



สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำเลียนแบบร่องลูกกุญแจโดยวิธีประมวลสัญญาณภาพ

DUPLICATION OF BLANKS KEY USING IMAGE PROCESSING

วรเนติ อธิธิสุภรณ์รัตน์  
VORANETI ITTHISUPORN RAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-8308-22-7

**DUPLICATION OF BLANKS KEY USING IMAGE PROCESSING**

**VORANETI ITTHISUPORN RAT**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENT ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2006**

**ISBN 974-8308-22-7**

**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำเลขนแบบร่องลูกกุญแจโดยวิธีประมวลผลสัญญาณภาพ
นักศึกษา	นายวเรนติ อธิธิสุภรณ์รัตน์
รหัสนักศึกษา	44611601
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. สุธีธร เกียรติสุนทร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการหาลักษณะร่องลูกกุญแจโดยใช้การประมวลผลสัญญาณภาพและการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นการสร้างโปรแกรมสำหรับสั่งงานเครื่องกัดแบบซีเอ็นซี โดยเริ่มต้นจากการสร้างอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพร่องลูกกุญแจด้วยกล้องดิจิทัล ซึ่งภาพที่ได้มีขนาด 240 x 320 จุดภาพ ทำการประมวลผลภาพเพื่อแยกภาพลูกกุญแจออกจากภาพพื้นหลัง และหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่สองหรือตัวดำเนินการลาปลาซเขียน จากนั้นออกแบบโปรแกรมสร้างคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี โดยนำขอบภาพที่ได้จากการประมวลผลภาพข้างต้นมาหาคู่ลำดับเพื่อแสดงลักษณะของร่องลูกกุญแจได้ชุดข้อมูล 2 ชุดเพื่อแสดงลักษณะทั้งสองด้านของลูกกุญแจจากการเปรียบเทียบขนาดโดยอ้างอิงจากความกว้างและความหนาของลูกกุญแจที่ได้จากการคำนวณกับการวัดด้วยเวอร์เนียพบว่ามีความผิดพลาดน้อยกว่า 5% แปลงข้อมูลคู่ลำดับให้เป็นคำสั่ง G-Code เมื่อนำคำสั่งที่ได้ไปทดลองสร้างร่องกุญแจโดยเลือกวัสดุเป็นแท่งพลาสติกจะได้ลักษณะร่องลูกกุญแจเหมือนกันแต่ขนาดต่างกันเล็กน้อย

<b>Thesis Title</b>	Duplication of Blanks Key Using Image Processing
<b>Student</b>	Mr. Voraneti Itthisupornrat
<b>Student ID.</b>	44611601
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Control Engineering
<b>Year</b>	2006
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Sutian Kiatsunthorn

### ABSTRACT

This thesis proposes a duplicate key blank using an image processing and a transformation image data to command codes for 3-axis computer numerical machine (CNC). The 240 x 320 pixels image of key groove, captured by digital camera plant, is processed to extract the contour of key. In order to acquire this contour, Laplacian edge detection is used. The edge will be transformed to coordinate(x,z) to present the profile of key groove. The coordinate is composed of 2 files to present the top and bottom grooves of key. This information is used as an input for CNC Coding program. The duplication of key blank will be performed by 3-axis CNC. The tolerance examination is conducted by comparing a calculated image proposed to the key-groove with a measured value from vernier. The error is less than 5%. This key groove data is transform to G-Code to control 3-axis CNC. The test material made of plastic. After performed a milling process the result is same to the original key.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและการให้คำปรึกษาจาก รศ.สุเรีชร เกียรติสุนทร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่าน อาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุนบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วรรณดี อิทธิสุนทรณ์รัตน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	4
2.1 ข้อมูลภาพเชิงลข.....	4
2.2 การประมวลผลภาพ.....	6
2.2.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน.....	8
2.2.2 การขจัดเศษแผนภาพฮิสโตแกรม.....	9
2.2.3 การเทรสโฮลด์ภาพ.....	10
2.2.4 การตรวจหาขอบภาพ.....	12
2.2.5 การแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง.....	17
2.3 พื้นฐานของเครื่องจักรกล CNC แบบ 3 แกน.....	17
2.3.1 การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์.....	17
2.3.2 ระบบแนวแกนของเครื่องกัด CNC.....	19
2.3.3 ระบบตำแหน่งของเครื่องกัด CNC.....	19
2.3.4 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด.....	20
2.3.5 คำในโปรแกรม CNC.....	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.6 G code ที่สำคัญ.....	23
บทที่ 3 วิธีการที่นำเสนอ.....	25
3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบกลอน.....	25
3.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของลูกกัญแจ.....	26
3.3 การถ่ายภาพลักษณะร่องกัญแจ.....	27
3.4 การหาเส้นรอบร่องกัญแจ.....	28
3.3.1 การลดสัญญาณรบกวน.....	28
3.3.2 การสร้างแผนภาพฮิสโตแกรม.....	29
3.3.3 การสร้างภาพไบนารี.....	29
3.3.4 การแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง.....	29
3.3.5 การหาขอบภาพด้วยลาปลาซเซียน.....	29
3.4 การแปลงข้อมูลภาพเป็นคำสั่งเครื่องจักรกล CNC.....	30
3.4.1 การแปลงข้อมูลภาพเส้นวงรอบร่องกัญแจเป็นคู่ลำดับเชิงเส้น.....	30
3.4.2 การประมาณลักษณะพื้นผิวร่องกัญแจ.....	30
3.4.3 การแปลงข้อมูลจากคู่ลำดับเพื่อแสดงลักษณะร่องกัญแจเป็นคำสั่ง G-Code.....	32
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	35
4.1 การประมวลผลเชิงเลขเพื่อหาเส้นรอบร่องกัญแจ.....	35
4.2 โปรแกรมG-Code เพื่อสร้างร่องกัญแจ.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	41
บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	44
ประวัติผู้เขียน.....	51

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ประมวลผลสร้างคำสั่งสำหรับเครื่อง CNC.....	33
4.1 a แสดงค่าความผิดพลาดในการวัดค่าสำหรับลูกกัญแจดออกที่ 1.....	38
4.1 b แสดงค่าความผิดพลาดในการวัดค่าสำหรับลูกกัญแจดออกที่ 2.....	38
4.2 แสดงการกำหนดค่าที่ใช้ในการสร้าง G-Code.....	39

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะการเกิดของภาพ.....	4
2.2 ย่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	4
2.3 การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งจากสัญญาณต่อเนื่อง.....	5
2.4 การแสดงผลแบบ 8 บิตของจุดภาพที่ถูกระบุค่า.....	5
2.5 ภาพที่แสดงด้วยระดับสีเทา 8 บิต ขนาด 320 x 480 Pixels และค่าความเข้มในแต่ละจุดภาพ.....	6
2.6 มาตรฐานขนาดต่างๆที่ใช้ในการประมวลผลภาพบนสเปเชียลโดเมน.....	7
2.7 a) ภาพที่แสดงบนสเปเชียลโดเมน.....	7
2.7 b) ภาพที่แสดงบนโดเมนความถี่.....	7
2.8 a) ภาพตารางหมากรุก.....	7
2.8 b) ภาพที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนแบบพริกไท.....	7
2.9 a) มาตรฐานข้อมูลภาพที่พิจารณา.....	8
2.9 b) ตัวกรองแบบเฉลี่ยข้อมูล.....	8
2.10 ข้อมูลภาพที่พิจารณาด้วยมาตรฐานขนาด 3 x 3 และค่ามัธยฐานของข้อมูล.....	8
2.11 a) ภาพรอยนต์.....	9
2.11 b) ฮิสโตแกรมของภาพรอยนต์.....	9
2.12 a) ภาพรอยนต์ภายหลังทำการชดเชยแล้ว.....	9
2.12 b) ฮิสโตแกรมของภาพรอยนต์.....	9
2.13 แสดงการเลือกระดับเทรสโฮลด์จากแผนภาพฮิสโตแกรม.....	10
2.14 แสดงการแบ่งกลุ่มความเข้มแสงโดยC1และC0แทนภาพวัตถุและภาพพื้น.....	11
2.15 แสดงฮิสโตแกรมของภาพที่ถูกทำให้อยู่ในรูปการกระจายความน่าจะเป็นและค่ากลางของกลุ่มข้อมูลของกลุ่มภาพ C0 และ C1.....	12
2.16 แสดงการวิธีเกิดของขอบภาพ.....	13
2.17 มาตรฐานสำหรับการคำนวณหากราเดียนท์.....	14
2.18 มาตรฐานสำหรับการคำนวณหากราเดียนท์.....	15
2.19 มาตรฐานสำหรับการคำนวณหากราเดียนท์.....	15
2.20 มาตรฐานสำหรับการคำนวณหากราเดียนท์.....	15
2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับหนึ่งและการหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับสอง.....	16
2.22 ลาปลาซเขียนมาตรฐาน.....	17

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 ผลลัพธ์จากการคอนไวลูชันค่าข้อมูลภาพไปนารีกับภาพวัตถุ.....	17
2.24 a) ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ CNC.....	19
2.24 b) แนวแกนของเครื่องจักรกล CNC .....	19
2.25 ดอกกัดแบบเอ็นมิลล์.....	20
2.26 ดอกกัดแบบ เฟซมิลล์.....	20
2.27 ตัวอย่างการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงของเครื่องมือตัด.....	23
3.1 โครงสร้างภายในของระบบกลอนตัวเลื่อนแบบเข็ม.....	25
3.2 ตัวเลื่อนแบบเข็มชุดบนและชุดล่าง.....	25
3.3 a) แสดงส่วนประกอบของดอกกุกญแจ.....	26
3.3 b) ภาพร่องลูกกุกญแจ.....	26
3.4 ภาพถ่ายลูกกุกญแจด้วยวิธีทั่วไป.....	27
3.5 a) อุปกรณ์ถ่ายภาพหน้าตัดกุกญแจ.....	28
3.5 b) ภาพถ่ายร่องลูกกุกญแจ ขนาด 240 x 320 pixel.....	28
3.6 โพลวซาร์ทแสดงวิธีการหาเส้นรอบรูปร่องกุกญแจ.....	28
3.7a แสดงลักษณะร่องกุกญแจที่ได้จากการสแกนลง.....	30
3.7 b แสดงลักษณะร่องกุกญแจที่ได้จากการสแกนขึ้น.....	30
3.8 แสดงวิธีการประมาณค่าระดับพื้นผิวของกุกญแจ.....	31
3.9 แสดงการอ้างอิงโคออร์ดิเนทสำหรับร่องกุกญแจ.....	32
3.10 a) G-Code เพื่อสร้างร่องกุกญแจ.....	33
3.10 b) แสดงค่าG-Code ที่ต้องการ.....	33
3.11 โพลวซาร์ทแสดงการหาพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อใช้ในการสร้างคำสั่งสำหรับเครื่อง CNC.....	34
4.1 แสดงภาพกุกญแจที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาเส้นรอบรูปร่องกุกญแจ.....	35
4.2 แสดงภาพร่องกุกญแจภาพหลังกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว.....	35
4.3 แสดงภาพไปนารีของภาพร่องกุกญแจ.....	36
4.4 แสดงรูปร่างของวัตถุที่ถูกกรองออก.....	36
4.5 แสดงขอบภาพที่ได้จากลาปลาซเซียน.....	36
4.6 a) แสดงเส้นรอบรูปร่องกุกญแจเป็นคู่ลำดับสำหรับกุกญแจดอกที่ 1.....	36
4.6 b) แสดงเส้นรอบรูปร่องกุกญแจเป็นคู่ลำดับสำหรับกุกญแจดอกที่ 2.....	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 a) แสดงผลการประมาณค่าลำดับสำหรับกัญแจดอกที่ 1.....	37
4.7 b) แสดงผลการประมาณค่าลำดับสำหรับกัญแจดอกที่ 2.....	37
4.8 a) แสดงระยะอ้างอิงเพื่อเทียบขนาดในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับลูกกัญแจดอกที่ 1.....	38
4.8 b) แสดงระยะอ้างอิงเพื่อเทียบขนาดในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับลูกกัญแจดอกที่ 2.....	38
4.9 แสดงลักษณะการกัดของเครื่องจักรกล CNC.....	39
4.10 แสดงลักษณะร่องกัญแจที่ 1 เปรียบเทียบกับร่องที่ได้จากการกัดโดย CNC.....	40
4.11 แสดงลักษณะร่องกัญแจที่ 2 เปรียบเทียบกับร่องที่ได้จากการกัดโดย CNC.....	40

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผู้คนในสังคมยุคใหม่ใช้กุญแจในระบบพื้นฐานประจำวัน เช่น สร้างความปลอดภัยให้กับที่อยู่อาศัย ยานพาหนะ หรือควบคุมการเข้าออกสถานที่ทำงาน และอื่นๆอีกมากมาย ในสถานที่ต่างๆที่มีการใช้ระบบกลอนร่วมกับกุญแจอาจจะมีการสูญหายของกุญแจเกิดขึ้น หรือเมื่อเวลาผ่านไปอาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานในห้องนั้นๆมากขึ้น ดังนั้นการทำกุญแจเพื่อสำรองเก็บไว้ในยามฉุกเฉินจึงเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยวิธีการที่นิยมคือการนำลูกกุญแจที่ใช้งานอยู่ไปที่ร้านทำกุญแจ โดยร้านกุญแจจะหาลูกกุญแจเปล่าที่เป็นรุ่นเดียวกับลูกกุญแจที่ต้องการมาทำการสร้างฟันกุญแจให้เหมือนกับกุญแจที่ใช้งาน โดยปกติร้านทำกุญแจจะทำการสั่งซื้อลูกกุญแจเปล่าจากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งในความเป็นจริงมีผู้ผลิตระบบกลอนอยู่หลายราย และหลายรุ่น ร้านทำกุญแจจึงมีความจำเป็นต้องเก็บสะสมดอกกุญแจเปล่าไว้เพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า การเก็บสะสมนี้จำเป็นต้องใช้การลงทุนจำนวนมาก และบ่อยครั้งที่ร้านทำกุญแจไม่สามารถทำซ้ำดอกกุญแจให้กับลูกค้าได้เพราะดอกกุญแจเปล่าที่เก็บสำรองไว้ไม่ตรงกับรุ่นที่ต้องการ ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องทำซ้ำจริงๆ ทางร้านอาจจะหาลูกกุญแจที่มีลักษณะร่องกุญแจใกล้เคียงที่สุดแล้วทำการสร้างฟันกุญแจด้วยเครื่องทำกุญแจทั่วไป การดัดแปลงกุญแจเปล่าที่มีอยู่ให้เหมือนกับกุญแจแบบที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องใช้ระยะเวลา และความชำนาญส่วนบุคคล ซึ่งลูกกุญแจที่ทำซ้ำมานั้นอาจจะไม่สามารถใช้งานได้จริง หากร้านทำกุญแจสามารถสร้างดอกกุญแจเปล่าได้เอง จะสามารถลดปัญหาดังกล่าวลงได้

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์มากมายที่สามารถผลิตและรองรับสื่อข้อมูลภาพเชิงเลข (Digital Image) ได้อยู่มากมายไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์มือถือ กล้องถ่ายรูป ฯลฯ เนื่องจากข้อมูลภาพเชิงเลขมีความยืดหยุ่นและรองรับการใช้งานได้หลากหลาย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการถอดแบบลูกกุญแจเปล่าขึ้นมาใหม่จากกุญแจที่ใช้งานปกติ โดยใช้การประมวลผลภาพเชิงเลข (Digital Image Processing) เพื่อให้ได้มาซึ่งลักษณะร่องกุญแจอันเป็นส่วนประกอบหลักของกุญแจ จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกแปลงเป็นคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแบบ3แกน เพื่อทดลองสร้างลูกกุญแจเปล่าขึ้นมาใหม่โดยคาดว่าผลที่ได้จะให้ความถูกต้องมากขึ้น

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากลักษณะร่องกุกุญแจค่อนข้างซับซ้อนด้วยจำนวนร่องที่มีขนาดเล็กบ้างใหญ่บ้าง ดังนั้นการใช้เครื่องมือวัดและปรับแต่ง และการคาดคะเนด้วยสายตาจึงไม่เหมาะสมกับการสร้าง กุกุญแจเปล่าขึ้นมาใหม่ อีกทั้งไม่สามารถรับประกันได้ว่ากุกุญแจเปล่าที่ได้จะมีลักษณะที่เหมือนกัน กับกุกุญแจที่ต้องการ

การแก้ปัญหาดังกล่าวจึงอยู่ที่การได้มาซึ่งลักษณะร่องกุกุญแจที่สมบูรณ์ วิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะนำเสนอวิธีการหาลักษณะร่องกุกุญแจจากภาพถ่ายหน้าตัดของลูกกุกุญแจที่ใช้งานจริง โดยใช้การ หาขอบภาพแบบลาปลาซเซียน (Laplacian Edge Enhancement) นำข้อมูลที่ได้มาสร้างลูกกุกุญแจ ใหม่โดยเครื่องกัด CNC จากนั้นนำลูกกุกุญแจที่สร้างเสร็จมาหาขนาดเทียบกับลูกกุกุญแจต้นแบบ เพื่อพิจารณาหาค่าความคลาดเคลื่อน

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การหาเส้นวงรอบร่องกุกุญแจจากภาพถ่ายหน้าตัดนั้นมีจุดเด่นคือ ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูล เชิงเลขสามารถนำไปประมวลผลเป็นรูปแบบอื่นได้ตามความต้องการใช้งาน โดยในวิทยานิพนธ์ เล่มนี้จะเสนอวิธีการแปลงจากข้อมูลภาพถ่ายให้เป็นคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล CNC เพื่อทดลอง สร้างร่องกุกุญแจใหม่

### 1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างกับการวัดด้วยเครื่องมือวัดและวิธีการที่นำเสนอ เพื่อหาขนาดของร่องกุกุญแจจะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่วิธีประมวลผลภาพจะให้ของข้อมูลที่เป็น องค์ประกอบของร่องกุกุญแจได้ครบถ้วนมากกว่าและสามารถเลือกไปใช้งานได้หลากหลายกว่า

### 1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการหาลักษณะร่องกุกุญแจจากภาพถ่ายหน้าตัดและการ แปลงจากข้อมูลภาพดังกล่าวไปเป็นคำสั่งของเครื่องจักรกล CNC เพื่อทดลองสร้างร่องกุกุญแจโดย เลือกวัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมเพื่อสะดวกในการขึ้นรูป

## 1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์แยกองค์ประกอบของภาพ (Image Segmentation) และการใช้งานเครื่องจักรกล CNC แบบ 3 แกน

บทที่ 3 กล่าวถึงฟิวส์ชาร์ตแสดงวิธีการได้มาซึ่งลักษณะของร่องกุ่มแง, การแปลงข้อมูลภาพไปสู่ขนาดจริง และฟิวส์ชาร์ตการสร้างคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล CNC

บทที่ 4 กล่าวถึงการเปรียบเทียบความผิดพลาดของค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณ และลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องจักรกล CNC

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

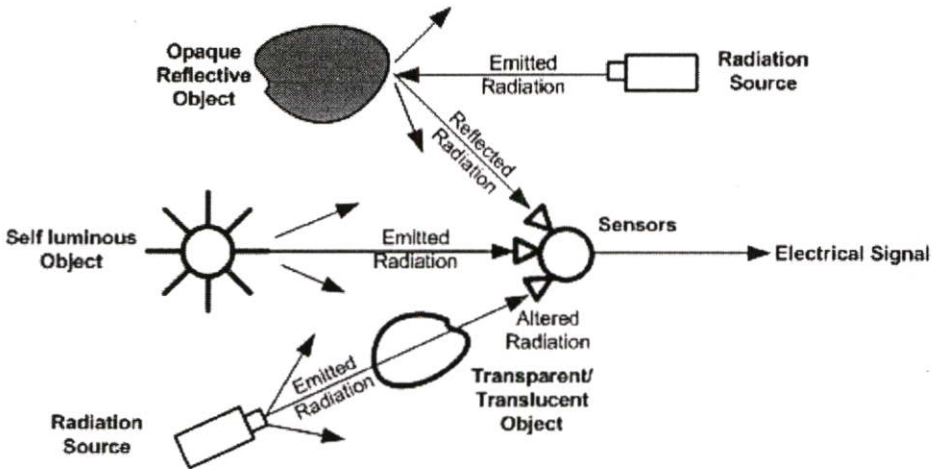
## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องในการวิจัยโดยจะกล่าวถึงเทคนิคการวิเคราะห์แยกองค์ประกอบของภาพ (Image Segmentation) และการใช้งานเครื่องจักรกล CNC

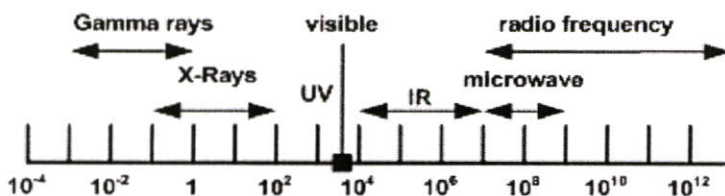
### 2.1 ข้อมูลภาพเชิงเลข (Digital Image)

ภาพสามารถจำแนกตามลักษณะการเกิดได้ 3 วิธีคือ ภาพที่เกิดจากการสะท้อนของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุ (Reflection Image) ภาพที่เกิดจากการเปล่งรังสีจากภายในตัววัตถุเอง (Emission Image) และการดูดกลืนรังสีเนื่องจากโครงสร้างภายในของตัววัตถุ (Absorption Image) ลักษณะการเกิดของภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



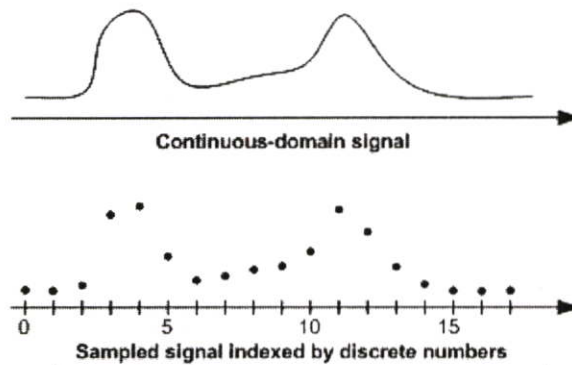
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเกิดของภาพ

โดยรังสีดังกล่าวจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) โดยแบ่งชนิดของรังสีได้ดังรูปที่ 2.2 โดยหากเป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1,000 - 10,000 อังสตรอม จะสามารถมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ (Visible Light) หากเป็นรังสีที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.1 - 100 อังสตรอมจะเรียกว่า รังสีเอ็กซ์ (X-Ray) ซึ่งพบบ่อยในในวงการแพทย์



รูปที่ 2.2 ย่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

กระบวนการถ่ายภาพเป็นการแปลงข้อมูลของวัตถุ 3 มิติให้เป็นข้อมูล 2 มิติ การแปลงข้อมูลภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าสามารถทำได้โดยใช้เซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงที่จุดเล็กๆที่ละจุด โดยมีทิศทางจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่างหรือเรียกอีกอย่างว่าการอ่านค่าตามแนวราสเตอร์ (Raster Scan) จะได้สัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) ที่มีความต่อเนื่องออกมาเป็นข้อมูลภาพ จากนั้นทำการแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลภาพเชิงเลข (Image Digitization) ด้วยการสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง (Image Sampling) และ การประมาณค่าความเข้มแสง (Image Quantization) ข้อมูลที่ได้จากการสุ่มจะถูกระบุตำแหน่งด้วยเลขจำนวนเต็มสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



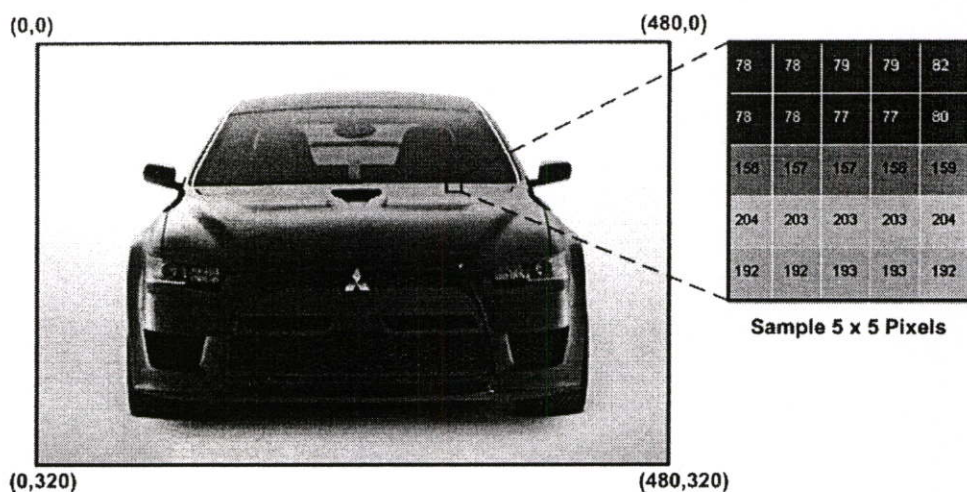
รูปที่ 2.3 การสุ่มเลือกจุดตำแหน่งจากสัญญาณต่อเนื่อง

ในกรณีที่สัญญาณภาพมีขอบเขตแน่นอนอาจถูกมองให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ของตัวเลขได้ สัญญาณจึงสามารถถูกเก็บบันทึกและประมวลผลในรูปแบบของอาร์เรย์ (Array) ที่ถูกจัดเรียงในรูปแบบแถวและแบบหลัก โดยสมาชิกของอาร์เรย์จะถูกเรียกว่าจุดภาพ (Picture Element: Pixel) ค่าความเข้มแสงสามารถหาได้โดยวัดค่าจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบลงบนเซนเซอร์ในรูปของฟังก์ชันคลื่น  $f(x,y)$  ซึ่งโดยปกติค่านี้อาจจะเป็นบวกเสมอ จากนั้นแปลงให้เป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง  $g(x,y)$  โดยแบ่ง  $f(x,y)$  แบ่งออกเป็นช่วงๆ หากภาพถูกแสดงผลด้วยระดับสีเทา ค่าของจุดภาพจะแสดงเป็นระดับสีเทาด้วย ค่าที่ได้จากการประมาณค่ามักจะอยู่ในรูปของเลขฐาน 2 จำนวน 8 หลัก จึงได้ระดับสีเทาทั้งหมด 256 ระดับ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแสดงผลแบบ 8 บิตของจุดภาพที่ถูกประมาณค่า

ข้อมูลภาพเชิงเลขจึงถูกเขียนแทนได้ด้วย ฟังก์ชัน 2 มิติ หรือ  $A(x,y)$  ของค่าความเข้มของแสง โดยที่  $x$  และ  $y$  คือ ค่าที่บอกถึงตำแหน่งในระบบพิกัดฉาก และค่าของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่งใด ๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้นแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพที่แสดงด้วยระดับสีเทา 8 บิต ขนาด 320 x 480 Pixels และค่าความเข้มในแต่ละจุดภาพ

## 2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

ลักษณะการมองของมนุษย์นั้นจะรับหรือกลั่นกรองเอาส่วนที่สำคัญของภาพที่รับเข้ามาทางสายตาแล้วส่งส่วนที่สำคัญเหล่านั้นไปยังสมอง เพื่อที่จะแปลความหมายของภาพที่รับเข้ามา จุดประสงค์ของการทำอิมเมจเซกชันก็เช่นเดียวกัน กล่าวคือ การแยกหรือกลั่นกรองส่วนที่สำคัญของภาพออกมาให้เห็นเด่นชัดขึ้น และแยกส่วนที่มีค่าระดับความเข้มที่ต่างกันมากออกไปเป็นอีกส่วนหนึ่ง ซึ่งค่าระดับความแตกต่างที่มีค่าน้อยนั้นบางครั้งสายตามนุษย์ไม่สามารถแยกแยะได้ แต่เมื่อนำหลักการของการประมวลผลสัญญาณภาพเข้ามาใช้ ความแตกต่างนั้นจะปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดยิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้การประมวลผลต่างๆจะดำเนินการบนสเปเชียลโดเมน (Spatial Domain) ซึ่งเป็นรูปแบบปกติในการแสดงผลภาพเชิงเลข การคำนวณต่างๆสามารถกระทำที่จุดภาพได้โดยตรง ในการประมวลผลจะต้องกำหนดขนาดของคอนโวลูชันมาสก์เสมอ (Convolution Mask) โดยมีขนาดเท่ากันทั้งแถวและหลัก ขนาดของมาสก์จะส่งผลต่อความไวต่อสัญญาณรบกวน (Noise's sensitivity) การกำหนดมาสก์ขนาดเล็กจะทำให้มีความไวสูง ในทางตรงกันข้ามหากกำหนดมาสก์ขนาดใหญ่จะส่งผลให้ความไวต่อสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ เนื่องจากการคำนวณมีการถ่วงน้ำหนักจากจุดภาพโดยรอบจำนวนมาก ตัวอย่างการกำหนดขนาดของมาสก์แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 แต่ในการประมวลผลภาพอาจใช้แบบโดเมนความถี่ก็ได้ (Frequency Domain) โดยการคำนวณจะอยู่บนพื้นฐานของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) การประมวลผลภาพด้วยวิธีนี้จะพบบ่อยในการบีบอัดข้อมูล (Data Compression) ตัวอย่างของการแปลงฟูเรียร์แสดงได้ดังภาพที่ 2.7

1	0
0	-1

2 x 2 Mask

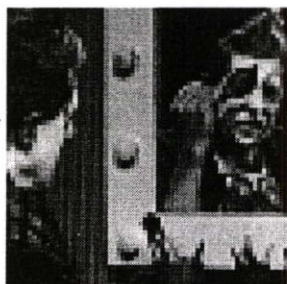
-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

3 x 3 Mask

		-1		
		2		
-1	2	-4	2	-1
		2		
		-1		

5 x 5 Mask

รูปที่ 2.6 มาสค์ขนาดต่างๆที่ใช้ในการประมวลผลภาพบนสเปเชียลโดเมน

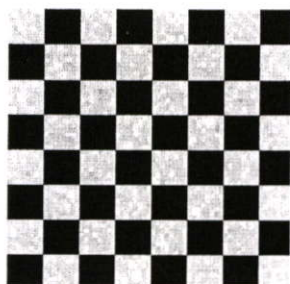


รูปที่ 2.7 a) ภาพที่แสดงบนสเปเชียลโดเมน

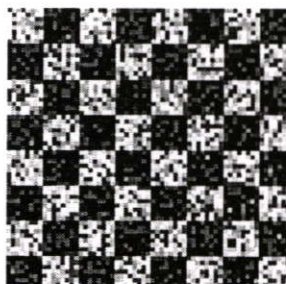


b) ภาพที่แสดงบนโดเมนความถี่

สัญญาณภาพโดยทั่วไปจะประกอบด้วยสิ่งที่ไม่คาดคิดไปจากสัญญาณในอุดมคติซึ่งอาจจะเกิดจากกระบวนการเก็บข้อมูลหรือจากกระบวนการประมวลผลสัญญาณเอง สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ถูกเรียกว่าสัญญาณรบกวน (Noise) บางครั้งลักษณะของสัญญาณรบกวนอาจเป็นแบบสุ่มเกิดขึ้นไม่แน่นอน และมีแหล่งที่มาหลายแบบยกตัวอย่างเช่น ความไม่คงที่ของตัวตรวจจับ ความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมโดยรอบ ความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณ ความผิดพลาดในการประมาณค่า และอื่นๆ รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของภาพดั้งเดิมและภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบพริกไท (Pepper Noise) การปรับปรุงคุณภาพของภาพที่จะนำมาประมวลผลให้ดีขึ้น มีประโยชน์กับการวิเคราะห์องค์ประกอบภาพในหลายด้าน เช่น การแปลงภาพที่ไม่ชัดเจนเนื่องจากการถ่ายในขณะแสงน้อยหรือจําเกินไปให้ชัดเจนขึ้น, การกำจัดสัญญาณรบกวน, การหาขอบภาพ, การสร้างภาพไบนารี เป็นต้น



รูปที่ 2.8 a) ภาพตารางหมากรุก



b) ภาพที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนแบบพริกไท

### 2.2.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) [3]

การ กำจัดสัญญาณรบกวนภาพใช้ในการกำจัดสิ่งไม่พึงประสงค์ที่มีขนาดเล็กออกจากภาพก่อนที่จะนำภาพนั้นไปประมวลผลในขั้นตอนอื่นต่อไป เมื่อพิจารณาภาพบนสเปเชียลโดเมน จุดภาพที่มีค่าระดับสีที่แตกต่างจากจุดรอบข้างมากๆ จุดเหล่านี้มักอยู่เดี่ยวๆ ไม่ค่อยมีความต่อเนื่องกับจุดโดยรอบซึ่งการกำจัดสัญญาณรบกวนภาพนั้นมีวิธีต่างๆ ดังนี้

1. การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองเชิงเส้น เป็นวิธีที่อาศัยการหาผลรวมของค่าที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักระดับความเข้มแสงที่มีพิคัดสอดคล้องกับพิคัดบนมาस्कที่นำมาคอนโวลูชัน (Convolution) กับข้อมูลภาพ ตัวอย่างการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีนี้คือ ตัวกรองแบบเฉลี่ยข้อมูล (Mean Filter) โดยการหาค่าเฉลี่ย (Average) ของจุดภาพในตำแหน่งที่พิจารณาและจุดที่อยู่โดยรอบ ส่งผลให้จุดภาพที่พิจารณามีค่าความเข้มแสงแตกต่างจากจุดโดยรอบลดลง

23	57	110
60	87	114
62	77	112

รูปที่ 2.9 a) มาस्कข้อมูลภาพที่พิจารณา

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

b) ตัวกรองแบบเฉลี่ยข้อมูล

2. การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น เป็นเทคนิคที่ช่วยลดสัญญาณรบกวนได้โดยการพิจารณาจากตำแหน่งของลำดับความเข้มแสง วิธีที่นิยมใช้คือตัวกรองแบบค่ามัธยฐาน (Median Filter) ใช้หลักการหาค่ามัธยฐานของข้อมูลในมาस्कที่พิจารณา วิธีนี้จะช่วยลดสัญญาณรบกวนในขณะที่ยังคงความเข้มแสงค่าเดิมของภาพตั้งต้นไว้ได้

123	125	126	130	140
122	124	126	127	135
118	120	150	125	134
119	115	119	123	133
111	116	110	120	130

Neighbourhood values:

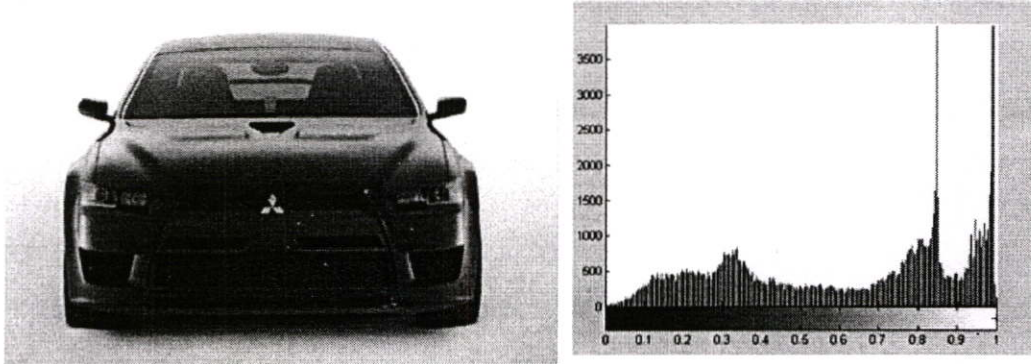
115, 119, 120, 123, 124,  
125, 126, 127, 150

Median value: 124

รูปที่ 2.10 ข้อมูลภาพที่พิจารณาด้วยมาस्कขนาด 3 x 3 และค่ามัธยฐานของข้อมูล

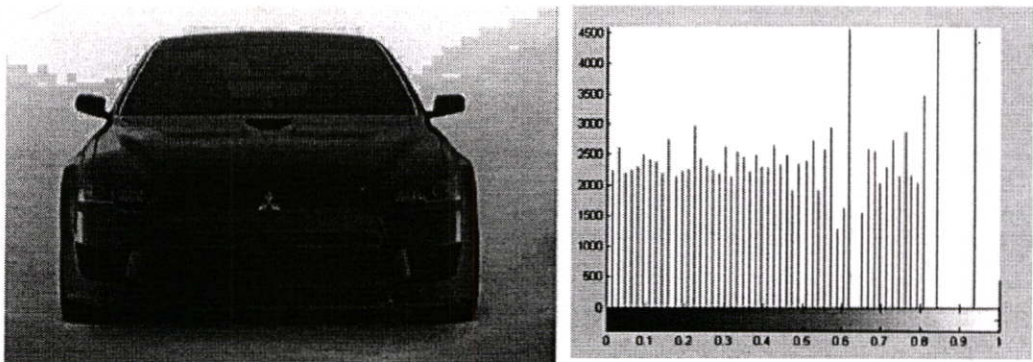
## 2.2.2 การชดเชยแผนภาพฮิสโตแกรม (Histogram Equalization)

แผนภาพฮิสโตแกรมเป็นแผนภาพที่ใช้แสดงจำนวนของจุดภาพที่ให้ค่าต่างๆตั้งแต่ 0 – 255 แผนภาพนี้สามารถช่วยในการวิเคราะห์องค์ประกอบของภาพได้ เช่น การหาขอบภาพ รูปที่ 2.11 a)-b) แสดงภาพรถยนต์ดั้งเดิมและแผนภาพฮิสโตแกรม ตามลำดับ



รูปที่ 2.11 a) ภาพรถยนต์ b) ฮิสโตแกรมของภาพรถยนต์

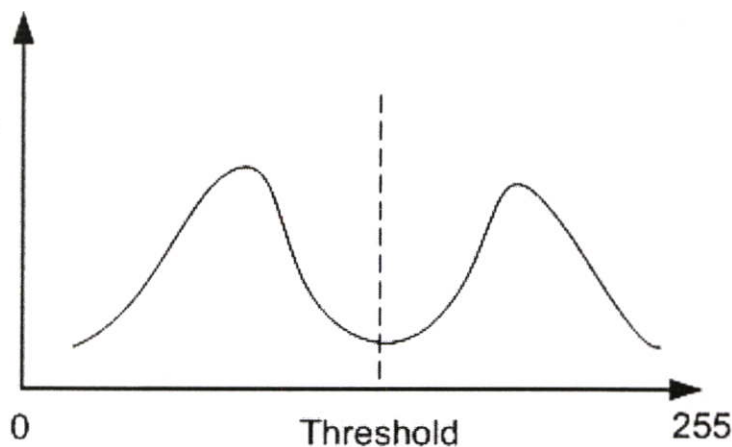
การชดเชยแผนภาพฮิสโตแกรม[6] เป็นวิธีการวิเคราะห์แผนภาพฮิสโตแกรมซึ่งแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงน้อย โดยอาจเกิดจากการถ่ายภาพในขณะแสงน้อยหรือจ้ามกเกินไป (ส่งผลให้ภาพฮิสโตแกรมมีลักษณะรวมกันเป็นชุดเดียว ไม่แยกส่วนออกจากกัน) ให้มีความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงมากขึ้น กระจายตัวได้ดีขึ้น โดยความเข้มระดับที่มีปริมาณการถูกใช้มากก็จะถูกขยายออก ดังรูปที่ 2.12 ทำให้สามารถพิจารณาองค์ประกอบต่างๆของภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น กระบวนการนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงภาพซึ่งมีความคมชัดน้อย และระดับของความเข้มแสงรวมอยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่ง เช่น การรวมอยู่ในช่วงระดับความเข้มแสงต่ำเนื่องจากการถ่ายภาพขณะแสงน้อย และการรวมอยู่ในช่วงระดับความเข้มแสงมากเนื่องจากการถ่ายภาพขณะแสงจ้า



รูปที่ 2.12 a) ภาพรถยนต์ภายหลังทำการชดเชยแล้ว b) ฮิสโตแกรมของภาพรถยนต์

### 2.2.3 การเทรสโฮลด์ภาพ (Image Threshold)

การเทรสโฮลด์ภาพ[2]เป็นเทคนิคที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อแยกภาพออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ(Image Segmentation) โดยส่วนประกอบที่ถูกแยกออกมานั้นอาจถูกนำไปประมวลผลในส่วนอื่นต่อไป การแยกภาพเป็นส่วนย่อยมีหลักการแนวเดียวกับสายตาของมนุษย์ กล่าวคือสามารถแยกลักษณะเด่นออกมาจากภาพที่มองเห็นได้ โดยอาศัยหลักการที่ว่าจุดภาพที่มีคุณสมบัติของภาพอยู่ในช่วงหนึ่งจะถูกจัดเป็นกลุ่ม โดยจะมีระดับความเข้มหนึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของจุดภาพออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ กลุ่มของวัตถุ (Object) และกลุ่มของพื้นหลัง (Background) โดยอาศัยพื้นฐานของฮิสโตแกรม (Histogram) ของระดับสีเทาที่กระจายอยู่ในภาพที่เป็นตัวแบ่งส่วนของภาพ โดยการกำหนดว่าถ้าฮิสโตแกรมแยกออกเป็นหลายๆกลุ่มที่เด่นชัด กลุ่มเหล่านี้จะเป็นตัวแสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของภาพแต่ละภาพ ค่าเทรสโฮลด์จะถูกเลือกจากตำแหน่งรอยต่อระหว่างกลุ่มความเข้มแสงของกลุ่มข้อมูลในฮิสโตแกรมของภาพวิธีการนี้มักถูกใช้ในการแปลงภาพที่ถูกแสดงด้วยระดับสีเทาหลายๆระดับ ให้มีค่าระดับสีลดลงเหลือเท่ากับจำนวนระดับ Threshold + 1 ซึ่งมีค่าระดับเดียว เป็นผลทำให้ระดับสีที่ได้เหลือเพียง 2 ระดับ (ภาพไบนารี)ซึ่งมีค่าจุดที่เป็นองค์ประกอบของภาพวัตถุเป็น 1 และจุดพื้นภาพทุกๆไปเป็น 0 โดยจำเป็นต้องเลือกค่าเทรสโฮลด์ที่เหมาะสมหากมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ภาพวัตถุบางส่วนขาดหายไปหากต่ำเกินไปพื้นภาพซึ่งมีระดับสีไม่เรียบก็จะถูกระบุให้เป็นส่วนหนึ่งของวัตถุ การพิจารณาค่าเทรสโฮลด์ที่เหมาะสมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 การพิจารณาหาค่าเทรสโฮลด์อยู่หลายวิธีหนึ่งวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีของโอทซึ (Otsu' s method) ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการนี้ในหัวข้อต่อไป

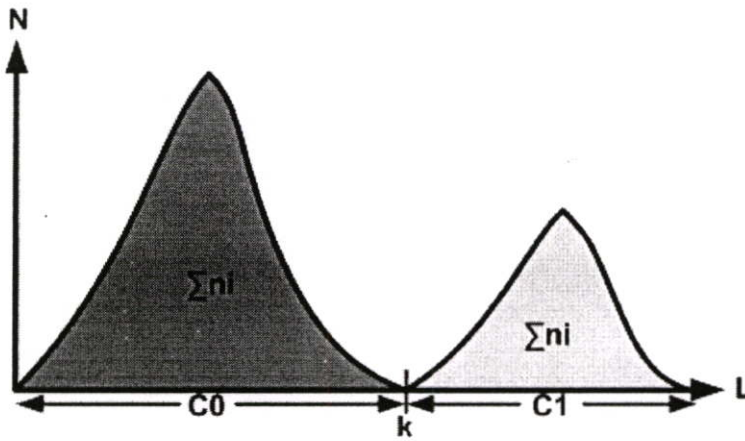


รูปที่ 2.13 แสดงการเลือกระดับเทรสโฮลด์จากแผนภาพฮิสโตแกรม

#### การหาค่าเทรสโฮลด์ด้วยวิธีการของ Otsu

วิธีการนี้เป็นการประยุกต์เครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการคำนวณ โดยสมมติให้ภาพที่ต้องการหาถูกแสดงด้วยระดับสีเทาจำนวน  $L$  ระดับ โดยที่ภาพสามารถแบ่งเป็นกลุ่มข้อมูล 2 กลุ่ม จากนั้นคำนวณหาค่าเทรสโฮลด์ที่ทำให้เงื่อนไขดังต่อไปนี้เป็นจริง

ก) จุดภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความแปรปรวนต่ำที่สุด(Minimum Variance)  
 ข) จุดภาพที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีความแปรปรวนสูงที่สุด(Maximum Variance)  
 กำหนดให้ภาพถูกแสดงด้วยระดับสีเทาที่มีค่า  $L$  ระดับ  $[1, 2, \dots, L]$  โดยจำนวนของจุดภาพที่ความเข้มแสงระดับใดๆเป็น  $n_i$  และจำนวนของจุดภาพทั้งหมดในภาพ คือ  $N$  โดยที่  $N = n_1 + n_2 + \dots + n_L$  จากหลักการทฤษฎีฮอสต์ภาพสมมุติให้ภาพถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ  $C_0$  และ  $C_1$  โดยแทนแทนส่วนที่เป็นภาพวัตถุและภาพพื้นตามลำดับ โดยเลือกค่า  $k$  เป็นค่าทฤษฎีฮอสต์  $C_0$  ประกอบด้วยจุดภาพที่มีค่า  $[1, 2, \dots, k]$  และ  $C_1$  ประกอบด้วยจุดภาพที่มีค่า  $[k+1, \dots, L]$  แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการแบ่งกลุ่มความเข้มแสงโดย  $C_1$  และ  $C_0$  แทนภาพวัตถุและภาพพื้น

ทำการแปลงฮิสโตแกรมให้อยู่ในรูปการกระจายความน่าจะเป็น (Probability Distribution). โดยความน่าจะเป็นของการเกิดกลุ่มภาพ  $C_0$  และ  $C_1$  แสดงได้ดังสมการที่ (2.1) – (2.3)

$$p_i = n_i/N, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^L p_i = 1 \quad (2.1)$$

$$\omega_0 = Pr(C_0) = \sum_{i=1}^k p_i = \omega(k) \quad (2.2)$$

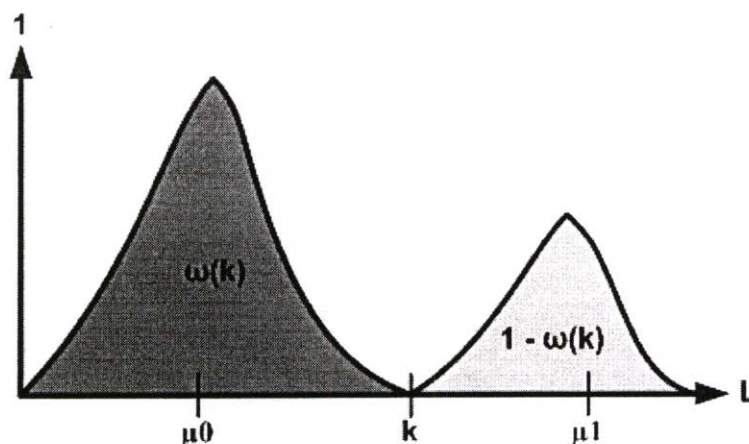
$$\omega_1 = Pr(C_1) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega(k) \quad (2.3)$$

สามารถคำนวณหาค่ากลาง (Mean) ของ  $C_0$  และ  $C_1$  ได้ดังสมการที่ (2.4) – (2.6)

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k i Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k i p_i / \omega_0 = \mu(k) / \omega(k) \quad (2.4)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^L i Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L i p_i / \omega_1 = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)} \quad (2.5)$$

โดยที่  $\omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1 = \mu_T, \quad \omega_0 + \omega_1 = 1$  (2.6)



รูปที่ 2.15 แสดงฮิสโตแกรมของภาพที่ถูกทำให้อยู่ในรูปการกระจายความน่าจะเป็นและค่ากลางของกลุ่มข้อมูลของกลุ่มภาพ C0 และ C1

สามารถคำนวณค่าความแปรปรวนของกลุ่มภาพ C0 และ C1 ได้ดังสมการ (2.7) และ (2.8)

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 p_i / \omega_0 \quad (2.7)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 p_i / \omega_1 \quad (2.8)$$

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มภาพ C0 และ C1 โดยค่า  $k = [1, 2, \dots, 256]$

$$\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (2.9)$$

หาค่า  $k$  ที่ให้แบ่งภาพวัตถุออกจากภาพพื้นได้ดีที่สุดจากสมการที่ 2.10

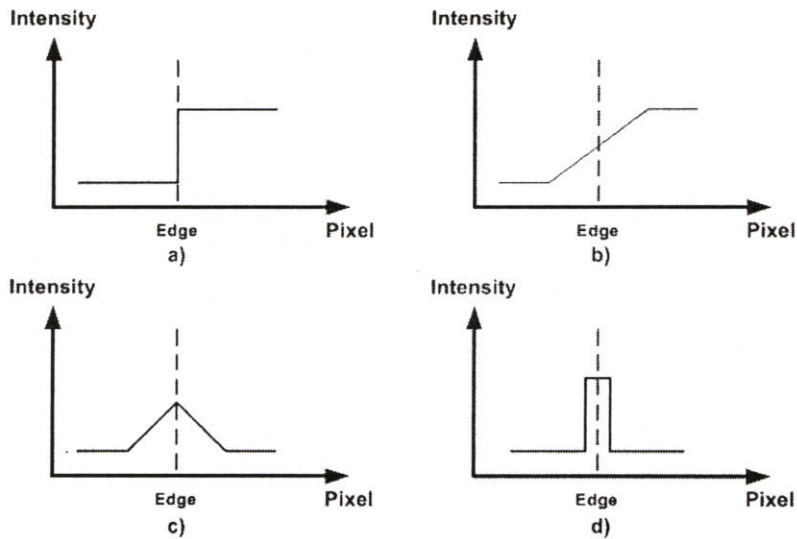
$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k \leq L} \sigma_B^2(k) \quad (2.10)$$

#### 2.2.4 การตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพมีจุดประสงค์เพื่อหาขอบเขตของวัตถุในภาพ การทราบขอบเขตของวัตถุทำให้ทราบว่าวัตถุนั้นคืออะไร ดังนั้นการหาขอบภาพจึงเป็นการดึงโครงร่างที่แสดงถึงลักษณะของวัตถุออกมา เช่นส่วนที่เป็นสันหรือขอบของวัตถุ เมื่อพิจารณาภาพในสเปซเชิงโดเมนเนื้อของวัตถุที่เป็นบริเวณเดียวกัน จะมีลักษณะของจุดภาพที่มีคุณสมบัติพื้นฐานที่เหมือนกัน เช่น ความสว่างของภาพ หรือ โครงร่างของภาพ

ขอบภาพจะเป็นบริเวณที่มีความแตกต่างของระดับความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงสูงกว่าบริเวณที่เป็นภาพของวัตถุ[8] โดยลักษณะการเกิดขอบภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16 โดยรูป a) เป็นขอบภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีที่หันใจขอบภาพชนิดนี้มักพบในภาพกราฟฟิคที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่วนขอบภาพที่พบในภาพถ่ายทั่วไปจะเป็นมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่ละน้อย ดังรูป b) และ c) ส่วนรูป d) พบบ่อยในลักษณะขอบภาพที่เป็นเส้น ขอบภาพที่ชัดเจนจะมีลักษณะดังนี้

1. มีความบาง โดยบริเวณที่เป็นขอบภาพจะมีความกว้างเพียงจุดเดียว
2. มีความต่อเนื่องโดยขอบภาพบนวัตถุเดียวกันจะมีความต่อเนื่องกันหากพบจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอย่างรวดเร็วแต่ไม่ต่อเนื่องอาจถูกพิจารณาให้เป็นสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.16 a) – d) แสดงการวิธีเกิดของขอบภาพแบบต่างๆ

การตรวจสอบว่าจุดภาพใดเป็นรอยต่อของภาพสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้  
 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่หนึ่ง

การหาขอบภาพเป็นกระบวนการหาบริเวณที่การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของจุดภาพเกิดขึ้น สามารถประยุกต์การหาค่ากราเดียนท์กับข้อมูลภาพเพื่อวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มที่เกิดขึ้นของจุดภาพ กราเดียนท์ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องในระนาบสองมิติสามารถกำหนดอยู่ในรูปของเวกเตอร์ได้สมการที่ 2.11

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

ขนาดของการเปลี่ยนแปลง (Magnitude of Gradient) จะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของจุดภาพในทิศทาง  $G$  ที่กำหนด โดยขนาดของกราฟิเดียนท์สามารถหาได้จากสมการที่ 2.12

$$\nabla f(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.12)$$

ขนาดกราฟิเดียนท์โดยประมาณได้จากสมการค่าสมบูรณดังต่อไปนี้

$$\nabla f(x, y) = |G_x| + |G_y| \quad (2.13)$$

โดยทิศทางของกราฟิเดียนท์จะเท่ากับ

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{G_x}{G_y} \right) \quad (2.14)$$

สำหรับภาพเชิงเลขการหาค่ากราฟิเดียนท์ของฟังก์ชันสองมิติ  $g(x, y)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่องที่พิกัด  $(x, y)$  สามารถกระทำในรูปของสมการดังต่อไปนี้

$$G_x = g(x+1, y) - g(x, y) \quad (2.15)$$

$$G_y = g(x, y) - g(x, y+1) \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.15) และ (2.16) สามารถพิจารณาในรูปของการนำมาสัคขนาด  $1 \times 2$  และ  $2 \times 1$  มาแสดงดังรูปที่ 2.17 มาคอนโวลูชันกับข้อมูลภาพเชิงเลขเพื่อคำนวณหาค่า  $G_x$  และ  $G_y$  ได้ตามลำดับ

-1	1
----	---

(a)

1
-1

(b)

รูปที่ 2.17 มาตรฐานสำหรับการคำนวณหากราฟิเดียนท์ (a) สำหรับหาค่า  $G_x$  (b) สำหรับหาค่า  $G_y$

การหาขอบภาพโดยวิธีของโรเบิร์ต (Roberts Edge Detection)

การหาขนาดของกราฟิเดียนท์แบบไม่ต่อเนื่องโดยวิธีของโรเบิร์ตสามารถคำนวณจากสมการดังสมการที่ 2.17 สามารถหามาสัคสำหรับคอนโวลูชันได้ดังรูปที่ 2.18 โดยมาสัคจะมีขนาด  $2 \times 2$  ทำให้การประมวลผลทำได้เร็ว มีความไวต่อสัญญาณรบกวนสูง

$$\nabla g(x, y) = |g(x, y) - g(x+1, y+1)| + |g(x+1, y)| \quad (2.17)$$

1	0
0	-1

(ก)

0	-1
1	0

(ข)

รูปที่ 2.18 마스크สำหรับการคำนวณหากราดิเจนท์ (ก) สำหรับหาค่า  $G_x$  (ข) สำหรับหาค่า  $G_y$

การหาขอบภาพโดยวิธีของโซเบล(Sobel Edge Detection)

การหาขนาดของกราดิเจนท์แบบไม่ต่อเนื่องโดยวิธีของโรเบิร์ตสามารถคำนวณจากสมการดังสมการที่ 2.18 สามารถหามาสก์สำหรับคอนโวลูชันได้ดังรูปที่ 2.10 โดยมาสก์มีขนาด  $3 \times 3$  มีความไวต่อสัญญาณรบกวนต่ำ ในการคำนวณอาจเกิดการโอเวอร์โฟลวได้เพราะสมประสิทธิ์ที่ใช้มีค่าสูง

$$\nabla g(x, y) = \begin{pmatrix} \left( (g(x-1, y+1) + c * g(x, y+1) + g(x+1, y+1)) \right. \\ \left. - (g(x-1, y-1) + c * g(x, y-1) + g(x+1, y-1)) \right) \\ \left( (g(x-1, y-1) + c * g(x-1, y) + g(x-1, y+1)) \right. \\ \left. - (g(x+1, y-1) + c * g(x+1, y) + g(x+1, y+1)) \right) \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

โดย C มีค่าเท่า 2

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(ก)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(ข)

รูปที่ 2.19 마스크สำหรับการคำนวณหากราดิเจนท์ (ก) สำหรับหาค่า  $G_x$  (ข) สำหรับหาค่า  $G_y$

การหาขอบภาพโดยวิธีของพรีวิท(Prewitt Edge Detection)

การหาขนาดของกราดิเจนท์แบบไม่ต่อเนื่องโดยวิธีของพรีวิทสามารถคำนวณจากสมการดังสมการ 2.18 เช่นเดียวกับโรเบิร์ต แต่เลือกค่า C เท่ากับ 1 สามารถหามาสก์สำหรับคอนโวลูชันได้ดังรูปที่ 2.20 มีความไวต่อสัญญาณรบกวนต่ำ การเกิดโอเวอร์โฟลวต่ำกว่าวิธีของโซเบล

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

(ก)

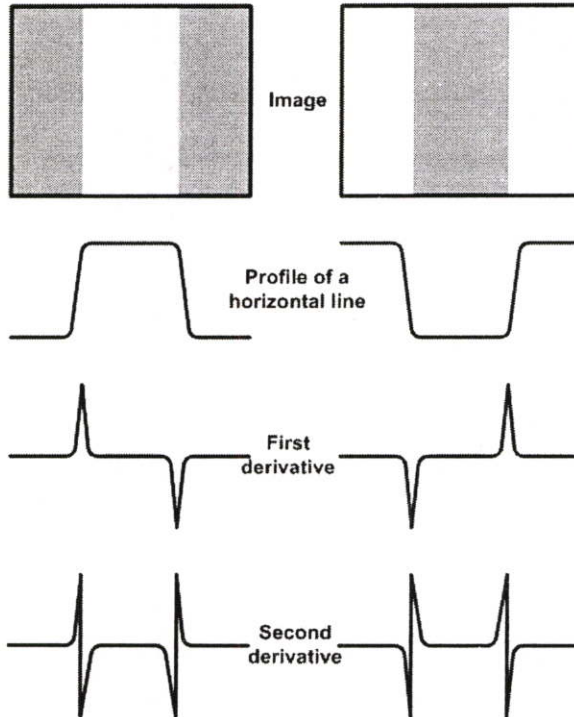
-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

(ข)

รูปที่ 2.20 마스크สำหรับการคำนวณหากราดิเจนท์ (ก) สำหรับหาค่า  $G_x$  (ข) สำหรับหาค่า  $G_y$

### การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่สอง

การหาขอบภาพโดยวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่าที่ตำแหน่งจุดภาพใดเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มอย่างทันทีทันใด เมื่อหาอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่สองจะพบว่าเกิดจุดตัดศูนย์ขึ้น (Zero Crossing) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหาขอบภาพ โดยใช้อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับหนึ่งและการหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับสอง

วิธีการหาขอบภาพโดยใช้ตัวดำเนินการลาปลาซเซียน (Laplacian Edge Detection) ของฟังก์ชัน 2 มิติ  $g(x,y)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่องที่พิกัด  $(x,y)$  ได้มาจากการประมาณอนุพันธ์เชิงเส้นอันดับสองของฟังก์ชันต่อเนื่องดังสมการที่ 2.19 และทำการประมาณสมการเพื่อหาขอบภาพเชิงตัวเลขได้ดังสมการที่ 2.20

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2.19)$$

$$\nabla^2 g(x,y) = 4g(x,y) - ((g(x+1,y) + g(x-1,y) + g(x,y+1) + g(x,y-1))) \quad (2.20)$$

จากสมการที่ 2.20 สามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปของคอนโวลูชันข้อมูลภาพเชิงเลขด้วยมาสก์ขนาด  $3 \times 3$  โดยกำหนดให้สัมประสิทธิ์ที่อยู่ทีพิกัดที่ต้องการหาขอบภาพเป็นบวกเสมอ ส่วนบริเวณอื่นเป็นบวกหรือลบก็ได้ เนื่องจากอนุพันธ์ของลาปลาซเซียนต้องมีผลรวมของสัมประสิทธิ์

เท่ากับศูนย์เสมอ ดังนั้นหากจุดภาพที่อยู่ในмасค์ขนาด 3 x 3 มีค่าเท่ากับทุกตำแหน่งเมื่อนำมาคอนโวลูชันผลลัพธ์จะได้เท่ากับศูนย์ นั่นหมายถึงจุดที่พิจารณาไม่ใช่ขอบภาพ รูปที่ 2.22 แสดงลาปลาซเขียนмасค์ขนาด 3 x 3 ที่สัมพันธ์ค่าต่างๆ

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

-1	-2	-1
-2	4	-2
-1	-2	-1

รูปที่ 2.22 ลาปลาซเขียนмасค์

### 2.2.5 การแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง (Shape Filter)

เพื่อให้ได้มาซึ่งภาพบริเวณที่เป็นวัตถุจริงการตัดพื้นหลังของภาพ[5] สามารถทำได้โดยหาผลคูณระหว่างภาพดั้งเดิม และภาพไบนารีที่ได้จากการเทรซโพลค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่พิจารณา โดยภาพที่เกิดจากผลคูณในตำแหน่งที่ให้ค่าเป็น 0 จะหายไป แต่จะเหลือเพียงผลคูณที่เกิดจาก ตำแหน่งที่ให้ค่าเป็น 1 ดังรูปที่2.23 ดังนั้นจะได้ภาพวัตถุที่ชัดเจนมากขึ้น

1	1	0
1	0	0
1	0	0

•

23	57	110
60	87	114
62	77	112

=

23	57	0
60	0	0
62	0	0

a)
b)
c)

รูปที่ 2.23 a) ค่าข้อมูลภาพไบนารีที่มีพิกัดเดียวกับภาพวัตถุ b) ค่าข้อมูลภาพวัตถุ c) ผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน

## 2.3 พื้นฐานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีแบบ 3 แกน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบของเครื่องจักร CNC การกำหนดจุดศูนย์ การอ้างอิงโคออร์ดิเนตของเครื่องกัด รูปแบบของหัวกัดและวิธีการเขียนคำสั่ง G-Code

### 2.3.1 การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control)

การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์[7] เป็นระบบการควบคุมคำสั่งเชิงตัวเลขและตัวอักษรด้วยคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เก็บข้อมูลหรือช่วยในการป้อนข้อมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไข โปรแกรมรูปที่2.24 แสดงเครื่องจักรกลซีเอ็นซีและแนวแกน โดยองค์ประกอบพื้นฐานของระบบ CNC มี 5 ส่วน ดังนี้ คือ

### 1. โปรแกรมสั่งงาน ( Part Program )

โปรแกรมสั่งงานในระบบ CNC จะมีลักษณะเป็นแถว โดยในแต่ละแถวจะมีรหัสคำสั่งที่ เขียนไว้ในรูปแบบของตัวเลข และสัญลักษณ์ ซึ่งรหัสคำสั่งในแต่ละแถวนี้ จะแทนตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดบนเครื่องจักร CNC เพื่อใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นส่วนตัวอย่างของโปรแกรมสั่งงาน เช่น N10 G01 X20 Y60 Z10 M03 S20 เป็นต้น

### 2. อุปกรณ์ป้อนข้อมูลโปรแกรม (Program Input Device)

การป้อนข้อมูลของโปรแกรมในเครื่องจักร CNC ที่เป็นแบบซอฟต์แวร์ (soft wire) นั้น จะใช้วิธีการป้อนโปรแกรมเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ ควบคุมการทำงานของเครื่อง (MCU) ด้วยสายส่งสัญญาณ (interface bus) เช่น RS-232 - C โดยที่เราไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องอ่านเทปเพื่อแปลรหัสคำสั่งเหมือนกับเครื่องในระบบ NC

### 3. หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง (Machine Control Unit)

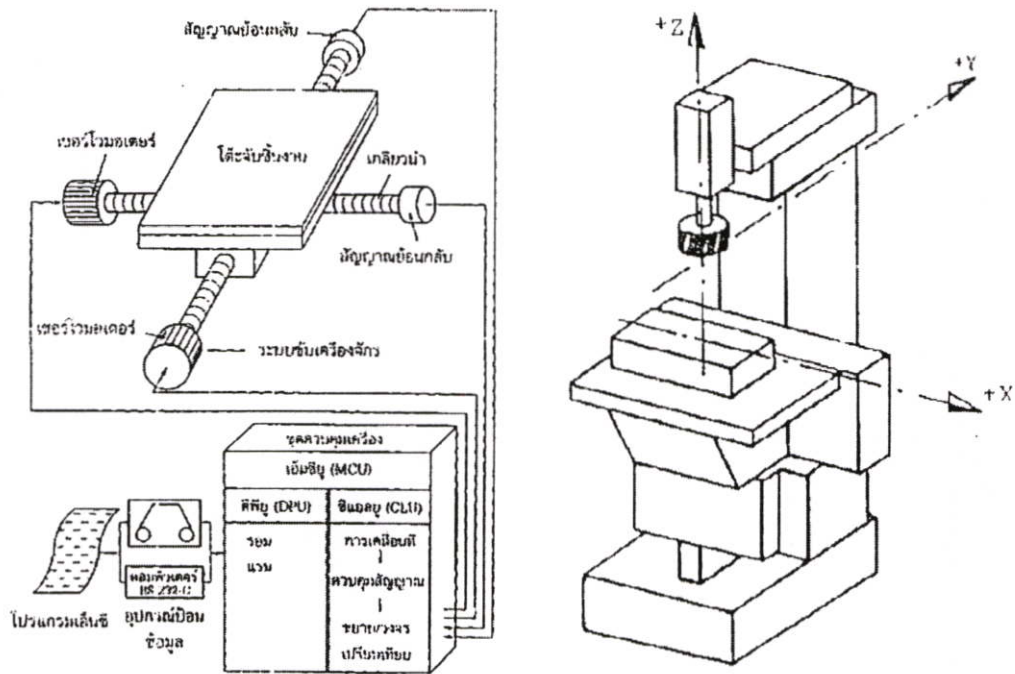
หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่องหรือ MCU มีหน้าที่อ่านและตีความหมายของคำสั่งที่ส่งมาจากส่วนป้อนข้อมูลของโปรแกรม หลังจากนั้นก็จะแปลงเป็นสัญญาณ เพื่อไปควบคุมระบบการขับเคลื่อนของเครื่องจักร CNC ต่อไปหน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง แบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ ๆ คือ ส่วนที่ทำหน้าที่อ่านโปรแกรม (Data Processing Unit : DPU) เช่น เครื่องอ่านเทปกระดาษ เครื่องอ่านเทปแม่เหล็ก หรือ RS-232-C เป็นต้น และส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร CNC (Control Loop Unit : CLU) เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน, การเคลื่อนที่ของแนวแกน, การเปลี่ยนเครื่องมือตัด การเปิด/ปิด น้ำหล่อเย็น เป็นต้น

### 4. ส่วนที่เป็นระบบควบคุมการขับเคลื่อน (Drive System)

การควบคุมการขับเคลื่อนในระบบ CNC แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ ใช้ Stepping motor ใช้ออเตอร์กระแสตรง, ใช้ออเตอร์กระแสสลับ และระบบไฮดรอลิก

### 5. เครื่องจักรกล (Machine)

เครื่องจักรกลที่ถูกออกแบบมาให้ถูกควบคุมด้วยระบบ CNC จะมีระบบการควบคุม 2 ลักษณะคือ แบบวงรอบเปิด (Open Loop Control) และแบบวงรอบปิด (Close Loop Control) หรือการผสมผสานระหว่างแบบวงรอบเปิด และแบบวงรอบปิด โดยเครื่องจักรที่ควบคุมแบบวงรอบเปิดจะมีสัญญาณส่งไปที่มอเตอร์ ทำให้โต๊ะจับชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามที่โปรแกรมไว้ ซึ่งการควบคุมด้วยระบบนี้จะไม่มีการตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับทำให้ไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้ว่าสัญญาณที่ส่งมานั้นได้ทำแล้วหรือยัง หรือมีข้อผิดพลาดอย่างไร ส่วนการควบคุมแบบวงรอบปิดจะมีระบบตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับ เมื่อโต๊ะ หรือเครื่องมือตัดเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่โปรแกรมไว้ ก็จะมีสัญญาณจับ เพื่อควบคุมให้โต๊ะจับชิ้นงาน หรือเครื่องมือตัดหยุดการเคลื่อนที่



รูปที่ 2.24 a) ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ CNC b) แนวแกนของเครื่องจักรกล CNC

2.3.2 ระบบแนวแกนของเครื่องกัด CNC

ในการกำหนดแนวแกนการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดในระบบ CNC นั้น จะต้องอาศัยระบบการวัดโคออร์ดิเนต แบบ Cartesian Co-ordinate System ซึ่งประกอบด้วยแนวแกน 3 แนวแกน โดยที่แต่ละแนวแกนจะทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 2.24 b

2.3.3 ระบบตำแหน่งของเครื่องกัด CNC (Positioning System)

ในการเขียนโปรแกรม CNC จำเป็นต้องอาศัยระบบโคออร์ดิเนต เพื่อใช้ระบุตำแหน่งในการเคลื่อนที่ที่เครื่องมือตัดบนชิ้นงาน, การเปลี่ยนเครื่องมือตัด (tool change) และการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์จัดยึดการกำหนดตำแหน่งของเครื่องมือตัดจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบสัมบูรณ์ และแบบสัมพัทธ์ (Absolute and incremental position system) โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งของแต่ละวิธีมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้คือ

การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute positioning)

การกำหนดตำแหน่งของพิกัดเป้าหมายโดยวิธีนี้อาศัยจุดอ้างอิงเพียงจุดเดียว ซึ่งจุดที่อ้างอิงนี้จะเป็นจุดศูนย์กลางของระบบโคออร์ดิเนตการระบุตำแหน่งนั้น ทำโดยการเทียบระยะจากจุดอ้างอิงนี้กับพิกัดเป้าหมายเพื่อบอกตำแหน่ง

การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Incremental positioning)

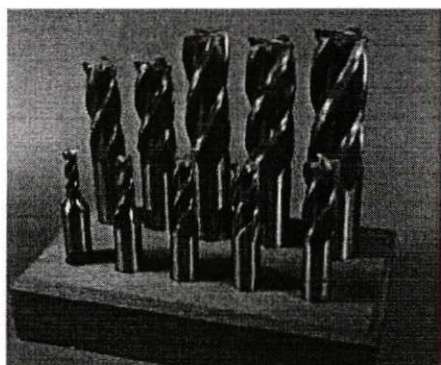
การกำหนดตำแหน่งของพิกัดเป้าหมายโดยวิธีนี้ จะอ้างอิงกับจุดสุดท้ายที่เครื่องมือตัดอยู่โดยเปรียบจุดดังกล่าวเหมือนกับจุดอ้างอิง แล้วเทียบระยะจากจุดอ้างอิงนี้ กับพิกัดเป้าหมายเพื่อบอกตำแหน่ง

### 2.3.4 เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด

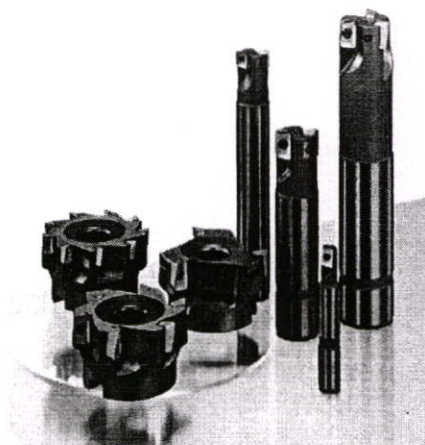
เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดด้วยเครื่องกัด CNC แบบ 3 แกน มีดังนี้คือ

เอ็นด์มิลล์ (End mills) เป็นเครื่องมือตัดที่ใช้สำหรับเครื่องกัดแนวตั้ง หรือเครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ แบบแนวตั้งส่วนวัสดุที่ใช้ทำเอ็นด์มิลล์นั้นอาศัยคมตัดตรงปลายและคมตัดด้านข้าง ตัวอย่างของเอ็นด์มิลล์ที่ใช้สำหรับเครื่องจักร CNC แสดงดังรูปที่ 2.25

เฟซมิลล์ (Face mill) เป็นเครื่องมือตัดที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับงานปาดผิวชิ้นงาน เฟซมิลล์ที่ใช้สำหรับเครื่องจักร CNC ส่วนมากแล้วจะเป็นแบบอินเสิร์ต ซึ่งสามารถเปลี่ยนอินเสิร์ตได้ นอกจากที่ได้กล่าวมาแล้ว เฟซมิลล์ยังมีรูปร่างลักษณะและรูปทรงที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการเลือกใช้งานจึงควรที่จะพิจารณาถึงรูปร่างและวัสดุของชิ้นงานด้วย ส่วนรายละเอียดของเฟซมิลล์สามารถดูได้จากคู่มือการเลือกใช้งานของบริษัทผู้ผลิตตัวอย่างของเอ็นด์มิลล์ที่ใช้สำหรับเครื่องจักร CNC แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.25 ดอกกัดแบบเอ็นด์มิลล์



รูปที่ 2.26 ดอกกัดแบบ เฟซมิลล์

### 2.3.5 คำในโปรแกรม CNC

คำที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม CNC เพื่อกำหนดหน้าที่ และควบคุมการทำงานของเครื่องจักร CNC สามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ชนิด คือ

#### 2.3.5.1 หมายเลขลำดับของบล็อก (Nxxx)

ในโปรแกรม CNC นั้นจะมีหมายเลขของ Block กำกับไว้ตามขั้นตอนในการทำงาน หรือขั้นตอนในการขึ้นรูปชิ้นงาน ตัวอย่างการเขียนหมายเลขลำดับของ Block ในโปรแกรมที่มีลำดับขั้นตอนการทำงาน 10 ขั้นตอน อาจจะเขียนได้ดังต่อไปนี้ คือ

N005		N010
N010		N020
N015	หรือ	N030
-		-
-		-
-		-
N055		N100

#### 2.3.5.2 คำสั่งจัดเตรียมการทำงาน (G)

การจัดเตรียมในการทำงานในระบบ เอ็นซีจะกำหนดด้วยตัวอักษร G และตามด้วยตัวเลข 2 หลัก เพื่อกำหนดและควบคุมการทำงาน ตัวอย่างรหัสที่ใช้ในงานกัดมีมากมาย เช่น

G00 : การเคลื่อนที่เร็ว

G01 : การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

G02 : การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง ทิศทางตามเข็มนาฬิกา

G03 : การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง ทิศทางตามทวนนาฬิกา

#### 2.3.5.3 การให้ขนาดตามแนวแกน (X, Y, Z)

การให้ขนาดตามแนวแกนเป็นการระบุตำแหน่งปลายทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องตัดไปตามแนวแกนของเครื่องจักร CNC เช่น เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X, Y และ Z โดยที่การให้ขนาดนี้จะใช้รหัสอักษรของแนวแกน และตามด้วยระยะทางในการเคลื่อนที่ ซึ่งตัวเลขระบุระยะทางในการเคลื่อนที่อาจจะมีทั้งค่าบวก ค่าลบ เลขจำนวนเต็ม หรือมีทศนิยมก็ได้ ตัวอย่างเช่น N0010 G01 X10 Y-20 ; เป็นต้น

2.3.5.4 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลม จะใช้ในกรณีที่เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง เช่น G 02 หรือ G03 โดยที่

I คือ ขนาดที่วัดจากจุดเริ่มต้น ของส่วน โค้งถึงจุดศูนย์กลางของส่วน โค้งในแนวแกน X

J คือ ขนาดที่วัดจากจุดเริ่มต้นของส่วน โค้งถึงจุดศูนย์กลาง ของส่วน โค้งในแนวแกน Y

K คือ ขนาดที่วัดจากจุดเริ่มต้นของส่วน โค้งถึงจุดศูนย์กลาง ของส่วน โค้งในแนวแกน Z

ตัวอย่างการให้ขนาดของตำแหน่งจุดศูนย์กลางของส่วน โค้ง เช่น

N015 G03 X0.5 Y3.0

I-0.5 J0.866

### 2.3.5.5 การหมุนของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด (S)

ความเร็วรอบของเพลาจับยึดเครื่องมือตัดใน โปรแกรม CNC จะใช้รหัสตัวอักษรคือ S และตามด้วยตัวเลขของความเร็วรอบ 2 ถึง 5 หลัก โดยที่ ความเร็วรอบนี้จะมีหน่วยวัดเป็น รอบ/ นาที ยกตัวอย่าง เช่น S90, S500 เป็นต้น

### 2.3.5.6 เครื่องมือตัด (T)

การเรียกเครื่องมือตัด หรือการเปลี่ยนเครื่องมือ ตัด จะกำหนดโดยใช้รหัสตัวอักษร T และตามด้วยเครื่องหมายเลขลำดับที่ของเครื่องมือที่ติดตั้งไว้ในชุดเปลี่ยนเครื่องมือโดยอัตโนมัติ

### 2.3.5.7 คำสั่งเปลี่ยนจุดอ้างอิง

G92 : เปลี่ยน Coordinate ของชิ้นงาน

G99 : วัฏจักรของการเลื่อนกลับไปยังจุดอ้างอิง

### 2.3.5.8 คำสั่ง M-Code

M00 : การหยุดโปรแกรมแบบมีเงื่อนไขในโปรแกรม

M01 : การหยุดโปรแกรมแบบทางเลือก

M02 : การสิ้นสุดโปรแกรม

M03 : เพลาจับยึดเครื่องมือตัดหมุนตามเข็มนาฬิกา

M04 : เพลาจับยึดเครื่องมือตัดหมุนทวนเข็มนาฬิกา

M05 : หยุดเพลาจับยึดเครื่องมือตัด

M06 : เปลี่ยนเครื่องมือตัด

M07 : เปิดน้ำหล่อเย็นแบบฉีดเป็นฝอย

M08 : เปิดน้ำหล่อเย็นแบบทั่วไป

M09 : ปิดน้ำหล่อเย็น

M10 : การล๊อคโดยอัตโนมัติ

M11 : การคลายล๊อคโดยอัตโนมัติ

M30 : การสิ้นสุดโปรแกรม

M98 : เรียกโปรแกรมย่อย

M99 : จบโปรแกรมย่อยและกลับไปยังโปรแกรมหลัก

### 2.3.6 G code ที่สำคัญ

ในการเขียนโปรแกรม CNC มีคำสั่งที่ใช้งานบ่อย และมีในเครื่องจักร CNC ส่วนใหญ่ ซึ่งงานวิจัยนี้นำมาใช้คือ G90, G91, G01 โดยมีรายละเอียดในการใช้คำสั่งดังนี้

G90: Absolute positioning

เป็นคำสั่งในการเปลี่ยนระบบการกำหนดตำแหน่งซึ่งจะบอกค่าตำแหน่งโดยเทียบกับจุดอ้างอิงที่ตั้งไว้จะมีผลทำให้คำสั่งในบรรทัดต่อไปหลังจากนี้ จะตีความหมายของพิกัดเป้าหมายเป็นแบบสัมบูรณ์ จนกว่าจะมีการสั่งให้เปลี่ยนเป็นแบบอื่น

G91: Relative Positioning

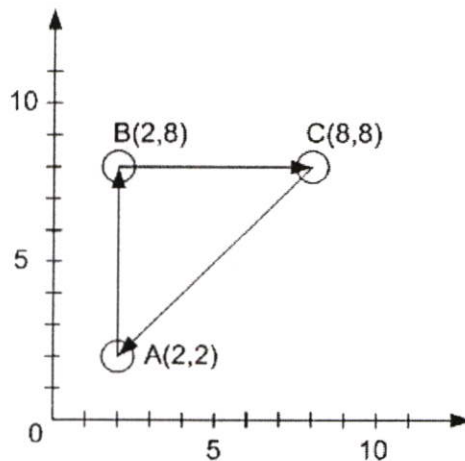
เป็นคำสั่งในการเปลี่ยนระบบการกำหนดตำแหน่งเป็นแบบสัมพัทธ์ ซึ่งจะบอกค่าตำแหน่งโดยเทียบกับพิกัดปัจจุบัน โดยเปรียบพิกัดปัจจุบันเป็นเหมือนกับจุดอ้างอิง จะมีผลทำให้คำสั่งในบรรทัดต่อไปหลังจากนี้ จะตีความหมายของพิกัดเป้าหมายเป็นแบบสัมบูรณ์ จนกว่าจะมีการสั่งให้เปลี่ยนเป็นแบบอื่น

G01: Linear interpolation

เป็นคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดให้เครื่องมือตัดเคลื่อนที่จากตำแหน่งปัจจุบันไปยังพิกัดเป้าหมายโดยที่เครื่องมือตัดนั้นจะเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตามอัตราป้อนที่กำหนด ซึ่งการกำหนดรูปแบบของคำสั่งในโปรแกรม CNC จะเป็น ดังนี้

G01 X... Y.... Z..... F.....

ค่าด้านหลังพารามิเตอร์ X, Y และ Z คือค่าโคออร์ดิเนตของพิกัดเป้าหมายในแต่ละแกน ส่วนค่าด้านหลังพารามิเตอร์ F คือ ค่าของอัตราป้อน สามารถใส่ทุกพารามิเตอร์ หรือละพารามิเตอร์ที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนค่าได้ดังตัวอย่างดังรูปที่ 2.13 สามารถเขียนโปรแกรม CNC ได้ดังนี้



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงของเครื่องมือตัด

N05	G90			การกำหนดโคออร์ดิเนตแบบสัมบูรณ์
N10	G01	X2.0	Y2.0	เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงไปที่ตำแหน่ง A (2.0, 2.0)
N15	G01	Y8.0	F7.5	เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเลื่อนชิ้นงานไปที่ตำแหน่ง B (2.0, 8.0) ด้วยอัตราป้อน 7.5 นิ้ว / นาที
N20	X7.0			เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเลื่อนชิ้นงานไปที่ตำแหน่ง C (8.0, 8.0)
N25	X2.0	Y2.0		เครื่องมือตัดในแนวเส้นตรงเลื่อนชิ้นงานไปที่ตำแหน่ง A (2.0, 2.0)

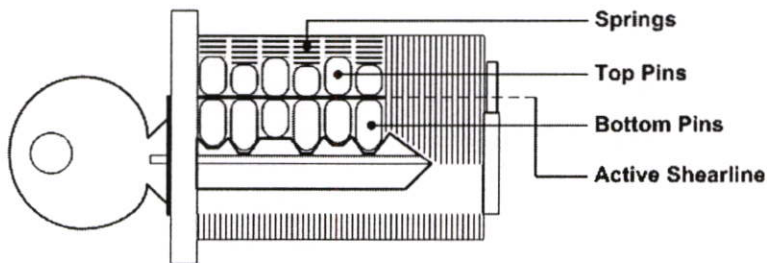
# บทที่ 3

## วิธีการที่นำเสนอ

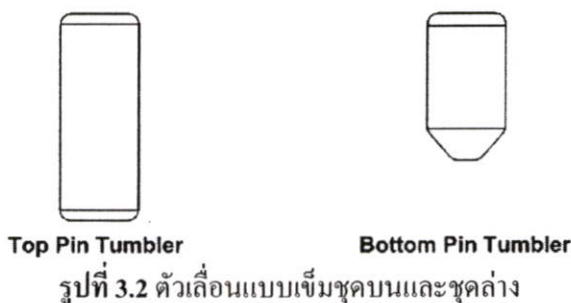
ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและส่วนประกอบของลูกกุญแจ อุปกรณ์ถ่ายภาพรังสี และโฟลวชาร์ทในการหาเส้นวงรอบร่องกุญแจที่นำเสนอโดยจะอ้างอิงถึงวิธีการประมวลผลเชิงเลขที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และในตอนท้ายจะแสดงโฟลวชาร์ทที่ใช้ในการแปลงข้อมูลภาพไปเป็นคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล CNC

### 3.1 โครงสร้างและการทำงานของระบบกลอน

ระบบกลอน[1]สามารถแบ่งออกได้หลายชนิดแต่รูปแบบที่ถูกนำมาใช้และพัฒนามากที่สุดมีพื้นฐานมาจากกลอนตัวเลื่อนแบบเข็ม (Pin tumbler locks) กลอนชนิดนี้มีใช้มานานกว่า 4,000 ปี โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ตัวเลื่อนแบบเข็มจะคอยทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้กลอนหมุน โดยตัวเลื่อนจะมี 2 ส่วนด้วยกันคือ ตัวเลื่อนชุดบน (Top pins) และตัวเลื่อนชุดล่าง (Bottom pins) กลอนจะสามารถเปิดได้ก็ต่อเมื่อตัวเลื่อนชุดบนและชุดล่างเรียงตัวเสมอกันตลอดแนวกุญแจ (Active Shearline) การเรียงตัวที่ถูกต้องนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวเลื่อนที่ถูกดันโดยฟันกุญแจที่เข้ากันได้พอดี (Cuts) ดังรูปที่ 3.1 ตัวเลื่อนชุดบนจะมีรูปทรงแบบทรงกระบอกตันปลายตัดตรงทั้งสองด้านโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.115 นิ้ว โดยมีความยาวอยู่ระหว่าง 0.010 – 0.300 นิ้ว โดยขนาดจะเปลี่ยนแปลงทีละ 0.003 – 0.005 นิ้ว ส่วนตัวเลื่อนชุดล่างจะมีรูปทรง กระบอกเช่นเดียวกันแต่ปลายด้านที่สัมผัสกับลูกกุญแจจะถูกรีดออกแบบให้เป็นทรงกรวยหรือครึ่งทรงกลมเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้สะดวก โดยมีความยาวอยู่ระหว่าง 0.150 – 0.360 นิ้ว ลักษณะของตัวเลื่อนแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 โครงสร้างภายในของระบบกลอนตัวเลื่อนแบบเข็ม

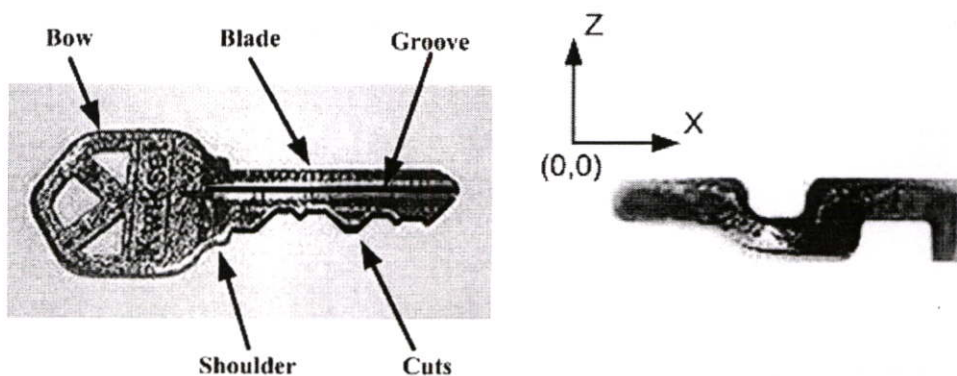


รูปที่ 3.2 ตัวเลื่อนแบบเข็มชุดบนและชุดล่าง

### 3.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของลูกกุญแจ

ลูกกุญแจ[2] เป็นเครื่องมือใช้สำหรับเปิดหรือปิดกลอนโดยการทำให้ตัวเลื่อนภายในของแม่กุญแจเรียงตัวถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้โดยปกติแล้วสามารถเคลื่อนย้ายได้ มักถูกทำด้วยโลหะ เช่น ทองเหลือง บางครั้งพื้นผิวภายนอกอาจถูกฉาบด้วยนิเกิล ส่วนประกอบหลักของลูกกุญแจถูกแสดงดังรูปที่ 3.3a โดยส่วนที่ใช้สอดเข้าไปในรูกุญแจเรียกว่าตัวกุญแจ(Blade)บนตัวกุญแจมักจะมีพื้นกุญแจและร่องกุญแจปรากฏให้เห็น จุดแบ่งระหว่างตัวกุญแจกับค้ำกุญแจเรียกว่าบ่ากุญแจ(Shoulder) จุดนี้จะเป็นจุดสิ้นสุดของระยะที่ลูกกุญแจสามารถสอดเข้าไปในรูกุญแจได้ ส่วนปลายสุดของลูกกุญแจใช้จับเพื่อออกแรงบิดลูกกุญแจเรียกว่าค้ำกุญแจ(Bow) รอยหยักบนตัวกุญแจเรียกว่าพื้นกุญแจ(Cuts) เมื่อสอดเข้าไปในแม่กุญแจจะทำให้ตัวเลื่อนภายในของแม่กุญแจเรียงตัว เป็นส่วนที่ตัดสินใจว่ากุญแจดอกนั้นจะสามารถเปิดกลอนได้หรือไม่ สุดท้ายร่องกุญแจ(Groove) คือ ร่องที่ถูกกัดไว้เป็นทางยาวตลอดบนตัวกุญแจ ประกอบด้วย 2 ด้านลักษณะร่องแต่ละด้านอาจเหมือนหรือต่างกันก็ได้ขึ้นกับลักษณะของแม่กุญแจ โดยแม่กุญแจแต่ละรุ่นจะมีลักษณะร่องที่ต่างกัน เป็นส่วนตัดสินใจว่ากุญแจดอกนั้นจะสามารถสอดเข้าไปในรูกุญแจได้หรือไม่

เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของลูกกุญแจรูปที่ 3.3b จะพบว่าร่องกุญแจมีลักษณะเหมือนกันตลอดตัวกุญแจ ลักษณะร่องกุญแจสามารถแสดงในรูปแบบ 2 มิติ ผ่านระนาบ X-Z โดยกำหนดให้ X คือ ความกว้างของลูกกุญแจ และกำหนดให้ Z คือ ความสูง (ความหนา) ของลูกกุญแจ สามารถสร้างคู่ลำดับ(x,z) โดยกำหนดให้จุดศูนย์ (0,0) อ้างอิงจากมุมบนซ้าย

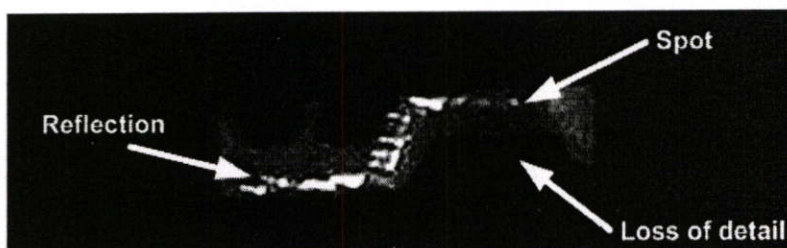


รูปที่ 3.3 a) แสดงส่วนประกอบของดอกกุญแจ

b) ภาพร่องลูกกุญแจ

### 3.3 การถ่ายภาพลักษณะร่องกุกูญแจ

การหาลักษณะร่องกุกูญแจจะเริ่มต้นจากการถ่ายภาพร่องของลูกกุกูญแจ ลูกกุกูญแจที่ใช้ในการทดลองถูกเคลือบด้วยนิเกิลจึงมีลักษณะพื้นผิวเป็นเงาสามารถสะท้อนแสงได้ดี ดังนั้นภาพลูกกุกูญแจที่ถ่ายด้วยวิธีการปกติจะมีสัญญาณรบกวนต่างๆจากสิ่งแวดล้อม เช่น แสงสะท้อนจากวัตถุโดยรอบ ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของลูกกุกูญแจ ภาพที่ได้มีความคมชัดต่ำรายละเอียดของภาพไม่เพียงพอสำหรับการประมวลผลแสดงดังรูปที่ 3.4

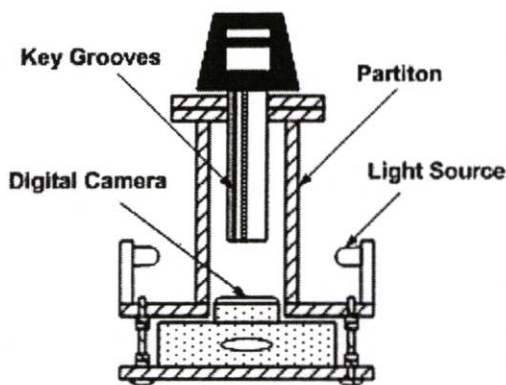


รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายลูกกุกูญแจด้วยวิธีทั่วไป

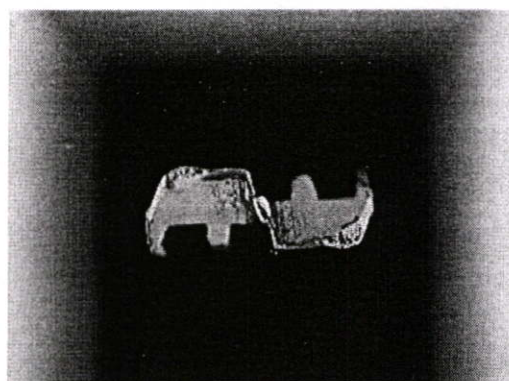
เพื่อให้ได้ภาพร่องลูกกุกูญแจที่มีรายละเอียดมากเพียงพอจึงจำเป็นต้องลดสัญญาณรบกวนดังกล่าวข้างต้นโดยการใช้วัสดุดูดซับแสงมาสร้างห้องสำหรับถ่ายภาพขึ้นดังรูปที่ 3.5 a) โดยมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่

1. ฉากกั้น(Partition) ทำจากแผ่นพลาสติกสีขาวที่มีคุณสมบัติดูดซับและยอมให้แสงผ่านได้บางส่วน ทำให้ได้ปริมาณความเข้มแสงสม่ำเสมอ และลดการสะท้อนแสงของพื้นผิวกุกูญแจอันเป็นสาเหตุของสัญญาณรบกวนได้
2. หลอดแอลอีดี(Light Emitting Diode: LED) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงสีขาว (Light Source) ช่วยเพิ่มความสว่างให้มากเพียงพอที่จะใช้ในการถ่ายภาพ ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์
3. กล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัล วัสดุรับแสงเป็นประเภท CMOS มีทางยาวโฟกัส(Focal Length) 6 มิลลิเมตร และอัตราส่วนระหว่างทางยาวโฟกัสและรูรับแสง (F-Number) เป็น 2 ให้ภาพขนาด 240 x 320 Pixel

เมื่อถ่ายภาพลูกกุกูญแจที่ต้องการ โดยการจัดพื้นหลังของภาพให้เป็นสีดำและใช้แหล่งกำเนิดแสงเพิ่มความสว่างให้กับพื้นที่หน้าตัดลูกกุกูญแจ ทำให้เห็นรายละเอียดของร่องกุกูญแจได้ชัดเจนมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.5 b)



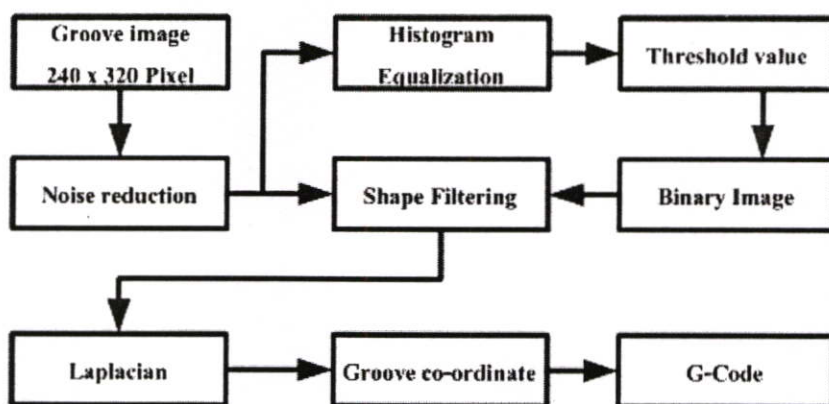
รูปที่ 3.5 a) เครื่องถ่ายภาพหน้าตัดกุญแจ



b) ภาพถ่ายร่องลูกกุญแจ ขนาด 240 x 320 pixel

### 3.4 การหาเส้นรอบร่องกุญแจ

จากทฤษฎีการประมวลผลภาพที่นำเสนอในบทที่ 2 การหาเส้นรอบร่องกุญแจจากภาพถ่ายเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการหาขอบภาพเพื่อเน้นจุดภาพในบริเวณที่มีความแตกต่างสูง โพลซาร์ทการทำงานถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 3.6 โดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.6 โพลซาร์ทแสดงวิธีการหาเส้นรอบรูปร่องกุญแจ

#### 3.3.1 การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

จุดภาพที่เป็นสัญญาณรบกวนมักมีค่าความแตกต่างสูง หากไม่กำจัดออกอาจทำให้การหาขอบภาพในขั้นตอนถัดไปทำได้ยากหรือเพี้ยนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งจุดภาพที่พิจารณาจะถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยในมาส์คข้อมูลขนาด 3 x 3 Pixel ดังสมการที่ 3.1

$$a(x, y) = \frac{1}{9} * \begin{pmatrix} g(x-1, y+1) + g(x, y+1) + g(x+1, y+1) \\ + g(x-1, y-1) + g(x, y-1) + g(x+1, y-1) \\ + g(x-1, y) + g(x, y) + g(x+1, y) \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

โดยที่  $a(x,y)$  คือ ค่าของจุดภาพบนภาพภายหลังผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่านเมื่อพิจารณาจุดภาพ  $g[x,y]$

### 3.3.2 การสร้างแผนภาพฮิสโตแกรม (Histogram)

แผนภาพฮิสโตแกรมช่วยในการเลือกค่าเทรชโฮลด์โดยถูกสร้างตามสมการที่ 3.2

$$H(k) = \sum A(x,y) = k \quad (3.2)$$

โดยที่  $H(k)$  คือ จำนวนของจุดภาพที่ให้ค่าความเข้มแสง  $k$  เมื่อพิจารณาภาพขนาด  $m \times n$   
 $K$  คือ ค่าความเข้มแสงในระดับสีเทา (0 – 255)

### 3.3.3 การสร้างภาพไบนารี (Binary Image)

การแปลงภาพจากระดับสีเทาให้เป็นภาพไบนารี โดยพิจารณาจากค่าเทรชโฮลด์ของภาพ ตามสมการที่ (3.3)

$$b(x,y) = \begin{cases} 0; a(x,y) \geq K_T \\ 1; a(x,y) < K_T \end{cases} \quad (3.3)$$

โดยที่  $b(x,y)$  คือ ค่าของจุดภาพบนภาพไบนารีที่พิกัดเดียวกับจุดภาพ  $a(x,y)$   
 $K_T$  คือ ค่าเทรชโฮลด์ที่คำนวณจากวิธีการของ Otsu

### 3.3.4 การแยกวัตถุออกจากรูปร่าง (Shape Filtering)

การแยกวัตถุออกจากรูปร่างสามารถทำได้ตามสมการที่ 3.4

$$g(x,y) = b(x,y) * a(x,y) \quad (3.4)$$

โดยที่  $g(x,y)$  คือ ค่าของจุดภาพผลลัพธ์ที่พิกัดเดียวกับจุดภาพ  $a(x,y)$   
 $b(x,y)$  คือ ค่าของจุดภาพบนภาพไบนารีที่พิกัดเดียวกับจุดภาพ  $a(x,y)$

### 3.3.5 การหาขอบภาพด้วยลาปลาซเซียน (Laplacian Edge Detection)

การหาขอบภาพด้วยวิธีนี้จะสมมูลย์ทุกทิศทางและเส้นขอบจะเล็กทำให้สามารถหาเส้นรอบรูปของวัตถุได้ผลที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า และชัดเจนกว่า โดยการหาขอบภาพด้วยลาปลาซเซียนพิจารณาได้ตามสมการที่ 3.5

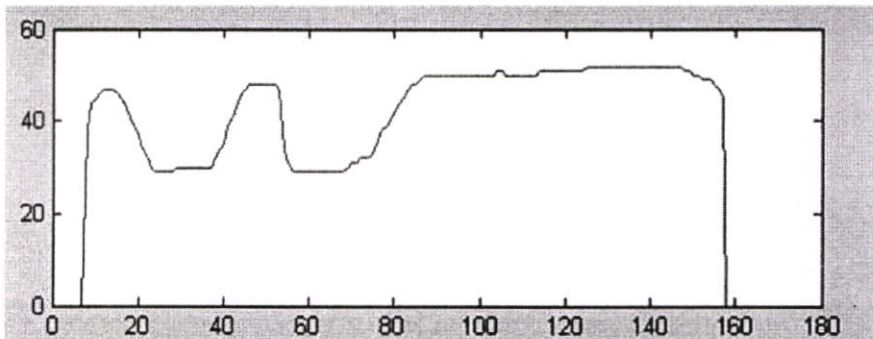
$$a(x,y) = 8 * g(x,y) - \left( \begin{array}{l} g(x-1,y+1) + g(x,y+1) + g(x+1,y+1) \\ + g(x-1,y-1) + g(x,y-1) + g(x+1,y-1) \\ + g(x-1,y) + g(x+1,y) \end{array} \right) \quad (3.5)$$

โดยที่  $a(x,y)$  คือ ค่าของขอบภาพที่พิกัดเดียวกับจุดภาพ  $g(x,y)$  ที่พิจารณา

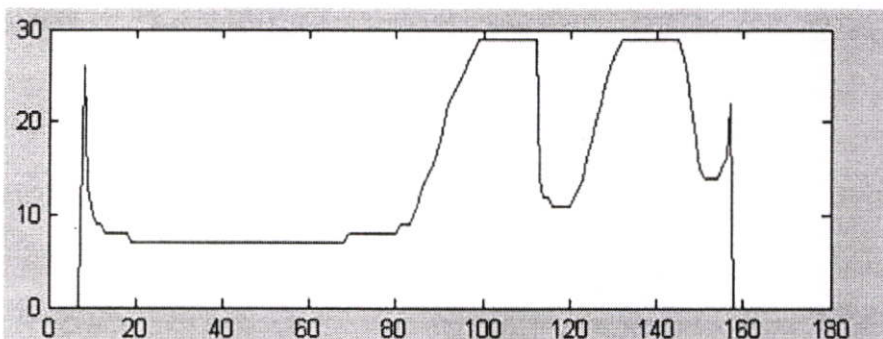
### 3.4 การแปลงข้อมูลภาพเป็นคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล CNC

#### 3.4.1 การแปลงข้อมูลภาพเส้นวงรอบร่องกึ่งเป็นคู่ลำดับเชิงเส้น

ลักษณะร่องกึ่งสามารถถูกแสดงได้ด้วยคู่ลำดับ  $(X, Z)$  โดย  $X$  แทนความกว้าง และ  $Z$  แทนความหนาตลอดลูกกึ่ง โดยข้อมูลร่องกึ่งจะมี 2 ชุด ประกอบด้วย เส้นที่แสดงพื้นผิวส่วนบน และส่วนล่าง คู่ลำดับแสดงลักษณะพื้นผิวส่วนบนสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบค่าพิคเซล  $Z$  ที่ให้ค่าเป็น 1 ที่ตำแหน่ง  $X$  โดยที่  $X$  มีค่าตั้งแต่พิคเซลที่ 1 จนถึงพิคเซลสุดท้าย และตำแหน่ง  $Z$  มีค่าตั้งแต่พิคเซล 1 จนถึงพิคเซลสุดท้าย และในทางกลับกันคู่ลำดับแสดงลักษณะพื้นผิวส่วนล่างสามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบค่าพิคเซล  $Z$  ที่ให้ค่าเป็น 1 ที่ตำแหน่ง  $X$  โดยที่  $X$  มีค่าตั้งแต่พิคเซลที่ 1 จนถึงพิคเซลสุดท้าย โดยที่ตำแหน่ง  $Z$  มีค่าตั้งแต่พิคเซลสุดท้ายลงมาถึงพิคเซลแรก แสดงดังรูปที่ 3.7 a และ 3.7 b ตามลำดับ โดยคู่ลำดับที่ได้จะถูกแปลงเป็นคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล CNC ต่อไป



รูปที่ 3.7 a แสดงลักษณะร่องกึ่งที่ได้จากการสแกนลง



รูปที่ 3.7 b แสดงลักษณะร่องกึ่งที่ได้จากการสแกนขึ้น

#### 3.4.2 การประมาณลักษณะพื้นผิวร่องกึ่ง

ลักษณะร่องกึ่งที่ได้จากการสแกนนั้นถูกแสดงผลในรูปของคู่ลำดับ  $(X, Z)$  เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 3.7 a) – b) จะพบว่าพื้นผิวในบางบริเวณจะมีลักษณะเป็นคลื่น ลักษณะเช่นนี้อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุเช่น มุมรับแสงของกล้อง การจัดวางลูกกึ่งในขณะถ่ายภาพ ความเป็น

คลื่นนี้ส่งผลให้การแปลงจากข้อมูลคู่ลำดับให้เป็นคำสั่งสำหรับเครื่องซีเอ็นซีทำได้ผลไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรเนื่องจากคลื่นที่เกิดขึ้นบางครั้งมีขนาดเล็กกว่าขนาดของหัวกัดของเครื่องซีเอ็นซีเสียอีก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการประมาณค่าของคลื่นของร่องกุ่มแยกก่อน

โดยปกติแล้วร่องกุ่มแฉงที่อยู่บนด้านเดียวกันนั้นจะมีความลึกของร่องเท่ากันดังนั้นลักษณะร่องกุ่มแฉงจึงเสมือนประกอบด้วยความสูงเพียง 2 ระดับ คือ ระดับผิวด้านบน (Upper : $Z_U$ ) และ ระดับผิวด้านล่าง (Lower : $Z_L$ ) ของร่อง เมื่อพิจารณารูปที่ 3.8 ประกอบพบว่าการจะจำแนกค่าของข้อมูลที่ได้จากการสแกนค่าเป็นพื้นผิวด้านบน หรือด้านล่างสามารถทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด (Average : $Z_A$ ) จากสมการที่ 3.6

$$Z_A = \frac{1}{L} \int_0^L |z| dx \quad (3.6)$$

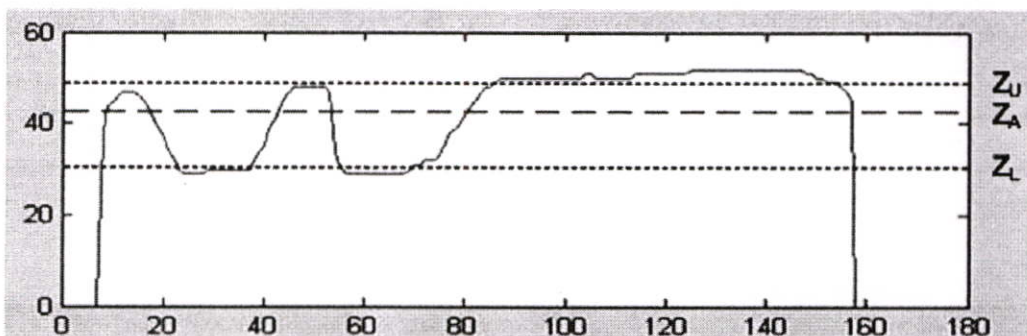
จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าของข้อมูลที่ตำแหน่ง  $x$  ใดๆ หากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับให้ถือเป็นข้อมูลในกลุ่มพื้นผิวด้านบน โดยจำนวนของข้อมูลในกลุ่มนี้แทนด้วย  $N_U$  ในทางตรงกันข้ามหากมีค่าน้อยกว่าให้ถือเป็นข้อมูลในกลุ่มพื้นผิวด้านล่าง โดยจำนวนของข้อมูลในกลุ่มนี้แทนด้วย  $N_L$  ดังสมการที่ 3.7

$$X = \begin{cases} x \in X_U; Z(x) \geq Z_A \\ x \in X_L; Z(x) < Z_A \end{cases} \quad (3.7)$$

จากนั้นทำการคำนวณหาค่าแทนพื้นผิวด้านบนและระดับล่างโดยการหาค่าเฉลี่ยดังสมการที่ 3.8 a) และ 3.8 b) ตามลำดับ

$$Z_U = \frac{1}{N_U} \int_0^L |z| dx; L \in X_U \quad (3.8 a)$$

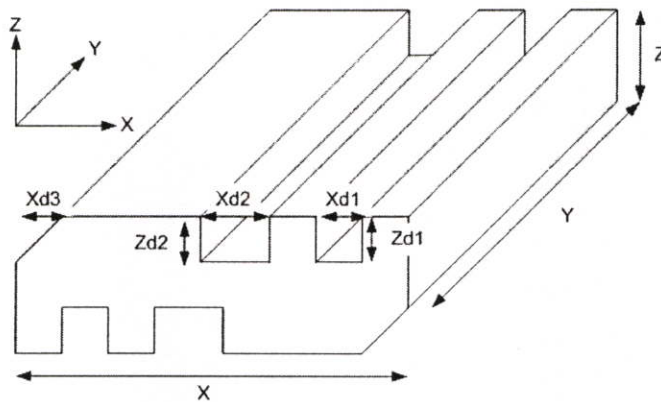
$$Z_L = \frac{1}{N_L} \int_0^L |z| dx; L \in X_L \quad (3.8 b)$$



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการประมาณค่าระดับพื้นผิวของกุ่มแฉง

### 3.4.3 การแปลงข้อมูลจากคู่ลำดับเพื่อแสดงลักษณะร่องกุดแฉเป็นคำสั่ง G-Code

จากการเขียนโปรแกรม G-Code ที่อธิบายในบทที่ 2 โครงสร้างคำสั่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวของโปรแกรม (Header) และเนื้อคำสั่ง (Body) ในส่วนหัวนั้นจะกล่าวถึงการตั้งค่าต่างๆของเครื่อง เช่น ใช้เครื่องมือชนิด, รอบการหมุนเป็นเท่าใด ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้เครื่องว่าจะเลือกไว้ที่เท่าใด ในงานวิจัยนี้การตั้งค่าเริ่มต้นสำหรับทดลองกัดชิ้นงานสามารถดูได้ในบทที่ 4 ในหัวข้อนี้จะกล่าวเพียงวิธีการสร้างเนื้อคำสั่งสำหรับสร้างร่องกุดแฉเท่านั้น สำหรับลักษณะร่องกุดแฉนั้นหากเทียบบนพิกัดสำหรับเครื่อง CNC จะพบว่าจุดที่ต้องทำการกัดเซาะร่องจะมีทิศทางดังรูปที่ 3.9 โดยความลึกของร่องกุดแฉจะอยู่ในแนวแกน Z และความกว้างของร่องและตัวกุดแฉจะอยู่ในแนวแกน X ส่วนความยาวของร่องที่ต้องกัดจะอยู่ในแนวแกน Y โพลลาริทแสดงวิธีคำนวณลักษณะวิธีการกัดแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แสดงการอ้างอิงโคออร์ดิเนตสำหรับร่องกุดแฉ

โดยปกติการกัดเซาะร่องของเครื่องจักรกล CNC สิ่งที่จะต้องพิจารณาอย่างแรกคือขนาดของชิ้นงานตั้งต้นที่พอดีหรือใกล้เคียงกับชิ้นงานภายหลังกัดเสร็จแล้วเพื่อประหยัดเวลา ในงานวิจัยนี้กำหนดให้โดยความกว้างของชิ้นงานแทนด้วย X ความสูงของชิ้นงานแทนด้วย Z เพื่อประโยชน์ในการตั้งจุดศูนย์ของชิ้นงาน โดยจุดศูนย์ของชิ้นงานจะถูกกำหนดให้เป็นมุมซ้ายบนเป็น (0,0) ต่อมาคือ ความกว้างของร่องที่ต้องการกัดทั้ง โดย Xd แทนความกว้างร่องที่ต้องการกัดทั้ง และความลึกของร่องที่ต้องการกัดทั้งแทนด้วย Zd โดยโดยความลึกในการกัดแต่ละครั้งจะแทนด้วย  $Z_n$  ดังนั้นจึงสามารถคำนวณจำนวนชั้นในการกัด  $N_z$  และขนาดของหัวกัดแบบเอ็นมิลล์ (End Milling :  $X_n$ ) ได้ดังสมการที่ 3.9 และระยะชดเชยหัวกัด (End Milling Offset :  $X_o$ ) ได้จากสมการที่ 3.10 ตามลำดับ

$$N_z = Z_d / Z_n \quad (3.9)$$

$$X_o = X_n / 2 \quad (3.10)$$

เนื่องจากพื้นผิวของกัญแจจามีร่องจำนวนมากกว่า 1 ร่อง ดังนั้นในการที่จะให้ได้จำนวนร่องที่ครบถ้วนในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ลำดับการกัดเป็นทีละร่องจนเสร็จ แล้วจึงขึ้นร่องต่อไป ในงานวิจัยนี้มีพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณในโปรแกรมเพื่อสร้างคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล CNC อยู่หลายตัว แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ประมวลผลสร้างคำสั่งสำหรับเครื่อง CNC

พารามิเตอร์	ความหมาย	หน่วย
Zd(i)	ความลึกของร่องกัญแจที่ต้องการกัดที่ตำแหน่ง i	mm.
Zn(i)	ความลึกของการกัดแต่ละครั้งที่ตำแหน่ง i	mm.
Xd(i)	ความกว้างของร่องกัญแจที่ต้องการกัดที่ตำแหน่ง i	mm.
Xn	ขนาดของหัวกัดที่เลือกใช้	mm.
Nz	จำนวนครั้งการกัดในแนวตั้ง	

จากหัวข้อ 3.4.1 คู่ลำดับที่ใช้แสดงร่องกัญแจ Z(i) มีลักษณะเป็นอาร์เรย์ขนาด 1 แถว m หลัก โดย m แทนค่าความกว้างของภาพร่องกัญแจในแนวแกน X และค่าที่ถูกอ้างอิงโดยตำแหน่งในอาร์เรย์ คือค่าของความลึกของร่องที่ต้องการกัดที่ตำแหน่งที่ถูกอ้างอิง i การคำนวณหาพารามิเตอร์ที่แสดงในตารางที่ 1 สามารถทำได้ตามฟลวชาร์ทแสดงดังรูปที่ 3.11 โดยขั้นตอนการทำงานเริ่มต้นจากการพิจารณาค่าความลึกของร่องที่ต้องการกัดที่ตำแหน่งอ้างอิง i โดยที่ i มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง m เพื่อหาว่าจุดใดเป็นจุดเริ่มต้นของร่องกัญแจที่ต้องการกัด หากพบจุดที่เริ่มเป็นร่องแล้วจะทำการประมวลผลเพื่อหาความกว้างของร่อง Xd(i) ที่ความลึกค่า Zd(i) ค่าความกว้างน้อยที่สุดของร่องกัญแจจะเป็นตัวกำหนดขนาดของหัวกัด Xn หากโปรแกรมคำนวณค่าได้ X(i)=4 Xn=1 Xd(i)=1.5 คำสั่ง G-Code แสดงในรูปที่ 3.10 a สามารถแทนได้ด้วยพารามิเตอร์ของโปรแกรมได้ผลดังรูปที่ 3.10 b

G90 G01 G55 X{X(i)+Xo} Y-1.  
F2000.  
Z5.

Z{Zn} F100.  
Y40.  
X{X(i)+Xd(i)-Xo}.  
Y-1.  
X{X(i)+Xo}

a)

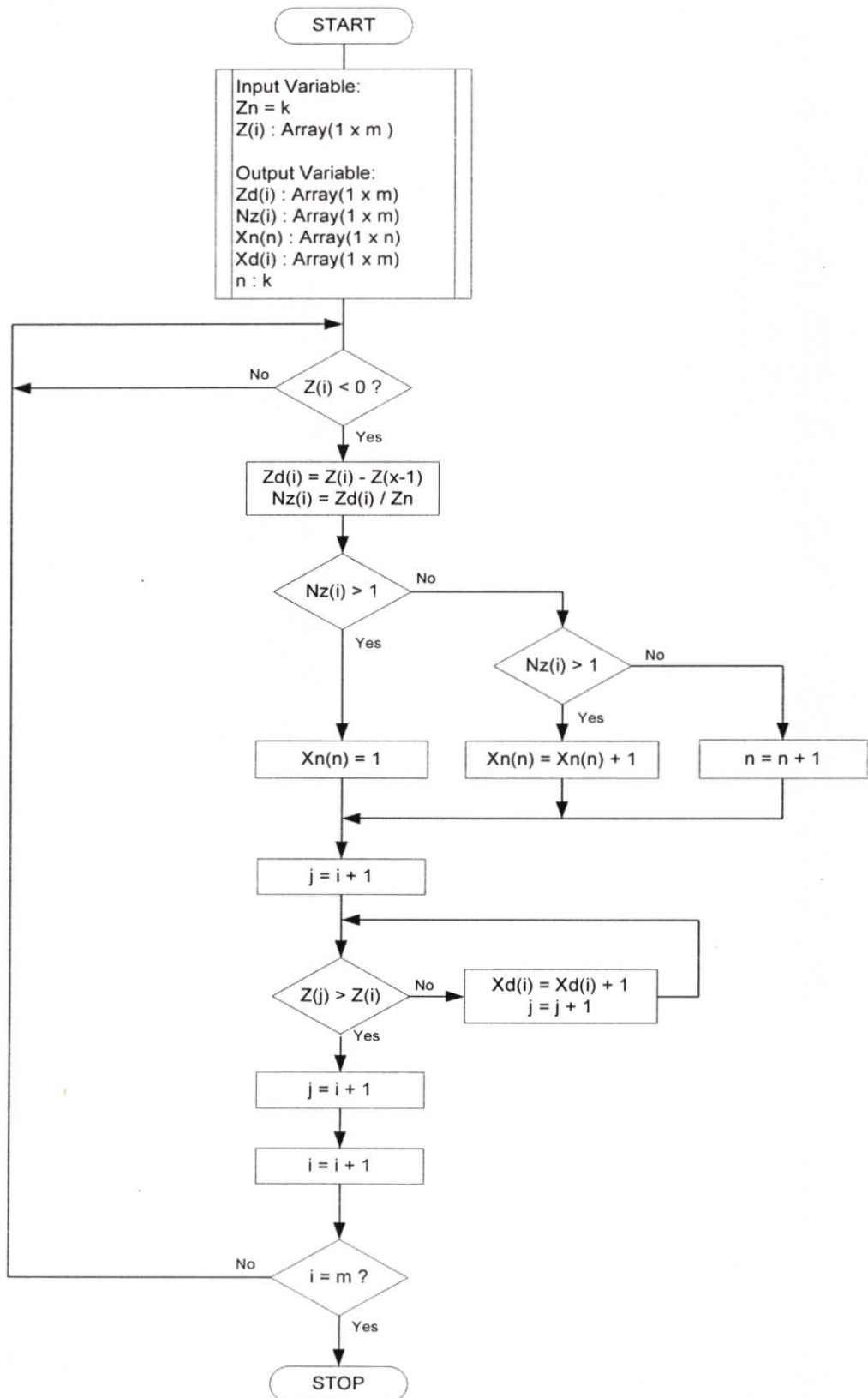
G90 G01 G55 X4.5 Y-1.  
F2000.  
Z5.

Z-0.1 F100.  
Y40.  
X5.  
Y-1.  
X4.5

b)

รูปที่ 3.10 a) G-Code เพื่อสร้างร่องกัญแจ

b) แสดงค่า G-Code ที่ต้องการ



รูปที่ 3.11 โพลซาร์ทแสดงการหาพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อใช้ในการสร้างคำสั่งสำหรับเครื่อง CNC

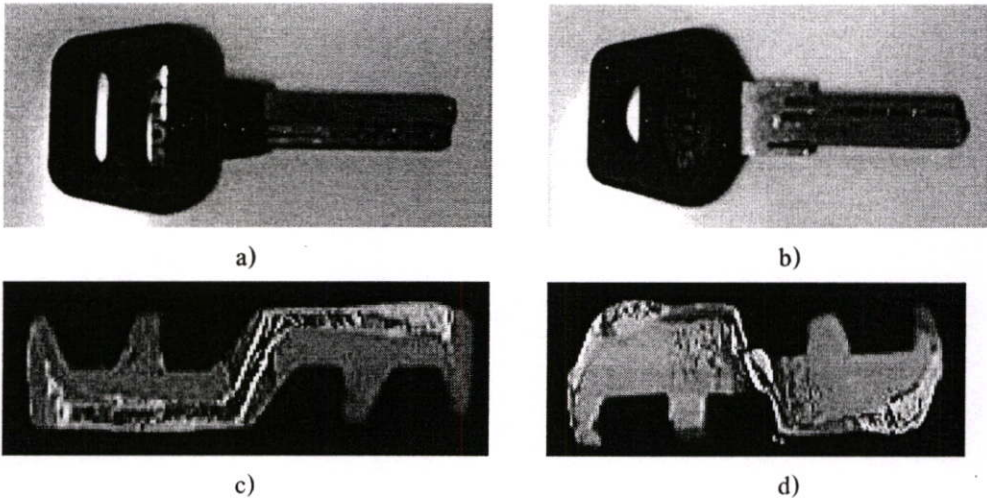
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยที่ได้ทำตามโฟลวชาร์ที่ถูกลำเสนอในบทที่ 3 โดยผลจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลที่ได้จากการใช้การประมวลผลภาพเชิงเลข และผลที่ได้ในส่วนของโปรแกรมสร้างคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล CNC

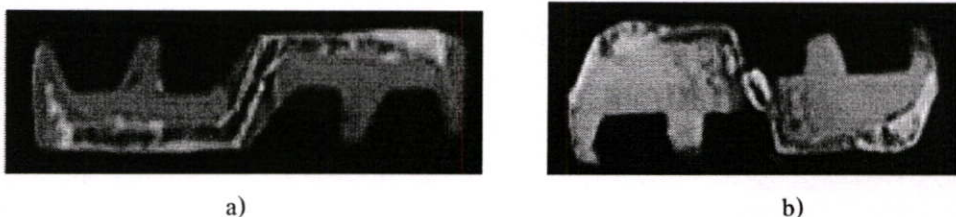
#### 4.1 การประมวลผลเชิงเลขเพื่อหาเส้นรอบร่องกุญแจ

จากโฟลวชาร์ที่แสดงการประมวลผลภาพเพื่อหาเส้นร่องกุญแจ เลือกลูกกุญแจที่ใช้กับระบบกลอนรถยนต์จำนวน 2 ดอก เพื่อทำการทดสอบวิธีการที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 แสดงดังรูปที่ 4.1 ภาพ a และ b แสดงภาพของลูกกุญแจทั้ง 2 ดอก โดยภาพร่องกุญแจทั้ง 2 ดอกแสดงได้ดังรูป c และ d ตามลำดับ จากภาพจะพบว่าร่องกุญแจจะมีส่วนที่มีอัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงสูงตรงบริเวณช่วงกึ่งกลางภาพ เนื่องจากเป็นบริเวณที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าไปถึงน้อยที่สุด



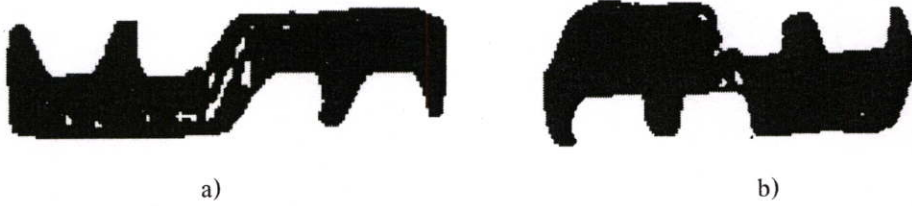
รูปที่ 4.1 แสดงภาพกุญแจที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาเส้นรอบร่องกุญแจ

4.1.1 ลดสัญญาณรบกวน โดยใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยได้ผลดังรูปที่ 4.2 a และ 4.2 b จะเห็นได้ว่ามีรายละเอียดบางส่วนของที่จางลงเช่น จุดต่างๆที่เกิดจากเงาสะท้อนของพื้นผิวลดลง



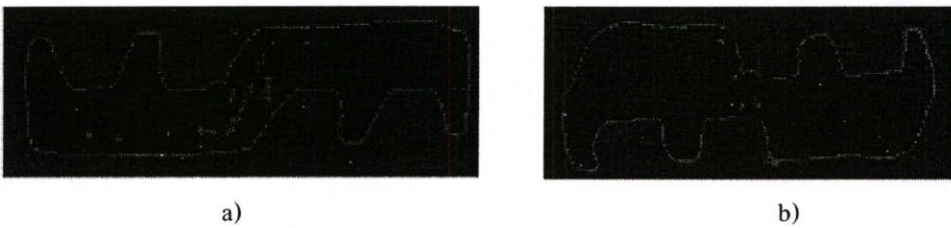
รูปที่ 4.2 แสดงภาพร่องกุญแจภายหลังจากลดสัญญาณรบกวนแล้ว

4.1.2 สร้างภาพไบนารี ข้อมูลภาพจะถูกแบ่งเป็น 2 ค่าคือ 1 และ 0 รูปที่ 4.3 a แสดงภาพไบนารีได้จากการเทรซโพลด์ค่าที่ 102 และรูปที่ 4.3 a แสดงภาพไบนารีที่ได้จากค่าเทรซโพลด์ที่ 130



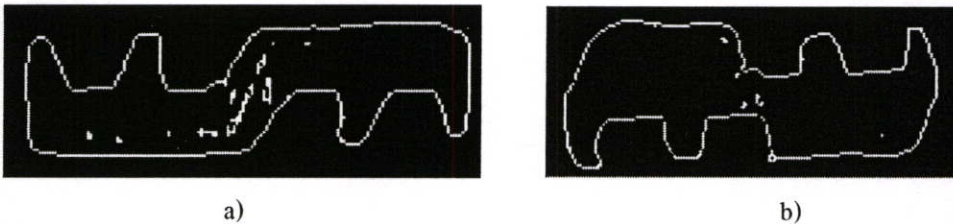
รูปที่ 4.3 แสดงภาพไบนารีของภาพร่องกัญญา

4.1.3 การกรอกรูปร่างของวัตถุ โดยการหาผลคูณระหว่างภาพไบนารีและภาพร่องกัญญาที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำแล้วแสดงดังรูปที่ 4.4 a และ 4.4 b



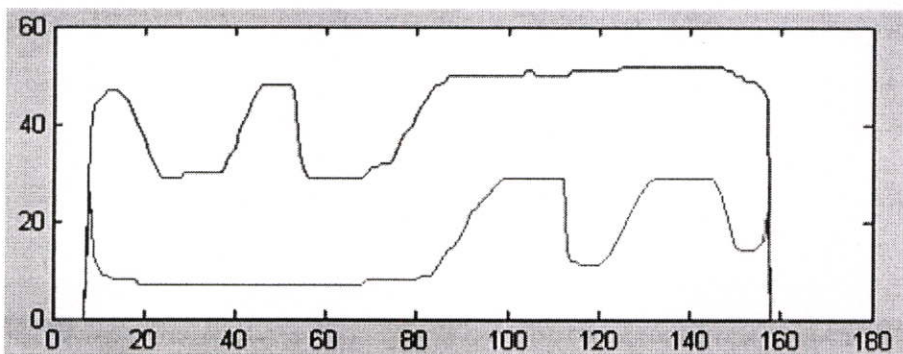
รูปที่ 4.4 แสดงรูปร่างของวัตถุที่ถูกกรอกรอก

4.1.4 หาขอบภาพด้วยลาปลาซเซียน (Laplacian Edge Detection) แสดงดังรูปที่ 4.5 a และ 4.5 b

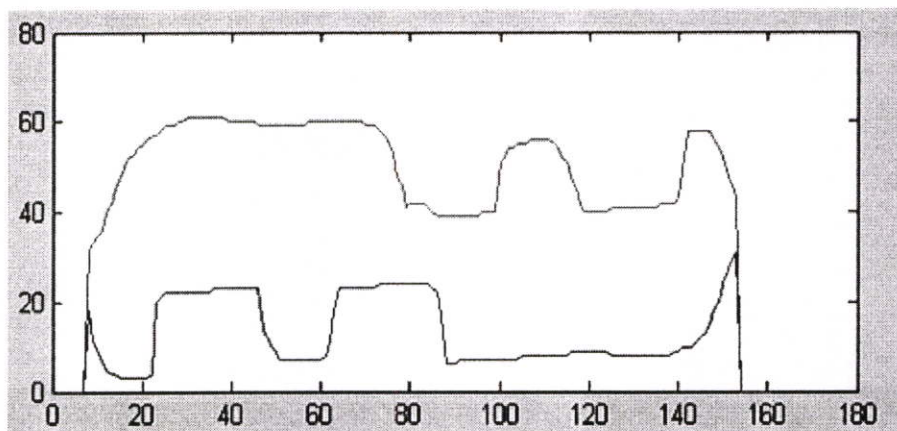


รูปที่ 4.5 แสดงขอบภาพที่ได้จากลาปลาซเซียน

4.1.5 การแสดงขอบภาพด้วยระนาบ (X,Z) แสดงดังรูปที่ 4.6 a และ 4.6 b

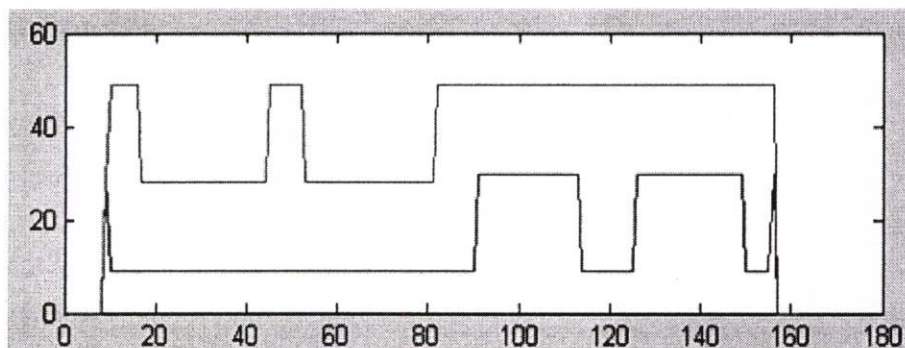


รูปที่ 4.6 a) แสดงเส้นรอบร่องกัญญาเป็นคู่ลำดับสำหรับกัญญาแฉกที่ 1

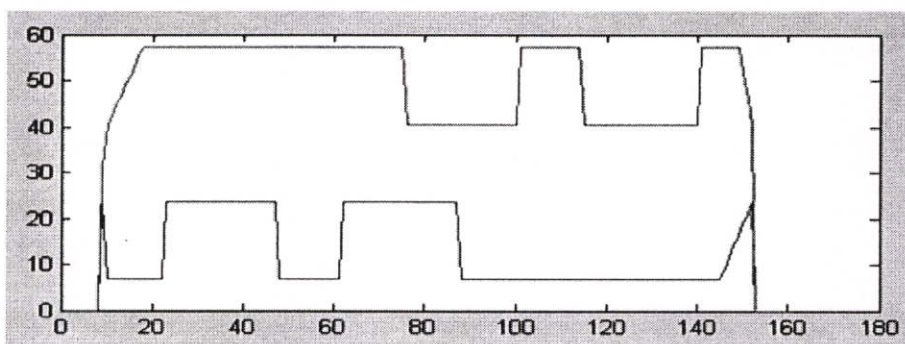


รูปที่ 4.6 b) แสดงเส้นรอบร่องสัญญาณเป็นคู่ลำดับสำหรับสัญญาณดอกที่ 2

#### 4.1.6 การแสดงผลการประมาณภาพ แสดงดังรูปที่ 4.7 a และ 4.7 b

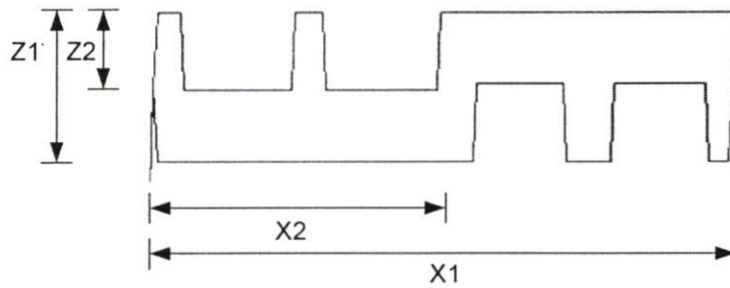


รูปที่ 4.7 a) แสดงผลการประมาณคู่ลำดับสำหรับสัญญาณดอกที่ 1

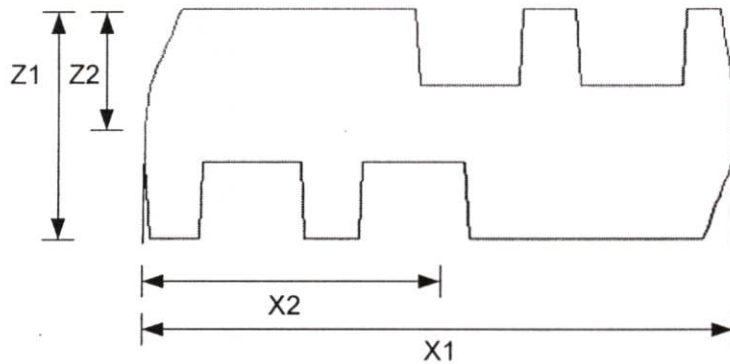


รูปที่ 4.7 b) แสดงผลการประมาณคู่ลำดับสำหรับสัญญาณดอกที่ 2

ในการตรวจหาค่าความคลาดเคลื่อนจะเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการวัดด้วยเวอร์เนียร์ตามระยะอ้างอิงดังแสดงในรูปที่ 4.8 a และ 4.8 b ได้ผลตามตารางที่ 4.1 a และ ตารางที่ 4.1 b สำหรับลูกสัญญาณดอกที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 a) แสดงระยะอ้างอิงเพื่อเทียบขนาดในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับลูกกุกูญแฉดออกที่ 1



รูปที่ 4.8 b) แสดงระยะอ้างอิงเพื่อเทียบขนาดในแนวตั้งและแนวนอนสำหรับลูกกุกูญแฉดออกที่ 2

ตารางที่ 4.1 a) แสดงค่าความผิดพลาดในการวัดค่าสำหรับลูกกุกูญแฉดออกที่ 1

ระยะที่ ตรวจวัด	ขนาด(mm.)			%ความ ผิดพลาด
	เวอร์เนียร์	ค่าที่คำนวณ	ความผิดพลาด	
X1	9	8.8	0.2	2.22
X2	4.92	4.8	0.12	2.44
Z1	2.4	2.34	0.06	2.50
Z2	1.19	1.16	0.03	2.52

ตารางที่ 4.1 b) แสดงค่าความผิดพลาดในการวัดค่าสำหรับลูกกุกูญแฉดออกที่ 2

ระยะที่ ตรวจวัด	ขนาด(mm.)			%ความ ผิดพลาด
	เวอร์เนียร์	ค่าที่คำนวณ	ความผิดพลาด	
X1	8.43	8.23	0.2	2.37
X2	4.75	4.64	0.11	2.32
Z1	3.1	3.02	0.08	2.58
Z2	1.9	1.85	0.05	2.63

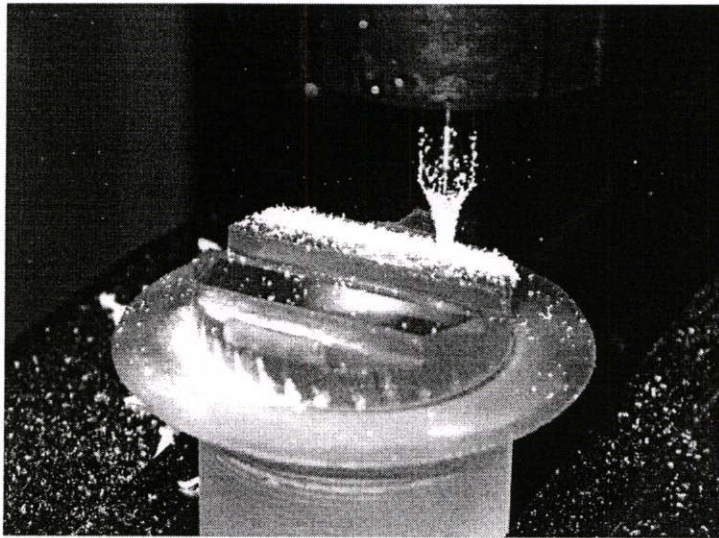
#### 4.2 โปรแกรม CNC เพื่อทดลองกัดร่องกุกญแจ

จากฟลิวชาร์ทในการสร้างโปรแกรม CNC ในบทที่ 3 เพื่อสร้าง G-Code จะทำการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

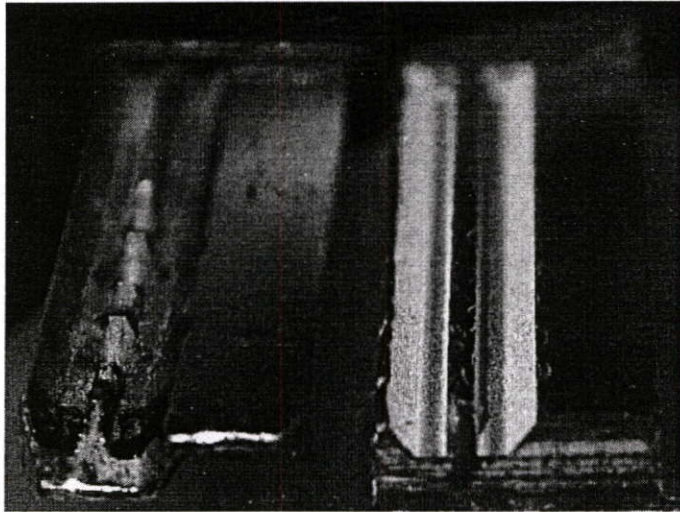
ตารางที่ 4.2 แสดงการกำหนดค่าที่ใช้ในการสร้าง G-Code

พารามิเตอร์	ความหมาย	ค่าที่กำหนด	หน่วย
F	Feed rate	100	inch/min
S	Spindle rate	2000	RPM
Y	ระยะกัดตามแกน Y	40	mm.
Zn	ความลึกในการกัดแต่ละครั้ง	0.1	mm.

แล้วทำการทดลองใช้กัดจริงโดยเลือกวัสดุเป็นแผ่นพลาสติก โดยใช้เครื่องจักรกล CNC แบบ 3 แกน ยี่ห้อ HAAS รุ่น TM1 รูปแสดงการทำงานดังรูปที่ 4.8 โดยชิ้นงานภายหลังขบวนการกัดแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 สำหรับตัวอย่างร่องกุกญแจดอกที่ 1 และดอกที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะการกัดของเครื่องจักรกล CNC



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะร่องกุดเจาะที่ 1 เปรียบเทียบกับร่องที่ได้จากการกัดโดย CNC



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะร่องกุดเจาะที่ 2 เปรียบเทียบกับร่องที่ได้จากการกัดโดย CNC

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างร่องกัญแจใหม่โดยประยุกต์ใช้หลักการหาเส้นรอบร่องกัญแจนำมาแปลงเป็นขนาดจริง และทำการถอดแบบกัญแจขึ้นมาใหม่โดยใช้เครื่องจักร CNC ในการทดลองนี้ใช้กัญแจสำหรับระบบกลอนรถยนต์จำนวน 2 ชุด โดยใช้วิธีการประมวลผลแบบเดียวกัน

การหาเส้นรอบร่องกัญแจทำได้โดยใช้การหาขอบภาพด้วยวิธีลาปลาซเขียนซึ่งวิธีนี้จะให้ลักษณะเส้นที่ค่อนข้างเล็กจึงมีความผิดพลาดน้อย จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์โดยอ้างอิงจากระยะตั้งรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความผิดพลาดจะอยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์ซึ่งความผิดพลาดนี้น่าจะมีผลมาจากการถ่ายภาพร่องกัญแจ หากสามารถพัฒนาวิธีถ่ายภาพให้ระนาบของภาพตั้งฉากกับทางเดินของแสง และควบคุมระยะระหว่างร่องกัญแจกับเลนส์ให้คงที่ได้ น่าจะส่งผลให้ค่าความผิดพลาดลดลงได้

ส่วนการทดลองถอดแบบร่องกัญแจเพื่อสร้างกัญแจเปล่าโดยใช้เครื่องจักรกล CNC นั้นสามารถทำได้ให้ผลเช่นเดียวกับการหาขนาดของร่องกัญแจ โปรแกรมสร้างคำสั่ง G-Code ที่ถูกพัฒนาขึ้นยังให้ลักษณะผิวชิ้นงานในการกัดร่องได้ไม่เรียบเท่าที่ควรเนื่องจากอัลกอริทึมที่ใช้ในการเขียนยังไม่ละเอียดเพียงพอ แต่ลักษณะหรือแบบของร่องเป็นไปในแนวทางเดียวกับกัญแจแม่แบบ ในการทดลองกัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกล CNC นี้มีค่าใช้จ่ายอยู่บ้าง แต่ในอนาคตเชื่อว่าด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนามากขึ้น น่าจะให้ส่งผลให้ราคาและค่าบริการเครื่องกัดชนิดนี้ลดราคาลงได้

## บรรณานุกรม

- [1] Joseph E, **Locksmithing: from apprentice to master**, Imprint New York: TAB Books, pp. 79-101
- [2] Keith A.Mayer, **A Dictionary of Locksmithing**, Sandiago CA, USA, pp. 33
- [3] Alan C. Bovik, **Handbook of image and video processing**, Academic Press, pp. 22-39
- [4] Julen Letessier, **Visual tracking of Bare fingers for Interactive surface**, Grenoble Cedex9, France.
- [5] John Wiley, **Digital Image Processing: principles and application**, New York. pp. 93-96, 359-361
- [6] John C. Russ, **The image processing handbook**, Boca Raton, FL: CRC Press, c1999 pp. 235-238
- [7] Lars Aurdal, **Digital Image Analysis-Thresholding**, Norsk Regnesentral, 2006 pp. 11-28
- [8] ชาลี ตระการกุล, **CNC Technology**, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2537-2538.
- [9] ครรชิต ไมตรี, **Image processing system for automatic observation robot**, กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537

ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก.

#### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. **Voraneti Itthisupornrat**, Assc. Prof. Suthain Kiatsunthorn, “**Duplicate a Blank Key Using Image Processing**”, The Society of Instrument and Control Engineers(SICE) - The Institute of Control, Automation and System Engineers(ICASE) International Joint Conference(SICE-ICASE 2006) pp. 5715-5718, Busan, Korea, October 18-21, 2006.

## Duplicate a blank key using image processing

Voraneti Itthisupornrat<sup>1</sup> and Assc. Prof. Suthian Kiatsunthorn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Control Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok Thailand

(Tel : +66-2-737-3000; E-mail: voraneti@yahoo.com)

<sup>2</sup>Department of Control Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok Thailand  
(Tel : +66-2-737-3000; E-mail: suthiankiatsunthorn@yahoo.com)

**Abstract:** This paper proposes and evaluates the use of digital image processing for profiling a key groove. The first step of research is taking a cross-sectional image of the key. Exploiting Laplacian edge enhancement to acquire a contour of the key grooves. Transform the image data to surface data presented by coordinate(x,y). This information is used as an input for CNC Coding program. The duplication of key blank will be performed by CNC. The tolerance examination is conducted by comparing a calculated image proposed to the key-groove with a measured value from vernier. The error is less than 5%.

**Keywords:** Image processing, Key grooves, Laplacian, Edge detection,

### 1. INTRODUCTION

Nowadays, most people in modern society use keys on a daily basis, to secure their home, their vehicle, or to access their workplace, among other uses. Duplicates of the key can normally be made by a key shop with the correct key blank sold by manufacturer. Many times, the key shop could not find the same model of key blank to serve the need of a customer. The modification of the closest one may take a lot of time. Moreover, the duplicated key may be useless.

In order to rebuild the key blank, the key groove can be milled by CNC machine. Using the advantage of digital image processing, the cross-sectional image of key groove can be transformed into any format up to the requirement of use. Therefore, command for CNC machine, G-Code, shall be generated from the digital image. Hence, how to acquire the contour of key groove and convert these data to be the dimension profile is the main purpose of the paper.

In Sec.2, the basic characteristic of the key are described. Image capture equipment is proposed to efficiently capture the key groove image in Sec.3. In Sec. 4, a processing flow is proposed to find out a coordinate which can be translated to G-Code. And, in Sec. 5, the experiments and results are shown and demonstrated. Finally, conclusion is proposed in Sec.6.

### 2. THE STRUCTURE OF KEYS

A key [1] is an instrument, almost always portable, for opening and closing a lock by arranging the lock's tumblers according to a preset pattern of key cuts called a combination. It usually consists of a specially-shaped piece of flat chromium coated metal, with cut notches, (forming teeth) and milled grooves which fit the shape of the lock and can open the correctly combination lock by being turned in the lock housing. This portion of the key is referred to as the blade. The wider grip, referred to as the bow, is found at the top of the key to facilitate turning. Illustrated Fig. 1a.

A groove [5] is one of several milled or stamped indentations running the length of the key blade of a cylinder key to clear the keyway wards of lock,

illustrated Fig. 1b. Duplicates key blank can be accomplished when the profile of the milled grooves are obtained. The groove image can be presented through (x,y) coordinate.

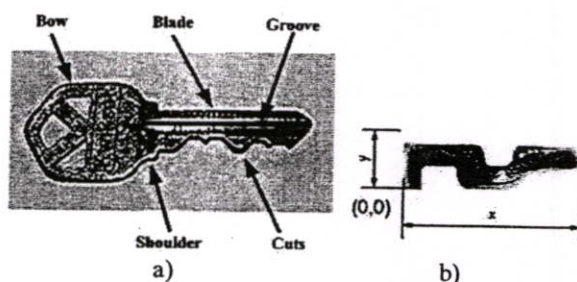


Fig.1 a) Picture of key's structure

b) Present milled grooves and coordinate(x,y)

### 3. IMAGE CAPTURE EQUIPMENT

Based on the image processing principle, the first of all is taking a picture of key grooves.

#### 3.1 Key grooves capturing

The key is normally coated by chromium. A reflection from surrounding object will appear on the key surface. This will affect to the quality of the image. In order to reduce this noise, the key grooves image will be captured in the closed box which the direction of light incident and the illumination of light source can be controlled. The capture equipment shown as Fig. 2

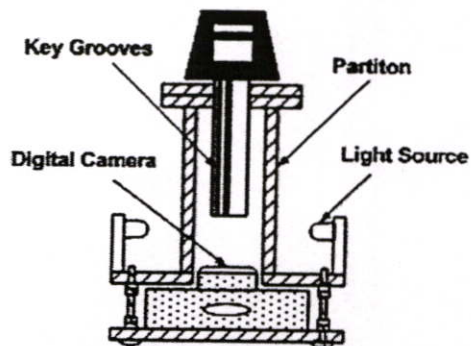


Fig. 2 Image capture equipment

Suitable contrast is achieved by setting the background as black which means the brightness is low, and point the light source to the grooves which means the brightness is high. The captured image is shown in Fig. 3a and the highlighted contour is shown Fig. 3b

A typical computer display can present 256 different shade of grey (8 bit grey scale). Processing of key groove image will be performed in spatial domain. Pixel values will be modified according to rules that depend on the original pixel value. In this paper, the digital camera uses focal length is 6.0 mm. and F-number is 2.0. The original image size from image capture equipment is 240 x 320 pixels. It will be cropped into 68 x 161 pixels.

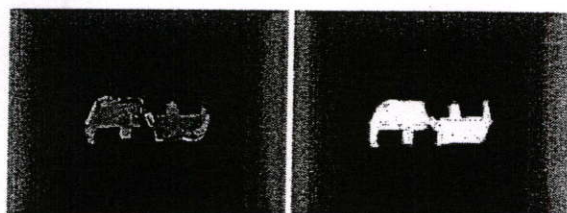


Fig. 3 a) Captured image by CMOS 240 x 320 pixels  
b) The edge of the key grooves

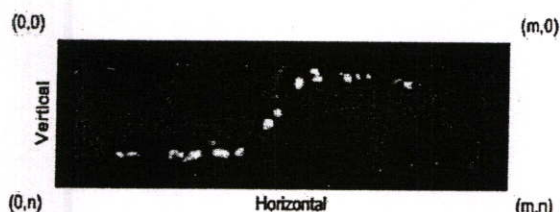


Fig. 4 the coordinate represents the groove details

### 3.2 Edge detection

Edge detection is based on pixel brightness slope occurring within a group of pixel. A large value corresponds to a steep slope and means a large change in gray level. Edges are, by definition, sharp brightness changes. A large slope indicates the presence of edge as shown in Fig.5 The edge are any sharp brightness transition rising from black to white or falling from white to black.

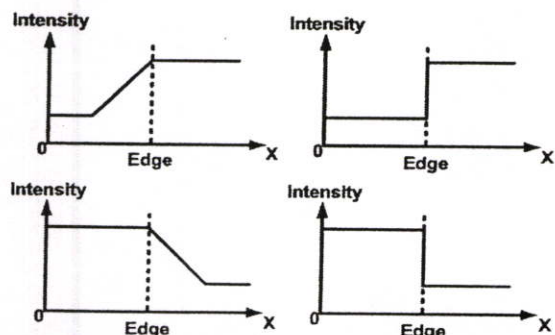


Fig. 5 The slope of brightness occurring within a group of pixel

## 4. THE PROPOSED SYSTEM

Based on the criteria in the previous section, the proposed flow to find the contour of key groove is illustrated in Fig. 6 The considered pixel  $A[i,j]$  will be replaced by the calculation of itself and its 8 neighbors in a 3 x 3 square block.

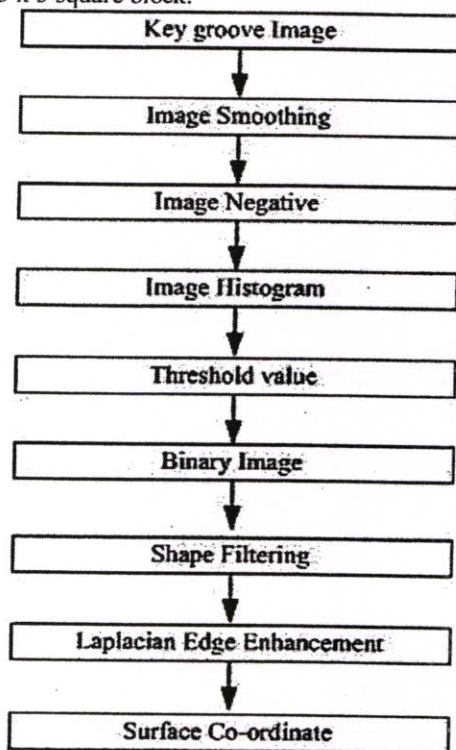


Fig. 6 The flowchart of edge detection

### 4.1 Image Smoothing

In order to reduce a noise occurred while capturing process, a low pass filter  $LPF[i,j]$  is used. A low pass filter  $LPF[i,j]$  of the digital image  $A$  is an average value of the brightness of each pixel in 3 x 3 square block as shown in Eq. (1).

$$LPF[i,j] = \sum A[i+k,j+l]/9 \quad (1)$$

where  $k = -1, 0, +1$ ;  $l = -1, 0, +1$   
 $i = 0$  to  $m$ ;  $j = 0$  to  $n$

### 4.2 Image Negative

According to the capturing process, background is a dark region. Reversing all of the contrast range produces the equivalent of a photographic negative, which improves the visibility of details. A negative image  $NEG[i,j]$  of the digital image  $A$  is obtained from the subtraction of the maximum intensity and the original image[3] as shown in Eq. (2)

$$NEG[i,j] = 255 - A[i,j] \quad (2)$$

### 4.3 Image Histogram

Brightness histogram is a plot shows the number of pixels in image having each of the 256 possible values of stored brightness. Hence, the histogram  $H(k)$  of the digital image  $A$  is a plot of the frequency of occurrence of each gray level( $K$ ) in  $A$  [3] as shown in Eq. (3)

$$H(k) = \sum A[i,j] = K \quad (3)$$

where  $K = 0$  to 255

### 4.4 Binary Image

Binary image is displayed using two extreme gray tones, black and white, which are ordinary represented by 0 and 255, respectively, in a gray-scale display. The binary image  $B[i,j]$  is obtained from the process of image threshold which is a simple comparison: each pixel value in digital image is compared to  $Kt[3]$  as shown in Eq. (4)

$$B[i,j] = 0 ; A[i,j] \geq Kt \quad (4)$$

$$= 1 ; A[i,j] < Kt$$

### 4.5 Shape Filtering

Shape filtering  $K[i,j]$  is obtained from the multiplication of the binary image and the original image[4]. The result is the pixel of original image that multiplied by 1 as shown in Eq. (5)

$$K[i,j] = B[i,j] \times A[i,j] \quad (5)$$

### 4.6 Laplacian edge enhancement

Laplacian edge enhancement operation extracts all of the edges in an image, regardless direction. The result image appears as an omni-directional outline of the objects in the original image. Constant brightness regions become black, while changing brightness regions become highlighted. The calculation is shown as Eq.(6)

$$E[i,j] = 9 \times K[i,j] - \sum K[i+k, j+l] \quad (6)$$

where  $k = -1, 0, +1; l = -1, 0, +1$

### 4.7 Data conversion

The co-ordinate is used to present the characteristic of groove surface. The edge image from the previous section will be scanned with horizontal index from left to right. The key consists of two sides: top and bottom, the scan will be performed 2 times with the vertical index from bottom to top and top to bottom to find the first white pixel, illustrated Fig.4.

## 5. EXPERIMENTS

In the experiments, one safety car key is to test each stage of the flow using Matlab7 to calculate the Eqs. (1) ~ (6). The selected threshold value is 186. The profile of grooves was developed and tested as shown in Fig. 7. The contour image data will be transformed into coordinated data(x,y) depicted as Fig. 8

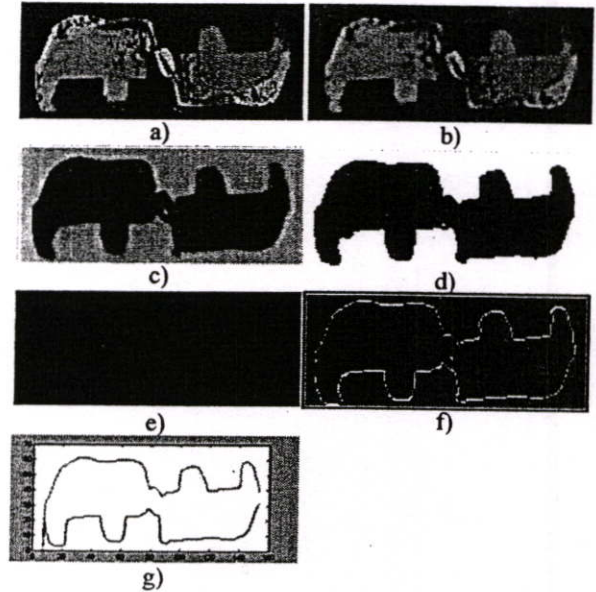


Fig.7 a) Key Cross sectional 68 x 161 Pixel  
b) The groove after applied Low pass filter  
c) The groove after applied Negative image  
d) A binary image after threshold  $Kt=186$   
e) The extracted groove from the background  
f) A contour of groove  
g) A co-ordinate presents the groove

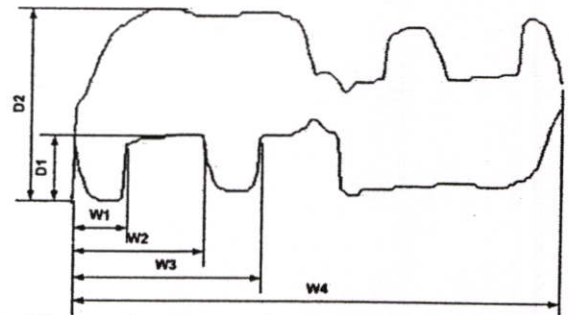


Fig.8 Present the contour of groove and reference distance for tolerance examination

The tolerance examination is conducted by comparing a calculated image proposed to the key-groove with a measured value from vernier as shown in Table 1.

Table 1 The calculated and measured values

Ref. Test	Size ( mm. )			
	Virnier	Caculate	Error	% Error
W1	0.84	0.87	0.03	3.9
W2	2.20	2.27	0.07	3.2
W3	3.10	3.20	0.10	3.3
W4	8.30	8.50	0.20	2.4
D1	1.12	1.16	0.04	3.6
D2	3.30	3.40	0.10	3.0

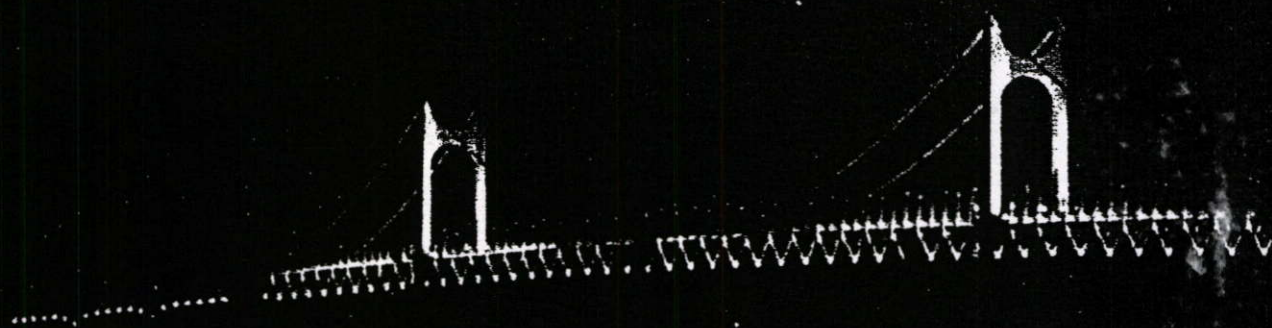
## 6. CONCLUSION

The key cross-sectional image gives high contrast. This encourages a program to select more appropriate threshold value. Due to Table1, the error percentage is less than 5%. This information will be used as an input data for CNC coding program to generate a command code for CNC. The profile of key groove is acquired without a surface destroying.

## 7. REFERNECES

- [1] Joseph E, "Locksmithing: from apprentice to master", Imprint New York: TAB Books, pp. 7-12
- [2] John Wiley, "Digital Image Processing: principles and application", New York. pp. 93-96, 359-361
- [3] Alan C. Bovik, "Handbook of image and video processing", Academic Press, pp. 22-39
- [4] Julen Letessier, "Visual tracking of Bare fingers for Interactive surface", Grenoble Cedex9, France.
- [5] Keith A.Mayer, "A Dictionary of Locksmithing", Sandiago CA, USA., pp. 33

# SICE - ICASE International Joint Conference 2006



October 18 - 21, 2006

BEXCO(Busan Exhibition & Convention Center), Busan, KOREA

## SE05

## Applications

Time : 15:45 - 17:45

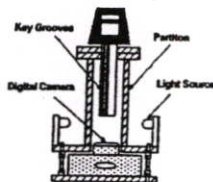
Chair(s) : Prof. Kwang-Ryul Baek (Pusan National Univ., Korea)  
Prof. Kwang Ryu (Pusan National Univ., Korea)

Room : 105

**Duplicate a Blank Key using Image Processing**

Voraneiti Itthisupornrat(KMITL, Thailand)

This paper proposes and evaluates the use of digital image processing for profiling a key groove. The first step of research is taking a cross-sectional image of the key. Exploiting Laplacian edge enhancement to acquire a contour of the key grooves. Transform the image data to surface data presented by coordinate(x,y). This information is used as an input for CNC Coding program. The duplication of key blank will be performed by CNC...

**High Performance and High Efficiency Memory Management System for H.264/AVC Application in the Dual-Core Platform**

Nairan Zhang, Mo Li, Yangyang Li, Wuchen Wu(Beijing Univ. of Technology, China)

This paper proposes memory management system for multimedia application based on dual-core platform. To use memory bus bandwidth efficiently and reduce memory bus transition, two steps store optimization in control level is adopted and bus efficiency increases nearly 35% compared with former scheme. To harmonize different master requirement, reasonable schedule level arranges memory access priority. Under these two levels, memory controller can cope with H.264 HDTV decoder 1920 x 1080 @ 30 frames per sec real time access clocking at 100MHz. Moreover, this VLSI design is convenient to be..

**Active Contour Model with Splitting****Characteristics for Multiple Area Extractions and its Hardware Realization**Toshio Miaki, Takao Kawamura, Kazunori Sugahara  
(Tottori Univ., Japan)

In this paper, a new Sampled Active Contour Model (ACM) and its hardware realization method are proposed. The proposed Sampled-ACM is a virtual closed curve with some contour points to extract a specified area in images. Forces, such as "pressure", "attraction", "repulsion" and "vibration factor" work on every contour point of the proposed Sampled-ACM. The proposed Sampled-ACM only accesses the memories on which the contour points locate, the number of the memory access is reduced, and the faster processing speed is performed than ordinal contour models such as Snakes...

## ประวัติผู้เขียน

นายวรเนติ อธิษฐภรณ์รัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ.2523 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2544 โดยในปี พ.ศ. 2544 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรโครงการระบบควบคุมการเข้าออกอาคาร บริษัท เอสแอนควี คอมมิวนิเคชั่น เซอร์วิส เน็ทเวอร์ค จำกัด และในปีพ.ศ. 2547 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายขายระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ บริษัท โรจน์ไพบุลย์อีควิปเมนท์ จำกัด