บทที่ 6

สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการพัฒนา และทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้น เครื่องโทรศัพท์สามารถรองรับการทำงานขั้นพื้นฐานทั้งในกรณีติดต่อโดยตรง และทำงานร่วมกับเครื่องแม่ข่าย รวมไปถึงการทำงานข้ามโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นได้อย่างถูกต้อง เราสามารถสรุปคุณลักษณะของเครื่องโทรศัพท์ที่พัฒนาขึ้นได้ดังนี้

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

6.2 ปัญหาในการพัฒนา และการแก้ไข

6.2.1 ข้อจำกัดในด้านความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์

ชิพเข้ารหัสเสียงที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม และไม่ได้ถูกออกแบบมาให้รับส่งข้อมูลเสียงกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง เมื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับส่งข้อมูลเสียงแบบอนุกรมกับชิพเข้ารหัสเสียงโดยตรง ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องซิงโครไนซ์กับชิพเข้ารหัสเสียงโดยต้องอินเตอร์รัปต์ 64,000 ครั้ง/วินาที เพื่อรับส่งข้อมูลเสียงกับชิพเข้ารหัสเสียงครั้งละบิต นอกจากนี้ยังต้องรับส่งข้อมูลเสียงกับชิพอีเทอร์เนตอีกด้วย ซึ่งเมื่อทดสอบใช้งานจริงไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถดึงข้อมูลจากชิพอีเทอร์เนตได้ทัน และทำให้บัฟเฟอร์ภายใน

ชิพอีเทอร์เนตล้น (Buffer overflow) จึงได้แก้ไขโดยการแปลงข้อมูลเสียงจากชิพเข้ารหัสเสียงให้เป็นแบบขนานก่อน ทั้งนี้เพื่อลดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถลดอัตราการเกิดอินเตอร์รัปต์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหลือ 8,000 ครั้ง/วินาที และทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับส่งข้อมูลกับชิพอีเทอร์เนตได้ทันอีกด้วย

6.2.2 การซิงโครไนซ์ของสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับชิพเข้ารหัสเสียง

ในการพัฒนาในตอนแรกได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณนาฬิกา MCLK, BCLK, และ FS ความถี่ 256, 64, 8 kHz ตามลำดับให้กับชิพเข้ารหัสเสียง แต่เมื่อทดสอบโดยการลูปสัญญาณดิจิทัลจากภาคส่งเข้าภาครับ แล้วส่งสัญญาณเสียงเข้าทางพอร์ตรับสัญญาณแอนะลอก ปรากฏว่าสัญญาณเสียงที่ได้จากชิพมีความเพี้ยนมาก คาดว่าเกิดจากการประวิงทางเวลา ซึ่งเป็นผลจากช่วงแมชชีนไซเคิลของการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สัญญาณนาฬิกาที่ได้แต่ละสัญญาณไม่ซิงโครไนซ์กันพอดี จึงได้แก้ไขโดยเพิ่มวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมาต่างหาก และจ่ายให้กับชิพเข้ารหัสเสียงโดยตรง เมื่อทดสอบใหม่จึงได้สัญญาณเสียงที่ไม่ผิดเพี้ยน และเป็นการลดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในช่วงรับส่งข้อมูลเสียงด้วย

6.2.3 การขยับเคลื่อนของสัญญาณนาฬิกา

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

6.2.4 ความเสถียรของเครื่องโทรศัพท์

ในการพัฒนาในตอนแรก เนื่องจากต้องมีการปรับเปลี่ยนการต่อทางฮาร์ดแวร์บ่อย จึงได้พัฒนาโดยใช้บอร์ดอเนกประสงค์ และต่อขาไอซีโดยใช้สายไวร์แลป ในการทดสอบหลาย ๆ ครั้ง เครื่องโทรศัพท์ทำงานผิดพลาดอันเนื่องมาจากการต่อที่ไม่ดี หรือเกิดการลัดวงจร จึงทำให้การพัฒนาเป็นไปได้อย่างล่าช้า ในตอนหลังเมื่อปรับเปลี่ยนฮาร์ดแวร์จนแน่ใจแล้วจึงได้ทำบอร์ด PCB (Print Circuit Board) ซึ่งทำให้เครื่องโทรศัพท์ทำงานได้เสถียร และสามารถพัฒนาได้รวดเร็วกว่าช่วงแรกมาก

6.3 ข้อเสนอแนะ

เครื่องโทรศัพท์อินเทอร์เนตที่ได้พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถใช้งานขั้นพื้นฐานได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบ และพัฒนาฮาร์ดแวร์ของเครื่องโทรศัพท์ให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์เพื่อเพิ่มความสามารถของเครื่องโทรศัพท์ได้โดยง่ายและสะดวก โดยมีข้อจำกัดอยู่ที่ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ 64 กิโลไบต์, ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก 16 กิโลไบต์, และความเร็วในการประมวลผลข้อมูลของไมโครคอนโทรเลอร์ ซึ่งการพัฒนาในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประมาณ 22 กิโลไบต์ และใช้หน่วยความจำข้อมูลภายนอกประมาณ 3.3 กิโลไบต์เท่านั้น จะเห็นได้ว่าสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับเครื่องโทรศัพท์ได้อีกมาก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนะ และแบ่งการพัฒนาส่วนซอฟต์แวร์ของเครื่องโทรศัพท์ต่อออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนรองรับข้อมูลเสียง, ส่วนรองรับโพรโทคอล และส่วนจัดสรรการเก็บข้อมูลภายในเครื่องโทรศัพท์

1. ส่วนรองรับข้อมูลเสียง

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

2. ส่วนรองรับโพรโทคอล

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

3. ส่วนจัดสรรการเก็บข้อมูลภายในเครื่องโทรศัพท์

พัฒนาส่วนเก็บข้อมูลภายในเครื่องโทรศัพท์ให้มีความสามารถสูงขึ้น เช่นการจดจำสายเรียกเข้า, สายที่ไม่ได้รับ หรือบันทึก SIP URL ปลายทางที่สำคัญภายในตัวเครื่องโทรศัพท์เป็นต้น

นอกจากการพัฒนาทางซอฟต์แวร์แล้ว อาจพัฒนาฮาร์ดแวร์เพื่อเพิ่มความสามารถบางส่วนที่นอกเหนือจากการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์สามารถทำได้เช่น เพิ่มการรองรับการเข้ารหัสเสียงที่มีอัตราการบีบอัดข้อมูลสูงกว่าแบบ PCM เช่น G.723, G729 หรืออาจพัฒนาให้รองรับการเข้ารหัสสัญญาณภาพวิดีโอ ซึ่งทั้งนี้ต้องเพิ่มชิพเข้ารหัสสัญญาณเสียง หรือภาพ รวมไปถึงปรับเปลี่ยนส่วนแสดงผลเป็น 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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย