บทที่ 1

บทนำ

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องช่วยฟัง (Hearing Aid) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับผู้ที่สูญเสียความสามารถในการได้ยิน แต่เดิมเครื่องช่วยฟังที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องช่วยฟังแบบอนาลอก (Analog Hearing Aid) ซึ่งใช้อุปกรณ์อนาลอกในการสร้างและรูปแบบของวงจรส่วนมากที่ใช้จะเป็นวงจรขยายสัญญาณเสียง (Audio Amplifiers) สำหรับย่านความถี่แต่ละย่านที่เกิดการสูญเสียไปสำหรับผู้ที่สูญเสียการได้ยินในแต่ละราย โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีการใช้กำลังจากแบตเตอรี่ที่สูงและการปรับแต่งตัวเครื่องให้เหมาะสมกับผู้ใช้แต่ละรายค่อนข้างยาก และการปรับจูนตัวเครื่องก็เป็นไปในลักษณะ manual คือ ต้องใช้ผู้ที่ชำนาญและมีประสบการณ์เป็นคนปรับแต่งและทดลองกับผู้ใช้แต่ละรายว่าเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ถึงแม้จะสามารถปรับแต่งให้ผลในการใช้งานดีที่สุดแล้วแต่เมื่อใช้ไปสักระยะเวลาหนึ่ง ด้วยความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์อนาลอกโดยทั่วไปที่ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน อุณหภูมิ ความชื้น การสั่นสะเทือนรวมถึงการกระแทก ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องคลาดเคลื่อนไป

ด้วยเหตุผลดังกล่าว โครงการวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องช่วยฟังในอีกลักษณะหนึ่งที่เรียกว่าเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอล [1-10] ที่มีรูปแบบการใช้งานที่ยืดหยุ่นกว่า ใช้กำลังงานต่ำกว่า และมีความถูกต้องแม่นยำในการชดเชยขนาดของสัญญาณในแต่ละย่านความถี่ได้สูงกว่า โดยการชดเชยขนาดของสัญญาณในแต่ละย่านความถี่จะได้มาจากรูปแบบการได้ยิน (Hearing Patterns) หรือที่เรียกว่า Audiogram [11] ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินในแต่ละราย การออกแบบเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลที่ ได้ทำนี้จะแตกต่างจากเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป คือ จะใช้วงจรกรองสัญญาณดิจิตอลที่สามารถปรับอัตราขยาย และความกว้างของย่านความถี่ได้อย่างเป็นอิสระจำนวน 3 วงจรเท่านั้น ทำให้ภาพรวมของตัวต้นแบบของเครื่องช่วยฟังที่ได้จะมีขนาดที่กะทัดรัด (Compact) รวมทั้งใช้กำลังงานต่ำลงไปอีก

ในส่วนของการปรับแต่งผลตอบสนองทางความถี่ในแต่ละย่านความถี่ให้เหมาะสมกับผู้ใช้แต่ละรายนั้น ทางผู้วิจัยยังจะได้ทำการออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการปรับแต่งเครื่องช่วยฟังให้เหมาะกับผู้ใช้แต่ละรายอีกด้วย โดยซอฟต์แวร์ดังกล่าวมีหน้าที่ในการตรวจสอบสภาพการได้ยินของผู้ที่จะใช้เครื่องช่วยฟังในแต่ละราย แล้วทำการบันทึกเป็น Audiograms จากนั้นซอฟต์แวร์จะวิเคราะห์สิ่งที่ได้จาก Audiograms เพื่อทำการชดเชยโดยการขยายขนาดของสัญญาณในแต่ละย่านความถี่ที่ผู้ใช้งานตัวเครื่องช่วยฟังนั้นมีการสูญเสีย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ดังกล่าวสำหรับการชดเชยการได้ยินให้กับผู้ที่สูญเสียการได้ยินในแต่ละรายนั้นจะเป็นชุดของค่าพารามิเตอร์ (ซึ่งในทางหลักการแล้วก็คือค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลทั้ง 3 วงจรและค่าอัตราขยายที่ใช้สำหรับวงจรกรองสัญญาณทั้ง 3 นั่นเอง) ชุดของ

ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะถูกโปรแกรมลงบนตัวเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลของผู้ใช้รายนั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่นำเสนอดังกล่าวนี้จะช่วยทำให้ขั้นตอนในการปรับแต่งตัวเครื่องให้เหมาะกับผู้ใช้แต่ละรายนั้นทำได้ง่าย ซึ่งรูปแบบนี้ถือเป็นข้อดีอย่างมากสำหรับการใช้งานเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอล ที่เครื่องช่วยฟังแบบอนาลอกไม่สามารถทำในลักษณะเดียวกันได้และที่สำคัญไม่ว่าจะเป็นเครื่องช่วยฟังแบบอนาลอก หรือแบบดิจิตอลที่มีใช้กันอยู่ในประเทศไทย ล้วนแล้วแต่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลนั้นซึ่งโดยปกติจะมีราคาที่สูงกว่าเครื่องช่วยฟังแบบอนาลอก ดังนั้นถ้าทางผู้วิจัยสามารถที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบของเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลดังกล่าวได้ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการสร้างเป็นองค์ความรู้ภายในประเทศของเราเองและยังสามารถพัฒนาต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ได้อีกด้วย เพื่อลดการนำเข้าอุปกรณ์ชนิดดังกล่าวจากต่างประเทศ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบวงจรกรองสัญญาณเชิงเส้นชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัด (infinite impulse response) ซึ่งประกอบด้วย วงจรกรองสัญญาณปรับค่าได้แบบความถี่ต่ำผ่าน (variable lowpass) วงจรกรองสัญญาณปรับค่าได้แบบแถบความถี่ผ่าน (variable bandpass) และวงจรกรองสัญญาณปรับค่าได้แบบความถี่สูงผ่าน (variable highpass) เป็นชุดวงจรกรองสัญญาณที่ปรับค่าได้สามช่อง โดยโครงสร้างของวงจรทั้งสามได้ออกแบบมาจากวงจรกรองสัญญาณเชิงอุปมานต้นแบบ (analog prototype filter) คือ ไบควอตเดรติก (biquadratic) รวมไปถึงการแปลงเชิงเส้นคู่ (bilinear transformation) [12-16] เนื่องจากทั้งค่าQ ,อัตราการขยายและความถี่ขอบของวงจรกรองสัญญาณปรับค่าได้สามช่องสามารถปรับค่าได้อย่างอิสระ และมีความยืดหยุ่นอย่างมาก สามารถนำมาใช้ชดเชยการสูญเสียการได้ยินสำหรับเครื่องช่วยฟังดิจิตอลได้ ซึ่งทั้งค่า Q , อัตราขยายและคุณลักษณะทางความถี่ของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขแต่ละวงจรจะได้มาจากกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการ Nealder mead [17] เพื่อให้ผลตอบสนองที่แม่นยำในการชดเชยรูปแบบการสูญเสียการได้ยิน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สร้างองค์ความรู้และหลักการใหม่สำหรับการออกแบบวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลสำหรับผู้ที่สูญเสียการได้ยิน

1.2.2 สร้างและพัฒนาต้นแบบของเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลที่มีคุณสมบัติในด้านการใช้งานรวมทั้งมีความยืดหยุ่นในการใช้งานที่มากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบอนาลอกที่มีใช้งานกันอยู่มาแต่ก่อน รวมทั้งพัฒนาซอฟต์แวร์ประกอบที่ใช้ควบคู่กันในการปรับแต่งเครื่องช่วยฟังให้เหมาะกับผู้ใช้งานแต่ละราย

1.2.3 จากองค์ความรู้ที่ได้พัฒนาและสร้างขึ้นจะสามารถนำไปสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ต่อไปเพื่อลดการนำเข้าอุปกรณ์ดังกล่าวจากต่างประเทศและนำมาใช้งานจริงภายในประเทศกับโรงพยาบาลและหน่วยงานทางด้านสาธารณสุขที่มีการให้บริการกับผู้ที่สูญเสียการได้ยิน

1.2.4 เสริมสร้างศักยภาพของนักวิจัยภายในประเทศในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ซึ่งถือเป็นงานวิจัยพื้นฐานและนำงานวิจัยพื้นฐานนั้นมาประยุกต์ใช้งานเพื่อพัฒนาต่อยอดเพื่อสร้างเป็นต้นแบบของผลิตภัณฑ์ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ รวมทั้งสามารถผลิตนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาภายใต้โครงการวิจัยที่นำเสนอนี้

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาและทบทวนผลงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัยที่นำเสนอทั้งในบทความวิชาการในวารสารวิชาการและเอกสารการประชุมวิชาการชั้นนำทั้งในระดับชาติและนานาชาติ สิทธิบัตร และข้อมูลจาก web-sites ต่างๆ ทาง Internet

1.3.2 ทำการคิดค้นวิธีการออกแบบวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลแบบใหม่รวมทั้งโครงสร้างที่ใช้พื้นฐานของโครงสร้างวงจรกรองสัญญาณแบบ IIR ด้วยวิธีการผสมผสาน (Mixed or Hybrid) ระหว่างกระบวนการ Nonlinear Optimization และการแปลงตัวกรองต้นแบบเชิงอุปมาน (Analog Filter Prototype) ไปเป็นตัวกรองเชิงเลข (Digital Filter) ด้วยการแปลงโดเมน s-z โดย Bilinear Transformation รูปแบบใหม่ที่มีพื้นฐานอยู่บนการแปลงด้วย Pascal Matrix (Matrix-based Bilinear s-z Transformation) โดยกระบวนการ Optimization จะทำให้ได้มาซึ่งข้อกำหนดที่เหมาะสมของวงจรกรองย่อยๆ ที่นำมาประกอบกันเป็น Filter-Bank และข้อกำหนดเหล่านั้นจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบด้วย Matrix-based Bilinear Transformation อีกครั้งหนึ่งซึ่งได้รวมขั้นตอนของ Frequency Transformation ในรูปแบบของ Matrix operation ไว้ในขั้นตอนนี้ด้วยเช่นกัน

1.3.3 ทำการศึกษารูปแบบวิธีการ Search Optimization หลายๆ รูปแบบ เช่น Direct search, Simplex Nelder-Mead Method, Genetic Algorithm เป็นต้น และเลือกเอารูปแบบที่ให้ความแม่นยำ (Accuracy) กับผลของการออกแบบที่ดีที่สุดมาใช้งาน โดยผลตอบสนองทางขนาด (Amplitude Response) ที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในกระบวนการ Optimization จะเป็นผลตอบสนองทางขนาดที่ใช้ในการชดเชยการสูญเสียการได้ยินของผู้ที่สูญเสียการได้ยินในแต่ละรายๆ ไป

1.3.4 ออกแบบสร้างโครงสร้างของวงจรกรองสัญญาณ (Filter Realization) ที่ได้ให้เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็น Digital Hearing Aids ซึ่งจะใช้สำหรับการชดเชยการสูญเสียการได้ยินจาก Hearing Loss Pattern ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินแต่ละรายๆ ไป โดยนอกจากจะแสดงผลการทำงานจากการจำลองการทำงานแล้วยังจะทดลองสร้างต้นแบบของวงจรดังกล่าวด้วย Digital Signal Processor หรืออุปกรณ์จำพวก Programmable Logic Devices เช่น FPGA (Field Programmable Gate Array) สำหรับทดสอบการทำงานจริงที่ได้จากวิธีการออกแบบที่ได้นำเสนอไปด้วย และเมื่อผลงานวิจัยมีความก้าวหน้ารวมทั้งเมื่อเสร็จสิ้นงานวิจัยก็ทำการนำเสนอผลงานวิจัยเพื่อเผยแพร่ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติต่อไป รวมทั้งพัฒนาผลงานวิจัยให้เป็นต้นแบบ (Prototype) สำหรับการผลิตเพื่อใช้งานจริงต่อไป

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยหลักเพื่อมีเป้าหมายไปสู่การพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลที่จะนำเสนอจะดำเนินการหลักที่ห้องปฏิบัติการวิจัยวงจรและระบบประมวลผลสัญญาณดิจิตอล สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิธีดำเนินการวิจัยจะเริ่มจากการศึกษารูปแบบของการสูญเสียการได้ยินของผู้ที่สูญเสีย การได้ยินในรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งปัญหาและอุปสรรคที่มีอยู่ในการใช้งานเครื่องช่วยฟังที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน และศึกษาค้นคว้าจากบทความทางวิชาการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องช่วยฟังด้วยวิธีต่างๆ

จากข้อมูลหลายแบบหลายตัวอย่างจาก Audiograms ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินหลายรายจะถูกนำมาใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (หรือที่เรียกว่าฟังก์ชั่นถ่ายโอน : Transfer Function) เพื่อใช้ในการชดเชยความสูญเสียการได้ยินของผู้ที่สูญเสียการได้ยินแต่ละราย โดยพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการกำหนดฟังก์ชั่นการทำงานของตัวเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลที่จะได้พัฒนาขึ้นจะถูกทำการ Optimize เพื่อให้ผลการตอบสนองทางความถี่มีความถูกต้องแม่นยำที่สุดในการชดเชยความสูญเสียการได้ยิน โดยซอฟต์แวร์ที่จะใช้งานในการ Optimization นี้ทางผู้วิจัยก็จะทำการพัฒนาขึ้นมาด้วย พารามิเตอร์ที่ผ่านการ Optimize มาแล้วจะถูกนำไปคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลก่อนจะทำการโปรแกรมลงไปบนตัวเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลจากนั้นทำการทดสอบผลตอบสนองว่ามีความสามารถในการชดเชยการสูญเสียการได้ยินได้ถูกต้องแม่นยำตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ก่อนที่จะนำไปให้ผู้ปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเครื่องช่วยฟังโดยตรงนำไปทดสอบกับผู้ที่สูญเสียการได้ยินจริง

1.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

แนวโน้มของการพัฒนาเครื่องช่วยฟังในปัจจุบันจะมุ่งเน้นไปที่เครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลมากกว่าเครื่องช่วยฟังแบบอนาลอก เนื่องมาจากคุณสมบัติที่ดีกว่า และกระบวนการปรับแต่งเครื่องให้เหมาะกับผู้ใช้งานแต่ละรายสามารถทำได้ดีกว่า รวมทั้งความเจริญก้าวหน้าในเรื่องของเทคโนโลยีวงจรรวม และไมโครโปรเซสเซอร์ทำให้การพัฒนาเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลไม่ได้มีอุปสรรคใด ๆ ในเรื่องของเทคโนโลยีในการสร้างดังเช่นในสมัยก่อนที่ผ่านมา

แต่ถึงกระนั้นการพัฒนาเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลเองก็ยังมีความท้าทายอยู่สองประการที่บรรดานักวิจัยได้ให้ความสำคัญกัน ประการแรก คือ เรื่องของการใช้กำลังงานต่ำเพื่อประหยัดแบตเตอรี่ในการใช้งาน และประการที่สองคือ เรื่องของความถูกต้องแม่นยำในเรื่องของการชดเชยขนาดของสัญญาณในแต่ละย่านความถี่ของผู้ใช้แต่ละรายตาม Audiograms ของผู้ที่สูญเสียการได้ยินแต่ละรายที่ได้รับการตรวจสอบมาในระดับคลินิก [18-19] ทั้งสองประการดังที่กล่าวจะมีลักษณะที่ได้อย่างเสียอย่าง (Trade-Off) คือ ถ้าต้องการให้ใช้กำลังงานต่ำความถูกต้องแม่นยำก็จะด้อยลง หรือถ้าต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงก็อาจจะต้องใช้กำลังงานมาก ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมามีสาเหตุมาจากโครงสร้างหลักภายในเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอล

ซึ่งจะเป็นชุดของวงจรกรองสัญญาณดิจิตอล (Digital Filter) ถ้าต้องการให้ความถูกต้องแม่นยำสูงก็มีความจำเป็นที่จะต้องใช้จำนวนของวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลที่ประกอบกันเป็นชุด (Bank) ที่มีจำนวนมาก ซึ่งก็จะทำให้การใช้กำลังงานมากตามไปด้วย นอกจากนั้นวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลแต่ละวงจรที่ใช้ก็มักจะเป็นวงจรกรองสัญญาณชนิดผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัด (Finite Impulse Response: FIR Filter) ที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ (Fixed-Coefficients) ซึ่งข้อดีของวงจรกรองสัญญาณประเภทนี้ คือ ผลตอบสนองทางเฟส (Phase Response) เป็นเชิงเส้น แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญคือ ในการที่จะให้ผลตอบสนองทางขนาดของสัญญาณที่ดีนั้นจะต้องใช้อันดับ (Order) ของวงจรที่สูงมาก ซึ่งก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ต้องใช้จำนวนอุปกรณ์ในการสร้างวงจรกรองสัญญาณมากขึ้นตามไปด้วย จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกินกำลังงานสูงอีกด้วย ลักษณะของเครื่องช่วยฟังแบบดิจิตอลตามที่ได้กล่าวมานี้ถูกนำเสนองานในบทความ [4-10] โดยในบทความ [4] มุ่งเน้นไปที่ความพยายามปรับปรุงคุณภาพของความแม่นยำถูกต้องให้มีค่าดีขึ้น แต่การทำงานหรือการคำนวณของวงจรกรองสัญญาณ FIR นั้นมีความซับซ้อนสูงมาก (High Computational Complexity) สำหรับในบทความ [5] ได้ใช้วงจรกรองสัญญาณ FIR แถบความถี่ผ่าน (FIR Bandpass Filter) จำนวน 3 วงจร (Sub-Filters) สำหรับต่อเป็นชุด โดยวงจรทั้ง 3 นั้นจะเลือกมาจากวงจรที่ออกแบบไว้ก่อนล่วงหน้าจำนวน 7 วงจร ซึ่งก็สามารถช่วยลดความซับซ้อนในการทำงานและลดการใช้กำลังงานลงไปได้ แต่ถึงกระนั้นอันดับของวงจรกรองสัญญาณที่ใช้นั้นมีอันดับที่สูง คือ อันดับที่ 28 หรือ 36 ดังนั้นประสิทธิภาพในการที่จะลดการใช้กำลังงานก็มิได้ดีเท่าไรนัก และสำหรับบทความ [6-10] ก็มีลักษณะที่คล้ายกัน ซึ่งสรุปได้ว่าการใช้ FIR Filter ในการออกแบบนั้น ถ้าต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงจำเป็นจะต้องมี Frequency Bands ที่มาก ซึ่งหมายถึงจำนวนของวงจรกรองสัญญาณย่อย (Sub-Filters) ที่ใช้งานก็ต้องมีจำนวนมากตามซึ่งไม่ส่งผลดีในแง่ของความซับซ้อนและการบริโภคกำลังงาน แต่ถ้าลดจำนวนของ Sub-Filters ลงก็จะส่งผลในเรื่องของความแม่นยำที่ต่ำซึ่งจะทำให้เกิดมีค่าผิดพลาดที่มาก