บทที่ 5
สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินงานวิจัย จากนั้นจะเป็นการอภิปรายผลการทดลองซึ่งจะกล่าวถึงข้อจำกัดและปัญหาที่พบระหว่างดำเนินการวิจัย และแนวทางแก้ไขหรือข้อเสนอแนะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้เพัฒนาระบบความเป็นจริงเสริม มีระบบหลักที่ทำงานและแสดงผลบนสมาร์ทโฟน ระบบความจริงเสริมที่พัฒนานั้นทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ อ่านข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้จากสมาร์ทโฟนจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในสมาร์ทโฟน อ่านข้อมูลการทิศทางหรือเอียงตัวของสมาร์ทโฟนโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งเชิงเส้น กรองสัญญาณรบกวนในข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร่งด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน แสดงผลความจริงเสริมโดยการซ้อนภาพตำแหน่งของเรือประมงลงบนภาพจากกล้องวีดิโอของสมาร์ทโฟนด้วยการใช้คลังโปรแกรมโอเพนจีแอลอีเอล สำหรับระบบส่วนที่ติดตั้งบนเรือประมงพัฒนาบนสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เช่นเดียวกัน โดยระบบจะอ่านข้อมูลตำแหน่งของเรือประมงจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในสมาร์ทโฟน แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์และอินเทอร์เน็ตไปยังคอมพิวเตอร์ให้บริการ โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลที่รับได้ไปบันทึกลงในระบบจัดการฐานข้อมูล เพื่อนำมาสืบค้นและให้บริการตำแหน่งเรือแต่ละลำให้กับระบบแสดงแผนที่ต่อไป โปรแกรมในเครื่องให้บริการพัฒนาด้วยภาษาพีเอชพีและใช้มายเอสคิวเอลเป็นระบบจัดการฐานข้อมูล มีระบบจัดการเรือ แสดงตำแหน่งเรือเป็นแผนที่ด้วยบริการของกูเกิลแม็พเอพีไอ

การทดสอบการส่งสัญญาณตำแหน่งเรือจากเรือประมงที่อยู่ในทะเล พบว่าการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายโทรศัพท์นั้นค่อนข้างดี แต่มีระยะการส่งที่จำกัดอยู่ที่ประมาณ 15 กิโลเมตร ซึ่งระยะทางนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเสาสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสำคัญ ตำแหน่งพิกัดที่ส่งได้มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 10 - 15 เมตร ซึ่งไม่มีผลต่อการแสดงความจริงเสริมเนื่องจากเรือประมงอยู่ห่างจากผู้ใช้เป็นระยะทางหลายกิโลเมตร ทำให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพบนกล้องของสมาร์ทโฟนมีค่าต่ำเกินกว่าจะแยกแยะรายละเอียดของเรือประมงได้อย่างชัดเจน ดังนั้นความจริงเสริมที่นำมาใช้นั้นสามารถช่วยให้ผู้ใช้ทราบข้อมูลของเรือประมงที่ต้องการตรวจสอบได้เป็นอย่างดี

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

5.2.1 การรับสัญญาณ

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยพบปัญหาหลัก ๆ หลายประเด็น ประเด็นที่หนึ่งที่สำคัญคือความเร็วในการรับสัญญาณจีพีเอสในสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยพบว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ในการทดลองนั้นรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสได้ช้าทุกรุ่น ซึ่งเกิดได้จากหลายปัจจัย ทั้งอาจจะเนื่องมาจากประสิทธิภาพของตัวเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ติดตั้งในสมาร์ทโฟนเองที่อาจจะใช้อุปกรณ์รับสัญญาณ

ที่ต่างกัน ทำให้ความเร็วในการรับสัญญาณและความเร็วในการประมวลผลต่างกันไป และอาจจะเกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผลพิกัดในเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสอีกด้วย นอกจากนั้นผู้วิจัยพบว่ามีบางขณะที่สัญญาณจีพีเอสนั้นอาจจะขาดหายไปบ้าง ซึ่งโดยหลักการแล้วจะขัดกับหลักการออกแบบระบบจีพีเอสที่กำหนดให้มีดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวงปรากฏให้เห็นจากทุกตำแหน่งบนโลกเสมอ และพื้นที่ทดสอบการทำงานเป็นชายทะเล ไม่มีปัญหาด้านสัญญาณสะท้อนจากวัตถุสูงต่าง ๆ รอบเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ดังนั้นผู้วิจัยจึงคาดว่าปัญหานี้อาจจะเป็นเพราะคุณภาพของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ภายในสมาร์ทโฟน

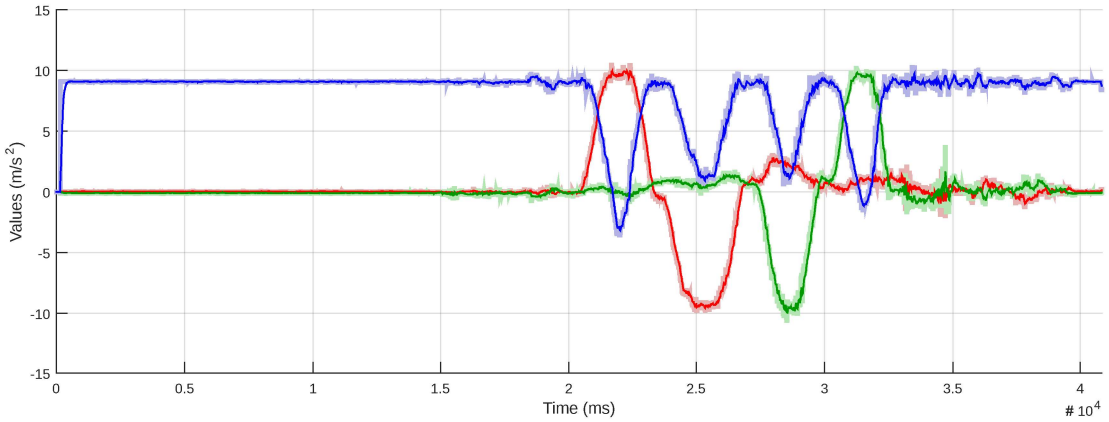
อีกประเด็นหนึ่งคือความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของพิกัดที่วัดได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลอบความคลาดเคลื่อนของพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยการนำสมาร์ทโฟนซัมซุงกาแล็กซีเอสทรีวางไว้กับที่แล้วบันทึกพิกัดอย่างอัตโนมัติเป็นเวลาประมาณ 30 นาที ผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับ Blum, Greencorn and Coperstock (2012) คือพบว่ามีความแม่นยำของพิกัดในช่วงประมาณ 15 เมตร ซึ่งพิจารณาจากค่าแล้วจะพบว่าความแม่นยำนี้ค่อนข้างต่ำเกินสำหรับการใช้ในการนำทางบนบก แต่ในกรณีของงานวิจัยนี้เป็นระบบสำหรับการแสดงความจริงเสริมตำแหน่งเรือประมงที่อยู่ห่างจากผู้ใช้ออกไปเป็นระยะทางหลายกิโลเมตร การที่ตำแหน่งของผู้ใช้หรือตำแหน่งของเรือคลาดเคลื่อนในช่วง 15 - 30 เมตร เมื่อเทียบกับระยะทางในหน่วยกิโลเมตรแล้วค่อนข้างน้อยยกตัวอย่างเช่น หากสมาร์ทโฟนที่ใช้มีองศารับภาพเท่ากับ 60 องศาและเรืออยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 1000 เมตรแล้ว ถ้าหากผู้ใช้ถือสมาร์ทโฟนในแนวนอนและสมาร์ทโฟนเครื่องนั้นมีความละเอียดการแสดงผลตามแกน $\mathbf{X}$ เท่ากับ 2000 พิกเซลแล้ว ความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) ของวัตถุที่อยู่ห่างออกไป 1000 เมตรนั้นจะมีค่าประมาณ 0.58 เมตรต่อพิกเซล ดังนั้นการที่ตำแหน่งของเรือคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง 30 เมตรจึงทำให้ภาพของเรือที่ปรากฏบนหน้าจอนั้นจะเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ควรจะเป็นเพียงประมาณ 1 - 2 พิกเซลเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยและสามารถยอมรับได้สำหรับการใช้งานในงานวิจัยนี้

5.2.2 ความแม่นยำของการคำนวณการเอียงตัวของอุปกรณ์

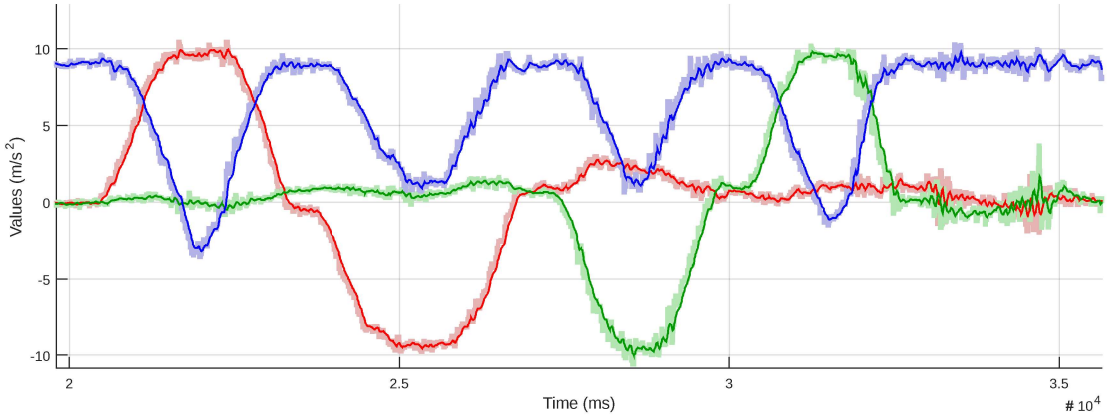
ภาพที่ 5.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง ค่าจากแกน $\mathbf{X}$, $\mathbf{Y}$ และ $\mathbf{Z}$ แสดงด้วยสีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงินตามลำดับ เส้นสีอ่อนแสดงข้อมูลก่อนการกรอง และเส้นสีเข้มแสดงข้อมูลหลังการกรองด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน โดยผู้วิจัยนำสมาร์ทโฟนวางกับพื้นให้นิ่งประมาณสองวินาทีแล้วจึงหมุนสมาร์ทโฟนไปรอบแกนต่าง ๆ ภาพที่ 5.2 แสดงภาพขยายของภาพที่ 5.1 ซึ่งจากภาพจะพบว่าสัญญาณข้อมูลที่วัดได้นั้นมีสัญญาณรบกวนที่มีค่าประมาณ 1 - 2 เมตรต่อวินาทีกลับสอง โดยจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงท้ายของภาพ ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่มือที่ถือสมาร์ทโฟนสั่นเนื่องจากการจับที่ไม่ถนัด อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าสัญญาณที่ผ่านการกรองแล้ว (เส้นสีเข้ม) มีความเรียบมากขึ้นกว่าข้อมูลต้นฉบับ (เส้นสีอ่อน) ส่งผลให้โปรแกรมแสดงผลได้เรียบมากขึ้น

ภาพที่ 5.3 เปรียบเทียบการกำหนดค่า α ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านในสมการที่ 3.26 ด้วยการกำหนดค่า α ที่ต่าง ๆ กัน จากภาพจะเห็นว่าเมื่อกำหนดค่าน้อย เช่น 0.10 ดังในกรณีของภาพที่ 5.3 (ก) นั้น สัญญาณที่กรองได้นั้นไม่ต่างจากสัญญาณอินพุต ในกรณีนี้ผู้ใช้สามารถรับรู้ได้ถึงสัญญาณรบกวนได้การกระตุกของการแสดงผลอย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มค่า α ให้สูงขึ้นดังในกรณีของภาพที่ 5.3 (ข) จะทำให้สัญญาณเรียบมากขึ้น การแสดงผลมีการกระตุกน้อยลง ผู้ใช้จะรู้สึกได้ว่าการแสดง

ผลราบลื่นมาก อย่างไรก็ตามแม้ว่าค่า α ที่สูงมาก ๆ นั้นอาจจะทำให้เกิดผลที่ไม่ต้องการได้

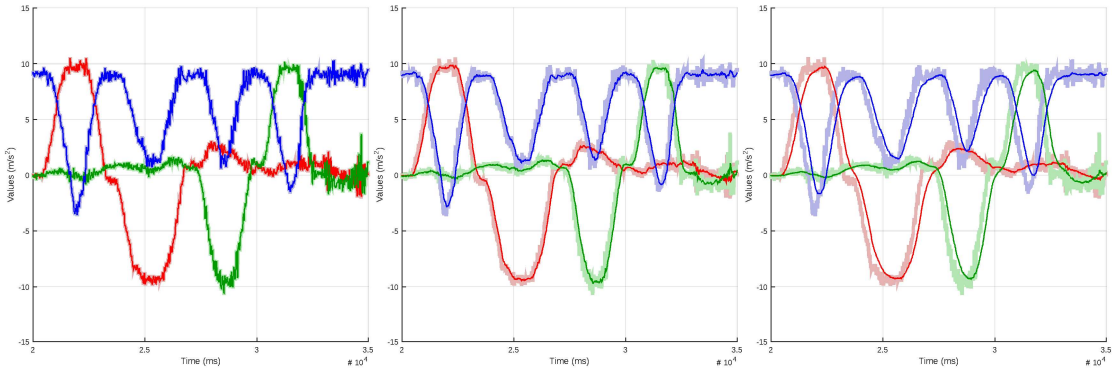


ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดความเร่ง แสดงข้อมูลของแกน **X**, **Y** และ **Z** ด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ



ภาพที่ 5.2 ภาพขยายของภาพที่ 5.1

ยกตัวอย่างเช่นการกำหนดค่าดังแสดงในภาพที่ 5.3 (ค) ซึ่งกำหนด α สูงมากคือกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.98 ซึ่งเมื่อพิจารณาสมการที่ 3.26 จะพบว่าการกำหนดค่า α สูงมากจนเข้าใกล้ 1.0 จะทำให้ค่าที่คำนวณได้นั้นเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณรอบก่อนหน้าเป็นส่วนใหญ่ ค่าที่เซ็นเซอร์เพิ่งตรวจวัดได้นั้นไม่ได้ถูกนำมาเพิ่มค่าแต่อย่างใด การสะสมของค่าเก่าไปเรื่อย ๆ นี้จะทำให้ค่าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงช้ามาก ผลคือสัญญาณที่ได้จะเรียบมากเกินและจะทำให้เกิดการหน่วงเวลามากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่กรองแล้วเลื่อนห่างจากสัญญาณอินพุตอย่างชัดเจน ในตัวอย่างนี้พบว่าสัญญาณเหลื่อมกันเป็นเวลาประมาณ 500 มิลลิวินาทีหรือครึ่งวินาทีซึ่งผู้ใช้สามารถรับรู้ถึงการหน่วงเวลาได้ง่าย ดังนั้นการกำหนดค่าการถ่วงน้ำหนักนี้จึงควรกำหนดให้เหมาะสม



(ก) 0.10 (ข) 0.95 (ค) 0.98

ภาพที่ 5.3 การทดสอบการกำหนดค่า α ของตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน

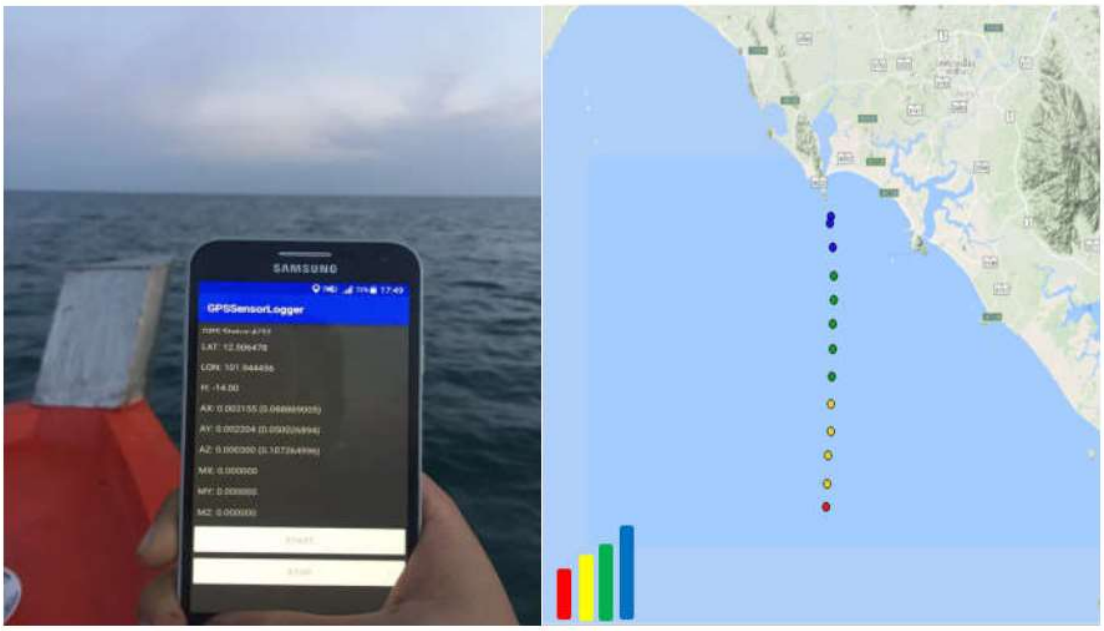
อีกประการหนึ่งคือการเลือกใช้ตัวกรอง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการศึกษาครั้งนี้กรองสัญญาณรบกวนด้วยการใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านเนื่องจากต้องการให้โปรแกรมที่พัฒนานี้สามารถรันได้บนสมาร์ทโฟนทุกรุ่น โดยไม่จำเป็นต้องมีเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุม อย่างไรก็ตามหากต้องการคำนวณทิศทางของสมาร์ทโฟนให้แม่นยำมากขึ้นแล้ว ก็อ่านควรทดสอบการทำงานบนสมาร์ทโฟนรุ่นที่มีเซ็นเซอร์วัดความเร็วเชิงมุมและเปลี่ยนจากตัวกรองความถี่ต่ำผ่านมาเป็นตัวกรองคอมพลิเมนทารี่แทนก็เป็นได้

5.2.3 สัญญาณโทรศัพท์และสัญญาณอินเทอร์เน็ต

เนื่องจากงานวิจัยนี้ส่งข้อมูลจากเรือประมงกลับไปยังเครื่องบริการด้วยเครือข่ายจีพีอาร์เอสซึ่งทำงานอยู่บนบริการของเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ การที่ระบบจะทำงานปกตินั้นจะต้องมีสัญญาณโทรศัพท์และอินเทอร์เน็ตอยู่เสมอ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทดสอบการทำงานในทะเลด้วยการตรวจสอบความแรงของเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยการทดลองนี้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ของบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) (Advanced Info Service : AIS) ซึ่งเป็นเครือข่ายโทรศัพท์สำหรับใช้งานทั่วไป กระจายสัญญาณส่วนใหญ่ด้วยเสา (tower) ที่ติดตั้งตามที่ต่าง ๆ บนแผ่นดิน ผู้วิจัยไม่พบเสาหรืออุปกรณ์สำหรับการกระจายสัญญาณโทรศัพท์รูปแบบอื่นนอกชายฝั่งโดยผู้ช่วยวิจัยได้บันทึกระดับความแรงของสัญญาณในสมาร์ทโฟน (แสดงบนหน้าจอสมาร์ทโฟนด้วยสัญลักษณ์หนึ่งถึงสี่ขีด) ที่ระยะทางต่าง ๆ ใส่กระดาษแล้วนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์

ภาพที่ 5.4 (ก) แสดงหน้าจอของสมาร์ทโฟนระหว่างการบันทึกข้อมูล และภาพที่ 5.4 (ข) แสดงผลลัพธ์ความแรงสัญญาณโทรศัพท์ ในภาพแบ่งระดับความแรงตามระดับที่แสดงในหน้าจอของสมาร์ทโฟนตั้งแต่ระดับหนึ่งขีด (สัญญาณน้อย) จนถึงระดับสี่ขีด (สัญญาณแรงที่สุด) โดยแทนด้วยสีน้ำเงินไปหาสีแดงตามลำดับ ในภาพจะเห็นกลุ่มของจุดวงกลมสีน้ำเงินที่มีระยะทางประมาณ 1 - 5 กิโลเมตรจากชายฝั่ง จุดสีน้ำเงินกลุ่มนี้อยู่ในระดับที่มีสัญญาณดีความเข้มสูงถึงระดับสี่ ในระยะต่อมาคือกลุ่มของจุดสีเขียวซึ่งห่างจากชายฝั่งประมาณ 5 - 10 กิโลเมตร พบว่าระดับสัญญาณลดลงอยู่ในระดับปานกลางหรือประมาณสามขีด ในระยะต่อมาคือจุดสีเหลืองที่อยู่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 10 - 14 กิโลเมตร พบว่าความเข้มของสัญญาณลดลงอยู่ในระดับความเข้มน้อย ประมาณสองขีด และระยะที่เกิน 15 กิโลเมตรขึ้นไปนั้นมีระดับความเข้มน้อยที่สุดและพบสัญญาณขาดหายได้ซึ่งผู้วิจัยพบว่า

ระบบสามารถทำงานได้เป็นปกติและสามารถส่งข้อมูลได้เมื่อสมาร์ทโฟนอยู่ในระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตรจากชายฝั่ง เมื่อไกลจากนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำลง การส่งข้อมูลทำได้ช้า และจะไม่สามารถส่งข้อมูลได้เมื่ออยู่ห่างจากฝั่งเกิน 15 กิโลเมตรขึ้นไปเนื่องจากไม่มีสัญญาณโทรศัพท์



ภาพที่ 5.4 การทดสอบระยะทางสัญญาณโทรศัพท์ในทะเล

อย่างไรก็ตามการวัดประสิทธิภาพการส่งสัญญาณนี้อาจจะมีข้อจำกัดเนื่องจากเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นเส้นทางที่ผู้ช่วยนักวิจัยซึ่งเป็นชาวประมงในพื้นที่เดินทางอยู่เป็นประจำเพียงเส้นทางเดียว ซึ่งแม้ว่าจะสามารถแสดงให้เห็นได้ว่ามีประโยชน์กับชาวประมงรายนี้ แต่ยังไม่ทราบข้อมูลของพื้นที่อื่น ๆ นอกจากนั้นแล้วยังทดสอบกับผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เพียงรายเดียว ดังนั้นการทำแผนที่พื้นที่บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่นอกชายฝั่งสามารถทำได้ด้วยการทดสอบกับผู้ให้บริการที่มากกว่านี้หรืออาจจะทำได้ด้วยการคำนวณหรือการประมาณค่าโดยอาศัยข้อมูลความถี่ของสัญญาณ รูปแบบการแพร่สัญญาณ ทิศทาง ความสูงและกำลังส่งของเสาโทรศัพท์ก็เป็นได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การบริการข้อมูลผ่านเอพีไอ

งานวิจัยนี้ทำระบบต้นแบบที่จัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล โดยมีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องให้บริการกับสมาร์ทโฟนด้วยเทคนิคเอแจ็กซ์ ซึ่งเทคนิคนี้สามารถนำมาประยุกต์เพื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบการให้บริการข้อมูลตำแหน่งเรือและข้อมูลเชิงบรรยายอื่น ๆ ได้ด้วยการสร้างเอพีไอบนเว็บสำหรับให้เว็บแอปพลิเคชันของน่วยงานต่าง ๆ เรียกใช้ได้อย่างสะดวก โดยอาจจะประยุกต์นำมาตรฐานการข้อมูลทางภูมิสารสนเทศเข้ามาช่วยก็ได้ ยกตัวอย่างมาตรฐานเอสโอเอส (sensor observation service : SOS) หรือบริการดับเบิลยูเอฟเอส (web feature service : WFS) ของ

โอจีซี (Open Geospatial Consuttium : OCG) ซึ่งกรณีหลังสามารถนำไปแสดงผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information systems : GIS) รุ่นใหม่ในปัจจุบันได้ทันที

5.3.2 แบบจำลองเรือประมง

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการแสดงแบบจำลองเรือประมงสามมิติ ด้วยการซ้อนภาพของแบบจำลองสามมิติโดยไม่มีการตรึงพิกัดกับโลกจริง เนื่องจากระยะทดสอบการทำงานเป็นระยะที่เรืออยู่ห่างจากผู้ใช้มากอย่างไรก็ตามหากมีการนำไปใช้งานในระยะใกล้ก็อาจจะเพิ่มการตรวจสอบระยะทางที่เหมาะสมสำหรับการแสดงแบบจำลองสามมิติแล้วปรับการทำงานให้มีการตรึงพิกัดได้ โดยอาจจะต้องใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อสกัดฟีเจอร์และเปรียบเทียบฟีเจอร์จากภาพกับฟีเจอร์ของแบบจำลองเรือ จากนั้นจึงนำข้อมูลตำแหน่งและทิศทางทั้งของสมาร์ทโฟนและเรือมารวมกันเพื่อคำนวณตำแหน่งและทิศทางของแบบภาพของจำลองบนหน้าจอสมาร์ทโฟน โดยอาจจะปรับตำแหน่งที่คำนวณได้ด้วยการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพิ่มเติมเพื่อปรับละเอียดให้แบบจำลองตรึงเข้ากับภาพได้ดียิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี