



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบกำหนดตำแหน่งภายในอาคารบนอุปกรณ์เคลื่อนที่
Indoor Positioning System on Mobile Devices



วิทยาลัยนานาชาติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH

G

109.5

0๗๖๔๕

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **131203**

วัน,เดือน,ปี. **2 6 ๒๕๕7**

b. 12602917
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ ระบบกำหนดตำแหน่งภายในอาคารบนอุปกรณ์เคลื่อนที่
 แหล่งเงิน งบประมาณรายได้ วิทยาลัยนานาชาติ
 ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท
 ระยะเวลาทำการวิจัย เดือน ตั้งแต่ ถึง.....
 ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัดและอีเมลล์
 หัวหน้าโครงการ นาย อิศระ อนันตวรฤทธิเดช วิทยาลัยนานาชาติ isara.a@gmail.com

บทคัดย่อ

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก Global Positioning System (GPS) คือระบบบอกตำแหน่งบนผิวโลกโดยคำนวณสัญญาณนาฬิกาที่ส่งออกมาจากระบบดาวเทียมที่ทราบตำแหน่งแน่นอน โดยจุดประสงค์หลักของระบบ GPS นั้นก็เพื่อใช้ในการระบุพิกัดของวัตถุและนำทางระบบ GPS นั้นมีความแม่นยำสูงและได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีราคาถูก และได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อีกทั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GPS ยังถูกติดตั้งลงในอุปกรณ์ต่างๆ มากมายตั้งแต่ อุปกรณ์บอกตำแหน่งหรือนำทาง โทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือแม้กระทั่งกล้องถ่ายภาพ ทั้งนี้อุปกรณ์ GPS ยังมีข้อจำกัดสำคัญอยู่ กล่าวคือระบบ GPS นั้นไม่สามารถทำงานได้แม่นยำในที่ที่มีระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมต่ำ เช่น ในเมืองที่มีตึกสูงหรือในอาคาร ข้อจำกัดนี้ทำให้ระบบ GPS ไม่สามารถใช้งานในอาคารได้

ถึงแม้ระบบ GPS จะไม่สามารถทำงานในอาคารได้ แต่การนำทางในอาคารนั้นก็มีความสำคัญ โดยเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่ที่มีการวางผังที่ซับซ้อน เช่น สนามบิน ห้างสรรพสินค้า และโรงพยาบาล เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาระบบกำหนดตำแหน่งที่ใช้ในอาคาร (Indoor Positioning System) โดยที่ไม่ต้องพึ่งสัญญาณดาวเทียม GPS นอกจากนั้นแล้ว ผู้พัฒนายังต้องการให้ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลาย โดยที่ต้องการเพียงแค่โทรศัพท์เคลื่อนที่สมาร์ตโฟนที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานประยุกต์และบริการต่างๆ ได้โดยง่ายอีกด้วย

คำสำคัญ: indoor positioning system, navigation, GPS, location, mobile devices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Indoor Positioning System on Mobile Devices

Researcher: Dr. Isara Anantavasilp

Faculty: International College

ABSTRACT

Global Positioning System (GPS) is a satellite-based system that provides precise location on the Earth's surface. A GPS receiver locates itself by calculating the signals sent by the satellites that have specific location. GPS system is primarily used in navigational systems which have been rapidly developed over the years. As a result, the GPS receivers are now very cheap and widely used and equipped in many devices ranging from vehicular navigational system, smartphones or even cameras. Nonetheless, GPS system has a critical limitation: It cannot be used in the places where satellite signals are limited such as urban areas or inside a building. This limitation restricts the GPS system mainly to outdoor use.

Although the GPS system may not be used indoors, the need for indoor navigational system is still imminent. This is especially true in the buildings where the layout is complicated, e.g., airports, department stores and hospitals.

This research aims to develop an indoor positioning system (IPS) that uses no GPS satellite signal. The system should be able to be used in and deployed to ordinary smartphones.

Keywords: indoor positioning system, navigation, GPS, location, mobile devices

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณวิทยาลัยนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยนี้ ดร.ชัยวัฒน์ หนูทอง ดร.รณชัย ติยะรัตนาชัย ดร.อุกฤษฏ์ วัชรฤทธิ์ ดร.นันทพงศ์ จิ่งธีรพานิช รวมทั้งเจ้าหน้าที่วิทยาลัยนานาชาติ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับการทำวิจัยนี้ด้วยเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	i
สารบัญตาราง	i
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	4
3.1 การศึกษาถึงหลักการทำงานของระบบ IPS ประเภทต่างๆ	4
3.2 การศึกษาและประเมินความเหมาะสมของอัลกอริธึมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณตำแหน่งในอาคาร	4
3.3 การพัฒนาและทดลองระบบระบุตำแหน่งด้วยกล้องสเตอริโอ	7
บทที่ 4 ผลการวิจัย	9
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	10
บรรณานุกรม	19
ประวัตินักวิจัย	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือ Global Positioning System (GPS) คือระบบบอกตำแหน่งบนผิวโลกโดยคำนวณสัญญาณนาฬิกาที่ส่งออกมาจากระบบดาวเทียมที่ทราบตำแหน่งแน่นอน โดย ระบบ เครื่องข่ายดาวเทียม GPS นั้นได้ถูกพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1973 และแล้วเสร็จสมบูรณ์ในปี ค.ศ. 1994 โดยมีวัตถุประสงค์ด้านการทหารเป็นหลัก แต่เนื่องจากระบบ GPS มีความแม่นยำสูง และอุปกรณ์ระบบ GPS ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมีขนาดเล็กและราคาถูกลง ทำให้ในปัจจุบันระบบ GPS ได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้นเป็นอย่างมาก โดยมีมันได้ถูกรวมเข้ากับอุปกรณ์มากมายหลายประเภท ทั้งอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้บอกตำแหน่งหรือนำทาง โดยตรงเช่น ระบบนำทางในรถยนต์ หรือยานพาหนะอื่นๆ ตลอดจนอุปกรณ์อื่นๆ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ และกล้องถ่ายรูป และระบบ GPS ได้ประยุกต์ถูกใช้ในงานหลายประเภท ตั้งแต่การใช้ระบุตำแหน่งของยานพาหนะเพื่อใช้นำทาง การทำแผนที่ การสำรวจ ไปจนถึงใช้ในระบบเครือข่ายสังคม (Social Networks) และเพื่อความบันเทิง [8] งานประยุกต์เหล่านี้ เราเรียกรวมกันว่า Location-Based Services (LBS)

อย่างไรก็ตามระบบ GPS นั้น ยังมีข้อบกพร่องที่สำคัญอยู่ นั่นก็คืออุปกรณ์รับสัญญาณ GPS ไม่สามารถใช้ได้ในบริเวณที่รับสัญญาณจากดาวเทียมไม่ได้หรือได้ไม่ดีพอเช่น ในเมืองที่มีตึกสูงคับคั่ง ในร่องเขา และโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในอาคาร นั่นหมายความว่างานหรือระบบประยุกต์ที่ได้กล่าวไปข้างต้นนั้น จะใช้ไม่ได้โดยมีประสิทธิภาพภายในอาคารหรือสถานที่ที่อับสัญญาณดาวเทียม นอกจากนั้นแล้วระบบกำหนดตำแหน่งในอาคารที่แม่นยำนั้น ยังจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ในอีกหลายสถานการณ์ เช่น ระบบนำทางในอาคารขนาดใหญ่ เช่น สนามบิน ห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล หรือลานจอดรถ ระบบ IPS ยังสามารถนำมาใช้ระบบจัดส่งและจัดเก็บสินค้า (logistics และ warehousing) ด้วยเหตุนี้ระบบกำหนดตำแหน่งภายในอาคาร หรือ Indoor Positioning System (IPS) ที่ไม่ต้องพึ่งพาสัญญาณดาวเทียมจึงมีความจำเป็น และได้รับความสนใจในแง่ของการวิจัยพัฒนาเป็นอันมากในปัจจุบัน

อย่างไรก็ดีแม้ว่าระบบ IPS จะมีความสำคัญและจะได้รับความสนใจและพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ระบบ IPS ที่สามารถใช้งานได้อย่างแม่นยำ ราคาถูก และใช้ได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ของผู้ใช้ทั่วไปนั้นยังไม่มี [8] ระบบ IPS จึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายเหมือนระบบนำทางภายนอกอาคาร ด้วยเหตุนี้ผู้เสนอโครงการจึงขอเสนอโครงการวิจัยพัฒนาระบบ IPS ที่สามารถนำไปใช้ได้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ของผู้ใช้ทั่วไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานประยุกต์และบริการต่างๆได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

จุดประสงค์ของโครงการวิจัยนี้คือ

- 1) เพื่อพัฒนาระบบกำหนดตำแหน่งในอาคาร (Indoor Positioning System – IPS) ที่สามารถใช้งานได้นับอุปกรณ์เคลื่อนที่ทั่วไป เช่น บน สมาร์ทโฟน (smartphone) แท็บเล็ตคอมพิวเตอร์ (tablet computer) หรือโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์
- 2) เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ ระบบ IPS ในงานประยุกต์อื่นๆ
- 3) เพื่อวางรากฐานทำการวิจัยต่อยอดในสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบเครือข่ายไร้สาย ไฟฟ้า สถิติ และปัญญาประดิษฐ์ เป็นต้น
- 4) นำเอาความรู้ที่ได้จากโครงการไปใช้ในงานวิจัยในสาขาอื่นๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษาการทำงานและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบ IPS
- 2) พัฒนาตัวอย่างระบบและ/หรือโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ระบุตำแหน่งภายในอาคารซึ่งสามารถใช้งานได้นับอุปกรณ์เคลื่อนที่ทั่วไปได้
- 3) เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ ระบบ IPS ในระบบประยุกต์อื่นๆ

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

ศึกษาถึงหลักการทำงานของระบบ IPS ประเภทต่างๆอย่างละเอียด จากนั้นจึงศึกษาและประเมินความเหมาะสมของอัลกอริธึมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณตำแหน่งในระบบ IPS และจัดหาอุปกรณ์และฮาร์ดแวร์ที่สอดคล้องกับวิธีการคำนวณตำแหน่ง จากนั้นจึงพัฒนาและทดสอบโปรแกรมต้นแบบที่สามารถทำงานได้นับอุปกรณ์เคลื่อนที่ทั่วไป และขั้นสุดท้ายคือการประเมินถึงความเป็นไปได้ในการนำระบบ IPS ที่ถูกพัฒนาขึ้นไปใช้ในระบบประยุกต์อื่นๆ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้เข้าใจหลักการทำงาน ข้อดี ข้อเสีย ของระบบ IPS ประเภทต่างๆ รวมไปถึงความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ ระบบ IPS ในงานประยุกต์อื่นๆ
- 2) มีตัวอย่างระบบและ/หรือโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้กำหนดตำแหน่งภายในอาคารซึ่งสามารถใช้งานได้นับอุปกรณ์เคลื่อนที่ทั่วไปได้

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากสัญญาณ GPS ไม่สามารถใช้ได้ในอาคารหรือจุดอับสัญญาณดาวเทียม ระบบ IPS จึงจำเป็นต้องพึ่งพาข้อมูลประเภทอื่น เช่น สัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม สัญญาณเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) ภาพ แสงอินฟราเรด หรือมาตรความเร่ง (accelerometer) โดยระบบจะประมวลผลข้อมูลที่ได้จากสัญญาณ (เช่น ความเร่ง มุม หรือ Time of Flight) เพื่อคำนวณหาตำแหน่งปัจจุบัน

ระบบ IPS ในปัจจุบันสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆตามหลักการทำงานได้ดังนี้

1. ระบบที่ออกแบบมาเฉพาะเพื่องานกำหนดตำแหน่ง

ระบบในประเภทนี้ถูกออกแบบและพัฒนาเพื่องานกำหนดตำแหน่งโดยตรง ข้อดีของระบบเหล่านี้คือ ผู้พัฒนาสามารถกำหนดและควบคุมปัจจัยในการระบุตำแหน่งได้ ซึ่งส่งผลให้ระบบเหล่านี้มีความแม่นยำสูง และอุปกรณ์รับหรือส่งสัญญาณสามารถพัฒนาให้มีขนาดและรูปร่างตามความต้องการได้ ตัวอย่างของสัญญาณหรือข้อมูลที่ใช้ระบุตำแหน่งใน IPS ประเภทนี้ ได้แก่ แสงอินฟราเรด [13] ultrasound [14] สัญญาณวิทยุ [11] หรือระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification – RFID) [5][9] โดยระบบเหล่านี้ แม้จะทำงานได้ค่อนข้างแม่นยำ แต่พวกมันต้องการโครงสร้างพื้นฐานหรือส่วนประกอบที่ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะ ซึ่งอาจจะไม่เหมาะที่จะใช้ในบริการหรืองานประยุกต์บางประเภท โดยเฉพาะบริการถูกใช้โดยผู้ใช้งานจำนวนมาก เนื่องจากผู้ใช้งานจะต้องจัดหาอุปกรณ์ระบุตำแหน่งมาเพื่อเป็นการเฉพาะ

2. ระบบที่ใช้โครงสร้างพื้นฐานและอุปกรณ์ทั่วไป

ระบบระบุตำแหน่งในอาคารในประเภทนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้บนโครงสร้างพื้นฐานหรือระบบเครือข่ายไร้สายทั่วไปที่มีอยู่ตามท้องตลาด โดยระบบสามารถคำนวณตำแหน่งโดยการใช้สัญญาณจากระบบเครือข่ายไร้สายประเภทต่างๆ เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม [10] สัญญาณแลนไร้สาย (Wireless LAN) [1][2][3][12][6] Bluetooth [4][7] นอกจากนี้ ระบบเหล่านี้ยังสามารถนำประยุกต์ใช้บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ทั่วไป (เช่น สมาร์ทโฟน tablet computer เครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัล (Personal Digital Assistant – PDA) และโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์) ได้โดยง่าย โดยใช้ส่วนประกอบพื้นฐานที่มากับอุปกรณ์เคลื่อนที่เท่านั้น [3] ข้อดีระบบ IPS ประเภทนี้คือราคาถูก และสามารถติดตั้งให้ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากไม่ต้องวางระบบพื้นฐานใหม่ แต่มีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ จึงอาจต้องขั้นตอนวิธีการคำนวณหาตำแหน่งที่ซับซ้อนมากขึ้นเพื่อชดเชยความผิดพลาด

อย่างไรก็ตามระบบ IPS ในปัจจุบัน แม้จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด แต่ระบบที่ราคาถูก แม่นยำ และใช้งานได้นับอุปกรณ์เคลื่อนที่ทั่วไปนั้นยังไม่มี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประยุกต์เอาอุปกรณ์รับรู้ที่มากับสมาร์ตโฟนรุ่นใหม่ในปัจจุบันเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการชี้ตำแหน่งนั้น ผู้วิจัยยังไม่เคยทราบว่าผู้ใช้ที่เคยพัฒนามาก่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาถึงหลักการทำงานของระบบ IPS ประเภทต่างๆ

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จนได้ข้อสรุปดังปรากฏในบทที่ 2

3.2 การศึกษาและประเมินความเหมาะสมของอัลกอริธึมที่จะนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งในอาคาร

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยนำเอาอัลกอริธึมและวิธีการคำนวณตำแหน่งต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันมาทดลองใช้ โดยระบบหรือวิธีการที่นำมาใช้นั้นจะต้องสามารถทำงานได้บนสมาร์ตโฟนทั่วไป ระบบที่ผู้พัฒนาได้นำมาทดลองใช้นั้น แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

1) การทำ Dead Reckoning ด้วยเข็มทิศและเครื่องมือวัดจำนวนก้าว (pedometer)

หลักการทำงานของเบื้องต้นของ Dead Reckoning คือผู้ที่เคลื่อนที่ (เช่น เรือ หุ่นยนต์ หรือ คน) จะต้องเฝ้าตามระยะทางการเคลื่อนที่และมุมที่เปลี่ยนไปของตนเอง และผู้ที่เคลื่อนที่จะอ้างตำแหน่งที่อยู่จากจุดที่เริ่มเคลื่อนที่ได้ ถ้าการเฝ้าตามระยะทางและมุมนั้นมีความแม่นยำเพียงพอ วิธีการนี้ใช้หลักการเดียวกับที่ใช้ในการเดินเรือสมัยก่อน และยังใช้กันในสาขา Robotics อีกด้วย [15]

เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าวิธีนี้ใช้ได้ผลในระบบ IPS หรือไม่ ผู้วิจัยได้พัฒนา app ซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการ iOS ของ Apple และบนสมาร์ตโฟน iPhone 4 โดยที่ตัว app จะรับค่าทิศทางของการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จากเข็มทิศดิจิทัล (digital compass) และตรวจจับจำนวนก้าวที่ผู้ใช้เดินผ่าน accelerometer ที่มีอยู่ใน iPhone 4 จากนั้นจึงนำจำนวนก้าวมาคูณกับระยะก้าวเฉลี่ยของผู้ใช้เพื่อคำนวณหาระยะทางที่เดิน (ระยะเฉลี่ยนั้น ผู้ใช้จะต้องกำหนดไว้ล่วงหน้า) จากนั้นระบบจะทำการเฝ้าตามการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และคำนวณหาตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ โดยอ้างจากตำแหน่งที่เริ่มต้นการเฝ้าตาม

แต่พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นยังไม่แม่นยำเพียงพอ เนื่องจากเหตุผลหลัก ดังนี้

1. ระยะก้าวของผู้ใช้ไม่คงที่
2. การตรวจจับก้าวนั้นไม่แม่นยำ ระบบไม่สามารถแยกแยะได้ว่าผู้ใช้ก้าวขาหรือแค่ขยับร่างกายส่วนอื่น
3. เข็มทิศดิจิทัลไม่เที่ยงตรงและไวพอ เข็มทิศต้องใช้เวลาในการตรวจหาทิศทางสักครู่หนึ่งโดยที่ผู้ใช้ต้องไม่เปลี่ยนทิศอีก ซึ่งไม่สามารถใช้ได้ในการใช้งานจริง

2) การใช้ลักษณะสัญญาณ WiFi ในการอ้างอิงตำแหน่ง (WiFi Fingerprinting)

การทำงานของ WiFi Fingerprinting นั้น อยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าลักษณะของสัญญาณของสถานีฐานในระบบ Wireless LAN (WiFi) ในแต่ละสถานที่นั้นไม่เหมือนกันและมีลักษณะพิเศษเป็นของตนเอง ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์นำทางระบบ WiFi Fingerprinting จะหาและรู้จำความสัมพันธ์ของความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานต่างๆ (Received Signal Strength – RSS) และจุดที่อยู่ปัจจุบัน และนำความสัมพันธ์ที่ได้นี้ ไปใช้อ้างอิงตำแหน่งในอนาคตนั้นหมายความว่าระบบจะรู้ว่าตนเองอยู่ที่ใดได้จากลักษณะของสัญญาณที่ได้รับขณะนั้น [16] ทั้งนี้ฐานข้อมูลของสัญญาณนั้นอาจจะแบ่งปันกันโดยอุปกรณ์นำทางหลายๆตัวก็ได้ ผู้พัฒนาได้ใช้ app เพื่อใช้รู้จำลักษณะสัญญาณ Redpin [3] ซึ่งใช้ k-Nearest-Neighbors และ Support Vector Machine ในการจำแนกลักษณะสัญญาณวิทยุรอบตัวอุปกรณ์เคลื่อนที่ ข้อดีของ Redpin คือมันสามารถทำงานได้ทั้งบนสมาร์ตโฟนระบบ Android และ iOS¹ แต่ความแม่นยำของ Redpin นั้นทำได้แค่ “room-level” หรือก็คือระบบสามารถบอกได้เพียงว่าผู้ใช้อยู่ที่ห้องใด ซึ่งไม่แม่นยำเพียงพอ

3) การระบุตำแหน่งด้วยกล้องสเตอริโอ

ผู้วิจัยเห็นว่าสมาร์ตโฟนที่มีอยู่ตามท้องตลาดในปัจจุบันนั้น ยังไม่มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาใช้พัฒนา IPS ที่มีความแม่นยำเพียงพอได้ ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้ในการระบุตำแหน่งจากภายนอกแทน โดยสมมุติฐานของผู้วิจัยคือผู้ใช้ IPS จะอยู่ในอาคาร ในตัวอาคารมีกล้องวงจรปิดที่เห็นผู้ที่เดินอยู่ในอาคารได้ตลอดเวลา และกล้องวงจรปิดในอาคารมีตำแหน่งที่แน่นอน ภายใต้สมมุติฐานเหล่านี้ ระบบจะสามารถระบุตำแหน่งของผู้ใช้ได้ โดยใช้กล้อง 2 ตัวขึ้นไป (สเตอริโอ) โดยผู้วิจัยได้พัฒนาระบบระบุตำแหน่งที่มีหลักการทำงานดังนี้

1. การคำนวณระยะทางของวัตถุ (ผู้ใช้) จากจุดอ้างอิงสองจุดบนระนาบเดียวกัน

จากภาพประกอบ 1 ให้ c_1 และ c_2 แทนกล้องตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และให้ d_1 และ d_2 แทนระยะห่างระหว่างกล้องทั้งสองกับผู้ใช้ และถ้าเรารู้ d_1 และ d_2 เราจะหาตำแหน่งของผู้ใช้โดยอ้างอิงกับตำแหน่งของกล้อง (x,y) ได้ ดังนี้

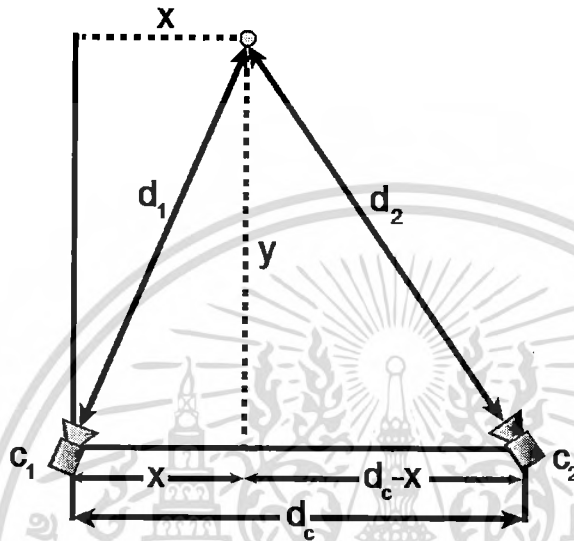
ระยะ x คำนวณ ได้จากสมการ

$$x = \frac{d_c^2 + d_1^2 - d_2^2}{2d_c} \quad (1)$$

¹ ในเวอร์ชัน 4.0 หรือต่ำกว่าเท่านั้น เนื่องจากบริษัท Apple ไม่อนุญาตให้ผู้พัฒนาดึงข้อมูล RSS จากตัวอุปกรณ์ได้

ระยะ y คำนวณ ได้จากสมการ

$$y = \sqrt{d_1^2 - x^2} \quad (2)$$



ภาพประกอบ 1

2. การคำนวณระยะทางจากกล้องจนถึงตัวผู้ใช้

ในภาพประกอบ 1 ระยะจากกล้องทั้งสองตัว จนถึงผู้ใช้ คือ d_1 และ d_2 ซึ่งระยะทั้งสองนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การคำนวณตำแหน่งของเราถูกต้อง การหาระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุนั้นสามารถทำได้ ถ้ารู้สิ่งเหล่านี้

- 1) f : Focal length ของเลนส์กล้อง (หน่วยเป็น mm)
- 2) h_s : ความสูงของ image sensor ของกล้องหรือฉากรับภาพ (หน่วยเป็น mm)
- 3) h_i : ความสูงของภาพที่ได้จากกล้อง (หน่วยเป็น pixel)
- 4) u_r : ความสูงของวัตถุ (ในที่นี้คือผู้ใช้) หน่วยเป็น mm)
- 5) u_i : ความสูงของวัตถุในภาพ (หน่วยเป็น pixel)

การคำนวณหาระยะทางจากกล้องถึงวัตถุ (d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d = \frac{f \times u_r \times h_i}{u_i \times h_s} \quad (3)$$

ซึ่งก็คือระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างความสูงของวัตถุใน sensor กับความสูงจริงของวัตถุ (กำลังขยาย) มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของระยะโฟกัสของเลนส์กับระยะทางจากวัตถุถึงเลนส์

3.3 การพัฒนาและทดลองระบบระบุตำแหน่งด้วยกล้องสเตอริโอ

ผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการระบุตำแหน่งด้วยกล้องสเตอริโอที่น่าจะใช้งานได้จริง และเพื่อเป็นการพิสูจน์ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบระบุตำแหน่งด้วยกล้องสเตอริโอชื่อว่า IPSCam ขึ้นและทำการทดลองโดยติดตั้ง Network Camera สองตัวไว้ในห้อง และใช้ IPSCam รับภาพจากกล้องทั้งสองและคำนวณระยะทางจากวัตถุจนถึงตัวกล้องตามสมการ (3) จากนั้นจึงคำนวณตำแหน่งตามสมการ (1) และ (2) รายละเอียดของการพัฒนามีดังนี้

1) การเชื่อมต่อกับตัวกล้อง

กล้องทั้งสองตัวนั้นเชื่อมต่อกับ IPSCam ผ่านทางระบบ Wireless LAN โดยที่ IPSCam จะเชื่อมต่อและเรียกภาพจากกล้องผ่านโปรโตคอล HTTP การเรียกภาพจากกล้องทั้งสองนั้นจะทำทุกๆ 1/15 วินาที จากนั้นจะนำภาพที่ได้มาคำนวณหาระยะทางต่อไป กล้องที่ใช้มีคุณสมบัติดังนี้

Network Camera: D-Link DCS-932L

- a. Focal length: 5.01 mm / F2.8
- b. Sensor diameter: 1/5 inch
- c. Image resolution: 640 x 480 at upto 20 fps
- d. Network Interface: 802.11b/g/n WLAN, 10/100 BASE-TX Ethernet
- e. Supported protocols: HTTP Server, FTP Client, SMTP Client



ภาพประกอบ 2: กล้อง D-Link DCS932L

(Image courtesy of D-Link Corporation)

2) การคำนวณความสูงของผู้ใช้

นอกจากคุณสมบัติของกล้อง (เช่น focal length และ ความสูงของ sensor) แล้ว การคำนวณระยะทางจำเป็นต้องระบุความสูงของผู้ใช้ด้วย ในส่วนนี้ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่าผู้ใช้ทุกคนรู้ความสูงของตนเอง และสามารถป้อนเข้าไปในระบบผ่านทางสมาร์ทโฟนของตนได้ ทั้งนี้ในการพัฒนา IPSCam ผู้วิจัยได้ป้อนความสูงจริงของผู้ใช้ไว้ล่วงหน้าแล้ว

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้โปรแกรมจะทราบความสูงจริงของผู้ใช้ โปรแกรมยังจะต้องทราบความสูงของผู้ใช้ในรูปภาพด้วย ในการคำนวณนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ OpenCV ซึ่งเป็น library ที่ใช้การอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับ Computer Vision ผู้วิจัยได้ใช้ HOGDescriptor ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ OpenCV ในการตรวจจับภาพของมนุษย์ในภาพที่ได้จากกล้อง โดย HOGDescriptor จะสามารถระบุบริเวณในภาพที่มีลักษณะคล้ายมนุษย์ได้ ซึ่งเราสามารถประมาณความสูงของผู้ใช้ในภาพผ่านการตรวจจับของ HOGDescriptor ได้

3) การระบุตำแหน่งของผู้ใช้

หลังจากที่ IPSCam ได้ความสูงของผู้ใช้ในภาพจากขั้นตอนที่ 2 แล้ว IPSCam ก็สามารถคำนวณระยะทางจากกล้องและผู้ใช้ได้ตามสมการ (3) และจากนั้นก็สามารระบุตำแหน่งของผู้ใช้ได้ตามสมการ (1) และ (2) และรายงานตำแหน่งให้ผู้ใช้ทราบ ภาพประกอบ 3 แสดงถึงหน้าจอหลักของ IPSCam



ภาพประกอบ 3: หน้าจอหลักของ IPSCam

อย่างไรก็ดีระบบ IPSCam ในขณะนี้ไม่สามารถคำนวณตำแหน่งของผู้ใช้ได้เพียงผู้เดียวต่อครั้งเท่านั้น สาเหตุหลักเนื่องมาจาก เมื่อ IPSCam ตรวจจับมนุษย์ในภาพได้หลายคนพร้อมกัน ระบบจะไม่สามารถแยกแยะผู้ใช้ได้

ข้อจำกัดอีกประการของ IPSCam ก็คือระยะทางระหว่างกล้องกับผู้ใช้ที่คำนวณได้นั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่เล็กน้อย เพราะสูตรการคำนวณยังไม่ได้คำนึงถึงส่วนต่างความสูงของกล้องและตัวผู้ใช้ ผู้วิจัยจะรวมวิธีการคำนวณระยะทางของวัตถุจากจุดอ้างอิงต่างระนาบเข้าไปในการคำนวณระยะทางในงานวิจัยถัดไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของ IPSCam ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง โดยให้ผู้ใช้ยืนอยู่บนจุดต่างๆ 9 จุดในห้องว่าง โดยที่แต่ละจุด ผู้วิจัยได้ทำการวัดระยะจากกล้องแต่ละตัวไว้ล่วงหน้าแล้ว จากนั้นผู้วิจัยจึงให้ IPSCam คำนวณตำแหน่งของผู้ใช้โดยหลักการคำนวณที่กล่าวไว้ในบทที่แล้ว และเปรียบเทียบระยะทางระหว่างผู้ใช้กับกล้องแต่ละตัวที่โปรแกรมคำนวณได้ กับระยะทางจริงที่ได้ทำการวัดไว้ล่วงหน้าแล้ว ภาพประกอบ 4 และ 5 แสดงให้เห็นถึงการจัดวางของกล้องทั้งสองตัวและผู้ใช้ในตำแหน่งต่างๆ ในระหว่างการทดสอบ ผลการทดสอบปรากฏดังตารางที่ 1 และ 2



ภาพประกอบ 4: กล้องที่ใช้ในระบบ IPSCam



ภาพประกอบ 5: ตำแหน่งต่างๆของผู้ใช้ระหว่างการทดสอบ IPSCam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1: เปรียบระยะทางของผู้ใช้และกล้องจริง และที่คำนวณได้โดย IPSCam

Attempt	Camera 1		Camera 2		Estimated Distance	
	Actual	Measured	Actual	Measured	X	Y
1	3.500	3.992	3.550	3.876	0.046	3.876
2	3.950	3.968	4.400	3.899	0.228	3.892
3	4.300	4.244	4.360	4.383	1.098	4.243
4	4.540	4.127	4.300	4.205	0.823	4.123
5	4.600	4.531	3.950	4.114	-1.303	3.903
6	4.870	4.369	5.000	4.79	2.429	4.129
7	4.850	4.657	4.800	4.706	0.73	4.649
8	5.000	5.042	4.500	4.895	-0.232	4.89
9	5.500	5.139	5.200	5.344	1.573	5.107

ตารางที่ 2: เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของการคำนวณ

Attempt	Camera 1	Camera 2	Average
1	14.057	9.183	11.620
2	0.456	11.386	5.921
3	1.302	0.528	0.915
4	9.097	2.209	5.653
5	1.500	4.152	2.826
6	10.287	4.200	7.244
7	3.979	1.958	2.969
8	0.840	8.778	4.809
9	6.564	2.769	4.666

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการคำนวณระยะห่างของ IPSCam นั้นทำได้แม่นยำโดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุดเพียง 14.06% เท่านั้น ที่น่าสนใจคือ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผู้ใช้ เช่น การทดสอบครั้งที่ 1 ผู้ใช้ยืนอยู่ค่อนข้างใกล้กับกล้องทำให้การคำนวณคลาดเคลื่อน และในการทดสอบครั้งที่ 4 กล้องที่ 1 ด้านหลังของผู้ใช้คือประตูทำให้การคำนวณความสูงนั้นไม่เที่ยงตรง ในการทดสอบครั้งที่ 8 กล้องที่ 2 ด้านหลังของผู้ใช้คือประตูเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าระยะทางที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก นั้นหมายความว่าระบบ IPSCam จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้วิสัยทัศน์ที่เอื้ออำนวยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ระบบ IPSCam ซึ่งระบุตำแหน่งของผู้ใช้โดยใช้กล้องสเตอริโอสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม IPSCam ยังสามารถที่จะพัฒนาต่อยอดไปได้อีกมาก ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาให้ IPSCam สามารถทำงานได้กับผู้ใช้งานหลายคนพร้อมกัน และการพัฒนาเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณ นอกจากนี้ระบบ IPSCam นั้นยังเป็นเพียงระบบต้นแบบที่มีการจัดวางกล้องสเตอริโอที่ชัดเจนโดยที่กล้องทั้งสองหันหน้าไปในทางเดียวกัน ในการใช้งานจริงนั้นการจัดวางกล้องสเตอริโอในลักษณะนี้นั้นอาจทำไม่ได้

อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าระบบ IPSCam และองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยและพัฒนาี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาต่อยอดระบบ IPS ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," in Proc. IEEE INFOCOM 2000, Mar., vol. 2, pp. 775–784.
- [2] R. Battiti, T. L. Nhat, and A. Villani, "Location-aware computing: A neural network model for determining location in wireless LANs," Tech. Rep. DIT-02–0083, 2002.
- [3] P. Bolliger, K. Partridge, M. Chu, M. Langheinrich, "Improving Location Fingerprinting through Motion Detection and Asynchronous Interval Labeling", in Proceedings of the 4th International Symposium on Location and Context Awareness, 2009.
- [4] J. Hallberg, M. Nilsson, and K. Synnes, "Positioning with Bluetooth," in Proc. IEEE 10th Int. Conf. Telecommun., Mar. 2003, vol. 2, pp. 954–958.
- [5] J. Hightower, R. Want, and G. Borriello, "SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength," Univ. Washington, Seattle, Tech. Rep. UW CSE 2000–02-02, Feb. 2000.
- [6] King et al., COMPASS: A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802.11 and Digital Compasses, Proc. of the First ACM International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation and Characterization (WINTECH), pp. 34 – 40, 2006
- [7] A. Kotanen, M. Hannikainen, H. Leppakoski, and T. D. Hamalainen, "Experiments on local positioning with Bluetooth," in Proc. IEEE Int. Conf. Inf. Technol.: Comput. Commun., Apr. 2003, pp. 297–303.
- [8] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems", in IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C Applications and Reviews, 2007, Vol. 37, Issue 6, pp 1067 -- 1080.
- [9] L. M. Ni, Y. Liu, Y. C. Lau, and A. P. Patil, "LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID," Wireless Netw., vol. 10, no. 6, pp. 701–710, Nov. 2004.
- [10] V. Otsason, A. Varshavsky, A. LaMarca, and E. de Lara, "Accurate GSM indoor localization," UbiComp 2005, Lecture Notes Computer Science, Springer-Verlag, vol. 3660, pp. 141–158, 2005.

- [11] N. B. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishnan, and S. Teller. The Cricket Compass for Context-Aware Mobile Applications. In Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), pages 1–14. ACM Press, 2001
- [12] S. Saha, K. Chaudhuri, D. Sanghi, and P. Bhagwat, "Location determination of a mobile device using IEEE 802.11b access point signals," in Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Conf., Mar. 2003, vol. 3, pp. 1987–1992.
- [13] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons. The Active Badge Location System. ACM Transactions on Information Systems, 10(1):91–102, January 1992.
- [14] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper. A new location technique for the active office. IEEE Personal Communications, 4:42–47, October 1997.
- [15] G. P. Roston and Eric Krotkov, Dead Reckoning Navigation for Walking Robots, Technical Report, CMU-RI-TR-91-27, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, November, 1991.
- [16] Gunawan, M., et al. "A new method to generate and maintain a WiFi fingerprinting database automatically by using RFID." Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2012 International Conference on. IEEE, 2012.
- [17] D-Link DCS-932L User Manual Version 1.0, D-Link Corporation, http://www.dlink.com/-/media/Consumer_Products/DCS/DCS%20932L/Manuals/DCS_932L_Manual_v_1_EN_UK.pdf, Retrieved on 30 July 2013.
- [18] Bradski, G., The OpenCV Library, Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล อิศระ อนันตวรธาศิลป์

เพศ ชาย หญิง วันเดือนปีเกิด 23 มิถุนายน 2522 อายุ 34 ปีสถานภาพ โสด สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.	การศึกษา	มหาวิทยาลัย
2553	Doctor rer. nat.	Technische Universität München
2547	Master of Computer Science	Technische Universität Dresden
2544	Bachelor of Science	Sirindhorn International Institute of Technology

ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระยะเวลา	หัวข้อวิจัย	หน่วยงาน	สถานภาพ
2553-2555	การระบุตำแหน่งของแถบป้ายบอกข้อมูลในระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification – RFID)	Faculty of Informatics, Technische Universität München	หัวหน้าโครงการวิจัย
2553-2554	การวิจัยและพัฒนาซอฟต์แวร์บนสมาร์ทโฟน iPhone และ iPad	Faculty of Informatics, Technische Universität München	หัวหน้าทีมพัฒนา และที่ปรึกษา
2550-2552	Real-Time Approach to Flow Classification (การคัดแยกการส่งข้อมูลในเวลาจริง)	Technische Universität Dresden	นักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2547-2550	พัฒนาระบบจัดการการสื่อสารที่สามารถจัดสรร Quality-of-Service ให้กับการเชื่อมต่อที่ไม่ได้ร้องขอ Quality-of-Service โดยตรงได้ ได้รับสิทธิบัตรสากลในปี 2553	BenQ Mobile GmbH	นักวิจัย
-----------	--	------------------	----------

ผลงานทางวิชาการ

I. Anantavasilp, "Intelligent IP traffic / flow classification system", In Proceedings of the 8th International Network Conference, Heidelberg, 2010. (Selected Paper Award)

I. Anantavasilp, "A unified framework for flow classification", In Proceedings of International Conference on Computer Design and Applications, Singapore, 2009.

I. Anantavasilp and T. Schöler, "Automatic flow classification using machine learning", In Proceedings of the 15th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, Dubrovnik, 2007.

I. Anantavasilp, I. and T. Schöler, "Providing quality-of-service support to legacy applications using machine learning", In Proceedings of IADIS International Conference on Telecommunications, Networks and Systems, Lisbon, 2007. (Outstanding Paper Award)