

Received: 19 ก.พ. 2568

Revised: 24 เม.ย. 2568

Accepted: 28 เม.ย. 2568

ระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์

Auto-marking of Celestial Target System based on Image-based
Astrometry Engineeringชนันณภัสร์ โฆษิตศิริยุทธกุล¹, รุ่งฤทัย อนุดรวิรามกุล³, พยุงศักดิ์ เกษมสำราญ¹,
ปวีณ เชื้อนแก้ว¹, สมชาย อารยพิทยา² และ ภาณุวัฒน์ เมฆะ^{1*}¹สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290 ประเทศไทย²กองเทคโนโลยีดิจิทัล สำนักงานมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290 ประเทศไทย³ห้องปฏิบัติการหอดูดาว สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) 50180 ประเทศไทยChanannaphat Kosithrantrakul¹, Rungrit Anutarawiramkul³, Payungsak Kasemsumran¹,
Paween Khoenkaw¹, Somchai Arayapitaya² and Panuwat Mekha^{1*}¹Department of Computer Science, Faculty of Science, Maejo University, 50290 Thailand²Technology Digital Division, Office of University, Maejo University, 50290 Thailand³Observatory Laboratory, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization), 50180, Thailand

*Corresponding author: panuwat_m@mju.ac.th

Abstract

The process of celestial object positioning is complex and time-consuming. Astronomers must choose objects of interest (asteroids or comets) and calculate precise orbital elements including eccentricity, inclination, longitude of ascending node, argument of perihelion, semi-major axis, and mean anomaly. These parameters are converted into right ascension and declination coordinates to determine exact positions, then recorded in FITS files. To streamline this process, a web application for automatic celestial object positioning has been developed. Users can upload FITS files to identify celestial objects,

with the system generating annotated images showing object positions and relevant details. The system allows for easy downloading of FITS files and JPEG images for further analysis. Notably, it achieves an error rate below 0.0001% when compared to JPL Horizons, NASA's solar system data service.

Keywords : *Celestial Object; 6 Orbital Elements; FITS file; Horizons*

บทคัดย่อ

การระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน โดยนักดาราศาสตร์ต้องเลือกวัตถุท้องฟ้าที่สนใจ เช่น ดาวเคราะห์น้อยหรือดาวหาง การคำนวณต้องการความแม่นยำสูง ต้องกำหนดเวลา, วัน, เดือน, ปีและห้วงอวกาศประกอบของวงโคจร 6 ตำแหน่ง ได้แก่ ความเยื้องศูนย์กลาง ความเยื้อง ลองจิจูดของจุดโหนดขึ้น มุมของจุดใกล้ที่สุด ระยะกึ่งแกนเอก และมุมกวาดเฉลี่ย ข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาคำนวณเป็นพิกัดเส้นไรต์แอสเซนชันและเดคลิเนชันเพื่อระบุตำแหน่งที่แน่นอนของวัตถุ จากนั้นบันทึกในไฟล์มาตรฐานไฟล์ฟิต นักดาราศาสตร์นำข้อมูลมารวมกันเพื่อสร้างข้อมูลต่อเนื่องและซ้อนชุดข้อมูลหลายชุดเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง กระบวนการนี้ใช้เวลานานเนื่องจากต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ มากมาย ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้ระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติช่วยให้ผู้ใช้สามารถระบุชื่อและพิกัดของวัตถุท้องฟ้าที่สนใจได้ เมื่ออัปโหลดไฟล์ฟิตระบบจะคำนวณและแสดงรูปภาพที่มีการวงกลมตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า พร้อมระบุรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดไฟล์ฟิตและรูปภาพเจแป็คเพื่อนำไปใช้งานต่อได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งระบบนี้มีประสิทธิภาพค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.0001% เมื่อเปรียบเทียบกับฮอไรซันส์ของเจพีแอล ซึ่งเป็นหน่วยงานของนาซ่า

คำสำคัญ : *วัตถุท้องฟ้า; องค์ประกอบวงโคจร 6 ตำแหน่ง; ไฟล์ฟิต; ฮอไรซันส์*

1. บทนำ

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) National Astronomical Research Institute of Thailand : NARIT เป็นหน่วยงานของรัฐบาลไทยประเภทองค์การมหาชน สังกัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เป็นหน่วยงานหลักด้านการพัฒนาเทคโนโลยีดาราศาสตร์ของประเทศ ซึ่งปัจจุบันสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) ทางผู้จัดทำได้รับความต้องการของผู้ใช้ (User Requirements) ให้ช่วยสร้างระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า เช่นดาวเคราะห์น้อยและดาวหาง เนื่องจากการติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ เป็นส่วนหนึ่งของภารกิจของสถาบันฯ โดยนักดาราศาสตร์ต้องอาศัยการนำไฟล์มารวมกันเพื่อเกิดไฟล์แบบ Timelapse คือเทคนิคการถ่ายภาพหรือวิดีโอที่ถ่ายภาพนิ่งหลาย ๆ ภาพในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ แล้วนำภาพเหล่านั้นมาเรียงต่อกันเป็นวิดีโอ โดยจะเล่นวิดีโอด้วยความเร็วที่เร็วกว่าความเร็วปกติที่ถ่ายไว้ ผลลัพธ์ที่ได้คือการเห็นการเปลี่ยนแปลงของเวลาในช่วงที่เราถ่ายภาพอย่างรวดเร็ว และรวมไปถึงการซ้อนชุดของข้อมูล (Stacking) คือเทคนิคการนำแบบจำลองหลายๆ แบบมารวมกันเพื่อสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุอวกาศนั้น ใช้เวลานาน ยากต่อการค้นหา และใช้พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก กว่าที่จะติดตามการเคลื่อนที่ได้ในส่วนนี้ได้เพราะหากไม่ได้รับการพัฒนาหรือแก้ไข อาจส่งผลต่อการทำงานที่ซ้ำของนักดาราศาสตร์ที่กำลังทำโครงการเฝ้าระวังวัตถุอวกาศทำให้สูญเสียโอกาสในการสังเกตการณ์เหตุการณ์สำคัญ เช่น การค้นพบดาวเคราะห์ใหม่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนภาพถ่ายโดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์ เพื่อระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาจากภาษาไพทอน (Python) และใช้ฐานข้อมูลของบริการโลเวลล์ไมเนอร์แพลนเน็ต (Lowell Minor Planet Services) สำหรับช่วยนักดาราศาสตร์ระบุตำแหน่งวัตถุบนท้องฟ้าได้อย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์และเพื่อพัฒนาเทคนิคในการติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุอวกาศ

2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนากระบวนการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์ เพื่อให้สามารถระบุพิกัดของวัตถุท้องฟ้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยอ้างอิงกับฐานข้อมูลทางดาราศาสตร์ นอกจากนี้ยังมีเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพของการประมวลผลภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ ลดข้อผิดพลาดในการตรวจจับ และเพิ่มความเร็วในการคำนวณเพื่อรองรับการใช้งานจริงในงานวิจัยและการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการวิจัยและพัฒนากระบวนการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์ จึงได้มีการนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำระบบเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย ดังนี้

Bendjoya et al. (1993) ได้ศึกษาวิธีการระบุกลุ่มของดาวเคราะห์น้อยโดยอาศัยข้อมูลการเคลื่อนที่และคุณสมบัติของวงโคจร งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบสองวิธีหลักในการจัดกลุ่มดาวเคราะห์น้อย และทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของแต่ละวิธี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการบางอย่างสามารถให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีอื่น งานวิจัยนี้ถือเป็นพื้นฐานสำคัญของการศึกษาการก่อตัวและการเคลื่อนที่ของกลุ่มดาวเคราะห์น้อย

Brown et al. (2019) ได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางดาราศาสตร์โดยใช้ API จาก Gaia Data Release (DR3) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบพิกัดของดาวฤกษ์และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการสังเกตการณ์ภาคสนาม

Carruba et al. (2019) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Machine Learning เพื่อทำการจำแนกกลุ่มดาวเคราะห์น้อย โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติของวงโคจรและพลวัตของวัตถุในระบบสุริยะ ผลการศึกษพบว่าอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องสามารถจำแนกกลุ่มดาวเคราะห์น้อยได้อย่างแม่นยำกว่าวิธีดั้งเดิม ซึ่งอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลทางคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ AI ในการวิเคราะห์และจำแนกวัตถุในอวกาศ

Domingos et al. (2025) ได้ทำการศึกษาการใช้ Machine Learning ในการระบุสมาชิกของกลุ่มดาวเคราะห์น้อย โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์น้อยจำนวนมาก ผลลัพธ์

แสดงให้เห็นว่า AI สามารถช่วยระบุสมาชิกของกลุ่มดาวเคราะห์น้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้นักดาราศาสตร์สามารถวิเคราะห์พลศาสตร์ของระบบสุริยะได้แม่นยำขึ้น

Jo et al. (2011) ได้เปรียบเทียบวิธีการแทนค่าพิกัดวงโคจรของดาวเคราะห์ระหว่าง Keplerian Elements, Equinoctial Elements และ Cartesian State Variables ภายใต้ผลกระทบของ J_2 perturbation งานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับพลศาสตร์ของดาวเคราะห์และการคำนวณวงโคจรที่แม่นยำ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในระบบสุริยะ

Jones & Patel (2020) ได้นำเสนอการใช้ Deep Learning ในการจำแนกประเภทของวัตถุท้องฟ้าบนภาพถ่าย โดยใช้ข้อมูลจาก Sloan Digital Sky Survey (SDSS) ผลการทดลองพบว่าโมเดล CNN สามารถจำแนกประเภทของกาแล็กซีและดาวเคราะห์น้อยได้แม่นยำถึง 95%

Kovalevsky และ Seidelmann (2011) ได้เขียนหนังสือ Fundamentals of Astrometry ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับเทคนิคการวัดตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า หนังสือเล่มนี้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับหลักการทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ที่ใช้ในวิชาดาราศาสตร์ รวมถึงแนวทางในการคำนวณตำแหน่งของดาวเคราะห์และดาวฤกษ์

Kruk et al. (2022) ได้นำเสนอโปรเจกต์ Hubble Asteroid Hunter ซึ่งใช้ข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลในการระบุเส้นทางของดาวเคราะห์น้อย งานวิจัยนี้ใช้เทคนิค Machine Learning ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องโทรทรรศน์ เพื่อช่วยในการติดตามดาวเคราะห์น้อยที่อาจเป็นอันตรายต่อโลก หรือดาวเคราะห์น้อยที่ยังไม่ได้รับการค้นพบมาก่อน

Mekha และ Osathanunkul (2020) ได้นำเสนอระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยใช้ฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลสำคัญ ระบบดังกล่าวช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและอัปเดตข้อมูลได้ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ รองรับการแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีข้อมูลสำคัญเปลี่ยนแปลง และมีฟังก์ชันแสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย

Neuhäuser et al. (2021) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณวงโคจรของดาวหางจากข้อมูลทางประวัติศาสตร์ โดยใช้ 1P/Halley เป็นกรณีศึกษา งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ข้อมูลการสังเกตในอดีตมาทำนายการเคลื่อนที่ของดาวหางได้ แม้ว่าอาจมีข้อจำกัดจากข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์

Oosterwinter และ Cohen (1972) ได้นำเสนอค่าพารามิเตอร์วงโคจรใหม่ของดวงจันทร์และดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ งานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในแหล่งข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในระบบสุริยะ และถูกนำไปใช้ในงานวิจัยด้านดาราศาสตร์เป็นเวลาหลายทศวรรษ

Rhodes (2011) ได้พัฒนา PyEphem ซึ่งเป็นไลบรารี Python สำหรับคำนวณตำแหน่งทางดาราศาสตร์ของวัตถุในท้องฟ้า ไลบรารีนี้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านดาราศาสตร์ เนื่องจากสามารถใช้คำนวณตำแหน่งของดาวเคราะห์ ดวงจันทร์ และดาวฤกษ์ได้อย่างแม่นยำ

Robitaille et al. (2013) ได้พัฒนา Astropy ซึ่งเป็นแพ็คเกจ Python สำหรับงานด้านดาราศาสตร์ โดยรวบรวมเครื่องมือที่ช่วยในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลดาราศาสตร์ เช่น การแปลงพิกัด การจัดการเวลา และการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัม

Smith et al. (2021) ได้เสนอวิธีการใช้เทคนิค Astrometric Calibration เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุพิกัดวัตถุท้องฟ้าจากภาพ CCD โดยการใช้ดาวอ้างอิง (Reference Stars) ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการบิดเบือนของเลนส์

Solontoi et al. (2010) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับดาวหางที่มีการเคลื่อนไหวผิดปกติใน Sloan Digital Sky Survey (SDSS) งานวิจัยนี้ช่วยในการจำแนกดาวหางที่อาจยังไม่ถูกค้นพบ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพและการเปลี่ยนแปลงของแสงในช่วงเวลาต่างๆ

4. วิธีการดำเนินการ

การศึกษาและพัฒนาระบบตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์ เป็นกระบวนการที่มีหลายขั้นตอน ดังนี้

4.1 การเก็บข้อมูลและเตรียมภาพถ่ายดาราศาสตร์

4.1.1 ใช้กล้องโทรทรรศน์ที่ติดตั้ง CCD บันทึกภาพท้องฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ

4.1.2 คัดเลือกภาพที่มีคุณภาพสูง และมีแหล่งอ้างอิงพิกัดของวัตถุท้องฟ้าที่ถูกต้องเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบ

4.1.3 ทำการจัดเก็บและจัดระเบียบข้อมูลภาพเพื่อให้่ายต่อการนำไปประมวลผล

4.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

4.2.1 ปรับค่าความสว่างและความคมชัดของภาพเพื่อช่วยให้การตรวจจับวัตถุมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

4.2.2 กำหนดสัญญาณรบกวนโดยใช้เทคนิคการกรองภาพที่เหมาะสม เช่น Z-Scale

4.2.3 แปลงค่าพิกัดพิกเซลในภาพให้ตรงกับพิกัดทางดาราศาสตร์โดยใช้เทคนิค Solving

4.3 การตรวจจับและระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า

4.3.1 ใช้อัลกอริธึมการตรวจจับจุดสว่างในภาพเพื่อระบุพิกัดของวัตถุ

4.3.2 นำพิกัดที่ได้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลดาราศาสตร์ เช่น Gaia หรือ SIMBAD เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการระบุวัตถุ

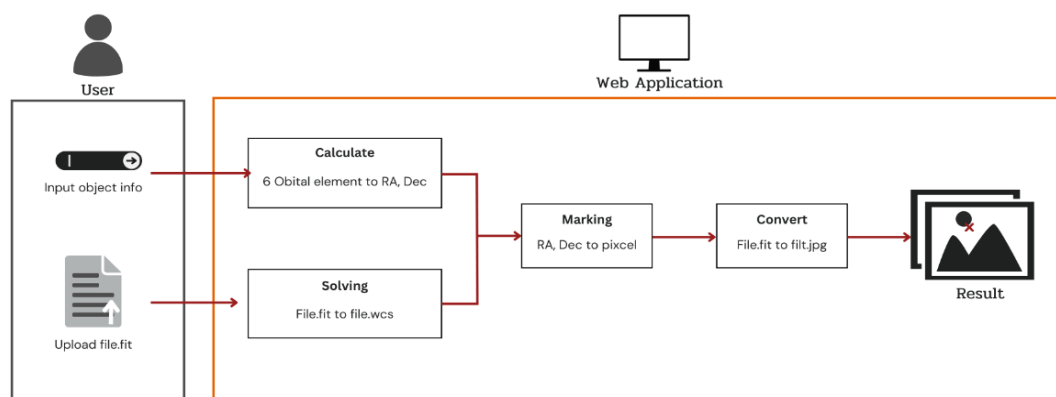
4.3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุที่ตรวจพบ เช่น ความสว่างและขนาดเชิงมุม เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการระบุพิกัด

4.4 การประเมินผลและปรับปรุงระบบ

4.4.1 ตรวจสอบความถูกต้องของพิกัดวัตถุที่ตรวจพบโดยเปรียบเทียบกับค่าจริงจากฐานข้อมูล

4.4.2 คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่ได้ และวิเคราะห์สาเหตุของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

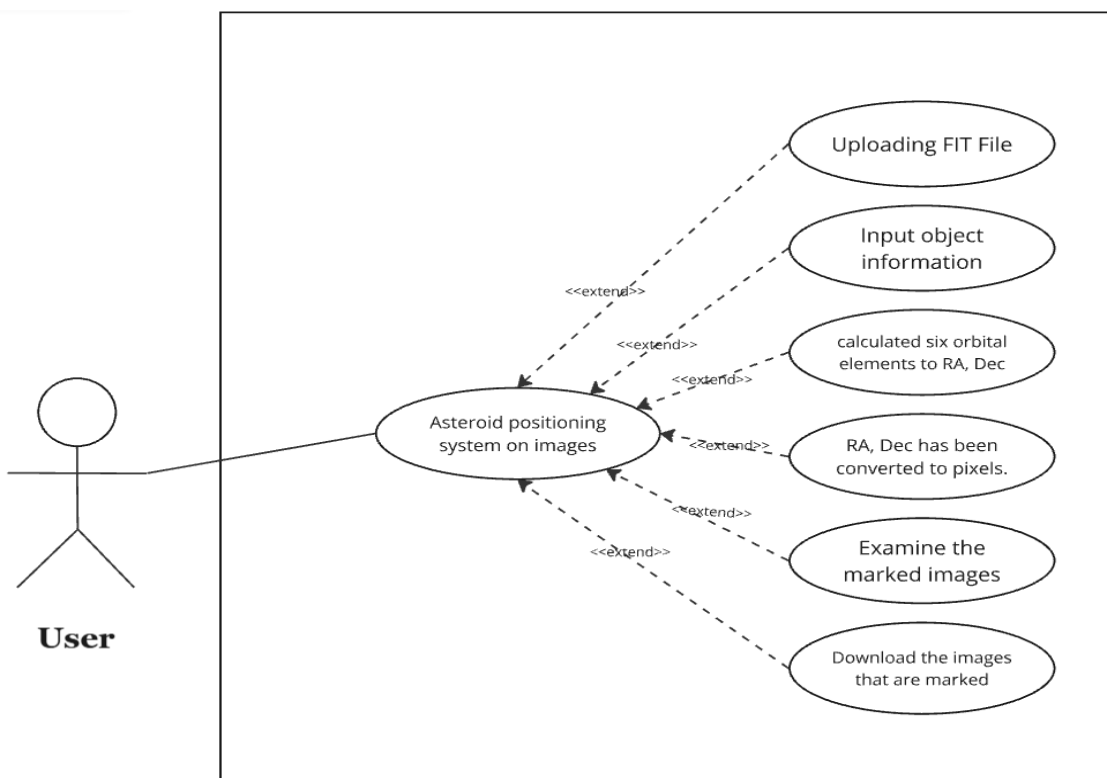
ทางคณะผู้วิจัยได้มีการออกแบบระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์ มีขอบเขตการพัฒนางานวิจัย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 1 แสดงถึงกระบวนการทำงานของระบบตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์ ทำงานโดยอาศัยข้อมูลป้อนเข้าจากผู้ใช้งาน ผู้ใช้ต้องระบุข้อมูลของวัตถุท้องฟ้าที่ต้องการและอัปโหลดไฟล์พิกัด เมื่อระบบได้รับข้อมูลนำเข้าเรียบร้อยแล้ว ระบบจะเริ่มกระบวนการ Solving หาตำแหน่งพิกัดท้องฟ้าในไฟล์ที่ได้ จากนั้นคำนวณตำแหน่ง 6 องค์ประกอบการโคจรวัตถุท้องฟ้าที่ผู้ใช้กรอกเข้ามาในระบบให้เป็นตำแหน่ง Right Ascension (RA) และ Declination (DEC) ซึ่งเป็นระบบพิกัดบนท้องฟ้า หลังจากที่ได้คำนวณพิกัด RA และ DEC แล้ว ระบบจะทำการแปลงพิกัดเหล่านี้เป็นตำแหน่งพิกเซลบนรูปภาพ เพื่อระบุตำแหน่งที่ของวัตถุบนรูปภาพ และจะทำการวงกลมหรือระบุตำแหน่งบนรูปภาพที่ตรงกับพิกัดที่คำนวณได้ จากนั้นจะแสดงรูปภาพผลลัพธ์ที่ได้ โดยผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดรูปภาพที่ได้ระบุตำแหน่งแล้วเพื่อใช้งานต่อไปได้ โดยสามารถดาวน์โหลดในรูปแบบของไฟล์ JPEG หรือ FITS ตามความต้องการ โดยการทำงานหลักๆแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ผู้ใช้งาน (User)



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ใช้งาน

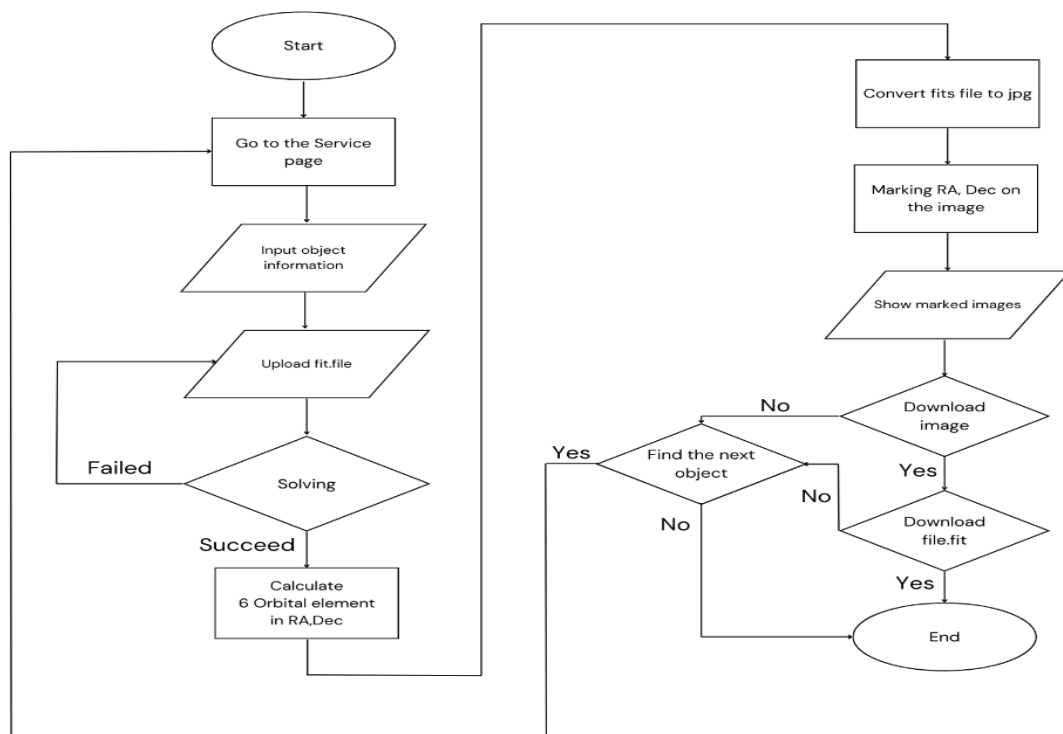
ผู้ใช้งานสามารถใช้งานเว็บแอปพลิเคชันที่ได้รับการออกแบบให้มีความสะดวกต่อการใช้งานและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 2 แสดงในส่วนการทำงานของผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลวัตถุที่สนใจและอัปโหลดไฟล์ FITS เข้าสู่ระบบ จากนั้นระบบจะคำนวณองค์ประกอบวงโคจร 6 ค่าเพื่อนำไปแปลงเป็นพิกัดท้องฟ้า (RA, Dec) และแปลงค่าดังกล่าวเป็นพิกัดพิกเซลในภาพ ระบบจะตรวจสอบตำแหน่งวัตถุและทำเครื่องหมายในภาพให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบได้และก่อนที่ผู้ใช้จะสามารถดาวน์โหลดภาพที่ระบุวัตถุเรียบร้อยแล้ว

2. เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

จากการวิเคราะห์ระบบทางผู้วิจัยได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันโดยอ้างอิงตามผังงานที่กำหนด ซึ่งแสดงกระบวนการทำงานของระบบอย่างเป็นขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

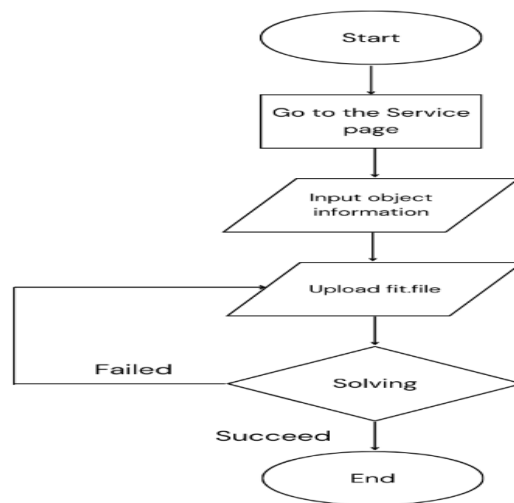
1. ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการทำงานในระบบ



รูปที่ 3 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการทำงานในระบบ

จากรูปที่ 3 แสดงถึงกระบวนการของระบบที่เริ่มต้นจากการที่ผู้ใช้งานเข้าสู่หน้าเว็บบริการ (Service page) เพื่อป้อนข้อมูลวัตถุท้องฟ้าที่ต้องการระบุและอัปโหลดไฟล์ FITS ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นระบบจะเริ่มต้นกระบวนการประมวลผล (Solving) เพื่อตรวจสอบไฟล์และหาตำแหน่งวัตถุ หากการประมวลผลล้มเหลว ระบบจะแจ้งข้อผิดพลาดให้ผู้ใช้งานตรวจสอบข้อมูลใหม่ แต่หากสำเร็จ ระบบจะคำนวณค่า 6 Orbital Elements ในพิกัด RA และ Dec แปลงไฟล์ FITS เป็น JPG และทำเครื่องหมายตำแหน่งวัตถุบนภาพ พร้อมแสดงภาพที่ผ่านการประมวลผลให้ผู้ใช้งานตรวจสอบ ผู้ใช้งานสามารถเลือกดาวน์โหลดภาพ JPG หรือไฟล์ FITS และมีตัวเลือกในการค้นหาวัตถุถัดไป หากเลือกค้นหา ระบบจะวนกลับไปเริ่มต้นกระบวนการใหม่ แต่หากไม่เลือก ระบบจะสิ้นสุดการทำงานในขั้นตอนนี้

2. ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการกรอกข้อมูลวัตถุและอัปโหลดไฟล์ที่ใช้ในการคำนวณ

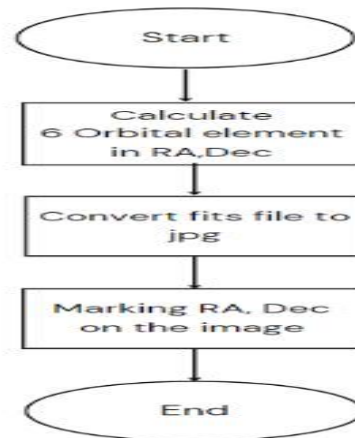


รูปที่ 4 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการกรอกข้อมูลวัตถุและอัปโหลดไฟล์ที่ใช้ในการคำนวณ

จากรูปที่ 4 แสดงถึงกระบวนการเริ่มต้นของระบบ โดยผู้ใช้งานเริ่มต้นจากการเข้าสู่หน้าเว็บบริการ (Service page) เพื่อป้อนข้อมูลวัตถุท้องฟ้าที่ต้องการวิเคราะห์และอัปโหลดไฟล์ FITS หลังจากนั้นระบบจะเริ่มต้นกระบวนการแก้ปัญหา (Solving) เพื่อประมวลผลไฟล์ดังกล่าว หากการประมวลผลไม่

สำเร็จ ระบบจะแจ้งข้อผิดพลาดและให้ผู้ใช้งานกลับไปเริ่มต้นใหม่ แต่หากการประมวลผลสำเร็จ ระบบจะดำเนินการในขั้นตอนถัดไป หรืออาจจบการทำงานในกรณีที่ไม่มีขั้นตอนเพิ่มเติม

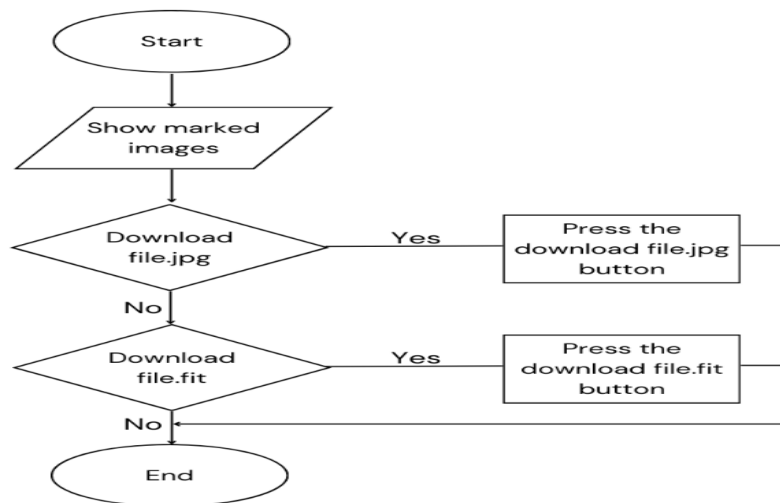
3. ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการคำนวณวัตถุ



รูปที่ 5 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการคำนวณวัตถุ

จากรูปที่ 5 แสดงถึงกระบวนการประมวลผลขั้นถัดไป เมื่อระบบประมวลผลสำเร็จจากชุดแรก ระบบจะเริ่มต้นด้วยการคำนวณค่า 6 Orbital Elements ได้แก่ กึ่งแกนเอก (α) , ความเยื้องศูนย์กลาง (e) , ความเอียงของวงโคจร (i) , มุมลองจิจูดของจุดโหนดขึ้น (Ω) , มุมอาร์กิวเมนต์ของจุดใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด (ω) และมุมอนุมานค่าเฉลี่ย (M) โดยเริ่มจากการแปลงพิกัด RA และ Dec เป็นพิกัดคาร์ทีเซียน (x, y, z) ด้วยสมการต่อไปนี้ $x = r \cos(Dec) \cos(RA)$, $y = r \cos(Dec) \sin(RA)$, $z = r \sin(Dec)$ จากนั้นคำนวณเวกเตอร์ความเร็วโดยใช้ข้อมูลตำแหน่งของวัตถุในเวลาต่างกัน และใช้กฎของเคปเลอร์ในการหาค่าพารามิเตอร์วงโคจร ซึ่งจะนำไปใช้ในการติดตามตำแหน่งของวัตถุในอนาคต ต่อมาระบบจะทำการแปลงไฟล์ FITS เป็นรูปแบบ JPG เพื่อให้สามารถแสดงผลได้สะดวกขึ้น โดยใช้การแมปค่าความเข้มของพิกเซลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากนั้นเพิ่มเครื่องหมายพิกัด RA และ Dec บนภาพเพื่อช่วยระบุตำแหน่งของวัตถุได้อย่างชัดเจน ก่อนที่จะสิ้นสุดกระบวนการด้วยการเตรียมข้อมูลทั้งหมดสำหรับการแสดงผลให้ผู้ใช้งานในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและพร้อมใช้งานต่อไป

4. ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการดาวน์โหลดไฟล์



รูปที่ 6 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการดาวน์โหลดไฟล์

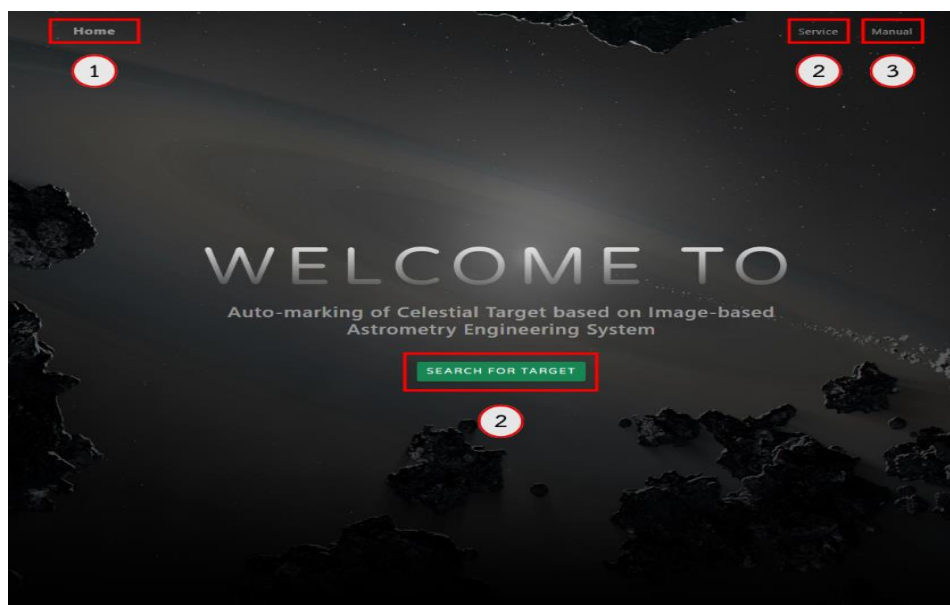
จากรูปที่ 6 แสดงถึงกระบวนการดาวน์โหลดไฟล์ภาพที่ถูกทำเครื่องหมายไว้ โดยเริ่มต้นจากจุด "Start" และดำเนินการแสดงภาพที่ถูกทำเครื่องหมาย (Show marked images) จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบว่าผู้ใช้ต้องการดาวน์โหลดไฟล์ประเภท .jpg หรือไม่ หากต้องการดาวน์โหลด ระบบจะแสดงปุ่มให้กดดาวน์โหลดไฟล์ .jpg แต่หากไม่ต้องการ จะมีการตรวจสอบเพิ่มเติมว่าผู้ใช้ต้องการดาวน์โหลดไฟล์ประเภท .fit หรือไม่ หากต้องการ ระบบจะแสดงปุ่มสำหรับดาวน์โหลดไฟล์ .fit เช่นกัน แต่หากผู้ใช้ไม่เลือกดาวน์โหลดทั้งสองประเภท ระบบจะสิ้นสุดการทำงานที่ "End" โดยโครงสร้างของผังงานนี้ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเลือกดาวน์โหลดไฟล์ตามต้องการ และเป็นกระบวนการที่เป็นลำดับชัดเจนเพื่อลดความซับซ้อนในการดำเนินงาน

จากนั้นทางผู้วิจัยได้มีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันตามผังงานข้างต้น โดยได้ทำการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งมุ่งเน้นการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่เรียบง่าย สะดวก และครอบคลุมฟังก์ชันการทำงานที่จำเป็นทั้งหมดของระบบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตั้งแต่การอัปโหลดภาพถ่ายท้องฟ้า การประมวลผล จนถึงการแสดงผลผลการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาและทดสอบระบบจนสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

5. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองได้ใช้เทคนิคในการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าดังนี้ การจับคู่ดาว (Star Matching) เป็นกระบวนการเปรียบเทียบตำแหน่งของดาวจริงในภาพถ่ายกับฐานข้อมูลดวงดาวที่รู้จัก เพื่อตรวจสอบและระบุพิกัดของวัตถุท้องฟ้า รวมถึงติดตามการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งวัตถุอวกาศเมื่อเวลาผ่านไป วิธีนี้ใช้ในงานดาราศาสตร์เชิงสังเกตการณ์ ระบบนำทางอวกาศ และการแก้ไขความคลาดเคลื่อนของกล้องโทรทรรศน์ โดยอาศัยอัลกอริธึมในการจับคู่รูปแบบของดาวที่ปรากฏในภาพกับแค็ตตาล็อกดาราศาสตร์ที่มีอยู่ นอกจากนี้ การวิเคราะห์พิกัดเชิงดาราศาสตร์ (Astrometric Calibration) เป็นอีกเทคนิคสำคัญที่ช่วยคำนวณตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าโดยใช้พิกัดจากภาพถ่ายทางดาราศาสตร์ ซึ่งอาศัยระบบพิกัดท้องฟ้าและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดตำแหน่งที่แม่นยำของวัตถุ โดยใช้ WCS (World Coordinate System) ในการแปลงพิกัดพิกเซลในภาพให้เป็นพิกัดเชิงดาราศาสตร์ที่สัมพันธ์กับทรงกลมฟ้า เพื่อให้การใช้งานระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติเป็นไปอย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ การออกแบบอินเทอร์เฟซของระบบจึงมีความสำคัญ หน้าจอของระบบถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก ได้แก่ หน้าหลัก (Home), หน้าบริการ (Service), หน้าสถานะ (Status), หน้าผลลัพธ์ (Result), หน้าคู่มือ (Manual) ดังนี้

1. หน้าจอแสดงหน้าหลักของระบบ (Home page)



รูปที่ 7 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการดาวนิโหลดไฟล์

จากรูปที่ 7 แสดงหน้าหลักของระบบ (Home page) เป็นหน้าแรกของเว็บที่มีเมนูให้เลือก ดังนี้

หมายเลข 1 กดเพื่อเข้าสู่หน้าหลัก

หมายเลข 2 กดเพื่อเข้าสู่หน้าบริการ

หมายเลข 3 กดเพื่อเข้าสู่หน้าคู่มือ

1. หน้าบริการ (Service)

The screenshot shows the 'Service' page of a web application. It features a top navigation bar with 'Home' (1) and 'Service' (2) links. A sidebar on the left contains 'Info' (3), 'Status', and 'Result' links. The main content area is titled 'Target information' and contains several input fields: 'Name' (4), 'Julian Day of Epoch' (5), 'Eccentricity' (6), 'Inclination' (7), 'Longitude of the ascending node' (8), 'Argument of perigee' (9), 'Semimajor' (10), and 'Mean anomaly' (11). Each field has a descriptive subtitle. Below these fields is a file upload section (12) with a 'Choose File' button and 'No file chosen' text. At the bottom right is a 'SUBMIT' button (13). A vertical progress bar on the left indicates the current step in the process.

รูปที่ 8 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการดาวน์โหลดไฟล์

จากรูปที่ 8 แสดงหน้าบริการเป็นหน้าที่ผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุท้องฟ้าที่สนใจได้ เมื่อกรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว ให้ทำการอัปโหลดไฟล์ FIT หลังจากอัปโหลดเสร็จสิ้นและตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้สามารถกดปุ่ม “SUBMIT” เพื่อเริ่มกระบวนการคำนวณ จากนั้นระบบจะนำผู้ใช้ไป

ยังหน้าสถานะ (Status) เพื่อแสดงความคืบหน้าของกระบวนการ โดยรายละเอียดการกรอกข้อมูลต่างๆ จะอธิบายตามหมายเลขได้ ดังนี้

หมายเลข 1 กดเพื่อเข้าสู่หน้าหลัก (Back to Home page)

หมายเลข 2 แถบเมนู (Menu bar)

หมายเลข 3 แถบขั้นตอน (Step bar)

หมายเลข 4 กรอกชื่อวัตถุ (Object name)

หมายเลข 5 กรอกวันจูเลียนของยุคสมัย (Julian Day of Epoch)

หมายเลข 6 กรอกความเยื้องของวงโคจร (Eccentricity)

หมายเลข 7 กรอกความเอียงของวงโคจร (Inclination)

หมายเลข 8 กรอกลองจิจูดของจุดโหนดขึ้น (Longitude of the ascending node)

หมายเลข 9 กรอกมุมของจุดใกล้ที่สุด (Argument of perigee)

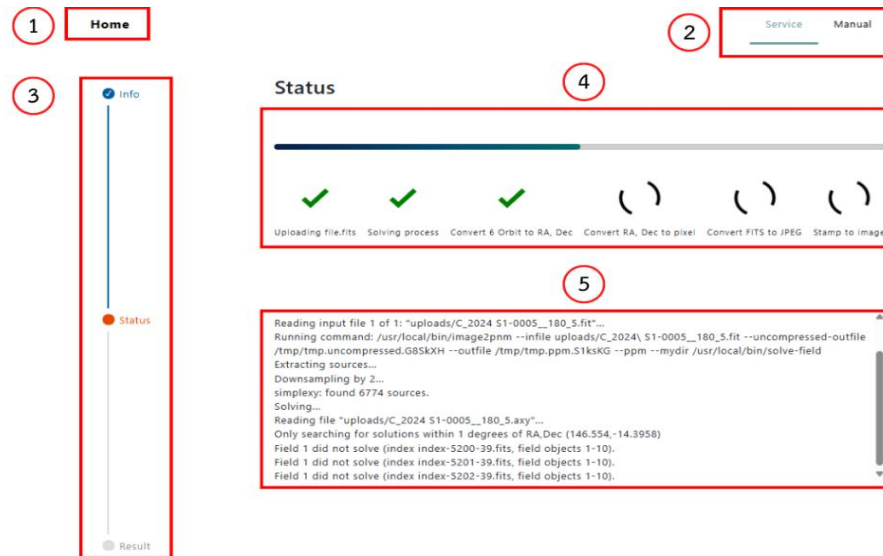
หมายเลข 10 กรอกระยะกึ่งแกนเอก (Semimajor)

หมายเลข 11 กรอกมุมกวาดเฉลี่ย (Mean anomaly)

หมายเลข 12 กดเพื่อเลือกไฟล์ฟิต (File.fit)

หมายเลข 13 กดเพื่อส่งข้อมูล

2. หน้าสถานะ (Status)



รูปที่ 9 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการดาวนโหลดไฟล์

จากรูปที่ 9 แสดงหน้าสถานะ (Status) เป็นหน้าที่ใช้สำหรับติดตามสถานะการประมวลผลข้อมูล หลังจากที่ใช้กรอกข้อมูลและอัปโหลดไฟล์ FIT เสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะแสดงความคืบหน้าของกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งมีองค์ประกอบและรายละเอียดตามหมายเลข ดังนี้

หมายเลข 1 กดเพื่อเข้าสู่หน้าหลัก (Back to Home page)

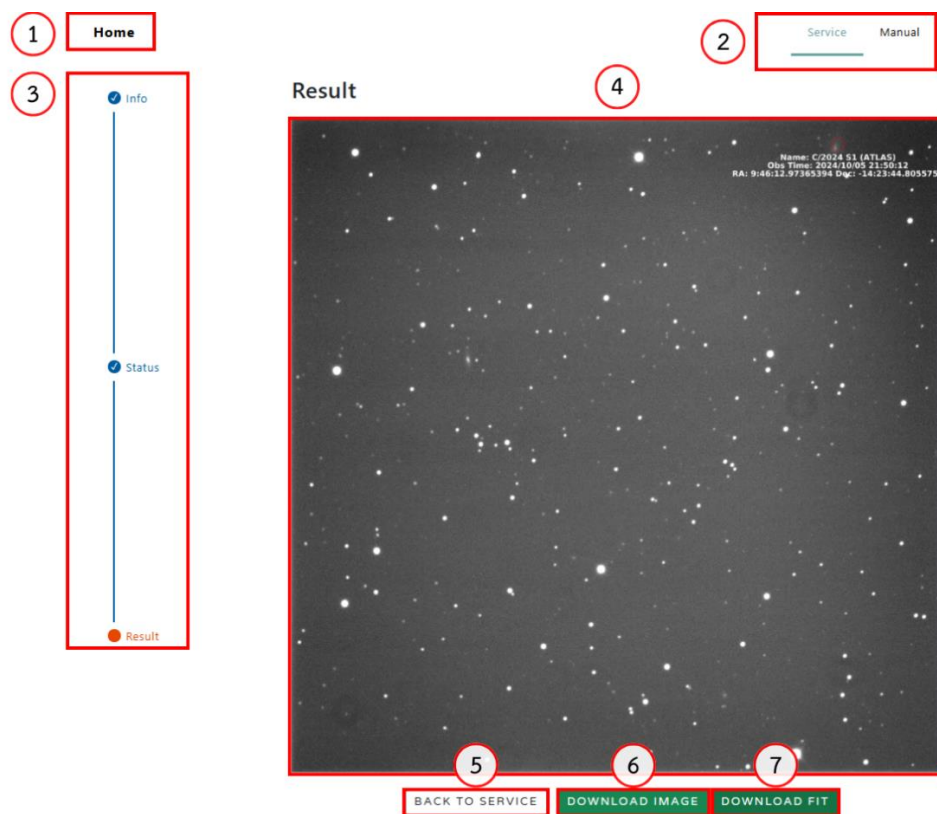
หมายเลข 2 แถบเมนู (Menu bar)

หมายเลข 3 แถบขั้นตอน (Step bar)

หมายเลข 4 แถบความคืบหน้าการดำเนินงาน (Progress bar)

หมายเลข 5 หน้าต่างบันทึกผลการทำงาน (Execution log)

3. หน้าผลลัพธ์ (Result)



รูปที่ 10 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการดาวนโหลดไฟล์

จากรูปที่ 10 แสดงหน้าผลลัพธ์ (Result) เป็นหน้าผลลัพธ์ (Result) หลังจากทีระบบได้ทำการประมวลผลข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้สามารถดูผลลัพธ์ที่ได้ในรูปแบบของภาพท้องฟ้าและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งยังสามารถดาวนโหลดผลลัพธ์ในรูปแบบไฟล์ที่ต้องการหรือกลับไปเริ่มการใช้งานใหม่ได้ รายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ ในหน้านี้อธิบายตามหมายเลข ดังนี้

หมายเลข 1 กดเพื่อเข้าสู่หน้าหลัก (Back to Home page)

หมายเลข 2 แถบเมนู (Menu bar)

หมายเลข 3 แถบขั้นตอน (Step bar)

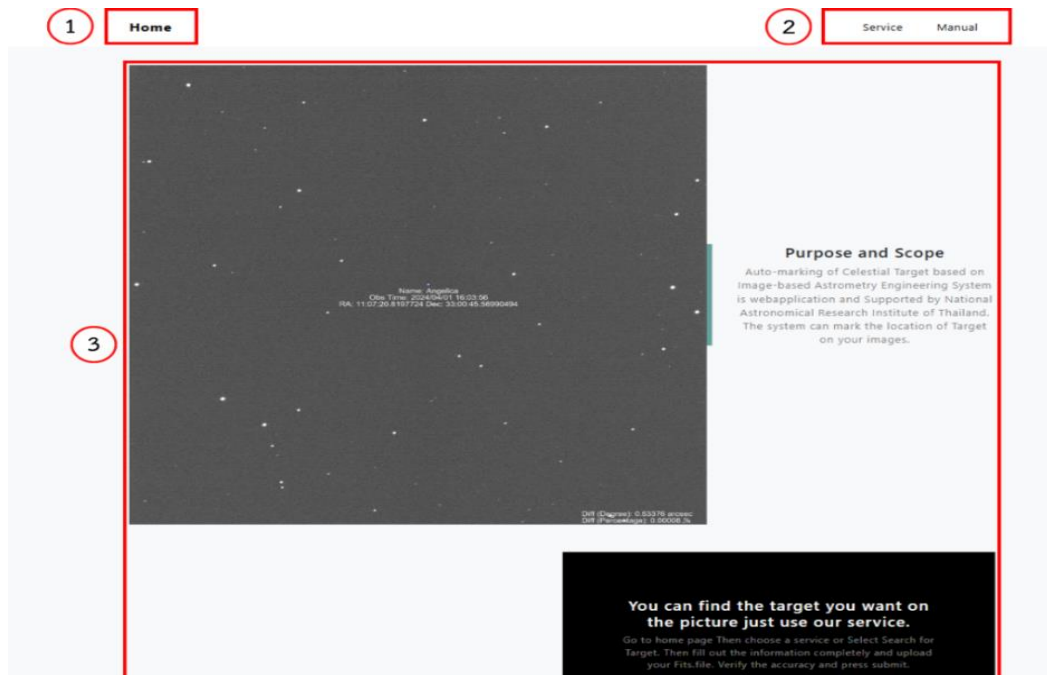
หมายเลข 4 แสดงรูปภาพที่มีการมาร์คตำแหน่งแล้ว (Image is marked)

หมายเลข 5 กดเพื่อกลับหน้าบริการ (Back to Service page)

หมายเลข 6 กดเพื่อดาวน์โหลดรูปภาพ (Download images)

หมายเลข 7 กดเพื่อดาวน์โหลดไฟล์ฟิต (Download file.fit)

4. หน้าคู่มือ (Manual)



รูปที่ 11 ผังงานขั้นตอนการทำงานของกระบวนการดาวน์โหลดไฟล์

จากรูปที่ 11 แสดงหน้าคู่มือ (Manual) เป็นหน้าที่อธิบายเกี่ยวกับระบบให้ผู้ใช้ โดยมีการอธิบายรายละเอียดตามหมายเลข ดังนี้

หมายเลข 1 กดเพื่อเข้าสู่หน้าหลัก (Back to Home page)

หมายเลข 2 แถบเมนู (Menu bar)

หมายเลข 3 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบ (System information)

6. ผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนระบบ

การเปรียบเทียบตำแหน่ง RA, Dec จากที่ระบบระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าอัตโนมัติบนรูปภาพโดยอาศัยวิศวกรรมมาตรดาราศาสตร์คำนวณได้จากข้อมูลจากเครื่องมือ Horizons system ในระบบของ Jet Propulsion Laboratory (JPL) ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งของ NASA ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและข้อมูลทางดาราศาสตร์ของวัตถุท้องฟ้า

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของดาวเคราะห์น้อย 118 Peitho

118 Peitho						
NO.	JPL		calculated		Difference value	
	RA	Dec	RA	Dec	arcsec	Percentage
1	9:16:43.0300000	26:53:41.81900378	9:16:42.83432053	26:53:41.81900378	2.84686	0.00044%
2	9:16:43.3400000	26:53:31.9000000	9:16:43.14945542	26:53:32.80568532	2.70519	0.00042%
3	9:16:43.6600000	26:53:22.8000000	9:16:43.46166163	26:53:23.90037726	2.87252	0.00044%
4	9:16:44.2300000	26:53:06.1000000	9:16:44.03705584	26:53:07.55039977	2.96091	0.00046%
5	9:16:44.7300000	26:52:52.5000000	9:16:44.53386557	26:52:53.49765585	2.80736	0.00043%

จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งของดาวเคราะห์น้อย 118 Peitho ระหว่างค่าที่คำนวณได้จากค่าที่ได้จาก JPL โดยแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบของ arcsec และเปอร์เซ็นต์ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าเกณฑ์ มีทั้งหมด 5 ครั้ง โดยค่าที่ดีที่สุดคือค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือครั้งที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 2.70519 arcsec หรือ 0.00042%

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของดาวเคราะห์น้อย 164 Eva

164 Eva						
NO.	JPL		calculated		Difference value	
	RA	Dec	RA	Dec	arcsec	Percentage
1	11:06:59.2700000	40:15:44.9000000	11:06:59.05439395	40:15:46.29828036	2.83650	0.00044%
2	11:06:58.2200000	40:15:41.7000000	11:06:57.99908727	40:15:43.12499255	2.90255	0.00045%
3	11:06:57.1400000	40:15:38.5000000	11:06:56.90128467	40:15:39.8144168	3.03219	0.00047%
4	11:06:55.0800000	40:15:32.2000000	11:06:54.85949568	40:15:33.6312952	2.90167	0.00045%
5	11:06:53.4500000	40:15:27.3000000	11:06:53.21815418	40:15:28.63643545	2.97148	0.00046%

จากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งของดาวเคราะห์น้อย 164 Eva ระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ได้จาก JPL โดยแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบของ arcsec และเปอร์เซ็นต์ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าเกณฑ์ มีทั้งหมด 5 ครั้ง โดยค่าที่ดีที่สุดคือค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือครั้งที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 2.83650 arcsec หรือ 0.00044%

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของดาวเคราะห์น้อย 673 Edda

673 Edda						
NO	JPL		calculated		Difference value	
	RA	Dec	RA	Dec	arcsec	Percentage
1	10:21:41.75000	6:23:16.543594	10:21:41.542496	6:23:16.543594	3.45699	0.00053%
	00	01	26	01		
2	10:21:41.46000	6:23:17.800000	10:21:41.235611	6:23:19.458839	3.73367	0.00058%
	00	0	23	45		
3	10:21:40.89000	6:23:23.200000	10:21:40.676255	6:23:24.774972	3.55425	0.00055%
	00	0	71	47		
4	10:21:40.85000	6:23:23.500000	10:21:40.632842	6:23:25.187708	3.65066	0.00056%
	00	0	75	75		
5	10:21:39.89000	6:23:32.600000	10:21:39.671621	6:23:34.331361	3.68709	0.00057%
	00	0	39	89		

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งของดาวเคราะห์น้อย 673 Edda ระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ได้จาก JPL โดยแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบของ arcsec และเปอร์เซ็นต์ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าเกณฑ์ มีทั้งหมด 5 ครั้ง โดยค่าที่ดีที่สุดคือค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือครั้งที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 3.45699 arcsec หรือ 0.00053%

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของดาวเคราะห์น้อย 965 Angelica

965 Angelica

NO.	JPL		calculated		Difference value	
	RA	Dec	RA	Dec	arcsec	Percentage
1	11:07:25.8600000	33:01:35.6000000	11:07:25.83909016	33:01:35.97300994	0.45639	0.00007%
2	11:07:25.2800000	33:01:29.8000000	11:07:25.26995622	33:01:30.27684577	0.49329	0.00008%
3	11:07:24.1900000	33:01:18.9000000	11:07:24.15519021	33:01:19.10570508	0.48372	0.00007%
4	11:07:22.3700000	33:01:00.6000000	11:07:22.35946464	33:01:01.07145835	0.48973	0.00008%
5	11:07:20.8600000	33:00:45.4000000	11:07:20.81977240	33:00:45.56990494	0.53376	0.00008%

จากตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งของดาวเคราะห์น้อย 965 Angelica ระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ได้จาก JPL โดยแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบของ arcsec และเปอร์เซ็นต์ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าเกณฑ์ มีทั้งหมด 5 ครั้ง โดยค่าที่ดีที่สุดคือค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือครั้งที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.45639 arcsec หรือ 0.00007%

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของดาวเคราะห์น้อย 1031 Arctica

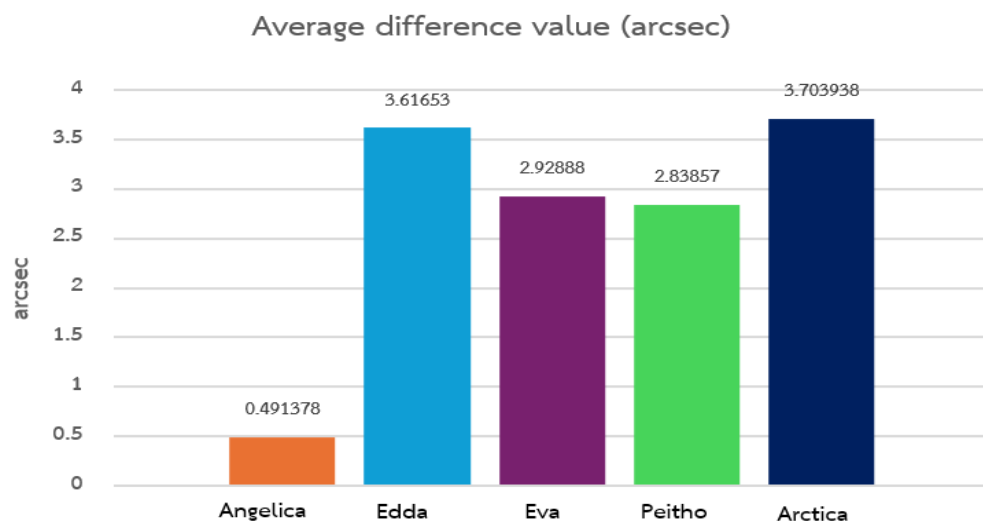
1031 Arctica						
NO.	JPL		calculated		Difference value	
	RA	Dec	RA	Dec	arcsec	Percentage
1	10:23:53.7200000	10:19:08.6000000	10:23:53.50166361	-10:19:06.9735218	3.60932	0.00056%
2	10:23:53.2200000	- 10:18:53.5000000	10:23:53.00282579	-10:18:51.8569466	3.60159	0.00056%
3	10:23:52.7700000	- 10:18:39.6000000	10:23:52.53820679	- 10:18:37.75649892	3.88588	0.00060%
4	10:23:51.9700000	- 10:18:15.2000000	10:23:51.73656033	- 10:18:13.38030476	3.89617	0.00060%
5	10:23:51.1800000	- 10:17:51.3000000	10:23:50.96335773	- 10:17:49.81166217	3.52673	0.00054%

จากตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งของดาวเคราะห์น้อย 1031 Arctica ระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ได้จาก JPL โดยแสดงค่าความคลาดเคลื่อนในรูปแบบของ arcsec และเปอร์เซ็นต์ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าเกณฑ์ มีทั้งหมด 5 ครั้ง โดยค่าที่ดีที่สุดคือค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือครั้งที่ 5 โดยมีค่าเท่ากับ 3.52673 arcsec หรือ 0.00054%

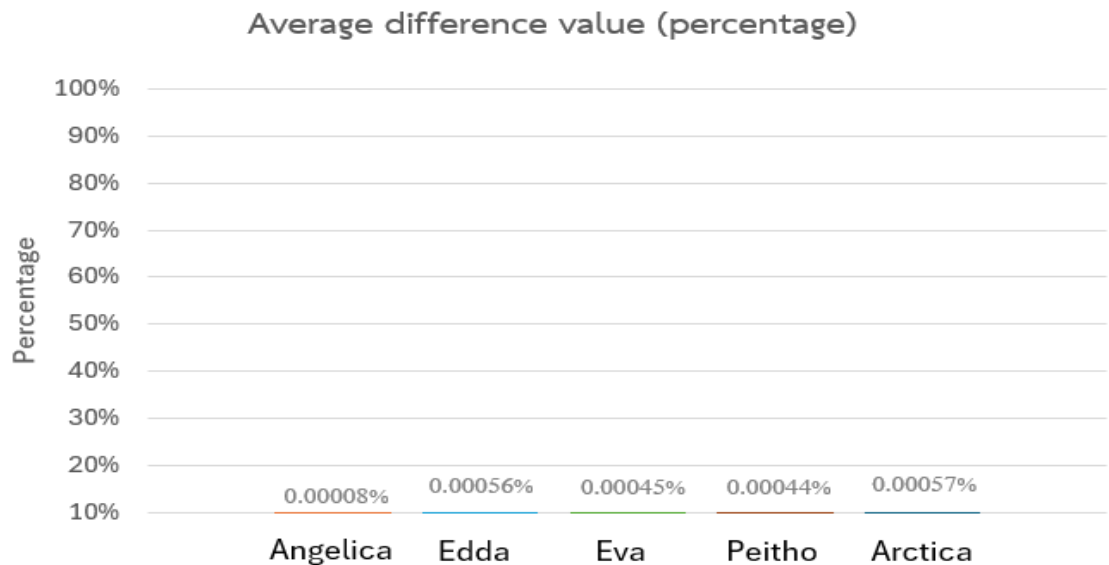
จากผลการทดลอง ระบบสามารถตรวจจับและระบุตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าได้อย่างแม่นยำ โดยมีความคลาดเคลื่อนเชิงมุมประมาณ 0.02 องศา เมื่อเทียบกับข้อมูลจากฐานข้อมูลดาราศาสตร์ ในกรณีที่ภาพมีคุณภาพดีและมีสัญญาณรบกวนน้อย ระบบสามารถจับคู่พิกัดกับฐานข้อมูลได้ถูกต้องมากกว่า 95%เมื่อทดสอบกับภาพที่มีสัญญาณรบกวนสูง ประสิทธิภาพของระบบลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 85% ซึ่งบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการปรับปรุงกระบวนการลดสัญญาณรบกวนให้ดียิ่งขึ้นและระบบยังใช้เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลแต่ละภาพอยู่ที่ 3.5 วินาที ซึ่งรวดเร็วกว่าวิธีมาตรฐานที่ใช้กันในปัจจุบัน

7. สรุปและอภิปรายผล

ค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากระบบของเรากับค่ามาตรฐานที่อ้างอิงจาก Horizon system ของ Jet Propulsion Laboratory (JPL) โดยค่าดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินความถูกต้องและความแม่นยำของการคำนวณพิกัดของดาวเคราะห์น้อยแต่ละดวง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้สามารถแสดงผลในรูปแบบของ arcsec และ เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนว่าดาวเคราะห์น้อยแต่ละดวงมีค่าความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด เพื่อให้สามารถมองเห็นแนวโน้มของความคลาดเคลื่อนได้อย่างเป็นระบบ ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 โดยกราฟจะแสดงการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนในลักษณะที่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแม่นยำของการคำนวณในแต่ละกรณีได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของดาวเคราะห์น้อยแต่ละดวงแบบ arcsec



รูปที่ 13 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของดาวเคราะห์น้อยแต่ละดวงแบบ percentage

จากผลการทดสอบและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ ในรูปที่11 และรูปที่12 สามารถสรุปได้ว่า ระบบมีความสามารถในการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เชื่อถือได้ เช่น ระบบ Horizons ของ Jet Propulsion Laboratory (JPL) โดยจากเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับงานดาราศาสตร์อ้างอิงจาก International Astronomical Union (IAU) กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าไว้ที่ 1-5 arcsec หรือ Minor Planet Center (MPC) กำหนดความแม่นยำในการรายงานตำแหน่งดาวเคราะห์น้อยที่ $\pm 3-4$ arcsec และ European Space Agency (ESA) ค่าที่ยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.001% ดังนั้นสำหรับการคำนวณวงโคจรค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดที่ได้อยู่ในระดับต่ำ (น้อยกว่า 4 arcsec และเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่า 0.0001%) ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าในงานดาราศาสตร์

นอกจากนี้ การแสดงผลผ่านกราฟที่นำเสนอในบทนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่ามาตรฐานจาก JPL อย่างชัดเจน ส่งผลให้สามารถสรุปได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งวัตถุท้องฟ้า และค่าความคลาดเคลื่อนที่พบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานในงานวิศวกรรมดาราศาสตร์

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) ที่ให้ข้อมูล คำแนะนำ และการสนับสนุนที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- Bendjoya, P. R., Cellino, A., Froeschlé, C., & Zappalà, V. (1993). **Asteroid dynamical families: a reliability test for two identification methods.** *Astronomy and Astrophysics*, 272, 651-670.
- Brown, H. L., & Zhao, W. (2019). **Web-based astronomy tools using Gaia DR3 data.** *Journal of Astronomical Software Development*, 7(4), 112-125.
- Carruba, V., Aljbaae, S., & Lucchini, A. (2019). **Machine-learning identification of asteroid groups.** *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 488(1), 1377-1386.
- Domingos, R. C., Huaman, M., & Lourenço, M. V. F. (2025). **Identification of asteroid families' members.** *Machine Learning for Small Bodies in the Solar System*, 33-57.
- Jo, J. H., Park, I. K., Choe, N. M., & Choi, M. S. (2011). **The Comparison of the Classical Keplerian Orbit Elements, Non-Singular Orbital Elements (Equinoctial Elements), and the Cartesian State Variables in Lagrange Planetary Equations with J₂ Perturbation: Part I.** *Journal of Astronomy and Space Sciences*, 28(1), 37-54.
- Jones, M. R., & Patel, S. A. (2020). **Deep learning applications in astronomical object classification: A case study with SDSS data.** *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 498(2), 567-580.
- Kovalevsky, J., & Seidelmann, P. K. (2011). *Fundamentals of astrometry.* Cambridge

University Press.

- Kruk, S., Martín, P. G., Popescu, M., Merín, B., Mahlke, M., Carry, B., ... & Laureijs, R. (2022). **Hubble Asteroid Hunter-I. Identifying asteroid trails in Hubble Space Telescope images.** *Astronomy & Astrophysics*, 661, A85.
- Mekha, P., & Osathanunkul, K. (2020, March). **Web application for sick animals health monitoring system.** In 2020 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON) (pp. 123-127). IEEE.
- Smith, J. D., & Lee, K. T. (2021). **Astrometric calibration methods for high-precision celestial object positioning.** *Astrophysical Journal*, 892(1), 23-34.
- Neuhäuser, D. L., Neuhäuser, R., Mugrauer, M., Harrak, A., & Chapman, J. (2021). **Orbit determination just from historical observations? Test case: The comet of AD 760 is identified as 1P/Halley.** *Icarus*, 364, 114278.
- Oesterwinter, C., & Cohen, C. J. (1972). **New orbital elements for Moon and planets.** *Celestial Mechanics*, 5(3), 317-395.
- Rhodes, B. C. (2011). **PyEphem: astronomical ephemeris for Python.** *Astrophysics SourceCode Library*, ascl-1112.
- Robitaille, T. P., Tollerud, E. J., Greenfield, P., Droettboom, M., Bray, E., Aldcroft, T., ... & Streicher, O. (2013). **Astropy: A community Python package for astronomy.** *Astronomy & Astrophysics*, 558, A33.
- Solontoi, M., Ivezić, Ž., West, A. A., Claire, M., Jurić, M., Becker, A., ... & Loomis, C. (2010). **Detecting active comets in the SDSS.** *Icarus*, 205(2), 605-618.