

บทที่ ๑

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมดาวเทียมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศในหลายๆด้าน ทั้งทางตรงและทางอ้อม อาทิเช่น การสื่อสารข้อมูลผ่านดาวเทียม การศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียมเพื่อยกระดับมาตรฐานการศึกษาของชาติ การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติและพยากรณ์ภูมิอากาศจากภาพถ่ายดาวเทียม การสำรวจแนวชายแดนเพื่อผลประโยชน์ด้านความมั่นคง รวมไปถึงการทดลองและทดสอบทางด้านวิทยาศาสตร์โดยนำอุปกรณ์การวัดติดตั้งบนตัวดาวเทียม เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยเองมีดาวเทียมใช้งานอยู่หลายดวง แต่เป็นของภาคเอกชน ซึ่งมุ่งเน้นในการให้บริการด้านการสื่อสารเป็นหลัก ในส่วนของภาครัฐเองสำหรับช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ได้มีการนำเสนอโครงการดาวเทียมหลายโครงการ ไม่ว่าจะเป็นโครงการดาวเทียมของกระทรวงกลาโหมเพื่อใช้งานด้านความมั่นคง หรือโครงการดาวเทียมสำรวจของกระทรวงวิทยาศาสตร์ แต่เนื่องจากประเทศประสบวิกฤตทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้ต้องชะลอโครงการดังกล่าวไว้ สำหรับในส่วนของภาคการศึกษานั้น ในอดีตที่ผ่านมา หลักสูตรทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ไม่มีการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมดาวเทียม

โดยตรง แต่ได้มีการเรียนการสอนเนื้อหาบางส่วนอยู่ในหลักสูตรของวิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมการบิน อย่างไรก็ตามในปี 2539 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครมีความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเซอร์เรย์ ประเทศอังกฤษ ในการสร้างดาวเทียมดวงเล็ก โดยมีวิศวกรไทย 12 คน เข้าร่วมโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นระยะเวลา 18 เดือน

จากการประชุมคณะรัฐมนตรีในห้วงเดือนพฤศจิกายน 2546 เป็นที่ชัดเจนแล้วว่า กระทรวงวิทยาศาสตร์ได้จัดเตรียมการจัดหาดาวเทียมสำรวจทรัพยากรจากต่างประเทศในระยะเวลาอันใกล้ แต่อย่างไรก็ตามหลายๆฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับโครงการดังกล่าว อาทิเช่น GISDA และ กระทรวงวิทยาศาสตร์ ก็ได้ตระหนักถึงความขาดแคลนบุคลากรทางด้านวิศวกรรมดาวเทียมเป็นอย่างมาก โดยส่วนใหญ่แล้วนักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมจะเป็นในลักษณะของผู้ใช้ (user) อาทิเช่นการนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาประมวลผล ถึงแม้ว่าจากผลต่อเนื่องจากโครงการสร้างดาวเทียมดวงเล็กที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ จะทำให้มีหลักสูตรการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมดาวเทียม ในระดับปริญญาโท ตั้งแต่ปี 2545 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร แต่ยังคงถือว่าเป็นช่วงเริ่มต้น ทำให้การขาดแคลนบุคลากรและงานวิจัยทางด้านนี้จึงเป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่ง

๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาด้านงานวิจัยวงโคจรดาวเทียมโลกต่ำ

พันธกิจของโครงการดาวเทียมหนึ่งๆจะประสบความสำเร็จและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ นั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆประการ อาทิเช่น ประเภทและลักษณะของวงโคจรดาวเทียม เทคโนโลยีการสร้างและเทคโนโลยีที่รองรับการปฏิบัติงานของดาวเทียมรวมไปถึงสถานีภาคพื้นดิน และ ตำแหน่งของสถานีภาคพื้นดิน เป็นต้น

ประเภทและลักษณะของวงโคจรดาวเทียมเป็นปัจจัยหลักที่จะต้องทำการกำหนดให้ชัดเจนตั้งแต่เริ่มดำเนินโครงการ เนื่องจากพันธกิจของแต่ละโครงการจะมีความต้องการตำแหน่งวงโคจรและประเภทวงโคจรที่แตกต่างกัน ดังนั้นความรู้ด้านวงโคจรของดาวเทียมจึงมีความจำเป็นและสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับวิเคราะห์พันธกิจ (mission analysis) ซึ่งจะเป็นขบวนการเบื้องต้นของการนำเสนอโครงการต่างๆ ตัวอย่างโครงการด้านอวกาศที่ต้องการความรู้ขั้นสูงด้านวงโคจรของดาวเทียม ได้แก่

- ◆ กลุ่มดาวเทียม (satellite constellations) สำหรับการสื่อสารข้อมูลที่มีพื้นที่ครอบคลุมทั่วโลก อาทิเช่น Globalstar (ดาวเทียม 48 ดวง) โคจรที่ความสูง 1400 กิโลเมตร ICO (ดาวเทียม 10 ดวง) โคจรที่ความสูง 10400 กิโลเมตร และ Teledesic (ดาวเทียม 288 ดวง) โคจรที่ความสูง 1350 กิโลเมตร

- ◇ กลุ่มดาวเทียม สำหรับการนำร่องที่มีพื้นที่ครอบคลุมทั่วโลก อาทิเช่น GPS (ดาวเทียม 28 ดวง) โคจรที่ความสูง 20000 กิโลเมตร GLONASS (ดาวเทียม 24 ดวง) โคจรที่ความสูง 19000 กิโลเมตร GALILEO (ดาวเทียม 30 ดวง) โคจรที่ความสูง 24000 กิโลเมตร
- ◇ ดาวเทียมวงโคจรโลกต่ำ สำหรับงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ อาทิเช่น
 - ◇ TOPEX/Poseidon และ JASON สำหรับการสำรวจภูมิศาสตร์ของทะเลทั่วโลก
 - ◇ GRACE สำหรับการทดลองด้านความดึงดูดและภูมิอากาศ
 - ◇ GPS/MET สำหรับการทดลองด้านภูมิอากาศโดยใช้สัญญาณจีพีเอส
 - ◇ SOHO สำหรับการทดลองด้านการสำรวจสิ่งแวดลอมในอวกาศ
- ◇ ดาวเทียมวงโคจรโลกต่ำ สำหรับการถ่ายภาพสำรวจ (IKONOS) หรือ ทางด้านความมั่นคง ซึ่งมีความต้องการ การกำหนดเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ เพื่อให้สามารถถ่ายภาพเป้าหมายได้ ถูกต้องและมีความละเอียดสูง

เมื่อมีการกำหนดตำแหน่งและประเภทของวงโคจร พร้อมกับการวิเคราะห์พันธะกิจสำหรับโครงการหนึ่งๆแล้ว ประเด็นที่จะต้องพิจารณาตามมาก็คือ ระบบติดตาม (tracking system) ซึ่งจะทำหน้าที่ติดตามดาวเทียมหลังจากที่ถูกปล่อยให้โคจรในอวกาศ ระบบติดตามสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ ระบบติดตามที่ใช้การทำนายตำแหน่งของดาวเทียม และ ระบบติดตามที่ใช้การตรวจจับสัญญาณวิทยุที่ส่งออกมาโดยดาวเทียม

ระบบติดตามแบบแรกจะใช้ข้อมูลที่เรียกว่าชุดข้อมูลสองบรรทัด (TLE, two line element) ที่จัดเตรียมโดย NORAD (North American Air Defense Command ซึ่งทำการติดตามวัตถุทุกชนิดในอวกาศ แล้วทำการสร้างชุดข้อมูลสองบรรทัดสำหรับแต่ละวัตถุ) ในการทำนายตำแหน่งของดาวเทียมหนึ่งๆ ชุดข้อมูลสองบรรทัดสำหรับดาวเทียมที่เราสนใจติดตามจะถูกป้อนให้กับแบบจำลองวงโคจร เพื่อทำนายตำแหน่งของดาวเทียมดังกล่าว ซึ่งทำให้เราสามารถทำนายได้ว่าดาวเทียมดวงนั้นจะผ่านสถานีภาคพื้นดิน ณ. เวลาเมื่อใด เมื่อทราบแล้ว เราสามารถเตรียมการเปิดชุดรับส่งสัญญาณวิทยุสำหรับติดต่อสื่อสารข้อมูล

ระบบติดตามแบบที่สอง จะใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูง ดังนั้นตำแหน่งสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินที่ชี้ไปที่ดาวเทียมจะต้องมีความแม่นยำสูงมาก ระบบติดตามแบบที่สองนี้จะมีราคาของระบบที่สูงมาก ตัวอย่างเช่น ระบบติดตามสำหรับย่านความถี่ S สำหรับงาน

สายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1~1.5 เมตร มูลค่าของระบบติดตามประมาณ 500,000 เหรียญสหรัฐ ซึ่งระบบติดตามดังกล่าวจะมีชุดหมอนจวนสายอากาศให้สามารถติดตามดาวเทียมได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

จากประเด็นในเรื่องของระบบติดตามดังกล่าวในข้างต้น มีประเด็นที่น่าสนใจซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบติดตามก็คือ จะทำอย่างไรถ้าต้องการให้ดาวเทียมทำการเคลื่อนออกจากวงโคจรที่มันโคจรอยู่ (orbit manoeuvring) โดยที่ ณ. เวลาดังกล่าวดาวเทียมไม่ได้โคจรผ่านสถานีภาคพื้นดิน โดยนัยแล้วสามารถใช้สถานีภาคพื้นดินหลายๆสถานีทั่วโลก ที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่ายทำการติดตามและสั่งการ แต่วิธีนี้ต้องใช้งบประมาณของโครงการที่สูงมาก ไม่ว่าจะเป็นมูลค่าของตัวสถานีภาคพื้นดินที่ต้องกระจายอยู่ทั่วโลก ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและการบำรุงรักษา อีกทั้งความเป็นไปไม่ได้ในกรณีพื้นที่นอกอาณาเขต หรือการเข้าพื้นที่ของประเทศอื่น (หมายเหตุ ในกรณีการแก้ปัญหาข้างต้นโดยการกำหนดตำแหน่งที่จะให้ดาวเทียมทำการหนึ่งๆไว้ล่วงหน้า ซึ่งก็คือการปฏิบัติการแบบอัตโนมัติที่จะกล่าวถึงในย่อหน้าต่อไป)

ประเด็นข้างต้นสามารถแก้ไขได้โดยการกำหนดตำแหน่งวงโคจรแบบอัตโนมัติ (autonomous orbit determination) โดยคอมพิวเตอร์ที่ทำงานในตัวดาวเทียมเอง ซึ่งเป้าหมายของการทำอัตโนมัตินี้เพื่อจะมุ่งไปสู่การปฏิบัติการแบบอัตโนมัติโดยตัวดาวเทียมเอง (autonomous satellite operation) ในอดีตที่ผ่านมา การกำหนดตำแหน่งวงโคจรแบบอัตโนมัติบนตัวดาวเทียมเอง ทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากไม่มีแหล่งที่สามารถให้ข้อมูลสำหรับการคำนวณได้ตลอดเวลา ทำให้ต้องอาศัยการติดตามโดยสถานีภาคพื้นดินเป็นหลัก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีประยุกต์ใช้ดาวเทียมนำร่องสำหรับงานด้านอวกาศ อาทิเช่นกลุ่มดาวเทียมจีพีเอส ที่สามารถส่งสัญญาณวิทยุให้แก่ดาวเทียมวงโคจรโลกต่ำ(ที่มีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส)ได้ตลอดเวลา สัญญาณวิทยุที่เครื่องรับรับได้จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของเครื่องรับเองซึ่งก็คือตำแหน่งของตัวดาวเทียมนั่นเอง ทำให้แนวทางการกำหนดตำแหน่งวงโคจรแบบอัตโนมัติโดยตัวดาวเทียมเองได้เปิดกว้างขึ้น

จุดเด่นที่สำคัญในการใช้สัญญาณจีพีเอสก็คือ ดาวเทียมสามารถรับสัญญาณจีพีเอสได้ตลอดเวลา ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของตัวดาวเทียมเองได้ตลอดวงโคจร แต่อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสำหรับใช้งานภายในตัวดาวเทียมเองมีปริมาณจำกัดโดยเฉพาะดาวเทียมดวงเล็กที่โคจรในวงโคจรโลกต่ำเนื่องจากไม่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลา อีกทั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเองก็เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทั้งส่วนที่เป็นวงจรแอนะล็อกและวงจรดิจิทัลที่มีหน่วยประมวลผลกลาง ซึ่งต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับการทำงานในปริมาณที่สูงพอสมควร มีค่าประมาณ 5 ถึง 10 วัตต์ โดยขึ้นอยู่กับวงจรภายในและโปรแกรมการทำงานของเครื่องรับที่ออกแบบไว้

ถึงแม้ว่าการคำนวณหาตำแหน่งวงโคจรสามารถทำได้แม่นยำโดยใช้อัลกอริทึมเฉพาะที่มีความซับซ้อนและทำการคำนวณบนเครื่องคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงณ.สถานภาคพื้นดิน แต่สำหรับการประยุกต์ใช้งานอัลกอริทึมดังกล่าวบนดาวเทียมยังคงเป็นปัญหาทั้งในเรื่องของขนาดและความมีเสถียรภาพของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ความเร็วของคอมพิวเตอร์ที่ใช้บนดาวเทียม ปัญหาเหล่านี้จะเชื่อมโยงร่วมกับข้อจำกัดของกำลังไฟฟ้าที่มีใช้งานบนดาวเทียม ทำให้การปฏิบัติการจริงมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ โดยเฉพาะกับการจำกัดกำลังไฟฟ้าที่จะใช้ไปสำหรับการคำนวณของคอมพิวเตอร์ที่ทำงานในส่วนต่างๆบนดาวเทียมนั้นทำได้ค่อนข้างยาก

การแก้ปัญหาข้างต้นสามารถทำได้ 2 แนวทาง แนวทางแรกเป็นการใช้วิธีอินทิเกรต(สำหรับการคำนวณพลวัตวงโคจรดาวเทียม)ที่ทำงานได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ ซึ่งในปัจจุบันได้มีผลงานวิจัยด้านคณิตศาสตร์ชั้นสูงสามารถพัฒนาวิธีอินทิเกรตที่เรียกว่า *symplectic integration methods* [Mikkola *et al.*, 2000] ที่มีความรวดเร็วและถูกต้องสูงด้วย อย่างไรก็ตามการใช้วิธีอินทิเกรต ทำให้ไม่สามารถเห็นภาพ และรวมไปถึงการอธิบายพฤติกรรมพลวัตของวงโคจรดาวเทียมในเชิงการวิเคราะห์ได้ ทำให้วิธีอินทิเกรตเหมาะสำหรับการหาค่าตอบเชิงตัวเลข

สำหรับแนวทางที่สองเป็นการพิจารณาสมการคำตอบเชิงวิเคราะห์ (*analytic solutions*) ของวงโคจรดาวเทียมที่รวมผลของการรบกวน (เกิดจากความไม่กลมของโลก ฝุ่นอวกาศ และอื่นๆ) พร้อมกับการพิจารณาออกแบบตัวประมาณวงโคจร (*orbit estimator*) ในลักษณะเชิงวิเคราะห์ ซึ่งไม่ต้องการตัวอินทิเกรตเชิงตัวเลข (*numerical integrator*) ด้วยแนวทางที่สองนี้ วงโคจรดาวเทียมสามารถอธิบายในเชิงกายภาพได้ด้วยชุดตัวแปรที่เรียกว่า *orbital elements* ถึงแม้ว่าแนวทางที่สองนี้ได้มีการทำวิจัยกันอย่างกว้างขวางตั้งแต่ยุคปลายของปี 1950 ต่อเนื่องถึงยุคปี 1960 [King-Hele, 1992] อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นสำหรับวงโคจรทั่วไป ทำให้สมการคำตอบที่ได้จะมีความยาวและซับซ้อน

ในส่วนของคุณสมบัติสัญญาณจีพีเอสที่จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลดิบสำหรับการประมาณตำแหน่งวงโคจร โดยทั่วไปแล้วจะใช้ข้อมูลจากสัญญาณรหัส หรือ ที่เรียกว่า ระยะเวลาเสมือน (*pseudo range*) ซึ่งมีความผิดพลาดของตัวข้อมูลเองในระดับ 10 เมตร สำหรับงานด้านอวกาศ และเมื่อพิจารณาผลของการวางตัวทางเรขาคณิตของกลุ่มดาวเทียมจีพีเอสที่ถูกเลือก (*DOP: Dilution of Precision*) ส่งผลให้ความผิดพลาดของตำแหน่งสูงขึ้น 2 ถึง 3 เท่า [Kaplan, 1996] ทำให้มีแนวความคิดที่จะใช้ข้อมูลเฟสและเฟสที่แตกต่างของสัญญาณพาห์มาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งมีความถูกต้องของข้อมูลดีกว่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาเสมือน อย่างไรก็ตามการนำข้อมูลเฟสและเฟสที่แตกต่างของสัญญาณพาห์มาประยุกต์ใช้งานนั้น มีปัญหาที่สำคัญที่จะต้องแก้ไข นั่นก็คือจำนวนลูกคลื่นของสัญญาณพาห์ที่ไม่ทราบ (*integer*

ambiguity problem) เนื่องจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสตรวจวัดได้เฉพาะส่วนที่เป็นเศษของข้อมูลเฟสเท่านั้น [Purivigraipong, 2000]

นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ การหาค่าเริ่มต้นสำหรับตัวประมาณค่า ไม่ว่าจะใช้ตัวกรองประมาณค่าแบบใด จำเป็นที่จะต้องหาค่าเริ่มต้นให้กับตัวประมาณค่าเหล่านั้นๆ โดยค่าเริ่มต้นดังกล่าวมีนัยสำคัญ ถ้าค่าเริ่มต้นมีค่าที่ไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง จะส่งผลให้การประมาณค่าผิดไปจากค่าที่ควรจะเป็น และเมื่อเวลาผ่านไป ผลของการสะสมในขบวนการประมาณค่าของตัวประมาณค่าเอง จะส่งผลให้แนวโน้มของค่าที่ประมาณได้ลู่ออกจากค่าที่ถูกต้องไปเรื่อยๆ จนไม่สามารถนำผลลัพธ์มาใช้วิเคราะห์หรือแสดงถึงวงโคจรได้เลย [Purivigraipong, 2000]

๑.๑.๑ ความสำคัญของงานวิจัยด้านวงโคจร

เนื่องจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ซึ่งสะดวกต่อการพัฒนาวิธีคำนวณวงโคจรเชิงตัวเลข ทำให้งานวิจัยตามแนวทางเชิงวิเคราะห์เริ่มลดลงในช่วงเวลาต่อมาจนถึงต้นยุคปี 1990 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มในการพัฒนาโครงการดาวเทียมที่จะมีขึ้นในอนาคต จะพบว่าโครงการดาวเทียมที่ประกอบดาวเทียมหลายดวงทำงานเป็นแบบกลุ่มดาวเทียม อาทิ เช่น Teledesic หรือ Galileo หรือ DMC (disaster monitoring constellation) หรือโครงการดาวเทียม formation flying สำหรับงานทดลองทางวิทยาศาสตร์ การออกแบบระบบจำเป็นจะต้องทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของ วงโคจรสำหรับช่วงระยะเวลาต่างๆ ว่าการรบกวนที่เกิดจากความไม่กลมของโลก และ ปัจจัยอื่นๆจะส่งผลกระทบต่อวงโคจรของทั้งระบบ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อความเข้าใจที่จะใช้ในการคาดคะเนผลที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการประเมินผลของการออกแบบการทำงานของระบบเอง โดยในการวิเคราะห์พฤติกรรมของวงโคจรของทั้งระบบนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้แนวทางสมการเชิงวิเคราะห์ (แนวทางที่สอง) มาอธิบายเพื่อให้เห็นภาพของการเคลื่อนที่ของวงโคจรจากผลการรบกวนที่จะเกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปได้อย่างถูกต้อง ผลต่อเนื่องจากการวิเคราะห์และความเข้าใจในพฤติกรรมของวงโคจร จะนำไปสู่การออกแบบอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมการทำงานของดาวเทียมแต่ละดวงและของทั้งระบบที่เป็นกลุ่มดาวเทียม จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นทำให้แนวโน้มงานวิจัยด้านเชิงวิเคราะห์ได้เริ่มกลับมามีบทบาทสำคัญในแวดวงงานวิจัยด้านวงโคจรอีกครั้งหนึ่ง [Koenigsmann *et al.*, 1996] [Hashida and Palmer, 2001] [Hashida and Palmer, 2002]

เนื่องจากดาวเทียมที่มีใช้งานในประเทศไทย ไม่ว่าจะจะเป็นดาวเทียมสื่อสารที่โคจรอยู่ในวงโคจรค้างฟ้า (geo-stationary orbit) รอบเส้นศูนย์สูตร หรือดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติและที่โคจร

ผ่านขั้วโลกเหนือใต้ (polar orbit) ลักษณะวงโคจรจะเป็นแบบวงกลมหรือแบบใกล้เคียงวงกลม ซึ่งเป็นเหตุผลทางด้านความเหมาะสมในการปฏิบัติงาน ทั้งๆที่ในเชิงการวิเคราะห์ทางด้านวงโคจรแล้ว วงโคจรแบบวงกลมหรือแบบใกล้เคียงวงกลมจะมีภาวะเอกฐาน (singularity) ในการการแปลงระหว่างระบบพิกัดตำแหน่ง อาทิเช่น การการแปลงเวกเตอร์ตำแหน่ง และเวกเตอร์ความเร็วไปเป็นชุดตัวแปรของวงโคจร ทำให้ต้องมีการกำหนดระบบพิกัดตำแหน่งที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งวิจัยสำหรับวงโคจรแบบวงกลมหรือแบบใกล้เคียงวงกลมเท่านั้น เพื่อให้มีความเหมาะสมกับความ เป็นจริงที่สามารถนำไปใช้งานสำหรับดาวเทียมของประเทศได้

การนำสัญญาณข้อมูลจีพีเอสมาเป็นข้อมูลดิบสำหรับการประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วของวงโคจรดาวเทียมเป็นจุดที่มีความสำคัญที่ทำให้สามารถทำการคำนวณหาตำแหน่งของดาวเทียมแบบ อัตโนมัติได้ ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญในการต่อยอดงานวิจัยเพื่อจะมุ่งไปสู่งานวิจัยด้านการปฏิบัติการแบบ อัตโนมัติโดยตัวดาวเทียมเอง นอกจากความสำคัญในด้านงานวิจัยแล้วดังที่กล่าวอ้างในข้างต้นแล้ว การพัฒนาบุคลากรก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ควรคำนึงถึง โดยเฉพาะการขาดแคลนบุคลากรด้านวิศวกรรม ดาวเทียม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานวิจัยทางด้านนี้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

๑.๑.๒ ปัญหาที่ทำการวิจัย และความสำคัญของปัญหา

| ปัญหาที่ทำการวิจัย | ความสำคัญของปัญหา |
|--|---|
| <p>◇ แบบจำลองเชิงวิเคราะห์สำหรับวงโคจรดาวเทียมโลกต่ำที่รวมผลการรบกวนที่เกิดจากความไม่กลมของโลกและฝุ่นอวกาศ</p> | <p>◇ แบบจำลองเชิงวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียมโดยไม่ต้องใช้การอินทิเกรตเชิงตัวเลข ทำให้ตัวประมาณวงโคจรที่พัฒนาขึ้นมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานในการทำงานและควบคุมดาวเทียมลดลงด้วย</p> <p>◇ แบบจำลองเชิงวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมเคลื่อนที่ของวงโคจรจากผลการรบกวนที่จะเกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปได้อย่างถูกต้อง ผลต่อเนื่องจากการวิเคราะห์และความเข้าใจในพฤติกรรมของวงโคจร จะนำไปสู่การออกแบบอัลกอริทึมที่เหมาะสม</p> |

| | |
|---|--|
| | สมสำหรับการควบคุมการทำงานของดาวเทียมแต่ละดวงและของทั้งระบบที่เป็นกลุ่มดาวเทียม |
| <p>◇ การนำสัญญาณจีพีเอสมาใช้เป็นข้อมูลการวัด โดยสัญญาณข้อมูลรหัสจะถูกใช้สำหรับการประมาณค่าเริ่มต้นของตำแหน่งวงโคจร ในขณะที่สัญญาณคลื่นพาห้จะถูกนำมาเป็นข้อมูลการวัดของตัวกรองประมาณค่าวงโคจร แต่ต้องมีการคำนวณหาจำนวนเต็มลูกคลื่นของสัญญาณคลื่นพาห้ดังกล่าวเสียก่อน</p> | <p>◇ ความสำคัญของการใช้สัญญาณจีพีเอสก็คือ ดาวเทียมสามารถรับสัญญาณจีพีเอสได้ตลอดเวลา ทำให้สามารถคำนวณหาตำแหน่งของตัวดาวเทียมเองได้ตลอดวงโคจรซึ่งสามารถเชื่อมโยงไปสู่การคำนวณตำแหน่งวงโคจรและการควบคุมวงโคจรดาวเทียมแบบอัตโนมัติได้</p> <p>◇ การแก้ปัญหาการคำนวณหาจำนวนเต็มลูกคลื่นของสัญญาณคลื่นพาห้จะทำให้สามารถนำสัญญาณคลื่นพาห้มาเป็นข้อมูลการวัดได้ โดยจะส่งผลให้ตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมมีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้สัญญาณข้อมูลรหัสเป็นข้อมูลการวัด</p> |
| <p>◇ ความมั่นคงของและเสถียรภาพของตัวกรองประมาณค่า</p> | <p>ในกรณีที่ข้อมูลการวัดเป็นข้อมูลที่แย่ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในลักษณะหนึ่งครั้งหรือแบบหลายครั้งในหนึ่งช่วงเวลาของการวัด ทำให้ผลจากการคำนวณของตัวกรองประมาณค่าในตั้งแต่ช่วงเวลาดังกล่าว มีการสะสมความผิดพลาดต่อเนื่องไป และส่งผลให้การคำนวณของตัวกรองประมาณค่าลู่ออกจากค่าที่ถูกต้อง ทำให้การประมวลผลสำหรับการคำนวณตำแหน่งวงโคจรแบบอัตโนมัติไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ</p> |

๑.๒ เป้าหมายของงานวิจัย

๑. วิจัย วิเคราะห์ คิดค้น และ สร้างแบบจำลองระบบเชิงวิเคราะห์ สำหรับวงโคจรของดาวเทียมที่โคจรอยู่ในวงโคจรโลกต่ำ โดยรวมผลของการรบกวนที่เกิดจากความไม่กลมของโลก และ ผุ่นอวกาศ

๒. วิจัยและวิเคราะห์ อัลกอริทึมที่เหมาะสม สำหรับการประมาณค่า ที่มีโครงสร้างที่ลดความซับซ้อนในการคำนวณ (computational complexity) รวมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจมีต่อการลู่เข้าของการประมาณค่า โดยอาศัยองค์ความรู้ทางด้านการประมาณค่าและการประมวลผล
๓. ออกแบบและพัฒนาตัวกรองประมาณค่า สำหรับประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลการวัดสัญญาณเฟสจีพีเอสเป็นข้อมูลดิบสำหรับการประมวลผล
๔. วิจัย ออกแบบ และ พัฒนาโครงสร้างของระบบจำลองข้อมูลจีพีเอส รวมไปถึงการจำลองความผิดพลาดของข้อมูลจีพีเอส
๕. พิสูจน์ประสิทธิภาพ ความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลองระบบและตัวกรองประมาณค่าที่ได้พัฒนาขึ้น โดยระบบจะถูกทดสอบด้วยข้อมูลจำลองการวัด และข้อมูลจริงที่ได้จากการวัดบนดาวเทียม
๖. ส่งเสริมการวิจัยในด้านวงโคจรดาวเทียม การประมาณค่า และ การประยุกต์ใช้ข้อมูลจีพีเอสกับงานวิจัยด้านอวกาศควบคู่ไปพร้อมๆ กัน โดยอาศัยโจทย์วิจัยที่สามารถนำไปพัฒนาใช้ในเชิงปฏิบัติงานจริง
๗. กระตุ้นให้อาจารย์และนักวิจัยในสาขาวิศวกรรมดาวเทียม มีความตื่นตัวและมีการพัฒนาขีดความสามารถในงานวิจัยเชิงวิเคราะห์และการประมาณค่ามากขึ้น อันจะส่งผลให้สามารถสร้างทีมงานวิจัยภายในประเทศที่มีรากฐานองค์ความรู้พื้นฐานที่แข็งแกร่งและมีศักยภาพในการทำวิจัยทัดเทียมกับนักวิจัยในต่างประเทศ

๑.๓ องค์ความรู้ใหม่และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการวิจัย

อาจจะมีคำถามถึงองค์ความรู้ใหม่ที่จะได้จากงานวิจัยนี้ ถ้ามีการเปรียบเทียบกับชุดโปรแกรมสำเร็จรูป อาทิเช่น STK (Satellite Tool Kit) หรือ SNT (Satellite Navigation Toolbox) ประเด็นที่ทีมวิจัยใคร่จะชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่ได้ประสบในการใช้งานชุดโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าว ก็คือรายละเอียดในเชิงลึกของแบบจำลองหรืออัลกอริทึมที่ชุดโปรแกรมห้างนำมาใช้งานไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการประเมินและวิเคราะห์ผลของงานวิจัย นอกจากนี้การแก้ไขในส่วนที่เป็นแบบจำลองระบบของชุดโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าวโดยผู้ใช้ไม่สามารถกระทำได้ง่าย อีกทั้งการพัฒนาอัลกอริทึมโดยผู้ใช้นชุดโปรแกรมห้างจะมีความไม่คล่องตัวในการประมวลผล ทำให้การประมวลผลโดยรวมมีความช้าเมื่อเทียบกับผลที่มีการพัฒนาบนโปรแกรมภาษา C สิ่งเดียวที่ชุดโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าวให้ความสะดวกต่อผู้ใช้เป็นรูปธรรมมากที่สุดก็คือ GUI (graphic user interface) โดยเป็นที่ทราบกันในหมู่นักวิจัยว่าชุดโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับ

การทดสอบระบบพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อน โดยส่วนใหญ่นักวิจัยจะใช้สำหรับการทดสอบแนวทางเริ่มต้นเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของงานวิจัย นอกจากนี้ยังเป็นไปไม่ได้ที่จะนำชุดโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าวไปปฏิบัติการจริงบนดาวเทียม

ในขณะที่โครงการวิจัยนี้ จะนำเสนอการศึกษาวิจัยทั้งในระดับระบบ (system level) และระดับขั้นตอนวิธี (algorithm level) โดยอาศัยองค์ความรู้ในเชิงลึกทั้งทางด้านวงโคจรดาวเทียม การรบกวนวงโคจร ข้อมูลสัญญาณจีพีเอส และการประมาณค่า

ในส่วนของด้านวงโคจร การศึกษาวิจัยจะนำเสนอแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ที่ใช้อธิบายพลวัตของวงโคจรดาวเทียมโลกต่ำที่มีลักษณะของวงโคจรเป็นแบบใกล้เคียงวงกลม (near circular orbit) โดยรวมผลการรบกวนเนื่องจากความไม่กลมของโลก (Earth's oblateness) และฝุ่นอวกาศ (air drag) เอาไว้ด้วย

ในส่วนของการนำข้อมูลเฟสและเฟสแตกต่างของสัญญาณจีพีเอสมาใช้เป็นข้อมูลดิบสำหรับการประมาณค่า การศึกษาวิจัยจะนำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการคำนวณหาจำนวนลูกคลื่นสัญญาณพาท์ (integer ambiguity resolution)

ในส่วนของการประมาณค่า การศึกษาวิจัยจะนำเสนอการวิจัยและพัฒนาตัวกรองประมาณค่า (orbit-filtering estimator) โดยอาศัยพื้นฐานของกระบวนการสโตแคสติก (stochastic process) รวมไปถึงขั้นตอนวิธีการคำนวณค่าเริ่มต้น (initialisation algorithm) สำหรับตัวกรองประมาณค่า

การวิจัยและพัฒนาทั้งในระดับระบบและระดับขั้นตอนวิธีตามที่นำเสนอในโครงการนี้จะส่งผลให้เกิดความเข้าใจและความก้าวหน้าในองค์ความรู้ที่ใช้ในงานวิจัยไม่ว่าจะเป็นในเรื่องพลวัตของวงโคจรดาวเทียม ผลกระทบจากการรบกวนวงโคจร รวมไปถึงการเชื่อมโยงกับการประมาณค่าตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลจากสัญญาณวิทยุของดาวเทียมจีพีเอส และท้ายที่สุด ผลจากงานวิจัยจะมีบทบาทสำคัญที่จะรองรับโครงการดาวเทียมของประเทศ ในด้านการนำร่องแบบอัตโนมัติ (autonomous navigation)

๑.๔ แนวทางการวิจัย

๑.๔.๑ แนวทางการวิจัยสร้างแบบจำลองเชิงวิเคราะห์

คิดค้นเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงวิเคราะห์สำหรับวงโคจรดาวเทียมโลกต่ำ โดยทำการวิเคราะห์ในเชิงลึกของแบบจำลองที่นำเสนอโดย Brouwer และ Kozai พร้อมกับรวมผลของ geopotential ไม่ว่า

จะเป็นเทอมของ zonal / tesseral / sectorial harmonics นอกจากนี้ แบบจำลองที่จะสร้างขึ้น จะต้องรวมผลของการรบกวนที่เกิดจากฝุ่นอวกาศ โดยที่แนวทางในการสร้างแบบจำลองในส่วนดังกล่าว จะเป็นการวิเคราะห์ในเชิงลึกที่นำเสนอโดย Brouwer และ King-Hele

๑.๔.๒ แนวทางการวิจัยการคำนวณหาจำนวนลูกคลื่นสัญญาณพาห้จีพีเอส

แนวทางการวิจัย จะใช้เทคนิคการสืบค้นหาจำนวนลูกคลื่น (ambiguity search) แนวทางใหม่ที่ใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Gram-Schmidt Orthonormalisation (GSO) เพื่อทำการลดปริมาณการสืบค้นหาให้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว นอกจากนี้ข้อมูลการวัด จะถูกทำการจัดสัญญาณผิดพลาดร่วมโดยการทำ double phase difference เมื่อจำนวนลูกคลื่นถูกคำนวณหาได้แล้ว ข้อมูลการวัดที่เป็นแบบ single phase difference จะถูกป้อนให้ตัวประมาณค่า

๑.๔.๓ แนวทางการวิจัยการประมาณค่า และการหาค่าเริ่มต้น

การประมาณค่าวงโคจรดาวเทียมจะใช้ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filtering) ที่แบบจำลองของระบบจะรวมผลความไม่กลมของโลก และ ฝุ่นอวกาศ โดยที่ตัวกรองประมาณค่าที่สร้างขึ้นจะต้องมีส่วนตรวจสอบการทำงานให้เสถียรภาพและทำงานได้อย่างถูกต้อง แม้ว่าข้อมูลการวัดของดาวเทียมจะถูกรบกวนด้วยความผิดปกติที่เกิดขึ้นในการเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำที่เรียกว่า event upset ทั้งในกรณีที่เกิดขึ้นหนึ่งครั้งหรือแบบจำนวนหลายครั้ง สำหรับค่าเริ่มต้นของตัวกรองประมาณค่าจะใช้วิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้ข้อมูลรหัสของสัญญาณจีพีเอสเป็นข้อมูลการวัด