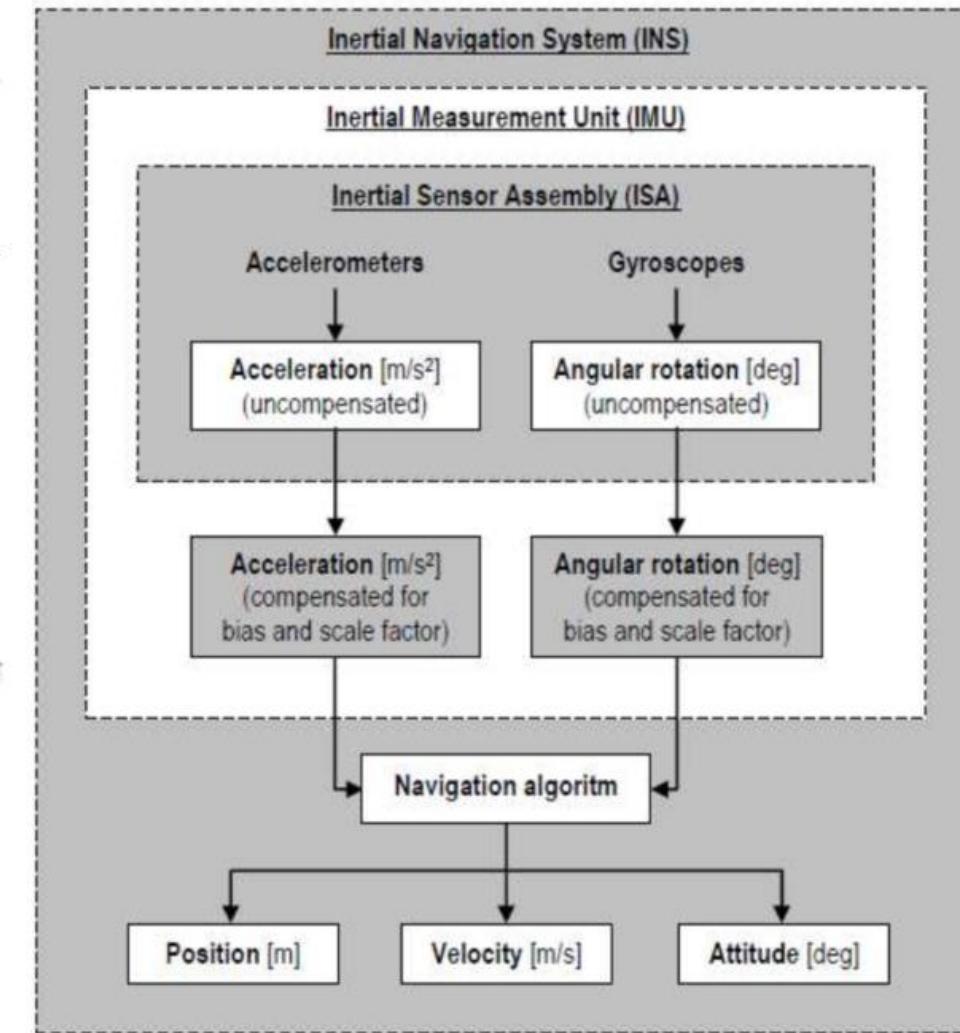
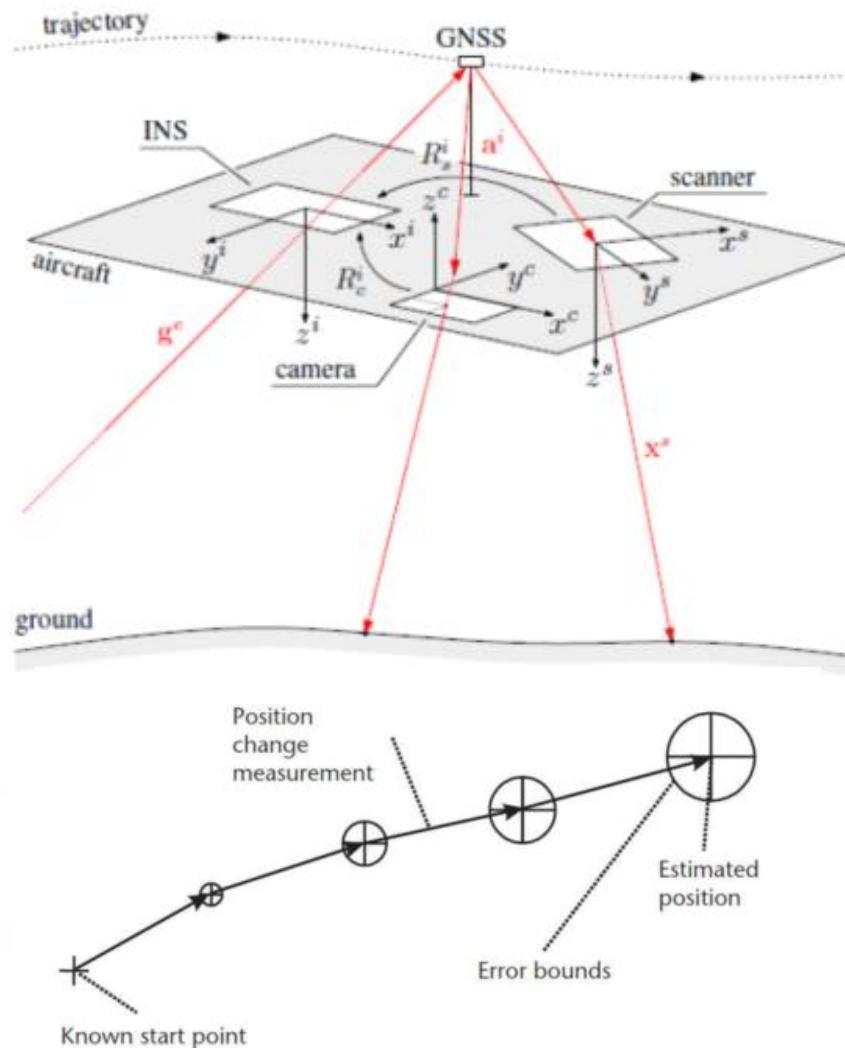
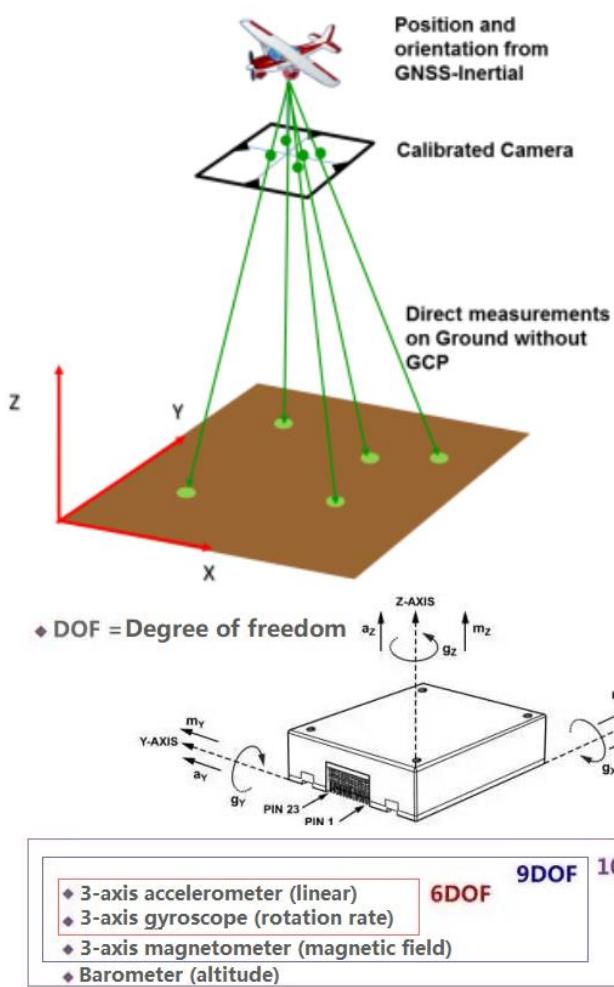


Direct Georeferencing



Direct Georeferencing (DG) & GNSS/INS



Thirawat Bannakulpiphat & Phisan Santitamnont

Department of Survey Engineering, Chulalongkorn University

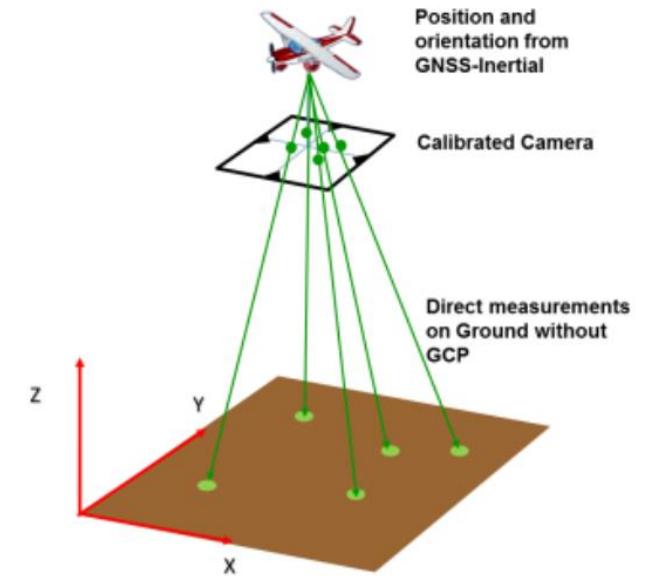
E-mail: thirawat.bannakulpiphat@gmail.com and phisan.chula@gmail.com

February 15, 2023
13.00 – 16.00 PM

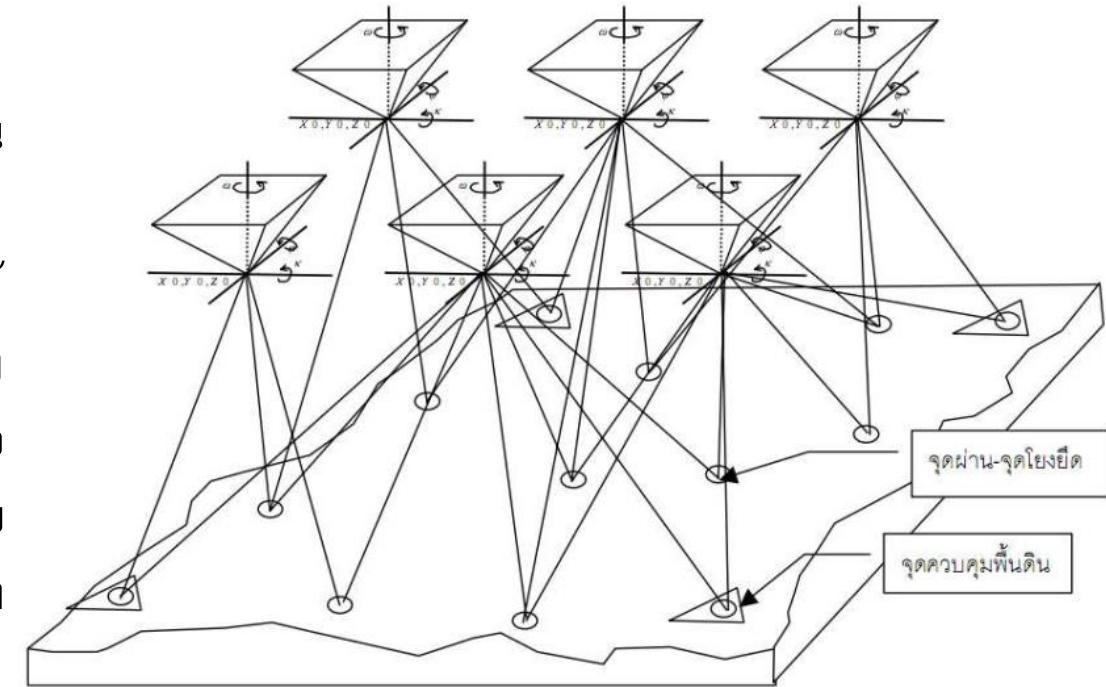
1. การกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยวิธีตรง (Direct Georeferencing : DG)
2. อุปกรณ์สนับสนุนการกำหนดตำแหน่งบนโลก
3. การบูรณาการจีอีเอ็นເອສເଓສ/ໄອເວັມຍູ (GNSS/IMU)
4. ระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่ (Mobile Mapping System : MMS)
5. การประมาณค่าช่วงข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม (GNSS Interpolation)

การกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยวิธีตรง (Direct Georeferencing : DG)

Direct Georeferencing



ในการบันทึกภาพจากกล้องถ่ายภาพ หรือข้อมูลเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งบนดาวเทียม อากาศยานตลอดจนยานพาหนะเคลื่อนที่เพื่อใช้ในการทำแผนที่และภูมิสารสนเทศ หากสามารถระบุตำแหน่ง และการวางตัว ณ เวลาใดของเซนเซอร์ได้ จะทำให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการรังวัดพิกัดวัตถุจากพิกัดภาพถ่าย สร้างแบบจำลองระดับของภูมิประเทศ ข้อมูลตำแหน่งและการวางตัวของภาพหรือเซนเซอร์เรียกว่า การจัดวางภาพภายนอก (Exterior Orientation) โดยสำหรับกรณีภาพถ่ายทางอากาศได้มาจากการรังวัดพิกัดภาพถ่ายของจุดผ่านและจุดโยงยึด และกำหนดจุดบังคับภาพพื้นดินที่ทราบค่าพิกัดจำนวนหนึ่ง โดยอาศัยความสัมพันธ์ของลำแสงจากจุดบังคับภาพถ่ายเหล่านั้นสมการสภาวะร่วมเส้น (Collinearity Equation) ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า การทำบ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation)



ประมาณการความแม่นยำของ EOP
กรณี Airborne photogrammetry ใช้ large-format camera

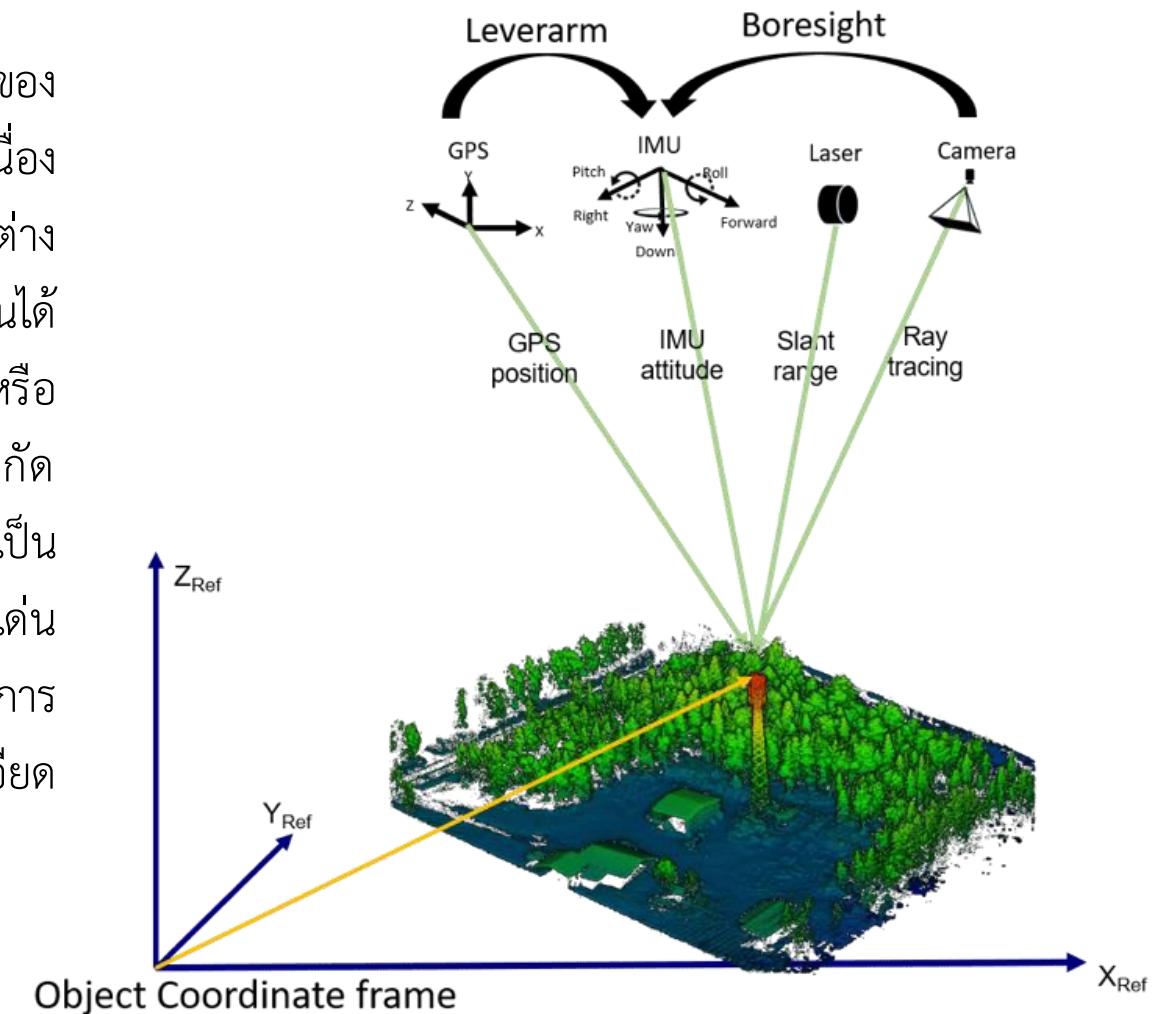
ค่า Standard Deviation

X : 10 cm , Omega : 5/1000 deg

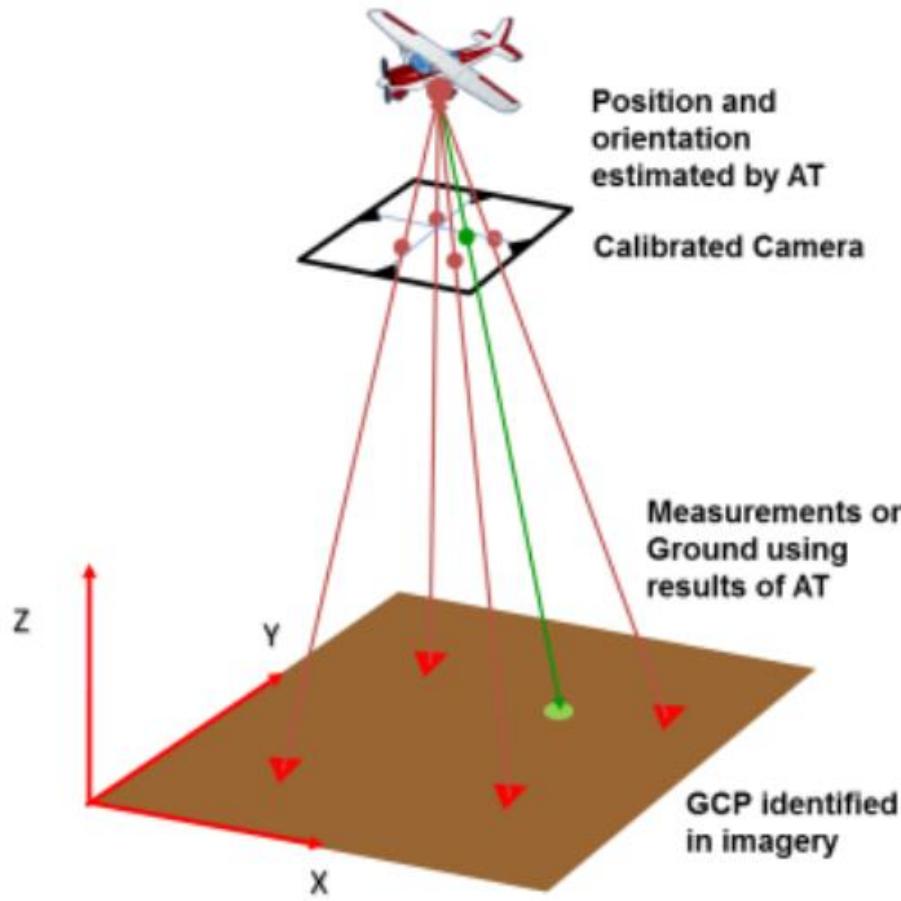
Y : 10 cm , Phi : 5/1000 deg

Z : 15 cm , Kappa : 15/1000 deg

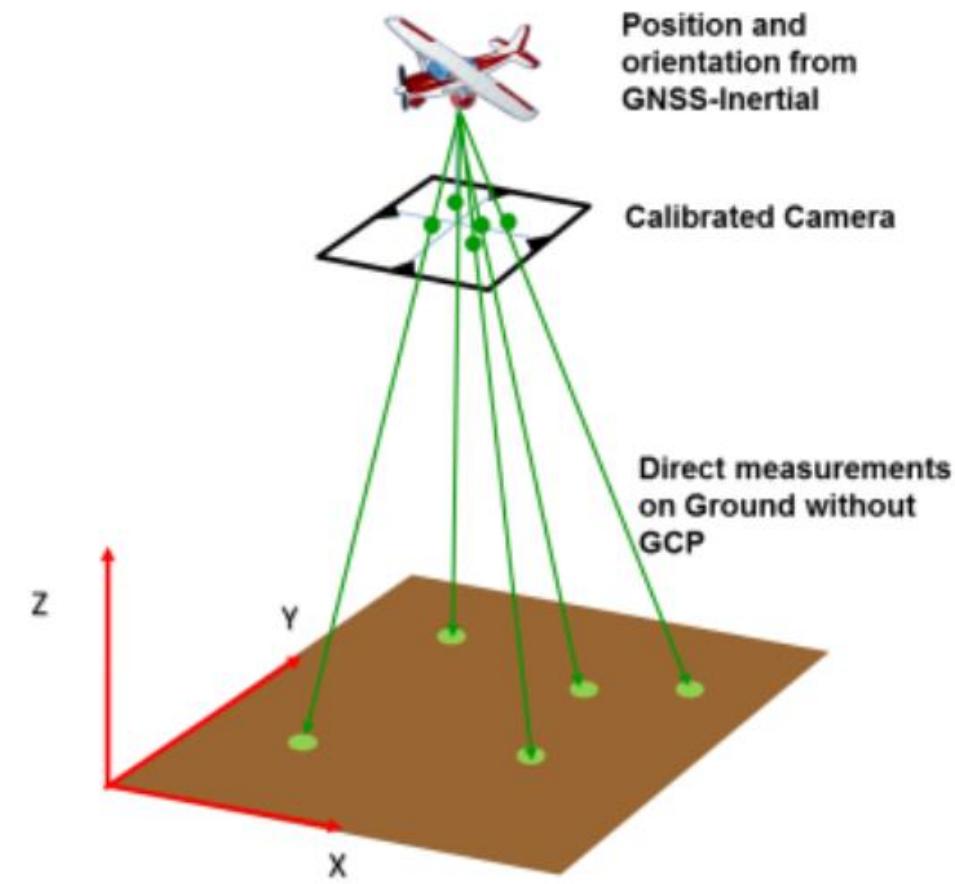
การอ้างอิงตำแหน่งบนโลกโดยตรงเป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งและการวางแผนตัวของยานพาหนะ โดยจะให้ผลลัพธ์การนำหนาที่เป็นข้อมูลแสดงวิถีของพาหนะอย่างต่อเนื่อง ณ เวลาต่าง ๆ โดยจะต้องมีการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ช่วยในการนำหนาที่ต่าง ๆ กับตัวเซนเซอร์ที่เป็นค่าระยะห่างระหว่างคู่เซนเซอร์ (Offset) โดยที่เซนเซอร์เป็นได้ทั้ง กล้องถ่ายภาพจากดาวเทียม กล้องถ่ายภาพทางอากาศ ระบบเลเซอร์สแกน หรือระบบเรดาร์สำรวจน้ำมีประเทคโนโลยีเป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะให้ข้อมูลในรูปค่าพิกัด สัมพันธ์จากเซนเซอร์ไปยังจุดหรือพื้นผิวนานพื้นผิวโลก ซึ่งจุดหรือพื้นผิวดังกล่าวจะเป็นตัวแทนที่ต้องการในงานรังวัดทำแผนที่หรือต้องการข้อมูลภูมิสารสนเทศ โดยจุดเด่นของการกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยวิธีตรงคือ ช่วยให้การทำแผนที่จากอากาศและการทำแผนที่ด้วยระบบทำแผนที่เคลื่อนที่มีความละเอียด รวดเร็ว อีกทั้งให้ความละเอียดความถูกต้องทางตำแหน่งสูง



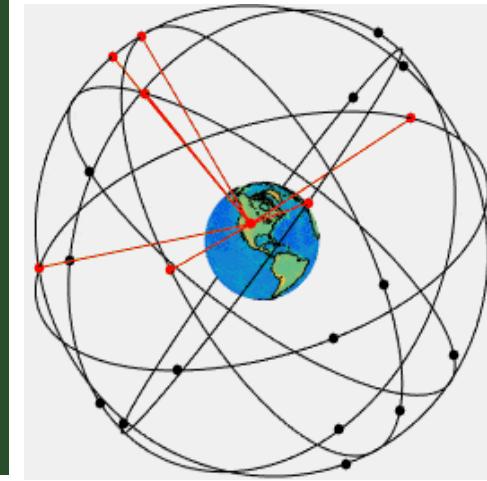
Aerial Triangulation



Direct Georeferencing



อุปกรณ์สนับสนุน การกำหนดตำแหน่งบนโลก



อุปกรณ์สนับสนุนการกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการกำหนดพิกัด (Positioning) การให้เวลา (Timing) ที่แม่นยำ ซอฟต์แวร์ช่วยในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณดาวเทียม GNSS และข้อมูลที่บันทึกได้จากเครื่องมือตรวจจับการเคลื่อนที่ต่างๆ ทำให้ได้ผลการนำทาง (Navigation solution) ของยานพาหนะ เครื่องมืออุปกรณ์และการประมวลผลสัญญาณเรียกรวมกันว่า ระบบการวางแผนตัวเซนเซอร์แบบบูรณาการ (Integrate Sensor Orientation : ISO) สำหรับการเรียนในวิชานี้จะขอกล่าวถึง 3 อย่าง

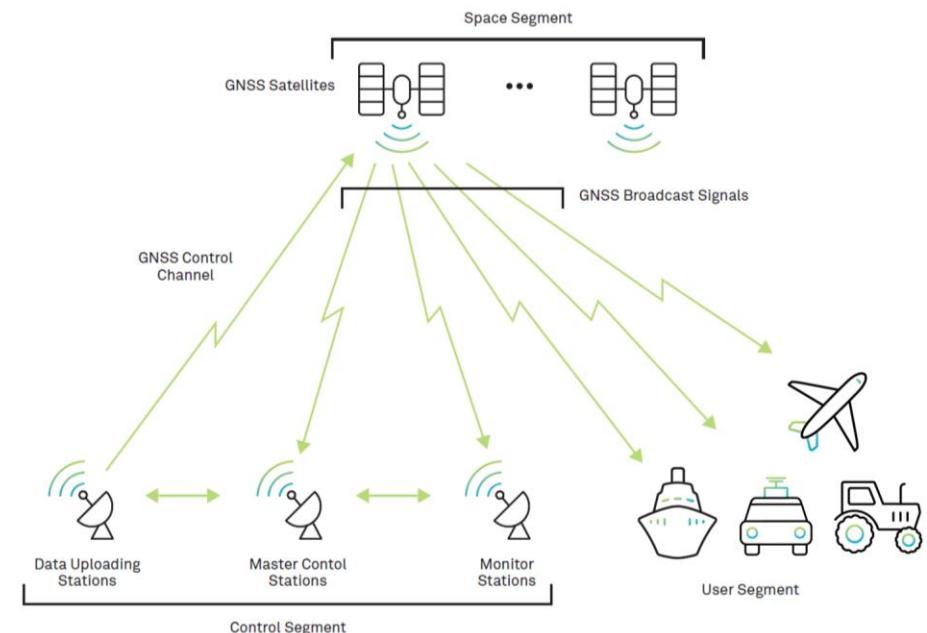
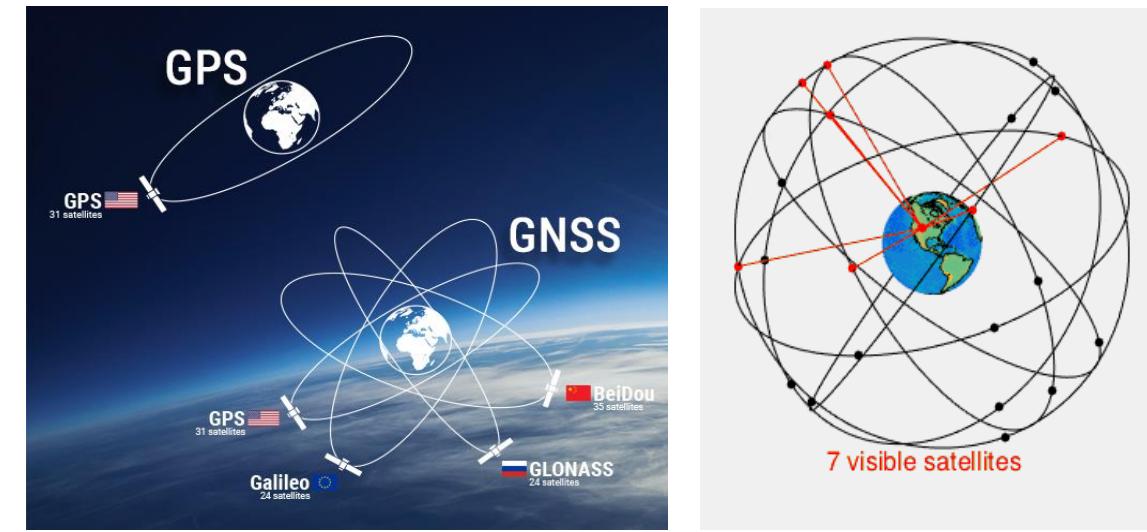
- ระบบนำทางด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียม (Global Navigation Satellite System : GNSS)
- ระบบนำทางด้วยการวัดความเร็ว (Inertial Navigation System : INS)
- อุปกรณ์วัดรอบและอัตราเร่งของล้อรถยนต์ (Distance Measuring Indicator : DMI)

สำหรับระบบที่มีความสามารถในการกำหนดตำแหน่ง ความเร็วและเวลา มักเรียกรวมกันว่า Position, Navigation and Timing (PNT)

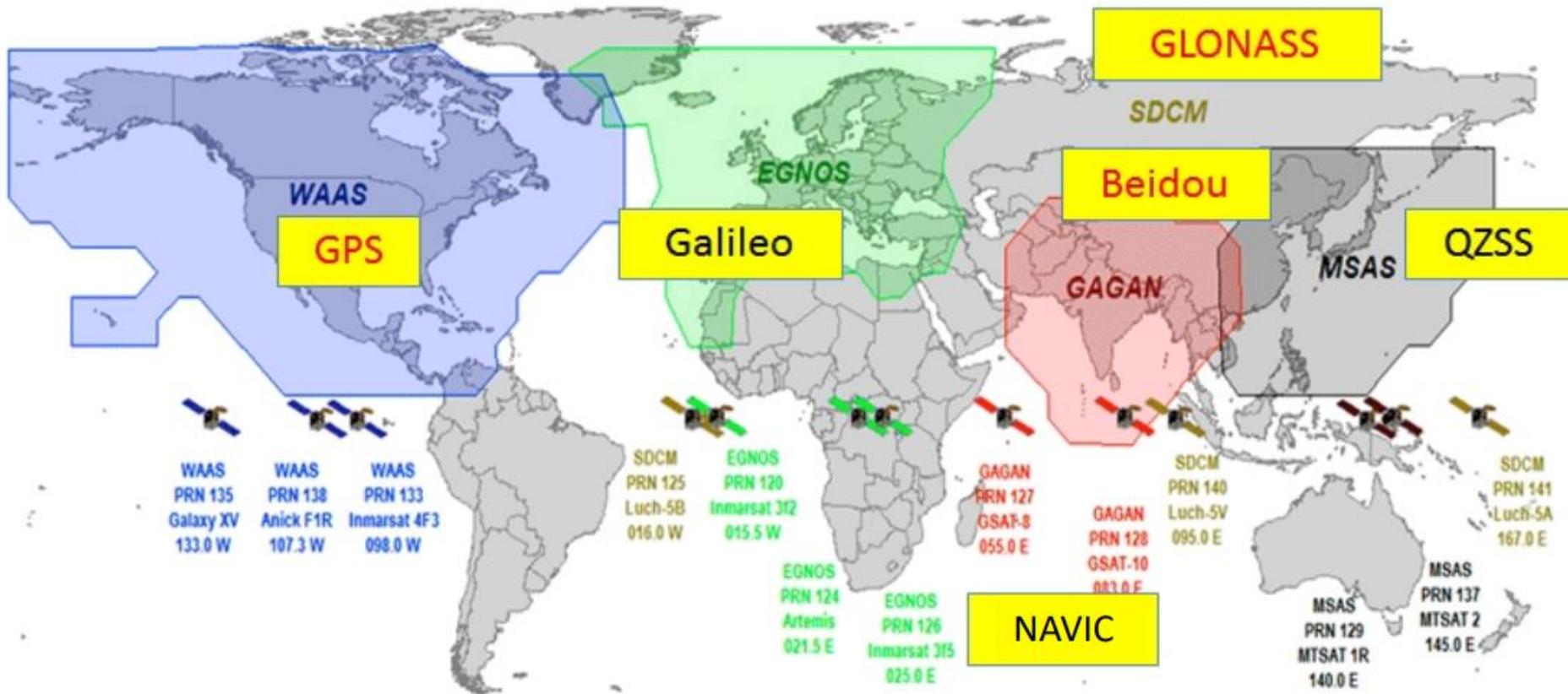
ระบบนำหน้าด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียม หรือที่เรียกโดยปัจจุบันว่า GNSS นั้นเป็นคำที่ใช้แทนระบบการหาตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่ประกอบด้วย ดาวเทียมตั้งแต่ 2 ระบบขึ้นไป ซึ่งในปัจจุบันมีระบบดาวเทียมที่ได้พัฒนาขึ้น ได้แก่ ระบบดาวเทียม GPS ของประเทศไทย, ระบบดาวเทียม GLONASS ของประเทศรัสเซีย, ระบบดาวเทียม Galileo ของสหภาพยุโรป, ระบบดาวเทียม BEIDOU ของประเทศจีน ระบบดาวเทียม QZSS ของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น โดยการรังวัดสัญญาณดาวเทียมเป็นที่นิยมและมีการใช้ ในงานสำรวจรังวัดอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถทำงานได้ทุกสภาพอากาศ ทั้งกลางวันและกลางคืนตลอด 24 ชั่วโมง และมีข้อได้เปรียบมากกว่า การทำงานสำรวจรังวัดแบบดั้งเดิม นั่นคือไม่จำเป็นต้องเลือกตำแหน่งจุดรังวัด ให้มองเห็นกัน

แต่ละระบบจะมีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 ส่วน ได้แก่

- ส่วนอวกาศ (Space segment)
- ส่วนควบคุม (Control segment)
- ส่วนผู้ใช้ (User segment)



GNSS Constellations



GNSS constellations, augmentations, and regional constellations [7]

** Satellite Based Augmentation System (SBAS) เป็นระบบเสริมดาวเทียมที่ให้บริการค่าแก้สำหรับดาวเทียม GNSS

GLOBAL CONSTELLATIONS

GPS	24+3
GLONASS	24+
Galileo	24+3
BeiDou	24MEO+3 IGSO+3 GEO

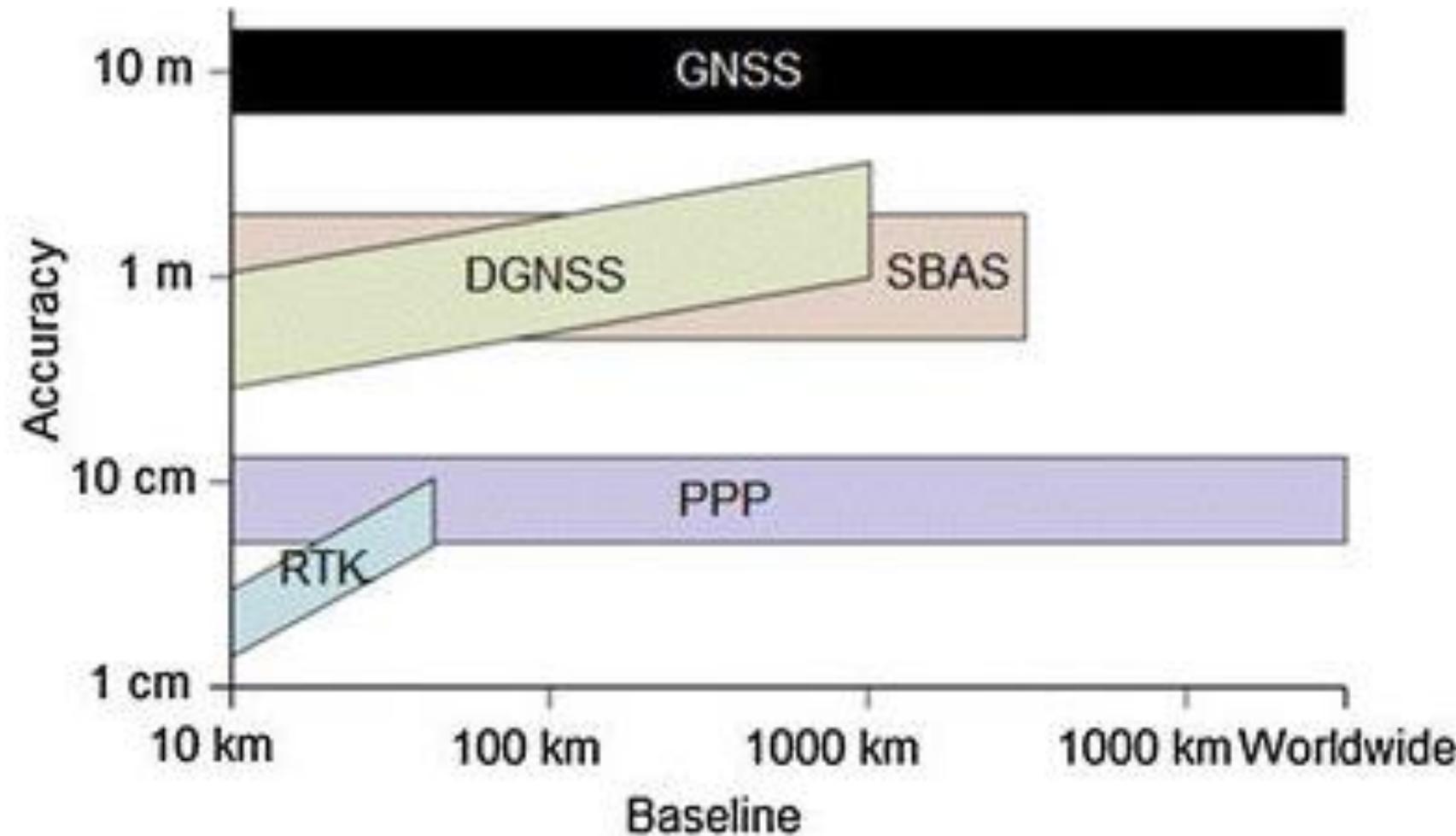
REGIONAL CONSTELLATIONS

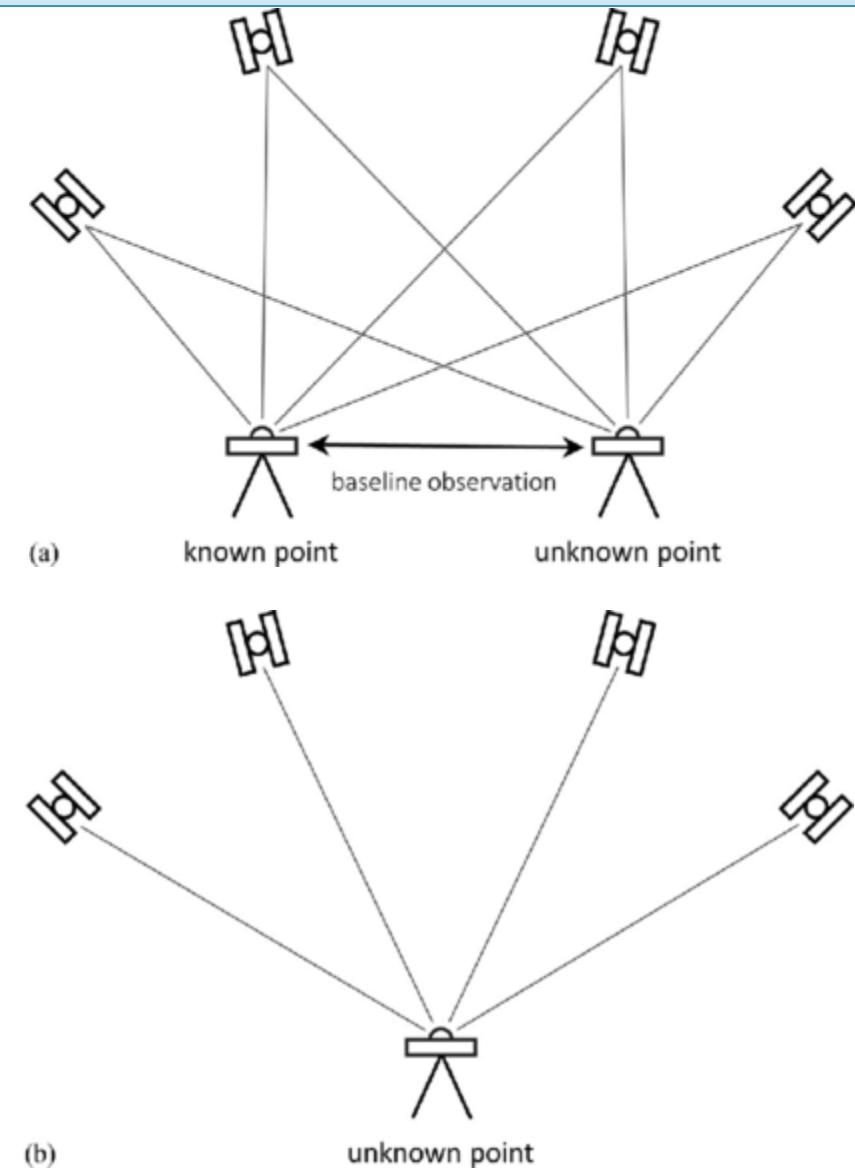
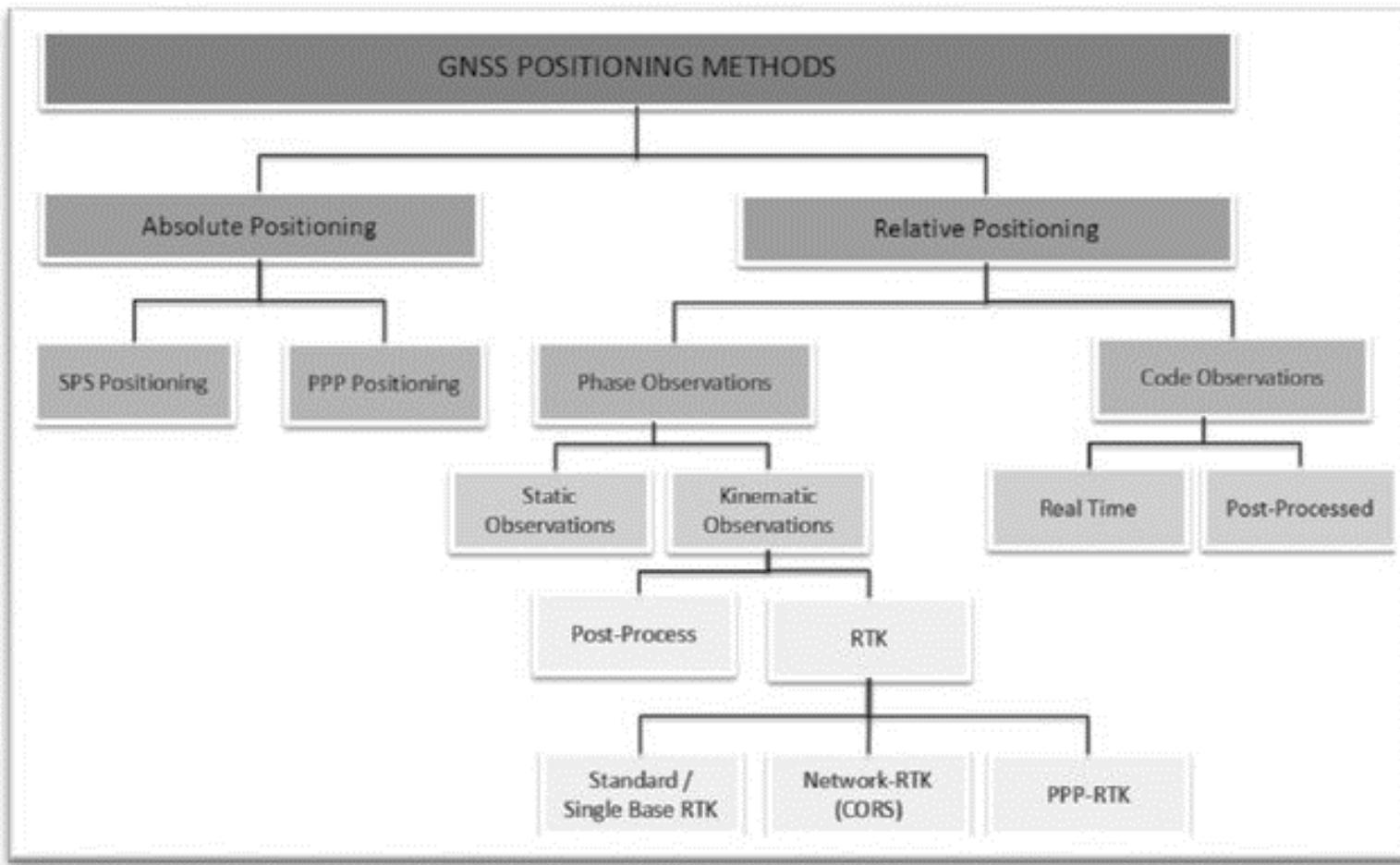
QZSS	4+3
NAVIC (IRNSS)	7

SBAS (GEOs)

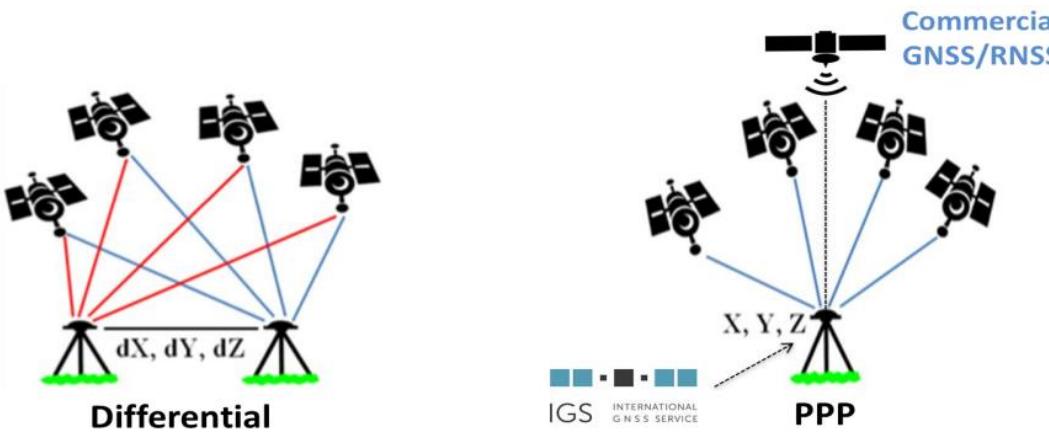
WAAS	3
MSAS	2
EGNOS	3
GAGAN	3
SDCM	3
BDSBAS	3
KASS	2

Comparison of positioning accuracies provided by SBAS, DGNSS, PPP and RTK methods.





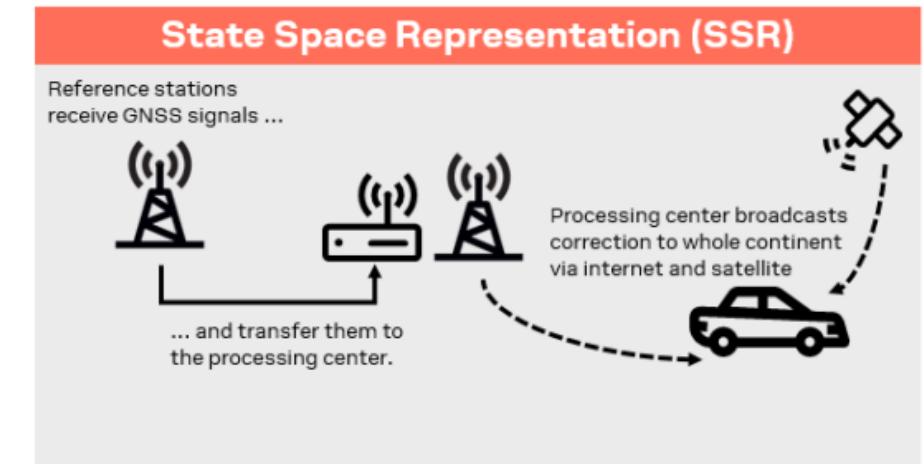
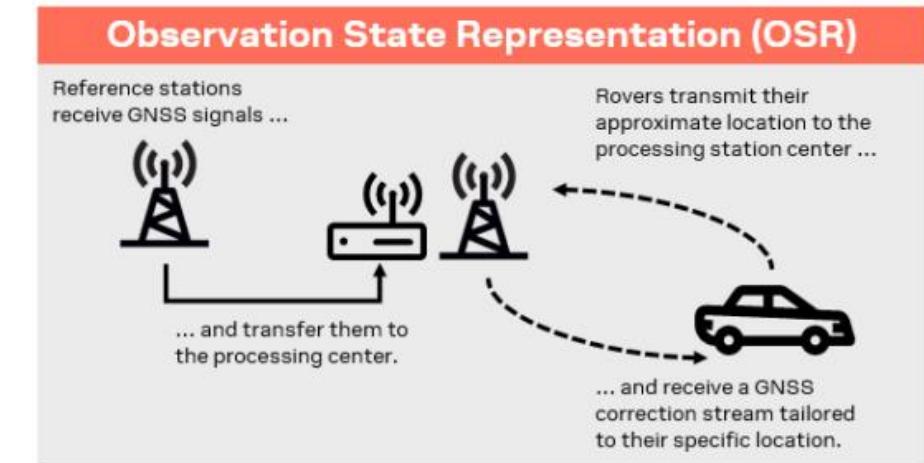
Precise Point Positioning (PPP)

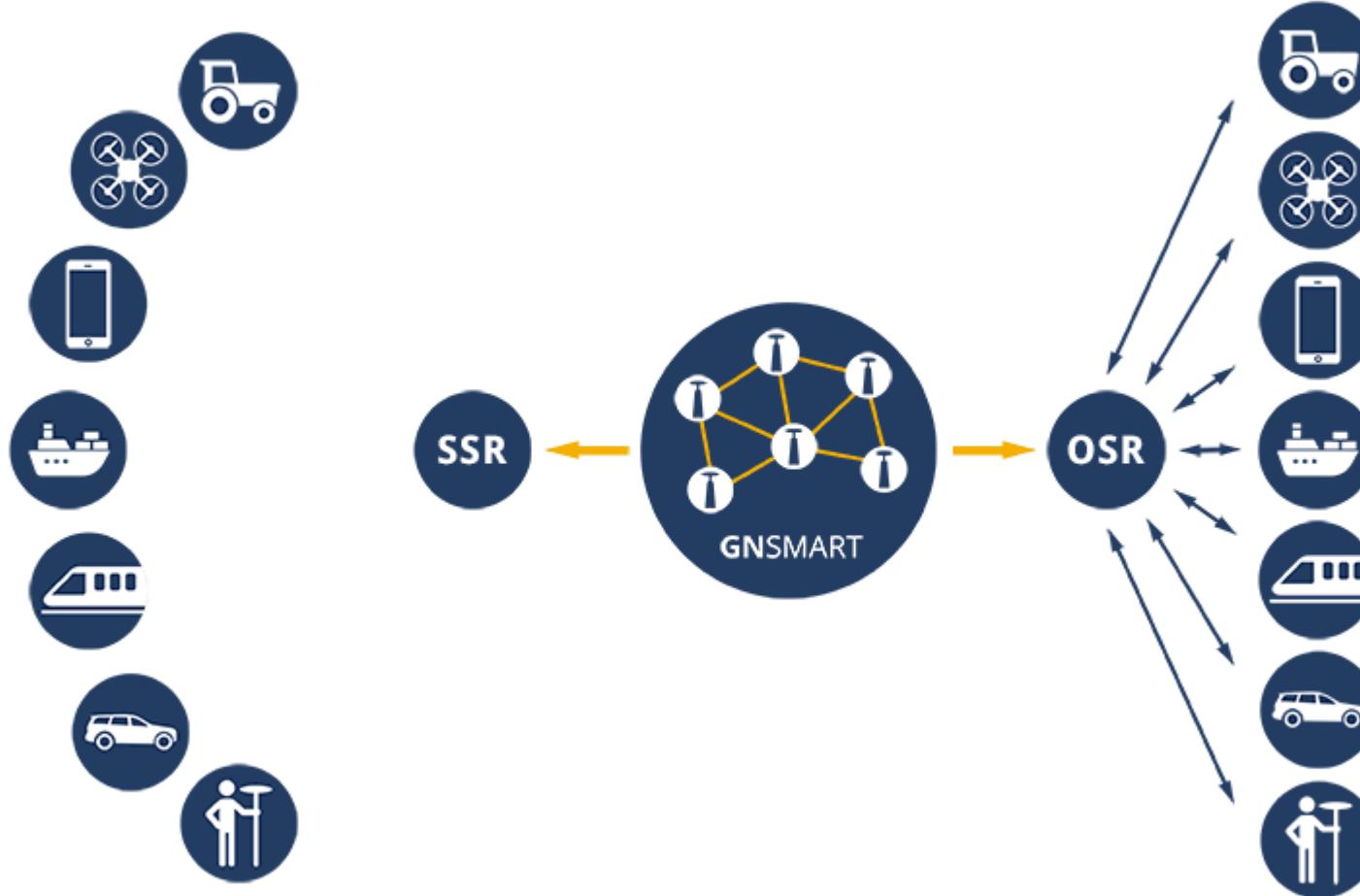


PPP uses **state space representation (SSR)** correction products such as **precise satellite orbits, clocks** and **signal biases** from either commercial or/and public that are delivered to the user via satellite and/or the Internet.

	OSR	SSR
Corrections valid over the entire service area	✗	✓
Global coverage	✗	✓
Low bandwidth	✗	✓
One-way communication	✗	✓
Cm-level accuracy	✓	✓

GNSS Correction Services





PPP Service Levels

PPP (V1) – Standard PPP

Accuracy: **10 - 20 cm**

Algorithm: Float ambiguities

Convergence time: ~ **30-50 min**

PPP-AR (V2) – Better accuracy

Accuracy: **5 - 10 cm**

Algorithm: Fixed ambiguities

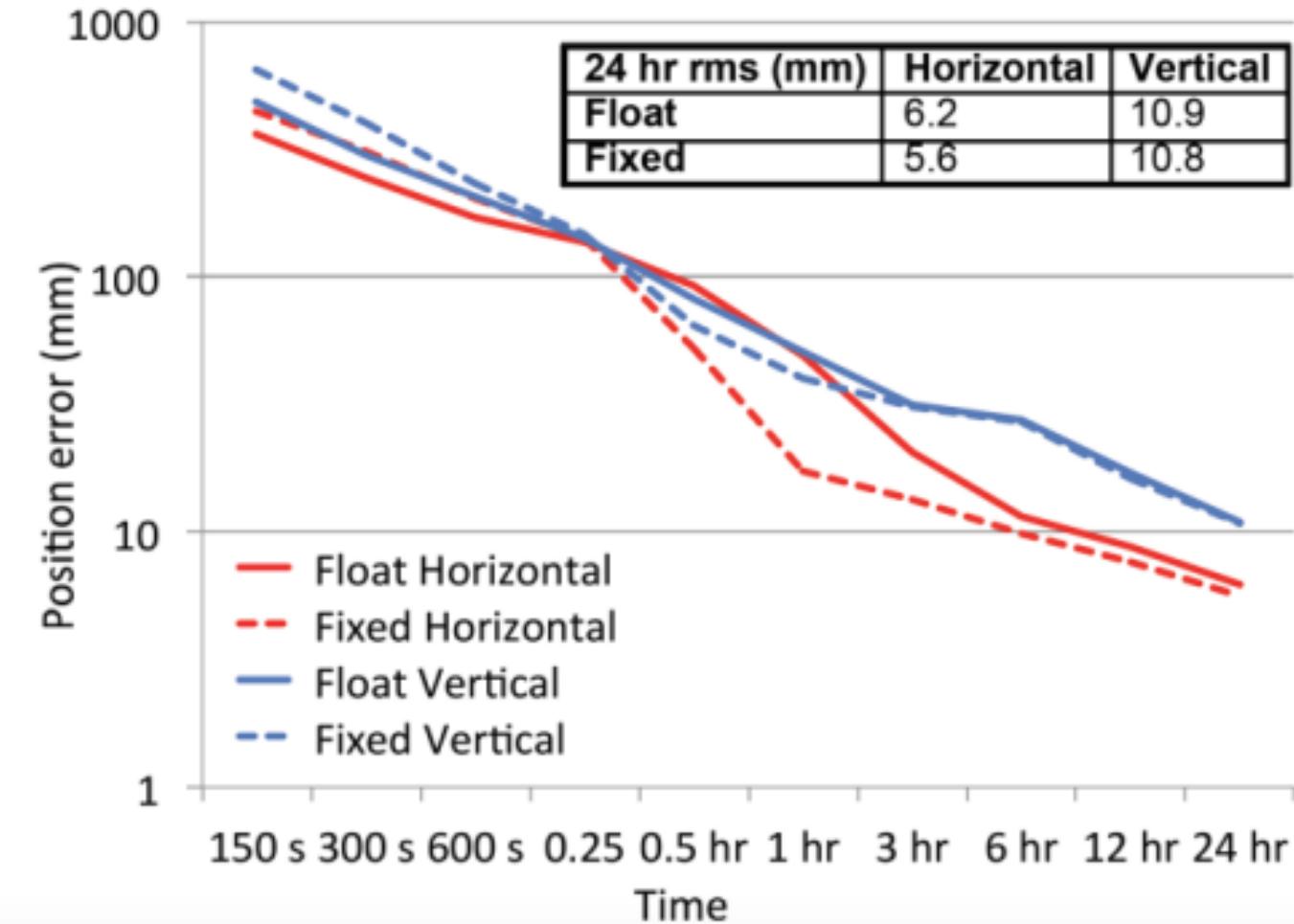
Convergence time: ~ **30 min**

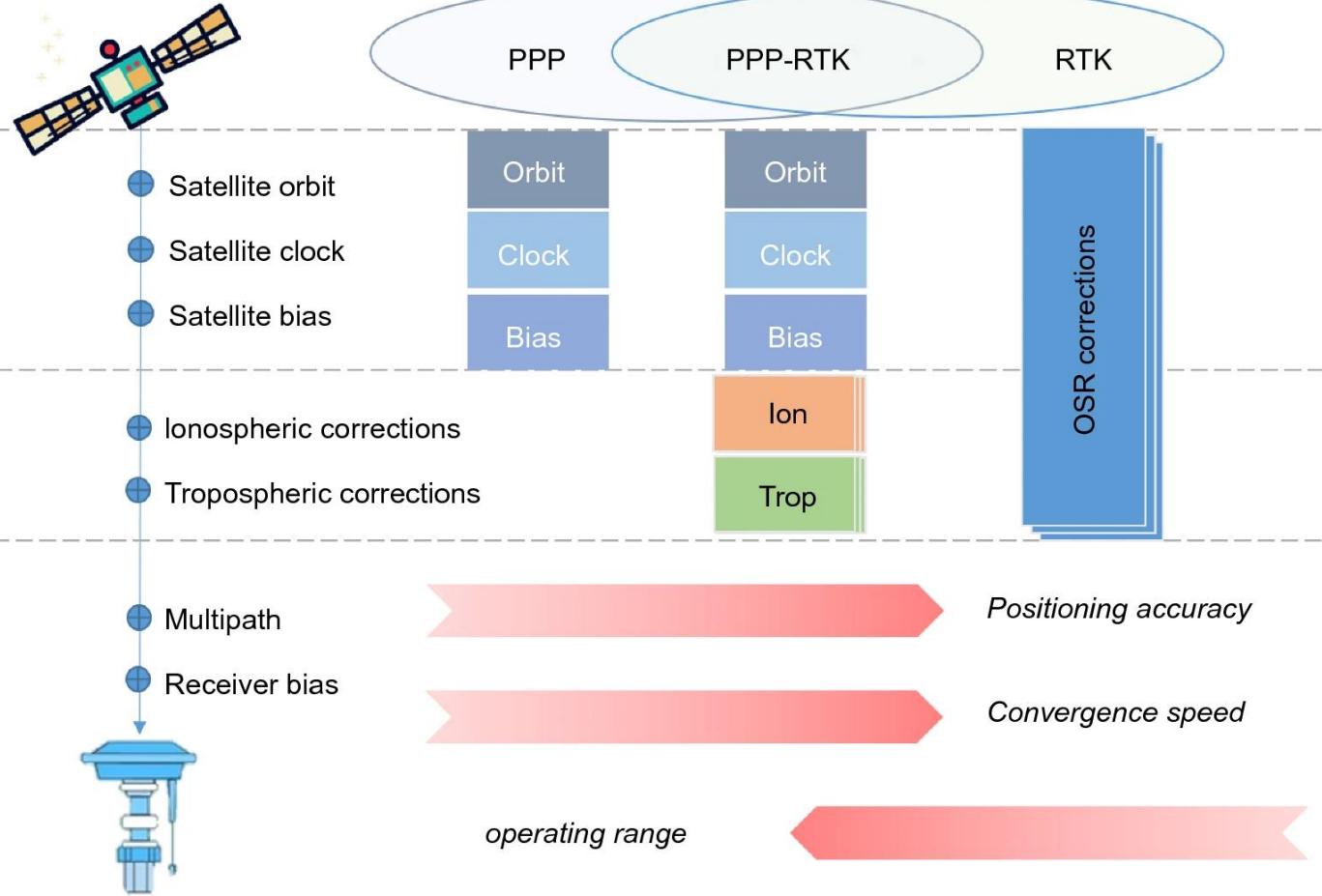
SSR-RTK (V3) – Fast convergence

Accuracy: **5 cm**

Algorithm: RTK using SSR methods

Convergence time: < **10 min[^]**



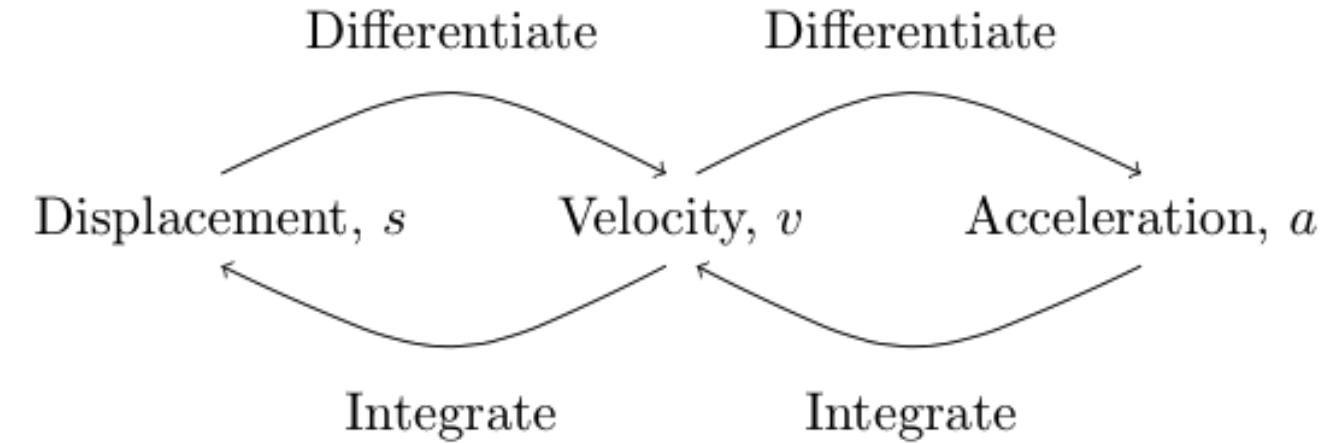
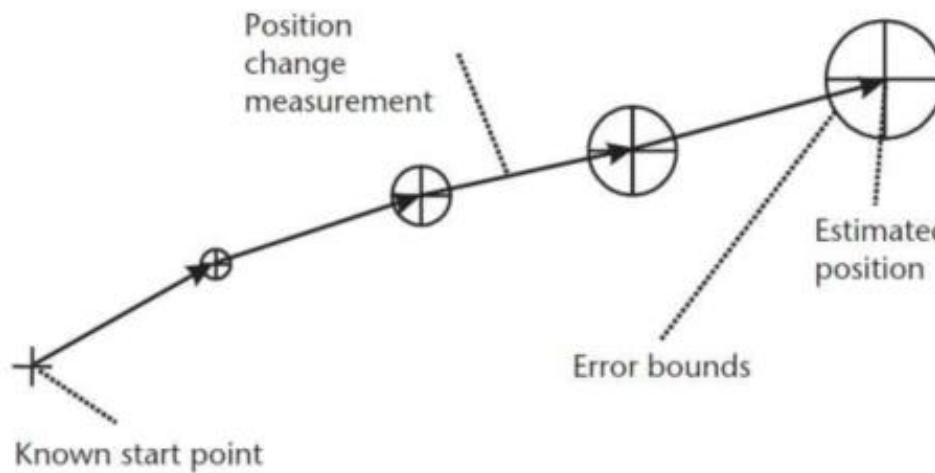


	RTK	RTK-PPP	PPP
Accuracy after initialization	~1 cm	2 - 8 cm	3 - 10 cm
Initialization time	Immediate	Fast (< 1 min)	Slow (~20 min)
Coverage	Local	Regional	Global
Bandwidth requirements	High	Moderate	Low
Infrastructure density	~10 km	~100 km	~1000 km

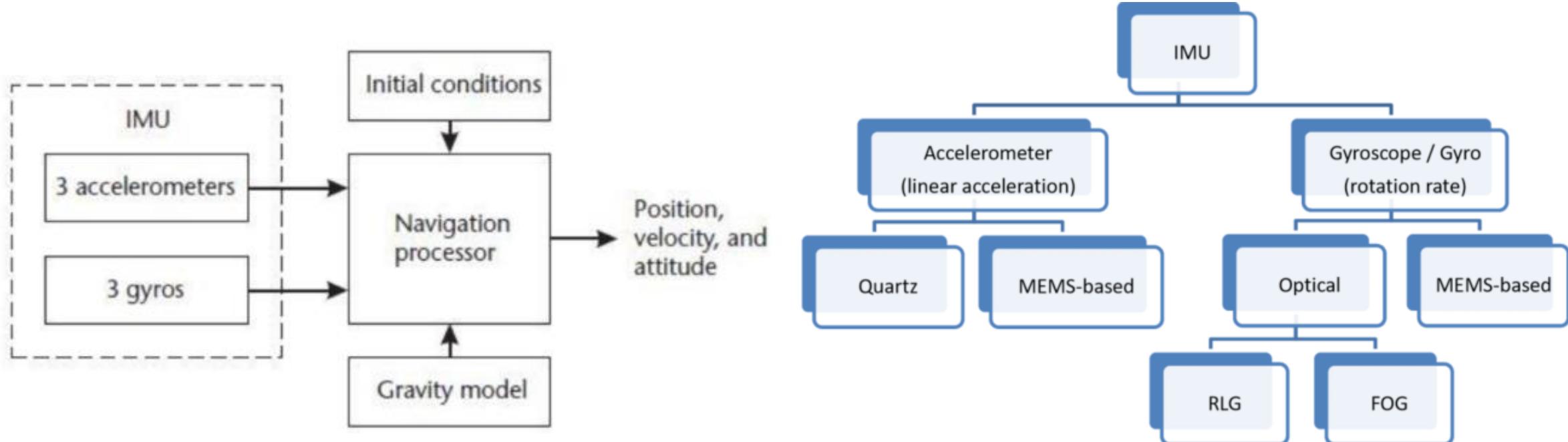
Corrections	PPP	PPP-AR	PPP-RTK
Orbit	✓	✓	✓
Clock	✓	✓	✓
Code bias	✓	✓	✓
Phase bias		✓	✓
STEC (ionospheric delay)			✓
Tropospheric delay			✓

ระบบการนำหน้าด้วยการวัดความเรื่อยเป็นการหาพิกัดปัจจุบันโดยอาศัยการวัดระยะสัมพัทธ์ออกจากพิกัดที่ทราบแล้วก่อนหน้าสะสมไปเรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพิกัดที่เป็นปัจจุบันในวิถีของการนำหน้าเราระบบเรียกว่า Dead Reckoning (DR) โดยตำแหน่งที่ได้จะมีค่าคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นตามระยะทาง

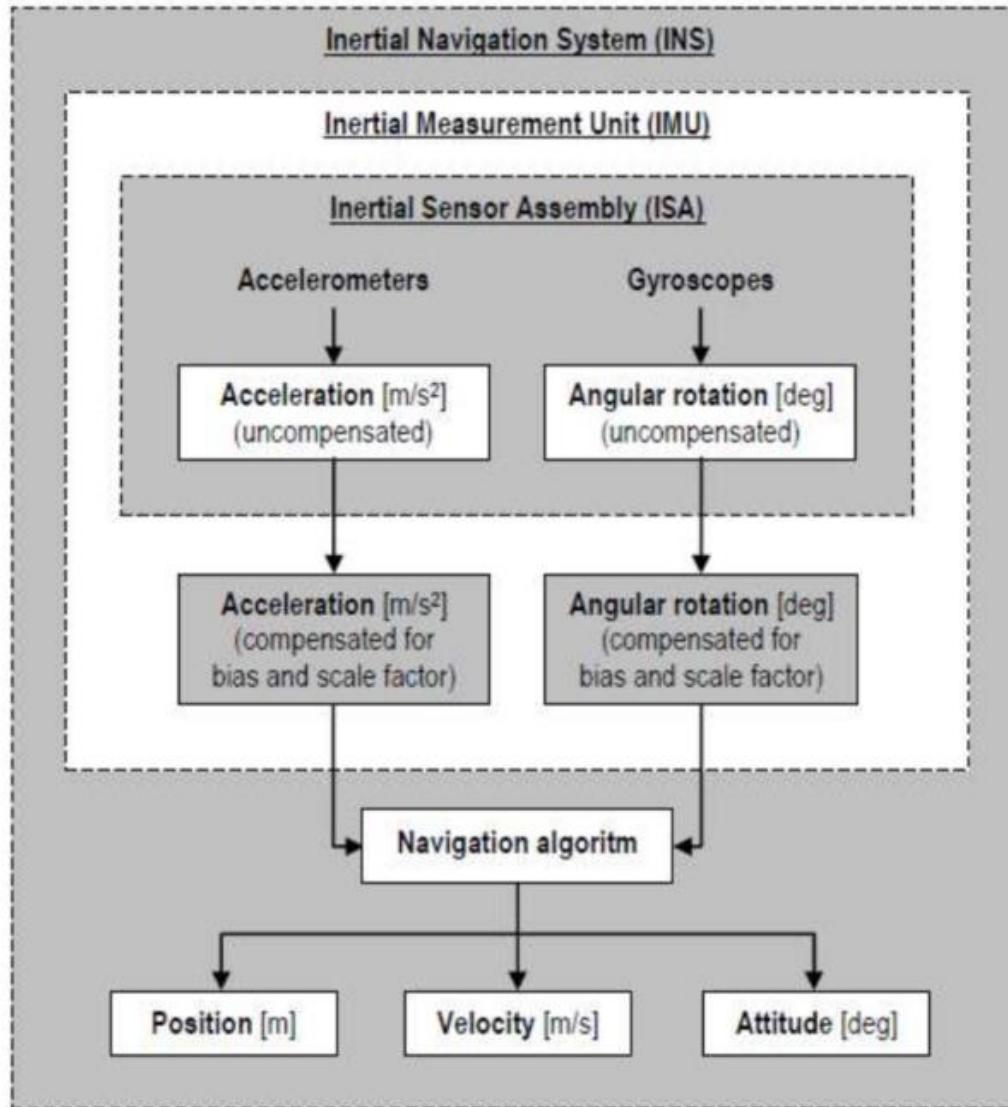
ระบบการนำหน้าด้วยการวัดความเรื่อยอาศัยหลักการวัดความเรื่อยที่เกิดจากการที่มวลสารเปลี่ยนแปลงสถานะตำแหน่งและความเร็ว ซึ่งจะเน้นย้ำทำให้เกิดความเร่ง ที่สามารถตรวจวัดได้ในรูปแบบของแรงเรื่อย (Inertia force) และเมื่อหาปัจจัยนุพันธ์ (Integral) ของความเร่ง (Acceleration) ก็จะได้ความเร็ว (Velocity) และการหาปัจจัยนุพันธ์ของความเร็วก็จะได้การกระจัด (Displacement) ซึ่งสามารถนำการกระจัดนี้ไปคำนวณตำแหน่งปัจจุบันได้จากการอ้างอิงตำแหน่งสะสมจากตำแหน่งก่อนหน้านี้



ระบบการนำหนนด้วยการวัดความเรื่อยประกอบด้วยหน่วยประมวลผล (Navigation processor) และอุปกรณ์ตรวจวัดความเรื่อย (Inertial Measurement Unit : IMU) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) 3 ตัว โดยวางตั้งฉากซึ่งกันและกัน และเครื่องวัดความเร่งเชิงมุม (Gyroscope) 3 ตัว โดยวางตัวในแนวเดียวกันกับเครื่องวัดความเร่ง หน่วยประมวลผลจะคำนวณหาตำแหน่ง ความเร็วและการวางแผนตัวของระบบจาก IMU โดยระบบ IMU จะมีบทบาทอย่างมากโดยเฉพาะการหาค่าการวางแผนตัว



RLG : Ring-Laser Gyro , FOG : Fiber-Optic Gyro



- INS คือ ระบบบูรณาการที่มีองค์ประกอบสำคัญ คือ คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์พร้อมอัลกอริทึม ในการให้ผลคำตอบของวิถีของพานะกล่าวคือ ตำแหน่ง ความเร็ว และมุมเอียง ณ เวลาใด ๆ
- IMU คือ หน่วยวัดที่บูรณาการเครื่องวัดอัตราเร่งเชิงเส้นและเครื่องวัดอัตราการหมุนหรือใจโรเข้าไว้ด้วยกัน พร้อมกับมีการคำนวณปรับชดเชยค่าที่วัดได้อย่างเป็นระบบแล้ว
- ISA คือ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ เครื่องวัดอัตราเร่งเชิงเส้นและเครื่องวัดอัตราการหมุนใจโรที่จะใช้ประกอบเข้าด้วยกัน และสำหรับการกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยวิธีตรงก็จะต้องมีครบทั้ง 6 ส่วนสำหรับการตรวจจับอัตราเร่งเชิงเส้นในแกนทั้ง 3 และอัตราการหมุนในแกนทั้ง 3

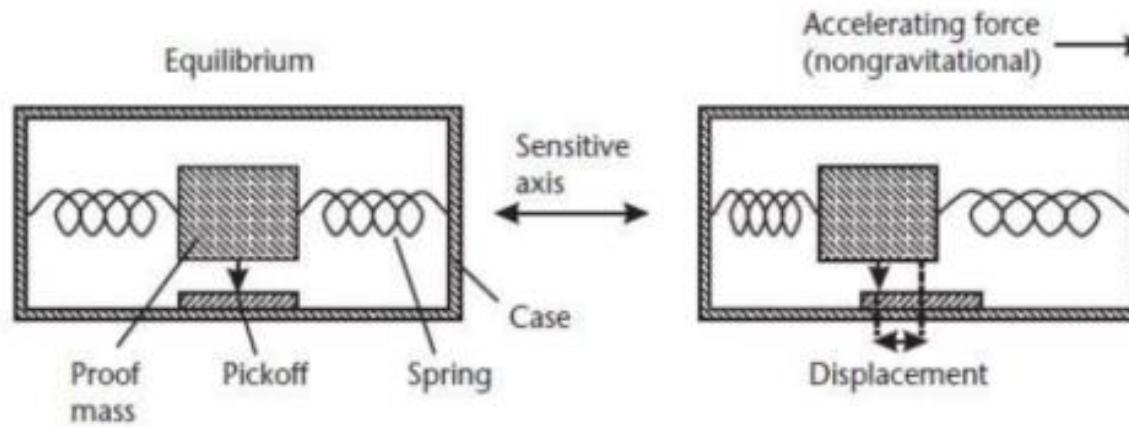
ระบบ IMU มีหลายชนิด ซึ่งในแต่ละประเภทจะส่งผลต่อความละเอียดความถูกต้อง ขนาด ราคา และการนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยสำหรับการทำงานระบบแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ได้ จะจะเลือกใช้อุปกรณ์ IMU ชนิด Navigation และ Tactical เพื่อได้ผลคำตอบของวิถีที่ละเอียดและถูกต้อง และมีความน่าเชื่อสำหรับเชื่อมโยงไปยังเซ็นเซอร์รังวัดเพื่อทำแผนที่และภูมิสารสนเทศ

Performance \ Grade	Strategic	Navigation	Tactical	Automotive	Consumer
Stand alone position errors	< 30 (m/hr)	1 – 4 (km/hr)	20 – 40 (km/hr)	2 (km/min)	3 (km/min)
Gyroscope	Bias [deg/hr]	0.0001 - -	0.005 – 0.010 0.003* ¹ / 0.01* ² 5 – 50	0.1 – 10 1* ³ 200 – 500	> 100 1040* ⁴ N/A
	Scale factor [ppm]	- -	1* ¹ / 5* ² 1* ³	150* ³	10000* ⁴
	Noise (ARW) [deg/hr/√Hz]	- -	0.002 – 0.005 -	0.2 – 0.5 0.125* ³	N/A 227* ⁴
Accelerometer	Bias [µg]	1 - -	50 – 500 250* ¹ / 500* ²	500 – 1000 1000* ³	> 1200 2500* ⁴
	Scale factor [ppm]	- -	10 – 20 50* ¹ / 50* ²	400 – 1000 300* ³	N/A 10000* ⁴
	Noise [µg /hr/√Hz]	- -	5 – 10 -	200 – 400 216* ³	N/A 370* ⁴
Approximately price	> 200000 US \$	50000 – 200000 US \$	10000 – 50000 US \$	< 10000 US \$	< 100 US \$
Applications	Ballistics missiles and submarines	Navigation and high precision georeferencing	INS/GPS and short time system (weapons)	Short time systems	Airbags

เครื่องวัดความเร่งเชิงเส้น (Linear Accelerometer)

เครื่องวัดความเร่งเชิงเส้นพัฒนาบนพื้นฐานของการจับการเคลื่อนไหวของมวลทดสอบ (Proof mass) มวลทดสอบจะถูกยึดกับอุปกรณ์ด้วยสปริงทั้งสองข้างให้มีความอิสระหากมีแรงกระทำในแนวใด ๆ ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลทดสอบ จะมีการออกแบบกลไกแม่เหล็กไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ตรวจจับการเคลื่อนที่เรียกว่า pick-off

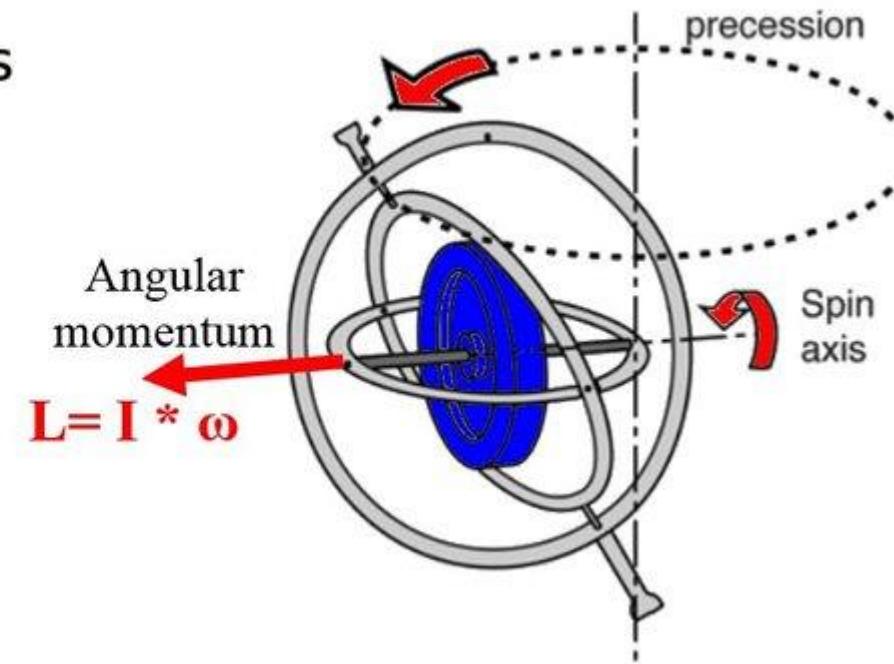
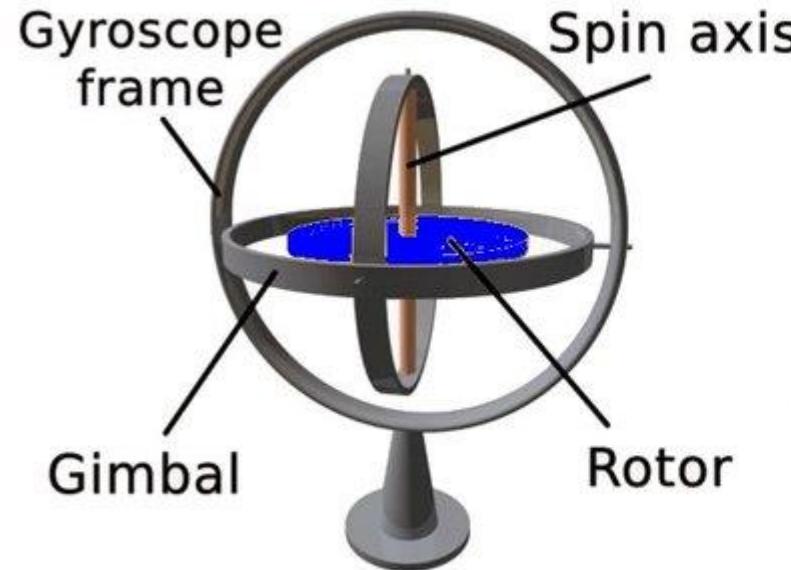
การวัดความเร่งเชิงเส้นจะใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของพานะในรูปความเร่ง \vec{a} ในกรณีมีแรงดึงดูดโลกเข้ามาเกี่ยวข้องจะทำให้เกิดความเร่ง \vec{g} ในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางโลกเรียกว่า Gravitation acceleration ดังนั้นค่าความเร่งจริงของพานะ \vec{f} จะต้องนำลบด้วยความเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก \vec{g} เสียก่อนจึงจะได้ความเร่งของพานะ \vec{a} เพราะฉะนั้นในการวัดความเร่ง จะต้องคำนึงถึงการ引力ภาพของโลกและกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ในทางฟิสิกส์



$$\vec{a} = \vec{f} - \vec{g}$$

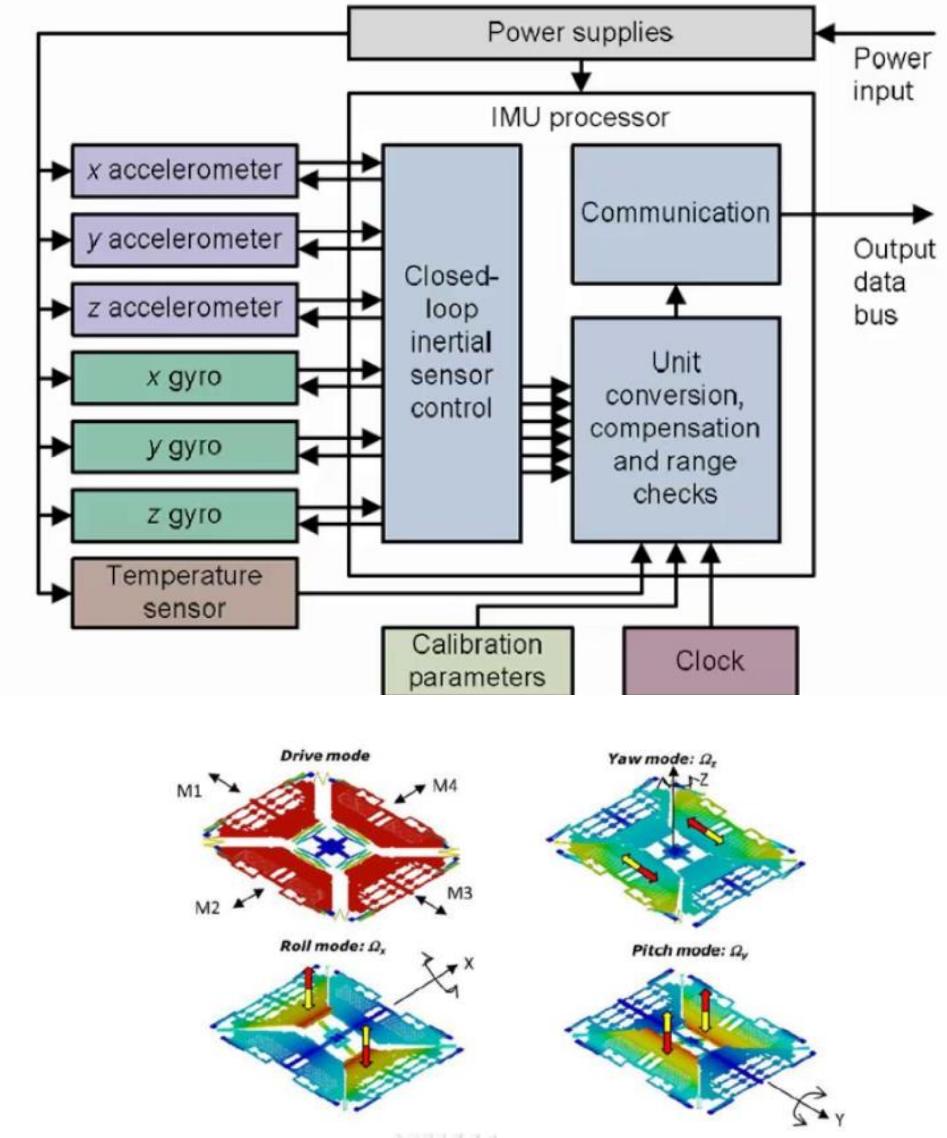
เครื่องวัดความเร่งเชิงมุ่ง (Gyroscope)

เครื่องวัดความเร่งเชิงมุ่งเรียกว่า ไจโรสโคป (Gyroscope) หรือ ไจโร (Gyro) ใช้ในการตรวจสอบจับการเปลี่ยนแปลงการหมุนของวัตถุที่พยายามอนุรักษ์โมเมนต์การหมุนไว้หากไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ระบบของเครื่องวัดความเร่งเชิงมุ่งดังเดิมนี้ได้จากการใช้มวลหมุนที่เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ติดตั้งบนแกนยึดบนฐานของอุปกรณ์ (Gyroscope frame) โดยที่มวลทดสอบอยู่กับแกนหมุน (Spin axis) เมื่อวัดทอร์กที่ใช้ในการคงสภาพไจโรไว้ก็จะสามารถคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุ่งที่ยึดกับแกนหมุนได้



อุปกรณ์ตรวจวัดความเรื่อยชนิดเมมส์ (MEMS IMU)

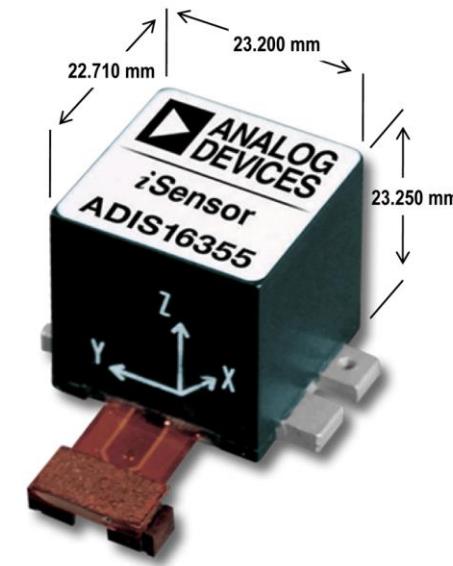
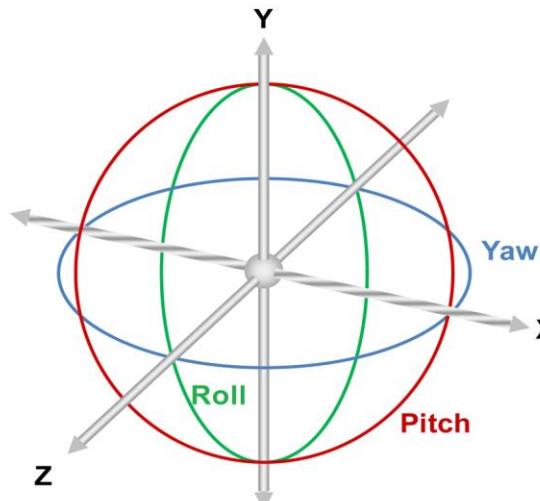
อุปกรณ์ตรวจวัดความเรื่อยชนิดเมมส์ (Micro-Electro-Mechanical System) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความเรื่อยที่พัฒนาขึ้นล่าสุดให้มีขนาดที่เล็กลง น้ำหนักเบา และมีราคาที่ถูกลง มีการนำเทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ โดย ส่วนของอุปกรณ์วัดความเร่งประกอบด้วยมวลทดสอบซึ่งติดตั้งอยู่ตระหง琅 ระหว่างอิเล็กโทรด ส่องตัวที่ทำจากซิลิโคน การเคลื่อนที่ของมวลทดสอบจะทำให้ ความจุไฟฟ้าเปลี่ยน ซึ่งทำให้สามารถวัดขนาดของแรงที่ทำให้มวลทดสอบเกิดการ กระจัดได้ หรืออีกกระบวนการหนึ่งคือการวัดแรงที่ใช้ในการรักษามวลทดสอบ ไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ ในส่วนของอุปกรณ์วัดความเร่งเชิงมุมจะประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นด้วยอัตราคang ที่ ซึ่งควบคุมด้วยมอเตอร์ที่รักษาสภาพการ สั่นไว้ หากมีแรง Coriolis ที่ทำให้เกิดการหมุนที่อยู่นอกแกนของการสั่น ก็จะ นำมาคำนวณความเร่งเชิงมุมได้ โดยในภาพกว้างอุปกรณ์นี้ถูกผลิตขึ้นมารองรับ อุตสาหกรรมรถยนต์และอุปกรณ์มือถือ เช่น โทรศัพท์มือถือที่ตรวจการวางแผนตัวของ จราจารได้ อุปกรณ์พกพาที่ประยุกต์ใช้บวกทิศทางและระดับ



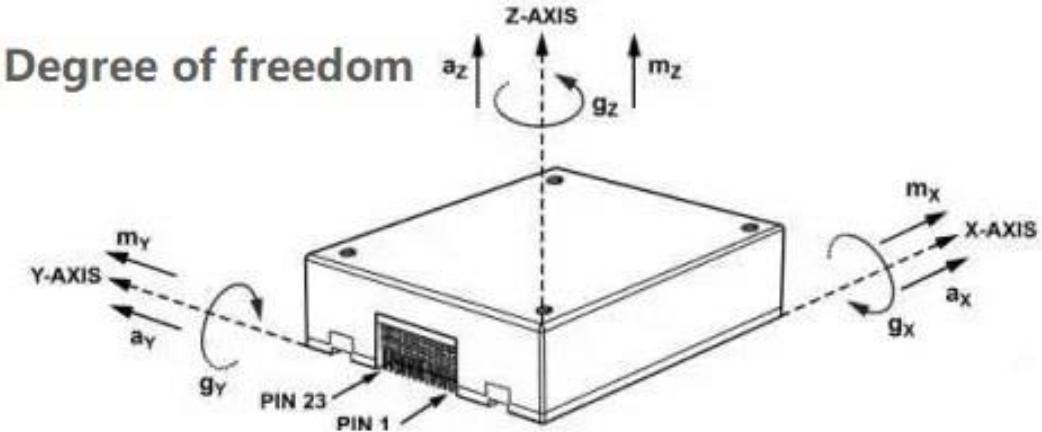
สำหรับเครื่องวัดความเร่งที่สามารถครอบคลุมการวัดอัตราเร่งเชิงเส้น 3 แกน และอัตราเร่งเชิงมุมอีก 3 แกน เรียกว่า การตรวจวัดความอิสระ 6 อย่าง (6-degree of freedom : 6DoF) ดังนั้นจึงเรียกที่ตรวจวัดอัตราเร่งได้ทั้ง 6 มิติว่า “6-DoF-IMU”

ADIS16355 6-Degrees of Freedom (6-DoF)

Inertial Measurement Unit (IMU) in Less than 0.75 Cubic Inch



◆ DOF = Degree of freedom



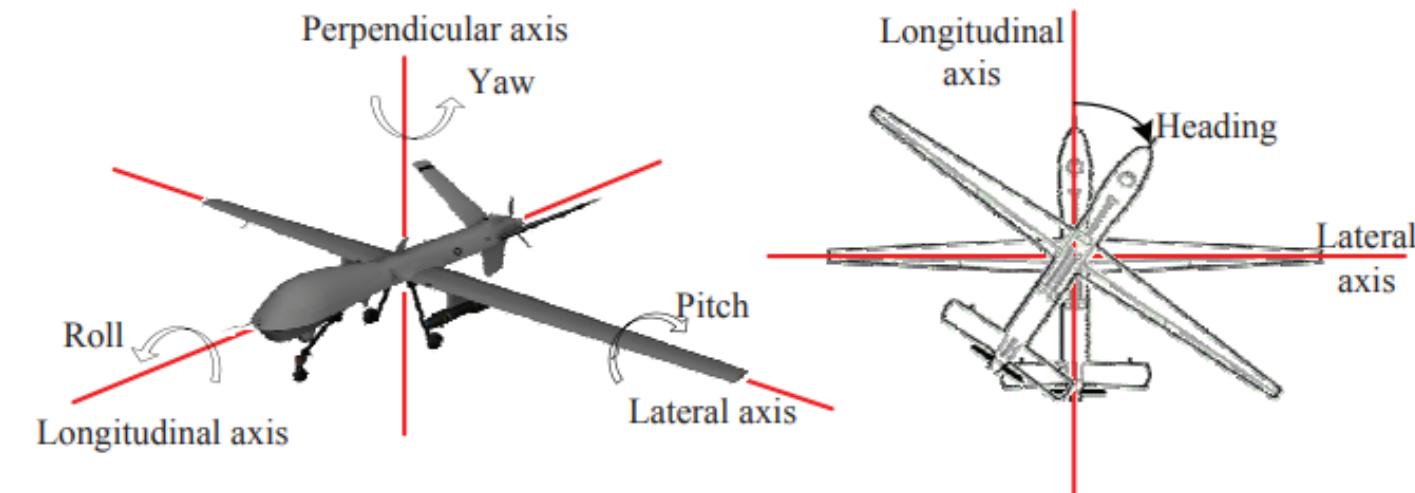
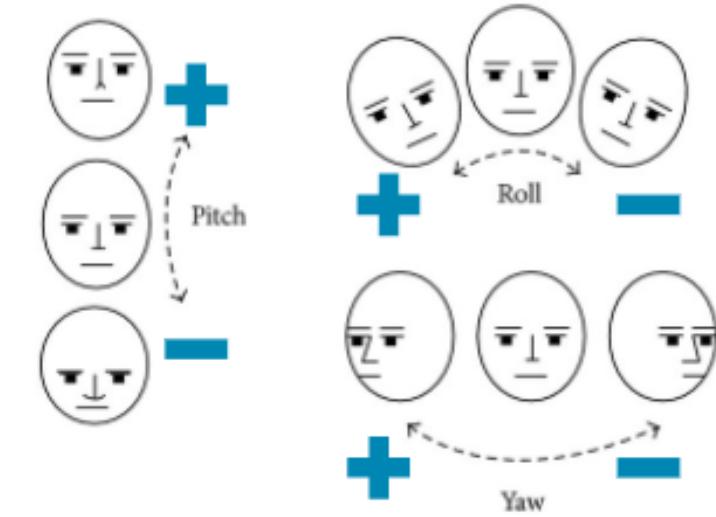
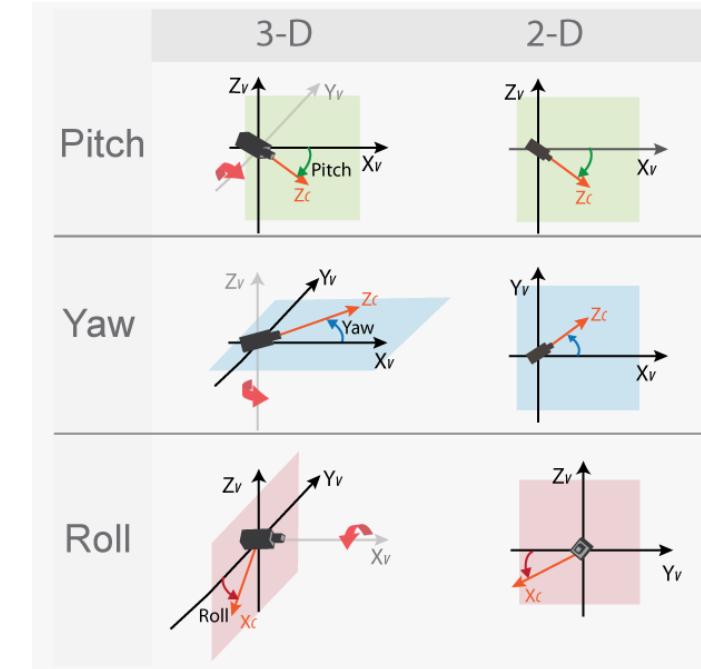
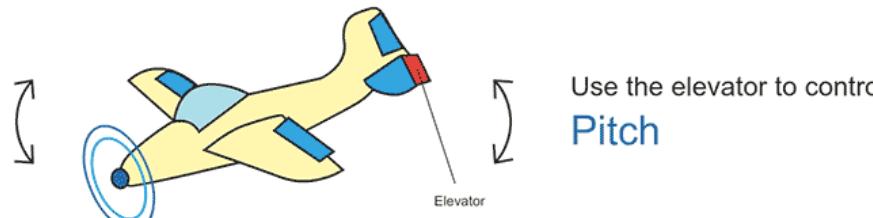
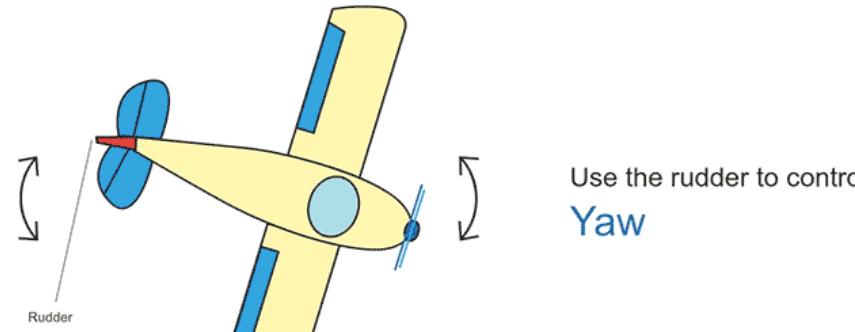
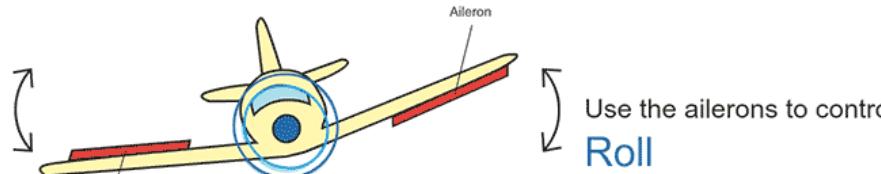
- ◆ 3-axis accelerometer (linear)
- ◆ 3-axis gyroscope (rotation rate)
- ◆ 3-axis magnetometer (magnetic field)
- ◆ Barometer (altitude)

9DOF

6DOF

10DOF

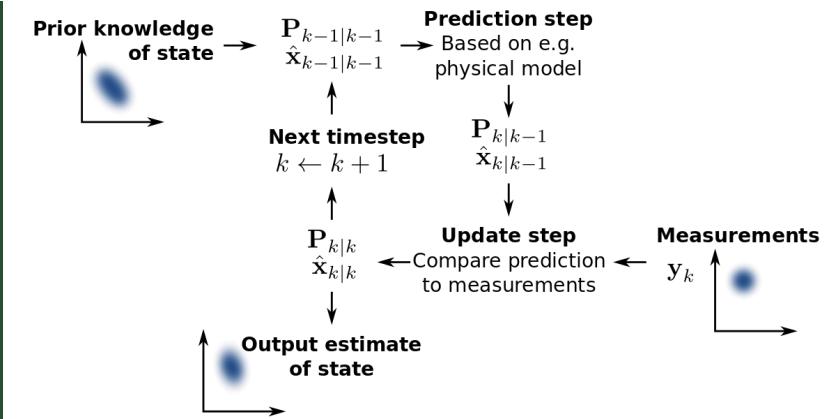
Roll - Pitch - Yaw/Heading



อุปกรณ์วัดรอบและอัตราเร่งของล้อรถยนต์เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเข้ากับระบบล้อรถยนต์ เพื่อตรวจนับรอบรถยนต์จากการหมุนของล้อ DMI มีรูปแบบการติดตั้งภายนอก (External DMI) และติดตั้งกับโครงสร้างระบบขับล้อภายใน (Internal Rim DMI) ของรถยนต์ เมื่อติดตั้งแล้วจะมีการวัดสอบ (Calibration) ด้วยระยะทางที่ทราบระยะแน่นอน จากนั้นนำค่าจำนวนพัลส์ (Pulse) ไปหารด้วยระยะทางที่รังวัดได้ ก็จะได้ค่าพัลส์ต่อระยะทาง ระหว่างวิ่งรถยนต์นั้น ระบบจะมีข้อมูลการกระแส ซึ่งจะนำมาเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในระบบนำทาง



การบูรณาการจีเอ็นເଓສເଓສ/ໄອເວັມຢູ່ (GNSS/IMU)

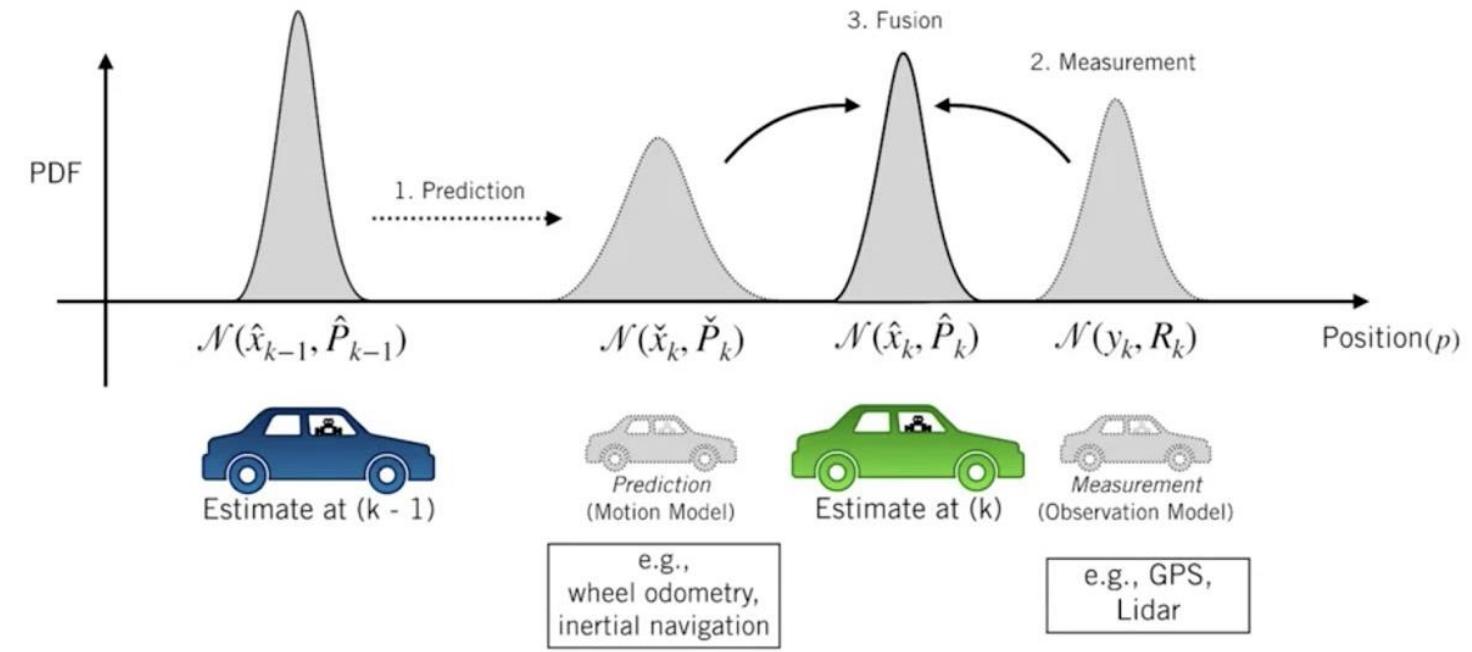
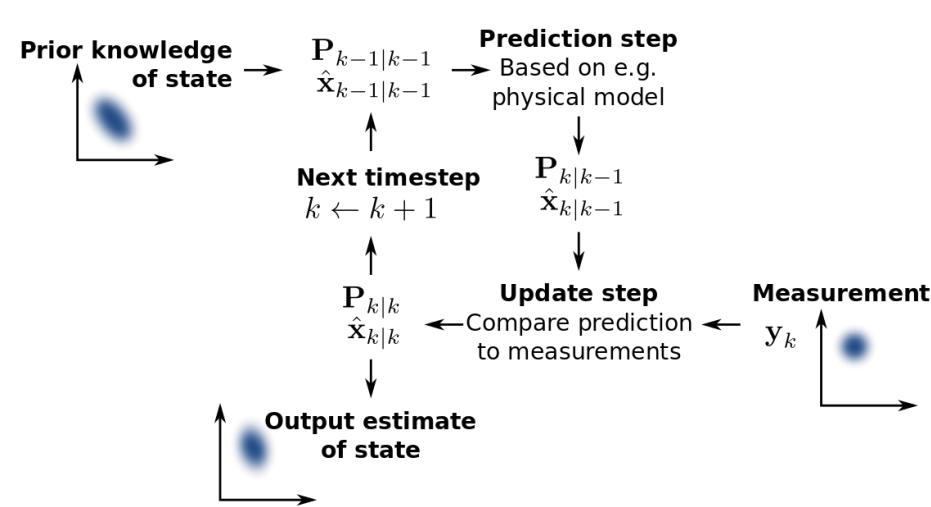


การประมวลผลຈີເວັນເອສເອສແລະໄວເວັມຍູຈະໃຫ້ຜົດການກຳທັນດຳແໜ່ງບນໂລກດ້ວຍວິທີຕຽບມີຄວາມລະເອີຍດົກຕ້ອງສູງແລະນໍາເຂົ້າເຄື່ອ ດ້ວຍເຫດຜົດທີ່ຮບບທີ່ສອງເວຼືອປະໂຍ່ນຕ່ອກັນ ແລະມີກາຣືດເຊຍໝຶກກັນແລະກັນ

ຄຸນລັກຂະນະ	GNSS	IMU
การຮັງວັດຮັບສ້າງສູງພາຍນອກ	ຮັບສ້າງສູງພາຍເຫັນ ແຕ່ມີມີກາຣັບທັງບໍ່ຂອງຮັບການສ້າງສູງພາຍ ທຳໄໝໄດ້ມີສາມາດຮັບສ້າງສູງໄດ້ ເຊັ່ນ ໃນເມືອງມືຕິກສູງ ສິ່ງປຸກສ່າງ ອີເມວີພື້ນບົດບັນ	ອີສະຮະ ເນື້ອຈີເວັນເອສເອສຮັບສ້າງສູງພາຍໄມ່ໄດ້ຈະຍັງຄົງໃຫ້ ຕຳແໜ່ງໄດ້ ໃນເວລາສັ້ນຫາກເວລາຜ່ານໄປມາກື້ນຄວາມຜິດພາດຈະສະສົມ (Drifting)
ຄວາມຄື່ອງຄ່າພິກັດແລະກາຣວາງຕ້ວ	ໃຫ້ຄ່າພິກັດເປັນຈຸດຕ່ອນເນື່ອງດ້ວຍຄວາມຄື່ 1 Hz – 100 Hz	ໃຫ້ຄ່າພິກັດເປັນຈຸດຕ່ອນເນື່ອງດ້ວຍຄວາມຄື່ສູງກວ່າມາກຄື່ 200 Hz – 400 Hz
ຄວາມລະເອີຍດົກຕ້ອງ	ມີຄວາມລະເອີຍດົກຕ້ອງສູງສັນບູຮົນ (Absolute) ບນໂລກຕລອດເວລາ	ມີຄວາມລະເອີຍດົກຕ້ອງສູງໜິດສັນພົທົງ (Relative) ແລະ ຄວາມລະເອີຍດົກຕ້ອງປັບປຸງແປ່ງປະຕາມເວລາ acceleration bias ແລະ angular bias
ກາຣວາງຕ້ວ	ໃຫ້ໄດ້ແຕ່ໄມ່ຄ່ອຍດີ ຕ້ອງຄໍານວນຈາກວິທີຫີ່ວ່າໃໝ່ເສາອາກາຈີເວັນເອສເອສ 2 ປື້ນ 3 ເສາທຳນານຮົມກັນ	ສາມາດວິເຄາະໜີ້ຈາກອັດຕະການຮູນ
ກາຣໃຫ້ຄ່າພິກັດ	ຄ່າພິກັດສັນບູຮົນ	ຄ່າພິກັດສັນພົທົງຈາກກາຣຄໍານວນກ່ອນໜັນໜີ້ (Dead reckoning)

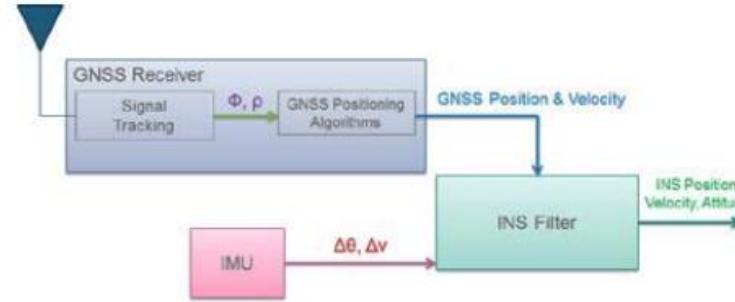
การผนวกร่วม GNSS/IMU จะพิจารณาระบบเป็นระบบที่เคลื่อนที่ซึ่งในทางกลศาสตร์พลศาสตร์มีทฤษฎีตัวกรองคอลแมน (Kalman filter) รองรับ โดยจะประกอบไปด้วยสองกระบวนการหลัก คือ

- 1) ขั้นตอนการทำนาย (Prediction step) คือ การทำนายค่าของข้อมูลที่ควรจะเป็นจากสถานะที่จะจำไว้
- 2) ขั้นตอนอัพเดตสถานะ (Update step) คือ การปรับปรุงสถานะภายโน้มเดลเมื่อมีข้อมูลวัดมาได้ใหม่โดยจะนำไปเทียบกับค่าที่ทำนายได้



การบูรณาการ GNSS/IMU สามารถทำได้ในหลายระดับ ขึ้นอยู่กับความต้องการของความละเอียดความถูกต้องและความยากง่ายของอัลกอริทึมที่เลือกใช้ในการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์

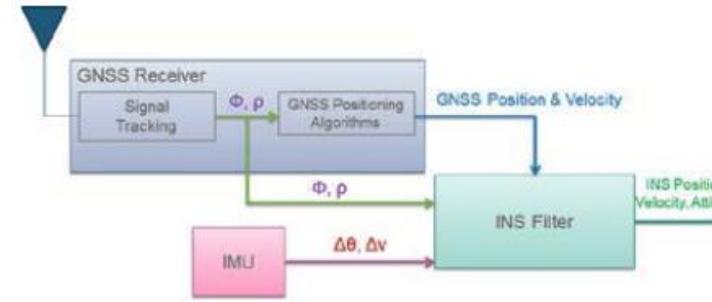
Integration Architecture



Loose Coupling

GNSS Position used to aid or couple with the INS

Requires GNSS to compute a position & QC metrics for use in combined solution.

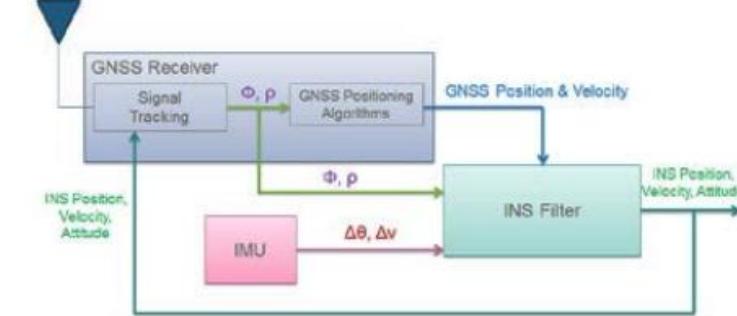


Tight Coupling

Raw GNSS observations used to aid/couple with INS

Full access to low level quality metrics with perfect timing

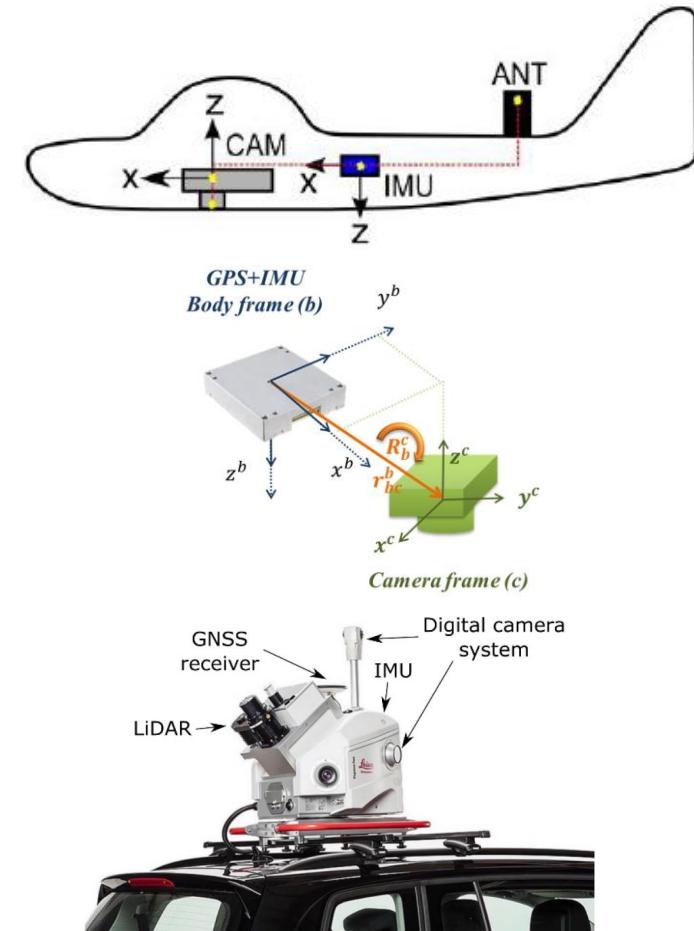
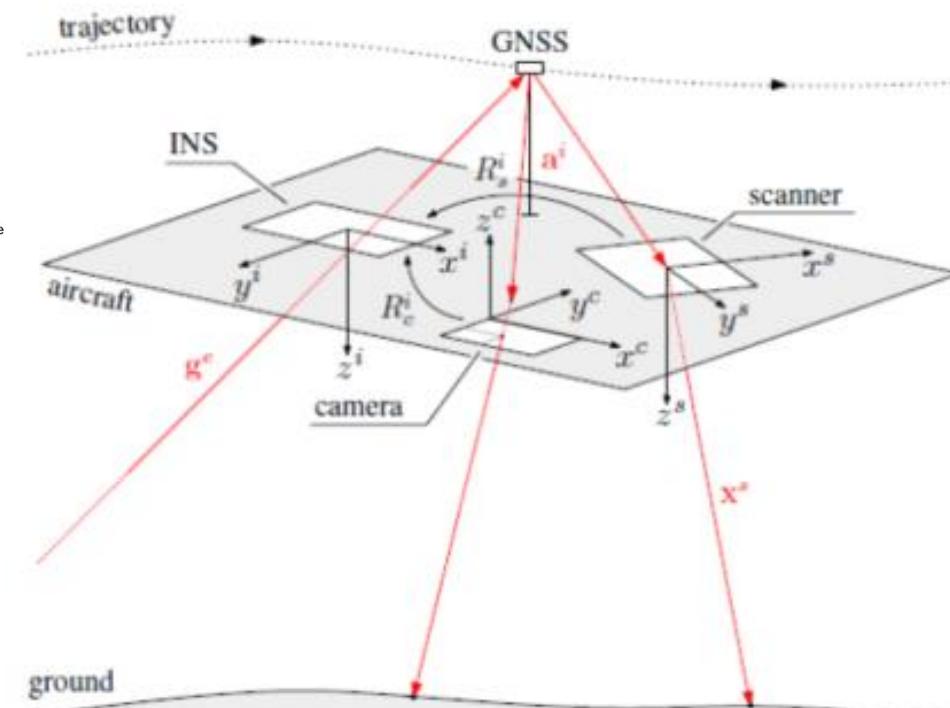
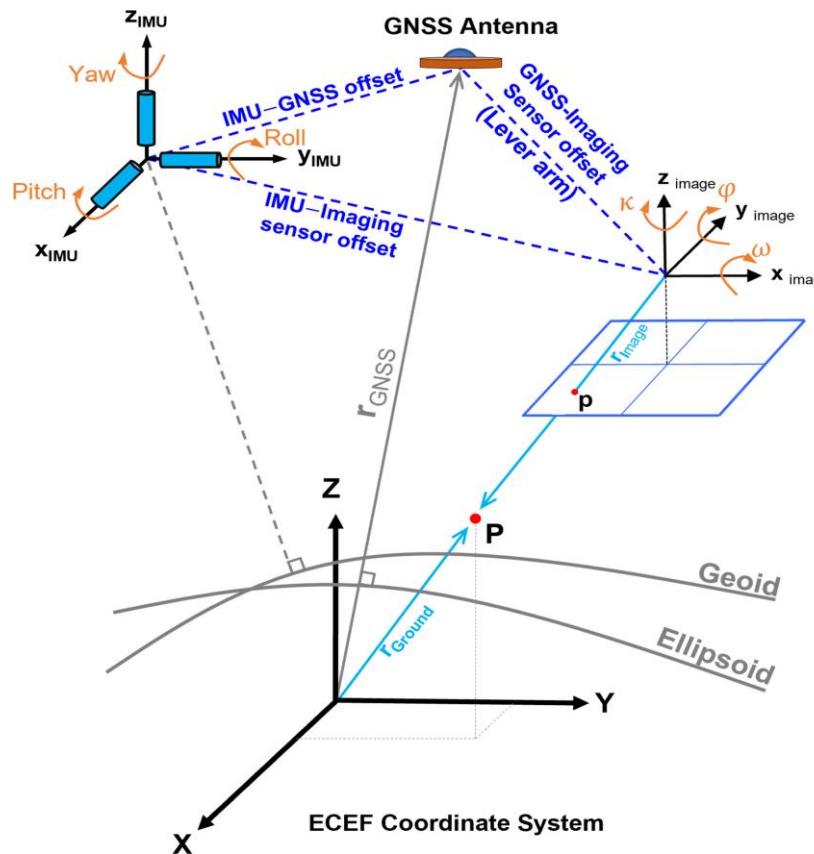
Less impacted by the degradation of GNSS as the combined solution is not dependent on computed position



Deep Coupling

Information from the INS filter used to aid GNSS tracking and/or GNSS solution acquisition

เมื่อทราบตำแหน่งของตัวแทนของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยวิธีตรงในที่ผ่านคือ ศูนย์กลางของ IMU และในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการรังวัดทำแผนที่ จะต้องมีการหาความสัมพันธ์จากไอเอ็มยูไปยังเซนเซอร์สำหรับการรังวัดไปยังวัตถุต่อไป โดยทั่วไปเซนเซอร์ในการรังวัดจะติดตั้งอยู่บน Platform เดียวกัน ได้แก่ กล้องถ่ายภาพทางอากาศ กล้องถ่ายภาพดาวเทียม ระบบกล้องเนียง ระบบเลเซอร์สแกนทางอากาศ ระบบเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน เป็นต้น



ความแม่นยำของการรังวัดมุม Pitch/Roll (องศา)	ราคา (บาท)
$\pm 1 - 1/10$	300,000
$\pm 1/100$	700,000
$\pm 1/1000$	1,500,000



Ellipse Micro



Ellipse Series



Ekinox Series



Apogee Series

Roll/Pitch	0.1°	0.1°	0.02° (RTK)	0.008° (RTK)
Heading	Magnetic or GNSS	Magnetic or GNSS	GNSS based	GNSS based
Position	With External GNSS	Meter or Centimeter-level	Centimeter-level	Centimeter-level

ในเซนเซอร์ GNSS/IMU จะมีรายละเอียดคุณลักษณะของข้อมูลที่อธิบายประสิทธิภาพและความแม่นย้ำความถูกต้อง โดยสำหรับการทำงานรังวัดแผนที่ หัวข้อในส่วนของ GNSS Outages (ความถูกต้องของข้อมูลในห่วงเวลาที่ขาดรับสัญญาณไม่ได้) เป็นส่วนที่สำคัญในการตีความความถูกต้องให้กับข้อมูลที่ได้มาจากการรังวัดด้วยเซนเซอร์นั้น ซึ่งจะบอกถึงความคลาดเคลื่อนหรือความถูกต้องทางตำแหน่ง ความเร็ว และมุมเอียง

ตัวอย่าง

OEM-IMU-HG4930

Small, affordable MEMS IMU combines with SPAN GNSS+INS technology from Hexagon | NovAtel to provide 3D position, velocity and attitude



Performance During GNSS Outages⁷

Outage Duration	Positioning Mode	Position Accuracy (M) RMS		Velocity Accuracy (M/S) RMS		Attitude Accuracy (Degrees) RMS		
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Roll	Pitch	Heading
0 s	RTK*	0.02	0.03	0.015	0.010	0.010	0.010	0.030
	PPP	0.06	0.15					
	SP	1.00	0.60					
	Post-Processed ^a	0.01	0.02					
10 s	RTK*	0.12	0.08	0.035	0.020	0.018	0.018	0.040
	PPP	0.16	0.20					
	SP	1.10	0.65					
	Post-Processed ^a	0.01	0.02					
60 s	RTK*	3.82	0.73	0.165	0.030	0.030	0.030	0.055
	PPP	3.86	0.85					
	SP	4.80	1.30					
	Post-Processed ^a	0.11	0.05					

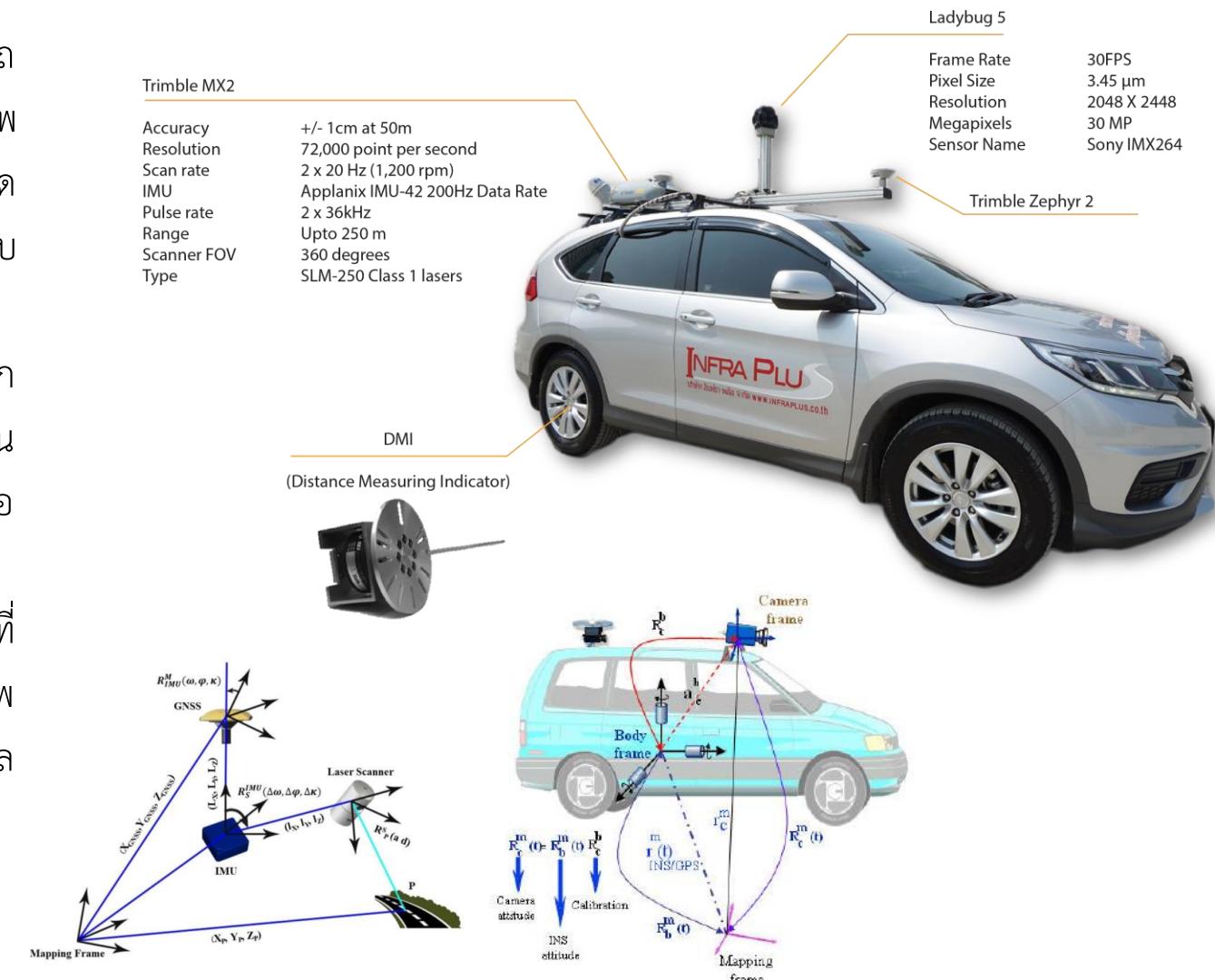
ระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่ (Mobile Mapping System : MMS)



ระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่ (Mobile Mapping System : MMS)

ระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่เป็นระบบการทำแผนที่ที่อาศัยการนำเครื่องมือสำรวจติดตั้งบนพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ได้ โดยมีส่วนประกอบสำคัญคือ

- 1) ตัวรับรู้ (Sensor) โดยภายในระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่สามารถแบ่งแยกออกเป็นเซนเซอร์ภาพ [กล้องถ่ายภาพนิ่ง, กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว, เลเซอร์สแกนเนอร์] และเซนเซอร์สำหรับกำหนดตำแหน่ง [ระบบนำหน้าด้วยการวัดความเร็ว (INS) อุปกรณ์วัดรอบและอัตราเร่งของล้อรถยนต์ (DMI)]
- 2) พาหนะในระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่คือ สิ่งที่สามารถบรรทุกอุปกรณ์และพาไปยังพื้นที่ที่ต้องการเก็บข้อมูลได้ จึงหมายถึง คนอาชญาณต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องบิน โดรน รถจักรยาน รถยนต์ เรือ แต่โดยส่วนมากจะหมายถึง รถยนต์เป็นหลัก
- 3) ระบบประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูล ได้แก่ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจัดการควบคุมอุปกรณ์ ประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลภาพรวมไปถึงข้อมูลทางตำแหน่ง การเชื่อมโยงข้อมูลภาพและข้อมูลตำแหน่งให้สอดคล้องสัมพันธ์กัน



Review

A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications

Mostafa Elhashash^{1,2}, Hessah Albanwan^{1,3} and Rongjun Qin^{1,2,3,4,*}

Received: 28 April 2022

Accepted: 31 May 2022

Published: 2 June 2022

Positioning sensor overview

Sensor	Description	Benefits	Limitations
GNSS receiver	The signals from orbiting satellites are utilized by the GNSS receiver to compute the position, velocity, and elevation. Some examples include GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou.	<ul style="list-style-type: none"> No/less accumulation of errors due to its dependence on external signals. Data collected under a global reference coordinate system (e.g., WGS84). 	<ul style="list-style-type: none"> Signal inaccessible in complex urban regions e.g., tall buildings, trees, tunnels, indoor environments, etc. Requires post-processing using DGPS and RTK-GPS to minimize errors from receiver's noise, pseudo-range, carrier phase, doppler shifts, atmospheric delays, etc.
IMU	IMU is an egocentric sensor that records the relative position of the orientation and directional acceleration of the host platform.	<ul style="list-style-type: none"> Capable of navigating in all environments, such as indoors, outdoors, tunnels, caves, etc. A necessary supplemental data source for urban environments where GPS is unstable. 	<ul style="list-style-type: none"> Requires consistent calibration and a reference to avoid drift from the true position. Limited to short-range navigation.
DMI	A supplementary positioning sensor measures the traveled distance of the platform, i.e., information derived from a speedometer.	<ul style="list-style-type: none"> A supplemental sensor to provide additional data points to alleviate accumulation errors of IMU sensors. 	<ul style="list-style-type: none"> Requires calibration and provides only distance information (1 degree of freedom).

Review

A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications

Mostafa Elhashash^{1,2}, Hessah Albanwan^{1,3} and Rongjun Qin^{1,2,3,4,*}

Received: 28 April 2022

Accepted: 31 May 2022

Published: 2 June 2022

Specification of different LIDAR sensors

Company	Model	Range (m)	Range Accuracy (cm)	Number of Beams	Horizontal FoV (°)	Vertical FoV (°)	Horizontal Resolution (°)	Vertical Resolution (°)	Points Per Second	Refresh Rate (Hz)
RIGEL	VQ-250	1.5–500	0.1	—	360	—	—	—	300,000	—
	VQ-450	1.5–800	0.8	—	360	—	—	—	550,000	—
Trimble	MX50 laser scanner	0.6–80	0.2	—	360	—	—	—	960,000	—
	MX9 laser scanner	1.2–420	0.5	—	360	—	—	—	1,000,000	—
Rotating	HDL-64E	120	±2	64	360	26.9	0.08 to 0.35	0.4	1,300,000	5 to 20
	HDL-32E	100	±2	32	360	41.33	0.08 to 0.33	1.33	695,000	5 to 20
	Puck	100	±3	16	360	30	0.1 to 0.4	2.0	300,000	5 to 20
	Puck LITE	100	±3	16	360	30	0.1 to 0.4	2.0	300,000	5 to 20
	Puck Hi-Res	100	±3	16	360	20	0.1 to 0.4	1.33	300,000	5 to 20
	Puck 32MR	120	±3	32	360	40	0.1 to 0.4	0.33 (min)	600,000	5 to 20
	Ultra Puck	200	±3	32	360	40	0.1 to 0.4	0.33 (min)	600,000	5 to 20
	Alpha Prime	245	±3	128	360	40	0.1 to 0.4	0.11 (min)	2,400,000	5 to 20
	OS2-32	1 to 240	±2.5 to ±8	32	360	22.5	0.18	0.7	655,000	10, 20
Ouster	OS2-64	1 to 240	±2.5 to ±8	64	360	22.5	0.18	0.36	1,311,000	10, 20
	OS2-128	1 to 240	±2.5 to ±8	128	360	22.5	0.18	0.18	2,621,000	10–20
	PandarQT	0.1 to 60	±3	64	360	104.2	0.6°	1.45	384,000	10
Hesai	PandarXT	0.05 to 120	±1	32	360	31	0.09, 0.18, 0.36	1	640,000	5, 10, 20
	Oandar40M	0.3 to 120	±5 to ±2	40	360	40	0.2, 0.4	1, 2, 3, 4, 5, 6	720,000	10, 20
	Oandar64	0.3 to 200	±5 to ±2	64	360	40	0.2, 0.4	1, 2, 3, 4, 5, 6	1,152,000	10, 20
	Pandar128E3X	0.3 to 200	±8 to ±2	128	360	40	0.1, 0.2, 0.4	0.125, 0.5, 1	3,456,000	10, 20
	Luminar	IRIS	Up to 600	—	640 lines/s	120	0–26	0.05	0.05	300 points/square degree
Innoviz	InnovizOne	250	—	—	115	25	0.1	0.1	—	5 to 20
	InnovizTwo	300	—	8000 lines/s	125	40	0.07	0.05	—	10 to 20
Flash	LeddarTech	Pixell	Up to 56	±3	—	117.5 ± 2.5	16.0 ± 0.5	—	—	20
Solid-state	Continental	HFL110	50	—	—	120	30	—	—	25

“—” indicates that the specifications were not mentioned in the product datasheet.

Review

A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications

Mostafa Elhashash^{1,2}, Hessah Albanwan^{1,3} and Rongjun Qin^{1,2,3,4,*}

Received: 28 April 2022

Accepted: 31 May 2022

Published: 2 June 2022

Camera sensor overview

Type	Description	Benefits	Limitations
Monocular	Single-lens camera.	<ul style="list-style-type: none"> Low cost. Provides a series of single RGB images to collect high-resolution and geotagged images or panoramas. 	<ul style="list-style-type: none"> Cannot recover 3D scale without additional sensors. Camera networks suboptimal to generate highly accurate 3D points.
Binocular	Two collocated cameras with known relative orientation capturing overlapping and synchronized image	<ul style="list-style-type: none"> Can provide depth and scale of objects the scene. Provides better accuracy integrated with LiDAR sensor. 	<ul style="list-style-type: none"> Performance and accuracy may depend on the algorithm used to compute the 3D information.
RGB-D	Cameras that capture RGB and depth images at the same time	<ul style="list-style-type: none"> Simultaneous data acquisition. Provides high accuracy when integrated with LiDAR. 	<ul style="list-style-type: none"> Depth image sensitive to occlusions. Low range. The depth image may include some uncertainties and errors.
Multi-camera system	A spherical camera system with multiple cameras that can provide a 360° field of view	<ul style="list-style-type: none"> Panoramic view showing the entire scene. Suitable for street mapping applications. 	<ul style="list-style-type: none"> Requires large storage to save images in real-time. Must be properly calibrated to assure alignment of images and minimum distortions.
Fisheye	Spherical lens camera that has more than 180° field of view	<ul style="list-style-type: none"> Provides wide coverage of the scene allowing capture of the scene with fewer images. 	<ul style="list-style-type: none"> Lens distortions. Non-projective transformation. Requires rigorous calibration.

ระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่ (Mobile Mapping System : MMS)

Review

A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications

Mostafa Elhashash^{1,2}, Hessah Albanwan^{1,3} and Rongjun Qin^{1,2,3,4,*}

Received: 28 April 2022
Accepted: 31 May 2022
Published: 2 June 2022

Specification of different MMSs

System	Release Year	Indoor	Outdoor	Camera	LiDAR/Max. Range	IMU	GPS	Accuracy *	Applications
Leica Pegasus: Two Ultimate	2018	✗	✓	360° FoV	ZF9012 profiler 360° × 41.33°/100 m	✓	✓	2 cm horizontal accuracy 1.5 cm vertical accuracy	• Urban 3D modeling. • Road asset management. • Analyzing change detection • Creating HD maps. • Generating geolocated panoramic images.
Teledyne Optech Lynx HS600-D	2017	✗	✓	360° FoV	2 Optech sensors/130 m	✓	✓	±5 cm absolute accuracy	
Topcon IP-S3 HD1	2015	✗	✓	360° FoV	Velodyne HDL-32E LiDAR/100 m	✓	✓	0.1 cm road surface accuracy (1 sigma)	
Hi-Target HiScan-C	2017	✗	✓	360° FoV	650 m	✓	✓	5 cm at 40 m range	
Trimble MX7	✗	✓	✓	360° FoV	✗	✓	✓	—	
Trimble MX50	2021	✗	✓	90% of a full sphere	2 MX50 Laser scanner/80 m	✓	✓	0.2 cm (laser scanner)	
Trimble MX9	2018	✗	✓	1 spherical + 2 side looking + 1 backward/downward camera	MX9 Laser scanner/up to 420 m	✓	✓	0.5 cm (laser scanner)	
Viametris vMS3D	2016	✗	✓	FLIR Ladybug5+	Velodyne VLP-16 + Velodyne HDL-32E	✓	✓	2-3 cm relative accuracy	• Mapping enclosed and complex spaces and cultural heritage. • Forest surveying. • Building Information Modeling.
HERON LITE Color	2018	✓	✓	360° × 360° FoV	1 Velodyne Puck/100 m	✓	✗	3 cm relative accuracy	
GeoSLAM Zeb Go	2020	✓	✗	Can be added, accessory	Hokuyo UTM-30LX laser scanner/30m	✗	✗	1 to 3 cm relative accuracy	
GeoSLAM Zeb Revo RT	2015	✓	✗	Can be added, accessory	Hokuyo UTM-30LX laser scanner/30m	✗	✗	0.6 cm relative accuracy	
GeoSLAM Zeb Horizon	2018	✓	✓	Can be added, accessory	Velodyne Puck VLP-16/100 m	✗	✗	0.6 cm relative accuracy	
Leica BLK2GO	2018	✓	✓	3 camera system 300° × 150° FoV	Up to 25 m 360 × 270	✗	✗	±1 cm in an indoor environment with a scan duration of 2 min	
Leica Pegasus: Backpack	2017	✓	✓	360° × 200° FoV	Dual Velodyne VLP-16/100 m	✓	✓	2 to 3 cm relative accuracy 5 cm absolute accuracy	
HERON MS Twin	2020	✓	✓	360° × 360° FoV	Dual Velodyne Puck / 100 m	✓	✗	3 cm relative accuracy	• Indoor mapping for government buildings, airports, and train stations. • Tunnel inspection. • Measuring asphalt roughness. • Building Information Modeling.
NavVis VLX	2021	✓	✓	360° FoV	Dual Velodyne Puck LITE/100 m	✓	✗	0.6 cm absolute accuracy at 68% confidence 1.5 cm absolute accuracy at 95% confidence	
Viametris BMS3D-HD	2019	✓	✓	FLIR Ladybug5+	16 beams LiDAR + 32 beams LiDAR	✓	✓	2 cm relative accuracy	
NavVis M6	2018	✓	✗	360° FoV	6 Velodyne Puck LITE/100 m	✓	✗	0.57 cm absolute accuracy at 68% confidence 1.38 cm absolute accuracy at 95% confidence	
Leica ProScan	2017	✓	✓	✗	Leica ScanStation P40, P30 or P16	✓	✓	0.12 cm (range accuracy for Leica ScanStation P40)	
Trimble Indoor	2015	✓	✗	360° FoV	Trimble TX-5, FARO Focus X-130, X-330, S-70-A, S-150-A, S-350-A	✓	✗	1 cm relative accuracy when combined with FARO Focus X-130	
FARO Focus Swift	2020	✓	✗	HDR camera	FARO Focus Laser Scanner with a FARO ScanPlan 2D mapper	✓	✗	0.2 cm relative accuracy at 10 m range 0.1 cm absolute accuracy	

* The accuracy measurement reported by the manufacturers. The measure of the accuracy is unknown if not stated as relative or absolute. The “—” symbol indicates that the specifications were not mentioned in the product datasheet.



Review

A Review of Mobile Mapping Systems: From Sensors to Applications

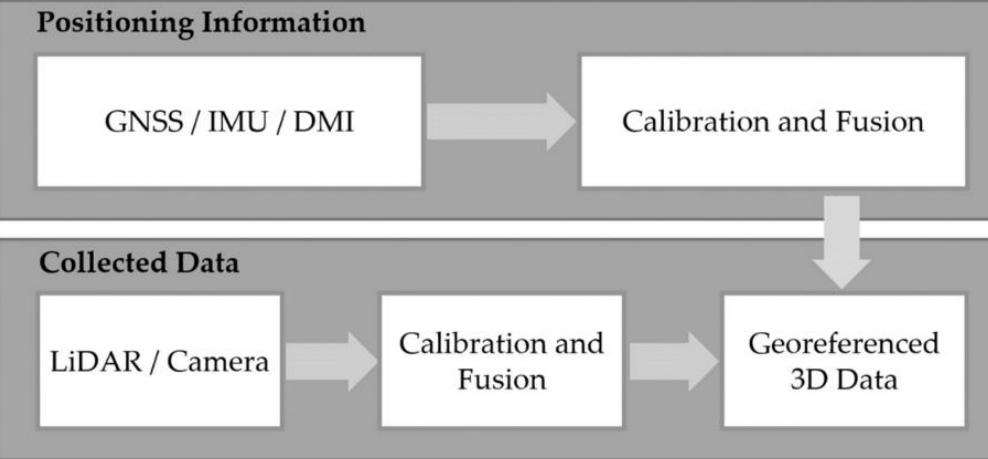
Mostafa Elhashash^{1,2,*}, Hessah Albanwan^{1,3} and Rongjun Qin^{1,2,3,4,*}

Received: 28 April 2022

Accepted: 31 May 2022

Published: 2 June 2022

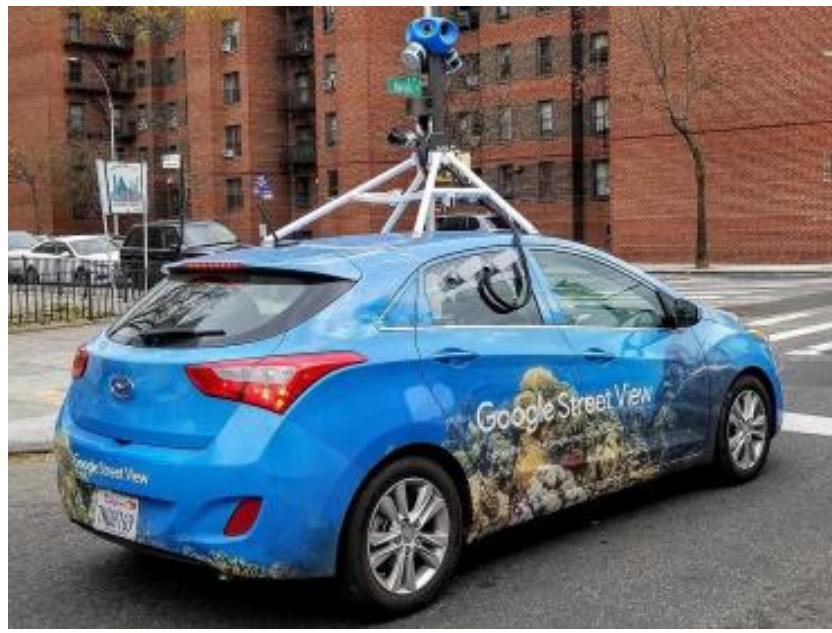
MMS Workflow and Processing Pipeline



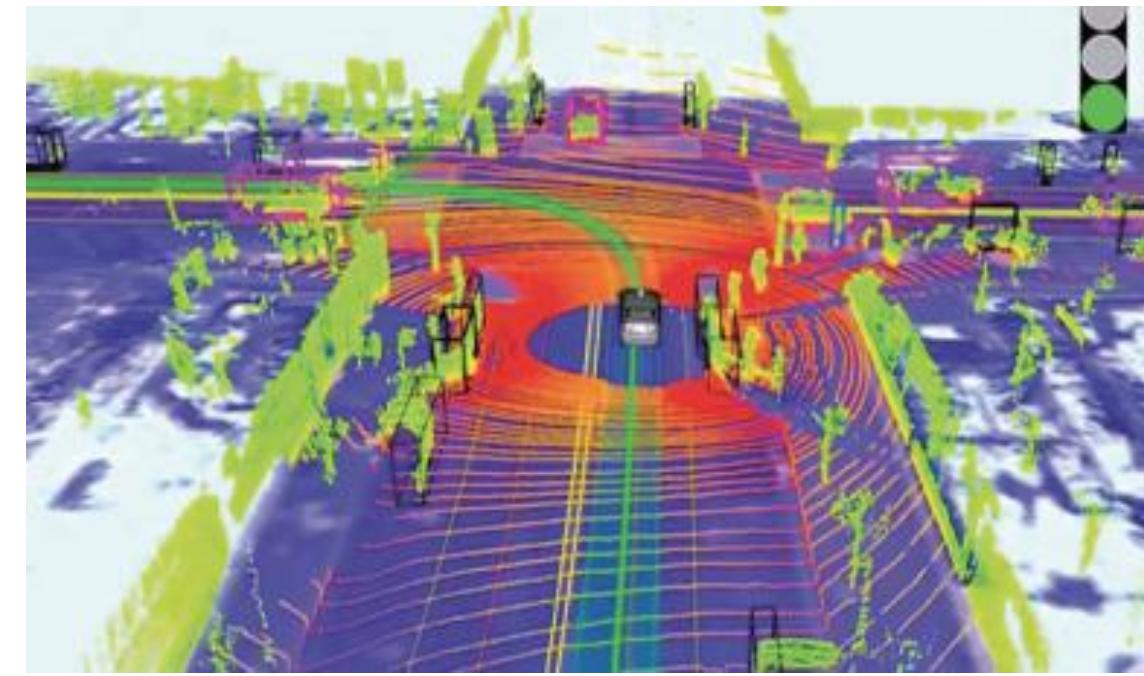
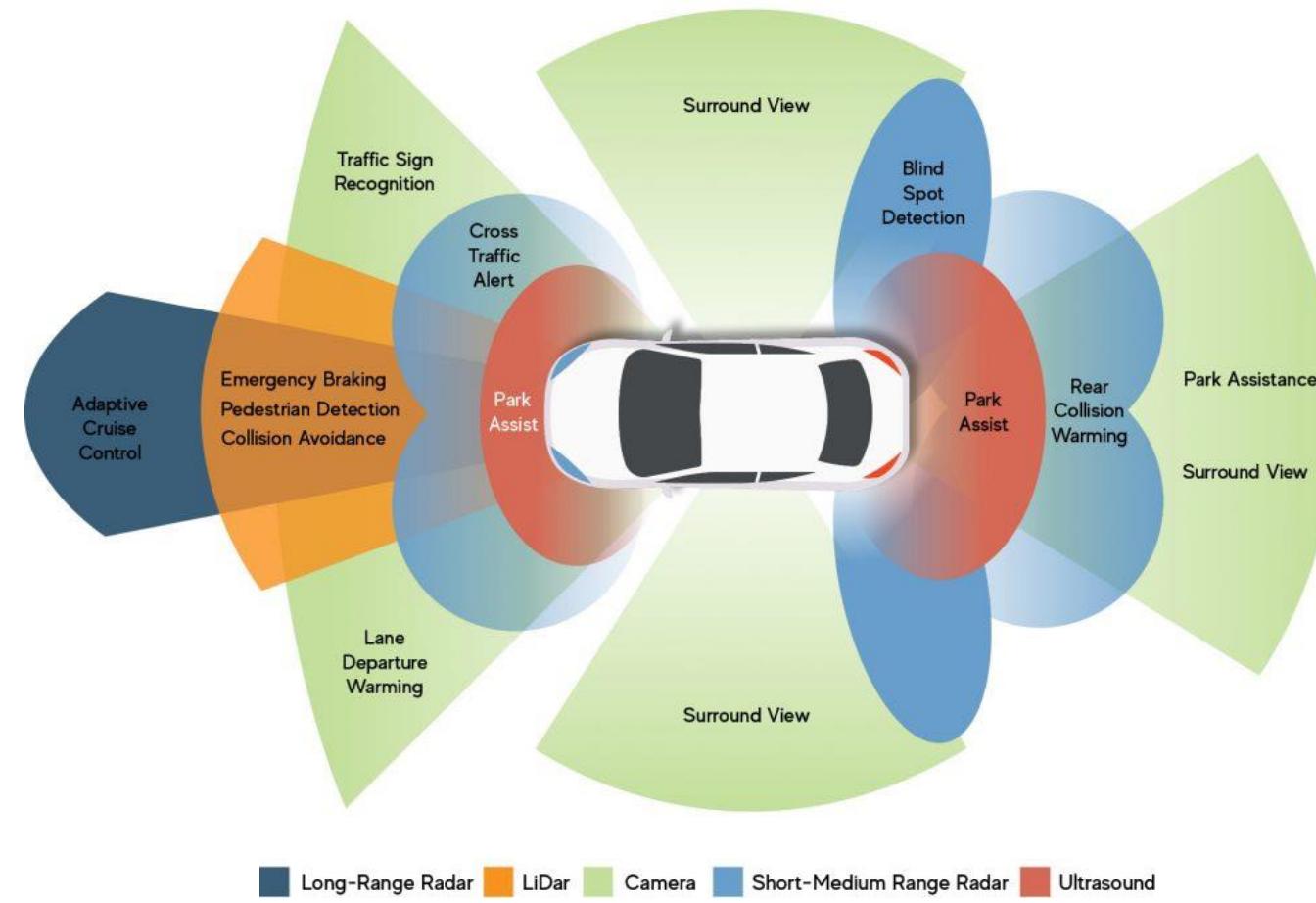
MMS Applications

	Selected Applications	Highlights
Road asset management and condition assessment	Extraction of road assets [79]; road condition assessment [133]; detection of pavement distress using deep-learning [134]; evaluation of pavement surface distress for maintenance planning [135].	<ul style="list-style-type: none"> Vehicle-mounted system regularly operating on the road. More efficient than manual inspection. Leveraging deep learning to facilitate the inspection process.
BIM	Low-cost MMS for BIM of archeological reconstruction [136]; analysis of BIM for transportation infrastructure [137].	<ul style="list-style-type: none"> Data are collected with portable systems. Useful for maintenance and renovation planning. Rich database for better information management.
Emergency and disaster response	Network-based GIS for disaster response [138]; analyzing post-disaster damage [139].	<ul style="list-style-type: none"> Timely and accurate disaster response. Facilitates the decision-making process. Effective training and simulations.
Vegetation mapping and detection	Mapping and monitoring riverine vegetation [140]; tree detection and measurement [141–143].	<ul style="list-style-type: none"> Accurate and automatic measurements. Reduces occlusions for 3D urban models.
Digital Heritage Conservation	Mapping a complex heritage site using handheld MMS [92]; mapping a museum in a complex building [94]; numerical simulations for structural analysis of historical constructions [144]; digital heritage documentation [145]; mapping archaeological sites [146]; development of a digital heritage inventory system [147].	<ul style="list-style-type: none"> Utilizes the flexibility of portable platforms. Enables virtual tourism. Digital recording of cultural sites.

ระบบทำแผนที่แบบเคลื่อนที่ (Mobile Mapping System : MMS)



แผนที่ความละเอียดสูง (HD Maps) คือ แผนที่ที่แสดงข้อมูลสามมิติของโลกโดยใช้ปรับปรุงและเพิ่มรายละเอียดให้กับแผนที่ดิจิทัล โดยข้อมูลที่นำมาแสดงผลได้มาจากการผสานของเซนเซอร์หลายตัว ได้แก่ LiDAR, Radar และ Camera เป็นต้น โดยความแม่นยำของตำแหน่งอยู่ในระดับหลักสิบเซนติเมตร



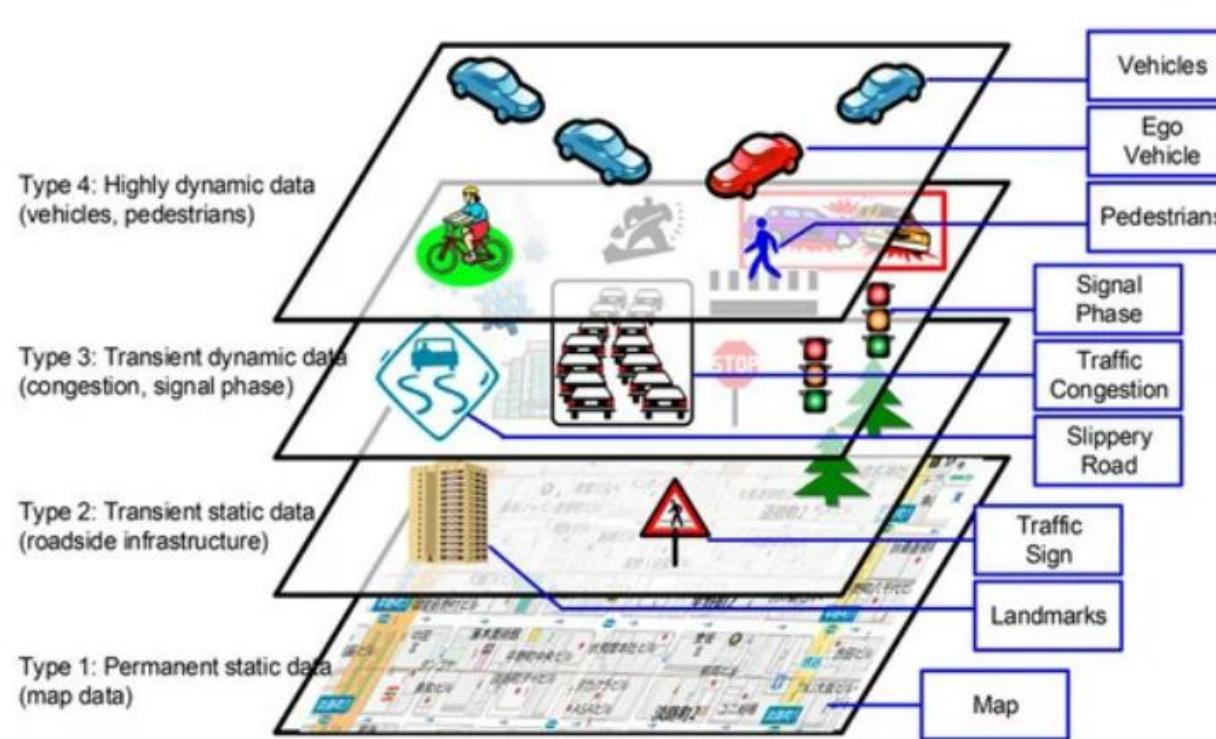


Figure 4. The features and layers of an HD map [130].

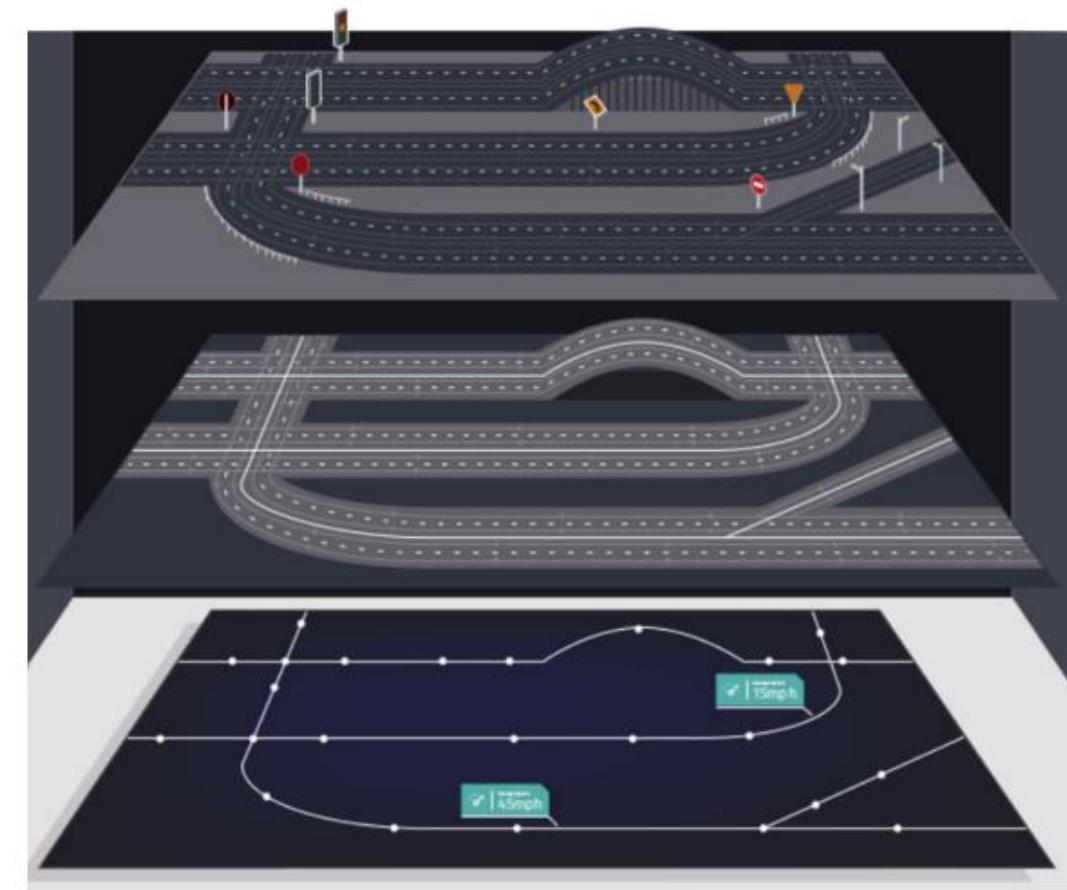
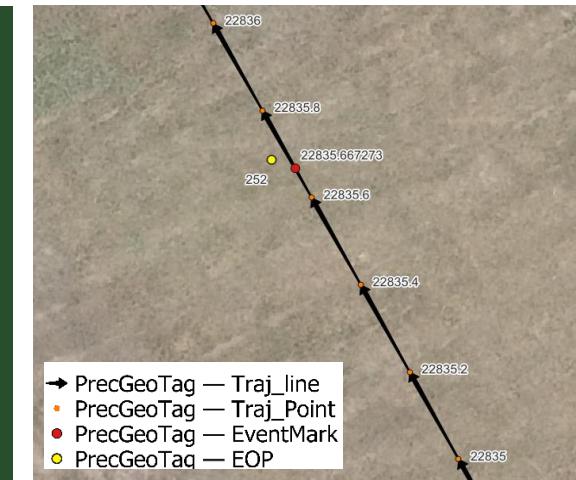
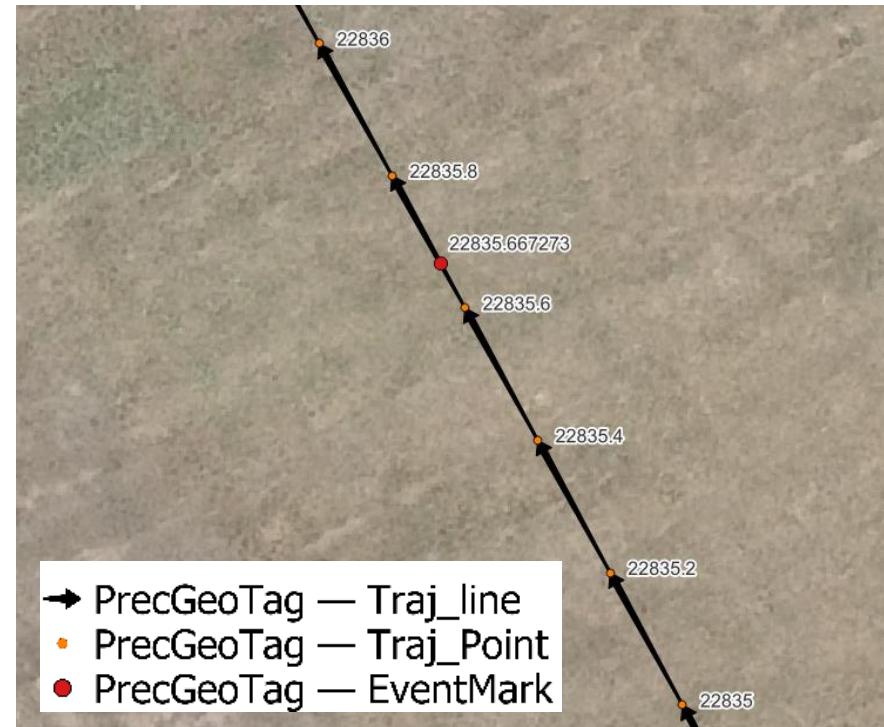


Figure 5. HD map structure defined by HERE: **HD road (Down)** consists of the topology, the direction of travel, intersections, slope, ramps, rules, boundaries, and tunnels. **HD lanes (Middle)** consist of lane level features, such as boundaries, types, lines, and widths. **HD localization (Top)** consists of road furniture, such as traffic lights and traffic signs [131].

การประมาณค่าช่วงข้อมูลการรับ สัญญาณดาวเทียม

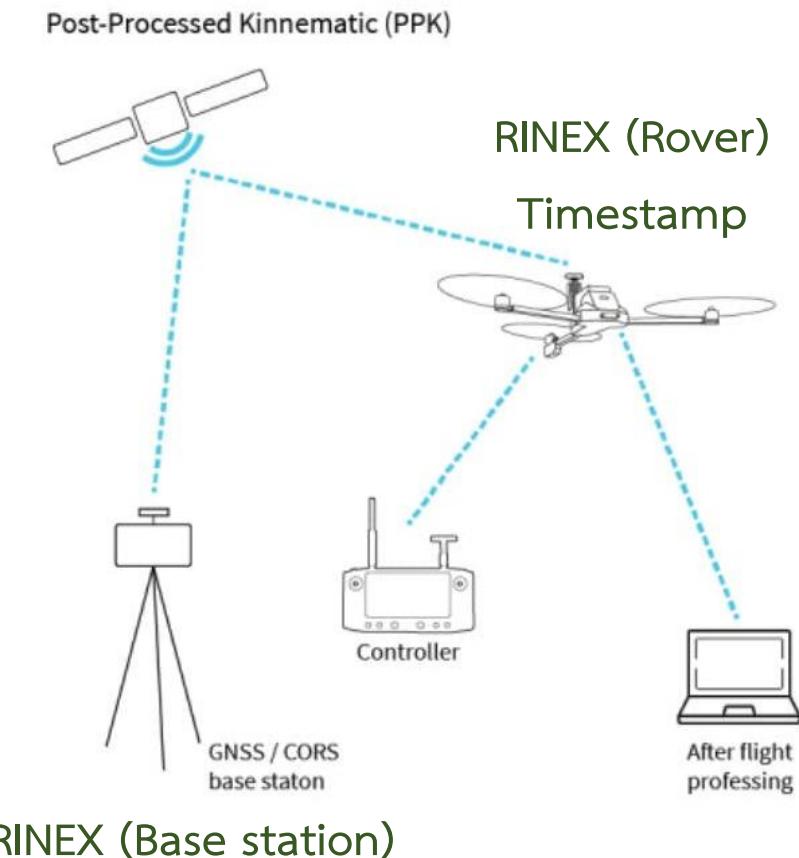


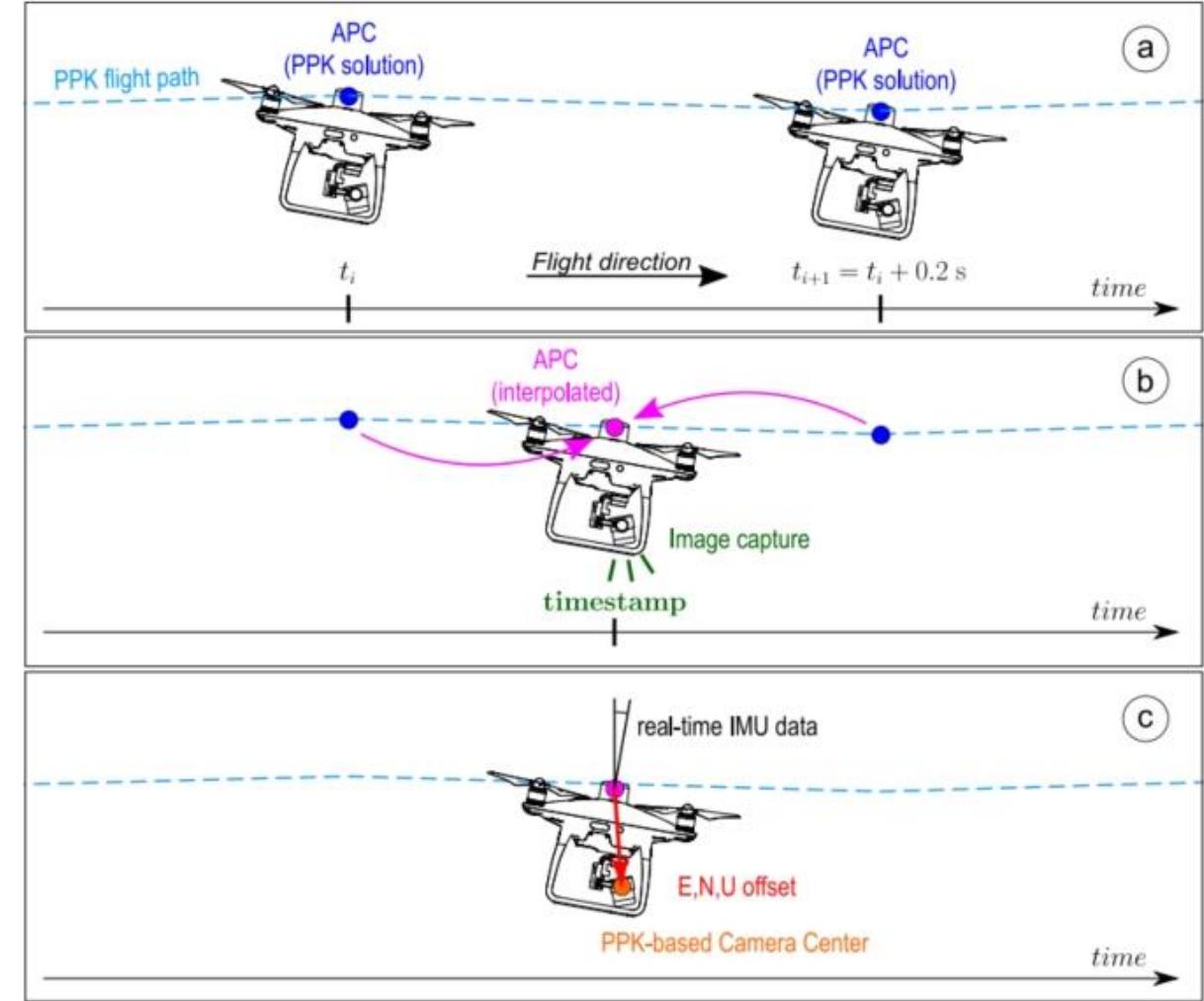
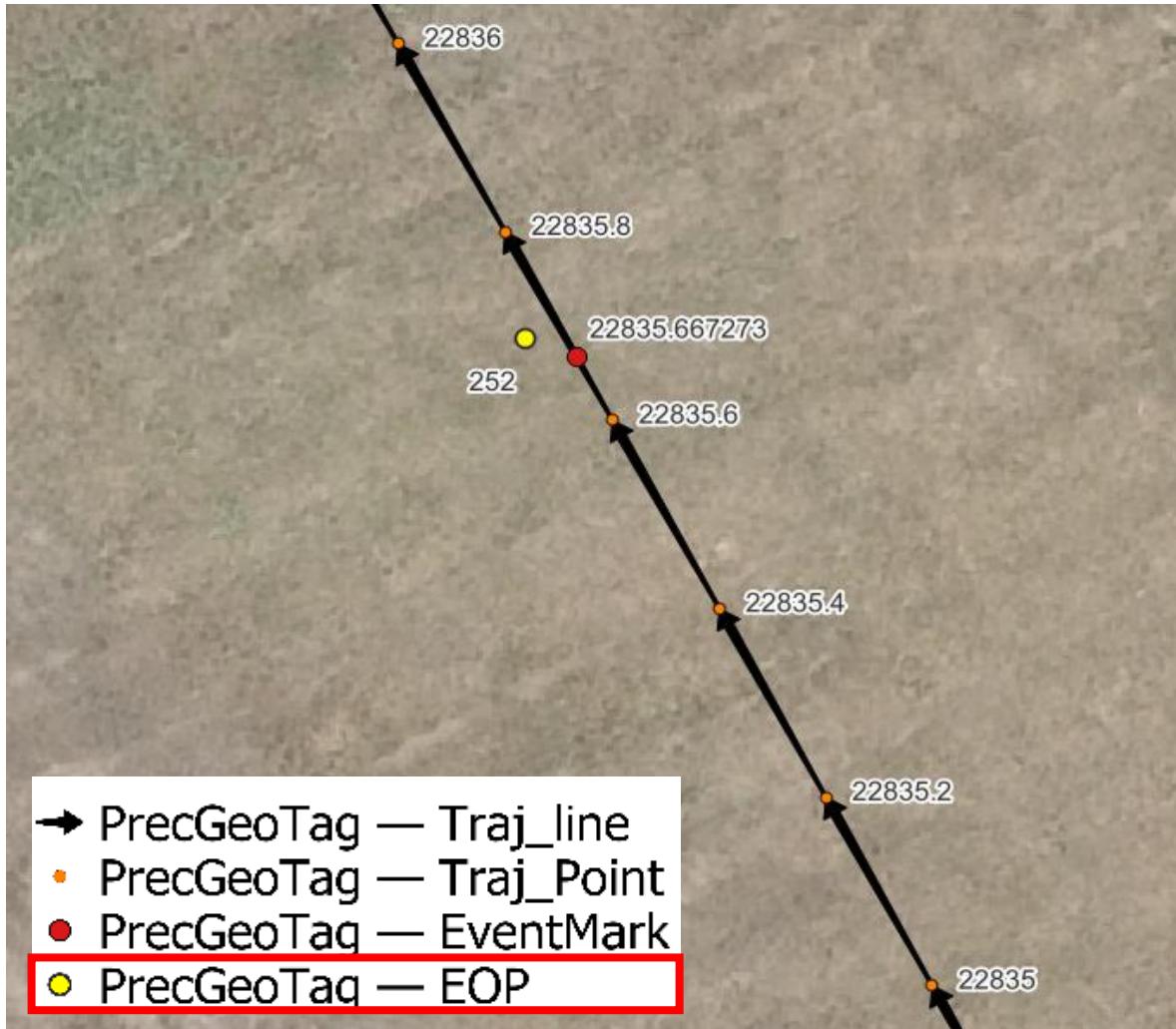
การประมาณค่าช่วงข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมเป็นกระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพิกัดของข้อมูลในห้วงเวลาที่อยากรابค่าพิกัดเนื่องจากในการสำรวจวัดบางครั้ง ณ ห้วงเวลาที่ผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพิกัดข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมไม่ได้รับค่าสัญญาณในห้วงเวลานั้นมา แต่เนื่องจากข้อมูลที่รังวัดมา มีข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่รับสัญญาณในทุก ๆ ห้วงเวลาที่ผู้ใช้งานตั้งค่ากำหนดไว้ (เช่น รับสัญญาณทุก ๆ 2 วินาที, 5 วินาที, 10 วินาที เป็นต้น) จากข้อมูลการรับสัญญาณนี้ทำให้เราสามารถประมาณค่าช่วงข้อมูลในห้วงเวลาที่ต้องการทราบได้ หากเราทราบตัวแปรบางอย่างที่มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล โดยสำหรับงานการทำแผนที่รังวัดข้อมูลส่วนใหญ่ที่มักจะถูกบันทึกมาด้วยคือ ข้อมูล จีพีเอส ไทม์ (GPS Time)



หลักการในการประมาณค่าช่วง (Interpolation) จากข้อมูลสัญญาณดาวเทียมด้วยเทคนิคการรังวัดแบบ詹น์และประมวลผลในภายหลัง (Post-Processed Kinematic : PPK)

- คำนวณเส้นวิถีโคจร (Trajectory) ของยานพาหนะจากข้อมูลสถานีฐาน (Base station) และข้อมูลสถานีจัน (Rover) ในที่นี่คือ ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจากการยานไร้คนขับ
- เตรียมข้อมูลเวลาที่ใช้ในการบันทึกภาพถ่ายขณะบินปฏิบัติภารกิจ (Timestamp/Event Mark)
- นำข้อมูลเส้นวิถีโคจรและเวลาที่ใช้ในการบันทึกภาพมาทำการประมวลผลด้วยหลักการประมาณค่าช่วง โดยจะใช้หลักการประมาณจากข้อมูลเส้นวิถีโคจรที่ทราบทั้งเวลาและค่าพิกัด ณ ขณะนั้น เพื่อประมาณค่าพิกัดจากการที่ทราบข้อมูลเวลาที่ใช้ในการบันทึกภาพ
- เนื่องจากค่าพิกัดที่ประมาณได้เป็นค่า ณ ตำแหน่งของ เสารับสัญญาณดาวเทียมที่ติดตั้งบนยานพาหนะ จึงยานพาหนะส่วนใหญ่ตำแหน่งของเสารับสัญญาณและตำแหน่งของกล้องมีตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งบันทึกภาพ (Camera Exterior Orientation Parameter) จึงมีการคำนึงถึงระยะห่างจากเสารับสัญญาณไปจนถึงตำแหน่งที่กล้องใช้เปิดต่างๆ





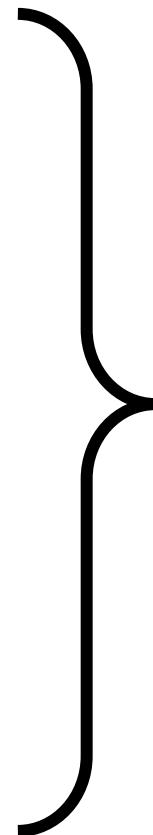
การประมาณค่าช่วงข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม (ตัวอย่าง 1)

Trajectory

Time (second)	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Height (m.)	...
100.000	✓	✓	✓	...
100.200	✓	✓	✓	...
100.400	✓	✓	✓	...
100.600	✓	✓	✓	...
100.800	✓	✓	✓	...
...

Timestamp

Time (second)	Image name
100.120	Image0001
100.200	Image0002
100.450	Image0003
...	...



Trajectory + Timestamp

Time (second)	Image name	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Height (m.)	...
100.000		✓	✓	✓	...
100.120	Image0001	???	???	???	...
100.200	Image0002	✓	✓	✓	...
100.400		✓	✓	✓	...
100.450	Image0003	???	???	???	...
100.600		✓	✓	✓	...
100.800		✓	✓	✓	...
...

- ??? คำนวณมาจากการรับสัญญาณดาวเทียมที่ทราบค่าในคอลัมน์นั้น ๆ ผ่านการประมาณผลค่าช่วง (Interpolation) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ได้

การประมาณค่าช่วงข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม (ตัวอย่าง 2)

Trajectory

Time (second)	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Height (m.)	...
22653.2	14.5211386964	101.0185698774	205.150	...
22653.4	14.5211559494	101.0185600934	205.147	...
22653.6	14.5211732029	101.0185503133	205.149	...
22653.8	14.5211904444	101.0185405310	205.143	...
22654.0	14.5212077074	101.0185307195	205.134	
...

Timestamp

Time (second)	Image name
22653.652967	Image0001
22655.485585	Image0002
22657.388301	Image0003
...	...



Trajectory + Timestamp

Time (second)	Image name	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Height (m.)	...
22653.2		14.5211386964	101.0185698774	205.150	...
22653.4		14.5211559494	101.0185600934	205.147	...
22653.6		14.5211732029	101.0185503133	205.149	...
22653.652967	Image0001	???	???	???	...
22653.8		14.5211904444	101.0185405310	205.143	...
22654.0		14.5212077074	101.0185307195	205.134	...
22654.2		14.5212249856	101.0185209141	205.130	...
...

- ??? คำนวณมาจากการรับสัญญาณดาวเทียมที่ทราบค่าในคอลัมน์นั้น ๆ ผ่านการประมาณผลค่าช่วง (Interpolation) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ได้



Thank You