สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์บันทึกสถานะการณ์ของยานพาหนะและผู้โดยสาร

(Black Box for Car System)

โครงการวิจัยที่สนับสนุนจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีงบประมาณ 2551

หัวหน้าโครงการ นายบุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์
ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

คณะทำงาน
นาย นครินทร์ คำเขียว
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

b.12329010
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสือเป็นสมบัติของท่าน
โปรดช่วยกันรักษา

www.lib.kmitl.ac.th

สำนักหอสมุดกลาง โทร. 0 2739 2221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์บันทึกสถานการณ์ของยานพาหนะและผู้โดยสาร

นายบุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์ หัวหน้าโครงการ
นายนครินทร์ คำเขียว ผู้พัฒนา

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการพัฒนาระบบบันทึกพฤติกรรมการขับรถยนต์ซึ่งจะมุ่งเน้นบันทึกข้อมูลภาพและความเร่งของรถยนต์เป็นหลัก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR) เบอร์แอทเมการ์ 128 (Atmega128) เป็นหน่วยประมวลผลและทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง ซึ่งจะส่งสัญญาณความเร่งออกมาในรูปแบบพีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) อีกทั้งยังสามารถรายงานค่าความเร่งออกมาได้สองแกน และทำการติดต่อรับภาพจากโมดูลกล้องซี 328 (C328) ที่สามารถบีบอัดภาพให้อยู่ในรูปแบบเจเพ็ก (Jpeg) ซึ่งเป็นหลักการบีบอัดภาพถ่ายที่มีประสิทธิภาพสูงอีกทั้งยังสามารถเลือกความละเอียดของภาพได้หลายขนาด โดยภาพที่รับได้จากโมดูลกล้องจะถูกนำไปบันทึกลงในหน่วยความจำประเภทเอสดีการ์ด (SD Card) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่มีความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับสภาวะแวดล้อมที่มีการกระทบกระเทือนและสั่นไหวได้ โดยเมื่อนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการบันทึกมาการทำวิเคราะห์จะสามารถทราบถึงพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถยนต์ได้

ว CH
TJ
223
.D4
ป 6240

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 116871
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Black Box forCar System

Boonchana Purahong Project Manager

Nakarin Kamkheaw Developer

Abstract

This project proposes to develop car black box system. It collects photo and accelerate. The core of project is AVR micro controller with Atmega128. The micro controller will get accelerate value from accelerate meter with PWM signal in this sensor can report accelerate value 2 axis and it will get the photos from C328 module, whit this module can compress the photos to Jpeg format and can select a lot of resolution. The photos which been shot will be saved in the SD card. When we get all data, we can analyze it. So we know the behavior of driver.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	B
Abstract	C
สารบัญ	D
สารบัญตาราง	F
สารบัญภาพ	G
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	1
1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ศึกษาแพลตฟอร์มที่ใช้พัฒนา	3
2.2 ระบบไฟล์ (File system)	4
2.3 กล้องถ่ายภาพ (Camera)	7
2.4 การบีบอัดภาพ (Image compression)	8
2.5 ความเร่ง (Accelerate)	11
2.6 หน่วยความจำ (Memory storage)	14
2.7 โปรโตคอลในการเชื่อมต่อ (Connection protocol)	18
บทที่ 3 แนวทางการพัฒนา	21
3.1 การพัฒนาฮาร์ดแวร์(hardware)	21
3.1.1 ศึกษาการทำงานของฮาร์ดแวร์แล้วทำการออกแบบอุปกรณ์	21
3.1.2 จัดทำอุปกรณ์	28
3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์(software)	28
3.2.1 ศึกษาการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง	28
3.2.2 การกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับคอนโทรลเลอร์	32
3.2.3 การอ่านค่าความกว้างคาบสัญญาณของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง	33
บทที่ 4 การทดลอง ผลการ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทวิจารณ์ และสรุป	36
5.1 บทวิจารณ์และสรุปผล	36
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	36
5.3 แนวทางการแก้ไข	36
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ	36
บรรณานุกรม	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าข้อจำกัดต่าง ๆ ของ ระบบไฟล์แบบ FAT	5
ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดการ Compatible ของระบบไฟล์ชนิดต่าง ๆ	6
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบระหว่างแรง g และเหตุการณ์ต่าง ๆ	14
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดขาของกล้อง C328	24
ตารางที่ 3.2 ขาเอสดี/เอ็มเอ็มซี	27
ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและความโน้มเอียงทางแกน X และ Y	29
ตารางที่ 4.1 การทดสอบเครื่องวัดขนาดวัตถุ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.13 แสดงความเร่ง (a) > 0g ค่า duty cycle จะมากกว่า 50%	31
รูปที่ 3.14 แสดงตำแหน่งของภายในรีจิสเตอร์ TCCRnA	32
รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างโค๊ดที่ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโมดูลแค๊ปเจอร์	32
รูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่างโค๊ดที่ใช้อ่านค่าความกว้างของสัญญาณจากโมดูลแค๊ปเจอร์	33
รูปที่ 4.1 แสดงภาพตัวอย่างที่ได้จากโมดูล C328 และบันทึกลง SD Card	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

เนื่องจากสภาพปัจจุบันการคมนาคมโดยรถยนต์ส่วนบุคคลกลายเป็นความจำเป็นต่อผู้บริโภคมากขึ้นเพราะมีความสะดวกสบายมากกว่าจะใช้บริการจากขนส่งมวลชน จึงทำให้กลายเป็นความต้องการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลในการคมนาคมขนส่งมากขึ้นตามไปด้วยและยิ่งความต้องการของผู้บริโภคมีความต้องการมากขึ้นเท่าไร ก็จะส่งผลให้เกิดปัญหากับผู้ที่ใช้รถยนต์ตามมามากมายเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการจราจร ปัญหาการเกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น โดยเฉพาะอุบัติเหตุบนท้องถนนที่สูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินมากมาย ก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ มากมายเช่น การสูญเสียบุคคลอันเป็นที่รัก บุคคลสำคัญ และสูญเสียทรัพย์สิน ทำให้เกิดปัญหาผู้พิการ ปัญหาเด็กกำพร้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งต้องใช้งบประมาณของประเทศเป็นจำนวนมากในการแก้ปัญหาดังกล่าวบ่อยครั้งที่ปัญหาการเกิดอุบัติเหตุไม่สามารถระบุสาเหตุในการเกิดอุบัติเหตุได้ เนื่องจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาสั้นๆ เกิดจากปัจจุบันทันด่วน และรวดเร็ว บ่อยครั้งที่ผู้กระทำความผิดมักจะหลบหนี หรืออาจเสียชีวิตไปพร้อมกับเหตุการณ์นั้นๆ ทำให้ไม่สามารถนำผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกฎหมายได้ รวมทั้งไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าผู้ใดขับรถยนต์ได้ถูกต้องตามกฎจราจร ด้วยปัญหาต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้เกิดแนวคิดที่เป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหา คือทางผู้จัดโครงการจึงได้จัดทำโครงการบันทึกพฤติกรรมการขับรถยนต์ (Car Black Box System) ขึ้น ซึ่งโครงการดังกล่าวสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อหาทางแก้ไขและป้องกันต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่สามารถศึกษาพฤติกรรมการขับรถยนต์ที่ต้องการศึกษาได้
- เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่สามารถระบุสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุจากรถยนต์ได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถระบุผู้กระทำความผิดบนท้องถนนได้มากขึ้น
- สามารถศึกษาพฤติกรรมการขับรถเพื่อหาทางแก้ไขและป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นได้
- เพื่อให้ผู้พัฒนาและผู้สนใจมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องที่

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- สามารถวัดความเร่งที่เกิดขึ้นบนรถยนต์ได้
- สามารถแสดงผลการวัดความเร่งผ่านออกมาทางจอแอลซีดี
- สามารถถ่ายภาพเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีการดำเนินงาน

แบ่งเป็นการศึกษาดำเนินการด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

การดำเนินการทางด้านฮาร์ดแวร์ มีขั้นตอนดังนี้

- ศึกษาตัวอย่าง, ความหมาย และลักษณะโดยรวมของโครงการ
- วิเคราะห์หาฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นในการพัฒนาระบบ
- ศึกษาการทำงานของฮาร์ดแวร์แล้วทำการออกแบบแผนผังวงจร
- จัดทำวงจร
- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้เข้ากับวงจร
- ทำการทดสอบและค้นหาข้อผิดพลาด
- จัดทำเอกสาร

การดำเนินการทางด้านซอฟต์แวร์ มีขั้นตอนดังนี้

- ศึกษาตัวอย่าง, ความหมาย และลักษณะโดยรวมของโครงการ
- ศึกษาขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์บนไมโครคอนโทรลเลอร์
- ออกแบบโครงสร้างซอฟต์แวร์และรับค่าจากเซ็นต์เซอร์
- รวมการทำงานเข้ากับฮาร์ดแวร์
- ทำการทดสอบและค้นหาข้อผิดพลาด
- จัดทำเอกสาร

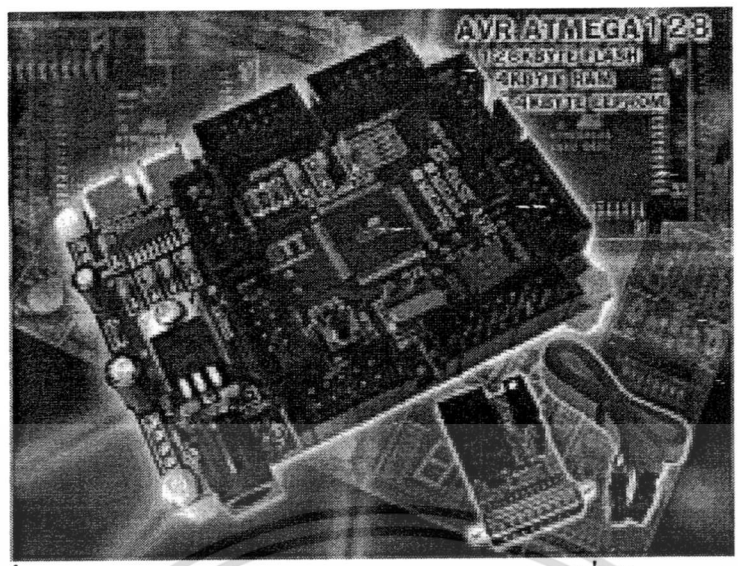
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศึกษาแพลตฟอร์มที่ใช้พัฒนา

- ใช้ MCU ตระกูล AVR เบอร์ ATmega128 ของ Atmel ซึ่งเป็น MCU ขนาด 8–Bit โดเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ Crystal ขนาด 16 MHz ซึ่งคุณสมบัติเด่น ๆ ของ MCU ได้แก่
  - มีหน่วยความจำ 128K Bytes สำหรับ ATmega128 และมี RAM 4 KBytes
  - มีหน่วยความจำข้อมูลถาวรแบบ EEPROM 4 K Byte ซึ่งสามารถลบและเขียนซ้ำได้กว่า 100,000 ครั้ง
  - จำนวน I/O สูงสุดถึง 53 I/O Pins
  - มีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 ช่อง , I2C จำนวน 1 ช่อง , Programmable Serial USARTs จำนวน 2 ช่อง
  - มี ADC ขนาด 10-Bit จำนวน 8 ช่อง
  - มี Timers/Counters 8-Bit จำนวน 2 ช่อง , Timers/Counters 16-Bit จำนวน 2 ช่อง , 8-Bit PWM 2 ช่อง , Watchdog Timer , Real Time Counter
- I/O PORT 10 PIN จำนวน 6 PORT ดั้งนี้ PA,PB,PC,PD,PE,PF
- พอร์ต ISP LOAD สำหรับโปรแกรม MCU
- วงจร Line Driver สำหรับพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 จำนวน 2 ช่อง โดยเชื่อมต่อกับสัญญาณ PE0(RXD0) และ PE1(TXD0) จำนวน 1 ช่อง ส่วนที่เหลืออีก 1 ช่อง จะต่อกับสัญญาณ PD2(RXD1) และ PD3(TXD1) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถต่อทดลองการติดต่อสื่อสาร RS232
- วงจรเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD แบบ Character พร้อม VR ปรับความสว่างของ LCD ซึ่งใช้การเชื่อมต่อวงจรกับ LCD แบบ 4 Bit Interface
- วงจร Regulate ขนาด +5V / 1A สำหรับใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้กับจอแสดงผล LCD และอุปกรณ์ I/O ต่างๆที่ใช้กับแหล่งจ่ายขนาดขนาด +5V พร้อม LED แสดงสถานะสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการพัฒนา

2.2 ระบบไฟล์

ระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์แต่ละ แพล็ตฟอร์มจะมีการจัดการระบบไฟล์ใน Harddisk ที่แตกต่างกัน บางระบบสามารถใช้ระบบไฟล์ได้หลายรูปแบบ โดยระบบไฟล์นั้นเป็นตารางที่ใช้บอกตำแหน่งของข้อมูลต่างๆ ที่อยู่บน Harddisk ว่าอะไรอยู่ตรงไหน ปกติเมื่อซื้อ Harddisk มาใหม่ ต้องทำการ Format Harddisk ก่อนที่จะนำไปบรรจุข้อมูล การ Format Harddisk เป็นการแบ่ง Harddisk ออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าตำแหน่งของข้อมูลอยู่ตรงไหน ระบบไฟล์ที่เป็นที่รู้จักกันมากมีดังต่อไปนี้

1. File allocation Table (FAT) เป็นระบบไฟล์ที่ใช้ในระบบปฏิบัติการในตระกูล Microsoft และเป็นระบบไฟล์ที่มีพัฒนาการมาอย่างต่อเนื่อง ระบบไฟล์ในตระกูลนี้มีลักษณะคือ เป็นการกำหนดหมายเลขให้กับทุก ๆ Cluster ในแต่ละ Partition แล้วทำการสร้างตารางที่มีจำนวนช่องตามจำนวน Cluster นั้น เพื่อเป็นการระบุสถานที่หรือ Cluster ที่ทำการเก็บข้อมูลของไฟล์แต่ละไฟล์ และมีตารางอีกตารางหนึ่งที่เรียกว่า Directory สำหรับเก็บข้อมูลรายละเอียดของไฟล์ เช่น Attribute ต่าง ๆ และหมายเลข Cluster เริ่มต้นที่เก็บตัวข้อมูลจริง ๆ ระบบไฟล์ FAT มีหลายรุ่นดังต่อไปนี้

a) FAT 12 เป็นระบบไฟล์ที่ใช้ใน Floppy Disk และ Harddisk ที่มีขนาดไม่เกิน 16 MBs หมายเลข Cluster มีขนาด 12 บิท จึงสามารถอ้างถึง Cluster ได้เพียง 4096 clusters เท่านั้น

b) FAT 16 ใช้ตัวเลขขนาด 16 บิท ในการกำหนดหมายเลข Cluster จึงกำหนดหมายเลขได้ 65536 หมายเลข ระบบไฟล์นี้ มีใช้ในระบบปฏิบัติการของ Microsoft ทุกรุ่น Partition ที่จะใช้ระบบไฟล์นี้ได้ ต้องมีขนาดไม่เกิน 2GBs. FAT 16 ได้รับการปรับปรุงให้มีความสามารถมากขึ้นใน Windows 95 เพื่อให้สามารถใช้งานกับไฟล์ที่มีชื่อยาวได้ไม่เกิน 256 ตัว เรียก FAT 16 รุ่นนี้ว่า Virtual FAT หรือ VFAT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c) FAT 32 ระบบไฟล์ระบบนี้จะใช้หมายเลขขนาด 28 บิท ซึ่งตามทฤษฎีจะสามารถกำหนด Cluster ได้มากถึง 268,435,456 Clusters และสามารถใช้กับ Partition ที่มีขนาดใหญ่ได้ถึง 2 TeraBytes ระบบไฟล์แบบ FAT32 นี้มีใช้ใน Windows 95 OSR2 ขึ้นไป แต่ใช้ไม่ได้ใน Windows NT

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าข้อจำกัดต่าง ๆ ของ ระบบไฟล์แบบ FAT

Attribute	FAT12	FAT16	FAT32
Used For	Floppies and very small hard disk volumes	Small to moderate-sized hard disk	Medium-sized to very large hard disk volumes
Size of Each FAT Entry	12 bits	16 bits	28 bits
Maximum Number of Clusters	4,086	65,526	~268,435,456
Cluster Size Used	0.5 KB to 4 KB	2 KB to 32 KB	4 KB to 32 KB
Maximum Volume Size	16,736,256	2,147,123,200	about 2^41

2. New Technology File System (NTFS) ในขณะที่ Microsoft ได้ทำการพัฒนาระบบปฏิบัติการที่เรียกว่า Windows NT ได้พิจารณาระบบไฟล์ที่จะจำมาใช้ โดยมีข้อกำหนดหลาย ๆ อย่างที่จะเป็นระบบไฟล์ที่ดี มีระบบการรักษาความปลอดภัย และสามารถใช้กับ Harddisk ที่มีความจุสูงได้ ระบบไฟล์ที่ได้รับการพัฒนาโดยข้อกำหนดเหล่านี้คือ ระบบไฟล์แบบ NTFS ระบบไฟล์นี้ นำมาใช้ในระบบปฏิบัติการ Windows NT และใช้มาจนถึงปัจจุบัน โดยได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง NTFS สามารถใช้กับ Partition ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับ 2 ยกกำลัง 64 ไบท์ หรือ 16 ExaBytes การทำงานของ NTFS มีลักษณะที่แตกต่างจาก FAT อย่างสิ้นเชิง NTFS จะสร้างไฟล์ขึ้นมาชุดหนึ่งที่ทำหน้าที่เก็บ Information ของแต่ละ Partition ไฟล์เหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นมาโดยอัตโนมัติ ตั้งแต่ตอนที่ทำการ Format แต่ละ Partitionไฟล์เหล่านี้เรียกว่า MetaData Files NTFS ที่เป็นที่รู้จักกันมี 2 รุ่น คือ

a) NTFS 1.1 หรือ NTFS 4.0 เป็นระบบไฟล์ที่ใช้ใน Windows NT 4.0

b) NTFS 5 เป็นระบบไฟล์ที่ใช้ใน Windows 2000,XP,2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Unix File System เป็น ระบบไฟล์ที่ใช้ในระบบปฏิบัติการ UNIX และ LINUX ระบบไฟล์ประเภทนี้จะลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างจากระบบไฟล์ที่กล่าวมาก่อน หน้านี้ คือจะมองทุกสิ่งเป็นไฟล์ เริ่มจาก root แล้วแตกออกเป็น Sub Directory ลงไปเป็นโครงสร้างแบบ Tree ในแต่ละ Node จำมีการเก็บ information และ access control สำหรับรักษาความปลอดภัย

4. High Performance File System (HPFS) เป็นระบบไฟล์ที่ใช้ในระบบปฏิบัติการ OS2 เป็นระบบไฟล์ที่มีโครงสร้างคล้ายกับ NTFS

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดการ Compatible ของระบบไฟล์ชนิดต่าง ๆ

Operating System	FAT				NTFS		HPFS	UNIX
	FAT12	FAT16	VFAT	FAT32	1.1 / 4.0	5.0		
MS-DOS (Straight)	Yes	Yes, DOS 3.0 or later	--	--	--	--	--	--
Windows 3.x	Yes	Yes	--	--	--	--	--	--
Windows 95A	Yes	Yes	Yes	--	--	--	--	--
Windows 95B / 95C	Yes	Yes	Yes	Yes (OEM)	--	--	--	--
Windows 98 / 98SE / ME	Yes	Yes	Yes	Yes	--	--	--	--
Windows NT	Yes	Yes	Yes	--	Yes	Y	Yes	X
Windows 2000	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	X	X
Windows 2003	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	X	X
OS/2	Yes	Yes	Yes	Yes	--	--	Yes	
UNIX / Linux	Yes	Yes	Yes	Yes	Read Only	Read Only	Yes	Yes

*X : Third Party? Y: Partial, with NT 4.0 SP4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กล้องถ่ายภาพ

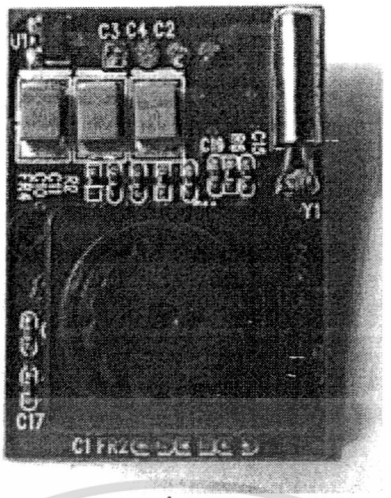
คุณสมบัติ กล้องที่ใช้รุ่น C328

- ตัวโมดูลมีขนาดเล็ก ใช้ไฟเพียง 3.3V และ CAPTURE ภาพได้ขนาดสูงสุดที่ VGA (640*480)
- ตัวโมดูลใช้การเชื่อมต่อแบบ UAST โดยมีความเร็วในการส่งข้อมูลสุดที่ 115200 bps
- ขนาดของภาพที่ Capture เป็น Jpg ไฟล์มีขนาดของภาพที่ 640*480 , 320*240 , 160*120 และ 80*60 pixel
- สามารถเลือกสีของภาพที่ได้ โดยรองรับที่ 2-bit gray , 8 b-bit gray , 12-bit RGB , 16-bit RGB บน มาตรฐานของ JPG ไฟล์
- เป็นโมดูลราคาถูกและใช้พลังงานต่ำในการถ่ายภาพ
- มีวงจรสำหรับลดขนาดภาพและตัดขอบภาพฝังอยู่ภายในเพื่อให้ภาพที่ได้อยู่ในมาตรฐาน VGA/CIF/SIF/QCIF/160x128/80x64
- ติดต่อสื่อสารผ่านอาร์เอส 232 โดยมีความเร็วสูงสุดที่ 115.2 Kbps เพื่อส่งผ่านข้อมูลภาพนิ่ง JPEG หรือแสดงผลภาพขนาด 160x128 ด้วยเฟรมเรท 0.75 – 6 เฟรมต่อวินาที
- เข้ารหัสภาพแบบ JPEG เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพสูงและมีขนาดเล็ก
- โมดูลมีขนาด 20x28mm
- ใช้กระแสเพียง 60mA
- ใช้คำสั่งอย่างง่ายเพื่อติดต่อกับโมดูล
- สามารถตรวจสอบบอตเรทที่ใช้ได้ติดต่อสื่อสารได้อย่างอัตโนมัติ

คุณสมบัติของเลนส์ที่ใช้กับกล้องLens included on camera:

- F/No 2.8
- เลนส์มีโฟกัสขนาด 4.63mm
- FOV = 41 deg diagonal
- มีฟิลเตอร์แสงอินฟาเรดติดตั้งภายใน
- เลนส์มีความสูงจากแผ่นวงจร (mm): 10
- เส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ (mm): 9
- ฝาครอบเลนส์มีขนาดมาตรฐาน (14x14mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงกล้องที่ใช้ในการบันทึกภาพถ่าย

2.4 การบีบอัดภาพ

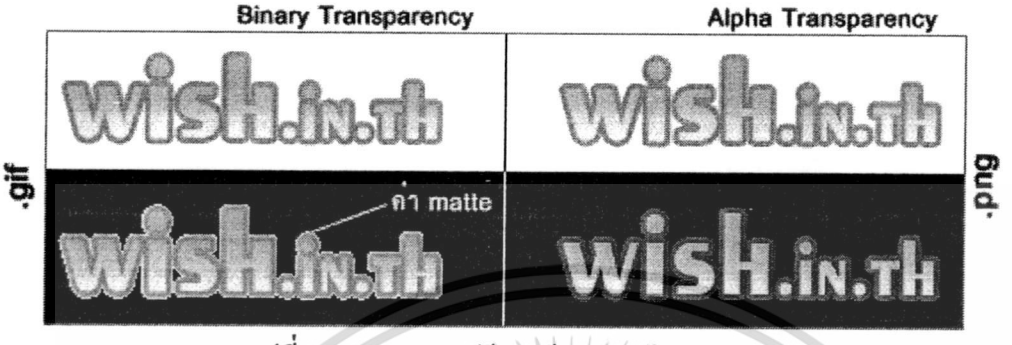
การบันทึกข้อมูลภาพเก็บไว้ในหน่วยความจำที่มีประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องบันทึกภาพที่มีขนาดเล็กสำหรับการเก็บภาพให้ได้จำนวนมาก เนื่องจากหน่วยความจำมีขนาดจำกัด ซึ่งการบีบอัดภาพก็มีรูปแบบจึงทำให้ไฟล์รูปภาพนั้นมีหลายประเภท และแต่ละประเภทก็จะมีคุณสมบัติ ที่แตกต่างกันไป การที่เราเรียนรู้คุณสมบัติของรูปแบบไฟล์ต่างๆ จะช่วยให้เราสามารถเลือกรูปแบบของไฟล์เพื่อนำมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย ซึ่งยกตัวอย่างได้ดังนี้

PNG

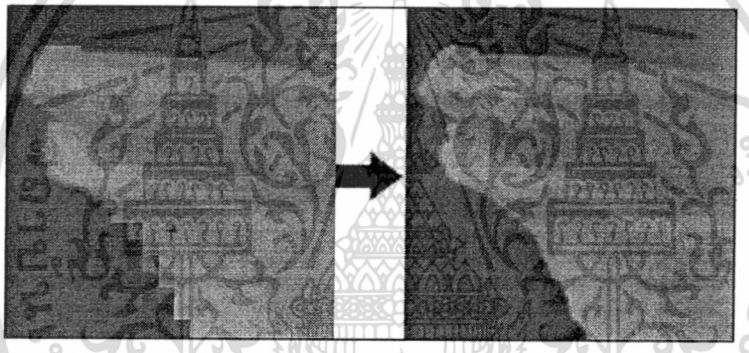
PNG ย่อมาจาก Portable Network Graphics ซึ่งเป็นรูปแบบของไฟล์รูปภาพที่ถูกพัฒนามาเพื่อใช้สำหรับการแสดงผลบนเว็บไซต์โดยเฉพา
และเพื่อใช้แทนรูปแบบของไฟล์ GIF ด้วยเหตุผลทางด้านลิขสิทธิ์ เพราะ PNG นั้นเป็นรูปแบบของไฟล์รูปภาพที่มีลิขสิทธิ์แบบ Open Source สามารถนำไปใช้ และพัฒนาต่อได้อย่างอิสระ
โดยที่คุณสมบัติทั่วๆไปของ PNG นั้นจะคล้ายกับ GIF คือ มีการบีบอัดไฟล์ได้โดยไม่สูญเสียคุณภาพ
นอกจากนี้ PNG ยังมีข้อดีอีกหลายประการที่ไม่มีใน GIF คือ
- รูปแบบไฟล์แบบPNG นั้นสามารถที่จะบีบอัดไฟล์ให้มีขนาดเล็กกว่า GIF ประมาณ 10-30%
- สามารถทำพื้นหลังโปร่งใส (Transparency) ได้เหมือนกับ GIF แต่สามารถปรับค่าความโปร่งใสได้ เพราะ PNG นั้นรองรับ Alpha Transparency แต่ GIF นั้นจะรองรับเพียง Binary Transparency กล่าวคือ GIF สามารถทำให้ภาพมีพื้นหลัง 100% และไม่มีพื้นหลังเลย (พื้นหลัง 0%) แต่จะไม่สามารถทำให้พื้นหลังมีค่าที่ต่างไปจากนี้ได้ เช่นให้พื้นหลังมีค่า 50% จะไม่สามารถทำได้ เราจึงเรียกคุณสมบัตินี้ว่า Binary Transparency อีกอย่างหนึ่งคือ การใช้ Transparency กับไฟล์ GIF นั้น จะต้องกำหนดค่า matte เพื่อให้ขอบภาพกลืนไปกับสีของพื้นหลังที่จะนำภาพไปประกอบ ถ้าเราทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนสีพื้นหลังดังกล่าว เราก็จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนค่า matte ตามไปด้วย ไม่เช่นนั้นภาพก็จะออกมาในลักษณะที่ขอบของภาพแตกได้ ซึ่งถ้าเป็นไฟล์ PNG จะไม่มีปัญหาเหล่านี้ และ PNG ยังสามารถปรับค่าความโปร่งใสได้หลายระดับอีกด้วย



รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง .gif และ .png



รูปที่ 2.4 แสดงถึงรูปแบบไฟล์แบบPNG สามารถแสดงผลแบบหยาบสู่ ได้เร็วกว่า Interlaced GIF

รูปแบบไฟล์แบบPNG นั้นรองรับการแสดงผลของสีได้มากถึง 48 บิต ซึ่ง GIF นั้นสามารถรองรับการแสดงสีได้แค่ 8 บิต เท่านั้น ส่วนในเรื่องของการทำภาพเคลื่อนไหวนั้น ไฟล์ GIF คงไม่มีปัญหาในเรื่องนี้ โดยในปัจจุบัน ไฟล์ GIF ที่นิยมใช้กันอยู่นั้น จะมีอยู่ด้วยกัน 2 เวอร์ชัน คือ 87a และ 89a โดยที่ 87a จะเป็นรูปภาพกราฟิกเพียงอย่างเดียว ขณะที่เวอร์ชัน 89a จะสนับสนุนการทำภาพเคลื่อนไหวได้ ส่วนไฟล์ PNG นั้นก็สามารถที่จะทำภาพเคลื่อนไหวได้เช่นกัน โดยต้องใช้ระบบ MNG (Multi-Image PNG) เข้าช่วยจะเห็นได้ว่ารูปแบบไฟล์แบบ PNG นั้นมีข้อดีมากมาย แต่ยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจาก เว็บบราวเซอร์ ต่างๆยังไม่รองรับการแสดงผลของ PNG อย่างเต็มรูปแบบ แต่ปัจจุบัน เว็บบราวเซอร์ เกือบทุกชนิดสามารถรองรับการแสดงผลของ PNG ได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GIF

GIF หรือ Graphics Interchange Format คือ การเก็บข้อมูลภาพในรูปที่ขนาดเล็ก GIF เป็นที่นิยมสูงมาก โดยใช้ในกรณีของภาพขนาดเล็ก เช่น icon หรือแผนภูมิ หรือแม้แต่ภาพที่มีจำนวนสีไม่มาก หรือสีเดียวได้โดย loss-less คือไม่มัว หรือไม่มีการเบลอ เทคนิคที่ใช้ในการบีบอัดข้อมูลเรียกว่า LZW compression โดยกลไกคือหาว่า pixels ใดที่มีรูปแบบซ้ำ ๆ กัน ซึ่งจะไม่ลดคุณภาพของภาพ ตาม ปกติ จะจำกัดขนาดของสีสูงสุดที่ 256 สี (หรือเรียก 8 bit = 28)ทำให้ภาพนั้นมีความสวยสดสมจริงน้อย แต่ก็สามารถใช้กลวิธีที่เรียกกันว่า Dither คือผสมสีพื้น ๆ สองสีให้ได้สีที่ใกล้เคียงกับสีต้นฉบับ

นอกจากนี้ยังทำเป็นภาพเคลื่อนไหว file animated ได้ด้วย จำพวก banner อีกทั้งยังเลือกสีให้โปร่งแสง (transparency) ได้ด้วย (single-bit transparency) เช่น หากไม่ต้องการสีม่วง ตรงที่เคยเป็นสีม่วงจะหายไปเกิดช่องใส ๆ ใน pixels ที่เดิมเป็นสีม่วง ก็จะทำให้มองทะลุไปยัง background ของภาพได้

นอกจากนี้ยังสามารถทำการ interlaced ได้อีกด้วย interlaced จะทำการค่อย ๆ แสดงภาพที่มีความหยาบ ๆ ก่อนแล้ว ค่อย ๆ แสดงส่วนที่ละเอียด ทำให้รูปร่างโครงสร้างของภาพถูกแสดงออกมาก่อน ไม่ต้องคอยจนครบค่อยมาทีเดียว ทำนองนั้น ทำให้รู้สึกผู้รับภาพว่าเร็วขึ้นนั่นเอง ที่นิยมนำมาใช้คือการนำมาใช้สร้าง icon ต่าง ๆ และภาพ animation ครับ

JPG

JPEG หรือ Joint Photographic Experts Group บ่อยครั้งมักจะเรียกแทนว่า JPG กลุ่มนี้จะสีสันสดใสกว่า ด้วยว่าแบ่งเฉดสีได้ถึง 16 bit การเก็บข้อมูลนี้เพื่อให้รูปถ่ายสีสดสมจริงโดยไม่ต้องอาศัยวิธี Dither ทำให้มีการผสมฉีดเฉดต่าง ๆ ได้กลมกลืนทีเดียว

หลักการบีดอัด นั้นค่อนข้างซับซ้อน หลักการบีบอัดทำได้โดยการตัดส่วนที่มีรายละเอียดของภาพออก โดยจะสามารถเลือกเป็นระดับได้ เช่น ถ้าเลือก 0% compression คือ ไม่บีบอัดเลย ภาพจะคมชัดเท่าต้นฉบับ ถ้า compression มาก ๆ ก็จะไม่ชัดเลยเพราะว่ารายละเอียดได้ถูกกำจัดออกไป แต่ว่าถ้าไม่บีบอัดเลยก็จะมีขนาด file ใหญ่มาก ดังนั้นแล้วจึงพบว่าการบีบอัดข้อมูลที่ 60% นั้นให้ผลลัพธ์สมดุลและนิยมใช้มากที่สุด

การ interlaced นั้น แม้ว่าจะทำได้แต่ว่าไม่สามารถทำ animation และ transparency ได้เหมือนกัน GIF จึงนิยมเก็บไว้เก็บภาพถ่ายแต่อย่างเดียว สำหรับพวก graphic ที่มีสีเดียวกันใหญ่ ๆ ไม่ควรเก็บในรูป JPG เพราะขอบภาพจะเบลอเนื่องจากหลักการในการบีบอัดภาพ jpg พยายามจะทำให้สีละเอียดเกินซึ่งทำให้ไล่สีมากไปจนขาดความคมชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PNG

Portble Network Graphics เป็นระบบบีบอัดข้อมูลที่มาแทนที่ gif เนื่องจากในอดีตการบีบอัดภาพแบบ PGN มีลิขสิทธิ์คุ้มครองอยู่จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งาน แต่ปัจจุบันลิขสิทธิ์คุ้มครองได้หมดอายุลงไปแล้วจึงทำให้มีการพัฒนา PNG อย่างต่อเนื่องจนมีประสิทธิภาพดีกว่า gif เกือบทุกด้าน

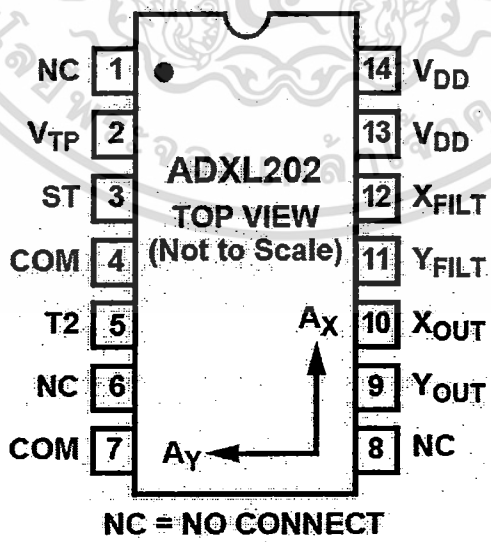
เดิมแล้ว PNG-8 ก็มี 256 สีเท่ากับ GIF รวมทั้งมี 1 bit transparency ด้วย แต่พบว่าขนาด file เล็กกว่าเพราะการบีบอัดข้อมูลมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ต่อมา PNG-24 ก็มีความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีสี 24 bit จึงทำให้มีคุณภาพสีเท่ากับภาพ JPG จนมีการคาดการณ์ว่าอาจจะเข้ามาแทนที่ JPG แต่ก็ยังมีข้อเสียคือระบบบีบอัดข้อมูลแบบ loss-less ด้วยทำให้ขนาดภาพใหญ่กว่าการเก็บด้วยระบบ JPG

PNG เริ่มมีการใช้ alpha-channels ซึ่งตามปกติหากเราจะทำให้สีใดโปร่งใส (transparency) ก็อาจให้ผลเป็นสีโปร่งหรือทึบก็ได้ แต่ว่าระบบนี้ทำให้กำหนดได้ว่า สีใดใน 0-255 สีที่จะกำหนดให้กลาย transparency ได้โดยถ้าหากว่า 0 ก็ใสมาก ถ้า 255 ก็ออกทึบมาก

2.5 ความเร่ง (Accelerate)

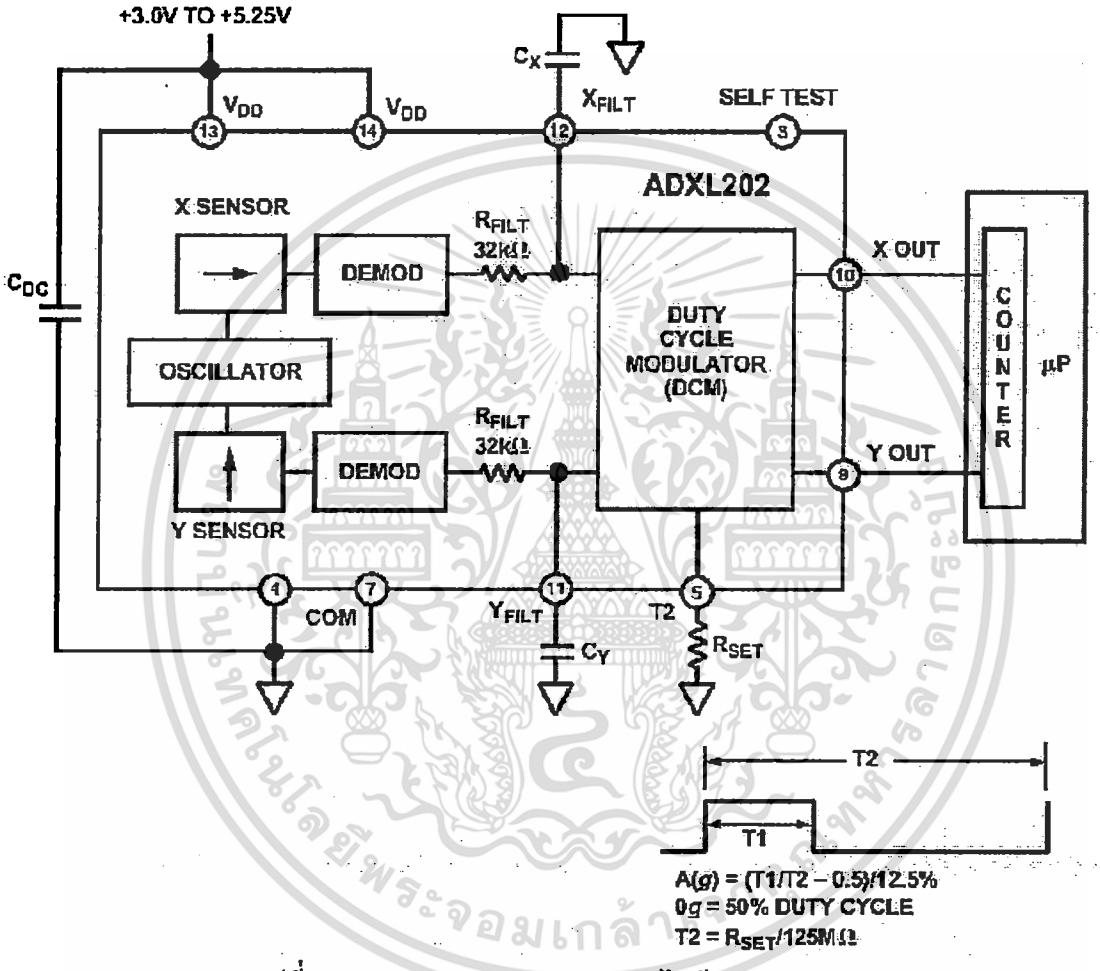
อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง และ ความโน้มเอียงทางแกน X และ Y (Low Cost + 2 g Dual Axis MEMS® Accelerometer) รหัส ADXL202 เป็นไอซีที่พัฒนาบนพื้นฐานของเทคโนโลยีที่ชื่อว่า MEMS® สามารถวัดค่าความเร่งแบบเต็มค่าสเกลในช่วง -2g ถึง +2g และมีความไวหรือ Sensitivity 12.5% ต่อ g สามารถวัดค่าได้ทั้งความสั่นสะเทือน(dynamic หรือ vibration) และ วัดค่าความโน้มถ่วง(static acceleration หรือ gravity)



รูปที่ 2.5 แสดงขาของไอซี ADXL202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเอาท์พุตของ ADXL202 เป็นแบบ ดิจิตอลพัลส์วิดมอดดูเลชั่น (PWM : Pulse WidthModulation) ก็คือ จะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณความกว้างของพัลส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความโน้มเอียง หรือค่าความเร่งตามทิศทาง แกน X หรือ แกน Y ซึ่งสัญญาณเอาท์พุตนี้ จะถูกส่งผ่านไปที่ขาสัญญาณ Xout และ Youtโดยเราสามารถนำนี้ ไปเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อวัดหรือ นับค่าสัญญาณได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณ A/D (Analog to Digital Converter)



รูปที่ 2.6 แสดง Block Diagram ของไอซี ADXL202

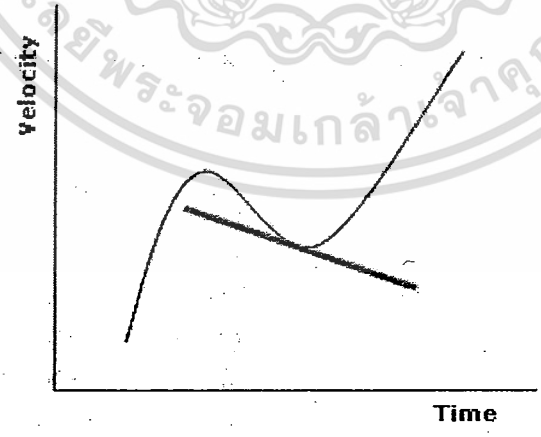
คุณสมบัติของไอซี ADXL202

- เป็นเซนเซอร์วัดค่าความเร่งแบบ 2 แกน คือ แกน X และแกน Y
- วัดค่าได้ทั้งค่าความเร่ง (dynamic Acceleration)และวัดค่าความโน้มถ่วง (static acceleration)
- สามารถกำหนดค่าความกว้างพัลส์ (Period) ได้
- กินกำลังงานต่ำน้อยกว่า 0.6mA
- มีความไวในการตอบสนองสูงกว่าเซนเซอร์ประเภทอื่นๆ เช่น Electrolytic, Mercury หรือ Thermal Tilt Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถกำหนดค่าแบนวิดของสัญญาณ (Bandwidth) ได้โดยเพียงแค่กำหนดค่าคาปาซิเตอร์ (Cx,Cy)
- ความละเอียด 5 mg ที่แบนวิดท์ 60Hz
- ทำงานที่แรงดัน +3V จนถึง 5.25V
- สามารถทนทานต่อการสั่นสะเทือนสูงถึง 1,000g

ความเร่งคืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุเทียบกับเวลา เป็นสิ่งที่เป็นนัยว่ามีการรบกวนการเคลื่อนที่ของวัตถุตามธรรมชาติ เพราะว่าตามธรรมชาติ (จากกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน) บ่งว่าวัตถุมีธรรมชาติคือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่เท่านั้น เทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย (การที่มีความเร็วเป็นเวกเตอร์ศูนย์เป็นกรณีหนึ่ง ของความเร็วคงที่) ซึ่งเราสมมติขึ้นมาว่าสิ่งที่รบกวนการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของวัตถุที่เรา พิจารณานั้นเรียกว่า แรง อันเป็นผลมาจากวัตถุอื่นๆที่เรามิได้สนใจ (ไม่อยู่ในระบบที่กำลังพิจารณา) ถ้าหากว่ามีวัตถุหลายชิ้นที่มีผลรบกวนเราก็พิจารณาได้ว่ามีหลาย ๆ แรงกระทำ กับวัตถุ ซึ่งจะส่งผลให้วัตถุมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปเป็นรูปแบบหนึ่งตาม ลักษณะขนาดและทิศที่แรงเหล่านั้นกระทำ แต่เนื่องจากผลที่เราสังเกตได้นั้น วัตถุจะมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนไปในลักษณะเดียว (หมายความว่าวัตถุนั้นไม่ได้ เคลื่อนที่ไปทางขวาพร้อมๆกับทางซ้ายซึ่งจัดว่าเป็นการเคลื่อนที่หลายลักษณะ พร้อมๆกันและเป็นไปไม่ได้ เว้นแต่ว่าวัตถุจะขาดเป็นสองส่วน ซึ่งในกรณีนั้นระบบที่พิจารณาก็จะเปลี่ยนไป อะไรประเภทนี้) ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปนี้จะสมมูลกับลักษณะที่มีแรงแรงหนึ่ง แรงเดียวกระทำกับวัตถุ เราเรียกแรงแรงเดียวที่ทำให้เกิดการรบกวนสภาพการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของ วัตถุได้ในลักษณะเดียวกับหลายแรงอย่างที่อธิบายไปตอนต้นว่าแรงลัพธ์



รูปที่ 2.7 แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในช่วงเวลาหนึ่ง ที่จุดใดๆบนกราฟ v-t ความเร่งจะเท่ากับความชันของเส้นสัมผัสจุดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบ้างครั้งความเร่งอาจจะเรียกในหน่วยของค่า g ซึ่งก็คือหน่วยที่ใช้บอกปริมาณของความเร่ง (Acceleration) มีค่าเท่ากับ 9.8 m/S2 เช่น

1g หรือ 2 g ก็จะเทียบได้กับสมการต่อไปนี้

1g = 1x9.8 = 9.8m/S2

2g = 2x9.8 = 19.6m/S2

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบระหว่างแรง g และเหตุการณ์ต่าง ๆ

1g	ค่าความเร่งของวัตถุ หรือ บุคคล ตามแรงดึงดูดของโลก เช่น โทรศัพท์มือถือวางอยู่บนโต๊ะทำงานจะมีค่าความเร่งตามแรงดึงดูดของโลกเท่ากับ 1g เป็นต้น
0-2g	ค่าความเร่งที่เกิดจากการเดินของคน
10-50g	ค่าความเร่งที่เกิดจากการชนกันของรถยนต์
100-2,000g	ค่าความเร่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ Laptop ที่ตกลงมาบนพื้นคอนกรีตจากระดับความสูง 3 ฟีต
50,000g	ความเร่งของลูกกระสุนปืนใหญ่ที่ออกจากลำกล้องของปืนใหญ่

2.6 หน่วยความจำ

แผ่นบันทึกข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ ได้คือ

1. แผ่นบันทึกข้อมูลแบบ Rotating Diskใช้แผ่นเก็บข้อมูลที่เป็นแม่เหล็กคล้ายแผ่น Disk หรือ Hard Disk

2. แผ่นบันทึกข้อมูลแบบ Flash Memory ใช้หน่วยเก็บความจำคล้าย RAM ในเครื่อง PC แต่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ และความจำไม่หายแม้ปิดเครื่องซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้งานในโครงงานนี้มากกว่า

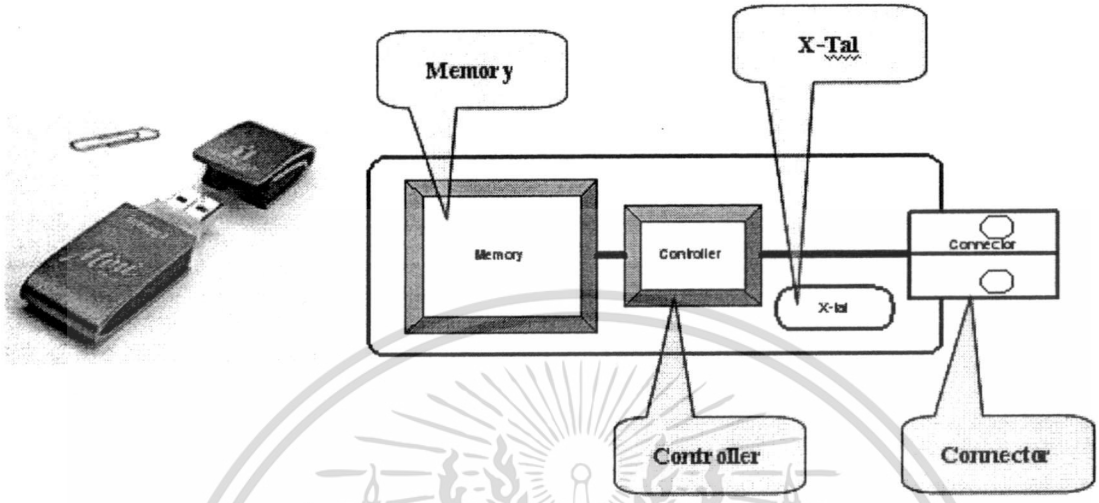
แผ่นเก็บข้อมูลแบบ Flash Memory

Flash Memory Drive แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ

1. ส่วนเก็บข้อมูล (Memory) เป็นส่วนที่เรียกว่า Flahs Memory Chip เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั้งหมด โดยการเก็บข้อมูลนั้นไม่จำเป็นต้องใช้ไฟเข้าไปเลี้ยงตลอดเวลา
2. ส่วนควบคุมการทำงาน (Controller) เป็นส่วนที่รวม CPU, เฟิร์มแวร์และ controller มาอยู่ใน Chip ตัวนี้เพียงตัวเดียว ทำให้เมื่อต่อพ่วงกับ Port ที่เป็น USB สามารถเห็นได้คล้ายกับ Removable Storage ทั่วไป ซึ่งใช้สำหรับ Windows ME/XP/2000 ส่วน Linux เมื่อทำการ mont จะเห็นเหมือน Drive 1 drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนควบคุมความถี่ (X-tal) ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ 12 MHz ซึ่งเป็นความถี่เดียวกันกับที่ใช้ใน Mainboard โดยกลไก Timing นี้เอาไว้ดูแลและควบคุมข้อมูลเข้าออกจาก Cell memory
4. ส่วนเชื่อมต่อ (Connector) เป็นส่วนที่ต่อเข้ากับ USB Post ของเครื่อง PC หรือ Notebook



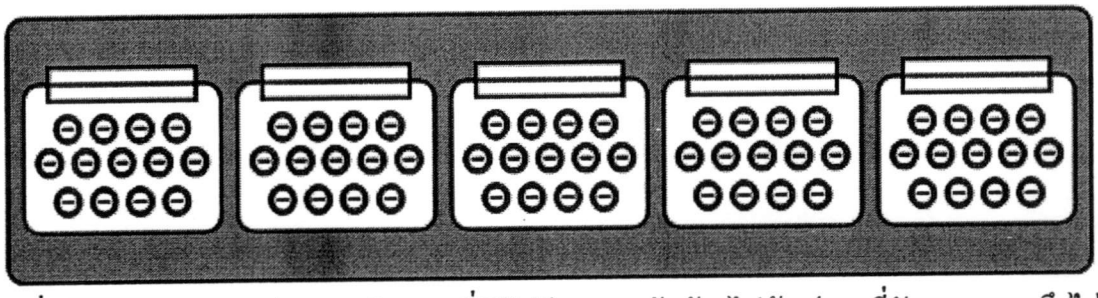
รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบภายใน Flash Memory

การทำงานของ Flash Memory

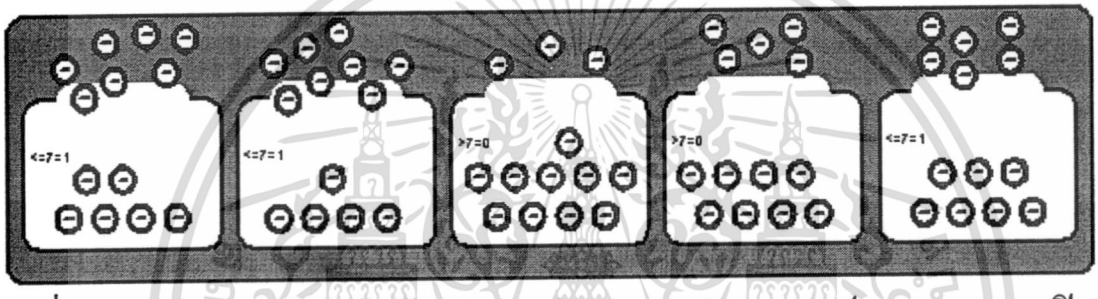
หลักในการทำงานของ Flash Memory เริ่มจากเซล Memory จะถูกจัดเรียงแบบ Grid โดยเซลแต่ละเซลในชิฟ Flash Memory จะเก็บข้อมูลแบบถาวรเหมือนกับห้องขังที่มีประตูกั้นกระแสไฟฟ้าเอาไว้เป็น กลุ่มของ Electron เช่น ถ้าใน 1 Cell สามารถบรรจุ Electron ได้ถึง 13 ตัว เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าไป Electron จะถูกปล่อยออกมาโดยแต่ละ Cell จะถูกไฟฟ้ากระตุ้นไม่เท่ากัน ซึ่งการกระตุ้นจะเกิดจากการแปลงค่าข้อมูลที่เข้ามาเป็นค่าตัวเลขที่เป็นเลข ฐาน 2 ตัว Controller จะมีการกำหนดว่า Electron ที่อยู่ภายในแต่ละ Cell ควรมีค่าเป็นเท่าใด เช่น ถ้ามีค่า Electron น้อยกว่าหรือเท่ากับที่กำหนดไว้ให้มีค่าของ Cell นั้นเป็น 1 นอกนั้นให้เป็น 0 เป็นต้น
ข้อมูลที่อยู่ในรูปของตัวเลขจะถูกเก็บไว้และมีค่าคงเดิมจนกว่าจะเกิดการกระตุ้นของไฟฟ้า เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง เนื่องจากเมื่อมีการนำไฟฟ้าออก Cell จะทำการปิดไม่ให้ Electron นั้นออกหรือกลับเข้ามาได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของ Electronic Farm ใน Flash Memory



รูปที่2.9 แสดงแถวของแต่ละ Cell ในขณะที่ยังไม่มีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ประตูที่กัน Electron จึงไม่สามารถเปิดออกได้



รูปที่ 2.10 แสดงการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า Electron ก็จะกระจายออกมา เพราะประตูของ Cell ถูกเปิดออก โดยการบังคับของส่วน Controller

การติดต่อกับ System Bus

เมื่อนำ USB Flash Memory Drive ต่อเข้ากับ USB Port ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยัง Chip ที่เป็นตัวควบคุมการทำงาน ที่เรียกว่า North Bridge หรือ I/O HUB แล้วข้อมูลที่มีอยู่ใน USB Flash Memory Drive ก็จะถูกส่งผ่านไปยัง System BUS และก็จะต่อไปยัง Main Memory ไปเรื่องๆจนถึง CPU จะเห็นว่าสำดับการ Transfer ข้อมูลจะไม่ต่างไปจาก Hard Disk Drive เลย แต่ความสะดวกในการพงพาและเก็บรักษาก็ไม่ยาก เพราะขนาดที่เล็ก และ เบา แต่ ณ ปัจจุบันความจุของตัว USB Flash Memory Drive ยังไม่มากนัก จึงเหมาะกับ file ที่ไม่ใหญ่จนเกินไป

ความเร็วในการ Transfer ข้อมูลของ Flash Memory แต่ละชนิด

- Compact Flash card : 350 KB/s
- Smart media card : 250 KB/s
- Multimedia card : 150 KB/s
- Memory stick : 250 KB/s
- Secure Digital card : 200 KB/s,
- Micro drive : 300 KB/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชนิดของ Flash Memory

สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้คือ

1. PC Card หรือ PCMCIA หรือ Personal Computer Memory Card International Association มีขนาดประมาณบัตรเครดิต แต่มีความหนามากกว่า ใช้เก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์โน้ทบุครุ่นแรกๆ มีการพัฒนาถึง 3 ครั้งคือ Type I, II, III แต่ละรุ่นจะใช้ทดแทนกันไม่ได้ เพราะขนาดความหนาไม่เท่ากัน ปัจจุบันไม่นิยมใช้การ์ดชนิดนี้กับกล้องดิจิตอลเพราะมีขนาดใหญ่เกินไป

2. CompactFlash (CF Card) ถูกคิดค้นโดย SanDisk ในปี 1994 และถูกพัฒนาออกมา 2 รูปแบบคือ Type I และ Type II เป็นการ์ดเก็บข้อมูลที่ได้รับความนิยมในการใช้งานกับกล้องดิจิตอลมากที่สุด เพราะมีความจุสูง มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของ PC Card

3. SmartMedia (SM) มีขนาดเล็กและบางมากกว่า CF Card นิยมใช้กันมากเช่นกัน แต่มีความจุสูงสุดน้อยกว่า CF Card ใช้กันมากในอุปกรณ์กล้องดิจิตอล Digital Music Player กล้องวิดิโอดิจิตอล อัตราการโอนถ่ายข้อมูลสูงมาก บันทึกและอ่านข้อมูลได้เร็ว ทนทานต่ออุณหภูมิ

4. Memory Stick ถูกออกแบบโดย Sony เพื่อใช้กับกล้องดิจิตอลและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น Music Palyer, Notebook ของ Sony โดยเฉพาะ มีขนาดเล็ก แบนบาง รูปร่างคล้ายแท่งหมากฝรั่ง สามารถบันทึกและอ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

5. SD Card หรือ Security Disk เป็นการ์ดเก็บข้อมูลรุ่นใหม่ซึ่งมีความปลอดภัยของข้อมูลสูงมาก ออกแบบโดย Panasonic, SanDisk และ Toshiba ถูกออกแบบให้ใช้กับอุปกรณ์รุ่นใหม่จำนวนมาก เช่น คอมพิวเตอร์พกพา ปาล์ม เครื่องเล่นเพลง โทรศัพท์มือถือกล้องวิดิโอดิจิตอล อุปกรณ์นำทาง ฯลฯ ขนาดเล็ก เบา มีความจุสูง ใช้พลังงานน้อยมาก ทนทานต่อแรงกระแทก และอุณหภูมิ

6. xD-Pixture Card ออกแบบสำหรับใช้กับกล้องดิจิตอลโดยเฉพาะ ผลิตโดย Toshiba โดยความร่วมมือของ Olympus และ Fuji มีขนาดเล็กมากและมีความจุสูง รองรับการใช้งานของกล้องในอนาคต ทั้งกล้องดิจิตอล กล้องวิดิโอดิจิตอล เครื่องบันทึกเสียงดิจิตอล และ ภายในการ์ดไม่มีวงจรควบคุมการทำงาน (ใส่ไว้ที่ตัวกล้อง) ทำให้การ์ดมีขนาดเล็กและราคาถูกกว่า

7. MultiMediaCard มีขนาดเล็กและเบา ประหยัดพลังงานออกแบบให้ใช้กับอุปกรณ์ดิจิตอลมากมาย ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

116871

2.7 โปรโตคอลในการเชื่อมต่อ

การสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ มักจะต้องมีการติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันภายในระบบเช่นคอนโทรลเลอร์รับค่าจากเซ็นเซอร์ คอนโทรลเลอร์รับภาพจากกล้อง คอนโทรลเลอร์รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำ และคอนโทรลเลอร์รับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์โดยจะมี (networkprotocol) มาเป็นตัวกำหนดกฎเกณฑ์ในการติดต่อสื่อสารได้ โดยนิยามที่จำเป็นต้องทราบในการติดต่อสื่อสารได้แก่

- โหนด (Node) เป็นอุปกรณ์หรือสิ่งที่เชื่อมต่อกับเน็ทเวิร์ค เช่น บอร์ดลินุกซ์ (Linux Motherboard) หรือ มอเตอร์คอนโทรลเลอร์ (motor controller) เป็นต้น
- มาสเตอร์ (Master) เป็นโหนดที่สามารถควบคุมเน็ทเวิร์คได้ เช่น บอร์ดลินุกซ์ เป็นต้น
- สเลฟ(Slave) เป็นโหนดที่สามารถสื่อสารได้เฉพาะเมื่อถูกร้องขอ (request) โดยมาสเตอร์ เท่านั้น เช่น มอเตอร์คอนโทรลเลอร์ เป็นต้น
- การสื่อสารแบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer-to-peer communication) เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ไม่มีลักษณะเป็นมาสเตอร์หรือสเลฟทุกๆโหนดมีสิทธิ์ที่จะเริ่มต้นการสื่อสารได้ทำให้มีโอกาสที่ 2 โหนดจะส่งข้อมูลพร้อมๆ กัน
- การสื่อสารแบบมาสเตอร์สเลฟ (Master-slave communication) เป็นการติดต่อสื่อสารที่เกิดขึ้นเมื่อมี 1 โหนดเป็นมาสเตอร์ และโหนดที่เหลือเป็นสเลฟและทุกการติดต่อจะต้องเริ่มต้นจากตัวมาสเตอร์เสมอ
- การสื่อสารแบบมัลติมาสเตอร์(Multimaster communication) เป็นการติดต่อสื่อสารที่คล้ายๆกับมาสเตอร์สเลฟแต่มีได้มากกว่า 1 โหนดที่เป็นมาสเตอร์ ซึ่งก็จะเกิดปัญหาเดียวกับเพียร์ทูเพียร์
- โมดูล (module) เป็นคอนโทรลเลอร์หรืออุปกรณ์เพียงตัวเดียว เช่น อิฟราเรดเป็นต้น เป็นต้น
- พ๊อด (pod) เป็นคอเล็กชั่นที่เกิดจากการรวมโมดูลต่างๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งพ๊อดจะติดต่อสื่อสารกับตัวอื่น โดยผ่านโปรโตคอลซีเรียล (serial protocol) เช่น โมโจบัส (MojoBus) หรือยูเอสบีทำให้ง่ายต่อการทำอุปกรณ์แบบ พลั๊กแอนด์เพล (plug-and-play) เช่น การทำพ๊อดตรวจจับความระยะทาง (Distance-sensing pod) โดยการรวมโซน่า, เซอร์โว, อินฟราเรด และไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าด้วยกันแล้วติดต่อผ่านยูเอสบี เป็นต้น

ตัวอย่างการติดต่อสื่อสาร ได้แก่

- อีเทอร์เน็ท ส่วนมากแล้วบอร์ดลินุกซ์ในปัจจุบันมักจะมีอีเทอร์เน็ทติดตั้งภายในอยู่แล้ว โดยอีเทอร์เน็ทมีลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วสูง
- เป็น ทีซีพี/ไอพีโปรโตคอล (TCP/IP Protocol) มี การแก้ไขข้อผิดพลาด (error correction) และมีการการันตีว่าส่งข้อมูลถึง (guaranteed delivery)
- แต่ละดีไวซ์ (device) มีแอดเดรส (address) เป็นของตัวเอง และติดตั้งได้ง่าย
- มีการลดทอนสัญญาณรบกวน
- ในบอร์ดมีอย่างน้อย 1 พอร์ต

- ยูเอสบี (USB : Universal Serial Bus) เป็นทางเลือกที่ดี โดยเฉพาะยูเอสบี 2.0 มีความเร็วสูงและส่วนใหญ่มีไดร์เวอร์ที่เป็นมาตรฐาน (standard driver) อยู่ในตัวระบบปฏิบัติการอยู่แล้ว รวมทั้งเรายังสามารถสร้างดีไวซ์ของตนเองได้โดยการใช้ชิพ เช่น เอฟทีดีไอ (FTDI) ที่ใช้แปลงจาก ยูเอสบี เป็น อาเอส 485 (asynchronous serial protocol : RS 485) หรือถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว (ถ้าเป็นยูเอสบี) เช่น เว็ปแคม, เมาส์, คีย์บอร์ด, ฮาร์ดไดร์ฟ เป็นต้น ก็สามารถนำมาเชื่อมต่อใช้งานได้ แม้ว่ายูเอสบียังมีข้อเสียตรงที่โปรโตคอลมีความซับซ้อนมากรวมทั้งมีแหล่งข้อมูลให้ศึกษาน้อย แต่มีข้อดีที่สำคัญคือมีความเร็วสูงและง่ายต่อการใช้

- โปรโตคอลอนุกรมแบบไม่สอดคล้อง (Asynchronous Serial Protocol) เป็นโปรโตคอลที่เก่าแก่ที่สุดที่ใช้ในบอร์ดของคอมพิวเตอร์มันเหมือนกับโปรโตคอลที่ใช้กับพอร์ตอนุกรมซึ่งโปรโตคอลอนุกรมนี้ครอบคลุมตั้งแต่ อาเอส 232 (RS232), อาเอส 484 และอื่นๆ โดยมีลักษณะโดยรวมดังนี้

- มี 1 สตาร์ทบิท (start bit)
- มี 7 หรือ 8 บิทที่เป็นข้อมูล
- มี 5 อ็อพชั่น (option) ของ พาริตี้บิท (parity bit) คือ
  - ไม่มีพาริตี้บิท (No parity)
  - พาริตี้บิทจะเท่ากับ 1 เมื่อ ผลรวมของทุกบิทเป็นเลขคี่ (Odd parity)
  - พาริตี้บิทจะเท่ากับ 1 เมื่อ ผลรวมของทุกบิทเป็นเลขคู่ (Even parity)
  - พาริตี้บิทเป็น 1 ตลอด (Mark parity)
  - พาริตี้บิทเป็น 0 ตลอด (Space parity)

มี สต๊อพบิท (stop bit) 1 บิทหรือมากกว่านั้น

โดยปกติแล้วจะใช้ 8N1 (8 ดาต้าบิท, ไม่มีพาริตี้บิท, 1 สต๊อพบิท)

- อาเอส 232 ใช้ในพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ใช้โวลต์เทจไฮ (voltage high) เป็นบิท 1 และใช้โวลต์เทจโลว์ (voltage low) แทนบิท 0 ข้อดี คือ มีดีไวซ์มากมายที่ใช้โปรโตคอลนี้ ข้อเสีย คือ มีการลดทอนสัญญาณสูง ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนได้ง่าย และแล็พท๊อพบางรุ่นไม่มีพอร์ทอนุกรมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาเอส 485 คล้ายกับอาเอส 232 แต่มีสายเป็นแบบ สายคู่บิดเกลียว (twisted pair) 1 คู่ต่อ 1 ทิศทาง และมีสาย กราวด์ อาเอส 485 โดยทั่วไปจะเป็นแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (half-duplex) ทำให้บางสิ่งง่ายและบางสิ่งก็ซับซ้อนขึ้น ค่าของแต่ละบิทขึ้นอยู่กับผลต่างของระดับโวลต์เทจที่ อาเอส 485 ใช้สายคู่บิดเกลียวเพราะช่วยลดสัญญาณรบกวนและลดการลดทอนสัญญาณจากสายอีกเส้นหนึ่ง อาเอส 485 อาจใช้กับสายแคท 5 (CAT5) และหัวอาเจ 45 (RJ45) ได้

- ไอสเควซี (I2C : Intra-IC communication) ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ติดต่อภายในบอร์ดเดียวกัน เป็นซิงโครนัสโปรโตคอล (synchronous protocol) และเป็นโปรโตคอลที่ต่อเชื่อมได้มากกว่า 2 โหนด (multidrop protocol) ซึ่งในหุ่นยนต์ตัวอย่างนี้ใช้ในการติดต่อกับโซน่า, เครื่องตรวจจับความร้อน และเข็มทิศ เป็นต้น ไอสเควซีบางครั้งถูกเรียกว่าเอสเอ็มบัส (SMBus) และไมโครคอนโทรลเลอร์หลายรุ่นสามารถติดต่อแบบไอสเควซีโดยตรงได้

- เอสพีไอ (SPI : Serial Peripheral Interface) พัฒนาขึ้นมาด้วยเหตุผลเดียวกับ ไอสเควซี (ใช้เพื่อสื่อสารกันระหว่าง IC) เป็นโปรโตคอลที่ต่อเชื่อมได้มากกว่า 2 โหนด แต่เปลี่ยนจากการใช้แอดเดรส (address) ใส่ไปกับแพ็กเกจข้อมูล (data packet) มาเป็นการใช้สายชิพซีเล็ก (chip select) แทน เมื่อชิพซีเล็กของสเลฟตัวไหนเป็นโลว์ (ในเวลาหนึ่งมีได้เพียงตัวเดียว) สเลฟตัวนั้นก็จะคอยฟังการติดต่อจากมาสเตอร์และตอบสนองกลับไป เอสพีไอเหมาะกับการติดต่อสื่อสารในระยะสั้นๆ ไม่ควรใช้ส่งในระยะไกลๆ

- โรบิน (ROBIN : Robot Independent Network) เป็นแบบมัลติมาสเตอร์ที่มีข้อดีคือเขียนโปรแกรมง่าย

- โมโจบัส (MojoBus) เป็นเท็กซ์เบสโปรโตคอล (text-based protocol) โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แนวทางการพัฒนา

3.1 การพัฒนาฮาร์ดแวร์

มีขั้นตอนดังนี้

- ศึกษาตัวอย่าง, ความหมาย และลักษณะโดยรวมของโครงการ
- วิเคราะห์หาฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นในการพัฒนาระบบ
- ศึกษาการทำงานของฮาร์ดแวร์แล้วทำการออกแบบแผนผังวงจร
- จัดทำวงจร
- ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้เข้ากับวงจร
- ทำการทดสอบและค้นหาข้อผิดพลาด
- จัดทำเอกสาร

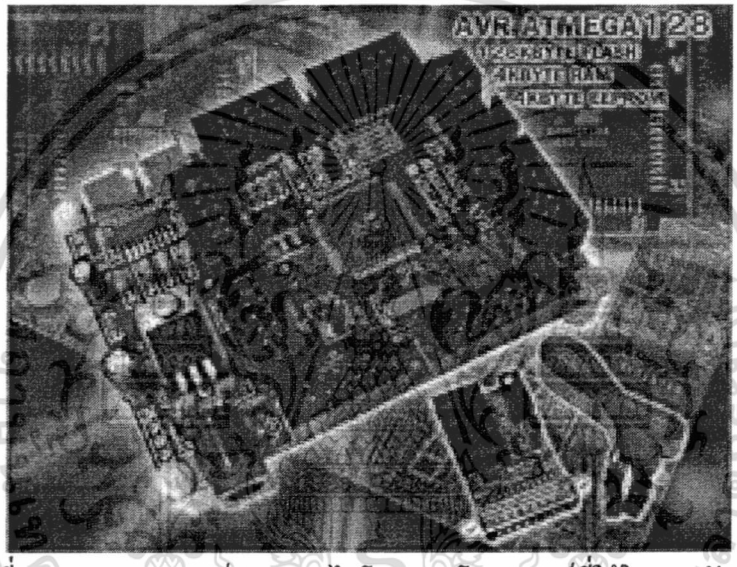
3.1.1 ศึกษาการทำงานของฮาร์ดแวร์แล้วทำการออกแบบอุปกรณ์

AVR128

- ใช้ MCU ตระกูล AVR เบอร์ ATmega128 ของ Atmel ซึ่งเป็น MCU ขนาด 8–Bit โดเลือกใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ Crystal ขนาด 16 MHz ซึ่งคุณสมบัติเด่น ๆ ของ MCU ได้แก่
  - มีหน่วยความจำ 128K Bytes สำหรับ ATmega128 และมี RAM 4 KBytes
  - มีหน่วยความจำข้อมูลถาวรแบบ EEPROM 4 K Byte ซึ่งสามารถลบและเขียนซ้ำได้กว่า 100,000 ครั้ง
  - จำนวน I/O สูงสุดถึง 53 I/O Pins
  - มีวงจรสื่อสาร SPI จำนวน 1 ช่อง , I2C จำนวน 1 ช่อง , Programmable Serial USARTs จำนวน 2 ช่อง
  - มี ADC ขนาด 10-Bit จำนวน 8 ช่อง
  - มี Timers/Counters 8-Bit จำนวน 2 ช่อง , Timers/Counters 16-Bit จำนวน 2 ช่อง , 8-Bit PWM 2 ช่อง , Watchdog Timer , Real Time Counter
- I/O PORT 10 PIN จำนวน 6 PORT ดั้งนี้ PA,PB,PC,PD,PE,PF
- พอร์ต ISP LOAD สำหรับโปรแกรม MCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจร Line Driver สำหรับพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 จำนวน 2 ช่อง โดยเชื่อมต่อกับสัญญาณ PE0(RXD0) และ PE1(TXD0) จำนวน 1 ช่อง ส่วนที่เหลืออีก 1 ช่อง จะต่อกับสัญญาณ PD2(RXD1) และ PD3(TXD1) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถต่อทดลองการติดต่อสื่อสาร RS232
- วงจรเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD แบบ Character พร้อม VR ปรับความสว่างของ LCD ซึ่งใช้การเชื่อมต่อวงจรกับ LCD แบบ 4 Bit Interface
- วงจร Regulate ขนาด +5V / 1A สำหรับใช้งานเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้กับจอแสดงผล LCD และอุปกรณ์ I/O ต่างๆที่ใช้กับแหล่งจ่ายขนาดขนาด +5V พร้อม LED แสดงสถานะสีแดง



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงบอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการพัฒนา

กล้อง C328

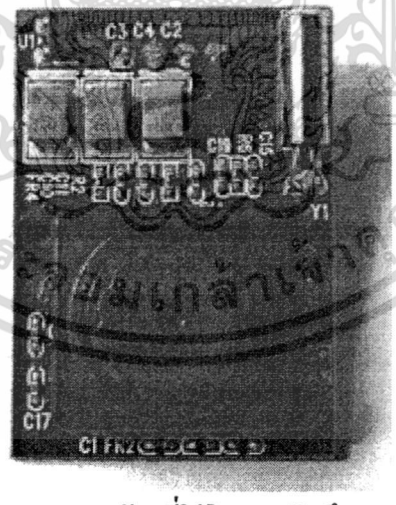
- ตัวโมดูลมีขนาดเล็ก ใช้ไฟเพียง 3.3V และ CAPTURE ภาพได้ขนาดสูงสุดที่ VGA (640*480)
- ตัวโมดูลใช้การเชื่อมต่อแบบ UAST โดยมีความเร็วในการส่งข้อมูลสุดที่ 115200 bps
- ขนาดของภาพที่ Capture เป็น Jpg ไฟล์มีขนาดของภาพที่ 640*480 , 320*240 , 160*120 และ 80*60 pixel
- สามารถเลือกสีของภาพที่ได้ โดยรองรับที่ 2-bit gray , 8 b-bit gray , 12-bit RGB , 16-bit RGB บน มาตรฐานของ JPG ไฟล์
- เป็นโมดูลราคาถูกและใช้พลังงานต่ำในการถ่ายภาพ
- มีวงจรสำหรับลดขนาดภาพและตัดขอบภาพฝังอยู่ภายในเพื่อให้ภาพที่ได้อยู่ในมาตรฐาน VGA/CIF/SIF/QCIF/160x128/80x64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ติดต่อสื่อสารผ่านอาร์เอส 232 โดยมีความเร็วสูงสุดที่ 115.2 Kbps เพื่อส่งผ่านข้อมูลภาพนิ่ง JPEG หรือแสดงผลภาพขนาด 160x128 ด้วยเฟรมเรท 0.75 – 6 เฟรมต่อวินาที
- เข้ารหัสภาพแบบ JPEG เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพสูงและมีขนาดเล็ก
- โมดูลมีขนาด 20x28mm
- ใช้กระแสเพียง 60mA
- ใช้คำสั่งอย่างง่ายเพื่อติดต่อกับโมดูล
- สามารถตรวจสอบบอตเรทที่ใช้ได้ติดต่อสื่อสารได้อย่างอัตโนมัติ

คุณสมบัติของเลนส์ที่ใช้กับกล้องLens included on camera:

- F/No 2.8
- เลนส์มีโฟกัสขนาด 4.63mm
- FOV = 41 deg diagonal
- มีฟิลเตอร์แสงอินฟาเรดติดตั้งภายใน
- เลนส์มีความสูงจากแผ่นวงจร (mm): 10
- เส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ (mm): 9
- ฝาครอบเลนส์มีขนาดมาตรฐาน (14x14mm)



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงกล้องที่ใช้ในการบันทึกภาพถ่าย

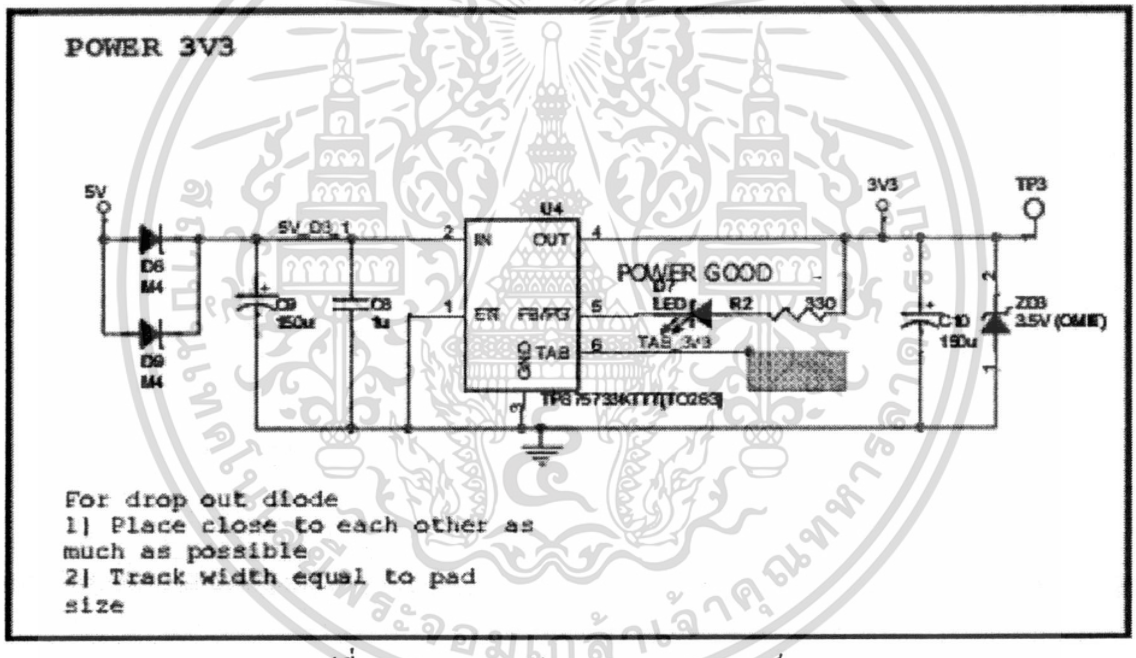
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดขาของกล้อง C328

ชื่อขา	รายละเอียดขา	ชนิด
VCC	แหล่งจ่ายไฟขนาด 3.3 โวลต์	อินพุท
TxD	สัญญาณข้อมูลขาออก	เอาต์พุท
RxD	สัญญาณข้อมูลขาเข้า	อินพุท
GND	กราวด์ของโมดูล	อินพุท

แหล่งจ่ายไฟ 3.3โวลต์

ใช้ ไอซี เรกูเลเตอร์ TPS75733KTTT ซึ่งรับ อินพุต เป็น 5โวลต์ แล้วแปลงออกมาเป็น 3.3โวลต์ ได้แผนผังวงจร ดังนี้



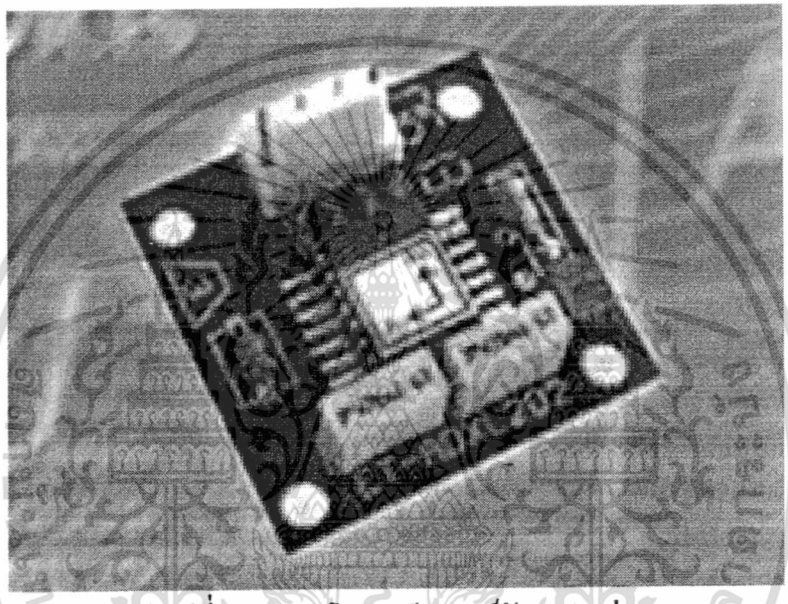
รูปที่ 3.3 แสดงแผนผังวงจรของเรกูเลเตอร์

ADXL202

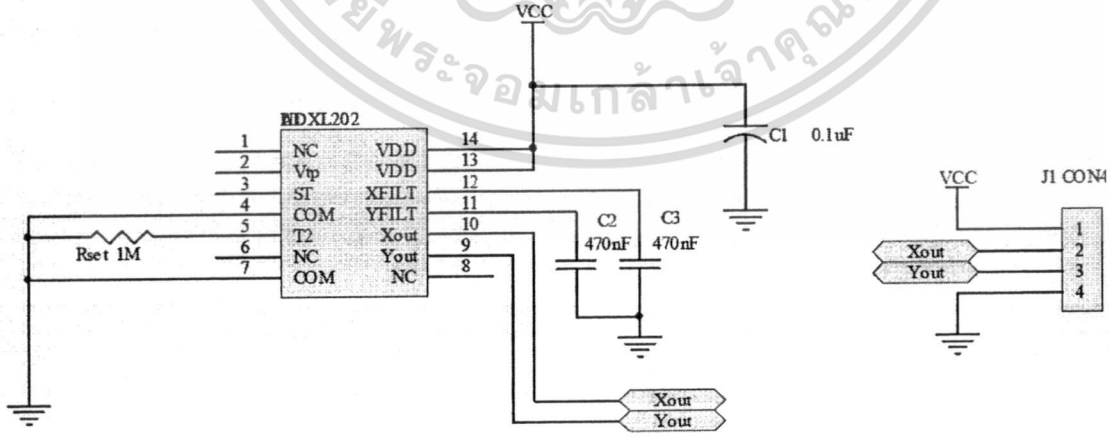
- เป็นเซนเซอร์วัดค่าความเร่งแบบ 2 แกน คือ แกน X และแกน Y
- วัดค่าได้ทั้งค่าความเร่ง (dynamic Acceleration)และวัดค่าความโน้มถ่วง (static acceleration)
- สามารถกำหนดค่าความกว้างพัลส์ (Period) ได้
- กินกำลังงานต่ำน้อยกว่า 0.6mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีความไวในการตอบสนองสูงกว่าเซนเซอร์ประเภทอื่นๆ เช่น Electrolytic, Mercury หรือ Thermal Tilt Sensors
- สามารถกำหนดค่าแบนวิดของสัญญาณ (Bandwidth) ได้โดยเพียงแค่กำหนดค่าคาปาซิเตอร์ (Cx,Cy)
- ความละเอียด 5 mg ที่แบนวิดท์ 60Hz
- ทำงานที่แรงดัน +3V จนถึง 5.25V
- สามารถทนทานต่อการสั่นสะเทือนสูงถึง 1,000g

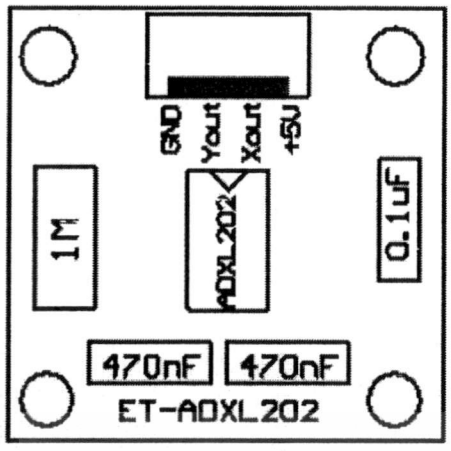


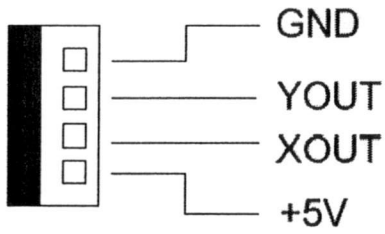
รูปที่ 3.4 แสดงโมดูลเซ็นเซอร์วัดความเร่ง



รูปที่ 3.5 แสดงผังวงจรของไอซี ADXL202

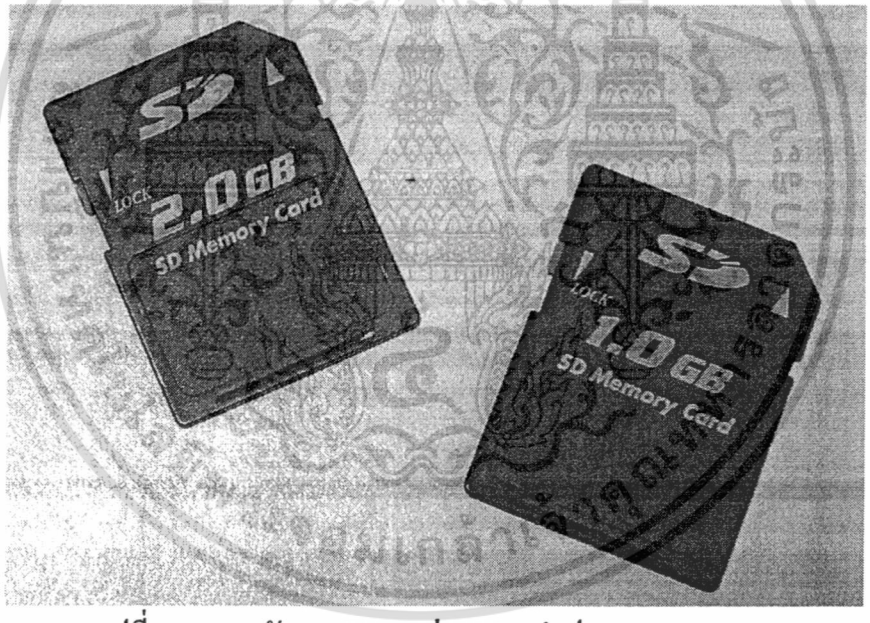
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งขาของโมดูล ADXL202

SD Card



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของหน่วยความจำประเภท SD Card

เป็นส่วนที่ใช้บันทึกข้อมูลภาพที่ถ่ายได้จากกล้องโดยมีขาสัญญาณที่จะต้องต่อเพื่อเชื่อมต่อทั้งหมด 5 ขาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

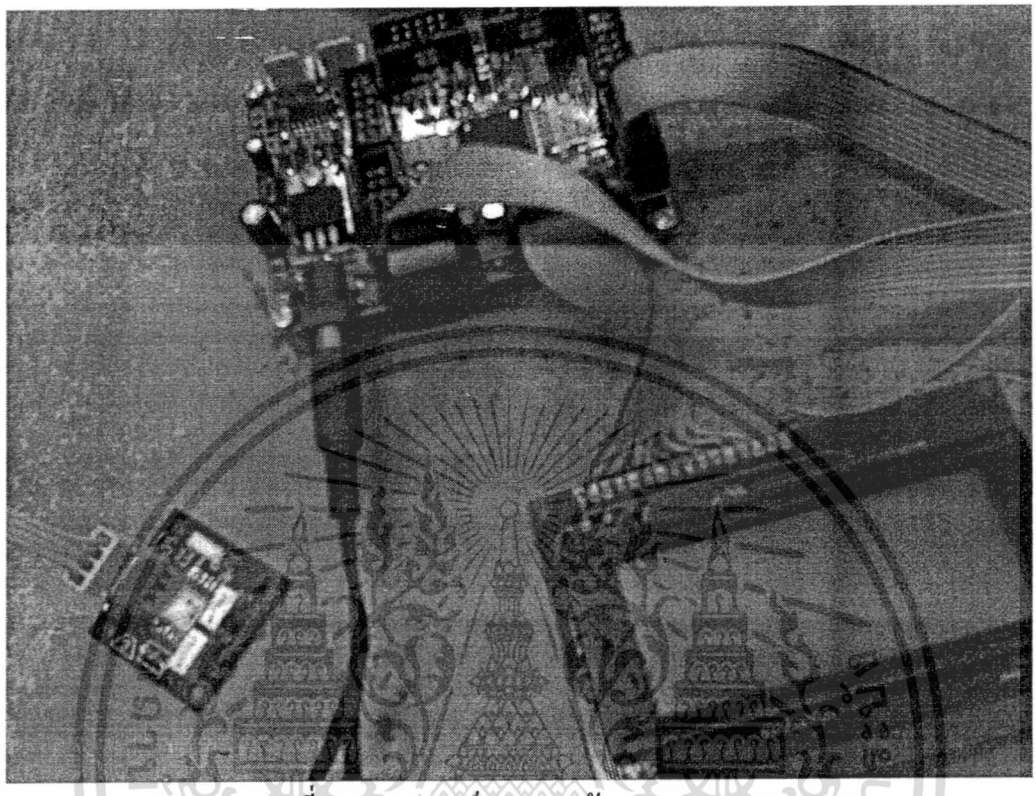
ตารางที่ 3.2 ขาเอสดี/เอ็มเอ็มซี

ชื่อขา	คำอธิบาย	ชนิด
MMCLK	เป็น ขา สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับ เอสดี/เอ็มเอ็มซี (MultiMediaCard and SD/SDIO Card Bus Clock)	เอาต์พุท
MMCMD	เป็น ขาอินพุทเอาต์พุท ที่ใช้ในการรับส่งคำสั่ง และการตอบสนองต่อ โทเค็น ของ เอสดี/เอ็มเอ็มซี (MultiMediaCard Command: MMC and SD/SDIO: Bidirectional line for command and response tokens.) เป็น เอาท์พุท ที่ใช้ในการส่งคำสั่งและเขียนข้อมูลของ เอสพีไอ (SPI: Output for command and write data.)	เอาต์พุท/ อินพุท
MMDAT 0	เป็น ขา ที่ใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลของ เอสดี/เอ็มเอ็มซี (MultiMediaCard Data 0: MMC and SD/SDIO: Bidirectional line for read and write data.) เป็น ขา ที่ใช้ในการตอบสนองต่อ โทเค็น ของ เอสพีไอ (SPI: Input for response token and read data.)	เอาต์พุท/ อินพุท
MMDAT 1	เป็นขาที่ใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลของ เอสดี/เอ็มเอ็มซี (MultiMediaCard Data 1: SD/SDIO: Bidirectional line for read and write data. Used only for SD 4-bit data transfers and to signal SDIO interrupts to the controller.) ใช้เป็น ขาอินเทอรัพท์ไปที่ คอนโทรเลอร์ ของ เอสพีไอ (SPI: Used only to signal SDIO interrupts to the controller.)	เอาต์พุท/ อินพุท
MMDAT 2/ MMCS0	เป็น ขา ที่ใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลของ เอสดี/เอ็มเอ็มซี (MMC Chip Select 0: SD/SDIO: Bidirectional line for read and write data. Used only for SD 4-bit data transfers.) ใช้เป็นขา ชิพ ซีเลค 0 ของ เอสพีไอ(SPI: Chip select 0)	เอาต์พุท/ อินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 จัดทำอุปกรณ์

หลังจากที่ได้ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์และแผนผังวงจรแล้วก็จำมาออกแบบและจัดทำวงจรต้นแบบได้ดังนี้



รูที่ 3.8 แสดงบอร์ดทดลองต้นแบบ

3.2 การพัฒนาซอฟต์แวร์

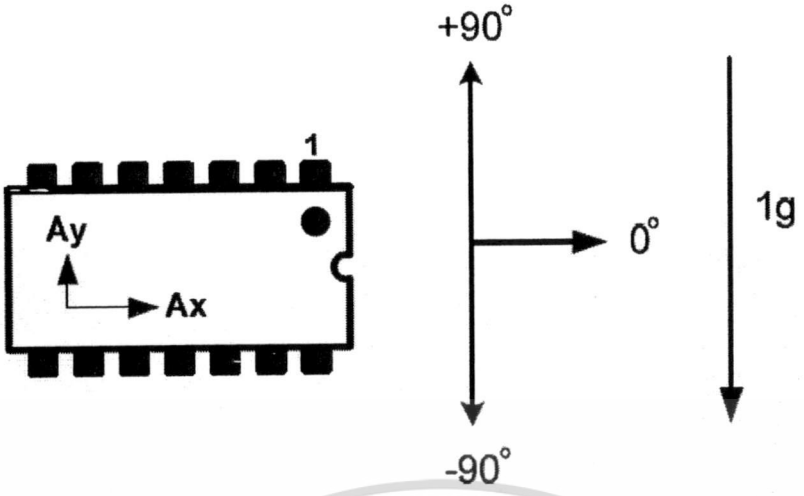
ในส่วนที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้ในส่วนต่อไปจะกล่าวถึงการออกแบบซอฟต์แวร์โดยจะเน้นในด้านการรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งเป็นหลักดังนี้

3.2.1 ศึกษาการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง

การทำงานของเซนเซอร์

เซนเซอร์จะให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ PWM จำนวน 2 ช่อง คือ สัญญาณเอาต์พุต PWM ของแกน X (Xout)และ สัญญาณเอาต์พุต PWM ของแกน Y (Yout) ซึ่งค่า Duty Cycle ของแต่ละช่องก็จะเปลี่ยนแปลงตามการโน้มเอียงของตัวไอซี หรือ เกิดจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอซีไปตามแนวแกนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงทิศทางในการวัดความเร่งของเซ็นเซอร์

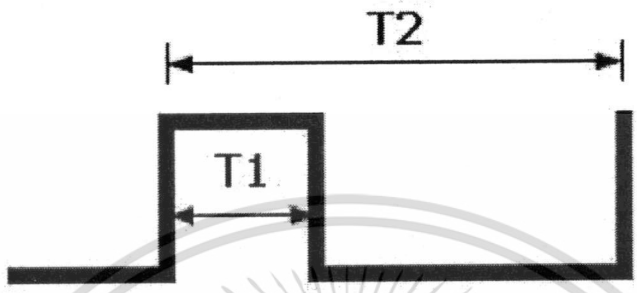
ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและความโน้มเอียงทางแกน X และ Y

X AXIS ORIENTATION TO HORIZON (°)	X OUTPUT		Y OUTPUT	
	X Output (g)	PER DEGREE OF TILT (mg)	Y Output (g)	PER DEGREE OF TILT (mg)
–90	–1.000	–0.2	0.000	17.5
–75	–0.966	4.4	0.259	16.9
–60	–0.866	8.6	0.500	15.2
–45	–0.707	12.2	0.707	12.4
–30	–0.500	15.0	0.866	8.9
–15	–0.259	16.8	0.966	4.7
0	0.000	17.5	1.000	0.2
15	0.259	16.9	0.966	–4.4
30	0.500	15.2	0.866	–8.6
45	0.707	12.4	0.707	–12.2
60	0.866	8.9	0.500	–15.0
75	0.966	4.7	0.259	–16.8
90	1.000	0.2	0.000	–17.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าความเร่งจากความกว้างของพัลส์

การนำไปใช้งาน เราสามารถใช้อุปกรณ์จำพวก ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการอ่านโดยวิธีการนับคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตของตัวเซนเซอร์เพื่อหาค่าเวลาต่างๆ (T1 และ T2)



รูปที่ 3.10 แสดงสัญญาณพัลส์ที่ได้จากเซ็นเซอร์

เหตุที่ต้องวัดหาค่าสัญญาณพัลส์ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความเร่งที่ต้องการ โดยเราสามารถคำนวณหาค่าความเร่ง (A) ได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$(A)g = (T1/T2 - 50\%)/12.5\%$$

g = ความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก

A = จำนวนเท่าของความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก

T2 = ความกว้างของคาบสัญญาณเอาท์พุทจากตัวเซ็นเซอร์

T1 = ความกว้างของพัลส์ (สถานะ "on" ของสัญญาณเอาท์พุทจากตัวเซนเซอร์)

12.5% = ค่า Sensitivity ต่อ 1 g

50% = ในกรณีที่ไม่มีความเร่งเกิดขึ้น (หรือ 0g) สัญญาณเอาท์พุทจะเท่ากับ 50% duty cycle

ซึ่งเราสามารถนำค่า เอาต์พุตที่ได้จาก Xout และ Yout มาคำนวณหาค่าความเร่งในแนวทางแกน X และ Yดังสมการต่อไปนี้

- ความเร่งในทางแกน X

$$Ax(g) = (T1x/T2x - 0.5)/12.5\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร่งในทางแกน Y

$$Ay(g) = (T1y/T2y - 0.5)/12.5\%$$

โดยที่ **Ax(g)** = ค่าความเร่งทางแกน x หน่วยเป็น g

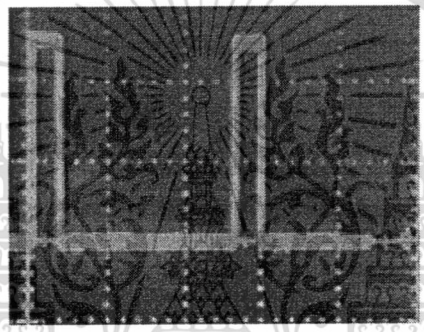
Ay(g) = ค่าความเร่งทางแกน y หน่วยเป็น g

T1x = ความกว้างพัลส์ (ช่วงเวลาของสถานะ On ของขาสัญญาณ Xout)

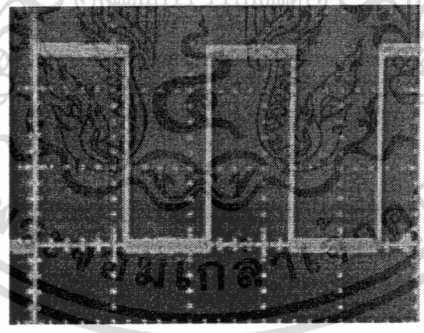
T1y = ความกว้างพัลส์ (ช่วงเวลาของสถานะ On ของขาสัญญาณ Yout)

T2x = ความกว้างคาบสัญญาณของ Xout

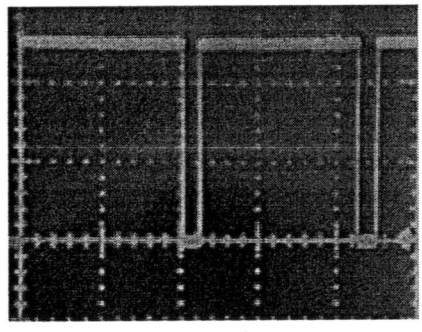
T2y = ความกว้างคาบสัญญาณของ Yout



รูปที่ 3.11 แสดงความเร่ง (a) < 0g ค่า duty cycle จะต่ำกว่า 50%



รูปที่ 3.12 แสดงความเร่ง (a) = 0g ค่า duty cycle จะได้ 50%



รูปที่ 3.13 แสดงความเร่ง (a) > 0g ค่า duty cycle จะมากกว่า 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การอ่านค่าความกว้างคาบสัญญาณของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง

เมื่อได้กำหนดค่าเริ่มต้นในการอ่านค่าความกว้างคาบสัญญาณให้กับคอนโทรลเลอร์แล้วก็จะสามารถอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ได้โดยแบ่งออกเป็นสองช่วงคือช่วงขอบขาขึ้นและขอบขาลงเพื่อให้สามารถทราบค่าความกว้างของสัญญาณได้ดังภาพดังนี้

```
ISR(TIMER1_CAPT_vect){

        unsigned int Buffer;
        double Calval;
        static unsigned char flag = 0;
        if(flag){
                Buffer = TCNT1;
                Calval = (((double)Buffer/(((double)TIMEFREQ)*2))*10000);
                if(Calval >=  5000){
                        Calval = Calval - 5000;
                }
                else{
                        Calval = 5000 - Calval;
                }
                Calval = Calval / 12.5;
                GotoLCD(0xCC);
                ShowIntNumber(2,(unsigned int)Calval/10);
                LCDString(".");
                ShowIntNumber(1,(unsigned int)Calval%10);
                flag = 0;
                TCCR1B |= (1 << ICES1);
        }
        else{
                TCCR1B &= ~(1 << ICES1);
                flag = 1;
                TCNT1 = 0;
        }
}
```

รูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่างโค๊ดที่ใช้อ่านค่าความกว้างของสัญญาณจากโมดูลแค๊ปเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] File System

http://en.wikipedia.org/wiki/File_system

GNU Free Document License

[2] Fat File System

www.nextproject.net

จักรกฤษณ์ แร่ทอง

[3] ADXL202

www.etteam.com

ETT Co., LTD

[4] Flash Drive Memory

www.dcomputer.com

[5] Image Compress Format

www.arip.co.th

Wanda @ ARiP

[6] C328

www.thaieasyelec.com

ณพงษ์ นิ่มสังข์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้