เรือหุ่นยนต์สำหรับเก็บข้อมูลสิ่งแวดล้อมทางน้ำ

Robot Boat for Environmental Data Collection

ปาษาณ กุลวานิช [1*], สุรเดช สุรัตติศักดิ์[1], ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์[2]
Pasan Kulvanit[1*], Suradej Surattisak[1], and Pradya Prempraneerach [2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์มาช่วยในการเก็บข้อมูลสิ่งแวดล้อมทางน้ำเพื่อประโยชน์ในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมและการป้องกันอุทกภัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ซึ่งอยู่ในรูปแบบของเรือหุ่นยนต์ โดยใช้โครงสร้างพื้นฐานของเรือคายัคแบบที่นั่งเดี่ยว ที่มีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่บนผิวน้ำและการเคลื่อนที่ในที่แคบ ระบบขับเคลื่อนของเรือหุ่นยนต์ใช้เทคโนโลยี Podded Propulsion ในการควบคุมทิศทางและความเร็วของหุ่นยนต์โดยไม่ต้องใช้การบังคับหางเสือแบบเดิมซึ่งมีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการเลี้ยวน้อยกว่า และอาจมีปัญหาจากการสูญเสียแรงขับดัน (Rudder stall) เรือหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้สองแบบคือแบบควบคุมด้วยคลื่นวิทยุ 2.4 GHz จากระยะไกลในรัศมีไม่เกิน 1 กิโลเมตร และแบบเคลื่อนที่อัตโนมัตินำร่องโดยอุปกรณ์บอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS) และ อุปกรณ์บอกทิศทางจากข้อมูลความเร่ง (IMU) โดยใช้หลักการควบคุมแบบ Double PD loop Control เพื่อสั่งการระบบสมองกลฝังตัว (Embedded Microcontroller) สำหรับการควบคุมมอเตอร์บังคับทิศทางและมอเตอร์ขับเคลื่อนเรือ เรือหุ่นยนต์สามารถติดตั้งระบบเซนเซอร์หรือเครื่องมือสำหรับงานทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น หัวเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ หัวเซนเซอร์โซนาสำหรับเก็บข้อมูลความลึกท้องน้ำ เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำ เป็นต้น ผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลจากเรือได้ในเวลาจริง (Real Time) ผ่านโครงข่ายสื่อสารแบบไร้สายประเภท Wireless LAN, EDGE/GPRS, หรือ 3G ตามความเหมาะสม งานวิจัยนี้ได้ถูกนำไปใช้จริงแล้วในการช่วยเหลือทางด้านข้อมูลระหว่างเหตุการณ์มหาอุทกภัยปี 2554 โดยใช้เรือหุ่นยนต์ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจหาความลึกในการหาจุดตื้นเขินตามคูคลอง เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการขุดลอกคูคลองหรือการจัดวางตำแหน่งเรือผลักดันน้ำ

---

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[*] ผู้ติดต่อ E-mail address : pasan@dss.go.th

Abstract

This work focuses on the usage of robotics technology in the process of environmental data collection for the purpose of environmental protection, water resource management, and flood protection. The Department of Science Service (DSS) has designed and built a field mobile robot in the form of modified single seat “sit-inside” touring kayak driven by a pod propulsion system. The kayak’s body can traverse a variety of water surfaces. The pod propulsion system is suitable for a kayak since the drive system is compact and it gives the kayak the agile movement. The use of rudder is replaced by the heading motor and trolling motor set which gives better maneuvering and stall-free motion. The robot boat can be controlled in two modes- Manual control and Autonomous waypoints tracking. In manual control mode users can control the robot remotely via 2.4 GHz radio system at the distance less than 1km. The Autonomous control is realized by the Double PD loop control algorithm which receives navigational data from a global positioning system (GPS) and an inertial measurement unit (IMU) and send command signal to the pod propulsor. The robot boat can be mounted with a variety of scientific instrument such as a multi-parameter head sensor, an echo sounder, and an automated water sampler system. The users can inquire real-time data from any sensors on the boat via wireless communication network such as WLAN, EDGE/GPRS, or 3G (subject to availability of the network). This research work was already put to work in real-world application in the event of the 2011 Thailand’s great flooding. The robot boat equipped with a single beam echo sounding system was used to acquire depth data of the canals to identify the clogging points. The data was use in planning the drainage of flooded water in Bangkok Metropolitan area.

คำสำคัญ : หุ่นยนต์เรือ, หุ่นยนต์ภาคสนาม, การบริหารจัดการน้ำ, การควบคุมระยะไกล, การนำทางด้วย GPS ,

Keywords : Robot boat, Field mobile robot, Field data collection, Autonomous waypoints tracking, GPS navigation

1. บทนำ (Introduction)

จากการสำรวจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของมนุษย์เช่น World Bank และ United Nations (UN) ตาม [1] ได้กล่าวถึงความจำเป็นที่รัฐบาลและประชาชนของทุกประเทศควรให้ความสนใจกับประเด็นปัญหาเกี่ยวกับภัยพิบัติ เนื่องจากหากมิได้เตรียมความพร้อมจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจของประเทศรวมทั้งชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนอย่างไม่อาจนับมูลค่าได้ เหตุการณ์มหาอุทกภัยปี 2554 เป็นบทยืนยันได้เป็นอย่างดีและเน้นย้ำถึงความจำเป็นที่ประเทศไทยต้องมีความพร้อมที่จะเตรียมรับเหตุการณ์ภัยพิบัติซึ่งการวางแผนเตรียมรับ ป้องกัน หรือแก้ไขภัยพิบัติจะต้องมีข้อมูลประกอบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัจจุบันและมีความถูกต้องเชื่อถือได้เป็นส่วนสำคัญ

การใช้หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในกิจกรรมเก็บข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมนั้นเริ่มเป็นที่แพร่หลายเนื่องจากความซับซ้อนของสิ่งแวดล้อมและสภาพแวดล้อมที่ไม่เป็นมิตรต่อผู้ปฏิบัติหน้าที่ หุ่นยนต์สามารถช่วยลดภาระงานเก็บข้อมูลหรือเก็บตัวอย่าง ทำให้การทำงานง่ายขึ้นและใช้เวลาน้อยลง ใช้จำนวนผู้ปฏิบัติหน้าที่รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญน้อยลง รวมทั้งช่วยลดหรือป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติหน้าที่อีกด้วย ในประเด็นของประสิทธิภาพของการเก็บข้อมูลหรือตัวอย่างนั้นในหลักปฏิบัติโดยทั่วไปของการตรวจเฝ้าระวังเซนเซอร์จะถูกวางไว้กับที่ทำให้สามารถวัดข้อมูลได้เฉพาะจุดเท่านั้นการใช้ระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่นำเซนเซอร์เข้าสู่พื้นที่เป้าหมายทำให้ได้ข้อมูลที่มีความหลากหลายทั้งในเชิงมิติ (Dimensional) และเชิงเวลา (Temporal) ประกอบกับระบบการควบคุมและเก็บข้อมูลระยะไกลจะช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวข้างต้นรวมถึงช่วยให้กระบวนการปฏิบัติการเก็บข้อมูลหรือเก็บตัวอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน

รูปแบบของหุ่นยนต์สำหรับใช้ทางน้ำมีหลากหลายรูปแบบดังที่ได้ถูกรวบรวมไว้ใน [2] ทั้งที่เป็นหุ่นยนต์แบบเรือคายัคความคล่องตัวสูงติดเครื่องที่ใต้ท้องเรือแบบถาวร [3] หุ่นยนต์เรือแบบท้องเรือแฝดเพื่อเสถียรภาพสูงสุดขณะเคลื่อนที่ [4] หุ่นยนต์เรือดัดแปลงจากทุ่นอลูมิเนียมเพื่อให้มีน้ำหนักเบาแต่สามารถบรรทุกอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้หลากหลาย [5] เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะสร้างระบบหุ่นยนต์เรือ (Unmanned surface vehicle หรือ USV) รวมทั้งระบบอัตโนมัติสำหรับช่วยในการเก็บข้อมูลและตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่สามารถทำงานได้จริงในสภาวะแวดล้อม “ภาคสนาม” ซึ่งไม่สามารถเข้าถึงได้ง่ายโดยมนุษย์ เช่นพื้นที่แหล่งน้ำขนาดใหญ่ คูคลอง แม่น้ำ พื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย

บทความวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ *ส่วนที่ 1* บทนำ *ส่วนที่ 2 วิธีการวิจัย* เป็นการแนะนำลักษณะพื้นที่ที่หุ่นยนต์จะต้องลงปฏิบัติการรวมทั้งปัญหาที่ต้องการแก้ไขเพื่อให้ได้ระบบหุ่นยนต์ที่เหมาะกับความต้องการ และกล่าวถึงระบบหุ่นยนต์เรือของกรมวิทยาศาสตร์บริการ *ส่วนที่ 3 ผลและวิจารณ์* นำเสนอการลงพื้นที่ปฏิบัติงานจริงในเหตุการณ์มหาอุทกภัยปี 2554 และการสำรวจหาปริมาตรอ่างเก็บน้ำและ*ส่วนที่ 4* ส่วนสุดท้ายเป็นบทสรุปรวมถึงนำเสนองานที่จะต้องทำต่อไปเพื่อพัฒนาระบบเรือหุ่นยนต์ให้มีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพในการปฏิบัติหน้าที่ได้มากยิ่งขึ้น

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 ข้อกำหนดพื้นที่ปฏิบัติการของหุ่นยนต์เรือ

ความสามารถการปฏิบัติการของเรือหุ่นยนต์ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบให้เหมาะกับลักษณะของพื้นที่ปฏิบัติการ พื้นที่ปฏิบัติการของเรือหุ่นยนต์ที่เราสนใจจะเป็นคูคลองขนาดกลางเช่น คลองลาดพร้าว คลองเปรมประชากร และคูคลองขนาดเล็กเช่นคลองพระยาราชมนตรี คลองวัดรังสิต เป็นต้น ลักษณะทั่วไปจะเป็นคลองขนาดกว้างน้อยกว่า 20 เมตรน้ำตื้นที่สุดประมาณ 30-50 เซนติเมตร มีสะพานข้ามเป็นระยะ โดยเฉพาะสะพานข้ามคลองขนาดเล็กบางสะพานจะมีความสูงจากผิวน้ำน้อยกว่า 1.5 เมตร และมีระยะห่างระหว่างตอหม้อน้อยกว่า 1.5 เมตร บางครั้งคูคลองยังอาจจะถูกกีดขวางโดยคันกั้นหรือแห/อวนที่วางขวางไว้อีกด้วย เรือหุ่นยนต์ยังจำเป็นที่จะต้องมีความสามารถโต้คลื่นได้บ้างเนื่องจากคลื่นรบกวนจากเรือที่สัญจรไปมาในคูคลอง รวมทั้งเรือจะต้องสามารถสู้กระแสน้ำขนาดไม่เกิน 1 เมตรต่อวินาทีได้ นอกจากนั้นเรือหุ่นยนต์จำเป็นต้องมีความคล่องตัวในการเลี้ยวสูงเพื่อความสามารถในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางใต้น้ำหรือขยะ รวมทั้งจำเป็นต้องสามารถมีรัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดเพื่อประโยชน์ในการกลับหัวเรือ

Figure1 Canals around Bangkok Metropolitan are shallow, narrow and usually are crossed by low clearance bridges. Therefore, small draft and low clearance are the two important specifications of the robot boat. Robot in the kayak form has no problem getting through this environment.

นอกจากพื้นที่คูคลองแล้วพื้นที่ผิวน้ำเช่นอ่างเก็บน้ำหรือพื้นที่ชายฝั่งทะเลก็เป็นพื้นที่เป้าหมายที่เรือหุ่นยนต์จะต้องสามารถปฏิบัติการได้ ลักษณะของพื้นที่อ่างเก็บน้ำหรือพื้นที่ชายฝั่งทะเลจะไม่คับแคบและไม่ซับซ้อนเท่ากับพื้นที่คูคลองแต่จะมีอาณาบริเวณกว้าง โดย [4] ได้นิยามแหล่งน้ำขนาดเล็กให้มีพื้นที่น้อยกว่า 10,000 ตารางเมตร และ แหล่งน้ำขนาดกลางให้มีพื้นที่ระหว่าง 10,000 ตารางเมตรถึง 1 ตารางกิโลเมตร การวิ่งสำรวจในพื้นที่แหล่งน้ำนั้นจำเป็นจะต้องมีแบบแผนที่ชัดเจนเพื่อประโยชน์ในการกวาดพื้นที่ให้ได้ครอบคลุมมากที่สุดในระยะเวลาสั้นที่สุดซึ่งเป็นการยากที่ผู้ปฏิบัติการจะต้องบังคับเรือตลอดเวลา ดังนั้นระบบบังคับเรือแบบอัตโนมัติจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการลดภาระการบังคับด้วยมือของผู้ปฏิบัติการ

Figure 2 Small size reservoirs (< 10,000 m^2) to medium size reservoirs (10,000 m^2 to 1 km^2) are an ideal place for the robot boat to perform autonomous data acquisition or environmental sampling. This figure shows the robot boat performing a bathymetric operation in the ~90,000 m^2 reservoir.

2.2 เรือหุ่นยนต์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (DSS's Robot Boat)

จากข้อกำหนดข้างต้นเราสามารถเลือกรูปแบบเรือและระบบขับเคลื่อนได้ รูปแบบเรือที่ผู้วิจัยเลือกเป็นแบบเรือคายัคประเภทที่นั่งเดี่ยวแบบนั่งในตัวเรือ (sit-inside) เรือชนิดนี้ถูกออกแบบให้สามารถใช้ท่องชายฝั่งทะเล มีความจุในการบรรทุกประมาณ100 กิโลกรัมซึ่งมากพอที่จะบรรจุอุปกรณ์เซนเซอร์หรืออุปกรณ์วิทยาศาสตร์อื่นๆลงไปในตัวเรือได้พอสมควร ลักษณะของเรือสามารถวิ่งตัดคลื่นได้ดีมีความเสถียรสูง ไม่พลิกคว่ำง่าย ในส่วนของระบบขับเคลื่อนเราเลือกใช้ระบบขับเคลื่อนแบบ pod propulsion ซึ่งเราได้ออกแบบและสร้างขึ้นเองให้สามารถติดตั้งที่ส่วนท้ายของเรือคายัค ระบบ Pod propulsion ประกอบไปด้วยมอเตอร์บังคับเลี้ยว (Heading Motor) ติดตั้งในแนวตั้งเพื่อหมุนเพลาที่ติดต่อกับมอเตอร์ขับดัน (Thrust or trolling motor) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ที่ด้านล่างสุดของเพลาตามภาพที่ 3

มอเตอร์ควบคุมการเลี้ยวเป็นมอเตอร์แบบเซอร์โวเกียร์สามารถคุมตำแหน่งและความเร็วในการหมุนได้อย่างแม่นยำ มอเตอร์ขับดันสามารถให้แรงขับได้มากที่สุด 40 ปอนด์ การควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์บังคับเลี้ยวและความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ขับดันสามารถทำได้โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว (Microcontroller) แบบ ARM 7 ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า โดยระบบขับเคลื่อนเรือจะถูกควบคุมอีกชั้นหนึ่งด้วยคอมพิวเตอร์ประจำเรือ (Main computing unit)

ระบบขับเคลื่อนทางกลของเรือหุ่นยนต์แบบ Pod propulsion มีข้อดีในด้านประสิทธิภาพในการบังคับเลี้ยวเรือ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบใช้หางเสือแบบทั่วไปเนื่องจากในขณะที่เรือเลี้ยวแรงผลักดันน้ำเกิดจากการผลักโดยตรงจากใบพัดเรือในทิศทางที่ควบคุมโดยมอเตอร์คุมการเลี้ยว (Heading Motor) ซึ่งต่างจากการเลี้ยวแบบใช้หางเสือซึ่งแรงผลักดันน้ำถูกลดทอนลงไปจากการสัมผัสกับหางเสือ

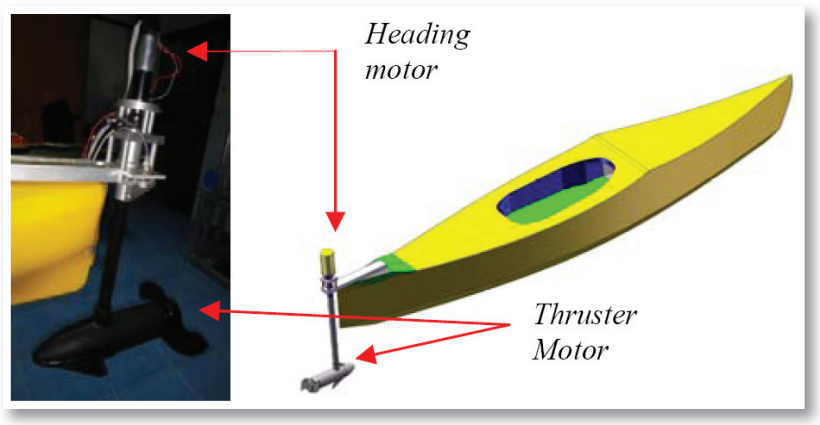

Figure 3 The boat driving mechanism or the pod propulsion system is composed of a heading motor mounted vertically and a thruster (trolling) motor connected to the shaft extended from the heading motor.

เรือหุ่นยนต์สามารถปฏิบัติการได้ในสองลักษณะคือ แบบบังคับมือผ่านทางคลื่นวิทยุ 2.4 GHz. และแบบขับเคลื่อนอัตโนมัติควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ด้วย GPS การควบคุมเรือทั้งสองลักษณะสามารถสับเปลี่ยนได้จากตัวรีโมทคอนโทรล

สำหรับใช้บังคับมือ ภาพที่ 4 แสดงภาพเรือหุ่นยนต์ในรูปแบบพร้อมปฏิบัติการติดตั้งระบบนำทาง ระบบสื่อสาร เครื่องท้าย และแบตเตอรี่

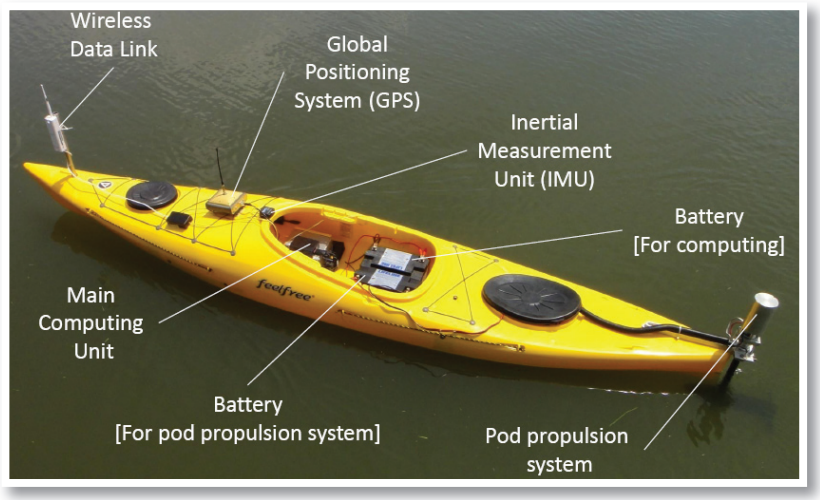

Figure 4 The DSS's robot boat is a modified kayak structure with motor. It is equipped with GPS and IMU for position and heading control. The pod propulsion system is used to drive the boat. The deep cycle battery is used to power the pod propulsion system, a computing unit, and a wireless data link unit.

Table 1 Robot boat's key performance parameters

Parameter	
Maximum speed	7 Km/hr. (2 m/sec)
Minimum turn angle	0 degree
Maximum angular speed	30 degree/sec
Battery life	1-1.5 Hr.
Maximum payload	100 Kg.
Width x Length	3.85 m x 68 cm
Head clearance	60 cm
Draft	50 cm

2.2.1. ระบบบังคับเรือหุ่นยนต์แบบบังคับมือ (Manual mode)

เราสามารถบังคับเรือหุ่นยนต์ได้จากระยะทางการส่งคลื่นวิทยุไม่เกิน 1 กิโลเมตร (line of sight) โดยใช้สัญญาณคลื่นวิทยุ 2.4 GHz แบบ 4 ช่องสัญญาณของ FUTABA ข้อมูลมุมเลี้ยวหัวเรือ ข้อมูลความเร็วเรือ และข้อมูลการเลือกระหว่างการบังคับมือหรือแบบบังคับอัตโนมัติจะถูกส่งจากรีโมทคอนโทรลไปให้ตัวรับคลื่นสัญญาณวิทยุบนเรือ (receiver) จากนั้นตัวรับสัญญาณจะส่งสัญญาณ PWM ขนาดความถี่ 50 Hz ไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 โดยแยกการส่งเป็นสองลักษณะ (ข้อมูลมุมเลี้ยวหัวเรือและข้อมูลความเร็วเรือ) เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล จากนั้นข้อมูลการควบคุมมุมเลี้ยวหัวเรือจะถูกอุปกรณ์ operation amplifier (op-amp) ขยายสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 10 โวลต์เพื่อเป็น Set point ให้ระบบควบคุมตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์บังคับเลี้ยว (Heading motor) ในส่วนของข้อมูลความเร็วเรือนั้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ MOSFET ในรูปแบบของสัญญาณ PWM ความถี่ 1 KHz เพื่อขยายสัญญาณและนำไปควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์ขับดันเรือ (Trolling motor) เราสามารถสรุปการทำงานของระบบบังคับมือของเรือหุ่นยนต์ได้ตามภาพที่ 5

ในส่วนของการประมวลผลบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 เราเขียนโปรแกรมโดยใช้ ภาษา C ในการควบคุมการปรับเปลี่ยนสัญญาณจากกล่องรับสัญญาณวิทยุสู่ระบบควบคุม pod propulsion (Heading motor and trolling motor)

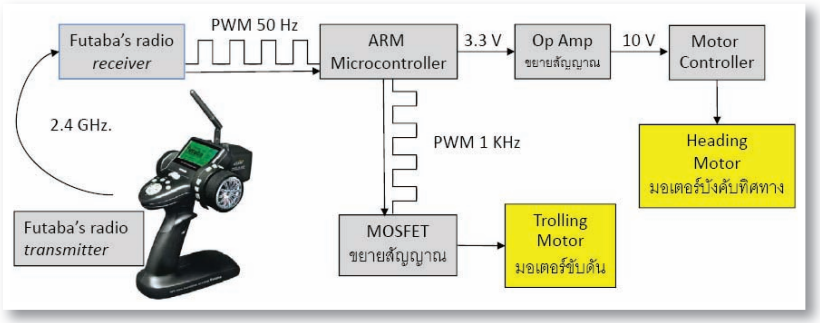

Figure 5 Diagram shows the control system via remote radio control.

2.2.2. ระบบบังคับเรือหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ (Autonomous mode)

เรือหุ่นยนต์สามารถปฏิบัติการในรูปแบบหุ่นยนต์อัตโนมัติได้ กล่าวคือเราสามารถโปรแกรมเส้นทางการเคลื่อนที่ของเรือล่วงหน้าโดยอ้างอิงจากพิกัด GPS เพื่อให้เรือสามารถเคลื่อนที่ผ่านจุดต่างๆ (Waypoints) เหล่านี้ได้โดยไม่ต้องมีคนบังคับ

2.2.2.1. Hardware สำหรับการควบคุมแบบอัตโนมัติ

สืบเนื่องจาก Hardware สำหรับการควบคุมแบบบังคับมือ เรายังคงระบบสั่งการ Pod propulsion ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 เอาไว้แต่จะตัดระบบควบคุมระยะไกลแบบใช้คลื่นวิทยุ 2.4 GHz ออกไปและนำคอมพิวเตอร์ประจำเรือแบบ Rugged PC มาใช้ในการรับค่าสัญญาณจากเซนเซอร์นำทาง (ผ่านทางพอร์ต RS-232) มาประมวลผลข้อมูล จากนั้นข้อมูลที่ถูกประมวลแล้วจะถูกส่งเป็นคำสั่งบังคับหัวเรือและคำสั่งควบคุมความเร็วเรือของ Pod propulsion นอกจากนั้นคอมพิวเตอร์ประจำเรือยังมีหน้าที่สั่งการหรือประสานการทำงานของระบบอื่นๆให้เข้ากับการควบคุมการเคลื่อนที่ของเรือเช่นการสั่งการระบบเก็บตัวอย่างน้ำอัตโนมัติ (หากติดตั้ง) เราสามารถสรุปการทำงานของระบบบังคับเรือหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติได้ตามภาพที่ 6

คอมพิวเตอร์ประจำเรือใช้ของ Advantech Rugged PC รุ่น UNO 3282 ซึ่งมีความทนทานต่ออากาศร้อนและการทำงานสมบุกสมบันภาคสนาม เราพัฒนาซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูลเองโดยใช้โปรแกรม LabVIEW 8.6 ซอฟต์แวร์จะบรรจุอยู่ในคอมพิวเตอร์ประจำเรือ เราสามารถติดตามการทำงานของระบบหรือเซนเซอร์ต่างๆบนเรือได้จากคอมพิวเตอร์ภาคพื้นดินผ่านทางระบบ WLAN เช่นการใช้ระบบ Remote Login ในการเข้าถึงคอมพิวเตอร์ประจำเรือ การใช้ระบบ TCP/IP ในการควบคุมเครื่องเก็บตัวอย่างน้ำ การใช้ระบบ TCP/IP ในการมอนิเตอร์ค่าจากเซนเซอร์บนเรือหุ่นยนต์ (เช่นค่าความลึกจาก Echo sounder ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำต่างๆ) เป็นต้น

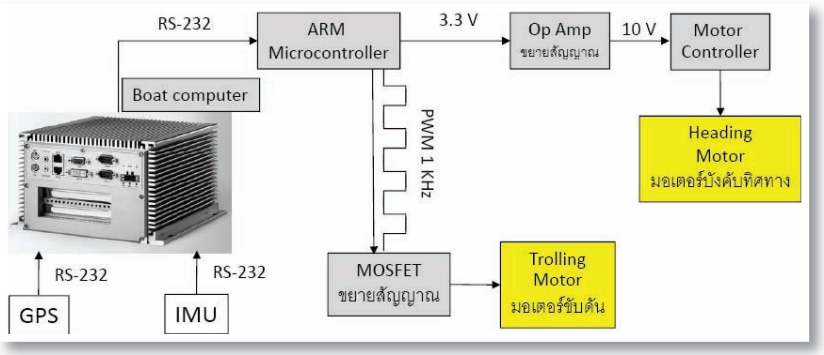

Figure 6 The diagram shows the control system in autonomous waypoints tracking mode

ในการควบคุมแบบอัตโนมัติหุ่นยนต์เรือต้องใช้ข้อมูลในการนำทางจากเซนเซอร์สองชนิดคือ เครื่องรับสัญญาณ GPS และ inertial measurement unit (IMU)

เครื่องรับสัญญาณ GPS ใช้ของ Topcon รุ่น Hiper GA (ภาพที่ 7 ขวา) สามารถรับค่าพิกัดจากดาวเทียม GPS (GPS Satellites)โดยใช้งานในแบบ Real-time Kinematic (RTK) เพื่อความรวดเร็วและแม่นยำในการเก็บค่าตำแหน่งของเรือหุ่นยนต์ โดยความถี่ในการให้ค่าตำแหน่งคือ 5 Hz ที่ความแม่นยำในแนวราบประมาณ ±2 เมตร ถ้าต้องการความแม่นยำในแนวราบมากขึ้นในระดับ ±0.05 เมตร เราสามารถใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS อีกตัวหนึ่งมาสร้างระบบ Base-Rover DGPS โดยให้ตัว Base GPS ซึ่งติดตั้งบนบกส่งสัญญาณค่าแก้มาให้ตัว Rover GPS ซึ่งติดตั้งบนเรือหุ่นยนต์ผ่านทางสัญญาณวิทยุ เครื่องรับสัญญาณ GPS เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ประจำเรือผ่านทางพอร์ต RS232 อินพุทของค่าพิกัด GPS สู่คอมพิวเตอร์ประจำเรืออยู่ในรูปของ NMEA code

Figure 7 Two kinds of navigational sensors are used to control the robot in auto mode. RTK-GPS receiver from TOPCON Model Hiper GA (left) and IMU from MicroStrain Model 3DM-GX2 (right). A GPS gives real-time location of the robot boat. An IMU gives real-time heading angle information.

IMU หรือ Inertial measurement unit (IMU) ประกอบด้วย Accelerometer, Magnetometer, และ Gyro sensor รวมอยู่ในกล่องเดียวกันเมื่อประมวลผลภายในตามหลักการ Sensor fusion แล้วสามารถใช้สำหรับวัดค่ามุมการบิดตัวของเรือได้แก่มุม Roll มุม Pitch และ มุม Yaw โดยเฉพาะอย่างยิ่งมุม Yaw หรือมุมเลี้ยวของหัวเรือ ณ เวลาจริง เป็นมุมที่เราสนใจและเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการควบคุมเรือให้มุ่งสู่เป้าหมายอย่างแม่นยำ ค่ามุมที่วัดได้จาก IMU จะเป็นแบบ Absolute angle คือมุม Roll – Pitch – Yaw จะวัดเทียบกับแกนอ้างอิง X_{IMU}, Y_{IMU}, Z_{IMU} ตามลำดับ เราใช้ IMU ของ MicroStrain รุ่น 3DM-GX2 ดังภาพที่ 7 (ซ้าย) โดยมุมที่ได้จาก 3DM-GX2 จะมีค่าความบิดเบือนประมาณ ±4 องศา IMU เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ประจำเรือผ่านทางพอร์ต RS232

2.2.2.2. การควบคุมเรือตามจุดพิกัดแบบวงควบคุมแบบย้อนกลับ 2 วง (Double PD control)

การทำงานในรูปแบบอัตโนมัติหรือ Waypoint Tracking Control นั้นได้ถูกนำเสนอในงานวิจัยของ[6] ซึ่งแม้เรือหุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ตามที่กำหนดได้แม่นยำแต่สมการควบคุมมีความซับซ้อน [7] นำเสนอระบบควบคุมการเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพแต่จะต้องมี Model ทางคณิตศาสตร์ของเรือที่ค่อนข้างแม่นยำซึ่งการที่จะได้ Model ที่ใกล้เคียงของจริงนั้นทำได้ยาก

เพื่อให้การควบคุมเรือหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติไม่ซับซ้อนเรานำเสนอ*การควบคุมเรือตามจุดพิกัดแบบวงควบคุมแบบย้อนกลับ 2 วง (Double PD control)* ที่เข้าใจง่ายและสามารถใช้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจในการปฏิบัติการจริง

การควบคุมเรือตามจุดพิกัดแบบวงควบคุมแบบย้อนกลับ 2 วงใช้วงของการควบคุมดังนี้คือ 1) วงควบคุมการเลี้ยวของเรือ (Heading control loop) 2) วงควบคุมระยะทางสู่จุดเป้าหมาย (Traversing speed control loop) ในส่วนของวงควบคุมการเลี้ยวเราจะควบคุมพารามิเตอร์ θ_{real} หรือมุมเลี้ยวหัวเรือ (Heading angle) ดังสมการที่ (1) ในส่วนของวงควบคุมระยะทางเราจะควบคุมพารามิเตอร์ d_{real} หรือระยะทางจากเรือสู่จุดเป้าหมายซึ่งได้มาจากการคำนวณระยะจากตำแหน่งเรือถึงจุดเป้าหมายโดยใช้ข้อมูลที่ได้จาก *GPS* ดังสมการที่ (2)

$$\theta_{real} \rightarrow \theta_{set} \quad (1)$$

$$d_{real} \rightarrow d_{set} = 0 \quad (2)$$

สามารถคำนวณหาค่า θ_{set} ได้จากสมการ (3)

$$\theta_{set} = \theta_{ATAN2} = ATAN2(\frac{Y_b - Y_{GPS}}{X_b - X_{GPS}}) \quad (3)$$

สามารถคำนวณหาค่า d_{real} ได้จากสมการที่ (4)

$$d_{real} = \sqrt[2]{(X_{GPS} - X_b)^2 + (Y_{GPS} - Y_b)^2} \quad (4)$$

X_b, Y_b : ตำแหน่งค่า *X* และ *Y* ของเรือหุ่นยนต์ซึ่งได้จากค่า GPS ณ เวลานั้น

X_{GPS}, Y_{GPS} : ตำแหน่งค่า *X* และ *Y* ของจุดเป้าหมายซึ่งได้จากการกำหนดล่วงหน้าโดยผู้ปฏิบัติงาน (Waypoint or Goal Point)แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในภาพที่ 8

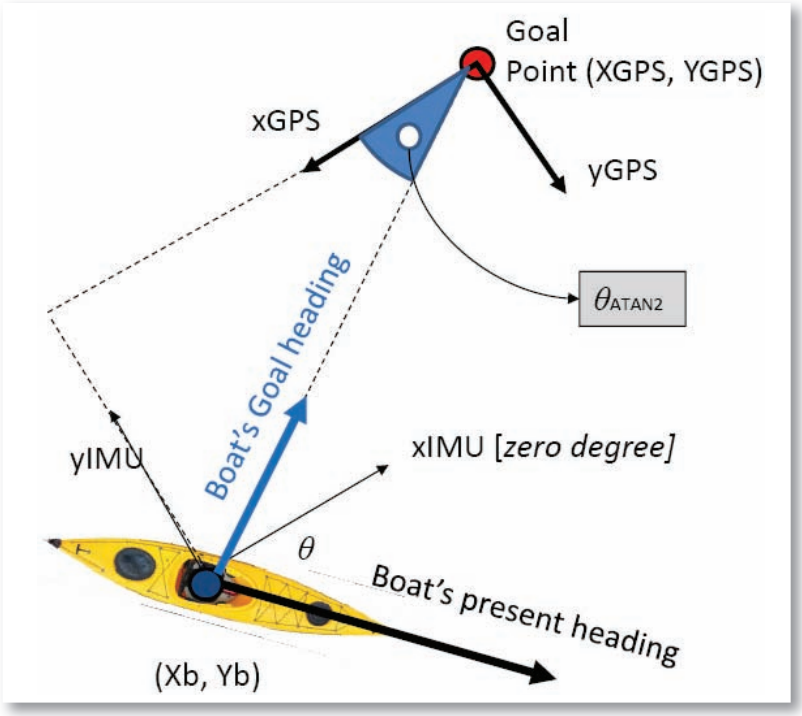

Figure 8 Diagram showing the parameters that are used in the double PD loop waypoints tracking control. Note that the IMU's frame of reference is always 180 degree different from the GPS's frame of reference.

วงควบคุมทั้งแบบควบคุมทิศทางหัวเรือและแบบควบคุมระยะทางจากเรือถึงจุดเป้าหมายจะใช้หลักการควบคุมย้อนกลับแบบ Proportional-Derivative control (PD control) สมการที่ (5) แสดงวงควบคุมทิศทางหัวเรือซึ่งผู้ใช้จะต้องปรับค่า Gain k_p และ k_d เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและบรรลุจุดมุ่งหมายของการควบคุมดังสมการ (1)

$$\theta_{set} = k_p|\theta_{set} - \theta_{real}| + k_d|\dot{\theta}_{set} - \dot{\theta}_{real}| = \tau_{heading} \qquad (5)$$

สมการที่ (6) แสดงวงควบคุมระยะทางจากเรือถึงจุดเป้าหมายซึ่งผู้ใช้จะต้องปรับค่า Gain k_{p2} และ k_{d2} เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและบรรลุจุดมุ่งหมายของการควบคุมดังสมการ (2)

$$d_{set} = 0 = k_{p2}|d_{set} - d_{real}| + k_{d2}|\dot{d}_{set} - \dot{d}_{real}| = \tau_{dist} \qquad (6)$$

เมื่อระบบหุ่นยนต์เรือทำงานตามสมการที่กล่าวมาข้างต้นโดยระบบบรรลุจุดม่งหมายของการควบคุมดัง (1) และ (2) หุ่นยนต์เรืออาจจะมีการเคลื่อนที่ดังตัวอย่างในภาพที่ 9 เนื่องจากเครื่องรับสัญญาณ GPS ตั้งความเร็วการรับค่าพิกัดไว้ที่ 5 Hz ดังนั้นทุกๆ 1 วินาทีจะมีการคำนวณของสมการ (3), (4), (5), (6) ห้าครั้งเพื่อบังคับให้เรือเข้าใกล้เป้าหมาย ณ จุดเป้าหมายจะตั้งค่า Threshold เป็นวงกลมรัศมี 1 เมตรไว้ เมื่อเรือหุ่นยนต์เข้าสู่รัศมีวงกลม 1 เมตรใกล้จุดเป้าหมายระบบควบคุมเรือจะเปลี่ยนจุดเป้าหมายเป็นจุดต่อไปทันที ในการทำงานจริงของเรือหุ่นยนต์ในลักษณะเคลื่อนที่อัตโนมัติจำเป็นจะต้องมีแผนที่จุดพิกัด GPS ที่แม่นยำอย่างน้อย ± 1 เมตร เมื่อได้จุดพิกัดที่ต้องการผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดแผนที่ให้เรือหุ่นยนต์ได้ หรือสามารถเลือกกำหนดจุดพิกัดที่ต้องการให้เรือผ่านโดยการกำหนดจุดด้วยตัวเองผ่านทางโปรแกรมรับค่าพิกัด

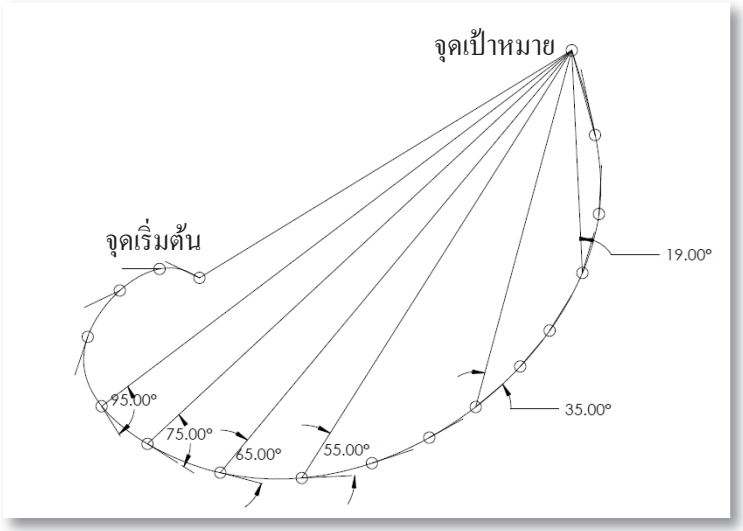

Figure 9 Simulation shows the conversion from an initial point toward the goal point. At each instance (200 milliseconds), the two loops are servoing heading angle toward the goal set angle and the distance to zero.

จากการทดสอบระบบ ณ อ่างเก็บน้ำของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีผลที่ได้สามารถแสดงดังภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าเรือหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปตามจุดทั้งสี่จุดได้อย่างแม่นยำโดยเรือเริ่มเคลื่อนตัวจากกรอบด้านบนลงมา ณ จุดที่3 จากนั้นเรือจึงเคลื่อนที่ต่อไปยังจุดที่ 4-1-2 และกลับมา ณ จุดที่3 ดังเดิม ค่าคงที่หรือ Gain K_p, K_d, K_{p2}, K_{d2} ที่ปรับใช้งานจริงแสดงในตารางที่ 2 โดยค่า Gain ดังแสดงในตารางคำนวณจากการใช้หน่วยการวัดตำแหน่งของ GPS แบบ GPS Lat-Long และหน่วยของมุมเลี้ยวหัวเรือเป็นองศา (degree) และค่า Control action จะถูกจำกัดโดยประมาณอยู่ที่

$-80° < \tau_{heading} , < 80°$

7 ปอนด์ $< \tau_{dist} <$ 31.25 ปอนด์ (Thrust)

อนึ่ง Thrust 31.25 ปอนด์จะผลักดันให้หุ่นยนต์เรือมีความเร็วสูงสุดที่ประมาณ 2 เมตรต่อวินาที

Table 2 Value of each Gain used in Double PD control loop

Gain	Value
K_p	8
K_d	3.3
K_{p2}	65000
K_{d2}	2000

Table 3 A set of four GPS waypoints in figure 10 that was used to test the navigational accuracy of the autonomous waypoint tracking control algorithm

จุดที่	ตำแหน่ง GPS
1	N 14 02.02961 E 100 43.54788
2	N 14 02.02981 E 100 43.52863
3	N 14 02.00563 E 100 43.52892
4	N 14 02.00504 E 100 43.54803

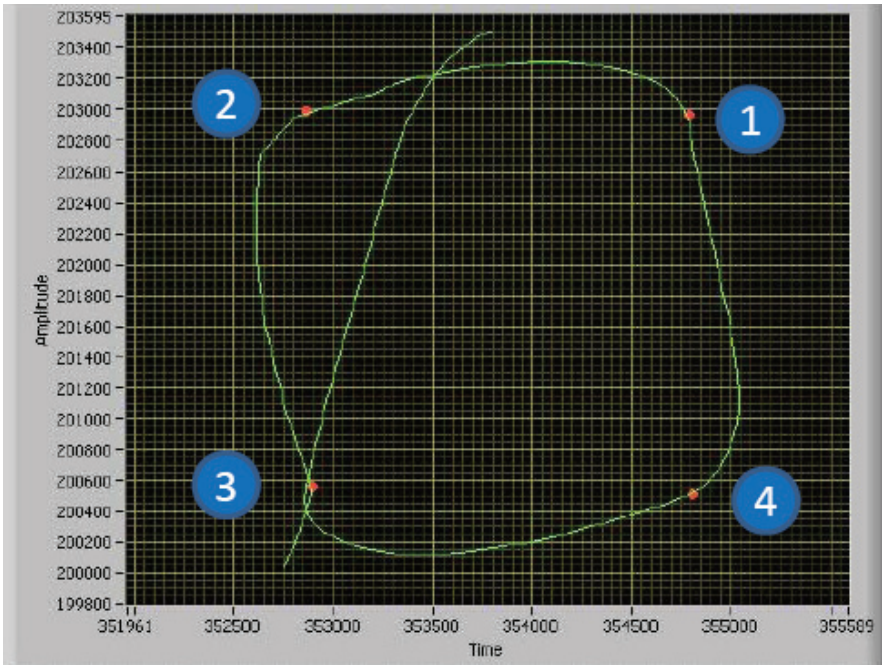

Figure 10 The trajectory of the robot boat during the way point tracking control test. The robot boat can perform the tracking of the four points well.

2.2.3. อุปกรณ์เสริม (Auxiliary equipment)

เรือหุ่นยนต์สามารถติดอุปกรณ์เสริมตามความต้องการของผู้ใช้ได้โดยน้ำหนักบรรทุกรวมไม่ควรเกิน 100 กิโลกรัม อุปกรณ์เสริมที่สามารถติดตั้งได้เช่น หัววัดคุณภาพน้ำแบบหลายหัว กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวความละเอียดสูง หัววัดความลึกท้องน้ำ (echo sounder) เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำอัตโนมัติ [8] ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12 เป็นต้น อุปกรณ์เสริมสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ประจำเรือเพื่อการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย WLAN (wireless local area network) หรือเครือข่ายการสื่อสารแบบอื่นเช่น EDGE/GPRS, 3G, COFDM (การสื่อสารโดยใช้คลื่นสัญญาณไมโครเวฟ) เป็นต้น

Figure 11 Echo sounder head and its installation at the bow of the kayak boat. The left figure shows the head during the deployment. The right figure shows the head in stowing position

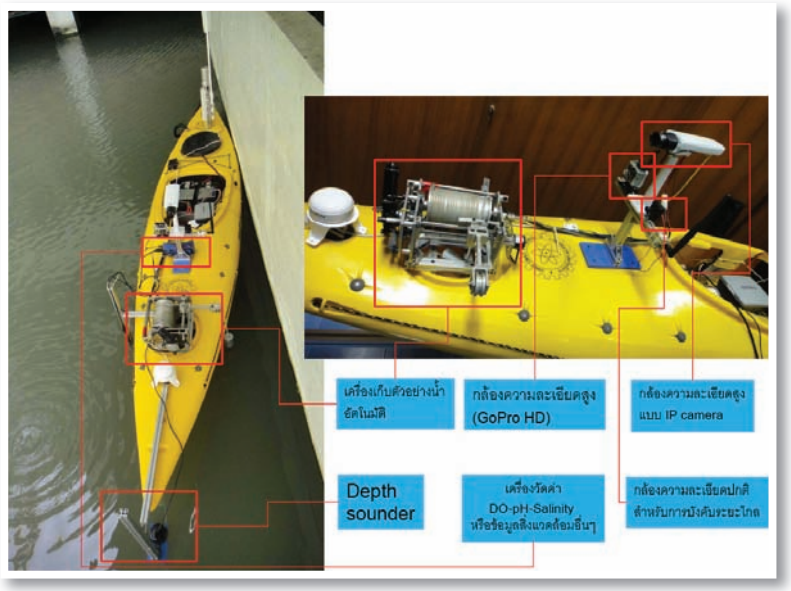

Figure 12 Auxiliary equipment can be installed on the robot boat such as the water auto-sampler, a high definition camera, and a multi-parameter head for water quality measurement.

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion) การใช้เรือหุ่นยนต์ในการปฏิบัติภารกิจเก็บข้อมูลความลึก

เรือหุ่นยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดทางวิทยาศาสตร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการสำรวจเก็บข้อมูลทางน้ำได้หลากหลาย เช่นงานสำรวจแม่น้ำ คูคลอง การหาปริมาตรอ่างเก็บน้ำ การสำรวจชายฝั่งทะเล เป็นต้น ระบบของ [9] เป็นตัวอย่างหนึ่งที่ใช้การวางพิกัดล่วงหน้าเพื่อให้เรือผ่านแบบอัตโนมัติ แต่เนื่องจากเรือมีขนาดเล็กจึงมีข้อจำกัดทางด้านการติดตั้งอุปกรณ์

ดังภาพที่ 13 เรือหุ่นยนต์สามารถสำรวจพื้นที่เพื่อหาค่าความลึกของอ่างเก็บน้ำและนำมาคำนวณหาปริมาตรได้ โดยใช้เวลาน้อยกว่า 3 ชั่วโมงในการสำรวจอ่างเก็บน้ำขนาดประมาณ 90,000 ตารางเมตร

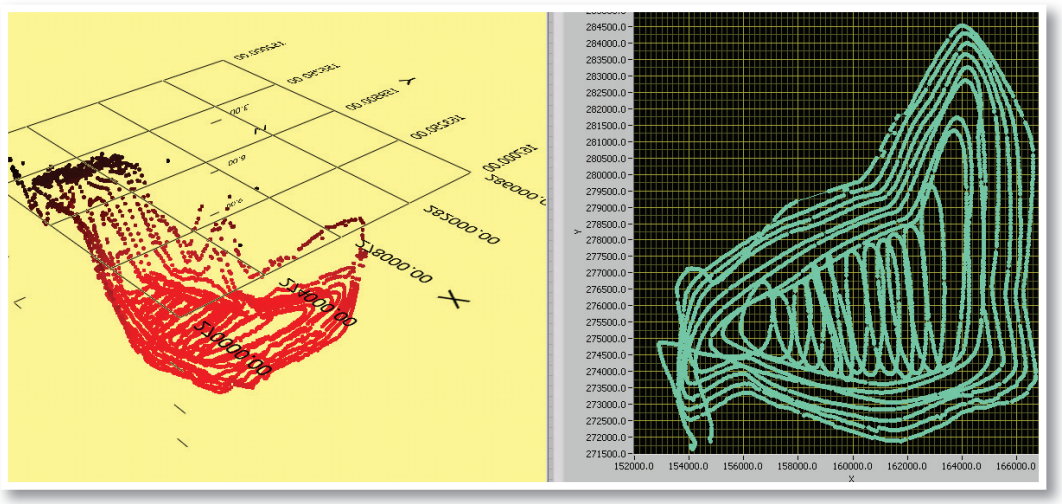

Figure 13 Another effective use of the robot boat is to survey the reservoir with the echo sounder in order to gain volumetric information. The bathymetric process using robot boat is preferred over the old method of manual measurement at each point because of the time saving and the great accuracy provided by the precise movement of the robot.

ในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน 2554 กรมวิทยาศาสตร์บริการร่วมมือกับศูนย์ปฏิบัติการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย (ศปภ.) ภายใต้การกำกับของคณะทำงานบริหารจัดการระบายน้ำในพื้นที่ที่เกิดสาธารณภัยร้ายแรงปฏิบัติภารกิจโดยใช้ระบบและเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจากความร่วมมือระหว่างสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร และ กรมวิทยาศาสตร์บริการในการวัดระดับความลึกของคลองต่างๆในกรุงเทพมหานครและพื้นที่ใกล้เคียง ระบบชี้ข้อมูลความลึก (ภาพที่ 14) มีบทบาทสำคัญในงานป้องกันอุทกภัยและการระบายน้ำ ข้อมูลความลึกที่ได้สามารถนำไปชี้เป้าการขุดลอกคูคลองหรือการวางจุดเรือผลักดันน้ำเพื่อประโยชน์ในการระบายน้ำออกจากพื้นที่ท่วมขังให้เร็วที่สุด

ระบบสามารถเก็บข้อมูลความลึกอ้างอิงตำแหน่งจากอุปกรณ์ GPS และระบบโซนาร์ ได้อย่างรวดเร็วแม่นยำกว่าวิธีการวัดแบบเดิมคือใช้การหยั่งและจดข้อมูลโดยคน รวมทั้งสามารถติดตั้งได้กับเรือหลายแบบเช่นเรือเก็บขยะของสำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร เรือปฏิบัติการโจมตีขนาดเล็กของกองทัพเรือ เรือหุ่นยนต์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (ดังภาพที่ 15)

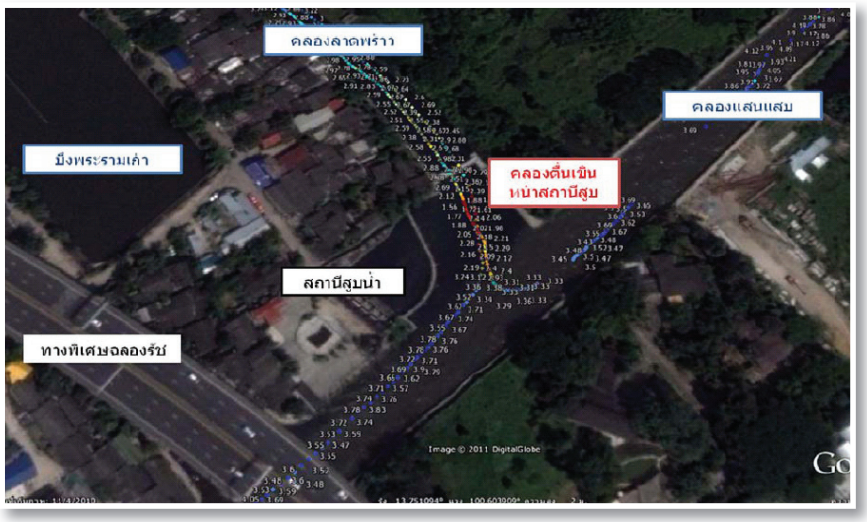

Figure 14 Example of the information giving out to the Army's Armed Forces Development Command. It is composed of GPS points and the depth information at each point plotted on Google Earth. As shown in the figure, the area near the junction point of Klong Ladprao and Klong Sanseab has shallow patch which needs to be cleared out for better drainage.

Figure 15 We used the kayak boat in manual mode equipped with echo sounding system to survey Bangkok Metropolitan's canals during the 2011 Thailand's great flooding. The system helped identifying the shallow spots. Such information was useful for pin pointing the digging operation in order to clear the canals for effective drainage of the flood water.

4. บทสรุป (Conclusions)

การเตรียมพร้อมวางแผนรับ/ป้องกันพิบัติภัยเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งยวดเพื่อป้องกันมิให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิต ทรัพย์สินของประชาชน กรมวิทยาศาสตร์บริการได้พัฒนาระบบเรือหุ่นยนต์เพื่อใช้ในงานเก็บข้อมูลและเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อมทางน้ำ เรือหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ทั้งในแบบควบคุมด้วยมือจากระยะไกลผ่านคลื่นวิทยุและในแบบเคลื่อนที่อัตโนมัติตามพิกัด GPS เรือหุ่นยนต์สามารถติดอุปกรณ์เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำอัตโนมัติ หัวอ่านพารามิเตอร์คุณภาพน้ำแบบหลายหัว หัววัดความลึกของท้องน้ำ เป็นต้น เรือหุ่นยนต์อยู่ในขั้นพัฒนาพร้อมใช้งานและได้ถูกนำไปใช้เก็บข้อมูลความลึกคูคลองเพื่อการขุดลอกที่แม่นยำเพื่อประโยชน์ในการระบายน้ำท่วมขัง นอกจากนั้นยังได้นำเรือหุ่นยนต์ไปใช้หาปริมาตรอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กถึงขนาดกลางได้เป็นผลดี งานวิจัยพัฒนาในขั้นต่อไปจะเน้น 1) ความทนทานต่อการใช้งานในภาคสนาม 2) ความสามารถในการเอาตัวรอดของหุ่นยนต์ เช่นงานวิจัยทางด้านระบบหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ ระบบขับเคลื่อนด้วยมือผ่านทางระบบภาพระยะไกล การพัฒนาอุปกรณ์เสริมเสถียรภาพเช่นทุ่นช่วยทรงตัว 3) ความสามารถในการทำงานร่วมกับหุ่นยนต์อื่นๆเช่นเรือหุ่นยนต์หลายลำ หรือหุ่นยนต์บินแบบ UAV สำหรับช่วยนำทางเรือหุ่นยนต์ 4) การปรับปรุงระบบขับเคลื่อนทางเลือกที่เป็นเครื่องยนต์ใช้น้ำมันสำหรับเพิ่มพิสัยการปฏิบัติการ 5) งานวิจัยทางด้านการพัฒนาอุปกรณ์สำรวจและระบบเก็บข้อมูลที่มีความแม่นยำ

5. เอกสารอ้างอิง (References)

[6] "Natural hazards, unnatural disasters: The economics of effective prevention", The World Bank and The United Nations. 2010.

[7] J. E. Manley, "Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development", Proceedings of MTS/IEEE Oceans'08, 2008.

[8] J. Curcio, J. Leonard, and A. Patrikalakis, "SCOUT- a Low Cost Autonomous Surface Platform for Research in Cooperative Autonomy." IEEE OCEANS, 2005.

[9] M. Dunbabin and Lino Marques, "Robotics for Environmental Monitoring: Significant Advancements and Applications", IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 19, No.1, 2012, pp.24-39.

[10] M. Caccia, M. Bibuli, R. Bono, Ga. Bruzzone, Gi. Bruzzone, E. Spirandelli, "Unmanned Marine Vehicles at CNR-ISSIA", Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control (IFAC), 2008.

[11] M. Bibuli, G. Bruzzone, M. Caccia, G. Indiveri, A.A. Zizzari, "Line following guidance control: Application to the Charlie unmanned surface vehicle", Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008.

[12] M. B. Greytak, "High Performance Path Following for Marine Vecicles Using Azimuthing Podded Propulsion." M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2006.

[13] P. Prempraneerach and P. Kulvanit, "Autonomous Robot Boat for Water Sampling and Environmental Data Acquisition Tasks", IEEE International Conference on Test and Measurement, 2010.

[14] Y. Koda and K. Koda, "Unmanned Boat Automatic Survey System and Unmanned Boat Automatic Survey Method", United States Patent, US 2010/0131133 A1.