

การออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ ผ่านอินเทอร์เน็ต

Design and Development of Microstrip Antenna for Internet TV Set-Top-Box

อนิรุทธ์ กัลยา¹
ดร.ชนัญ จารุวิทย์โกวิท²

บทคัดย่อ

การใช้งานโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันมีแนวโน้มมากขึ้น อันเนื่องมาจากความหลากหลายของบริการ เช่น สามารถรับได้หลายช่องทาง รับชมย้อนหลังได้ มีบริการวิดีโอออนดีมานด์ และอื่นๆ แต่บางครั้งผู้ชมมักจะประสบปัญหาการรับชมที่ไม่ต่อเนื่องหรือปัญหาการหมุนโหลด (Loading issue) เมื่อรับชมผ่านกล่องรับสัญญาณหรือ Set-top-Box (STB) และเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายหรือ Wireless LAN ซึ่งปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหานี้คือการเชื่อมต่อที่ไม่เสถียร หรือเมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย Wireless LAN ที่มีระยะห่างมากขึ้น อันเนื่องมาจากคุณภาพของสายอากาศที่ติดมากับกล่องรับสัญญาณ มีประสิทธิภาพไม่ดีพอเนื่องจากอัตราการขยายที่ต่ำ

การออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อปรับปรุงคุณภาพการรับชมที่มักเกิดปัญหาการหมุนโหลด จากสายอากาศเดิมที่ติดมากับกล่อง STB โทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตหรือ IPTV ยี่ห้อ Geniatech รุ่น MPA 108 ซึ่งผู้ชมมักพบปัญหาหมุนโหลด Buffer บ่อยครั้ง เมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย Wireless LAN (WiFi) และมีระยะห่างจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย หรือ Access point ประมาณ 4 เมตรขึ้นไป จนถึง 8 เมตร ในขณะที่เดียวกันถ้าผู้ชมทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยสาย ผู้ชมจะพบปัญหาหมุนโหลดน้อยมากหรือแทบไม่พบเลย

1. บทนำ

ระบบโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol Television) หรือ IPTV คือการแพร่ภาพโทรทัศน์รูปแบบหนึ่ง โดยส่งสัญญาณโทรทัศน์ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต โดยภาพและเสียงจะถูกส่งผ่านเครือข่าย

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม วิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษา เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

² ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก

อินเทอร์เน็ต ต่างจากแบบเดิมๆ ที่เรารู้กัน คือ ภาพและเสียงจะถูกส่งผ่านอากาศ ไม่ว่าจะเป็นระบบจานดาวเทียม หรือระบบทีวีภาคพื้นดินที่ใช้เสาอากาศรับสัญญาณ การแพร่ภาพโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตหรือระบบ IPTV คือการส่งสัญญาณภาพและเสียงเป็นแบบดิจิทัล ซึ่งจะมีคุณภาพดีกว่า ชัดกว่า ทีวีระบบอนาล็อกแบบเดิม และยังสามารถหยุดรับชมได้ชั่วคราว (Pause) และยังสามารถรับชมย้อนหลังได้ (Time shift) โดยที่เราไม่ต้องรอเวลาตามตารางออกอากาศเหมือนระบบที่วิปคิต, มีผังรายการแสดง เวลา รายละเอียดของรายการนั้นๆ นอกจากนี้ IPTV ยังมีบริการภาพยนตร์ตามสั่ง (Video on demand) เพียงแค่เลือกภาพยนตร์ที่เราต้องการรับชมก็สามารถรับชมได้ทันที



ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างปัญหาหมุนโหลดในบริการ IPTV

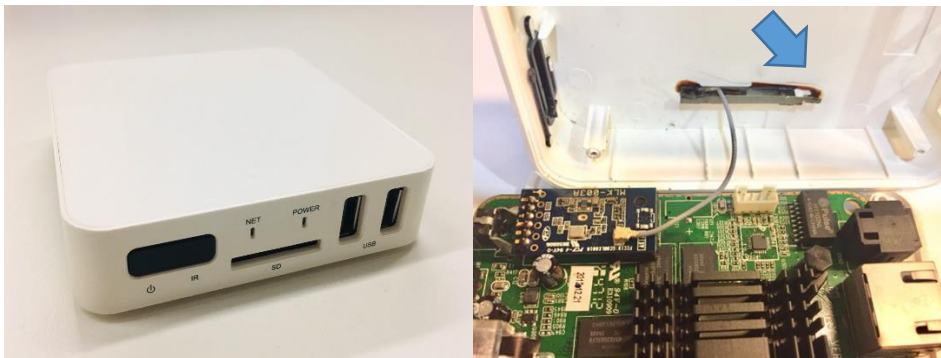
ถึงแม้ระบบการแพร่ภาพโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตจะมีข้อดีมากเพียงใดก็ตาม แต่การส่งเนื้อหา รายการหรือคอนเทนต์ (Content) ก็ยังจำเป็นต้องส่งผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ดังนั้น ข้อจำกัดของระบบ IPTV ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากปัญหาของโครงข่าย ถ้าอินเทอร์เน็ตมีปัญหาหรือช้าลง อาจทำให้การรับชมขาดเป็นช่วง หรือรับชมไม่ได้ และอีกประการหนึ่งที่สำคัญของคือปัญหาการรับชมขาดช่วงหรือหมุนโหลดเมื่อเชื่อมต่อผ่านทางเครือข่ายไร้สายหรือ Wireless LAN ซึ่งในปัจจุบันบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ไม่ได้ออกแบบสำหรับสายแลนไว้ จึงจำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเข้ากับกล่องรับสัญญาณหรือ Set-top-Box (STB) และเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่าน Wireless LAN เมื่อกล่องรับสัญญาณอยู่ห่างจากแอสเซสพอยต์มาก หรือวางอยู่คนละชั้นมักจะพบกับปัญหาการรับชมขาดช่วงหรือหมุนโหลด หรือเมื่ออยู่ชั้นเดียวกัน แต่มีกระจกกันหรือมีกำแพงกีดขวางก็อาจเกิดปัญหาดังกล่าวได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ โดยจะทำการพัฒนาประสิทธิภาพของสายอากาศ ที่อยู่ในกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน โดยเลือกสายอากาศแบบไมโครสตริป เนื่องจากเป็นสายอากาศที่มีน้ำหนักเบาขนาดเล็ก สามารถติดตั้งลงในกล่องโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

2.2 ออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริป ย่านความถี่ 2.4 GHz เพื่อกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต ยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108



ภาพที่ 2 แสดงกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108 และสายอากาศเดิมที่ติดตั้งจากโรงงาน

3. วิธีดำเนินงานวิจัยและอุปกรณ์

รูปแบบการทดสอบงานวิจัยการออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริป สำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ต มีรายการอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดสอบและพัฒนาระบบดังนี้

3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้จะออกแบบสายอากาศโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหารูปแบบและอัตราขยายที่เหมาะสมก่อน หลังจากนั้นจึงจะทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบ และทดสอบเปรียบเทียบกับสายอากาศรูปแบบอื่นรวมไปถึงสายอากาศที่มีขายในท้องตลาด

3.2 อุปกรณ์ในการทดสอบระบบ

รายละเอียดอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 Hardware

3.2.1.1 Router + Access Point TP-Link รุ่น TD-W8968 ที่ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz ตั้งค่าเป็น 802.11G มีความเร็วอินเทอร์เน็ตไม่ต่ำกว่า 20 Mbps

3.2.1.2 กล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตยี่ห้อ GENIATECH รุ่น MPA108

3.2.1.3 เครื่องรับโทรทัศน์สีหรือจอมอนิเตอร์

3.2.1.4 เครื่องมือวัดสายอากาศ Network Analyzer ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD รุ่น HP 87533

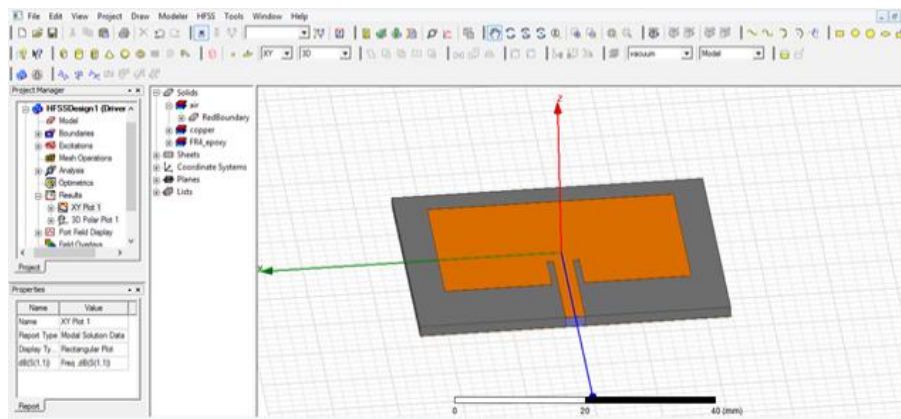
3.2.2 Software

3.2.2.1 Android Application Wi-Fi Analyzer

3.2.2.2 Software สำหรับออกแบบสายอากาศ

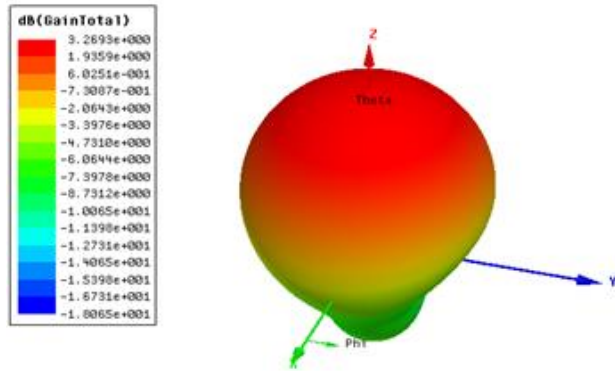
3.3 การออกแบบสายอากาศด้วยซอฟต์แวร์จำลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์จำลองสายอากาศ ซึ่งเป็นที่นิยมในหมู่นักวิจัยโดยทั่วไป โดยกำหนดความถี่ในการทำงานที่ 2.4 GHz และเลือกรูปแบบของสายอากาศในการวิจัยนี้



ภาพที่ 3 การจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรมจำลองสายอากาศ

เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม เนื่องจากรูปทรงนี้ให้อัตราขยายที่ดีกว่ารูปแบบอื่นๆ จากนั้นสร้างรูปแบบที่เราต้องการแล้วทำการจำลองผลทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าตอบสนองเชิงความถี่ที่ 2.4 GHz มีความต้านทานที่ 50 โอห์ม และมีอัตราขยายอยู่ในช่วง 2-4 dB



ภาพที่ 4 ผลการจำลองอัตราขยายของสายอากาศ

4. การทดสอบสายอากาศ

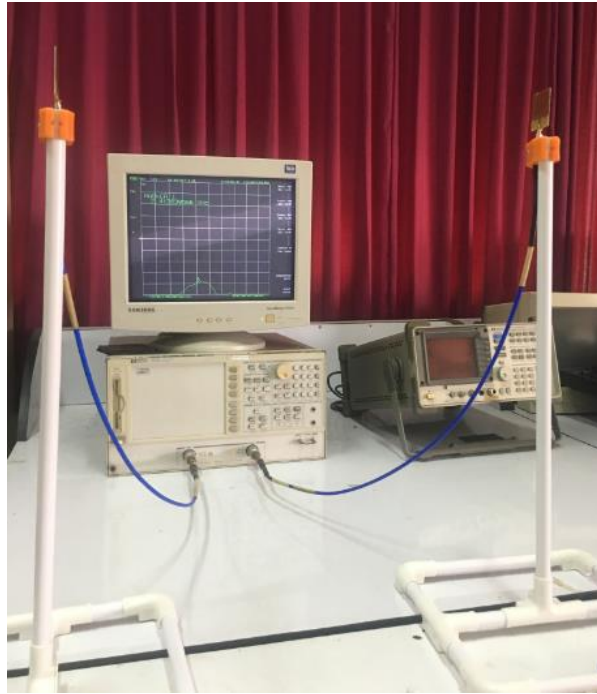
4.1 ทดสอบอัตราขยายของสายอากาศ

เมื่อได้ผลการจำลองเป็นไปตามขอบเขตที่ต้องการ คือได้การตอบสนองที่ 2.4 GHz และได้อัตราขยายสูงสุดที่ 3.2 dB ซึ่งเป็นค่าตามสมมุติฐาน หลังจากนั้นจึงเอารูปแบบดังกล่าวไปสร้างชิ้นงาน และทดสอบเปรียบเทียบกับสายอากาศรูปแบบอื่น รวมไปถึงสายอากาศที่มีขายในท้องตลาดอีกด้วย



ภาพที่ 5 ชิ้นงานสายอากาศและสายอากาศสำเร็จรูปที่ใช้ทดลอง

อย่างไรก็ดีในการทดสอบสายอากาศด้วย Application Wi-Fi Analyzer นั้น ไม่สามารถวัดค่าอัตราขยายได้ถูกต้องแม่นยำนัก เนื่องจากในชิป Wi-Fi แต่ละยี่ห้อจะมีภาควัดอยู่และมีรูปแบบที่ต่างกัน ทำให้ผลการวัดที่ได้จะมีค่าที่มากเกินไปกว่าความเป็นจริงอย่างมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการวัดด้วยเครื่องมือวัด Network Analyzer ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่เป็นที่นิยมในหมู่นักวิจัยด้านสายอากาศ



ภาพที่ 6 แสดงการวัดสายอากาศด้วย Network Analyzer

เครื่องมือวัด Network Analyzer มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตัวกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) กับเครื่องวัดแถบคลื่น (Spectrum Analyzer) โดยทางผู้วิจัยสร้างสายอากาศต้นแบบที่เหมือนกัน 2 ชั้น โดยใช้สายอากาศในการทดลองทั้งหมด 6 ชุด ทั้งสายอากาศที่พัฒนาขึ้นมาและสายอากาศสำเร็จรูปดังภาพที่ 5 ชั้นงานที่ 1 ต่อเข้า port 1 เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณ ชั้นงานที่ 2 ต่อเข้า port 2 เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณเพื่อแสดงผลดังภาพที่ 6

การวัดประสิทธิภาพของสายอากาศด้วย Network Analyzer นั้นไม่สามารถแสดงค่าอัตราขยายออกมาตรงๆ ได้ จำเป็นต้องอาศัยสมการของฟรีส (Friis transmission Formula) เข้ามาหาค่าเฉลี่ยของสายอากาศนั้นๆ ในส่วนของ Network Analyzer ชั้นแรกต้องทำการปรับค่าต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบ สอบวัดเรียบร้อย แล้วเอาสายนำสัญญาณ ที่จะใช้ทดสอบต่อเชื่อมด้านส่งเข้ากับด้านรับ จากนั้นตั้งค่ากำลังส่งที่รับได้ให้เป็น 0 dB โดยเตรียมสายอากาศที่เหมือนกัน 2 ชั้น ชั้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง ที่ภาคส่ง ชั้นหนึ่งทำหน้าที่สายอากาศรับ รับสัญญาณที่ภาครับ ทำแบบนี้กับสายอากาศทดสอบทั้งหมด 6 ชุด ทั้งสายอากาศที่ทำการออกแบบเอง และสายอากาศสำเร็จรูปที่มีขาย

ตารางที่ 1 แสดงผลการการคำนวณอัตราขยายของสายอากาศของชุดสายอากาศแต่ละชุด

Ant Set No.	CH6 2.437 (GHz)	Antenna Gain (dB)
1	-34.0	3
2	-32.5	3.75
3	-37.0	1.5
4	-30.2	4.9
5	-39.3	0.35
6	-39.5	0.25

ในห้องตลาด ได้ผลอัตราขยายดังตารางที่ 1 หลังจากนั้นจึงนำสายอากาศชุดที่ 1 ไปติดตั้งใน IPTV STB แล้วทดสอบโดยการเปิดรับชมช่องรายการเปรียบเทียบกับ STB ที่ติดตั้งสายอากาศเดิมมาจากโรงงาน



ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบสายอากาศด้วยการรับชมช่องรายการ โทรทัศน์

4.2 ทดสอบผลการเกิดปัญหาการรับชมขาดช่วง จากเครื่องมือของผู้ให้บริการ

การทดสอบการเกิดปัญหาหามุน โหลดสามารถดูได้จากเครื่องมือที่เข้าถึงได้จากผู้ให้บริการโดยผู้วิจัย จะจำลองรูปแบบการทดสอบให้สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้รับชมจริงคือ จะพบปัญหาหามุน โหลดเมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย WiFi และมีระยะห่างมากกว่า 8 เมตรขึ้นไป

Creation Time	Client IP	Platform	Type of N	Program Type	Program Name	Playback	Viewing Dura	Startup B	Total Buffer Tim	Buffer Fre	Buffering Ratio
2019-05-26 11:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	86404	7	12567	889	14.54%
2019-05-26 11:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	85503	7	12466	878	14.57%
2019-05-26 11:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	84603	7	12446	876	14.7%
2019-05-26 10:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	83703	7	12295	866	14.68%
2019-05-26 10:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	82803	7	12062	850	14.56%
2019-05-26 10:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81903	7	12017	845	14.66%
2019-05-26 10:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	81003	7	12017	845	14.83%
2019-05-26 09:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	80103	7	11864	833	14.8%
2019-05-26 09:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	79203	7	11768	824	14.85%
2019-05-26 09:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	78303	7	11768	824	15.02%
2019-05-26 09:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	77403	7	11768	824	15.19%
2019-05-26 08:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	76503	7	11745	822	15.34%
2019-05-26 08:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	75603	7	11552	803	15.27%
2019-05-26 08:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	74703	7	11431	789	15.29%
2019-05-26 08:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	73803	7	11331	777	15.34%
2019-05-26 07:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72903	7	11063	763	15.17%
2019-05-26 07:41	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	72003	7	11045	760	15.33%
2019-05-26 07:26	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	71103	7	10853	741	15.25%
2019-05-26 07:11	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	70203	7	10585	717	15.07%
2019-05-26 06:56	49.49.246.146	TV	Wireless N	Live Broadcast	Thai PBS (HD)	Playing	69303	7	10439	704	15.05%

ภาพที่ 8 แสดงผลการทดสอบปัญหาหมน โหลดที่เข้าถึงได้จากผู้ให้บริการ

การทดสอบปัญหาหมน โหลดโดยใช้กล่องรับสัญญาณ IPTV ที่ใช้สายอากาศที่ออกแบบรับสัญญาณ และกล่องรับสัญญาณ IPTV ที่ใช้สายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงานที่ระยะทดสอบ 12, และ 5 เมตร โดยมีและไม่มีสิ่งใดขวางกั้น ทั้ง 2 กล่อง เข้ากับ Access point สำหรับทดสอบแล้ว โดยทำการทดสอบด้วยการรับชมด้วยตาเปล่า พร้อมกับเข้าไปดูข้อมูลการรับชมจากระบบ User Tracking System ของผู้ให้บริการด้วย โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ ตั้งแต่ 43,000 ถึง 86,000 วินาที หรือประมาณ 12-24 ชั่วโมง

ในภาพที่ 8 แสดงถึงรายละเอียดข้อมูลการรับชมและปัญหาการหมน โหลดที่เข้าถึงได้จากผู้ดูแลระบบของสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน ช่องแรก Create Time แสดงถึงวันเวลาที่ทดสอบ ช่องถัดมา Client IP แสดงไอพีแอดเดรสของอินเทอร์เน็ตที่ใช้ทดสอบ ช่องถัด Platform แสดงถึงรูปแบบในการทดสอบ ในที่นี้คือรับชมด้วยโทรทัศน์ผ่านกล่อง STB ถัดมาคือ Type of Network คือรูปแบบในการเชื่อมต่อ ในที่นี้คือเชื่อมต่อด้วย Wireless LAN ถัดมาคือรูปแบบในการทดสอบ Program Type คือช่องรายการสด ช่องถัดมาคือช่องสดที่ใช้ในการทดสอบคือช่อง Thai PBs (HD) ช่องถัดมา Viewing Duration แสดงระยะเวลาของการรับชมทั้งหมดของการทดสอบ ซึ่งในที่นี้คือ 86404 วินาที ช่องถัดไปคือ Startup Buffer คือจำนวนเวลาการเกิดปัญหาหมน โหลด ถัดไปคือ Total Buffer time แสดงค่าการเกิดปัญหาหมน โหลดตลอดช่วงเวลาของการทดสอบ ซึ่งในภาพที่ 8 แสดงค่าการเกิดหมน โหลด 12567 วินาที ส่วนช่องถัดไปคือร้อยละของการเกิดปัญหาหมน โหลด ซึ่งเกิดปัญหาหมน โหลดมากถึง 14.54 %

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบสายอากาศ

รูปแบบการทดสอบ	ระยะเวลา (วินาที)	ร้อยละของการเกิดปัญหาหามุนโหลด (%)	
		สายอากาศเดิม	สายอากาศที่ออกแบบ
1. ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะ 12 เมตร	86400	14.54	0.01
2. มีสิ่งกีดขวาง ระยะ 12 เมตร	86400	46.83	17.44
3. ไม่มีสิ่งกีดขวาง ระยะ 5 เมตร	86400	0.03	0.0
4. มีสิ่งกีดขวาง ระยะ 5 เมตร	71100	9.39	0.0

จากนั้นทำการทดสอบในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า สายอากาศที่ออกแบบสามารถลดปัญหาการหามุนโหลดขณะรับชมลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับสายอากาศเดิมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการดำเนินการออกแบบและพัฒนาสายอากาศไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตนั้น พบว่า สายอากาศชุดที่ 1 มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด กว้าง 46 มิลลิเมตร ยาว 48 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 1.6 มิลลิเมตร คือชุดสายอากาศที่นำเสนอได้อัตราขยาย 3 dB อัตราขยายที่ได้เป็นไปตามขอบเขตการวิจัย และสามารถเพิ่มความเสถียรของสัญญาณ WiFi ได้ดีขึ้น และส่งผลให้คุณภาพการรับชมดีขึ้น ปัญหาการหามุนโหลดลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของการออกแบบและพัฒนาสายอากาศแบบไมโครสตริปสำหรับกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตสามารถแยกข้อเสนอแนะออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 ผลการจำลองด้วยซอฟต์แวร์กับการสร้างชิ้นงานจริงมีความแตกต่างกันพอสมควรจึงควรปรับค่าพารามิเตอร์ของวัสดุให้ใกล้เคียงกับค่าวัสดุที่ใช้จริงมากที่สุด

5.2.2 สภาพแวดล้อมในการทดสอบสายอากาศเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนไปได้ ดังนั้นควรหาพื้นที่ทดสอบให้ปลอดจากสัญญาณ WiFi จากภาพแวดล้อม

5.2.3 ในปัจจุบันกล่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านอินเทอร์เน็ตบางรุ่นสามารถรองรับคลื่นความถี่ WiFi ย่าน 5 GHz แล้ว ดังนั้นในอนาคตควรออกแบบสายอากาศที่รองรับทั้งคลื่นความถี่ WiFi ที่ย่าน 2.4 GHz และ 5 GHz ด้วย

5.2.4 วัสดุที่ใช้ในกระบวนการสร้างต้นแบบสายอากาศที่มีขายในประเทศไทย มีค่าสัมประสิทธิ์คงตัวของวัสดุแตกต่างกันไปจากการจำลองมาก เช่นความหนาของแผ่นทองแดง ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของแผ่น PCB ที่เป็นฉนวนกั้นกลางระหว่างตัวนำกับเป็นกราวด์ ดังนั้นควรหาวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์คงตัวใกล้เคียงกับการจำลองให้มากที่สุด ซึ่งมาขายในต่างประเทศและมีราคาแพง

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. (2536). **วิศวกรรมสายอากาศ** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย
โมไนย ไกรฤกษ์. (2540). **ทฤษฎีสายอากาศ**. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
อรณพ ชันธิกุล, อำนาจ มีมงคล. (2553). **ออกแบบและติดตั้งระบบ Wireless LAN 2nd
Edition**. กรุงเทพฯ : ไอดีซี พรีเมียร์, บจก.

วิทยานิพนธ์

นิลฉยา ผลอนันต์. (2552). **กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประกอบธุรกิจแพร่สัญญาณโทรทัศน์
ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชา
กฎหมายธุรกิจ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
กัลยรัตน์ สิมณ. (2555). **การออกแบบสายอากาศสำหรับระบบสวิตซ์ลำคลื่นที่ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค
ที่ 3**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม.
กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

Wikipedia. (2551). IEEE 802.11. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2561 จาก
https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
Wikipedia. (2551). สายอากาศ. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2561 จาก
<https://th.wikipedia.org/wiki/สายอากาศ>.
บริษัท อสมท จำกัด (มหาชน). (“n.d.”). ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ. สืบค้นเมื่อ
22 กุมภาพันธ์ 2561 จาก <http://dtv.mcot.net/data/manual/book1309960190.pdf>.
Wikipedia. (2559). อัตราส่วนคลื่นนิ่ง. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2561 จาก
<https://th.wikipedia.org/wiki/อัตราส่วนคลื่นนิ่ง>

ภาษาต่างประเทศ

ELECTRONIC SOURCE

CIM Design. (2018). Microstrips Patch antenna with slot array using HFSS

Retrieved May 5, 2018, from <https://www.youtube.com/watch?v=nRV8vP4eTos>

HelpBeingEngineer dot info. (2017). Design Rectangular Patch Antenna using HFSS Part - 1

Retrieved May 6, 2018, from <https://www.youtube.com/watch?v=Er-vhs7VnS8>

Gourav Misra. (2015) DESIGN OF MICROSTRIP PATCH ANTENNA FOR WIDE BAND AND ULTRA WIDE BAND APPLICATIONS Retrieved May 15, 2018, from

<https://www.researchgate.net/publication/312523480>

Emtalk team. (2010). Microstrip Patch Antenna from Simulation to Realization Retrieved

May 6, 2018, from http://www.emtalk.com/mwt_mpa.htm

S. Afroz Sylvia Thomas Sylvia, Thomas G. Mumcu S.E. Sadow S.E. Sadow (2013).

Implantable SiC based RF antenna biosensor for continuous glucose monitoring

Retrieved May 6, 2018, from

<https://www.researchgate.net/publication/261309586>

Kai Fong Lee, Kwai Man Luk, Hau Wah Lai. (2017) Microstrip Patch Antennas

Retrieved Jul 3, 2018, from

<https://books.google.co.th/books?id=57ZQDwAAQBAJ&dq>

Metageek team. ("n.d."). RSSI vs dBm Retrieved Jul 3, 2018, from

<https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi.html>

cisco community. (2010) SNR and RSSI Values.

Retrieved Jul 3, 2018, from [https://community.cisco.com/t5/wireless-and-mobility/snr-](https://community.cisco.com/t5/wireless-and-mobility/snr-and-rssi-values/td-p/1445589)

[and-rssi-values/td-p/1445589](https://community.cisco.com/t5/wireless-and-mobility/snr-and-rssi-values/td-p/1445589)

Everythingrf. ("n.d."). Friis Transmission Calculator. Retrieved Jul 20, 2018

from <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/friis-transmission-calculator>

Everythingrf. ("n.d."). Antenna Near Field & Far Field Distance Calculator.

Retrieved Jul 20, 2018 from <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/>

[antenna-near-field-distance-calculator](https://www.everythingrf.com/rf-calculators/antenna-near-field-distance-calculator)

Everythingrf. ("n.d."). Frequency to Wavelength Calculator. Retrieved Jul 20, 2018 from <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/frequency-to-wavelength>

microwaves101. ("n.d."). Microwaves101's Download Area. Retrieved Jul 20, 2018 from <https://www.microwaves101.com/download-area>

IMB+Records Ltd. (2015). Buffering problems. Retrieved Jul 20, 2018 from <https://www.imb-plus.tv/support/buffering-problems/>