

การศึกษากระบวนการอ้างอิงระบบพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติที่ได้จาก
การสำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

STUDY ON TERRESTRIAL LASER SCANNED POINT CLOUD
REGISTRATION PROCESS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

STUDY ON TERRESTRIAL LASER SCANNED POINT CLOUD
REGISTRATION PROCESS



MAYUREE BUASRI

SUPHITCHA JAISUA

ATIWAT DEANGIAD

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะที่อาคารเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษากระบวนการอ้างอิงระบบพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติที่ได้จากการ
สำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

STUDY ON TERRESTRIAL LASER SCANNED POINT CLOUD
REGISTRATION PROCESS

นักศึกษา นางสาวมยุรี บัวศรี รหัสนักศึกษา 60010826

นางสาวสุพิชชา ใจเสื่อ รหัสนักศึกษา 60011100

นายอริวัฒน์ แดงเอียด รหัสนักศึกษา 60011134

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชิสัพพัชร์ สุปัญญาโชติสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. นพดล สุกแสงปัญญา

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร. ชิสัพพัชร์ สุปัญญาโชติสกุล	Chisaphat
ดร. นพดล สุกแสงปัญญา	Suws
อ.อุษะ ศิริแก้ว	อ.อุษะ
ดร. พิณิข ชนชัยโชคศิริกุล	Punt Z.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ลายมือชื่อ)

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชณศิริธร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31/05/64

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษากระบวนการอ้างอิงระบบพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติที่ได้จากการ สำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

นางสาวมยุรี บัวศรี รหัสนักศึกษา 60010826

นางสาวสุพิชชา ใจเสื่อ รหัสนักศึกษา 60011100

นายอธิวัฒน์ แดงเอียด รหัสนักศึกษา 60011134

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชิสาพัชร สุปัญญาโชติสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. นพดล สุกแสงปัญญา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มุ่งหมายศึกษากระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) จุดสามมิติที่ได้จากการสำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ซึ่งเป็นที่ขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อคุณภาพของแบบจำลองโดยตรง ซึ่งในปัจจุบันมีวิธี Cloud to Cloud Registration อยู่ในรูปแบบซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Register) จุดสามมิติที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากไม่เปิดเผยกระบวนการในซอฟต์แวร์ จึงจำเป็นต้องซื้อซอฟต์แวร์มาใช้และส่วนใหญ่มีราคาสูง จึงสนใจวิธี Rigid Body Transformation ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีอีกวิธีหนึ่ง แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบ โดยพบว่าวิธี Cloud To Cloud Registration ให้ผลที่ดีกว่า โดยวิธีนี้เป็นวิธีอัตโนมัติไม่ต้องป้อนค่าคู่จุดสามมิติที่การซ้อนทับ (Overlapping) กัน สามารถให้ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Register) ที่ถูกต้อง แต่ข้อมูลจุดสามมิติที่ใช้ต้องมีค่าการซ้อนทับ (Overlapping) มากกว่าหรือเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงหรือถูกต้อง ส่วนวิธี Rigid Body Transformation เป็นวิธีที่ต้องป้อนค่าคู่จุดสามมิติที่การซ้อนทับ (Overlapping) กันและต้องป้อนค่าเริ่มต้นของสมการก่อน โดยสามารถตั้งค่าความละเอียดของคำตอบที่ยอมรับได้ (tolerance) พบว่าผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Register) แบบวิธี Rigid Body Transformation ที่ใช้ วิธี Newton Raphson สามารถให้ค่าคำตอบได้หลายชุด ซึ่งบางชุดคำตอบสามารถให้ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Register) ที่ถูกต้อง และทุกชุดคำตอบสามารถให้ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Register) ของจุดอ้างอิงถูกต้อง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Study on terrestrial laser scanned point cloud registration process

Ms. Mayuree Buasri Student ID. 60010826

Ms. Suphitcha Jaisua Student ID. 60011100

Mr. Atiwat Daengiad Student ID. 60011134

Advisor: Dr. Chisaphat Supunyachotsakul

Co- advisor: Dr. Nobphadon Suksangpanya

Academic Year 2020

ABSTRACT

The purpose of this paper is to study the process of 3D point cloud registration by Terrestrial Laser Scanned, which is an important step because this is a process that directly affects the quality of the model. At present, cloud-to-cloud registration is widely used in commercial software. Because the process is not disclosed in the software, it needs to buy expensive software. Therefore, the rigid body transformation method is interesting. And comparing the results obtained with commercial software. We found that the cloud-to-cloud registration better than our method. It was an automatic method that did not need to be entered overlapping point cloud. It can provide valid registers, but point cloud used must have an overlap greater than or equal to 50 percent if overlap less than this will produce invalid registration. The rigid Body Transformation method must input overlapping point cloud, and the initial values of the equation. We found that the results of rigid Body Transformation method that use Newton Raphson method does not depend on percent overlapping and can give several sets of answer values which some sets of the answer can give a quality registration and every set of the answer can give a correct reference point.

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. ii

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. ชีสาพัชร์ สุปัญญาโชติสกุลและดร. นพดล สุขแสงปัญญาที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นางสาวมยุรี บัวศรี รหัสนักศึกษา 60010826

นางสาวสุพิชชา ใจเสื่อ รหัสนักศึกษา 60011100

นายอริวัฒน์ แดงเอียด รหัสนักศึกษา 60011134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	xiii
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
2 ทฤษฎีและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 อุปกรณ์การเก็บข้อมูล	5
2.1.2 กลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud)	7
2.1.3 การเก็บข้อมูล (Data Collection)	8
2.1.4 การแปลงค่าพิกัดแบบสามมิติ (3D Transformation methods)	8
2.1.4.1 Geometric Features of Point Clouds	10
2.1.5 กระบวนการรีจิสเทรชันจุดสามมิติ (3D Registration process)	13
2.1.6 วิธี Rigid body transformation	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

iv

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.6.1 สมการ Rigid body transformation	15
2.1.6.2. วิธีนิวตัน-ราฟสัน (The Newton-Raphson Method)	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
3 วิธีการดำเนินงาน	20
3.1 การเตรียมข้อมูล	20
3.2 การดำเนินการอ้างอิงระบบพิกัดโดยวิธี cloud to cloud	21
3.3 การดำเนินการอ้างอิงระบบพิกัดโดยวิธี Rigid body transformation	24
3.4 การพัฒนาโปรแกรม	25
3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	25
3.4.2 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการจัดเตรียมข้อมูล	25
3.4.3 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการหาจุดร่วม (conjugate point)	27
3.4.4 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการคำนวณอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการ	29
3.4.5 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)	30
4 ผลการศึกษา	33
4.1 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) ที่มีข้อมูลที่มีค่าการซ้อนทับ (Overlapping) ต่างๆ ของวิธี cloud to cloud	33
4.1.1 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (Overlapping) 10%	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.2 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point Cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%	36
4.1.3 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (Overlapping) 30%	38
4.1.4 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%	40
4.1.5 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%	42
4.1.6 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%	44
4.1.7 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70%	46
4.1.8 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%	48
4.1.9 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%	50
4.2 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของวิธี Rigid body transformation	53
4.2.1 ตรวจสอบผล	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

162

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 สรุปผลการวิจัย

162

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

vi

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.2 การอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Cloud to Cloud	162
5.1.1 การอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Rigid body transformation	162
5.2 ข้อเสนอแนะ	163
บรรณานุกรม	165
ภาคผนวก ก. อัลกอริทึมที่พัฒนาสำหรับจัดเตรียมข้อมูล	166
ภาคผนวก ข. อัลกอริทึมที่พัฒนาเพื่อหาจุดร่วม (conjugate point)	172
ภาคผนวก ค. อัลกอริทึมที่พัฒนาเพื่อหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการ	174
ภาคผนวก ง. อัลกอริทึมที่พัฒนาเพื่อการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)	177



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการปฏิบัติงานวิจัย	4
2.1 การจำแนกประเภทเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน	6
4.1 ผลคำตอบที่ใช้ในการสร้างข้อมูลของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี could to cloud	33
4.2 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ	34
4.3 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%	36
4.4 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 30%	38
4.5 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%	40
4.6 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%	42
4.7 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%	44
4.8 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70%	46
4.9 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%	48
4.10 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11 เปรอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เปอร์เซ็นต์การทับซ้อน (overlap) ของต่างๆ ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) การอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud	52
4.12 ผลค่าตอบจริงที่ใช้ในการสร้างข้อมูลของวิธี Rigid body transformation	53
4.13 แสดงค่าเริ่มต้น (initial value) ของการหมุน (rotation) ในกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี rigid body transformation	54
4.14 แสดงค่าเริ่มต้น (initial value) ของการเลื่อน (translation) ในกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี rigid body transformation	55
4.15 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 1	56
4.16 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 1	56
4.17 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1	60
4.18 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 1	61
4.19 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 1	61
4.20 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1	69
4.21 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 1	70
4.22 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 1	70
4.23 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.24 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 4	79
4.25 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 4	79
4.26 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1	86
4.27 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 5	87
4.28 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 5	88
4.29 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 5	95
4.30 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 6	96
4.31 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 6	97
4.32 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 6	104
4.33 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 7	105
4.34 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 7	106
4.35 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 7	113
4.36 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 8	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

x

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.38 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 8	122
4.37 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 8	115
4.39 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 9	123
4.40 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 9	124
4.41 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 9	131
4.42 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 10	132
4.43 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 10	133
4.44 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 10	140
4.45 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 2	144
4.46 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 3	146
4.47 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 4	148
4.48 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 5	150
4.49 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 6	152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากผู้นิพนธ์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.50 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 7	154
4.51 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 8	156
4.52 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 9	158
4.53 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรม (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 10	160



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหลักการทำงานของ phase base และ time of flight ของเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน	5
2.2 แสดงตัวอย่างการเลื่อนของเวกเตอร์ \vec{v}	9
2.3 แสดงตัวอย่างการหมุน	10
2.4 ภาพแสดงจุดขรุขระและมุมระหว่างจุดใกล้เคียง	13
3.1 แสดงข้อมูลจุดอ้างอิงของรูปที่ใช้ในการอ้างอิงระบบพิกัด	20
3.2 ไฟล์ข้อมูลจุดอ้างอิงสองไฟล์ที่มีการจัดเตรียมข้อมูลแล้ว	21
3.3 ขั้นตอนการอ้างอิงระบบพิกัด 1	22
3.4 ขั้นตอนการอ้างอิงระบบพิกัด 2	22
3.5 ค่าเมตริกซ์ที่แสดงข้อมูลการอ้างอิงระบบพิกัด	23
3.6 ข้อมูลจุดอ้างอิงที่มีการอ้างอิงระบบพิกัดแล้ว	23
3.7 แสดงผังการดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data)	26
3.8 แสดงข้อมูลกลุ่มอ้างอิงจุดที่มีการครอบและเปลี่ยนตำแหน่ง	27
3.9 แสดง Flow chart แสดงการตรวจสอบสมการ	28
3.10 ผังแสดงการดำเนินการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการ	29
3.11 ผังแสดงการดำเนินการหาค่าตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด	32
4.1 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 10%	35
4.2 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 10%	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%	37
4.4 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%	37
4.5 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 30%	39
4.6 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 30%	39
4.7 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%	41
4.8 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%	41
4.9 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%	43
4.10 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%	43
4.11 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%	45
4.12 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70%	47
4.15 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%	49
4.16 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%	49
4.17 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%	51
4.18 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%	51
4.19 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.15	57
4.20 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.15	57
4.21 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.15	58
4.22 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.16	58
4.23 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.16	59
4.24 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.16	59
4.25 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1	60
4.26 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18	62
4.27 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18	63
4.29 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19	64
4.30 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19	64
4.31 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19	65
4.32 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18	66
4.33 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18	66
4.34 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18	67
4.35 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19	67
4.36 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19	68
4.37 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19	68
4.38 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 2	69
4.39 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21	71
4.40 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21	72
4.41 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21	72
4.42 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22	73
4.43 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22	73
4.44 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อเบื้องหน้าและเบื้องหลังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. xvi

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.45 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21	75
4.46 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21	75
4.47 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21	76
4.48 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22	76
4.49 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22	77
4.50 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22	77
4.51 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 3	78
4.52 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24	80
4.53 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24	81
4.54 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24	81
4.55 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25	82
4.56 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25	82
4.57 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25	83
4.58 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24	84
4.59 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24	84
4.60 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. xvii

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.62 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25	86
4.63 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25	86
4.64 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 4	87
4.65 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27	89
4.66 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27	90
4.67 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27	90
4.68 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28	91
4.69 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28	91
4.70 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28	92
4.71 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27	93
4.72 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27	93
4.73 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27	94
4.74 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28	94
4.75 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28	95
4.76 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28	95
4.77 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 5	96
4.78 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.79 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30	99
4.80 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30	99
4.81 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31	100
4.82 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31	100
4.83 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31	101
4.84 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30	102
4.85 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30	102
4.86 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30	103
4.87 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31	103
4.88 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31	104
4.89 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31	104
4.90 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 6	105
4.91 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33	107
4.92 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33	108
4.93 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33	108
4.94 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34	100
4.95 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.96 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34	110
4.97 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33	111
4.98 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33	111
4.99 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33	112
4.100 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34	112
4.101 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34	113
4.102 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34	113
4.103 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 7	114
4.104 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36	116
4.105 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36	117
4.106 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36	117
4.107 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37	118
4.108 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37	118
4.109 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37	119
4.110 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36	120
4.111 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. xx

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.113 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37	121
4.114 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37	122
4.115 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37	122
4.116 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 8	123
4.117 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39	125
4.118 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39	126
4.119 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39	126
4.120 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40	127
4.121 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40	127
4.122 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40	128
4.123 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39	129
4.124 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39	129
4.125 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39	130
4.126 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40	130
4.127 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40	131
4.128 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. xxi

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.129 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 9	132
4.130 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42	134
4.131 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42	135
4.132 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42	135
4.133 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43	136
4.134 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43	136
4.135 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43	137
4.136 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42	138
4.137 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42	138
4.138 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42	139
4.139 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43	139
4.140 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43	140
4.141 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43	140
4.142 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 10	141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. xxii

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวงการวิศวกรรมสำรวจมีการนำเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) มาใช้เป็นเครื่องมือในการสำรวจ ซึ่งได้มีการปรับปรุงและพัฒนาในหลายๆ ด้าน สามารถทำได้รวดเร็ว ให้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูง ถูกต้องและชัดเจนทำให้เป็นเทคนิคที่นิยมในวงกว้าง เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ให้ผลออกมาเป็นข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) มีพิกัด x,y,z ของจุดตำแหน่งในวัตถุ ในทางวิศวกรรมโยธาถือว่าเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากยกตัวอย่างเช่น แบบจำลองสิ่งปลูกสร้าง 3 มิติ (3D Constructure Modeling), แบบจำลองก่อสร้างจริง (Asbuilt Model Reconstruction) และแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Model, BIM)

กระบวนการเก็บข้อมูลของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) มีการเก็บข้อมูลในหลายตำแหน่ง ต้องวางแผนการจัดวางตำแหน่งของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ในการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมวัตถุและมีจุดซ้อนทับกันเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยการเคลื่อนย้ายเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) แต่ละครั้งเท่ากับว่ายาระบบพิกัดไปด้วย ทำให้ไม่สามารถรวบรวมข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ได้ในทันที จึงเกิด “กระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)” ซึ่งเป็นการรวมข้อมูลจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่เกิดจากหลากหลายระบบพิกัดให้เป็นข้อมูลในระบบพิกัดเดียวกัน

ในกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) ได้ศึกษา 2 วิธีคือ วิธี The Cloud To Cloud Registration และวิธี The Rigid Body Tranformation โดยวิธี Cloud To Cloud

เอกสารนี้เป็น Registration เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมอย่างแพร่หลายมีอยู่ในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ทั่วไป แต่การคำนวณการแปลงพิกัดแบบ Rigid Body Transformation นั้นจำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ที่มีราคาสูง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จึงสนใจวิธี Rigid body tranformation เป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีอีกวิธีหนึ่ง สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ และสร้างโปรแกรมเองได้โดยไม่ต้องพึ่งซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์กับโดยวิธี Cloud To Cloud Registration

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการนำเสนอหลักการเก็บข้อมูลและกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) เป็นกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้การสำรวจภาคพื้นดินให้เป็นรูปแบบสามมิติ มีความสำคัญกับการออกแบบและวางผังโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ ครอบคลุมถึงถนน สะพาน และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะงานที่มีความสำคัญ ต่อการวางรากฐานและการพัฒนาของประเทศเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเพิ่มความสามารถในการสื่อสารให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน ลดความคลาดเคลื่อนในการสื่อสารซึ่งอาจเป็นเหตุของความเสียหายด้านต่างๆ ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลโดยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) โดยเก็บข้อมูลในรูปแบบข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud)
2. ศึกษาคุณภาพของกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัดของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Registered Scanned Point Cloud) 2 วิธี คือ วิธี The Cloud To Cloud Registration และวิธี The Rigid Body Transformation
3. พัฒนาเครื่องมือ(Algorithm)สำหรับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด(Registration)ในวิธี Rigid Body Transformation

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

1. ใช้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) โดยมีมุมมอง 3 มิติ
2. ใช้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ขนาดเล็ก
3. ใช้ภาษาไพทอน (Python) ในการเขียนโปรแกรมอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานที่เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 แผนการดำเนินงาน

1. ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ขั้นพื้นฐาน
2. ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)
3. ศึกษาโปรแกรม cloud-to-cloud และการเขียนโปรแกรมภาษาไพทอน (Python)
4. ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสำหรับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Rigid body transformation
5. นำเข้าข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) เข้าสู่กระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) ในวิธี cloud-to-cloud Registration และวิธี Rigid body transformation
6. วิเคราะห์ผลจากการเปรียบเทียบกระบวนการทั้งสองวิธี
7. เขียนรายงาน

โดยได้วางแผนการปฏิบัติงานวิจัยดังตารางที่ 1.1 โดยจะแสดงหัวข้อการปฏิบัติงานวิจัยและระยะเวลาในการดำเนินงานในแต่ละส่วน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เข้าใจวิธีการเก็บข้อมูลโดยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) โดยเก็บข้อมูลในรูปแบบข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud)
4. ได้ศึกษาคุณภาพของกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัดของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Registered Scanned Point Cloud) 2 วิธี คือ วิธี cloud-to-cloud Registration และ Rigid body transformation
5. ได้พัฒนาเครื่องมือ(Algorithm)สำหรับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด(Registration) ในวิธี Rigid Body Transformation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 1.1 แสดงแผนการปฏิบัติงานวิจัย

ลำดับที่	รายละเอียด	ภาคการเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2					
		ส.ค.	ก.ย.	ตุ.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1	ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner)	/										
2	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)	/	/	/								
3	ศึกษาโปรแกรม cloud-to-cloud และการเขียนโปรแกรมภาษาไพทอน (Python)	/	/	/								
4	ออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Rigid Body Transformation			/	/	/	/	/	/			
5	ตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมสำหรับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Rigid Body Transformation			/	/	/	/	/	/			
6	ใช้อัลกอริทึมสำหรับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี rigid body transformation					/		/	/	/		
7	ใช้CloudCompare สำหรับกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี cloud-to-cloud						/					
8	ศึกษาและวิเคราะห์ผลจากทั้งสองวิธี								/	/		
9	เขียนรายงาน							/	/	/	/	

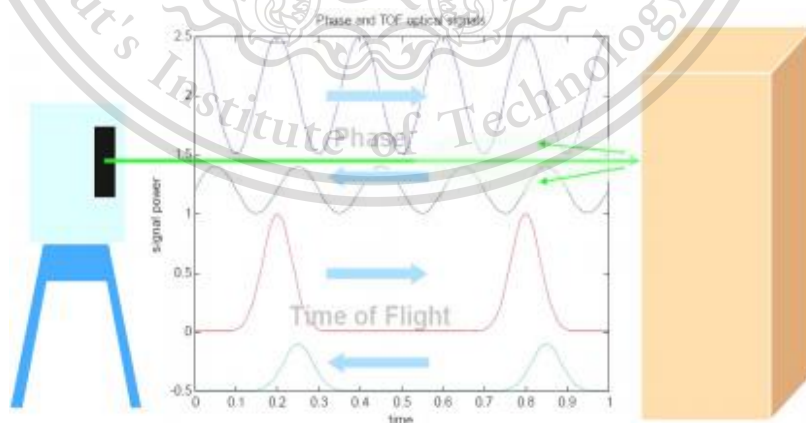
บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อุปกรณ์การเก็บข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้แก่เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน[5] ซึ่งเป็นเครื่องมือสำรวจที่ตรวจจับพิกัดของพื้นดินในรูปแบบสามมิติด้วยความรวดเร็วและความแม่นยำสูง โดยใช้เทคโนโลยีการสแกนด้วยเลเซอร์และการรังวัดจากภาพถ่ายระยะใกล้แบบดิจิทัล ซึ่งทำให้สามารถสร้างโมเดลสามมิติได้ โดยเทคนิคการรังวัดจากภาพถ่ายสำหรับการจับภาพวัตถุนั้นเป็นที่ยอมรับแล้ว มีขั้นตอนการรับข้อมูลง่ายๆ แต่มีข้อจำกัดในการตรวจจับพื้นผิวที่ซับซ้อน ในทางตรงกันข้ามเทคนิคการสแกนด้วยเลเซอร์ ขั้นตอนการเก็บข้อมูลไม่มีการบงกพื้นที่ผิวของวัตถุ ให้ข้อมูลที่มีความหนาแน่นสูง มีความเร็วของการตรวจจับพื้นผิววัตถุและความแม่นยำในด้านต่างๆ แต่ไม่สามารถระบุสีของพื้นผิว ที่วัดได้ เป็นผลให้พอยต์คลาวด์ที่ได้ไม่มีสี



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานของ phase base และ time of flight ของเครื่องเลเซอร์สแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ภาคพื้นดิน, ที่มา: [5] ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Jin He(2017) ได้กล่าวว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นเทคโนโลยีตรวจจับระยะไกลที่สามารถครอบคลุมจุดสามมิติที่หนาแน่นบนวัตถุหรือพื้นผิวขนาดใหญ่ เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นเครื่องมือสำรวจที่ตรวจจับพิกัดของพื้นดินในรูปแบบสามมิติด้วยความรวดเร็วและความแม่นยำสูง ดังแสดงหลักการทำงานไว้ ดังรูปที่ 2.1 และแสดงคุณสมบัติของประเภทเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดินดังตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 การจำแนกประเภทเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน [5]

Measurement system	Range (m)	Range accuracy (mm)	Manufacturers (examples)
Time of flight	~ 1000	> 10	Mensi, Riegl, Cyra, Callidus
Phase measurement	< 100	< 10	Zoller+Froehlich, IQSun
Triangulation	<10	< 1	Minolta, Leica

เทคโนโลยีเลเซอร์สแกนและการรังวัดจากภาพถ่ายระยะไกลแบบดิจิทัลเป็นเทคโนโลยี 2 ประเภทที่สามารถสร้างโมเดลสามมิติข้อแตกต่างหลักของเทคโนโลยี 2 อย่างนี้คืออุปกรณ์ และขั้นตอนการทำงานรังวัดภาพถ่ายระยะไกลเป็นวิธีที่ต้องแก้ไขการวางแนวก่อนจึงจะจับภาพได้ในขณะเดียวกัน เช่นเดียวกับอุปกรณ์สำรวจเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินต้องได้รับการปรับเทียบเป็นระยะ (calibrated) เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินได้รับความนิยมในปี 1990 ในการนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่และในการสร้าง matric scale 3 มิติ เช่น ประติมากรรมและงานอุตสาหกรรม ระบบของสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมี 3 ประเภทตามหลักการของ time of flight(TOF) มีลำแสง diode ส่งลำแสงไปยังวัตถุที่สแกน pulse สะท้อนที่พื้นผิว และแสงส่วนหนึ่งจะกลับไปตัวรับ ค่าเวลาที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ก่อน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเดินทางของแสงจากลำแสง diode ไปยังผิววัตถุและกลับมา หลักการที่สองคือ Triangulation เป็นการใช้ลำแสงเพื่อตรวจสอบสภาพแวดล้อม และหลักการสุดท้ายคือ Phase Shift measurement system เป็นเทคนิคการวัดระยะทางที่ใช้ลำแสงเลเซอร์กำลังแสงมอดูเลตแบบไซน์ถูกส่งไปที่เป้าหมาย มีการตรวจสอบลำแสงสะท้อน และเฟสของ power modulation ถูกเปรียบเทียบกับลำแสงที่ปล่อยออกมา

เทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายแบบดิจิทัลสำหรับการจับภาพวัตถุนั้นเป็นที่ยอมรับแล้ว เทคนิค Image-based[5] มีขั้นตอนการรับข้อมูลง่ายๆ แต่มีข้อจำกัดในการตรวจจับพื้นผิวที่ซับซ้อน แต่ในทางตรงกันข้ามเทคนิคเลเซอร์ไม่ได้รับกวนพื้นผิวของวัตถุ นอกจากนี้ยังต้องการข้อมูลที่มีความหนาแน่นสูง ความเร็วของการตรวจจับ และความแม่นยำในด้านต่างๆ นำเสียดายที่เลเซอร์ไม่สามารถระบุสีของพื้นผิวที่วัดได้ เป็นผลให้พอยต์คลาวด์สามมิติที่ได้ไม่มีการแสดงผลเป็นสี ดังนั้นในกรณีส่วนใหญ่การทำงานร่วมกันอย่างเหมาะสมของเลเซอร์สแกนทั้งสองและเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายสามารถสร้างแบบจำลองสามมิติที่ดีขึ้นเมื่อลักษณะของพื้นที่ศึกษาที่มีความซับซ้อนและมีมิติขนาดใหญ่ตามรุ่นของแบบจำลอง 3 มิติโดยละเอียดของสิ่งปลูกสร้างและสิ่งประดิษฐ์จะต้องบรรลุคุณสมบัติและข้อกำหนดบางประการในแง่ของรูปทรงเรขาคณิต ความแม่นยำและระดับของรายละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำของข้อมูลพอยต์คลาวด์สามมิติของพื้นผิววัตถุทั้งหมดมี 2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือความแม่นยำของระยะทางและพื้นที่ความละเอียดของเลเซอร์สแกน อีกปัญหาที่สำคัญคือเรื่องคุณภาพของค่าความเข้มและ feasible influence ในการวัดระยะทางโดยใช้เลเซอร์สแกนและการพัฒนาล่าสุดในเทคโนโลยีเซนเซอร์

2.1.2 กลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud)

กลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud)[1] หรือพอยต์คลาวด์คือการแสดงพิกัดของวัตถุเสมือนในพื้นที่ระบบพิกัดสามมิติ เพื่อแสดงตำแหน่งของพื้นผิวและปริมาตร ของวัตถุในชุดโปรแกรม การบันทึกข้อมูลพิกัดที่ใช้ในชุดโปรแกรมในงานวิจัยนี้ ใช้ระบบพิกัดฉากประกอบด้วยแกนสองแกนตั้งฉากกันอยู่ บนระนาบ คือ แกน X และแกน Y ใช้ระบุถึงตำแหน่งของจุดบนระนาบอ้างอิงจากค่าพิกัดสองค่าคือ พิกัด X และพิกัด Y ระบบพิกัดคาร์ทีเซียนยังสามารถใช้ได้กับปริภูมิสามมิติซึ่งจะมีแกน Z และพิกัด Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้งานในเชิงพาณิชย์หรือการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้ให้ด้วยประการทั้งปวงและต้องอ้างถึงที่มาของเอกสารนี้ทุกครั้งที่ใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เพิ่มเข้ามาหรือในมิติที่สูงกว่าอีกด้วยระบบพิกัดฉากเป็นระบบที่ใช้กับแผนที่ มีการวางแนวแกน X เป็น แกนตะวันออก-ตะวันตกและมีแกน Y เป็นแกนเหนือ-ใต้โดยระยะที่วัดบนแต่ละแกนจะเรียกว่าระยะ ตะวันออกและระยะเหนือตามลำดับ ลักษณะเชิงพื้นที่ของโครงสร้างพื้นฐานในรูปแบบพอยต์คลาวด์ สามมิติสามารถให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้เกี่ยวกับสถานะปัจจุบัน เพื่อสรุปข้อมูลที่ต้องการและตัดสินใจ อย่างเหมาะสม ความต้องการโมเดลดิจิทัลสามมิติเพิ่มขึ้นทุกวันเพราะทำให้ความสะดวกทางเศรษฐกิจ ในระดับหนึ่งในสาขาและการใช้งานที่หลากหลาย[5] เช่น visualization animation navigation (การนำทาง) และ virtual city models (โมเดลเมืองเสมือนจริง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบจำลองภาพ สามมิติเป็นที่ต้องการสำหรับการบันทึกสามมิติ โมเดลเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในกรณีที่เกิดความ สูญเสียหรือความเสียหาย การท่องเที่ยว การศึกษาและ museum purposes ข้อกำหนดที่ระบุไว้ สำหรับแอปพลิเคชันต่างๆ การเก็บสถิติแบบสามมิติเป็นหลักซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่มีคุณภาพสูงในแง่ของความสมบูรณ์ ความแม่นยำทางเรขาคณิตและลักษณะที่สมจริง ภายใต้ การที่ห่วงโซ่การประมวลผลของการสร้างแบบจำลอง[5]เหล่านี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนที่รู้จักกันดีคือ Survey Planning - Field Operation - Data Preparation - Data Registration และ Data Processing

2.1.3 การเก็บข้อมูล (Data Collection)

ในกระบวนการเก็บข้อมูลการสแกนเป็นระบบอัตโนมัติเกือบทั้งหมด หลังจากกดปุ่มสแกนใน ซอฟต์แวร์ควบคุมการสแกนหรือกดปุ่มควบคุมสแกนเนอร์โดยตรงสแกนเนอร์จะย้ายไปยังจุดเริ่มต้น และเริ่มต้นการเก็บรวบรวมจุดโดยก่อนการเก็บข้อมูลจะต้องมีการวางแผนให้มีการซ้อนทับ (Overlapping) กันของพอยต์คลาวด์โดยจะต้องซ้อนทับกัน 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จุดเหล่านี้จะถูกเก็บ ไว้โดยแล็ปท็อปหรือในหน่วยความจำภายในของเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน เมื่อแล็ปท็อป เชื่อมต่อกับเครื่องสแกนภาคพื้นดินจุดที่ถูกสแกนจะถูกแสดงในรูปแบบสามมิติบนหน้าจอ และให้ ภาพรวมของพื้นที่ที่ได้รับการสแกนแล้ว หลังจากทำการสแกนวัตถุแล้วเป็นสิ่งที่ดีในการตรวจสอบการ สแกนเพื่อหาสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดคิด ซึ่งทำให้เกิด occluded areas ในข้อมูลที่สแกนมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

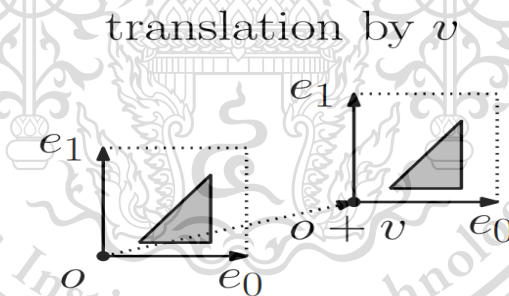
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 การแปลงค่าพิกัดแบบสามมิติ (3D Transformation methods)

ในการแปลงค่าพิกัดแบบสามมิติประกอบไปด้วย 2 วิธีด้วยกันคือ Transformation และ Rotation

Transformation[1] คือการเลื่อนพอยต์คลาวด์โดยแปลงเวกเตอร์คงที่ \vec{v} ในแผนที่จุดใดๆ p ถึง $p + \vec{v}$ เวกเตอร์อิสระจะไม่มีทิศทางในช่องว่างพวกเขาจะไม่เปลี่ยนแปลงตำแหน่ง สมมติว่าสัมพันธ์กับเฟรมมาตรฐาน $v[F] = (t_x, t_y, t_z)$ เป็นเนื้อเดียวกันพิกัดของ \vec{v} เวกเตอร์สามหน่วยไม่ได้รับผลกระทบจากการเลื่อนพอยต์คลาวด์และต้นกำเนิดคือ $0 + \vec{v}$ มีลักษณะการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีพิกัดที่เป็นตำแหน่งเดียวกับ (t_x, t_y, t_z) ดังนั้นตามกฎให้ไว้ก่อนหน้านี้การแสดงผลเมตริกซ์ที่เป็นเนื้อเดียวกันสำหรับการเคลื่อนที่คือ

$$T(\vec{v}) = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการเลื่อนของเวกเตอร์ \vec{v} , ที่มา: [1]

Rotation[3] คือการหมุนพอยต์คลาวด์ในรูปแบบทั่วไปที่สุดการหมุนพอยต์คลาวด์ถูกกำหนดให้เกิดขึ้นเกี่ยวกับจุดคงที่บางจุดและรอบเวกเตอร์คงที่ในช่องว่างจะพิจารณากรณีที่ย้ายที่สุดซึ่งจุดคงที่เป็นจุดกำเนิดของกรอบพิกัดและเวกเตอร์เป็นหนึ่งในแกนพิกัดการหมุนพื้นฐานมีสามแบบ เกี่ยวกับแกน x, y และ z ในแต่ละกรณีการหมุนทวนเข็มนาฬิกาผ่านมุม θ กำหนดเป็นเรเดียนการหมุนจะถือว่าเป็นไปตามกฎมือขวา หากนิ้วหัวแม่มือขวาของคุณอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนของการหมุนการหมุนในเชิงบวกจะถูกระบุโดยทิศทางที่นิ้วของมือชี้ไป หากต้องการสร้างการหมุนตามเข็มนาฬิกาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

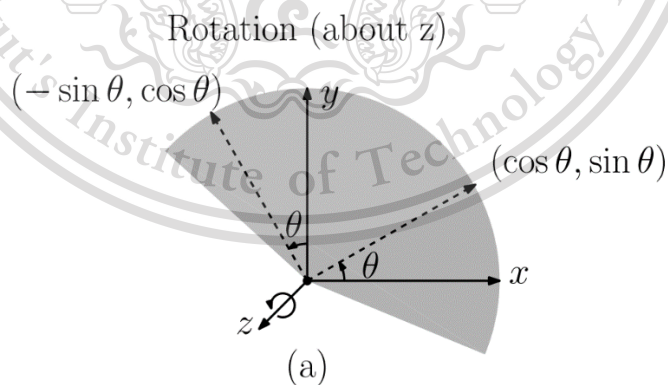
ลบล้างมุมที่เกี่ยวข้องพิจารณาการหมุนเกี่ยวกับแกน z เวกเตอร์หน่วย z และจุดกำเนิดไม่เปลี่ยนแปลงเวกเตอร์หน่วย x ถูกจับคู่กับ $(\cos \theta, \sin \theta, 0)$ และเวกเตอร์หน่วย y ถูกจับคู่กับ $(-\sin \theta, \cos \theta, 0)$ โดยสมการการหมุนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

สังเกตว่าทั้งจุดและเวกเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุน สำหรับอีกสองแกนสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการหมุน, ที่มา: [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 10

2.1.4.1 Geometric Features of Point Clouds

Ying he (2017) ได้พูดถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดของพอยต์คลาวด์โดยใช้วิธี Geometric Features of Point Clouds [1] ซึ่งเป็นวิธีที่พูดถึงคุณสมบัติทางเรขาคณิตเช่นความโค้งพื้นผิวปกติและความหนาแน่น สามารถสะท้อนให้เห็นถึงรูปทรงเรขาคณิตขั้นพื้นฐานที่สุดของพอยต์คลาวด์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการแสดงลักษณะของพอยต์คลาวด์ ใช้พารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องกับพิกัดของพอยต์คลาวด์เพื่อคำนวณคุณสมบัติของแต่ละจุดข้อมูล สมมติว่าชุดข้อมูลพอยต์คลาวด์คือ $G = g(i), i = 1, \dots, N$ โดย (x_i, y_i, z_i) เป็นพิกัดสามมิติของพอยต์คลาวด์และ N คือจำนวนจุดข้อมูลคลาวด์

1. Curvature

ความโค้ง (Curvature) เป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการรับรู้คุณลักษณะ คาของความโค้งสะท้อนให้เห็นถึงระดับ concavo-convex[1] ของพื้นผิวพอยต์คลาวด์ คุณสมบัติที่คมชัดพอยต์คลาวด์มีความโค้งค่อนข้างมาก ในทางกลับกันส่วนที่ไม่ใช่คุณลักษณะของพอยต์คลาวด์นั้นโค้งค่อนข้างน้อย เพื่อประเมินความปกติและความโค้งของข้อมูล โดยให้ความแปรปรวนร่วมของจุดใกล้เคียงคือ k สำหรับชุดข้อมูลพอยต์คลาวด์คือ G จุดใกล้เคียงอยู่ร่วมกันของจุดคือ $g(i)$ ที่กำหนดจะถูกวิเคราะห์และโค-วาเรียนเมตริกซ์ จะถูกคำนวณทิศทางของ eigenvector ที่สอดคล้องกับ minimum eigenvalue กำหนดเป็น จุดพื้นฐานจากนั้นตามการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวความโค้งสามารถประเมินได้โดยสมการ

$$C_i = \begin{bmatrix} g_{i1} - \bar{g}_i \\ \dots \\ g_{ik} - \bar{g}_i \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} g_{i1} - \bar{g}_i \\ \dots \\ g_{ik} - \bar{g}_i \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

จากสมการ C_i เป็นเมตริกซ์สมมาตรสามลำดับกึ่งบวกที่แน่นอนและ \bar{g}_i เป็นศูนย์กลางของจุดใกล้เคียงของจุด g_i จากนั้น 3 eigenvalues ของเมตริกซ์ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ และหน่วยที่สอดคล้องกันของ eigenvectors e_1, e_2, e_3 สามารถคำนวณได้ โดยทั่วไปเราสันนิษฐานว่า $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ อธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของพื้นผิวตามทิศทางปกติ ดังนั้น normal direction(ทิศทางปกติ) $n_i = e_1$ ของเวกเตอร์ g_i การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของ g_i สามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$\tau_i = \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)} \quad (2.6)$$

ความโค้งของแบบจำลองพอยต์คลาวด์ในจุดข้อมูล g_i สามารถประมาณได้ว่าเป็นรูปแบบพื้นผิว τ_i

2. มุมระหว่างข้อมูลจุดและจุดใกล้เคียงในทิศทางปกติ

เมื่อสามารถหาค่าความโค้งของพอยต์คลาวด์ได้แล้วต่อไปจะเป็นการหาค่ามุมระหว่างข้อมูลของจุดในทิศทางปกติและข้อมูลจุดใกล้เคียงในทิศทางปกติ การเปลี่ยนแปลงของมุมปกติเป็นดัชนีสำคัญในการวัดว่าพื้นผิวโค้งหรือตรง เราถือว่าข้อมูลจุด g_i เป็นจุดศูนย์กลางของโมเดลพอยต์คลาวด์ G และ g_j คือจุดใกล้เคียงของ g_i ทิศทางปกติของ g_j และ g_i คือ n_{g_j} และ n_{g_i} ตามลำดับโคไซน์ของมุมปกติระหว่าง g_i และ g_j สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้:

$$\cos \theta_{g_i g_i} = \frac{n_{g_i} \cdot n_{g_j}}{|n_{g_i}| |n_{g_j}|} \quad (2.7)$$

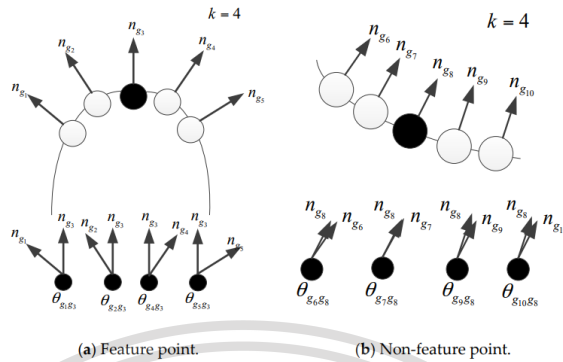
โดยที่ช่วงค่าของ มุม $\theta_{g_i g_i}$ คือ $[0, \pi]$ พารามิเตอร์ของมุมระหว่างจุดข้อมูลและจุดใกล้เคียงคำนวณโดยการรวมมุมปกติทั้งหมดระหว่างจุดใกล้เคียงดังนี้

$$\omega_a(g_i) = \sum_{g_j \in M(g_i)} \theta_{g_i g_i} \quad (2.8)$$

ทิศทางปกติระหว่างจุดข้อมูลแต่ละจุดและจุดใกล้เคียงจะได้รับในรูปที่ 2.4 โดยที่ g_3 คือจุดแสดงคุณสมบัติและจำนวนจุดใกล้เคียงคือ $k = 4$ โดยที่ k คือจำนวนจุดใกล้เคียง องศาเส้นโค้งที่จุด g_3 มีขนาดค่อนข้างใหญ่และมุมทิศทางปกติระหว่างจุดคุณลักษณะ g_3 และจุดใกล้เคียงก็ค่อนข้างใหญ่เช่นกัน

ใช้พารามิเตอร์มุมพิจารณาผลกระทบของจุดใกล้เคียงทั้งหมดที่มีต่อระดับการโค้งของจุดข้อมูล g_i อย่างเหมาะสม ถ้า $\omega_a(g_i)$ มีขนาดใหญ่ขึ้นระดับการตัดพื้นผิวของจุดข้อมูล g_i และจุดใกล้เคียงจะค่อนข้างมากและพื้นที่ใกล้เคียงของจุดข้อมูล g_i จะมีแนวโน้มที่จะเป็นขอบเขตของคุณลักษณะ ในทางกลับกันถ้า $\omega_a(g_i)$ มีขนาดเล็กพื้นผิวของโมเดลจะค่อนข้างเรียบและพื้นที่ใกล้เคียงของจุดข้อมูล g_i จะมีแนวโน้มที่จะไม่ใช่จุดที่มีคุณลักษณะที่พิจารณาได้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงจุดขรุขระและมุมระหว่างจุดใกล้เคียง, ที่มา: [6]

3. คุณสมบัติของพารามิเตอร์

เมื่อรู้ค่าความโค้งของพอยต์คลาวด์และขนาดมุมระหว่างจุดและจุดใกล้เคียงแล้ว เพื่อรวมความโค้งของพื้นผิว h_i และพารามิเตอร์มุมปกติ ถ้า $\omega_a(g_i)$ ของจุดข้อมูล g_i ที่ได้รับเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ไม่มีมิติและกำหนดพารามิเตอร์ลักษณะเฉพาะของจุดข้อมูล g_i ดังต่อไปนี้

$$\omega(g_i) = \lambda_H H_1 + \omega_a(g_i) \quad (2.9)$$

โดยที่ λ_H คือสัมประสิทธิ์ความโค้งของพื้นผิว

ตามสมการ 2.9 ยิ่งความโค้งของพื้นผิวมีขนาดใหญ่เท่าใดพารามิเตอร์มุมปกติก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นจุดข้อมูลก็จะเป็นจุดคุณลักษณะมากขึ้นดังนั้นความโค้งของพื้นผิวและพารามิเตอร์มุมปกติจึงเป็นส่วนสำคัญกับพารามิเตอร์คุณลักษณะ

หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่แตกต่างกันค่าสัมประสิทธิ์ความโค้งของพื้นผิว λ_H มีอิทธิพลอย่างมากต่อผลการคำนวณ จำนวนจุดใกล้เคียงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของข้อมูลพอยต์คลาวด์และความสม่ำเสมอของการกระจาย เมื่อความหนาแน่นของพอยต์คลาวด์มีมากค่าอาจน้อยลง โดยทั่วไปค่าคือ

10-30 ในบทความนี้ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของพื้นผิว $\lambda_H = 200$ จำนวนจุดใกล้เคียง $k = 10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.5 กระบวนการรีจิสเทรชันจุดสามมิติ (3D Registration process)

Mitra et al. (2004) ได้อธิบายการรีจิสเทรชันโดยให้ $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ และ $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ เป็นสองพอยต์คลาว์ใน IR^d เป้าหมายของกระบวนการรีจิสเทรชันคือการค้นหา the rigid body transformation α ซึ่งประกอบด้วยเมตริกซ์การหมุน R และเวกเตอร์การเลื่อน T ที่จัดแนวข้อมูล PCD Q ได้ดีที่สุดเพื่อให้ตรงกับแบบจำลอง ขั้นตอนวิธีการรีจิสเทรชัน PCD P ที่ใช้วิธี ICP ในการทำงานเริ่มต้นด้วยตำแหน่งของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโมเดลจะเลือกชุดของคู่จุด k คือ (p_i, q_i) จากโมเดลและข้อมูลระยะห่างระหว่างแบบจำลองและ PCD ข้อมูลประมาณโดยผลรวมของระยะทางระหว่างคู่จุดจากนั้นอัลกอริทึมจะค้นหา the rigid transformation ที่ลดระยะทางที่เฉลี่ยให้เหลือน้อยที่สุด (ϵ) ระหว่างโมเดลและข้อมูลการเลื่อน

$$\epsilon(\alpha) = \sum_{i=1}^k d^2(\alpha(q_i), p_i) \quad (2.10)$$

จากสมการ 2.10 กำหนด d เป็นระยะห่างจากจุดต่อจุด อย่างไรก็ตามตามสมมติฐานในการประมาณระยะห่างระหว่างจุดสองจุดเป็นการประมาณที่ดีที่สุดสำหรับวิธี PCD ในการตั้งค่าพอยต์คลาว์ เราจริงจังว่าโมเดลและ PCD ข้อมูลไม่ใช่การรวบรวมแต่เป็นการสุ่มตัวอย่างจากพื้นผิวพื้นฐาน ในกรณีนี้ ควรลดระยะห่างจาก PCD ข้อมูลบนพื้นผิวที่แสดงโดย PCD แบบจำลองให้น้อยที่สุด เมื่อข้อมูลและแบบจำลองอยู่ใกล้กันระยะห่างจากจุดถึงระนาบเป็นค่าประมาณที่ดีที่สุดสำหรับระยะห่างระหว่างจุด ข้อมูลและพื้นผิวที่แสดงโดย PCD แบบจำลอง ในทางกลับกันเมื่อโมเดลและข้อมูลอยู่ห่างกันระยะทางแบบจุดต่อจุดเป็นทางเลือกที่ดีกว่า เมตริกซ์คลาดเคลื่อนนั้นพิจารณาจากคุณสมบัติสองประการอันดับแรกเราต้องการให้เมตริกซ์คลาดเคลื่อนสะท้อนระยะห่างระหว่างจุดข้อมูลและพื้นผิวที่แสดงโดย PCD แบบจำลองอย่างถูกต้อง ประการที่สองเราต้องการให้การประมาณระยะทางถูกต้องไม่ใช่แค่ที่จุดแต่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง ทั้งเมตริกซ์ข้อผิดพลาดแบบจุดต่อจุดและจุดบนเครื่องบินอ้างอิงจากข้อมูลลำดับแรกเกี่ยวกับพื้นผิวอินพุตที่อยู่ข้างใต้เท่านั้น เป็นผลให้พวกเขาไม่ได้ให้การประมาณระยะทางที่ดีเมื่อเราเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ในบริเวณใกล้เคียงของจุดข้อมูล

การประมาณฟังก์ชันระยะห่างระหว่างสองพอยต์คลาว์เพื่อแสดงขอบเขตทางทฤษฎีเกี่ยวกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การบรรจบกันของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ตามฟังก์ชันระยะทางได้ก่อให้เกิดปัญหาของ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การลงทะเบียนของสองพอยต์คลาว์เป็นปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพบนพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงของ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

วิธี rigid body transformation สิ่งนี้นำไปสู่ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพต่อไปนี้ การเปลี่ยนแปลงที่เข้มงวดที่สุด $\alpha = (R, t)$ ที่ลดข้อผิดพลาดที่กำหนดโดย

$$\varepsilon(\alpha) = \sum_{i=1}^m d^2(R(q_i) + t, \phi_p) \quad (2.11)$$

โดยที่ R คือเมตริกซ์การหมุนและ t คือเวกเตอร์การเลื่อน ฟังก์ชัน $d^2(R(q_i) + t, \phi_p)$ คือระยะห่างจากจุดข้อมูลที่ถูกแปลงไปยังพื้นผิวที่แสดงโดย PCD P จากปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพของสมการเป็นที่ชัดเจนว่าพฤติกรรมการลู่เข้าของขั้นตอนการเพิ่มประสิทธิภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับความถูกต้องของฟังก์ชัน d^2 ซึ่งเรียกว่าฟังก์ชันระยะทางกำลังสองกับพื้นผิว ϕ_p เนื่องจากสูตรตัวอย่างแบบจุดโดยทั่วไปไม่มีความซับซ้อนและไม่เป็นที่รู้จักจึงจำเป็นต้องมีค่าประมาณที่ดีสำหรับฟังก์ชันระยะทางกำลังสอง

2.1.6 วิธี Rigid body transformation

2.1.6.1 สมการ Rigid body transformation

ในการ registration โดยวิธี rigid body transformation จะมีสมการหลักทั้งหมด 2 สมการ โดยสมการที่ 2.12 เป็นสมการสำหรับ register จุด A ไปยัง จุด B และสมการที่ 2.13 เป็นสมการสำหรับ register จุด B ไปยัง จุด A หรือทำย้อนกลับจากสมการแรก

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_B = R_z \times R_y \times R_x \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_A + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$R_x^T \times R_y^T \times R_z^T \times \begin{bmatrix} x_B - t_x \\ y_B - t_y \\ z_B - t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_A \quad (2.13)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ไม่ใช่การค้า การอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & \sin\omega \\ 0 & -\sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos k & \sin k & 0 \\ -\sin k & \cos k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

2.1.6.2. วิธีนิวตัน-ราฟสัน (The Newton-Raphson Method)

เป็นวิธีการหารากของสมการที่นิยมมากที่สุด โดยมีรูปแบบดังสมการที่ 2.17 เริ่มจากการเดาค่าราก x_0 จากนั้นหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการ 2.18 ณ จุด x_0 จะได้ค่าคำตอบประมาณค่า x และจะเข้าใกล้คำตอบจริงมากขึ้นเรื่อยๆ

$$x = x_0 - \frac{f(x_0)}{\frac{\partial(f(x_0))}{\partial(x_0)}} \quad (2.17)$$

$$f(x_0) = f(\omega, \phi, \kappa, t_x, t_y, t_z) = 0 \quad (2.18)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liu and Yonghuai (2006) ได้ศึกษาและพัฒนา algorithm สำหรับการ registration แบบอัตโนมัติ โดยใช้ closest points โดยศึกษาและพัฒนา 3 algorithm ที่เป็น standard algorithm คือ Iterative Closest Point algorithm (ICP), SoftAssign algorithm และ EMICP algorithm และตั้งชื่อ algorithm ที่พัฒนาขึ้นมาว่า WeightICP algorithm และ SoftICP algorithm และมี GICP algorithm เป็น standard algorithm สำหรับเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้ง 5 algorithm ที่กล่าวมาข้างต้น โดยได้แสดงความคลาดเคลื่อนของ อนุกรมการหมุน ระยะเลื่อน พบว่า algorithm ที่ถูกพัฒนาใหม่ มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า standard algorithm นอกจากนี้มีการจับเวลาในการทำงานของ algorithm พบว่า algorithm ที่ถูกพัฒนาใหม่ ใช้เวลาทำงานที่น้อยกว่า standard algorithm

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Mitra et al. (2004) ได้ศึกษาและพัฒนา algorithm สำหรับการ registration โดยมีข้อมูลจุดสามมิติ 2 ชุด คือ P มีข้อมูลจุด p_i และ Q มีข้อมูลจุด q_i โดยการแปลงข้อมูล Q ให้ไปอยู่ในข้อมูล P โดยต้องการลดระยะห่างระหว่างจุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ d จึงได้คิด Squared Distance Function ขึ้น และมีการใช้ Local Quadratic Approximation โดยกำหนดให้ error function ของ Squared Distance Function มีค่าเท่ากับ Local Quadratic Approximation แล้วใช้ Newton Iterative method และ Least Square ในการแก้สมการหาค่า มุมหมุน(rotation angle) และ ค่าการเลื่อน(translation) และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ ICP algorithm โดยพบว่าผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้มีการวิเคราะห์ความ convergence และ stability ของ algorithm ทั้งสอง โดยได้ทำการเก็บข้อมูลที่มีความหลากหลายมาเปรียบเทียบผล พบว่า algorithm ที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ เข้าสู่ convergence เร็วกว่า และมีความ stability มากกว่า ICP algorithm และได้พบว่า หาก p_i และ q_i มีค่าใกล้เคียงกัน การregister แบบ point to plane มีความเหมาะสมที่สุด แต่หากข้อมูลอยู่ห่างกัน การregister แบบ point to point มีความเหมาะสมที่สุด

Makadia (2006) ได้ศึกษาและพัฒนาการ alignment แบบอัตโนมัติทั้งหมดกับ point cloud ที่มีการ overlapping กันน้อย อันดับแรกทำการ rotationl alignment โดยการสร้าง spherical correlation ครอบคลุม point cloud จากนั้นสร้าง constelltion imge จากนั้นสร้าง slice ตามแกนให้ครอบคลุม sphere จากนั้นทำการ rotation alignment ให้ sphere ตรงกับ slice ต่อมาทำการ transltion alignmaent ให้ point cloud ตรงกัน จากการทดลองสามารถทำได้สำเร็จกับ point cloud ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่

Gil Elbaz (2017) ได้ศึกษาและพัฒนาการ registration ระหว่าง golbal point cloud และ Local point cloud ที่สถานที่เดียวกัน แต่เวลาต่างกัน โดยมี 2 แนวคิดในการจับคู่คือ Super point(SP) และ Encoding local 3D geometric โดยใช้ deep neuralnetwork auto-encoder(DAE) ในการเข้ารหัสจับคู่โดยมีกระบวนการคือแบ่ง point cloud ไปยัง SP โดยวิธี Random Sphere Cover Set algorithm(RSCS) ต่อมาเลือก local coordinate system สำหรับแต่ละ SP ต่อมาฉาย SP ลงบน 2D depth maps ทำการตรวจจับและคัดกรอง SP และลดขนาดโดยใช้ DAEต่อมากันหาและจับคู่ candidate เพื่อทำการ Coarse Registration และในขั้นตอนสุดท้ายทำการ ICP เพื่อปรับแต่งข้อมูล จากการทดลองทำสามารถสรุปได้ว่าวิธี RSCA+SAF มี Binary Success Rate ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Y.D. Rajendra (2014) ได้ศึกษาและประเมินการ registration ของ point cloud ที่ทับซ้อนกันบางส่วน โดยใช้ Iterative Closest Point algorithm (ICP) และ ซอฟต์แวร์ CloudCompare โดยใช้กล้อง Terrestrial laser Scanner ที่ใช้ระบบ Phase Shift measurement system ในการสแกนสิ่งก่อสร้าง โดยผลที่ได้แสดงค่าความแม่นยำซึ่งเปรียบเทียบระหว่าง BruteForce, kDTree และ Partial Overlap ของ ICP algorithm กับซอฟต์แวร์ CloudCompare พบว่าค่าความแม่นยำของการ registration มีค่าเพิ่มขึ้นโดยการใช้ ICP algorithm เมื่อเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ CloudCompare

Paul J. Besl et al (1992) ได้อธิบายการคำนวณ registration 3D shapes ที่ประกอบไปด้วย point sets, curves และ surface วิธีการแก้สมการ 6 ตัวแปรของ Iterative Closest Point algorithm การหา closest point โดยเริ่มต้นคำนวณหา closest point จากการหาระยะห่างจุดที่น้อยที่สุด หรือการหาระยะห่างที่น้อยที่สุดของเส้นและจุดของทุกsets หรือการหาระยะห่างที่น้อยที่สุดของsurface รูปสามเหลี่ยมและจุดของทุกsets โดยการหาระยะห่างที่น้อยที่สุดนี้ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.19 โดยได้เสนอการคำนวณ 3 แบบ 1 คือ Point to Parametric Entity Distance วิธีนี้ใช้ pure Newton's minimization จัดสมการตามสมการที่ 2.20 เมื่อแก้สมการแล้ว พบว่าคำนวณเพียง 1-5 รอบ ส่วนใหญ่ 3 รอบ และcostของวิธีนี้ ราคาต่ำมาก แต่ได้ผลลัพธ์ที่ดี 2 คือ Point to Implicit Entity Distance วิธีนี้ใช้ Lagrange multiplier system of equation โดยกำหนด nonlinear constraint ดังสมการที่ 2.21

$$f(u) = ||r(u) - p||^2 \quad (2.19)$$

$$u_{k+1} = u_k - [\nabla \nabla^t(f)(u_k)]^{-1} \nabla f(u_k) \quad (2.20)$$

$$f(u) = ||r(u) - p||^2 \text{ เมื่อ } g(r) = 0 \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยจำนวนของสมการ พบว่า planar curves ใช้ 3 สมการ surface ใช้ 4 สมการ และ 5 ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ล้วนทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สมการสำหรับแสดง space curves ซึ่งไม่ได้ผลลัพธ์ที่ดีออกมา แต่มีสมการที่ใกล้เคียงกันของ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Taubin เป็นสมการที่สามารถหาคำตอบได้ แต่ไม่สามารถใช้ได้จริง เพราะสามารถหาคำตอบได้บางเงื่อนไข และ 3 คือ Corresponding Point Set Registration วิธีนี้ใช้ least squares quaternion operation มี rotation matrix ($R(qr)$) และ translation matrix (qt) ตามสมการที่ 2.22

$$f(q) = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \|x_i - R(qr)p_i - qt\|^2 \quad (2.22)$$

โดยมี mean square point matching error ตรวจสอบ มีการคำนวณหา center of mass, cross-covariance matrix ทั้ง point cloud data และ model point data เพื่อประมาณ translation vector และ rotation ก่อน ในการคำนวณของ ICP algorithm ถูกอธิบายไว้ว่า เป็นการเลื่อน data shape P ไปวางตัวใน model shape X โดยใช้ Newton's iteration เริ่มจากการหา *closest point* แล้วคำนวณ registration โดยใช้ least square แล้วนำคำตอบมา apply registration และประเมินคำตอบว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยที่ ICP algorithm มีความ converges monotonically to a local minimum ตามค่า mean square function โดยแต่ละรอบ ICP algorithm ต้องการเพียง evaluation of the closest point ซึ่งเป็นคำนวณที่สิ้นเปลืองที่สุด ในขณะที่เดียวกันถ้าใช้ pure numerical Hessian-based Newton's method ต้องใช้อย่างน้อย 13 *closest point* ต่อ รอบ และใช้เพียง 2 รอบในการคำนวณ ถ้าค่าเริ่มต้นเป็นค่าที่ดี โดย ICP algorithm นี้ ไม่จำเป็นต้องทำ preprocessing ก่อน หรือ local feature extraction เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 19

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมข้อมูล

นำข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data) ของบันได โดยได้นำข้อมูลนี้ที่มาจากเว็บไซต์: <https://sketchfab.com/d-models/cabin-stairs-cleaned-d0d1f12825a04f24a3f8f2bb73e6ae34> โดยเป็นข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data) ที่คุณ Lukke เป็นผู้สร้างขึ้นมา มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงข้อมูลจุดอ้างอิงของรูปที่ใช้ในการอ้างอิงระบบพิกัด

ที่มา: <https://sketchfab.com/d-models/cabin-stairs-cleaned-d0d1f12825a04f24a3f8f2bb73e6ae34>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

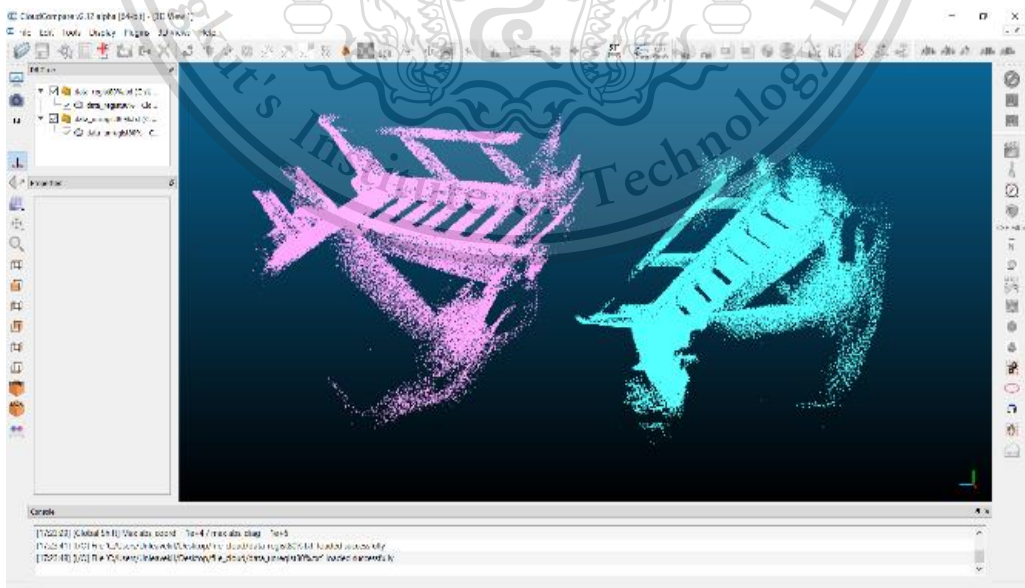
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการดำเนินงานทั้งหมดนี้ จะใช้ข้อมูลจากกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ตามรูปที่ 3.1 เสมอ มาดำเนินการตัด (crop) เพื่อแบ่งส่วนข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data) ของบันได แล้วมาใช้ในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ต่อไป โดยในการครอปตัดนั้น ใช้ซอฟต์แวร์ Spyder เขียนภาษา python โดยในการ ครอปตัด นั้น ให้มองข้อมูลเป็นกล่องซึ่งเป็นทรงสี่เหลี่ยม อันดับแรกคือหาค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดของพิกัด x, y, z ของข้อมูลเพื่อกำหนดขอบเขต (boundary) ของกล่องที่ครอบข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) นั้นอยู่

หลักของการครอปตัด (crop) คือการแบ่งส่วนข้อมูลใน box ตามขนาดหรือขอบเขตที่ต้องการ แล้วดำเนินการวนรูปเก็บค่าข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อาณาการหมุน (rotation) และการเลื่อน (translation) เพื่อให้ได้ซึ่งข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่มีรูปร่างและพิกัดต่างจากเดิมแล้วดำเนินการจัดเก็บข้อมูล

3.2 การดำเนินการอ้างอิงระบบพิกัดโดยวิธี cloud to cloud

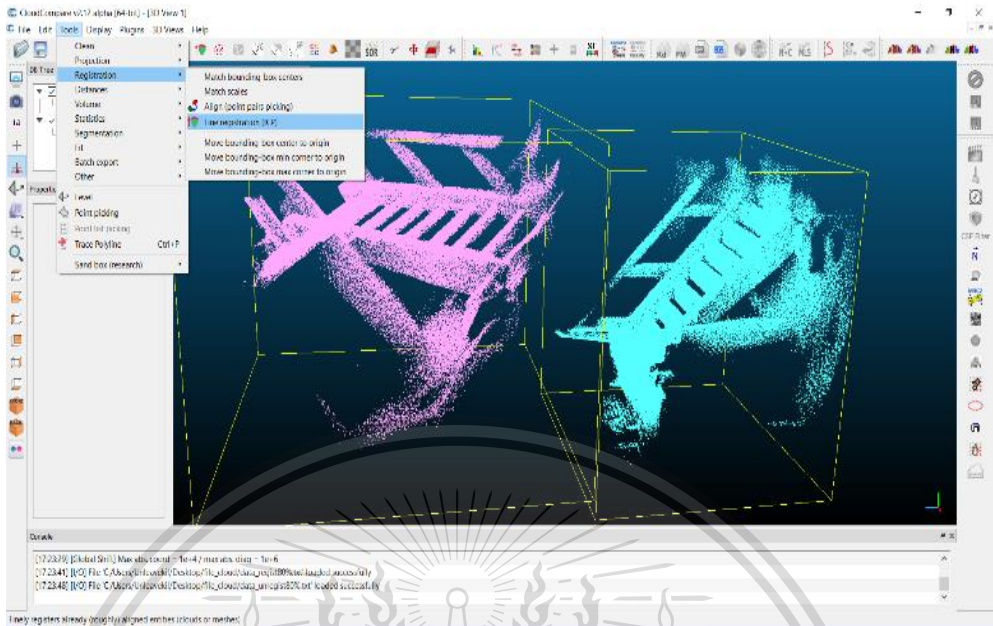
1. เปิดโปรแกรม CloudCompare
 2. เปิดไฟล์ข้อมูลจุดอ้างอิงที่ทำการจัดเตรียมไว้ทั้งสองไฟล์ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล
- เมื่อเปิดไฟล์แล้วจะภาพแสดงดังรูปที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.2 ไฟล์ข้อมูลจุดอ้างอิงสองไฟล์ที่มีการจัดเตรียมข้อมูลแล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

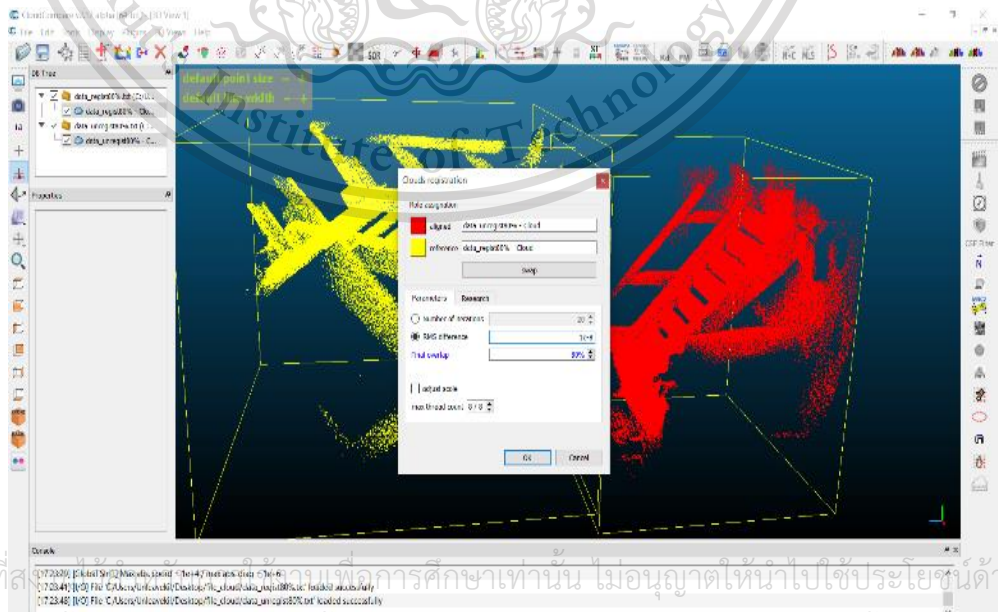
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการอ้างอิงระบบพิกัด 1

1. คลิกเลือกไฟล์ข้อมูลจุดอ้างอิงทั้งสองไฟล์
2. เลือก Tools > Registration > Fine registration (ICP) ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3
3. ตั้งค่าต่างๆบน window ที่แสดงขึ้นมาตามที่แสดงในรูปที่ 3.4 เสร็จแล้วกดปุ่ม OK



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการอ้างอิงระบบพิกัด 2

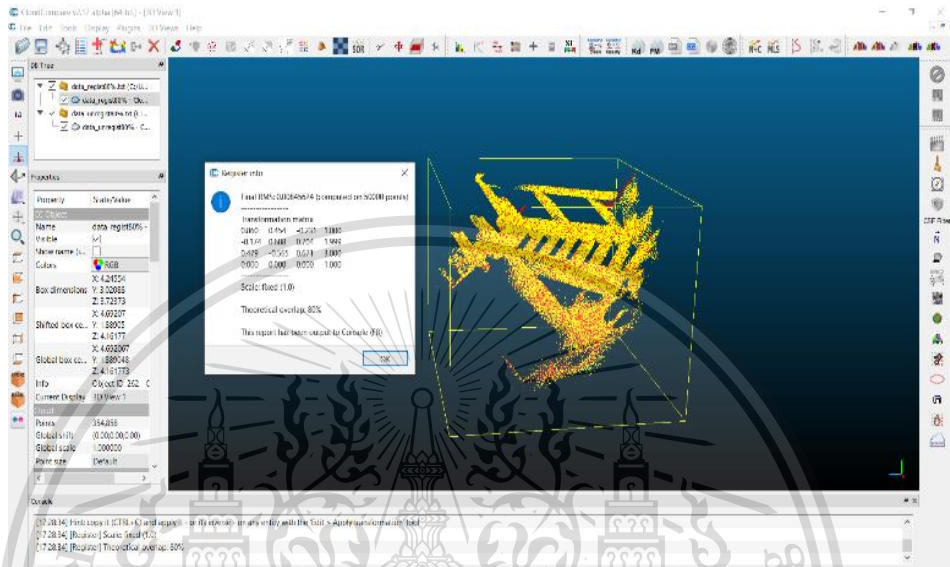
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

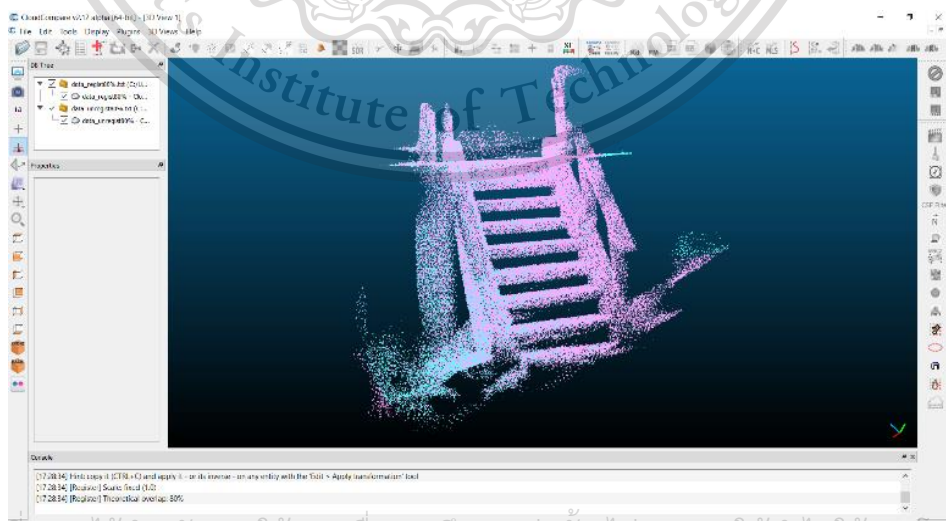
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. เมื่อการอ้างอิงระบบพิกัดเสร็จสิ้น โปรแกรมจะแสดงค่าเมตริกซ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ค่าเมตริกซ์ที่แสดงข้อมูลการอ้างอิงระบบพิกัด

5. เมื่อกดปุ่ม ok ที่ window แสดงผลลัพธ์ จะได้ผลลัพธ์แสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ข้อมูลจุดอ้างอิงที่มีการอ้างอิงระบบพิกัดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้แก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การดำเนินการอ้างอิงระบบพิกัดโดยวิธี Rigid body transformation

ในการอ้างอิงระบบพิกัดโดยวิธี Rigid body transformation จะเป็นการแก้สมการเพื่อหาคำตอบของตัวแปรที่ใช้ในการหมุน (rotation) และค่าการเลื่อน (translation) โดยจะใช้คู่จุดสองคู่ และสมการที่ 2.13 มาแก้สมการหาคำตอบของตัวแปรโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน (The Newton-Raphson Method) ที่ใช้สมการที่ 2.12 เป็นมาตรฐานกำหนดไว้ในขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล

$$R_x^T \times R_y^T \times R_z^T \times \begin{bmatrix} x_B - t_x \\ y_B - t_y \\ z_B - t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_A \quad (2.13)$$

โดยเมื่อกระจายค่าสมการที่ 2.13 จะได้ทั้งหมด 3 สมการ ดังนี้

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z) \quad (3.1)$$

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \sin \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z) \quad (3.2)$$

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z) \quad (3.3)$$

และสามารถจัดให้อยู่รูปวิธีนิวตัน-ราฟสัน (The Newton-Raphson Method)ตามสมการที่ 2.17 ได้ว่า

$$\begin{bmatrix} \omega \\ \phi \\ \kappa \\ t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega \\ \phi \\ \kappa \\ t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}_0 - \begin{bmatrix} \frac{\partial(f(x_0)_1)}{\partial(\omega)} & \frac{\partial(f(x_0)_1)}{\partial(\phi)} & \frac{\partial(f(x_0)_1)}{\partial(\kappa)} & \dots & \frac{\partial(f(x_0)_1)}{\partial(t_z)} \\ \frac{\partial(f(x_0)_2)}{\partial(\omega)} & \frac{\partial(f(x_0)_2)}{\partial(\phi)} & \frac{\partial(f(x_0)_2)}{\partial(\kappa)} & \dots & \frac{\partial(f(x_0)_2)}{\partial(t_z)} \\ \frac{\partial(f(x_0)_3)}{\partial(\omega)} & \frac{\partial(f(x_0)_3)}{\partial(\phi)} & \frac{\partial(f(x_0)_3)}{\partial(\kappa)} & \dots & \frac{\partial(f(x_0)_3)}{\partial(t_z)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial(f(x_0)_6)}{\partial(\omega)} & \frac{\partial(f(x_0)_6)}{\partial(\phi)} & \frac{\partial(f(x_0)_6)}{\partial(\kappa)} & \dots & \frac{\partial(f(x_0)_6)}{\partial(t_z)} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f(x_0)_1 \\ f(x_0)_2 \\ f(x_0)_3 \\ f(x_0)_4 \\ f(x_0)_5 \\ f(x_0)_6 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 24

3.4 การพัฒนาโปรแกรม

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

1. ซอฟต์แวร์ Visual Studio Code ใช้เขียนภาษา python ในการสร้าง box เมื่อกำหนดขอบเขตของข้อมูล point cloud และ plot ข้อมูลในรูปแบบ 3D
2. ซอฟต์แวร์ Spyder ใช้เขียนภาษา python ในขั้นตอนการตรวจสอบสมการ, สมการ และการดำเนินการหาตัวแปรด้วย Newton Raphson Method
3. ซอฟต์แวร์ CloudCompare ใช้ในการแสดง ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data) ในรูปแบบ 3D และการเลือกหรือการจิกคู่จุดร่วม (conjugate point)

3.4.2 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการจัดเตรียมข้อมูล

ผลที่ได้จากขั้นตอนนี้ จะนำไปเป็นข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data) เริ่มต้น ทั้งในการดำเนินการของวิธี rigid body transformation และวิธี cloud-to-cloud

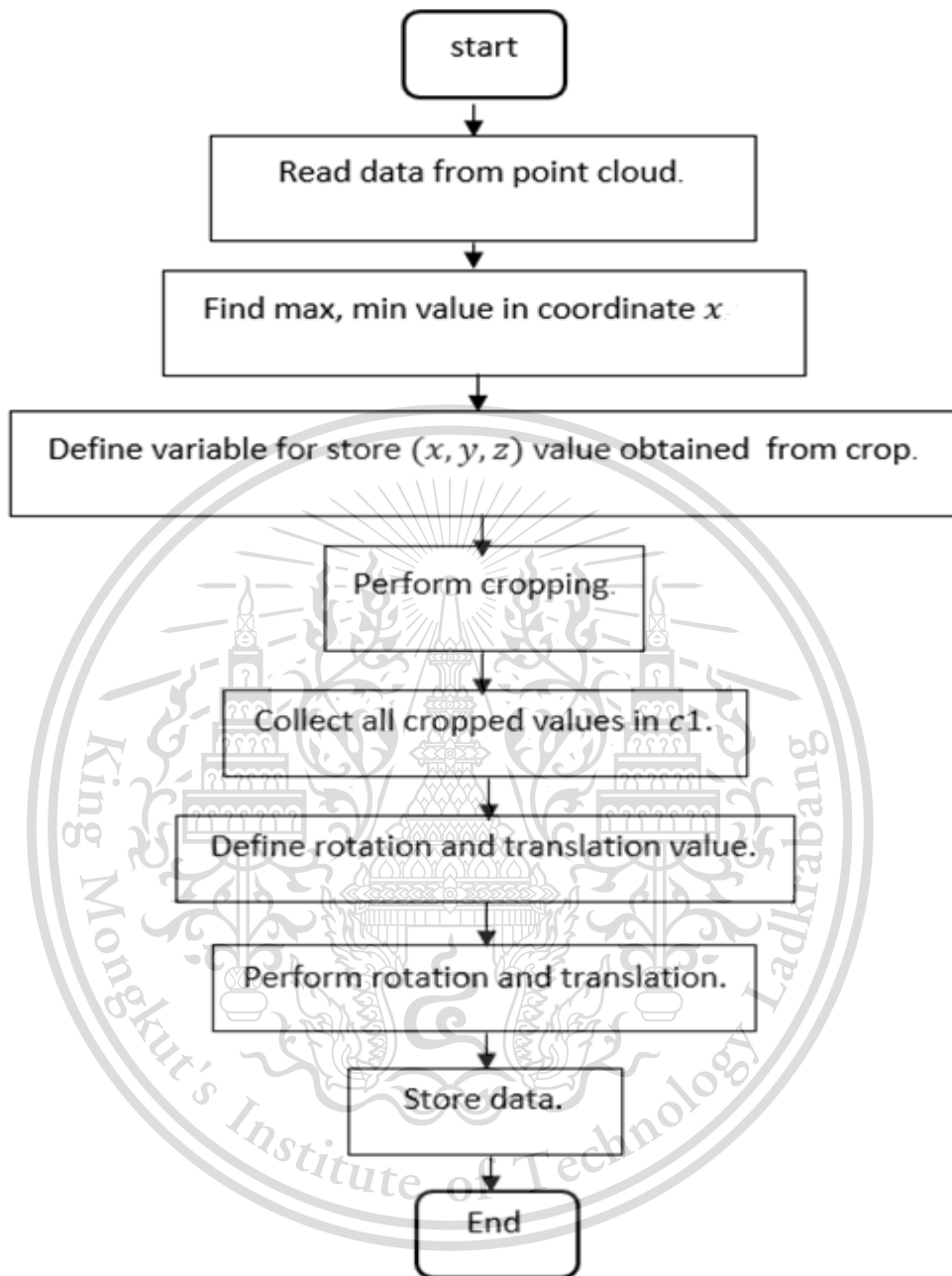
ในการดำเนินการของอัลกอริทึมในส่วนนี้ จะเรียกไลบรารี numpy และ plyfile ในการเรียกใช้งาน โดยมีกระบวนการดำเนินการดังรูปที่ 3.7 เป็นภาพแสดง flowchart ของการดำเนินการของโปรแกรมสำหรับจัดเตรียมข้อมูล โดยการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มจาก

1. Read data from point cloud คือ การอ่านค่าข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลจุดอ้างอิงจากต้นแบบที่แสดงในรูปที่ 3.1
2. Find max, min value in coordinate (x) คือ การหาค่าขอบเขตของข้อมูล ในที่นี้ใช้เพียงพิกัดในแนวแกน x แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณไปกำหนดค่าขอบเขต (boundary) ซึ่งต้องให้ค่าขอบเขตของข้อมูลที่มีการทับซ้อนกัน นำไปใช้ในการครอบตัด
3. Define variable for store (x, y, z) value obtained from crop คือ กำหนดตัวแปรสำหรับการจัดเก็บค่าพิกัด (x, y, z) ที่ได้จากการครอบตัด
4. Perform cropping คือ การดำเนินการครอบตัดโดยวนลูปเก็บค่าพิกัด (x, y, z) ที่อยู่ในขอบเขต (boundary) ที่ได้คำนวณไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 แสดงผังการดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data)

5. Collect all cropped values in c1 คือ เปลี่ยนประเภทของตัวแปรจากข้อ3. ให้เก็บค่าเป็น array แล้วรวบรวมค่าที่ได้ จากการครอบตัดทั้งหมดไว้ในตัวแปรหนึ่ง จากรูปที่3.7 เป็นตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าแปรชื่อ c1 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

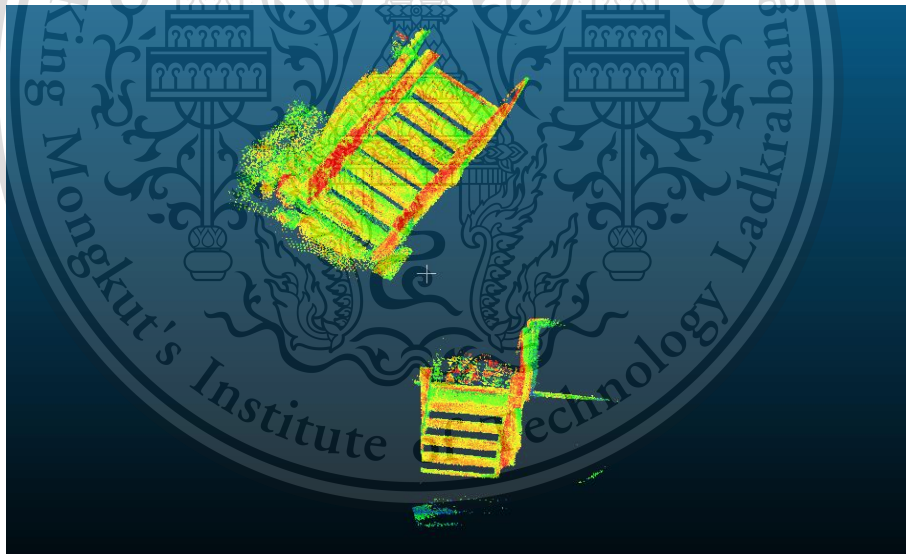
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. Defind rotation and translation value คือ การกำหนดค่ามุมการหมุน (rotation) และค่าการเลื่อน (translation) แล้วดำเนินการ registration ข้อมูลจุดอ้างอิง1 ที่ถูกรอปิด ส่วนข้อมูลจุดอ้างอิง2 ที่ถูกรอปิดจะกำหนดค่ามุมการหมุน (rotation) และค่าการเลื่อน (translation) เท่ากับ 0

7. Perform rotation and translation คือการนำข้อมูลจุดอ้างอิงที่ถูกรอปิด ไป registration โดยใช้ค่ามุมการหมุน (rotation) และค่าการเลื่อน (translation) ที่กำหนดในข้อ6.

8. Store data คือ จัดเก็บข้อมูลที่ได้ เป็นไฟล์ใหม่ โดยโปรแกรมนี้จะบันทึกเป็นไฟล์สกุล .txt

เมื่อทำการเตรียมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะได้ข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยชุดที่1 คือ ข้อมูลที่มีค่าพิกัดคงเดิมจากภาพที่ 3.1จะเรียกข้อมูลชุดนี้ว่า A และข้อมูลชุดที่ 2 คือข้อมูลที่เป็นชุดค่าพิกัดใหม่ จะเรียกข้อมูลชุดนี้ว่า B ทำให้ข้อมูลจุดอ้างอิงแยกจากกันดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงข้อมูลกลุ่มอ้างอิงจุดที่มีการครอบและเปลี่ยนตำแหน่ง

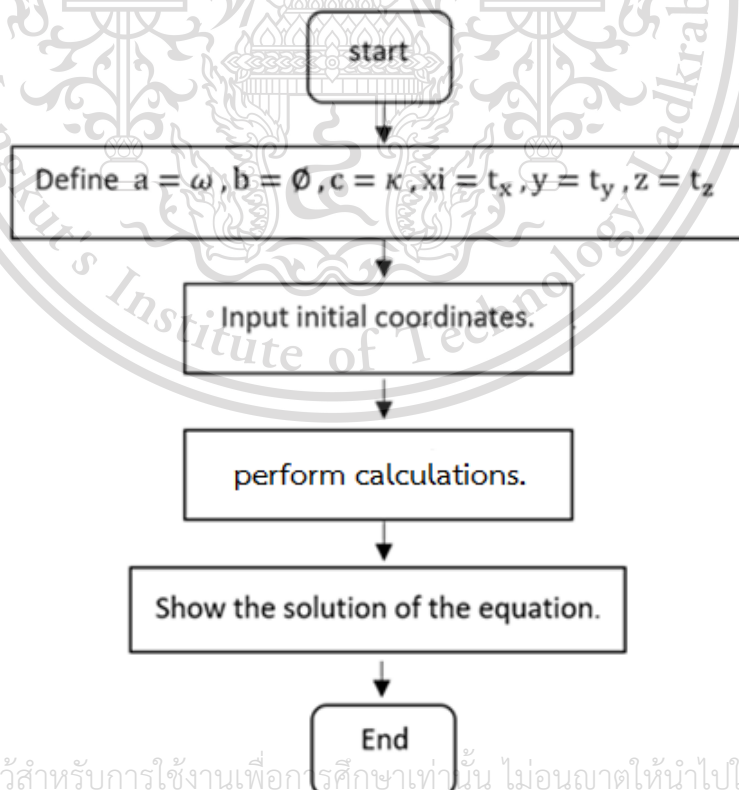
3.4.3 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการหาจุดร่วม (conjugate point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ในการดำเนินการของอัลกอริทึมในส่วนนี้ จะเรียกใช้ไลบรารี numpy อย่างเดียวเพื่อ
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม การดำเนินการหาจุดจากจุดที่เลือกมา จากการเตรียมข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) 2 ชุด เลือก
จุด 2 จุดบนข้อมูลเริ่มต้น เป็นจุด A1 และ A2 จากข้อมูลที่ได้ดำเนินการการหมุน (rotation) และ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

การเลื่อน (translation) เท่ากับ 0 จากนั้น จากนั้นนำค่าพิกัด A1, A2, ค่ามุม (rotation) และค่าการเลื่อน (translation) ที่กำหนดไว้มาคำนวณด้วยสมการที่กำหนดไว้ จะได้ค่าพิกัด B1 และ B2 ซึ่งเป็นจุดร่วม หรือ (conjugate point) ซึ่งจากรูปที่ 3.9 สามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

1. Define variable คือ การกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร เป็นค่าที่ใช้ในการ registration ตอนเตรียมข้อมูล โดยที่ a, b, c เป็นค่ามุม ω, ϕ, κ ตามลำดับ และ x_i, y, z เป็นค่า t_x, t_y, t_z ตามลำดับ
2. Input 2 initial coordinates คือ ใส่ค่า A1 และ A2 เป็นค่าพิกัดของข้อมูลเริ่มต้นในการแก้คำตอบ
3. Perform calculation คือ การคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันจากสมการ Newton Raphson
4. Show the solution of the equation คือ การแสดงคำตอบของสมการ ซึ่งจะได้ค่า B1 และ B2 ที่เป็นคู่จุดของ A1 และ A2



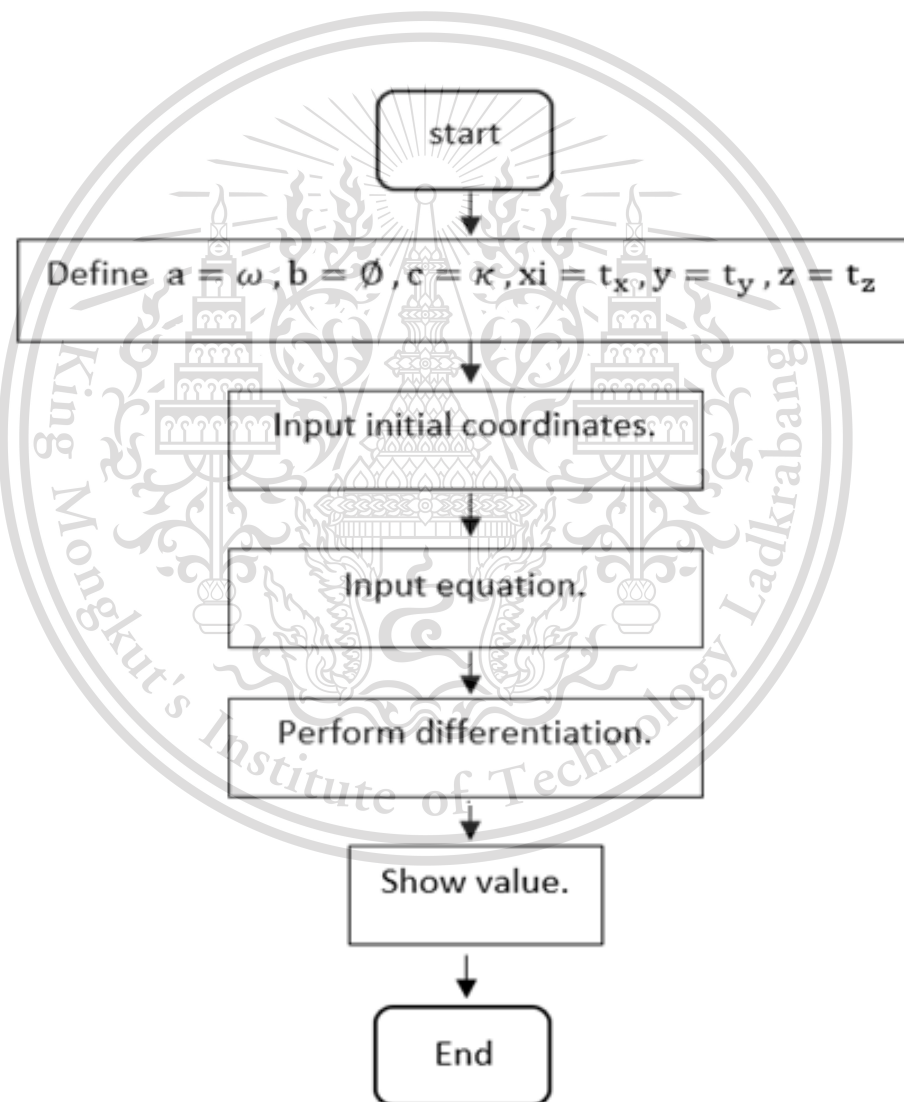
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดง Flow chart แสดงการหาจุดร่วม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

3.4.4 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการคำนวณอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการ

การหาค่าตัวแปรโดยใช้ Newton Raphson Method นั้น ต้องดำเนินการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการหรือค่าจาโคเบียนเมตริกซ์ (jacobian matrix) โดยสามารถหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ด้วยการใช้ซอฟต์แวร์ Spyder เขียนภาษา python ใช้ไลบรารี numpy และ sympy จากนั้นดำเนินการเขียนโปรแกรมสำหรับทำเมตริกซ์ของจาโคเบียน (Jacobian Matrix) เพื่อกำหนดฟังก์ชันจากสมการ Newton Raphson 6 สมการ โดยจะเรียกใช้ library numpy และ sympy ซึ่ง



รูปที่ 3.10 แสดงการดำเนินการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 3.10 สามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

1. Define variable คือ การกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร เป็นค่าที่ใช้ในการ registration ตอนเตรียมข้อมูล โดยที่ a, b, c เป็นค่ามุม ω, ϕ, κ ตามลำดับ และ x_i, y, z เป็นค่า t_x, t_y, t_z ตามลำดับ
2. Input 2 initial coordinates คือ ใส่ค่า คู่จุด A1, B1 และ A2, B2 เป็นค่าพิกัดของข้อมูลเริ่มต้น ในการแก้คำตอบ
3. Input equations คือการนำสมการ rigid body transformation ที่จัดรูปแบบตามวิธี Newton Raphson ใส่ลงไปสำหรับการดำเนินการคำนวณ โดยใช้ตัวแปรตามที่ระบุไว้ใน ข้อที่ 1.
4. Perform differentiation คือ หาค่าอนุพันธ์ (Derivative) โดยใช้คำสั่ง .jacobian()
5. Shown value คือ การแสดงผลคำตอบ โดยจะแสดงค่าเป็นเมตริกซ์สมการ 6 แถว 6 คอลัมน์

3.4.5 การพัฒนาโปรแกรมในส่วนการการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)

การเขียน code (programming) เพื่อหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการหมุน (rotation) และการเลื่อน (translation) โดยใช้ Newton Raphson Method นั้น ขั้นตอนแรกคือการกำหนดค่าเริ่มต้น (initial value) ของตัวแปร $\omega, \phi, \kappa, t_x, t_y, t_z$ จากนั้นกำหนดฟังก์ชันของสมการ Newton Raphson และฟังก์ชันของสมการที่ได้มีการ differentiation กำหนดตัวแปรในการจัดเก็บค่าดำเนินการวนลูปหาค่าที่ถูกต้องของตัวแปรตามวิธีการของ Newton Raphson Method โดยเรียกใช้ไลบรารี numpy และ matplotlib จากรูปที่ 3.11 สามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

1. Input point and conjugate point คือ ใส่ค่า คู่จุด A1, B1 และ A2, B2 เป็นค่าพิกัดของข้อมูลเริ่มต้น ในการแก้คำตอบ
2. Define variables คือ การกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร ($\omega, \phi, \kappa, t_x, t_y, t_z$) ที่ต้องการหาค่า หรือใช้คำสั่งสุ่มค่าเริ่มต้นจากโปรแกรม
3. Find $F(x) = 0$ คือ การจัดสมการ rigid body transformation ทั้ง 6 สมการ สำหรับการหาค่าตัวแปร โดยใช้การจัดรูปใหม่ ให้เป็น $F(x) = 0$ โดยอยู่ในรูป เมตริกซ์ 6 แถว 1 คอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 30

4. find $\frac{f(x_0)}{\frac{d(f(x_0))}{d(x_0)}} = \Delta$ คือ การนำผลสมการอนุพันธ์จากข้อ3.4.3 มาจัดเป็น

เมตริกซ์สมการ 6 แถว 6 โดยจะใช้สัญลักษณ์แทนพจน์นี้ด้วยตัว Δ

5. find $x_{new} = x - \Delta$ คือ การหาค่าคำตอบของสมการโดยวิธีNewton Raphson

6. save x_{new} each iterative as xnew คือ การจัดเก็บค่า x_{new} ที่ได้ในแต่ละรูปเพื่อนำไปหาค่าแนวโน้มคำตอบ

7. stop criteria คือ การกำหนดเงื่อนไขให้รูปหยุดทำงาน โดยจะหยุดคำนวณเมื่อค่าการเปลี่ยนแปลง น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ถ้าไม่ ค่า $x_0 = x_{new}$ และจะต้องกลับไปทำข้อ3. ใหม่อีกครั้งจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุด

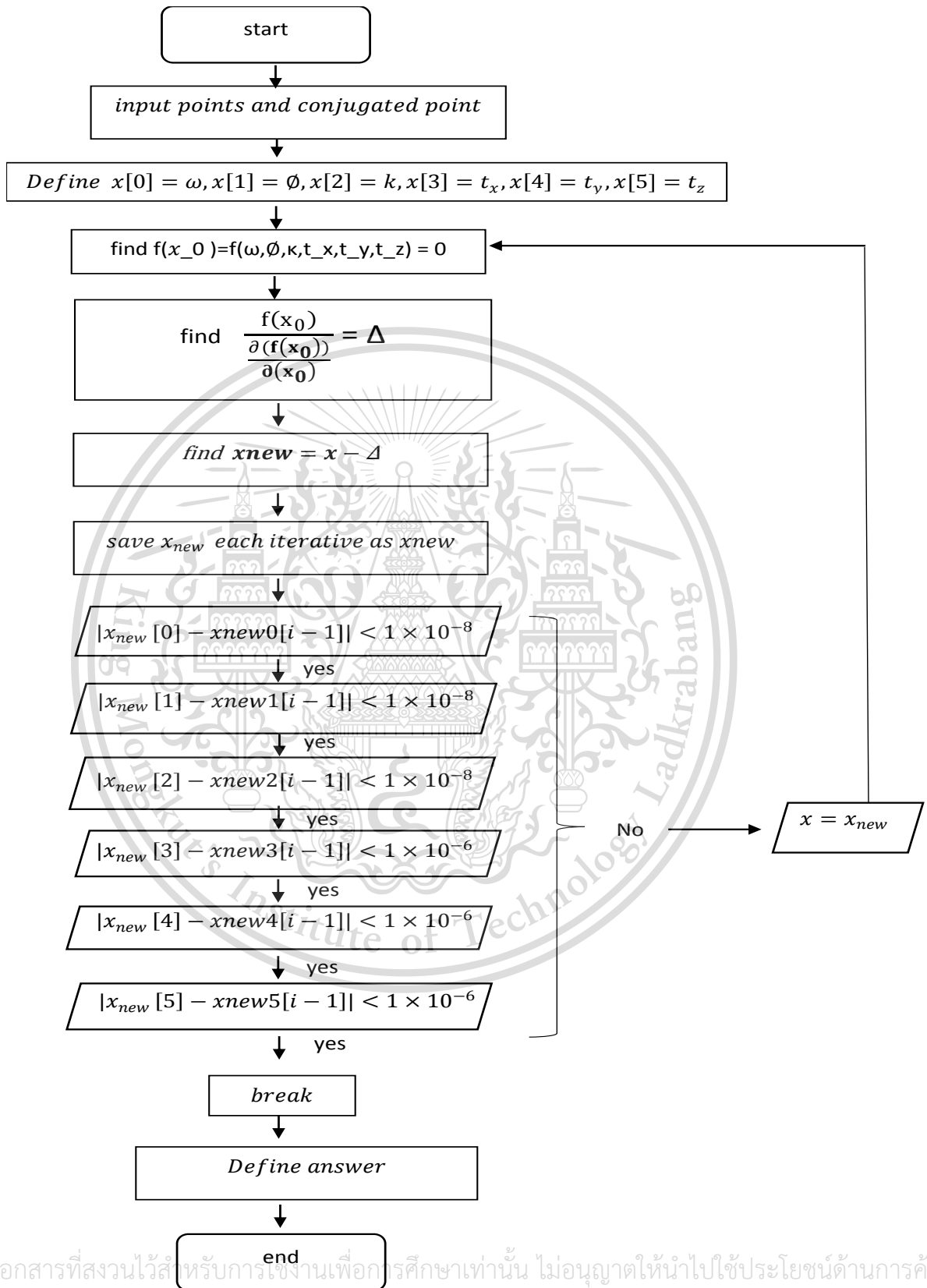
8. define answer คือ การแสดงผลคำตอบ โดยประกอบไปด้วยการแสดงผลคำตอบของตัวแปร, ค่าเริ่มต้น, จำนวนรูป, ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่จุดเริ่มต้นจากข้อมูล A และ B, ผลคำนวณหา ค่าผิดพลาดของตัวแปรที่ได้กับค่าที่ถูกต้องหรือค่ามุมการหมุน (rotation) และค่าการเลื่อน (translation) ที่กำหนดในข้อ3.4.2, กราฟค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ, กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงของคำตอบ, ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data)

โดยตัวโปรแกรมที่พัฒนาจะมีการตรวจสอบผลที่ได้จากข้อ3.4.5 เทียบกับคำตอบที่ได้กำหนดไว้ข้อ3.4.2 ข้อที่7. ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานในการตรวจสอบ และมีการคำนวณโดยใช้เครื่องคิดเลขหาผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่จุดเริ่มต้นจากข้อมูล A และ B เพื่อตรวจสอบว่าผลที่ได้จากโปรแกรมมีความน่าเชื่อถือหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 ผังแสดงการดำเนินการหาค่าตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) โดยวิธี cloud to cloud

ในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud กระบวนการในการทำงานจะเริ่มจากการนำข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) มาทำการตัดจะทำให้ได้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) สองข้อมูลโดยให้ข้อมูลแรกมีชื่อเรียกว่า data_regist และข้อมูลชุดที่สองมีชื่อเรียกว่า data_unregist ต่อมาทำการหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ข้อมูล data_regist ซึ่งมีค่าดังในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ผลค่าตอบที่ใช้ในการสร้างข้อมูลของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud

ω (rad)	θ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0

โดยทำการตัดให้มีค่าการซ้อนทับ (overlap) ทุกๆ 10% โดยเริ่มจากการตัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ให้มีค่าการซ้อนทับ 10% จนถึงค่าการซ้อนทับที่ 90% มีผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูล
กลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (Overlapping) 10%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 10% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 10%

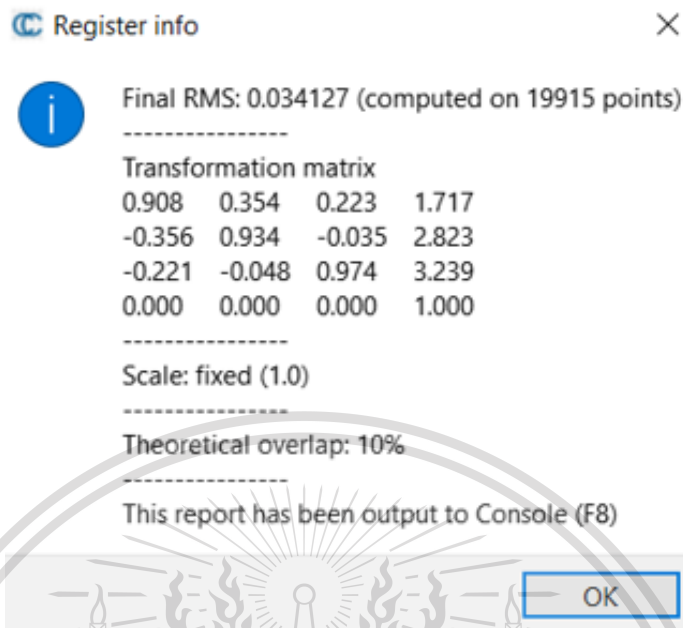
ตัวแปร	ω (rad)	ϕ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.049	-0.223	0.374	1.717	2.823	3.239
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	93.000	144.600	87.000	71.700	41.150	7.970

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม Cloud Compare ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.2

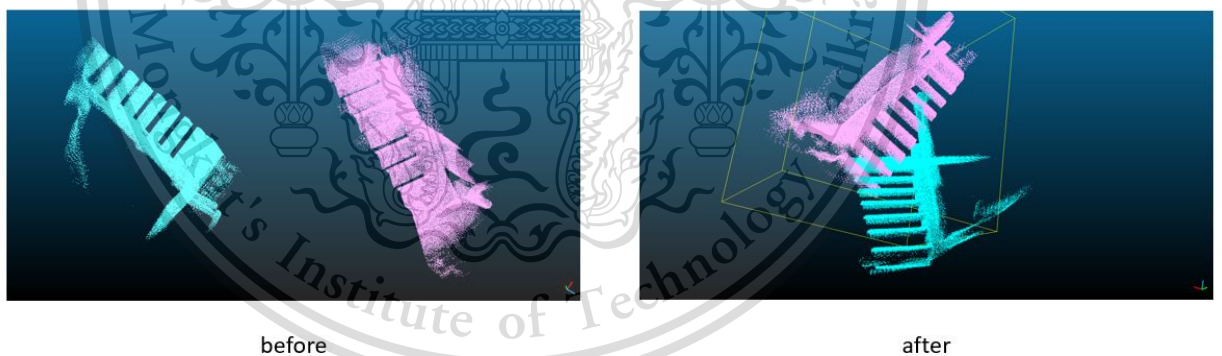
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 10%



รูปที่ 4.2 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูล
กลุ่มจุดสามมิติ (point Cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%

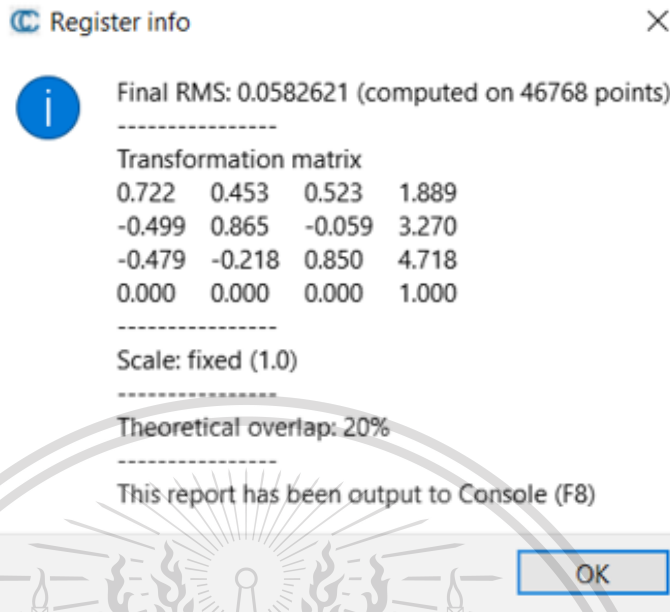
ตัวแปร	ω (rad)	ϕ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.251	-0.499	0.605	1.889	3.270	4.718
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	64.143	199.800	202.500	88.900	63.500	57.267

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.4

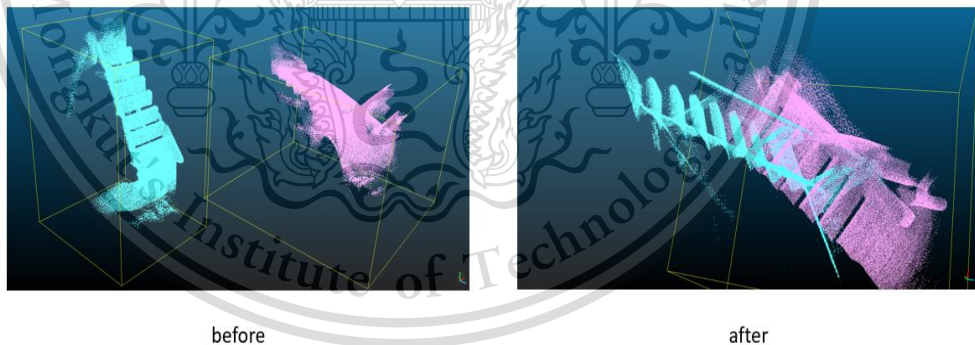
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%



รูปที่ 4.4 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method, ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.3 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (Overlapping) 30%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 30% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 30%

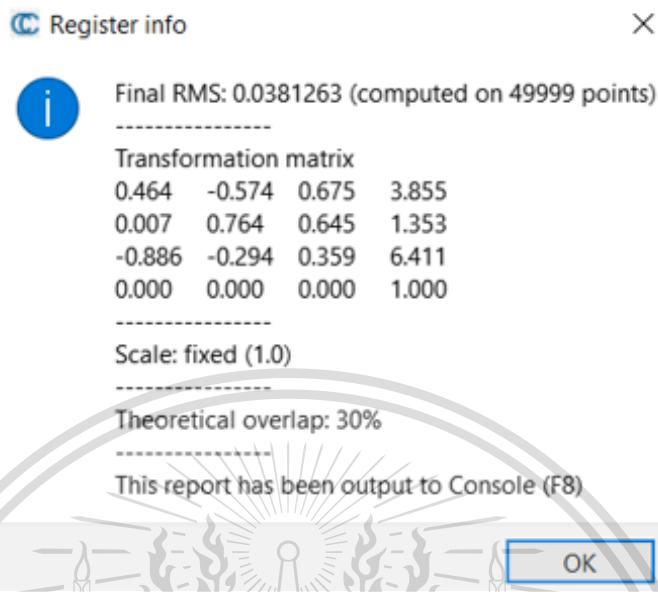
ตัวแปร	ω (rad)	ϕ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.687	-1.089	-0.015	3.855	1.353	6.411
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	1.857	317.800	107.500	285.500	32.350	113.700

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 30%



รูปที่ 4.6 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.4 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%

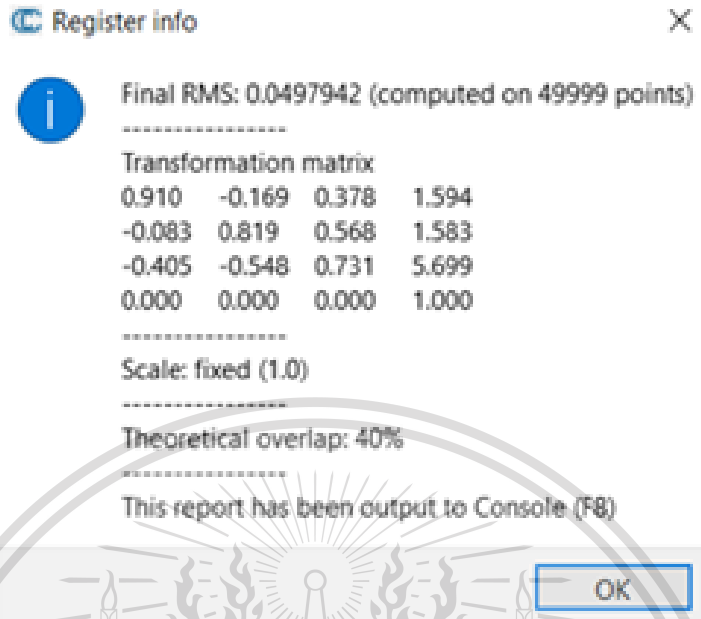
ตัวแปร	ω (rad)	ϕ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.643	-0.417	0.091	1.594	1.583	5.699
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	8.143	183.400	54.500	59.400	20.850	89.967

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%



รูปที่ 4.8 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.5 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของคู่ข้อมูล
กลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%

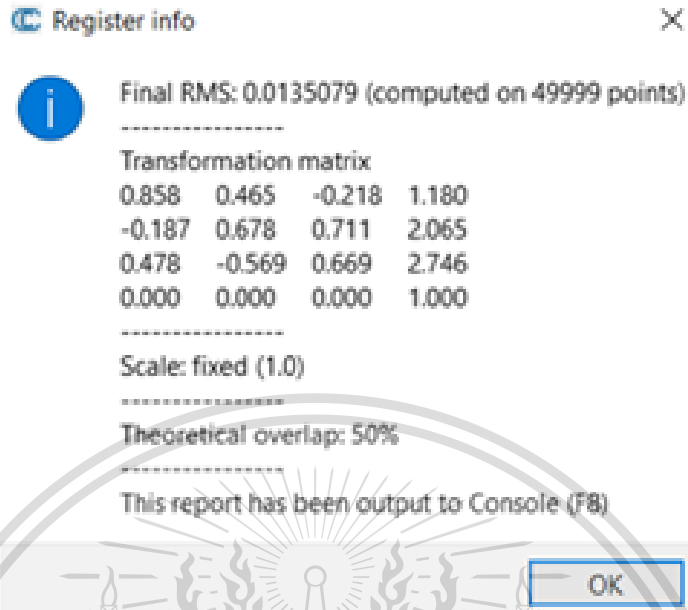
ตัวแปร	ω (rad)	ϕ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.705	0.498	0.214	1.180	2.065	2.746
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	0.714	0.400	7.000	18.000	3.250	8.467

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%



รูปที่ 4.10 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.6 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.7

ตาราง 4.7 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%

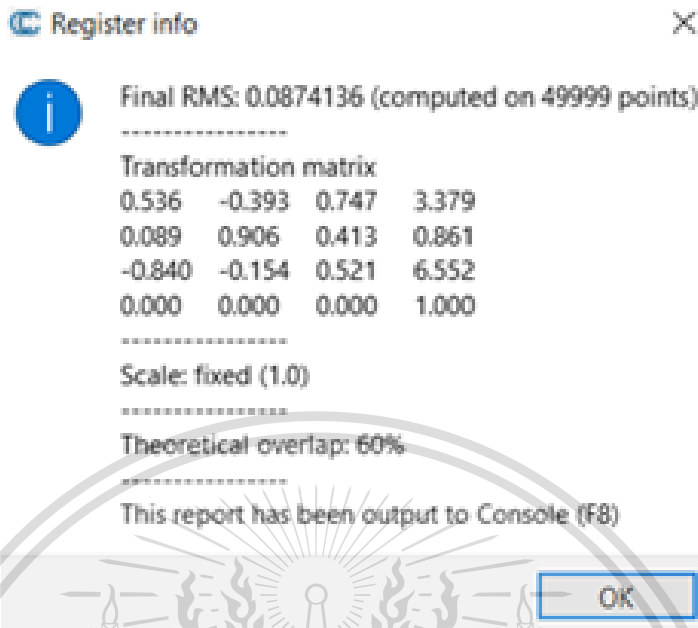
ตัวแปร	ω (rad)	ϕ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.288	-0.997	-0.165	3.379	0.861	6.552
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	58.857	299.400	182.500	237.900	56.950	118.400

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.12

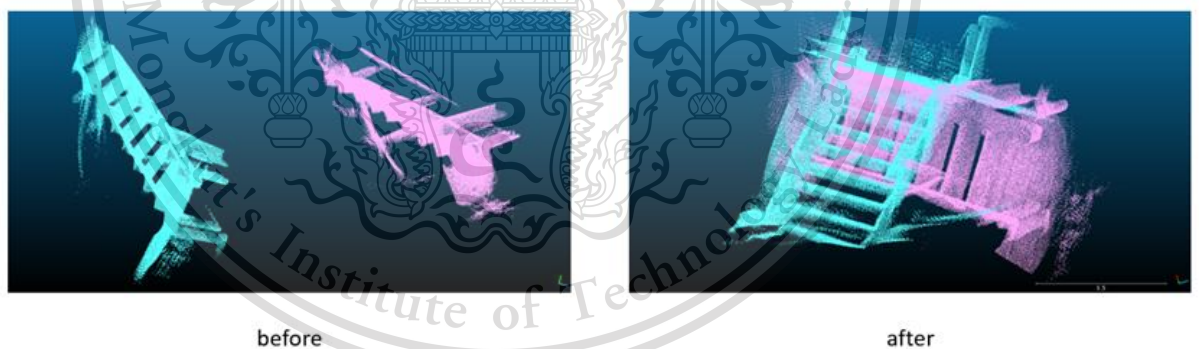
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%



รูปที่ 4.12 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.7 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของข้อมูล
กลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.8

ตาราง 4.8 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) คู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70%

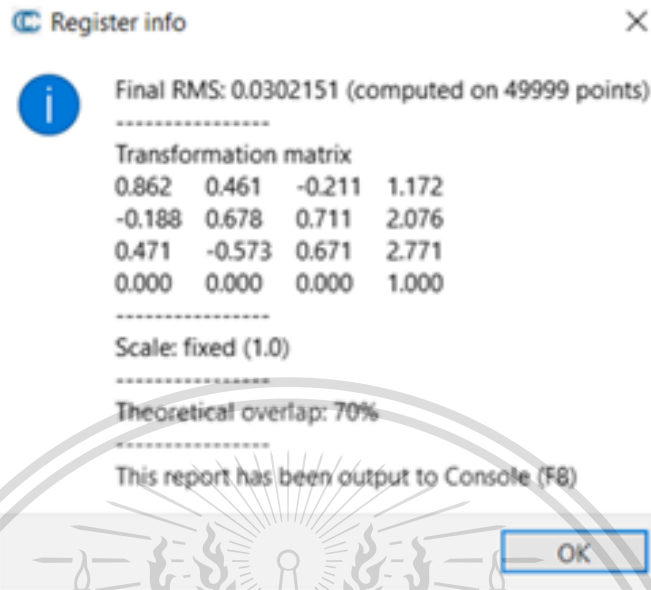
ตัวแปร	ω (rad)	ϕ (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.707	0.490	0.215	1.172	2.076	2.771
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	1.000	2.000	7.500	17.200	3.800	7.633

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.14

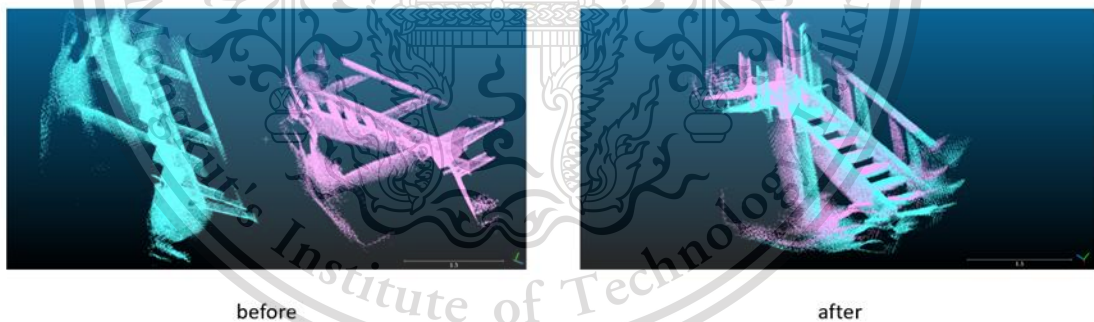
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70%



รูปที่ 4.14 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.8 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.9

ตาราง 4.9 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%

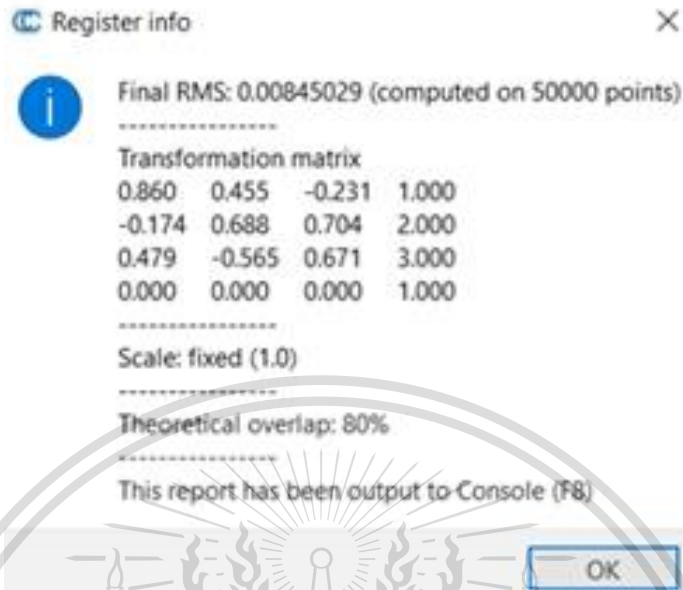
ตัวแปร	ω (rad)	\emptyset (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.700	0.500	0.200	1.000	2.000	3.000
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%



รูปที่ 4.16 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.9 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%

เมื่อทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90% พบว่ามีผลการค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณดังแสดงผลในตาราง 4.10

ตาราง 4.10 แสดงผลคำตอบและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%

ตัวแปร	ω (rad)	\emptyset (rad)	k (rad)	tx (m.)	ty (m.)	tz (m.)
คำตอบ	0.700	0.499	0.203	0.999	1.999	3.002
คำตอบจริง	0.7	0.5	0.2	1.0	2.0	3.0
ความคลาดเคลื่อน (%)	0.000	0.200	1.500	0.100	0.050	0.067

จากการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) มีเมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมและผลอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ดังแสดงในรูปที่ 4.18

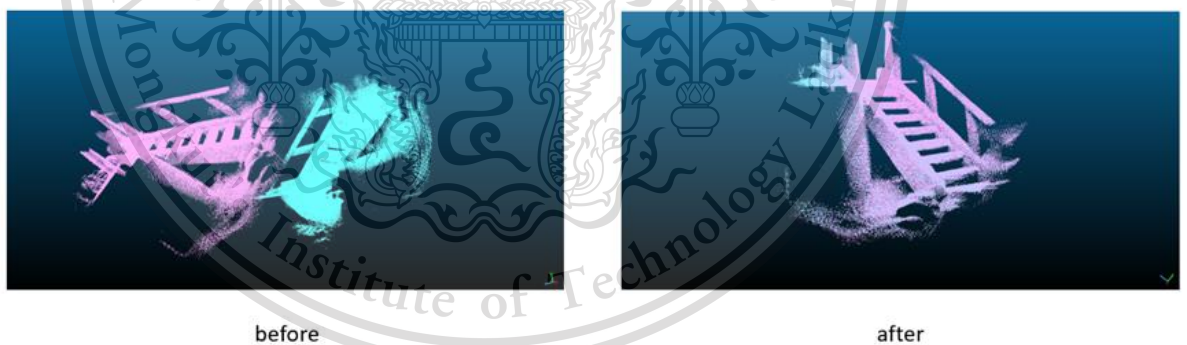
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 เมตริกซ์คำตอบที่ได้จากโปรแกรม CloudCompare ของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%



รูปที่ 4.18 ผลของ point cloud registration by cloud to cloud method ใช้ค่าการซ้อนทับ (overlapping) 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผลการอ้างอิงระบบพิกัดของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ค่าการทับซ้อนต่างๆ มีเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนตามตารางที่ 4.11

ตาราง 4.11 เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนที่เปอร์เซ็นต์การทับซ้อน (overlap) ของต่างๆ ของคู่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) การอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud

การทับซ้อน (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)					
	ω	\emptyset	k	tx	ty	tz
10	93.000	144.600	87.000	71.700	41.150	7.970
20	64.143	199.800	202.500	88.900	63.500	57.267
30	1.857	317.800	107.500	285.500	32.350	113.700
40	8.143	183.400	54.500	59.400	20.850	89.967
50	0.714	0.400	7.000	18.000	3.250	8.467
60	58.857	299.400	182.500	237.900	56.950	118.400
70	1.000	2.000	7.500	17.200	3.800	7.633
80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	0.000	0.200	1.500	0.100	0.050	0.067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตาราง 4.11 พบว่ายิ่งข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) มีค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับน้อยจะยิ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากและจะน้อยลงเรื่อยๆ จนถึงที่ค่าเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับที่ 80% แต่ที่ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การทับซ้อนที่ 90% กลับพบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเพิ่มสูงขึ้นมาจาก 80% สรุปได้คือที่เปอร์เซ็นต์การซ้อนทับที่ 80% ให้ผลการอ้างอิงระบบพิกัดได้ดีที่สุดซึ่งไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย

4.2 ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยวิธี Rigid body transformation

ในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) กระบวนการทำงานจะเริ่มจากการนำ point cloud มาทำการตัดให้มีค่าการซ้อนทับ (overlapping) 80% จะทำให้ได้ point cloud สองข้อมูลโดยให้ point cloud ข้อมูลแรกมีชื่อเรียกว่า data_regist และข้อมูลชุดที่สองมีชื่อเรียกว่า data_unregist ต่อมาทำการหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ข้อมูล data_regist มีค่าดังในตาราง 4.12 และกำหนดจุดที่จิ้มไว้ในข้อมูล data_unregist เรียกว่า จุด B1 กำหนดจุดที่จิ้มไว้ในข้อมูล data_regist เรียกว่าจุด A1

ตาราง 4.12 ผลค่าตอบจริงที่ใช้ในการสร้างข้อมูลของวิธี Rigid body transformation

ω (rad)	θ (rad)	k (rad)	t_x (m.)	t_y (m.)	t_z (m.)
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

เมื่อทำการเตรียมข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ทั้งสองข้อมูลเสร็จแล้ว ก็จะทำ การอ้างอิงระบบพิกัดวิธี Rigid body transformation ใช้ค่าเริ่มต้น (initial value) คือค่าที่มีค่าเท่ากับค่าตอบและค่าที่ได้จากการสุ่ม (random) จากโปรแกรมดังตาราง 4.13 และตาราง 4.14

ต่อมาเมื่อได้ทำการใส่ข้อมูลค่าเริ่มต้น (initial value) ในสมการ Newton Raphson แล้วจะทำให้ได้ชุดค่าคำตอบของการหมุน (rotation) การเลื่อน (translation) และจำนวนรอบ (loop) เมื่อนำมาเทียบกับค่าคำตอบจริงจากในตาราง 4.12 สามารถหาค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนได้

ตาราง 4.13 แสดงค่าเริ่มต้น (initial value) ของการหมุน (rotation) ในกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี rigid body transformation

ข้อมูลชุดที่	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
1	0.01	0.01	0.01
2	0.5730738	0.0511494	0.1143397
3	0.3692872	0.0113886	0.2362947
4	0.6108195	-0.6559688	0.5890702
5	0.2061123	0.0484935	0.3408111
6	0.4354713	0.5964492	0.9022016
7	0.0834154	0.3488420	0.1811480
8	0.5455140	0.8275863	0.8310186
9	0.2195217	0.6378899	0.6095728
10	0.4446885	0.6644950	0.9689003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 4.14 แสดงค่าเริ่มต้น (initial value) ของการเลื่อน (translation) ในกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี rigid body transformation

ข้อมูลชุดที่	t_x (m.)	t_y (m.)	t_z (m.)
1	0.01	0.01	0.01
2	0.8212062	0.2803943	0.7568972
3	0.3637596	0.4800016	0.7281749
4	0.4574380	-0.1749612	0.9359918
5	0.6728639	0.9751524	0.6633814
6	0.9201013	0.8528849	0.928211
7	0.7676758	0.6587663	0.5406267
8	0.1279438	0.6114864	0.7943540
9	0.1145356	0.7909420	0.9426443
10	0.8559289	0.6148361	0.9771653

กำหนดให้หมุน (rotation) มีค่าคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) คือ 10^{-8} และการเลื่อน (translation) มีค่าคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) คือ 10^{-6}

ข้อมูลชุดที่ 1 มีจำนวนลูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 1 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.15 และตาราง 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 4.15 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.01	0.01	0.01
คำตอบ	0.0100000	0.0099999	0.0100000
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	0.0001	0.0001	0.0003

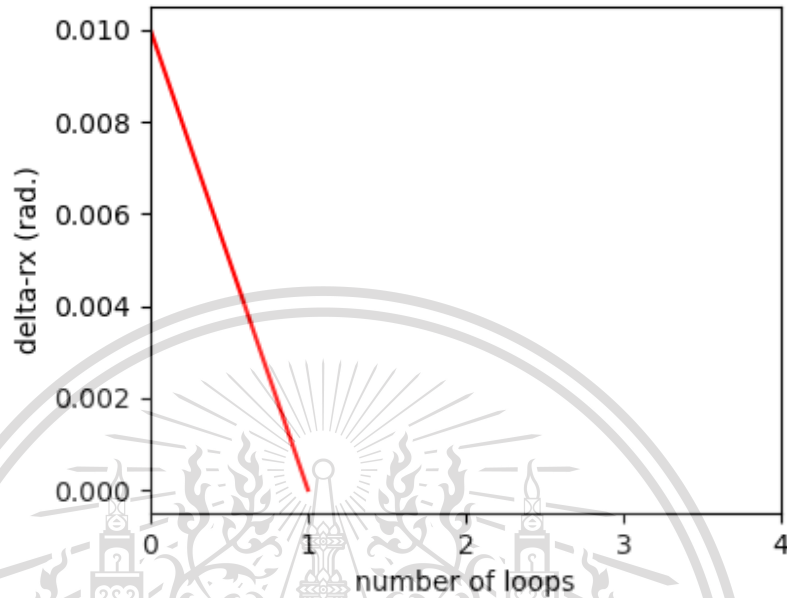
ตาราง 4.16 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.01	0.01	0.01
คำตอบ	0.0099999	0.0100000	0.0100000
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	0.0003	0.0009	0.0007

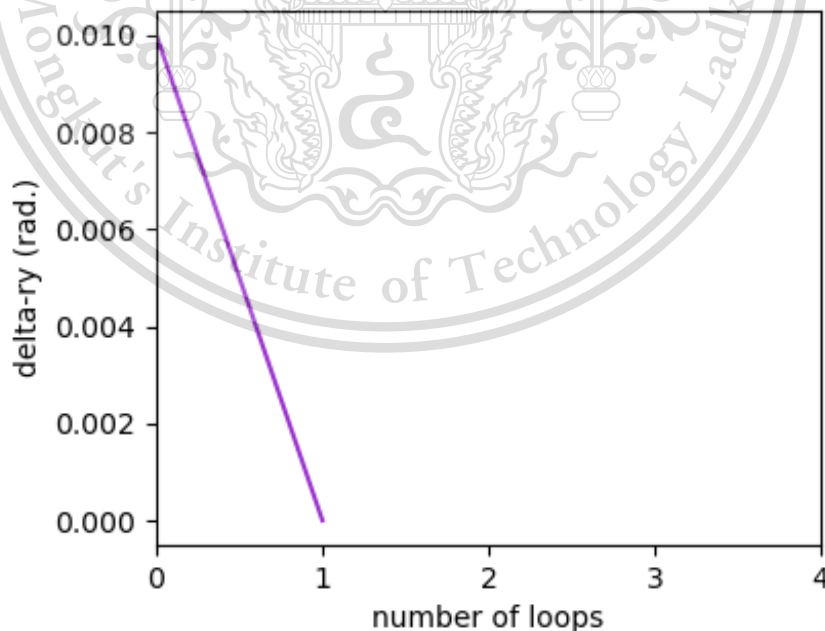
จากข้อมูลตามตาราง 4.15 และตาราง 4.16 เมื่อนำค่าคำตอบลบด้วยค่าคำตอบของรูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละรูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิง

ระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนรูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.19 - 4.24

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



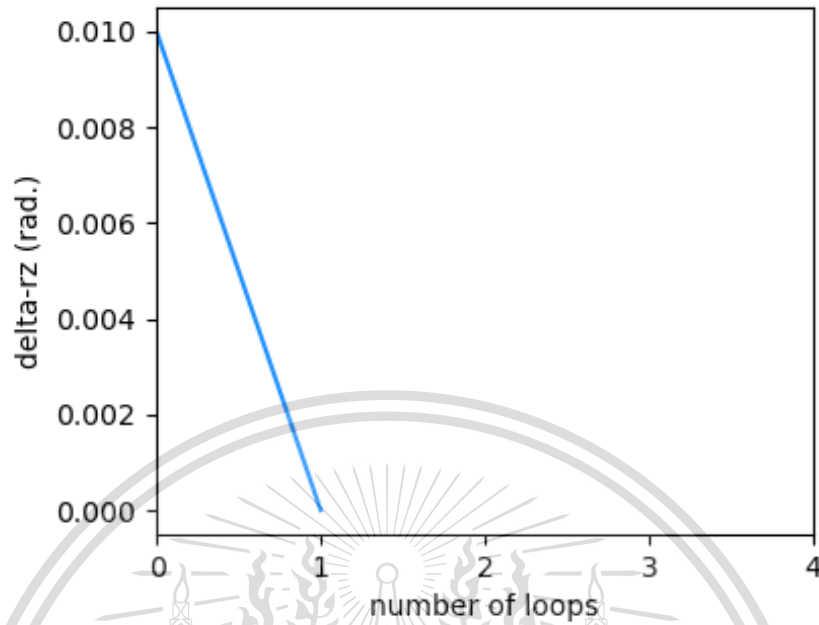
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.15



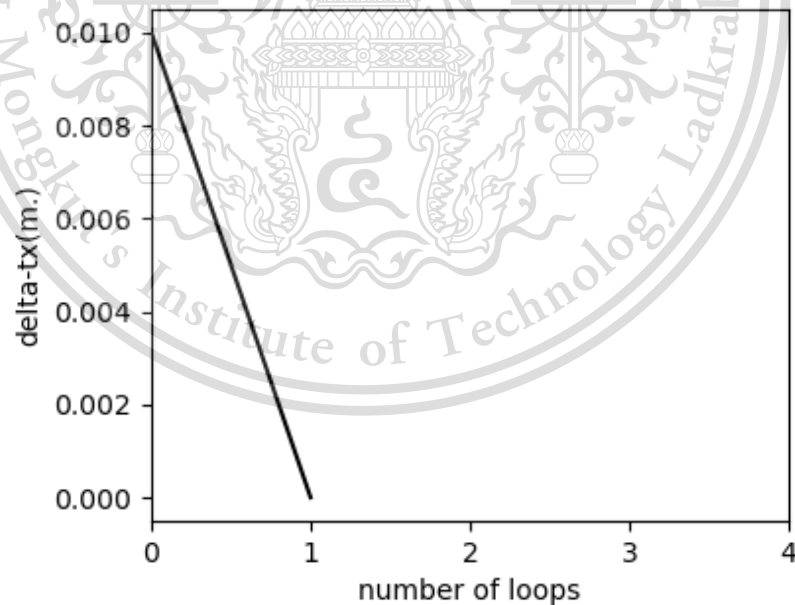
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.15 ยืนยันด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.15

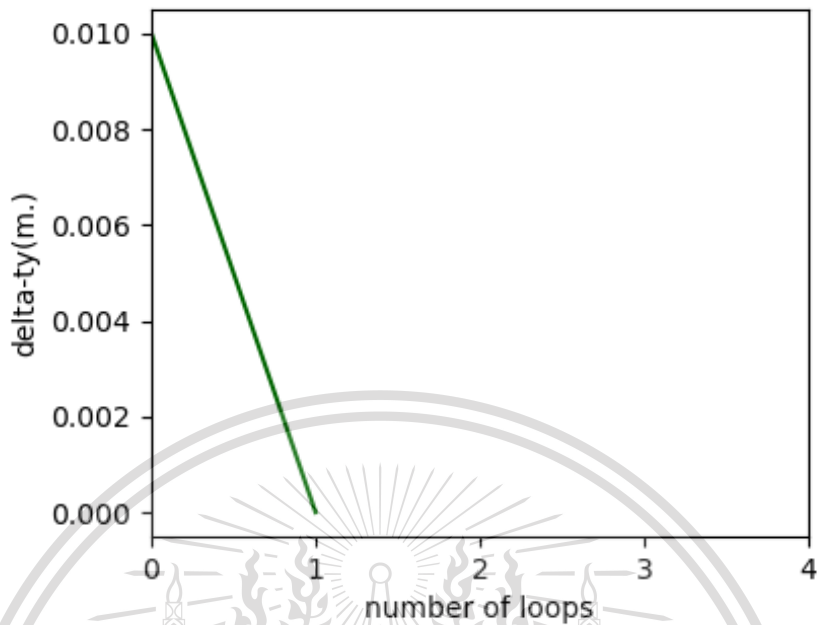


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.16

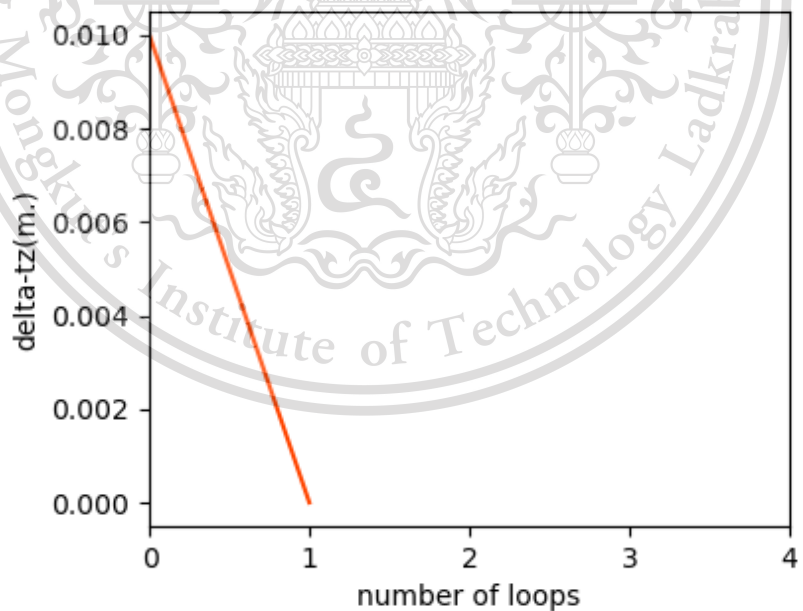
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.16



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

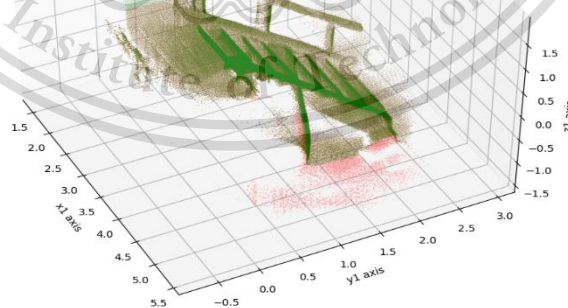
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมานำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.15 และตาราง 4.16 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.17 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.25

ตาราง 4.17 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.25 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลชุดที่ 2 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 4 รูป โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.18 และตาราง 4.19

ตาราง 4.18 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.5730738	0.0511494	0.1143397
คำตอบ	0.0549746	-0.0513973	0.0893399
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	449.7461	613.9738	793.3996

ตาราง 4.19 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 1

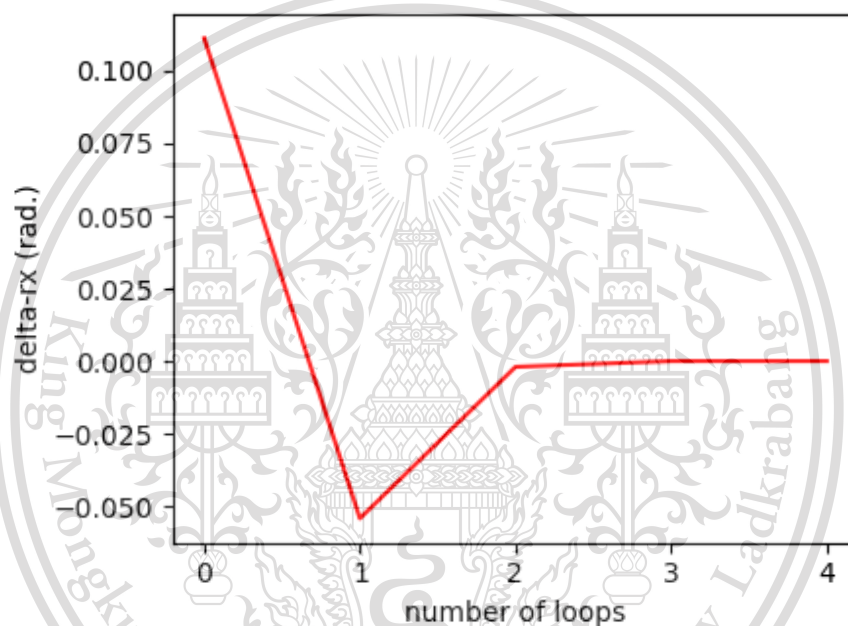
ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.8212062	0.2803943	0.7568972
คำตอบ	-0.0769977	0.2818196	0.2769416
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	869.977	2718.1965	2669.416

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากข้อมูลตามตาราง 4.18 และตาราง 4.19 เมื่อนำค่าคำตอบบลด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.26 - 4.31

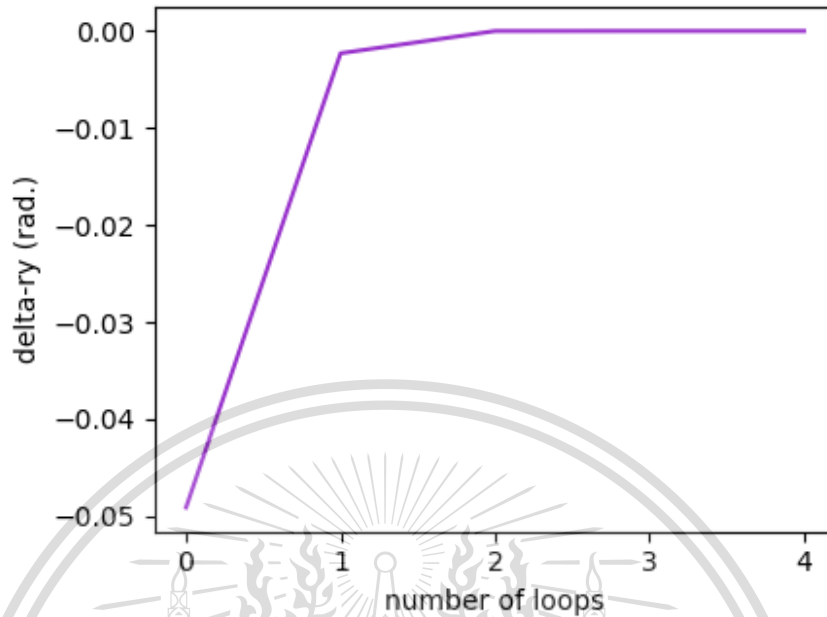


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18

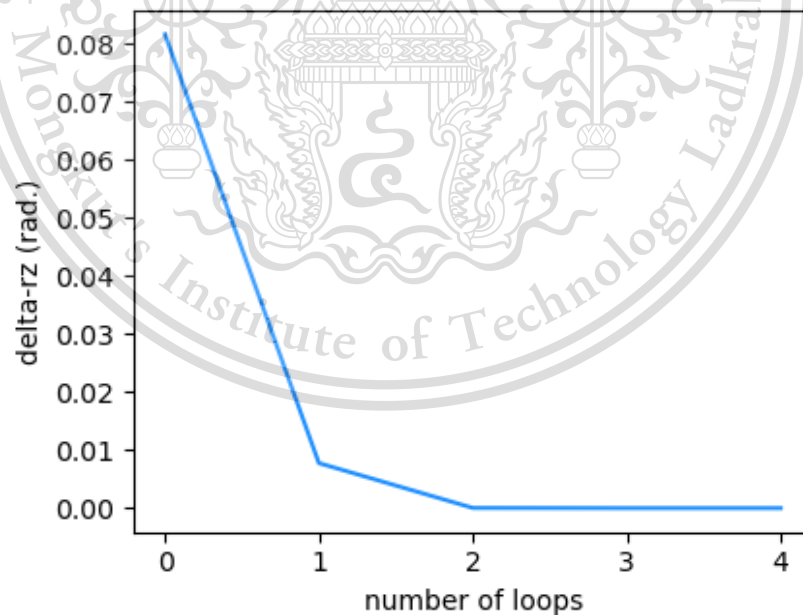
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18

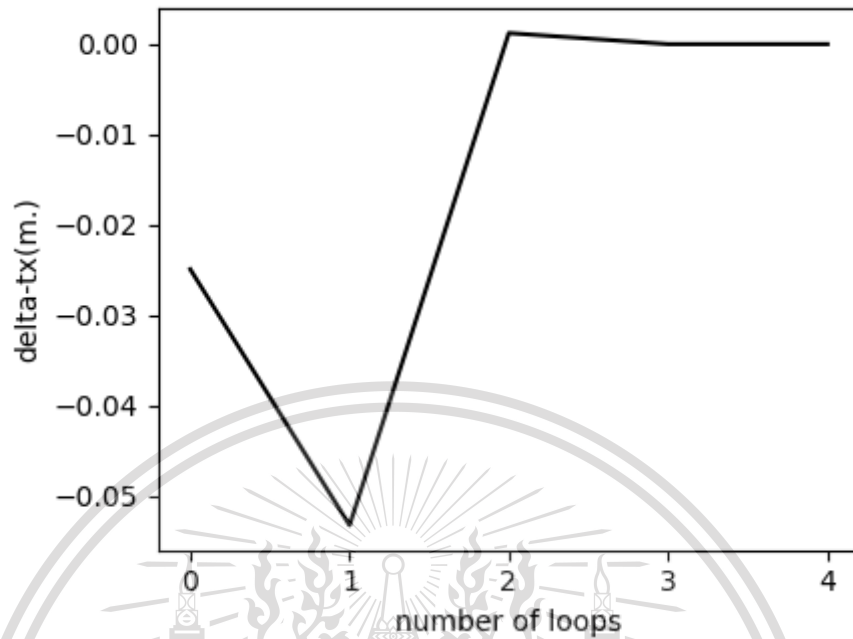


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18

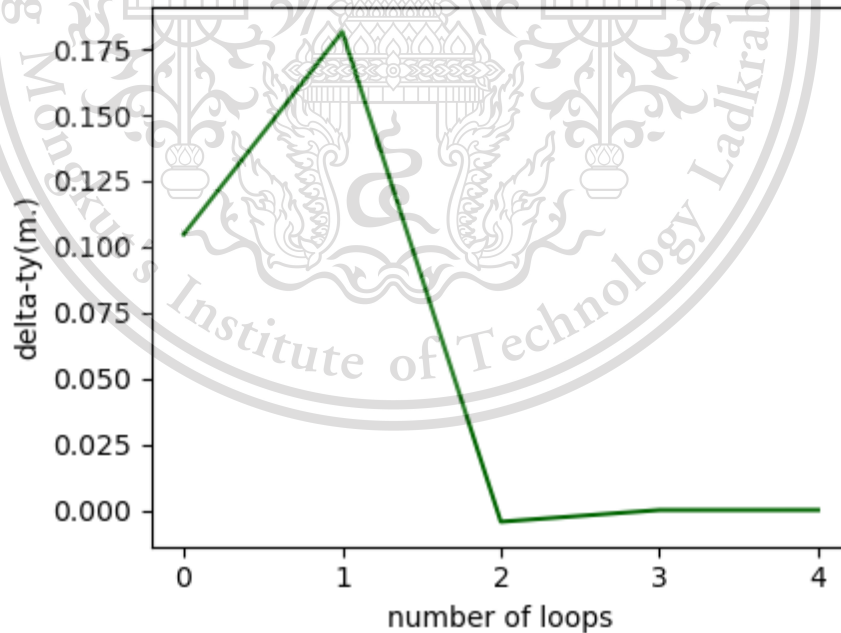
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19

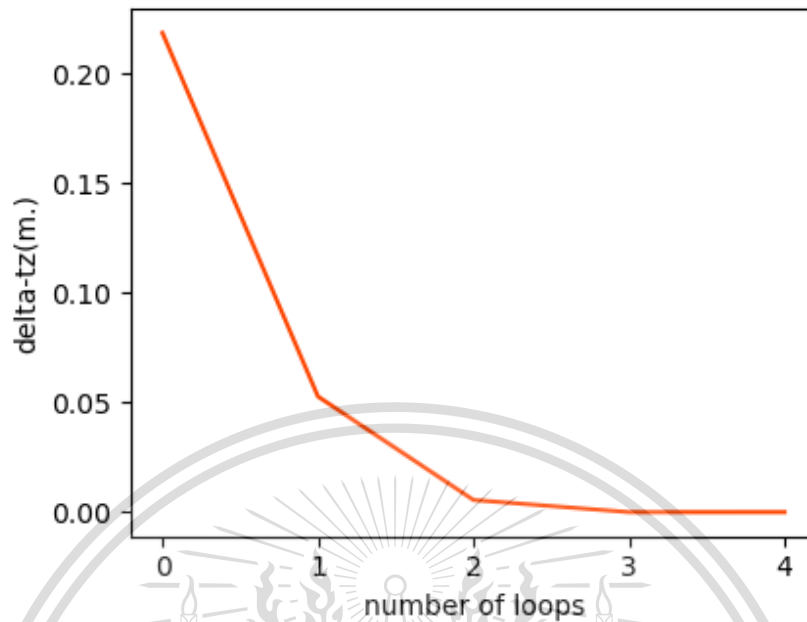


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



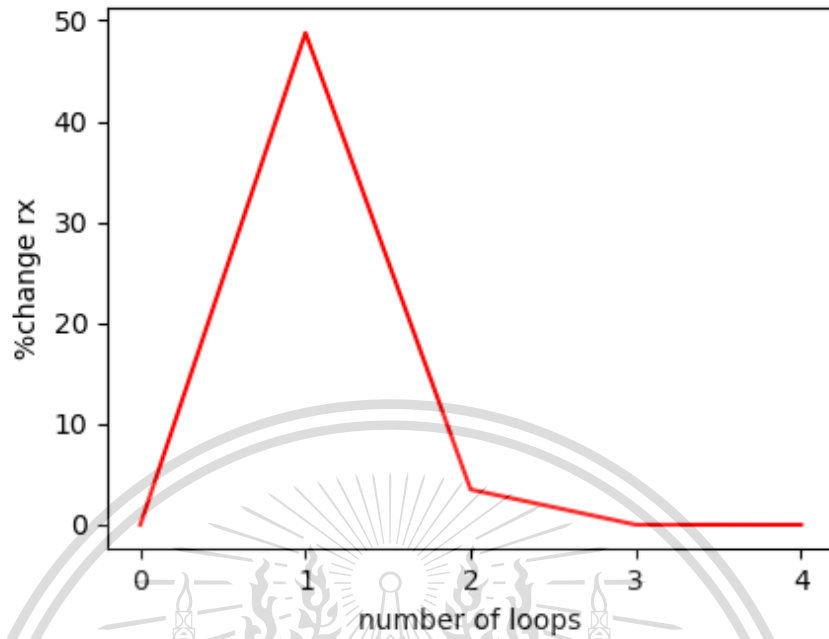
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19

จากข้อมูลตามตาราง 4.18 และตาราง 4.19 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.32 - 4.37

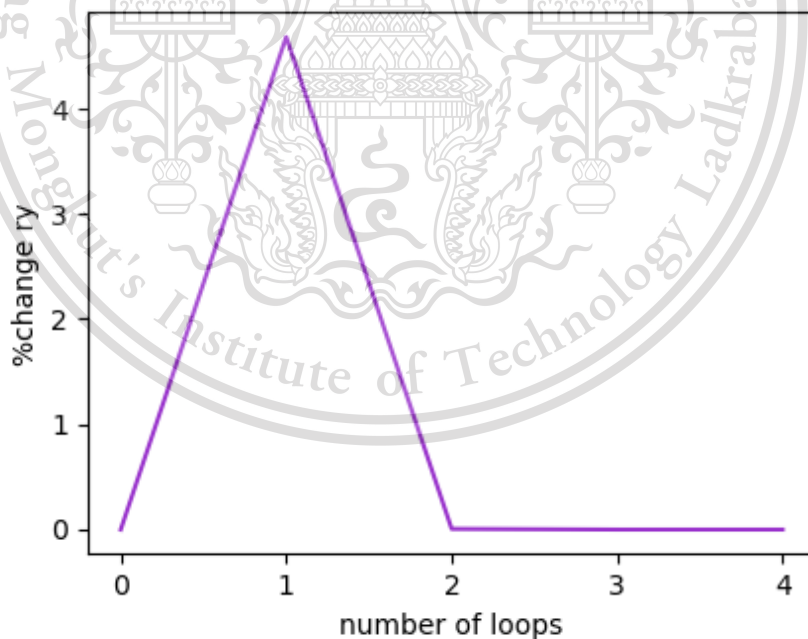
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18

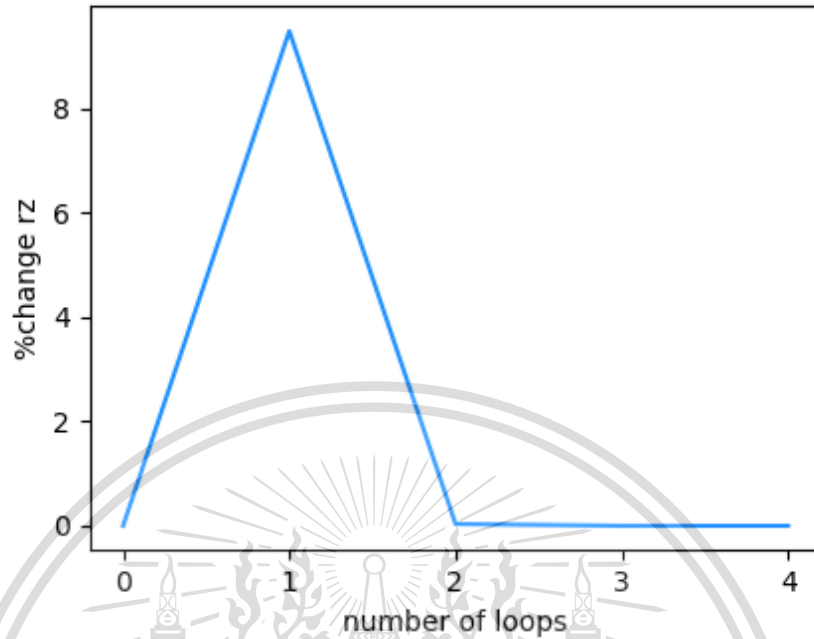


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18

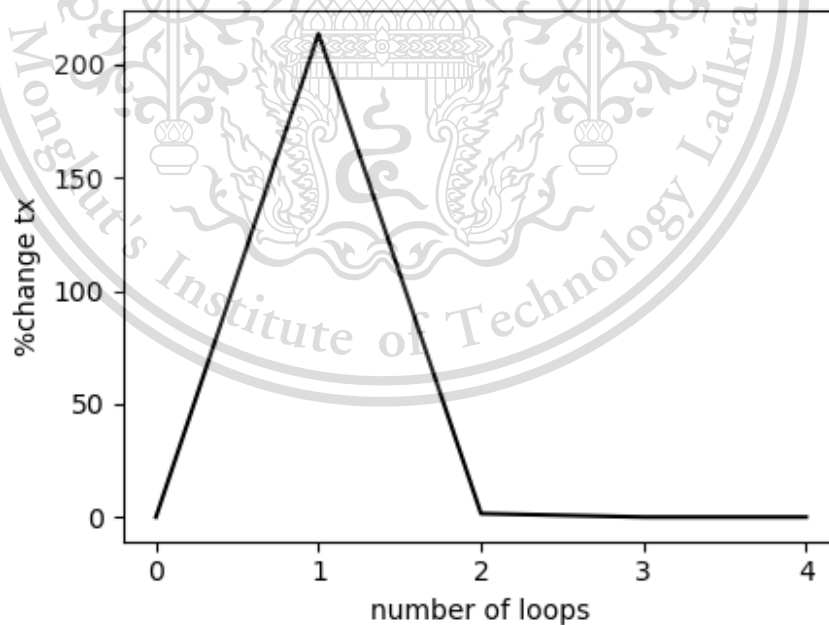
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.18

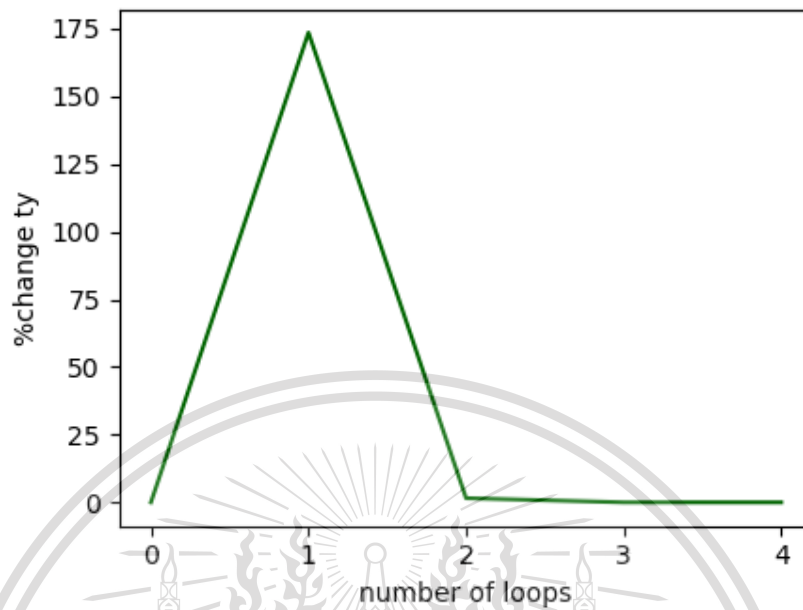


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19

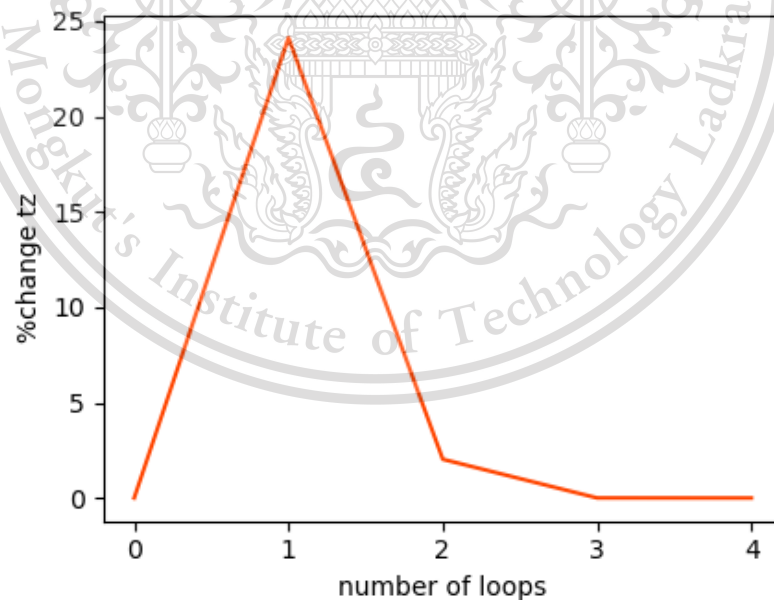
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

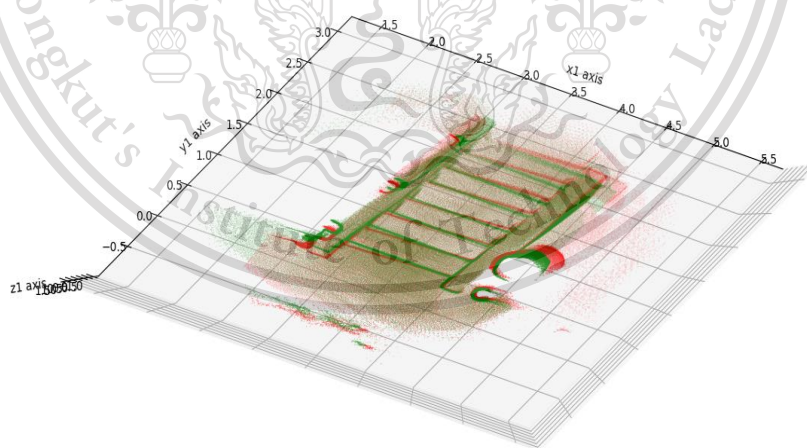
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมานำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.18 และตาราง 4.19 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.20 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.38

ตาราง 4.20 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.38 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลชุดที่ 3 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 4 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.21 และตาราง 4.22

ตาราง 4.21 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.3692872	0.0113886	0.2362947
คำตอบ	0.0393456	-0.0312128	0.0624170
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	293.4565	412.1281	524.1709

ตาราง 4.22 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.3637596	0.4800016	0.7281749
คำตอบ	-0.0521010	0.1886981	0.1881137
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	621.0104	1786.9818	1781.1372

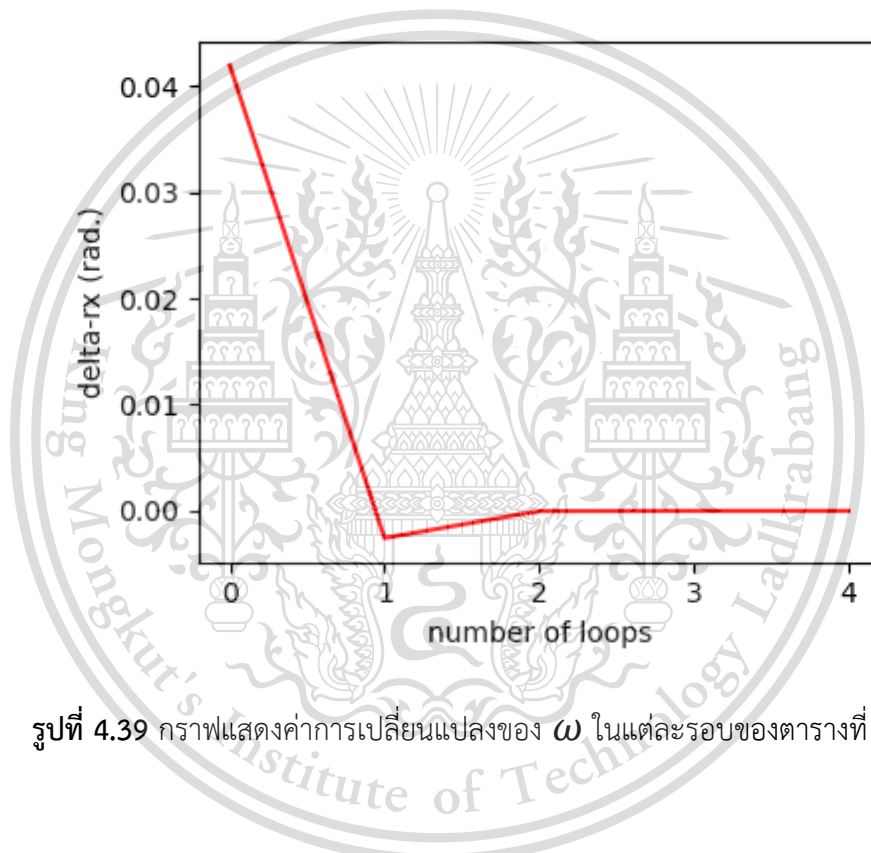
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 70

จากข้อมูลตามตาราง 4.21 และตาราง 4.22 เมื่อนำค่าคำตอบบลด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.39 – 4.44

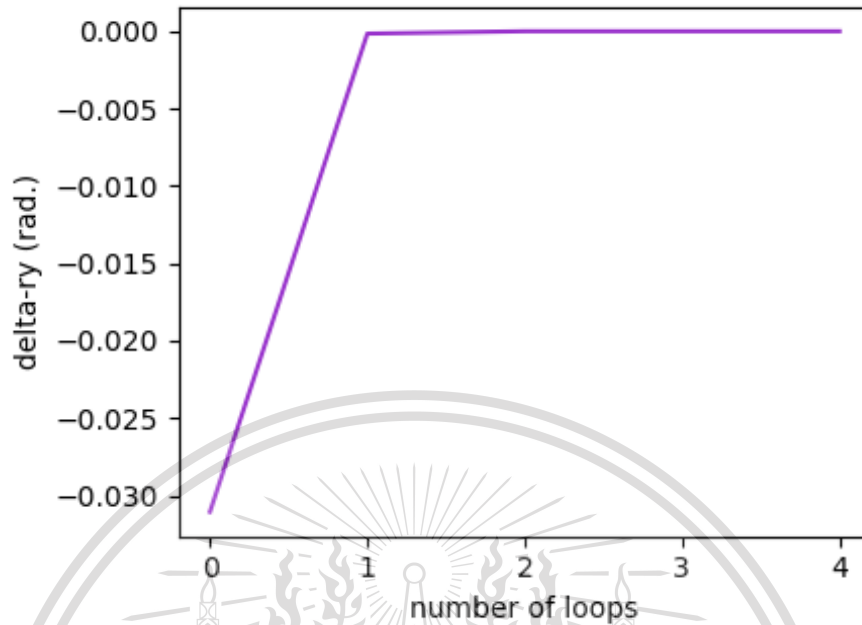


รูปที่ 4.39 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21

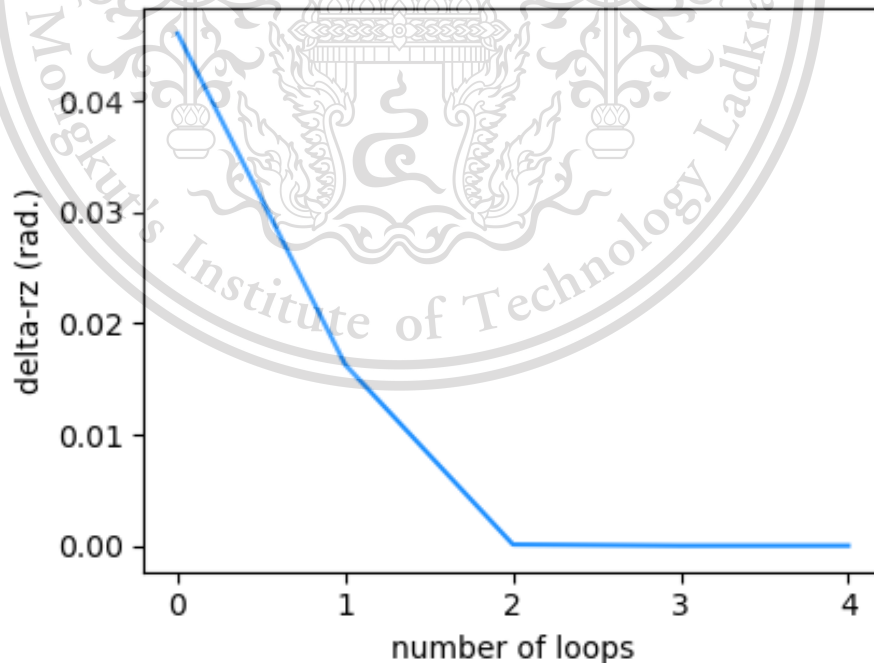
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21

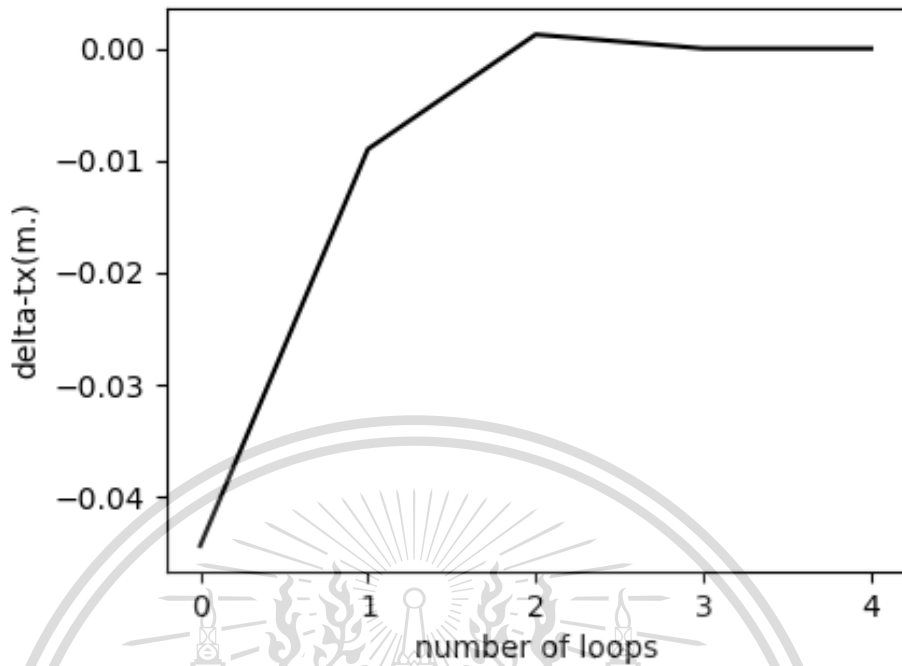


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21

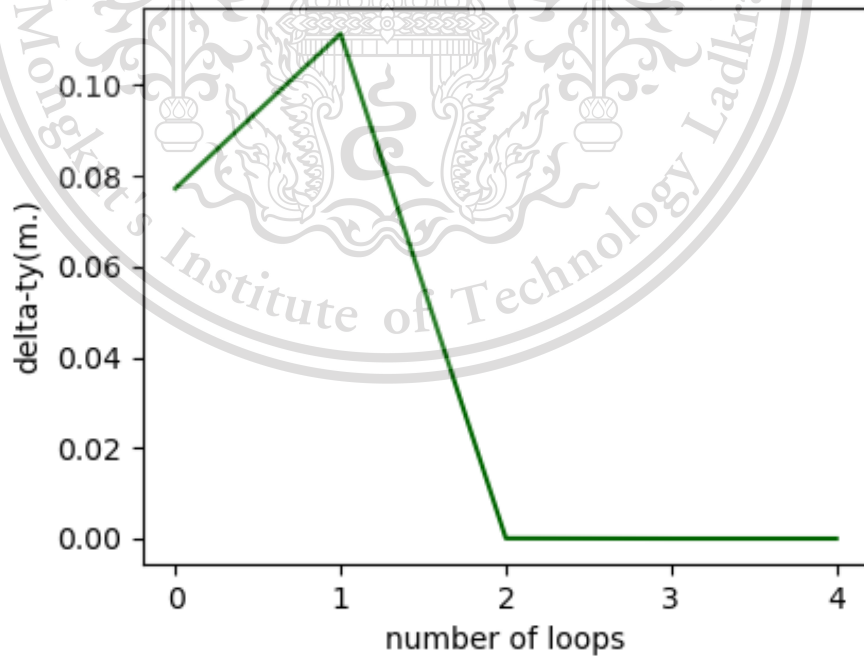
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22



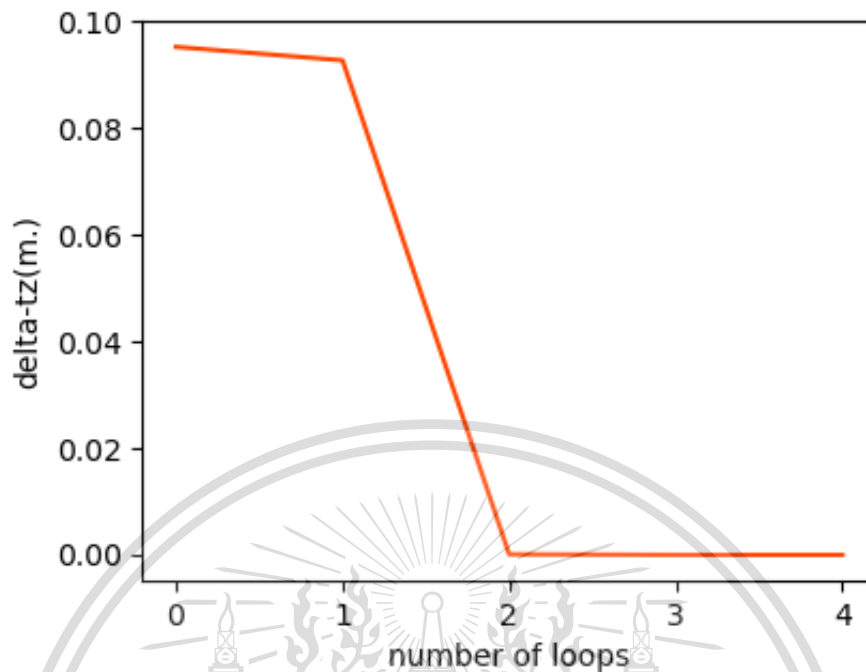
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเพียงการศึกษาเท่านั้น มิยอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



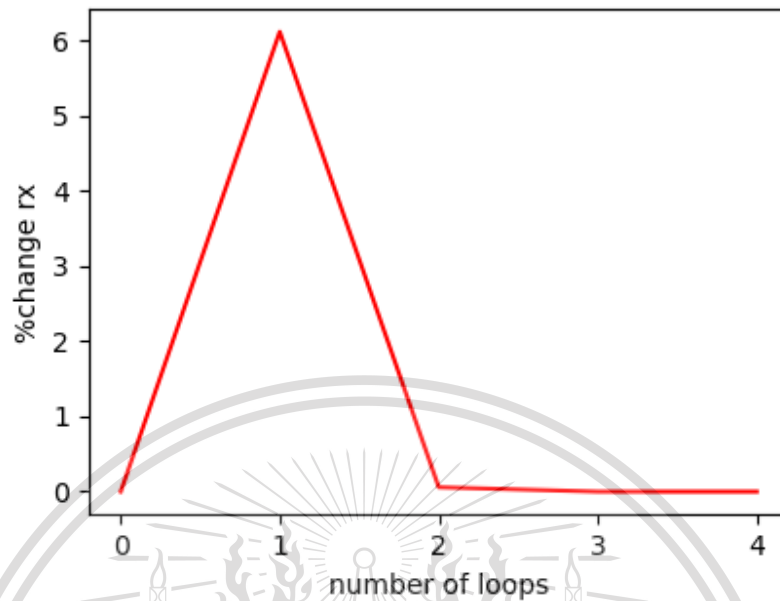
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22

จากข้อมูลตามตาราง 4.21 และตาราง 4.22 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการค้นหาของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.45 – 4.50

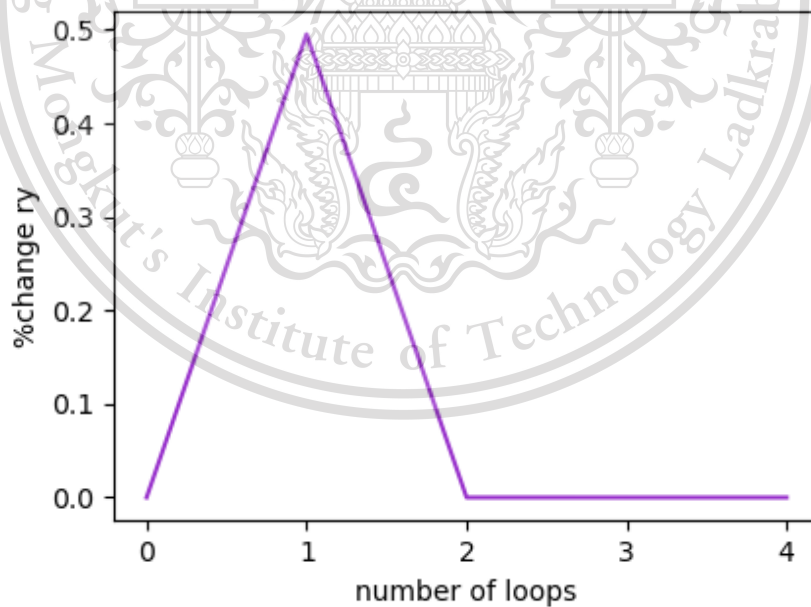
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21

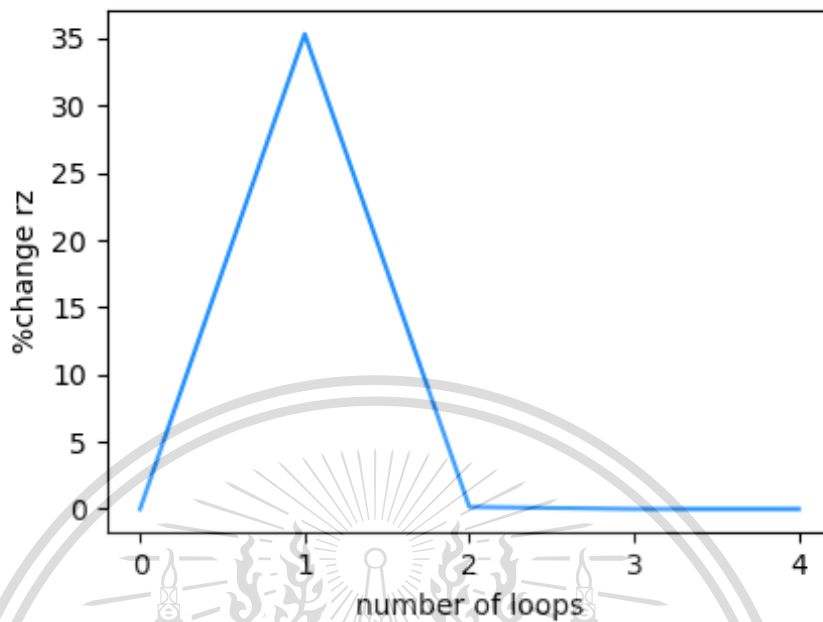


รูปที่ 4.46 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21

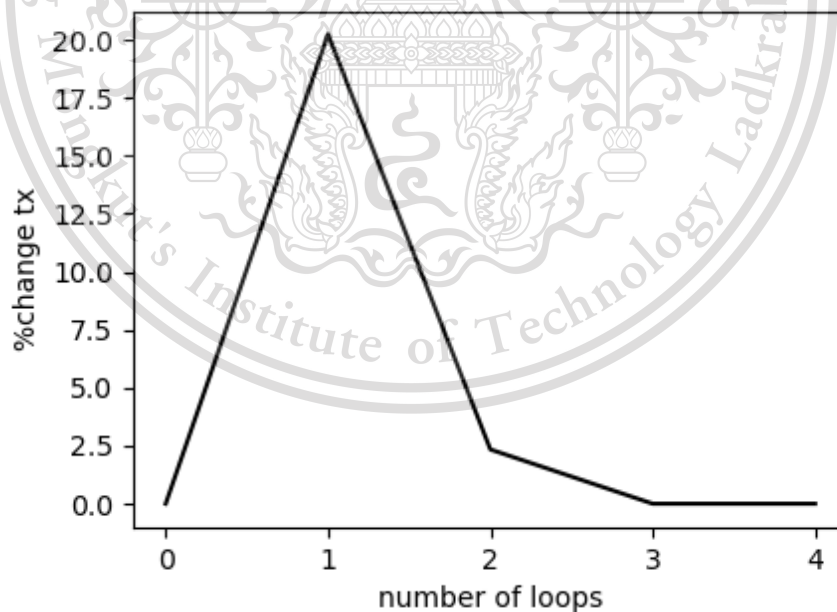
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.21

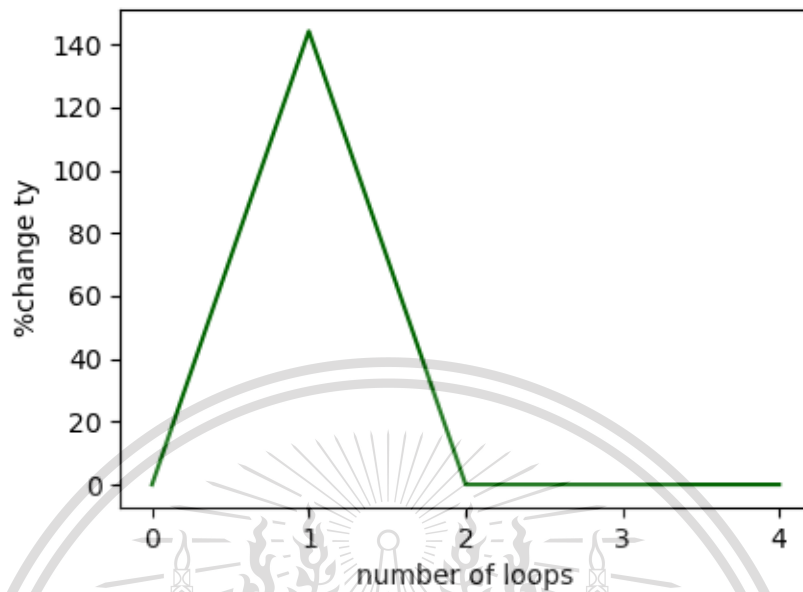


รูปที่ 4.48 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22

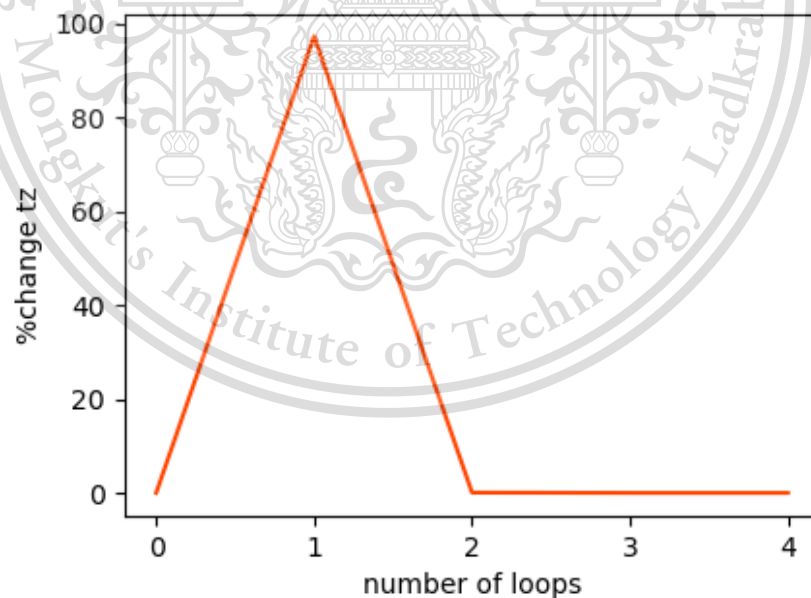
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

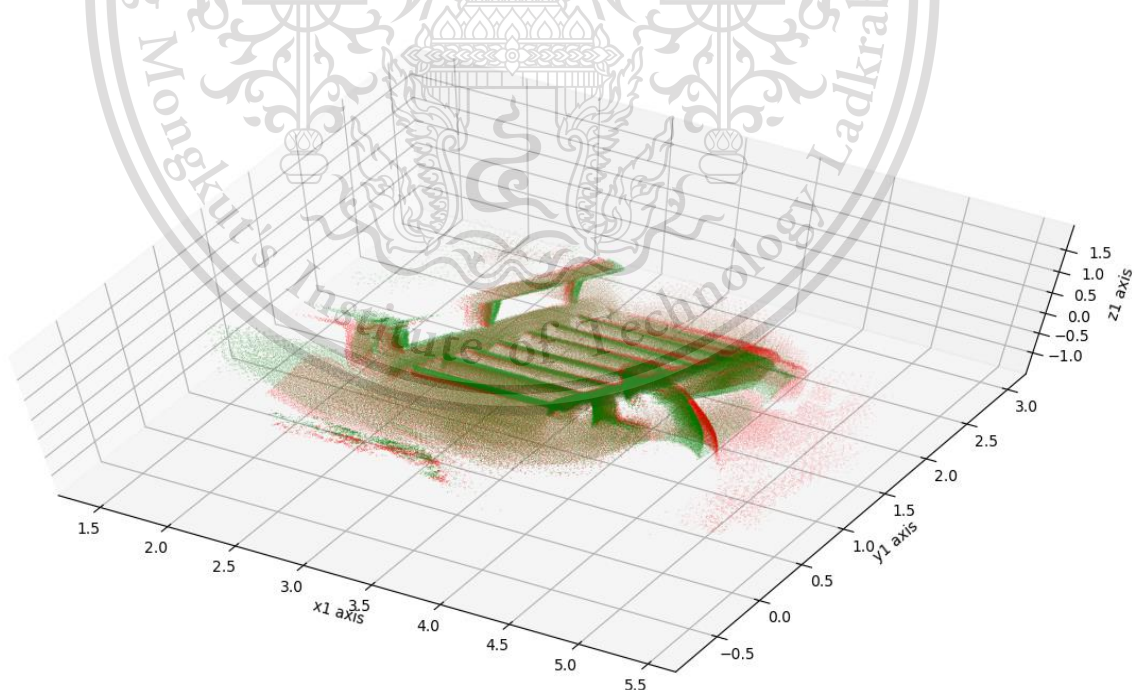
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมา นำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.21 และตาราง 4.22 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.23 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.51

ตาราง 4.23 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.51 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลชุดที่ 4 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 10 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.24 และตาราง 4.25

ตาราง 4.24 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 4

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.6108195	0.6559688	0.5890702
คำตอบ	-64.453778	-3.4832821	-7.1055974
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	644637.78	34932.821	71155.974

ตาราง 4.25 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 4

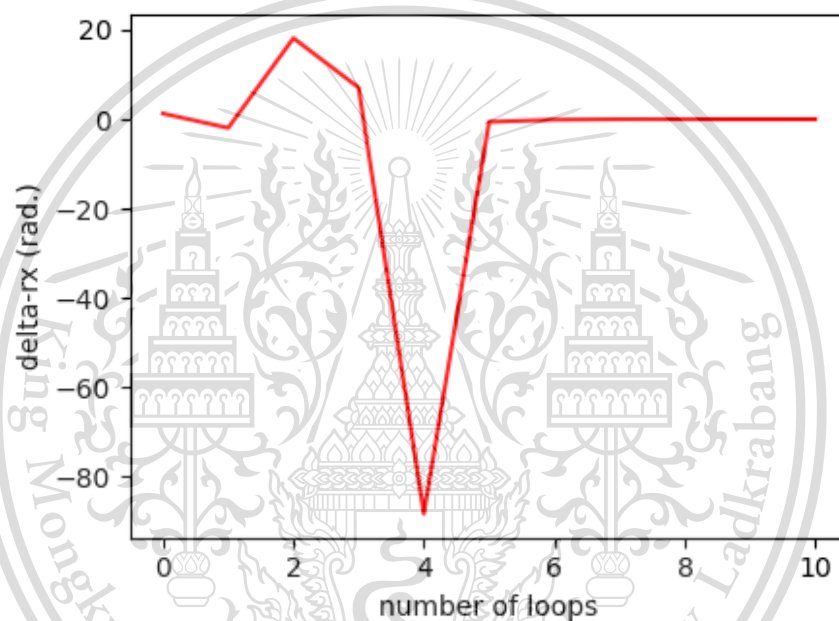
ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.4574380	0.1749612	0.9359918
คำตอบ	5.7773923	4.0418715	0.1979817
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	57673.923	40318.715	1879.8171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 79

จากข้อมูลตามตาราง 4.24 และตาราง 4.25 เมื่อนำค่าคำตอบด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการค้นหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.52 – 4.57

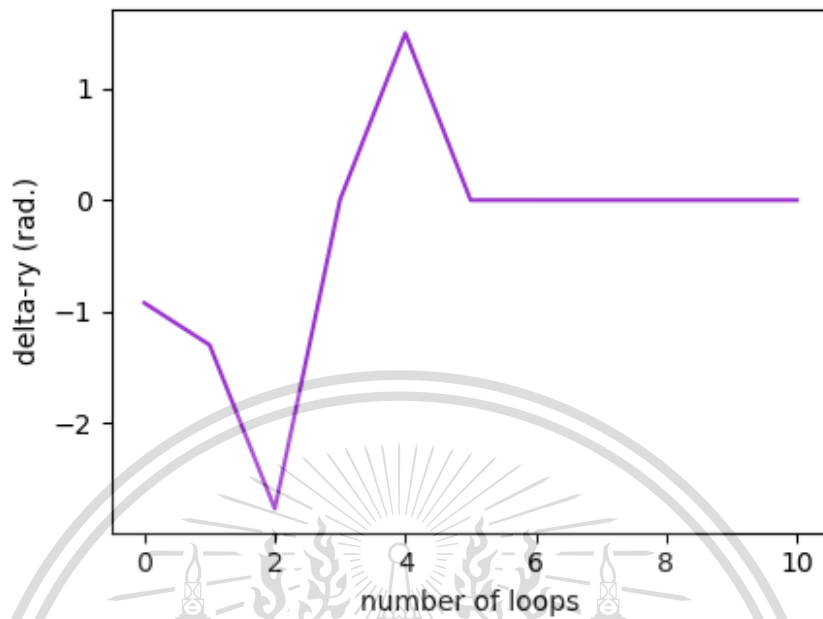


รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24

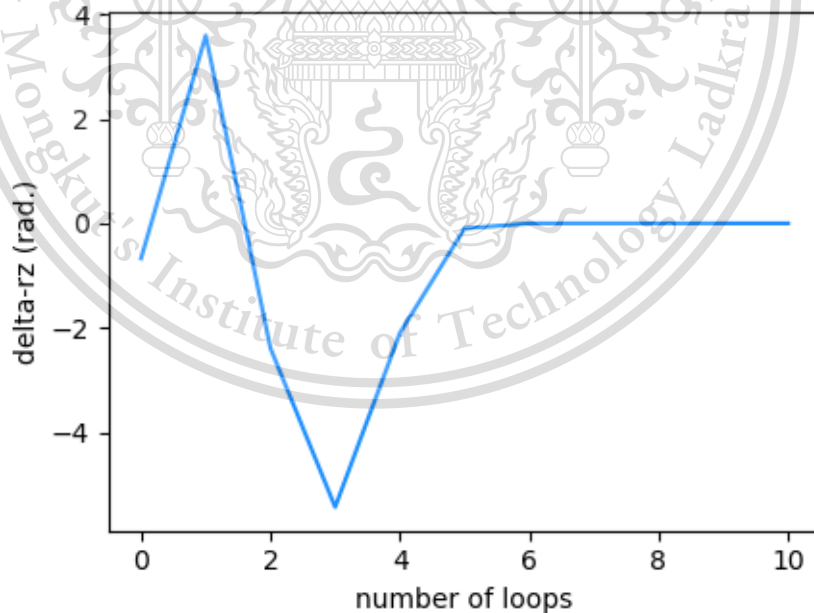
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24

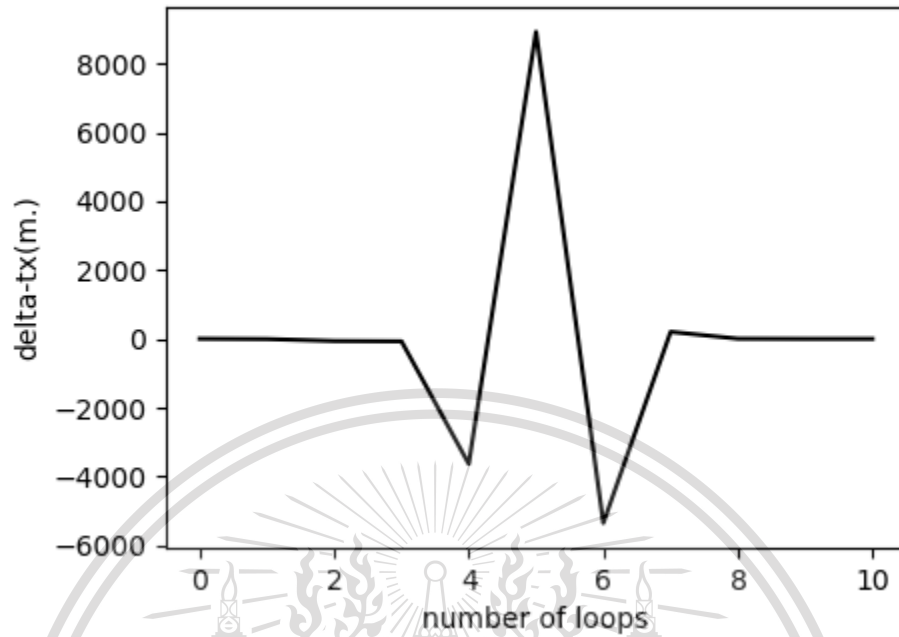


รูปที่ 4.54 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24

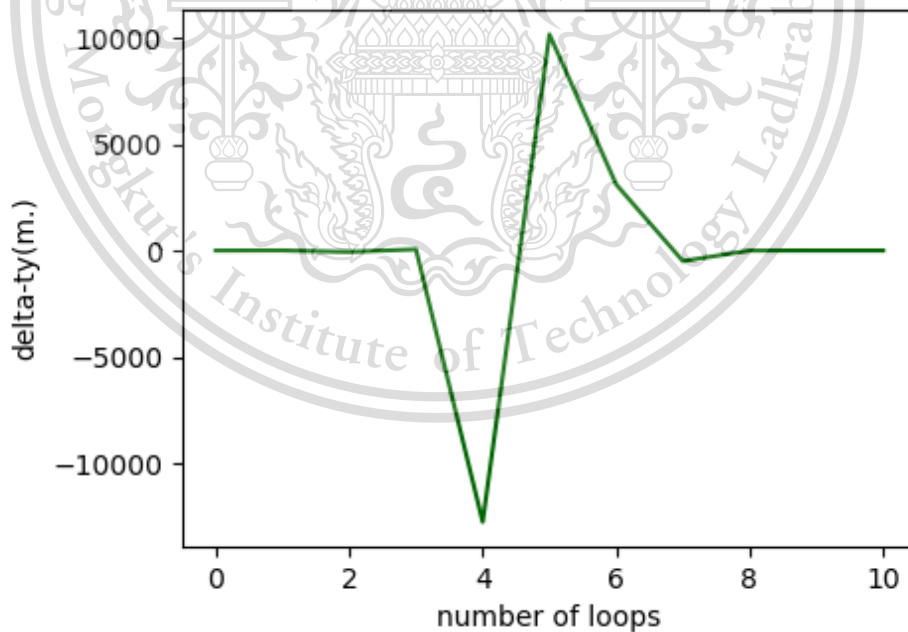
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25

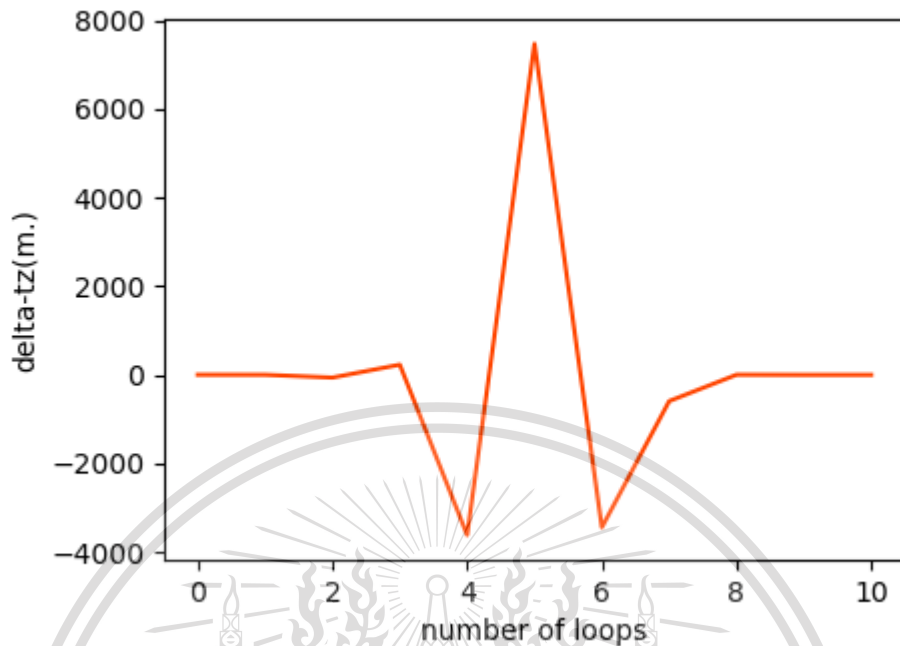


รูปที่ 4.56 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



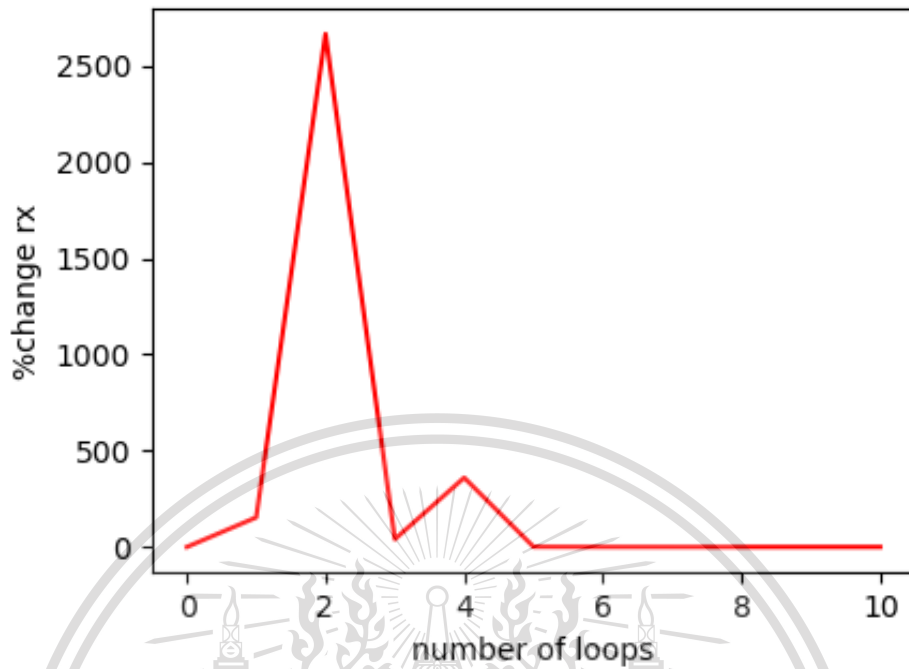
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25

จากข้อมูลตามตาราง 4.24 และตาราง 4.25 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.58 – 4.63

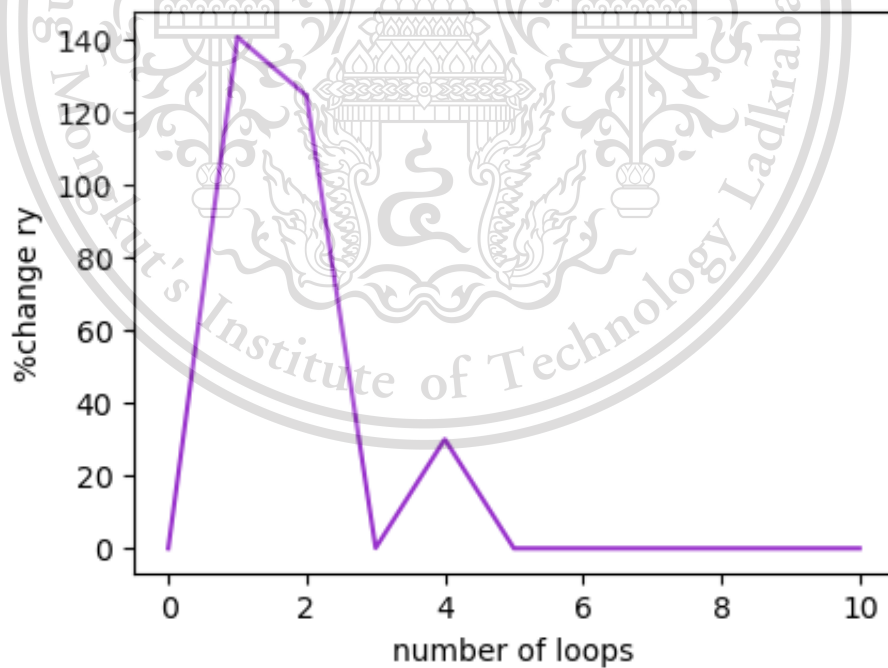
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24

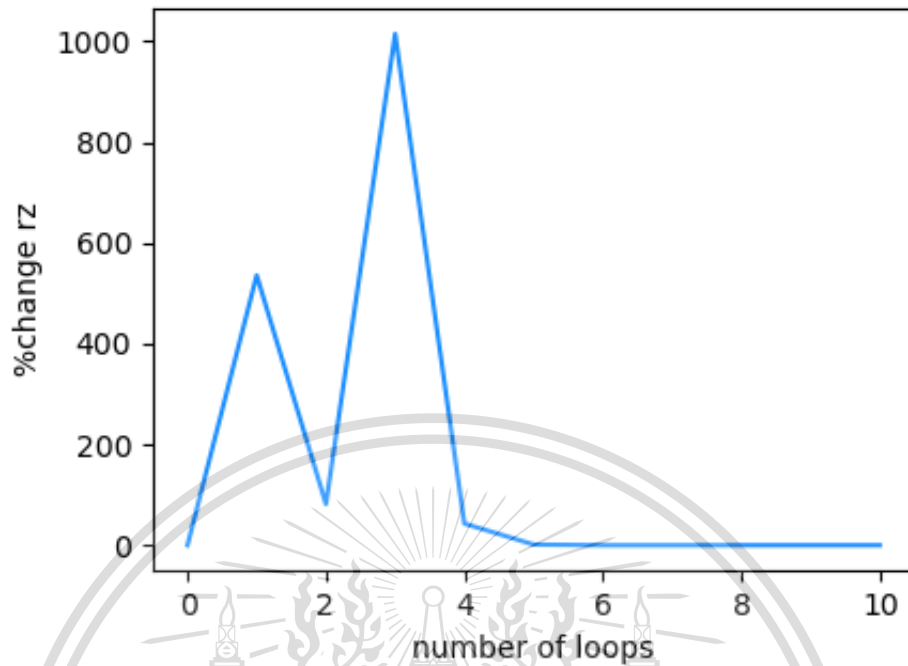


รูปที่ 4.59 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24

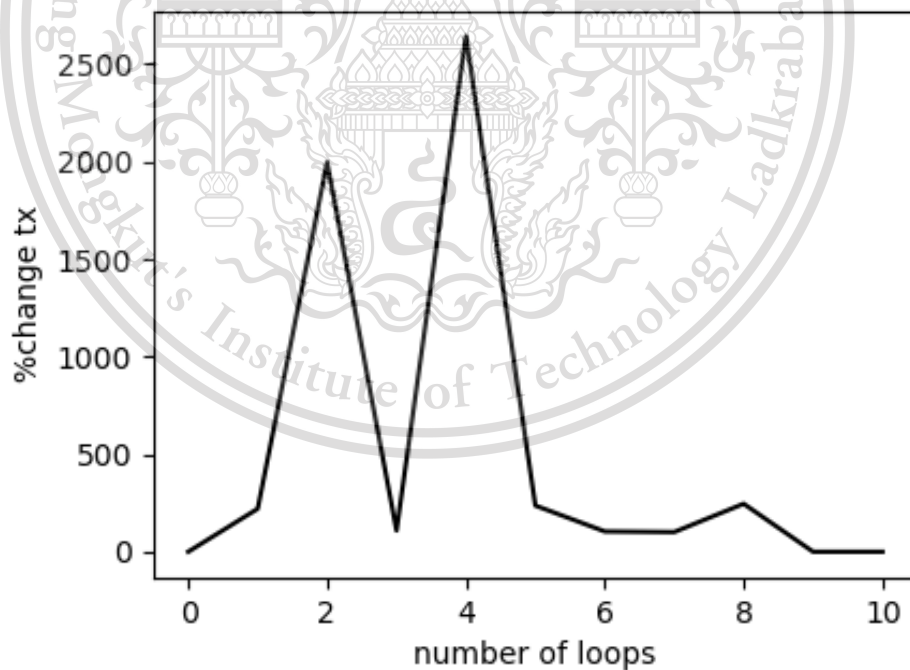
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.24

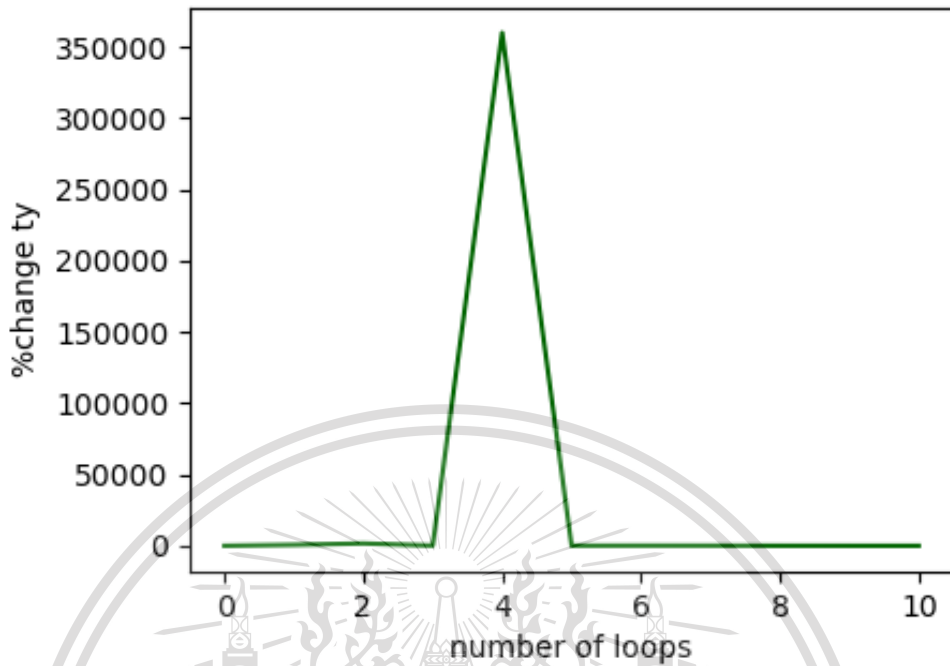


รูปที่ 4.61 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25

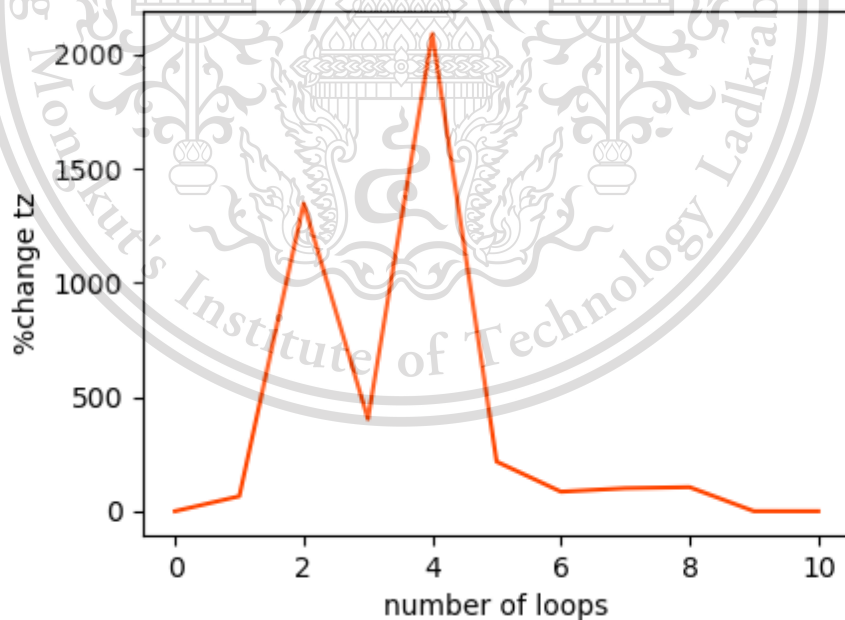
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

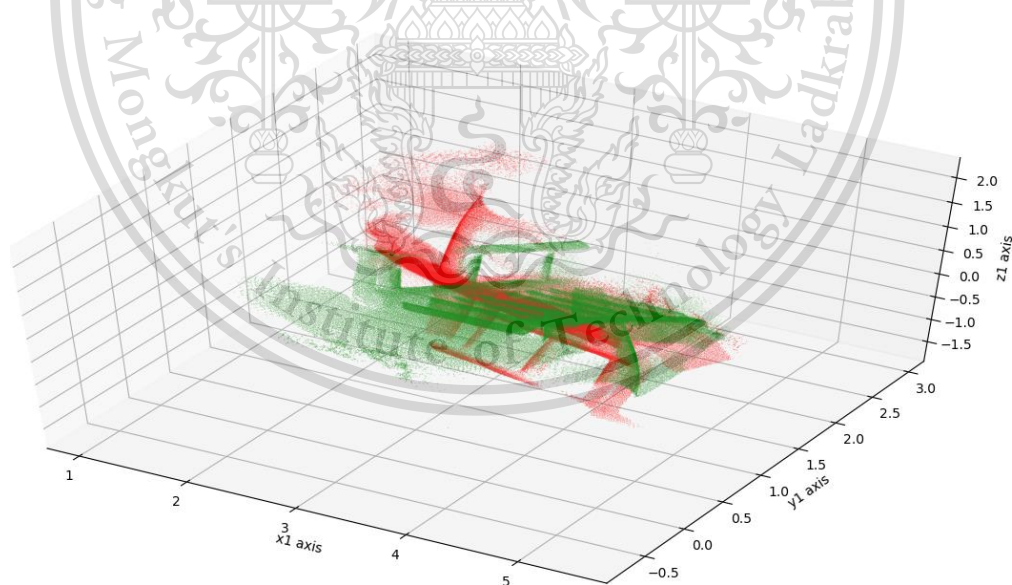
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมานำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.24 และตาราง 4.25 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.26 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.64

ตาราง 4.26 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 1

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.64 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลชุดที่ 5 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 4 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.27 และตาราง 4.28

ตาราง 4.27 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 5

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.2061123	0.0484935	0.3408111
คำตอบ	0.0309890	-0.0199382	0.0477554
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	209.8909	299.3828	377.5546

ตาราง 4.28 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 5

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.6728639	0.9751524	0.6633814
คำตอบ	-0.0365677	0.1383247	0.1389590
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	465.6779	1283.2472	1289.5906

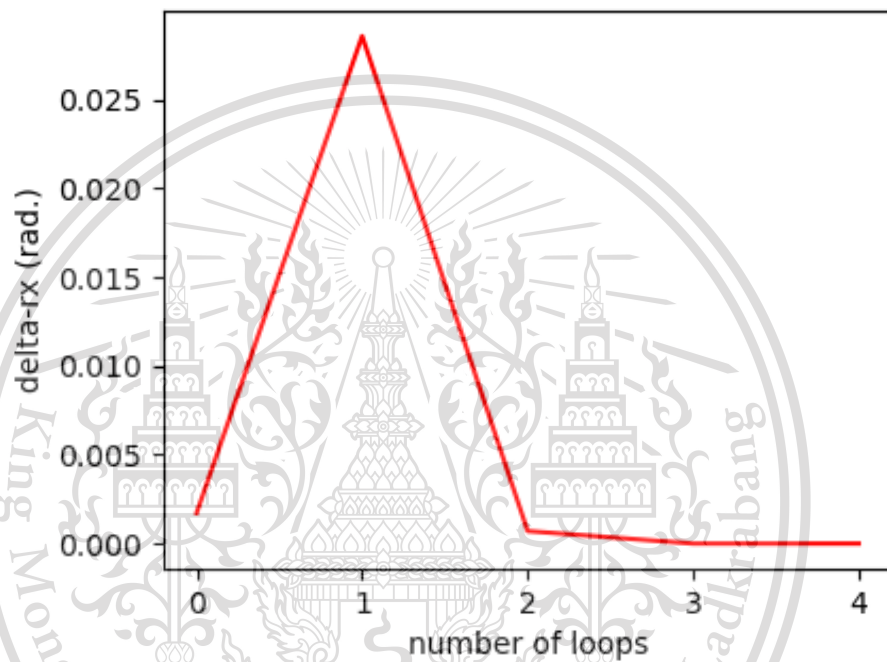
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 88

จากข้อมูลตามตาราง 4.27 และตาราง 4.28 เมื่อนำค่าคำตอบบลด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.65 – 4.70

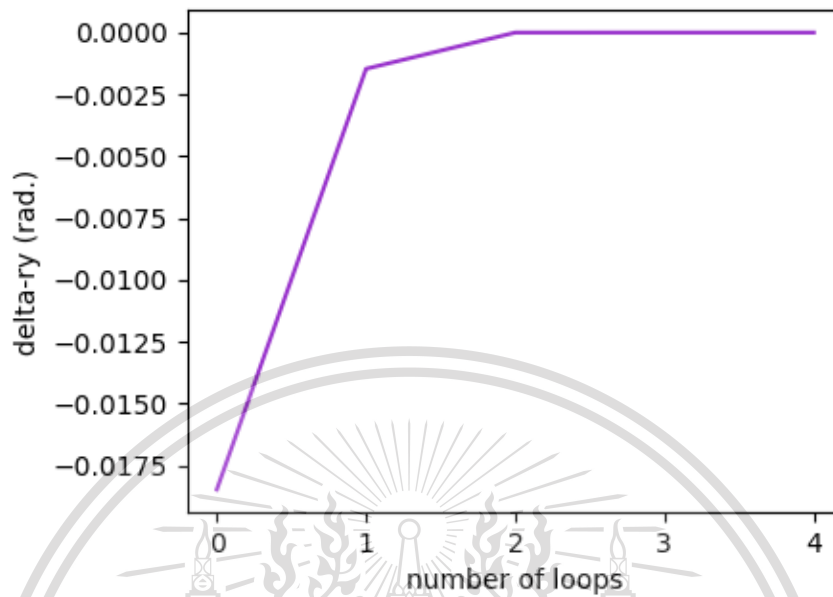


รูปที่ 4.65 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27

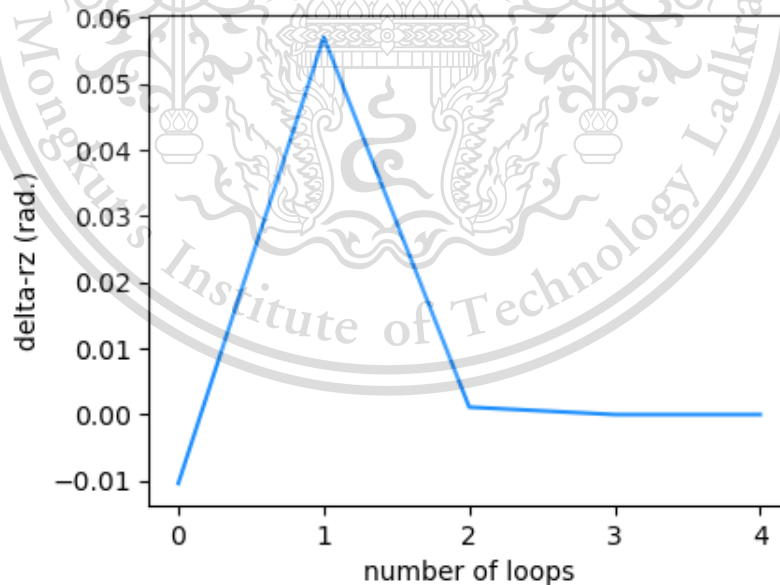
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.66 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27

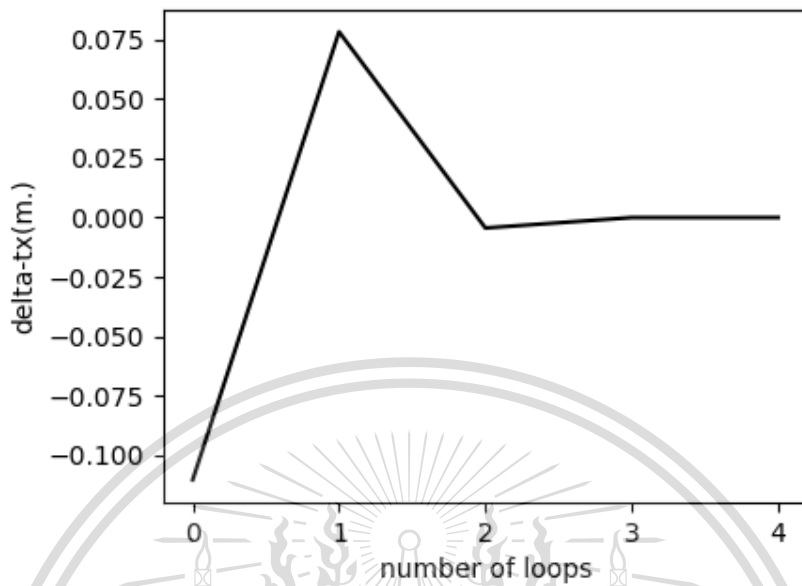


รูปที่ 4.67 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27

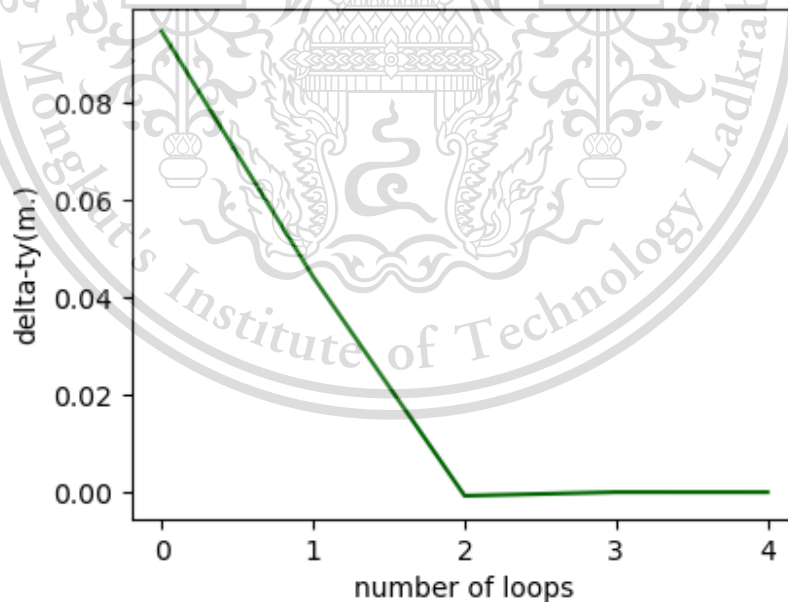
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.68 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28

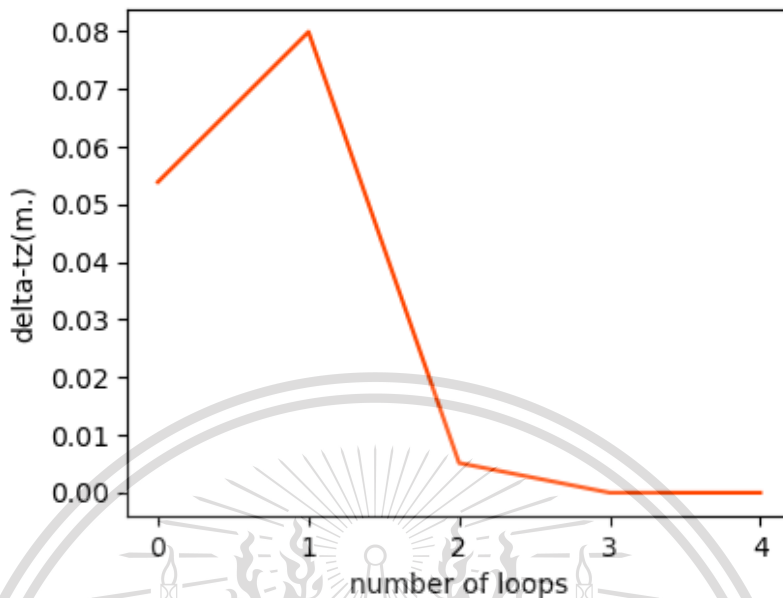


รูปที่ 4.69 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



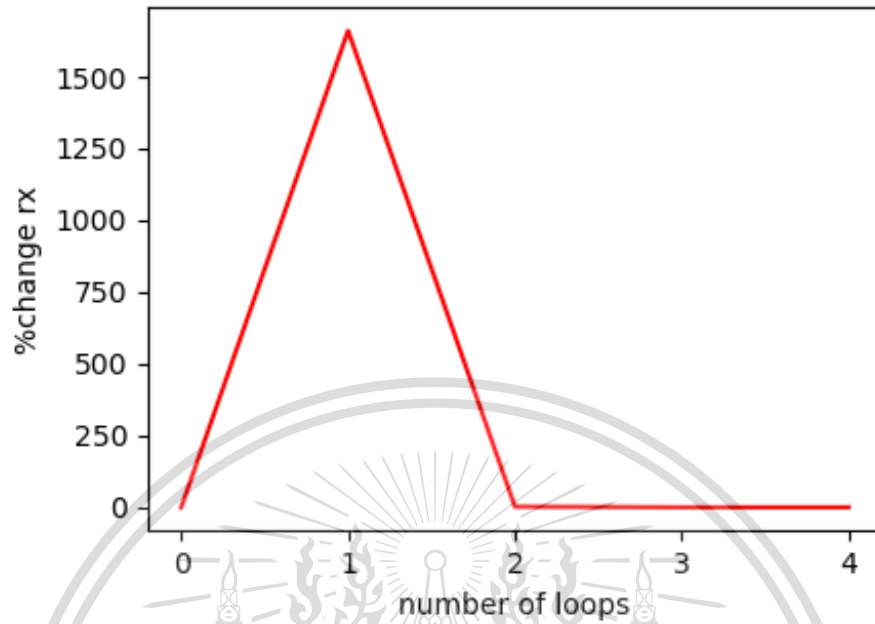
รูปที่ 4.70 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28

จากข้อมูลตามตาราง 4.27 และตาราง 4.28 เมื่อนำค่าคำตอบด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูป 4.71 – 4.76

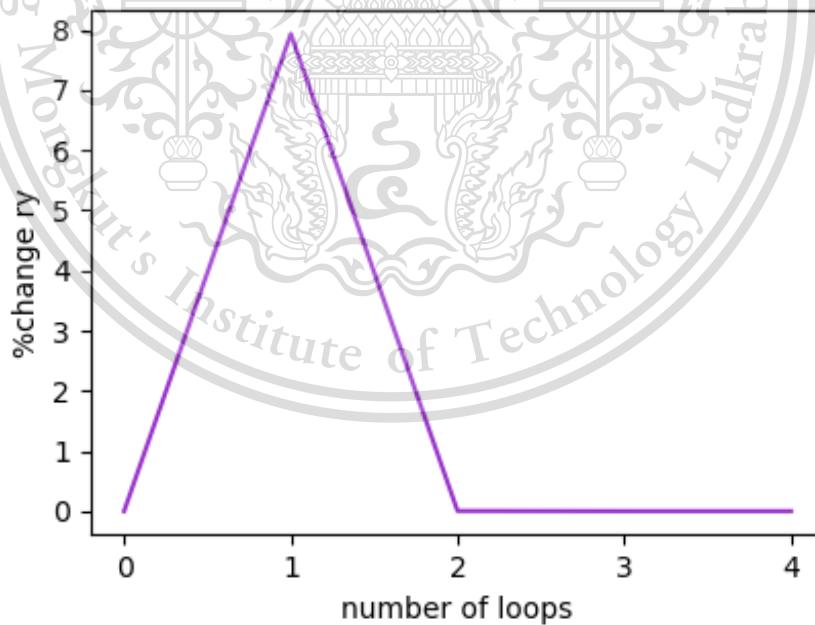
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.71 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27

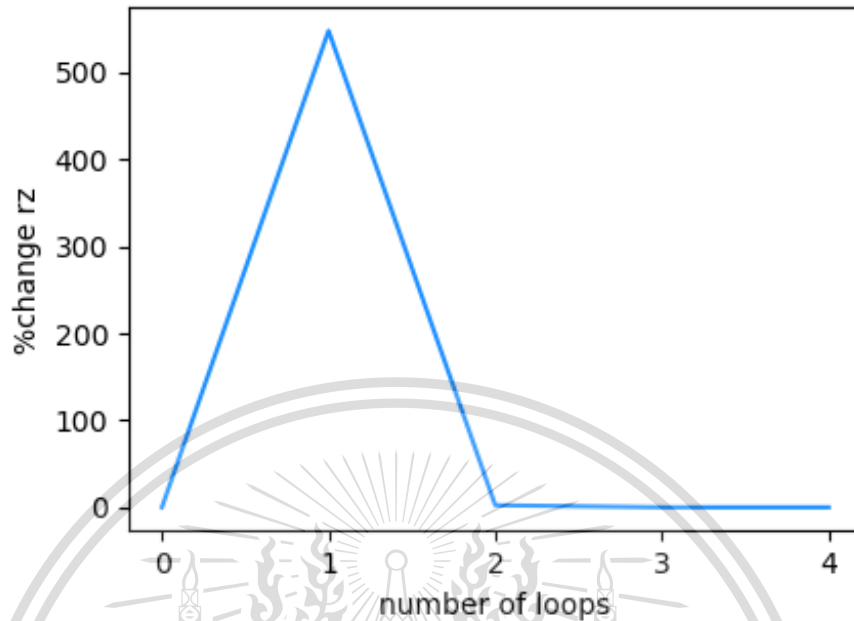


รูปที่ 4.72 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27

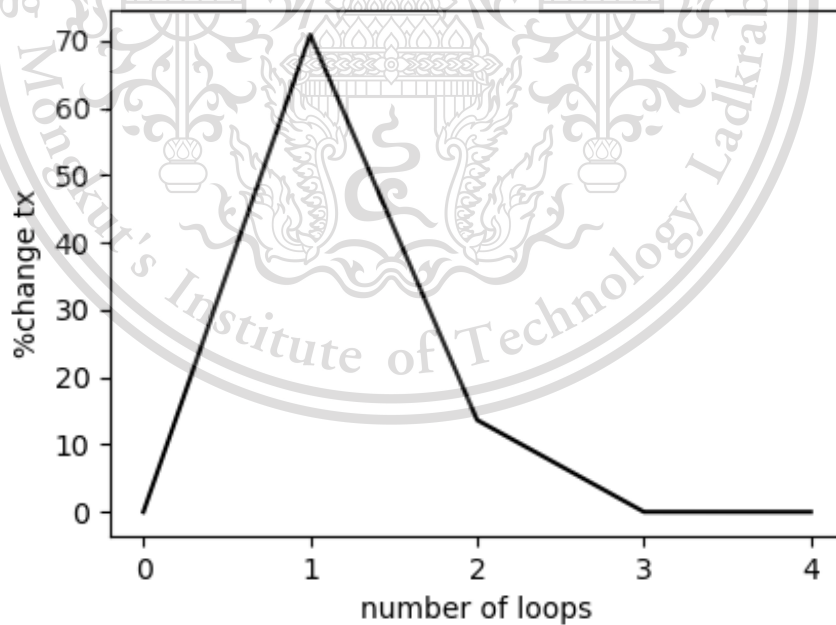
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.73 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.27

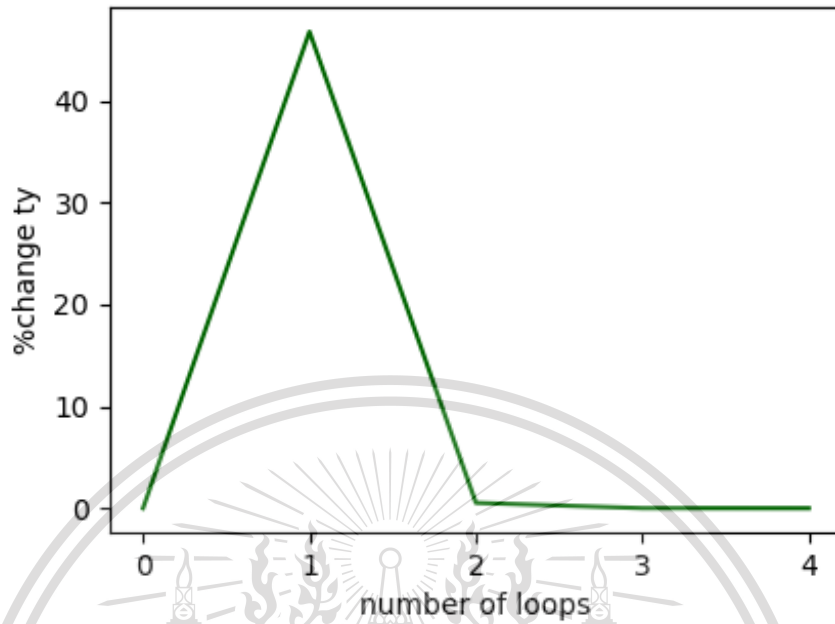


รูปที่ 4.74 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28

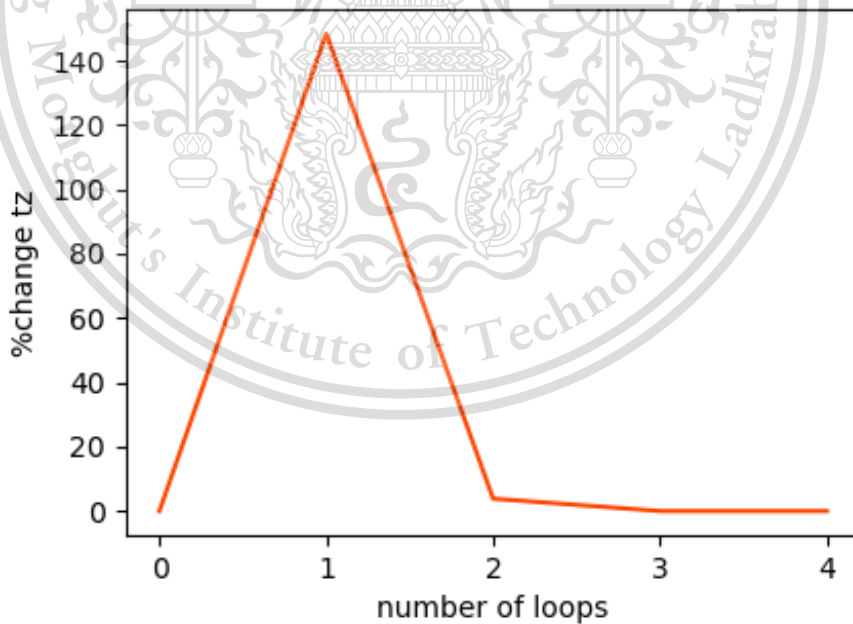
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.75 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28



รูปที่ 4.76 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

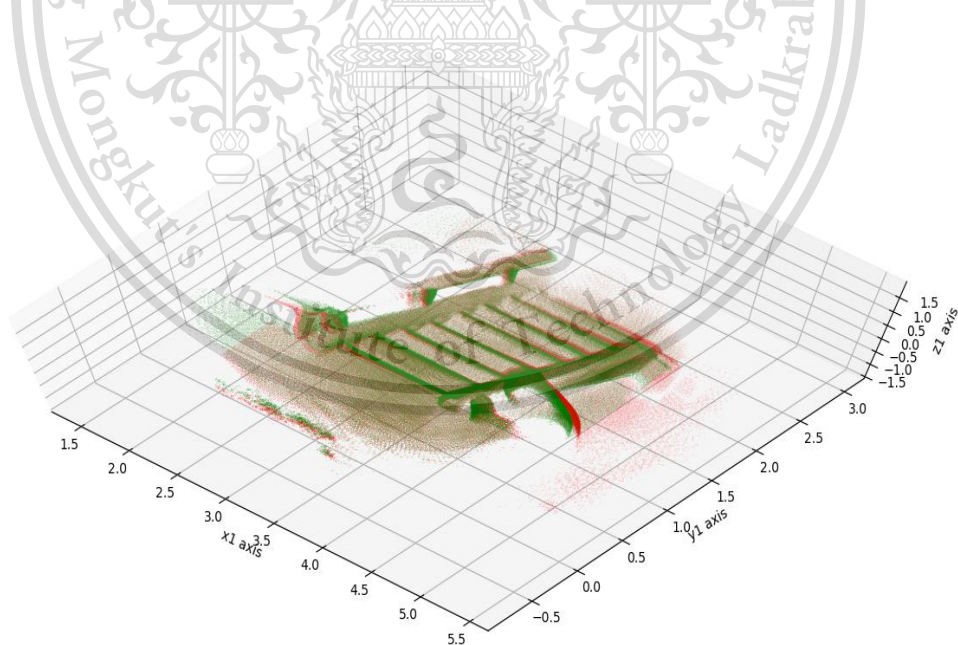
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อมานำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.27 และตาราง 4.28 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.29 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.77

ตาราง 4.29 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 5

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.77 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 5

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลชุดที่ 6 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 7 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.30 และตาราง 4.31

ตาราง 4.30 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 6

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.4354713	0.5964492	0.9022016
คำตอบ	64.381642	-5.6344356	15.192289
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	643716.42	56444.356	151822.89

ตาราง 4.31 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 6

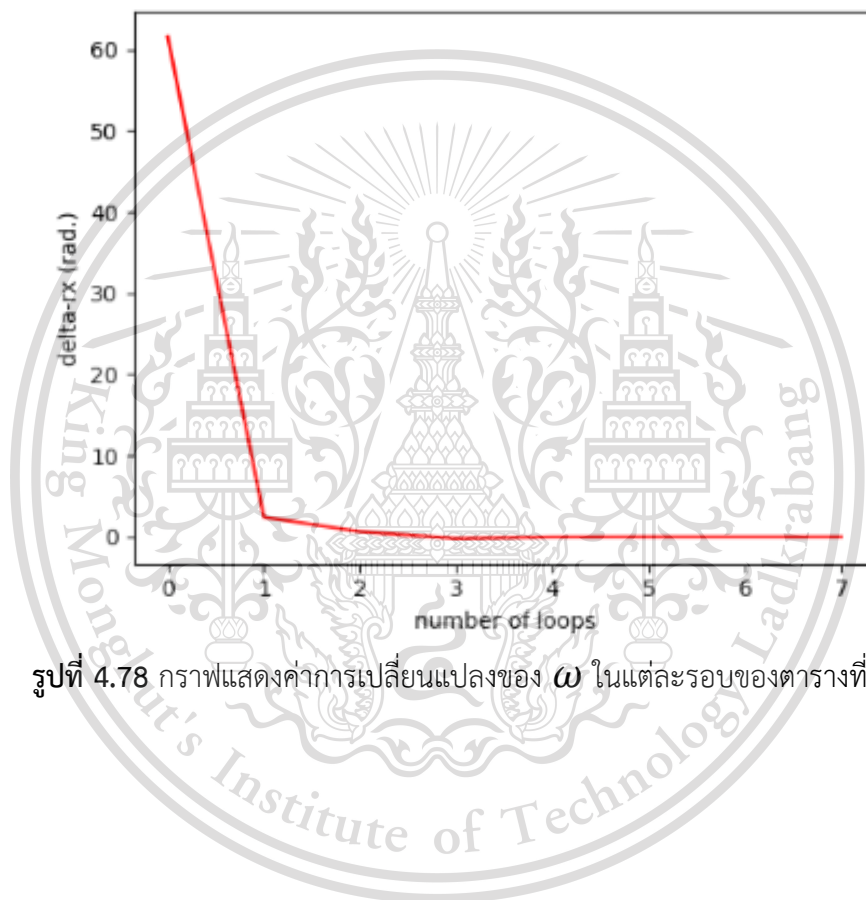
ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.9201013	0.8528849	0.928211
คำตอบ	6.3971120	3.0956815	-0.9005642
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	63871.120	30856.815	9105.6424

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 97

จากข้อมูลตามตาราง 4.30 และตาราง 4.31 เมื่อนำค่าคำตอบบลด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.78 – 4.83

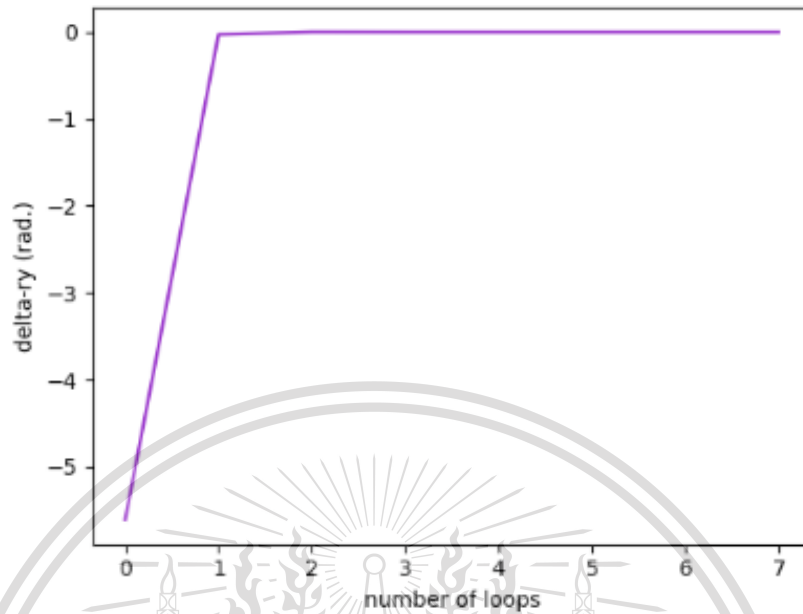


รูปที่ 4.78 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30

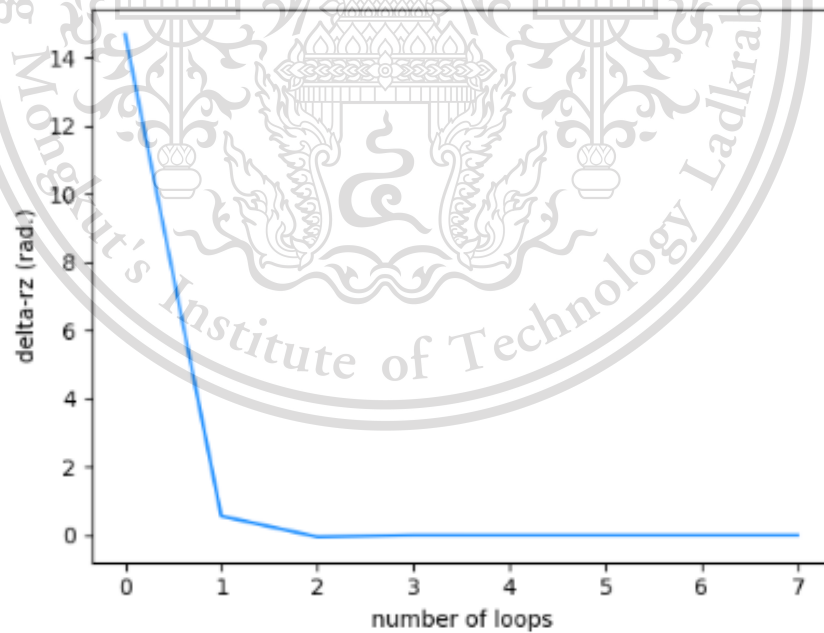
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.79 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30

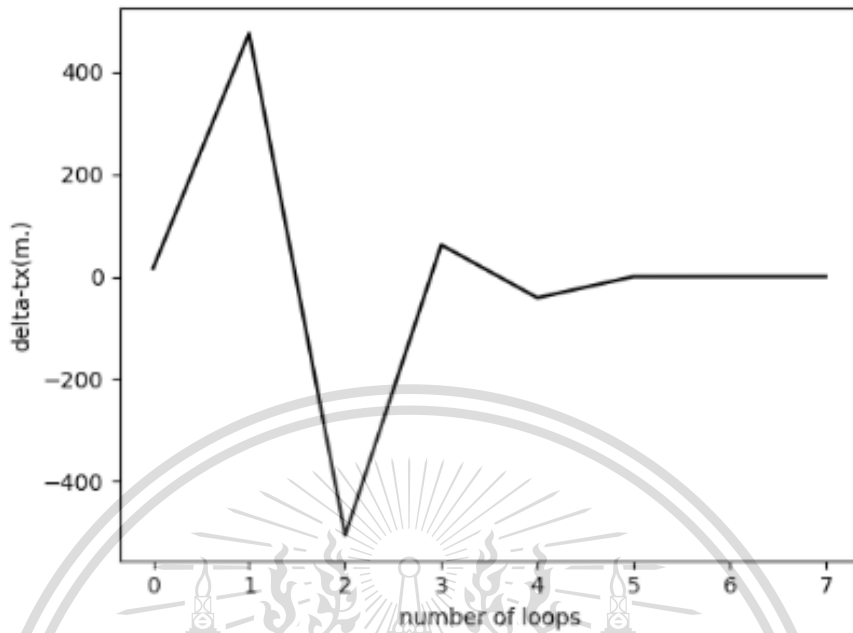


รูปที่ 4.80 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30

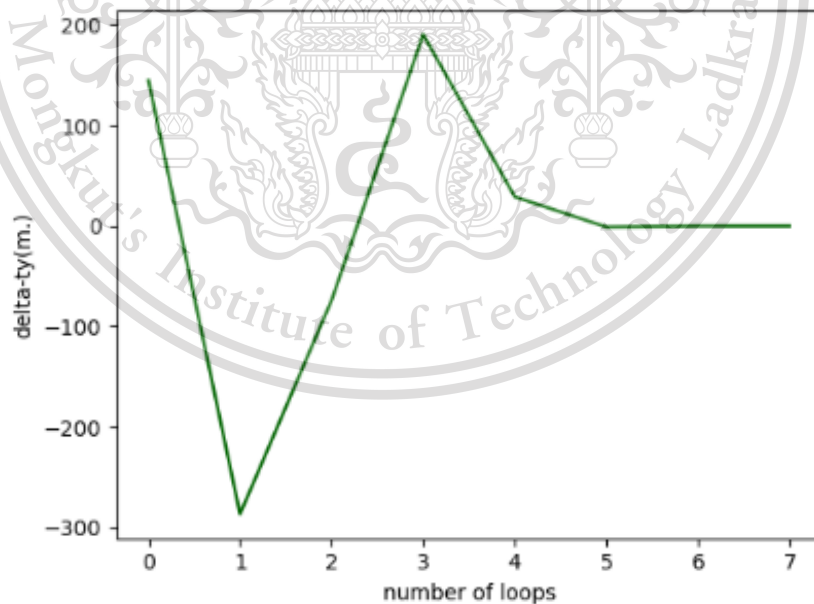
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.81 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31

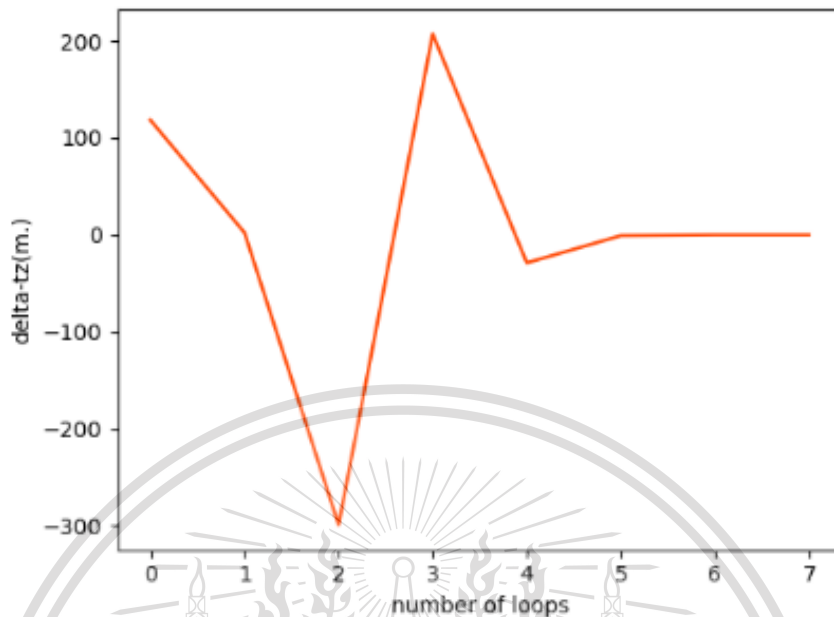


รูปที่ 4.82 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 100



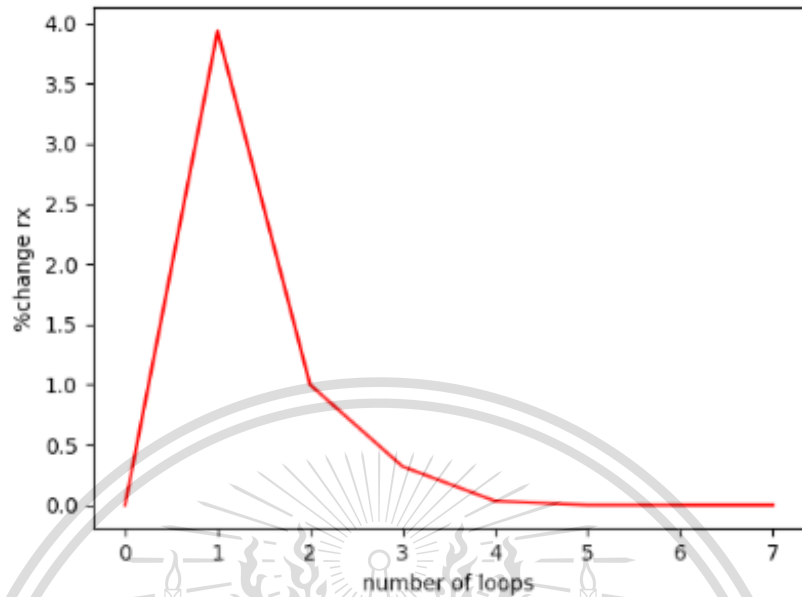
รูปที่ 4.83 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31

จากข้อมูลตามตาราง 4.30 และตาราง 4.31 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.84 – 4.89

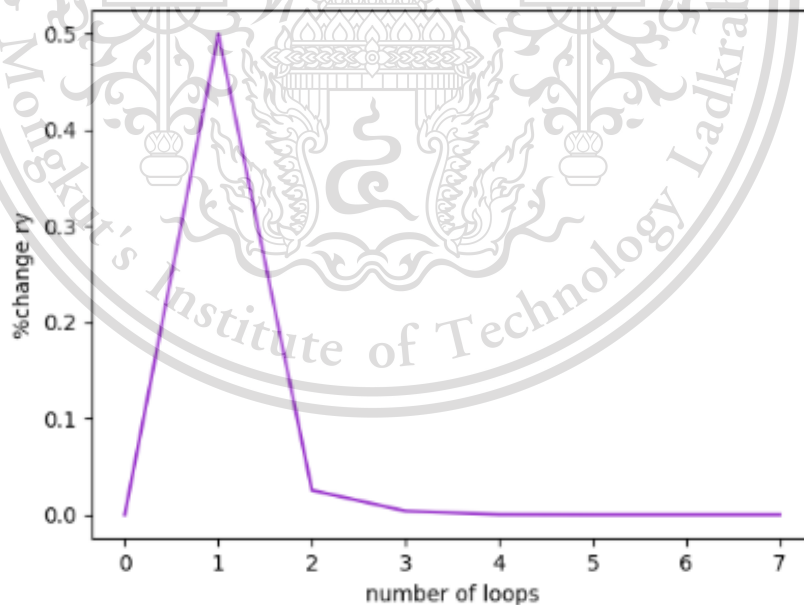
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 101



รูปที่ 4.84 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30

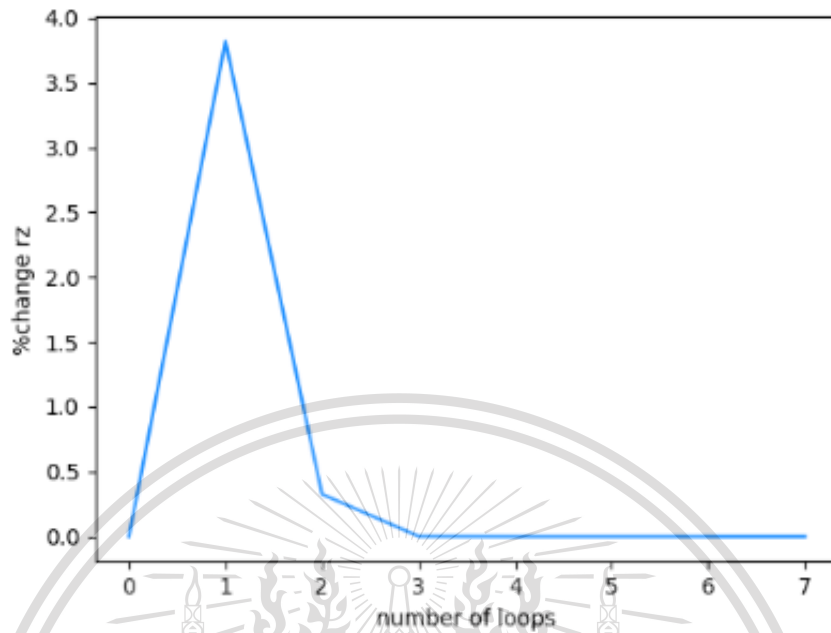


รูปที่ 4.85 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30

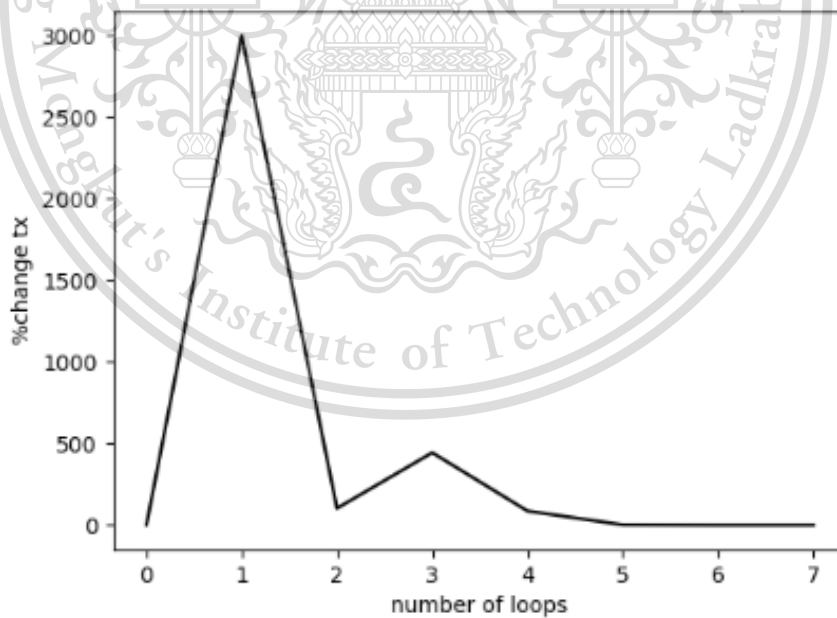
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 102



รูปที่ 4.86 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.30

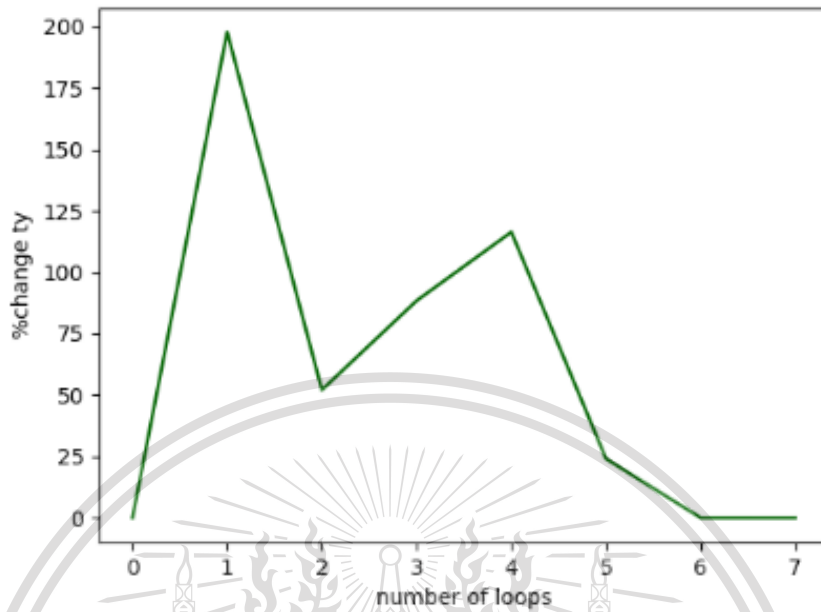


รูปที่ 4.87 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31

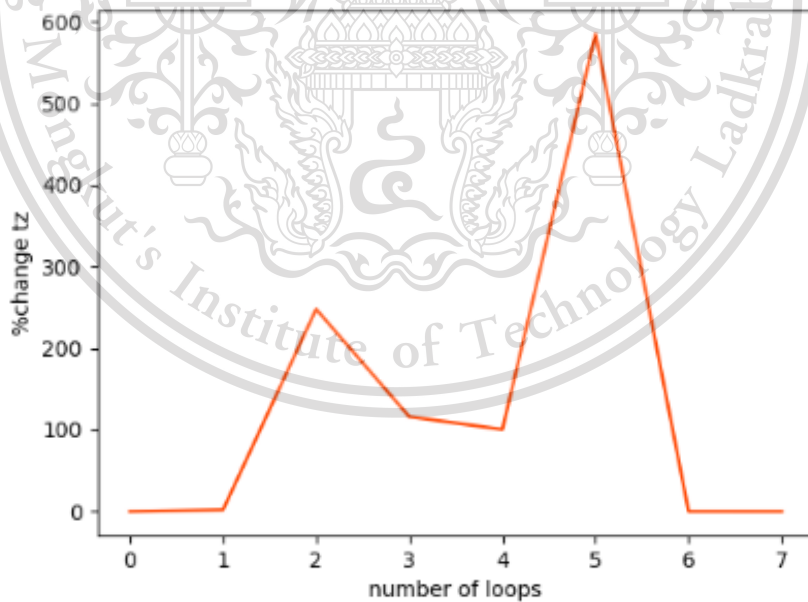
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 103



รูปที่ 4.88 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31



รูปที่ 4.89 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

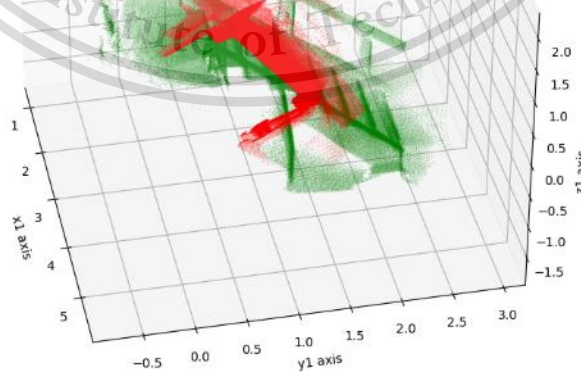
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 104

ต่อมานำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.30 และตาราง 4.31 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.32 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.90

ตาราง 4.32 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 6

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.90 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 6

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 105

ข้อมูลชุดที่ 7 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 13 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.33 และตาราง 4.34

ตาราง 4.33 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 7

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.0834154	0.3488420	0.1811480
คำตอบ	-6.3118949	-0.0723133	-0.0639666
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	63218.949	623.1333	739.6669

ตาราง 4.34 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 7

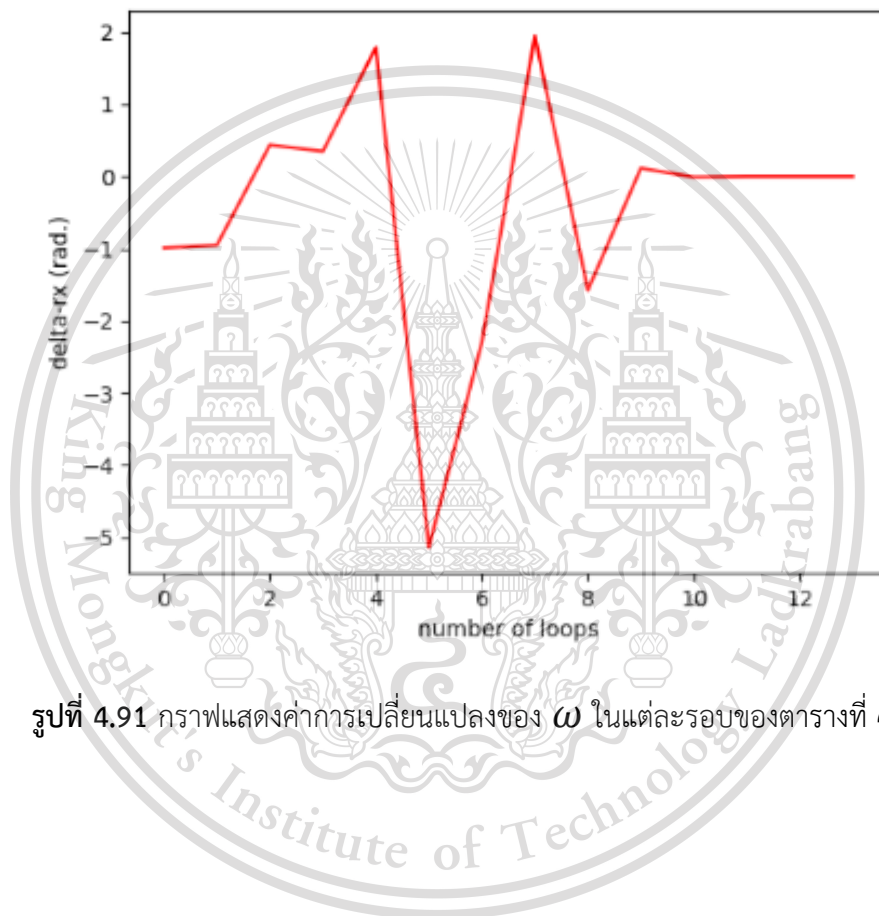
ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.7676758	0.6587663	0.5406267
คำตอบ	0.1295049	-0.2334610	-0.2513132
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	1195.0493	2434.6101	2613.1323

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 106

จากข้อมูลตามตาราง 4.33 และตาราง 4.34 เมื่อนำค่าคำตอบบลด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.91 – 4.96

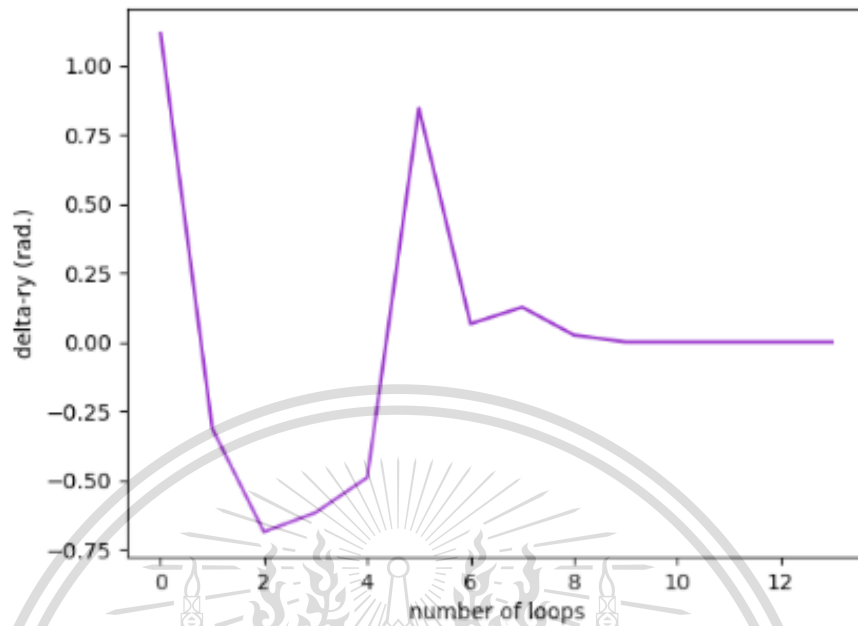


รูปที่ 4.91 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33

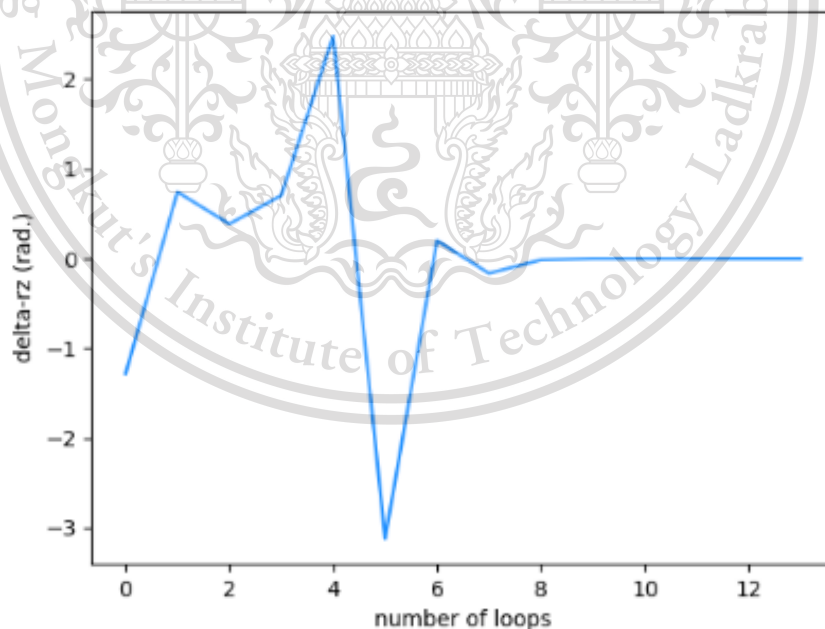
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 107



รูปที่ 4.92 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33

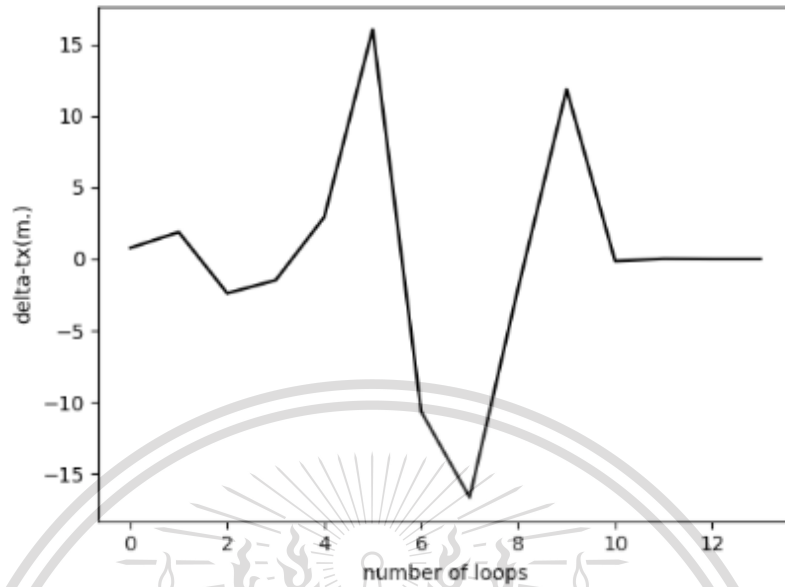


รูปที่ 4.93 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33

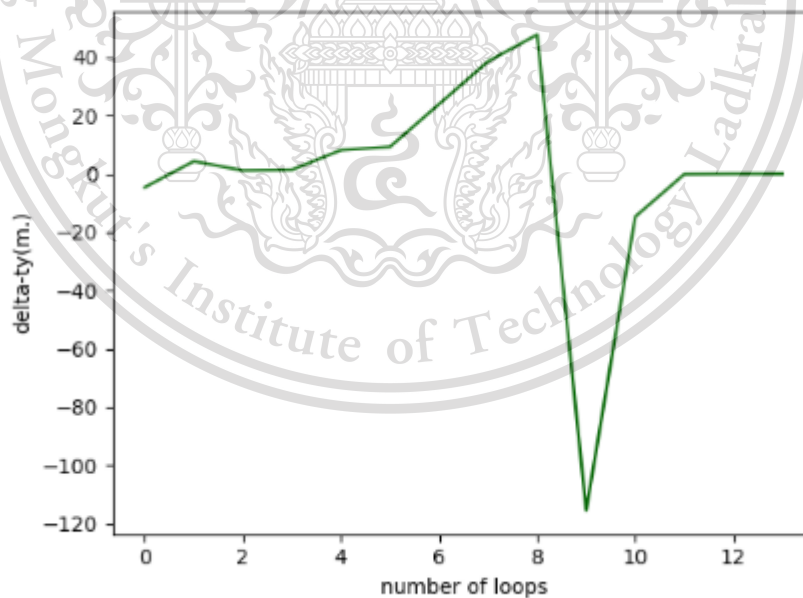
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 108



รูปที่ 4.94 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34

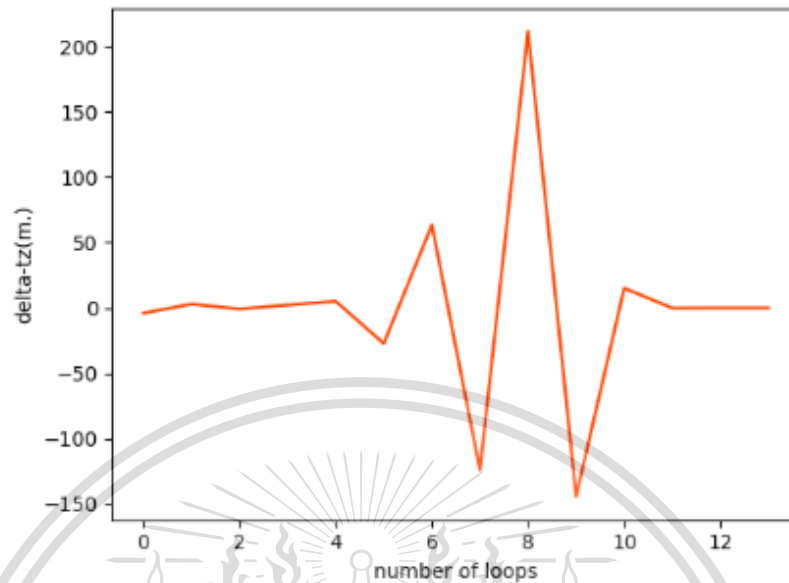


รูปที่ 4.95 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



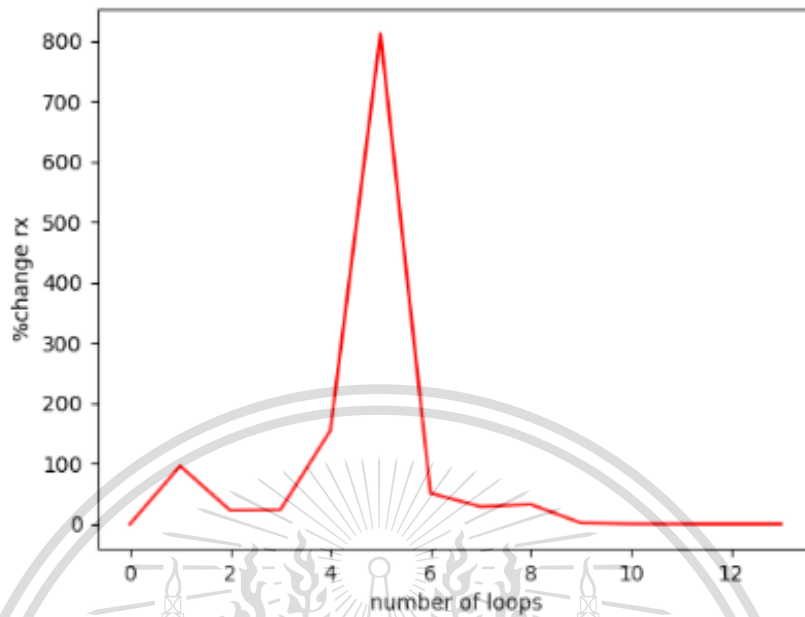
รูปที่ 4.96 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34

จากข้อมูลตามตาราง 4.33 และตาราง 4.34 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการค้นหาของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.97 – 4.102

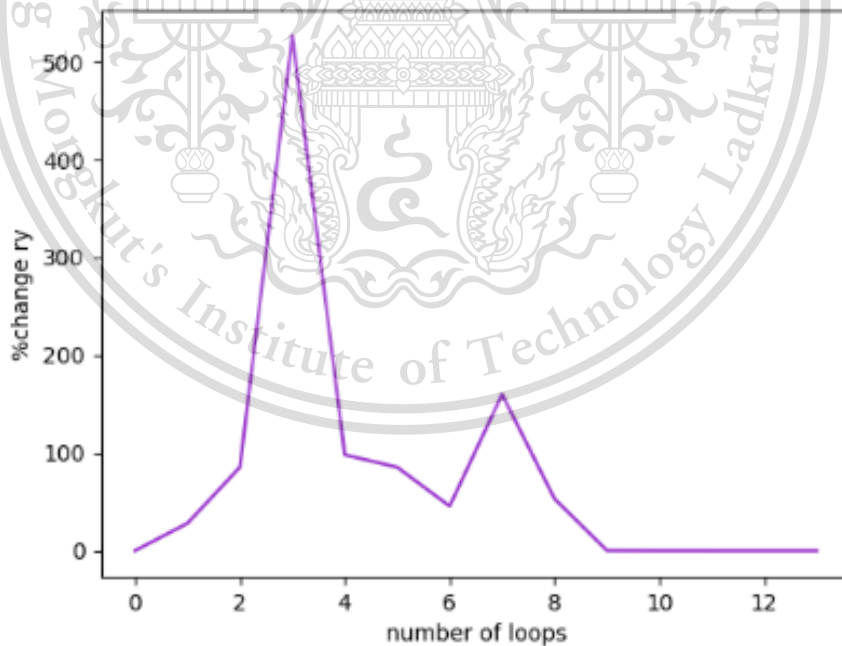
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 110



รูปที่ 4.97 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33

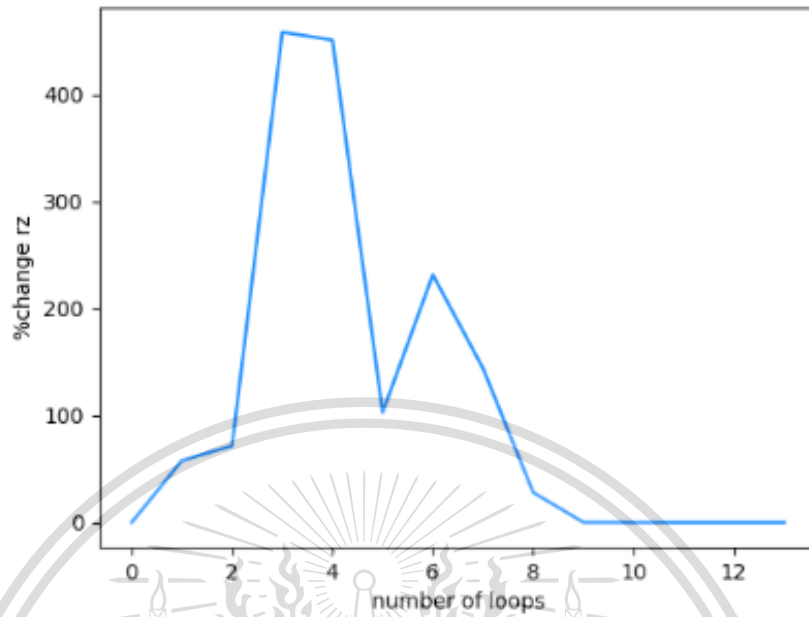


รูปที่ 4.98 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33

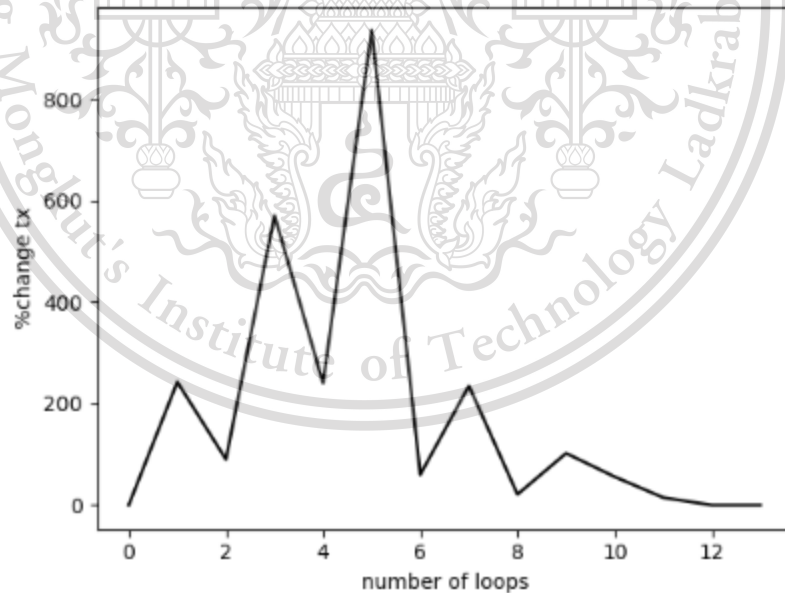
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 111



รูปที่ 4.99 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.33

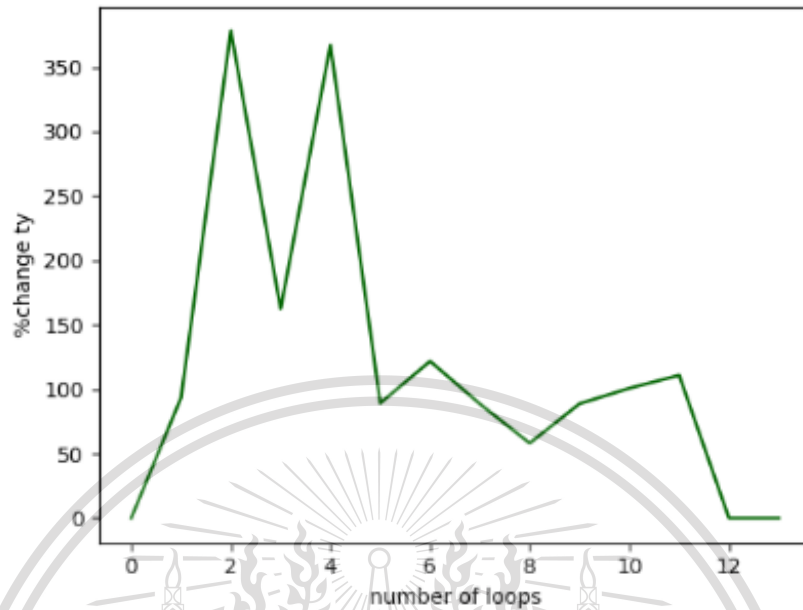


รูปที่ 4.100 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34

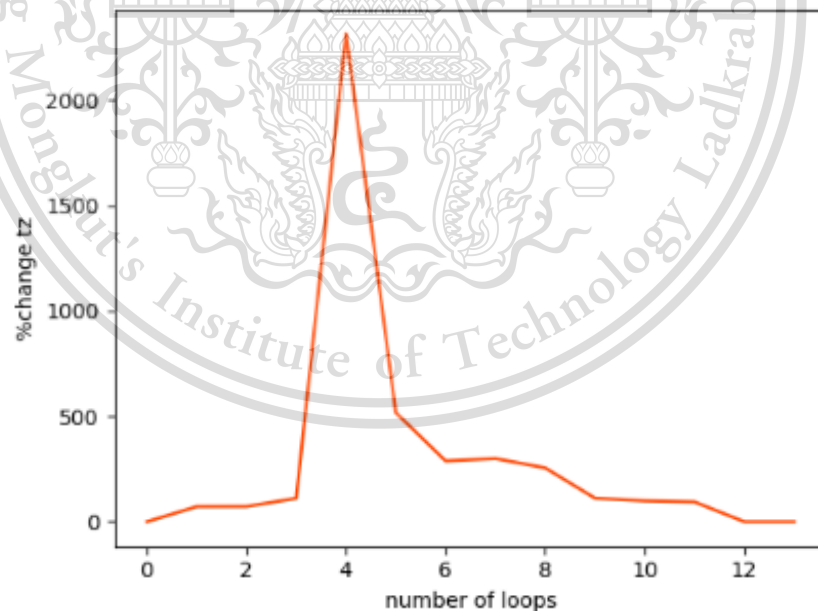
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 112



รูปที่ 4.101 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34



รูปที่ 4.102 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

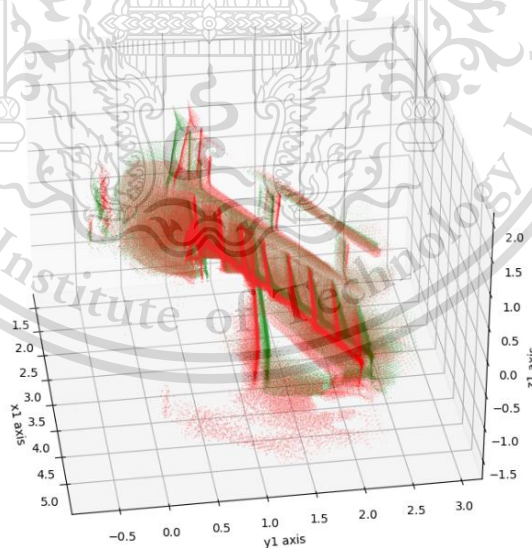
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 113

ต่อมา นำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.33 และตาราง 4.34 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.35 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.103

ตาราง 4.35 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 7

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.103 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 114

ข้อมูลชุดที่ 8 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 8 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.36 และตาราง 4.37

ตาราง 4.36 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 8

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.5455140	0.8275863	0.8310186
คำตอบ	70.661789	-11.888758	-9.9087591
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	706517.89	118987.58	99187.591

ตาราง 4.37 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 8

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.1279438	0.6114864	0.7943540
คำตอบ	6.4239581	2.9893915	-1.0011138
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	64139.581	29793.915	10111.138

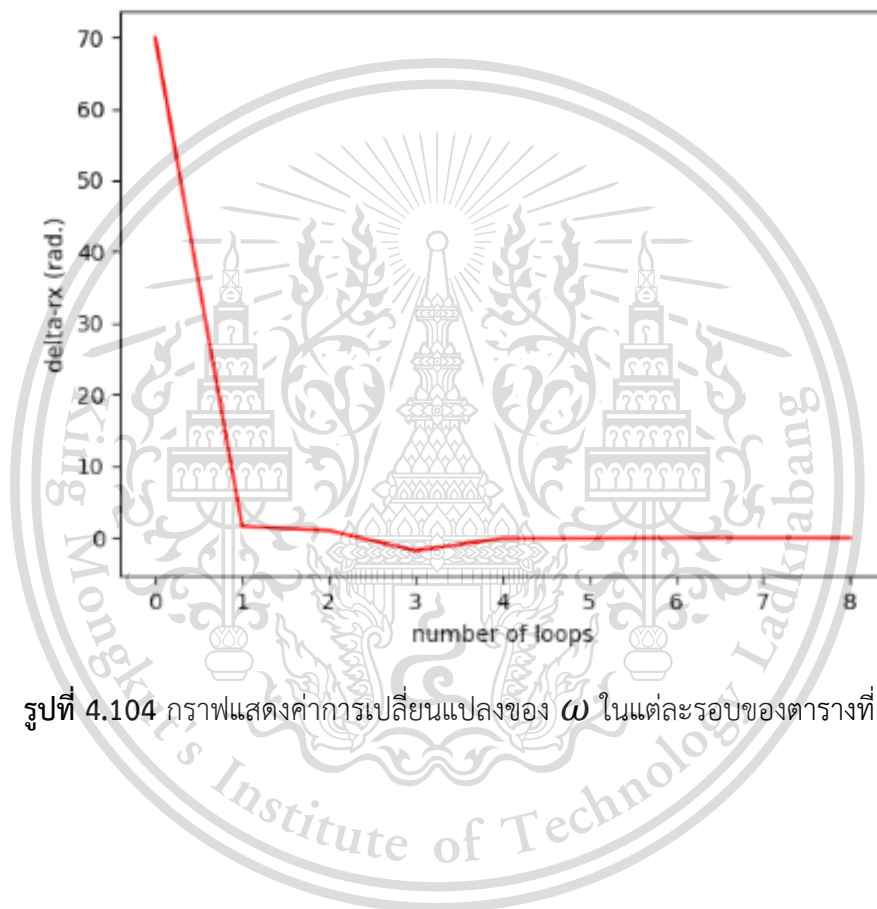
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 115

จากข้อมูลตามตาราง 4.36 และตาราง 4.37 เมื่อนำค่าคำตอบบลบด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการค้นหาของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.104 – 4.109

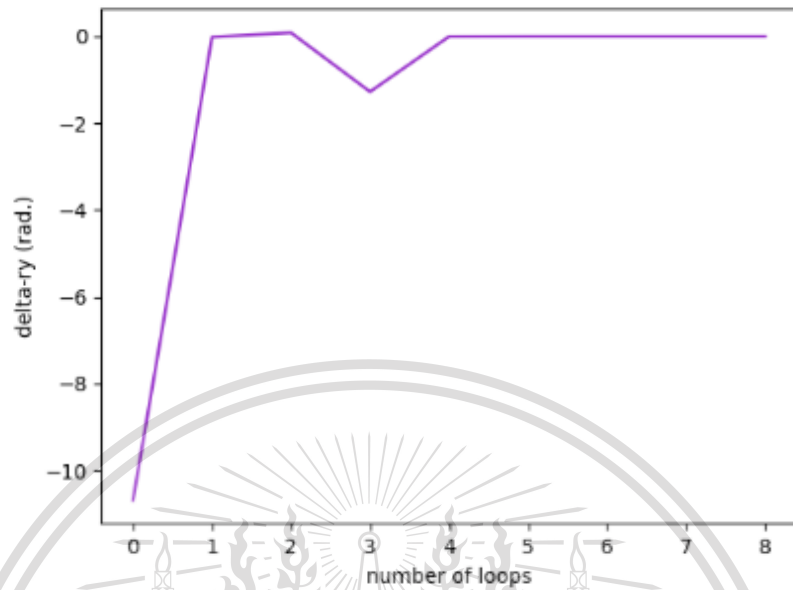


รูปที่ 4.104 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36

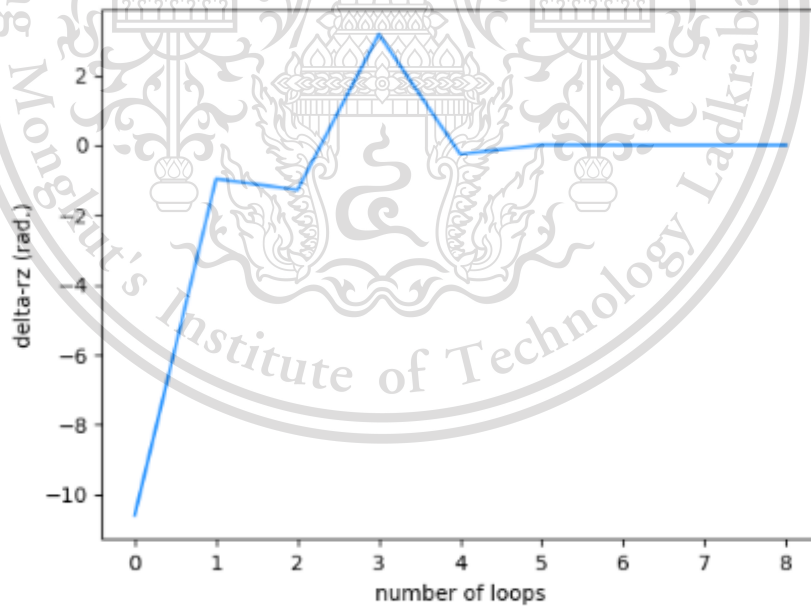
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 116



รูปที่ 4.105 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36

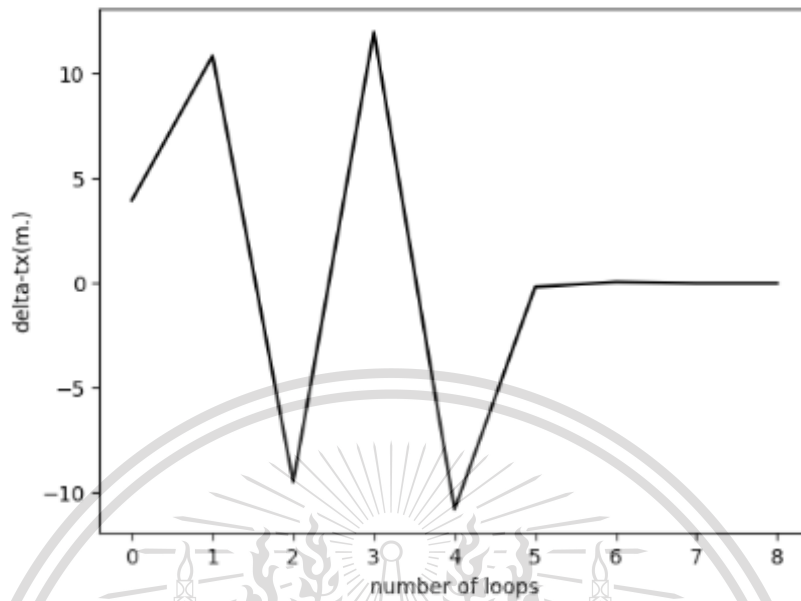


รูปที่ 4.106 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36

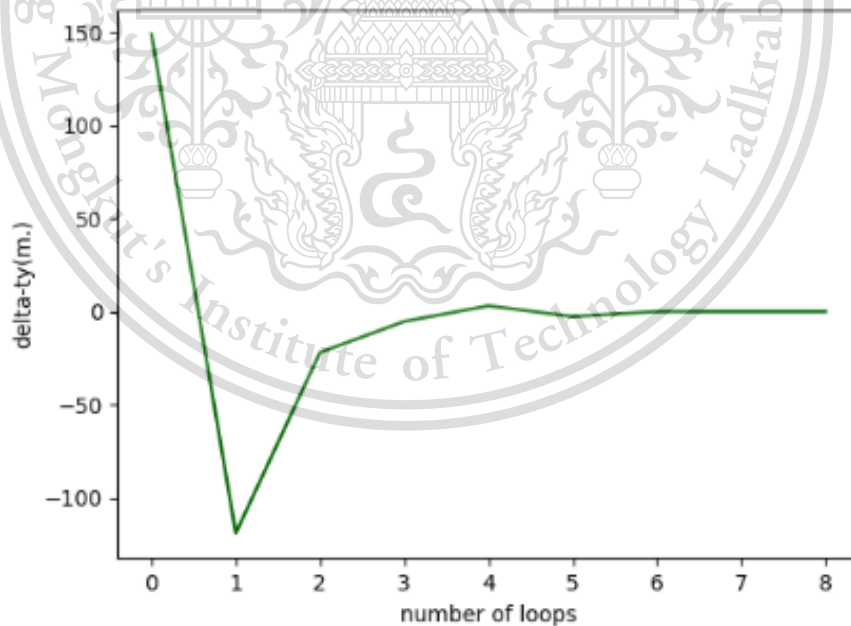
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 117



รูปที่ 4.107 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37

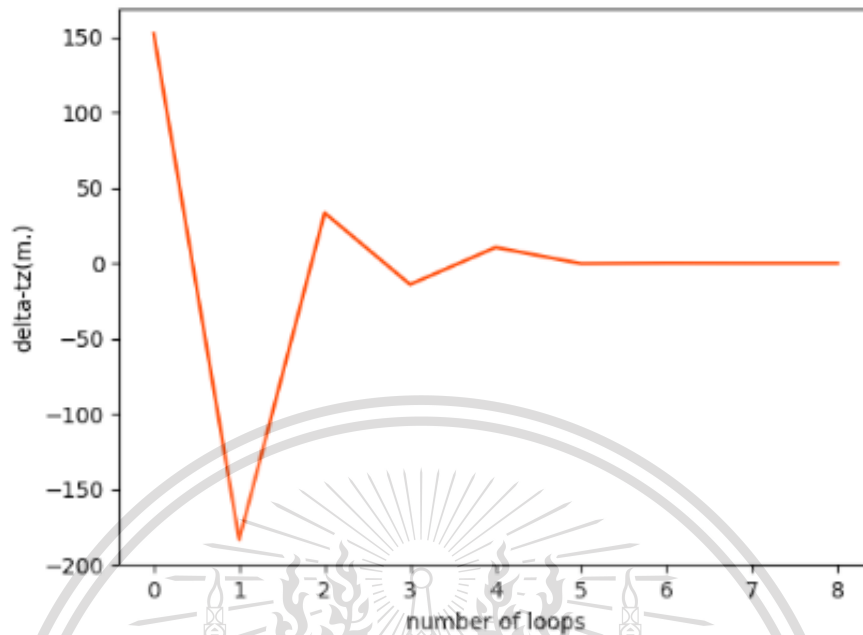


รูปที่ 4.108 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 118



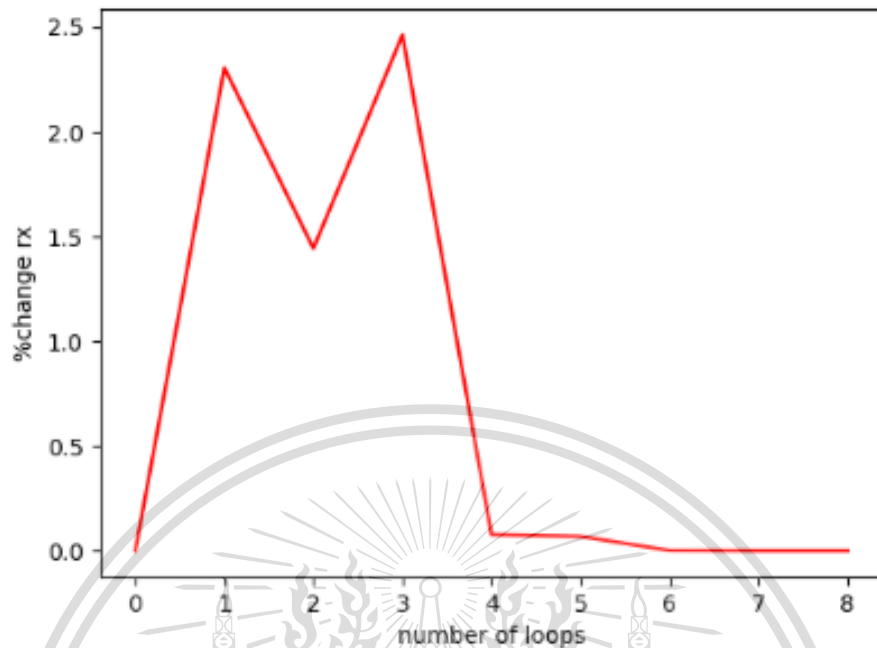
รูปที่ 4.109 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37

จากข้อมูลตามตาราง 4.36 และตาราง 4.37 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการค้นหาของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูป 4.110 – 4.105

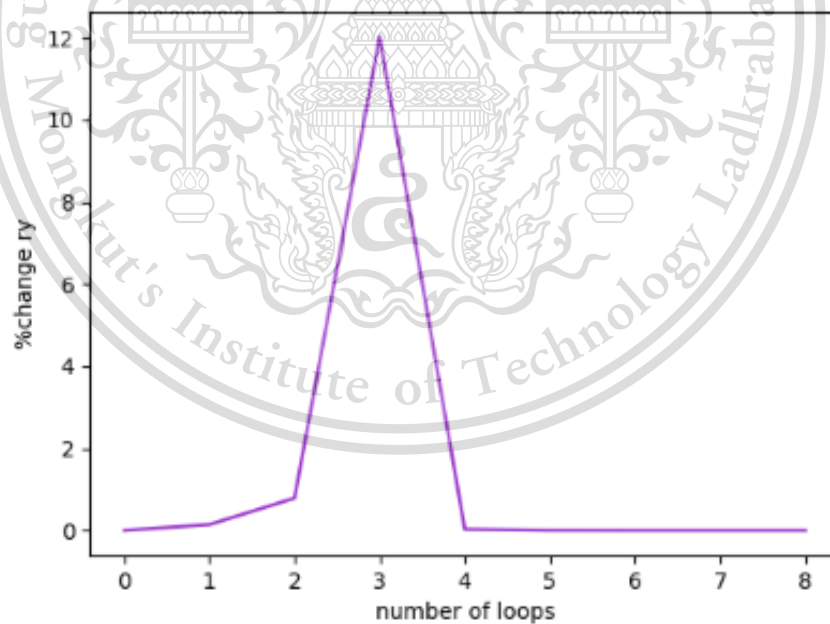
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 119



รูปที่ 4.110 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36

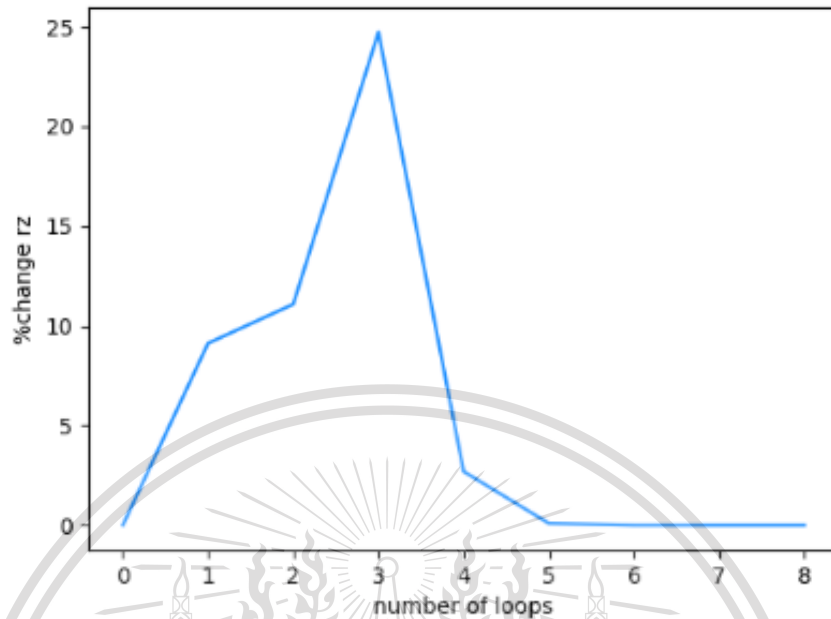


รูปที่ 4.111 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36

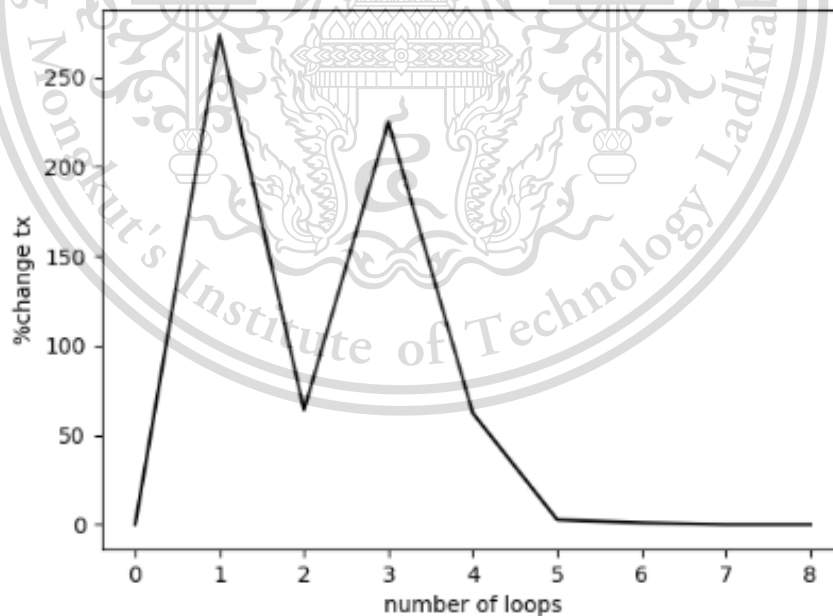
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 120



รูปที่ 4.112 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.36

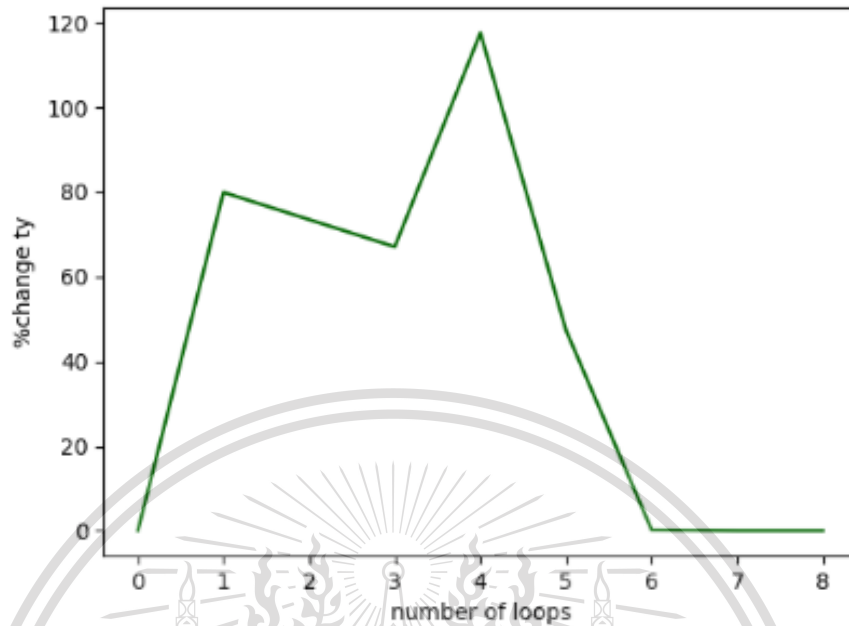


รูปที่ 4.113 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37

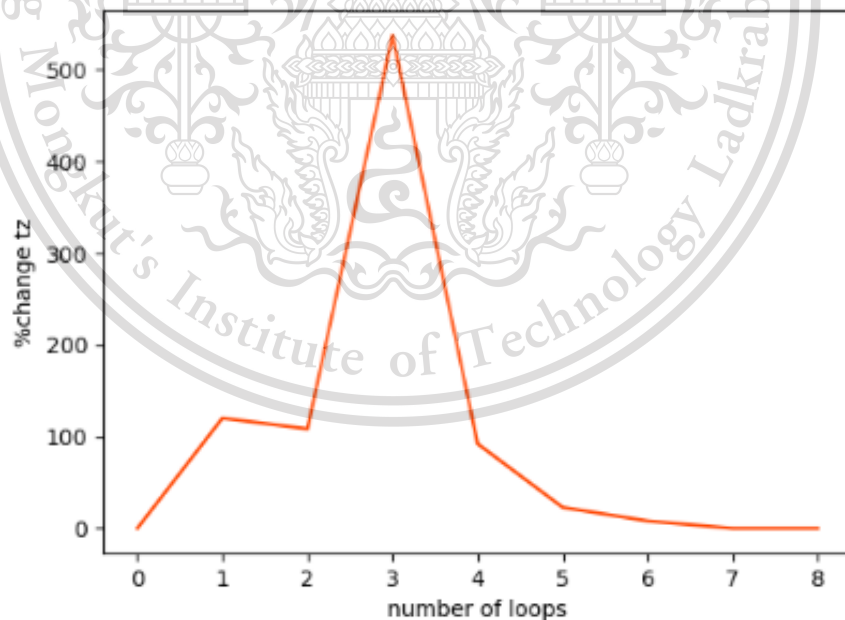
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 121



รูปที่ 4.114 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37



รูปที่ 4.115 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

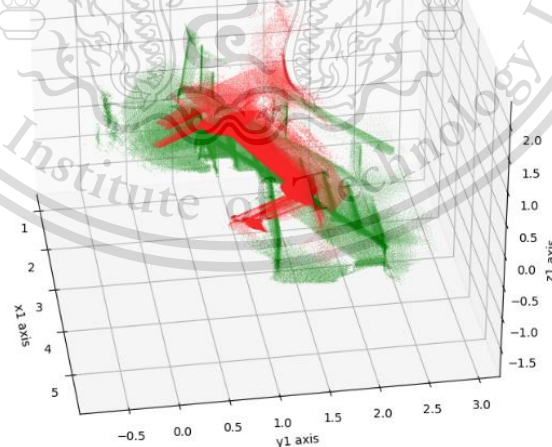
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 122

ต่อมานำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.36 และตาราง 4.37 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.38 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.106

ตาราง 4.38 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ของข้อมูลชุดที่ 8

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.116 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 123

ข้อมูลชุดที่ 9 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 5 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.39 และตาราง 4.40

ตาราง 4.39 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 9

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.2195217	0.6378899	0.6095728
คำตอบ	-9.5502301	2.8442802	-3.4410008
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	95602.301	38432.802	34510.008

ตาราง 4.40 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 9

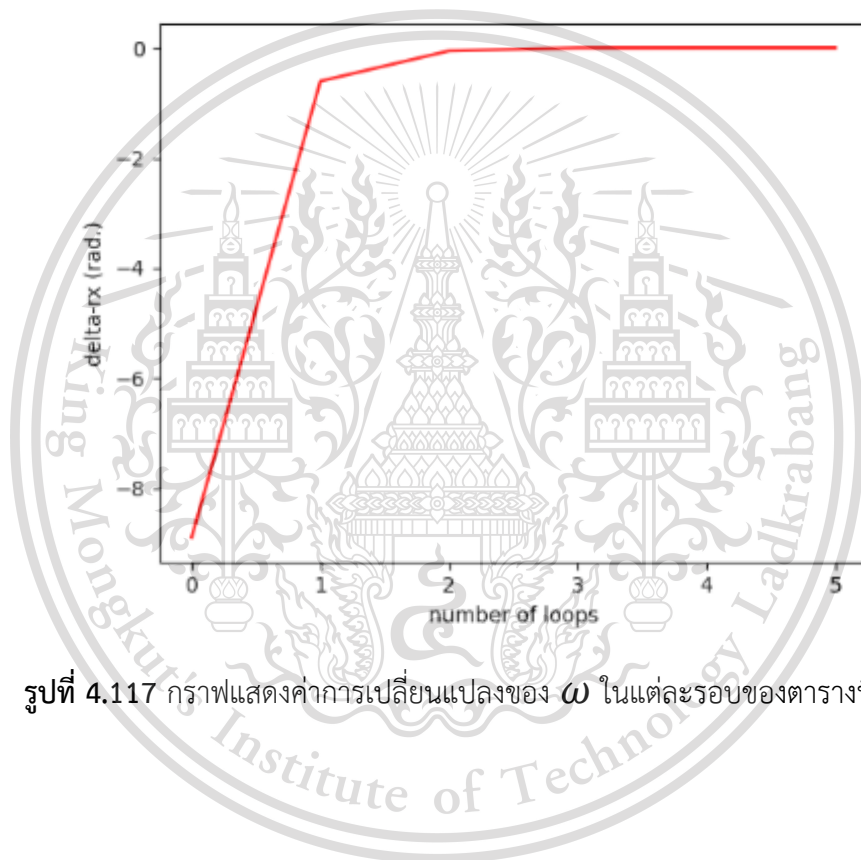
ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.1145356	0.7909420	0.9426443
คำตอบ	0.7618648	-0.8814625	-1.1147759
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	7518.648	8914.6253	11247.759

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 124

จากข้อมูลตามตาราง 4.39 และตาราง 4.40 เมื่อนำค่าคำตอบบลด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.107 – 4.112

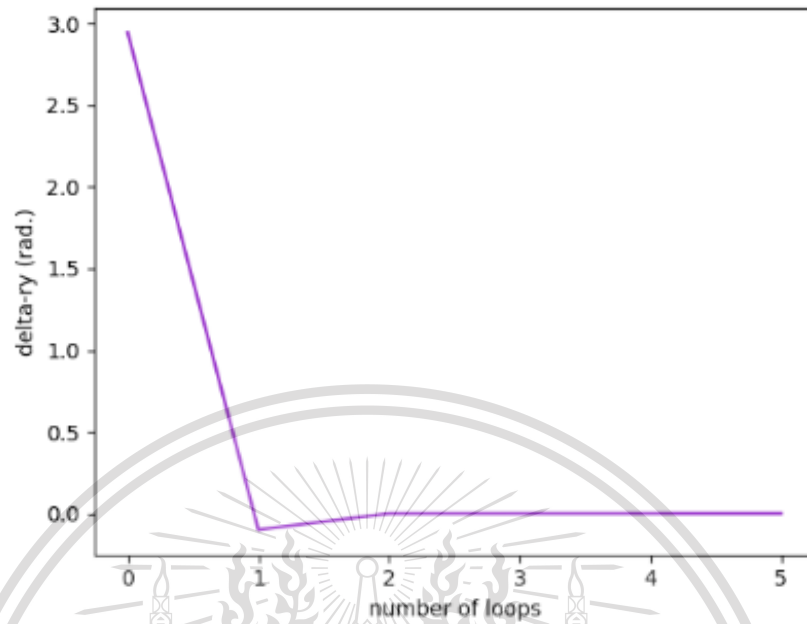


รูปที่ 4.117 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39

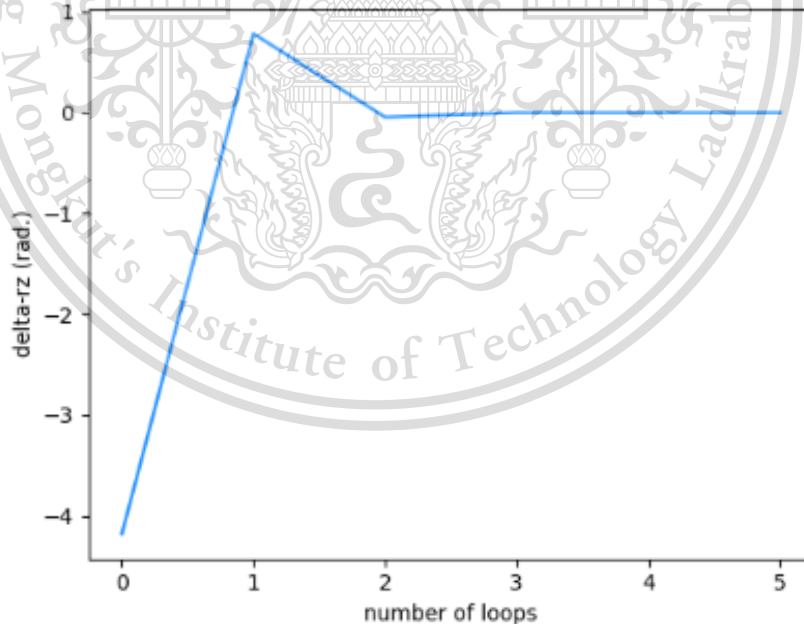
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 125



รูปที่ 4.118 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39

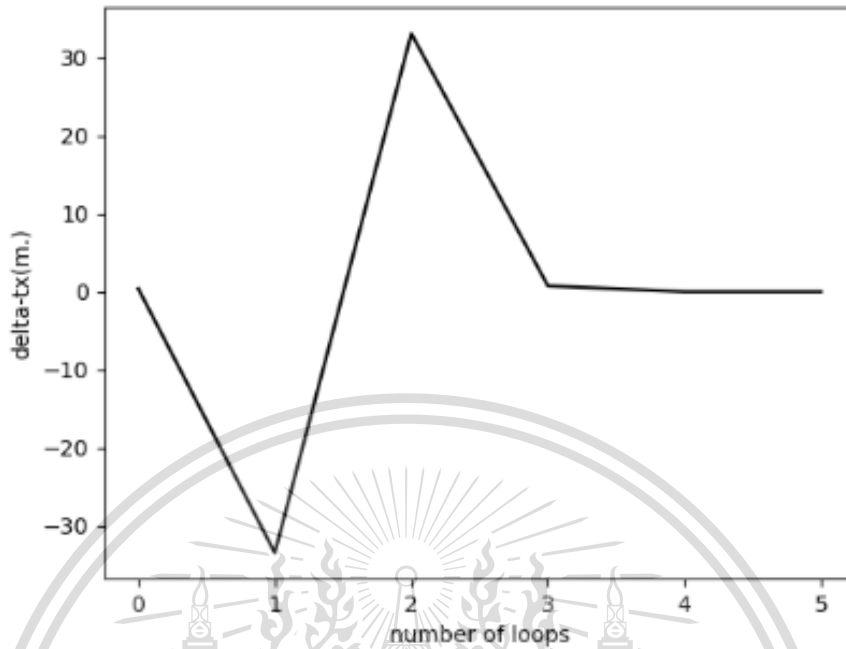


รูปที่ 4.119 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39

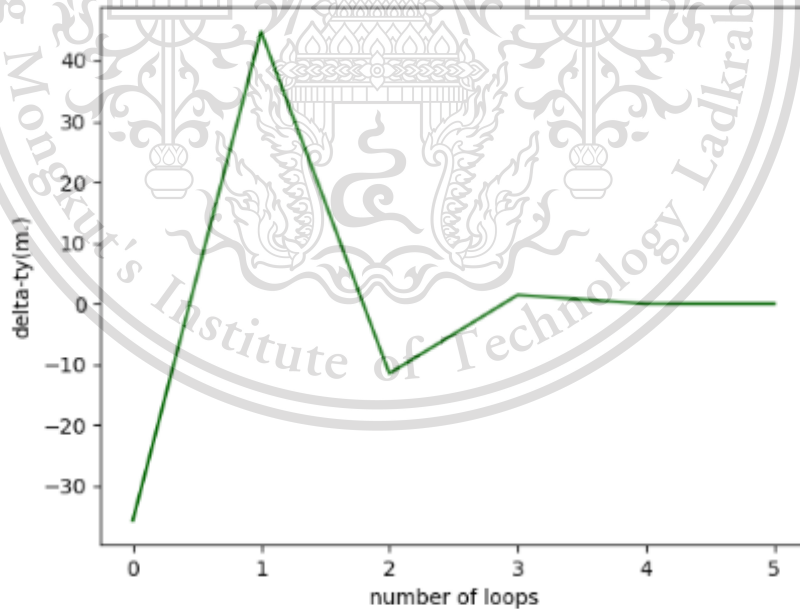
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 126



รูปที่ 4.120 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40

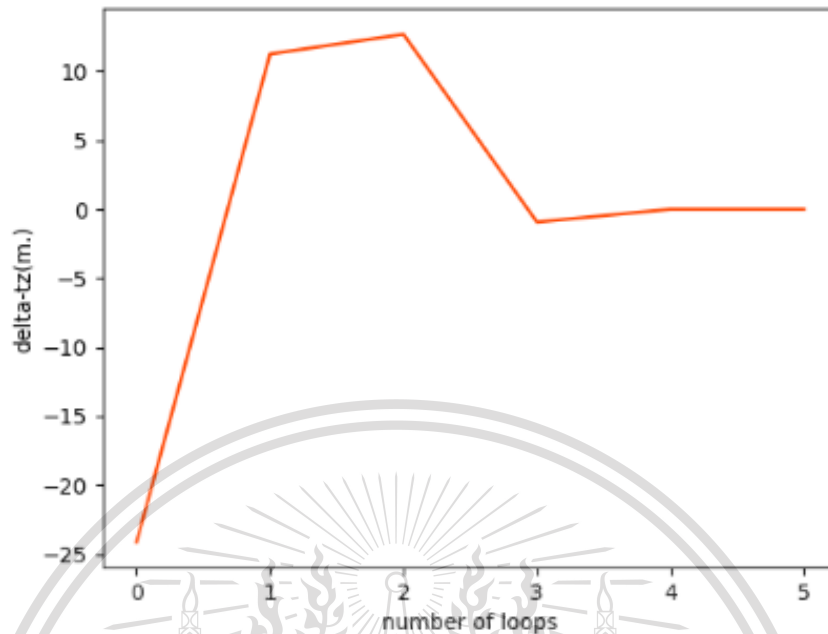


รูปที่ 4.121 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 127



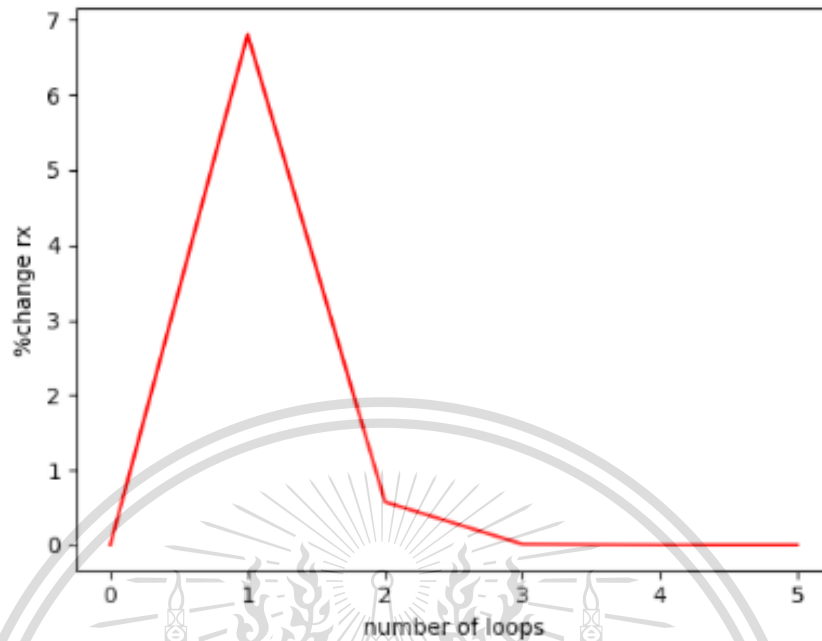
รูปที่ 4.122 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40

จากข้อมูลตามตาราง 4.39 และตาราง 4.40 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการค้นหาของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.113 – 4.118

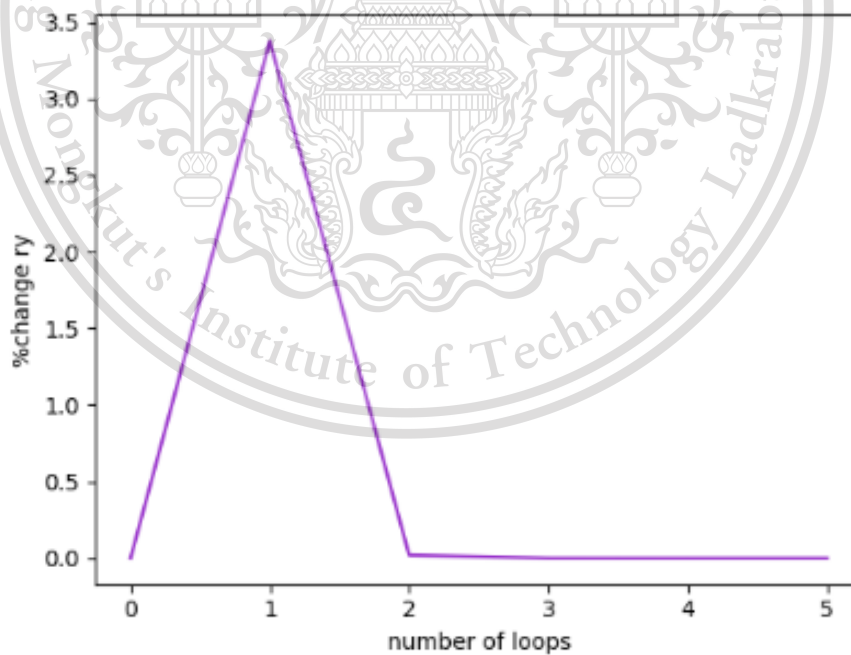
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 128



รูปที่ 4.123 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39

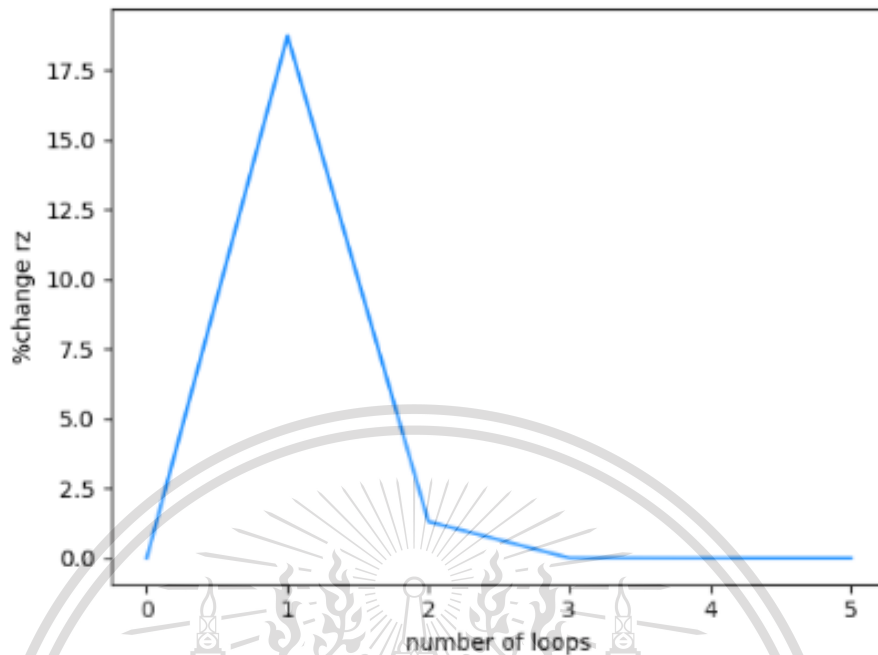


รูปที่ 4.124 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39

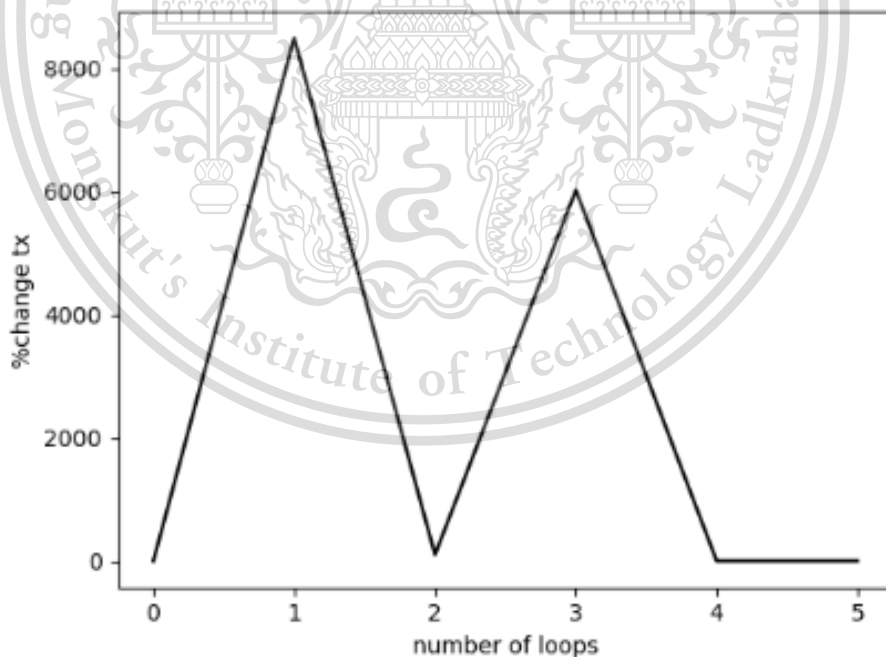
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 129



รูปที่ 4.125 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.39

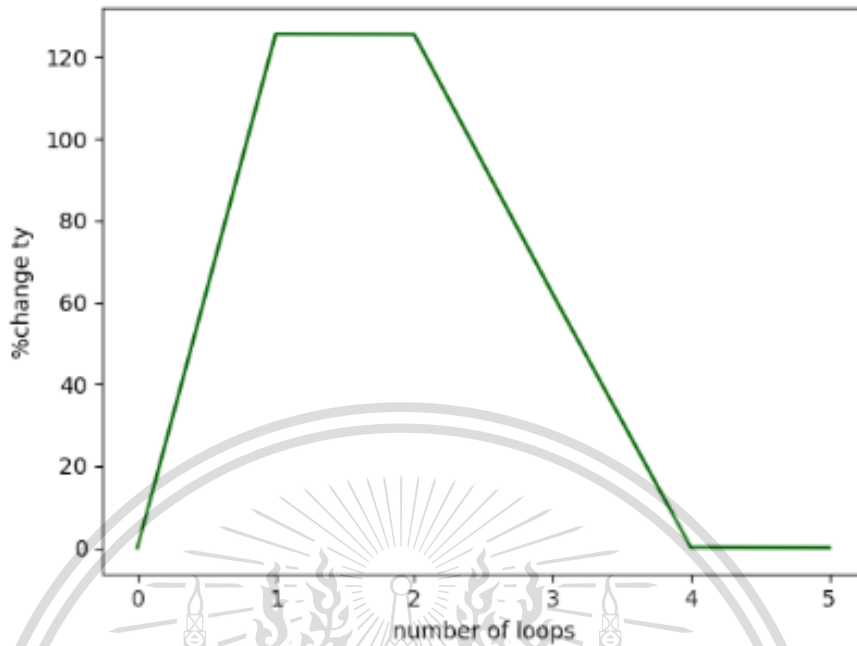


รูปที่ 4.126 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40

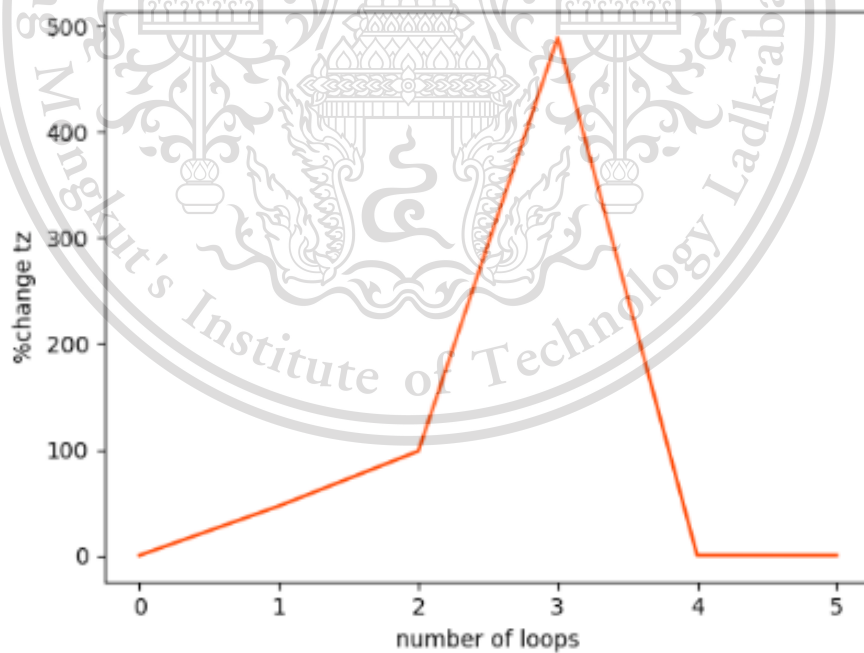
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.127 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40



รูปที่ 4.128 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

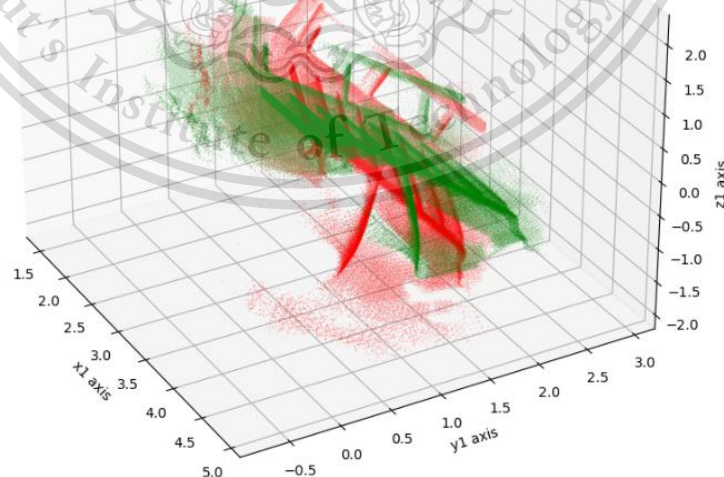
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 131

ต่อมา นำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.39 และตาราง 4.40 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.41 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.119

ตาราง 4.41 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 9

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.129 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเชิงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลชุดที่ 10 มีจำนวนรูปในการหาค่าคำตอบจากสมการ Newton Raphson คือ 7 รอบ โดยมีการแสดงข้อมูลค่าคำตอบต่างๆ ไว้ในตาราง 4.42 และตาราง 4.43

ตาราง 4.42 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการหมุน (rotation) ข้อมูลชุดที่ 10

ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.4446885	0.6644950	0.9689003
คำตอบ	635.85911	-12.695202	114.87118
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	6358491.1	127052.02	1148611.8

ตาราง 4.43 แสดงค่าเริ่มต้น, ค่าคำตอบที่คำนวณได้, ค่าคำตอบจริงและค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของการเลื่อน (translation) ข้อมูลชุดที่ 10

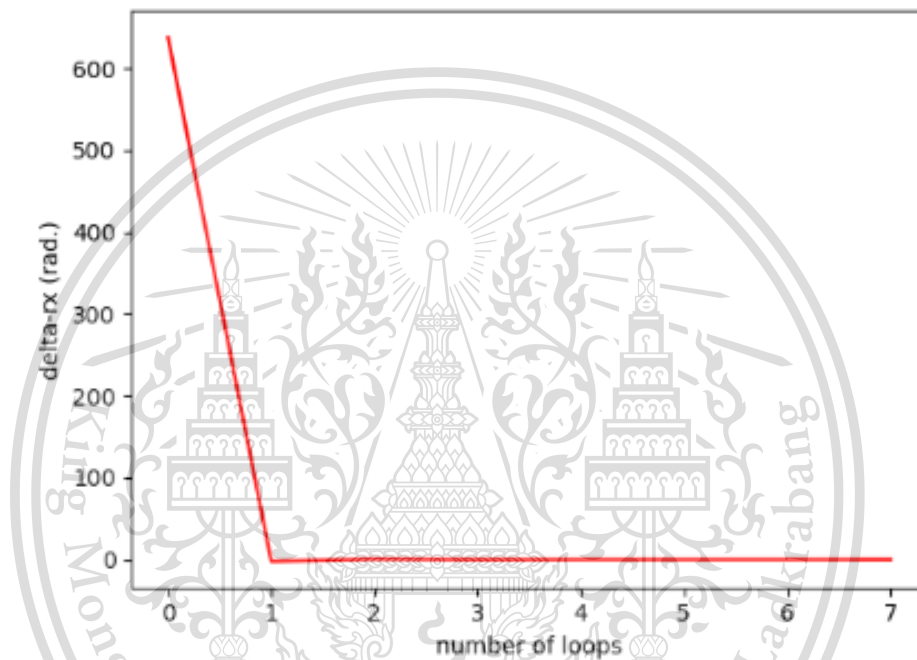
ตัวแปร	ω (rad)	θ (rad)	k (rad)
ค่าเริ่มต้น	0.8559289	0.6148361	0.9771653
คำตอบ	3.5923891	4.5194663	1.7529370
คำตอบจริง	0.01	0.01	0.01
ค่าคลาดเคลื่อน (%)	35823.891	45094.663	17429.370

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 133

จากข้อมูลตามตาราง 4.42 และตาราง 4.43 เมื่อนำค่าคำตอบบลด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเขียนเป็นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าความแตกต่างของคำตอบมีหน่วยเป็นเรเดียนและแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการรันหาค่าของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.120 – 4.125

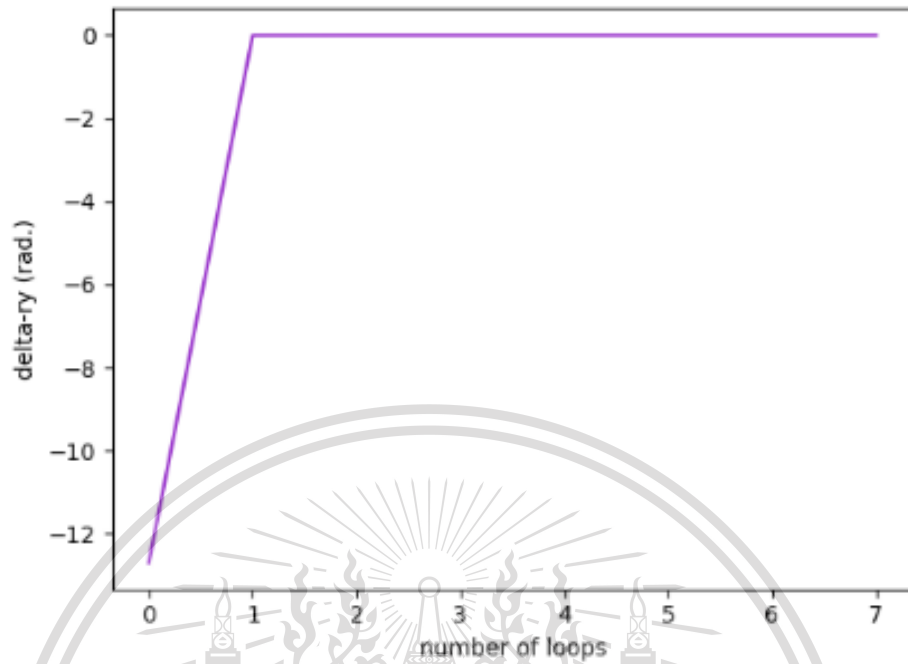


รูปที่ 4.130 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42

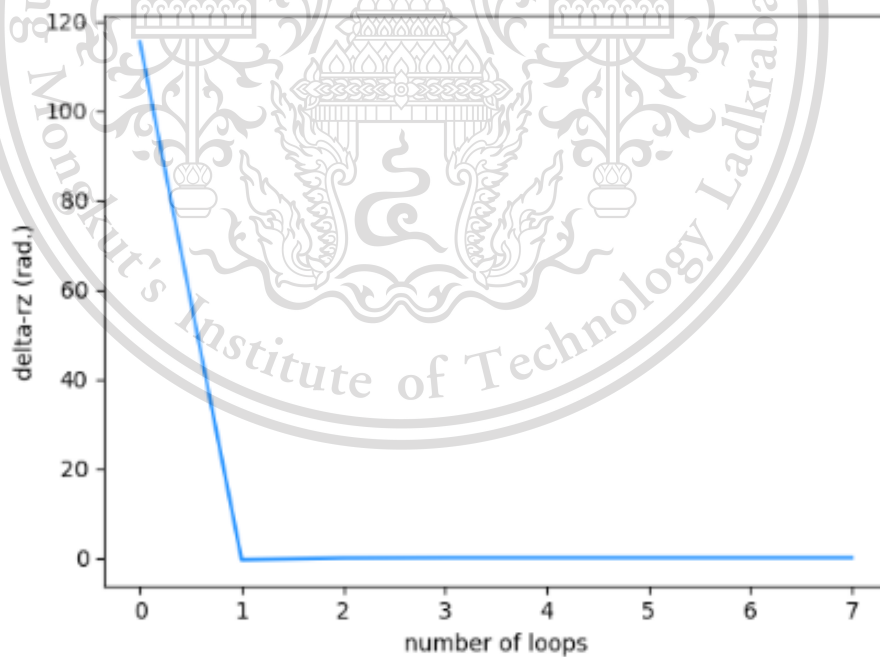
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.131 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42

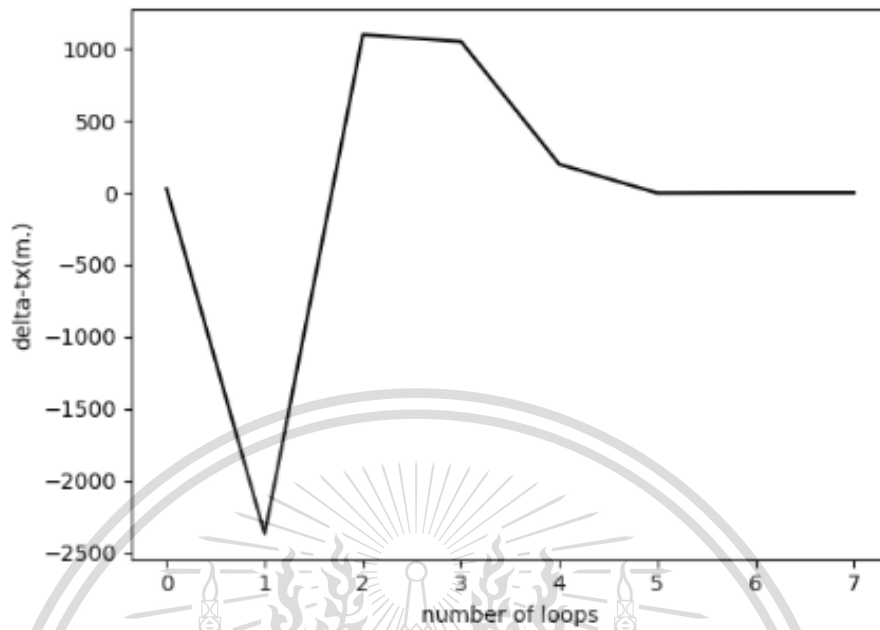


รูปที่ 4.132 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42

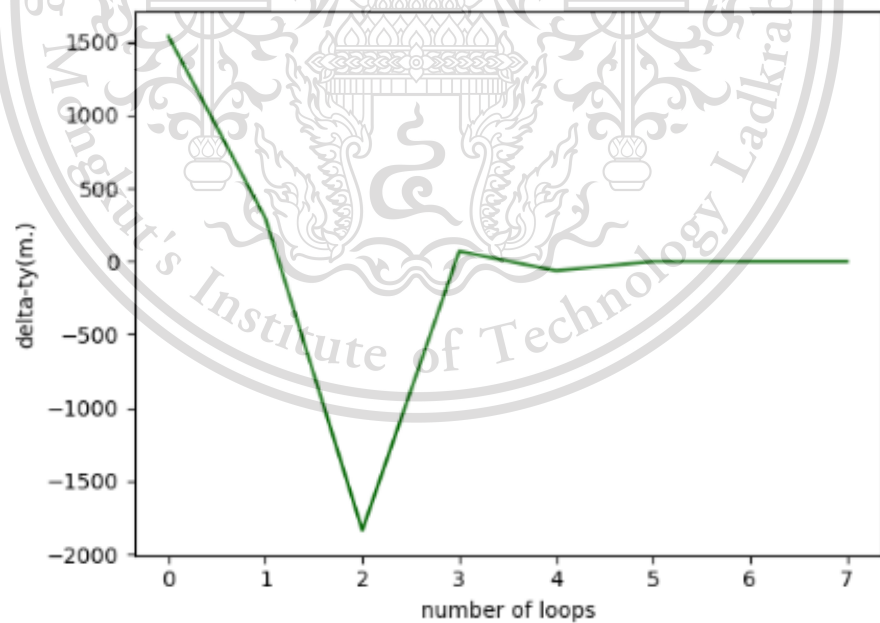
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.133 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43

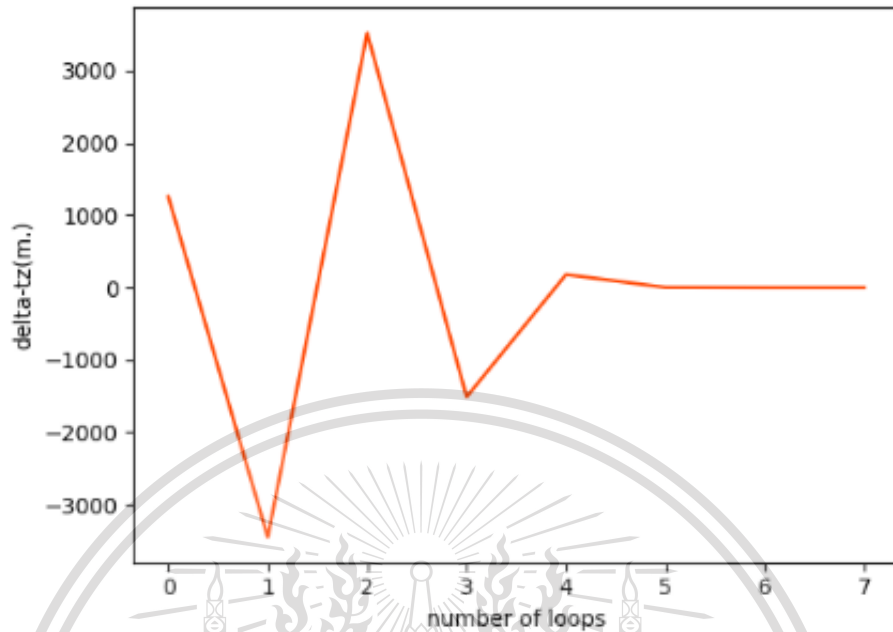


รูปที่ 4.134 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



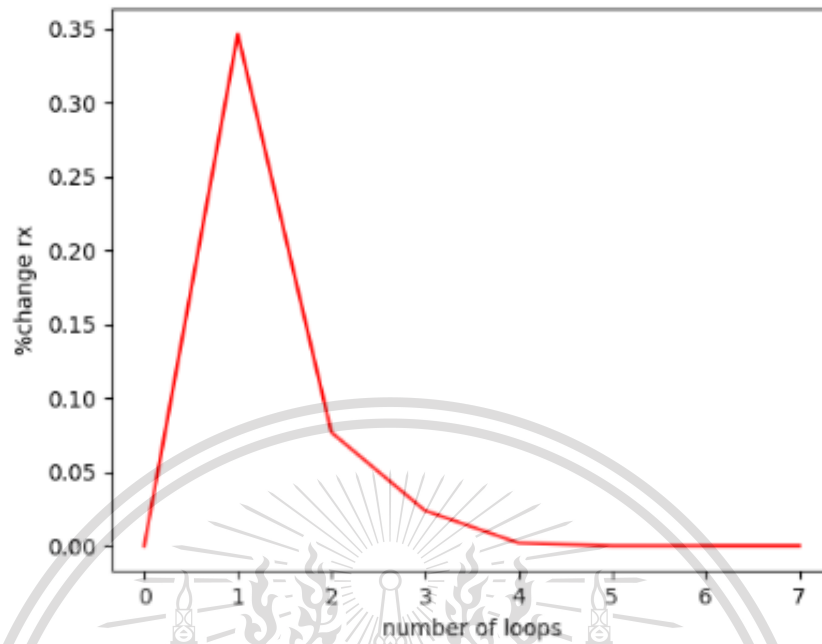
รูปที่ 4.135 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43

จากข้อมูลตามตาราง 4.42 และตาราง 4.43 เมื่อนำค่าคำตอบลบลดด้วยค่าคำตอบของลูปก่อนหน้าเทียบกับค่าคำตอบที่หาได้ในลูปปัจจุบันเขียนเป็นกราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างคำตอบในแต่ละลูปของแต่ละตัวแปรในการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) โดยให้แกน y แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยมีการหาค่าของคำตอบมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์และแกน x เป็นจำนวนลูปมีหน่วยเป็นรอบที่ใช้ในการค้นหาของสมการ Newton Raphson สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.126 – 4.131

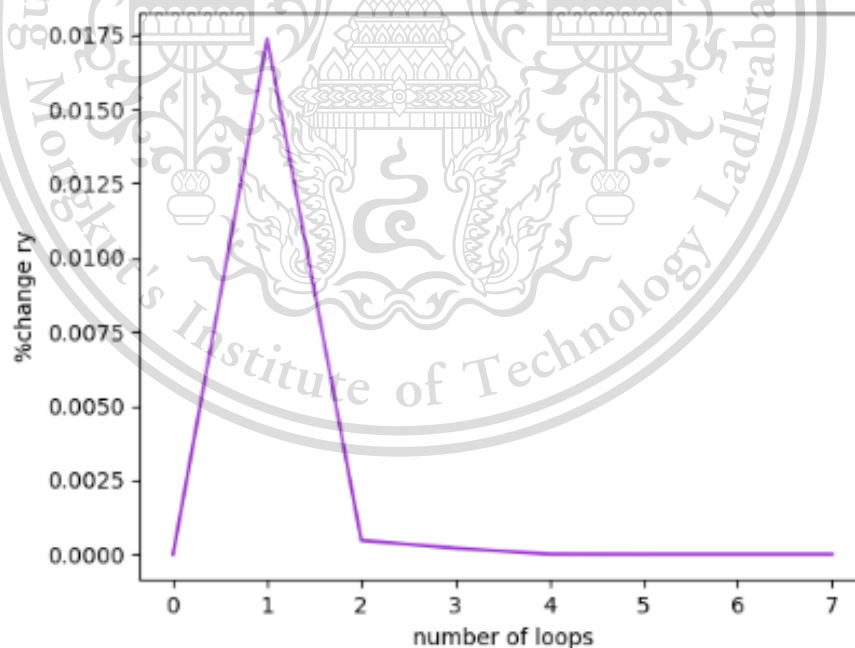
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 137



รูปที่ 4.136 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ω ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42

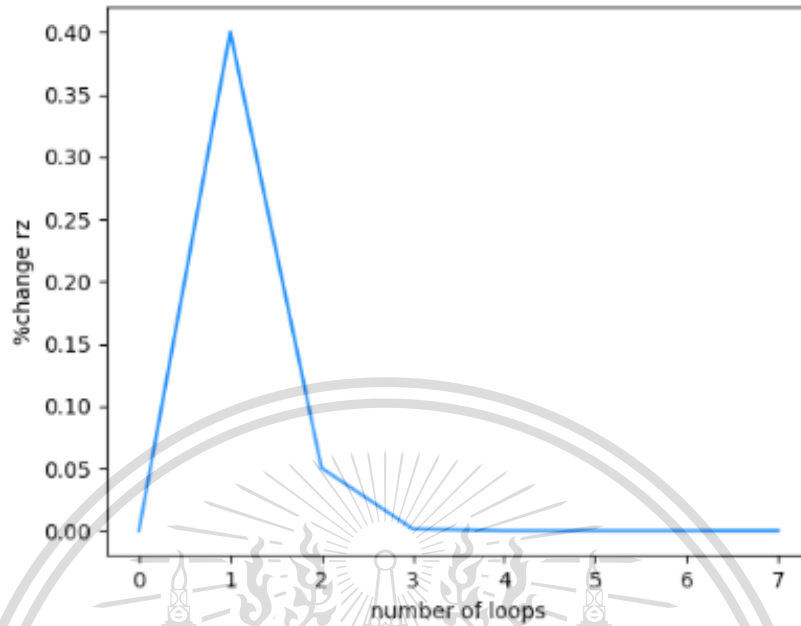


รูปที่ 4.137 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ ϕ ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42

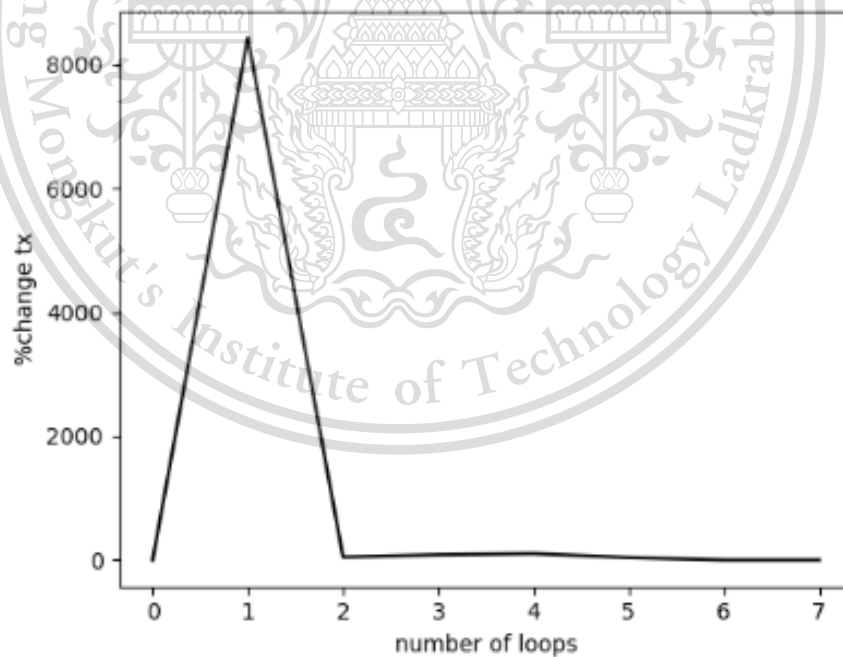
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 138



รูปที่ 4.138 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ K ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.42

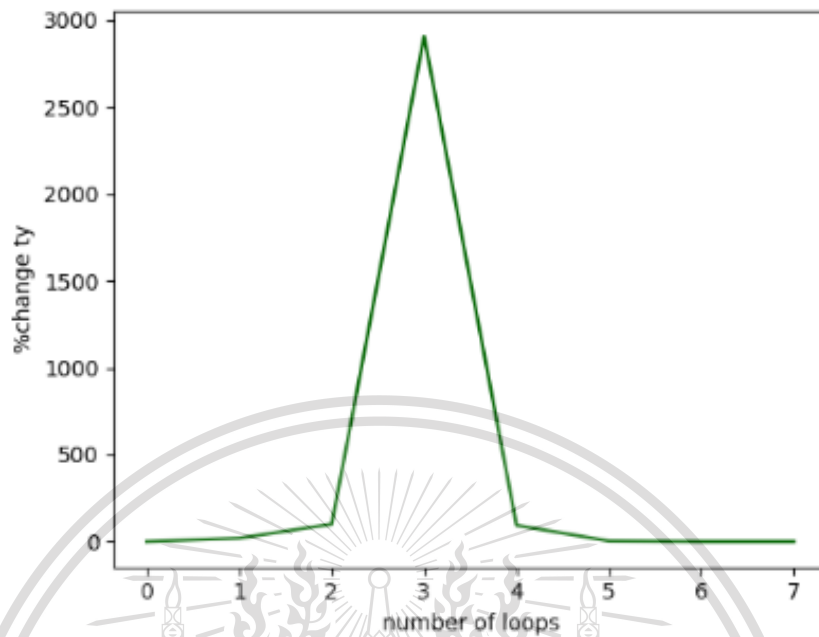


รูปที่ 4.139 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_x ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43

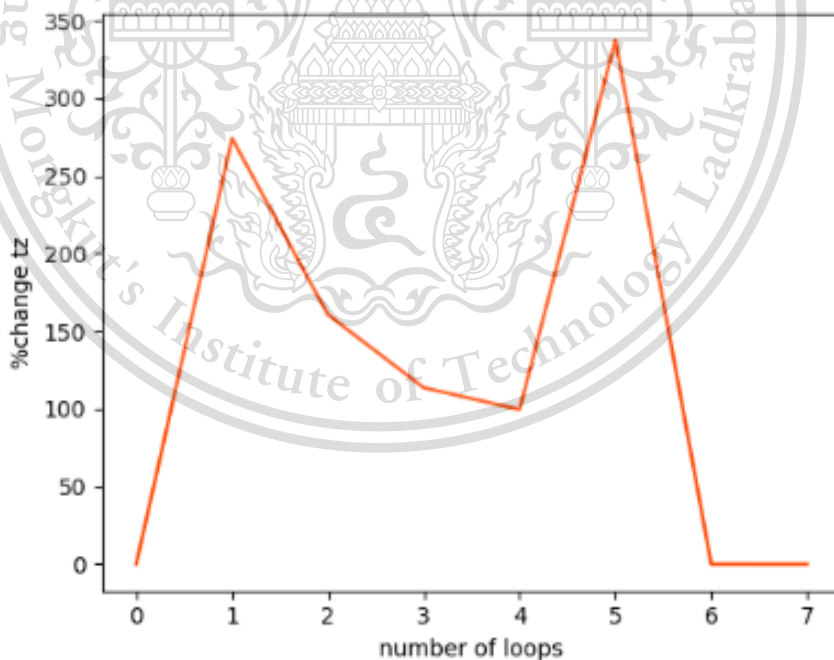
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 139



รูปที่ 4.140 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_y ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43



รูปที่ 4.141 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ t_z ในแต่ละรอบของตารางที่ 4.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

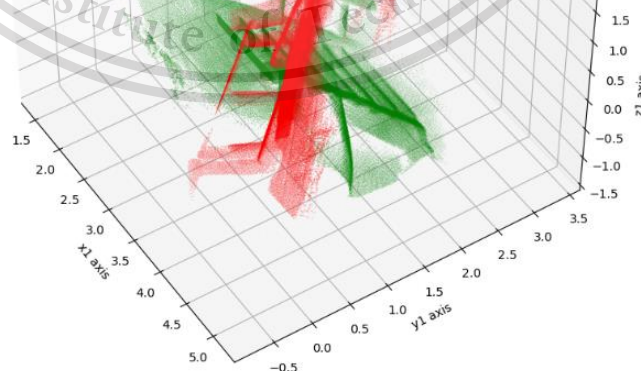
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 140

ต่อมานำจุด B1 มาหมุน (rotation) และเลื่อน (translation) ตามค่าคำตอบในตาราง 4.42 และตาราง 4.43 นำมาเปรียบเทียบกับพิกัดจุด A1 หาระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองเพื่อหาความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตาราง 4.44 และแสดงผลในรูปแบบของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ดังรูปที่ 4.132

ตาราง 4.44 แสดงค่าพิกัดข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 10

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
พิกัดจุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
พิกัดจุด B1	3.92860254	0.51234893	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด A1 และ B1	10^{-8}		



รูปที่ 4.142 ภาพแสดงผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลชุดที่ 10

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 141

จากผลการการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ของข้อมูลทั้ง 10 ชุดพบว่า เมื่ออินพุตค่าเริ่มต้น (initial value) ที่น้อยจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อย แต่เมื่ออินพุตค่าเริ่มต้น (initial value) ที่มากขึ้นจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้นเช่นกัน กล่าวคือค่าเริ่มต้น (initial value) ที่อินพุตเข้าไปในโปรแกรมจะแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ซึ่งเป็นค่าการหมุน (rotation) และการเลื่อน (translation) ของการอ้างอิงระบบพิกัด (registration)

4.2.1 ตรวจสอบผล

เมื่อทำการหาค่าการอ้างอิงระบบพิกัดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแล้ว วิธีต่อเป็นการตรวจสอบผลว่าค่าการอ้างอิงระบบพิกัดที่ได้จากโปรแกรมมีค่าที่ถูกต้องมั้ย จากการคำนวณโดยใช้เครื่องคิดเลขจากสมการ Newton Raphson ซึ่งเป็นสมการเดียวกับสมการที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมโดยมีวิธีคำนวณดังต่อไปนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.17 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(-0.0513738) \cos(0.08933996))(3.933107 - (-0.0769977)) + (-\sin(0.08933996) \cos(-0.0513738))(0.493499 - 0.28181965) + (\sin(-0.0513738))(1.082268 - 0.2769416)$$

$$x_A = 3.988837316 - 0.01886133701 - 0.04137344542$$

$$x_A = 3.928602534 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.928602534 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\sin(0.08933996) \cos(0.05497461) + \sin(0.05497461) \cos(0.08933996))(3.933107 - (-0.0769977)) + (-\sin(0.05497461) \cos(0.08933996) \sin(0.05497461))(3.933107 - (-0.0769977)) +$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$(\cos(0.05497461) \cos(0.08933996) - \sin(-0.0513738)(-0.0513738) \sin(0.08933996) \sin(0.05497461))(0.493499 - 0.28181965) + (-\sin(0.05497461) \cos \phi)(1.082268 - 0.2769416)$$

$$y_A = 0.3459707644 + 0.210569939 - 0.0441917732$$

$$y_A = 0.5123489302 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.5123489302 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(0.08933996) \sin(0.05497461) - \sin(-0.0513738) \cos(0.08933996) \cos(0.05497461))(3.933107 - (-0.0769977)) + (\cos(0.08933996) \sin(0.05497461) + \sin(-0.0513738) \sin(0.08933996) \cos(0.05497461))(0.493499 - 0.28181965) + (\cos(-0.0513738) \cos(0.05497461))(1.082268 - 0.2769416)$$

$$z_A = 0.2245457633 + 0.01061593019 + 0.8030479038$$

$$z_A = 1.038209597 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.038209597 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x , y , z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1)

ข้อมูลชุดที่ 2 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.20 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x , y , z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(-7.16559749) \cos(-3.4832821))(3.933107 - 5.77739235) + (-\sin(-7.16559749) \cos(-3.4832821))(0.493499 - 4.64187156) + (\sin(-3.4832821))(1.082268 - 0.19798171)$$

$$x_A = 1.182405218 + 2.449891252 + 0.2963060743$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในแวดวงวิชาการเท่านั้น ผู้ใช้ที่เห็นไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 143

$$x_A = 3.928602544 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.928602544 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\sin(-7.16559749) \cos(-64.4537781) + \sin(-3.4832821) \cos(-7.16559749) \sin(-64.4537781))(3.933107 - 5.77739235) + (\cos(-64.4537781) \cos(-7.16559749) - \sin(-3.4832821) \sin(-7.16559749) \sin(-64.4537781))(0.493499 - 4.64187156) + (-\sin(-64.4537781) \cos(-3.4832821))(1.082268 - 0.19798171)$$

$$y_A = 0.3508907915 + 0.9935349405 - 0.8320768513$$

$$y_A = 0.5123488807 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.5123488807 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(-7.16559749) \sin(-64.4537781) - \sin(-3.4832821) \cos(-7.16559749) \cos(-64.4537781))(3.933107 - 5.77739235) + (\cos(-7.16559749) \sin(-64.4537781) + \sin(-3.4832821) \sin(-7.16559749) \cos(-64.4537781))(0.493499 - 4.64187156) + (\cos(-3.4832821) \cos(-64.4537781))(1.082268 - 0.19798171)$$

$$z_A = -1.371197289 + 2.366826779 + 0.04258011887$$

$$z_A = 1.038209609 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.038209609 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 144

จากการคำนวณค่าพิกัด x, y, z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1) ดัง ตาราง 4.45

ตาราง 4.45 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 2

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณ	3.928602544	0.512348881	1.038209609
จุด A1	3.928602540	0.512348940	1.038209590
ระยะห่างระหว่างจุด	6.24×10^{-8}		

ข้อมูลชุดที่ 3 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.23 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(0.04775546) \cos(-0.01993828))(3.933107 - (-0.03656779)) + (-\sin(0.04775546) \cos(-0.01993828))(0.493499 - 0.13832472) + (\sin(-0.01993828))(1.082268 - 0.13895906)$$

$$x_A = 3.964360945 - 0.01695169483 - 0.01880671166$$

$$x_A = 3.928602539 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.928602539 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\sin(0.04775546) \cos(0.03098909) + \sin(-0.01993828) \cos(0.04775546) \sin(0.03098909))(3.933107 - (-0.03656779)) + (\cos(0.03098909) \cos(0.04775546) - \sin(-0.01993828) \sin(0.04775546) \sin(0.03098909))(0.493499 - 0.13832472) + (-\sin(0.03098909) \cos(-0.01993828))(1.082268 - 0.13895906)$$

$$y_A = 0.1869612244 + 0.3546094951 - 0.02922179782$$

$$y_A = 0.5123489217 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.5123489217 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(0.04775546) \sin(0.03098909) - \sin(-0.01993828) \cos(0.04775546) \cos(0.03098909))(3.933107 - (-0.03656779)) + (\cos(0.04775546) \sin(0.03098909) + \sin(-0.01993828) \sin(0.04775546) \cos(0.03098909))(0.493499 - 0.13832472) + (\cos(-0.01993828) \cos(0.03098909))(1.082268 - 0.13895906)$$

$$z_A = 0.08488660126 + 0.01065434978 + 0.9426686323$$

$$z_A = 1.038209583 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.038209583 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x , y , z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1) ดัง ตาราง 4.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 146

ตาราง 4.46 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 3

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.92860254	0.51234894	1.03820959
ระยะห่างระหว่างจุด	1.96×10^{-8}		

ข้อมูลชุดที่ 4 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.26 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(-0.03121281) \cos(0.06241709))(3.933107 - (-0.05210104)) + (-\cos(-0.03121281) \sin(0.06241709))(0.493499 - 0.18869818) + (\sin(-0.03121281))(1.082268 - 0.18811372)$$

$$x_A = 3.97551012 - 0.01900317 - 0.02790454$$

$$x_A = 3.92860246 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.92860246 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\cos(0.03934565) \sin(0.06241709) + \sin(0.03934565) \sin(-0.03121281) \cos(0.06241709))(3.933107 - (-0.05210104)) + (\cos(0.03934565) \cos(0.06241709) - \sin(0.03934565) \sin(-0.03121281) \sin(0.06241709))(0.493499 - 0.18869818) + (-\sin(0.03934565) \cos(-0.03121281))(1.082268 - 0.18811372)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$y_A = 0.24350861 + 0.30399519 - 0.03515487$$

$$y_A = 0.51234895 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.51234895 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(0.03934565) \sin(0.06241709) - \cos(0.03934565) \sin(-0.03121281) \cos(0.06241709))(3.933107 - (-0.05210104)) + (\sin(0.03934565) \cos(0.06241709) + \cos(0.03934565) \sin(-0.03121281) \sin(0.06241709))(0.493499 - 0.18869818) + (\cos(0.03934565) \cos(-0.03121281))(1.082268 - 0.18811372)$$

$$z_A = 0.13380925 + 0.01137327 + 0.89302707$$

$$z_A = 1.03820956 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.03820956 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x , y , z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 4 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1) ดัง ตาราง 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 148

ตาราง 4.47 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดอ้างอิง(จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 4

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.92860246	0.51234895	1.03820956
ระยะห่างระหว่างจุด	8.70×10^{-8}		

ข้อมูลชุดที่ 5 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.29 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(0.01125347) \cos(0.0084539))(3.933107 - 0.01211162) + (-\cos(0.01125347) \sin(0.0084539))(0.493499 - 0.01211162) + (\sin(0.01125347))(1.082268 - 0.01211162)$$

$$x_A = 3.92060685 - 0.00413115 - 0.01212669$$

$$x_A = 3.92860246 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.92860246 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\cos(0.00915737) \sin(0.0084539) + \sin(0.00915737) \sin(0.01125347) \cos(0.0084539))(3.933107 - 0.01211162) + (\cos(0.00915737) \cos(0.0084539) - \sin(0.00915737) \sin(0.01125347) \sin(0.0084539))(0.493499 - 0.01211162) + (-\sin(0.00915737) \cos(0.01125347))(1.082268 - 0.01211162)$$

$$y_A = 0.03354996 + 0.48866636 - 0.00986739$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$y_A = 0.51234895 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.51234895 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(0.00915737) \sin(0.0084539) - \cos(0.00915737) \sin(0.01125347) \cos(0.0084539))(3.933107 - 0.01211162) + (\sin(0.00915737) \cos(0.0084539) + \cos(0.00915737) \sin(0.01125347) \sin(0.0084539))(0.493499 - 0.00479427) + (\cos(0.00915737) \cos(0.01125347))(1.082268 - 0.00464961)$$

$$z_A = -0.04381691 + 0.00452152 + 1.07750499$$

$$z_A = 1.03820956 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.03820956 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x, y, z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1) ดัง ตาราง 4.48

ตาราง 4.48 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 5

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.92860246	0.51234895	1.03820956
ระยะห่างระหว่างจุด	8.70×10^{-8}		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ลิขสิทธิ์ของเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use

ข้อมูลชุดที่ 6 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.32 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(-5.63443565) \cos(15.19228926))(3.933107-) + (-\cos(-5.63443565) \sin(15.19228926))(0.493499-) + (\sin(-5.63443565))(1.082268-)$$

$$x_A = 1.70809579 + 1.02249813 + 1.19800854$$

$$x_A = 3.92860246 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.92860246 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\cos(64.38164223) \sin(15.19228926) + \sin(64.38164223) \sin(-5.63443565) \cos(15.19228926))(3.933107-) + (\cos(64.38164223) \cos(15.19228926) - \sin(64.38164223) \sin(-5.63443565) \sin(15.19228926))(0.493499-) + (-\sin(64.38164223) \cos(-5.63443565))(1.082268-)$$

$$y_A = 1.26933014 + 0.82266682 - 1.57965124$$

$$y_A = 0.51234573 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.51234573 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(64.38164223) \sin(15.19228926) - \sin(64.38164223) \cos(-5.63443565) \cos(15.19228926))(3.933107-) + (\cos(64.38164223) \sin(15.19228926) + \sin(64.38164223) \sin(-5.63443565) \cos(15.19228926))(0.493499-) + (\cos(64.38164223) \cos(15.19228926))(1.082268-)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$(\sin(64.38164223) \cos(15.19228926) + \cos(64.38164223) \sin(-5.63443565) \sin(15.19228926))(0.493499-) + (\cos(64.38164223) \cos(-5.63443565))(1.082268-)$$

$$z_A = -1.24198651 + 2.24701357 + 0.03318419$$

$$z_A = 1.03821123 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.03821123 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x, y, z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 6 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1) ดัง ตาราง 4.49

ตาราง 4.49 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 6

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.92860246	0.51234573	1.03821123
ระยะห่างระหว่างจุด	3.59×10^{-8}		

ข้อมูลชุดที่ 7 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.35 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(0.07231333) \cos(-0.06396669))(3.933107 - 0.12950493) + (-\cos(0.07231333) \sin(-0.06396669))(0.493499 - (-0.23346101)) + (\sin(0.07231333))(1.082268 - (-0.25131323))$$

$$x_A = 3.78590274 + 0.04634808 + 0.09635168$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

$$x_A = 3.92860246 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.92860246 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\cos(-6.31189491) \sin(-0.06396669) + \sin(-6.31189491) \sin(0.07231333) \cos(-0.06396669))(3.933107 - 0.12950493) + (\cos(-6.31189491) \cos(-0.06396669) - \sin(-6.31189491) \sin(0.07231333) \sin(-0.06396669))(0.493499 - (-0.23346101)) + (-\sin(-6.31189491) \cos(0.07231333))(1.082268 - (-0.25131323))$$

$$y_A = -0.25091025 + 0.72507793 + 0.03818126$$

$$y_A = 0.51234895 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.51234895 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(-6.31189491) \sin(-0.06396669) - \cos(-6.31189491) \sin(0.07231333) \cos(-0.06396669))(3.933107 - 0.12950493) + (\sin(-6.31189491) \cos(-0.06396669) + \cos(-6.31189491) \sin(0.07231333) \sin(-0.06396669))(0.493499 - (-0.23346101)) + (\cos(-6.31189491) \cos(0.07231333))(1.082268 - (-0.25131323))$$

$$z_A = -0.26715699 - 0.02418123 + 1.32954788$$

$$z_A = 1.03820968 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.03820968 เมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 153

จากการคำนวณค่าพิกัด x, y, z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 7 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ดัง ตาราง 4.50

ตารางที่ 4.50 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 7

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.92860246	0.51234895	1.03820968
ระยะห่างระหว่างจุด	1.28×10^{-8}		

ข้อมูลชุดที่ 8 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.38 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(-11.88875863) \cos(-9.90875914))(3.933107 - 6.4239581) + (-\cos(-11.88875863) \sin(-9.90875914))(0.493499 - 2.98939152) + (\sin(-11.88875863))(1.082268 - (-1.00111382))$$

$$x_A = 1.71767926 + 0.90477979 + 1.30614364$$

$$x_A = 3.92860270 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.92860270 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 154

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\cos(70.66178909) \sin(-9.90875914) + \sin(70.66178909) \sin(-11.88875863) \cos(-9.90875914))(3.933107 - 6.4239581) + (\cos(70.66178909) \cos(-9.90875914) - \sin(70.66178909) \sin(-11.88875863) \sin(-9.90875914))(0.493499 - 2.98939152) + (-\sin(70.66178909) \cos(-11.88875863))(1.082268 - (-1.00111382))$$

$$y_A = 1.35398352 + 0.78100103 - 1.62263536$$

$$y_A = 0.51234919 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.51234919 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(70.66178909) \sin(-9.90875914) - \cos(70.66178909) \sin(-11.88875863) \cos(-9.90875914) - 9.90875914)(3.933107 - 6.4239581) + (\sin(70.66178909) \cos(-9.90875914) + \cos(70.66178909) \sin(-11.88875863) \sin(-9.90875914))(0.493499 - 2.98939152) + (\cos(70.66178909) \cos(-11.88875863))(1.082268 - (-1.00111382))$$

$$z_A = -1.19190907 + 2.19109344 + 0.03902503$$

$$z_A = 1.03820944 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.03820944 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x , y , z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 8 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ดัง ตาราง 4.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 155

ตาราง 4.51 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดอ้างอิง(จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 8

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.92860270	0.51234919	1.03820944
ระยะห่างระหว่างจุด	3.44×10^{-8}		

ข้อมูลชุดที่ 9 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.41 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(2.84428026) \cos(-3.44100083))(3.933107 - 0.7618648) + (-\cos(2.84428026) \sin(-3.44100083))(0.493499 - (-0.88146253)) + (\sin(2.84428026))(1.082268 - (-1.11477597))$$

$$x_A = 2.89721608 + 0.38775894 + 0.64362752$$

$$x_A = 3.92860246 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.92860246 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\cos(-9.55023015) \sin(-3.44100083)) + (\sin(-9.55023015) \sin(2.84428026) \cos(-3.44100083))(3.933107 - 0.7618648) + (\cos(-9.55023015) \cos(-3.44100083) - \sin(-9.55023015) \sin(2.84428026) \sin(-3.44100083))(0.493499 -$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ ถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 156

$$(-0.88146253)) + (-\sin(-9.55023015) \cos(2.84428026))(1.082268 - (-1.11477597))$$

$$y_A = -1.03909302 + 1.28860080 + 0.26284063$$

$$y_A = 0.51234841 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.51234841 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(-9.55023015) \sin(-3.44100083) - \cos(-9.55023015) \sin(2.84428026) \cos(-3.44100083))(3.933107 - 0.7618648) + (\sin(-9.55023015) \cos(-3.44100083) + \cos(-9.55023015) \sin(2.84428026) \sin(-3.44100083))(0.493499 - (-0.88146253)) + (\cos(-9.55023015) \cos(2.84428026))(1.082268 - (-1.11477597))$$

$$z_A = -0.76367629 - 0.28225914 + 2.08414507$$

$$z_A = 1.03820968 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.03820968 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x , y , z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 9 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ดัง ตาราง 4.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 157

ตาราง 4.52 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดอ้างอิง(จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 9

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.92860246	0.51234841	1.03820968
ระยะห่างระหว่างจุด	5.27×10^{-8}		

ข้อมูลชุดที่ 10 จากค่าอ้างอิงระบบพิกัดตามตารางที่ 4.44 สามารถตรวจสอบผลลัพธ์โดยนำไปแทนในสมการ Newton Raphson ในระบบพิกัด x, y, z ได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.1

$$x_A = (\cos \kappa \cos \phi)(x_B - t_x) + (-\sin \kappa \cos \phi)(y_B - t_y) + (\sin \phi)(z_B - t_z)$$

$$x_A = (\cos(-12.69520296) \cos(0.9689003))(3.933107 - 3.59238917) + (-\cos(-12.69520296) \sin(0.9689003))(0.493499 - 4.51946633) + (\sin(-12.69520296))(1.082268 - 1.75293702)$$

$$x_A = -0.06814006 + 3.91057611 + 0.08616496$$

$$x_A = 3.92860103 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน x ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 3.92860103 เมตร

จากสมการที่ 3.2

$$y_A = (\sin \kappa \cos \omega + \sin \phi \cos \kappa \sin \omega)(x_B - t_x) + (\cos \omega \cos \kappa - \sin \phi \sin \kappa \sin \omega)(y_B - t_y) + (-\sin \omega \cos \phi)(z_B - t_z)$$

$$y_A = (\cos(-9.55023015) \sin(-3.44100083) + \sin(-9.55023015) \sin(2.84428026) \cos(-3.44100083))(3.933107 - 0.7618648) +$$

$$(\cos(-9.55023015) \cos(-3.44100083) - \sin(-9.55023015) \sin(2.84428026) \sin(-3.44100083))(0.493499 -$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 158

$$(-0.88146253)) + (-\sin(-9.55023015) \cos(2.84428026))(1.082268 - (-1.11477597))$$

$$y_A = -1.03909302 + 1.28860080 + 0.26284063$$

$$y_A = 0.51234841 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน y ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 0.51234841 เมตร

จากสมการที่ 3.3

$$z_A = (\sin \kappa \sin \omega - \sin \phi \cos \kappa \cos \omega)(x_B - t_x) + (\cos \kappa \sin \omega + \sin \phi \sin \kappa \cos \omega)(y_B - t_y) + (\cos \phi \cos \omega)(z_B - t_z)$$

$$z_A = (\sin(-9.55023015) \sin(-3.44100083) - \cos(-9.55023015) \sin(2.84428026) \cos(-3.44100083))(3.933107 - 0.7618648) + (\sin(-9.55023015) \cos(-3.44100083) + \cos(-9.55023015) \sin(2.84428026) \sin(-3.44100083))(0.493499 - (-0.88146253)) + (\cos(-9.55023015) \cos(2.84428026))(1.082268 - (-1.11477597))$$

$$z_A = -0.76367629 - 0.28225914 + 2.08414507$$

$$z_A = 1.03820968 \text{ m}$$

สรุปได้ว่า ค่าพิกัดในแนวแกน z ที่ได้จากการคำนวณของจุด A คือ 1.03820968 เมตร

จากการคำนวณค่าพิกัด x , y , z ข้างต้น พบว่าค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข โดยใช้ค่าเริ่มต้นคือชุดข้อมูลที่ 10 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัดที่ได้จากโปรแกรม มีค่าระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับค่าพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ดัง ตาราง 4.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 159

ตาราง 4.53 แสดงระยะห่างระหว่างพิกัดจุดที่คำนวณได้จากเครื่องคิดเลขกับพิกัดจุดอ้างอิง (จุด A1) ของข้อมูลชุดที่ 10

ตัวแปร	x (m.)	y (m.)	z (m.)
ค่าพิกัดจุดที่ได้จากการคำนวณ	3.928602539	0.5123489217	1.038209583
จุด A1	3.928601030	0.5123369700	1.038221600
ระยะห่างระหว่างจุด	1.70×10^{-5}		

จากผลการตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดจุดของค่าการอ้างอิงระบบพิกัดโดยการคำนวณจากเครื่องคิดเลขและที่ได้จากโปรแกรมพบว่าที่ข้อมูลที่ 1 – 9 จุดพิกัดที่ได้จากทั้งสองวิธี มีระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10^{-8} ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ และข้อมูลที่ 10 มีระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงเท่ากับ 1.70×10^{-5}

4.3 อธิบายและวิเคราะห์ผลลัพธ์

จากข้อมูลในหัวข้อ 4.1 จะเห็นว่าการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) วิธี cloud to cloud โดยใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ชื่อว่า CloudCompare จะได้ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (register) ที่แปรผันตามเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับ (overlap) ของคู่ชุดข้อมูล โดยที่การทำการทดสอบนี้ใช้โมเดลข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) เพียงโมเดลชุดเดียว จึงไม่สามารถสรุปผลได้ชัดเจน แต่จากผลการทดสอบที่ใช้ชุดข้อมูลที่มีค่า การซ้อนทับ (overlap) 10%, การซ้อนทับ (overlap) 20%, การซ้อนทับ (overlap) 30%, การซ้อนทับ (overlap) 40%, การซ้อนทับ (overlap) 60% ได้ผลคำตอบที่ไม่ใกล้เคียงคำตอบจริง และมีผลการอ้างอิงระบบพิกัด (register) ที่ไม่มีคุณภาพ ผลการทดสอบที่ใช้ชุดข้อมูลที่มีค่าการซ้อนทับ (overlap) 50% และค่าการซ้อนทับ (overlap) 70% ได้ผลคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบจริง ผลการทดสอบที่ใช้ชุดข้อมูลที่มีค่าการซ้อนทับ (overlap) 90% ให้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนจากคำตอบจริงเพียงเล็กน้อยและสามารถให้ผลการอ้างอิงระบบพิกัด

เอกสารนี้เป็น (registration) ที่มีคุณภาพ และผลการทดสอบที่ใช้ชุดข้อมูลที่มีค่าการซ้อนทับ (overlap) 80% การคำนวณค่าไม่ว่าการณีได้สามารถให้ผลลัพธ์ที่เท่ากับคำตอบจริงและให้ผลการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ที่มีคุณภาพไปใช้

การอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของวิธี Rigid body transformation จะให้ข้อมูลที่ถูกต้อง แม้ว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์อ้างอิงระบบพิกัด (registration) ของข้อมูลมากหรือน้อยเท่าใด เมื่อพิจารณาตามหัวข้อ 4.2 วิธีนี้จะให้ผลแปรผันตามค่าเริ่มต้นของตัวแปรที่ใช้แทนค่าในสมการ เมื่อนำค่าคำตอบไปเป็นค่าเริ่มต้นของตัวแปร ให้ผลที่ใกล้เคียงคำตอบจริง หรือใช้เป็นคำตอบจริงได้ ต่อมาเมื่อใช้ค่าเริ่มต้นของตัวแปรเป็นค่าใกล้เคียงคำตอบจริง มีการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรเข้าใกล้ศูนย์ แต่ให้ผลที่คาดเคลื่อนไปจากคำตอบ และเมื่อใช้ค่าสุ่มจากโปรแกรมเป็นค่าเริ่มต้นของตัวแปร มีบางกลุ่มค่าที่ใกล้เคียงกับคำตอบจริง บางกลุ่มค่าเริ่มต้นตัวแปรที่ให้ค่าคาดเคลื่อนจากคำตอบจริงมาก แต่ไม่ว่าใช้ค่าสุ่มจากโปรแกรมเป็นค่าเริ่มต้นของตัวแปร จะได้ผลออกแบบใดก็ตาม พบว่าทุกกราฟการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรมีค่าเข้าใกล้ 0 และเมื่อนำคำตอบที่ได้ไปอ้างอิงระบบพิกัด (registration) จุดที่คู่กันแล้ว สามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงหรือถูกต้องเช่น จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.5 ใช้ค่าเริ่มต้นเป็น $\omega = 0.5730738$ rad, $\phi = 0.0511494$ rad, $K = 0.1143397$ rad, $t_x = 0.8212062$ m, $t_y = 0.2803943$ m, $t_z = 0.7568972$ m ได้ชุดคำตอบเป็น $\omega = 0.0549746$ rad, $\phi = -0.0513973$ rad, $K = 0.0893399$ rad, $t_x = -0.0769977$ m, $t_y = 0.2818196$ m, $t_z = 0.2769416$ m จากผลเฉลยที่ถูกต้องคือ $\omega = 0.01$ rad, $\phi = 0.01$ rad, $K = 0.01$ rad, $t_x = 0.01$ m, $t_y = 0.01$ m, $t_z = 0.01$ m เมื่อนำชุดคำตอบดำเนินการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) จุด B1 ด้วย สมการที่ 2 จากหัวข้อที่ 4.2.1 เมื่อนำค่าชุดคำตอบที่ได้มาคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข ได้ค่าพิกัดเป็น (3.92860254, 0.51234894, 1.03820959) ซึ่งสามารถให้ค่าจุดอ้างอิงที่ใกล้เคียงสูง แต่ไม่สามารถใช้ค่าคำตอบนั้นไปทำการอ้างอิงระบบพิกัด (registration) ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ได้ เนื่องจากทำให้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่ไม่มีคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use. 161

บทที่ 5

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.2 การอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Cloud to Cloud

การอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Cloud to Cloud ของโปรแกรม Cloud Compare เป็นวิธีอัตโนมัติ ไม่มีผลกระทบต่อเกี่ยวกับค่าจุดอ้างอิงเริ่มต้น และกำหนดค่า RMS ได้สูงสุดที่ $1e-8$ จึงพิจารณาเพียงค่าเปอร์เซ็นต์การทับซ้อน (overlap) จากข้อมูลในหัวข้อ 4.1 จะพบว่าวิธี cloud to cloud จะให้คำตอบที่แตกต่างกันไปในแต่ละข้อมูลโดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีเพียง ข้อมูลที่แบ่งโดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การทับซ้อน (overlap) 80% ให้ค่าคำตอบที่ถูกต้อง และที่ค่าเปอร์เซ็นต์การทับซ้อน (overlap) 70% และ 90% ให้ค่าที่ใกล้เคียงคำตอบ

5.1.1 การอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Rigid body transformation

การอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี Rigid body transformation จะให้ข้อมูลที่ถูกต้อง แม้ว่าจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การทับซ้อน (overlap) ของข้อมูลมากหรือน้อยเท่าใด การพัฒนาโปรแกรมนี้ ใช้เพียงวิธี Newton Raphson มาแก้สมการทำให้ได้ชุดคำตอบหลายชุดเนื่องจากจุดที่เลือกมาทำการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) มีเพียงสองจุด ซึ่งในการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) สองจุดนี้ให้ตรงกันเพื่อหาค่าตัวแปรการหมุน (rotation) และการเลื่อน (translation) ดังนั้น ค่าชุดตัวแปรอาจมีหลายชุดที่ทำให้สองจุดนี้ตรงกัน แต่จุดที่เหลืออาจจะไม่ตรงกันก็ได้ ทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนที่มาก แต่ก็สามารถเชื่อถือได้เพราะเมื่อนำค่าพิกัดของจุดมาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างพิกัดจุดที่ได้จากโปรแกรมกับพิกัดที่เกิดจากการคำนวณโดยเครื่องคิดเลข พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

จากผลการสรุปข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบการอ้างอิงระบบพิกัดทั้งสองแล้ว พบว่าวิธี cloud to cloud ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า วิธี rigid body transformation แบบ Newton Raphson เนื่องจากโปรแกรมนี้หากนำไปใช้จริง ต้องเก็บข้อมูลที่มีค่าการหมุน (rotation) และการเลื่อน (translation) น้อยซึ่งทำให้การเห็นข้อมูลทำได้ลำบาก และยังชุดคำตอบหลายชุดแต่อย่างไรก็ตามวิธี cloud to cloud ก็มีปัญหาในเรื่องของเปอร์เซ็นต์การทับซ้อนของชุดข้อมูลที่ใส่เข้าไป

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการนำเรื่องการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) วิธี rigid body transformation ไปพัฒนาต่อ ควรศึกษาเรื่อง Newton Raphson แบบ Least square และนำมาใช้เพื่อลดปัญหาการมีชุดคำตอบหลายชุด เนื่องจากวิธี Least square มีการใช้จุดเริ่มต้นหลายคู่

2. ในกรณีที่ออกไปเก็บข้อมูลจากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) จริงมา ในวิธี rigid body transformation เหมาะสำหรับเก็บข้อมูลให้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (point cloud) ที่เก็บมาได้มีค่าแตกต่างของการหมุน (rotation) และการเลื่อน (translation) น้อย แต่ในวิธี cloud to cloud เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลให้มีเปอร์เซ็นต์การซ้อนทับมากกว่า 50% ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Liu, Yonghuai, "Automatic registration of overlapping 3D point clouds using closest points," *Image and Vision Computing* **24**, no. 7, 2006:pp. 762-781.
- [2] Elbaz, Gil, Tamar Avraham, and Anath Fischer, "3D point cloud registration for localization using a deep neural network auto-encoder," In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 4631-4640. 2017.
- [3] Makadia, Ameesh, Alexander Patterson, and Kostas Daniilidis, "Fully automatic registration of 3D point clouds," In *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)*, vol. 1, pp. 1297-1304. IEEE, 2006.
- [4] Mitra, Niloy J., Natasha Gelfand, Helmut Pottmann, and Leonidas Guibas. "Registration of point cloud data from a geometric optimization perspective." In *Proceedings of the 2004 Eurographics/ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing*, pp. 22-31. 2004.
- [5] Rajendra, Y. D., S. C. Mehrotra, K. V. Kale, R. R. Manza, R. K. Dhumal, A. D. Nagne, and A. D. Vibhute. "Evaluation of Partially Overlapping 3D Point Cloud's Registration by using ICP variant and CloudCompare." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **40**, no. 8 (2014): 891.
- [6] He, Ying, Bin Liang, Jun Yang, Shunzhi Li, and Jin He. "An iterative closest points algorithm for registration of 3D laser scanner point clouds with geometric features." *Sensors* **17**, no. 8 (2017): 1862.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก.

อัลกอริทึมที่พัฒนาสำหรับจัดเตรียมข้อมูล

เป็นอัลกอริทึมใช้ครอบข้อมูล และกำหนดค่ามุมการหมุน (rotation angle) และการเลื่อน (translation) เป็นมาตรฐานของคำตอบ ซึ่งเป็นการจัดเตรียมข้อมูลที่จะใช้หาคำตอบ และสามารถนำค่ามุมการหมุน (rotation angle) และการเลื่อน (translation) ที่ได้จากการหาคำตอบมาเช็กับค่ามาตรฐานนี้ โดยมีโปรแกรมดังนี้

```
'''1.ใช้คำสั่ง import เพื่อเรียกใช้ ไลบรารี numpy และplyfile โดย numpy ใช้ในการทำ array และใช้ในคำสั่งคำนวณ ส่วน plyfile ใช้ในการเปิดไฟล์ สกุล .ply '''
```

```
>> import numpy as np
```

```
>> from numpy import cos,sin,pi
```

```
>> from plyfile import PlyData as pdt
```

```
#2.อ่านข้อมูลจากไฟล์ของ point cloud data model
```

```
>> p= pdt.read('cloud.ply')
```

```
>> vdata=p['vertex'].data
```

```
#3.ดึงค่าข้อมูลที่ได้จากไฟล์ ไปจัดในรูปแบบ array
```

```
>> pc= np.zeros([vdata.size,6])
```

```
>> pc[:,0] = vdata['x'] #ใช้เก็บค่าพิกัด x
```

```
>> pc[:,1] = vdata['y'] #ใช้เก็บค่าพิกัด y
```

```
>> pc[:,2] = vdata['z'] #ใช้เก็บค่าพิกัด z
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องขออภัยล่วงหน้าเสมอ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
>> pc[:,3] = vdata['red'] #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีแดง
>> pc[:,4] = vdata['green'] #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีเขียว
>> pc[:,5] = vdata['blue'] #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีน้ำเงิน
```

#4.หาค่า boundary ของข้อมูล

```
>> xmax=np.max(pc[:,0]) #จุดที่มีค่า x มากที่สุด
>> xmin=np.min(pc[:,0]) #จุดที่มีค่า x น้อยที่สุด
```

#5.กำหนดค่า boundary ใหม่ขึ้นมา โดยให้มีส่วนที่ทับซ้อนกัน

```
>> xmaxnew=xmin+0.80*(xmax-xmin) #จุดที่มีค่า x มากที่สุดใหม่
>> xminnew=xmin+0.20*(xmax-xmin) #จุดที่มีค่า x น้อยที่สุด
```

#6.ประกาศ ตัวแปรเพื่อเก็บค่า

```
>> i=[] #ใช้เก็บค่าพิกัด x
>> j=[] #ใช้เก็บค่าพิกัด y
>> k=[] #ใช้เก็บค่าพิกัด z

>> g1=[] #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีแดง
>> g2=[] #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีเขียว
>> g3=[] #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีน้ำเงิน
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#7. กำหนดค่าขอบเขตของข้อมูล

>> xmi=xmin #จุดที่มีค่า x น้อยที่สุดของข้อมูลที่ต้องการ

>> xma=xmaxnew #จุดที่มีค่า x มากที่สุดของข้อมูลที่ต้องการ

#8. ตั้งเงื่อนไขเพื่อเก็บข้อมูลใน boundary ที่ต้องการ และเก็บข้อมูลเข้าตัวแปรที่ประกาศในข้อ6.

>> for a in range(pc[:,0].size):

>> if pc[a][0]>= xmi and pc[a][0] <= xma:

>> i.append(pc[a][0]) #เก็บค่าพิกัด x

>> j.append(pc[a][1]) #เก็บค่าพิกัด y

>> k.append(pc[a][2]) #เก็บค่าพิกัด z

>> g1.append(pc[a][3]) #เก็บค่า ความเข้มสีแดง

>> g2.append(pc[a][4]) #เก็บค่า ความเข้มสีเขียว

>> g3.append(pc[a][5]) #เก็บค่า ความเข้มสีน้ำเงิน

#9. นำข้อมูลที่เก็บได้จากข้อ8. มาจัดในรูปแบบ array

>> i=np.array(i) #ใช้เก็บค่าพิกัด x

>> j=np.array(j) #ใช้เก็บค่าพิกัด y

>> k=np.array(k) #ใช้เก็บค่าพิกัด z

>> g1=np.array(g1) #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีแดง

>> g2=np.array(g2) #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีเขียว

>> g3=np.array(g3) #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#10. นำข้อมูลที่ได้จาก array ข้อ9. มาจัดเป็นเมตริก

```
>> c1=np.zeros([len(i),6])  
  
>> c1[:,0]=i #ใช้เก็บค่าพิกัด x  
  
>> c1[:,1]=j #ใช้เก็บค่าพิกัด y  
  
>> c1[:,2]=k #ใช้เก็บค่าพิกัด z  
  
>> c1[:,3]=g1 #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีแดง  
  
>> c1[:,4]=g2 #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีเขียว  
  
>> c1[:,5]=g3 #ใช้เก็บค่า ความเข้มสีน้ำเงิน
```

#11. กำหนดค่ามุมการหมุน (rotation angle) และค่าการเลื่อน (translation)

```
>> actual=np.zeros([6,1])  
  
>> actual[0,:]=0.01 #ค่า rotation angle in x-axis  
  
>> actual[1,:]=0.01 #ค่า rotation angle in y-axis  
  
>> actual[2,:]=0.01 #ค่า rotation angle in z-axis  
  
>> actual[3,:]=0.01 #ค่า translation in x-axis  
  
>> actual[4,:]=0.01 #ค่า translation in y-axis  
  
>> actual[5,:]=0.01 #ค่า translation in z-axis
```

#12. สร้างฟังก์ชันสำหรับกระบวนการ registration

```
>> def rotate(A,P): # A=Variable, P=point cloud data
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
>> x1,y1,z1,tx,ty,tz = A
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
>> Rx=np.array([1,0,0,0,cos(x1),sin(x1),0,-sin(x1),cos(x1)])
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

>> Rx=Rx.reshape(3,3) # rotation in x-axis

>> Ry=np.array([cos(y1),0,-sin(y1),0,1,0,sin(y1),0,cos(y1)])

>> Ry=Ry.reshape(3,3) # rotation in y-axis

>> Rz=np.array([cos(z1),sin(z1),0,-sin(z1),cos(z1),0,0,0,1])

>> Rz=Rz.reshape(3,3) # rotation in z-axis

>> R=np.matmul(np.matmul(Rz,Ry),Rx) #rotation matrix

>> T=np.array([tx,ty,tz]) # translation matrix

>> rp=np.matmul(R,P)+T # จากสมการที่ 2.12

>> return rp

```

#13.จัดรูปแบบค่าพิกัดที่บันทึกได้ เพื่อนำไปคำนวณ

```

>> c=np.zeros([3,len(i)])

>> c[0,:]=i #เก็บค่าพิกัด x

>> c[1,:]=j #เก็บค่าพิกัด y

>> c[2,:]=k #เก็บค่าพิกัด z

```

#14.นำข้อมูลจากข้อที่13. ไปคำนวณในฟังก์ชันข้อที่12.

```

>> regist=rotate(actual,c)

```

#15.นำข้อมูลที่ได้จากข้อที่14. ไปอัปเดตค่าพิกัดในตัวแปรข้อที่10.

```

>> c1[:,0]=regist[0,:] #เก็บค่าพิกัด x

>> c1[:,1]=regist[1,:] #เก็บค่าพิกัด y

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
>> c1[:,2]=regist[2,:]
```

```
#เก็บค่าพิกัด z
```

```
#16.บันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ใหม่ สกุล .txt
```

```
>> np.savetxt("data_unregist extra.txt", c1, delimiter=" ", newline = "\n")
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข.

อัลกอริทึมที่พัฒนาเพื่อหาจุดร่วม (conjugate point)

ในการที่เราจะไปเลือกค่าพิกัดให้เป็นจุดร่วมเดียวกันในอีกไฟล์ เป็นการที่ใช้เวลานานมาก และมีโอกาสที่จะเลือกคู่จุดคาดเคลื่อนสูง จึงใช้อัลกอริทึมนี้ในการแก้ปัญหาโดยมีโปรแกรมดังนี้

“1. ใช้คำสั่ง import เพื่อเรียกใช้ไลบรารี numpy โดย numpy ใช้ในการทำ array และใช้ในคำสั่งคำนวณ ”

```
>> import numpy as np
```

```
>> from numpy import cos,sin,pi
```

#2.ใส่ค่าตัวแปร

```
>> a = 0.01 #rotation angle in x-axis
```

```
>> b = 0.01 #rotation angle in y-axis
```

```
>> c = 0.01 #rotation angle in z-axis
```

```
>> x = 0.01 #translation in x-axis
```

```
>> y = 0.01 #translation in y-axis
```

```
>> z = 0.01 #translation in z-axis
```

```
>> p1 = np.array([[3.92860254],[0.51234894],[1.03820959]]) #point A1
```

```
>> p2 = np.array([[3.34265916],[1.37736373],[-0.00804612]]) #point A2
```

#3.ใส่สมการที่ 2.12 เพื่อหาค่าจุดร่วม B

```
>> F = np.zeros([6,1])
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
#find x of point B1
```

```
>> F[0] = (cos(b)*cos(c))*p1[0] + (cos(a)*sin(c)+sin(a)*sin(b)*cos(c))*p1[1] +  
(sin(a)*sin(c)-cos(a)*sin(b)*cos(c))*p1[2] + x
```

```
#find y of point B1
```

```
>> F[1] = -(cos(b)*sin(c))*p1[0] + (cos(a)*cos(c)-sin(a)*sin(b)*sin(c))*p1[1] +  
(sin(a)*cos(c)+cos(a)*sin(b)*sin(c))*p1[2] + y
```

```
#find z of point B1
```

```
>> F[2] = (sin(b))*p1[0] - (sin(a)*cos(b))*p1[1] + (cos(a)*cos(b))*p1[2] + z
```

```
#find x of point B2
```

```
>> F[3] = (cos(b)*cos(c))*p2[0] + (cos(a)*sin(c)+sin(a)*sin(b)*cos(c))*p2[1] +  
(sin(a)*sin(c)-cos(a)*sin(b)*cos(c))*p2[2] + x
```

```
#find y of point B2
```

```
>> F[4] = -(cos(b)*sin(c))*p2[0] + (cos(a)*cos(c)-sin(a)*sin(b)*sin(c))*p2[1] +  
(sin(a)*cos(c)+cos(a)*sin(b)*sin(c))*p2[2] + y
```

```
#find z of point B2
```

```
>> F[5] = (sin(b))*p2[0] - (sin(a)*cos(b))*p2[1] + (cos(a)*cos(b))*p2[2] + z
```

```
#แสดงค่าจุดรวมที่ได้จากการคำนวณในข้อ3.
```

```
>> print(F)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ค.

อัลกอริทึมที่พัฒนาเพื่อหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการ

การหาค่าตัวแปรโดยใช้ Newton Raphson Method นั้น ต้องดำเนินการหาค่าอนุพันธ์ (Derivative) ของสมการหรือหาค่าจาโคเบียนเมตริกซ์ (jacobian matrix) และเพื่อลดเวลาในการคำนวณลงจึงได้คิดอัลกอริทึมนี้ขึ้น โดยมีโปรแกรมดังนี้

'''1.ใช้คำสั่ง import เพื่อเรียกใช้ ไลบรารี numpy และ sympy โดย numpy ใช้ในการทำ array และ sympy ใช้ในการหาค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของสมการ rigid body transformation ที่จัดตามรูปแบบของสมการที่ 2.18, กำหนดตัวแปร, คำนวณค่าสมการ '''

```
from sympy import sin, cos, Matrix
```

```
from sympy.abc import a, b, c, xi, y, z
```

```
import sympy as sym
```

```
import numpy as np
```

#2.ใส่ค่าจุดที่ได้จากโปรแกรม ข.

```
p1 = np.array([[3.92860254],[0.51234894],[1.03820959]]) #point At1
```

```
p2 = np.array([[3.34265916],[1.37736373],[-0.00804612]]) #point A2
```

```
q1 = np.array([[3.933107],[0.493499],[1.082268]]) #point B1
```

```
q2 = np.array([[3.366315],[1.353719],[0.021608]]) #point B2
```

#3.ใส่สมการที่ 2.13 ที่จัดรูปตามสมการที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ โทร. 0-2329-1000

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$F2 = (((\sin(a) \cdot \sin(b) \cdot \cos(c) + \cos(a) \cdot \sin(c)) \cdot (q1[0] - xi)) + ((\cos(a) \cdot \cos(c) - \sin(a) \cdot \sin(b) \cdot \sin(c)) \cdot (q1[1] - y)) - ((\sin(a) \cdot \cos(b)) \cdot (q1[2] - z))) - p1[1]$$

$$F3 = (((\sin(a) \cdot \sin(c) - \cos(a) \cdot \sin(b) \cdot \cos(c)) \cdot (q1[0] - xi)) + ((\cos(a) \cdot \sin(b) \cdot \sin(c) + \sin(a) \cdot \cos(c)) \cdot (q1[1] - y)) + ((\cos(a) \cdot \cos(b)) \cdot (q1[2] - z))) - p1[2]$$

$$F4 = ((\cos(b) \cdot \cos(c)) \cdot (q2[0] - xi)) - ((\cos(b) \cdot \sin(c)) \cdot (q2[1] - y)) + ((\sin(b)) \cdot (q2[2] - z)) - p2[0]$$

$$F5 = (((\sin(a) \cdot \sin(b) \cdot \cos(c) + \cos(a) \cdot \sin(c)) \cdot (q2[0] - xi)) + ((\cos(a) \cdot \cos(c) - \sin(a) \cdot \sin(b) \cdot \sin(c)) \cdot (q2[1] - y)) - ((\sin(a) \cdot \cos(b)) \cdot (q2[2] - z))) - p2[1]$$

$$F6 = (((\sin(a) \cdot \sin(c) - \cos(a) \cdot \sin(b) \cdot \cos(c)) \cdot (q2[0] - xi)) + ((\cos(a) \cdot \sin(b) \cdot \sin(c) + \sin(a) \cdot \cos(c)) \cdot (q2[1] - y)) + ((\cos(a) \cdot \cos(b)) \cdot (q2[2] - z))) - p2[2]$$

#4. จัดรูปสมการจากข้อ3 เป็นเมตริกซ์

$$mf = \text{Matrix}([F1, F2, F3, F4, F5, F6])$$

#5. กำหนดตัวแปรที่ต้องการหาค่าอนุพันธ์เทียบ

$$d1 = \text{Matrix}([a, b, c, xi, y, z])$$

#6. หาค่าอนุพันธ์ลำดับที่1ของข้อ4. เทียบกับ ข้อ5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $q = mf.jacobian(d1)$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#7.จัดรูปของคำตอบที่ได้จากข้อ6. เป็น array เพื่อแสดงในรูปของสมการ

```
J_matrix = np.array([[q[0],q[1],q[2],q[3],q[4],q[5]],  
                    [q[6],q[7],q[8],q[9],q[10],q[11]],  
                    [q[12],q[13],q[14],q[15],q[16],q[17]],  
                    [q[18],q[19],q[20],q[21],q[22],q[23]],  
                    [q[24],q[25],q[26],q[27],q[28],q[29]],  
                    [q[30],q[31],q[32],q[33],q[34],q[35]]])
```

```
J=J_matrix.reshape([6,6])
```

#8.แสดงผลการหาค่าอนุพันธ์ของสมการ

```
print(J)
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ง.

อัลกอริทึมที่พัฒนาเพื่อการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration)

เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้หาค่าตัวแปรมุมการหมุน(rotation angle)และค่าการเลื่อน (translation) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการอ้างอิงระบบพิกัด (Registration) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมหลักของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โดยมีโปรแกรมดังต่อไปนี้

’’1.ใช้คำสั่ง import เพื่อเรียกใช้ ไลบรารี numpy, matplotlib, random โดย numpy ใช้ในการทำ array และคำนวณ, matplotlib ใช้ในการพล็อตกราฟ และrandomใช้ในการสุ่มค่าเริ่มต้นตัวแปรของสมการ Newton Raphson ‘’’

```
>> import numpy as np
>> from numpy import cos,sin,pi
>> import matplotlib.pyplot as plt
>> from numpy import array,reshape
>> import random
```

’’2.สร้างฟังก์ชันเพื่อหาค่าตอบของค่าการหมุน(rotation angle)และค่าการเลื่อน(translation)จากวิธี Newton Raphson’’

```
>> def newton1(p1,p2,q1,q2):
```

#3.ประกาศตัวแปร เพื่อใช้เก็บข้อมูล

```
>> x1=[] #ใช้เก็บคำตอบ rotation angle in x-axis
```

```
>> y1=[] #ใช้เก็บคำตอบ rotation angle in y-axis
```

```
>> z1=[] #ใช้เก็บคำตอบ rotation angle in z-axis
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

>> tx=[] #ใช้เก็บคำตอบ translation in x-axis
>> ty=[] #ใช้เก็บคำตอบ translation in y-axis
>> tz=[] #ใช้เก็บคำตอบ translation in z-axis
>> nloop=[] #ใช้เก็บจำนวนลูป
>> a1=[] #ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของ x1
>> a2=[] #ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของ y1
>> a3=[] #ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของ z1
>> a4=[] #ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของ tx
>> a5=[] #ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของ ty
>> a6=[] #ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของ tz
>> d1=[] #ใช้เก็บค่าการเปลี่ยนแปลงของ x1
>> d2=[] #ใช้เก็บค่าการเปลี่ยนแปลงของ y1
>> d3=[] #ใช้เก็บค่าการเปลี่ยนแปลงของ z1
>> d4=[] #ใช้เก็บค่าการเปลี่ยนแปลงของ tx
>> d5=[] #ใช้เก็บค่าการเปลี่ยนแปลงของ ty
>> d6=[] #ใช้เก็บค่าการเปลี่ยนแปลงของ tz

```

#4.กำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ Newton Raphson ในรูป array

```

>> x=np.zeros([6,1])
>> x[0] = random.random() #สุ่มค่าrotation angle in x-axis ช่วง(0,1)
>> x[1] = random.random() #สุ่มค่าrotation angle in y-axis ช่วง(0,1)
>> x[2] = random.random() #สุ่มค่าrotation angle in z-axis ช่วง(0,1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

>> x[3] = random.random()           #สุ่มค่าtranslation in x-axis ช่วง(0,1)
>> x[4] = random.random()           #สุ่มค่าtranslation in y-axis ช่วง(0,1)
>> x[5] = random.random()           #สุ่มค่าtranslation in z-axis ช่วง(0,1)

>> x0=x                               #ใช้เก็บarrayค่าเริ่มต้นของข้อ4.

```

#5.กำหนดเงื่อนไขการทำงานของ Newton Raphson

```

>> for i in range(10000):

```

#6.แจกแจงตัวแปร และดำเนินการคำนวณวิธี Newton Raphson

```

>> a,b,c,xi,y,z = x0

```

#7.arrayสมการที่2.13 ที่จัดรูปตามสมการที่ 2.18

```

>> F =np.zeros([6,1])

```

```

>> F[0] = ((cos(b)*cos(c))*(q1[0]-xi)-(cos(b)*sin(c)*(q1[1]-y))+((sin(b))*(q1[2]-z))-
p1[0]

```

```

>> F[1] = (((sin(a)*sin(b)*cos(c)+cos(a)*sin(c))*(q1[0]-xi))+((cos(a)*cos(c)-
sin(a)*sin(b)*sin(c))*(q1[1]-y))-((sin(a)*cos(b))*(q1[2]-z)))-p1[1]

```

```

>> F[2] = (((sin(a)*sin(c)-cos(a)*sin(b)*cos(c))*(q1[0]-

```

```

xi))+((cos(a)*sin(b)*sin(c)+sin(a)*cos(c))*(q1[1]-y))+((cos(a)*cos(b))*(q1[2]-z)))-p1[2]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มเหตุตบแต่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
>> F[3] = ((cos(b)*cos(c))*(q2[0]-xi))-cos(b)*sin(c)*(q2[1]-y))+((sin(b))*(q2[2]-z))-  
p2[0]
```

```
>> F[4] = (((sin(a)*sin(b)*cos(c)+cos(a)*sin(c))*(q2[0]-xi))+((cos(a)*cos(c)-  
sin(a)*sin(b)*sin(c))*(q2[1]-y))-((sin(a)*cos(b))*(q2[2]-z)))-p2[1]
```

```
>> F[5] = (((sin(a)*sin(c)-cos(a)*sin(b)*cos(c))*(q2[0]-  
xi))+((cos(a)*sin(b)*sin(c)+sin(a)*cos(c))*(q2[1]-y))+((cos(a)*cos(b))*(q2[2]-z)))-p2[2]
```

#8.จัดarray ค่าอนุพันธ์ที่ได้จากโปรแกรม ค.

```
>> DF = np.zeros([6, 6]) #arrayหาค่าอนุพันธ์เป็นเมตริกซ์ขนาด 6x6
```

```
>> DF[0, 0] = 0
```

```
>> DF[1, 0] = (q1[1] - y)*(-sin(a)*cos(c) - sin(b)*sin(c)*cos(a)) + (q1[0] - xi)*(-  
sin(a)*sin(c) + sin(b)*cos(a)*cos(c)) + (z - q1[2])*cos(a)*cos(b)
```

```
>> DF[2, 0] = (q1[1] - y)*(-sin(a)*sin(b)*sin(c) + cos(a)*cos(c)) + (q1[0] -  
xi)*(sin(a)*sin(b)*cos(c) + sin(c)*cos(a)) - (-z + q1[2])*sin(a)*cos(b)
```

```
>> DF[3, 0] = 0
```

```
>> DF[4, 0] = (q2[0] - xi)*(-sin(a)*sin(c) + sin(b)*cos(a)*cos(c)) + (q2[1] - y)*(-  
sin(a)*cos(c) - sin(b)*sin(c)*cos(a)) + (z - q2[2])*cos(a)*cos(b)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อดูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\begin{aligned} >> \quad DF[5, 0] = (q2[0] - xi) * (\sin(a) * \sin(b) * \cos(c) + \sin(c) * \cos(a)) - (q2[2] - \\ z) * \sin(a) * \cos(b) + (q2[1] - y) * (-\sin(a) * \sin(b) * \sin(c) + \cos(a) * \cos(c)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} >> \quad DF[0, 1] = -(q1[0] - xi) * \sin(b) * \cos(c) - (y - q1[1]) * \sin(b) * \sin(c) + (-z + \\ q1[2]) * \cos(b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} >> \quad DF[1, 1] = (q1[1] - y) * (-\sin(a) * \cos(c) - \sin(b) * \sin(c) * \cos(a)) + (q1[0] - xi) * (- \\ \sin(a) * \sin(c) + \sin(b) * \cos(a) * \cos(c)) + (z - q1[2]) * \cos(a) * \cos(b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} >> \quad DF[2, 1] = (q1[1] - y) * \sin(c) * \cos(a) * \cos(b) - (q1[0] - xi) * \cos(a) * \cos(b) * \cos(c) - (-z \\ + q1[2]) * \sin(b) * \cos(a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} >> \quad DF[3, 1] = -(q2[0] - xi) * \sin(b) * \cos(c) + (q2[2] - z) * \cos(b) - (y - \\ q2[1]) * \sin(b) * \sin(c) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} >> \quad DF[4, 1] = (q2[0] - xi) * \sin(a) * \cos(b) * \cos(c) - (q2[1] - y) * \sin(a) * \sin(c) * \cos(b) - (z - \\ q2[2]) * \sin(a) * \sin(b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} >> \quad DF[5, 1] = -(q2[0] - xi) * \cos(a) * \cos(b) * \cos(c) - (q2[2] - z) * \sin(b) * \cos(a) + (q2[1] - \\ y) * \sin(c) * \cos(a) * \cos(b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} >> \quad DF[0, 2] = -(q1[0] - xi) * \sin(c) * \cos(b) + (y - q1[1]) * \cos(b) * \cos(c) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\gg \quad DF[1, 2] = (q1[1] - y)*(-\sin(a)*\sin(b)*\cos(c) - \sin(c)*\cos(a)) + (q1[0] - xi)*(-\sin(a)*\sin(b)*\sin(c) + \cos(a)*\cos(c))$$

$$\gg \quad DF[2, 2] = (q1[1] - y)*(-\sin(a)*\sin(c) + \sin(b)*\cos(a)*\cos(c)) + (q1[0] - xi)*(\sin(a)*\cos(c) + \sin(b)*\sin(c)*\cos(a))$$

$$\gg \quad DF[3, 2] = -(q2[0] - xi)*\sin(c)*\cos(b) + (y - q2[1])* \cos(b)*\cos(c)$$

$$\gg \quad DF[4, 2] = (q2[0] - xi)*(-\sin(a)*\sin(b)*\sin(c) + \cos(a)*\cos(c)) + (q2[1] - y)*(-\sin(a)*\sin(b)*\cos(c) - \sin(c)*\cos(a))$$

$$\gg \quad DF[5, 2] = (q2[0] - xi)*(\sin(a)*\cos(c) + \sin(b)*\sin(c)*\cos(a)) + (q2[1] - y)*(-\sin(a)*\sin(c) + \sin(b)*\cos(a)*\cos(c))$$

$$\gg \quad DF[0, 3] = -\cos(b)*\cos(c)$$

$$\gg \quad DF[1, 3] = -\sin(a)*\sin(b)*\cos(c) - \sin(c)*\cos(a)$$

$$\gg \quad DF[2, 3] = -\sin(a)*\sin(c) + \sin(b)*\cos(a)*\cos(c)$$

$$\gg \quad DF[3, 3] = -\cos(b)*\cos(c)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gg \quad DF[4, 3] = -\sin(a)*\sin(b)*\cos(c) - \sin(c)*\cos(a)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\gg \quad DF[5, 3] = -\sin(a)*\sin(c) + \sin(b)*\cos(a)*\cos(c)$$

$$\gg \quad DF[0, 4] = \sin(c)*\cos(b)$$

$$\gg \quad DF[1, 4] = \sin(a)*\sin(b)*\sin(c) - \cos(a)*\cos(c)$$

$$\gg \quad DF[2, 4] = -\sin(a)*\cos(c) - \sin(b)*\sin(c)*\cos(a)$$

$$\gg \quad DF[3, 4] = \sin(c)*\cos(b)$$

$$\gg \quad DF[4, 4] = \sin(a)*\sin(b)*\sin(c) - \cos(a)*\cos(c)$$

$$\gg \quad DF[5, 4] = -\sin(a)*\cos(c) - \sin(b)*\sin(c)*\cos(a)$$

$$\gg \quad DF[0, 5] = -\sin(b)$$

$$\gg \quad DF[1, 5] = \sin(a)*\cos(b)$$

$$\gg \quad DF[2, 5] = -\cos(a)*\cos(b)$$

$$\gg \quad DF[3, 5] = -\sin(b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gg \quad DF[4, 5] = \sin(a)*\cos(b)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
>> DF[5, 5] = -cos(a)*cos(b)
```

#9.การทำJacobian matrix จากเมตริกซ์ในข้อ8.

```
>> Alp = 1 #learning rate
```

```
>> delta= Alp*np.matmul(np.linalg.inv(DF),F) #inverse matrixจากข้อ8.
```

#10.สมการNewton Raphsonจากสมการที่3.4

```
>> xnew = x0 - delta
```

```
>> x1.append((xnew[0])) #เก็บค่าตอบ rotation angle in x-axis
```

```
>> y1.append((xnew[1])) #เก็บค่าตอบ rotation angle in y-axis
```

```
>> z1.append((xnew[2])) #เก็บค่าตอบ rotation angle in z-axis
```

```
>> tx.append(xnew[3]) #เก็บค่าตอบ translation in x-axis
```

```
>> ty.append(xnew[4]) #เก็บค่าตอบ translation in y-axis
```

```
>> tz.append(xnew[5]) #เก็บค่าตอบ translation in z-axis
```

```
>> nloop.append(i) #เก็บหมายเลขจำนวนรอบ
```

“11.กำหนดเงื่อนไขการบันทึกค่าในตัวแปรที่ประกาศไว้ในข้อ3 และเงื่อนไขการหยุดทำงานของสมการ Newton Raphson”

```
>> if i > 0:
```

```
#ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของคำตอบสมการNewton Raphson
```

```
>> a1.append(abs((-x1[i-1])+(xnew[0]))*100/(x1[i-1]))
```

```
>> a2.append(abs((-y1[i-1])+(xnew[1]))*100/(y1[i-1]))
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

>> a3.append(abs((-z1[i-1])+(xnew[2]))*100/(z1[i-1]))
>> a4.append(abs((-tx[i-1])+(xnew[3]))*100/(tx[i-1]))
>> a5.append(abs((-ty[i-1])+(xnew[4]))*100/(ty[i-1]))
>> a6.append(abs((-tz[i-1])+(xnew[5]))*100/(tz[i-1]))

```

#ใช้เก็บการเปลี่ยนแปลงของคำตอบสมการNewton Raphson

```

>> d1.append(-x1[i-1]+xnew[0])
>> d2.append(-y1[i-1]+xnew[1])
>> d3.append(-z1[i-1]+xnew[2])
>> d4.append(-tx[i-1]+xnew[3])
>> d5.append(-ty[i-1]+xnew[4])
>> d6.append(-tz[i-1]+xnew[5])

```

#กำหนดเงื่อนไขการหยุดทำงานของสมการ Newton Raphson

```

>> if abs((x1[i-1])-(xnew[0]))<1e-8:
>>     if abs((y1[i-1])-(xnew[1]))<1e-8:
>>         if abs((z1[i-1])-(xnew[2]))<1e-8:
>>             if abs((tx[i-1])-(xnew[3]))<1e-6:
>>                 if abs((ty[i-1])-(xnew[4]))<1e-6:
>>                     if abs((tz[i-1])-(xnew[5]))<1e-6:
>>                         print('ans= \n',xnew,'\n number of loop',i)
>>                         break

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 >> if i == 0:
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
#ใช้เก็บ%การเปลี่ยนแปลงของคำตอบสมการNewton Raphson
```

```
>> a1.append(0)
```

```
>> a2.append(0)
```

```
>> a3.append(0)
```

```
>> a4.append(0)
```

```
>> a5.append(0)
```

```
>> a6.append(0)
```

```
#ใช้เก็บการเปลี่ยนแปลงของคำตอบสมการNewton Raphson
```

```
>> d1.append(xnew[0])
```

```
>> d2.append(xnew[1])
```

```
>> d3.append(xnew[2])
```

```
>> d4.append(xnew[3])
```

```
>> d5.append(xnew[4])
```

```
>> d6.append(xnew[5])
```

```
#กำหนดเงื่อนไขการหยุดทำงานของสมการ Newton Raphson
```

```
>> if abs((x1[i-1])-(xnew[0]))<1e-8:
```

```
>>     if abs((y1[i-1])-(xnew[1]))<1e-8:
```

```
>>         if abs((z1[i-1])-(xnew[2]))<1e-8:
```

```
>>             if abs((tx[i-1])-(xnew[3]))<1e-6:
```

```
>>                 if abs((ty[i-1])-(xnew[4]))<1e-6:
```

```
>>                     if abs((tz[i-1])-(xnew[5]))<1e-6:
```

```
>>                         print('ans= \n',xnew,'\n number of loop',i)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
>> break
```

#หากโปรแกรมยังไม่หยุดทำงานจะอัปเดตตัวแปรจากคำตอบของสมการ เป็นค่าเริ่มต้นของสมการ

```
>> x0=xnew
```

#12.ทำarray ค่าคำตอบที่เป็นมาตรฐานจากขั้นตอน ก.

```
>> actual=np.zeros([6,1])
```

```
>> actual[0,:]=0.01 #คำตอบ rotation angle in x-axis จากข้อ ก.
```

```
>> actual[1,:]=0.01 #คำตอบ rotation angle in y-axis จากข้อ ก.
```

```
>> actual[2,:]=0.01 #คำตอบ rotation angle in z-axis จากข้อ ก.
```

```
>> actual[3,:]=0.01 #คำตอบ translation in x-axis จากข้อ ก.
```

```
>> actual[4,:]=0.01 #คำตอบ translation in y-axis จากข้อ ก.
```

```
>> actual[5,:]=0.01 #คำตอบ translation in z-axis จากข้อ ก.
```

```
>> nloop=np.array(nloop) #ทำarray หมายเลขรูป
```

#13.ดำเนินการพล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบสมการNewton Raphson

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ rotation angle in x-axis

```
>> plt.subplot(231)
```

```
>> plt.plot(nloop,d1,c='red')
```

```
>> plt.xlabel('number of loops')
```

```
>> plt.ylabel('delta-rx (rad.)')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ rotation angle in y-axis

```
>> plt.subplot(232)
>> plt.plot(nloop,d2,c='DarkOrchid')
>> plt.xlabel('number of loops')
>> plt.ylabel('delta-ry (rad.)')
```

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ rotation angle in z-axis

```
>> plt.subplot(233)
>> plt.plot(nloop,d3,c='DodgerBlue')
>> plt.xlabel('number of loops')
>> plt.ylabel('delta-rz (rad.)')
```

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ translation in x-axis

```
>> plt.subplot(234)
>> plt.plot(nloop,d4,c='black')
>> plt.xlabel('number of loops')
>> plt.ylabel('delta-tx(m.)')
```

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ translation in y-axis

```
>> plt.subplot(235)
>> plt.plot(nloop,d5,c='darkgreen')
>> plt.xlabel('number of loops')
>> plt.ylabel('delta-ty(m.)')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ translation in z-axis

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
>> plt.subplot(236)
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
>> plt.plot(nloop,d6,c='OrangeRed')
```

```
>> plt.xlabel('number of loops')
```

```
>> plt.ylabel('delta-tz(m.)')
```

#14.ดำเนินการพล็อตค่า%การเปลี่ยนแปลงของคำตอบสมการNewton Raphson

```
>> fig=plt.figure() #คำสั่งเปิดwindow ใหม่
```

#พล็อตค่า%การเปลี่ยนแปลงของคำตอบ rotation angle in x-axis

```
>> plt.subplot(231)
```

```
>> plt.plot(nloop,a1,c='red')
```

```
>> plt.xlabel('number of loops')
```

```
>> plt.ylabel('%change rx')
```

#พล็อตค่า%การเปลี่ยนแปลงของคำตอบ rotation angle in y-axis

```
>> plt.subplot(232)
```

```
>> plt.plot(nloop,a2,c='DarkOrchid')
```

```
>> plt.xlabel('number of loops')
```

```
>> plt.ylabel('%change ry')
```

#พล็อตค่า%การเปลี่ยนแปลงของคำตอบ rotation angle in z-axis

```
>> plt.subplot(233)
```

```
>> plt.plot(nloop,a3,c='DodgerBlue')
```

```
>> plt.xlabel('number of loops')
```

```
>> plt.ylabel('%change rz')
```

#พล็อตค่า%การเปลี่ยนแปลงของคำตอบ translation in x-axis

```
>> plt.subplot(234)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

>> plt.plot(nloop,a4,c='black')

>> plt.xlabel('number of loops')

>> plt.ylabel('%change tx')

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ translation in y-axis

>> plt.subplot(235)

>> plt.plot(nloop,a5,c='darkgreen')

>> plt.xlabel('number of loops')

>> plt.ylabel('%change ty')

#พล็อตค่าการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ translation in z-axis

>> plt.subplot(236)

>> plt.plot(nloop,a6,c='OrangeRed')

>> plt.xlabel('number of loops')

>> plt.ylabel('%change tz')

>> plt.show() #คำสั่งแสดงกราฟในข้อ14. และ15.

>> errvalue= abs(xnew-actual)

>> errpercent=abs(xnew-actual)*100/actual

>> print('true answer is \n ',actual)

>> print('the answer is ',xnew)

>> print('initial value is = ',x)

>> return xnew,i,errvalue,errpercent #ผลของฟังก์ชันของสมการNewton Raphson

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#15.สร้างฟังก์ชันสำหรับกระบวนการ registration

```
>> def rotate(A,P):                                     # A=Variable, P=point cloud data

>>   x1,y1,z1,tx,ty,tz = A

>>   Rx=np.array([1,0,0,0,cos(x1),sin(x1),0,-sin(x1),cos(x1)])

>>   Rx=Rx.reshape(3,3)                                # rotation in x-axis

>>   Ry=np.array([cos(y1),0,-sin(y1),0,1,0,sin(y1),0,cos(y1)])

>>   Ry=Ry.reshape(3,3)                                # rotation in y-axis

>>   Rz=np.array([cos(z1),sin(z1),0,-sin(z1),cos(z1),0,0,0,1])

>>   Rz=Rz.reshape(3,3)                                # rotation in z-axis

>>   R=np.matmul(np.matmul(Rz,Ry),Rx)                  #rotation matrix

>>   T=np.array([tx,ty,tz])                             # translation matrix

>>   rp=np.matmul(R,P)+T                               # จากสมการที่ 2.12

>>   return rp                                         #ผลคำตอบของฟังก์ชันข้อ 16.
```

#16.ใส่ค่าคู่จุดของข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud data)ทั้งสองไฟล์ที่ได้จากข้อ ก.

```
>> p1 = np.array([[3.92860254],[0.51234894],[1.03820959]])      #point A1

>> p2 = np.array([[3.34265916],[1.37736373],[-0.00804612]])    #point A2

>> q1 = array([[3.933107],[0.493499],[1.082268]])              #point B1

>> q2 = np.array([[3.366315],[1.353719],[0.021608]])           #point B2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#17.เรียกใช้ฟังก์ชันสมการ Newton Raphson และใส่ค่าคู่จุด

#คำตอบของฟังก์ชันจากข้อ2.

```
>> xnew1,i1,errvalue1,errpercent1 = newton1(p1, p2, q1, q2)
```

```
>> print(i1)
```

```
>> a=rotate(xnew1, q1) #นำค่าคำตอบที่ได้ไปregistration คู่จุดที่ใส่มา
```

```
#แสดงผลพิกัดของการregistrationของคู่จุดที่ใส่มา
```

```
>> print('result of registration point B1 is \n',a)
```

```
>> print(' point A1 is \n',p1) #แสดงผลค่าพิกัดค่าจุดร่วม (conjugate point)
```

#18.เรียกข้อมูล point cloud ทั้งสองไฟล์

```
>> p1 = np.loadtxt('data_unregist extra.txt') #point cloud A
```

```
>> p2 = np.loadtxt('data_regist extra.txt') #point cloud B
```

#19.ปรับเมตริกซ์การแสดงผลของ point cloud B สำหรับนำไปคำนวณ

```
>> pc= np.zeros([3,len(p2)])
```

```
>> pc[0,:] = p2[:,0]
```

```
>> pc[1,:] = p2[:,1]
```

```
>> pc[2,:] = p2[:,2]
```

”20.นำเมตริกซ์point cloud จากข้อ20. ไปคำนวณในฟังก์ชันข้อ16. โดยใช้ค่าคำตอบที่ได้จาก

ฟังก์ชันสมการ Newton Raphson”เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
>> ans=rotate(xnew1, pc)
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

#21.พล็อตผลการregistration ของ point cloud B และpoint cloud A

>> ans = np.array(ans.tolist())

>> fig=plt.figure() #เปิดwindow ใหม่

>> pt = plt.axes(projection = '3d')

#พล็อตค่าregister point cloud B

>> pt.scatter3D(p1[:,0],p1[:,1],p1[:,2],c= 'g', s=0.1,lw=0)

>> pt.scatter3D(ans[0:],ans[1:],ans[2:],c= 'r', s=0.1,lw=0) #พล็อตพิกัด point cloud A

>> pt.set_xlabel('x1 axis')

>> pt.set_ylabel('y1 axis')

>> pt.set_zlabel('z1 axis')

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

