สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอล
DIGITAL COMPASS ROUTE RECORDING SYSTEM

โดย

นาย ธีรนัย คีฤทธิ์

นาย นัฐพงศ์ จงไกรจักร์

นาย ชวรัตน์ เขียวสดใส

วิทย.
ว 621.3
ร 5 ป
เลขหมู่ .....
เลขทะเบียน 83089
วัน,เดือน,ปี 1-5 ส.ค. 2551

b 11964054
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL COMPASS ROUTE RECORDING SYSTEM

BY

Mr. TEERANAI DEERIT

Mr. NATTAPONG JONGKRIJAK

Mr. CHAWARAT KHEAWSODSAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	**ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอล**		
	DIGITAL COMPASS ROUTE RECORDING SYSTEM		
ชื่อนักศึกษา	**นาย ธีรนัย**	**คีฤทธิ์**	**รหัส 48015580**
	นาย นัฐพงศ์	**จงไกรจักร์**	**รหัส 48015583**
	นาย ชวรัตน์	**เชียวสดใส**	**รหัส 48015600**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**รศ. นิกร**	**สุขุตมตันติ**	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	**ผศ.ไพศาล**	**สิทธิโยภาสกุล**	
ระดับการศึกษา	**ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	**วิศวกรรมสารสนเทศ**		
ปีการศึกษา	**2550**		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

.....

(รศ. นิกร สุขุตมตันติ)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

.....

(ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอล		
	DIGITAL COMPASS ROUTE RECORDING SYSTEM		
ชื่อนักศึกษา	นายธีรนัย	ดีฤทธิ์	รหัส 48015580
	นายนัฐพงศ์	จงไกรจักร์	รหัส 48015583
	นายชวรัตน์	เขียวสดใส	รหัส 48015600
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.นิกร	สุขุตมตันติ	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ไพศาล	สิทธิโชคภาสกุ	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอวิธีการนำเข็มทิศดิจิตอลและชุดนับรอบวงล้อ มาใช้ทำการบันทึกเส้นทางรถยนต์ เป็นการบันทึกจากการขับรถยนต์ไปตามถนนต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาของระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้ GPS ในช่วงเวลาที่เครื่องรับสัญญาณ *GPS อับสัญญาณ* โดยอุปกรณ์ชุดนี้จะอาศัยเข็มทิศดิจิตอลและชุดนับรอบวงล้อ เป็นตัวบอกตำแหน่งของผู้ใช้ โดยจะบอกเป็นพิกัดละติจูด , ลองจิจูด ซึ่งโปรแกรมจะนำพิกัดนี้ไปทำการ Plot จุดและแสดงของผู้ใช้ตำแหน่ง ลงบนแผนที่ เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่โปรแกรมก็จะทำการ Plot จุดต่อไปเป็นเส้นทางที่ผู้ใช้ได้ขับขี่รถยนต์ อยู่ในขณะนั้นซึ่งสามารถทำการบันทึกได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	DIGITAL COMPASS ROUTE RECORDING SYSTEM		
Student	Mr.Teeranai	Deerit	ID 48015580
	Mr.Nattapong	Jongkrijak	ID 48015583
	Mr.Chawarat	Kheawsodsai	ID 48015600
Advisor	Assoc.Prof.Nikorn	Sukutomtanti	
	Asst.Prof.Paisan	Sithiyopasakul	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering		
Department	Information Engineering		
Academic Year	2007		

ABSTRACT

This thesis presents know-how for using Digital Compass route recoding system for cars and other street rehicles. The result can be applied to car navigating system. Which indicates the longtitude and lattitude of the Earth coordimate within a given accuracy provided by the manufacturer. Computer program is written by using Visual Basic Which helps build a map and the vehicle's position along the traveling oath.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำชี้แนะแนวทางการทำงานพร้อมทั้งการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน

จากท่าน รศ.นิกร สุขุตมตันติ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมปริญญานิพนธ์ ทางผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณในความกรุณาทั้งหมดที่มีให้ด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ไพศาล สิทธิโชภาสกุล ที่ให้คำแนะนำเนื้อหาเพิ่มเติมที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์ ชี้แนะแนวทางในการดำเนินชีวิต ทั้งยังเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ พี่ๆที่ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยแนะนำแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ ตรวจหาข้อบกพร่องพร้อมทั้งแนะนำการแก้ไข

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นกำลังใจในการศึกษา ให้ความรักและห่วงใยในทุกๆด้านมาโดยตลอด

นายธีรนัย คีฤทธิ์
นายนัฐพงศ์ จงไกรจักร์
นายชวรัตน์ เขียวสดใส

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 แบบจำลองของโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	5
2.1.1 บทนำคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	6
2.1.2 การจัดวางขาต่างๆของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51	8
2.1.3 Memory Organization in MCS-51	10
2.1.4 กระบวนการอินเตอร์รัพต์	19
2.1.5 การจัดการอินเตอร์รัพต์	19
2.2 ระบบบัสแบบ I^2C และการเชื่อมต่อ	20
2.2.1 ระบบบัสแบบ I^2C และการเชื่อมต่อ	21
2.2.2 การอ้างถึงแบบ 7 บิต	22
2.2.3 การอ้างถึงแบบ 10 บิต	23
2.2.4 ฟังก์ชั่นที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อติดต่ออุปกรณ์บนระบบบัส I^2C	23
2.3 การสื่อสาร	24
2 3.1 การสื่อสารแบบขนาน	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม 25
2.3.3 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 27
2.4 การอินเตอร์เฟส 30
2.4.1 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232 30
2.4.2 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ 30
2.4.3 การแฮนด์เชกใน RS-232 31
2.5 คอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ท RS – 232 และการเชื่อมต่อ 34
2.6 ระบบรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 36
2.6.1 GPRS (General Packet Radio Service) คืออะไร 36
2.6.2 ความเป็น Packet Switching 38
2.6.3 การพัฒนาเทคโนโลยี 38
2.6.4 ความเร็วในการส่งข้อมูล 40
2.6.5 ระดับความสามารถของ GPRS 40
2.6.6 คุณสมบัติเด่นหลัก ๆ ของระบบ GPRS 41
2.6.7 ประโยชน์ของ GPRS 41
2.6.8 GPRS ดีกว่าระบบ GSM เดิมอย่างไร 42
2.6.9 ข้อจำกัดของ GPRS 42
2.6.10 จุดเด่นของ GPRS 44
2.7 ระบบแผนที่ 45
2.7 .1 แผนที่ดิจิตอล 45
2.7 .2 ระบบพิกัดบนแผนที่ 46
2.7.3 ระบบแผนที่ด้วย Google Maps API 46
บทที่ 3 การออกแบบ 48
3.1 การออกแบบการทำงานของภาคส่ง 48
3.1.1 วงจรนับรอบล้อ 49
3.1.1.1 หลักการทำงาน 49
3.1.1.2 วงจรและการทำงาน 50
3.1.1.3 วงจรขยายสัญญาณ 51
3.1.1.4 วงจรเพาเวอร์ 52
3.1.1.5 หลักการทำงานของอินฟาเรด 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบชุดเข็มทิศดิจิตอล 53
3.1.2.1 การใช้ เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03 53
3.1.2.2 คุณสมบัติของเข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03 53
3.1.3 การออกแบบและใช้งานGR-64 GSM/GPRS Module 55
3.1.3.1 คุณสมบัติ 55
3.1.3.2 การใช้งาน GR-64 55
3.2 การออกแบบการทำงานของระบบกาครับ 56
บทที่ 4 ผลการทดลอง 57
4.1 ผลการทดลองทางกาคส่ง 57
ผลการทดลองทางภาครับ 60
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไขและการพัฒนา 63
บรรณานุกรม
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 1.1	แบบจำลองของระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศ	2
รูปที่ 2.1	แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	6
รูปที่ 2.2	แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	7
รูปที่ 2.3	แสดงรูปร่างและการจัดวางขาต่างๆของไมโครคอนโทรเลอร์MCS-51	8
รูปที่ 2.4	หน่วยความจำรอมและหน่วยความจำแรม	10
รูปที่ 2.5	หน่วยความจำแรมภายใน MCS-51	11
รูปที่ 2.6	แสดงผังตำแหน่ง Program memory	12
รูปที่ 2.7	แสดงผัง Internal data memoryและ External data memory	13
รูปที่ 2.8	แสดงผังหน่วยความจำภายใน	13
รูปที่ 2.9	Lower 128 bytes of internal data memory	14
รูปที่ 2.10	Upper 128 bytes of internal data memory	15
รูปที่ 2.11	รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	16
รูปที่ 2.12	การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51	18
รูปที่ 2.13	รูปแบบการเชื่อมต่อมาตรฐานของระบบบัส I^2C	20
รูปที่ 2.14	จังหวะสัญญาณเวลาบนบัส	21
รูปที่ 2.15	รูปแบบข้อมูลมาตรฐานในการอ้างแอดเดรสของการเชื่อมต่อบนระบบบัส I^2C	22
รูปที่ 2.1	รูปแบบของข้อมูลในการอ้างแอดเดรสแบบ 7 บิตบนระบบบัส I^2C	23
รูปที่ 2.17	รูปแบบของข้อมูลในการอ้างแอดเดรสแบบ 10 บิตบนระบบบัส I^2C	23
รูปที่ 2.18	การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน	25
รูปที่ 2.19	การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	26
รูปที่ 2.20	การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	26
รูปที่ 2.21	บิตต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม	27
รูปที่ 2.22	บิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ SCON	28
รูปที่ 2.23	การเชื่อมต่อMCS-51กับ IC MAX232A เพื่อการรับส่งข้อมูลแบอนุกรม	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24	คอนเน็กเตอร์ของพอร์ตอนุกรม	30
รูปที่ 2.25	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์	30
รูปที่ 2.26	ลักษณะตำแหน่งขาอุปกรณ์ของไอซี MAX 232	33
รูปที่ 2.27	แสดงการจัดขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ทอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232	34
รูปที่ 2.28	แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ	35
รูปที่ 2.29	แสดงหลักการทำงานของระบบจีพีอาร์เอส	39
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมระบบภาคส่ง	48
รูปที่ 3.2	รูปหลักการนับรอบล้อ	49
รูปที่ 3.3	รูปวงจรนับรอบล้อ	50
รูปที่ 3.4	รูปวงจรขยายสัญญาณ	51
รูปที่ 3.5	รูปวงจรเพาเวอร์	52
รูปที่ 3.6	รูปหลักการทำงานของอินฟาเรด	52
รูปที่ 3.7	ลักษณะภายนอกของเข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03[2]	53
รูปที่ 3.8	ขาที่ต่อใช้งาน เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03[2]	54
รูปที่ 3.9	การต่อเข้ากับอุปกรณ์เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03 [2]	54
รูปที่ 3.10	GR-64 GSM/GPRS Module	55
รูปที่ 3.11	บล็อกไดอะแกรมระบบภาครับ	56
รูปที่4.1	ฮาร์ดแวร์ที่ติดตั้งบนตัวรถ	57
รูปที่4.2	การติดตั้งโมดูลเข็มทิศดิจิตอล	57
รูปที่4.3	สัญญาณที่วัดได้จากชุดนับรอบล้อโดยการเดินหน้า	58
รูปที่4.4	สัญญาณที่วัดได้จากชุดนับรอบล้อโดยการถอยหลัง	58
รูปที่4.5	สัญญาณที่วัดได้จากสายTX,RX	59
รูปที่4.6	โมดูล GSM/GPRS ภาครับ	60
รูปที่4.7	Applicationในภาครับแสดงค่าเป็นตัวเลขหนึ่งชุดเมื่อรับค่าที่ส่งมาได้	60
รูปที่4.8	Applicationในภาครับแสดงค่าเป็นข้อความเมื่อไม่สามารถส่งค่าได้	61
รูปที่4.9	ทดลองรถให้วิ่งเป็นวงกลม	61
รูปที่4.10	Applicationในภาครับแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ	62
รูปที่4.11	Dataที่ทำการบันทึกได้ในส่วนของภาครับ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	รายละเอียดบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	17
ตารางที่ 2.2	การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างการสื่อสารข้อมูลแบบขนานและแบบอนุกรม	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ

เนื่องจาก ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้GPS ในปัจจุบันนี้ยังมีปัญหาในด้านการขาดหายไปของสัญญาณ GPS ในบางช่วงเวลาเมื่อตัวรับสัญญาณ GPS อยู่ในบริเวณที่อับสัญญาณหรือในบริเวณที่ไม่สามารถรับสัญญาณ GPS ได้ เช่น บริเวณภายในตึกสูง หรือ ในอุโมงค์ใต้ดิน ทำให้ไม่สามารถติดตามพิกัดตำแหน่งของรถยนต์ที่ติดตั้งระบบดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดที่จะสร้างโครงงานชิ้นนี้ขึ้นมาคือ ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอล เพื่อช่วยแก้ปัญหาในด้านความไม่ต่อเนื่องในการติดตามพิกัดตำแหน่งของรถยนต์ เมื่ออยู่ในบริเวณที่อับสัญญาณได้ โดย เมื่อระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้GPS อยู่ในบริเวณที่อับสัญญาณ ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอล ก็จะทำงานแทนระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้GPS และ เมื่อระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้GPS สามารถทำงานได้ตามปกติ ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอลก็จะหยุดทำงาน กล่าวคือ ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางทั้งสองระบบ จะสลับกันทำงานโดยใช้ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้GPS เป็นหลักในการบันทึกเส้นทางการเดินทางและใช้ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอลเป็นระบบสำรองเมื่ออยู่ในบริเวณที่อับสัญญาณ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามพิกัดตำแหน่งรถยนต์ของระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้GPS ให้มีความแม่นยำมากขึ้น

1.2.2 เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้และประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เข็มทิศดิจิตอลและโทรศัพท์มือถือ

1.2.3 เพื่อศึกษาและออกแบบซอฟต์แวร์(software)ที่ใช้ควบคุมการทำงาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ขอบเขตด้านฮาร์ดแวร์

1.3.1.1 ศึกษาและออกแบบระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศดิจิตอล

1.3.1.2 ใช้เข็มทิศดิจิตอลและชุดนับรอบวงล้อเป็นตัวบอกทิศทางและระยะทาง

1.3.1.3 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการประมวลผลวงจรโดยรวม

1.3.1.4 ใช้ GSM/GPRS Module ในการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 ขอบเขตด้านซอฟแวร์

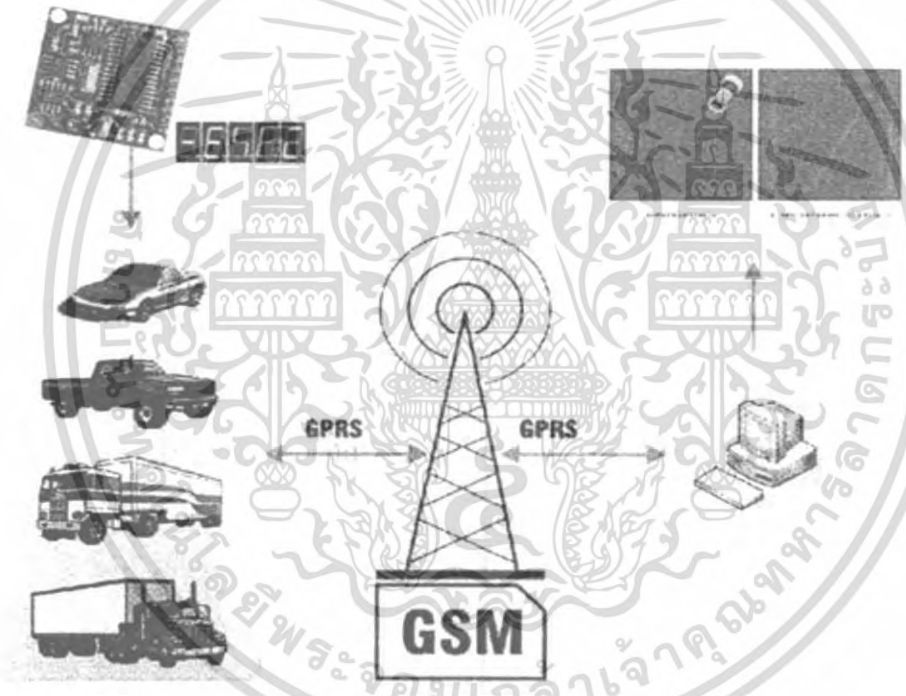
1.3.2.1 ใช้ภาษาซีในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3.2.2 ใช้โปรแกรมKielในการเขียนโปรแกรมภาษาซี

1.3.2.3 ใช้โปรแกรม Hyperterminalในการทดสอบการรองรับคำสั่ง AT Command ของโทรศัพท์มือถือ

1.3.2.4 ใช้ Visual Basic ในการแสดงผลทางคอมพิวเตอร์

1.4 แบบจำลองในการทดลอง



รูปที่ 1-1 แบบจำลองของระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้เข็มทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

ในการดำเนินโครงงานได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

- ศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานโมดูลเข็มทิศดิจิตอลและการนำมาประยุกต์ใช้งาน จากหนังสือและคู่มือการใช้งาน
- ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบวงจรดิจิตอลและการใช้งานจากหนังสือ
- ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จากคู่มือของไมโครคอนโทรลเลอร์และหนังสือเล่มอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบเพิ่มเติม
- ศึกษาการใช้โปรแกรมภาษาซีในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
- ศึกษาการใช้โปรแกรม Visual Basic
- ศึกษาการรับ-ส่งข้อมูลของโทรศัพท์มือจากเว็บไซต์และคู่มือต่างๆ

1.5.2 การออกแบบ

จะเน้นเรื่องขนาดเครื่องให้เหมาะสำหรับที่จะติดตั้งในรถยนต์ได้

1.5.3 การสร้างตัวเครื่อง

- เขียนโฟล์วชาร์ทของระบบโดยรวมเพื่อให้เห็นภาพการเชื่อมต่อและการทำงานของอุปกรณ์แต่ละส่วน
- ต่อวงจรและทดลองเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบความพร้อมของวงจรแต่ละวงจร
- เขียนโครงร่างในการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนตัวเครื่อง เพื่อเวลาประกอบจะได้ไม่ผิดพลาดและทำให้เสียวัสดุอุปกรณ์โดยเปล่าประโยชน์
- ประกอบตัวเครื่องและต่อวงจรอุปกรณ์ทั้งหมดภายในเครื่อง

1.5.4 การทดลอง

- ทำการทดลองรันโปรแกรมในแต่ละส่วน และ ส่วนของวงจรรวมทั้งหมดและบันทึกผล
- ทำการทดลองในส่วนของการสั่งงานให้โทรศัพท์มือถือทำงานได้ตามที่ต้องการ

1.5.5 ปรับปรุงและแก้ไข

- ส่วนของวงจรและโปรแกรมถ้ามีการทำงานที่ผิดพลาดไม่ได้ผลตามที่ต้องการก็ทำการหาจุดที่บกพร่องและศึกษาความรู้เพิ่มในส่วนนั้น
- ส่วนของระบบกลไกถ้ามีการทำงานผิดพลาดก็ทำการแก้ไข ปรับปรุง หรือหาอุปกรณ์ใหม่มาทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ระบบบันทึกเส้นทางการเดินทางโดยใช้GPS มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

1.6.2 เป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อการพัฒนาให้ระบบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

1.6.3 พัฒนาความรู้และประยุกต์ใช้ภาษา C โทรศัพท์มือถือ และไมโครคอนโทรลเลอร์

1.7 เนื้อหาในปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยใน

บทที่1 กล่าวถึง แนวคิดและที่มา ,วัตถุประสงค์,ขอบเขตของปริญญานิพนธ์,ขั้นตอนการดำเนินปริญญานิพนธ์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่2 กล่าวถึง ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์,ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51, เซ็มทิศดิจิตอล,ชุดนับรอบวงล้อ,การอินเตอร์เฟส,MAX 232,GSM AT Command กับโทรศัพท์มือถือ,หลักการรับส่ง GPRS

บทที่3 กล่าวถึง การออกแบบฮาร์ดแวร์ และการออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งจะมีส่วนของการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

บทที่4 กล่าวถึง การทดลอง

บทที่5 กล่าวถึงการสรุปผล ปัญหาและแนวทางการแก้ไขในการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เทคโนโลยีที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดสามารถศึกษาได้จากคู่มือได้โดยตรง และลักษณะของขาต่าง ๆ จะเหมือนกัน

คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

- มีหน่วยความจำ ROM 4 Kbyte, 8 Kbyte, 20 Kbyte
- มีหน่วยความจำ RAM 128 byte
- มีพอร์ท I/O ขนาด 8 บิต 4 พอร์ท
- มี Timer 16 บิต 2 ตัว
- สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรนาฬิกาบนชิพ
- มีพอร์ทอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ด้วยความเร็วสูง
- อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64K
- อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64K
- สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
- หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 11.0592 MHz

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีชุดคำสั่ง (Instruction Set) อยู่จำนวนหนึ่ง สำหรับสั่งงานให้ทำงานต่าง ๆ และเนื่องจาก MCS-51 จะประมวลผลแบบ 8 บิต รหัสภาษาเครื่องจะมีขนาด 8 บิต ด้วย ซึ่งชุดคำสั่งจะมีได้จำนวนสูงสุด 28 = 256 ชุดคำสั่ง คำสั่งแต่ละคำสั่งอาจมีขนาด 1, 2 หรือ 3 ไบต์

MCS-51 มีโหมดการอ้างแอดเดรส (Addressing Modes) เพื่อติดต่อกับหน่วยความจำซึ่งอาจจะเป็นการอ่านข้อมูลออกมาหรือเขียนข้อมูลเข้าไปได้ทั้งหมด 8 โหมดคือ Register, Direct, Indirect, Immediate, Relative, Absolute และ Index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน MCS-51 จะแบ่งชุดของคำสั่งออกได้ 5 ประเภท ได้แก่

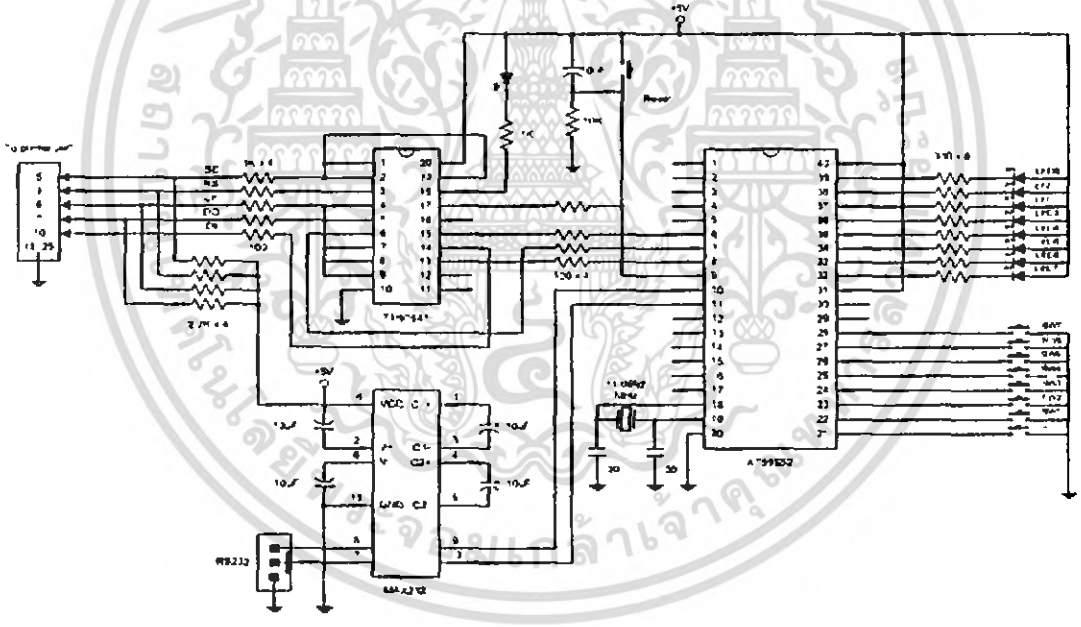
1. Arithmetic Instructions เป็นกลุ่มคำสั่งที่ทำงานด้านคณิตศาสตร์ เช่น ADD, SUBB, INC, DIV เป็นต้น

2. Logical Instructions มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Boolean Operation ซึ่งสามารถกระทำแบบไบต์ต่อไบต์ หรือ บิตต่อบิตได้ เช่น ANL, ORL เป็นต้น

3. Data Transfer Instructions เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย คัดลอกข้อมูลซึ่งสามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้หลายแบบ เช่น MOV, XCH, XCHD เป็นต้น

4. Boolean Instructions เช่น ANL, ORL, CLR, SETB เป็นต้น

5. Program Branching เป็นกลุ่มคำสั่งสำหรับสั่งให้โปรแกรมกระโดดไปทำงานในตำแหน่งที่ต้องการ แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่มคือ กระโดดแบบมีเงื่อนไข เช่น AJMP, LJMP, SJMP กับกระโดดแบบมีเงื่อนไข เช่น JZ, JNZ, CJNE, DJNZ เป็นต้น



รูปที่ 2-1 แสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

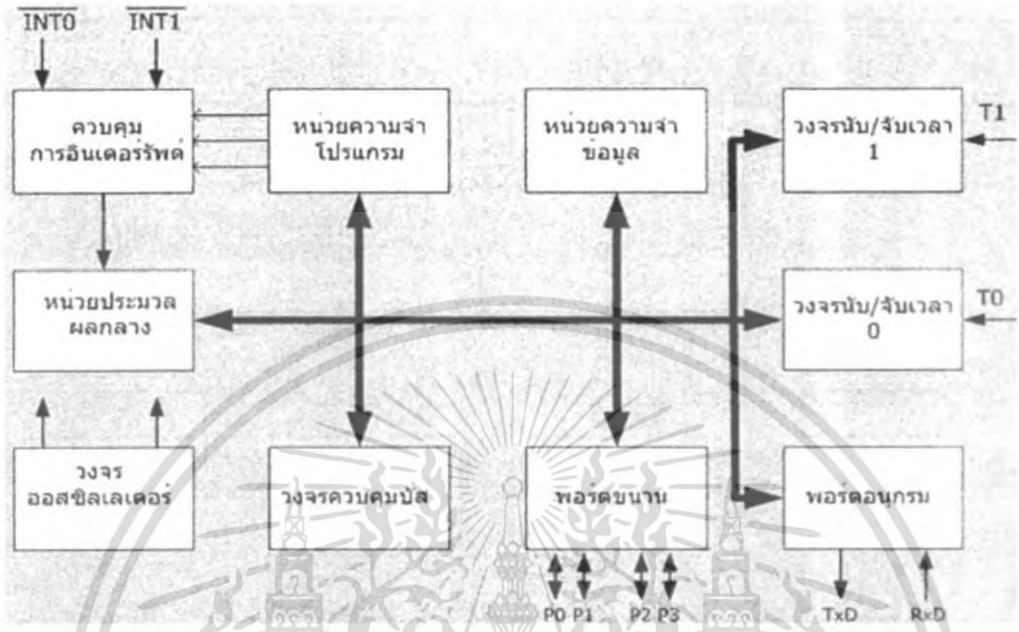
2.1.1 โครงสร้าง 8051

ลักษณะการจัดขาภายนอกของ MCS-51การจัดขาตามลักษณะภายนอกของชิป MCS-51 จะมีการแบ่งกลุ่มการจัดขาออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกัน คือ

1. กลุ่มขาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง และสัญญาณนาฬิกา
2. กลุ่มขาสำหรับการอ้างแอดเดรสและรับส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กลุ่มขาที่ใช้ในการควบคุม
4. กลุ่มขาพอร์ตใช้งานแบบขนานและอนุกรม

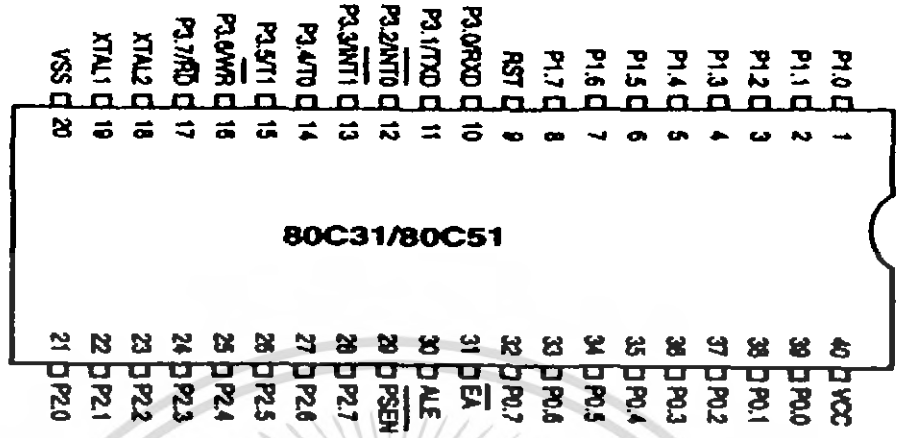


รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โครงสร้างภายในพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้ ส่วนของหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูลขนาด 128 ไบท์ (Internal Data Memory) ส่วนของหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมที่มีขนาด 4 กิโลไบท์ (Internal Program Memory) อุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Control Unit) ตัวตั้งเวลาและตัวนับเวลาขนาด 16 บิท 2 ชุด (Timer/Counter 0 and Timer/Counter 1) พอร์ตควบคุมการสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลพร้อมกันได้ พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิท วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การจัดวางขาต่างๆของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51



รูปที่ 2-3 แสดงรูปร่างและการจัดวางขาต่างๆของไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51

หน้าที่และการทำงานของขาไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51

Pin	หน้าที่ / การทำงาน
P0.0-P0.7	Port 0 เป็น Open drain bidirectional I/O Port 8 Bit เมื่อใช้เป็น Output มันสามารถรับ (Sink) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 8 ตัว สำหรับ Port 0 Bit ที่ถูกส่งค่า '1' ออกมา จะทำให้ขานั้นเป็น Float ซึ่งสามารถใช้งานเป็น High impedance Input ได้นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่เป็น Address Bus ส่วนของ Low byte (PCL) สลับกับ Data Bus ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ในการนี้ Logic '1' จะถูกสร้างจาก Strong Internal pull-upและท้ายสุด Port 0จะใช้ส่งค่าที่มีอยู่ใน Internal program memory ออกมาเพื่อการตรวจสอบ (Program verification) แต่จะต้องต่อ External pull-up ให้ด้วย
P1.0-P1.7	Port 1 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up เมื่อใช้เป็น Output . มันสามารถ รับ/จ่าย (Sink/Source) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 4 ตัว สำหรับ Port 1 Bit ที่ถูกส่งค่า '1' ออกมา จะทำให้ขานั้นเป็น High จาก Internal pull-up ซึ่งสามารถใช้งานเป็น Input ได้ และเมื่อถูกป้อนด้วย Logic '0' นั้น มันจะให้กระแสออกมาได้ ซึ่งกระแสจะไหลมาจาก Internal pull-up นั่นเอง (IIL, on data sheet) นอกจากนี้ สำหรับ 80C52, 83C154 and 83C154D ขา Port 1.0 และ P1.1 จะสามารถใช้งานเป็น T2 , T2EX (T2: Timer 2 input , T2EX: Timer 2 "Capture" input)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P2.0-P2.7 Port 2 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up เมื่อใช้เป็นOutput มันสามารถ รับ/จ่าย (Sink/Source) กระแส ของ Input แบบ LS TTL ได้ 4 ตัว นอกจากนี้ Port 2 ยังทำหน้าที่เป็น Address Bus ในส่วนของ High byte (PCH) ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ที่ใช้การอ้าง Address แบบ 16 Bit ในการนี้ Logic '1' จะถูกสร้างจาก Strong Internal pull-up

P3.0-P3.7 Port 3 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up นอกจากนี้แล้ว ขาต่างๆ ของ Port 3 จะมีการใช้งานเป็น Special feature ของ MCS –51 ดังต่อไปนี้

P3.0: RXD (Serial input port)

P3.1: TXD (Serial output port)

P3.2: INT0 (External interrupt 0)

P3.3: INT1 (External interrupt 1)

P3.4: T0 (Timer 0 external input)

P3.5: T1 (Timer 1 external input)

P3.6: WR (External data memory write strobe)

P3.7: RD (External data memory read strobe)

RST Reset เป็นสัญญาณป้อนให้กับ MCS เพื่อเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ การทำ Reset นี้จะต้องทำทุกครั้งที่จ่ายไฟให้กับวงจร ในการ Reset สัญญาณ RST ต้องมีอยู่อย่างน้อย 2 Machine cycles จึงจะทำการ Reset ได้

ALE Address Latch Enable เป็นสัญญาณ จะไป ทำให้ค่าของ PCL ถูกเก็บเข้าที่ LATCH ในระหว่างที่ ค่าของ PCL ออกมาที่ P0 สัญญาณ ALE นี้จะมีออกมาตลอดเวลา (ไม่ว่าจะมีการใช้ External memory หรือไม่) เป็นความถี่ 1/6 ของสัญญาณ Clock ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นฐานเวลาให้กับวงจรภายนอกได้แต่อย่างไรก็ดีในกรณีที่เป็นการติดต่อกับ External data memory สัญญาณ ALE จะข้ามไป หนึ่ง ถูก

$\overline{PSEN}$ Program Store Enable สัญญาณ $\overline{PSEN}$ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ในการ Fetch คำสั่งจาก External program memory นั้น จะไม่ทำงานเมื่อเป็นการ Fetch คำสั่งจาก Internal program memory สัญญาณ $\overline{PSEN}$ นี้จะมีเกิดขึ้น สองครั้ง External data memory สัญญาณ $\overline{PSEN}$ จะข้ามไป

$\overline{EA}$ External Access โดยการต่อขาสัญญาณ $\overline{EA}$ เป็น 'High' การ Fetch คำ สั่งที่ Address น้อยกว่า 0FFFh (4K สำหรับ 80C51) จะได้จาก Internal program memory และถ้าเป็น Address ตั้งแต่ 1000h ก็ จะเป็นการอ่านจาก External

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

program memory ถ้าต่อขา $\overline{EA}$ เข้ากับ 'Low' การ Fetch คำสั่งทั้งหมดจะกระทำกับ External program memory

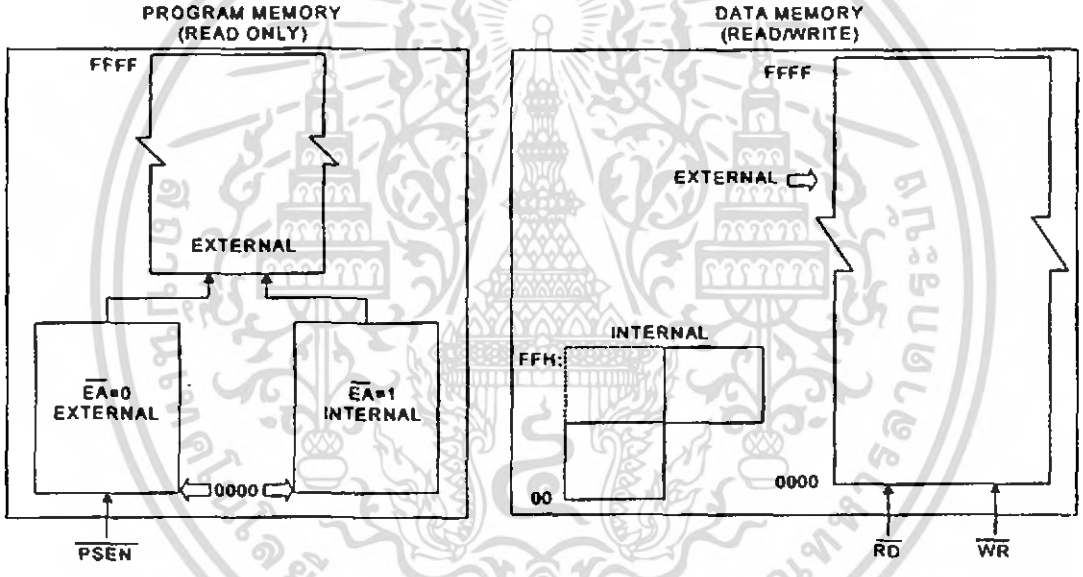
XTAL1 Input to inverting oscillator amplifier และใช้สำหรับการป้อน External clock

XTAL2 Output to inverting oscillator amplifier

2.1.3 Memory Organization in MCS-51

Logical separation of program and data memory

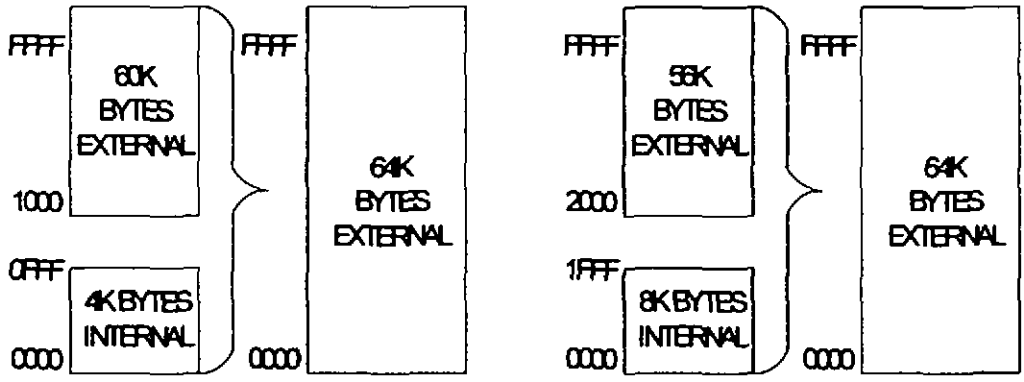
สำหรับ Microcontroller MCS-51 นั้นถูกออกแบบมาให้ มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Op-code) และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่แยกออกจากกันดังรูป



รูปที่ 2-4 หน่วยความจำรอมและหน่วยความจำแรม

การออกแบบของ Data memory ที่แยกออกมานี้ จะทำให้สามารถเรียกใช้งานได้โดยใช้ Address เพียง 8 Bit เท่านั้น ซึ่งจะทำได้อย่างรวดเร็วใน CPU ที่เป็น 8 Bit แต่การใช้ Address เพียง 8 Bit ทำให้อ้างถึงตำแหน่งของ Internal data memory ได้เพียง 256 ตำแหน่งเท่านั้น (00h – FFh) ซึ่งก็เพียง พอสำหรับ การใช้ในการทำงานของโปรแกรมขนาดเล็ก แต่ถ้าต้องการใช้งา Datamemory จำนวนมาก จะต้องเป็นการใช้งานของ External data memory ซึ่งสามารถใช้การอ้างถึงตำแหน่ง Address แบบ 16 Bit โดยใช้ DPTR: Data pointer (Data memory address register)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 หน่วยความจำแรมภายใน MCS-51

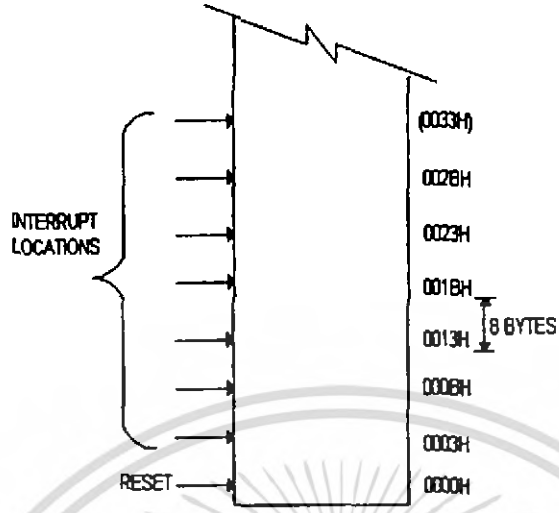
ส่วนของ Program memory จะเป็นหน่วยความจำที่อ่านได้เพียงอย่างเดียว และ สามารถมีได้ทั้งหมด 64K ตำแหน่งสำหรับ MCS-51 ในแบบที่มี Program memory ภายใน ก็จะมีพื้นที่ในการเก็บโปรแกรมภายใน ICเอง 4K, 8K, 16K หรือ 32K Address (ตามเบอร์ของ IC ที่ใช้) สำหรับ Address ที่มากกว่านี้ ก็จะเป็น Program memory ภายนอก ส่วน MCS-51 ที่ไม่มี Internal program memory ส่วนของ Program memory ทั้งหมดจะอยู่ภายนอกสำหรับการอ่าน External program memory นั้น MCS-51จะใช้ขาสัญญาณ $\overline{PSEN}$ (Program Store Enable)

2.1.3.1 External Data Memory

สำหรับ External data memory ซึ่งสามารถที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไปได้ ก็จะมี Address ที่แยกออกจาก Program memory และมีตำแหน่งของ External data memory ได้ทั้งหมด 64K Address ในการติดต่อกับ External data memory นั้น MCS-51 จะใช้ขาสัญญาณ $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$ ในกรณีที่ต้องการใช้ External program memory และ External data memory ร่วมกันนั้น จะทำได้โดยการนำสัญญาณ $\overline{PSEN}$ และ $\overline{RD}$ มารวมกันโดยใช้ AND gate จะได้สัญญาณในการอ่าน External Program/Data memory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 Program memory



รูปที่ 2-6 แสดงผังตำแหน่ง Program memory

Program memory ในตำแหน่งเริ่มต้น ซึ่งเมื่อ CPU เริ่มการทำงานหลังจากการ Reset ก็จะเริ่มการทำงานตามคำสั่งที่ Address 0000h และ สำหรับ Address ที่แสดงต่อมานั้น จะมีตำแหน่งที่อยู่ของ ISR : Interrupt Service Routine โดยการทำงานของ Interrupt ใน MCS-51 เมื่อ เกิดสัญญาณ Interrupt เข้ามา มันก็จะกระโดดการทำงานมายังโปรแกรมในตำแหน่งที่กำหนดนี้ ตัวอย่างเช่น สำหรับ Interrupt 0 จากภายนอก เมื่อ MCS-51 ได้รับสัญญาณ Interrupt นี้ มันก็จะกระโดดการทำงานมายังโปรแกรมใน Address 0003h และสำหรับ Interrupt ที่เกิดจาก Timer 0 ก็จะกระโดดการทำงานมายังโปรแกรมใน Address 000Bh และ Interrupt 1 จากภายนอก ก็จะกระโดดการทำงานมายังโปรแกรมในAddress 0013h ในแต่ละ Address กำหนดให้สำหรับ ISR นั้น จะมีพื้นในการเก็บโปรแกรมได้ 8 Address ซึ่งถ้า ISR ที่ต้องการ เป็นโปรแกรมที่สั้นๆ ก็จะสามารถใส่เข้าไปได้ แต่ถ้าเป็น ISR ที่ยาวมากแล้วก็จะทำได้ โดยการใช้คำสั่ง *Jump* ไปยังโปรแกรมที่ต้องการอีกที

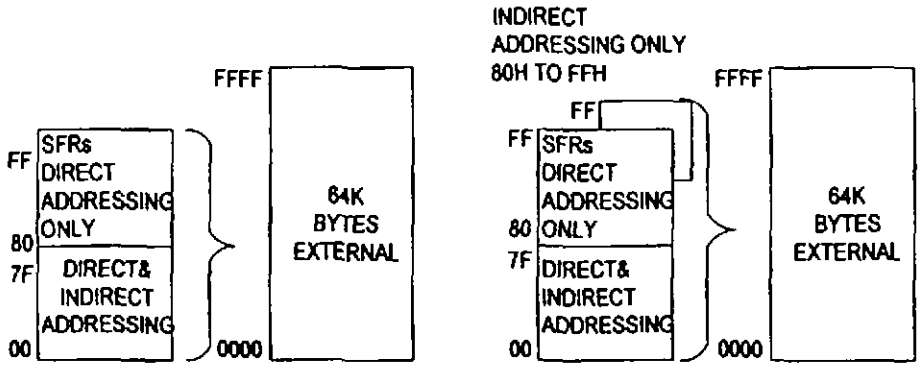
2.1.3.2 Data memory

Data memory ของ MSC-51 นั้นจะแบ่งออกเป็น Internal data memory และ External data memory โดยการใช้งานของ Data memory ทั้งสองส่วนนี้จะมี Address ที่แยกจากกันด้วย

MCS-51 with 128 bytes Internal Data memory (ซ้าย)

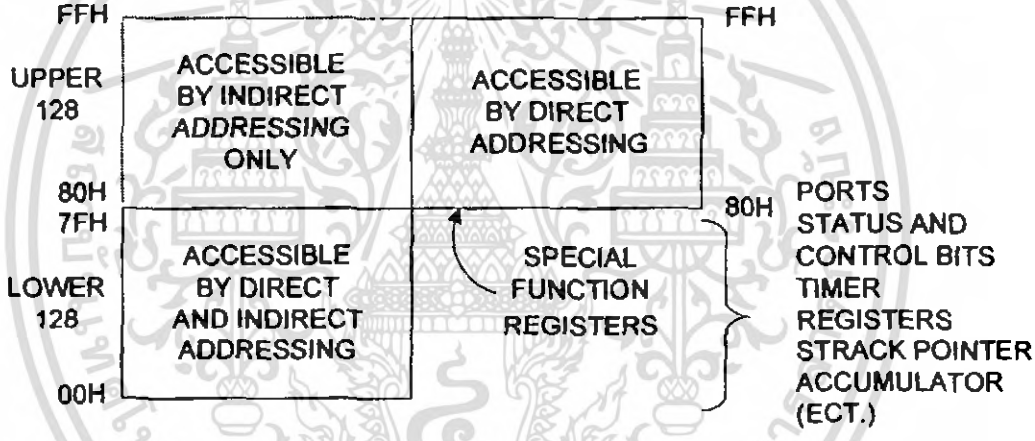
MCS-51 with 256 bytes Internal Data memory (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-7 แสดงผัง Internal data memoryและ External data memory

หน่วยความจำภายใน(Internal data memory)

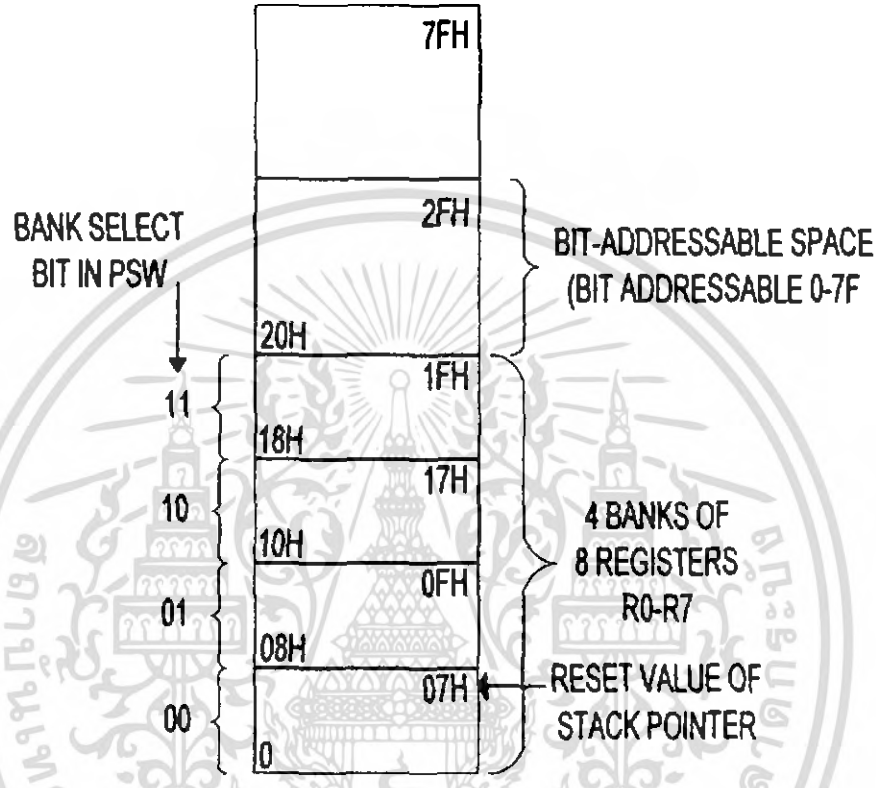


รูปที่ 2-8 แสดงผังหน่วยความจำภายใน

สามส่วนด้วยกัน คือ Lower 128, Upper 128 และ SFR และจากการที่ Internal data memory นั้นมีเพียง 256 ตำแหน่งเท่านั้น ทำให้การอ้าง Address สามารถทำได้ โดยใช้เพียง 8 Bitแต่ด้วยเทคนิคของการ อ้างถึงตำแหน่งข้อมูล (Addressing mode) ทำให้ได้ตำแหน่งของ Internal data memory ทั้งหมด 384 bytes โดยสำหรับข้อมูลตั้งแต่ Address 80h – FFh ถ้าอ้างถึงข้อมูลที่ Address นั้นๆ ด้วยวิธีของ Direct addressing ก็จะได้ข้อมูลที่มาจากคนละส่วน กับการอ้างถึงข้อมูลที่ Address เดียวกันนั้น ด้วยวิธีของ Indirect addressingจากรูปจะเห็นได้ว่า Memory ในส่วนของ Upper 128 ก็จะมี Address เดียวกับ Memory ในส่วนของ ผังการจัดแบ่งพื้นที่ของ Internal data memory จะเป็นดังรูป ซึ่งมันจะถูกแบ่งออกเป็น SFR แต่จะใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลที่แตกต่างกันนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lower 128 bytes of internal data memory



รูปที่ 2-9 Lower 128 bytes of internal data memory

Internal data memory 128 ตำแหน่งแรก จะมีอยู่เหมือนกันทั้งหมดใน MCS-51 แบบต่างๆ โดยจะมีการจัดแบ่งดังรูป ในส่วนของ 32 bytes แรก จะใช้งานเป็น Register 4 ชุด ชุดละ 8 register คือ

R0 – R7 ซึ่งสามารถเรียกใช้งานได้จากคำสั่งต่างๆ การเลือกชุดของ Register ที่จะใช้งาน จะทำโดย ใช้สถานะของข้อมูล 2 Bit ที่อยู่ใน PSW: Program Status Word การออกแบบในลักษณะนี้ ทำให้ได้ Op-code ที่เรียกใช้ Register นั้น สั้น

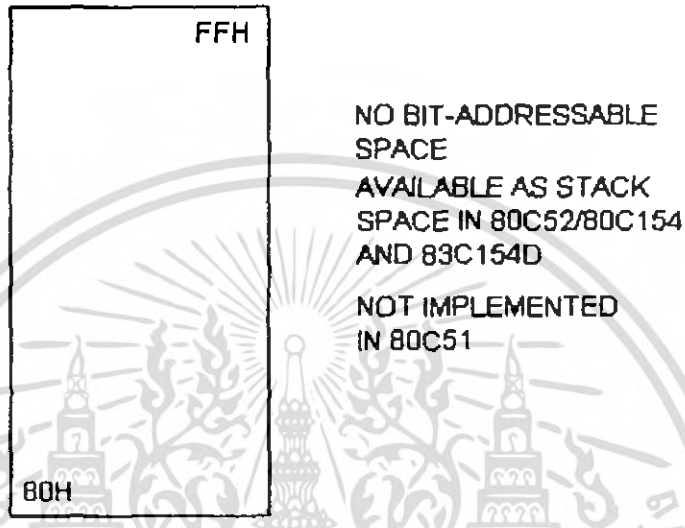
ถัดมาจาก Register bank อีก 16 Address จะเป็นพื้นที่เก็บข้อมูลที่สามารถเรียกใช้งานในระดับ Bit ได้ 128 bit โดยจะมี Address สำหรับการเรียกใช้งานระดับ Bit คือ 00h – 7Fh

และข้อมูลในทุกๆ ตำแหน่งในส่วนของ Lower 128 นี้ สามารถจะอ้างถึงด้วยวิธีการของ Direct /Indirect addressing จากการใช้งานของคำสั่งต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Upper 128 bytes of internal data memory

หน่วยความจำในส่วนของ *Upper* 128 **นี้ จะมีอยู่ใน** MCS-51 **แบบที่มี** Internal data memory 256 **ตำแหน่งเท่านั้น เช่น** 80C52, 83C154, 83C154D

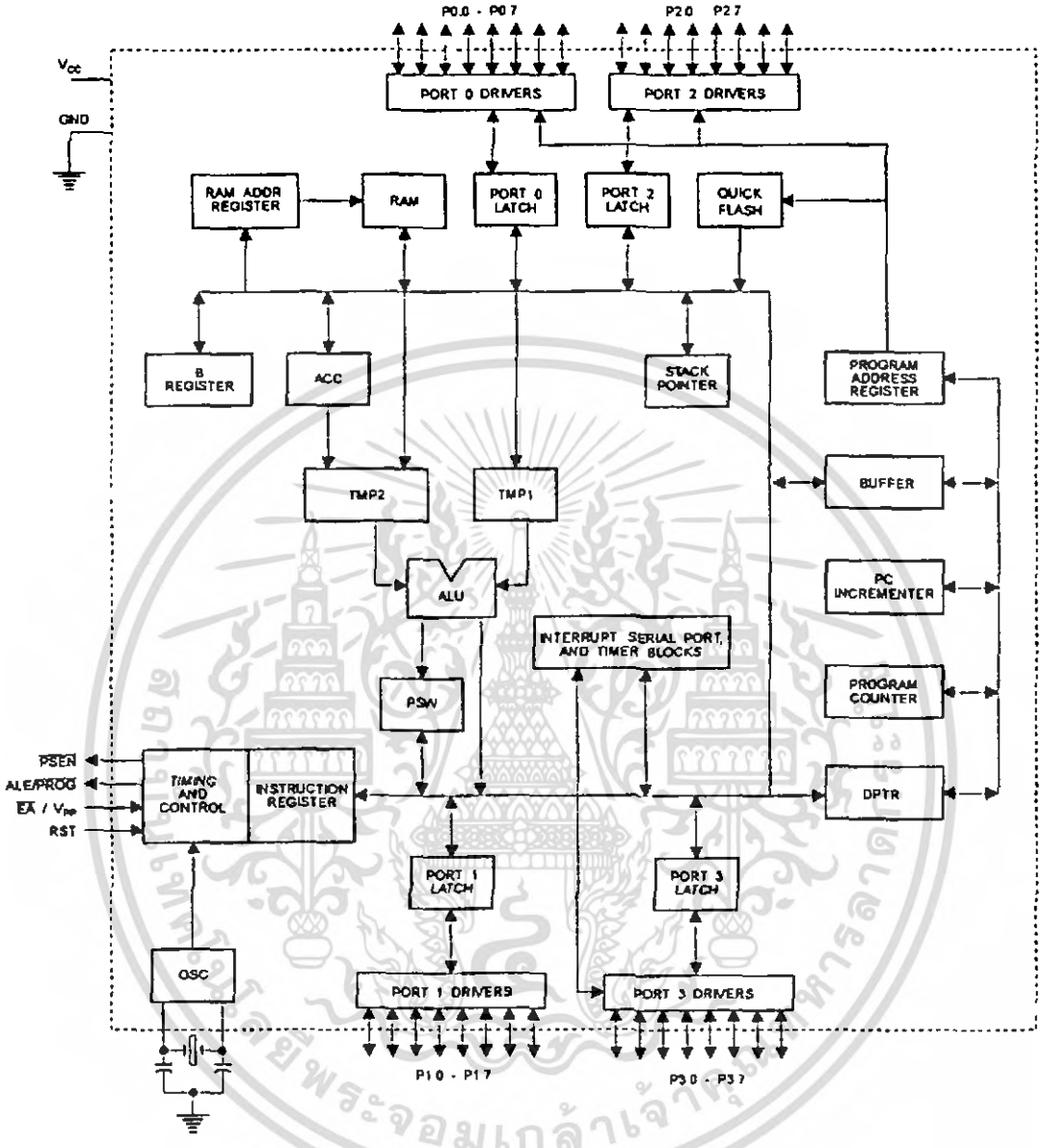


รูปที่ 2-10 Upper 128 bytes of internal data memory

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 **ที่จะใช้ในปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล** MCS-51 **ที่มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช** (Flash Memory) **ที่มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย** AT89 **เหตุผลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ในการเรียนรู้เพื่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล** MCS-51 **มีด้วยกันหลายประการดังนี้**

1. **หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับ** 1,000 **ครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ ชิปเดี่ยว ไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุต** (Port Input) **ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ**
2. **ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพัฒนา จำพวกอิมูเลเตอร์** (Emulator) **และเครื่องโปรแกรม อีพรอม** (EPROM)
3. **ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มีออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันออกไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานที่ดีกว่า**
4. **มีการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

1. ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา ตั้งแต่ขา 10 - 17 โดยมีการกำหนดสถานะของขาพอร์ตเหมือนกับการกำหนดขาพอร์ต 0 นอกจากนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
   - P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารอนุกรม หรือขา RxD
   - P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารอนุกรม หรือขา TxD
   - P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกช่อง 0 หรือ ขา INT0
   - P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกช่อง 1 หรือ ขาINT0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือ ขา T0
- P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1
- P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความภายนอก
- P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดบางส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เบอร์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำ โปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล	จำนวนไทเมอร์/ เคาน์เตอร์ 16 บิต
AT89SC1051	แบบแฟลช ขนาด 1 กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	1
AT89SC2051	แบบแฟลช ขนาด 2 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89SC51	แบบแฟลช ขนาด 4 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89SC52	แบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89SC55	แบบแฟลช ขนาด 20 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89S8252	แบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 กิโลไบต์	3
AT89S53	แบบแฟลช ขนาด 12 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3

83089
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีหน่วยความจำภายในหลักๆ อยู่ 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล

1. หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

2. เป็นโปรแกรมที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงาน โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอก หรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ โดยภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ถ้าเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมด 64 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

รูปที่ 2-12 การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

3. หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

มีด้วยกัน 2 แบบ คือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอก และภายใน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช มีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แตกต่างกันที่มีสัญญาณการอ่าน และเขียนข้อมูลภายนอก

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันไป สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนบน, ส่วนล่าง และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 กระบวนการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Processing)

การติดต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอกสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ ใช้วิธีการโพลลิ่ง (Polling) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกอยู่ตลอดเวลาว่ามีข้อมูลที่ต้องการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไม่ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเสียเวลาไปกับการตรวจสอบนานมาก หากมีอุปกรณ์จำนวนมากติดต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อแบบที่สองเป็นการใช้การอินเตอร์รัพต์ เป็นวิธีการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกอยู่ตลอด แต่จะให้อุปกรณ์ภายนอกส่งสัญญาณอินเตอร์รัพต์เข้ามาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่ออุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณอินเตอร์รัพต์แล้ว จึงทำการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกนั้นๆ ต่อไป

การอินเตอร์รัพต์ เป็นชื่อเรียกกระบวนการที่เข้ามาขัดจังหวะการทำงานโดยปกติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นได้จาก 5 แหล่งกำเนิดสำหรับเบอร์ AT89C51 ประกอบด้วยการอินเตอร์รัพต์จากภายนอกผ่านเข้าทางขา INT0 และ INT1 สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์/เคาน์เตอร์ T0 และ T1 ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยเพิ่มการรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์/เคาน์เตอร์2 อีกหนึ่งแหล่งกำเนิด

2.1.5 การจัดการอินเตอร์รัพต์

เมื่อมีการอินเตอร์รัพต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เกิดขึ้น ทำให้สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ไว้ กระบวนการหลังจากนั้นซีพียูจะกระโดดไปยังแอดเดรสในหน่วยความจำที่กำหนดไว้ เรียกตำแหน่งแอดเดรสนี้ว่า แอดเดรสอินเตอร์รัพต์ (Interrupt vector address) ดังนั้นจะต้องมีการเขียนโปรแกรมย่อยการบริการอินเตอร์รัพต์ไว้ที่แอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์นี้โดยค่าของแอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์จะแตกต่างกันไปในการอินเตอร์รัพต์ต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

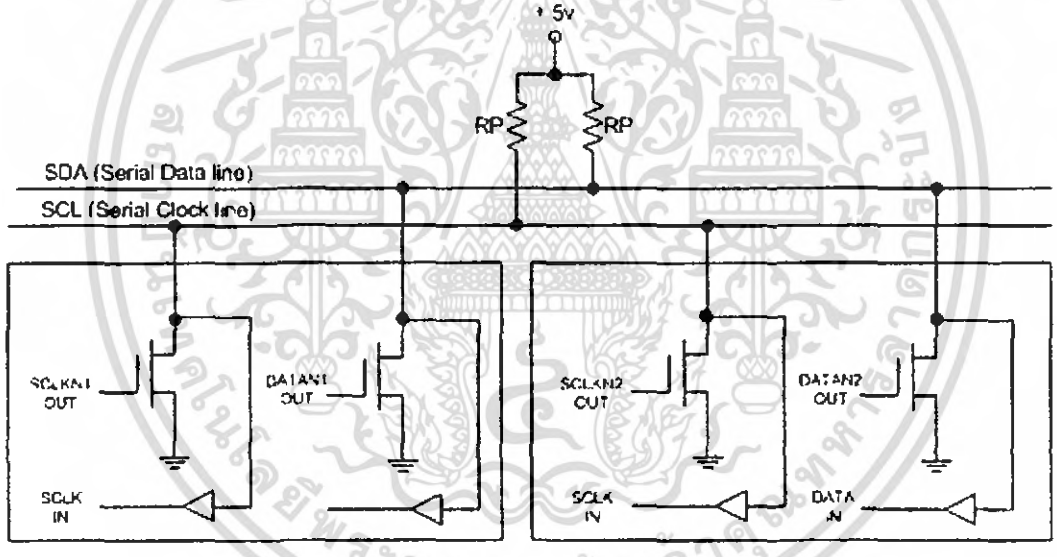
การอินเตอร์รัพต์ภายนอกที่ขา INT0 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0003H
การอินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์ 0 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์อยู่ที่ 000BH
การอินเตอร์รัพต์ภายนอกที่ขา INT1 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0013H
การอินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์ 1 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์อยู่ที่ 001BH
การอินเตอร์รัพต์จากพอร์ตอนุกรม มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0023H
การอินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์ 2 มีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัพต์เวกเตอร์อยู่ที่ 002BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบบัสแบบ I^2C และการเชื่อมต่อ

I^2C ย่อมาจาก Inter – IC Communication หมายถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I^2C ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงาน และควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data line) อีกเส้นหนึ่งคือ สัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock line) ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I^2C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวใช้รหัสข้อมูลร่วมกับการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรส

อัตราการส่งข้อมูลบนบัส I^2C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดปกติ (Standard mode)และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (Fast mode) การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C ใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 ค่าคือ 7 บิต (7 – bit addressing) หรือ 10 บิต (10 – bit addressing) ในรูปที่2.5 แสดงการเชื่อมต่อมาตรฐานบนระบบบัส I^2C

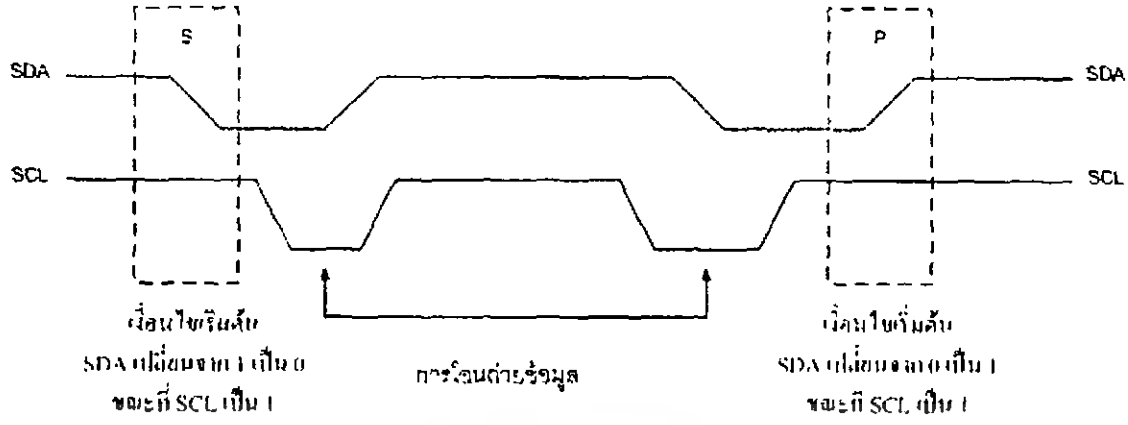


อุปกรณ์ I^2C ตัวที่ 1 อุปกรณ์ I^2C ตัวที่ 2

รูปที่ 2-13 รูปแบบการเชื่อมต่อมาตรฐานของระบบบัส I^2C

การติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลหรือโปรโตคอล (Protocol) ที่อุปกรณ์ทุกตัวรู้จัก ถ้าหากต้องการให้อุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับข้อมูล ตัวส่งจะส่งแอดเดรสของอุปกรณ์ตัวนั้นไปก่อนถ้าหากอุปกรณ์ตัวใดมีแอดเดรสตรงกันก็จะรับข้อมูลนั้นไป สำหรับตัวอุปกรณ์ที่ต้องการส่งข้อมูลจะเรียกว่ามาสเตอร์ (master) ซึ่งเป็นตัวที่สร้างจังหวะสัญญาณต่างๆ บนระบบบัส ส่วนอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรือเป็นตัวรับข้อมูลจะเรียกว่าสเลฟ (slave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-14 จังหวะสัญญาณเวลาบนบัส

2.2.1 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส I^2C

1. บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2. เริ่มต้นส่งข้อมูล (Start data transfer) สภาวะนี้สาย SCL จะเป็นลอจิกสูง แต่สาย SDA จะเปลี่ยนจากลอจิกสูงไปเป็นลอจิกต่ำ เรียกว่าสภาวะเริ่มต้น (Start)

3. สภาวะหยุด (Stop) สภาวะนี้สาย SCL จะเป็นลอจิกสูง แต่สาย SDA จะเปลี่ยนจากลอจิกต่ำไปเป็นลอจิกสูง

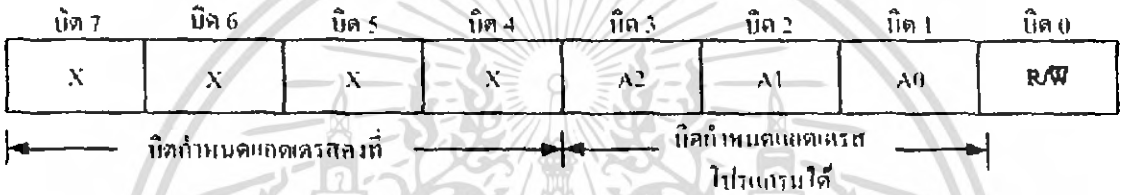
4. สภาวะมีข้อมูล (Data valid) สภาวะนี้จะอยู่ระหว่างสภาวะเริ่มต้นและสภาวะหยุด โดยการรับส่งข้อมูลต่างๆ จะเกิดในสภาวะนี้ การรับส่งข้อมูลแต่ละบิตจะใช้สัญญาณนาฬิกาหนึ่งลูก โดยข้อมูลบน SDA จะต้องคงที่ ขณะที่ SCL เป็นลอจิกสูง และบิตข้อมูลใน SDA จะเปลี่ยนแปลงได้ขณะที่ SCL เป็นลอจิกต่ำ ถ้าหากบิตบน SDA มีการเปลี่ยนแปลงขณะที่ SCL เป็นลอจิกสูง ระบบจะตีความว่าเป็นสภาวะเริ่มต้นส่งข้อมูลหรือสภาวะหยุดแทน

5. สภาวะตอบรับ (Acknowledge) เมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์ส่งข้อมูลมาครบหนึ่งไบต์แล้ว ในช่วงสัญญาณ SCL ลูกที่ 9 มาสเตอร์จะส่งข้อมูลลอจิกสูงออกมา และถ้าตัวรับได้รับข้อมูลครบแล้วมันจะส่งสัญญาณตอบรับ ACK โดยทำให้ระดับลอจิกสูงบนสัญญาณ SDA ให้กลับเป็นลอจิกต่ำ แต่ถ้าตัวรับได้ รับข้อมูลไม่ถูกต้อง ตัวรับจะบังคับให้ตัวส่งหยุดในสภาวะรอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การอ้างถึงแบบ 7 บิต (7 – bit addressing)

ก่อนเริ่มส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างถึงอุปกรณ์เสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส I^2C นั้นจะใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มาก ใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากที่ติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้วก็จะเริ่มต้นการส่งข้อมูลต่อไป รูปแบบของข้อมูลมาตรฐานที่ใช้ในการเข้าถึงแสดงในรูปที่ 2-15 ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อใน 7 บิตรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็น



รูปที่ 2-15 รูปแบบข้อมูลมาตรฐานในการอ้างแอดเดรสของการเชื่อมต่อบนระบบบัส I^2C จากรูปที่ 2-14

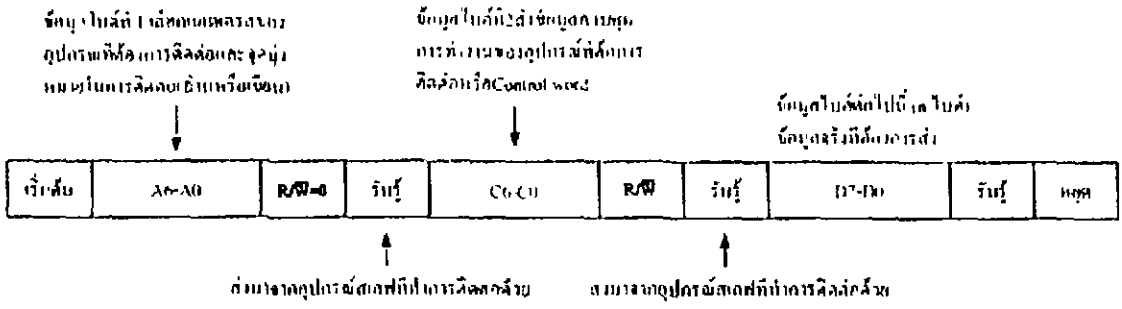
1. บิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้
2. บิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) จำนวน 3 บิต (บิต 1 – 3) โดยกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0 – A2 ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อบัส I^2C
3. บิตกำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลอุปกรณ์สเลฟ (เป็นบิต LSB)
   เป็น "0" หมายถึง ต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์สเลฟ
   เป็น "1" หมายถึง ต้องการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

- ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ข้อมูลไบต์นี้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละประเภท เพื่อกำหนดการทำงานต่างๆ ของตัวมัน อุปกรณ์บางประเภทอาจจะไม่ต้องมีการเขียนไบต์นี้ก็ได้

- ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการส่งจริง (data)

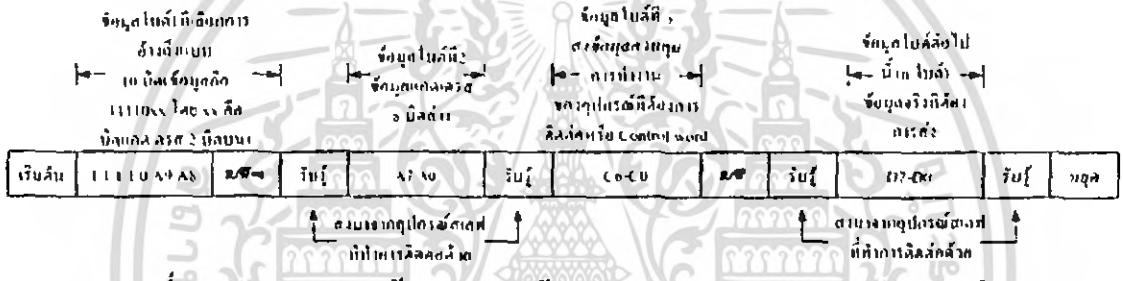
หลังจากที่มีการส่งข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง ในรูปที่ 2-16 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I^2C การอ้างถึงข้อมูล 7 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-16 รูปแบบของข้อมูลในการอ้างแอดเดรสแบบ 7 บิตบนระบบบัส I^2C

2.2.3 การอ้างถึงแบบ 10 บิต



รูปที่ 2-17 รูปแบบของข้อมูลในการอ้างแอดเดรสแบบ 10 บิตบนระบบบัส I^2C

ในรูปที่ 2-17 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างถึงแบบ 10 บิตจะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในไบต์แรกหลังจากเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดได้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการจะติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่เราต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

เช่นเดียวกันกับการอ้างถึงแบบ 7 บิต หลังจากส่งข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสภาวะรับรู้เกิดขึ้นเพื่อให้กระบวนการส่งข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้

2.2.4 ฟังก์ชั่นที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อติดต่ออุปกรณ์บนระบบบัส I^2C ดังนี้

1. i2c_delay ทำหน้าที่หน่วงเวลาเพื่อสร้างสภาวะเงื่อนไขของระบบบัส I^2C

2. i2c_clk ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาที่ขา SCL เพื่อกำหนดจังหวะในการสื่อสารข้อมูลบน ระบบบัส

3. i2c_start ทำหน้าที่สร้างสภาวะเริ่มต้นในระบบบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. i2c_stop ทำหน้าที่สร้างสภาวะสิ้นสุดในระบบบัส

5. i2c_wrdata ทำหน้าที่ส่งข้อมูล 1 ไบต์ ไปยังอุปกรณ์สเลฟที่ต่อร่วมกับบัส โดยข้อมูลที่ต้องการส่ง มีพารามิเตอร์ *dat* ทำหน้าที่รับค่า และคืนค่าออกมาเป็น"0" เมื่อการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ สเลฟเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าไม่ จะคืนค่า "1" ออกมาแทน

6. i2c_rddata ทำหน้าที่อ่านข้อมูล 1 ไบต์จากอุปกรณ์สเลฟที่ต่อบนบัส โดยจะคืนค่าข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ออกมา

7. i2c_ACK ทำหน้าที่สร้างสภาวะรับรู้ในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

8. i2c_NACK ทำหน้าที่สร้างสภาวะหยุดรับรู้ในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

2.3 การสื่อสาร

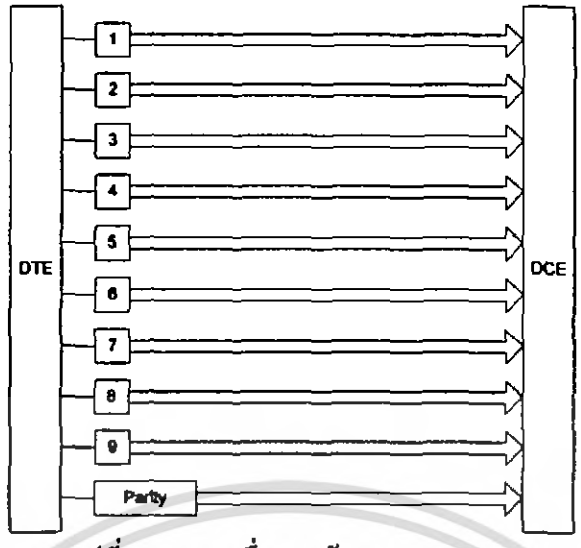
การสื่อสารข้อมูลมี 2 แบบคือ การสื่อสารแบบขนานและการสื่อสารแบบอนุกรม ข้อมูลในการสื่อสารแต่ละข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของเลขฐานสอง แล้วนำมาประกอบกัน เช่น ถ้าข้อมูลที่ประกอบด้วย 4 บิต เราเรียกว่า 1 นิบเบิล หรือถ้าข้อมูลที่ประกอบด้วย 8 บิต เราจะเรียกว่า 1 ไบต์ เป็นต้น

2.3.1 การสื่อสารแบบขนาน

การสื่อสารแบบขนานจะมีรูปแบบการส่งข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ ก็คือจะทำการส่งข้อมูลครั้งละ 8 บิต นั่นเอง ซึ่งในการส่งต้องใช้สายไฟในการส่งข้อมูล 8 เส้น แล้วยังต้องใช้สายไฟอีก 1 เส้นในการควบคุม

ปัญหาที่สำคัญของการส่งข้อมูลแบบขนานคือ คุณสมบัติของบิตกับแรงดัน เวลาที่บิตหรือแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากหนึ่งเป็นศูนย์นั้นสั้นมาก โดยเร็วถึงระดับนาโนวินาที การเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วนี้เป็นส่วนที่สำคัญมากต่อการส่งข้อมูล เพราะการเปลี่ยนแปลงระหว่างศูนย์และหนึ่งอย่างช้าๆ จะไม่ถูกอ่านเป็นข้อมูลเลย และเมื่อสายไฟที่ใช้ส่งข้อมูลยาวขึ้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายไฟเช่น ค่าความจุไฟฟ้าและค่าความเหนี่ยวนำจะจำกัดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงระหว่างศูนย์และหนึ่งของบิต ซึ่งจะทำให้ข้อมูลอาจสูญหายหรือทำให้การส่งข้อมูลล้มเหลวได้ ดังนั้นการส่งข้อมูลบนสายยาวอาจจะเป็นปัญหาได้หากใช้วิธีการสื่อสารแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-18 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน

2.3.2 การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

เป็นการรับส่งข้อมูลทีละบิต จนครบ 1 ไบต์ ถ้าต้องการส่งข้อมูล 1 ไบต์ คือ D_0 - D_7 อาจจะส่งบิต D_0 ออกไปก่อนแล้วตามด้วย D_1 ไปเรื่อยๆ จนถึง D_7 การส่งข้อมูลทั้งสองแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันคือ การส่งข้อมูลแบบขนานสามารถส่งข้อมูลได้เร็ว คือ ส่งทีเดียวจะได้ข้อมูลครบ 1 ไบต์ แต่ถ้าต้องส่งเป็นระยะไกลๆ จะสิ้นเปลืองสายสัญญาณมาก ถ้าเป็นการส่งแบบอนุกรม เมื่อต้องการส่งข้อมูลเป็นระยะไกลๆ จะช่วยประหยัดสายสัญญาณเนื่องจากจะใช้สายอย่างน้อยเพียง 2 เส้น คือ สายสัญญาณกับสายกราวด์ แต่การรับส่งข้อมูลจะใช้เวลานานเนื่องจากเป็นการส่งทีละบิต ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยเน้นที่ตัว MCS-51 เป็นสำคัญ

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นแบ่งได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส และการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

2.3.2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ก็คือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายหนึ่งจะเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกสายหนึ่งจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อแบบซิงโครนัสนี้ จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูล และกราวด์

2.3.2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

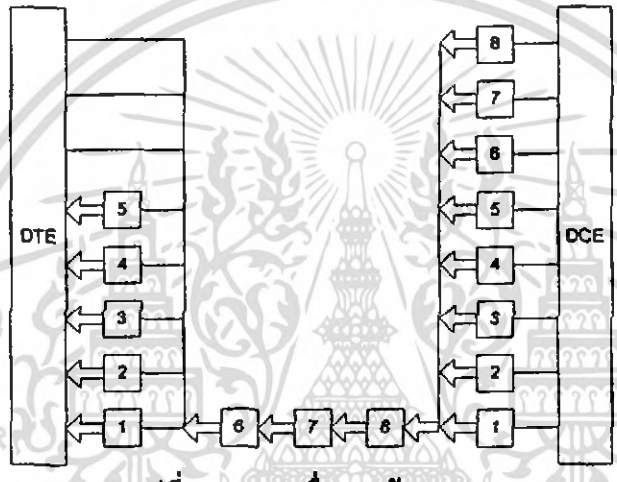
การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ การรับและส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็น ต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วย แต่จะมีการกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ บอดเรต (Baudrate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit Per Second: bps)เป็นการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า Baud rate (bit/second)

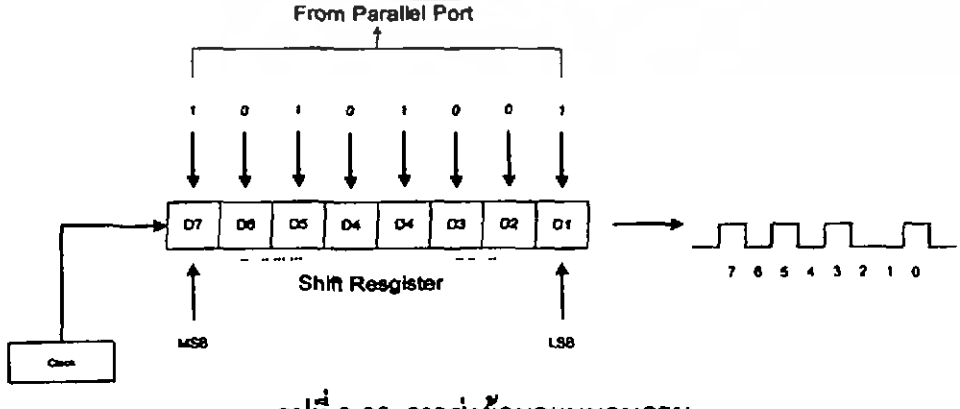
รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 9 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1 , 1.5 หรือ 2 บิต



รูปที่ 2-19 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ต้องการจะรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ตัวไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลออกไปทางพอร์ทแบบขนานก่อน จากนั้นจะมีอุปกรณ์มาต่อที่พอร์ท เพื่อแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรมอีกทีหนึ่ง (Parallel to Serial Conversion) ตัวแปลงข้อมูลนี้อาจจะพิจารณาง่ายๆว่าเป็น Shift Register ดังรูป 2.20



รูปที่ 2-20 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตัวรับข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเมื่อตัวรับข้อมูลทำงานจะเป็นการรับเข้ามาใน shift register แล้วส่งข้อมูลให้ไมโครคอมพิวเตอร์แบบขนานอีกทีหนึ่ง (Serial to Parallel) ระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันจะมีตัวแปลง Parallel to Serial และ Serial to Parallel อยู่ในชิพไอซี เรียกว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) การส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นจะต้องมีการเพิ่มเติมข้อมูลบางอย่างเข้าไป เพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำงานได้ถูกต้องมากขึ้น โดยมีการเติมค่าบิตต่างๆ ลงไปตามรูปที่ 2-21

Start	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	Parity	Stop

รูปที่ 2-21 บิตต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ถ้ามีการส่งข้อมูลแบบ 8 บิต จะต้องส่งบิตแรกออกไปก่อน เรียกว่า บิตเริ่มต้น (Start Bit) ถ้ามีการส่งข้อมูลหลายๆไบต์ออกมา บิตนี้จะเป็นตัวบอกว่ามีข้อมูลใหม่มาแล้ว โดยทั่วไปบิตเริ่มต้นมักมีระดับลอจิกเป็น "0" ต่อจากบิตเริ่มต้นจะเป็นข้อมูลบิต D_0 ถึง D_7 จากนั้นจะตามด้วยบิตตรวจสอบและบิตหยุด เพื่อบอกการสิ้นสุดของข้อมูล บิตหยุดอาจมีจำนวนมากกว่า 1 บิตก็ได้ เช่น ½ บิต , 2 บิต

การสื่อสารแบบอนุกรมนี้ การกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลจะบอกเป็นบิตต่อวินาที (bit per second : bps) ที่เรียกว่าอัตราบอดหรือบอดเรต (baud rate) โดยค่ามาตรฐานที่ใช้กันมีหลายค่า ได้แก่

110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที สำหรับความเร็วของการส่งข้อมูล (baud rate) สามารถหาได้จากการหารสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับ MCS-51

2.3.3 การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นั้นภายในชิพจะมี UART อยู่ในตัว ซึ่งเป็นข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์ พอร์ทอนุกรมของ MCS-51 จะใช้ขา TXD และRXD ในการรับส่งข้อมูลโดยขาทั้ง 2 จะอยู่ในพอร์ท 3 คือ P3.1 หรือขา 11 เป็น TXD และ P3.0หรือขา 10 เป็น RXD พอร์ทอนุกรมของ MCS-51 สามารถทำงานแบบ full duplex ได้ คือสามรถรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน โดยในการรับส่งข้อมูลจะมีบัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลให้ใช้

Register ที่สำคัญในการรับส่งข้อมูล คือ SBUF และ SCON ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่อยู่ใน Special Function Register โดยที่ถ้าเขียนข้อมูลลงไปที่รีจิสเตอร์ Serial Port Buffer (SBUF) จะเป็นการส่งข้อมูลออกทางพอร์ทอนุกรม และถ้าอ่านข้อมูลจาก SBUF นี้จะเป็นการรับข้อมูลจากพอร์ทอนุกรม

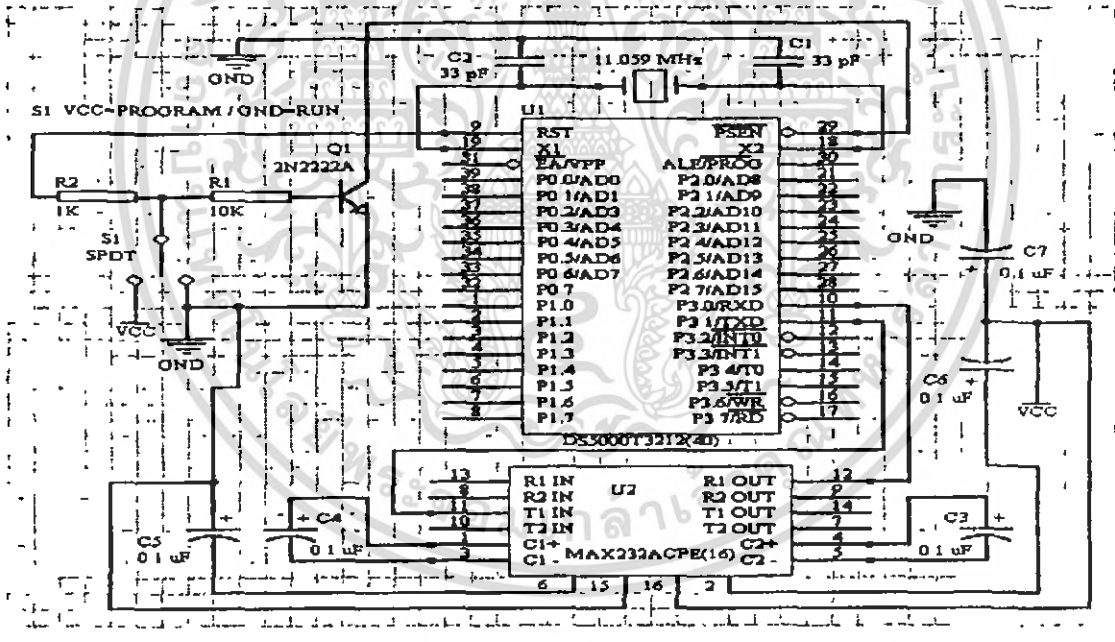
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Serial Port Control Register (SCON) จะเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ รีจิสเตอร์นี้จะทำหน้าที่ควบคุมและบอกสถานะต่างๆของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม บิต TI เมื่อเป็น "1" แสดงว่าข้อมูลได้ถูกส่งออกพอร์ทไปแล้ว, บิต RI เมื่อเป็น "1" แสดงว่าได้รับข้อมูลเข้ามาแล้ว, บิต REN เป็นตัวใช้กำหนดให้มีการรับข้อมูล, บิต SM0 SM1 และ SM2 เป็นบิตที่ใช้กำหนดโหมดการทำงาน ,บิต TB8 และ RB8 เป็นบิตตรวจสอบที่ส่งออกและรับเข้าเมื่อใช้งานในโหมด 2 และ 3

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

รูปที่ 2-22 บิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ SCON

ในการจะรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ทอนุกรมต้องทำการป้อนค่าให้กับรีจิสเตอร์ SCON ก่อน เพื่อกำหนดโหมดการทำงานและลักษณะต่างๆของการรับและส่งข้อมูล



รูปที่ 2-23 การเชื่อมต่อ MCS-51 กับ IC MAX232A เพื่อการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างการสื่อสารข้อมูลแบบขนานและแบบอนุกรม

การใช้งาน	แบบขนาน	แบบอนุกรม
1. ระยะทาง	จะใช้งานได้ในระยะไม่เกิน 30 เมตร	ใช้งานได้ตั้งแต่ในระยะทางใกล้ๆ ไปจนถึงระยะทางไกลๆ ตั้งแต่ 1600 เมตร ขึ้นไป
2. ความเร็ว	อัตราความเร็วสูงมากในระยะที่ไม่ไกลมากนักกำหนดได้เป็นจำนวนบิตต่อวินาที	อัตราความเร็วของข้อมูลที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0-2 ล้านบิตต่อวินาที
3. ระดับของสัญญาณ	ในการอินเตอร์เฟสจะใช้ระดับของสัญญาณที่ใช้กับอุปกรณ์ TTL คือสัญญาณลอจิก 1 และ 0 จะแทนด้วยระดับแรงดัน +5V และ 0V	ในมาตรฐานของ EIA-RS 232C ระบุว่ามีระดับสัญญาณไฟฟ้าขนาด 12V หรือใช้มาตรฐาน 20 mA current loop
4. ความผิดพลาดของสัญญาณ	ง่าย	การใช้งานจะเกิดการผิดพลาดของสัญญาณจะมีน้อยมาก
5. ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายจะสูงมากเพราะจะต้องใช้สายส่งสัญญาณหลายเส้น โดยเฉพาะการส่งในระยะทางไกลๆ	สิ้นเปลืองน้อยกว่ามาก ถึงแม้ว่าจะต้องใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณของข้อมูลจากขนานไปเป็นอนุกรมแล้วส่งผ่านสายส่ง แล้วกลับสัญญาณมาเป็นขนานอีกครั้งก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การอินเตอร์เฟส

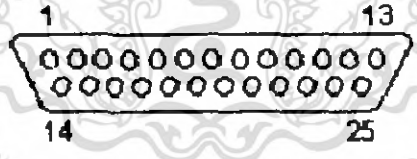
วัตถุประสงค์หลักของการอินเตอร์เฟสก็คือ การใช้อุปกรณ์อินเตอร์เฟสเป็นสื่อกลางของการส่งข้อมูล และง่ายต่อการใช้งานเมื่อเราสามารถทำการอินเตอร์เฟสได้สำเร็จ ก็สามารถที่จะส่งข้อมูลสู่ภายนอกได้

2.4.1 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

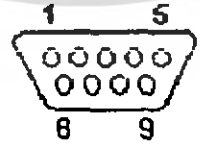
มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ที่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

2.4.2 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ



(ก) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขาหรือแบบ DB-25



(ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรมแบบ 9 ขาหรือแบบ DB-9

รูปที่ 2.24 คอนเน็กเตอร์ของพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ลักษณะตำแหน่งขา DB-9 และ DB-25

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect:DCD	อินพุต
2	3	Received Data:RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data:TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Teady:DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground:GND	-
6	6	Data Set Ready:DSR	อินพุต
7	4	Request To Send:RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send:CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator:RI	อินพุต

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ดังรูปที่ 2.5 โดยลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 2.5 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม และมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 2.5 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณ 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

2.4.3 การแฮนด์เชคใน RS-232

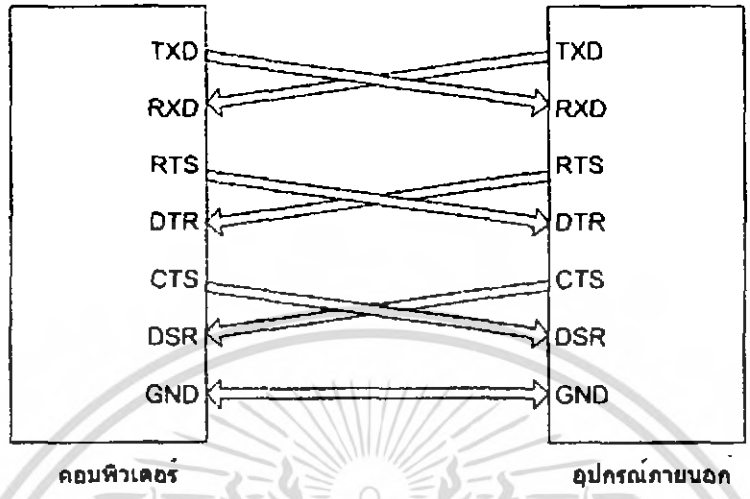
การแฮนด์เชคหมายถึง กระบวนการที่อุปกรณ์หนึ่งใช้ตรวจสอบสถานะของอีกอุปกรณ์ที่ต่อเข้าด้วยกัน และตอบสนองสถานะนั้นอย่างเหมาะสมและถูกจังหวะเวลา ซึ่งก็คือวิธีการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สองตัวให้สัมพันธ์กันในการรับส่งข้อมูลนั่นเอง แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. การแฮนด์เชคทางซอฟต์แวร์ (Software Handshaking) เป็นวิธีการหนึ่งที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับข้อมูลโดยส่งผ่านสัญญาณควบคุมไปพร้อมกับตัวข้อมูลที่ต้องการส่ง

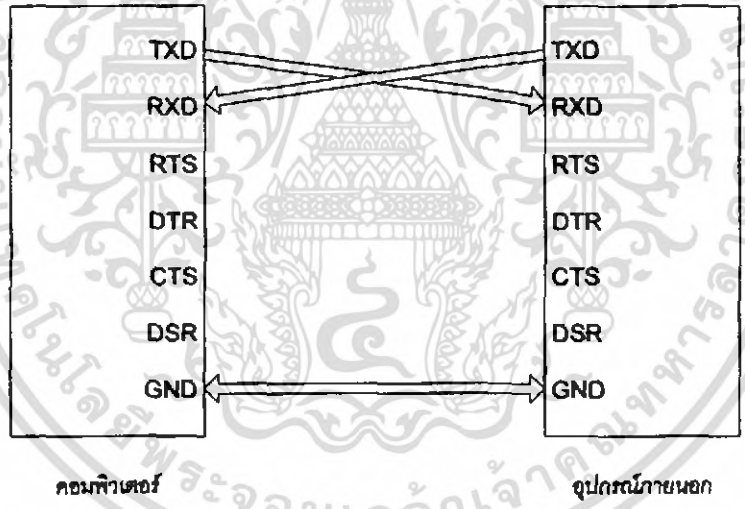
2. การแฮนด์เชคทางฮาร์ดแวร์ (Hardware Handshaking) สามารถควบคุมได้ทั้งระดับฮาร์ดแวร์โดยการเปลี่ยนระดับแรงดันในสายสัญญาณควบคุมเป็นตัวระงับไม่ให้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลเพิ่มเข้ามาอีก ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้รหัสหรือโปรแกรม แต่การแฮนด์เชคทางฮาร์ดแวร์นั้นมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัด คือจำเป็นต้องมีสายสัญญาณควบคุมต่างหากโดยเฉพาะ ทำให้วิธีนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการอินเตอร์เฟสกันโมเด็ม



(ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ Null Mode



(ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS-232 โดยใช้สัญญาณ 3 เส้น

รูปที่ 2-25 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์

- Data Carrier Detect: DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect: CD ขานี้จะทำงานเมื่อมีการส่งสัญญาณพาหะจากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น โมเด็ม สำหรับใช้งานปกติขานี้จะไม่ถูกใช้งานมากนัก
- Receive Data: RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับส่งสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Transmitted Data: TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป
- Data Terminal Ready: DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาหะ
- Signal Ground: GND ขากราวด์ของระบบ
- Data Set Ready: DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DTR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- Request To Send: RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่การเชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- Clear To Send: CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

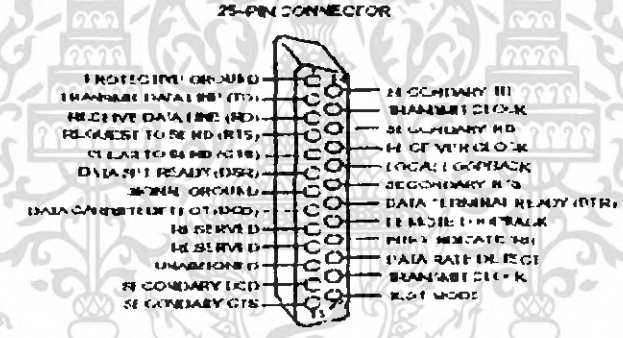
รูปที่ 2-26 ลักษณะตำแหน่งขาอุปกรณ์ของไอซี MAX 232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

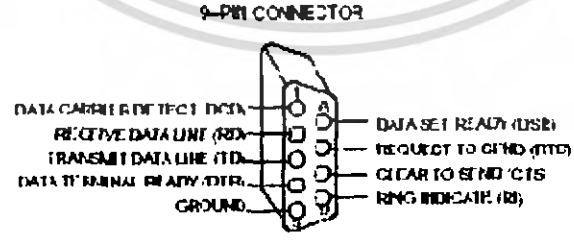
2.5 คอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ท RS – 232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS –232 จะใช้คอนเน็คเตอร์แบบ DB–25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ คอนเน็คเตอร์ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็คเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้งานในอดีตเพราะปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไปโดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 2.27

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ ภายนอกที่แสดงในรูปที่ 2.21 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางในข้อมูลในรูปที่ 2.27 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem หรือการเชื่อมต่อแบบโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม ส่วนในรูป 2.27 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null Modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้นโดยเส้นหนึ่ง สำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูลและเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ทอนุกรม RS –232 มีดังนี้



(ก) แบบ DB-25



(ข) แบบ DB-9

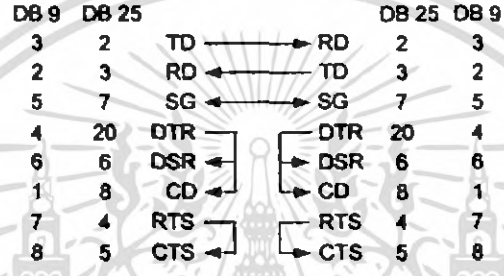
รูปที่ 2-27 แสดงการจัดขาของคอนเน็คเตอร์พอร์ทอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

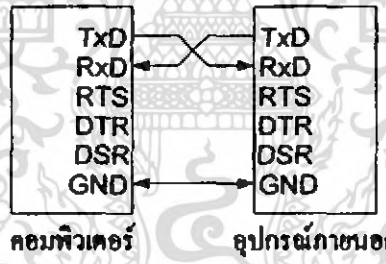
DATA Carrier Detect: DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier detect: CD ขานี้จะแอคทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น โมเด็มสำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

Receive DATA: RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

Transmitted DATA: TD หรือ TxD ขานี้ ใช้ เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป



(ก) การเชื่อมต่อแบบ Null Modem



(ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์แบบ RS 232 โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

รูปที่ 2-28 แสดงการต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ

DATA Terminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์ให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทางและขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อแบบ Null modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้ในการตรวจสอบจับสัญญาณพาห์ *Signal ground : GND* ขากราวด์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA Set Ready: DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

Request to Send: RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อ RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกันเพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา Clear To Send: CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

Ring Indicator: RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไป สายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

2.6 ระบบรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

โลกเรานั้นกำลังก้าวเข้าสู่โลกของ IP (IP World) ซึ่งจะมีข้อดีในด้านของต้นทุนการให้บริการที่ต่ำลง และมีการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพในการให้บริการโดยเฉพาะกับสัญญาณจำพวกเสียง ที่ยังไม่ดีนัก (แต่ข้อจำกัดนี้ก็กำลังจะหายไปในเวลาอันใกล้ โดยเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เข้ามาช่วย อาทิเช่น *MPLS, RSVP) GPRS* นั้น จะว่าไปแล้วก็คือ *Wireless IP* Network นั่นเอง โดยจะมีการประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์จำพวกโทรศัพท์เคลื่อนที่ แทนที่การใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์เทอร์มินอลในโครงข่าย IP แบบ Fixed-Network เดิม

แต่อย่างไรก็ตามทางผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ยังเล็งเห็นว่า การโอนถ่ายสื่อสารข้อมูลของโทรศัพท์มือถือเคลื่อนที่ยังมีข้อจำกัดในด้านความเร็วการรับส่ง และรวมไปถึงปริมาณข้อมูลที่สามารถทำการรับจึงได้เริ่มพัฒนาแก้ไขเพื่อที่จะเพิ่มเติมบริการตรงส่วนบกพร่องนี้ให้ดีขึ้น จึงได้เริ่มนำเทคโนโลยีที่เรียกว่า GPRS (General Packet Radio Service)

2.6.1 GPRS (General Packet Radio Service) คืออะไร

- เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นบนเครือข่ายเดิมเพื่อให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว และสะดวกยิ่งขึ้น

- เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบรวดเร็ว ซึ่งใช้ได้กับเครือข่ายระบบ GSM ช่วยเพิ่มความรวดเร็วให้กับการคิดตั้ง และทำให้ระยะเวลาในการส่งข้อมูลรวดเร็วยิ่งขึ้น

- เทคโนโลยีที่สร้างขึ้นมาเพื่อการใช้ Mobile Internet ด้วยความสะดวกยิ่งขึ้น ทำให้สามารถทำธุรกรรมต่างๆ ได้อย่างสะดวก และง่ายดายผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นวัตกรรมใหม่ที่ทำให้การส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพด้วยความเร็วจากเดิมเพียงแค่ 9.6 Kbps เป็น 40 Kbps ช่วยให้ท่านสามารถเชื่อมต่อทางอินเตอร์เน็ตได้ภายในเวลาอันสั้น ไม่ว่าจะอยู่ที่ไหนเมื่อไหร่

- การส่งข้อมูลแบบใหม่ในรูปแบบของมัลติมีเดีย ซึ่งจะประกอบไปด้วยรูปภาพที่เป็นกราฟฟิก เสียงและวิดีโอ เช่นการใช้ Video Conference

GPRS เป็นตัวย่อจากภาษาอังกฤษ" General Packet Radio Service"ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลต่างๆในรูปแบบแพ็กเก็ตต่าง ๆ การเชื่อมต่อแบบใหม่ที่ใช้ระบบGPRSเข้ามาก็จะเป็นการเชื่อมต่อและวิธีการส่งข้อมูลที่มีลักษณะเช่นเดียวกับอินเตอร์เน็ตก็คือ เมื่อต้องการข้อมูลหรือส่งข้อมูลอะไรก็แล้วแต่ ก็จะเป็นการส่งข้อมูลลักษณะนั้น เข้าไปในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่านั้น ไม่จำเป็นต้องจองเวลาไว้ตลอดเวลา จึงทำให้วิธีการใช้งานของ GPRS ในแบบใหม่นี้จะเห็นได้ว่าจะมีการพูดถึง การเก็บเงินที่เป็นจำนวนข้อมูลที่รับ และส่งออกมา มากกว่าวิธีการติดต่อสื่อสารจากวิธีเดิมที่คิดจำนวนเวลาในการติดต่อสื่อสารแต่ละครั้ง

การติดต่อด้วยระบบ GPRS ยังสามารถติดต่อสื่อสารด้วยเสียง ในขณะที่เราสามารถติดต่อสื่อสารผ่านโลกอินเตอร์เน็ตในขณะเดียวกัน ซึ่งก็คือ เราสามารถติดต่อสื่อสารทั้ง 2 ระบบภายในช่วงเวลาเดียวกัน แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแต่ละรุ่นที่ผลิตออกมา แต่เท่าที่ทราบในขณะนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละรุ่นยังไม่สามารถติดต่อสื่อสารพร้อม ๆ กันได้

GPRS เชื่อมโลกอินเตอร์เน็ต บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ GPRS ไม่ได้เป็นลักษณะที่จะสามารถให้บริการได้ด้วยตัวของระบบเอง แต่ตัวมันเองเป็นเพียงแค่ Bearer ให้กับ Application ต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ความเร็วที่เพิ่มมากกว่าปกติในระบบ GSM ที่เคยรองรับอยู่เดิมมาก่อน และระบบ GPRS จะต้องต่อไปยัง Packet Data Network ที่เป็น IP Network อีกต่อหนึ่ง ดังนั้นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่จะเปิดใช้ในระบบ GPRS ได้นั้นจะต้องทำการติดตั้งระบบเครือข่าย ที่ประกอบด้วยหน่วยหลัก ๆ 2 หน่วยด้วยกัน คือ

1. SGSN (Serving GPRS Supports Node)
2. GGSN (Gateway GPRS Supports Node)

โดยทั้งสองหน่วยหลักขององค์ประกอบนี้จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยมีอุปกรณ์อื่น ๆ เป็นตัวช่วยเพื่อไปร่วมใช้ Radio Interface จาก Base Station โดยผ่านตัวควบคุม ที่เรียกว่า PCU (Packet Control Unit) ที่ติดตั้งไว้ที่ BSC(Base Station Controller) อันทั้งนี้อาจมองNetwork เป็นอีก Network หนึ่ง ซึ่งเข้ากับ Mobile Phoneผ่านทาง Radio Interface ของระบบ GSM Network เดิมโดยเป็นบริการที่เกี่ยวเนื่องกับการรับส่งข้อมูลเป็น Packetโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ความเป็นpackage switching

GPRS นั้นเกี่ยวข้องกับการวางรูปแบบของ Air Interface ให้เป็นแบบ Packet บนเครือข่ายเดิมหรือปัจจุบันของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะใช้งานการส่งข้อมูลบนเครือข่ายได้ อย่างไรก็ดี การนำ Packet Switching เข้าไปไว้ในระบบโครงข่ายเดิมที่เป็นแบบ Circuit Switched Network นั้นถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่เดียว แต่ GPRS ก็ไม่ได้เป็นเช่นนั้น เพราะผู้ให้บริการต้องการเพียงการเพิ่มขึ้นของ Node ใหม่ 2-3 Node บวกกับการอัพเกรดซอฟต์แวร์อีกนิดหน่อยในอุปกรณ์บางตัวเท่านั้น ด้วย GPRS ข้อมูลที่ต้องการส่งนั้นจะถูกแบ่งแยกออกจากกันเป็นรูปแบบของ Packet แต่ก็ยังมีความสัมพันธ์กันอยู่ โดยจะมีการรวมกันของ Packet เหล่านี้อีกครั้งที่ทางด้านรับ ซึ่งเป็นวิธีเดียวกับการรับ-ส่งของข้อมูลบน Internet หรือบนโครงข่าย IP นั่นเอง Spectrum Efficiency ด้วยรูปแบบของการส่งข้อมูลที่เป็นแบบ Packet นั้น ก็หมายความว่าช่องสัญญาณในระบบ GPRS นั้นจะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อผู้ใช้ทำการรับ-ส่งข้อมูลเท่านั้น แต่ถ้าหากไม่มีการใช้งานใด ๆ ผู้ใช้รายอื่น ๆ ก็สามารถมาแบ่งใช้ช่องสัญญาณนี้ได้ ซึ่งจุดนี้เองที่เป็นประโยชน์หรือเหมาะอย่างยิ่งกับระบบที่ซึ่งมีความจำกัดของทรัพยากรในการใช้งาน อีกทั้งยังช่วยให้สามารถรองรับผู้ใช้จำนวนมากขึ้นได้เมื่อเทียบกับระบบเดิม ๆ และยังไม่ต้องทำการสร้างช่องสัญญาณขนาดใหญ่ไว้เผื่อเอาไว้เพื่อรองรับการใช้งานในช่วง Peak-Hour แต่อย่างใด กล่าวโดยสรุป GPRS นั้นช่วยให้ผู้ให้บริการสามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า และมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากขึ้น Internet Aware GPRS นั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับเครือข่าย Internet ที่มีอยู่ได้ ดังนั้นบริการใด ๆ ที่ทำอยู่บนอินเทอร์เน็ตไม่ว่าจะเป็น FTP, Web Browsing, Chat, Email, Telnet นั้นก็จะสามารถใช้งานบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านทางเครือข่าย GPRS ได้ ซึ่งผู้ให้บริการบางรายนั้นก็อาจที่จะถือโอกาสอันนี้สร้างตนเองให้กลายมาเป็น Wireless ISP ได้อีกด้วย ดังนั้น เครือข่าย GPRS นี้อาจจะถูกมองว่าเป็นเครือข่ายย่อยของอินเทอร์เน็ตได้ ด้วยเหตุนี้ อุปกรณ์ที่ใช้งานกับเครือข่าย GPRS นั้นก็จะต้องมีความสามารถที่จะต้องมี IP Address เป็นของตนเองด้วย

2.6.3 การพัฒนาเทคโนโลยี

หลังจากที่วงการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มีการพัฒนาด้านการสื่อสารข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือและ None Voice Application อย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถสื่อสารได้ทุกรูปแบบอย่างไร้ขีดจำกัดในระหว่างเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารด้วยเสียงหรือข้อมูล ดังนั้นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงได้พัฒนาและนำเทคโนโลยีอย่างที่เห็นกันทุกวันนี้อย่างเป็นขั้นเป็นตอน เช่น

1. Short Message Service (SMS)

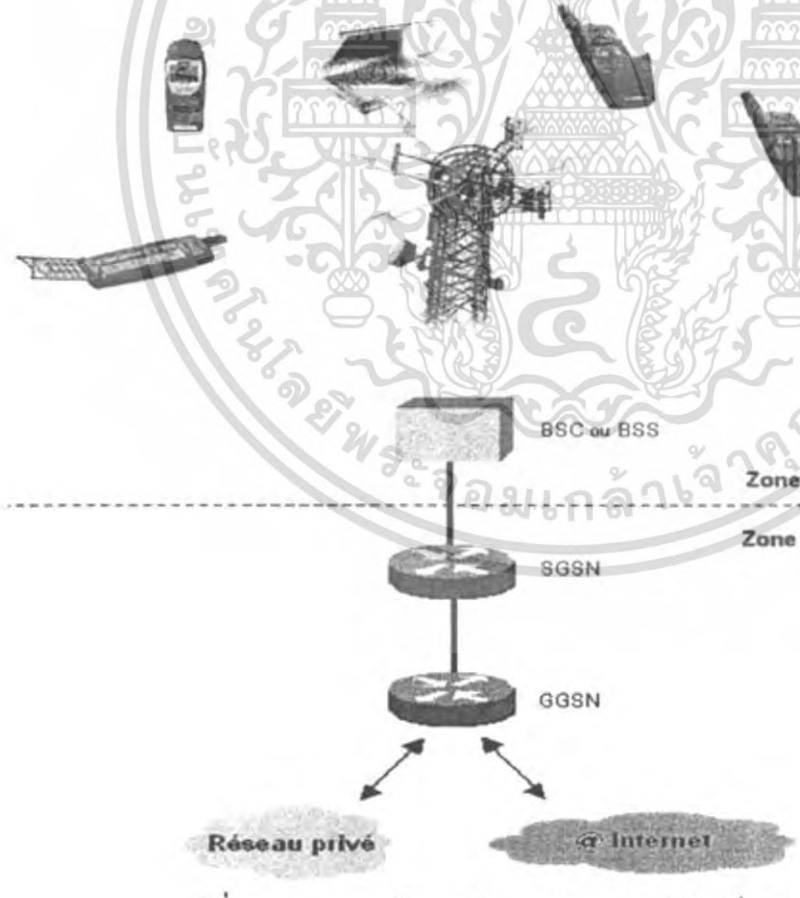
- การใช้เทคโนโลยี SMS หรือการส่งข้อความที่กำลังได้รับความนิยมกันทั่วไปมากขึ้นทุกวันในบ้านเราขณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sim Tool Kit โดยใช้ Sim Card ที่ทางผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้พัฒนาและเพิ่มเติมบริการไว้ให้ใช้งานและบริการต่าง ๆ ง่ายมากยิ่งขึ้น

2. Circuit Switched Data (CSD)

- WAP หรือ Wireless Application Protocol ที่สามารถ Connect กับโลกของข่าวสารข้อมูลกับ Wap Site ต่าง ๆ ได้ทั่วโลกแม้กระทั้งในรูปแบบของ Wireless Internet General Packet Radio Service(GPRS) เป็นบริการเสริมที่รองรับการรับส่งข้อมูลข่าวสารบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบจีเอสเอ็ม โดยจีพีอาร์เอสมักถูกเรียกว่าเป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G ซึ่งอยู่ระหว่าง 2G และ 3G ทางเทคนิคแล้วจีพีอาร์เอสใช้ช่องสัญญาณแบบ TDMA ของเครือข่ายจีเอสเอ็ม ในการส่งข้อมูล จีพีอาร์เอสสามารถรองรับการให้บริการที่เพิ่มมากขึ้นกว่าระบบ Circuit Switched Data(CSD) และ SMS เดิมได้



รูปที่ 2-29 แสดงหลักการทำงานของระบบจีพีอาร์เอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จีพีอาร์เอสนั้นได้รับการพัฒนาโดย 3GPP (Third Generation Partnership Project) และเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ PDN(Public Data Network) ภายในเครือข่ายจีเอสเอ็มซึ่งจะเป็นการรับส่งข้อมูลโดยมีการแบ่งสรรข้อมูลที่เรียกกันว่า PCU(Packet Control Unit), SGSN (Serving GPRS Support Node) และ GGSN(Gateway GPRS Support Node) เพื่อจัดการการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องรับโทรศัพท์และเครือข่ายต้นทาง

2.6.4 ความเร็วในการส่งข้อมูล

ตามทฤษฎีแล้วจีพีอาร์เอสสามารถให้รับส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงสุดถึง 171.2 กิโลบิตต่อวินาที เพราะจีพีอาร์เอสอาศัยการใช้ช่วงเวลา(timeslot) ทั้งแปดช่วงของทั้งหมดที่มี และใช้การส่งข้อมูลแบบ Packet-Switched ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้ทุกคนจะแบ่งใช้ช่องการสื่อสารร่วมกัน โดยใช้ช่องการสื่อสารเพียงเฉพาะช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูล ทำให้แบนวิธทั้งหมดของช่องการสื่อสารถูกใช้โดยผู้ใช้ที่มีการรับส่งข้อมูลในขณะนั้นเท่านั้น ซึ่งเหมาะสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่องกัน เช่น การใช้งานในเวบไซต์ การส่งจดหมายอิเล็คทรอนิกส์ เป็นต้น แต่ในความเป็นจริงความเร็วที่ใช้รับส่งข้อมูลจะอยู่ที่ 30-80 กิโลบิตต่อวินาที

2.6.5 ระดับความสามารถของ จีพีอาร์เอส

ระดับความสามารถของจีพีอาร์เอสสามารถแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่

1. ระดับเอ สามารถเชื่อมต่อได้ทั้งบริการ จีพีอาร์เอส และ จีเอสเอ็ม (เสียง, ข้อความ) พร้อมกัน และสามารถใช้งานบริการทั้งสองแบบได้ในเวลาเดียวกัน

2. ระดับบี สามารถเชื่อมต่อได้ทั้งบริการ จีพีอาร์เอส และ จีเอสเอ็ม (เสียง, ข้อความ) พร้อมกัน แต่สามารถใช้งานได้เพียงบริการเดียวในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ระหว่างการใช้บริการจีเอสเอ็ม บริการจีพีอาร์เอสจะหยุด และจะทำงานโดยอัตโนมัติหลังจากบริการจีเอสเอ็ม(เสียง,ข้อความ) จบการทำงาน ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่รองรับบริการจีพีอาร์เอสโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับบี

3. ระดับซี จะเชื่อมต่อบริการจีพีอาร์เอสหรือจีเอสเอ็ม(เสียง, ข้อความ) ได้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ทำให้ผู้ใช้งานต้องทำการสลับการใช้งานบริการทั้งสองเอง

โดยตามหลักการแล้วโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีจีพีอาร์เอสระดับเอนั้นจำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่วิทยุถึง 2 ความถี่ที่แตกต่าง เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลจีพีอาร์เอสและจีเอสเอ็มในเวลาเดียวกัน แต่ด้วยราคาของอุปกรณ์ที่แพงจึงทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีจีพีอาร์เอสใช้วิธีการ Dual Transfer Mode (DTM) ซึ่งการทำงานแบบ DTM จะทำการส่งข้อมูลเสียงและข้อมูลแพ็กเกจไปพร้อมกัน ด้วยวิธีนี้จึงแน่ใจได้ว่าไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นความถี่ที่แตกต่างกันถึง 2 ความถี่ในเวลาเดียวกัน ซึ่งก็ถือว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำงานเช่นนี้เสมือนเป็นจีพีอาร์เอสระดับเอ และคาดการณ์กันว่าในปี 2007 จะเริ่มมีเครือข่ายที่สนับสนุน DTM

2.6.6 คุณสมบัติเด่นหลัก ๆ ของระบบ GPRS

1. การโอนถ่ายข้อมูลที่มีความสามารถในการ รับ- ส่งผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้สูงถึง 9 - 40 kbps ซึ่งจะทำให้สามารถรับ- ส่งข้อมูลที่เป็น VDO Mail หรือ ภาพเคลื่อนไหวต่าง ๆได้ พร้อมทั้งเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้เร็ว และมีประสิทธภาพมากกว่าเดิมรวมถึงการ Down lode/Up lode ได้ง่ายยิ่งขึ้น

2. Always On การเชื่อมต่อเครือข่ายและโอนถ่ายข้อมูลสามารถดำเนินต่อไป แม้ในขณะที่มีสายติดต่อเข้ามาก็ตาม จึงทำให้การโอนถ่ายข้อมูลไม่ขาดตอนลง

3. Wireless Internet ที่เชื่อมต่อเข้ากับ Terminal เช่น PDA หรือ Note Book สามารถที่จะโอนถ่ายข้อมูลได้เร็วขึ้นจากที่เคยเป็นอยู่

2.6.7 ประโยชน์ของ GPRS

• ประหยัดค่าใช้จ่าย

เทคโนโลยี GPRS จะทำให้การคิดอัตราค่าบริการในการใช้อินเตอร์เน็ต ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการรับ และส่งข้อมูล ไม่ใช่ช่วงเวลาในการเชื่อมต่อ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ จ่ายเพียงแค่อัตราค่าบริการในการดาวน์โหลด และอัพโหลดเท่านั้น

• รวดเร็วยิ่งขึ้น

GPRS จะช่วยให้ท่านเชื่อมต่อ และรับข้อมูลต่าง ๆ ผ่านอินเตอร์เน็ตด้วยระยะเวลาที่รวดเร็วกว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ GSM ทั่วไป ทำให้การเข้าสู่ web หรือการรับส่ง e-mail เป็นไปอย่างสะดวก และง่ายดาย

• คุ้มค่า

มีค่าใช้จ่ายน้อย แต่รับผลตอบแทนจากการรับ-ส่งข้อมูลอย่างมากมาย

• น่าใช้

GPRS ทำให้ท่านได้รับข้อมูลในทุกรูปแบบไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบข้อความ หรือรูปแบบมัลติมีเดีย ซึ่งประกอบไปด้วยรูปภาพ เสียง และวีดิโอ ทำให้การติดต่อสื่อสารของคุณผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่ซ้ำซากอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8 GPRS คืกว่าระบบ GSM เดิมอย่างไร

- ความเร็วที่เพิ่มขึ้น จาก 9.6 Kbps เป็น40 Kbps

- สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา (Always On) โดยไม่เสียค่าบริการ และยังสามารถโทรออก และรับสายโทรเข้าได้ ในขณะที่คุณเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตอยู่

- เสียค่าบริการจากจำนวนข้อมูลที่เราทำการรับ หรือส่ง (Download หรือ Upload) เท่านั้น สามารถรับข้อมูลในรูปแบบของ Multimedia ได้ เช่นการชม Video Clip ผ่านทางอุปกรณ์ PDA ได้

2.6.9 ข้อจำกัดของ GPRS

ที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นล้วนแต่เป็นจุดเด่นของ GPRS ดังนั้นเราจะมาดูข้อจำกัดต่าง ๆ ของ GPRS กันบ้างLimited Cell Capacity for All Users

จากการที่ทรัพยากรต่าง ๆ ในระบบ เช่น ช่องสัญญาณ นั้นมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งในกรณีนี้ ทั้ง Voice และ GPRS นั้น ก็จะมาใช้ช่องสัญญาณ ร่วมกัน ดังนั้นการนำ GPRS เข้ามาใช้งานจึงเลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดปัญหาในเรื่องของความไม่เพียงพอของช่องสัญญาณ อย่างไรก็ตาม GPRS นั้นก็มีความสามารถที่จะทำการบริหารช่องสัญญาณแบบ Dynamically ในกรณีของการใช้งานในช่วง Peak-Time โดยการลดโหลดด้วยการให้มีการส่ง Short Message บนช่องสัญญาณ GPRS แทน Speeds Much Lower in Reality

แม้ว่าในทางทฤษฎีแล้ว GPRS จะสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดถึง 172.2 kbps ซึ่งเป็นการใช้งานของผู้ใช้เพียงคนเดียวบนช่องสัญญาณทั้งหมด 8 Time Slot (ช่องสัญญาณย่อย ๆ) โดยปราศจากการป้องกันการผิดพลาดใด ๆ (Error Protection) แต่ในความเป็นจริงนั้นคงไม่มีผู้ให้บริการรายใดที่อยากให้ผู้ใช้คนเดียวใช้งาน Time Slot ทั้งหมด โดยส่วนมากมักยอมให้ใช้สูงสุดเพียง 2-3 Time Slot เท่านั้น ดังนั้นความเร็วที่สามารถใช้งานได้จริง จึงต่ำกว่าค่าในทางทฤษฎีมาก ดังนั้นในการพิจารณาในเรื่องของความเร็วนั้น ก็ควรที่จะดึงข้อจำกัดต่าง ๆ ให้รอบคอบเสียก่อน และสิ่งที่ต้องพึงระลึกไว้ในใจเสมอก็คือ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม ความเร็วของการส่งข้อมูลบน Mobile Network ก็จะน้อยกว่าความเร็วของการส่งข้อมูลบน Fixed Network เสมอNote : ในอนาคตเมื่อมีการใช้งาน Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) หรือ Universal Mobile Telephone System (UMTS) ความเร็วในการส่งข้อมูลบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนบุคคลก็จะสามารถทำได้สูงขึ้น Support of GPRS Mobile Terminate by Terminals is Not Ensured

จนถึง ณ วันนี้ สิ่งที่ยังคงเป็นปัญหาอยู่ก็คือ ยังไม่มีผู้ผลิตโทรศัพท์มือถือรายใดออกมาให้คำยืนยันว่า โทรศัพท์มือถือ GPRS ในรุ่นแรก ๆ นั้น สามารถรับการเรียกในแบบ GPRS ได้หรือไม่ ซึ่งตรงนี้เองที่กลายเป็นผลกระทบที่สำคัญต่อการตัดสินใจของผู้ให้บริการว่าจะเข้าสู่ GPRS หรือไม่ อีกเหตุผลก็คือ เมื่อผู้ใช้มีความต้องการที่จะใช้งาน GPRS และได้ตกลงที่จะยอมจ่ายสำหรับการรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Content ต่างๆ จากบริการนี้ที่ได้เข้ามายังโทรศัพท์เคลื่อนที่แล้ว ถ้าหากว่าผู้ใช้บริการต้องจ่ายสำหรับข้อมูลที่ไม่ต้องการ หรือที่เป็นลักษณะของ Junk Content ซึ่งเข้ามายังโทรศัพท์มือถือด้วยแล้ว เชื่อแน่ว่าผู้ใช้บริการคงไม่อยากที่จะใช้บริการแน่ นี่ก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ผู้ให้บริการยังลังเลใจกับการเข้าสู่ระบบ GPRS

1. Suboptimal Modulation GPRS นั้นใช้เทคนิคในการมอดูเลชั่น (Modulation) แบบ Gaussian Minimum-Shift Keying (GMSK) ในขณะที่ EDGE นั้นใช้เทคนิคในการมอดูเลชั่นที่ทำให้ได้อัตราเร็วในการส่งผ่าน Air Interface ที่สูงขึ้น โดยการมอดูเลชั่นวิธีนี้เรียกว่า Eight-Phase Shift Keying (8 PSK) นอกจากนี้ 8 PSK ยังได้ใช้งานกับ UMTS ด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเทคนิคในการมอดูเลชั่นของ GPRS นั้นยังเทียบกับ EDGE หรือ UMTS ซึ่งจะเป็นสิ่งสำคัญในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3rd Generation ไม่ได้ ซึ่งก็เท่ากับเป็นการสร้างให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งาน GPRS ไปในตัว

2. Transit Delays เช่นเดียวกับเทคนิคในการส่ง Packet ของ IP Network ในระบบ GPRS นั้นจะมีการแบ่งข้อมูลออกเป็น Packet แล้วจึงทำการส่งไปในทิศทางที่แตกต่างกัน โดย Packet เหล่านี้จะไปยังจุดหมายปลายทางเดียวกัน ทั้งนี้อาจมีการสูญหายของ Packet บาง Packet ไปในระหว่างการส่ง ซึ่งระบบก็สามารถทำการแก้ไขได้โดยการส่งใหม่อีกครั้งหนึ่ง แต่ผลที่ตามมาก็คือ การเกิดการหน่วงเวลา หรือ Delay ขึ้นมา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการใช้งานของสัญญาณเสียงหรือวิดีโอ และด้วยปัญหาที่กล่าวมานี้เองจึงได้มีการคิด High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานช่องสัญญาณได้โดยไม่มีใครมาแย่ง ปัญหาเรื่องของการหน่วงเวลาจึงหมดไป ซึ่งเท่ากับว่าเกิดความต้องการการใช้งาน HSCSD ขึ้นมาแทนที่ GPRS

3. No Store and Forward เนื่องจากเทคนิค Store and Forward ในบริการ Short Message Service (SMS) นั้นถือว่าเป็นส่วนสำคัญและก็ได้รับความนิยมในการใช้อย่างมาก แต่กลับไม่มีการใช้เทคนิคนี้ในมาตรฐาน GPRS แต่อย่างใด

4. Timescales ของ GPRS ก่อนที่ GPRS จะเข้าสู่การให้บริการจริงนั้น ได้มีการคาดการณ์ถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ GPRS ดังต่อไปนี้ (บทความนี้เขียนขึ้นช่วงต้นปี 2000 เพราะฉะนั้นกิจกรรมต่าง ๆ จึงเป็นการคาดการณ์ว่าน่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น ๆ)ปี 1999 - 2000 ผู้ให้บริการได้ทำการทดสอบและทดลองการใช้งานเทคโนโลยี และศึกษาถึงการสร้างโครงข่ายของ GPRS บนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ช่วงกลางปี 2000 จะมีการทดสอบการให้บริการ GPRS เกิดขึ้นเป็นครั้งแรก โดยสามารถใช้งานได้ที่ความเร็ว 28 kbps ตัวอย่างเช่น T-Mobil ได้มีแผนการที่จะทดสอบระบบ GPRS ในงาน Expo2000 ที่เมือง Hanover ในช่วงฤดูร้อนของปี 2000 ต้นปี 2001 อุปกรณ์ GPRS แบบพื้น ๆ จะมีวางขายเป็นครั้งแรก ตลอดปี 2001 Network Operator เริ่มต้นให้บริการ GPRS ปลายปี 2001/ต้นปี 2002 บริการในระบบ GPRS จะดีขึ้น โดยคาดว่าจะสามารถส่งได้ที่ความเร็ว 56 kbps รวมทั้งการพัฒนาบริการเสริมอื่น ๆ ด้วย ปี 2002 คาดว่าจะสามารถส่งได้ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็ว 112 kbps และเริ่มมีการรวมระบบ GPRS Phase 2 เข้ากับ EDGE ปี 2002 GPRS กลายมาเป็นสิ่งสำคัญ และมีการใช้งานกันอย่างมากในโครงข่าย (เหมือนกับที่ในปัจจุบันมีความนิยมในการใช้งาน Short Message Service อย่างมาก) ปลายปี 2002/ต้นปี 2003 เริ่มต้นให้บริการ UMTS Note : GPRS นั้นได้มีการแบ่งช่วงเวลาในการวางแผนเพื่อให้บริการเป็นแบบ Phase โดยใน Phase แรกนั้นได้มีการคาดหวังว่า GPRS น่าจะสามารถเริ่มให้บริการได้ในช่วงปี 2001 โดยจะเป็นบริการในรูปแบบ Point-to-Point GPRS (สามารถส่งข้อมูลไปให้ผู้รับได้เพียงคนเดียวในเวลาหนึ่ง ๆ) ส่วนแบบ แบบ Point-to-Multipoint GPRS นั้นจะยังไม่สามารถให้บริการได้ในตอนนี้ ส่วนใน Phase 2 นั้นแม้ว่าจะยังไม่มีการกำหนดไว้อย่างชัดเจน แต่ก็พอจะมองเห็นว่าแนวโน้มจะอยู่ที่ความคาดหวังในการรับ-ส่งข้อมูลที่สูงขึ้น โดยอาจจะมีการทำงานร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) นอกจากนี้ก็ยังสนับสนุนการทำงานแบบ Point-to-Multipoint GPRS แล้วสิ่งที่สำคัญและขาดไม่ได้ก็คือ Voice ที่มีคุณภาพดีที่ซึ่งจะสามารถใช้งานร่วมกับบริการอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี และช่วยรักษาความจงรักภักดีในตัวผู้ให้บริการได้

2.6.10 จุดเด่นของ GPRS

1. Speed ความเร็วสูงสุดในการรับ-ส่งข้อมูลทางทฤษฎีที่ GPRS สามารถทำได้คือ 171.2 kbps ซึ่งจะเร็วกว่าความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเดิม (ที่ความเร็ว 19.2 kbps ในบางรูปแบบ และที่ความเร็ว 9.6 kbps ในบางรูปแบบ) ถึงเกือบสิบเท่า และยังเร็วกว่าการส่งข้อมูลในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานผ่านทางโมเด็ม (Dial-up Modem) ที่ความเร็ว 56 kbps ถึงสามเท่า แต่อย่างไรก็ตามความเร็วในระดับ 171.2 kbps นี้ก็ไม่ใช่ว่าจะสามารถทำได้ในระยะเวลาอันใกล้นี้ โดยคาดกันไว้ว่าภายในปีนี้นั้นจะสามารถใช้งาน GPRS ได้ในช่วงความเร็วจนถึง 56 kbps เท่านั้น

2. Immediacy GPRS นั้นจะมีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบ "Always Connected"ดังนั้นในการรับหรือส่งข้อมูลนั้นจะสามารถทำได้ทันทีที่ต้องการ โดยไม่ต้องทำการเชื่อมต่อในแบบ Dial-up เดิม ๆ และยังไม่เป็นการใช้ทรัพยากรที่สิ้นเปลืองแต่อย่างใดเพราะในรูปแบบของการส่งแบบ Packet นั้น หากช่องสัญญาณใดไม่ทำการรับ-ส่งข้อมูล ช่องสัญญาณอื่นก็จะสามารถมาใช้ช่วงแบนด์วิดท์นี้ได้ ซึ่งเรียกทราฟฟิคประเภทนี้ว่า Bursty Traffic

3. New Applications, Better Applications GPRS จะช่วยปรับปรุงการใช้งาน Applications หลาย ๆ อย่างในระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเดิมได้ ไม่ว่าจะเป็นความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำ (9.6 kbps) หรือความยาวของ Short Message Service (SMS) ที่จำกัด (160 Characters) และด้วย GPRS การใช้งาน Internet (ที่ไม่ใช่ WAP) บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะกลายเป็นเรื่องง่ายและไม่เสียเวลาในการเข้าถึงข้อมูล นอกจากนี้ ในอนาคตอันใกล้นั้นก็คาดกันไว้ว่า Application ใหม่ ๆ เช่น File Transfer บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือ เรื่องของการควบคุมเครื่องใช้งานในบ้านอย่างอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Home Automation) ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยระบบของ Bluetooth (ในโอกาสต่อ ๆ ไปเราจะว่ากันด้วยเรื่องของ Bluetooth)

4. Service Access การใช้งาน GPRS นั้น ผู้ใช้จำเป็นที่จะต้องมีสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ หรืออุปกรณ์ที่สนับสนุนการทำงานของ GPRS (โทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันนั้นยังไม่สนับสนุนการทำงานนี้ ต้องใช้งานกับโครงข่ายที่สนับสนุนการทำงานของ GPRS รู้ถึงวิธีการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรับ-ส่งข้อมูลจาก GPRS ได้ (ด้วยเหตุนี้ศูนย์บริการและให้คำปรึกษากับลูกค้าจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น)

2.7 ระบบแผนที่

แผนที่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือแผนที่เฉพาะเรื่อง(Thematic Map) และแผนที่ภูมิประเทศ(Topographic Map) โดยที่แผนที่เฉพาะเรื่องนี้เป็นแผนที่ที่มีองค์ประกอบอื่นๆ เข้ามามาก ส่วนแผนที่ภูมิประเทศจะเป็นแผนที่ที่เน้นแสดงสภาพทางภูมิศาสตร์โดยเฉพาะแผนที่เฉพาะเรื่อง คือแผนที่ที่แสดงรายละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ต้องการนำเสนอโดยการแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้เป็นเครื่องหมายแผนที่เสียก่อน แล้วนำไปพิมพ์ซ้อนทับลงบนแผนที่ฐาน ตามตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูลนั้นๆ ซึ่งหมายถึงประกอบไปด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่(Spatial Data) และแผนที่ฐาน (Base Map) ในการทำแผนที่นี้เตรียมการเสร็จแล้วจะทำการพิมพ์ลงบนกระดาษ(Paper Map) สำหรับปัญหาแผนที่แบบกระดาษ คือ ถ้ามีการเพิ่มเติมหรือแก้ไขข้อมูลจะไม่สามารถแก้ไขในเวลาสั้นๆ ได้ จะต้องทำการพิมพ์แผนที่ออกมาใหม่ทั้งหมด ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก ปัจจุบันนี้ได้ทำการดัดแปลงแผนที่เฉพาะเรื่อง มาจัดเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ มีการแสดงผลโดยวางซ้อนทับฐานข้อมูล การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการจัดเก็บข้อมูลนี้จะทำได้ดีกว่าแผนที่กระดาษ เพราะว่าสามารถเลือกดูชั้นข้อมูลที่จำเป็นเท่านั้น ทำให้เข้าใจง่ายกว่าแผนที่กระดาษ

2.7.1 แผนที่ดิจิตอล

แผนที่ดิจิตอล (Digital Map) หรือแผนที่เชิงตัวเลขเป็นแผนที่ที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลและมีการจัดเก็บข้อมูลของแผนที่ให้อยู่ในรูปของข้อมูลคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลคอมพิวเตอร์จะทำการจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ แผนที่ดิจิตอลแบ่งตามการจัดเก็บออกเป็น 2 แบบ คือ แบบราสเตอร์และแบบเวกเตอร์

แผนที่แบบราสเตอร์ หมายถึงแผนที่ที่มีการจัดเก็บและแสดงผลในรูปของจุดภาพ การสร้างแผนที่แบบนี้จะได้โดยรับภาพแผนที่จากแผนที่กระดาษผ่านทางเครื่องสแกนภาพซึ่งวิธีการสแกนภาพเป็นการนำรูปภาพทั้งรูปเข้าไปเก็บไว้ในลักษณะของรูปภาพ ซึ่งการแก้ไขจะทำได้ยากรวมทั้งใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนที่แบบเวกเตอร์ หมายถึงแผนที่ที่มีการจัดเก็บและแสดงผลในรูปของลายเส้น และมีทิศทางการสร้างแผนที่แบบนี้ทำได้โดยใช้วิธีการลอกแบบจากเครื่องดิจิตอลไดเซอร์ ซึ่งจะเก็บเฉพาะข้อมูลในส่วนที่ต้องการลอกแบบ ดังนั้นข้อมูลแบบนี้จึงใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บน้อยกว่า สามารถแก้ไขได้ในภายหลังโดยที่มาตรส่วนไม่ผิดไปจากเดิม

2.7.2 ระบบพิกัดบนแผนที่

ระบบพิกัดบนแผนที่จะมีการอ้างอิงพิกัดที่เหมือนกับระบบพิกัดฉากในทางเลขาคณิตที่ประกอบไปด้วยแกน X และแกน Y โดยจุดกำเนิดหมายถึงจุดตัดระหว่างแกน X และแกน Y เมื่อแทนด้วยระบบพิกัดบนที่แผนที่แล้ว แกน X จะหมายถึงเส้นละติจูด และแกน Y จะหมายถึงเส้นลองติจูด เมื่อพิจารณาระบบพิกัดบนโลกแล้วเราจะพิจารณาเป็นลักษณะของ 3 มิติคือ X, Y, Z โดย Z จะหมายถึงค่าความสูง ระบบนี้จะใช้ในการอ้างอิงในระบบจีพีเอส

ละติจูดเป็นเส้นที่ลากวนรอบโลกในแนวนอน โดยพิกัดละติจูดก็คือระยะทางเชิงมุมที่วัดไปทางเหนือและใต้ของเส้นศูนย์สูตร นับจาก 0 องศาไปทางเหนือและทางใต้ 90 องศา โดยเส้นศูนย์สูตรก็คือเส้นละติจูดที่วนรอบจุดศูนย์กลางของโลกลองติจูด เป็นเส้นแนวตั้งที่ลากระหว่างขั้วโลกเหนือกับขั้วโลกใต้ ทุกเส้นของลองติจูดจะต้องตัดกับเส้นศูนย์สูตร โดยเส้นลองติจูดที่ศูนย์อยู่ที่กรีนวิช(Greenwish) ในประเทศอังกฤษ โดยพิกัดละติจูดก็ คือ ระยะทางเชิงมุมที่วัดจากเส้นลองติจูดที่ศูนย์ ไปทางตะวันออก 180 องศาตะวันออก และทางตะวันตก 180 องศาตะวันตก

2.7.3 ระบบแผนที่ด้วย Google Maps API

การใช้ระบบแผนที่ของ Google Maps API ช่วยให้ลดการรับผิดชอบทางด้านระบบฐานข้อมูลแผนที่ โดยไม่ต้องสร้างแผนที่ขึ้นมาเอง ไม่ต้องศึกษาภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่โดยละเอียด มีการแสดงผลที่นุ่มนวลและค่อนข้างรวดเร็วด้วยเทคโนโลยี AJAXGoogle Maps API ช่วยให้สามารถพัฒนาโปรแกรมเพื่อแทรก Google Maps เข้าไปเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในเว็บเพจที่ต้องการได้ โดยเขียนเป็นภาษา HTML และ JavaScript ในรูป แบบที่ไม่สลับซับซ้อนนักสำหรับงานแผนที่ง่ายๆ Google Maps API มีขีดความสามารถกว้างขวางเน้นในด้านการนำเสนอข้อมูลแผนที่ในลักษณะ Push pin หรือ Place marker ซึ่งสามารถกำหนดให้แสดงข้อมูลประกอบแผนที่เมื่อผู้ใช้คลิกที่ตัว pushpin /marker นั้นๆ บริการเรื่องแผนที่ของ Google นี้เริ่มต้นตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 2005 เป็นบริการฟรี จัดให้แก่ผู้ใช้ที่ร้องขอโดยคาดหวังที่จะใช้การโฆษณาบนแผนที่เป็นรายได้กลับคืน แต่ในระยะแรกจะยังไม่มีการโฆษณาดังกล่าว

เนื่องจากจัดทำ Google Maps API เป็นโปรแกรมรหัสเปิด (Open source program) ในภาษา JavaScript จึงทำให้ผู้ใช้ที่เป็นนักพัฒนาโปรแกรมสามารถเข้าไปดูรายละเอียดของรหัสโปรแกรมได้สะดวก รวมทั้งสามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขโปรแกรมได้ ทำให้ Google Maps API มีผู้ใช้กันอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

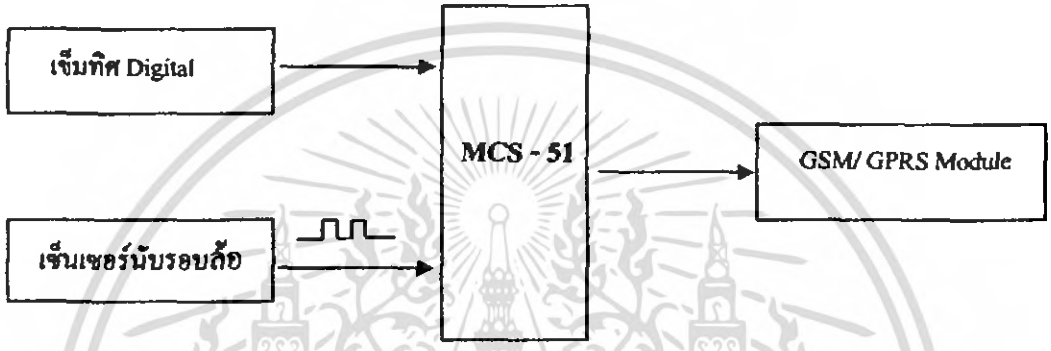
กว้างขวาง เหตุผลสำคัญอีก 2 อย่างที่ส่งเสริมให้มีผู้ใช้มากคือแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียมคุณภาพดีที่ใช้สนับสนุนการทำแผนที่มีให้ครอบคลุมพื้นที่ต่างๆ อย่างกว้างขวาง และชื่อเสียงของโปรแกรม Google Earth เสริมด้วยบริการ Google Local ที่มีมาก่อน ในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้ Google Maps API ทำโปรแกรมประเภทที่เรียกว่า Map mashup อย่างง่ายเพื่อเป็นตัวอย่างให้ผู้สนใจได้ทำขึ้นเพื่อเริ่มต้นทดลองใช้งาน หรือเรียนรู้ทำความเข้าใจในเทคโนโลยีและขีดความสามารถของ Google Maps API

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 การออกแบบการทำงานของระบบภาคส่ง



รูปที่ 3-1 บล็อกไดอะแกรมระบบภาคส่ง

อินพุทมีอยู่ 2 ตัว คือ เข็มทิศกับเซ็นเซอร์นับรอบล้อ ซึ่งทั้งสองตัวนี้จะส่งสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ แล้วส่งไปให้ MCS 51 ตัวที่1 จากนั้นจะทำการนับสัญญาณพัลส์ ทั้งคู่ โดยตั้งค่าเริ่มให้เป็น 0,0 ก่อน 0 ตัวแรกเป็นค่าของเข็มทิศ 0ตัวที่2 เป็นค่าของเซ็นเซอร์นับรอบล้อ เมื่อองศาของเข็มทิศเปลี่ยนให้จับค่าของเซ็นเซอร์นับรอบล้อมาคู่กับค่าขององศาแล้วรีเซตค่าของเซ็นเซอร์ทั้งสองให้เป็น 0 เพื่อรอนับค่าครั้งต่อไปเช่น เริ่ม 0,0 องศาเปลี่ยนเซ็นเซอร์นับรอบล้อเปลี่ยน 5,2 หมายความว่า เปลี่ยนไป 5 องศา จำนวน 2 รอบวงล้อ แล้วทำการรีเซตค่าให้เป็น 0,0 ใหม่ เพื่อรอนับค่าครั้งใหม่

ตัวอย่าง

0,0	เริ่มต้น
5,2	5 องศา , 2 รอบ
0,0	รีเซตค่า
10,3	10 องศา , 3 รอบ
0,0	รีเซตค่า
45,10	45 องศา , 10 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่จับคู่ได้ส่งให้ MCS-51 (2) MCS-51 (2) ทำหน้าที่รับค่าจาก MCS (1) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า 0,0 ถ้าค่าขององศาต่างกัน 5 องศาขึ้นไปจึงค่อยไปสั่งให้ส่งค่าให้โทรศัพท์ที่ทำงาน เช่น

0,0 ตัวเปรียบเทียบ

4,2 ค่าที่ 1 4 องศา 2 รอบ

5,3 ค่าที่ 2 5 องศา 3 รอบ

ค่าที่ 1 เทียบกับ 0,0 แล้วต่างกันแค่ 4 องศา ยังไม่ถึง 5 องศา ไม่ต้องส่ง รอค่าที่ 2 นำค่าที่ 2 บวกกับค่าที่ 1 แล้วมาเทียบกับ 0,0 ในที่นี้ 4+5, 2+3 ได้เท่ากับ 9,5 นำค่า 9,5ไปส่ง

ส่วนโทรศัพท์ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก MCS-51 (2) ที่ส่งออกมา แล้วใช้โทรศัพท์ส่งค่าพวกนี้ไปเครื่องอื่นด้วยระบบ GPRS

3.1.1 วงจรนับรอบล้อ

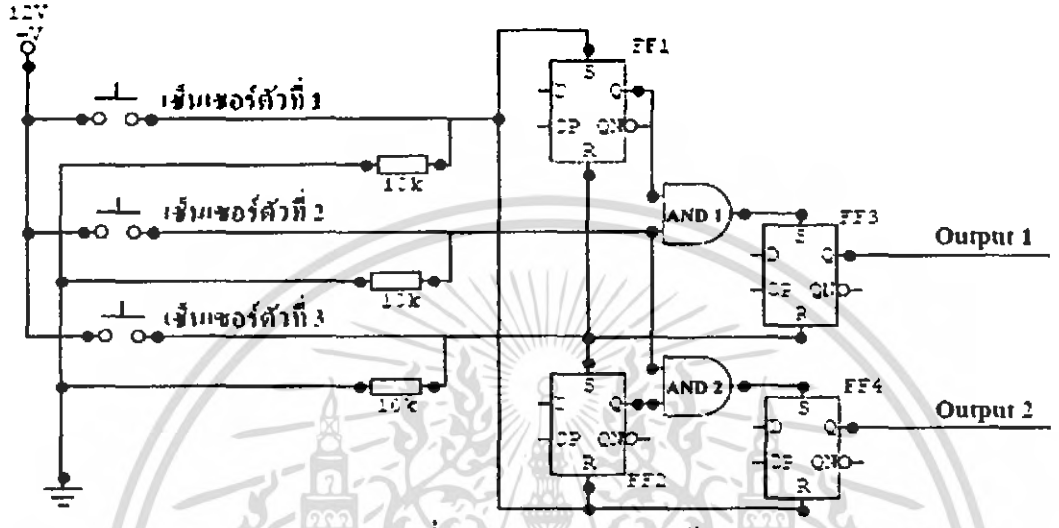
3.1.1.1 หลักการทำงาน

ใช้นับรอบล้อรถยนต์ทั้งเดินหน้าและถอยหลังแล้วนำค่าที่นับได้ส่งไปให้ Microtroller ต่อไป วงจรนับรอบล้อรถยนต์นี้จะมีตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับจำนวน 3 ตัว โดยที่เซ็นเซอร์ตัวที่1 จะเป็นตัวกำหนดการนับของทิศทางการหมุนของล้อรถยนต์ว่าเดินหน้า เซ็นเซอร์ตัวที่2 จะเป็นตัวนับรอบของล้อรถยนต์ด้วยการรับค่าจากเซ็นเซอร์ตัวที่1 บวกกับค่าของเซ็นเซอร์ตัวที่2 ส่วนเซ็นเซอร์ตัวที่ 3 จะเป็นตัวตัดการทำงานของการนับรอบล้อรถยนต์ และจะทำงานวนรอบไปจนกว่าจะหยุดรถยนต์ เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ก็จะเริ่มนับรอบอีกครั้งหนึ่ง โดยที่Output1 จะนับรอบล้อที่เดินหน้า และเมื่อรถยนต์วิ่งถอยหลังเซ็นเซอร์ตัวที่3 จะเป็นตัวกำหนดการนับของทิศทางการหมุนของล้อรถยนต์ว่าเดินถอยหลัง เซ็นเซอร์ตัวที่2 จะเป็นตัวนับรอบของล้อรถยนต์ด้วยการรับค่าจากเซ็นเซอร์ตัวที่3 บวกกับค่าของเซ็นเซอร์ตัวที่2 ส่วนเซ็นเซอร์ตัวที่1 จะเป็นตัวตัดการทำงานของการนับรอบล้อรถยนต์ โดยที่ Output2 จะนับรอบล้อที่เดินถอยหลังดังรูป

รูปที่ 3-2 รูปหลักการนับรอบล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 วงจรและการทำงาน

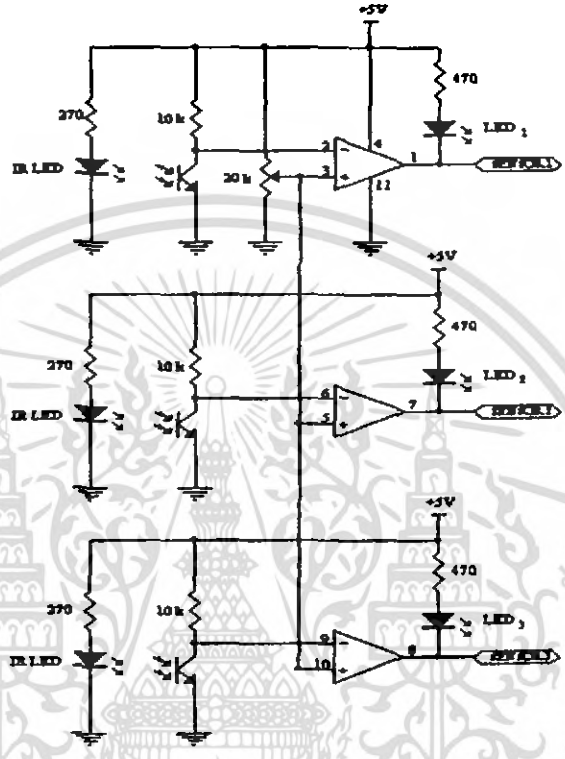


รูปที่ 3-3 รูปวงจรนับรอบล้อ

เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่1 ทำงานจะค่า +12V(1) ไปที่ขา R ของ FF2 และ FF4 (RS Flip-Flop) เพื่อตัดการทำงานของ Output2 และส่งค่า +12V(1) ไปที่ขา S ของ FF1 ทำให้ Q ของ FF1 มีค่าเท่ากับ 1 และส่งค่า 1 นี้ไปให้ AND 1 เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่2 ทำงานจะส่งค่า +12V(1) ไปที่ AND 2 และ AND 1 จะทำให้ AND 1 มีค่าเท่ากับ 1 แล้วส่งค่า 1 นี้ไปให้ที่ขา S ของ FF3 ทำให้ Q ของ FF3 มีค่าเท่ากับ 1 ส่งผลให้เกิด Output 1 เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่3 ทำงานจะค่า +12V(1) ไปที่ขา S ของ FF2 และ ไปที่ขา R ของ FF1 และ FF3 เพื่อตัดระบบการทำงานของ Output1 และในทางกลับกัน เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่3 ทำงานจะค่า +12V(1) ไปที่ขา R ของ FF1 และ FF3 (RS Flip-Flop) เพื่อตัดการทำงานของ Output1 และส่งค่า +12V(1) ไปที่ขา S ของ FF2 ทำให้ Q ของ FF2 มีค่าเท่ากับ 1 และส่งค่า 1 นี้ไปให้ AND 2 เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่2 ทำงานจะส่งค่า +12V(1) ไปที่ AND 1 และ AND 2 จะทำให้ AND 2 มีค่าเท่ากับ 1 แล้วส่งค่า 1 นี้ไปให้ที่ขา S ของ FF4 ทำให้ Q ของ FF4 มีค่าเท่ากับ 1 ส่งผลให้เกิด Output2 เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่1 ทำงานจะค่า +12V(1) ไปที่ขา S ของ FF1 และ ไปที่ขา R ของ FF2 และ FF4 เพื่อตัดระบบการทำงานของ Output2 และค่าของ Output1 , Output2 จะส่งไปให้กับ Microtroller ต่อไป เพื่อนำค่าที่ได้ไปประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

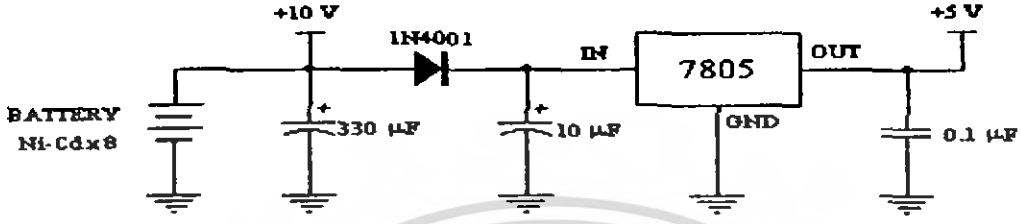
3.1.1.3 วงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3-4 รูปวงจรขยายสัญญาณ

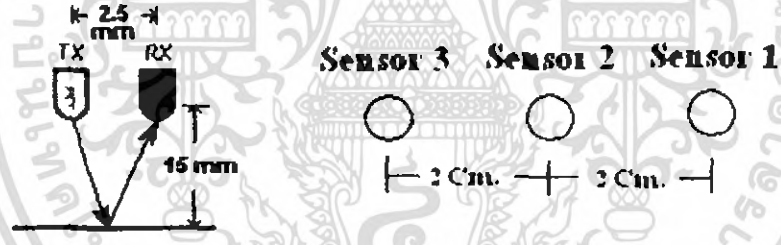
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 วงจรเพาเวอร์



รูปที่ 3-5 รูปวงจรเพาเวอร์

3.1.1.5 หลักการทำงานของอินฟาเรด



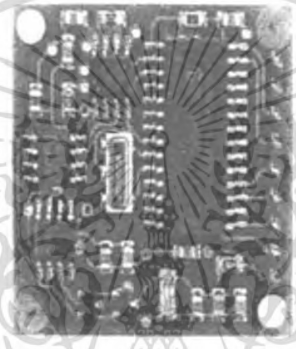
รูปที่ 3-6 รูปหลักการทำงานของอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบชุดเข็มทิศดิจิตอล

3.1.2.1 การใช้ เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03

ในการทำโครงงานนี้ได้เลือกใช้ เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03 หัวใจสำคัญของ CMPS03 คือ การตรวจจับสนามแม่เหล็กเบอร์ KMZ 51Philips จำนาน 2 ตัวเพื่อให้มีความไวเพียงพอในการตรวจจับสนามแม่เหล็กโลกและไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับสัญญาณจากตัตรวจจับมาประมวลผลเป็นข้อมูลดิจิตอลและสัญญาณ พัลส์สำหรับแสดงผลทิศทางรายละเอียดดูที่ Data sheet



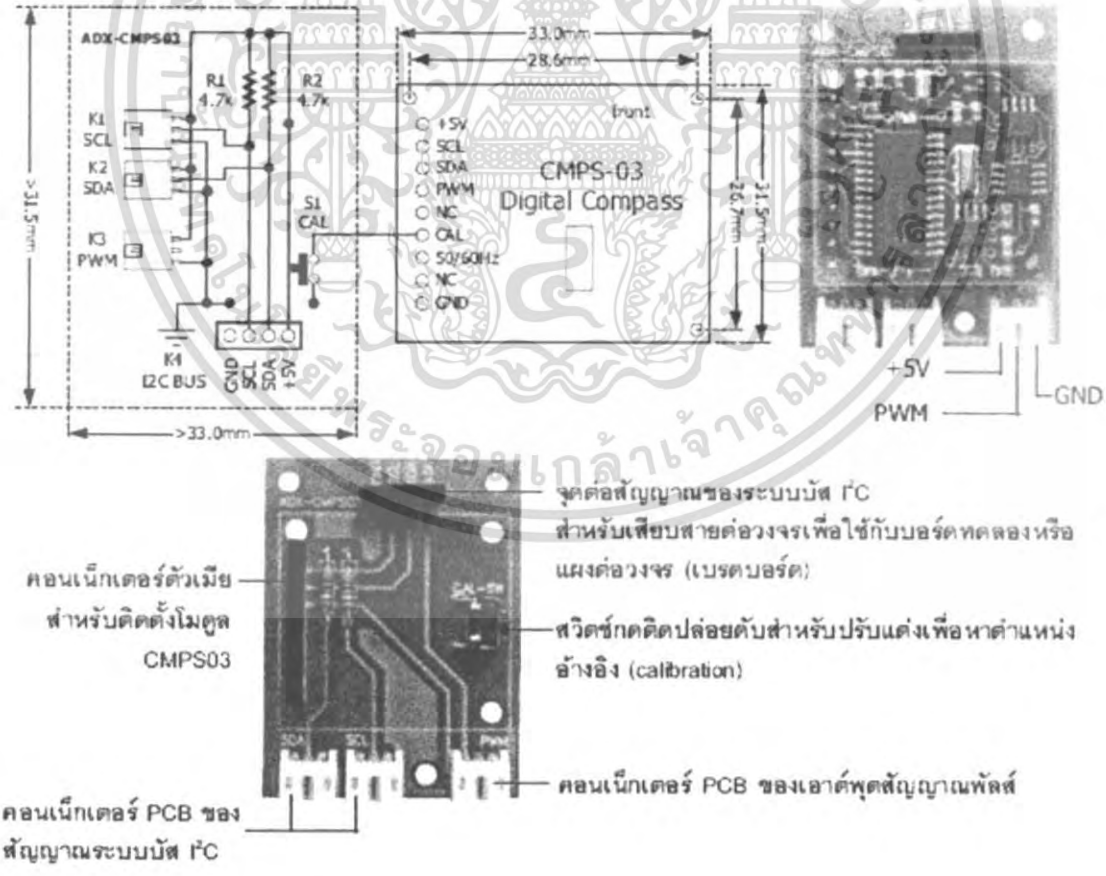
รูปที่ 3-7 ลักษณะภายนอกของ เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03[2]

3.1.2.2 คุณสมบัติของเข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03

- ใช้ไฟเลี้ยง +5 V ต้องการกระแสไฟฟ้า 20 mA
- ใช้ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเบอร์ KMZ51 ของ Phillips จะนวน 2 ตัว เพื่อให้สามารถตรวจจับ สนามแม่เหล็กโลกได้อย่างสมบูรณ์และมีความละเอียดมากเพียงพอ
- มีความละเอียดของมุม 0.1 องศา
- เอาต์พุตข้อมูลดิจิตอลผ่านการติดต่อระบบบัส I C โดยให้ข้อมูล 2 แบบคือ 0-255 และ 0-3599
- มีขนาดเล็ก 32 x 35 มิลลิเมตร
- มีความผิดพลาด 3-4 องศา โดยประมาณ หลังจากการปรับแต่ง
- สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยมได้ทุกตระกูล อาทิ เบสิกแสตมป์, 2SX/2P PIC, MCS-51, PSoC, 68HC11 ทั้งผ่านระบบบัส I C และด้วยการวัดสัญญาณพัลส์
- เอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ ความกว้าง 1 ถึง 37 มิลลิวินาที โดยมีอัตราเพิ่มครั้งละ 0.1 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

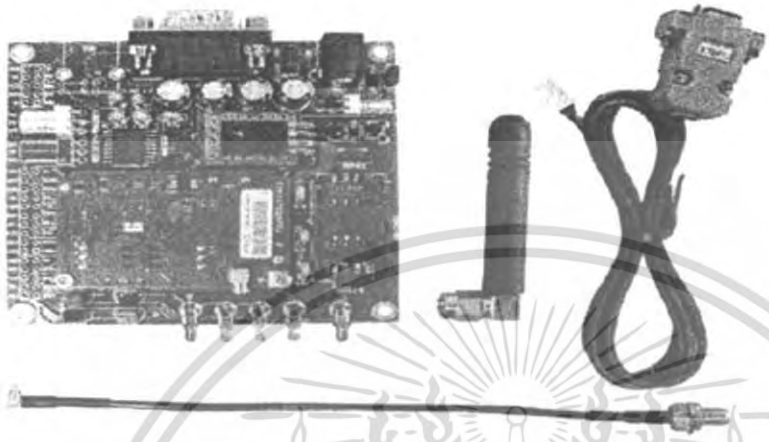
รูปที่ 3-8 ขาที่ต่อใช้งาน เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03[2]



รูปที่ 3-9 การต่อเข้ากับอุปกรณ์เข็มทิศแบบดิจิตอล CMPS03 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบและใช้งาน GR-64 GSM/GPRS Module



รูปที่ 3-10 GR-64 GSM/GPRS Module

GR-64 เป็นโมดูล GSM/GPRS รองรับความถี่ได้แก่ GSM 850/900/1800/1900 MHz

3.1.3.1 คุณสมบัติ

-Quad Band GSM/GPRS Radio Device 850/900/1800/1900 MHz

-Mobile class B

-TCP/UDP/IP protocol stack

-2 ×UARTs Connectivity Serial baudrate form 1200 to 460,800 bits/s

-4 ×ACD inputs

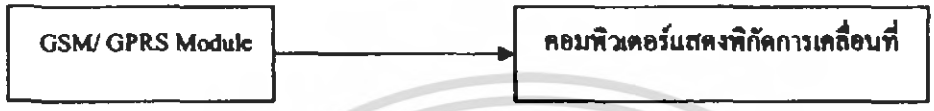
-Real time clock alarm output

3.1.3.2 การใช้งาน GR-64

สามารถติดต่อโดยผ่านทาง RS-232 ด้วย AT Command โดยใช้โปรแกรม Hyper Termial

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบการทำงานของระบบภาครับ



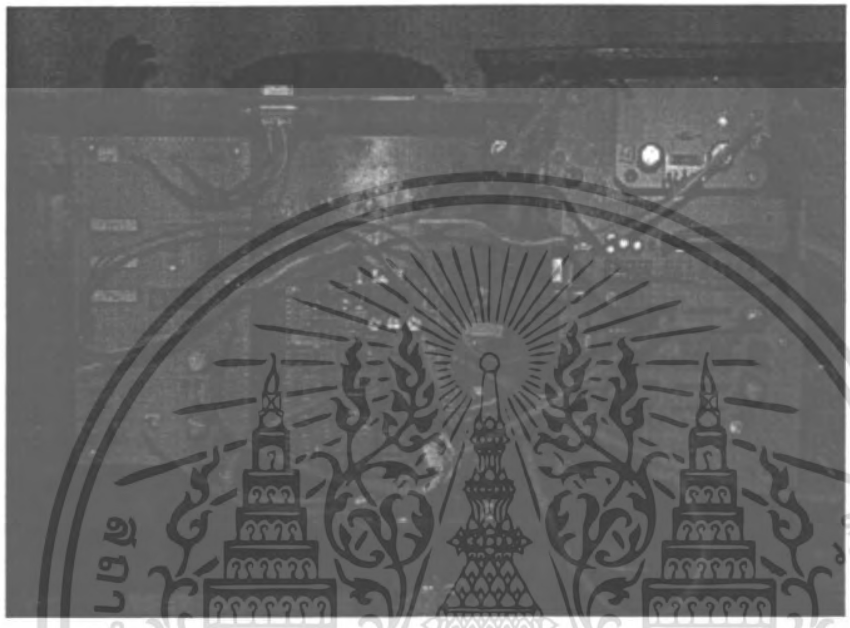
รูปที่ 3-11 บล็อกไดอะแกรมระบบภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

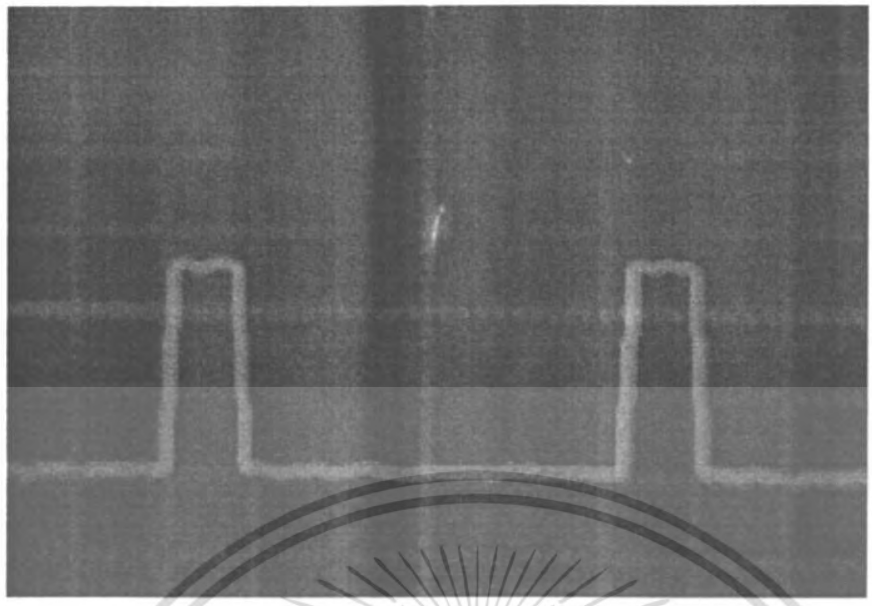
4.1 ผลการทดลองทางภาคส่ง



รูปที่ 4-1 ฮาร์ดแวร์ที่ติดตั้งบนตัวรถ

รูปที่ 4-2 การติดตั้งโมดูลเข็มทิศดิจิตอล

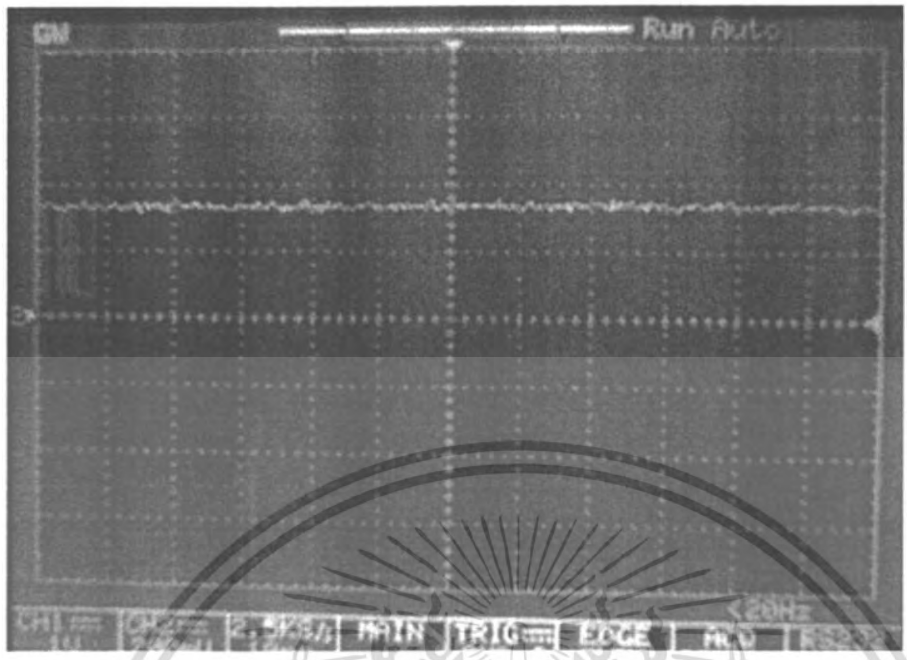
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 สัญญาณที่วัดได้จากชุดนับรอบล้อโดยการเดินหน้า

รูปที่ 4-4 สัญญาณที่วัดได้จากชุดนับรอบล้อโดยการถอยหลัง

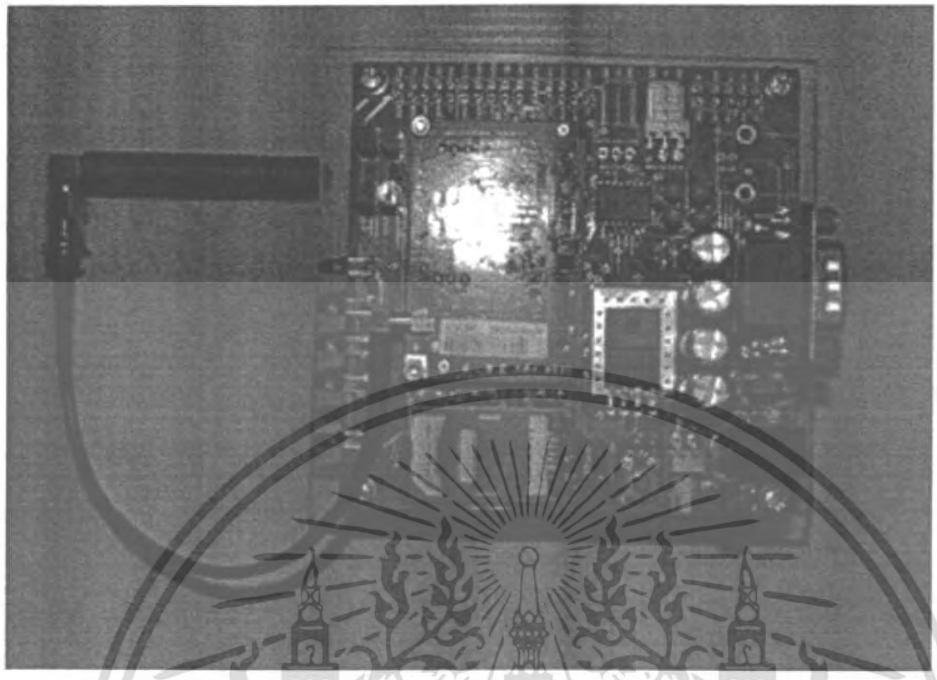
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



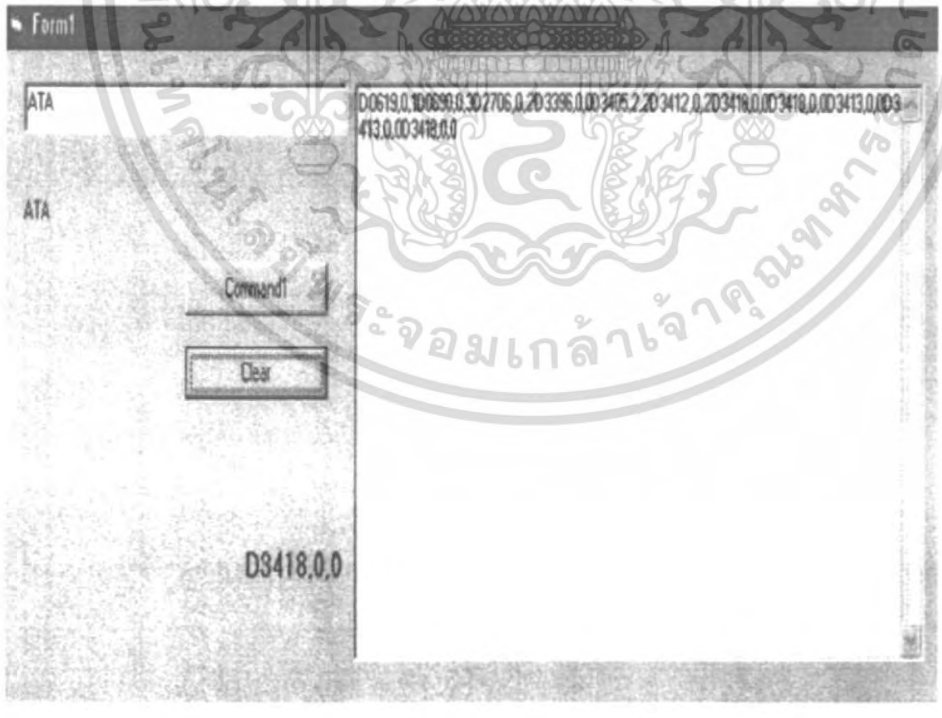
รูปที่ 4-5 สัญญาณที่วัดได้จากสายTX,RX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองทางภาครับ

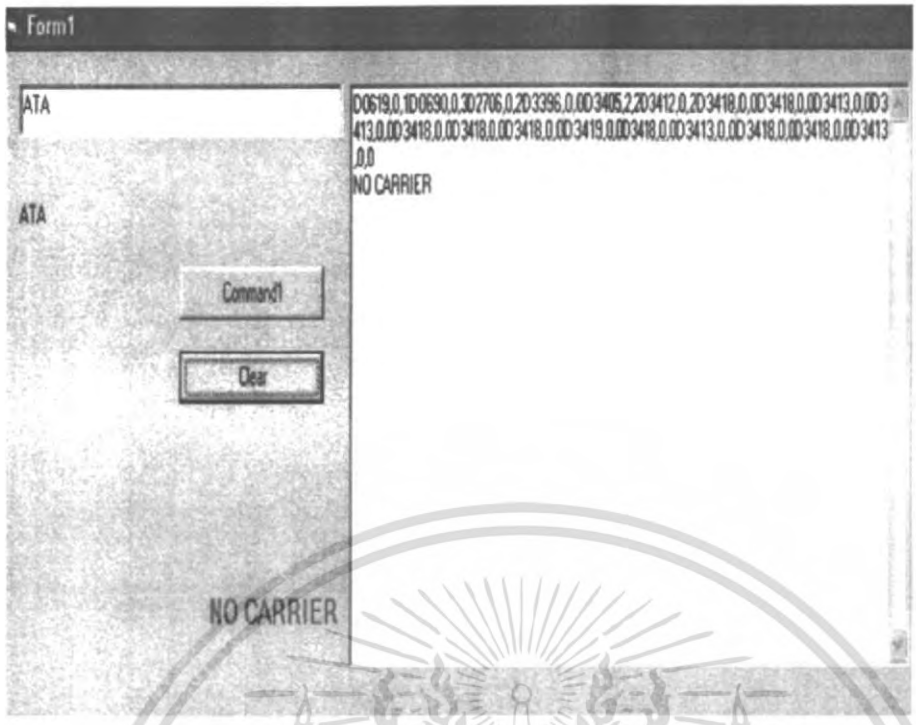


รูปที่ 4-6 โมดูล GSM/GPRS ภาครับ



รูปที่ 4-7 Applicationในภาครับแสดงค่าเป็นตัวเลขหนึ่งชุดเมื่อรับค่าที่ส่งมาได้

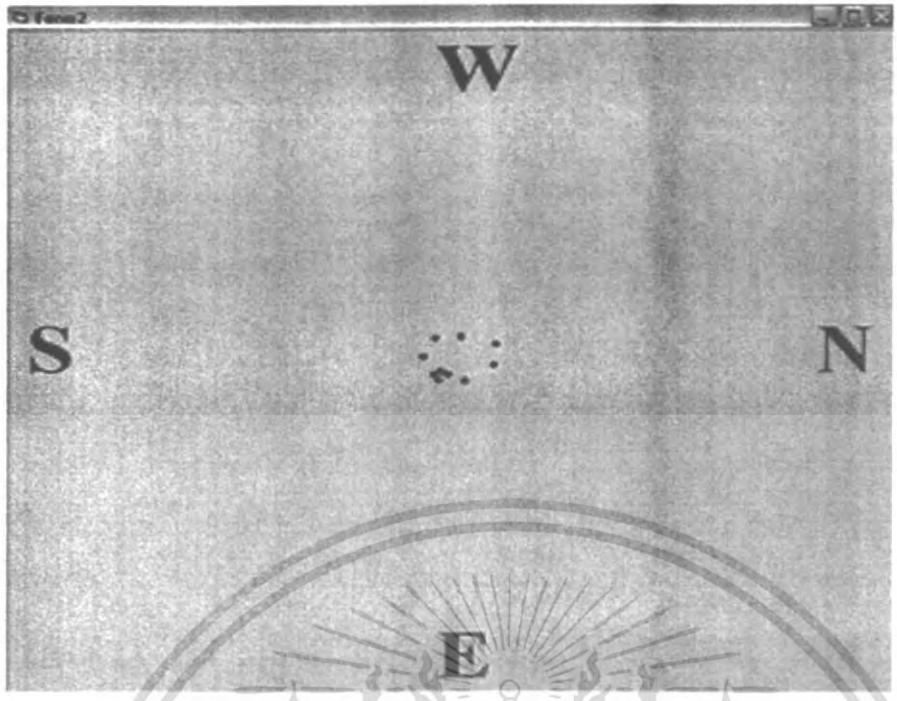
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 Applicationในภาครับแสดงค่าเป็นข้อความเมื่อไม่สามารถส่งค่าได้

รูปที่ 4-9 ทดลองรถให้วิ่งเป็นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-10 Applicationในภาครับแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ

รูปที่ 4-11 Dataที่ทำการบันทึกได้ในส่วนของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหาและแนวทางแก้ไขในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

โครงงานนี้ยังเป็นเครื่องต้นแบบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในการออกแบบโครงสร้างของตัวชิ้นงานและในการทดลองนำวงจรต่างๆ มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด

โครงงานนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้

ส่วนของภาคส่งเป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่บนตัวรถเพื่อเก็บข้อมูลของชุดนับรอบล้อและชุดเข็มทิศแล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ผ่านทาง GSM/GPRS Module ไปให้ส่วนของภาครับ

ส่วนของภาครับเป็นส่วนที่ใช้รับข้อมูลจากทางภาคส่ง ผ่านทาง GSM/GPRS Moduleแล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการประมวลผลออกมาเป็นพิกัดโดยแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงการ

การส่งข้อมูลระหว่าง GSM/GPRS Module ของภาคส่ง กับ ภาครับ ยังมีการขาดหายไปของสัญญาณในบางช่วงเวลา ขึ้นอยู่กับเครือข่ายของผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่

5.3 แนวทางการแก้ปัญหาและการพัฒนา

ก่อนที่จะสร้างชิ้นงานจริง เราจำเป็นที่จะต้องสร้างชุดจำลองเสียก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ในบางครั้งการทดลองอาจทำให้เราได้แนวคิดใหม่ๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้งานจริงก็เป็นได้และยังช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายอีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. สันติ นุราช และ อุกฤษฎ์ ตันทสุทรานนท์. เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51ฉบับภาษาC. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ Micro Research Technology Ltd.,part.
2. ธีรบูลย์ หล่อวิเชียรม,นคร ภักดีชาติและชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล.ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์จำกัด.
3. อ.ชจร อนุดิศย์.2550. การเขียนโปรแกรมควบคุมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษา C. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ Core Function.
4. ประจิน พลังสันติกุล และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล.ไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 กับ Kell C51. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.
5. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง.2549.การออกแบบลายวงจรพิมพ์ด้วย Protel DXP. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนสามัญ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง.
6. อภิชาต ภู่พลับ.2546.เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วยVisual Basic. นนทบุรี: สำนักพิมพ์ Infopress Developer Book.

แหล่งค้นคว้าทางอินเทอร์เน็ต

1. http://www.inex.co.th/ เป็นแหล่งศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ CMPS03 โมดูลเข็มทิศดิจิตอล
2. http://www.silaresrsearch.com/ เป็นแหล่งศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ GSM/GPRS Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

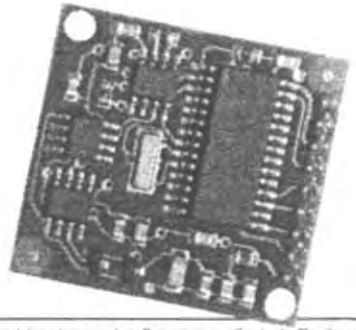
Data sheetที่ใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMPS03

Digital Compass Module

โมดูลเข็มทิศดิจิตอล

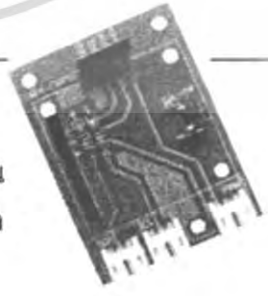


Distributed by Innovative Experiment Co.,Ltd., Thailand

คุณสมบัติ

- ใช้ไฟเลี้ยง +5V ต้องการกระแสไฟฟ้า 20mA
- ใช้ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเบอร์ KMZ51 ของ Philips จำนวน 2 ตัว เพื่อให้สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กโลกได้อย่างสมบูรณ์และมีความละเอียดมากเพียงพอ
- ความละเอียดของมุม 0.1 องศา
- ค่าความผิดพลาด 3-4 องศา โดยประมาณ หลังจากการปรับแต่ง
- เอาต์พุตแบบสัญญาณพัลส์ ความกว้าง 1 ถึง 37 มิลลิวินาที โดยมีอัตราเพิ่มครั้งละ 0.1 มิลลิวินาที
- เอาต์พุตข้อมูลดิจิตอลผ่านการติดต่อระบบบัส I^2C รองรับสัญญาณนาฬิกาความถี่สูงถึง 1MHz โดยให้ข้อมูล 2 รูปแบบคือ 0-255 และ 0-3599
- ขนาดเล็กเพียง 32 x 35 มิลลิเมตร
- สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยมได้ทุกตระกูล อาทิ เบสิกแสตมป์ 2SX/2P, PIC, MCS-51, PSoC, 68HC11 ทั้งผ่านระบบบัส I^2C และด้วยการวัดสัญญาณพัลส์

อุปกรณ์เสริม



- บอร์ด ADX-CMPS03 ซึ่งเป็นบอร์ดอะแดปเตอร์สำหรับอำนวยสะดวกในการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และแผงต่อวงจรหรือเบรดบอร์ด
- สาย PCB3A สำหรับเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมหุ่นยนต์ของ i-nex

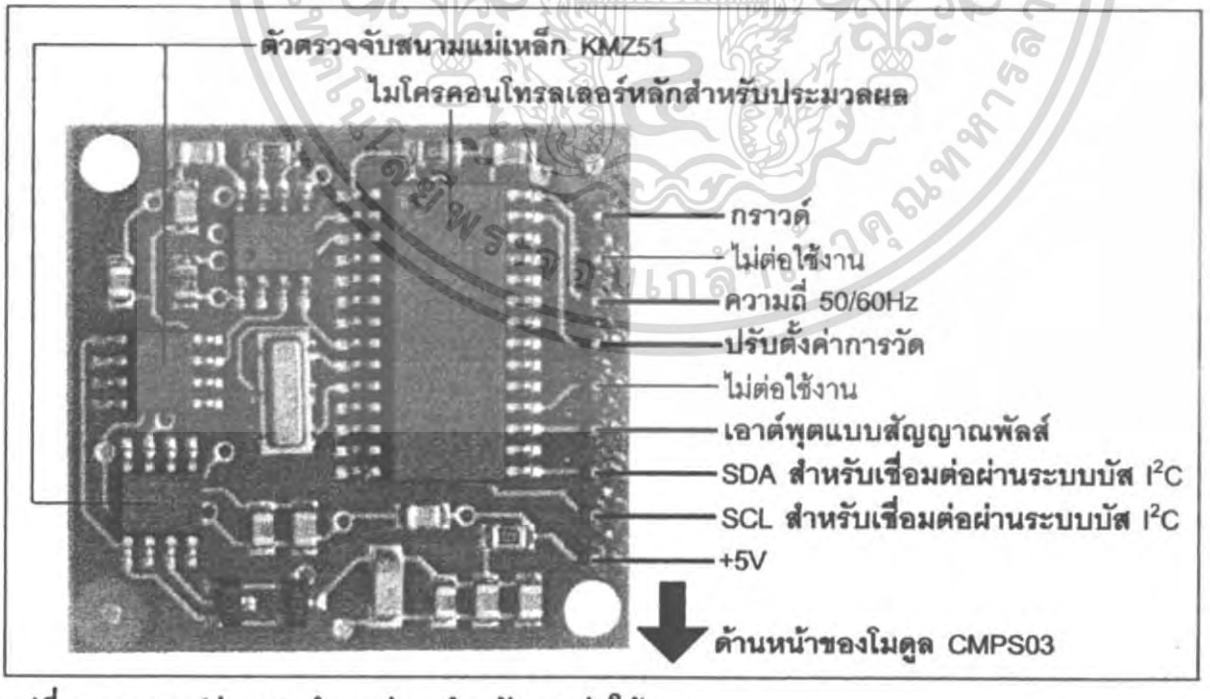
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลเข็มทิศดิจิตอล CMPS03 เป็นผลงานของ Devantech (www.radio-electronics.co.uk) ออกแบบมาเพื่อช่วยในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อัตโนมัติ และนำมาใช้ในการสร้างเครื่องมือวัดและตรวจสอบทิศระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยหัวใจสำคัญของโมดูล CMPS03 คือ ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเบอร์ KMZ51 ของ Philips จำนวน 2 ตัว เพื่อให้มีความไวเพียงพอในการตรวจจับสนามแม่เหล็กโลก (Earth magnetic field) และไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับสัญญาณจากตัวตรวจจับมาประมวลผลเป็นข้อมูลดิจิตอลและสัญญาณพัลส์สำหรับแจ้งผลการวัดทิศทาง

1. ตำแหน่งขาและการต่อใช้งาน

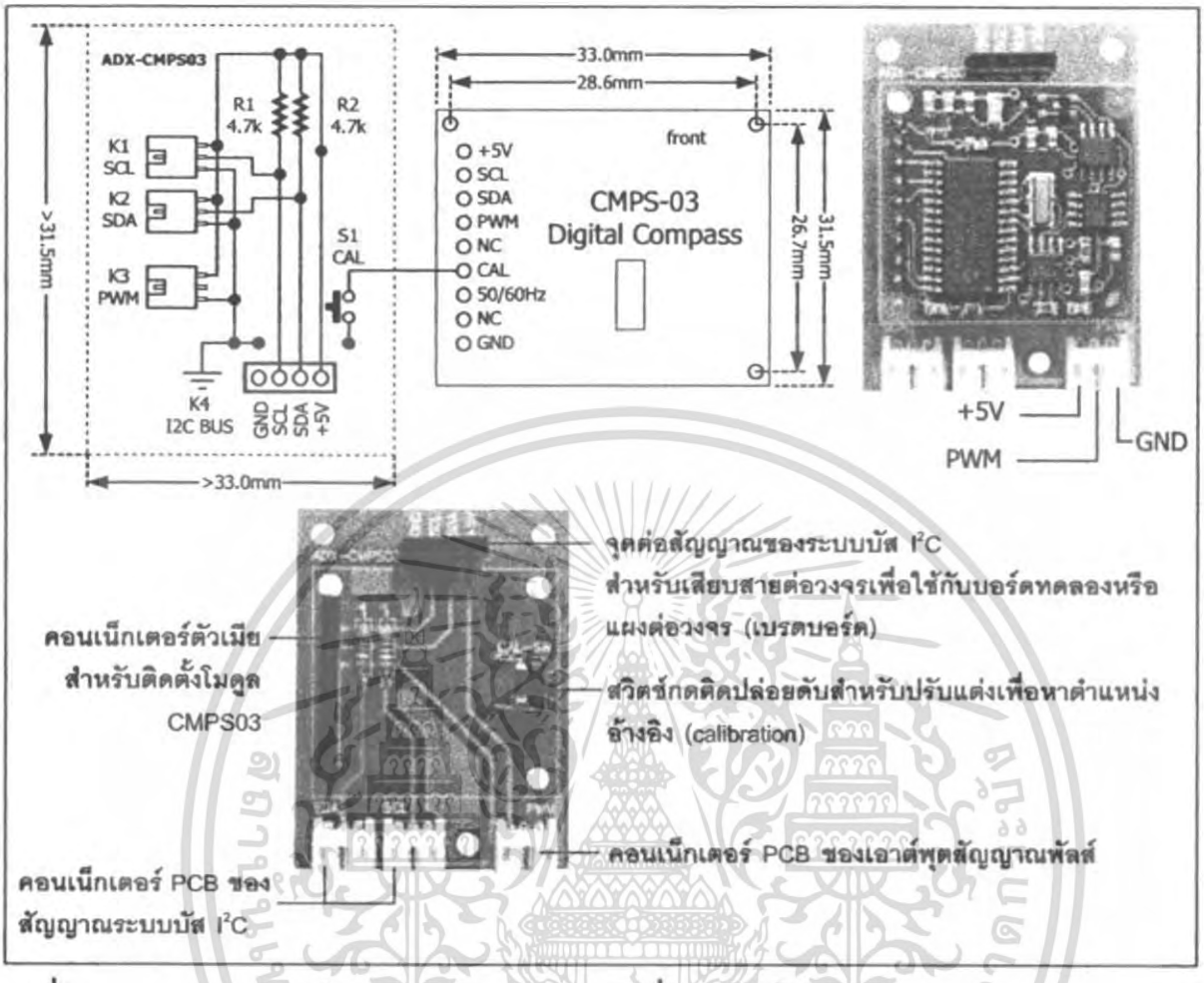
ในรูปที่ 1 แสดงรูปร่างหน้าตาและการจัดขาของ CMPS03 โมดูลเข็มทิศดิจิตอล จะเห็นว่าเป็นแผงวงจรที่มีคอนเน็กเตอร์ต่อออกมาเพื่อให้เชื่อมต่อไปใช้งาน อย่างไรก็ตามเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานกับบอร์ดควบคุมหุ่นยนต์ของบริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเซอริเมนต์ จำกัด (i-nex : เป็นตัวแทนจำหน่ายสินค้าของ Devantech ในประเทศไทยอย่างเป็นทางการ) จึงได้พัฒนาบอร์ดอะแดปเตอร์รุ่น ADX-CMPS03 เพื่อให้นำโมดูล CMPS03 มาติดตั้ง (โดยบอร์ด ADX-CMPS03 ต้องจัดซื้อแยก)

บนบอร์ด ADX-CMPS03 ได้จัดเตรียมคอนเน็กเตอร์ PCB 3 ขาตัวผู้สำหรับเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมหุ่นยนต์ และคอนเน็กเตอร์ IDC ตัวเมียแถวเดี่ยว 4 ขาสำหรับเสียบสายต่อวงจรเบอร์ AWG#22 เพื่อต่อกับแผงต่อวงจรหรือเบรดบอร์ด นอกจากนั้นยังมีสวิตช์กดสำหรับปรับตั้งค่า (calibration) เพื่อกำหนดตำแหน่งทิศอ้างอิง โดยวงจรของบอร์ด ADX-CMPS03 แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงรูปร่างและตำแหน่งขาสำหรับการต่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงวงจรของบอร์ด ADX-CMPS03 และการเชื่อมต่อกับโมดูล CMPS03

2. การปรับแต่งค่าทิศทางอ้างอิงแก่โมดูล CMPS03

เพื่อให้การวัดทิศทางของโมดูล CMPS03 มีความแม่นยำมากที่สุด จึงมีอินพุตสำหรับปรับแต่งค่าทิทางอ้างอิง ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการกำหนดทิศทางอ้างอิงเฉพาะสำหรับผู้ใช้งาน โดยต้องป้อนสัญญาณลอจิก "0" เข้าที่ขาอินพุตสำหรับปรับแต่งโมดูล CMPS03 ซึ่งก็คือขา 6 หากใช้บอร์ด ADX-CMPS03 กับโมดูล CMPS03 จะมีสวิตช์กดติดปล่อยดับติดตั้งไว้ให้แล้ว การปรับแต่งมีขั้นตอนดังนี้

(1) วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศเหนือ กดสวิตช์ 1 ครั้ง

(2) วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศตะวันออก กดสวิตช์

(3) วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศใต้ กดสวิตช์ 1 ครั้ง

(4) วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศตะวันตก กดสวิตช์

เป็นอันสิ้นสุดการปรับตั้งค่าทิศทางอ้างอิงของโมดูล CMPS03 โดยโมดูลจะเก็บค่าอ้างอิงนี้ไว้ในหน่วยความจำอีอีพรอมและไม่ต้องปรับตั้งค่าใหม่อีกเมื่อจ่ายไฟเลี้ยงครั้งใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การอ่านค่าสัญญาณเอาต์พุตของโมดูล CMPS03

3.1 การอ่านค่าทิศทางจากเอาต์พุตสัญญาณพัลส์

การอ่านค่าสัญญาณในโหมดนี้ เป็นการนำค่าความกว้างพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุตสัญญาณพัลส์ของโมดูล CMPS03 มาระบุตำแหน่งองศา จาก 0 ถึง 359.9 องศา โดยมีย่านของค่าความกว้างสัญญาณพัลส์จาก 1 มิลลิวินาทีไปจนถึง 36.99 มิลลิวินาที มีความละเอียด 0.1 มิลลิวินาทีต่อองศา ในสัญญาณพัลส์แต่ละไซเกิล มีช่วงลอจิก "0" กว้าง 65 มิลลิวินาที

ดังนั้นในการนำสัญญาณพัลส์มาประมวลผลเป็นค่ามุม จึงต้องใช้การนับความกว้างของสัญญาณพัลส์เป็นหลักในการคำนวณหาค่ามุมที่โมดูล CMPS03 วัดได้

3.1.1 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ควบคุมสำหรับเบสิกแสตมป์ 2SX และ i-Stamp

การใช้งานร่วมกับเบสิกแสตมป์ 2SX และ i-Stamp นั้น จะใช้คำสั่ง PULSIN ในการนับสัญญาณพัลส์ โดยจะเพิ่มค่าการนับขึ้นทุกๆ 0.8 ไมโครวินาที ดังนั้นที่ความกว้างของพัลส์ที่ 1 มิลลิวินาทีสำหรับตำแหน่ง 0 องศา เบสิกแสตมป์ 2SX และ i-Stamp จะนับค่าได้เท่ากับ 1,250 จึงสามารถใช้ค่านี้เป็นจุดอ้างอิงที่ 0 องศา *เมื่อต้องการทราบค่ามุมที่แท้จริง ให้นำค่ามุมที่นับได้ลบด้วย 1,250 แล้วหารด้วย 125 ก็จะได้ค่ามุมในหน่วยองศาที่ต้องการ* รายละเอียดของโปรแกรมแสดงในโปรแกรมที่ 1

ที่ความกว้างพัลส์สูงสุดคือ 36.99 มิลลิวินาที ค่าที่นับได้จากคำสั่ง PULSIN เท่ากับ 46,237 เมื่อลบด้วย 1,250 แล้วหารด้วย 125 เพื่อแปลงเป็นองศา ค่าสูงสุดที่แสดงเป็นผลลัพธ์ได้คือ 359 เป็นค่าหน่วยของศาสูงสุดนั่นเอง

หมายเหตุ *ในบางกรณี ค่าที่อ่านได้สูงสุดจากคำสั่ง PULSIN อาจไม่ถึง 46,237 ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนการคำนวณใหม่ให้ได้มุมเป็น 359.9 องศาได้*

```
'{$STAMP BS2sx}
'{$PBASIC 2.5}
bearing  VAR  WORD
main:
     PULSIN 4, 1, bearing              ' Get reading
     bearing = (bearing-1250)/125      ' BS2sx  - Calculate Bearing
                                       ' in degrees
     DEBUG "Compass Bearing  ", DEC3 bearing ,CR
                                       ' Display Compass Bearing
     GOTO main
```

โปรแกรมที่ 1 แสดงการอ่านค่าสัญญาณพัลส์จากโมดูล CMPS03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งรีจิสเตอร์	รายละเอียด
0	ตัวเลขแสดงรุ่นของบอร์ด CMP03
1	ส่งค่าตำแหน่งแบบหยาบ (0-255)
2,3	ส่งค่าตำแหน่งแบบละเอียดด้วยตัวเลข 16 บิต (0-3599) สามารถแปลงค่าเพื่อแสดงองศา 0-359.9 องศาได้โดยตรง
4,5	สำหรับตรวจสอบค่าภายใน โดยจะแสดงค่าความต่างของ Sensor1 เป็นตัวเลข 16 บิตแบบคิดเครื่องหมาย
6,7	สำหรับตรวจสอบค่าภายใน โดยจะแสดงค่าความต่างของ Sensor2 เป็นตัวเลข 16 บิตแบบคิดเครื่องหมาย
8,9	แสดงค่าตัวเลขการปรับแต่งภายใน (calibration value1) เป็นตัวเลข 16 บิตแบบคิดเครื่องหมาย
10,11	แสดงค่าตัวเลขการปรับแต่งภายใน (calibration value2) เป็นตัวเลข 16 บิตแบบคิดเครื่องหมาย
12,13	ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เป็น 0
14	ไม่ใช้งาน ไม่ได้กำหนดค่าไว้
15	คำสั่งสำหรับการปรับแต่งค่า โดยเมื่อต้องการปรับแต่งค่า ต้องเขียนข้อมูล 255 เข้าที่รีจิสเตอร์ตำแหน่งนี้

ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งรีจิสเตอร์ภายในโมดูล CMPS03

3.2 การอ่านค่าทิศทางเป็นข้อมูลดิจิตอลผ่านระบบบัส I^2C

การอ่านค่าจากโมดูล CMPS03 ให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำสูงควรเลือกเอาต์พุตข้อมูลดิจิตอลผ่านระบบบัส I^2C โดยโมดูล CMPS03 สามารถส่งข้อมูลของตำแหน่งออกมาที่ความละเอียดสูงสุด 0.1 องศาโดยไม่จำเป็นต้องมีการคำนวณหรือแปลงค่าใด ๆ อีก

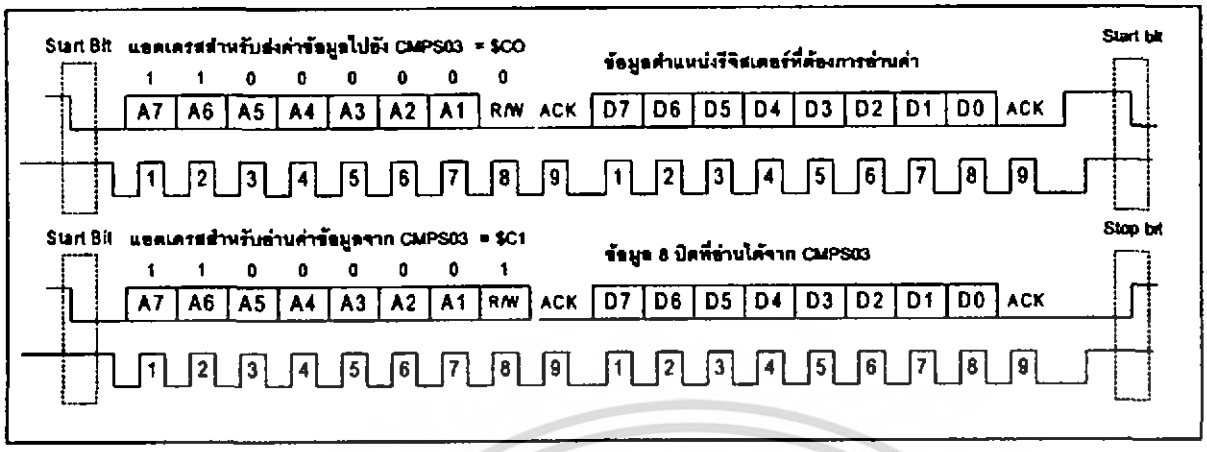
3.2.1 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลบัส I^2C

บัส I^2C เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้สายสัญญาณ 2 เส้นได้แก่ขา SDA (รับและส่งข้อมูล) และ SCL (ขาสัญญาณนาฬิกา) โดยขาสัญญาณทั้งสองจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปต่อไว้เพื่อกำหนดสถานะลอจิก "1" ให้กับระบบบัส

3.2.2 ลำดับขั้นการติดต่อ

ค่าแอดเดรสของโมดูล CMPS03 คือ $C0 สำหรับการส่งข้อมูล และ $C1 สำหรับการอ่านค่าข้อมูล โดยขั้นตอนการติดต่อกับโมดูล CMPS03 เพื่ออ่านข้อมูลมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงไทมิ่งไดอะแกรมของการติดต่อสื่อสารกับโมดูล CMPS03 ผ่านระบบบัส I^2C

1. ส่งบิตเริ่มต้นหรือ Start bit เพื่อแจ้งให้ระบบบัส I^2C เตรียมพร้อมรับข้อมูล

2. ส่งค่าแอดเดรส $C0 เพื่อระบุว่าต้องการติดต่อเพื่อเขียนข้อมูลไปยังกับโมดูล CMPS03

3. ส่งค่าตำแหน่งรีจิสเตอร์ภายในโมดูล CMPS03 ที่ต้องการอ่านค่า ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

4. ส่งค่าแอดเดรส $C1 เพื่อระบุว่าต้องการอ่านค่าข้อมูลจากโมดูล CMPS03

5. อ่านค่าข้อมูลจากโมดูล CMPS03 มาเก็บไว้ในหน่วยความจำ

6. ส่งบิตหยุดหรือ Stop เพื่อหยุดการสื่อสารข้อมูล และกำหนดให้บัสอยู่ในสภาวะบัสว่าง

จากลำดับขั้นการติดต่อสื่อสารข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นโปรแกรมตัวอย่างเพื่ออ่านข้อมูลจากโมดูล CMPS03 โดยใช้เบสิกแสตมป์ 2SX หรือ i-Stamp ได้ดังแสดงในโปรแกรมที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'{$STAMP BS2sx}
'{$PBASIC 2.5}
SDA             CON     6           ' I2C serial data line
SCL             CON     7           ' I2C serial clock line
WrCMPS03        CON     $C0         ' write to compass
RdCMPS03        CON     $C1         ' read from compass
Ack             CON     0           ' acknowledge bit
Nak             CON     1           ' no ack bit
i2cSDA          VAR     NIB         ' I2C serial data pin
i2cData         VAR     WORD        ' data to/from device
REGISTER        VAR     BYTE        ' register address
i2cWork         VAR     BYTE        ' work byte for TX routine
i2cAck          VAR     BIT         ' Ack bit from device
temp            VAR     WORD        ' for rj printing
digits          VAR     NIB
width           VAR     NIB

Init:
   PAUSE 250
   i2cSDA = SDA                                 ' define SDA pin
   REGISTER = 0                                 ' compass revision number
   GOSUB Read_Byte
   DEBUG 2,1,1, "Revision Number = " ,DEC2 i2cData
Main:
   REGISTER = 1                                 ' Show Data 0-255 for 0-360 degree
   GOSUB Read_Byte                              ' Read Byte From I2C
   DEBUG 2,1,3, "The Coarse Data(0-255) = " ,DEC i2cData
   REGISTER = 2                         ' get Data in degrees, 0.0 - 359.9 Degree
   GOSUB Read_Word
   DEBUG 2,1,5, "Position = ",DEC i2cData/10,".",DEC1 i2cData," Degree"
   PAUSE 250
   GOTO Main

' Compass Access Subroutines
' Writes low byte of i2cData to REGISTER
Write_Byte:
   GOSUB I2C_Start
   i2cWork = WrCMPS03
   GOSUB I2C_TX_Byte                            ' send device address
   i2cWork = REGISTER
   GOSUB I2C_TX_Byte                            ' send register number
   i2cWork = i2cData.LOWBYTE
   GOSUB I2C_TX_Byte                            ' send the data
   GOSUB I2C_Stop
   RETURN

' Writes i2cData to REGISTER
Write_Word:
   GOSUB I2C_Start
   i2cWork = WrCMPS03
   GOSUB I2C_TX_Byte                            ' send device address
   i2cWork = REGISTER
   GOSUB I2C_TX_Byte                            ' send register number
   i2cWork = i2cData.HIGHBYTE
   GOSUB I2C_TX_Byte                            ' send the data - high byte
   i2cWork = i2cData.LOWBYTE
   GOSUB I2C_TX_Byte                            ' send the data - low byte
   GOSUB I2C_Stop
   RETURN
```

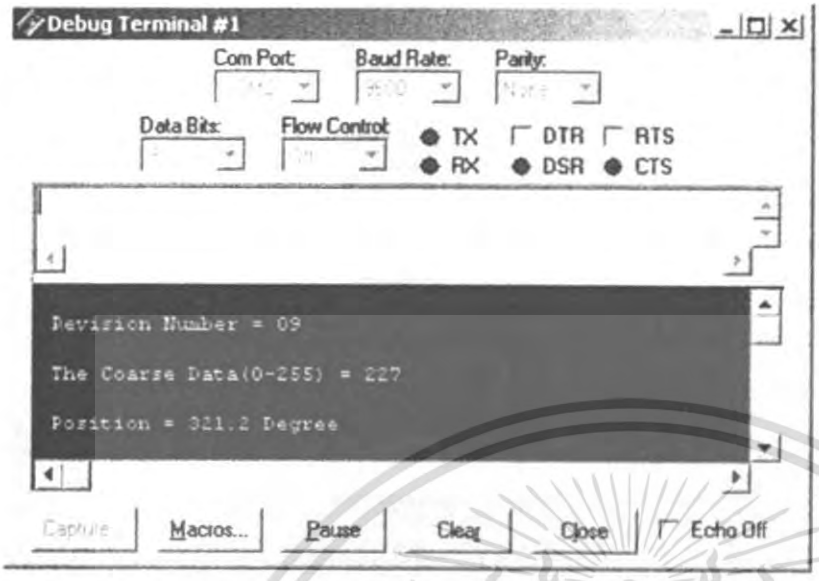
โปรแกรมที่ 2 โปรแกรมอ่านค่าจากโมดูล CMPS03 ผ่านระบบบัส I²C ของ I-Stamp (มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
' Read i2cData (8 bits) from REGISTER
Read_Byte: GOSUB I2C_Start
           i2cWork = WrCMPS03
           GOSUB I2C_TX_Byte                    ' send compass address
           i2cWork = REGISTER
           GOSUB I2C_TX_Byte                    ' send register number
           GOSUB I2C_Start                      ' repeat start (sets register)
           i2cWork = RdCMPS03
           GOSUB I2C_TX_Byte                    ' send read command
           GOSUB I2C_RX_Byte_Nak
           GOSUB I2C_Stop
           i2cData = i2cWork                    ' return the data
           RETURN

' Read i2cData (16 bits) from REGISTER
Read_Word: GOSUB I2C_Start
           i2cWork = WrCMPS03
           GOSUB I2C_TX_Byte                    ' send compass address
           i2cWork = REGISTER
           GOSUB I2C_TX_Byte                    ' send register number
           GOSUB I2C_Start                      ' repeat start (sets register)
           i2cWork = RdCMPS03
           GOSUB I2C_TX_Byte                    ' send read command
           GOSUB I2C_RX_Byte
           i2cData.HIGHBYTE = i2cWork           ' read high byte of data
           GOSUB I2C_RX_Byte_Nak
           GOSUB I2C_Stop
           i2cData.LOWBYTE = i2cWork            ' read low byte of data
           RETURN
' Low Level I2C Subroutines
'Start
I2C_Start: INPUT i2cSDA                         ' I2C start bit sequence
           INPUT SCL
           LOW i2cSDA                           ' SDA -> low while SCL high
Clock_Hold:
   IF (INS.LOWBIT(SCL) = 0) THEN Clock_Hold     ' device ready?
   RETURN

'Transmit
I2C_TX_Byte:
   SHIFTOUT i2cSDA,SCL,MSBFIRST,[i2cWork\8]     ' send byte to device
   SHIFTIN i2cSDA,SCL,MSBPRE,[i2cAck\1]         ' get acknowledge bit
   RETURN

'Receive
I2C_RX_Byte_Nak: i2cAck = Nak                   ' no Ack = high
                 GOTO I2C_RX
I2C_RX_Byte:     i2cAck = Ack                   ' Ack = low
I2C_RX:
   SHIFTIN i2cSDA,SCL,MSBPRE,[i2cWork\8]        ' get byte from device
   SHIFTOUT i2cSDA,SCL,LSBFIRST,[i2cAck\1]      ' send ack or nak
   RETURN

'Stop
I2C_Stop:  LOW i2cSDA                           ' I2C stop bit sequence
           INPUT SCL
           INPUT i2cSDA                         ' SDA --> high while SCL high
           RETURN
```

โปรแกรมที่ 2 โปรแกรมอ่านค่าจากโมดูล CMPS03 ผ่านระบบบัส I²C ของ I-Stamp (มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงหน้าจอของ Debug terminal แสดงข้อมูลที่อ่านได้จากโมดูล CMPS03

3.2.3 การทำงานของโปรแกรมที่ 2 ติดต่อกับโมดูล CMPS03 ผ่านระบบบัส I^2C ด้วย i-Stamp

เนื่องจากเบสิกแสตมป์ 2SX และ i-Stamp ไม่มีคำสั่งติดต่อกับระบบบัส I^2C ดังนั้น โปรแกรมติดต่อกับโมดูล CMPS03 ผ่านระบบบัส I^2C จึงค่อนข้างยาว เนื่องจากต้องสร้างโปรแกรมย่อยสำหรับการสื่อสารข้อมูลกับระบบบัส I^2C หลังจากนี้ผู้ใช้งานสามารถนำโปรแกรมย่อยนี้ไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ที่ได้ใช้การติดต่อระบบบัส I^2C ได้ทันที สำหรับขั้นตอนการทำงานหลักๆ ของโปรแกรมที่ 2 มีดังนี้

1. กำหนดรีจิสเตอร์เป็น 0 เพื่อติดต่ออ่านค่าเวอร์ชันของโมดูล CMPS03 จากนั้นอ่านค่ามาแสดงที่หน้าต่าง Debug terminal

2. ให้โปรแกรมวนลูปที่โปรแกรมหลัก จากนั้นส่งค่ารีจิสเตอร์เท่ากับ 1 เพื่ออ่านค่าข้อมูลแบบหยาบออกมา แล้วนำมาแสดงผลที่หน้าต่าง Debug terminal

3. ส่งค่ารีจิสเตอร์เท่ากับ 2 เพื่ออ่านค่าข้อมูลแบบละเอียด จากนั้นสั่งอ่านค่าข้อมูลจากบัส I^2C แบบเวิร์ด (อ่านข้อมูลออกมา 16 บิต)

4. นำค่าข้อมูลที่ได้หารด้วย 10 ก่อนเพื่อแปลงค่าที่ได้เป็นองศา แสดงที่หน้าต่าง Debug terminal จากนั้นนำค่าหลักสุดท้ายมาแสดง ซึ่งตำแหน่งสุดท้ายเป็นตำแหน่งของจุดทศนิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การปรับแต่งค่าของโมดูล CMPS03 ผ่านทางระบบบัส I²C

การปรับแต่งค่าทำได้โดยการส่งค่า 0xFF ไปยังรีจิสเตอร์ 15 ของโมดูล CMPS03 โดยจะต้องส่งค่า 4 ครั้งและระบุทิศทางหลักๆ 4 ทิศทางเช่นเดียวกับการกำหนดค่าด้วยสวิตช์โดยตรง มีขั้นตอนดังนี้

1. วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศเหนือ จากนั้นเขียนค่า 255 (0xFF) ไปยังรีจิสเตอร์ 15

2. วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศตะวันออก เขียนค่า 255 (0xFF) ไปยังรีจิสเตอร์ 15

3. วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศใต้ กดสวิตช์ เขียนค่า 255 (0xFF) ไปยังรีจิสเตอร์ 15

4. วางโมดูล CMPS03 ขนานกับพื้น หันด้านหน้าของโมดูลไปทางทิศตะวันตก กดสวิตช์ เขียนค่า 255 (0xFF) ไปยังรีจิสเตอร์ 15

หลังจากปรับแต่งค่าแล้วค่าที่ปรับแต่งจะเก็บไว้ที่หน่วยความจำอีอีพรอม ดังนั้นแม้ไม่จ่ายไฟให้กับตัวบอร์ด ข้อมูลที่ปรับแต่งแล้ว จะยังคงอยู่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท อินโนวเอ็กซ์ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด

3133/53 ซ.สุขุมวิท 101/2 ถ. สุขุมวิท แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

โทรศัพท์ 0-2747-7001-4 โทรสาร 0-2747-7005

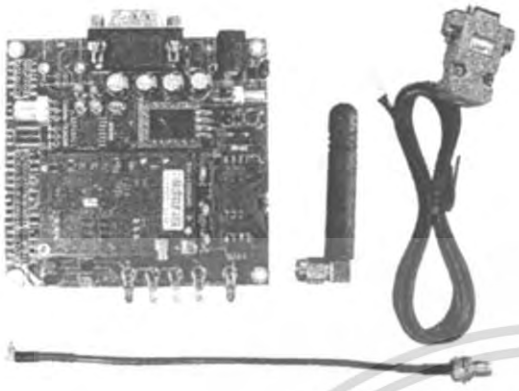
URL : www.inex.co.th e-mail : tech@inex.co.th

ตัวแทนจำหน่าย : พี.พี. คอมพิวเตอร์ 0-2226-4034, อีเลคทรอนิคส์ ซอร์ซ 0-2623-9460-7, 0-2623-8364-6,
นัฐพงษ์เซลส์แอนด์เซอร์วิส 0-2225-0094, 0-2992-7379, E.D ltd. 0-2225-3282 **สั่งซื้อ** : กิตติอิเล็กโทรนิคส์ 0-5322-1463
ตลาดสมิธ : เอส.ซี อิเล็กทรอนิกส์ 0-4424-3453 **ตลาด** : SEP ไมโครเทค 0-7324-7364
Order online : www.appsoftech.com **สนับสนุนการเรียนการสอน** : W&J เอ็นจิเนียริ่ง 0-2943-9001-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SILA บริษัท ศิลารีเสิร์ช จำกัด (Sila Research Co.,Ltd.)
1108/41 ศูนย์การค้าพระโขนง ทางเข้าสุขุมวิทพลัสคอนโดมิเนียม (ระหว่างสุขุมวิท 46 1 กับสามแยกพระราม 4)
แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110 Tel. 02-712-2850 Fax. 02-381-1447 www.silaresearch.com

GR-64 ... GR64 GSM/GPRS Module



GR-64 เป็นโมดูล GSM/GPRS รองรับ 4 ความถี่ ได้แก่ GSM 850/900/1800/1900 MHz
โดยปกติหากจะใช้งานตัว GR64 ซึ่งเป็นโมดูลที่มีขาต่อใช้งาน 60 pin จะต้องทำส่วนของ Power supply, ส่วนของ Sim card และเสาอากาศ เพิ่มเติม ดังนั้นทางบริษัท ศิลาฯ จึงได้ทำส่วนของ PCB ฐานล่างเพิ่มเติม และทำในส่วนดังกล่าว ซึ่งได้แก่ Supply , Sim card และได้จัดหาเสาอากาศมาให้รวมกับชุดที่ขายนี้แล้ว เพื่อเพิ่มความสะดวกในการพัฒนางานหรือนำไปประยุกต์ในงานโปรเจคต่อไป บอร์ด GR-64 ที่ทางบริษัท ศิลาฯ ได้ทำเพิ่มเติมขึ้นมานี้ อาจจะยังไม่ครอบคลุมการใช้งานตัวโมดูล GR-64 ทุกประการ เนื่องจากโมดูลตัวนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย หากผู้ใช้งานต้องการจะทำในส่วนของ Hardware เพิ่มเติม ก็สามารถดูรายละเอียดขาใช้งานได้จากไฟล์ที่ชื่อ "GR64 Integrators Manual Rev1_B_A4_.pdf" จากแผ่น CD ที่ให้มา

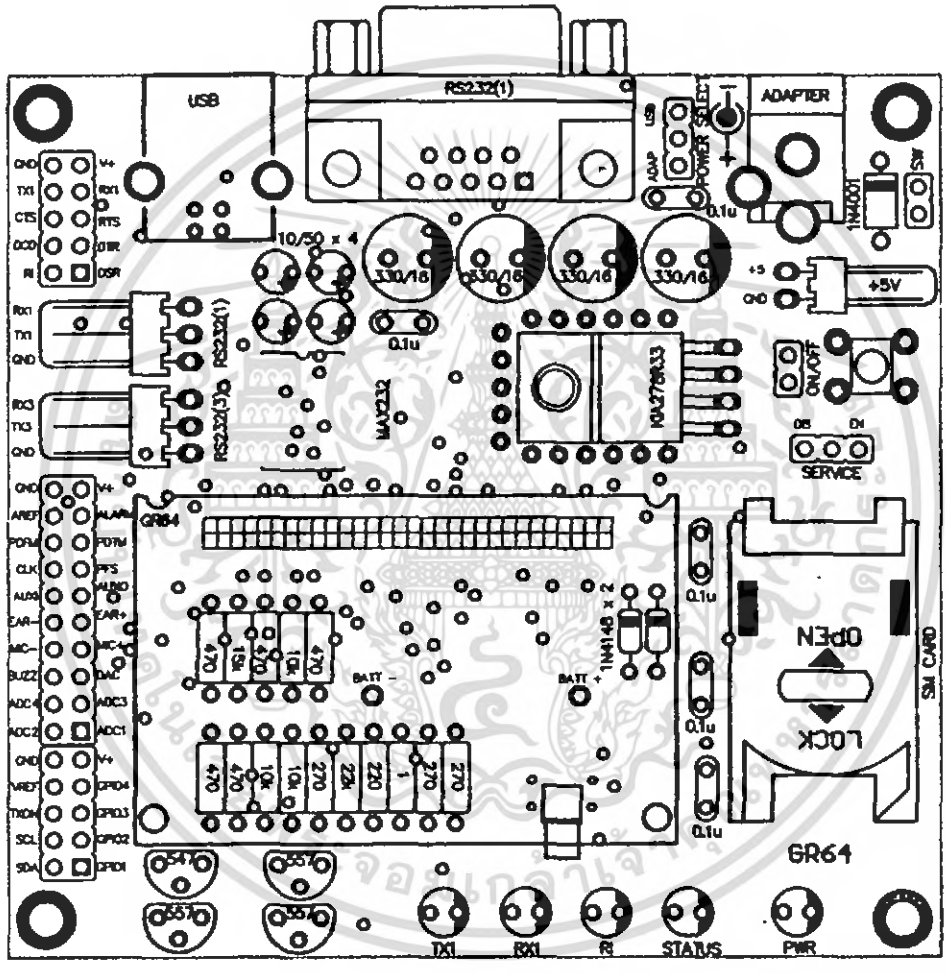
การใช้งานตัว GR-64 นี้สามารถติดต่อโดยผ่านทาง RS-232 ด้วย AT Command ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม STERM ของศิลาฯ หรือจะใช้โปรแกรม Terminal อื่น ๆ เช่น Hyperterminal ก็ได้ โดยรายละเอียดของ AT Command ศึกษาได้จากไฟล์ที่ชื่อ "GX64ATCommandManual.pdf" จากแผ่น CD ที่ให้มาเช่นกัน

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่น
- ระบบแจ้งเตือนผ่าน SMS
- การรับ - ส่ง ข้อมูลผ่าน GPRS
- โมเด็มแบบไร้สาย (wireless modem)

คุณสมบัติ
[] Quad Band GSM/GPRS Radio Device 850/900/1800/1900 MHz
[] Mobile class B
[] TCP/UDP/IP protocol stack
[] 2x UARTs Connectivity Serial baudrate from 1200 to 460,800 bits/s
[] Up to 12 x programmable general purpose I/Os
[] 4 x ACD inputs
[] Real time clock with alarm output

สินค้าประกอบด้วย
บอร์ด, เสาอากาศ, CD, สาย RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR tm

August 1986
Revised March 2000

DM74LS08
Quad 2-Input AND Gates

General Description

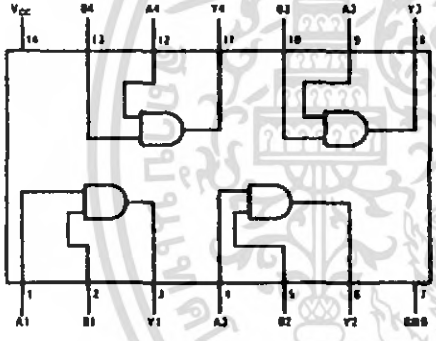
This device contains four independent gates each of which performs the logic AND function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS08M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS08SJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS08N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code

Connection Diagram



Function Table

Y = AB

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

© 2000 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V_{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V_{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I_{OH}	HIGH Level Output Current			−0.4	mA
I_{OL}	LOW Level Output Current			8	mA
T_A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	V_{CC} = Min, I_I = −18 mA			−1.5	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OH} = Max, V_{IH} = Min	2.7	3.4		V
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	V_{CC} = Min, I_{OL} = Max, V_{IL} = Max		0.35	0.5	V
		I_{OL} = 4 mA, V_{CC} = Min		0.25	0.4	
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	V_{CC} = Max, V_I = 7V			0.1	mA
I_{IH}	HIGH Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 2.7V			20	µA
I_{IL}	LOW Level Input Current	V_{CC} = Max, V_I = 0.4V			−0.36	mA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	V_{CC} = Max (Note 3)	−20		−100	mA
I_{CCH}	Supply Current with Outputs HIGH	V_{CC} = Max		2.4	4.8	mA
I_{CCL}	Supply Current with Outputs LOW	V_{CC} = Max		4.4	8.8	mA

Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

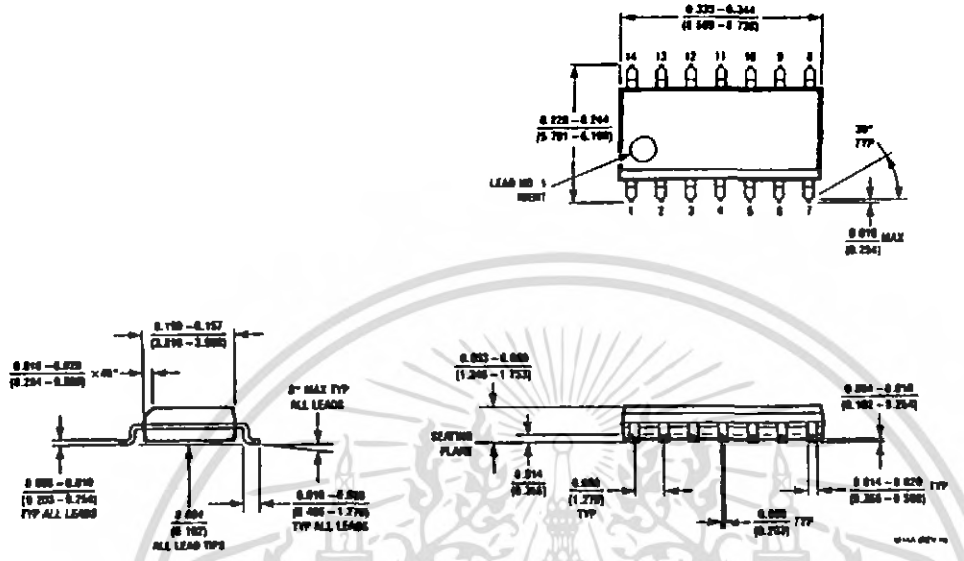
Symbol	Parameter	R_L = 2 kΩ				Units
		C_L = 15 pF		C_L = 50 pF		
		Min	Max	Min	Max	
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	4	13	6	18	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	3	11	5	18	ns

Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

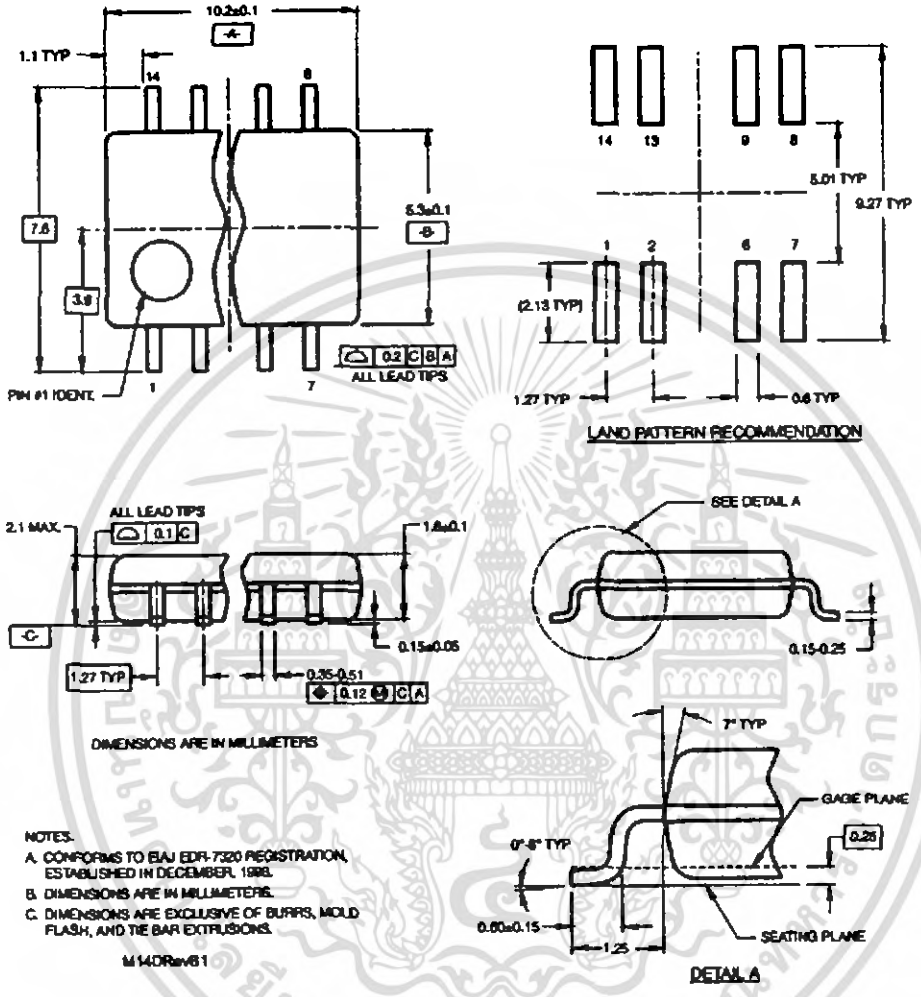
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
Package Number M14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



NOTES:

A. CONFORMS TO EIAJ EDR-7320 REGISTRATION, ESTABLISHED IN DECEMBER, 1998.

B. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.

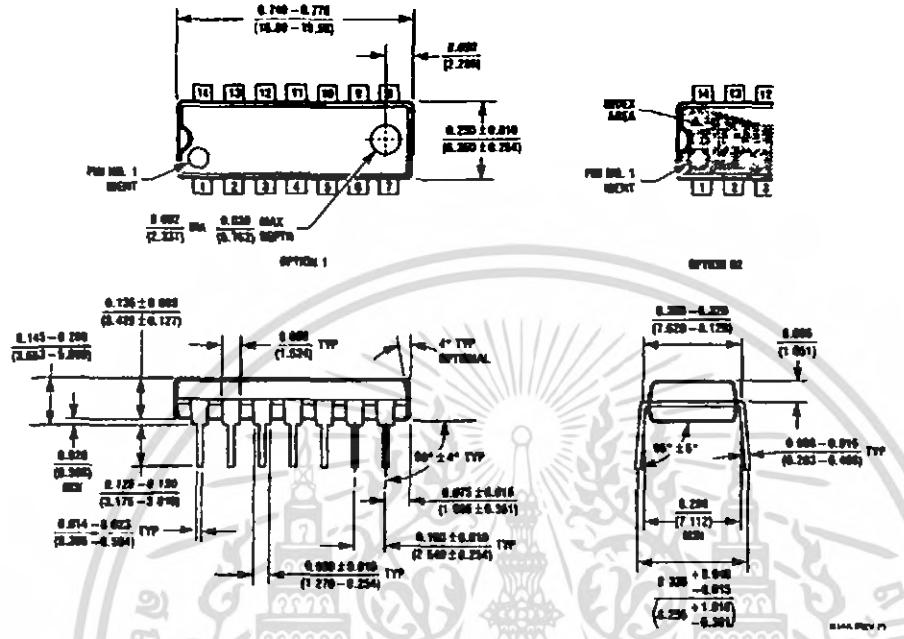
C. DIMENSIONS ARE EXCLUSIVE OF BURRS, MOLD FLASH, AND TIE BAR EXTRUSIONS.

M14DRevB1

14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
Package Number M14D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide
Package Number N14A

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEXAS INSTRUMENTS

Data sheet acquired from Harris Semiconductor
SCHS023D – Revised April 2005

CD4013B Types

CMOS Dual 'D'-Type Flip-Flop

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

■ CD4013B consists of two identical, independent *data-type flip-flops*. Each flip-flop has independent data, set, reset, and clock inputs and Q and $\overline{Q}$ outputs. These devices can be used for shift register applications, and, by connecting $\overline{Q}$ output to the data input, for counter and toggle applications. The logic level present at the D input is transferred to the Q output during the positive-going transition of the clock pulse. Setting or resetting is independent of the clock and is accomplished by a high level on the set or reset line, respectively.

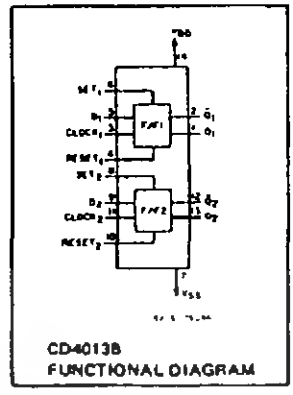
The CD4013B types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F3A suffix), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), 14-lead small-outline packages (M, MT, M96, and NSR suffixes), and 14-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

Features:

- Set-Reset capability
- Static flip-flop operation – retains state indefinitely with clock level either "high" or "low"
- Medium-speed operation – 16 MHz (typ.) clock toggle rate at 10V
- Standardized symmetrical output characteristics
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Maximum input current of 1 μA at 18 V over full package temperature range; 100 nA at 18 V and 25°C
- Noise margin (over full package temperature range): 1 V at V_{DD}=5 V; 2 V at V_{DD}=10 V; 2.5 V at V_{DD}=15 V
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Applications:

- Registers, counters, control circuits



CD4013B
FUNCTIONAL DIAGRAM

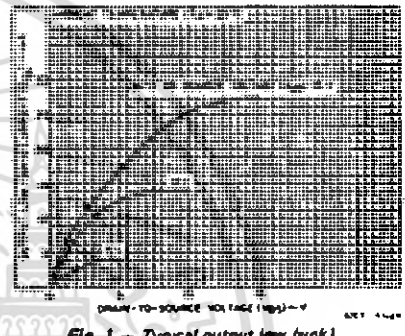


Fig. 1 – Typical output low (sink) current characteristics.

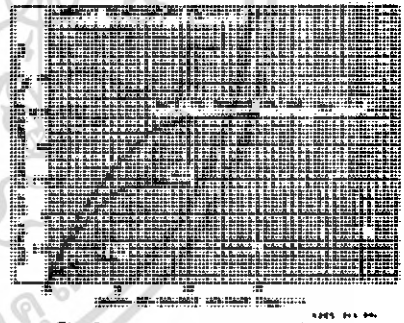


Fig. 2 – Minimum output low (sink) current characteristics.

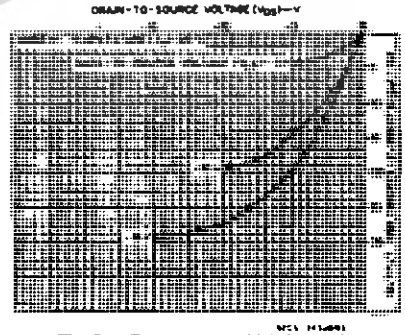


Fig. 3 – Typical output high (source) current characteristics.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

At T_A = 25°C, Except as Noted. For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	V_{DD} (V)	LIMITS		UNITS
		MIN	MAX.	
Supply Voltage Range (For T_A = Full Package Temperature Range)	–	3	18	V
Data Setup Time t_S	5	40	–	ns
	10	20	–	
	15	15	–	
Clock Pulse Width t_W	5	140	–	ns
	10	60	–	
	15	40	–	
Clock Input Frequency f_{CL}	5	dc	3.5	MHz
	10		8	
	15		12	
Clock Rise or Fall Time t_rCL, t_fCL	5	–	15	μs
	10	–	10	
	15	–	5	
Set or Reset Pulse Width t_W	5	180	–	ns
	10	80	–	
	15	50	–	

*If more than one unit is cascaded in a parallel clocked operation, t_rCL should be made less than or equal to the sum of the fixed propagation delay time at 15 pF and the transition time of the output driving stage for the estimated capacitive load.

Copyright © 2005, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES (°C)							UNITS
	V_O (V)	V_{IN} (V)	V_{DD} (V)	−55	−40	+85	+125	+25 Min	+25 Typ.	+25 Max.	
Quiescent Device Current I_{DD} Max	–	0,5	5	1	1	30	30	–	0 02	1	μA
	–	0,10	10	2	2	60	60	–	0 02	2	
	–	0,15	15	4	4	120	120	–	0 02	4	
	–	0,20	20	20	20	600	600	–	0.04	20	
Output Low (Sink) Current, I_{OL} Min.	0 4	0,5	5	0 64	0 61	0 42	0.36	0.51	1	–	mA
	0.5	0,10	10	1.6	1 5	1.1	0.9	1.3	2 6	–	
	1 5	0,15	15	4.2	4	2.8	2.4	3 4	6.8	–	
Output High (Source) Current, I_{OH} Min	4 6	0,5	5	−0 64	−0 61	−0.42	−0.36	−0 51	−1	–	
	2 5	0,5	5	−2	−1 8	−1 3	−1.15	−1 6	−3 2	–	
	9 5	0,10	10	−1.6	−1 5	−1 1	−0.9	−1.3	−2.6	–	
	13 5	0,15	15	−4 2	−4	−2 8	−2.4	−3.4	−6.8	–	
Output Voltage, Low-Level, V_{OL} Max	–	0,5	5	0 05				–	0	0.05	V
	–	0,10	10	0 05				–	0	0.05	
	–	0,15	15	0 05				–	0	0.05	
Output Voltage High-Level, V_{OH} Min.	–	0,5	5	4.95				4 95	5	–	
	–	0,10	10	9 95				9.95	10	–	
	–	0,15	15	14.95				14 95	15	–	
Input Low Voltage, V_{IL} Max	0.5,4 5	–	5	1.5				–	–	1 5	V
	1,9	–	10	3				–	–	3	
	1.5,13 5	–	15	4				–	–	4	
Input High Voltage, V_{IH} Min.	0 5,4 5	–	5	3 5				3 5	–	–	
	1,9	–	10	7				7	–	–	
	1.5,13 5	–	15	11				11	–	–	
Input Current, I_{IN} Max	–	0,18	18	±0 1	±0.1	±1	±1	–	$±10^{-5}$	±0 1	μA

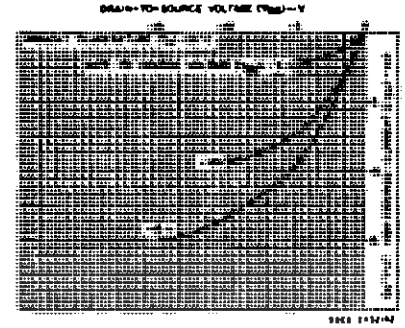


Fig. 4 — Maximum output high (source) current characteristics.

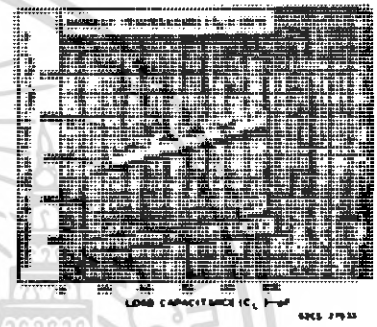


Fig. 5 — Typical propagation delay time vs. load capacitance (CLOCK or SET to Q,CLOCK or RESET to $\overline{Q}$).

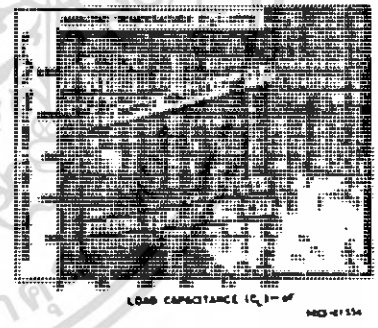


Fig. 6 — Typical propagation delay time vs. load capacitance (SET to $\overline{Q}$ or RESET to Q.

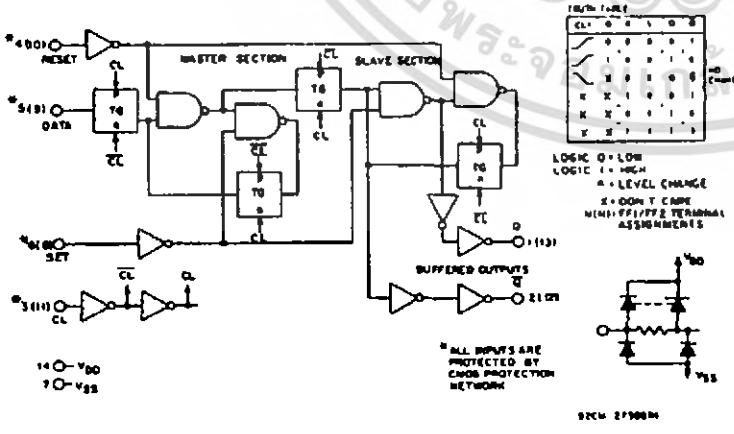


Fig. 7 — Logic diagram and truth table for CD4013B (one of two identical flip-flops).

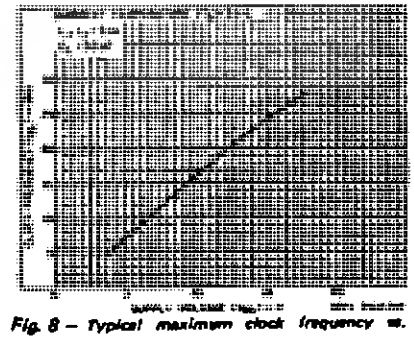


Fig. 8 — Typical maximum clock frequency vs. supply voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS, *Absolute-Maximum Values*

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V_{DD})
Voltages referenced to V_{SS} Terminal) ..... -0.5V to +20V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS ..... -0.5V to V_{DD} +0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT ..... ±10mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_D):
For T_A = -55°C to +100°C 500mW
For T_A = +100°C to +125°C ..... Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR
FOR T_A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types) 100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A) ..... -55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{stg}) ..... -65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.59 ± 0.79mm) from case for 10s max ..... +265°C

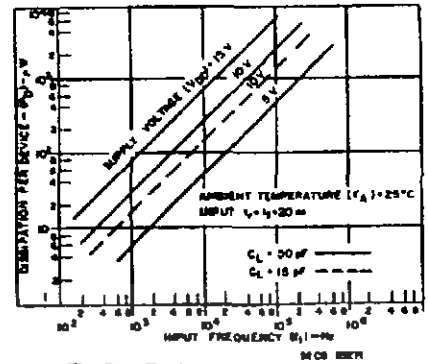


Fig. 9 — Typical power dissipation vs. frequency.

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At T_A = 25°C, Input t_r, t_f = 20 ns, C_L = 50 pF, R_L = 200 kΩ

CHARACTERISTIC	TEST CONDITIONS V_{DD} (V)	LIMITS MIN.	LIMITS TYP.	LIMITS MAX.	UNITS
Propagation Delay Time, Clock to Q or $\overline{Q}$ Outputs t_{PHL}, t_{PLH}	5	—	150	300	ns
	10	—	65	130	
	15	—	45	90	
Set to Q or Reset to $\overline{Q}$ t_{PLH}	5	—	150	300	ns
	10	—	66	130	
	15	—	45	90	
Set to $\overline{Q}$ or Reset to Q t_{PHL}	5	—	200	400	ns
	10	—	85	170	
	15	—	60	120	
Transition Time t_{THL}, t_{TLH}	5	—	100	200	ns
	10	—	50	100	
	15	—	40	80	
Maximum Clock Input Frequency[#] f_{CL}	5	3.5	7	—	MHz
	10	8	16	—	
	15	12	24	—	
Minimum Clock Pulse Width t_W	5	—	70	140	ns
	10	—	30	60	
	15	—	20	40	
Minimum Set or Reset Pulse Width t_W	5	—	90	180	ns
	10	—	40	80	
	15	—	25	50	
Minimum Data Setup Time t_s	5	—	20	40	ns
	10	—	10	20	
	15	—	7	15	
Minimum Data Hold Time t_H	5	—	2	5	ns
	10	—	2	5	
	15	—	2	5	
Clock Input Rise or Fall Time t_{rCL}, t_{fCL}	5	—	—	15	μs
	10	—	—	10	
	15	—	—	5	
Input Capacitance C_{IN}	*Any Input*	—	5	7.5	pF

[#]Input t_r, t_f = 5 ns

TEST CIRCUITS

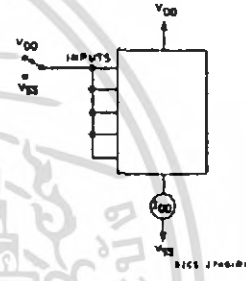


Fig. 10 — Quiescent device current.

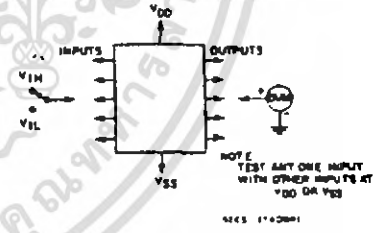


Fig. 11 — Input voltage.

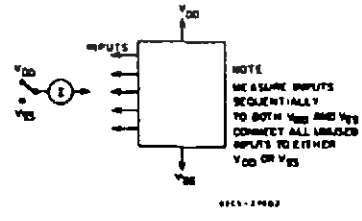
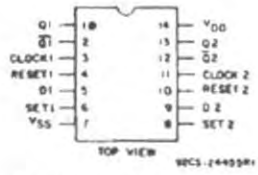


Fig. 12 — Input current.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TERMINAL ASSIGNMENT

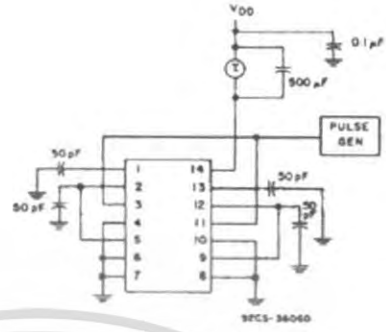
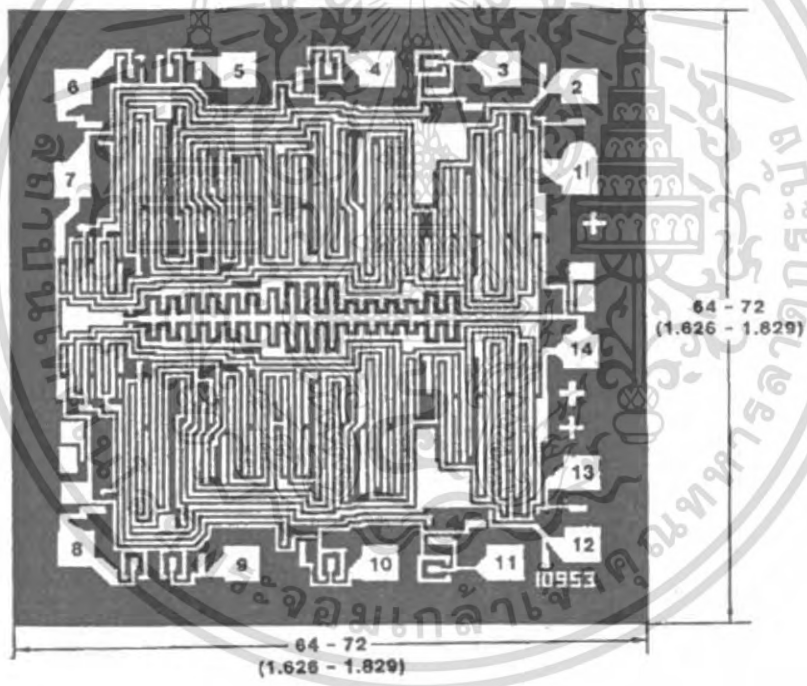


Fig. 13—Dynamic power dissipation test circuit.

DIMENSIONS AND PAD LAYOUT FOR CD4013BH



Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils (10^{-3} inch).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	Broadband	www.ti.com/broadband
Interface	interface.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Logic	logic.ti.com	Military	www.ti.com/military
Power Mgmt	power.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Security	www.ti.com/security
Low Power Wireless	www.ti.com/lpw	Telephony	www.ti.com/telephony
		Video & Imaging	www.ti.com/video
		Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2007, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status [1]	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan [2]	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp [3]
89267AKB3T	OBSOLETE	CFP	WR	14		TBD	Call TI	Call TI
CD4013BE	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
CD4013BEE4	ACTIVE	PDIP	N	14	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	N / A for Pkg Type
CD4013BF	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
CD4013BF3A	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type
CD4013BK3	OBSOLETE	CFP	WR	14		TBD	Call TI	Call TI
CD4013BM	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BM96	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BM96E4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BM96G4	ACTIVE	SOIC	D	14	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BME4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BMG4	ACTIVE	SOIC	D	14	50	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BMT	ACTIVE	SOIC	D	14	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BMTE4	ACTIVE	SOIC	D	14	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BMTG4	ACTIVE	SOIC	D	14	250	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BNSR	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BNSRE4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BNSRG4	ACTIVE	SO	NS	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BPW	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BPWE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BPWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BPWRE4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
CD4013BPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	14	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
JM38510/05151BCA	ACTIVE	CDIP	J	14	1	TBD	A42 SNPB	N / A for Pkg Type

[1] The marketing status values are defined as follows:
ACTIVE: Product device recommended for new designs
LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.
PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.
OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

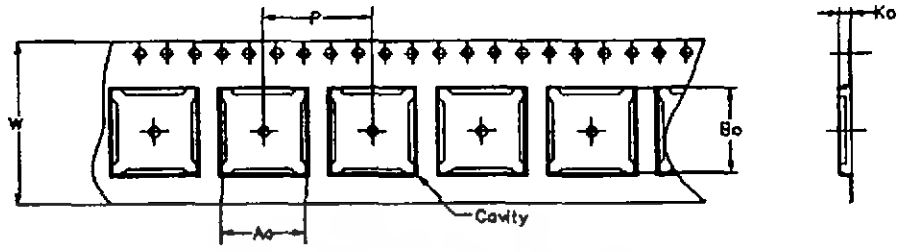
(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check http://www.ti.com/productcontent for the latest availability information and additional product content details.
TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.
Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.
Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.
Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

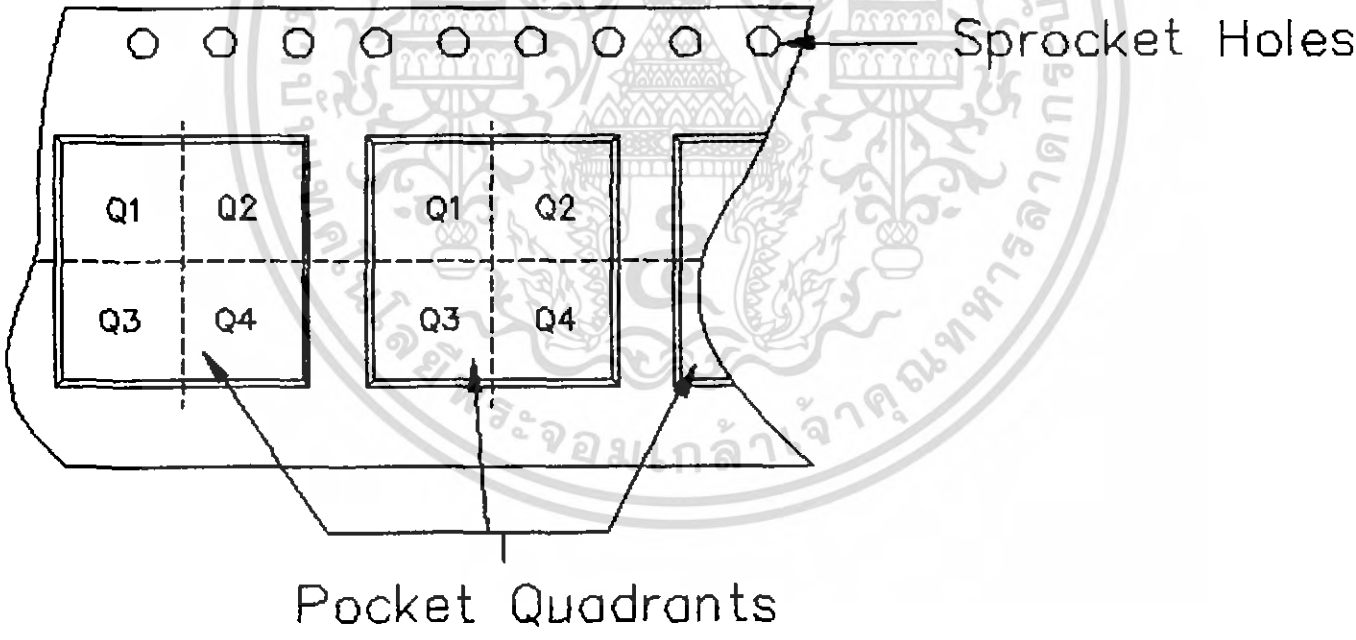
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Carrier tape design is defined largely by the component lentgh, width, and thickness.

Ao = Dimension designed to accommodate the component width.
Bo = Dimension designed to accommodate the component length.
Ko = Dimension designed to accommodate the component thickness.
W = Overall width of the carrier tape.
P = Pitch between successive cavity centers.



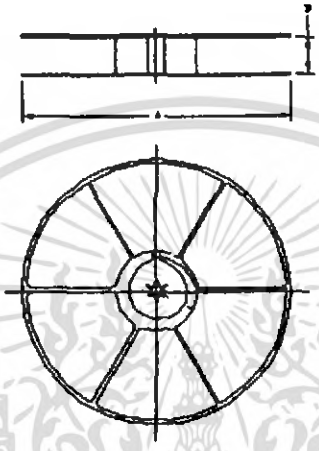
TAPE AND REEL INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MATERIALS INFORMATION

16-Jul-2007

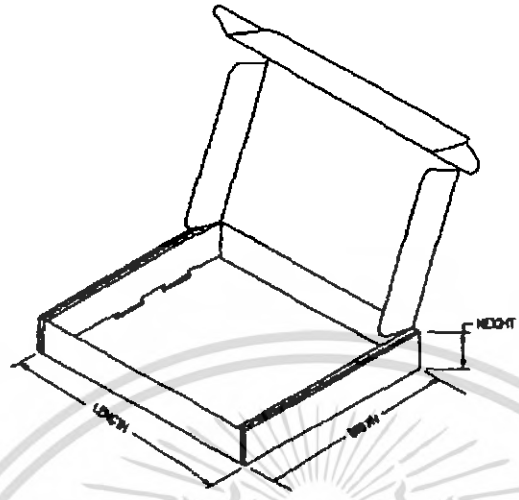
Device	Package	Pins	Site	Reel Diameter (mm)	Reel Width (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
CD4013BM96	D	14	MLA	330	16	6 5	9 0	2 1	8	16	Q1
CD4013BNSR	NS	14	MLA	330	16	8.2	10 5	2.5	12	16	Q1
CD4013BPWR	PW	14	MLA	330	12	7.0	5 6	1.6	8	12	Q1



TAPE AND REEL BOX INFORMATION

Device	Package	Pins	Site	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
CD4013BM96	D	14	MLA	346 0	346 0	33 0
CD4013BNSR	NS	14	MLA	346 0	346.0	33 0
CD4013BPWR	PW	14	MLA	346 0	346 0	29 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

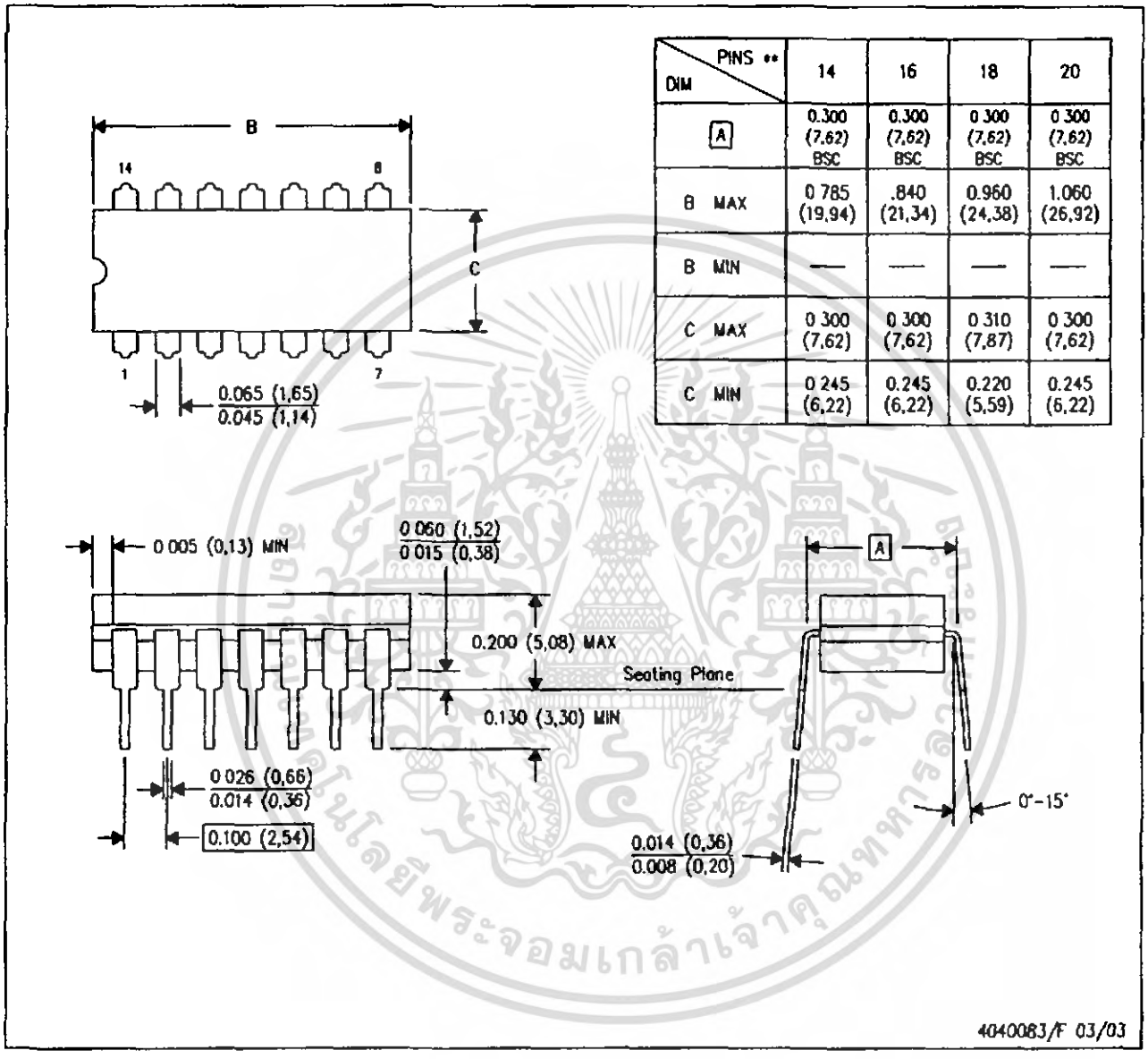


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J (R–GDIP–T**)

14 LEADS SHOWN

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE



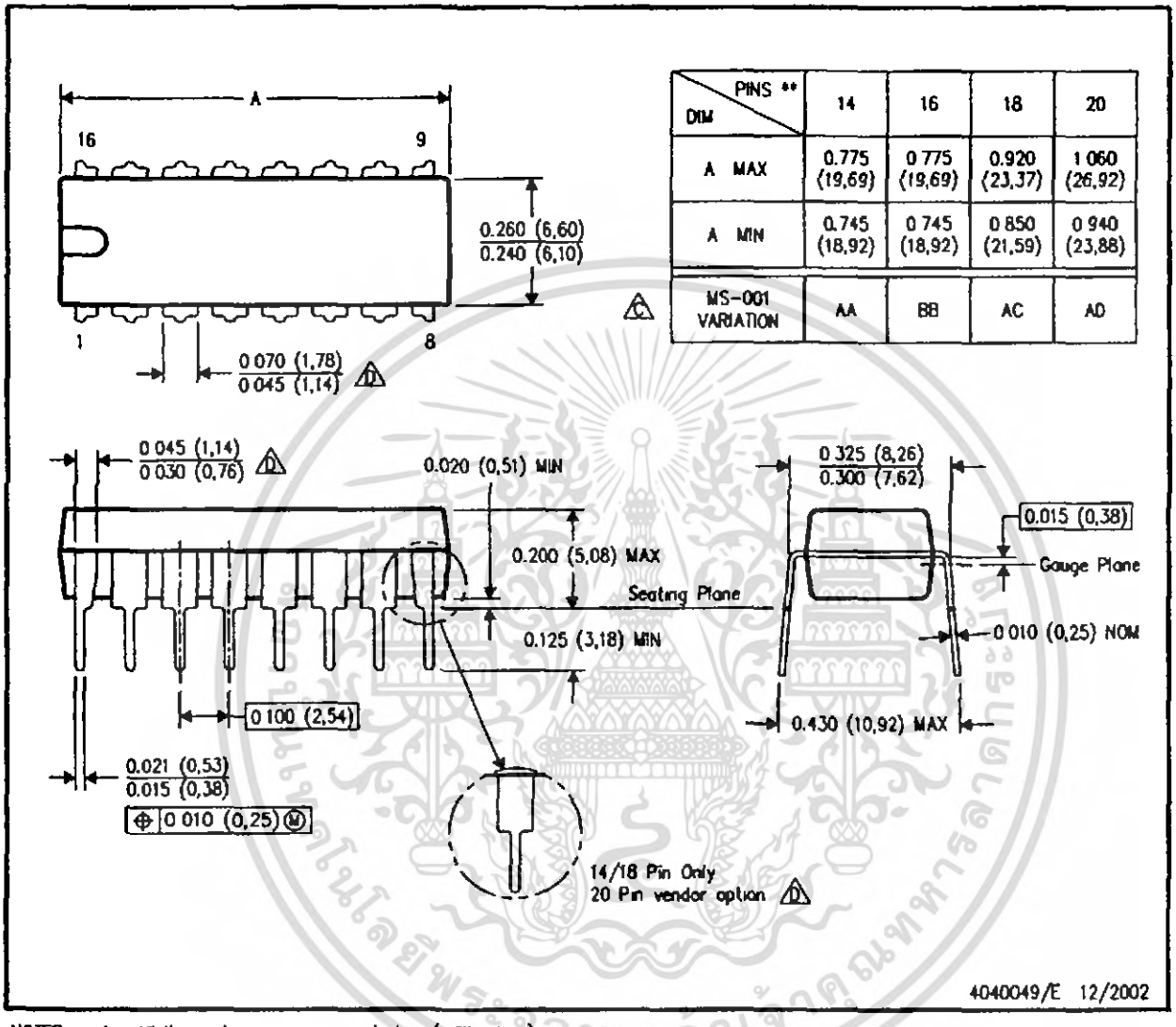
DIM \ PINS **	14	16	18	20
A	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC	0.300 (7,62) BSC
B MAX	0.785 (19,94)	.840 (21,34)	0.960 (24,38)	1.060 (26,92)
B MIN	—	—	—	—
C MAX	0.300 (7,62)	0.300 (7,62)	0.310 (7,87)	0.300 (7,62)
C MIN	0.245 (6,22)	0.245 (6,22)	0.220 (5,59)	0.245 (6,22)

NOTES:
A. All linear dimensions are in inches (millimeters)
B. This drawing is subject to change without notice.
C. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit
D. Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only
E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1–T14, GDIP1–T16, GDIP1–T18 and GDIP1–T20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N (R–PDIP–T**) PLASTIC DUAL–IN–LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN

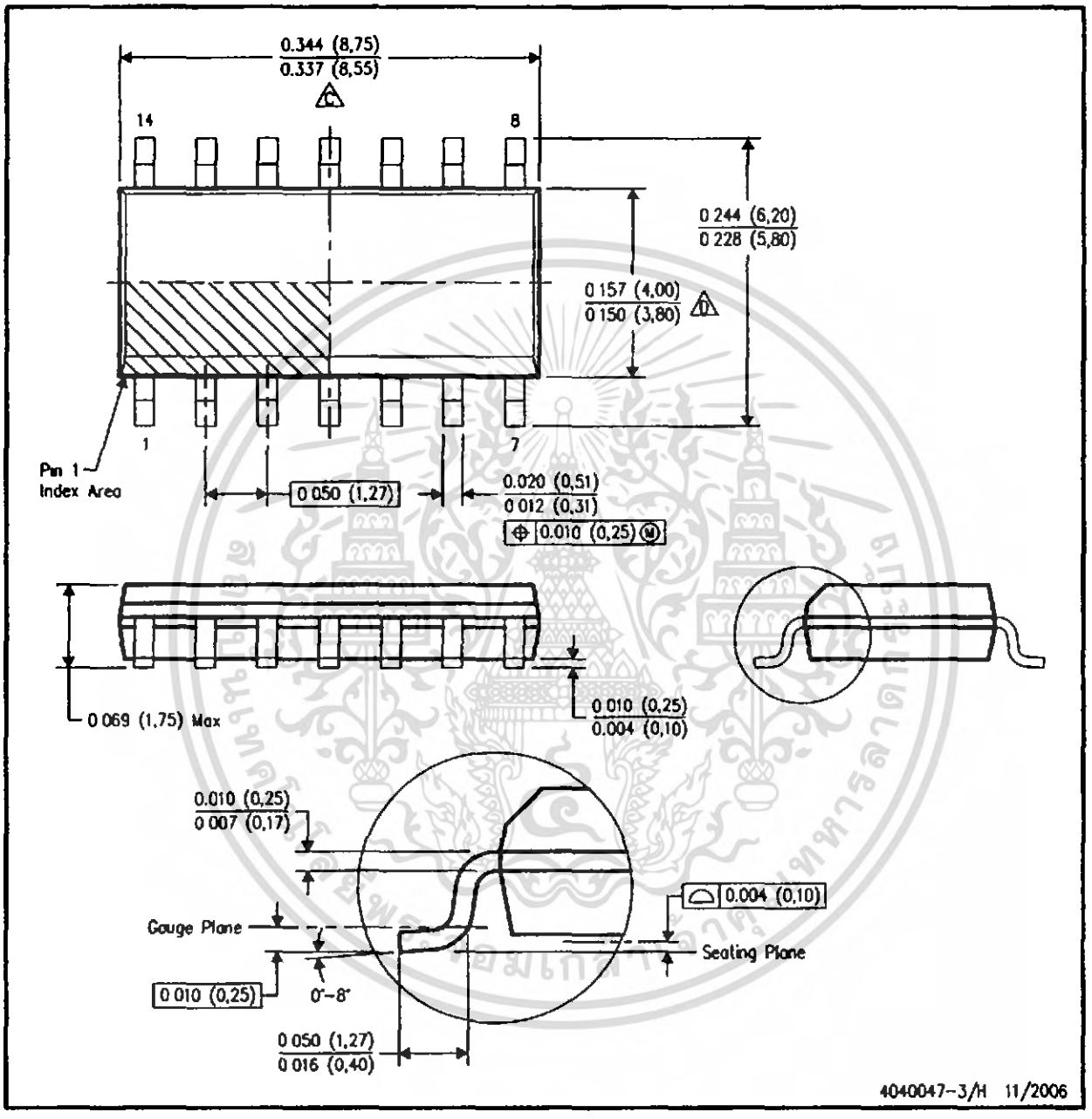


DIM \ PINS **	14	16	18	20
A MAX	0.775 (19,69)	0.775 (19,69)	0.920 (23,37)	1.060 (26,92)
A MIN	0.745 (18,92)	0.745 (18,92)	0.850 (21,59)	0.940 (23,88)
MS–001 VARIATION	AA	BB	AC	AD

NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
- B. This drawing is subject to change without notice
- C. Falls within JEDEC MS–001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
- D. The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D (R–PDSO–G14) PLASTIC SMALL–OUTLINE PACKAGE



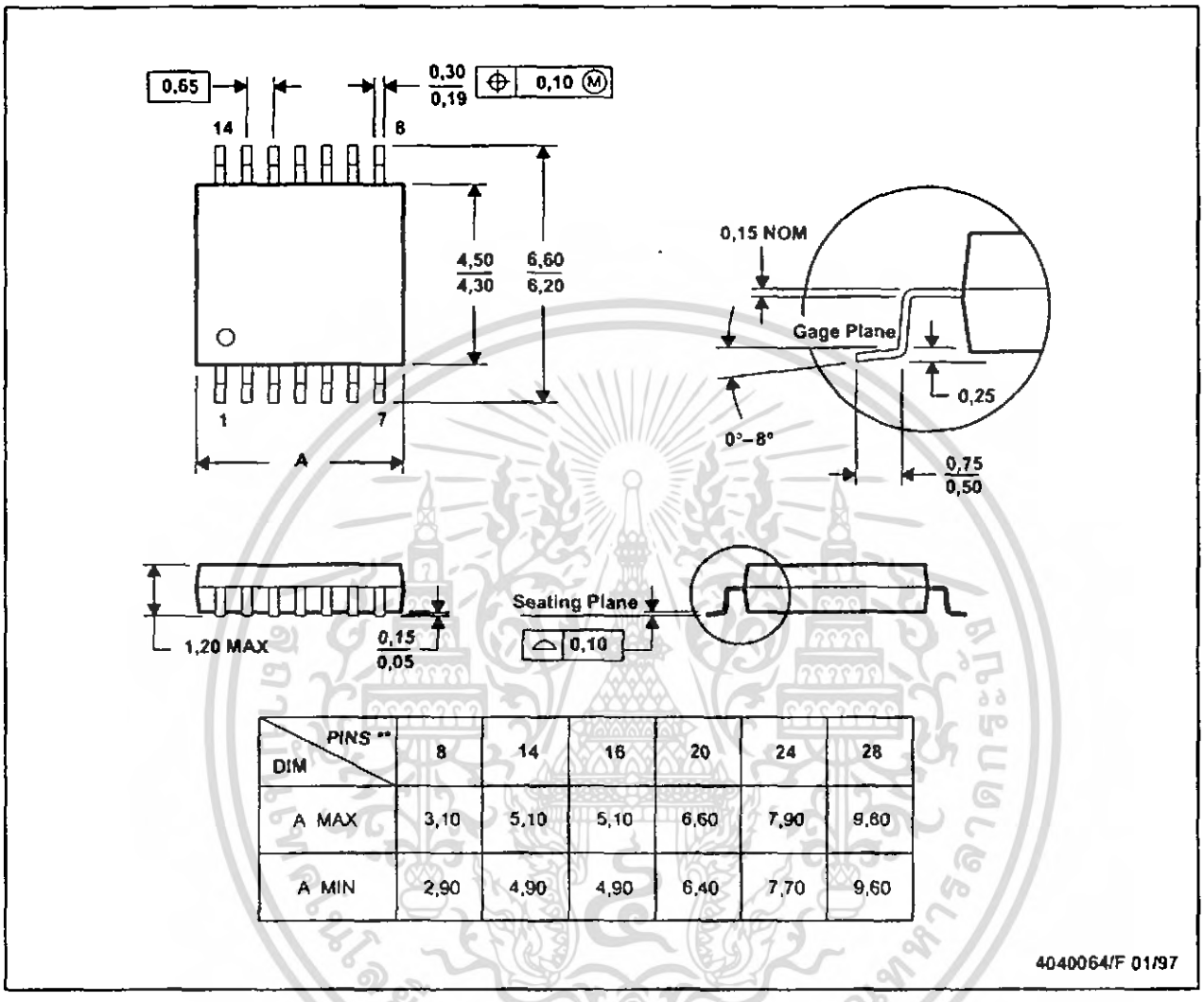
NOTES.
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
- B. This drawing is subject to change without notice.
- C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed .006 (0,15) per end.
- D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed .017 (0,43) per side.
- E. Reference JEDEC MS–012 variation AB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MTSS001C – JANUARY 1995 – REVISED FEBRUARY 1999

PW (R-PDSO-G)** **PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE**

14 PINS SHOWN



DIM \ PINS **	8	14	16	20	24	28
A MAX	3,10	5,10	5,10	6,60	7,90	9,80
A MIN	2,90	4,90	4,90	6,40	7,70	9,60

NOTES: A All linear dimensions are in millimeters.
B. This drawing is subject to change without notice
C Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.
D. Falls within JEDEC MO-153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้