KOREA AEROSPACE UNIVERSITY

도심지 정밀 측위를 위한 다중 GNSS 및 다중 센서 결합 Kalman-Hatch 듀얼 필터 설계

November 25, 2021

김라우

1

목 차

I. 연구 배경 및 기존 연구

II. GNSS/INS/OBD 강결합 Kalman 필터

III. GNSS/고도계 위치영역 Hatch 필터

IV. 실험 및 결과

V. 결론

2

KOREA AEROSPACE UNIVERSITY

연구 배경 및 기존 연구

3

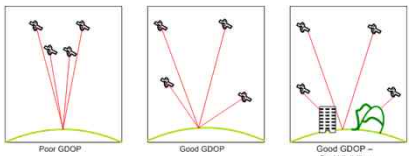
연구 배경

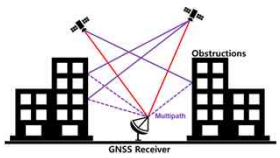
- 최근 자율주행 자동차, PAV, UAM 등 새로운 이동체의 등장
- 이동체들은 복잡한 도심에서 지표면 또는 낮은 고도에서 운행됨
- 안전성 및 효율적인 운용을 위하여 정확한 위치정보가 필수적으로 요구됨

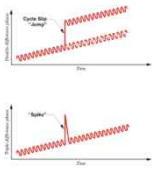
4

연구 배경

- GNSS는 절대적인 글로벌 좌표에 대해 정확한 위치를 제공 가능
  - 위성 가시성이 우수한 개활지에 한정
- 도심지에서 GNSS의 한계
  - 위성의 가시성이 보장되지 않으며 다른 전파의 영향을 받을 수 있음
  - 고층 빌딩 등 장애물에 의한 사이클 슬립 및 다중 경로 오차가 빈번하게 발생
  - 높은 DOP (Dilution of Precision)로 인한 위치 정확도 저하







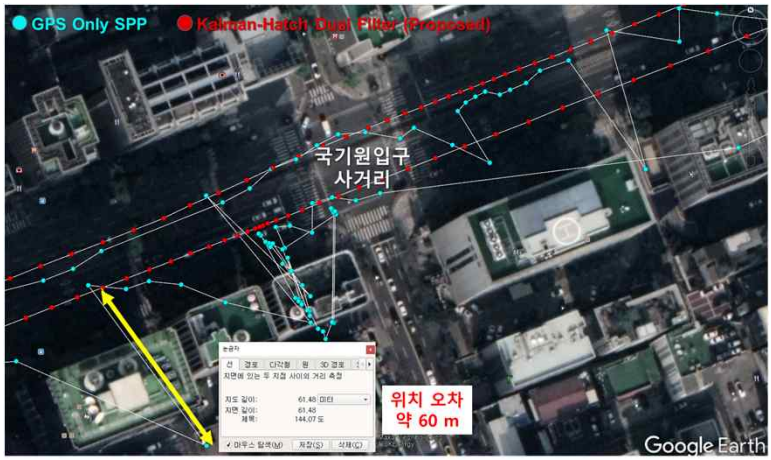
Jan Van Sickle, Senior Lecturer, John A. Dutton e-Education Institute, College of Earth and Mineral Sciences, The Pennsylvania State University; V3 Consultants, Lakewood, CO

도심지 GPS 위치 오차 예시

- 강남구 테헤란로 역삼역 부근

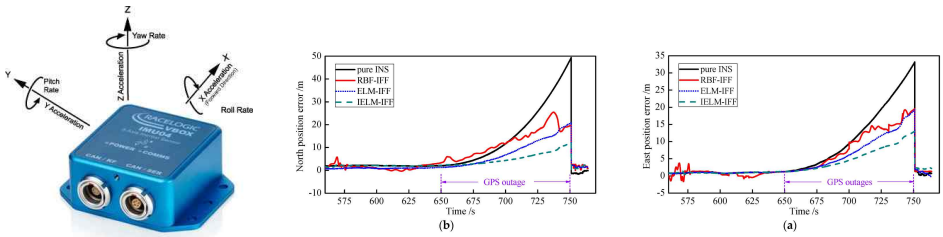
도심지 GPS 위치 오차 예시

- 강남구 테헤란로 강남역 부근



기존 연구: INS

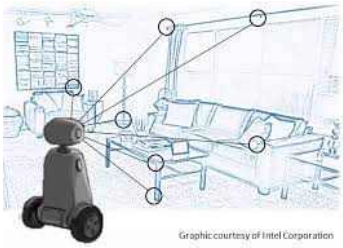
- 다중 센서 복합 측위에 필수적인 요소
- 외부의 도움을 필요로 하지 않는 자립형 항법 시스템
- 동적 특성이 좋음 (20~100Hz)
- 외부 보정정보 없을 시 오차가 증가하며 결국에는 발산함
- 낮은 등급의 IMU 사용 시 오차가 매우 빠르게 증가

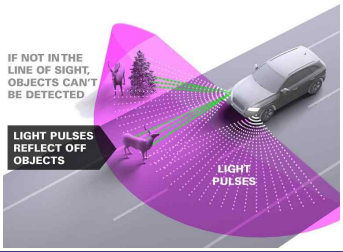


Wang, D., Xu, X., & Zhu, Y. (2018). A novel hybrid of a fading filter and an extreme learning machine for GPS/INS during GPS outages. *Sensors*, *18*(11), 3863.

기존 연구: Vision/LiDAR

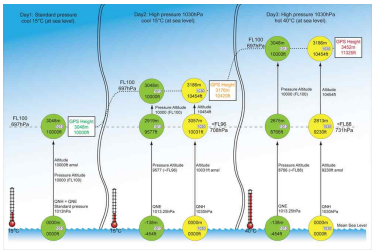
- 자율주행의 인지 단계에서 매우 큰 역할 / Mapping
- GNSS 음영 구간에서 INS 오차 증가 억제 가능
- 야간 및 악천후 조건에서는 가시성 보장이 어려움
- 도심지에서는 주변 장애물로 인해 특징점 추출이 어려움
- 이미지에서 좌표 정보를 추출하는데 많은 계산량 요구





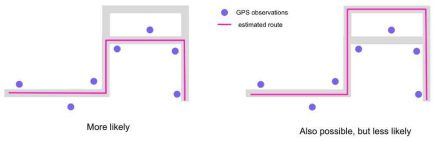
기존 연구: 고도계/주행 거리계

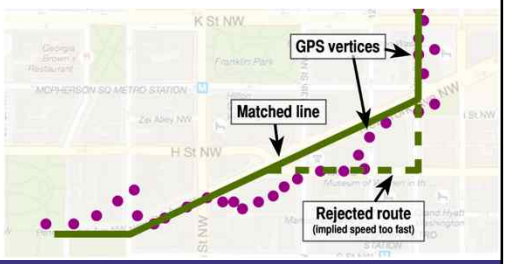
- 외부 도움 없이 높은 가용성으로 정보 제공
- GNSS 음영 구간에서 INS 오차 억제 가능
- 부분적인 정보를 제공 → 추가적인 센서 활용 필요
  - 고도계: 수직 방향 정보
  - 주행 거리계: 차량 동체 좌표계에 대한 증분 거리



기존 연구: Map Matching

- 지도 정보를 통하여 GNSS 위치 오차를 보상함
- GNSS 음영 구간에서도 개략 위치 예측 가능
- 잘못된 map matching은 위치 오차를 증폭시킬 수 있음
- 1 m 이하의 정확도를 갖는 정밀 지도는 여전히 개발 중
- UAM 등 무인 비행체 분야에서 적용 가능 여부 불투명





Douriez, M., Murphy, J., & Staley, K. (2020). A New Real-Time Map-Matching Algorithm at Lyft

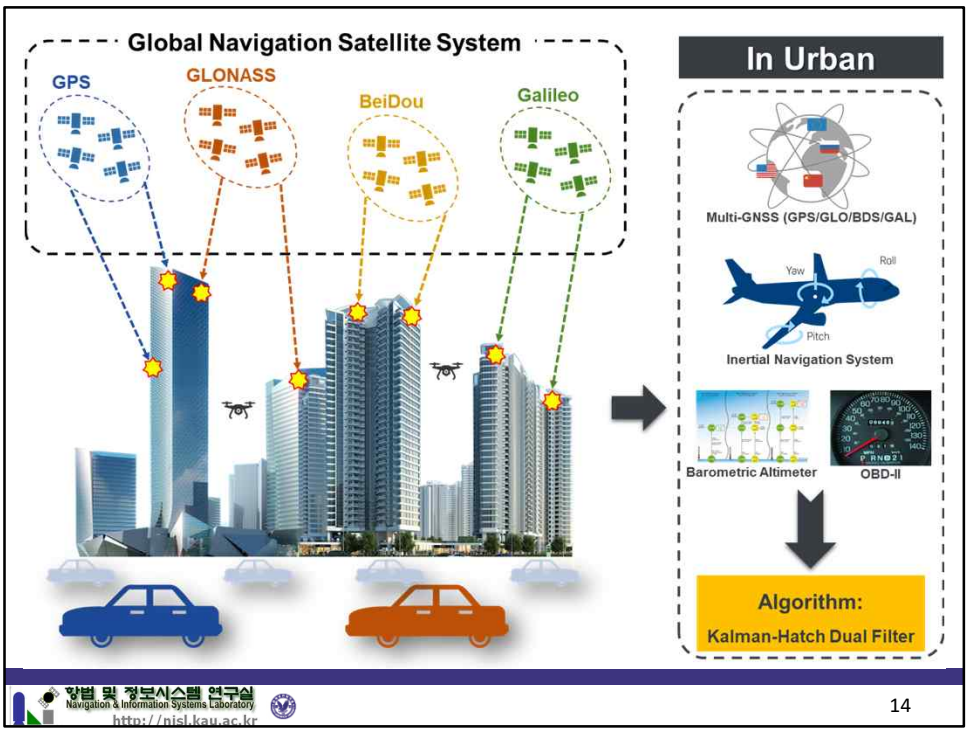
2020-2021 도심지 정밀 측위 최신 연구 동향

- 3D mapping aided GNSS/INS tightly coupled Kalman filter
  - IEEE Transactions on Vehicular Technology
  - IMU: Xsens Mti 10, Gyro bias stability 18˚/h
  - 도심지 실험 3D RMSE 6.5 m, 3D max error 20 m
- GNSS/3D LiDAR/fish-eye camera
  - IET Intelligent Transport Systems
  - IMU: Xsens Mti 10, Gyro bias stability 18˚/h
  - 도심지 실험 3D 평균 오차 18.49 m, 3D max error 73.37 m
- GNSS/INS/camera multi-agent collaborative integration
  - IEEE Access
  - IMU: Xsens Mti 30, Gyro bias stability 18˚/h
  - 도심지 실험 2회 각각 3D 평균 오차 3.42, 7.04 m

2020-2021 도심지 정밀 측위 최신 연구 동향

- GNSS/INS/3D LiDAR-SLAM
  - Remote Sensing
  - IMU: Epson G320N, Gyro bias stability 3.5˚/h
  - 도심지 실험 3D RMSE 1.27 m, 3D max error 5.56 m
- GPS/INS/monocular VO
  - IEEE Sensors
  - IMU: MIDG II, Gyro bias stability 4.7˚/h
  - 도심지 실험 3D RMSE 1.29 m, 3D max error 4.25 m
- GNSS/INS/LTE/digital map
  - IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine
  - IMU: Septentrio AsteRx-i V, Gyro bias stability 10˚/h
  - 도심지 실험 3D RMSE 2.8 m, 3D max error 3.41 m
- GNSS/INS deeply coupled SDR receiver
  - Sensors
  - IMU: ICM-20602, Gyro bias stability 10.7˚/h
  - 도심지 실험 3D RMSE 12.53 m

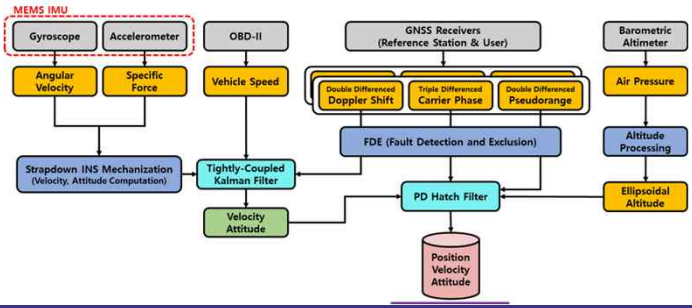
13



14

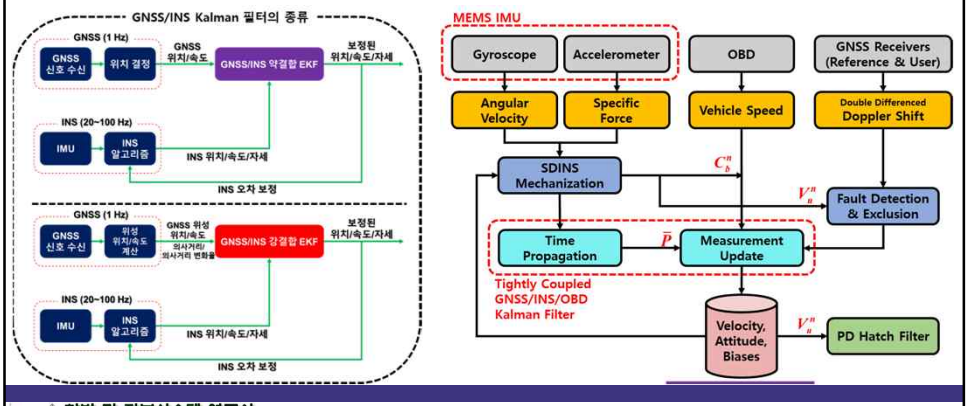
제안된 연구의 기여도

- 다중 GNSS, 저가형 MEMS IMU, OBD, 기압 고도계 활용
- GNSS/기압 고도계 결합 위치 영역 Hatch 필터 설계 (메인 필터)
- GNSS/INS/OBD 강결합 13차 Velocity Kalman 필터 설계 (보조 필터)
- 이중 차분 다중 GNSS 구현 / 양호한 GNSS 측정치를 선별하는 INS-GNSS FDE 기법 적용
- 도심지 환경 모사 준 시뮬레이션 (semi-simulation) 기법으로 기존 성능 평가 방법의 대안 제시



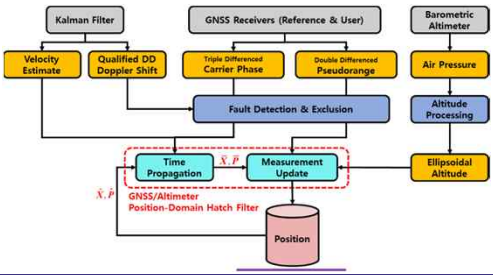
GNSS/INS/OBD 강결합 Kalman 필터

- 제안된 측위 알고리즘의 보조 필터로 활용됨
  - Kalman 필터의 속도 추정치는 메인 필터인 Hatch 필터의 측정치로 활용
  - 가시 위성 확보가 어려운 도심지에 강인한 강결합 방식 구현



위치영역 Hatch 필터

- CSC (Carrier-Smoothed-Code) 이론에 기반
- 시간 차분된 반송파 위상 측정치 활용
  - 미지정수 결정 과정 없이 정밀한 측위 가능
- 가시 위성이 자주 출몰하는 도심지에서 유리한 특성
  - 거리 영역 Hatch 필터는 가시 위성이 사라지면 해당 채널의 모든 정보 유실



KOREA AEROSPACE UNIVERSITY

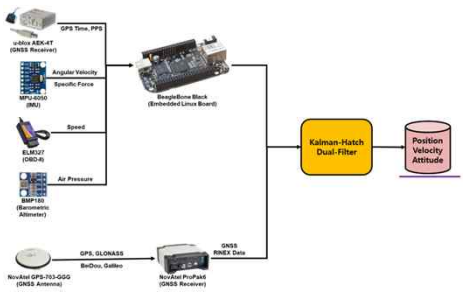
실험 및 결과

도심지 차량 실험

- 실험 지역: 서울특별시 강남구 테헤란로 부근 (4회 반복)
- 신호 수신 환경이 매우 좋지 않아 기준 궤적 산출이 어려움
- 위치 정보 가용성과 Google Earth를 통한 궤적을 비교함
- 기준국-차량 최대 기저선 거리 약 20 km

실험 장비 구성

- IMU, OBD, 기압 고도계 → 임베디드 보드 연결
  - GPS Time 및 PPS (Pulse Per Second) 신호로 시각동기
- NovAtel 사의 GNSS 안테나 및 수신기 → GNSS 데이터 획득
  - GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo



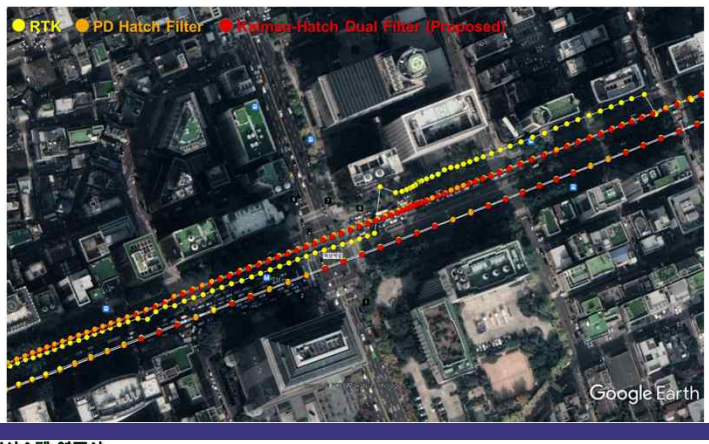
위치 정보 가용성

- 위치 정보 가용성 (%): (추정된 시점)/(전체 시점)*100

	Position Availability (%)			
	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
GPS Only Least-Squares	54.56	29.17	65.19	59.73
Multi-GNSS Least-Squares	97.37	97.55	91.52	94.38
GNSS/INS Kalman Filter	97.90	98.89	100	99.81
GNSS/INS/OBD/ALT Kalman Filter	97.90	98.89	100	99.81
PD Hatch Filter	100	100	100	100
Kalman-Hatch Dual-Filter (Proposed)	100	100	100	100

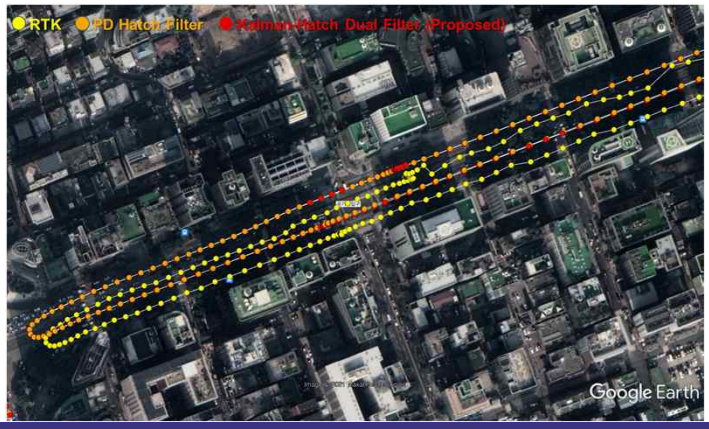
추정된 궤적 비교: Set 1

- 도심지에서는 대부분 구간에서 RTK float solution이 제공됨
- RTK fixed solution 또한 큰 측위 오차 발생



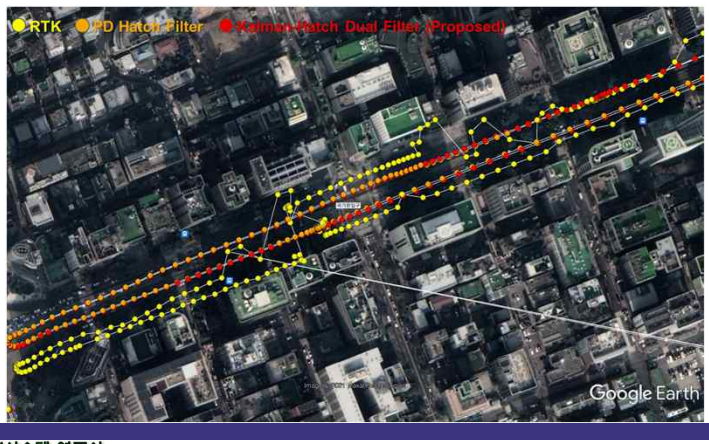
추정된 궤적 비교: Set 2

- RTK solution이 바이어스 되어있는 경향을 보임



추정된 궤적 비교: Set 3

- Set 1, 2와 비교하여 Set 3은 위성 가시성과 신호 품질이 매우 좋지 않음



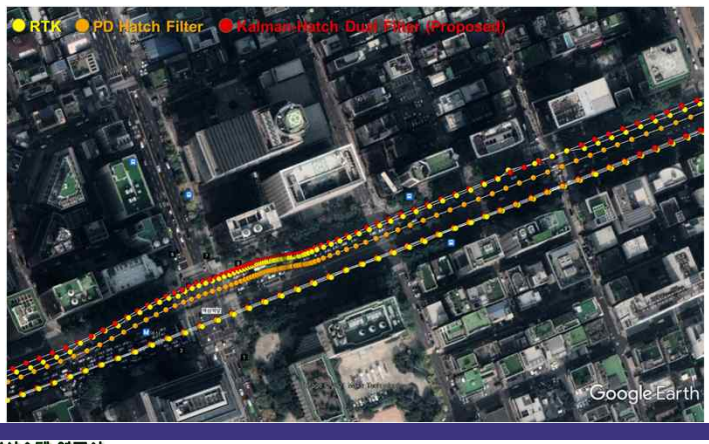
추정된 궤적 비교: Set 4

- 회전 구간에 가시 위성이 부족하여 PD Hatch 필터가 이전 시점의 속도 활용 → 직진성이 반영되어 오차 발생

25

추정된 궤적 비교: Set 4

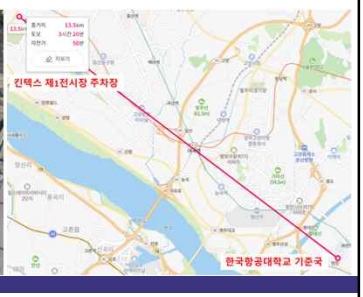
- PD Hatch 필터에 앞서 발생한 위치 오차로 인하여 이후 구간에서도 바이어스된 경향을 보임



26

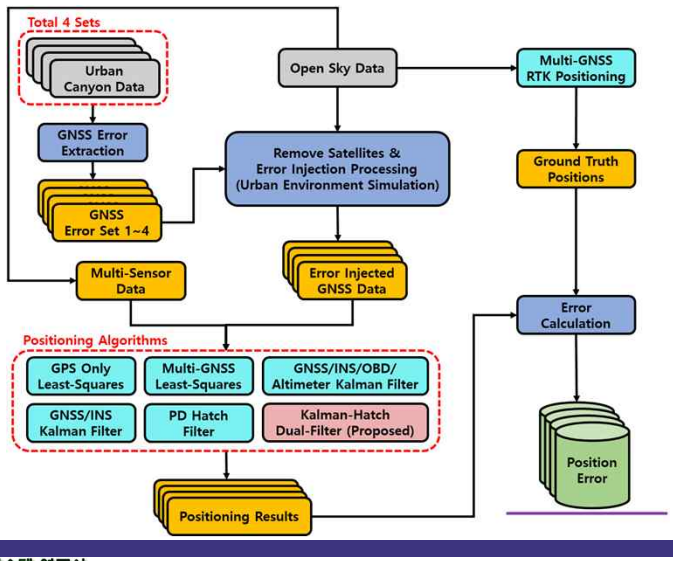
도심지 환경 모사 준 시뮬레이션

- 실험 지역: 고양시 킨텍스 제1전시장 주차장
- 주변에 장애물이 없는 개활지 환경
- 4개의 도심지 데이터에서 추출된 GNSS 오차 세트 1~4를 주입함
- RTK 기법으로 산출된 궤적을 기준으로 오차를 산출함
- 기준국-차량 기저선 거리 약 13 km

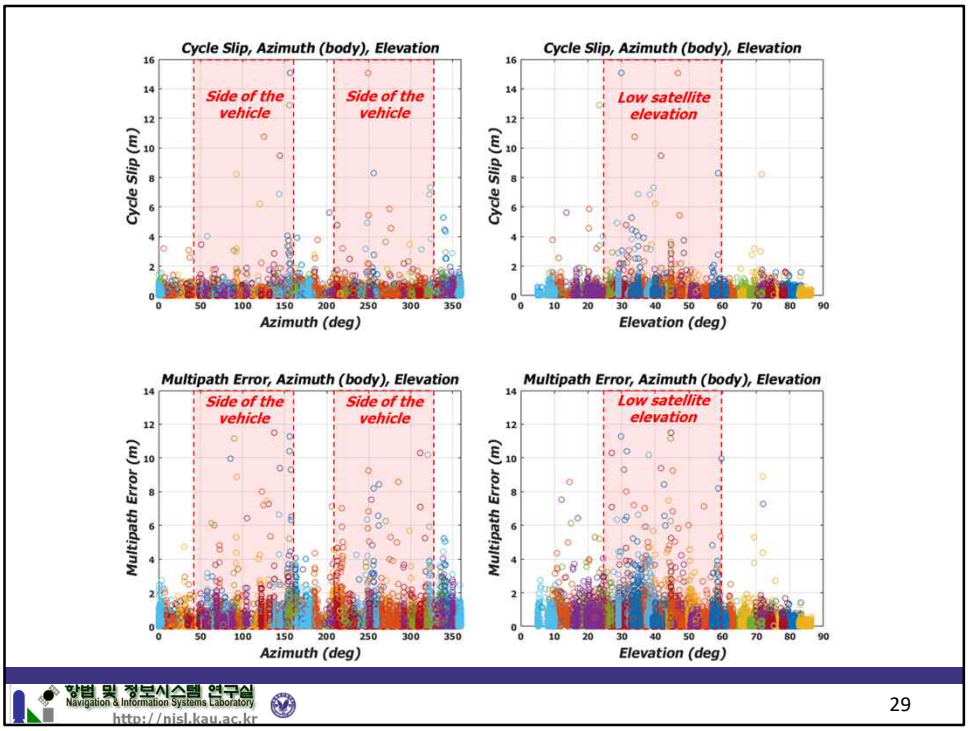


27

도심지 환경 모사 준 시뮬레이션

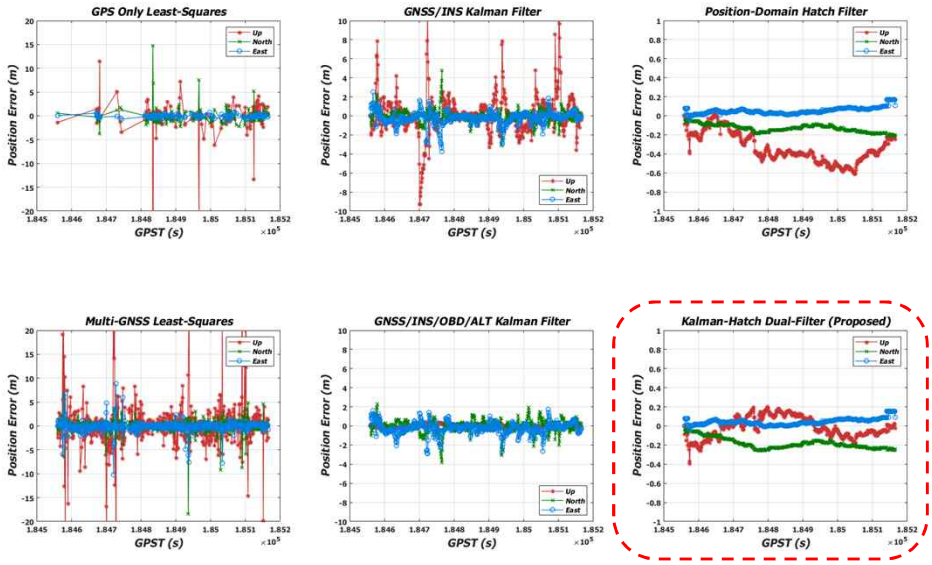


28



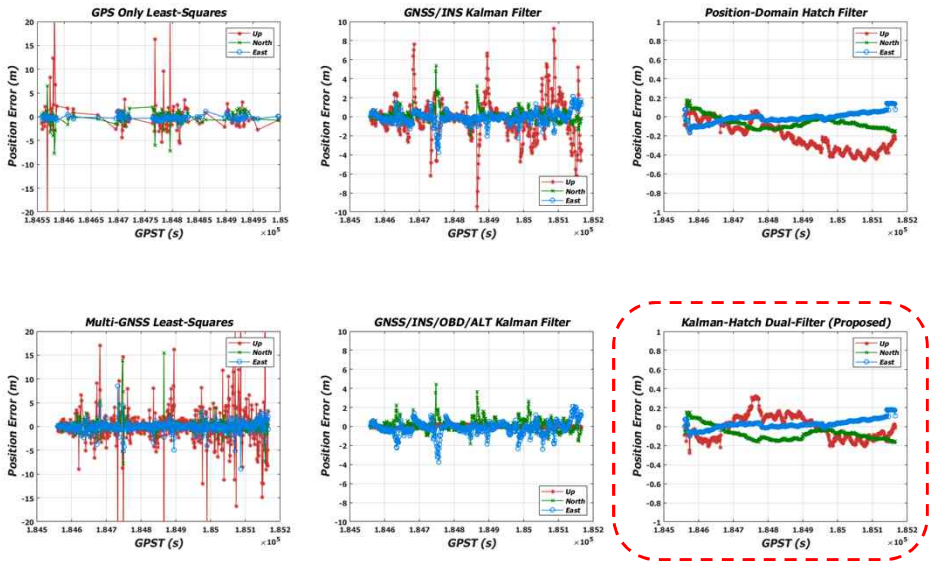
29

Position Error: Set 1



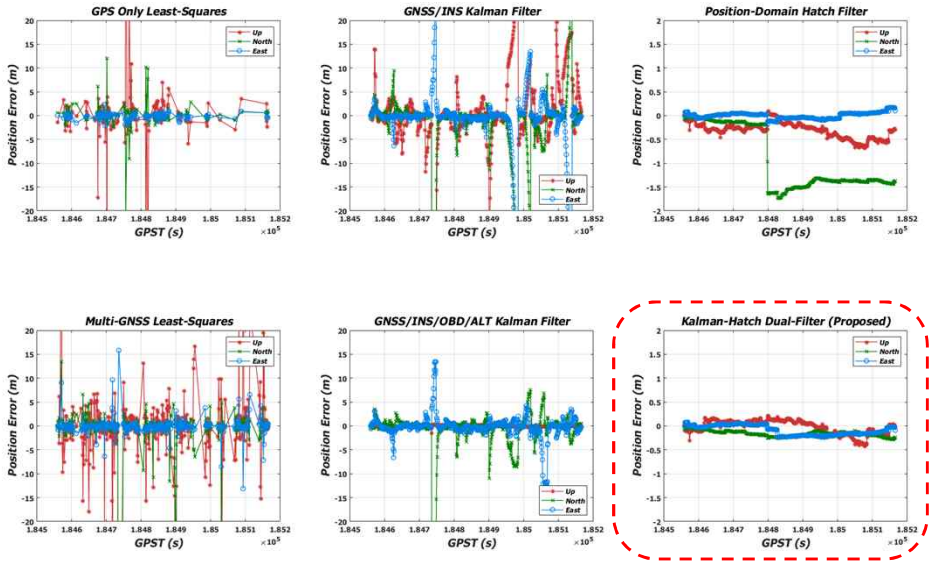
30

Position Error: Set 2



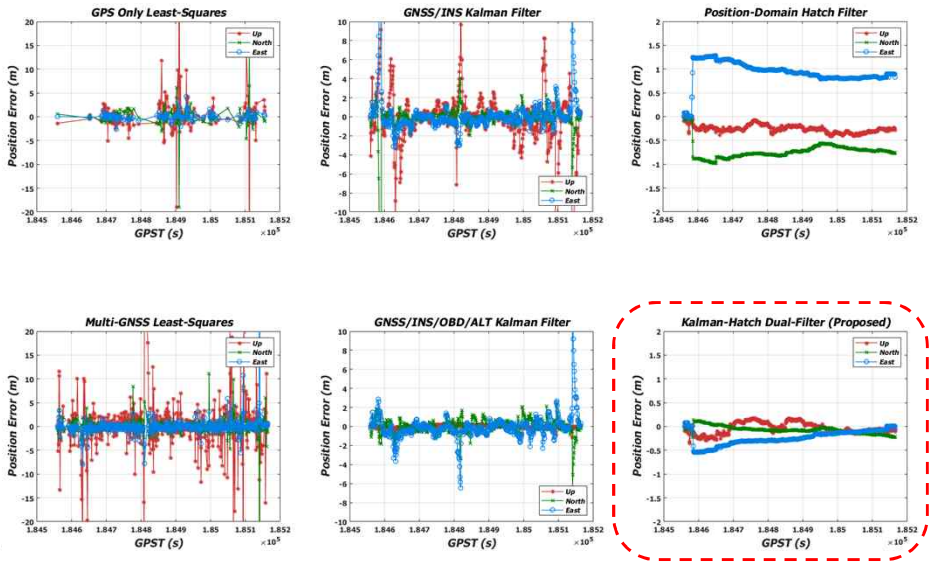
31

Position Error: Set 3



32

Position Error: Set 4



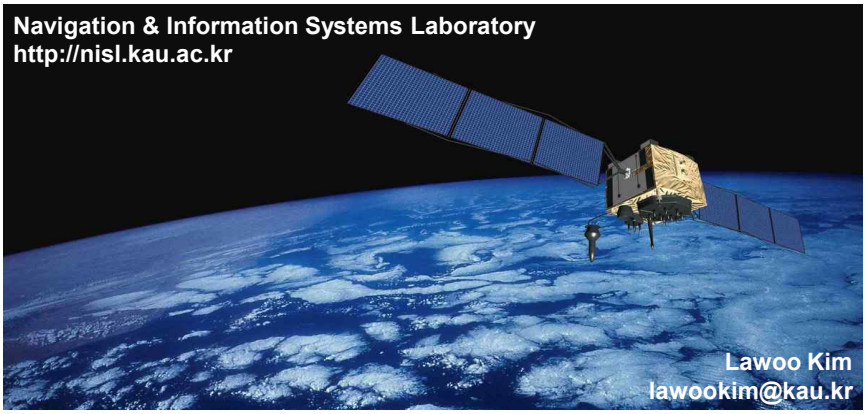
위치 오차 및 가용성 결과

- GNSS only → GNSS/multi-sensor Kalman filter → PD Hatch filter → Kalman-Hatch dual filter 단계적인 성능 향상을 보임
- 3D RMSE (m), 3D maximum error (m), position availability (%)에 대한 결과 분석

	Set 1			Set 2			Set 3			Set 4		
	3D RMSE	3D Max	AVL	3D RMSE	3D Max	AVL	3D RMSE	3D Max	AVL	3D RMSE	3D Max	AVL
GPS Only Least-Squares	5.06	46.01	27.02	4.48	23.94	23.39	8.34	68.65	26.69	6.43	59.20	28.34
Multi-GNSS Least-Squares	5.76	52.11	93.57	5.78	59.69	93.57	14.49	224.2	61.78	9.30	152.4	88.30
GNSS/INS Kalman Filter	2.36	11.57	100	2.29	12.21	100	18.83	132.6	100	5.39	53.08	99.84
GNSS/INS/OBD/ALT Kalman Filter	0.97	3.91	100	0.99	4.55	100	6.15	38.85	100	1.59	15.02	99.84
PD Hatch Filter	0.40	0.63	100	0.27	0.47	100	1.18	1.74	100	1.25	1.64	100
Kalman-Hatch Dual-Filter (Proposed)	0.23	0.40	100	0.17	0.35	100	0.26	0.48	100	0.32	0.61	100

KOREA AEROSPACE UNIVERSITY

Thank you!



35