

โครงร่างโครงการทางวิศวกรรม

(Senior Project Proposal)

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

21 สิงหาคม 2552

ชื่อหัวข้อโครงการ (ภาษาไทย) การระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ในสามมิติ
ด้วยกล้องวิดีโอแบบอ้อม

ชื่อหัวข้อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Omni-Directional Camera Base SLAM in
Outdoor Environment

โดย

นายสุภูมิ สัตตัตตนามัย รหัสประจำตัว 4931253521 ลายเซ็น _____

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ดร.นันทิ นิภานันท์ ลายเซ็น _____

ปัญหาและความสำคัญของปัญหา

ความล้ำหน้าของเทคโนโลยีทำให้เกิดระบบอัจฉริยะในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบัน เช่น ระบบ GPS ในรถยนต์ที่สามารถค้นหาเส้นทางและนำทางผู้ขับขี่ไปได้ทุกที่ แต่ก็ยังไม่มีระบบรถยนต์อัจฉริยะที่สามารถขับได้เองด้วยเหตุที่ว่าระบบ GPS นั้นยังไม่มีความแม่นยำมากพอที่จะเป็นข้อมูลให้กับระบบรถยนต์อัจฉริยะ อีกทั้งสัญญาณ GPS ไม่สามารถผ่านเข้าไปในที่จอดรถใต้อาคาร ในอุโมงค์ และใต้บริเวณรถไฟฟ้างังจำเป็นต้องมีระบบระบุตำแหน่งที่สามารถทำงานได้ทุกที่และมีความถูกต้องแม่นยำมากพอเพื่อใช้ในการพัฒนารถยนต์อัจฉริยะซึ่งจะช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งอำนวยความสะดวกในรถยนต์ อุตสาหกรรมการขนส่งสินค้า และอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การนำทางนักท่องเที่ยวในพิพิธภัณฑ์หรือตามสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ การสำรวจข้อมูลของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ต่างๆ ฯลฯ

ระบบการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมหุ่นยนต์หรือระบบอัจฉริยะ โดยเห็นได้จากทีมหุ่นยนต์กู้ภัยจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สามารถคว้าแชมป์ประเทศไทยและแชมป์โลกได้อย่างขาดลอยเนื่องจากการทำระบบการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่มาใช้ นอกจากการระบุตำแหน่งภายในอาคารแล้วการระบุตำแหน่งภายนอกอาคารก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน เช่น รถสำรวจสิ่งแวดล้อม รถยนต์อัจฉริยะที่สามารถวิ่งได้จริงตามท้องถนนหรือรถขนส่งสินค้าภายในคลังสินค้าขนาดใหญ่

ความรู้ทางด้านระบบการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ในประเทศไทยยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก เห็นได้จากห้องปฏิบัติการที่สามารถพัฒนาระบบนี้มีเพียงไม่กี่แห่งและทั้งหมดเป็นการการระบุตำแหน่งภายในอาคาร จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาวิจัยและพัฒนาการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ภายนอกอาคาร เพื่อกระตุ้นการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางด้านระบบการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ รวมถึงเป็นรากฐานในการขยายตัวของอุตสาหกรรมในประเทศไทยต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การระบุตำแหน่งพร้อมกับสร้างแผนที่ (Simultaneous Localization and Mapping)

เทคโนโลยี Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) สามารถช่วยตอบปัญหาข้างต้นได้ SLAM ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2529 โดย Smith และ Cheeseman[1] โดยได้นำเสนอวิธีการประมาณความสัมพันธ์และค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างจุดสังเกตทั้งหลายด้วยวิธีการทางความน่าจะเป็น (probabilistic methods) และหลังจากนั้นไม่นาน Moutarlier และ Chatila[2,3] ก็ได้พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาสำหรับ SLAM ขึ้นเป็นครั้งแรกโดยใช้ Extended Kalman Filter(EKF) ในการประมาณค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์และแผนที่ ซึ่งต่อมาวิธีนี้ได้กลายเป็นที่แพร่หลายในแก้ปัญหา SLAM อย่างไรก็ตามมีการพัฒนาอัลกอริทึมอื่นอีกจำนวนมากเพื่อแก้ปัญหา SLAM เช่น FastSLAM[4,5], UKF-SLAM[6], SEIF-SLAM[7] ฯลฯ

วิธีการแก้ปัญหา SLAM ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการนำร่องหุ่นยนต์ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น สภาพแวดล้อมภายในอาคาร[8,9], สภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร[10], ใต้น้ำ[11], ใต้ดิน[12,13], หรือแม้กระทั่ง การสำรวจดาวเคราะห์[14,15] นอกจากนี้ยังมีการใช้งานกับอุปกรณ์เซนเซอร์ที่แตกต่างกันไป เช่น กล้องวิดีโอแบบทั่วไป[16], กล้องแบบอ้อมนิ[17], อุปกรณ์วัดระยะด้วยเลเซอร์(Laser Range Finder)[18], เรดาร์, โซนาร์, GPS ฯลฯ

สำหรับเซนเซอร์ที่ได้กล่าวไป กล้องวิดีโอถือเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานวิจัยเป็นจำนวนมาก [19,20] ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อดี คือ เป็นเซนเซอร์ที่ให้ข้อมูลของสิ่งแวดล้อมเป็นปริมาณมาก มีความแม่นยำของข้อมูลพอประมาณขึ้นกับความละเอียดของกล้อง มีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมแบบทันที(real-time) ราคาไม่สูงนักและพกพาสะดวก แต่การนำข้อมูลไปใช้ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้างเพราะข้อมูลจากกล้องวิดีโอไม่สามารถบอกความลึกของภาพได้ จึงต้องใช้เทคนิคในการช่วยหาระยะดังกล่าว เช่น การใช้กล้องสเตอริโอช่วยในการหาระยะ[21], การใช้กล้องวิดีโอร่วมกับเซนเซอร์วัดระยะอื่น[22], การประมาณการเคลื่อนที่ด้วยอุปกรณ์วัดความเฉื่อย(inertia sensors) หรืออุปกรณ์ตรวจจับความเร็วล้อ(wheel encoders) หรือ GPS หรืออื่นๆประกอบกัน

การวิจัยที่ใช้กล้องวิดีโอเพียงอย่างเดียวในการระบุตำแหน่งหรือ MonoSLAM[16] ซึ่งถูกนำเสนอโดย Davison เป็นงานที่มีความโดดเด่นและเป็นงานแรกๆที่ประสบความสำเร็จสำหรับงานระบุตำแหน่งพร้อมกับสร้างแผนที่ด้วยกล้องวิดีโอ แม้ว่า MonoSLAM จะทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีโครงสร้างแน่นอน แต่เนื่องจากมุมมองกล้อง(field of view) ที่แคบทำให้ MonoSLAM ทำงานกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ไม่ดึกดังนั้นในปี พ.ศ. 2546 Kim และ Chung[23] ได้เสนอวิธีการใช้กล้องอ้อมนิในการแก้ปัญหา SLAM เนื่องจากกล้องอ้อมนิเป็นเซนเซอร์ที่มีมุมมองกว้างทำให้ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมได้ทั่วถึง ส่งผลให้อัลกอริทึมของ SLAM มีความเสถียรและทนต่อการเคลื่อนที่ของกล้อง ภายหลังจากใช้กล้องอ้อมนิมีความแพร่หลายมากขึ้น เช่น Murillo, Guerrero และกลุ่ม[17], Valgren, Lilienthal และกลุ่ม[24], Saedan, Lim และกลุ่ม[25] เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงงานนี้จะเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับอัลกอริทึมในการสร้างแผนที่และระบุตำแหน่ง ดังนี้

Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints[26] เสนอ โดย David G. Lowe ในปี 2004 ได้บรรยายเกี่ยวกับการระบุลักษณะของจุดสังเกตเพื่อให้ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนมุมมอง โดยเริ่มจากการเลือกจุดสังเกตจากส่วนที่มีลักษณะคล้ายมุมที่ความละเอียดภาพต่าง ๆ กัน และใช้เทคนิคการเข้ารหัสข้อมูลในการบันทึกจุดสังเกตและการค้นหาจุดสังเกตที่มีความใกล้เคียงกัน

Mobile robot localization and mapping in extensive outdoor environments[10] เสนอ โดย Tim Bailey ในปี 2002 ได้บรรยายเกี่ยวกับพื้นฐานของ SLAM ได้แก่ การเก็บข้อมูลแผนที่และสิ่งแวดล้อม, ขั้นตอนการทำงานของ SLAM, ตัวอย่างการทดลองภายนอกอาคาร นอกจากนี้ยังมีรายละเอียดและทางเลือกที่แนะนำในการทำ Outdoor SLAM เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างจุดสนใจในระบบ, การนำ Particle Filter มาประยุกต์ใช้, การบริหารจัดการข้อมูลจุดสนใจ, การทำ loop closure เป็นต้น

Slam with omni-directional stereo vision sensor[23] เสนอ โดย J.-H.Kim และ M.J.Chung ในปี 2003 ได้บรรยายเกี่ยวกับการทำ SLAM ด้วยกล้องออมนิ โดยใช้หลักการของการสร้างโครงสร้างของสิ่งแวดล้อมเข้ามาช่วย และได้อธิบายหลักการในการคำนวณตำแหน่งจากข้อมูลนำเข้าที่อยู่ในรูปแบบของทิศทางเพียงอย่างเดียว (ไม่ทราบระยะที่แน่นอน)

Robot and Landmark Localization using Scene Planes and the 1D Trifocal Tensor[17] เสนอ โดย A.C.Murillo, J.J.Guerrero และ C.Sagues ในปี 2006 ได้บรรยายเกี่ยวกับการทำ SLAM ด้วยกล้องออมนิ โดยใช้ข้อมูลนำเข้าที่อยู่ในรูปแบบของทิศทางเพียงอย่างเดียว และคำนวณตำแหน่งของจุดสังเกตจากข้อมูลทิศทางจากสามตำแหน่งด้วย 1D Trifocal Tensor ซึ่งใช้ช่วยลดจำนวนรอบการคำนวณซ้ำโดยยังคงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งอยู่

Incremental topological mapping using omnidirectional vision[24] เสนอ โดย C.Valgren, A.Lilienthal, และ T.Duckett ในปี 2006 ได้บรรยายเกี่ยวกับแนวคิดในการเก็บข้อมูลแผนที่ในรูปแบบของความสัมพันธ์ของจุดสังเกต เพื่อลดปริมาณการคำนวณและช่วยในการจัดการ closing loop โดยใช้ข้อมูลทิศทางจากกล้องออมนิเพียงอย่างเดียว

Appearance-based slam with map loop closing using an omnidirectional camera[25] เสนอ โดย M.Saedan, C.W.Lim, และ M.H.Ang ในปี 2007 ได้บรรยายเกี่ยวกับการเลือกจุดสังเกต โดยใช้ลักษณะที่ปรากฏของจุดสังเกตมาช่วยในการหาจุดสังเกตที่ดี และการหาความสัมพันธ์ระหว่างจุดสังเกต

แนวคิดในทางทฤษฎี

แนวคิดและวิธีการทำงานของ SLAM ที่มีอยู่เดิมสามารถทำการสร้างแผนที่และระบุตำแหน่งได้พอสมควรแต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่พอสมควร กล่าวคือการทดลองส่วนมากจะอยู่ในอาคารหรือหากอยู่ภายนอกอาคารก็ต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม สำหรับอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการนำมาใช้สร้างแผนที่และระบุตำแหน่งได้แก่ Laser Scan ซึ่งมีราคาแพงและได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำ แต่อย่างไรก็ดี Laser Scan เป็นเครื่องมือแบบ active ซึ่งจะปล่อยพลังงานออกมาจำนวนมาก การนำไปใช้จริงในวงกว้างจึงเป็นไปได้ยากเพราะพลังงานที่ Laser Scan แต่ละตัวปล่อยออกมาจะรบกวนกันเองทำให้การทำงานของระบบผิดพลาด

กล้องวิดีโอแบบอ้อมนี่จึงเป็นตัวเลือกที่ดีกว่า Laser Scan ในการนำไปใช้จริง กล้องวิดีโอแบบอ้อมจะสามารถให้มุมมองที่กว้างมากทำให้จุดสังเกตจะปรากฏอยู่ในภาพเป็นเวลานานทำให้สามารถเก็บข้อมูลของจุดสังเกตได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามกล้องอ้อมที่มีอยู่ในปัจจุบันมีความละเอียดต่ำกว่ากล้องวิดีโอที่มีวางขายอยู่ทั่วไป ดังนั้นการนำกล้องวิดีโอความละเอียดสูงมาใช้สร้างกล้องวิดีโอแบบอ้อมนี่จะมีส่วนช่วยในการสร้างแผนที่และระบุตำแหน่งให้มีความแม่นยำ

สำหรับแนวทางในการจัดการกับจุดสังเกตซึ่งมีอยู่อย่างหลากหลายนั้น แต่ละแนวทางมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันไป เพื่อให้ระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานได้อย่างถูกต้องและมีความแม่นยำสูงที่สุดจึงจะต้องมีการทดสอบและเลือกแนวทางที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้

งานวิจัยเบื้องต้น

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ได้มีการนำกล้องวิดีโอแบบอ้อมมาใช้ในการสร้างแผนที่และระบุตำแหน่งบ้างแล้ว แต่เป็นการทดลองภายในอาคารและใช้กล้องที่มีความละเอียดต่ำ ด้วยการนำกล้องวิดีโอความละเอียดสูงมาประยุกต์ใช้และสามารถเพิ่มความแม่นยำของระบบได้ และด้วยวิธีการจัดเก็บข้อมูลจุดสังเกตที่เหมาะสมจะทำให้ระบบที่ได้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในด้านความเร็วและความถูกต้อง

วัตถุประสงค์

- พัฒนาระบบระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ภายนอกอาคารด้วยกล้องวิดีโอแบบออบนิ ซึ่ง
เป็นพื้นฐานสู่การพัฒนาาระบบอัจฉริยะต่างๆ เช่น ระบบรถยนต์อัจฉริยะ ระบบรถขนส่งสินค้า
อัจฉริยะ ระบบทำทางในสถานที่ท่องเที่ยว ระบบสำรวจข้อมูลสิ่งแวดล้อมอัตโนมัติ และ
นำไปสู่การพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมต่อไป
- เพื่ออธิบายการกำหนดพารามิเตอร์ การเลือกใช้และการนิยามโมเดลของจุดสังเกตที่
เหมาะสมกับสถานที่ต่างๆ ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนระบบระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่
ให้เข้ากับสถานที่ปฏิบัติการจริงได้

ขอบเขต

- ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ช่วงเวลากลางวันที่มี
แสงอย่างเพียงพอ และสามารถระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ
- กล้องออบนิจะวางตัวตั้งฉากกับพื้นและเคลื่อนที่ในแนวระนาบ
- ระบบสามารถทำงานได้แบบ Real-Time บนระบบปฏิบัติการ Window XP, Intel
Core2Duo 2.4 GHz, Ram 2 GB

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่จะแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ, ศึกษาลักษณะของกล้องวิดีโอแบบออบนิ, ศึกษาลักษณะของจุดสังเกตและโครงสร้างการเก็บข้อมูล และพัฒนาระบบการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ภายนอกอาคารด้วยกล้องวิดีโอแบบออบนิ โดยในแต่ละช่วงมีแนวทางการพัฒนาดังนี้

ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ เนื่องจากโครงการนี้ต้องการที่จะพัฒนาระบบระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้จริงในเชิงธุรกิจ จึงต้องกำหนดความสามารถของระบบที่เป็นที่ยอมรับจากเจ้าของกิจการและแนวทางการร่วมมือที่เป็นไปได้ ซึ่งจะนำไปสู่การดำเนินการวิจัยและพัฒนาที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงทั้งแก่เจ้าของกิจการและผู้วิจัยและพัฒนาเอง

ศึกษาลักษณะของกล้องวิดีโอแบบออบนิ ปัจจัยที่ศึกษาคือลักษณะของกล้องวิดีโอแบบออบนิ ได้แก่ ความละเอียดของกล้องและชนิดของเลนส์ที่ใช้ โดยใช้กล้องเว็บแคมบนที่วิดีโอที่มีความละเอียด และศึกษาลักษณะของกระจกสำหรับกล้องออบนิจำนวน 4 แบบ ได้แก่ Conical Mirror, Ellipsoidal Mirror, Hyperboloidal Mirror, Paraboloidal Mirror ซึ่งมีลักษณะการบิดของภาพและความกว้างของมุมมองที่แตกต่างกัน การตรวจสอบ ทำได้โดยวัดจากจำนวนจุดสังเกตที่หาได้จากภาพของวัตถุตัวอย่าง ความกว้างของมุมมอง และความถูกต้องในการระบุความเกี่ยวข้องกับระหว่างจุดสังเกตในภาพของวัตถุตัวอย่างที่ถ่ายจากคนละมุมมอง

ศึกษาลักษณะของจุดสังเกตและโครงสร้างการเก็บข้อมูล ปัจจัยที่ศึกษาคือลักษณะของจุดสังเกต ได้แก่ รูปร่าง สี การวางตัว ลักษณะพื้นผิว โดยตรวจสอบจากจำนวนจุดสังเกตที่หาได้จากภาพของสิ่งแวดล้อมตัวอย่าง และความถูกต้องในการระบุความเกี่ยวข้องกับระหว่างจุดสังเกตในภาพของสิ่งแวดล้อมตัวอย่างที่ถ่ายจากคนละมุมมอง โดยจะทำการทดสอบกับสถานที่ตัวอย่าง 3 แห่ง โดยลักษณะ โครงสร้างการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการระบุตำแหน่งภายนอกอาคารจะขึ้นกับลักษณะของจุดสังเกตที่ดี

พัฒนาระบบการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ภายนอกอาคารด้วยกล้องวิดีโอแบบออบนิ ปัจจัยที่ศึกษาคืออัลกอริทึมที่เหมาะสม ได้แก่ การกำหนดพารามิเตอร์ การเลือกใช้และการนิยามโมเดลของจุดสังเกต โดยตรวจสอบจากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ได้จากระบบและตำแหน่งที่ได้จากการวัดจริง โดยจะนำมาทดสอบกับสถานที่ตัวอย่าง 3 แห่ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ระบบระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ภายนอกอาคารด้วยกล้องวิดีโอแบบออบนิ ซึ่งเป็นพื้นฐานสู่การพัฒนาาระบบอัจฉริยะต่างๆ เช่น ระบบรถยนต์อัจฉริยะ ระบบรถขนส่งสินค้าอัจฉริยะ ระบบทำทางในสถานที่ท่องเที่ยว ระบบสำรวจข้อมูลสิ่งแวดล้อมอัตโนมัติ และนำไปสู่การพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมต่อไป
- ความรู้เกี่ยวกับการกำหนดพารามิเตอร์ การเลือกใช้และการนิยามโมเดลของจุดสังเกต ที่เหมาะสมกับสถานที่ต่างๆ ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนระบบระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ให้เข้ากับสถานที่ปฏิบัติการจริงได้
- มีการตื่นตัวในการพัฒนาระบบอัจฉริยะต่างๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศ รวมถึงกระตุ้นให้มีการตื่นตัวในการศึกษาวิจัยต่อยอดในหัวข้อที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่

รายการอ้างอิง

- [1] R.C. Smith and P.Cheeseman, "On the representation and estimation of spatial uncertainty", The International Journal of Robotics Research, vol.5, p.56, 1986
- [2] P.Moutarlier and R.Chatila, "An experimental system for incremental environmental modeling by an autonomous mobile robot", in 1st International Symposium on Experimental Robotics, 1989
- [3] R. Chatila and P.Moutarlier, "Stochastic multisensory data fusion for mobile robot location and environment modeling", in 5th Int. Symposium on Robotics Research, 1989
- [4] D. Hahnel, W.Burgard, D.Fox, and S.Thrun, "A Highly efficient fastslam algorithm for generating cyclic maps of large-scale environments from raw laser range measurements", in International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003.
- [5] M. Montemerlo, S.Thrun, D.Roller, and B.Wegbreit, "Fastslam 2.0: An improved particle filtering algorithm for simultaneous localization and mapping that provably converges", In Proc. of the Int. Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI), p.1151,2003.
- [6] X.Wang and H.Zhang, "A upf-ukf framework for slam", in International Conference on Robotics and Automation, 2007.
- [7] M.R.Walter, R.M. Eustice, and J.J. Leonard, "Exactly sparse extended information filters for feature-based slam", The International Journal of Robotics Research, vol.26, p.335, 2007
- [8] M.Bosse, J.Leonard, and S.Teller, "Large-scale cml using a network for multiple local maps", in Workshop Notes of the ICRA Workshop on Concurrent Mapping and Localization for Autonomous Mobile Robots, 2002.
- [9] D.Fox, H.Hexmoor, and M.Mataric, "A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots", Machine Learning and Autonomous Robots, p.29, 1988.
- [10] T.Bailey, "Mobile robot localization and mapping in extensive outdoor environments", Ph.D. dissertation, Australian Center for Field Robotics Department of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering The University of Sydney, 2002.
- [11] S.Williams, G.Dissanayake, and H.Durrant-Whyte, "Towards terrain-aided navigation for underwater robotics", Advanced Robotics, 2001.
- [12] S.Thrun, D.Hahnel, D. Ferguson, M.Montemerto, R.Triebel, W.Burgard, C.Baker, Z.Omohundro mines", in IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003.

- [13] S.Scheding, E.M.Nebot, M.Stevens, and H.Durrant-Whyte, "Experiments in autonomous underground guidance", in IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1997.
- [14] R.LI, F.MA, F.XU, L.MATTHIES, C.OLSON, and Y.XIONG, "Large scale mars mapping and rover localization. using descent and rover imagery", in Proceedings of ISPRS 19th Congress, 2000.
- [15] J.Uhlmann, M.Lanzagorta, and S.Julier, "The nasa mars rover: A testbed for evaluating applications of coveriance intersection", in In Proceedings of the SPIE 13th Annual Symposium in Aerospace/Defence Sensing, Simulation and Control, 1999.
- [16] A.J.Davison, I.D.Reid, N.D.Molton, and O.Stasse, "Monoslam: Real-time single camera slam", IEEE Transactions on Pattern analysis and Machine Intelligence, vol.29, 2007.
- [17] A.C.Murillo, J.J. Guerrero, and C.Sagues, "Robot and landmark localization using scene planes and the 1d trifocal tensor", in International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006.
- [18] A.Diosi and L.Kleeman, "Laser scan matching in polar coordinates with application to slam", in International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005.
- [19] W.Y.Jeong and K.M.Lee, "Visual slam with line and corner features", in International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006.
- [20] P.Gemeiner, W.Ponweiser, P.Einramhof, and M.Vincze, "Real-time slam with a high-speed cmos camera", in Interational Conference on Image Analysis and Processing, 2007.
- [21] C.Hen, Z.Xiang, J.Liu, and E.Wu, "Stereo vision based slam in outdoor environments", in IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2007.
- [22] S.Fu, H.-y. Liu, L.-f Gao, and Y.-x. Gai, "Slam for mobile robots using laser range finder and monocular vision", in International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, 2007.
- [23] J.-H.Kim and M.J.Chung, "Slam with omni-directional stereo vision sensor", in International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003.
- [24] C.Valgren, A.Lilienthal, and T.Duckett, "Incremental topological mapping using omnidirectional vision", in International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006.
- [25] M.Saedan, C.W.Lim, and M.H.Ang, "Appearance-based slam with map loop closing using an omnidirectional camera", in Advanced Inrelligent Mechatronics, 2007.
- [26] David G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," International Journal of Computer Vision, 60, 2004