ต้นแบบระบบอ่านค่าพลังงานจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าโดยอัตโนมัติด้วยแสงอินฟราเรด

นายพิศิษฐ์ รัตตไพศาล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4822-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A PROTOTYPE OF AN AUTOMATIC METER READING SYSTEM USING INFRARED

Mr. Pisit Rattapaisarn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4822-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ต้นแบบระบบอ่านค่าพลังงานจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าโดยอัตโนมัติด้วยแสงอินฟราเรด
โดย	นายพิศิษฐ์ รัตตไพศาล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นิศาชล ตั้งเสงี่ยมวิสัย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิศิษฐ์ รัตตไพศาล : ต้นแบบระบบอ่านค่าพลังงานจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าโดยอัตโนมัติด้วยแสงอินฟราเรด. (A PROTOTYPE OF AN AUTOMATIC METER READING SYSTEM USING INFRARED) อ. ที่ปรึกษา : ดร.วันเฉลิม โปรา, 80 หน้า. ISBN 974-17-4822-1.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จำลองการทำงานของระบบอ่านค่าจากมิเตอร์ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติด้วยการใช้อุปกรณ์แบบพกพาที่มีช่องทางอินฟราเรดสำหรับสื่อสารกับมิเตอร์ และชุดซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์แบบพกพาดังกล่าวใช้อุปกรณ์หน่วยเก็บรวมชนิดคอมแพคแฟลชสำหรับเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากมิเตอร์หลายๆ ตัวในรูปของแฟ้มข้อมูลแบบแฟต (FAT file) เพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลได้โดยง่าย ชิพไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ MSP430F148 ของบริษัท Texas Instrument ถูกเลือกใช้เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานต่างๆ บนอุปกรณ์แบบพกพาอาทิ การรับคำสั่งจากผู้ใช้ ควบคุมโปรโตคอลที่ใช้ติดต่อกับมิเตอร์ ตลอดจนกระบวนการบันทึกข้อมูลที่อ่านมาได้ลงในคอมแพคแฟลช เป็นต้น ตัวอุปกรณ์แบบพกพานี้มีช่องทางอินฟราเรดอยู่ 2 แบบคือ แบบที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลแบบประกบติดกับตัวมิเตอร์ด้วยอัตราเร็ว 9600 บิตต่อวินาทีซึ่งใช้โปรโตคอลตามมาตรฐาน ANSI C12.8-1996 และแบบที่ใช้อ่านข้อมูลจากมิเตอร์ในระยะไกลท่ามกลางแดดจัดได้ไม่เกิน 5 เมตร โดยใช้ความถี่พาหะ 38 kHz ในการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 4800 บิตต่อวินาทีซึ่งใช้โปรโตคอลที่ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ANSI C12.8-1996 โดยเพิ่มกระบวนการเข้ารหัสแบบ Blowfish เพื่อให้การส่งข้อมูลมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ในส่วนของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมีหน้าที่ถ่ายโอนแฟ้มข้อมูลที่ถูกเก็บอยู่ในคอมแพคแฟลชของตัวอุปกรณ์พกพา แล้วจัดเก็บลงในฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ซึ่งสมมติไว้ว่าอยู่ที่สำนักงานกลางเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2546

4570451421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : AUTOMATIC METER READING / HAND-HELD DEVICE / DATA ENCRYPTION

PISIT RATTAPAISARN : A PROTOTYPE OF AN AUTOMATIC METER READING SYSTEM USING INFRARED. THESIS ADVISOR : WANCHALERM PORA, Ph.D., 80 pp. ISBN 974-17-4822-1.

This thesis simulates operations of an Automatic Meter Reading (AMR) system. It's composed of hand-held devices with built-in infrared ports (for communicating with electricity meters) and microcomputers with software suite. The hand-held devices employ CompactFlash as their mass storage memory. All the data read from the meters is saved in binary files in the FAT file system to ease data transferring to microcomputers. The microcontroller chips, MSP430F148 by Texas Instrument, are used in the hand-helds to process and control all operations such as user interface, communication control, CompactFlash data saving, etc. Such hand-held devices have two types of Infrared ports : closed distance, and semi-long distance ports. The closed-distance port which supports 9600 bps data rate complies with the ANSI C12.8-1996 standard; whereas the semi-long distance port supports up to 5-metres operating distance under sunlight condition at 4800 bps data rate with 38kHz carrier frequency and employs a modified ANSI C12.8-1996 standard. By adding the Blowfish encryption algorithm, the data security is enhanced. The software suite on microcomputers is to transfer files kept in CompactFlashes of the hand-held devices, and to process and update data on a database, presumably at a central office for further utilizations.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's signature .....

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature .....

Academic year 2003 .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์และงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รศ.ดร.เอกชัย ลีลารัศมี ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อทั้งตัววิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าและงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบและประยุกต์วงจรรวมทุกคนสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และคอยแบ่งปันอุปกรณ์สำหรับทำวิทยานิพนธ์และงานวิจัยของข้าพเจ้า และขอบคุณสำหรับมิตรภาพและความรู้สึกดีๆ ที่มีให้กันมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาอันเป็นที่เคารพรัก ที่คอยดูแลเอาใจใส่ สนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมาจนกระทั่งมีวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 องค์ประกอบของระบบ AMR 5

2.2 ระบบ AMR แบบต่างๆ 6

2.3 โพรโตคอลสำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ 9

2.3.1 รายละเอียดโดยสังเขปของระดับ Application 9

2.3.2 รายละเอียดของกลุ่มข้อมูลในระดับ Data Link 11

2.3.3 การคำนวณหาค่าซีอาร์ซี 12

2.4 การเข้าและถอดรหัสลับแบบสมมาตร (Symmetric Cipher Model) 13

2.4.1 รหัสลับแบบแทนที่ (Substitution Cipher) 13

2.4.2 รหัสลับแบบย้ายข้าง (Transposition Cipher) 14

2.4.3 พื้นฐานของการเข้ารหัสลับแบบบล็อก (Block Cipher) 15

2.4.4 ขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสลับแบบบล็อกชนิด Blowfish 16

2.4.5 วิธีดำเนินการกับรหัสแบบบล็อก (Block Cipher Modes of operation) 18

2.5 รายละเอียดของอุปกรณ์หน่วยเก็บรวมชนิดคอมแพคแฟลช (CompactFlash) 19

2.5.1 โครงสร้างภายในของคอมแพคแฟลช 20

2.5.2 การอ่านและเขียนข้อมูลลงในคอมแพคแฟลช 20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3 การบันทึกข้อมูลในรูปของตารางการจัดสรรแฟ้มหรือแฟต (FAT) 23
2.6 สรุปท้ายบท 25
บทที่ 3 รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์แบบมือถือ 26
3.1 ส่วนประกอบโดยรวมของอุปกรณ์แบบมือถือ 26
3.2 วงจรรับส่งข้อมูลด้วยแสงอินฟราเรด 27
3.2.1 แบบประกบติดกับตัวมิเตอร์ 28
3.2.2 แบบติดต่อกับมิเตอร์ในระยะไกล 29
3.3 ส่วนเชื่อมต่อกับคอมแพคแฟลช 31
3.4 ส่วนเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม RS-232 32
3.5 วงจรส่วนแสดงผล และปุ่มสั่งงานต่างๆ 33
3.6 วงจรตรวจสอบแรงดันไฟตก 34
3.7 วงจรส่วนจ่ายไฟเลี้ยง 35
3.8 ประมาณราคาต้นทุนของอุปกรณ์มือถือที่ทำการพัฒนาขึ้น 36
3.9 สรุปท้ายบท 37
บทที่ 4 รายละเอียดของโพรโตคอลที่ใช้สื่อสารกับมิเตอร์ 38
4.1 โพรโตคอลสำหรับสื่อสารกับมิเตอร์แบบประกบติด 38
4.2 โพรโตคอลสำหรับสื่อสารกับมิเตอร์ในระยะไกล 39
4.2.1 กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ 40
4.2.2 การติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละตัว 43
4.3 รายละเอียดของตารางข้อมูลต่างๆ ของกระบวนการอ่านและเขียน 47
4.3.1 ตารางข้อมูลของกระบวนการอ่าน 47
4.3.2 ตารางข้อมูลของกระบวนการเขียน 47
4.4 สรุปท้ายบท 48
บทที่ 5 รายละเอียดทางด้านซอฟต์แวร์ 49
5.1 ซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของอุปกรณ์มือถือ 49
5.2 ส่วนจัดการทางเวลา 49
5.3 ส่วนควบคุมการทำงานของโพรโตคอล 50
5.3.1 ส่วนควบคุมขั้นตอนดำเนินงานของกระบวนการต่างๆ 50
5.3.2 ส่วนส่งและรอรับกลุ่มข้อมูลของแต่ละกระบวนการ 51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.3 การเข้ารหัสให้กับข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Blowfish 53
5.4 ส่วนควบคุมการเชื่อมต่อกับคอมแพคแฟลช 54
5.4.1 ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลในรูปของแฟ้มฐานสอง 54
5.4.2 ขั้นตอนการอ่านและเขียนข้อมูลลงในแต่ละเซกเตอร์ของคอมแพคแฟลช 56
5.5 ส่วนควบคุมการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม 57
5.5.1 ส่วนควบคุมการส่งข้อมูลแบบ UART ที่ถูกมอดูเลต 57
5.5.2 ส่วนควบคุมการรับข้อมูลแบบ UART 59
5.5.3 ส่วนควบคุมการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 60
5.6 ซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูลจากคอมแพคแฟลชลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ 60
5.6.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) 61
5.6.2 ส่วนการทำงานต่างๆ ของซอฟต์แวร์ 62
5.7 สรุปท้ายบท 64
บทที่ 6 การทดสอบและสรุปผล 65
6.1 การออกแบบระบบทดสอบ 65
6.1.1 มิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ 65
6.1.2 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในการดักอ่านกลุ่มข้อมูล 66
6.2 การทดสอบการอ่านค่าจากมิเตอร์แบบประกบติด 67
6.3 การทดสอบการอ่านค่าจากมิเตอร์ในระยะไกล 68
6.3.1 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 1 ตัว 68
6.3.2 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 3 ตัวที่อยู่ใกล้กัน 70
6.3.3 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 3 ตัวในกรณีที่ข้อมูลเกิดการชนกัน 71
6.3.4 การทดสอบความปลอดภัยจากการถูกลอบอ่านข้อมูล 72
6.3.5 การทดสอบระยะปฏิบัติการ 73
6.4 การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูล 74
6.5 สรุปผลการวิจัย 76
6.6 ข้อเสนอแสนะ 76
รายการอ้างอิง 78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 80

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแสดงส่วนประกอบของระบบ AMR 5
รูปที่ 2.2 ระบบ AMR ที่ใช้เครือข่ายโทรศัพท์ 7
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของระบบ AMR ที่ใช้สายส่งกำลังเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล 8
รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนย่อยในแต่ละกระบวนการของระดับ Application 10
รูปที่ 2.5 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 11
รูปที่ 2.6 หลักการคำนวณค่าซีอาร์ซีแบบ CRC-CCITT โดยใช้รีจิสเตอร์แบบเลื่อน 12
รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการเข้ารหัสแบบสมมาตร 13
รูปที่ 2.8 แสดงการเข้ารหัสแบบ Caesar 14
รูปที่ 2.9 แสดงการเข้ารหัสแบบ Vigenere 14
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบย้ายข้าง 14
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโครงสร้างของส่วนสับเปลี่ยน และส่วนแทนค่า 15
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของ Product cipher ที่เกิดจากการรวมกันของโครงสร้างพื้นฐาน 15
รูปที่ 2.13 แสดงขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบ Blowfish 17
รูปที่ 2.14 รายละเอียดของฟังก์ชัน F 18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างการเข้าและถอดรหัสแบบบล็อกด้วยวิธี CBC 19
รูปที่ 2.16 โครงสร้างการเข้าและถอดรหัสแบบบล็อกด้วยวิธี CFB 19
รูปที่ 2.17 รูปร่างและโครงสร้างภายในของคอมแพคแฟลช 20
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างชุดคำสั่งสำหรับอ่านข้อมูลจากแต่ละเซกเตอร์ 21
รูปที่ 2.19 ขั้นตอนต่างๆ และสถานะของตัวบ่งชี้เนื่องจากคำสั่งอ่านเซกเตอร์ 22
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของตารางการจัดสรรแฟ้มหรือแฟต 23
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการจัดเก็บตำแหน่งของกลุ่มข้อมูลในตารางแฟต 24
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของอุปกรณ์แบบมือถือ 26
รูปที่ 3.2 วงจรภาครับส่งด้วยแสงอินฟราเรดแบบประกบติดกับตัวมิเตอร์ 28
รูปที่ 3.3 ผลของตัวต้านทานที่ต่อขนานกับแอลอีดีตัวส่ง 28
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างรูปร่างของสัญญาณข้อมูลที่ถูกมอดูเลตด้วยความถี่พาหะ 38 kHz 29
รูปที่ 3.5 วงจรภาครับส่งด้วยแสงอินฟราเรดในระยะไกล 29
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงจุดการทำงานที่สภาวะต่างๆ ของแอลอีดีตัวส่งเบอร์ TSAL6100 30
รูปที่ 3.7 โครงสร้างภายในของมอดูลตัวรับเบอร์ TSOP1838SS3V 31

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.8 ขาสัญญาณต่างๆที่ใช้ติดต่อกับคอมแพคแฟลช 31
รูปที่ 3.9 รายละเอียดของวงจรส่วนเชื่อมต่อกับคอมแพคแฟลช 32
รูปที่ 3.10 ส่วนเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม RS-232 33
รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่อแอลซีดีแสดงผลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 33
รูปที่ 3.12 วงจรสวิตช์และปุ่มสั่งงานต่างๆ บนอุปกรณ์แบบมือถือ 34
รูปที่ 3.13 วงจรตรวจสอบแรงดันไฟตก 35
รูปที่ 3.14 วงจรส่วนจ่ายไฟเลี้ยงบนตัวอุปกรณ์มือถือ 36
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนต่างๆ ของโพรโตคอลในการสื่อสารแบบประกบติด 38
รูปที่ 4.2 ผลของการกระจายของแสงจากแอลอีดีกับการอ่านมิเตอร์ในระยะไกล 39
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนต่างๆ ของการติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ในระยะไกล 40
รูปที่ 4.4 ขั้นตอนส่งสัญญาณร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ 41
รูปที่ 4.5 รายละเอียดของกลุ่มข้อมูลในขั้นตอนตอบสนองการร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ 41
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนตอบสนองการร้องขอหมายเลขมิเตอร์โดยใช้หลักการแบ่งตามช่องเวลา 42
รูปที่ 4.7 รายละเอียดของการส่งสัญญาณตอบรับไปให้มิเตอร์แต่ละตัว 42
รูปที่ 4.8 กรณีเกิดการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองจากมิเตอร์ 2 ตัว 43
รูปที่ 4.9 การส่งข้อมูลในขั้นตอนตอบสนองซ้ำหลังจากที่ข้อมูลมีการชนกันในครั้งแรก 43
รูปที่ 4.10 รายละเอียดของกลุ่มข้อมูลร้องขอสำหรับขอติดต่อกับมิเตอร์แต่ละตัว 44
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างกระบวนการสร้างช่องการสื่อสารกับมิเตอร์แต่ะละตัว 44
รูปที่ 4.12 รายละเอียดของกระบวนการขอค่าสุ่มจากมิเตอร์ 45
รูปที่ 4.13 กระบวนการต่างๆ ในการสื่อสารกับมิเตอร์ในระยะไกล 45
รูปที่ 4.14 รายละเอียดของขั้นตอนการเข้าและถอดรหัสข้อมูลในกระบวนการความปลอดภัย 46
รูปที่ 4.15 รายละเอียดของตารางข้อมูลแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า 47
รูปที่ 5.1 รายละเอียดของซอฟต์แวร์ควบคุมบนอุปกรณ์มือถือ 49
รูปที่ 5.2 แผนภาพ ASM ควบคุมลำดับการทำงานของโพรโตคอล 50
รูปที่ 5.3 ผังงานแสดงการควบคุมการทำงานในแต่ละกระบวนการ 51
รูปที่ 5.4 โปรแกรมย่อยสำหรับรับกลุ่มข้อมูลตอบสนอง 52
รูปที่ 5.5 ผังงานแสดงขั้นตอนเข้ารหัสข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี Blowfish 53
รูปที่ 5.6 การตั้งชื่อให้กับแฟ้มข้อมูลฐานสองโดยอุปกรณ์มือถือ 54

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลลงในคอมแพคแฟลชตามรูปแบบของระบบแฟ้มซนิดแฟต 55
รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการอ่านและเขียนข้อมูลลงในแต่ละเซกเตอร์ของคอมแพคแฟลช 56
รูปที่ 5.9 ผังงานของโปรแกรมย่อยสำหรับทำหน้าที่ส่งข้อมูลอนุกรมที่ถูกมอดูเลตแล้ว 58
รูปที่ 5.10 ผังงานแสดงการทำงานของส่วนรับข้อมูลแบบ UART 59
รูปที่ 5.11 ผังงานของโปรแกรมบริการการขัดจังหวะ UART1 สำหรับปรับฐานเวลา 60
รูปที่ 5.12 การติดต่อระหว่างซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูลกับคอมแพคแฟลช 61
รูปที่ 5.13 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูล 61
รูปที่ 5.14 รายละเอียดของส่วนการทำงานต่างๆ ในซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูล 62
รูปที่ 5.15 รายละเอียดของตัวแปรชนิดโครงสร้างชื่อ TOU_Format 63
รูปที่ 5.16 การเรียงลำดับของฟิลด์ต่างๆ ในฐานข้อมูล 63
รูปที่ 5.17 รายละเอียดในแต่ละบรรทัดของแฟ้มที่ใช้กับระบบคิดค่าไฟ 64
รูปที่ 6.1 ตัวอุปกรณ์มือถือที่ถูกทำการพัฒนาขึ้น 65
รูปที่ 6.2 วงจรภาครับส่งอินฟราเรดระยะไกลในมิเตอร์ 66
รูปที่ 6.3 มิเตอร์ทั้ง 2 แบบที่ใช้ในการทดสอบ 66
รูปที่ 6.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ดักอ่านข้อมูลเข้ากับอุปกรณ์มือถือ 67
รูปที่ 6.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับดักอ่านกลุ่มข้อมูลจากตัวอุปกรณ์มือถือ 67
รูปที่ 6.6 การทดสอบการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 3 ตัว 70
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองระหว่างมิเตอร์หมายเลข 1 และ 3 72
รูปที่ 6.8 รายชื่อแฟ้มข้อมูลที่ได้จากการอ่านมิเตอร์ 74
รูปที่ 6.9 ข้อมูลในฟิลด์ต่างๆ ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล 74
รูปที่ 6.10 รายละเอียดในแฟ้มข้อมูลที่นำไปป้อนให้กับระบบคิดค่าไฟ 75
รูปที่ 6.11 รายละเอียดภายในแฟ้มรายงานสำหรับมิเตอร์แต่ละตัว 75
รูปที่ 6.12 รายละเอียดของแฟ้มที่ใช้เก็บพฤติกรรมการใช้ไฟทุกๆ 15 นาที 75

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความเร็วของการเข้ารหัสแบบบล็อกแบบต่างๆ 16
ตารางที่ 2.2 ชุดรีจิสเตอร์เอทีเอที่ใช้ติดต่อกับคอมแพคแฟลช 21
ตารางที่ 2.3 ชุดคำสั่งต่างๆ ตามมาตรฐานเอทีเอ 22
ตารางที่ 2.4 รายละเอียดภายในบู๊ตเซกเตอร์ 23
ตารางที่ 2.5 รหัสต่างๆ ที่อยู่ในตารางแฟตแบบ FAT16 24
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดของแต่ละหน่วยในโฟลเดอร์ราก 25
ตารางที่ 3.1 การประมาณราคาต้นทุนของตัวอุปกรณ์ต่างๆ บนอุปกรณ์มือถือ 37

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย