การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบที่ใช้โพรโทคอล SIP
DEVELOPMENT OF INTERNET TELEPHONE USING SIP PROTOCOL

วาทิต เบญจพลกุล[1] และ ณัฐวร ปานจินดา[2]
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ ทั้งนี้เพื่อตอบสนองเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนตซึ่งมีแนวโน้มที่จะเข้ามาแทนที่ระบบโทรศัพท์ PSTN ที่ใช้กันในปัจจุบัน โดยในการพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 รุ่น AT89C51ED2, ชิพควบคุมอีเทอร์เนต RTL8019as และชิพเข้ารหัสเสียง MC145480 เป็นส่วนประกอบหลัก ในส่วนซอฟท์แวร์ได้พัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้, ส่วนติดต่อกับชิพอีเทอร์เนต, ส่วนควบคุมข้อมูลเสียง และส่วนรองรับโพรโทคอล ICMP, ARP, IP, UDP, RTP, และ SIP ซึ่งเป็นโพรโทคอลหลักสำหรับเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตพื้นฐาน ในการทดสอบผู้พัฒนาได้ใช้โปรแกรม SIP User Agent และเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นอีกเครื่องทำงานเป็นเครื่องลูกข่ายปลายทาง และใช้โปรแกรม SCS SIP Proxy ทำงานเป็นเครื่องแม่ข่าย ซึ่งเมื่อได้ทดสอบ เครื่องโทรศัพท์สามารถสร้างเซสชัน, ยกเลิกเซสชัน, ปฏิเสธเซสชัน, และสิ้นสุดเซสชันทั้งในกรณีที่ติดต่อโดยตรงและติดต่อผ่านเครื่องแม่ข่าย ซึ่งเป็นการทำงานพื้นฐานได้อย่างถูกต้อง ในส่วนการเข้ารหัสเสียงเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการเข้ารหัสเสียงแบบ PCM ทั้ง μ-law และ A-law ซึ่งเป็นการเข้ารหัสเสียงพื้นฐานที่เครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตทั่วไปต้องสามารถรองรับได้ การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบในงานวิจัยนี้ สามารถนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่มีต้นทุนต่ำเพื่อใช้งานจริงต่อไป

ABSTRACT

This research presents 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 prototype internet telephone 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, prototype internet telephone can support PCM both of μ-law and A-law, which is basic voice codec for internet telephone. The development of low cost internet telephone prototype in this research can be a guideline for further development of low cost internet telephone for actual use.

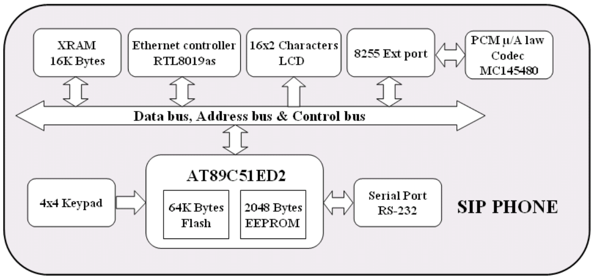
1. บทนำ

ปัจจุบันอินเทอร์เนตได้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางมากขึ้น จึงทำให้เกิดการพัฒนาโครงข่ายและการประยุกต์ใช้งาน ให้เป็นโครงข่ายพื้นฐานที่สามารถรองรับการสื่อสารรูปแบบต่างๆ ได้หลากหลายเช่น การประชุมทางไกล การกระจายภาพและเสียง รวมไปถึงระบบโทรศัพท์บนโครงข่ายอินเทอร์เนต หรือ Internet Telephony [1] ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเข้ามาแทนที่ระบบโทรศัพท์ PSTN ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านค่าใช้จ่าย, ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณ, ความสะดวกในการใช้งาน และบำรุงรักษา อย่างไรก็ตามคุณภาพของการให้บริการและฟังก์ชันการทำงานของระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนตเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา ซึ่งขึ้นอยู่ปัจจัยหลายอย่างด้วยกันเช่น การเข้ารหัสสัญญาณเสียง, การสูญหายของแพ็กเกต, การประวิงทางเวลาของแพ็กเกต, โครงสร้างของโครงข่าย รวมไปถึงโพรโทคอลที่ใช้ควบคุมซิกแนลลิง [2] ซึ่งในปัจจุบันโพรโทคอลที่นิยมใช้มี 2 ชนิดด้วยกันคือ H.323 [3] และ SIP (Session Initiation Protocol) [4], [5] โพรโทคอล H.323 ได้ถูกพัฒนาขึ้นก่อน แต่เนื่องจากเริ่มแรก H.323 มีแนวทางในการพัฒนาเพื่อใช้ในโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่น หรือ LAN (Local Area Network) แล้วค่อยถูกปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถทำงานบนโครงข่ายอินเทอร์เนต ซึ่งต้องเพิ่มฟังก์ชันต่างๆ มากมาย และทำให้ H.323 มีความซับซ้อนมาก ต่างกับ SIP ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้ทำงานบนโครงข่ายอินเทอร์เนตโดยตรง ทำให้ SIP มีความซับซ้อนน้อยกว่า, สามารถเพิ่มเติมคุณลักษณะของโพรโทคอลได้ง่าย และสามารถทำงานบนโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ได้ดีกว่า H.323 ดังนั้น SIP จึงมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้เป็นโพรโทคอลซิกแนลลิงหลักสำหรับระบบโทรศัพท์อินเทอร์เนตในอนาคต ปัจจุบันเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่รองรับโพรโทคอล SIP นั้นได้มีจำหน่ายแล้ว แต่ยังมีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการผลิตเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นทุนต่ำเพื่อนำไปใช้งานจริงต่อไป

2. การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ

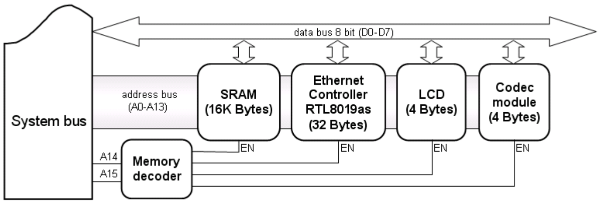
2.1 โครงสร้างเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ

ในการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2 ตระกูล MCS-51 ของบริษัท Atmel เป็นส่วนประมวลผลหลัก โดยทำงานร่วมกับชิพควบคุมอีเทอร์เนต RTL8019as ของบริษัท Realtek และชิพเข้ารหัสเสียง PCM μ-law, A-law ของบริษัท Motorola โดยมี LCD เป็นส่วนแสดงผล และคีย์แพดเป็นตัวรับข้อมูลจากผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้น

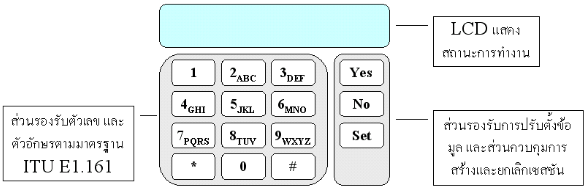
เพื่อให้ใช้พอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และง่ายต่อการควบคุมอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ จึงได้ออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับส่วนควบคุมอีเทอร์เนต, ส่วนแสดงผล LCD, และส่วนเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ memory map โดยใช้สายสัญญาณข้อมูล, สายสัญญาณกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำ, และสายสัญญาณควบคุมร่วมกัน และใช้ชิพ 74HC135 เข้ารหัสตำแหน่งหน่วยความจำบิต A14, A15 เพื่อแยกตำแหน่งของอุปกรณ์แต่ละส่วนออกจากกันดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทำ Memory map ภายในเครื่อง โทรศัพท์

2.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานประกอบไปด้วยส่วนแสดงสถานะการทำงานผ่าน LCD (Liquid Crystal Display) และส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้งานผ่านคีย์แพดตามมาตรฐาน ITU E.161 เพื่อรองรับข้อมูลอักขระสำหรับการกำหนด SIP URL ของ เครื่องลูกข่ายปลายทาง และควบคุมการสร้างและยกเลิกเซสชัน แสดงในรูปที่ 3

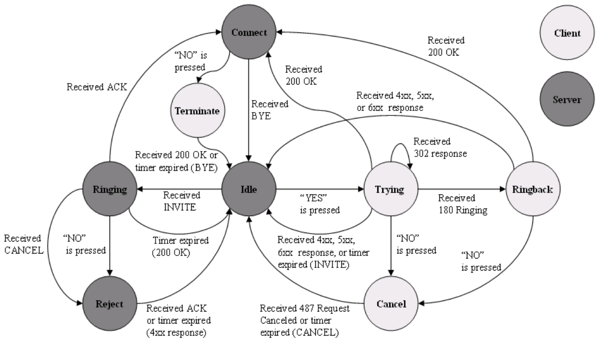


รูปที่ 3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน

2.3 ส่วนรองรับโพรโทคอล

ในส่วนรองรับโพรโทคอลทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล, สร้างข้อมูล, และควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามมาตรฐานโพรโทคอล ARP (Address Resolution Protocol), IP (Internet Protocol), UDP (User Datagram Protocol), RTP (Real Time Protocol), และ SIP (Session Initiation Protocol) ตามลำดับ

เครื่องโทรศัพท์ต้องทำงานแบบมีสถานะ และต้องสามารถทำงานเป็นได้ทั้งเครื่องลูกข่าย และเครื่องแม่ข่าย โดยมีสถานะการทำงานคร่าว ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4



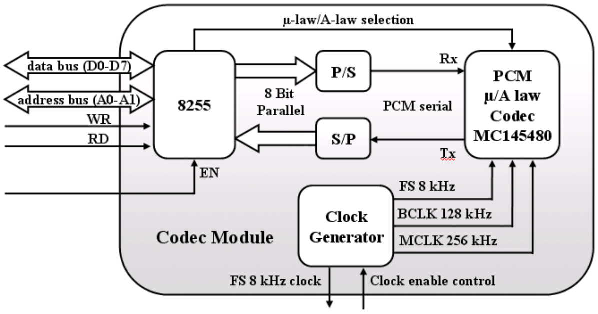
รูปที่ 4 แผนผังสถานะการทำงานของโพรโทคอล SIP

การเปลี่ยนสถานะของเครื่องโทรศัพท์นั้นขึ้นอยู่กับ การกดคีย์แพดบนเครื่องโทรศัพท์ และข้อมูล SIP ที่ได้รับจากปลายทาง จะเห็นได้ว่าเครื่องโทรศัพท์ใช้ Method ภายใน Request-Line และ Status-Code ภายใน Status-Line ของข้อความ SIP ที่ได้รับมาเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมสถานะของเครื่องโทรศัพท์ แต่ในการสร้างเซสชันเครื่องโทรศัพท์จำเป็นต้องทราบพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่สำคัญเช่น เซสชันไอดี, SIP URL ปลายทาง, ไอพีแอดเดรสเครื่องลูกข่ายปลายทาง, พอร์ตที่ใช้ในการรับข้อมูลเสียง, ชนิดการเข้ารหัสเสียงที่จะใช้ในเซสชัน ดังนั้นในบางกรณีไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบภายในเฮดเดอร์ SIP และข้อความ SDP (Session Description Protocol) [6] ด้วย

ในการพัฒนานี้ได้ใช้โพรโทคอล UDP [7] ซึ่งเป็นโพรโทคอลระดับชั้นเคลื่อนย้ายที่ไม่รับประกันการสูญหายของแพ็กเกต ดังนั้นเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับข้อมูลที่ส่ง ในการส่งข้อมูลที่ต้องการการตอบสนอง (ข้อมูลร้องขอ ARP, ข้อความ INVITE, CANCEL, BYE, REGISTER, 200 OK, 486 Busy Here, และ 487 Request Canceled) จึงได้ใช้อินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 (Timer 1) จับเวลา และควบคุมการส่งซ้ำด้วยวิธี exponential backoff โดยใช้ช่วงเวลาส่งซ้ำครั้งแรก T1 = 500 ms และช่วงเวลาส่งซ้ำครั้งสุดท้าย T2 = 4s ในกรณีที่ส่งซ้ำครั้งสุดท้ายแล้วยังไม่ได้รับการตอบสนอง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะปิดไทเมอร์ 1 เพื่อยกเลิกการส่งซ้ำ และกลับมาอยู่ในสถานะ Idle

2.4 ส่วนควบคุมข้อมูลเสียง และติดต่อกับชิพเข้ารหัสเสียง

มอดูลเข้ารหัสสัญญาณเสียง PCM ประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา, ชิพเข้ารหัสสัญญาณเสียง PCM, วงจรแปลงการส่งข้อมูลอนุกรมเป็นขนาน (S/P), วงจรแปลงการส่งข้อมูลขนานเป็นอนุกรม (P/S), และชิพขยายพอร์ต 8255 ดังแสดงในรูปที่ 5

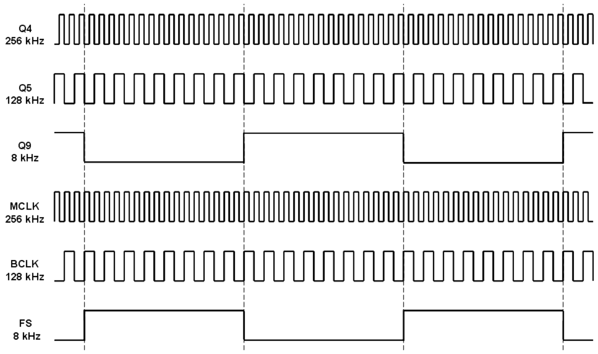


รูปที่ 5 โครงสร้างมอดูลเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบ PCM

2.4.1 การติดต่อกับชิพเข้ารหัสเสียง

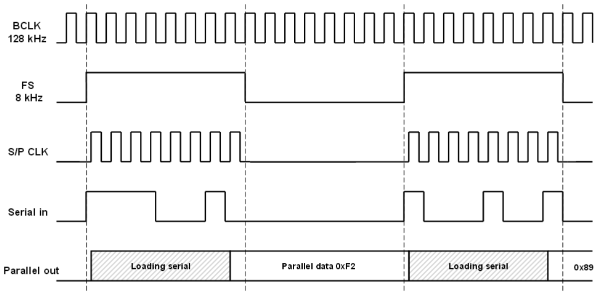
เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมกับชิพ MC145480 ได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องใช้เทคนิคการแปลง S/P และ P/S เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับส่งข้อมูลแบบขนาน 8 บิตต่อทิศทางแทน ทำให้ต้องใช้พอร์ตถึง 16 พอร์ตแยกต่างหากจากสายสัญญาณข้อมูล, สายสัญญาณกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำ, และสายสัญญาณควบคุม ซึ่งพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นไม่เพียงพอ จึงต้องใช้ชิพ 8255 ซึ่งเป็นชิพขยายพอร์ต I/O เข้ามาเพิ่มด้วย

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในมอดูลเข้ารหัสสัญญาณเสียงทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกาความถี่ 8, 128, และ 256 kHz ใช้ในการทำงานของชิพเข้ารหัสสัญญาณเสียง, กระบวนการแปลง S/P, กระบวนการแปลง P/S, และซิงโครไนซ์เพื่อรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการสร้างสัญญาณนาฬิกาได้ใช้ชิพ 74HC4060 ซึ่งเป็นชิพวงจรนับแบบไบนารี 14 บิต (14 state binary counter) ภายในชิพมีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ซึ่งทำให้สามารถต่อกับคริสตอลได้โดยตรง โดยในการพัฒนาได้เลือกใช้คริสตอลความถี่ 4.096 MHz เพื่อให้สามารถหารความถี่ที่ต้องการได้อย่างลงตัว โดยจะได้สัญญาณนาฬิกา 256 kHz จากเอาต์พุต Q4 (หาร 16), สัญญาณนาฬิกา 128 kHz จากเอาต์พุต Q5 (หาร 32), และสัญญาณนาฬิกา 8 kHz จากเอาต์พุต Q9 (หาร 512) ตามลำดับ แต่เนื่องจากสัญญาณนาฬิกาที่ได้มีการซิงโครไนซ์ที่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงกว่า แต่ชิพเข้ารหัสเสียงต้องใช้สัญญาณนาฬิกาที่มีการซิงโครไนซ์ ช่วงขอบขาขึ้น ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณที่ได้มาผ่านชิพ 74HC04 ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์กลับบิตสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณนาฬิกาที่มีรูปแบบการซิงโครไนซ์ที่ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 6



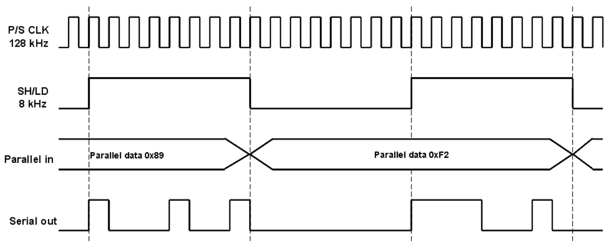
รูปที่ 6 สัญญาณนาฬิกาที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

การแปลง S/P ในการพัฒนาได้ใช้ชิพ 74HC164 ตัวชิพประกอบด้วยพอร์ตอินพุตแบบอนุกรม , พอร์ตเอาต์พุตแบบขนาน 8 บิต, พอร์ตรับสัญญาณนาฬิกา, และพอร์ตรับสัญญาณควบคุม ในการใช้งานต้องป้อนสัญญาณนาฬิกาเพื่อควบคุมอัตราการรับข้อมูลแบบอนุกรม โดยตัวชิพจะเก็บข้อมูลที่ได้รับจากพอร์ตอินพุตอนุกรมเข้ามาเก็บในชิฟต์รีจิสเตอร์พร้อมกับเลื่อนข้อมูลเก่าไปยังรีจิสเตอร์ถัดไปครั้งละบิต ทุก ๆ ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นในการแปลงข้อมูลอนุกรมที่ได้จากชิพเข้ารหัสเสียงให้อยู่ในรูปของข้อมูลขนานนั้น จึงต้องป้อนสัญญาณนาฬิกาความถี่ 128 kHz ซึ่งเท่ากับความถี่ของสัญญาณนาฬิกา BCLK เพื่อให้ชิพ 74HC164 รับข้อมูลอนุกรมเข้ามาเก็บในชิฟต์รีจิสเตอร์ครั้งละบิตได้อย่างถูกต้อง และเพื่อเป็นการสะดวกในการอ่านค่าข้อมูลแบบขนาน 8 บิต จากชิพ 74HC164 ผ่านชิพ 8255 จึงจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้กับชิพ 74HC164 เฉพาะช่วงที่สัญญาณ FS มีลอจิกเป็น ‘1’ เพื่อให้ตัวชิพ 74HC164 นั้นค้างค่าข้อมูลออกทางพอร์ตขนานในช่วงเวลาที่สัญญาณ FS มีลอจิกเป็น ‘0’ ไว้ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งสัญญาณนาฬิกา S/P CLK สามารถสร้างได้จากการนำสัญญาณ BCLK มาแอนด์ (AND) กับสัญญาณ FS นั่นเอง



รูปที่ 7 สัญญาณบนชิพ S/P 74HC164

การแปลง P/S ในการพัฒนาได้ใช้ชิพ 74HC165 ตัวชิพประกอบด้วยพอร์ตอินพุตแบบขนาน 8 บิต, พอร์ตเอาต์พุตอนุกรม, พอร์ตรับสัญญาณนาฬิกา, และพอร์ตรับสัญญาณควบคุม ในการใช้เมื่อระดับสัญญาณที่พอร์ต SH/LD (Shift/Load) มีลอจิกเป็น ‘0’ ชิพจะอ่านค่าจากพอร์ตขนาน 8 บิตเข้ามาเก็บในชิฟต์รีจิสเตอร์ และเมื่อสัญญาณ SH/LD มีระดับลอจิกเป็น ‘1’ ชิพจะส่งข้อมูลในชิฟต์รีจิสเตอร์นั้นออกไปทางพอร์ตอนุกรมครั้งละบิต ทุก ๆ ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับชิพนั้น ดังนั้นในการใช้งานเพื่อให้ชิพ 74HC165 ส่งข้อมูลให้กับชิพเข้ารหัสเสียงได้อย่างถูกต้อง จึงต้องใช้สัญญาณนาฬิกา BCLK ความถี่ 128 kHz ป้อนเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวชิพ 74HC164 และใช้สัญญาณ FS 8 kHz เป็นสัญญาณควบคุม SH/LD ดังแสดงในรูปที่ 8

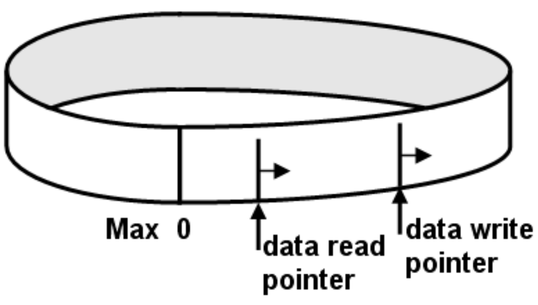


รูปที่ 8 สัญญาณบนชิพ P/S 74HC165

2.4.2 การควบคุมข้อมูลเสียง

การรับส่งข้อมูลเสียงภายในเครื่องโทรศัพท์นั้น มอดูลเข้ารหัสเสียงจะไม่ได้รับส่งข้อมูลกับชิพอีเทอร์เนตโดยตรง ในภาคส่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลเสียงที่ได้จากมอดูลเข้ารหัสสัญญาณเสียงมาเก็บภายในหน่วยความจำภายนอกเพื่อรอให้ครบ 160 ไบต์ก่อน จากนั้นจึงนำไปเข้าแพ็กเกต UDP/IP แล้วจึงส่งไปให้ชิพอีเทอร์เนต และเช่นเดียวกันในภาครับไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลเสียงที่ได้จากชิพอีเทอร์เนตมาเก็บในบัฟเฟอร์ภายในหน่วยความจำภายนอกเพื่อลดผลของ Jitter ก่อนแล้วจึงค่อยส่งข้อมูลเสียงนั้นไปให้มอดูลถอดรหัสเสียงต่อไป ดังนั้นการควบคุมการรับส่งข้อมูลเสียงภายในเครื่องโทรศัพท์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การรับส่งข้อมูลเสียงระหว่างชิพอีเทอร์เนต RTL8019as กับหน่วยความจำข้อมูล และการรับส่งข้อมูลเสียงระหว่างหน่วยความจำข้อมูลกับมอดูลเข้ารหัสเสียง

เนื่องจากข้อมูลเสียงนั้นเป็นข้อมูลที่มีการรับส่งอย่างต่อเนื่อง ในการพัฒนาจึงได้ใช้การบัฟเฟอร์แบบเป็นวง เพื่อให้การควบคุมการอ่าน และการเขียนข้อมูลเสียงภายในบัฟเฟอร์ทำได้สะดวก และต่อเนื่อง ในการเขียนข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์จะเขียนข้อมูลลงบัฟเฟอร์พร้อมกับปรับค่าตัวชี้ตำแหน่งที่ได้เขียนไล่ไปเรื่อย ๆ จนเต็ม แล้ววนกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้นใหม่อีกครั้งซ้ำดังนี้ไปเรื่อย ๆ ในการอ่านก็เช่นกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์พร้อมกับปรับค่าตัวชี้ตำแหน่งที่ได้อ่านไล่ตามการเขียนวนไปเรื่อยดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 การบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงภายในหน่วยความจำภายนอก

สำหรับการควบคุมข้อมูลเสียงระหว่างหน่วยความจำภายนอก กับมอดูลเข้ารหัสเสียงนั้น เนื่องจากภายในมอดูลเข้ารหัสเสียงมีการทำงานเป็นแบบซิงโครไนซ์ทั้งหมด ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงต้องควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างหน่วยความจำภายนอก กับชิพ 8255 เป็นจังหวะซิงโครไนซ์กับตัวมอดูลด้วย ซึ่งในการซิงโครไนซ์นี้ ได้ใช้ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา FS ที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 8 kHz เป็นสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก เพื่อควบคุมจังหวะการอ่าน และเขียนข้อมูลลงพอร์ต B และ A ของชิพ 8255 ตามลำดับ ทำให้ใน ภาคส่งข้อมูลเสียงที่ได้รับจากพอร์ต B ของชิพ 8255 จะถูกเขียนลงในวงบัฟเฟอร์ขาส่งครั้งละไบต์ อย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราข้อมูล 8,000 ไบต์/วินาที ส่วนในภาครับข้อมูลเสียงจะถูกอ่านจากวงบัฟเฟอร์ขารับ เพื่อส่งออกไปที่พอร์ต A ของชิพ 8255 ครั้งละไบต์ อย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราข้อมูล 8,000 ไบต์/วินาทีเช่นกัน

ในการควบคุมข้อมูลเสียงระหว่างหน่วยความจำกับชิพอีเทอร์เนต ทางด้านภาคส่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคอยตรวจสอบจำนวนข้อมูลเสียงภายในบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงภาคส่ง โดยถ้ามีข้อมูลเสียงจากมอดูลเข้ารหัสเสียงเข้ามาครบ 160 ไบต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะย้ายข้อมูลเสียง 160 ไบต์นั้นไปไว้ที่บัฟเฟอร์ภาคส่ง และเติมข่าวสารควบคุมให้กับข้อมูลเสียงนั้นก่อนซึ่งได้แก่เฮดเดอร์ RTP [8], เฮดเดอร์ UDP, เฮดเดอร์ IP และเฮดเดอร์อีเทอร์เนต แล้วจึงค่อยส่งเฟรมที่ได้สร้างขึ้นนั้นไปให้ชิพอีเทอร์เนตเพื่อส่งไปยังปลายทางต่อไป

ในการรับข้อมูลเสียงจากชิพควบคุมอีเทอร์เนต เนื่องจากในการส่งข้อมูลเสียงผ่านโครงข่ายอินเทอร์เนต แพ็กเกตแต่ละแพ็กเกตจะใช้เวลาในการเดินทางผ่านโครงข่ายที่แตกต่างกัน ทำให้ข้อมูลเสียงที่ได้รับที่ปลายทางมี Jitter และเกิดเสียงที่เล่นออกไปแบบไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้น ในทางปฏิบัติ สามารถลด Jitter ที่เกิดขึ้นนี้ได้โดยการบัฟเฟอร์ข้อมูลที่รับได้ ช่วงเวลาหนึ่งก่อนแล้วจึงค่อยเล่นข้อมูลนั้นออกไป โดยถ้ายิ่งบัฟเฟอร์ข้อมูลมากขึ้นเพียงไรก็ยิ่งสามารถลด Jitter ได้มากขึ้นเพียงนั้น แต่จะเกิดการประวิงทางเวลาขึ้น ซึ่งตามมาตรฐาน G.114 ของทาง ITU-T ได้กำหนดการประวิงทางเวลามากที่สุดที่ยอมรับได้ของการสนทนาเสียงแบบเวลาจริงไว้ที่ 150 ms ดังนั้นในการพัฒนา เมื่อเริ่มเปิดเซสชัน และได้รับข้อมูลเสียงจากชิพอีเทอร์เนต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะบัฟเฟอร์ข้อมูลที่ได้รับจากชิพอีเทอร์เนตไว้ในหน่วยความจำก่อน 320 ไบต์ เมื่อครบจึงค่อยเปิดวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เพื่อส่งข้อมูลนั้นออกไปให้มอดูลเข้ารหัสสัญญาณเสียง ซึ่งการบัฟเฟอร์ข้อมูลนี้ทำให้เกิดการประวิงเวลาขึ้น 40 ms

ในการรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริง นอกจากปัญหา Jitter แล้ว ยังเกิดปัญหาที่เกิดจากการขยับเลื่อนของสัญญาณนาฬิกา (Clock drift) ระหว่างต้นทาง กับปลายทาง ซึ่งทำให้อัตราข้อมูลเสียงที่ได้รับกับอัตราการเล่นข้อมูลเสียงไม่เท่ากัน มีผลให้การอ่าน และการเขียนข้อมูลในวงบัฟเฟอร์เกิดการซ้อนทับกันได้ ในการพัฒนาได้แก้ปัญหาโดย เมื่อได้รับข้อมูลเสียงจากชิพอีเทอร์เนตจนครบรอบวงบัฟเฟอร์ 640 ไบต์ทุกรอบ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบตำแหน่งตัวชี้ข้อมูลเสียงที่

ได้อ่านไปว่ายังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (160-480) หรือไม่ ถ้าตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลเสียงที่ได้อ่านไปไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แสดงว่าเกิดการขยับเลื่อนของสัญญาณนาฬิกามาก และอาจเกิดการซ้อนทับของข้อมูลภายในบัฟเฟอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะปรับตัวชี้ข้อมูลที่อ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ไบต์ที่ 320 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ถูกต้องอีกครั้ง

2.4.3 การควบคุมการทำงานโดยรวม

ในการควบคุมโดยรวมไมโครคอนโทรลเลอร์จะวนตรวจสอบ อุปกรณ์ภายนอก และตัวแปรที่ใช้ระบุสถานการณ์การทำงานของเครื่องโทรศัพท์ พร้อมกับตอบสนองผลที่ได้จากการตรวจสอบนั้นๆ ไปเรื่อยๆ และเมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์จากภายนอก หรืออินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไปทำงานรองรับการเกิดอินเตอร์รัปต์นั้นก่อนจนเสร็จ แล้วจึงกลับมาวนตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอก และตัวแปรที่ใช้ระบุการทำงานต่อไป

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้กับเครื่องโทรศัพท์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะ Initialize รีจิสเตอร์ SFR, LCD, และชิพอีเทอร์เนตให้พร้อมใช้งาน จากนั้นจึงโหลดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เก็บไว้ใน EEPROM ลงในหน่วยความจำ แล้วค่อยส่งข้อมูลร้องขอ ARP เพื่อค้นหาฮาร์ดแวร์แอดเดรสของเกตเวย์ และของเครื่องแม่ข่าย เมื่อ Initialize ฮาร์ดแวร์ และโหลดข้อมูลเรียบร้อยแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบพอร์ต 3.2 ซึ่งต่ออยู่กับขาสัญญาณอินเตอร์รัปต์ของชิพอีเทอร์เนตนั้น เพื่อตรวจจับการรับข้อมูลจากภายนอกผ่านชิพอีเทอร์เนต โดยถ้าพอร์ต 3.2 มีลอจิกเป็น ‘1’ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจากชิพอีเทอร์เนต และนำข้อมูลที่ได้รับมาจำแนก และประมวลผลเพื่อตอบสนองข้อมูลนั้นต่อไป จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบสถานะของเครื่อง เพื่อควบคุมพอร์ต C ที่ 2 ของชิพ 8255 ซึ่งต่อเข้ากับ Buzzer และใช้เป็นกระดิ่งสำหรับเตือนผู้ใช้งานเมื่อมีสายเรียกเข้า

ในกรณีที่เครื่องอยู่ในสถานะ Ringing ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุม Buzzer ให้เป็นเสียงกระดิ่งดัง 1.5 วินาที หยุด 3.5 วินาทีสลับกันไปเรื่อย ๆ โดยเสียงกระดิ่งที่ดังแต่ละครั้งจะประกอบไปด้วยเสียงดัง และหยุดสลับกันไปทุก ๆ 60 msec ในการควบคุมแต่ละครั้งไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้เวลาเพียงรอบละ 60 msec ควบคุม Buzzer ซึ่งเท่ากับช่วงเวลาเสียงดังหยุดสลับกัน แล้วไปตรวจสอบอย่างอื่นต่อทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเครื่องอยู่ในสถานะ Ringing เครื่องโทรศัพท์อาจได้รับข้อมูลจากชิพอีเทอร์เนต หรือผู้ใช้งานอาจกดคีย์แพดซึ่งมีผลต่อการควบคุมเซสชันได้

เมื่อตรวจสอบสถานะของเครื่องเรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบจำนวนข้อมูลเสียงภายในบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงภาคส่ง ในกรณีที่มีการเขียนข้อมูลเสียงใหม่ครบ 160 ไบต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะย้ายข้อมูลเสียงทั้ง 160 ไบต์จากบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงมาใส่ลงในบัฟเฟอร์ภาคส่ง แล้วเพิ่มเฮดเดอร์ RTP, UDP, IP, และ Ethernet แล้วค่อยส่งข้อมูลไปให้ชิพอีเทอร์เนต และควบคุมให้ชิพอีเทอร์เนตส่งข้อมูลนั้นออกไป จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบคีย์แพด โดยถ้ามีการกดคีย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตอบสนองการกดคีย์นั้นตามคีย์ที่ได้ถูกกด และสถานะ

ของเครื่องในขณะนั้น เมื่อตรวจสอบการกดคีย์เรียบร้อยแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบตัวแปรซึ่งใช้นับจำนวนการเกิดอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 ซึ่งใช้เป็นไทเมอร์สำหรับการส่งซ้ำ โดยถ้าตัวแปรที่ใช้นับจำนวนการเกิดอินเตอร์รัปต์มีค่าเกินค่าที่กำหนดไว้ตามกฎ exponential backoff ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลภายในบัฟเฟอร์ภาคส่งไปให้ชิพอีเทอร์เนต และควบคุมให้ชิพอีเทอร์เนตส่งข้อมูลนั้นซ้ำไปยังปลายทางอีกครั้ง เมื่อตรวจสอบตัวแปรซึ่งใช้นับจำนวนการเกิดอินเตอร์รัปต์เรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกลับไปตรวจสอบพอร์ต 3.2 และไล่วนตรวจสอบสถานะของเครื่อง, จำนวนข้อมูลเสียงภายในบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงภาคส่ง, คีย์แพด, และตัวแปรซึ่งใช้นับจำนวนการเกิดอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 วนซ้ำไปเรื่อย ๆ ต่อไป

2.5 ต้นทุนการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ

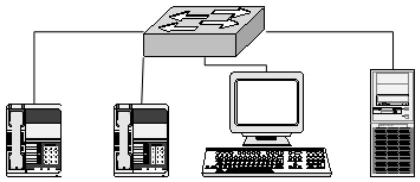
การพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบ ได้ใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้จากภายในประเทศ โดยมีต้นทุนในการทำเครื่องต้นแบบอยู่ที่ประมาณ 2,500 บาทต่อเครื่อง แบ่งออกเป็นค่าอุปกรณ์ประมาณ 1,200 บาท และค่าผลิต PCB (Printed Circuit Board) ประมาณ 1,300 บาท แต่ในกรณีที่ผลิตจำนวนมากสามารถลดต้นทุนการทำ PCB (Printed Circuit Board) ลงได้เหลือประมาณ 120 บาทต่อบอร์ด ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ ในกรณีที่สั่งซื้อเป็นจำนวนมากสามารถลดต้นทุนอุปกรณ์ต่อหน่วยได้ประมาณ 10-30% ทำให้ต้นทุนอุปกรณ์ต่างๆ ลดลงเหลือประมาณ 1,000 บาทต่อเครื่อง รวมต้นทุน PCB และอุปกรณ์ต่อเครื่องประมาณ 1,000-1,200 บาท

3. การทดสอบ

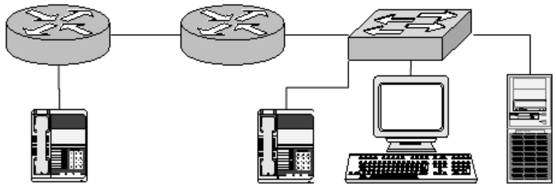
ในการทดสอบเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้นได้ใช้คอมพิวเตอร์ที่ลงโปรแกรม SCS SIP Proxy ของบริษัท Siemens ทำงานเป็นเครื่องแม่ข่าย Proxy และ Redirect ส่วนเครื่องลูกข่ายปลายทางได้ใช้เครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นอีกเครื่อง และคอมพิวเตอร์ที่ลงโปรแกรม SIP User Agent เวอร์ชัน 2.0 ของบริษัท Ubiquity ในการร่วมทดสอบ ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้งได้ใช้โปรแกรมEthereal ตรวจจับ Signaling ต่างๆ เพื่อบันทึกผล

การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือการทดสอบการทำงานในโมดติดต่อโดยตรง, การทำงานในโมดทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่าย, และการทดสอบฟังก์ชันการส่งซ้ำกรณีเครื่องโทรศัพท์ไม่ได้รับข้อความตอบสนอง ในการทดสอบการทำงานในโมดติดต่อโดยตรง และทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่ายนั้นได้ทดสอบการทำงานทั้งกรณีที่เครื่องทำงานเป็นเครื่องลูกข่าย และเครื่องแม่ข่าย โดยทดสอบการสร้างเซสชัน, ยกเลิกเซสชัน, ปฏิเสธเซสชัน และการสิ้นสุดเซสชัน และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโพรโทคอลอีเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้นจึงได้ทดสอบทั้งกรณีที่เครื่องปลายทางอยู่ใน

โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 10 และเครื่องปลายทางอยู่คนละโครงข่ายกันดังแสดงในรูปที่ 11



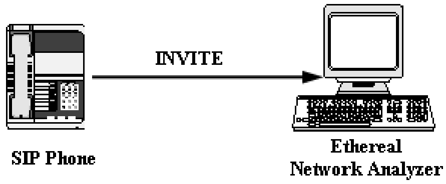
รูปที่ 10 การทดสอบการทำงานภายในโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นเดียวกัน



รูปที่ 11 การทดสอบการทำงานข้ามโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่น

ในการทดสอบการส่งซ้ำ ได้ต่อเครื่องโทรศัพท์ที่ได้พัฒนาขึ้นเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ลงโปรแกรม Ethereal ดังแสดงในรูปที่ 12 จากนั้นตั้งไอพีแอดเดรสของเครื่องโทรศัพท์ และเครื่องคอมพิวเตอร์ให้อยู่ภายในโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นเดียวกัน แล้วให้เครื่องโทรศัพท์ขอสร้างเซสชันไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรง เครื่องคอมพิวเตอร์จะไม่ตอบสนองการขอเปิดเซสชันเนื่องจากไม่ได้เปิดโปรแกรมโทรศัพท์อินเทอร์เนตรองรับไว้ แต่จะตรวจจับข้อความร้องขอที่ได้รับจากเครื่องโทรศัพท์ พร้อมกับระบุเวลาที่รับข้อความร้องขอนั้นไว้ผ่านโปรแกรม Ethereal

ในการทดสอบเมื่อเครื่องโทรศัพท์ไม่ได้รับข้อความตอบสนองจากปลายทางตามช่วงเวลาที่กำหนด จะต้องสามารถส่งข้อความร้องขอไปยังปลายทางซ้ำด้วยวิธี exponential backoff โดยมี T1 = 500 ms และ T2 = 4s ตามลำดับ



รูปที่ 12 การทดสอบการส่งซ้ำ

4. สรุปผลการพัฒนา และการทดสอบ

4.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้น เครื่องโทรศัพท์สามารถรองรับการทำงานขั้นพื้นฐานได้แก่การสร้างเซสชัน, การยกเลิกเซสชัน, การปฏิเสธเซสชัน, การสิ้นสุดเซสชัน, และการส่งซ้ำในกรณีไม่ได้รับการตอบสนอง ทั้งในกรณีติดต่อโดยตรง และทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่าย รวมไปถึงการทำงานข้ามโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถสรุปคุณลักษณะสำคัญของเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

- ติดต่อกับผู้ใช้งานโดยแสดงผลการทำงานผ่านจอ LCD 16x2 และรับข้อมูลผ่านคีย์แพดขนาด 4x4
- สามารถแสดงชื่อผู้เรียกสาย และโทรซ้ำได้
- รองรับโพรโทคอล SIP, IPv4, UDP, ARP, ICMP, RTP, และ SDP
- รองรับข้อความร้องขอ INVITE, CANCEL, ACK, BYE, และ REGISTER
- รองรับข้อความตอบสนอง 180 Ringing, 200 OK, 302 Moved Temporarily, 406 Busy Here, 407 Request Canceled, และสามารถแยกแยะข้อความตอบสนองอื่น ๆ ที่ได้รับออกเป็นข้อความตอบสนองทั้ง 6 คลาสได้
- รองรับ SIP เฮดเดอร์ Via, From, To, Call-ID, Content-Length, Content-Type, Cseq, และ Contact
- รองรับฟิลด์ v, o, a, c, และ m ในโพรโทคอล SDP
- รองรับการเข้ารหัสเสียงแบบ PCM μ-law และ A-law
- สามารถอัปเกรดซอฟท์แวร์ผ่านพอร์ต RS-232

4.2 ปัญหาในการพัฒนา และการแก้ไข

4.2.1 ข้อจำกัดในด้านความเร็วของไมโครคอน โทรลเลอร์

ชิพเข้ารหัสเสียงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม และไม่ได้ถูกออกแบบมาให้รับส่งข้อมูลเสียงกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง เมื่อลองให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับส่งข้อมูลเสียงแบบอนุกรมกับชิพเข้ารหัสเสียงโดยตรง ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องซิงโครไนซ์กับชิพเข้ารหัสเสียงโดยต้องอินเตอร์รัปต์การทำงานในอัตรา 64,000 ครั้ง/วินาที เพื่อรับส่งข้อมูลเสียงกับชิพเข้ารหัสเสียงครั้งละบิต นอกจากนี้ยังต้องรับส่งข้อมูลเสียงกับชิพอีเทอร์เนตไปพร้อมกันอีกด้วย ซึ่งเมื่อลองทดสอบใช้จริงไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถดึงข้อมูลจากชิพอีเทอร์เนตได้ทัน และทำให้บัฟเฟอร์ภายในชิพอีเทอร์เนตล้น (Buffer overflow) จึงได้แก้ไขโดยแปลงข้อมูลเสียงจากชิพเข้ารหัสเสียงให้

เป็นแบบขนานก่อน เพื่อลดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถลดอัตราการเกิดอินเตอร์รัปต์จากสัญญาณภายนอกให้เหลือ 8,000 ครั้ง/วินาที และทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับส่งข้อมูลกับชิพอีเทอร์เนตได้ทัน

4.2.2 การซิงโครไนซ์ของสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับชิพเข้ารหัสเสียง

การพัฒนาตอนแรกได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณนาฬิกาจ่ายให้กับชิพเข้ารหัสเสียงโดยตรง แต่เมื่อทดสอบโดยการลูปสัญญาณดิจิทัลจากภาคส่งเข้าภาครับ แล้วส่งสัญญาณเสียงเข้าทางพอร์ตรับสัญญาณแอนะลอก ปรากฏว่าสัญญาณเสียงที่ได้จากชิพมีความเพี้ยนมาก คาดว่าเกิดจากการประวิงทางเวลา ซึ่งเป็นผลจากช่วงแมชชีนไซเคิลการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สัญญาณนาฬิกาที่ได้แต่ละสัญญาณไม่ซิงโครไนซ์กันพอดี จึงได้แก้ไขโดยเพิ่มวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมาต่างหาก และจ่ายให้กับชิพเข้ารหัสเสียงโดยตรง เมื่อทดสอบใหม่จึงได้สัญญาณเสียงที่ไม่ผิดเพี้ยน และเป็นการลดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในช่วงรับส่งข้อมูลเสียงด้วย

4.2.3 การขยับเคลื่อนของสัญญาณนาฬิกา

ในการทดสอบคุณภาพของเสียงเมื่อเปิดเซสชัน ในตอนแรกเสียงที่ได้มีคุณภาพชัดเจนและเพี้ยนสลับกันไป และมีคาบของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเสียงคงที่ และเมื่อได้ลองทดสอบเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงภาครับ เสียงที่ได้รับก็ยังคงมีคุณภาพชัดเจน และเพี้ยนสลับกันไปอยู่ แต่มีคาบของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเสียงนานขึ้น จึงสันนิษฐานว่าเกิดจากการขยับเคลื่อนของสัญญาณนาฬิกา ระหว่างต้นทาง กับปลายทาง ทำให้อัตราข้อมูลเสียงที่ได้รับกับอัตราการเล่นข้อมูลเสียงไม่เท่ากัน มีผลทำให้บัฟเฟอร์เกิดการซ้อนทับเป็นช่วง ๆ จึงได้แก้ไขโดยเพิ่มฟังก์ชันการปรับพอยเตอร์ (pointer justification) ในส่วนรองรับการส่งข้อมูลเสียงให้กับชิพเข้ารหัสเสียง หลังการแก้ไขเมื่อทดสอบใหม่ปรากฏว่าสัญญาณเสียงที่เพี้ยนเป็นช่วง ๆ ก็หายไป

4.2.4 ความเสถียรของเครื่องโทรศัพท์

ในการพัฒนาในตอนแรก เนื่องจากต้องมีการปรับเปลี่ยนการต่อทางฮาร์ดแวร์บ่อย จึงได้พัฒนาโดยใช้บอร์ดอเนกประสงค์ และต่อขาไอซีโดยใช้สายไวร์แลป ในการทดสอบหลาย ๆ ครั้งเครื่องโทรศัพท์ทำงานผิดพลาดอันเนื่องมาจากการต่อที่ไม่ดี หรือเกิดการลัดวงจร จึงทำให้การพัฒนาเป็นไปได้อย่างล่าช้า ในตอนหลังเมื่อปรับเปลี่ยนฮาร์ดแวร์จนแน่ใจแล้วจึงได้ทำบอร์ด PCB (Printed Circuit Board) ซึ่งทำให้เครื่องโทรศัพท์ทำงานได้เสถียร และสามารถพัฒนาได้รวดเร็วกว่าช่วงแรกมาก

4.2.5 ข้อเสนอแนะ

เครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถใช้งานขั้นพื้นฐานได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้ออกแบบ และพัฒนาฮาร์ดแวร์ของเครื่องโทรศัพท์ให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์เพื่อเพิ่มความสามารถของเครื่องโทรศัพท์ได้โดยง่าย และสะดวก โดยมีข้อจำกัดอยู่ที่ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ 64 กิโลไบต์, ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก 16 กิโลไบต์, และความเร็วในการประมวลผลข้อมูลของไมโครคอนโทรเลอร์ ซึ่งการพัฒนาในงานวิจัยนี้ได้ใช้หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประมาณ 22 กิโลไบต์ และใช้หน่วยความจำข้อมูลภายนอกประมาณ 3.3 กิโลไบต์เท่านั้น จะเห็นได้ว่าสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับเครื่องโทรศัพท์ได้อีกมาก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนะ และแบ่งการพัฒนาส่วนซอฟต์แวร์ของเครื่องโทรศัพท์ต่อออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนรองรับข้อมูลเสียง, ส่วนรองรับโพรโทคอล และส่วนจัดสรรการเก็บข้อมูลภายในเครื่องโทรศัพท์

สำหรับส่วนรองรับข้อมูลเสียง งานวิจัยนี้ ได้ทดสอบเครื่องโทรศัพท์เฉพาะส่วนรองรับโพรโทคอล SIP ในส่วนรองรับข้อมูลเสียงได้ตรวจฟังเสียงที่ได้รับที่ต้นทาง และปลายทางไม่ให้ผิดเพี้ยนเท่านั้น แต่การนำไปใช้งานบนโครงข่ายจริงที่มีปริมาณทราฟฟิกสูง อาจทำให้คุณภาพเสียงที่เครื่องโทรศัพท์ได้รับต่ำลงไปได้ ดังนั้นในการพัฒนาต่อควรทดสอบคุณภาพของสัญญาณเสียง เมื่อข้อมูลเสียงที่ได้รับเกิดการสูญหาย, การประวิงทางเวลา, และ Jitter ที่แตกต่างกัน รวมไปถึงการทดสอบการประวิงทางเวลาของข้อมูลเสียงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องโทรศัพท์ และนำผลที่ได้จากการทดสอบมาปรับปรุง และพัฒนาการทำงานในส่วนรองรับข้อมูลเสียงให้สามารถทำงานบนโครงข่ายที่มีคุณลักษณะต่าง ๆ กันได้ และมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในส่วนรองรับโพรโทคอล SIP นั้นควรพัฒนาให้สามารถรองรับการทำงานได้เพิ่มมากขึ้น เช่น การตรวจพิสูจน์ผู้ใช้ (authentication), การโอนสาย, การพักสาย, การประชุมหลายสาย, และการส่งข้อความ SMS เป็นต้น ในส่วนโพรโทคอลอื่น ๆ ควรพัฒนาให้เครื่องโทรศัพท์สามารถรองรับโพรโทคอลอื่น ๆ ที่เพิ่มความสามารถของเครื่องโทรศัพท์ให้มากขึ้นเช่นโพรโทคอล TCP, IPv6, DHCP, RSVP เป็นต้น

สำหรับส่วนจัดสรรการเก็บข้อมูลภายในเครื่องโทรศัพท์ ควรพัฒนาส่วนเก็บข้อมูลภายในเครื่องโทรศัพท์ให้มีความสามารถสูงขึ้น เช่นการจดจำสายเรียกเข้า, สายที่ไม่ได้รับ หรือบันทึก SIP URL ปลายทางที่สำคัญภายในตัวเครื่องโทรศัพท์ เป็นต้น

นอกจากการพัฒนาทางซอฟต์แวร์แล้ว อาจพัฒนาฮาร์ดแวร์เพื่อเพิ่มความสามารถบางส่วน ที่นอกเหนือจากการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์สามารถทำได้เช่น เพิ่มการรองรับการเข้ารหัสเสียงที่มีอัตราการบีบอัดข้อมูลสูงกว่าแบบ PCM เช่น G.723, G729 หรืออาจพัฒนาให้รองรับการเข้ารหัสสัญญาณภาพวิดีโอ ซึ่งทั้งนี้ต้องเพิ่มชิพเข้ารหัสสัญญาณเสียง หรือภาพ รวมไปถึงปรับเปลี่ยนส่วน

แสดงผลเป็น LCD แบบกราฟฟิก และพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อรองรับเพิ่ม ในกรณีที่ข้อมูลภาพมีอัตราข้อมูลสูง ไมโครคอนโทรลเลอร์อาจไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับชิพอีเทอร์เนตได้ทัน อาจเปลี่ยนไปใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถสูงกว่าเช่น ARM7 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยประมวลผลแบบ 32 บิต, มีผู้นำมาพัฒนาอย่างแพร่หลาย, ราคาไม่สูงมาก และสามารถรองรับหน่วยความจำได้มากกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ได้

ในส่วนวงจรดิจิทัลซึ่งประกอบด้วย ไอซี Latch, วงจรถอดรหัสตำแหน่งหน่วยความจำ, วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา, วงจรแปลงการส่งข้อมูลอนุกรมเป็นขนาน (S/P), และวงจรแปลงการส่งข้อมูลขนานเป็นอนุกรม (P/S) สามารถปรับเปลี่ยนมาใช้ชิพ CPLD (Complex Programmable Logic Device) ชิพเดียวแทนได้ ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนของอุปกรณ์, ขนาดของบอร์ด, และต้นทุนรวมไปถึงการทำ Memory Map ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าได้

5. ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นแบบที่ใช้งานได้ในขั้นพื้นฐานเท่านั้น แต่สามารถนำแนวทางการออกแบบเพื่อไปพัฒนาและผลิตเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตต้นทุนต่ำเพื่อใช้งานจริงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยร่วมภาครัฐกับภาคเอกชน ปี 2551 และ 2552 ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงินกับโครงการวิจัยนี้จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Bhumip Khasnabish. Implementing Voice over IP. (2003). New Jersey: John Wiley & Son.

[2] H. Schulzrinne and J. Rosenberg. (1998) “Signaling for Internet Telephony”. **IEEE.**, pp.298-307.

[3] International Telecommunication Union. (1998). “Packet based multimedia communication system”, recommendation H.323. **Telecommunication Standardization Sector of ITU**.

[4] Alan B. Johnston. (2001). **Understanding the Session Initiation Protocol.** London: Artech House.

[5] M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler and J. Rosenberg. (2002). "SIP : Session Initiation Protocol". **Internet Draft Internet Engineering Task Force.** RFC 3261. June/2002.

[6] V. Jacobson and M. Handly. (1998). "SDP : Session Description Protocol". **Internet Engineering Task Force**. RFC 2327. April/1998.

[7] J. Postel. "User Datagram Protocol".(1998) **Internet Engineering Task Force**. RFC 768. August/1980.

[8] H. Schulzinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobsen. (1996). "RTP: a transport for real-time applications". **Internet Engineering Task Force.** RFC 1889. January/1996

ประวัติผู้เขียนบทความ

ดร.วาทิต เบญจพลกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ. (ไฟฟ้า) เกียรตินิยมอันดับ 1 จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท M. Eng. (Electronics) และระดับปริญญาเอก D. Eng. (Electronics) จากมหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น งานวิจัยที่สนใจในปัจจุบันคือ โครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ การประยุกต์ใช้ระบบสื่อสารไร้สายกับการโทรมาตร และการพัฒนาระบบสื่อสารแบบมัลติมีเดียกับยานพาหนะ มีผลงานวิจัยเผยแพร่ทั้งในและต่างประเทศในปัจจุบันรวมทั้งสิ้นกว่า 100 ฉบับ

ณัฐวร ปานจินดา สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แผนกวิทย์-วิศวฯ และได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ในปีการศึกษา 2548