

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

การศึกษาและออกแบบเครื่องวัดแรงกดทับของฝ่าเท้า



๒๐๐๒๓๐๑๐๓

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการวิจัยส่งเสริมการวิจัย
ในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาและออกแบบเครื่องวัดแรงกดทับของฝ่าเท้า
แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2558

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 430,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 สิงหาคม 2555 ถึง 28 กันยายน 2558

โยธิน วงศ์ประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาและออกแบบเครื่องวัดแรงกดทับของฝ่าเท้า เนื่องจากการเดินและการยืนนานๆนั้นจะมีผลกระทบต่อเท้าโดยตรง เนื่องจากเท้าต้องรับน้ำหนักของร่างกายตลอดเวลาขณะเดินหรือยืนเป็นเวลานาน พบว่ามีประชากรจำนวนมากประสบปัญหาการเกิดอักเสบของฝ่าเท้า เอ็น ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมประจำวันนั่นเอง จากข้อมูลทั้งหมดจึงมีแนว ความคิดจะนำอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกส์ทำเป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงกดทับจากเท้าให้มีความละเอียดให้มากที่สุดที่จะทำได้ด้วยการทำเซ็นเซอร์มาเรียงต่อกันและทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และนำผลที่ได้มาประมวลผลเป็นภาพดิจิทัลต่อกับส่วนประมวลผลไมโครโพรเซสเซอร์ และนำเสนอผ่านจอคอมพิวเตอร์ โดยจะมีการเปรียบเทียบเพื่อความแม่นยำของผลของการวัดจะสามารถบอกลักษณะของฝ่าเท้าในการรับน้ำหนักทำให้ผลที่ได้สามารถวินิจฉัยโครงสร้างของฝ่าเท้าได้ และทำการบำบัดหรือหรือรักษาเพื่อให้เท้าเป็นอวัยวะที่พาเราไปประกอบกิจกรรมได้โดยไม่เกิดการเจ็บปวดต่อไป

คำสำคัญ : รอยฝ่าเท้า เซนเซอร์วัดแรงดันแบบเพียโซ การประมวลผลภาพ

Research Title: Study and design on foot pressure measurement

Researcher: Yothin Wongprasert

Faculty: Engineering

Department: Electronics engineering

ABSTRACT

This paper presents the study design and measurement of plantar pressure. Because of the long walk and the application will have a direct impact on the foot. Due to the weight of the body at the foot while walking or standing for long periods. Found that many people experiencing an inflammation of the plantar ligament, which is the result of daily activities on their own? All of it is vertical The idea is to bring piezo electric sensor's heightened pressure from the feet to be a little much to do with the tiles and sensors to measure electrical activity occurs. The results were processed as digital image processing with a microprocessor Sector and presented through a computer screen. They are calibrated for accuracy of the results of measurement can identify the characteristics of the foot to make the weight, the result can diagnose the structure of the foot. And the treatment or treatments to keep the foot is the organ that took us to engage in activities without any pain.

Keywords : Foot pressure, piezoelectric pressure sensor, image processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณผู้ที่ให้การช่วยเหลือหรือให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการวิจัย การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

โยธิน วงศ์ประเสริฐ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 รอยฝ่าเท้า.....	6
2.3 เซนเซอร์วัดแรงดัน.....	8
2.4 การประมวลผลภาพ.....	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 กระบวนการสร้างอุปกรณ์วัดแรงดัน.....	25
3.2 การสร้างอุปกรณ์ประมวลผลการวัดแรงดัน.....	28
3.3 การสร้างประมวลผลภาพ.....	30
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	31
4.1 วัดแรงกดทับฝ่าเท้า.....	31
4.2 การปรับและประมวลผลเซนเซอร์วัดแรงกดทับ.....	32
4.3 การประมวลผลภาพแรงกดทับ.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
รายงานสรุปการเงิน.....	35
บรรณานุกรม.....	36
ประวัตินักวิจัย.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของเซนเซอร์ TMPS110B.....	11
2.2 มาตรฐานความดัน SI (System International).....	12
2.3 สรุปรูป ชนิดและคุณสมบัติของวงจรถ่ายสัญญาณป้อนกลับชนิดต่างๆ	16
3.1 ความสัมพันธ์ความดันและแรงดันไฟฟ้า	25
3.2 ความสัมพันธ์ความดันและแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านการปรับปรุงสัญญาณ	27
3.3 การประมวลผลความดันและแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านการปรับปรุงสัญญาณทั้ง 6 จุด	29
3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อทำการปรับค่าออฟเซตทั้ง 6 จุด	30
5.1 สรุปการศึกษาและออกแบบเครื่องวัดแรงกดทับของฝ่าเท้า	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนการใช้อุปกรณ์วัดแรงดันเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	5
2.2 การวัดโครงสร้างฝาเท้า.....	7
2.3 ลักษณะฝาเท้าแบบต่างๆ.....	7
2.4 Piezoresistive pressure sensor (TMPS110B).....	10
2.5 โครงสร้างขาเซนเซอร์ TMPS110B.....	10
2.6 ตัวอย่างการใช้ TMPS110B.....	11
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและ Output Voltage.....	12
2.8 วงจรขยายสัญญาณ.....	13
2.9 แผนผังของการป้อนกลับแบบลบ.....	13
2.10 ผลตอบสนองทางความถี่ของ <i>open loop gain</i> และ <i>close loop gain</i>	15
2.11 ลักษณะการป้อนกลับแบบ <i>Series-shunt</i>	15
2.12 ลักษณะการป้อนกลับแบบ <i>Series-series</i>	15
2.13 ลักษณะการป้อนกลับแบบ <i>Shunt-Series</i>	16
2.14 ลักษณะการป้อนกลับแบบ <i>shunt-shunt</i>	16
2.15 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ(Auto Zero Circuit).....	17

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความต้องการใช้ในชีวิตประจำวันเพื่ออำนวยความสะดวก อุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก(Piezoelectric) ส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้เซรามิก(Ceramic) เป็นวัสดุพื้นฐานในเปลี่ยนพลังงานไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล ด้วยเหตุผลนี้ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงมีขอบเขตการใช้อย่างจำกัดด้วยสมบัติทางกายภาพ ไฟฟ้าและแสง จึงมีกลุ่มนักวิจัยหลายกลุ่มได้ศึกษาเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้แทนอุปกรณ์ทางด้านกายภาพ เนื่องจากอุปกรณ์ตัวอิเล็กทรอนิกส์สามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาแปลงจากอะนาล็อก (Analog) ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล(Digital)ได้ ซึ่งข้อดีของสัญญาณดิจิทัลคือสามารถนำไปวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ได้

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในชีวิตประจำวันพบว่ามนุษย์นั้นมีการติดต่อสื่อสาร การเดินทางเพื่อประกอบอาชีพ ทำให้การเดินทางนั้นเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิต การเดินทางและการยี่นนานๆนั้นจะมีผลกระทบต่อเท้าโดยตรง เนื่องจากเท้าต้องรับน้ำหนักของร่างกายตลอดเวลาขณะเดินหรือยืนเป็นเวลานาน พบว่ามีประชากรจำนวนมากประสบปัญหาการเกิดอักเสบของฝ่าเท้า เอ็น ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมประจำวันนั่นเอง ส่วนด้านการรักษาหรือวินิจฉัยอาการอักเสบนั้นในการใช้งานเครื่องโพโดสโคปที่ใช้ในการวิเคราะห์วินิจฉัยลักษณะฝ่าเท้าของผู้ป่วย และระบบการไหลเวียนโลหิตบริเวณฝ่าเท้า ซึ่งสามารถช่วยให้แพทย์ตรวจรักษาโรคและอาการของผู้ป่วยได้สะดวกยิ่งขึ้น เครื่องโพโดสโคปที่ไม่สามารถประเมินผลการไหลเวียนของโลหิตด้วยตาเปล่าได้เป็นระดับ

จากข้อมูลทั้งหมดจึงมีแนวความคิดจะนำอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกทำเป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดแรงกดทับจากเท้าให้มีความละเอียดให้มากที่สุดที่จะทำได้ด้วยการทำเซ็นเซอร์มาเรียงต่อกันและทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และนำผลที่ได้มาประมวลผลเป็นภาพดิจิทัลต่อกับส่วนประมวลผลไมโครโพรเซสเซอร์และนำเสนอผ่านจอคอมพิวเตอร์ โดยจะมีการเปรียบเทียบเพื่อความแม่นยำผลของการวัดจะสามารถบอกลักษณะของฝ่าเท้าในการรับน้ำหนักทำให้ผลที่ได้สามารถวินิจฉัยโครงสร้างของฝ่าเท้าได้ และทำการบำบัดหรือรักษาเพื่อให้เท้าเป็นอวัยวะที่พาเราไปประกอบกิจกรรมได้โดยไม่เกิดการเจ็บปวดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- ศึกษาและออกแบบอุปกรณ์วัดแรงกดทับของฝ่าเท้า
- ศึกษาตัวแปรของอุปกรณ์วัดแรงกดทับของฝ่าเท้า
- ตีพิมพ์ผลงานวิจัยและเผยแพร่งานวิจัย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดแรงกดทับของฝ่าเท้าโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบอาเรย์ซึ่งผลของแรงกดทับจะแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าในแต่ละจุดของเซ็นเซอร์ ผลที่ได้แต่ละจุดจะนำมาทำการประมวลผลด้วยไมโครโพรเซสเซอร์และแสดงผลทางคอมพิวเตอร์หรือจอแสดงผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดแรงกดทับของฝ่าเท้าโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบอาเรย์ซึ่งผลของแรงกดทับจะแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าในแต่ละจุดของเซนเซอร์ ผลที่ได้แต่ละจุดจะนำมาทำการประมวลผลด้วยไมโครโพรเซสเซอร์และแสดงผลทางคอมพิวเตอร์หรือจอแสดงภาพ โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

- ศึกษาอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก
- ศึกษาและออกแบบการวัดสัญญาณไฟฟ้าเป็นแบบอาเรย์
- ศึกษาการประมวลผลการตอบสนองของอุปกรณ์และการปรับเทียบ
- เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

บทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาและออกแบบเครื่องวัดแรงกดทับของฝ่าเท้า นี้ จะทำการศึกษาแรงกดทับฝ่าเท้า การวัดแรงกดทับฝ่าเท้าด้วยอุปกรณ์วัดแรงดันประเภทต่างๆ การใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ โดยจะพิจารณาความเหมาะสมของขนาดแรงดันและความคงทนในการใช้งาน

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการเกิดปัญหาเกี่ยวกับเท้าเกิดจากหลายสาเหตุเช่น ขาโก่ง การตั้งครรภ์ การมีอุ้งเท้าสูง ฟังฟิดได้ฝ่าเท้าอักเสบ นิ้วหัวแม่เท้าเอียง ลักษณะอุ้งเท้า และเท้าแบน เป็นต้น (อ้างอิงจาก : <http://kminsole.co.th/>)

- ขาโก่ง คือ ขาที่ไม่ตรง จะมีลักษณะโค้ง นอกจากจะมีปัญหาด้านความงามแล้ว ยังมีผลก่อให้เกิดกระดูกอักเสบ และโรคเกี่ยวกับกระดูกสันหลังเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระดูกการบิดเบือนของกระดูกเชิงกราน การเปลี่ยนแปลงของร่างกายเนื่องจากขาโก่ง

- เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระดูก
- หลังโค้ง
- กระดูกเชิงกรานจะเอียง
- สะโพกห้อยลงไป
- กระดูกสันหลังจะมีรูปโค้ง
- กระดูกเข้าหันทันเข้าข้างในหรือหันออกไป
- เอ็นร้อยหวายโค้ง
- เท้าจะกลายเป็นเท้าแบน

- การตั้งครรภ์เวลาเดินจะมีการก้าวเท้าออกไปกว้างกว่าปกติ และน้ำหนักมากขึ้นเพื่อช่วยในการทรงตัว รูปร่างของร่างกายที่เปลี่ยนไป จุดรองรับน้ำหนักของเท้าก็เปลี่ยนไปยังส่วนหน้า และน้ำหนักที่เท้าและข้อเท้าที่ต้องรองรับจะเพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เท้าต้องรองรับนั้นจะเพิ่มเป็น 2 เท่าของน้ำหนักตัว จะสังเกตได้ว่าการมีน้ำหนักที่มากขึ้นของผู้หญิงตั้งครรภ์จะส่งผลกระทบต่อเท้าและข้อเท้าโดยตรงเป็นอย่างมาก และยังก่อให้เกิด ฟังฟิดได้ฝ่าเท้าอักเสบอาการปวดเท้าส่วนหน้า อาการปวดอุ้งเท้า นิ้วหัวแม่เท้าเอียงผิดปกติ เป็นต้นจึงควรใช้ 'Orthopedic Insole' เพื่อป้องกันอาการและโรคต่างๆ

- หากความบวมของขาทั้งสองข้างไม่เหมือนกัน
- ยกเท้าให้สูงบ่อยๆ
- ใส่รองเท้าที่หลวมนิด เพื่อการไหลเวียนของเลือด
- อาหารรสเค็มเป็นเหตุหนึ่งของอาการบวม
- นวดด้วยน้ำแข็ง วางบนเท้าแล้วรอ 10-15 นาที
- ทุกเช้าที่ตื่นมา ให้เขียนตัวอักษร 'A-Z' โดยใช้เท้า
- ใช้ Orthopedic Insole ที่เหมาะสมกับผู้ที่ตั้งครรภ์
- เด็กที่เดินด้วยท่าที่เท้าหันเข้าข้างใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผู้ที่ปวดส้นเท้า
- ผู้ที่ความยาวของขาไม่เท่ากัน
- ผู้ที่นิ้วเท้าเอียงผิดปกติ
- ผู้ที่มีอาชีพเดินทั้งวัน หรือยืนทั้งวัน
- ผู้ที่มีอาการปวดเข่า หรือเอ็นกระดูกเข่าอักเสบ

- การมีอุ้งเท้าสูง คือการที่มีส่วนโค้ง บริเวณอุ้งเท้าสูงกว่าปกติมักเป็นโดยกำเนิด มีผลทำให้น้ำหนักกดลงที่เท้าในจุดที่ไม่ถูกต้อง มักทำให้เกิดอาการอักเสบบริเวณเท้าส่วนหน้าและส้นเท้า ผู้ป่วยควรใช้ Orthopedic Insole เพื่อกระจายการกดทับของน้ำหนักที่กดลงบนเท้าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องสมดุล ช่วยลดอาการอักเสบต่างๆลงได้ เท้าสูง คือ ภาวะที่ฝ่าเท้ามีส่วนโค้งบริเวณอุ้งเท้าสูงกว่าปกติ มีผลทำให้น้ำหนักตัวกดลงที่เท้าในจุดที่ไม่ถูกต้อง มักทำให้เกิดการอักเสบบริเวณเท้าส่วนหน้า และเจ็บส้นเท้า ในผู้ป่วยบางราย น้ำหนักตัวที่กดลงที่เท้าในจุดที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้เกิดตาปลาหรือเกิดหนังดำนในบริเวณนั้นได้ เท้าสูงสามารถแก้ไขได้ โดยการใช้แผ่นรองฝ่าเท้าเฉพาะบุคคล เพื่อกระจายแรงกดทับของน้ำหนักตัว ที่กดลงบนเท้าให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องสมดุล ช่วยลดอาการอักเสบต่างๆ ลงได้

- ฟังผิดได้ฝ่าเท้าอักเสบ โดยแปลตรง คือการเกิดอาการอักเสบที่ฟังผิด (ผนังรอบกล้ามเนื้อ) หรือผู้ที่มีน้ำหนักเกินตัวออกกำลังกายที่ใช้กำลังมาก หรือการใส่รองเท้าคู่มือที่ไม่พอดีกับขนาดของเท้า ทำให้ฟังผิดขาดได้ จึงเกิดบาดแผล เกิดการอักเสบในฟังผิดได้ ฟังผิดได้ฝ่าเท้าอักเสบนั้นจะไม่รับรู้ว่าการเจ็บเมื่อนอน แต่เมื่อก้าวเท้าออกเพื่อเดินจะทำให้รู้สึกเจ็บซึ่งอุ้งเท้ามีหน้าที่รองรับแรงกดจากการเดินของเรา โดยการเคลื่อนที่ไปขึ้นและลง และในขณะที่อุ้งเท้าเคลื่อนที่ลงมานั้นทำให้ฟังผิดยึดตัวและส่งผลให้ถูกฉีกได้ จึงควรจะป้องกันการขาดของฟังผิดโดยการเคลื่อนที่ลงของอุ้งเท้าในขณะที่เดิน ควรใส่ Orthopedic Insole เพื่อป้องกันการยึดตัวของฟังผิด จากการเคลื่อนที่ลงของอุ้งเท้า ส่วนใหญ่แล้วอาการเจ็บปวดมักจะมีขึ้นในส่วนของส้นเท้า ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อมีการรองรับแรงกดหรือช่วงเช้าหลังจากนอน หรือเมื่อเดินก้าวแรกจากการลุก แต่พอเดินต่อไปแล้ว อาการเจ็บก็จะค่อยๆลดลงโดยส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้เวลาประมาณ 6-18 เดือน การยึดตัวเบาๆ การใช้ Orthopedic Insole การเพิ่มกล้ามเนื้อแข็งแรง นวดฝ่าเท้า เป็นต้น จะทำให้เห็นผลประมาณร้อยละ 90

- การที่นิ้วหัวแม่เท้าเอียงเข้าไปยังนิ้วก้อยนั้น เรียกว่า นิ้วหัวแม่เท้าเอียงผิดปกติ เหตุของการเกิดอาการนี้มักเป็นเพราะรองเท้า หรือเป็นเพราะ พันธุกรรม แต่ในปัจจุบันมักเป็นเพราะภาวะฝ่าเท้ามีลักษณะแบน นิ้วหัวแม่เท้าเอียงผิดปกติ อาการเจ็บปวดมักจะมีขึ้นในเมื่อใส่รองเท้า เพราะกระดูกส่วนที่ไปนออกมาจะถูกเบียดกับรองเท้า และส่วนที่ไปนออกมาของนิ้วหัวแม่เท้าก็จะเพิ่มขนาดแล้วจะทำให้ปวด การใส่รองเท้าที่พอดีเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ควรใส่รองเท้าที่มีความกว้างพอดีเพื่อไม่ให้บีบรัดกัน พยายามหลีกเลี่ยงรองเท้าส้นสูงหรือหัวแหลม Orthopedic Insole จะช่วยรองรับอุ้งเท้า ซึ่งก่อให้เกิดการกระจายน้ำหนักให้สมดุลไปทั่วเท้า จึงทำให้การเปลี่ยนรูปของนิ้วเท้าหยุดไปได้ หากวัยรุ่นใช้ Orthopedic Insole จะได้รับผลการรักษาภาวะฝ่าเท้าแบนและอาการนิ้วหัวแม่เท้าเอียงผิดปกติ และจะเห็นผลได้เร็วกว่าผู้ใหญ่ แต่ยังคงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลับมาเหมือนเดิม การใช้ Orthopedic Insole จะช่วยส่งผลให้ไม่เกิดภาวะเท้าแบนกลับมาอีกครั้งที่สำคัญที่สุดคือการรักษาอย่างรวดเร็วก่อนที่อาการจะมากเกินไปถึงควรใส่ Orthopedic Insole ป้องกันอาการไว้ตั้งแต่ต้น

-อุ้งเท้า หมายถึงมนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตประเภทเดียวที่มีอุ้งเท้า อุ้งเท้าเป็นส่วนร่างกายที่สำคัญ เพื่อรองรับแรงกระแทกจากภายนอก และส่งกระจายอย่างง่าย หากไม่มีอุ้งเท้าแล้ว จะไม่มีตัวที่ทำหน้าที่รองรับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

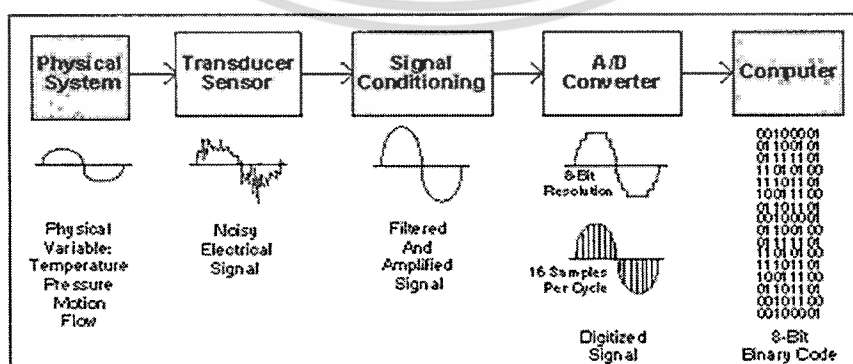
และกระจายผลกระทบเมื่อมีการเดินและผลกระทบไปยังกระดูกส่วนต่างๆในร่างกายและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ และถ้าเป็นแบบนี้เป็นเวลานานแล้วจะก่อความผิดปกติและโรคต่างๆของเท้า เช่น โรคไขข้อ นิ้วหัวแม่เท้าเอียงผิดปกติ อาการปวดสันเท้า ฟันผิได้ฝ่าเท้าอักเสบ

- ภาวะฝ่าเท้ามีลักษณะแบน เป็นภาวะที่เกิดจากการทรุดลงไปของอุ้งเท้า และจะเริ่มด้วยการเสียคุณภาพของเท้าไปยังการเจ็บปวดและการเสียคุณภาพของข้อเท้า เข่า สะโพก กระดูกสันหลัง คอ เป็นต้น และจะมีอาการหลักของฝ่าเท้าแบนคือจะเกิดความร้อนในฝ่าเท้าหากมีการเดินเป็นเวลานาน และปัญหาที่ใหญ่ที่สุดคืออาการเจ็บปวดและโรคต่างๆที่เกี่ยวกับเข่าและกระดูกสันหลัง เมื่อมีการดำเนินการของภาวะฝ่าเท้าแบนทุกๆ 1 องศา แล้วเข่าก็จะบิดออกไป 0.44 องศา และหากเป็นฝ่าเท้าแบนแบบข้างเดียว จะทำให้กระดูกเชิงกรานทรุดลงไป และยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระดูกสันหลัง จึงเป็นสาเหตุหลักของการปวดกระดูกเชิงกรานและอาการติงของเอว อาการที่น่าสงสัยของภาวะฝ่าเท้าแบน

- รู้สึกร่างกายอ่อนเพลียง่าย โดยไม่รู้สาเหตุ
- รู้สึกเหนื่อยง่าย แม้จะเดินเป็นระยะสั้น และมีอาการปวดเท้า ข้อเท้าพลิกบ่อยๆและเกิดซ้ำ
- เนื่องจากเกิดฟันผิได้ฝ่าเท้าอักเสบ เอ็นร้อยหวายอักเสบ ทำให้ปวดข้อเท้าบ่อยครั้ง
- มีอาการปวดเข่าและปวดกระดูกสะโพก ตั้งแต่วัยเด็ก

การใช้เท้ารับน้ำหนักมากหรือเดินเป็นเวลานานจะส่งผลให้อุ้งเท้าเกิดการทรุดตัวลงได้เท้าเป็นสิ่งสำคัญตลอดวันเราใช้เท้าในการเดิน ในการรับน้ำหนักตัวตลอดเวลาทำให้อุ้งเท้าเกิดการทรุดตัวลงได้ เพื่อป้องกันภาวะเท้าแบนเราจึงควรใช้(Orthopedic Insole) ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างเท้าเองหรือพฤติกรรมกรเดินทำให้เกิดปัญหาสุขภาพเท้าขึ้นได้ การแก้ปัญหาเบื้องต้นคือการวิเคราะห์น้ำหนักที่กดลงบนฝ่าเท้าหรือแรงกดทับฝ่าเท้า

จากงานวิจัยได้เลือกอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกทรอนิกส์เป็นเซนเซอร์วัดแรงกดซึ่งเป็นสัญญาณทางกายภาพให้เป็นแรงดันและกระแส ซึ่งผลสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์มีสัญญาณที่ต้องปรับปรุงคือ มีสัญญาณรบกวนซึ่งต้องใช้วงจรลดสัญญาณรบกวน โดยสัญญาณมีขนาดเล็กทำให้ต้องใช้วงจรขยายแรงดัน อีกทั้งเซนเซอร์แต่ละตัวยังมีการตอบสนองต่อแรงกดไม่เท่ากันจึงต้องใช้การปรับค่าออฟเซตของเซนเตอร์แต่ละตัว เมื่อทำการปรับปรุงสัญญาณแล้วจึงทำการแก้ปัญหาให้สัญญาณที่ได้มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และการสุ่มข้อมูลและการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยกำลังศึกษาระดับความละเอียดของข้อมูล



รูปที่ 2.1 แผนการใช้อุปกรณ์วัดแรงดันเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รอยฝ่าเท้า

เท้า เป็นอวัยวะที่รับน้ำหนักที่หนักที่สุดในร่างกาย ในการทำงานรับน้ำหนักตัว พาร่างกายให้เคลื่อนที่ไปในที่ต่างๆ และเป็นศูนย์รวมปลายประสาททั้งหมดของร่างกาย ดังนั้นสิ่งที่กระทำต่อเท้านั้นย่อมส่งผลกระทบต่ออวัยวะส่วนอื่นๆ ด้วยเช่นกัน การดูแลรักษาเท้าจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างหนึ่งของชีวิตมนุษย์ ในปัจจุบันบุคคลส่วนใหญ่ไม่ทราบว่าตนเองมีเท้าที่ผิดปกติ อาจเกิดจากกรรมพันธุ์หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงในวัยเด็ก ซึ่งอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับเท้าได้ และอาจเกิดจากการสวมใส่รองเท้าที่ผิดปกติ เช่น รองเท้าแตะ รองเท้าส้นสูง เป็นต้น จึงส่งผลกระทบต่อเท้าเป็นอย่างมากและอาจเกิดโรคทางเท้าได้

โรคที่เกี่ยวกับเท้านั้นมีอยู่หลายโรคด้วยกัน ผลกระทบต่ออาการทางเท้า ตัวอย่างปัญหาและโรคที่เกิดกับเท้า เช่น โรครองเท้า , โรคตาปลา, โรคเท้าฟอง, โรคเท้าพุก และอาการเจ็บเอ็นร้อยหวาย ซึ่งในการทำกิจกรรมบางกิจกรรมอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุที่ข้อเท้าและเท้าได้ ตัวอย่างเช่น กีฬาที่ต้องกระโดด เช่น บาสเกตบอล แบดมินตัน กีฬาที่ต้องวิ่งมากๆ กีฬาที่ต้องมีการกระทบกระแทก เช่น ฟุตบอล ฮอกกี้ และยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งเสริมหรือทำให้เกิดปัญหาที่เท้า เช่น ใส่รองเท้าที่ไม่เหมาะสมกับเท้า ใส่รองเท้าที่ไม่ถูกชนิดของกีฬา การฝึกที่ผิดหลักการ เช่น การวิ่งขึ้นเขา การวิ่งบนถนนที่ขรุขระ เป็นต้น

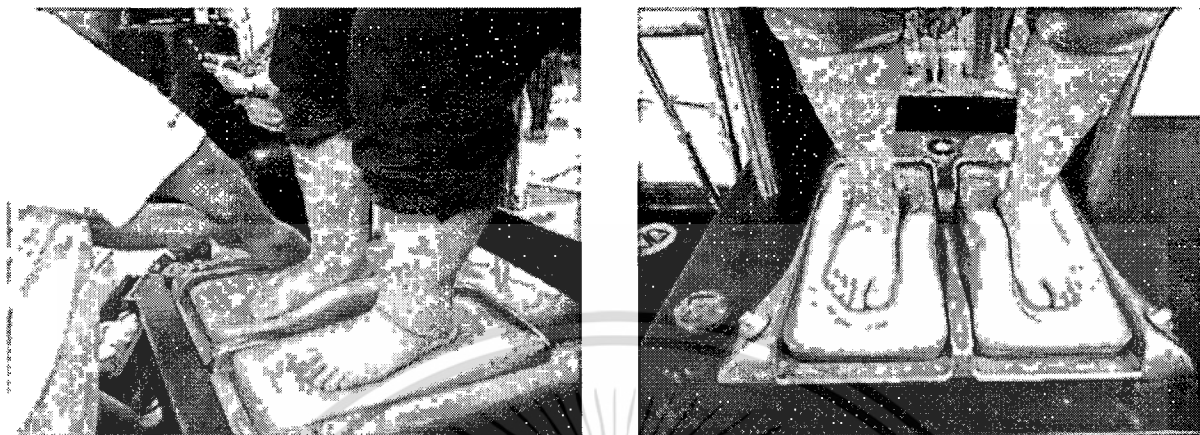
โรคเท้าแบน (Flat Feet) อาจเป็นผลมาจากกรรมพันธุ์หรือเกิดจากการที่เอ็นข้อเท้ามีการฉีกขาดหรือโรคที่เกี่ยวกับสมองหรือไขสันหลัง แต่ส่วนใหญ่ผู้ป่วยมักจะไม่ค่อยรู้ตัวจึงส่งผลให้เป็นโรคเอ็นฝ่าเท้าอักเสบหรือโรครองเท้า และโรคตาปลา และมีบุคคลจำนวนน้อยที่ไปพบแพทย์เพื่อรักษาอาการดังกล่าว เนื่องจากคนส่วนใหญ่ไม่ค่อยให้ความสนใจในการดูแลเท้าของตนเองเท่าที่ควร ทั้งที่มีการใช้งานเท้าอยู่เป็นประจำ โดยลักษณะของโรค คือ ขณะยืนลงน้ำหนักลักษณะของอุ้งเท้าจะหายไป แต่ขณะที่นั่งหรือนอนอุ้งเท้าก็จะกลับมาเป็นปกติ หรือถ้าต้องการจะเห็นอุ้งเท้าให้ชัดเจน สังเกตได้จากการเขย่งปลายเท้าก็จะทำให้เห็นอุ้งเท้าได้ชัดเจนขึ้น สำหรับการรักษาผู้ป่วยที่มีภาวะเท้าแบนนั้น ผู้ป่วยจะต้องพบแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

โดยเฉพาะ ใส่รองเท้าที่กว้างและมีขนาดพอดีกับเท้าของตนเอง และไม่ควรรักษาตาปลาด้วยตนเอง ควรใส่แผ่นรองเท้าเสริมอุ้งเท้า เพื่อปรับรูปเท้าให้อยู่ในลักษณะปกติที่สุดเท่าที่จะทำได้ และเพื่อป้องกันไม่ให้อุ้งเท้าแบนจนล้มเอียงมากขึ้น การรักษาอาการของผู้ป่วยโรคเท้าแบนเบื้องต้นสามารถทำได้โดยการให้ผู้ป่วยนั้นใส่รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าที่เหมาะสมกับรูปแบบเท้าของตนเอง อาจใช้อุปกรณ์เสริมอุ้งเท้าชนิดสำเร็จรูปหรือในบางกรณีอาจใช้อุปกรณ์เสริมเท้าชนิดหล่อพิเศษ ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้างแบบหล่อเพื่อนำมาทำรองเท้า หรืออาจจะปรับปรุงพื้นรองเท้าให้มีลักษณะเหมาะสมโดยการติดอุปกรณ์เสริมอุ้งเท้า ที่มีลักษณะเป็นฟองน้ำเสริมรูป ทำให้กระจายแรงกดทับของน้ำหนักที่จะตกลงบนเท้า และช่วยบรรเทาอาการปวดของผู้ป่วยได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและความรุนแรงของอาการของผู้ป่วยแต่ละรายแต่ในทางกลับกัน อุปกรณ์เสริมอุ้งเท้าจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้คู่กับรองเท้าที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย ซึ่งรองเท้าที่เหมาะสมควรจะเป็นรองเท้าหุ้มส้น เช่น รองเท้าคัทชูส์หรือรองเท้ากีฬา และรองเท้าที่สวมใส่นั้นควรมีความกว้างในส่วนของหน้าเท้าพอเหมาะ และผู้ป่วยควรหลีกเลี่ยงการสวมรองเท้าแตะ หรือรองเท้าชนิดที่ไม่รัดส้นเท้า นอกจากนี้พื้นรองเท้าภายในควรมีเนินช่วยประคองอุ้งเท้าด้วย

ารตรวจรูปของฝ่าเท้ามีหลายวิธี ได้แก่ การสังเกตด้วยสายตา (inspection) การวัดรอยพิมพ์ฝ่าเท้าจากหมึกพิมพ์ (foot prints) และการใช้แผ่นวัดแรงกดจากสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (electronic pressure sensor mats) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปดังต่อไปนี้ การสังเกตด้วยสายตา(inspection) เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นเพียงข้อมูลเชิงคุณภาพ(qualitative) ส่วนการตรวจรอยพิมพ์ฝ่าเท้าจากหมึกพิมพ์ (foot prints) จะได้รอยพิมพ์ ฝ่าเท้าที่มีขอบไม่คมชัดเท่าที่ควร ซึ่งขอบของรอยพิมพ์ฝ่าเท้าขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำหมึกที่ใช้และแรงเหยียบของผู้ป่วยที่รับการตรวจรักษา ซึ่งแตกต่างกับการใช้แผ่นวัดแรงกดจากสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (electronic pressure sensor mats) จะสามารถวัดมิติของเท้ารวมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของแรงเหยียบจากคอมพิวเตอร์ที่สามารถประมวลผลได้เลย แต่มีราคาแพงเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ หรือต้องทำการวัดลักษณะฝ่าเท้าเพื่อการทำแผ่นรองฝ่าเท้า



รูปที่ 2.2 การวัดโครงสร้างฝ่าเท้า (อ้างอิงจาก : <http://kminsole.co.th/>)

โดยทั่วไปแล้วหลักเกณฑ์ในการเลือกขึ้นอยู่กับ รูปทรงของเท้า โดยรูปทรงของเท้าคนเราก็จะแบ่งออกเป็น 3 ทรงคือ 1. High Arch มีระดับเว้ามาก 2. Neutral หรือ Normal Arch เว้าปานกลาง (normal) 3. Flat feet หรือเท้าแบน ไม่มีความเว้า การทดสอบว่าเท้าของเราเป็นแบบไหน วิธีในการวัดง่ายๆ คือจุ่มเท้าลงในน้ำให้ฝ่าเท้าเปียก และทาบบลงไปในกระดาษที่แห้ง และลองดูว่ารอยเท้าออกมาเป็นแบบไหน



1. Normal Arch

2. High Arch

3. Flat Foot

รูปที่ 2.3 ลักษณะฝ่าเท้าแบบต่างๆ (อ้างอิงจาก: <http://www.womenshealththailand.com>)

ซึ่งเมื่อทราบว่าเท้ามีลักษณะแบบไหนมันจะสามารถบอกได้ว่าวิธีการลงน้ำหนัก ผู้ที่มีเท้าแบบ High arch จะมีการลักษณะการวิ่งแบบ Supination ซึ่งมีลักษณะในการวิ่งแบบเบนขาเข้า จึงเหมาะกับรองเท้าแบบ Cushioning เพราะ ที่มีส่วนกลางเท้าค่อนข้างนุ่ม เพื่อช่วยให้เกิดการบิดเท้าเข้าในเพิ่มขึ้น เพื่อลดแรงกระแทก เท้ารูปแบบที่สองหรือ Neutral เท้าเว้าปานกลาง ถือว่าเป็นเท้าแบบปกติ ลักษณะในการวิ่งคือจะวิ่งตรงๆ ไม่เบนขาเข้าหรือออก ซึ่งเท้าแบบนี้เหมาะกับรองเท้าเกือบทุกประเภท ส่วนเท้าแบบ Structural cushioned คือผสมระหว่างการรับแรงกระแทกและโครงสร้างเท้าที่แข็ง ช่วยลดแรงกระแทกให้กับเท้าได้อย่างสมดุล ประเภทสุดท้ายหรือเท้าแบนหรือ Flat feet เท้าแบบนี้จะมีปัญหาเวลาวิ่งแล้ว ข้อเท้าจะบิดเข้าด้านในมากเกินไป overpronator ทำให้เสี่ยงต่อการบาดเจ็บของเท้าวิ่งสำหรับเท้าลักษณะนี้ นอกจากไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการความมั่นคงแล้ว ยังต้องการลักษณะที่ช่วยรองรับแรงกระแทก และลดลักษณะที่ข้อเท้าบิดเข้าด้านใน ในขณะที่วิ่ง อาจจะเป็นลักษณะที่ด้านในของรองเท้าได้รับการหนุนสูงขึ้นมาเล็กน้อย รองเท้าหลายยี่ห้อ จะมีรุ่นรองเท้า สำหรับกลุ่ม Flat arch โดยเฉพาะ (อ้างอิงจาก: <http://www.womenshealththailand.com>)

2.3 เซนเซอร์วัดแรงดัน

การวัดแรงกดทับฝ่าเท้าต้องอาศัยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์คือ เซนเซอร์คือตัวอุปกรณ์ตรวจวัดแบบต่างๆ ในระบบการวัด ซึ่งใช้ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกายภาพในรูปของตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความร้อน แสง สี เสียง ระยะทาง การเคลื่อนที่ ความดัน และการไหล เป็นต้น โดยจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแรงดันหรือ กระแส ซึ่งเป็นข้อมูลแบบอนาล็อกส่วนการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณหรือข้อมูลที่สอดคล้องและเหมาะสมกับส่วนของการนำไปประมวลผล ข้อกำหนด และเงื่อนไข

การแบ่งประเภทของเซนเซอร์วัดแบบสัมผัสกับตัวแปรโดยตรงเรียก ตัวตรวจรู้แบบปฐม (Primary Sensors) หากมีเซนเซอร์โดยผ่านส่วนอื่นก่อนเช่น สเตรนเกจตรวจรับแรงกดที่ต้องรับแรงถ่ายทอดจากแท่งโลหะที่รับแรงโดยตรงอีกทอดโดยใช้สเตรนเกจแปะติดกับแท่งโลหะดังกล่าวเพื่อวัดแรงนั้น เราจะเรียกสเตรนเกจในกรณีนี้ว่าเป็นตัวตรวจรู้ทุติยภูมิ (Secondary Sensor)

การตรวจวัดจะอาศัยผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในตัวเซนเซอร์เองที่สามารถตรวจวัดได้ส่วนใหญ่มักจะเป็นพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส ความต้านทาน ความจุและความเหนี่ยวนำ เป็นต้น เมื่อค่าตัวแปรทางกายภาพเปลี่ยนแปลงแล้วพารามิเตอร์ของตัวเซนเซอร์เหล่านี้จะเปลี่ยนตาม เมื่อเราทราบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนตาม อาจวัดได้โดยใช้มิเตอร์หรือวงจรบริดจ์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นการวัดตัวแปรทางอ้อมด้วยวิธีทางไฟฟ้าโดยเราจะทำการเทียบหรือ ปรับแต่งปริมาณทางไฟฟ้านี้แทนค่าตัวแปรที่ทำการวัดอีกทอดเราจึงอาจเรียกว่าเป็นการวัดโดยวิธีอ้อมได้ กระบวนการนี้เรียกว่า การตรวจจับ (Sensing) กรณีนี้คำว่าทรานสดิวเซอร์จะถูกเรียกว่า เซนเซอร์ จะเห็นว่าทรานสดิวเซอร์และเซนเซอร์แท้จริง คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เดียวกันต่างตรงที่เราจะกล่าวถึงหลักการทำงานหรือกล่าวถึงลักษณะการใช้งาน ปัจจุบันทรานสดิวเซอร์และเซนเซอร์เป็นคักกลาง ๆ ที่ใช้ร่วมกันโดยทรานสดิวเซอร์อาจจะรวมทั้งตัวเซนเซอร์และวงจรการปรับแต่งสัญญาณต่าง ๆ เข้าเป็นหน่วยเดียวกัน แล้วนำไปใช้ได้ทันทีเช่น ทรานสดิวเซอร์ความดัน (Pressure Transducer) เมื่อมีความดันเข้ามาจะทำให้เป็นแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสที่ด้านทางออก(Output)ที่แปรเป็นสัดส่วนกับความดันที่ต้องการวัด เป็นต้น

การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์แบ่งโดยอาศัยหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

1. แบ่งตามความต้องการพลังงาน

- แบบแอคทีฟ (Active Sensors) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่สามารถปล่อยพลังงานเองได้เช่น เทอร์โมคัปเปิล เพียโซโซ เซลล์แสงอาทิตย์ ออปโตไดโอด เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ไม่ต้องมีแหล่งจ่ายกำลังจากภายนอกให้ก็สามารถให้สัญญาณแรงดันหรือกระแสที่แปรตามตัวแปรได้เอง

- แบบพาสซีฟ (Passive Sensors) แบบนี้จะต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอกจึงจะทำเซนเซอร์ได้เช่น เซนเซอร์ที่ใช้หลักการเปลี่ยนค่าความต้านทาน ค่าความจุค่าความเหนี่ยวนำ ฯลฯ เป็นต้น

2. แบ่งตามลักษณะกลไกในการทำงาน

- การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ (Variable Capacitance Transducer)
- การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ (Variable Inductance Transducer)
- การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (Variable Resistance Transducer)

3. แบ่งตามชนิดของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้า
- เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล
- เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า
- เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า

4. แบ่งตามชนิดของสัญญาณที่ใช้

- แบบอนาลอกให้สัญญาณเป็นแบบต่อเนื่อง
- แบบไบนารีให้สัญญาณแบบเปิด — ปิด (ON — OFF)
- ดิจิตอลให้สัญญาณเป็นแบบดิจิตอล

5. แบ่งตามตำแหน่งที่ใช้ในระบบ

- ทรานสดิวเซอร์ด้านเข้า (Input Transducer) อยู่ทางด้านเข้าของระบบเครื่องมือ เช่น ไมโครโฟน เป็นต้น

- ทรานสดิวเซอร์ด้านออก (Output Transducers) เช่น ลำโพงของระบบเครื่องขยายเสียง

6. แบ่งตามข้อมูลหรือวัตถุประสงค์ในการวัด

- เช่น ทรานสดิวเซอร์วัดการเคลื่อนที่ วัดอุณหภูมิความดัน อัตราการไหล ตำแหน่ง เป็นต้น

Piezo-resistive pressure sensor เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่สามารถวัดแรงที่มากระทำต่อวัสดุ และวัสดุจะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ไฟฟ้าโดยจะเห็นได้ว่าที่มากระทำจะมีผลทำให้เส้นลวด(ภายใน)ยืดออกมาตามความยาวจึงทำให้พื้นที่หน้าตัดลดลง สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานนั้นเกิดจาก

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A}$$

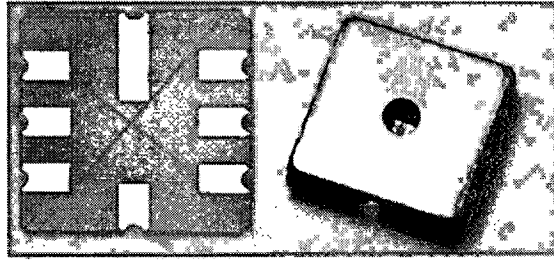
เมื่อ ρ เท่ากับความต้านทานจำเพาะของโลหะตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์มเมตร

L เท่ากับความยาวของโลหะมีหน่วยเป็นเมตร

A เท่ากับพื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็นตารางเมตร

การนำไปใช้งานภายในตัวอุปกรณ์ประกอบด้วยวงจรถับสัญญาณ ในสภาวะปกติความต้านทานของอุปกรณ์ จะทำให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล จนกว่าจะมีแรงไปกระทำกับตัวมัน ผลที่ได้คือบริดจ์จะอยู่ในสภาวะไม่สมดุล อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนอาจเกิดขึ้นได้จากอุณหภูมิแวดล้อมทั้งนี้เนื่องจากความต้านทานของอุปกรณ์ มักจะมีผลกระทบกับอุณหภูมิด้วยดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดบริดจ์สูญเสียความสมดุลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

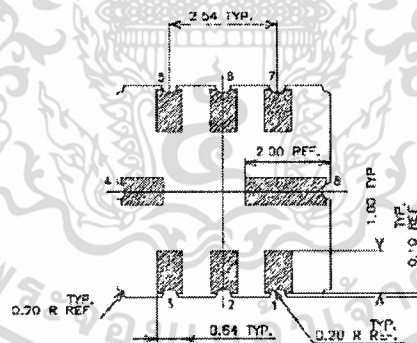


รูปที่ 2.4 Piezoresistive pressure sensor (TMPS110B)

โครงสร้างของเซนเซอร์ TMPS110B ประกอบด้วย Resistance Bridge มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในกรณีที่มีแรงดันมาตกกระทบที่เซนเซอร์ ค่า Resistance จะ Sensitivity ทำให้มี Volt เพิ่มมากขึ้นที่ output เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันขึ้นและนำแรงดันที่ได้ไปเข้าวงจรขยาย Differential Amplifier แล้วนำสัญญาณเข้าเพื่อประมวลผลต่อไป

Table 1. Pin connect for pressure sensor

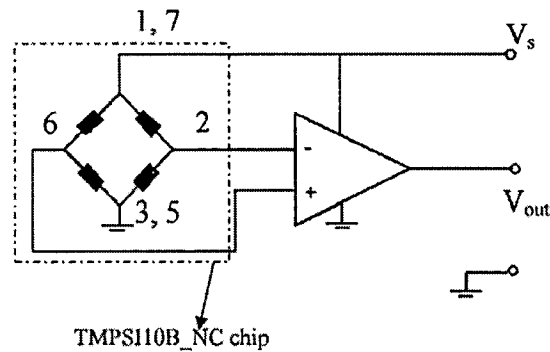
Pin NO.	Pin Name	Function
1,7	Vs	Supply voltage of Wheatstone bridge
2	OUT-	Negative output voltage of Wheatstone bridge
6	OUT+	Positive output voltage of Wheatstone bridge
3,5	GND	Ground
8,4	NC	No contract



รูปที่ 2.5 โครงสร้างขาเซนเซอร์ TMPS110B

ข้อดีของเซนเซอร์ประเภท TMPS110B นั้นคือมีขนาดเล็กมากพอที่จะสามารถนำไปตรวจในตำแหน่งของเซนเซอร์อยู่ใกล้กันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการใช้ TMPS110B

คุณสมบัติของเซนเซอร์ประเภท TMPS110B ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เซนเซอร์วัดแรงดัน (Pressure Sensor) รุ่น TMPS110B คุณสมบัติของเซนเซอร์แสดงในตารางที่ 3.1

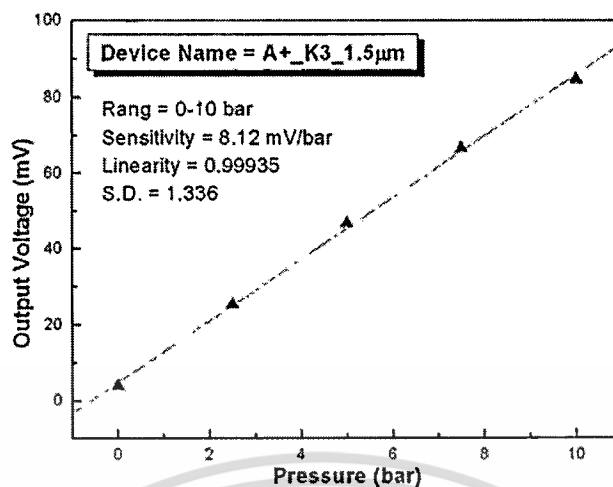
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเซนเซอร์ TMPS110B

All parameter are measured at 5 V supply at $T_a = 23^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Current ⁽¹⁾	I_s	-	0.9	-	mA _{dc}
Full Scale Span ⁽⁴⁾	V_{FSS}	79	80	82	mV
Offset ⁽⁵⁾	V_{off}	-16	0	16	mV
Sensitivity (1 – 11 Bar)	$\Delta V / \Delta P$	7.9	8.05	8.2	mV / Bar
Non Linearity ⁽⁶⁾	N_L	-0.05	-	0.05	%FSO
Pressure Hysteresis ⁽⁷⁾	P_H	-0.42	-	+0.42	%FSO
Accuracy (Variation between chip)	-	-0.25	-	+0.25	%FSO
Resistance Bridge ⁽⁸⁾	R_B	4.0	4.5	5.0	k Ω
The Temperature coefficient offset ⁽¹⁰⁾	TCO	-0.05	-	-0.05	%/°CFSO
The Temperature coefficient sensitivity ⁽¹¹⁾	TCS	-0.05	-	0.05	%/°CFSO

การตอบสนองของเซนเซอร์ และ การใช้งานเซนเซอร์ TMPS110B เซนเซอร์ TMPS110B นั้นมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในในกรณีที่มี แรงดันมากระทบ ซึ่งเซนเซอร์ที่ได้เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถรองรับแรงดันได้สูงถึง 11 Bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและ Output Voltage

ในระบบมาตรฐาน SI (System International) ใช้ความดันในหน่วยปาสคาล (Pascal: Pa) หรือ 1 นิวตันต่อตร.ม หรือเปรียบเทียบมาตรฐานแรงดันหน่วยต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

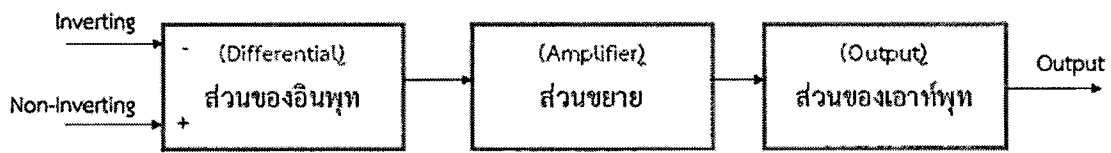
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานความดัน SI (System International)

	torr	mbar	bar	pascal	atm
1 torr	1	1.333	1.33×10^{-3}	133.3	1.316×10^{-3}
1 mbar	0.75	1	0.001	100	9.87×10^{-4}
1 bar	750	1000	1	10^5	9.87×10^{-1}
1 pascal	0.0075	0.01	10^{-5}	1	9.87×10^{-6}
1 atm	760	1013	1013	101325	1

- วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) อุปกรณ์ที่เราจะนำมาใช้ในวงจรขยายสัญญาณ นั่นก็คือ ออปแอมป์ (OP-AMP) ซึ่งในการที่จะนำมาใช้งานในวงจรขยายสัญญาณก็มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก ด้วยการใช้ที่มีลักษณะเป็นไอซีสำเร็จรูป และมีราคาถูก โดยในปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมาก ออปแอมป์นั้นเป็นวงจรถ่ายสัญญาณที่อยู่ในรูปของตัวไอซี โดยจะมีอยู่ 2 แบบ คือ ออปแอมป์แบบ 8 ขา และ 14 ขา ซึ่งจะมีลักษณะเป็นโลหะ และจะเป็นแบบพลาสติก โดยจะมีการจัดวางขาเป็นแบบ (Dual In-Line Package :DIP) ซึ่งภายใน ตัวโครงสร้างของออปแอมป์นั้นจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนก็คือ

1. ส่วนของสัญญาณเข้า (Differential)
2. ส่วนของการขยายสัญญาณ (Amplifier)
3. ส่วนของสัญญาณออก (Output)

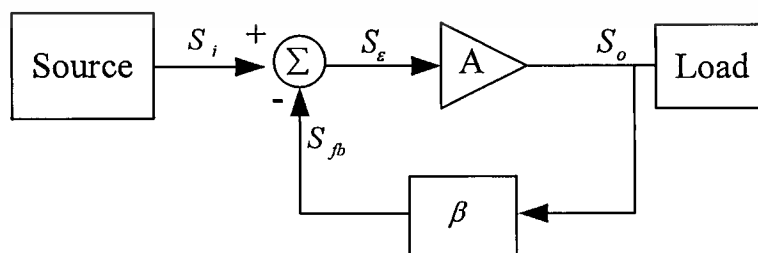
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 วงจรขยายสัญญาณ

เมื่อพิจารณาดูในแต่ละส่วน สามารถที่จะกล่าวได้ดังนี้คือ ในส่วนของอินพุตหรือที่เรียกว่า Differential นั้นจะมีลักษณะเป็นวงจรขยายสัญญาณผลต่าง ในส่วนของอัตราการขยายสัญญาณอินพุตจะพบว่าเมื่ออัตราการขยายที่สูง แต่ในทางกลับกันในส่วนของอัตราขยายสัญญาณอินพุตรวมจะมีค่าที่ต่ำ และในส่วนของอิมพีแดนซ์ขาเข้าของวงจรจะมีค่าที่สูงมาก ในส่วนของการขยายสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Amplifier นั้นก็จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณทั้งแรงดันและกระแส เพื่อที่จะทำให้อัตราขยายโดยรวมนั้นมีค่าที่สูงขึ้น และในที่สุดท้ายก็คือสัญญาณออก หรือที่เรียกว่า Output ซึ่งในส่วนนี้ถ้าเรามาพิจารณาโครงสร้างของวงจรภายในก็จะทราบว่า จะเป็นวงจรขยายสัญญาณแบบอิมิตเตอร์ร่วม สาเหตุที่ต้องเป็นแบบนี้ก็เพื่อที่จะทำให้อิมพีแดนซ์ที่ขาออกของวงจรมีค่าที่ต่ำ และเพื่อที่จะสามารถขับกระแสให้กับโหลดที่ต่อได้เพียงพอ ส่วนโครงสร้างภายในของออปแอมป์ นั้นจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวอยู่หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์(BJT) อุปกรณ์มอสเฟต(MOSFET) อุปกรณ์ไดโอด(Diode) และยังมีตัวต้านทาน (R) โดยอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จะถูกประกอบและต่อรวมกันที่อยู่ในรูปของวงจรรวมที่เรียกว่า ไอซี (IC : Integrated Circuit) ซึ่งวงจรรวมที่ได้ จะมีลักษณะของวงจรเป็นวงจรขยายสัญญาณ โดยมีอัตราการขยายแรงดันที่สูง หรือที่เรียกว่า (Voltage Gain) ซึ่งเราสามารถเขียนสัญลักษณ์ของออปแอมป์ ที่แสดงถึงลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ออปแอมป์ (Op-Amp)

การป้อนกลับในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์คือการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตบางส่วนป้อนย้อนกลับมายังอินพุตอีกครั้ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การป้อนกลับแบบบวก และการป้อนกลับแบบลบ การป้อนกลับแบบบวกสัญญาณเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับมายังอินพุตและบวกเสริมกับสัญญาณอินพุตที่มีอยู่และป้อนเข้าให้วงจรอีกครั้ง แต่ในทางกลับกัน การป้อนกลับแบบลบนั้นสัญญาณเอาต์พุตบางส่วนจะถูกป้อนกลับมาเพื่อหักลบกับสัญญาณอินพุตบางส่วนและป้อนเข้าวงจรต่อไป การป้อนกลับแบบลบมีข้อดีหลายประการ กล่าวคือ ทำให้วงจรมีเสถียรภาพต่อการทำงาน แบนด์วิดท์มีการขยายกว้างขึ้น ลดผลกระทบต่อวงจรที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน ขยายย่านความเป็นเชิงเส้นของวงจรให้กว้างขึ้น เป็นต้น แผนผังการทำงานของ การป้อนกลับแบบลบเป็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนผังของการป้อนกลับแบบลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนผังในรูปที่ 1 ได้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็น

$$S_o = AS_\varepsilon \quad (1)$$

เมื่อ A คือ อัตราขยายแบบเปิดลูป ของวงจรขยายสัญญาณ และในทำนองเดียวกันสัญญาณที่ป้อนกลับจากเอาต์พุตมีค่าเป็น

$$S_{fb} = \beta S_o \quad (2)$$

เมื่อ β คือ *feedback transfer function* ดังนั้น ผลรวมของสัญญาณที่โหนดอินพุต จึงมีค่าเป็น

$$S_\varepsilon = S_i - S_{fb} \quad (3)$$

ดังนั้น สมการ (1) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$S_o = AS_i = A(S_i - \beta S_o) = AS_i - A\beta S_o \quad (4)$$

เมื่อจัดรูปสมการ (4) ใหม่ จะได้ อัตราขยายแบบปิดลูป (*close loop gain*) ได้เป็น

$$A_f = \frac{S_o}{S_i} = \frac{A}{1+A\beta} = \frac{A}{1+T} \quad (5)$$

เมื่อ $T = A\beta$ เป็นลูปเกน จากสมการ (5) จะเห็นได้ว่าอัตราขยายแบบปิดลูป จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราขยายแบบเปิดลูป

กับอัตราขยายแบบเปิดลูป

ค่าความไวของอัตราขยาย (Gain Sensitivity)

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{1}{1+A\beta} - \frac{A}{(1+A\beta)^2} \cdot \beta = \frac{1}{(1+A\beta)^2} \quad (6)$$

หรือ

$$dA_f = \frac{dA}{(1+A\beta)^2} \quad (7)$$

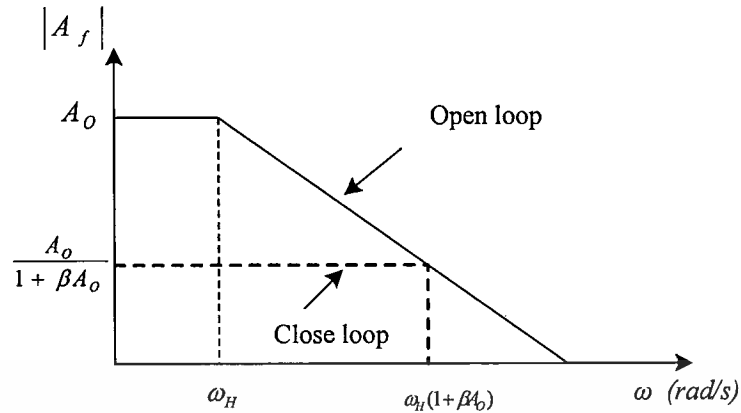
จัดรูปสมการ (7) ใหม่โดยการหารทั้งสองข้างด้วย อัตราขยายแบบปิดลูปจะได้

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{\frac{dA}{(1+A\beta)^2}}{\frac{A}{1+A\beta}} = \frac{1}{1+A\beta} \cdot \frac{dA}{A} = \left(\frac{A_f}{A}\right) \frac{dA}{A} \quad (8)$$

จากสมการ (8) จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงในอัตราขยายแบบปิดลูปมีค่าน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงในอัตราขยายแบบเปิดลูป ด้วยพจน์ของ $(1 + A\beta)$

การขยายแบนด์วิดท์ (Bandwidth extension)

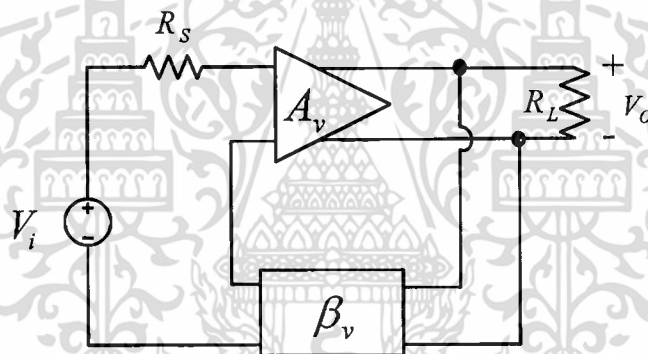
การป้อนกลับแบบลบมีผลทำให้ผลตอบสนองทางความถี่มีแบนด์วิดท์กว้างขึ้น ดังกราฟในรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าแบนด์วิดท์ของวงจรขยายแบบเปิดลูปจะมีช่วงที่แคบกว่าของวงจรขยายที่แบนด์วิดท์มีการป้อนกลับแบบลบ



รูปที่ 2.10 ผลตอบสนองทางความถี่ของ *open loop gain* และ *close loop gain*

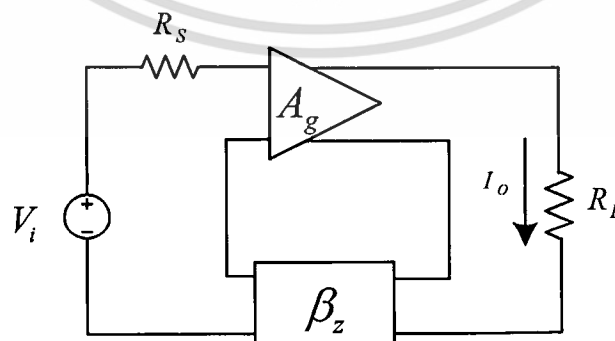
รูปแบบของการป้อนกลับมีอยู่ 4 ชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของวงจรรขยายสัญญาณ (เป็นวงจรรขยายสัญญาณกระแส หรือ แรงดัน) และชนิดของสัญญาณเอาต์พุต (แรงดัน หรือ กระแส)

Series shunt เป็นการป้อนกลับที่สร้างขึ้นจากวงจรรขยายสัญญาณแรงดัน ที่มีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ A_v และมีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 2.11 ลักษณะการป้อนกลับแบบ *Series-shunt*

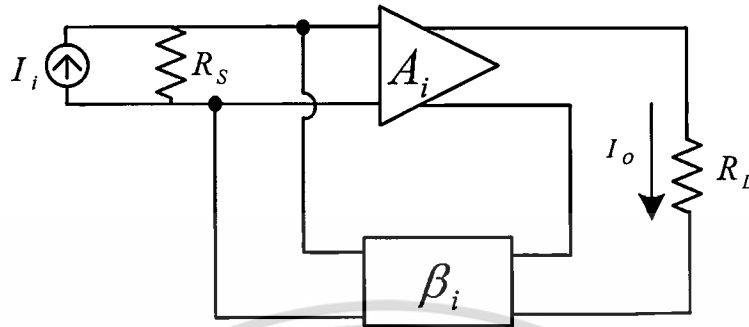
Series-series เป็นการป้อนกลับที่สร้างขึ้นจากวงจรรขยายสัญญาณแรงดัน ที่มีอัตราขยายแรงดันเท่ากับ A_v และมีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณกระแส



รูปที่ 2.12 ลักษณะการป้อนกลับแบบ *Series-series*

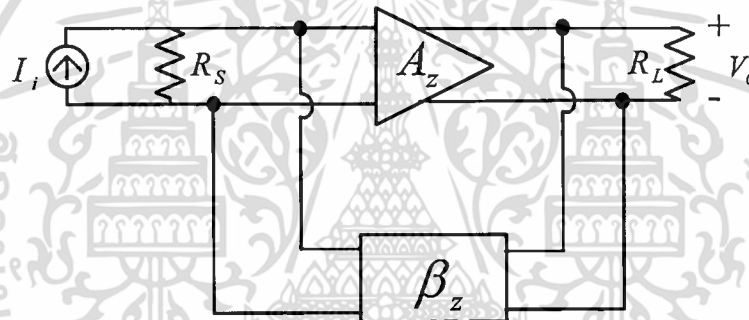
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shunt-Series เป็นการป้อนกลับที่สร้างขึ้นจากวงจรขยายกระแส ที่มีอัตราขยายกระแส เท่ากับ A_i และมีสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณกระแส



รูปที่ 2.13 ลักษณะการป้อนกลับแบบ *Shunt-Series*

shunt-shunt เป็นการป้อนกลับที่มีวงจรขยายที่รับสัญญาณอินพุตเป็นกระแส และให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดัน



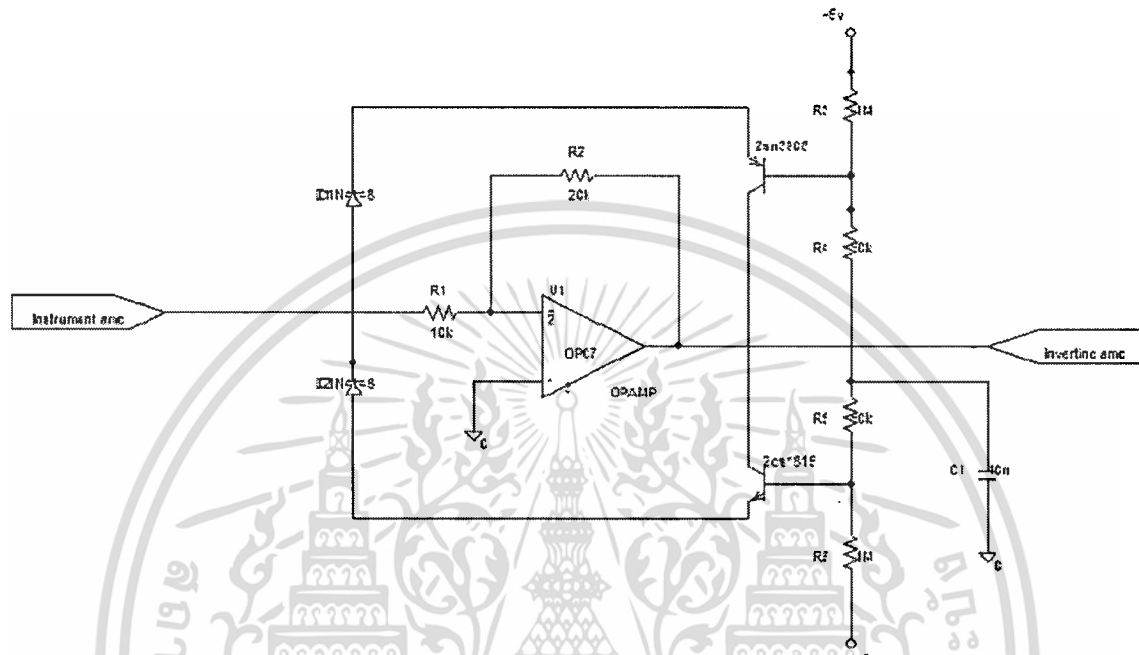
รูปที่ 2.14 ลักษณะการป้อนกลับแบบ *shunt-shunt*

ตารางที่ 2.3 สรุป ชนิดและคุณสมบัติของวงจรขยายสัญญาณป้อนกลับชนิดต่างๆ

Feedback amplifier	Input signal	Output signal	Transfer function	Input resistance	Output resistance
Series-shunt (voltage amplifier)	Voltage	Voltage	$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{(1 + \beta_v A_v)}$	$R_i(1 + \beta_v A_v)$	$\frac{R_o}{(1 + \beta_v A_v)}$
Shunt-series (current amplifier)	current	current	$A_{if} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{A_i}{(1 + \beta_i A_i)}$	$\frac{R_i}{(1 + \beta_i A_i)}$	$R_o(1 + \beta_i A_i)$
Series-series (Transconductance Amplifier)	voltage	current	$A_{gf} = \frac{I_o}{V_i} = \frac{A_g}{(1 + \beta_z A_g)}$	$R_i(1 + \beta_z A_g)$	$R_o(1 + \beta_z A_g)$
Shunt-shunt Transresistance amplifier	current	voltage	$A_{zf} = \frac{V_o}{I_i} = \frac{A_z}{(1 + \beta_g A_z)}$	$\frac{R_i}{(1 + \beta_g A_z)}$	$\frac{R_o}{(1 + \beta_g A_z)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อสัญญาณผ่านวงจรขยายความแตกต่างมักจะมีศักดาไฟฟ้าออฟเซตถูกขยายมาด้วยซึ่งกระแสไฟฟ้ากระแสตรง สามารถกำจัดได้โดยตัวเก็บประจุแต่ปัญหาที่ตามมา คือ เมื่อเกิดสัญญาณออฟเซตจริงๆ อาจจะทำให้เกิดจากการที่ขั้วตัวเซนเซอร์ ทำให้ค่าแรงดันยกระดับขึ้นจากศูนย์และเข้าสู่ระดับศูนย์เข้ามา เนื่องจากค่า Constant ของตัวเก็บประจุกับความต้านทานอินพุทของวงจรถัดไปที่มีค่ามาก ดังนั้น สัญญาณที่ได้จะสูงจากจุดศูนย์และเข้าสู่



รูปที่ 2.15 วงจรปรับศูนย์อัตโนมัติ(Auto Zero Circuit)

- Arduino UNO คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ (I/O-Device) เพื่อใช้งานตามต้องการ Arduino Uno เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิป ATmega168 หรือ ATmega328 มีขาใช้งาน ที่เป็น I/O 14 digital input/output pins (ซึ่งมี 6 ขาใช้งานเป็น PWM (pulse width modulation) Outputs), 6 รั้วสัญญาณอนาล็อก , มีoscillator 16 MHz, การเชื่อมต่อแบบ USB, Power Jack, ICSP header, และ ปุ่มรีเซ็ต . เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รวมแทบทุกอย่างไว้สำหรับรองรับการใช้งานmicrocontroller และง่ายต่อการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะ เป็นทาง USB หรือ AC-to-DC adapter Duemilanove เป็นทรัพย์สินที่สร้างขึ้นในปี 2009 ชื่อนี้เป็นชื่อจากประเทศอิตาลี Duemilanove คือเวอร์ชันล่าสุด ของ Arduino boards ได้มีการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างเวอร์ชันต่างๆ สามารถเปรียบเทียบได้จาก index of Arduino boards.

คุณสมบัติโดยรวมMicrocontroller ATmega328

Operating Voltage	5	V
Input Voltage (recommended)	7-12	V
Input Voltage (limits)	6-20	V
Digital I/O Pins	14	
Analog Input Pins	6	
DC Current per I/O Pin	40	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by
Bootloader	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

- โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ

LabVIEW จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Programming Language คล้ายกับ Visual Basic หรือ Visual C++ แต่แตกต่างกันตรงที่ LabVIEW เป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาษารูปภาพ (Graphical (G) Programming Language) คือจะใช้บล็อกฟังก์ชันซึ่งแทนด้วยรูปไอคอน (Icon) แทนการเขียนโปรแกรมย่อย (Subroutine) และใช้เส้นเชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชันแทนการไหลของข้อมูลระหว่างโปรแกรมย่อยนั้นๆ คล้ายกับการเขียนโฟลชาร์ต (Flow Chart) หรือบล็อกไดอะแกรม (Block-Diagram) ของโปรแกรม สิ่งที่ทำให้ LabVIEW ต่างจากซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมอื่นทั่วไปอีกอย่างหนึ่งคือความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมใช้งานทางด้านงานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญของ LabVIEW โดยจะมีเครื่องมือ (Tool) และไลบรารี (Library) ที่สนับสนุนการใช้งานทางด้านนี้ไว้อย่างมากมาย ให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือเสมือนจริง (Virtual Instrument หรือ VI)

การออกแบบโปรแกรมโดยใช้ LabVIEW เรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของ ฟังก์ชัน, Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆจะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ 1.Front Panel 2.Block Diagram 3.Icon และConnector

1. Front Panel จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัดของของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดทั่วไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มปิด, ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้ ลักษณะของ Front Panel

2. Block Diagram เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันทีและข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้นโดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นมาก ส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อกำหนดลักษณะการถ่ายของข้อมูลระหว่าง block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ

3. Icon และ Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วๆ ไปโดย icon จะหมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า subVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า เขียนเป็น module สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูปต่อไปนี้จะเห็นว่าเมื่อเราแสดงใน รูปของ Connector เราจะพบว่า มีช่องต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า Terminal ปรากฏขึ้น

2.4 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง และยักรวมถึงสัญญาณวิดีโอ, ภาพวีดิทัศน์ หรือ ภาพ 2 มิติอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วยแนวความคิดและเทคนิค ในการประมวลผลสัญญาณ สำหรับสัญญาณ 1 มิติ นั้น สามารถปรับมาใช้กับภาพได้ไม่ยาก แต่นอกเหนือจาก เทคนิคจากการประมวลผลสัญญาณแล้ว การประมวลผลภาพก็มีเทคนิคและแนวความคิดที่เฉพาะ (เช่น connectivity และ rotation invariance) ซึ่งจะมีความหมายกับสัญญาณ 2 มิติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคบางอย่าง จากการประมวลผลสัญญาณใน 1 มิติ จะค่อนข้างซับซ้อนเมื่อนำมาใช้กับ 2 มิติ เมื่อหลายสิบปีมาแล้ว การประมวลผลภาพนั้น จะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก (analog) โดยใช้อุปกรณ์ปรับแต่งแสง (optics) ซึ่งวิธีเหล่านั้นก็ไม่ได้หายสาบสูญ หรือเลิกใช้ไป ยังมีใช้เป็นส่วนสำคัญ สำหรับการประยุกต์ใช้งานบางอย่าง เช่น ฮอโลกราฟี (holography) แต่เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ราคาถูกลง และเร็วขึ้นมาก การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing) จึงได้รับความนิยมมากกว่า เพราะการประมวลผลที่ได้ซับซ้อนขึ้น แม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติ กระบวนการต่าง ๆ มีอยู่ด้วยกันหลายอย่าง ยกตัวอย่างเช่น

- การแบ่งภาพและการหาขอบภาพในวัตถุ (Image Segmentation and EdgDeTecton)
- การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement)
- การแปลงข้อมูลรูปภาพ (Image Transformation)
- การบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Complexsion)
- การนิยามภาพ (Image Description)
- การคืนภาพ (Image Restorlation)
- การกรองภาพ (Image Filters)

การศึกษาเกี่ยวกับสีเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบพัฒนาระบบการเห็นสี การใช้สีในภาคแสดงผลไม่เพียงแต่ทำให้เกิดความพอใจ ยังทำให้เราสามารถรับรู้ข้อมูลการมองเห็นอื่น ๆ อีก ตาของมนุษย์สามารถแยกความแตกต่างของระดับเทาได้ไม่ก็สีระดับในขณะที่ตาสามารถแยกความแตกต่างของสีได้เป็นพันสี

- สเปซ RGB (RGB Space) คือการแทนสี (Color Representation) มักใช้ทฤษฎีของ Thomas Young (1802) ซึ่งกล่าวว่าสีใดก็ตามเกิดจากการผสมสีแม่สี 3 สี ซึ่งสอดคล้องกับเซลล์รับแสงชนิดโคนในตาของมนุษย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดไวต่อแสงในย่านแดง เขียว และน้ำเงิน ทฤษฎีการแทนสีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Young สามารถแทนด้วยแบบจำลองลูกบาศก์ RGB ค่าของสีแทนด้วยค่าพิกัดในสเปซ RGB โดยที่จุดยอดของลูกบาศก์คือแม่สี (Red Green และ Blue) และสีของแสงขั้นที่สอง (Secondary) (Cyan, Margenta และ Yellow)

- สเปซ NTSC คือมาตรฐานที่ใช้ในโทรทัศน์ในประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อได้เปรียบอันหนึ่งคือ ข้อมูลระดับเทา (Gray Level) ถูกแยกออกมาจากข้อมูลสี ดังนั้นสัญญาณหนึ่งสามารถใช้ได้ทั้งโทรทัศน์สีและขาวดำ ในรูปแบบ NTSC ข้อมูลภาพประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบได้แก่ ลูมิแนนซ์ (Luminance) แทนด้วย Y , โทนสี (Hue) แทนด้วย I และแซ็ททูเรชัน (Saturation) แทนด้วย Q ดังนั้นระบบนี้อาจเรียกว่า YIQ องค์ประกอบลูมิแนนซ์แทนด้วยข้อมูลระดับเทา ส่วนอีก 2 องค์ประกอบแทนข้อมูลสีของสัญญาณโทรทัศน์

-สเปซ YCbCr ใช้อย่างกว้างขวางในสัญญาณวิดีโอดิจิทัล ในรูปแบบนี้ข้อมูลลูมิแนนซ์ถูกแทนด้วยองค์ประกอบเดียว Y ในขณะที่ข้อมูลสีถูกเก็บในองค์ประกอบผลต่างของสีนั้นคือ Cb คือผลต่างระหว่างองค์ประกอบน้ำเงินกับค่าอ้างอิง และ Cr คือ ผลต่างระหว่างองค์ประกอบสีแดงกับค่าอ้างอิง

-สเปซ HSI (Hue Saturation Intensity) มีความใกล้เคียงกับระบบ RGB ในด้านการรับรู้สี (Color Sensation) คุณสมบัติเกี่ยวกับการรับรู้สีแบ่งเป็นค่าความสว่าง (Brightness), ค่าโทนสี (Hue) และค่าแซ็ททูเรชัน (Saturation) ค่าความสว่าง (Brightness) เป็นการรับรู้ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ค่าโทนสีของสีหมายถึงความแดง (เช่นแดงอ่อน แดงแก่ แดงเลือดหมูเป็นต้น) ความเขียว (เขียวอ่อน เขียวแก่ เขียวขี้ม้าเป็นต้น) และอื่น ส่วนค่าแซ็ททูเรชันเกี่ยวข้องกับความแรงของแสงสีขาว (White)

-สเปซ HSV (Hue, Saturation, Value Space) เป็นหนึ่งในระบบสีที่เปรียบเสมือนถูกใช้โดยคนซึ่งเลือกสีจากจานสี สเปซ HSV ถูกสร้างโดยการมองจากลูกบาศก์สี RGB ตามแนวแกนเทา (Gray Axis) ซึ่งคือแกนที่เชื่อมระหว่างจุดมุมสีขาวและดำซึ่งทำให้ได้ลักษณะรูปหกเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อทำการเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง (แกนเทา) ตามโดอะแกรมในรูปที่ 2 ทำให้ขนาดของรูปหกเหลี่ยมมีขนาดลดลง องค์ประกอบโทนสีคือมุมในรูปหกเหลี่ยมโดยถือว่าแกนสีแดงมีมุมเป็นศูนย์องค์ประกอบแวลู (Value) ถูกวัดตามแนวแกนของโคน (แกนตั้ง) โดยที่ $V = 0$ คือยอดของโคนสีดำ ส่วน $V = 1$ คือส่วนฐานตรงกับสีขาว ค่าแซ็ททูเรชันถูกวัดจากระยะทางจากแกน V โดยลักษณะนี้เราถือว่าระบบ HSV คือระบบในพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate System) ส่วน RGB อยู่ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System)

-ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นกราฟแสดงจำนวนพิกเซลที่ความสว่างต่างๆ ของภาพ สังเกตได้จากภาพด้านล่าง แกนนอนเป็นระดับความสว่างที่แบ่งระดับเป็น 256 ระดับ (มักเรียกว่าระดับสีเทา หรือ gray level) โดยมีค่าตั้งแต่ 0-255 เมื่อระดับสีเทามีค่าต่ำ (ด้านซ้ายมือ) หมายถึง มีความสว่างน้อย จะมองเห็นเป็นสีดำ ค่าระดับสีเทาสูง (ด้านขวามือ) หมายถึงมีความสว่างมากจะมองเห็นเป็นสีขาว แกนตั้งของกราฟแสดงจำนวนพิกเซลในแต่ละความระดับสีเทาซึ่งเป็นค่าสัมพัทธ์ ง่ายๆก็คือ ถ้ากราฟฮิสโทแกรมเอนไปทางซ้าย แปลว่าภาพนั้นจะมีความมืดเกินไปแต่ถ้าเอนไปทางขวาแปลว่าภาพนั้นมีความสว่างเกินไปฮิสโทแกรมนั้นใช้เพื่อดูความแปรปรวนของกระบวนการโดยการสังเกตรูปร่างของฮิสโตแกรมที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อภาพที่ขาดความสว่าง ทำให้ขาดรายละเอียดของภาพโดยเฉพาะด้านหลังของภาพ โดยที่กราฟฮิสโทแกรมแสดงผลเอนไปทางด้านซ้าย ซึ่งแสดงว่าภาพนี้มีแสงน้อยเกินไป ในขณะที่แสงเกือบมีความสมบูรณ์ของภาพมากโดยมีแค่ความมืดของฉากหลังอยู่บ้าง โดยที่กราฟฮิสโทแกรมแสดงว่าภาพภาพมีการกระจายของแสงที่ดี แต่กราฟเอนไปทางด้านซ้ายมากกว่าทางขวา เนื่องจากมีเงาอยู่ที่ฉากหลังของภาพและ เมื่อแสงมีมากเกินไปในภาพ จะสังเกตได้ว่าวัตถุที่อยู่ด้านหน้าจะมีความสว่างเกินไป ซึ่งทำให้ไม่เห็นถึงรายละเอียดของภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ภาพนี้จะแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดฉากหลังของภาพได้ดีที่สุด ซึ่งจุดหลักของภาพนี้คือด้านหน้า ดังนั้นควรลดแสงของภาพนี้ลงเพื่อให้เห็นถึงรายละเอียดด้านหน้า โดยกราฟิซิสโทแกรมเอนไปทางขวาสุด และมีแสดงในช่วงของความมืดน้อยมาก

การแปลงทางเรขาคณิตของภาพ เป็นขบวนการขั้นพื้นฐานในการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล เป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสเกล (Scaling) การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) การหมุนภาพ (Rotation) และการเฉือนภาพ (Shear) ภาพทางดิจิทัลโดยคำจำกัดความแล้วคือฟังก์ชัน 2 มิติ $f(x,y)$ โดยที่ x และ y คือพิกัดหรือตำแหน่งของพิกเซล ค่าของฟังก์ชันที่ตำแหน่ง (x,y) หรือ $f(x,y)$ โดยปกติแล้วเราหมายถึงค่าความเข้มแสง (Intensity) หรือเรียกว่าค่าระดับเทา (Gray Level) การแปลงทางเรขาคณิตของภาพเกี่ยวข้องกับ 2 ขบวนการ (1) การแปลงเรขาคณิตของพิกัด (Geometric Spatial Transformation) ซึ่งกระทำกับตัวแปร x และ y และ (2) การกำหนดค่าระดับเทาใหม่ให้กับภาพ (Gray - level Interpolation) ซึ่งกระทำกับฟังก์ชัน f เราขอกล่าวถึงการแปลงเรขาคณิตของพิกัดก่อน โดยในที่นี้จะกล่าวถึง การแปลงเรขาคณิตของพิกัด และการใช้ OpenCV ในการทำการแปลงเรขาคณิตของภาพ

- การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) การเคลื่อนย้ายภาพ $F(x,y)$ เทียบกับจุดกำเนิด Cartesian ไปเป็นภาพ $g(u,v)$ เกี่ยวข้องกับการคำนวณตำแหน่งออฟเซตสัมพัทธ์ (Relative Offset Address) ของภาพทั้งสอง ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เคลื่อนย้ายคือ

$$u = x + tx$$

$$v = y + ty$$

โดยที่ tx และ ty แทนระยะของการย้ายตำแหน่ง
สมการการแปลงแบบเคลื่อนย้ายภาพสามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & tx \\ 0 & 1 & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- การสเกลภาพ (Scaling)สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนพิกัด Cartesian ของภาพอินพุตตามความสัมพันธ์

$$u = Sxx$$

$$v = Syy$$

โดยที่ Sx และ Sy คือพารามิเตอร์ของสเกล (Scaling Parameter) ถ้าค่าของ Sx และ Sy มากกว่าหนึ่งผลคือทำให้เกิดการขยายในทิศทาง x และ y ตามลำดับ ถ้ามีค่าอยู่ในช่วง $(0,1)$ ผลคือทำให้เกิดการย่อส่วนในทิศทางที่สอดคล้องกัน ในกรณีที่ค่าของ Sx และ Sy น้อยกว่าศูนย์ จะเกิดลักษณะที่เรียกว่า Reflection หรือภาพกลับขวาเป็นซ้าย ซ้ายเป็นขวา สมการเรขาคณิตของการสเกลสามารถเขียนในรูปของเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sx & 0 & 0 \\ 0 & sy & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหมุนภาพ (Rotation) การหมุนภาพรอบจุดกำเนิดสามารถทำได้โดยการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}u &= x \cos \theta - y \sin \theta \\v &= x \sin \theta + y \cos \theta\end{aligned}$$

โดยที่ θ แทนมุมของการหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกาเมื่อเทียบกับแกนอน (Horizontal Axis) สมการการหมุน 5 และ 6 แทนการหมุนภาพรอบจุดกำเนิดบนระบบพิกัด Cartesian การหมุนภาพรอบจุดใดๆ สามารถทำได้โดย (1) เลื่อนจุดหมุนไปที่จุดกำเนิด (2) ทำการหมุนภาพ และ (3) เลื่อนจุดหมุนกลับไปที่เดิม สมการการแปลงเรขาคณิตของการหมุนรอบจุด (xc, yc) ในรูปเมทริกซ์แทนด้วย

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & xc \\ 0 & 1 & yc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -xc \\ 0 & 1 & -yc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

- การเฉือนภาพ (Shearing) เป็นวิธีการแปลงภาพในลักษณะที่ทำให้ภาพเปลี่ยนจากรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า (หรือจัตุรัส) ไปเป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนเรียกว่าการเฉือนภาพ ซึ่งแบ่งเป็น 3 แบบ สมการของการเฉือนไปข้างหน้าในทิศทาง x คือ

$$\begin{aligned}u &= x + shy \\v &= y\end{aligned}$$

สมการของการเฉือนไปข้างหน้าในทิศทาง y คือ

$$\begin{aligned}u &= x \\v &= y + shx\end{aligned}$$

สมการของการเฉือนไปข้างหน้าในทิศทาง x และ y คือ

$$\begin{aligned}u &= x + shy \\v &= y + shx\end{aligned}$$

สมการเรขาคณิตของการเฉือนภาพสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & shx & 0 \\ shy & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

การแปลงเรขาคณิตเชิงเส้นสามารถรวมกันได้ สมการการแปลงเรขาคณิตรวมสามารถเขียนได้เป็น

$$T = S \cdot Sh \cdot R \cdot Tr$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = \begin{bmatrix} sx & 0 & 0 \\ 0 & sy & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Sh = \begin{bmatrix} 1 & shx & 0 \\ shy & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Tr = \begin{bmatrix} 1 & 0 & tx \\ 0 & 1 & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & xc \\ 0 & 1 & yc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -xc \\ 0 & 1 & -yc \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ซึ่งการแปลง T ของสมการลดรูปอยู่ในรูปเมทริกซ์ขนาด 3x3 ดังนั้นเราได้

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a0 & a1 & a2 \\ b0 & b1 & b2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) คือการเน้น (หรือการทำให้คม) ลักษณะของภาพ (Features) เช่น ขอบ (Edge) เขต (Boundaries) หรือความแตกต่างระหว่างบริเวณขาวกับดำหรือคอนทราสต์ (Contrast) เพื่อให้การแสดงผลกราฟิกมีความชัดเจนมากขึ้นสำหรับการแสดงและการวิเคราะห์ ขบวนการปรับปรุงภาพไม่ได้เป็นการเพิ่มองค์ประกอบข้อมูลในภาพ แต่จะไปเพิ่มช่วงทำงาน (Dynamic Range) ของลักษณะของภาพที่เลือกเพื่อให้ง่ายต่อการตรวจจับ ข้อที่ยากที่สุดสำหรับการปรับปรุงภาพคือการตั้งเกณฑ์ (Criterion) ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงภาพ ดังนั้นเทคนิคการปรับปรุงภาพส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นการทดลองหรือต้องการการตอบโต้ของผู้ใช้ (User Interface) เพื่อให้ได้ผลที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงภาพยังคงเป็นหนึ่งในหัวข้อที่สำคัญที่สุด เพราะพบการประยุกต์ใช้งานอย่างมากในการประมวลผลภาพทางดิจิทัล

การขลิบและการทำเทรชโฮลด์ (Clipping and Thresholding) คือ การแยกส่วนของภาพ ซึ่งเป็นการพิจารณาความเข้มของจุดต่าง ๆ ภายในภาพ (Pixel) ซึ่งผลของการแยกส่วนของภาพ จะขึ้นอยู่กับวิธีการ Threshold ของส่วนประกอบที่เป็นความเข้มหรือสีของภาพ สำหรับภาพบางชนิดจะมีลักษณะวัตถุที่เราสนใจซึ่งมีความเข้มที่คงที่เมื่อเทียบกับพื้นหลังตัวอย่างได้แก่ ภาพของตัวอักษร (Text) เป็นต้น ซึ่งภาพเหล่านี้จะมีความเข้มของวัตถุที่เราสามารถแยกออกพื้นหลังได้อย่างชัดเจน (มีความเข้มชั้นสองระดับได้แก่ความเข้มของวัตถุและความเข้มของพื้นหลัง) การทำการแยกส่วนของภาพ สามารถทำได้โดยการกำหนดค่า Threshold ซึ่งเป็นค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังได้ตัวอย่างเช่น ภาพของตัวอักษรที่มีความเข้มของตัวอักษรเป็น 0 (สีดำและมีความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 (สีขาว) ดังนั้นค่า Threshold จึงควรมีค่าเท่ากับ 128 เพื่อที่จะให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้ โดยปกติแล้วการเลือกค่า Threshold จะขึ้นอยู่กับ Histogram ของภาพ

การฟิลเตอร์ภาพ (Image Filtering) เป็นการประมวลผลภาพที่สำคัญในการกำจัดองค์ประกอบความถี่ที่ไม่ต้องการออกจากภาพ การกำจัดความถี่สูงออกจากภาพซึ่งเรียกว่าฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ผลลัพธ์คือทำให้ภาพดูนุ่มนวลขึ้น (Soft) ซึ่งอาจเรียกฟิลเตอร์นี้ว่าฟิลเตอร์การเฉลี่ย (Averaging) ในทางตรงข้าม การกำจัดความถี่ต่ำออกจากภาพซึ่งเรียกว่าฟิลเตอร์ความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ผลลัพธ์คือทำให้เหลือแต่องค์ประกอบที่เป็นขอบภาพ หรืออาจเรียกว่าการตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection) โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรากล่าวถึงฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่านที่ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนที่มีคุณสมบัติแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise) และฟิลเตอร์กรองแบบมีเดีย (Median Filter) ที่ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนแบบเม็ดขาวและดำหรือที่รู้จักกันในชื่อ Salt and Pepper Noise

- ฟิลเตอร์แบบค่าเฉลี่ย (Averaging) ฟิลเตอร์แบบนี้แต่ละพิกเซลจะถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของพิกเซลข้างเคียง ซึ่งหมายถึงการคอนโวลูชัน นั่นคือ

$$y(m, n) = \sum_{(k,l) \in W} \sum h(k, l) \times (m - k, n - l)$$

โดยที่ $y(m,n)$ และ $x(m,n)$ คือภาพเอาต์พุตและภาพอินพุตตามลำดับ W คือหน้าต่าง และ $h(k,l)$ คือค่าน้ำหนักการฟิลเตอร์ ชนิดของฟิลเตอร์แบบค่าเฉลี่ยที่รู้จักกันดีคือชนิดที่มีค่าน้ำหนักเท่ากันนั่นคือ

$$y(m, n) = \frac{1}{N} \sum_{(k,l) \in W} \sum h(k, l) \times (m - k, n - l)$$

โดยที่ $h(k,l) = 1/Nw$ และ Nw คือจำนวนพิกเซลในหน้าต่าง W ฟิลเตอร์การเฉลี่ย นั่นคือ แต่ละพิกเซลจะถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยของสี่พิกเซลที่ใกล้ที่สุด โดยการใช้ฟิลเตอร์แบบค่าเฉลี่ยกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีคุณสมบัติแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise) พบว่าขนาดหน้าต่างที่เพิ่มขึ้นกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ผลเสียที่เกิดคือภาพจะเบลอ

- ฟิลเตอร์แบบค่ามีเดีย (Median Filtering) ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนแบบเม็ดขาวและดำหรือที่รู้จักกันในชื่อ Salt and Pepper Noise ในกรณีนี้พิกเซลเอาต์พุตจะถูกแทนที่ด้วยค่ามีเดียของพิกเซลที่อยู่ในหน้าต่างรอบๆ พิกเซลของภาพอินพุต นั่นคือ

$$y(m, n) = \text{median}\{x(m - k, n - l), (k, l) \in W\}$$

โดยที่ W คือหน้าต่าง อัลกอริทึมสำหรับการฟิลเตอร์แบบมีเดียจะทำการเรียงค่าพิกเซลในลักษณะที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วทำการเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางโดยทั่วไปแล้วขนาดของหน้าต่างถูกเลือกให้ Nw มีค่าเป็นเลขคี่ เช่นขนาด 3×3 เป็นต้น ถ้า Nw เป็นเลขคู่ค่ามีเดียจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างสองค่าตรงกลาง เนื่องจากสัญญาณรบกวน Salt & Peppers มีค่าความเข้ม น้อยสุด หรือมากที่สุด ในหน้าต่าง จึงไม่มีผลต่อการหาค่ามีเดีย กล่าวคือค่ามีเดียเป็นค่าของความเข้มแสงของพิกเซลที่มีค่าตรงกลางในหน้าต่างซึ่งเป็นของพิกเซลปกติที่ไม่ปนเปื้อนสัญญาณรบกวน ฟิลเตอร์กรองแบบมีเดียจะได้ผลดีกรณีที่มีเม็ด Salt & Pepper มีขนาดไม่ใหญ่มาก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้นำเสนองานวิจัยได้เลือกอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกทรอนิกส์เป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกดซึ่งเป็นสัญญาณทางกายภาพให้เป็นแรงดันและกระแส ซึ่งผลสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์มีสัญญาณที่ต้องปรับปรุงคือ มีสัญญาณรบกวนซึ่งต้องใช้วงจรลดสัญญาณรบกวน โดยสัญญาณมีขนาดเล็กทำให้ต้องใช้วงจรขยายแรงดัน อีกทั้งเซ็นเซอร์แต่ละตัวยังมีการตอบสนองต่อแรงกดไม่เท่ากันจึงต้องใช้การปรับค่าออฟเซตของเซ็นเซอร์แต่ละตัว เมื่อทำการปรับปรุงสัญญาณแล้วจึงทำการแก้ปัญหาให้สัญญาณที่ได้มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้นเพื่อง่ายในการวิเคราะห์และการสุ่มข้อมูลและการแปลงสัญญาณอนาล็อกที่เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยกำลังศึกษาระดับความละเอียดของข้อมูล

3.1 กระบวนการสร้างอุปกรณ์วัดแรงดัน

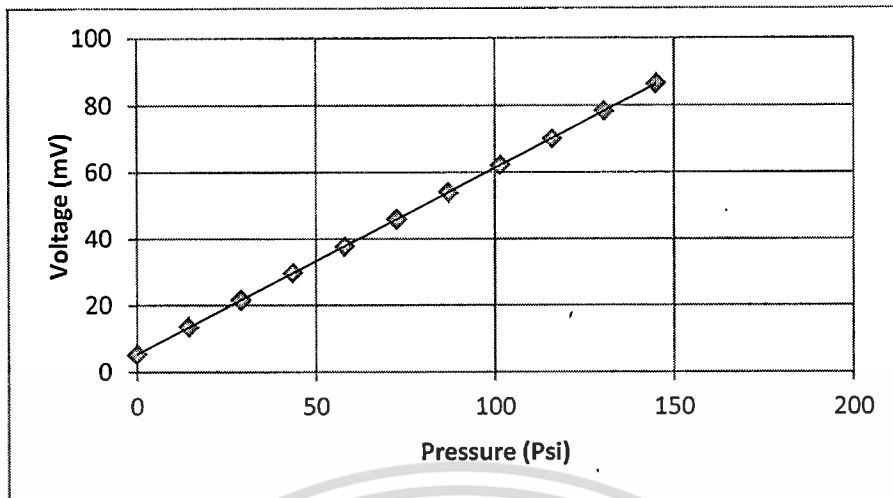
จากการศึกษาอุปกรณ์วัดแรงดันที่มีและทำการทดลองนำมาวัดแรงกดทับด้วย Piezo-resistive pressure sensor มาทำการทดลองวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันโดยทางอ้อมในบรรยากาศที่ความดันในหน่วย psi (Pounds per square inch) โดยทำให้ระบบปิดหรือให้ห้องสุญญากาศที่มีระบบปิดและทำการอัดความดันอากาศเข้าไปที่ค่าต่างๆ เพื่อทำการวัดแรงดันไฟฟ้าของเซนเซอร์ ผลการวัดพบว่าค่าความดันที่อ่านได้เป็นไปตามคุณสมบัติตามตารางที่ 2.1 และมีค่าสูงสุดที่ 5 ถึง 87 mV. ที่ความดันบรรยากาศถึง 10.0 Bar ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ความดันและแรงดันไฟฟ้า

ความดัน (PSI)	แรงดันไฟฟ้า (mV)					เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0.0	5	6	6	5	5	5.4
14.5	13	14	14	13	14	13.6
29.0	21	22	22	21	22	21.6
43.5	30	30	30	29	30	29.8
58.0	38	38	38	37	38	37.8
72.5	46	46	46	46	46	46
87.0	54	54	54	54	54	54
101.5	62	62	63	62	62	62.2
116.0	70	70	71	70	70	70.2
130.5	78	79	79	79	78	78.4
145.0	86	87	87	86	87	86.6

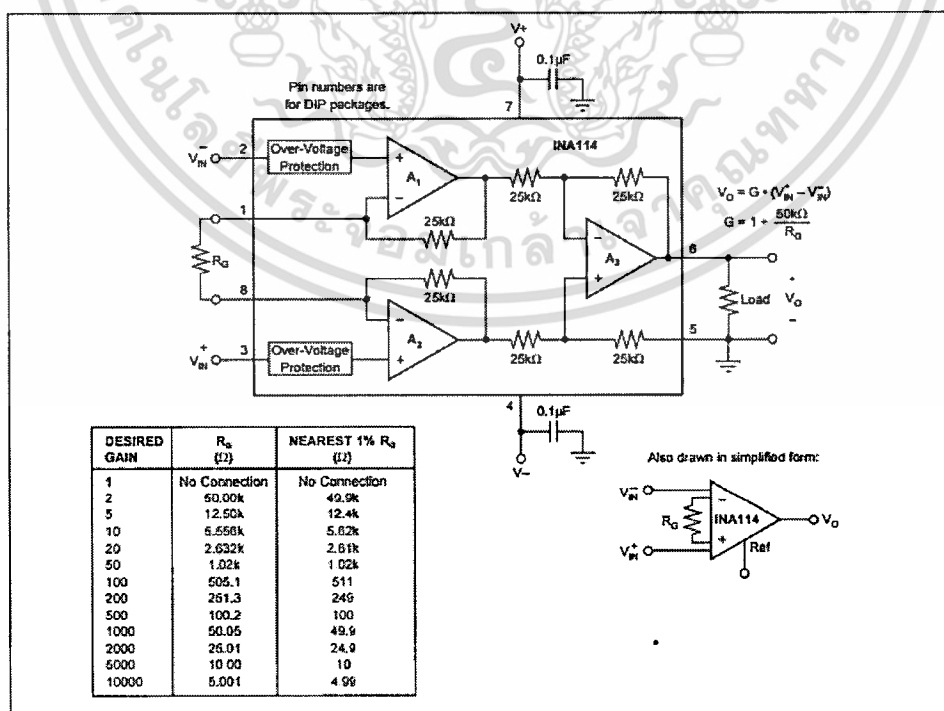
จากค่าแรงดันที่อ่านได้ให้ความเป็นเชิงเส้นโดยพิจารณาจากการนำค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับค่าแรงดันมาทำการหาความสัมพันธ์จะได้ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1 จากการทดลองวัดแรงดันจากชุดทดลองจะพบว่าสัญญาณที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนไหวของเซนเซอร์ต้องมีความนิ่งจึงทำการอ่านค่าได้ซึ่งใช้เวลารอนจนกว่าสัญญาณจะคงที่จึงได้ออกแบบวงจร Instrumentation Amplifier ผลการตอบสนองแรงดันไฟฟ้าเป็นเชิงเส้นกับความดันแต่ยังมีค่าต่ำเมื่อต้องนำไปใช้งานในวงจรประมวลผลจึงต้องขยาย 50 เท่าเพื่อให้มีค่าความแรงดันเหมาะสมกับส่วนประมวลผล ซึ่งจะนำค่าแรงดันที่ขยายได้ไปทำการแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลต่อไป นอกจากนี้จากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต ได้แนะนำให้เลือกใช้ Op-Amp ที่มี Input Impedance ที่สูง และ Offset ต่ำ เพื่อลดความผิดพลาดปริมาณแรงดันที่วัดได้จากการดึงกระแสของวงจร Voltage Divider ที่ เซนเซอร์ถูกเชื่อมต่ออยู่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Op-Amp เบอร์ INA 114 ที่มี Gain = 50 และสามารถทำงานในช่วงแรงดัน 5 โวลต์ และมี Input Impedance สูงถึง $10^{12} \Omega$



รูปที่ 3.2 การใช้ Op-Amp เบอร์ INA 114

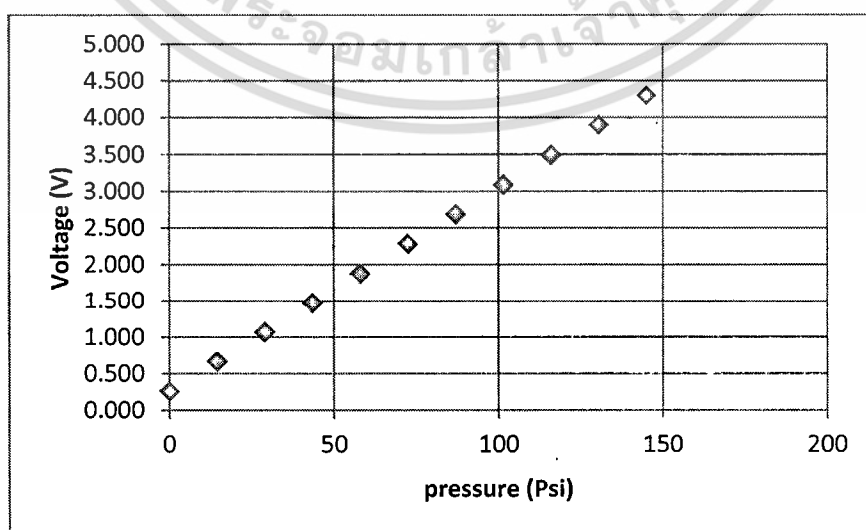
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเซนเซอร์ทำการวัดผ่านวงจรวัดและวงจรมอบ 50 เท่าแล้วปรากฏว่าสัญญาณออฟเซตของวงจรมอบถูกขยายด้วยจึงต้องทำการเพิงวงจรมอบปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อสัญญาณผ่านวงจรมอบความแตกต่างมักจะมีคักตาไฟฟ้าออฟเซตถูกขยายมาด้วยซึ่งกระแสไฟฟ้ากระแสตรง สามารถกำจัดได้โดยตัวเก็บประจุแต่ปัญหาที่ตามมา คือ เมื่อเกิดสัญญาณออฟเซตจริงๆ อาจเกิดจากการที่ขยับตัวเซนเซอร์ ทำให้ค่างแรงดันยกระดับขึ้นจากศูนย์และเข้าสู่ระดับศูนย์ซ้ำมาก เนื่องจากค่า Constant ของตัวเก็บประจุกับความต้านทานอินพุทของวงจรมอบไปที่มีค่ามาก ดังนั้น สัญญาณที่ได้จะสูงจากจุดศูนย์ เมื่อนำมาทดลองวัดในภาชนะปิดที่ความดันต่างๆ จะได้ความสัมพันธ์ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ความดันและแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านการปรับปรุงสัญญาณ

ความดัน (PSI)	แรงดันไฟฟ้า (V)					เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
0.0	0.261	0.274	0.282	0.248	0.267	0.266
14.5	0.667	0.680	0.684	0.649	0.669	0.670
29.0	1.074	1.085	1.086	1.051	1.071	1.074
43.5	1.481	1.490	1.488	1.453	1.473	1.477
58.0	1.888	1.895	1.890	1.855	1.875	1.881
72.5	2.295	2.300	2.292	2.257	2.277	2.284
87.0	2.701	2.706	2.694	2.659	2.679	2.688
101.5	3.108	3.111	3.096	3.061	3.081	3.091
116.0	3.515	3.516	3.498	3.463	3.483	3.495
130.5	3.922	3.921	3.900	3.865	3.885	3.898
145.0	4.329	4.326	4.302	4.267	4.287	4.302

จากค่าแรงดันที่อ่านได้ให้ความเป็นเชิงเส้นโดยพิจารณาจากการนำค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยกับค่าแรงดันมาทำการหาความสัมพันธ์จะได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านการปรับปรุงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสร้างอุปกรณ์ประมวลผลการวัดแรงดัน

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกระบบไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต รุ่น ATMEGA328P จากบริษัท ATMEL ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกจากวงจรส่วนหน้าให้เป็นข้อมูลดิจิทัล ผ่านทางช่องสัญญาณแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog-to-Digital Converter) โดยเมื่อมีการแปลงสัญญาณแล้วจะมีการส่งข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลไปยัง LabVIEW สำหรับระบบประมวลผลที่ได้ออกแบบนั้น ได้ทำการเชื่อมต่อวงจรส่วนหน้าโดยต่อเอาต์พุตของวงจรส่วนหน้าเข้ากับขา A0 ถึง A6 ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วจะมีการประมวลผลภายในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเสร็จสิ้นการประมวลผลก็จะมีการแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

ATMEGA328P-PU Chip to Arduino Pin Mapping

Arduino function		Arduino function
reset	(PCINT14/RESET) PC6	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13) analog input 5
digital pin 0 (RX)	(PCINT16/RXD) PD0	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12) analog input 4
digital pin 1 (TX)	(PCINT17/TXD) PD1	PC3 (ADC3/PCINT11) analog input 3
digital pin 2	(PCINT18/INT0) PD2	PC2 (ADC2/PCINT10) analog input 2
digital pin 3 (PWM)	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	PC1 (ADC1/PCINT9) analog input 1
digital pin 4	(PCINT20/XCK/T0) PD4	PC0 (ADC0/PCINT8) analog input 0
VCC	VCC	22 GND GND
GND	GND	21 AREF analog reference
crystal	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	20 AVCC VCC
crystal	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	19 PB5 (SCK/PCINT5) digital pin 13
digital pin 5 (PWM)	(PCINT21/OC0B/T1) PD5	18 PB4 (MISO/PCINT4) digital pin 12
digital pin 6 (PWM)	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	17 PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3) digital pin 11 (PWM)
digital pin 7	(PCINT23/AIN1) PD7	16 PB2 (SS/OC1B/PCINT2) digital pin 10 (PWM)
digital pin 8	(PCINT0/CLKO/CP1) PB0	15 PB1 (OC1A/PCINT1) digital pin 9 (PWM)

Digital Pins 11, 12 & 13 are used by the ICSP header for MISO, MOSI, SCK connections (Atmega168 pins 17, 18 & 19). Avoid low-impedance loads on these pins when using the ICSP header.

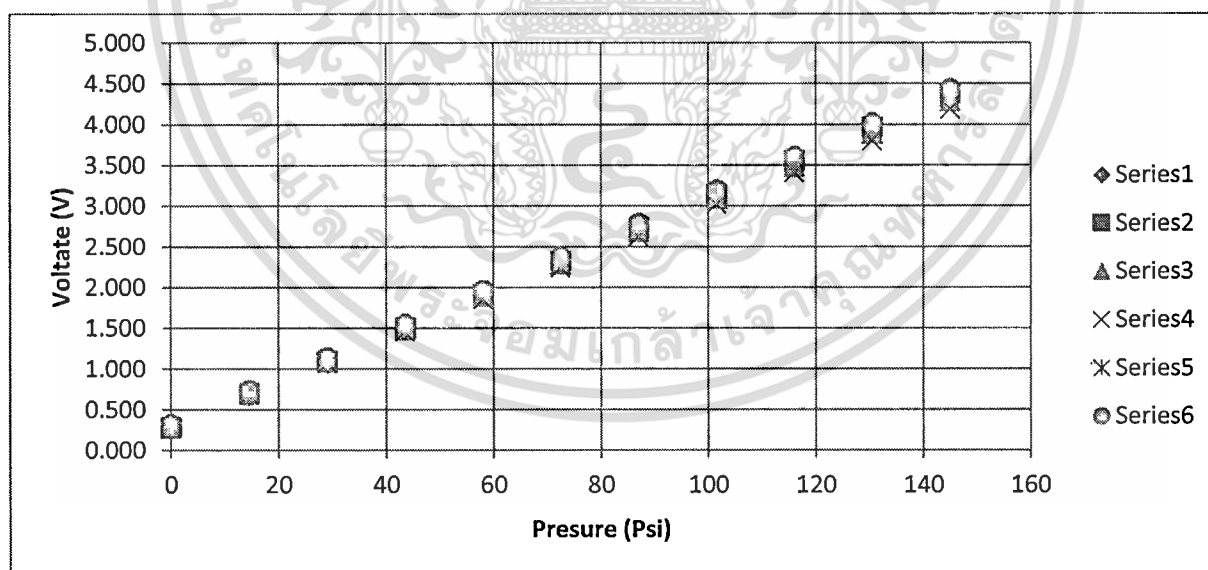
รูปที่ 3.4 โครงสร้างไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต รุ่น ATMEGA328P

หลักการทำงานของโปรแกรมคือ เมื่อมี input สัญญาณ Analog เข้าที่ขา A0 ถึง A5 ที่บอร์ด Arduino ในโปรแกรมจะทำการวนลูปเพื่อเช็คค่าที่รับเข้ามาทุกครั้งและแสดงผลทางหน้าจอ Monitor ของ Labview พร้อมทั้งแสดงค่าลงในตารางให้ด้วยโดยสามารถแบ่งตารางข้อมูลของ Sensor เป็นหกจุดเพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าและนำไปวิเคราะห์ความดันซึ่งเมื่อทดลองวัดโดยการนำเซนเซอร์ทั้งหกตัวมาทำการวัดความดันแต่ละจุดเท่ากันได้ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งพบว่าค่าออฟเซทของเซนเซอร์ไม่เท่ากันจึงทำการปรับค่าออฟเซทของเซนเซอร์แต่ละตัวต่อไป

ตารางที่ 3.3 การประมวลผลความดันและแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านการปรับปรุงสัญญาณทั้ง 6 จุด

ความดัน (PSI)	แรงดันไฟฟ้า (V)					
	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	Sensor 6
0.0	0.261	0.278	0.286	0.293	0.308	0.329
14.5	0.667	0.688	0.686	0.683	0.710	0.740
29.0	1.074	1.098	1.087	1.072	1.113	1.151
43.5	1.481	1.508	1.487	1.462	1.516	1.562
58.0	1.888	1.918	1.887	1.852	1.919	1.972
72.5	2.295	2.328	2.288	2.242	2.321	2.383
87.0	2.701	2.738	2.688	2.631	2.724	2.794
101.5	3.108	3.148	3.088	3.021	3.127	3.205
116.0	3.515	3.558	3.488	3.411	3.530	3.616
130.5	3.922	3.968	3.889	3.801	3.932	4.027
145.0	4.329	4.378	4.289	4.190	4.335	4.438

จากค่าแรงดันที่อ่านได้ให้ความเป็นเชิงเส้นโดยพิจารณาจากการนำค่าแรงดันไฟฟ้ากับค่าแรงดันมาทำการหาความสัมพันธ์จะได้ดังรูปที่ 3.5 เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3.3 จะสามารถปรับค่าออฟเซทของเซนเซอร์โดยการเขียนโปรแกรมนำค่าแรงดันที่เริ่มต้นลบออกทุกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ความดันทุกค่าของเซนเซอร์แต่ละตัวได้



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านการปรับปรุงสัญญาณ 6 จุด

จากตาราง 3.3 พบว่าเซนเซอร์แต่ละตัวจะมีค่าออฟเซทตั้งแต่ 0.261 - 0.329 mV เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อทำการปรับค่าออฟเซททั้ง 6 จุด

ความดัน (PSI)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)					
	sensor 1	sensor 2	sensor 3	sensor 4	sensor 5	Sensor 6
0.0	0.83	1.69	0.68	3.33	0.18	1.93
14.5	0.76	1.59	0.80	3.43	0.24	1.81
29.0	0.82	1.65	0.75	3.38	0.18	1.86
43.5	0.85	1.67	0.73	3.36	0.15	1.88
58.0	0.82	1.64	0.77	3.39	0.18	1.85
72.5	0.84	1.66	0.75	3.37	0.16	1.86
87.0	0.82	1.63	0.77	3.40	0.18	1.84
101.5	0.84	1.65	0.76	3.38	0.17	1.86
116.0	0.82	1.63	0.78	3.40	0.18	1.84
130.5	0.83	1.64	0.77	3.39	0.17	1.85
145.0	0.83	1.69	0.68	3.33	0.18	1.93

จากการปรับค่าออฟเซทผลค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าระหว่าง 0.15 - 3.43 % ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งเมื่อกลับไปคำนวณพบว่า เป็นผลมาจากวงจรถ่ายยที่ให้การขยายที่มีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากเซนเซอร์มีขนาดแรงดันที่เล็กมากในระดับมิลลิโวลต์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อต้องนำเซนเซอร์ไปทำการวัดจริงต้องมีการคำนวณความคลาดเคลื่อนอื่นๆอีก และต้องทำการปรับเซนเซอร์แต่ละตัวให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น เพราะเมื่อนำชิ้นงานไปวัดแรงกดที่บ่งชี้จริงต้องทำการแยกเซนเซอร์ออกเป็นจุดที่ต้องการวัดต่อไป

3.3 การสร้างประมวลผลภาพ

เมื่อเราพิจารณาจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดจะทำให้เราอ่านค่าได้ยาก จึงนำค่าแรงดันที่ได้ทำการแบ่งเป็นระดับ 256 ระดับเพื่อจะแทนสีในแต่ละค่าแรงดันเพื่อความสะดวกในการอ่าน จากการคำนวณจะได้ค่าแรงดันเท่ากับ 0.02 V ต่อระดับสี หรือเมื่อเทียบกับความดัน 3.248 Psi ต่อระดับสี 0.228357 kg/cm² เมื่อทำการคำนวณค่าแรงดันที่ 10 bar หรือ 145 Psi หรือ 10.945 kg/cm² ที่กระทำต่อเซนเซอร์ซึ่งจำนำข้อมูลไปทำการทดลองต่อไป

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวัดแรงกดทับฝ่าเท้าด้วยเซนเซอร์วัดความดันโดยจะทำการวัดทั้งหมด 6 จุด ซึ่งเป็นการจำลองการวัดจริงเนื่องจากการวัดจริงต้องใช้ 450 จุด ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

4.1 วัดแรงกดทับฝ่าเท้า

การทดลองวัดด้วยเซนเซอร์ชนิดต่างๆ ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดเซนเซอร์ชนิดต่างๆ หลายรูปแบบ เช่น เปียโซเซรามิกแบบคาร์ปาซิเตอร์ เซนเซอร์วัดความดันอากาศ และเซนเซอร์แบบความต้านทานแบบความนำของเมมเบรนด ซึ่งจะสรุปได้ดังนี้

1. เปียโซเซรามิกแบบคาร์ปาซิเตอร์

ข้อดีคือ

- มีราคาถูก
- หาซื้อง่าย
- มีหลายขนาดและความหนาซึ่งจะได้ความไวในการรับแรงกด
- สามารถวัดแรงกดทับได้โดยตรง แต่ต้องมีการถ่ายแรงกดจากเท้าสู่ตำแหน่งของบริเวณ

เซรามิก

ข้อเสียคือ

- อุปกรณ์มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ ทำให้ต้องมีการกำหนดช่วงค่าแรงดันที่ได้
- อุปกรณ์แต่ละตัวมีค่าออฟเซตไม่เท่ากัน และความไวไม่เท่ากัน แต่สามารถทำการคัดเลือกอุปกรณ์ให้มีทั้งความไวและค่าออฟเซตใกล้เคียงกันได้เนื่องจากข้อดีคือราคาถูก
- เมื่อทำการวัดแรงกดทับจริงจะมีช่วงที่น้ำหนักในช่วงวิกฤติ หรือ ขณะวางเท้าไม่สม่ำเสมอ เป็นผลให้เกิดความเสียหายในส่วนของวัสดุเปียโซเซรามิก

2. เซนเซอร์วัดความดันอากาศ

ข้อดีคือ

- มีความเป็นเชิงเส้นสูง
- วัดความดันได้สูงถึง 450 Psi
- มีขนาดแรงดันที่ออกมาให้เลือกซึ่งสามารถเลือกในช่วง 0.25 - 4.5 V. ทำให้ไม่ต้องทำวงจรวัด วงจรขยาย และปรับค่าศูนย์

ข้อเสียคือ

- มีราคาแพง
- ต้องทำการวัดแบบทางอ้อมคือต้องสร้างระบบปิดให้เซนเซอร์
- มีขนาดบรรจุภัณฑ์ขนาดไม่เหมาะสำหรับการวัดแรงกดทับ

3. เซนเซอร์แบบความต้านทานแบบความนำของเมมเบรนดมีข้อดีและข้อเสียเหมือนกับเซนเซอร์วัดความดันอากาศแต่มีความไว ซึ่งสามารถเลือกช่วงความดันที่จะวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเซนเซอร์ชนิดต่างๆ พบว่าเซนเซอร์ที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 มีความเหมาะสมสำหรับทำการวัดแรงกดทับ แต่อาจจะไม่ดีที่สุดในการวัดแบบทางอ้อมและต้องสร้างระบบปิดให้กับตัวเซนเซอร์ การสร้างระบบอากาศปิดก็เป็นส่วนดีบางส่วนเช่นทำให้อุปกรณ์ไม่เกิดความเสียหายหากเกินแรงกดทับมากกว่าความสามารถของโครงสร้าง โดยเซนเซอร์จะใช้ข้อดีของเปียโซรีซิสแตนตต์ต่อเป็นวงจรรีบรัดส์ซึ่งจะรักษาเสถียรภาพดีพอสมควร อีกทั้งความเป็นเชิงเส้นที่ได้จากวงจรรีบรัดส์เองและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีความเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงที่ทำการวัดระหว่าง 1 - 10 bar หรือ 14.5 - 145 Psi หรือ 1.0945 - 10.945 kg/cm²

การออกแบบการทดลองได้จำลองการวัดด้วยเซนเซอร์เพียง 6 ชุดแต่ละชุดมีพื้นที่สัมผัส 1 cm² ในระบบอากาศปิดโดยทำการทดลองค่าต่างๆ เมื่อทำการคำนวณพื้นที่สัมผัสของฝ่าเท้าในการทดลองขนาดกว้าง 15 cm และยาว 30 cm ซึ่งต้องใช้เซนเซอร์และวงจรรีบรัดส์ในการปรับปรุงสัญญาณก่อนเข้าคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 450 ชุด แต่ในการทดลองจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีสัญญาณเข้าแบบอนาล็อก 6 ช่อง ผู้ทำการทดลองจึงจำลองการวัดแรงกดทับเพียง 6 จุด โดยในพื้นที่ 45 cm² จะมีพื้นที่ประมาณ 10 - 15 % ที่จะต้องรับน้ำหนักตัวประมาณ 50 % ที่บริเวณส้นเท้าในการทดลองนี้มีสมมุติฐานว่าพื้นที่ 10 - 15 % นี้ต้องรับน้ำหนักคน 100 kg หรือน้ำหนักที่ส้นเท้า 50 kg ด้วยเซนเซอร์น้อยที่สุดคือ 10 % เท่ากับ 45 ตัว ในการทดลองในบทที่ 3 สามารถยืนยันได้ว่าเซนเซอร์แต่ละตัวสามารถรับแรงกดได้ 10.945 kg/cm² ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักมาตรฐาน 100 kg

4.2 การปรับและประมวลผลเซนเซอร์วัดแรงกดทับ

การปรับและประมวลผลได้นำผลการทดลองจากบทที่ 3 มาทำการวัดแรงกดทับจะพบว่าจะไม่พบปัญหาเรื่องการวัดในระบบอากาศปิด แต่ถ้านำมาวัดจริงอาจจะเกิดปัญหา 2 ประการหลักคือ

1. การที่น้ำหนักหรือแรงกดทับที่วัดไม่นิ่ง อันเป็นผลมาจากการทรงตัวที่ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ หรืออาจเป็นที่ระบบปิดของเซนเซอร์มีการยุบตัวมากเกินไปทำให้ในส่วนของอุ้งเท้าที่ปกติจะไม่ได้สัมผัสกับพื้นมีแรงดันปรากฏ ซึ่งในการพัฒนาต่อไปจะต้องทำการปรับช่วงเวลาที่ใช้ในการนำข้อมูลน้ำหนักผู้วัดแรงกดทับก่อนเพื่อปรับปรุงให้โปรแกรมคำนวณแรงดันแต่ละจุดให้มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

2. เซนเซอร์มีการยุบตัวมากเกินไปทำให้มีแรงกดทั้งฝ่าเท้า การแก้ปัญหาคือการเพิ่มความดันระบบอากาศปิดเบื้องต้นให้สูงขึ้นจะเป็นผลให้การยุบตัวของระบบปิดน้อยลง และเมื่อปรับค่าออฟเซทของเซนเซอร์แล้วทำให้เราสามารถหาค่าเปลี่ยนแปลงของความดันแทนการหาความดันจริงจากการกดทับ ซึ่งต้องใช้โปรแกรมในการวัดทางอ้อมและใช้น้ำหนักของผู้วัดเป็นตัวคำนวณค่าความเปลี่ยนแปลง และทำการประมวลผลให้ได้น้ำหนักกดทับจริงต่อไป

4.3 การสร้างประมวลผลภาพ

เนื่องจากการทดลองใช้เซนเซอร์เพียง 6 ชุดในการสร้างการประมวลผลภาพจะให้ลักษณะแบบ Wafer mapping ซึ่งเป็นการแสดงผลด้วยระดับความดัน 256 ช่วงแต่ละช่วงสามารถบอกรายละเอียดได้ 0.228357 kg ในส่วนการทำส่วนต่อขยายให้ได้ 450 จุด อาจต้องให้ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวอื่นที่มอานาลอกอินพุตมากกว่านี้และมีความเร็วในการแปลงข้อมูลมากขึ้นด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและออกแบบการวัดแรงกดทับฝ่าเท้าผู้วิจัยได้ทำการทดลองอุปกรณ์วัดแรงกดประเภทต่างๆ ซึ่งมีข้อดีและเสียดังได้กล่าวไปแล้ว ในการทดลองที่ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองนี้ได้เลือกอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกทรานซิสเตอร์เป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกดซึ่งเป็นสัญญาณทางกายภาพให้เป็นแรงดันที่มีความเป็นเชิงเส้นและมีความไวที่เหมาะสมกับการนำมาวัดแรงกดทับฝ่าเท้าได้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปการศึกษาและออกแบบเครื่องวัดแรงกดทับของฝ่าเท้า

คุณสมบัติ	
ชนิดเซนเซอร์	Piezoresistive pressure sensor
แรงกดทับสูงสุด	10.945 kg/cm ² ความละเอียด 0.228 kg/cm ²
วงจรขยาย	INA 114 ที่มี Gain = 50 เท่า
วงจรแปลงสัญญาณ	ATMEGA328P 8 bit
โปรแกรมวิเคราะห์และแสดงผล	LABView

การออกแบบการทดลองได้จำลองการวัดด้วยเซนเซอร์เพียง 6 ชุดแต่ละชุดมีพื้นที่สัมผัส 1 cm² ในระบบอากาศปิดโดยทำการทดลองค่าต่างๆ เมื่อทำการคำนวณพื้นที่สัมผัสของฝ่าเท้าในการทดลองขนาดกว้าง 15 cm และยาว 30 cm ซึ่งต้องใช้เซนเซอร์และวงจรในการปรับปรุงสัญญาณก่อนเข้าคอมพิวเตอร์ทั้งหมด 450 ชุด แต่ในการทดลองจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีสัญญาณเข้าแบบอนาล็อก 6 ช่อง ผู้ทำการทดลองจึงจำลองการวัดแรงกดทับเพียง 6 จุด โดยในพื้นที่ 45 cm² จะมีพื้นที่ประมาณ 10 - 15 % ที่จะต้องรับน้ำหนักตัวประมาณ 50 % ที่บริเวณสันเท้าในการทดลองนี้มีสมมุติฐานว่าพื้นที่ 10 - 15 % นี้ต้องรับน้ำหนักคน 100 kg หรือน้ำหนักที่สันเท้า 50 kg ด้วยเซนเซอร์น้อยที่สุดคือ 10 % เท่ากับ 45 ตัว ในการทดลองในบทที่ 3 สามารถยืนยันได้ว่าเซนเซอร์แต่ละตัวสามารถรับแรงกดได้ 10.945 kg/cm² ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักมาตรฐาน 100 kg

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดด้วยงบประมาณและเวลาในการทำวิจัยมีจำกัดจึงมีอีกหลายปัจจัยที่ยังไม่ได้ทำการทดลองให้สมบูรณ์ แต่ก็ยังเป็นข้อมูลเริ่มต้นที่ดีสำหรับการทำงานวิจัยต่อไป ผู้ทำงานวิจัยมีแนวทางในการพัฒนาให้สมบูรณ์ขึ้น 2 ประการคือ

1. การที่น้ำหนักหรือแรงกดทับที่วัดไม่นิ่ง อันเป็นผลมาจากการทรงตัวที่ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ หรืออาจเป็นที่ระบบปิดของเซนเซอร์มีการยุบตัวมากเกินไปทำให้ในส่วนของอุ้งเท้าที่ปกติจะไม่ได้สัมผัสกับพื้นมีแรงดันปรากฏ ซึ่งในการพัฒนาต่อไปจะต้องทำการปรับช่วงเวลาที่ใช้ในการนำข้อมูลน้ำหนักผู้วัดแรงกดทับก่อนเพื่อปรับปรุงให้โปรแกรมคำนวณแรงดันแต่จะให้มีความเปลี่ยนแปลงไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

2. เซนเซอร์มีการยุบตัวมากเกินไปทำให้มีแรงกดทับฝ่าเท้า การแก้ปัญหาคือการเพิ่มความดันระบบอากาศปิดเบื้องต้นให้สูงขึ้นจะเป็นผลให้การยุบตัวของระบบปิดน้อยลง และเมื่อปรับค่าออฟเซทของเซนเซอร์แล้วทำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เราสามารถหาค่าเปลี่ยนแปลงของความดันแทนการหาความดันจริงจากการกดทับ อาจจะเริ่มค่าแรงดันที่ 20, 40 และ 60 Psi และใช้โปรแกรมในการวัดทางอ้อมและใช้น้ำหนักของผู้วัดเป็นตัวคำนวณค่าความเปลี่ยนแปลง และทำการประมวลผลให้ได้น้ำหนักกดทับจริงต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสรุปการเงิน
เลขที่โครงการ 2558A11862010
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ชื่อมหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....
ชื่อโครงการ (ไทย).....การศึกษาและออกแบบเครื่องวัดแรงกดทับของฝ่าเท้า.....
(อังกฤษ).....Study and design on foot pressure measurement.....

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย ดร.โยธิน วงศ์ประเสริฐ.....
รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558.....ถึงวันที่ 30 กันยายน 2560.....
ระยะเวลาดำเนินการ.....2 ปี 0 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558.....ถึงวันที่ 30 กันยายน 2560

รายจ่าย

หมวด	รายจ่ายสะสม จากรายงาน ครั้งก่อน	ค่าใช้จ่าย งวดปัจจุบัน	รวมรายจ่าย สะสมจนถึง งวดปัจจุบัน	งบประมาณรวม ทั้งโครงการ	คงเหลือ (หรือเกิน)
1. ค่าตอบแทน	-	-	-	-	-
2. ค่าจ้าง	-	-	-	-	-
3. ค่าวัสดุ	430,000	-	-	430,000	-
4. ค่าใช้สอย	-	-	-	-	-
5. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (ไปรตระบุเป็นข้อ ย่อย)	-	-	-	-	-
รวม	430,000	-	-	430,000	-

จำนวนเงินที่ได้รับและจำนวนเงินคงเหลือ

จำนวนเงินที่ได้รับ.....430,000 บาท.....
งวดที่ 1 258,000 บาท 60 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) 7 / 4 / 58.....
งวดที่ 2 172,000 บาท 40 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ว/ด/ป) 3 / 07 / 58.....
รวม430,000 บาท.....

.....
ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

...../...../.....

.....
ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Bauman, J. H., Girling, J. P., Brand, P. W. (1963). Plantar pressures and trophic ulceration: an evaluation of footwear. *J. Bone Joint Surg.* 45B, 652- 673.
- [2] Godfrey, C. M., Lawson, G. A., Stewart, W. A. (1967). A method for determination of pedal pressure changes during weight-bearing: preliminary observations in normal and arthritic feet. *Arthritis Rheum.* 10(2), 135-140.
- [3] Chi-Hsun Wu. Image Analysis System for Acquiring Three-Dimensional Footprint Contour. Thesis of National Cheng Kung University, Taiwan, R.O.C.,(2002)
- [4] Rutherford A., Footprints., *J Audiov Media Med.* 1983:6(3):80-8.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

นายโยธิน วงศ์ประเสริฐ

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วศ.ด	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง	2549
วศ.ม	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร-ลาดกระบัง	2542
วท.บ	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยศิลปากร	2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้