การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบที่ใช้โพรโทคอล SIP

นาย ณัฐวร ปานจินดา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN : 974-17-4564-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF INTERNET TELEPHONE PROTOTYPE USING SIP PROTOCOL

Mr. Nattaworn Panchinda

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 2005

ISBN : 974-17-4564-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบที่ใช้โพรโทคอล SIP
โดย	นายณัฐวร ปานจินดา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐวร ปานจินดา: การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบที่ใช้โพรโทคอล SIP (DEVELOPMENT OF INTERNET TELEPHONE PROTOTYPE USING SIP PROTOCOL) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. วาทิต เบญจพลกุล, 118 หน้า. ISBN: 974-17-4564-8.

ปัจจุบันระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนตมีแนวโน้มเข้ามาแทนที่ระบบโทรศัพท์แบบ PSTN เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านค่าใช้จ่าย, ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณ, และความสะดวกในการใช้งาน และบำรุงรักษา บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารจึงได้พัฒนา และผลิตอุปกรณ์สื่อสารที่รองรับเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนตขึ้นมาจำหน่าย แต่เนื่องจากยังเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ และยังไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้อุปกรณ์ที่จำหน่ายมีราคาแพง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ วิทยานิพนธ์นี้จึงนี้ได้พัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นทุนต่ำ ในการพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 รุ่น AT89C51ED2, ชิพควบคุมอีเทอร์เนต RTL8019as และชิพเข้ารหัสเสียง MC145480 เป็นส่วนประกอบหลัก ในส่วนซอฟท์แวร์ได้พัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้, ส่วนติดต่อกับชิพอีเทอร์เนต, ส่วนควบคุมข้อมูลเสียง และส่วนรองรับโพรโทคอล ICMP, ARP, IP, UDP, RTP, และ SIP ซึ่งเป็นโพรโทคอล หลักสำหรับเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตพื้นฐาน

การทดสอบได้ใช้โปรแกรม SIP User Agent และเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นอีกเครื่องทำงานเป็นเครื่องลูกข่ายปลายทาง และใช้โปรแกรม SCS SIP Proxy ทำงานเป็นเครื่องแม่ข่าย เมื่อทดสอบ เครื่องโทรศัพท์สามารถสร้างเซสชัน, ยกเลิกเซสชัน, ปฏิเสธเซสชัน, และสิ้นสุดเซสชันทั้งในกรณีที่ติดต่อโดยตรง และติดต่อผ่านเครื่องแม่ข่าย ซึ่งเป็นการทำงานพื้นฐานได้อย่างถูกต้อง ในส่วนการเข้ารหัสเสียงเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการเข้ารหัสเสียงแบบ PCM ทั้ง μ-law และ A-law ซึ่งเป็นการเข้ารหัสเสียงพื้นฐานที่เครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตทั่วไปต้องสามารถรองรับได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

##4570316421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: INTERNET TELEPHONY / SESSION INITIATION PROTOCOL

NATTAWORN PANCHINDA : DEVELOPMENT OF INTERNET TELEPHONE PROTOTYPE USING SIP PROTOCOL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL. Ph.D., 118 pp. ISBN: 974-17-4564-8.

Nowadays, the internet telephony is trendy replace the ordinary PSTN, cause the benefit of cost, transmission efficiency and easy for OAM. Many of telecommunication manufacturers have already produced there product to support the internet telephony but the cost is still high and must be import from foreign country, since it is new technology and isn't a mass product. This thesis is development of low cost internet telephone prototype by using 8051 family MCU AT89C51ED2, Ethernet controller RTL8019as, and PCM codec MC145480 as the main hardware and the software development be composed of user interface part, Ethernet chip interface part, voice data control part, and protocol ICMP, ARP, IP, UDP, RTP, and SIP supported part, which are main protocol for basic internet telephone.

Testing is done by using SIP User Agent program and another developed internet telephone operating as remote UA and SCS SIP Proxy program operating as server. The internet telephone prototype can create session, cancel session, reject session, and terminate session on both of direct connection mode and operating with server mode, which are the basic function of internet telephone. In the voice part, internet telephone prototype can support PCM both of μ-law and A-law, which is basic voice codec for internet telephone

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Electrical Engineering Student's Signature .....
Field of Study Electrical Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ของนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา และทุน AUN/SEED-Net Collaborative Research Project ที่ได้เอื้อเฟื้อให้ใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้ความสนับสนุนทางด้านการเงิน รวมทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฑ

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ทฤษฎี 4

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51..... 4

2.1.1 โครงสร้างพื้นฐาน และคุณสมบัติของ MCS-51..... 4

2.1.2 ระบบหน่วยความจำของ MCS-51..... 5

2.1.3 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายใน MCS-51..... 7

2.1.4 ระบบอินเตอร์รัปต์ของ MCS-51..... 11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

2.2 ระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนต และโพรโทคอลที่เกี่ยวข้อง..... 12

2.2.1 ระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนต..... 12

2.2.2 โพรโทคอลอีเทอร์เนต..... 15

2.2.3 โพรโทคอล IP 16

2.2.4 โพรโทคอล UDP 18

2.2.5 โพรโทคอล RTP..... 19

2.2.6 โพรโทคอล ARP 21

2.2.7 โพรโทคอล SIP..... 22

3 การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนต..... 29

3.1 การเลือกอุปกรณ์..... 29

3.2 โครงสร้างเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนต..... 30

3.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน..... 31

3.2.1 ส่วนแสดงผลผ่าน LCD 31

3.2.2 ส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้งานผ่านคีย์แพด 35

3.4 ส่วนติดต่อรับส่งข้อมูลผ่านชิพอีเทอร์เนต RTL8019as..... 38

3.3.1 โครงสร้าง และคุณลักษณะของชิพอีเทอร์เนต RTL8019as..... 38

3.3.2 การเริ่มต้นใช้งานชิพอีเทอร์เนต RTL8019as..... 42

3.3.3 การรับข้อมูลผ่านชิพอีเทอร์เนต RTL8019as..... 43

3.3.4 การส่งข้อมูลผ่านชิพอีเทอร์เนต RTL8019as..... 44

3.5 ส่วนรองรับโพรโทคอล..... 45

3.4.2 การทำงานรองรับข้อมูลที่ได้รับ 46

3.4.3 การสร้างข้อมูลตามมาตรฐานโพรโทคอลต่างๆ..... 51

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่		หน้า
	3.6 ส่วนควบคุมข้อมูลเสียง และติดต่อกับชิพเข้ารหัสเสียงแบบ PCM.....	55
	3.5.1 โครงสร้างพื้นฐานของมอดูลเข้ารหัสเสียง.....	55
	3.5.2 การควบคุมข้อมูลเสียงภายในบัฟเฟอร์ภาคส่ง และภาครับ	60
	3.7 การควบคุมการทำงานโดยรวม.....	63
	3.8 ต้นทุนการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ.....	66
4	การทดสอบเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้น.....	67
	4.1 ข้อกำหนดในการทดสอบ	67
	4.2 การทดสอบการทำงานในโหมดติดต่อโดยตรง.....	69
	4.2.1 การสร้างเซสชัน.....	69
	4.2.2 การยกเลิกการสร้างเซสชัน.....	69
	4.2.3 การปฏิเสธการสร้างเซสชัน.....	70
	4.2.4 การขอสิ้นสุดเซสชัน.....	70
	4.3 การทดสอบการทำงานในโหมดทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่าย	70
	4.3.1 การลงทะเบียนกับเครื่องแม่ข่าย	71
	4.3.2 การสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy	71
	4.3.3 การยกเลิกการสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy	71
	4.3.4 การปฏิเสธการสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy	72
	4.3.5 การสร้างเซสชันโดยใช้เครื่องแม่ข่าย Redirect	72
	4.4 การทดสอบการส่งซ้ำกรณีไม่ได้รับข้อความตอบสนอง.....	73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่		หน้า
5	ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ	74
	5.1 ผลการทดสอบการทำงานในโมดติดต่อโดยตรง	74
	5.1.1 การสร้างเซสชัน	74
	5.1.2 การยกเลิกการสร้างเซสชัน	78
	5.1.3 การปฏิเสธการขอสร้างเซสชัน	81
	5.1.4 การขอสิ้นสุดเซสชัน	83
	5.2 การทดสอบการทำงานในโมดทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่าย	85
	5.2.1 การลงทะเบียนกับเครื่องแม่ข่าย	85
	5.2.2 การสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy	85
	5.2.3 การยกเลิกการสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy	90
	5.2.4 การปฏิเสธการสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy	95
	5.2.5 การสร้างเซสชันโดยใช้เครื่องแม่ข่าย Redirect	99
	5.3 การทดสอบการส่งซ้ำกรณีไม่ได้รับข้อความตอบสนอง	102
	5.4 อภิปรายผลการทดสอบการทำงานในโมดติดต่อโดยตรง	102
	5.5 อภิปรายผลการทดสอบการทำงานในโมดทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่าย	104
	5.6 อภิปรายผลการทดสอบการส่งซ้ำกรณีไม่ได้รับข้อความตอบสนอง	105
6	สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ	106
	6.1 สรุปผลการพัฒนา และทดสอบ	106
	6.2 ปัญหาในการพัฒนา และการแก้ไข	106
	6.2 ข้อเสนอแนะ	108
รายการอ้างอิง		110
ภาคผนวก		111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		118

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบคุณลักษณะของตัวอย่างการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบต่าง ๆ	13
ตารางที่ 2.2	ตัวอย่างการกำหนดค่าโพรโทคอลที่สำคัญในฟิลด์ protocol ของไอพีดาตาแกรม.....	17
ตารางที่ 2.3	ค่าในฟิลด์ PT ซึ่งบ่งบอกการเข้ารหัสเสียง และภาพของข้อมูล.....	20
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบความสามารถของเครื่องลูกข่ายแต่ละชนิด.....	28
ตารางที่ 3.1	ตำแหน่งการทำ Memory map ภายในเครื่องโทรศพท์อินเทอร์เนต.....	30
ตารางที่ 3.2	การทำงานของ LCD เมื่อทำ Memory map.....	32
ตารางที่ 3.3	ข้อมูลคำสั่งของ LCD.....	33
ตารางที่ 3.4	โครงสร้างรีจิสเตอร์ควบคุมตามาตรฐาน NE2000 ภายในชิพ RTL8019as	38
ตารางที่ 3.5	การจำแนกข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนภาครับ.....	46
ตารางที่ 3.6	ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล SIP เฮดเดอร์ และฟิลด์ SDP.....	51
ตารางที่ 3.7	การสร้างฟิลด์ต่าง ๆ ใน IP เฮดเดอร์.....	54
ตารางที่ 3.8	ตำแหน่งการทำ Memory map บนชิพ 8255 และการใช้งาน.....	59
ตารางที่ 3.9	การกำหนดค่ารีจิสเตอร์ควบคุมเพื่อควบคุมการทำงานของ 8255.....	60
ตารางที่ 3.10	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ.....	66
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบการตอบสนองการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent.....	74
ตารางที่ 5.2	ผลการทดสอบการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent.....	75
ตารางที่ 5.3	ผลการทดสอบการสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น.....	77
ตารางที่ 5.4	ผลการทดสอบการตอบสนองการขอยกเลิกการสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent.....	78

ตาราง หน้า

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบการขอยกเลิกการสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent..... 79

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบการยกเลิกเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น..... 80

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent..... 81

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบการรองรับการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent..... 82

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น..... 82

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบการตอบสนองการขอสิ้นสุดเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent..... 83

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบการขอปิดเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent..... 84

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบการสิ้นสุดเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น..... 84

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบการลงทะเบียนกับเครื่องแม่ข่าย..... 85

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบการตอบสนองการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 86

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 87

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบการขอสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 89

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบการตอบสนองการขอยกเลิกการสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 90

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบการยกเลิกการสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 92

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบการยกเลิกการสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 94

ตาราง หน้า

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 95

ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบการรองรับการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 96

ตารางที่ 5.22 ผลการทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 98

ตารางที่ 5.23 ผลการทดสอบการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent โดยใช้เครื่องแม่ข่าย Redirect..... 99

ตารางที่ 5.24 ผลการทดสอบการสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Redirect..... 101

ตารางที่ ผ1 การใช้ EEPROM เก็บข้อมูลในเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนต..... 113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	การต่อคริสตอลเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างหน่วยความจำข้อมูลภายใน MCS-51	6
รูปที่ 2.3	การต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกเพิ่ม	6
รูปที่ 2.4	การเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก	7
รูปที่ 2.5	การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก	7
รูปที่ 2.6	โครงสร้างรีจิสเตอร์ TMOD	8
รูปที่ 2.7	โครงสร้างรีจิสเตอร์ TCON	9
รูปที่ 2.8	โครงสร้างรีจิสเตอร์ T2MOD.....	9
รูปที่ 2.9	โครงสร้างรีจิสเตอร์ T2CON.....	10
รูปที่ 2.10	โครงสร้างรีจิสเตอร์ IE.....	11
รูปที่ 2.11	โครงสร้างรีจิสเตอร์ IP.....	12
รูปที่ 2.12	การเติมข่าวสารการควบคุมให้กับข้อมูลเสียงก่อนส่งผ่านโครงข่ายอินเทอร์เนต.....	13
รูปที่ 2.13	การแก้ไข Jitter ที่เกิดขึ้นกับแพ็กเกตข้อมูลเสียงโดยการบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงที่ภาครับ.....	14
รูปที่ 2.14	โครงสร้างโพรโทคอลสำหรับระบบโทรศัพท์บนโครงข่ายอินเทอร์เนต...	14
รูปที่ 2.15	การใช้งานระบบโทรศัพท์ PSTN และระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนตร่วมกัน	15
รูปที่ 2.16	โครงสร้างเฟรมข้อมูลของโพรโทคอลอีเทอร์เนตชนิด Ethernet_II	15
รูปที่ 2.17	โครงสร้างดาตาแกรมของโพรโทคอลไอพี	16
รูปที่ 2.18	โครงสร้างของฟิลด์ Type Of Service (TOS).....	16
รูปที่ 2.19	โครงสร้างดาตาแกรมของโพรโทคอล UDP.....	18
รูปที่ 2.20	โครงสร้างดาตาแกรมของโพรโทคอล RTP.....	19

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 2.21	โครงสร้างโพรโทคอล ARP ในกรณีที่ใช้รองรับโพรโทคอลไอพีและอีเทอร์เนต	20
รูปที่ 2.22	การหาฮาร์ดแวร์แอดเดรสจากไอพีแอดเดรสที่ทราบโดยใช้โพรโทคอล ARP.....	22
รูปที่ 2.23	การสร้าง และสิ้นสุดเซสชันระหว่างเครื่องลูกข่าย.....	23
รูปที่ 2.24	การสร้าง และสิ้นสุดเซสชันโดยผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy.....	24
รูปที่ 3.1	โครงสร้างโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้น.....	30
รูปที่ 3.2	การทำ Memory map ภายในเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนต.....	30
รูปที่ 3.3	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	31
รูปที่ 3.4	ขาเชื่อมต่อตามมาตรฐานของ LCD.....	31
รูปที่ 3.5	การทำ Memory map เพื่อใช้งาน LCD.....	32
รูปที่ 3.6	การเริ่มต้นใช้งาน LCD.....	34
รูปที่ 3.7 (a)	การต่อคีย์แพด 4x4 เพื่อรับอินพุตจากผู้ใช้งาน.....	35
รูปที่ 3.7 (b)	รหัสของคีย์แพดแบบเมตริกซ์.....	35
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการตรวจสอบคีย์แพด.....	35
รูปที่ 3.9	สถานะการทำงานในโมดปรับตั้งพารามิเตอร์.....	36
รูปที่ 3.10	การใช้คีย์แพดในการสร้างเซสชัน.....	38
รูปที่ 3.11	การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ กับชิพอีเทอร์เนต RTL8019as.....	39
รูปที่ 3.12	โครงสร้างรีจิสเตอร์ CR.....	39
รูปที่ 3.13	โครงสร้างรีจิสเตอร์ ISR.....	40
รูปที่ 3.14	โครงสร้างรีจิสเตอร์ DCR.....	40
รูปที่ 3.15	โครงสร้างรีจิสเตอร์ TCR.....	40
รูปที่ 3.16	โครงสร้างรีจิสเตอร์ RCR.....	41
รูปที่ 3.17	การ Initialize ชิพอีเทอร์เนต.....	42

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 3.18	โครงสร้างของข้อมูลที่ได้รับจากชิพอีเทอร์เนตผ่าน DMA พอร์ต.....	43
รูปที่ 3.19	การควบคุมเพื่อรับข้อมูลจากชิพอีเทอร์เนต.....	44
รูปที่ 3.20	การควบคุมการส่งข้อมูลผ่านชิพอีเทอร์เนต.....	45
รูปที่ 3.21	รูปแบบโครงสร้างข้อมูลที่ส่งให้ชิพอีเทอร์เนตผ่านพอร์ต DMA.....	45
รูปที่ 3.22	การรองรับโพรโทคอล ARP ในภาครับ.....	46
รูปที่ 3.23	แผนผังสถานการณ์ทำงานเพื่อรองรับโพรโทคอล SIP.....	48
รูปที่ 3.24	ขั้นตอนการตรวจสอบ SIP เฮดเดอร์ และ SDP ภายในข้อความ SIP.....	50
รูปที่ 3.25	การใช้ไทเมอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการส่งซ้ำ.....	55
รูปที่ 3.26	โครงสร้างมอดูลเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM.....	55
รูปที่ 3.27	ความสัมพันธ์ของการรับส่งข้อมูลกับสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้ชิพ MC145480.....	56
รูปที่ 3.28	การสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อใช้กับชิพเข้ารหัสเสียง.....	57
รูปที่ 3.29	สัญญาณนาฬิกาที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา.....	57
รูปที่ 3.30	สัญญาณบนชิพ S/P 74HC164.....	58
รูปที่ 3.31	สัญญาณบนชิพ P/S 74HC165.....	59
รูปที่ 3.32	การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับมอดูลเข้ารหัสสัญญาณเสียง.....	60
รูปที่ 3.33	การบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงภายในหน่วยความจำภายนอก.....	61
รูปที่ 3.34	การควบคุมการส่งข้อมูลเสียงให้ชิพอีเทอร์เนต.....	61
รูปที่ 3.35	การควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างหน่วยความจำ กับมอดูลเข้ารหัสเสียง	62
รูปที่ 3.36	การควบคุมการรับข้อมูลเสียงจากชิพอีเทอร์เนต.....	63
รูปที่ 3.37	การควบคุมการทำงานโดยรวม.....	64
รูปที่ 3.38	การควบคุม Buzzer.....	65
รูปที่ 3.39	สัญญาณควบคุม Buzzer เพื่อใช้เป็นกระดิ่งเตือนผู้ใช้งานเมื่อมีสายเข้า....	65

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.1 การทดสอบการทำงานในโมดติดต่อโดยตรงภายในโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นเดียวกัน..... 67

รูปที่ 4.2 การทดสอบการทำงานในโมดติดต่อโดยตรงข้ามโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่น... 68

รูปที่ 4.3 การทดสอบการทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่ายภายในโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นเดียวกัน..... 68

รูปที่ 4.4 การทดสอบการทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่ายข้ามโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่น.... 68

รูปที่ 4.5 การทดสอบการสร้างเซสชัน..... 69

รูปที่ 4.6 การทดสอบการขอยกเลิกการสร้างเซสชัน..... 69

รูปที่ 4.7 การทดสอบการปฏิเสธการสร้างเซสชัน..... 70

รูปที่ 4.8 การทดสอบการขอสิ้นสุดเซสชัน..... 70

รูปที่ 4.9 การทดสอบการลงทะเบียนกับเครื่องแม่ข่าย..... 71

รูปที่ 4.10 การทดสอบการสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 71

รูปที่ 4.11 การทดสอบการยกเลิกการสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 72

รูปที่ 4.12 การทดสอบการปฏิเสธการสร้างเซสชันผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 72

รูปที่ 4.13 การทดสอบการสร้างเซสชันโดยใช้เครื่องแม่ข่าย Redirect..... 73

รูปที่ 4.14 การทดสอบการส่งซ้ำ..... 73

รูปที่ 5.1 การทดสอบการตอบสนองการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent..... 74

รูปที่ 5.2 การทดสอบการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent..... 75

รูปที่ 5.3 การทดสอบการสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น..... 76

รูปที่ 5.4 การทดสอบการตอบสนองการขอยกเลิกการสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent..... 78

รูปที่ 5.5 การทดสอบการขอยกเลิกการสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent.. 79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 5.6 การทดสอบการยกเลิกการสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น 80

รูปที่ 5.7 การทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent. 81

รูปที่ 5.8 การทดสอบการรองรับการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent..... 81

รูปที่ 5.9 การทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น 82

รูปที่ 5.10 การทดสอบการตอบสนองการขอสิ้นสุดเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent..... 83

รูปที่ 5.11 การทดสอบการขอปิดเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent..... 84

รูปที่ 5.12 การทดสอบการสิ้นสุดเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้น..... 84

รูปที่ 5.13 การทดสอบการลงทะเบียนกับเครื่องแม่ข่าย..... 85

รูปที่ 5.14 การทดสอบการตอบสนองการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 85

รูปที่ 5.15 การทดสอบการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 87

รูปที่ 5.16 การทดสอบการขอสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 89

รูปที่ 5.17 การทดสอบการตอบสนองการขอยกเลิกการสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 90

รูปที่ 5.18 การทดสอบการยกเลิกการสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 92

รูปที่ 5.19 การทดสอบการยกเลิกการสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 93

รูปที่ 5.20 การทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 95

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 5.21 การทดสอบการรองรับการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันจากโปรแกรม SIP User Agent ผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 96

รูปที่ 5.22 การทดสอบการปฏิเสธการขอสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Proxy..... 97

รูปที่ 5.23 การทดสอบการขอสร้างเซสชันกับโปรแกรม SIP User Agent โดยใช้เครื่องแม่ข่าย Redirect..... 99

รูปที่ 5.24 การทดสอบการสร้างเซสชันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นผ่านเครื่องแม่ข่าย Redirect..... 100

รูปที่ 5.25 ผลการทดสอบการส่งซ้ำกรณีไม่ได้รับข้อความตอบสนอง..... 102

รูปที่ ผ1 โครงสร้างรีจิสเตอร์ EECON..... 112

รูปที่ ผ2 การใช้งาน EEPROM ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2..... 113

รูปที่ ผ3 โปรแกรม FLIP ของบริษัท Atmel..... 114

รูปที่ ผ4 ตำแหน่งปุ่ม RESET และ PSEN บนเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนต..... 115

รูปที่ ผ5 หน้าต่างเลือกรุ่นไมโครคอนโทรลเลอร์..... 115

รูปที่ ผ6 หน้าต่างควบคุมการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม..... 116

รูปที่ ผ7 โปรแกรม FLIP เมื่อเชื่อมต่อกับเครื่องโทรศัพท์ได้แล้ว..... 116

รูปที่ ผ8 การแสดงการทำงานของโปรแกรม FLIP..... 117

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย