

ASF 보상 방법에 따른 eLoran/GPS 통합항법 알고리즘 성능 개선

송 세필 · 조 성한 · 최 현호 · 김 영백 · 이 상정 · † 박 찬식

† 충북대학교 제어로봇공학과/충북대학교 컴퓨터정보통신 연구소

요 약 : GPS는 높은 정확도를 갖지만 신호 간섭에 취약하다. 따라서 Loran-C의 정확도를 개선한 eLoran이 GPS의 보조항법 시스템으로 고려되고 있다. 본 논문에서는 eLoran/GPS 통합 항법 알고리즘에서 eLoran의 오차 요소인 ASF를 보상하는 방법에 따른 위치 추정 결과의 정확도를 분석한다.

핵심용어 : GPS, eLoran, ASF, 통합 항법 알고리즘

서 론(1/2)

- **GPS:** 보편적으로 사용되는 위성 항법 시스템
 - 군사목적 외에 민간시설에도 다양하게 활용되고 있음
 - 위성 항법의 불안요소
 - 간섭이나 재밍 신호에 취약: 수신된 신호의 전력이 매우 약함
 - 시스템 장애 복구에 장시간이 소요됨
 - 자주성 결여: 제3국의 경우, 운용 정책에 따라 신호 사용이 제한될 수 있음

대체항법이나 백업기술 필요

- **eLoran(enhanced Loran)**
 - 기존 Loran-C 신호의 정확도 개선
 - TOA 기반 항법, All-in-View, 보정 데이터 제공
 - 신호 간섭에 강함
 - 독자적으로 운용 가능한 항법 시스템

GPS 백업 시스템으로 활용 가능



eLoran과 GPS의 측정치

- **GPS 의사거리 측정치와 오차:** 위성과 수신기 사이의 거리 + 오차

$$\Psi_i^s(t) = r_i^s(t) + cB_s(t) + c b^s(t) + E_i^s(t) + I_i^s(t) + T_i^s(t) + M_i^s(t) + v_i^s(t)$$



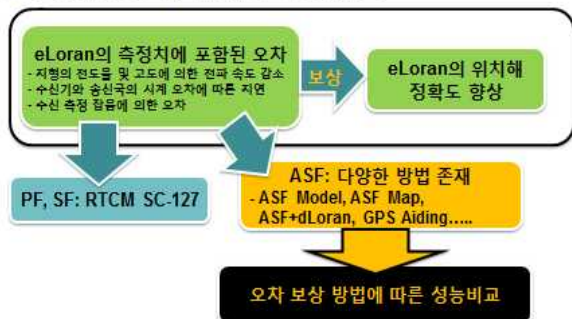
- **eLoran 거리 측정치와 오차:** 송신국과 수신기 사이의 거리 + 오차

$$TOA_i^s(t) = r_i^s(t) + E^s(t) + c[B_s(t) + b^s(t) + PF_i^s(t) + SF_i^s(t) + ASF_i^s(t)] + w_i^s(t)$$



서 론(2/2)

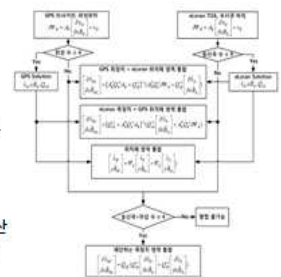
- **eLoran TOA 측정치에 대한 오차 보상 필요**



eLoran/GPS 통합 항법 알고리즘

- **항법 모드**

- eLoran: 최소자승법
- GPS LI: 최소자승법
- 측정치 영역
 - eLoran과 GPS 측정치를 모두 사용하여 위치 추정
 - 위치해 정확도 향상
- 위치해 영역
 - 단독항법 결과에 가중치 적용 후 합산
 - 가중치를 조절하여 정상상태의 단독항법 결과 선택
- 측정치+위치해
 - 측정치의 수가 충분한 시스템의 위치해를 측정치의 수가 부족한 시스템의 거리 측정치를 사용하여 갱신

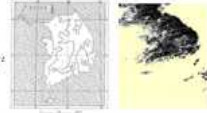


eLoran/GPS 통합 항법 알고리즘

† 교신저자 chansp@cbnu.ac.kr

eLoran TOA 측정치와 오차

- 송신국과 수신기 사이의 실제 거리: 직선거리 $r_i = \sqrt{(X^i - X_r)^2 + (Y^i - Y_r)^2 + (Z^i - Z_r)^2}$
 - 송신국 위치: (X^i, Y^i, Z^i) 사용자 위치: (X_r, Y_r, Z_r)
- eLoran 거리측정치 오차
 - PF_i : 매질에 따른 전파 속도의 지연 요소
 - SF_i : 신호의 전파 경로가 해수면일 경우의 지연 요소
 - ASF_i : 신호의 전파 경로가 육상일 경우의 지연 요소
 - 계산: 고도 및 전도를 데이터 이용, 또는 실측
 - 고도: CGLAR-CSI의 DEM(Digital Elevation Model) 데이터
 - 전도를: ITU-R P. 832-3 데이터
 - 송신국과 수신기의 시계 오차: b, B_E
 - 송신국 시스템의 지연오차에 따른 거리 오차: E
 - 수신기의 측정잡음에 의한 오차: w_E



한반도의 고도 및 전도데이터

- 일반적인 오차 보상 방법
 - 오차 요소를 각각의 모델에 따라 계산
 - ASF 보정: 보정 데이터(Eurofix) 수신 및 적용

ASF 보상방법: ASF Map과 dLoran 이용

- eLoran 항법 알고리즘
 - 수신한 신호로부터 TOA 측정
 - TOA를 거리로 환산
 - 1차 오차 보정
 - 예측한 PF와 SF 보정
 - 송신국에 의한 오차 보정
 - 수신기에 의한 오차 보정
 - 1차 측위: 수신기의 대략적인 위치
 - ASF 보정 정보 획득
 - 1차 측위 결과 기준
 - LDC 복조: ASF 보정정보 획득
 - 2차 오차 보정: ASF 보정
 - 2차 측위: 수신기의 정확한 위치



ASF 보상 방법: ASF Model, ASF Map

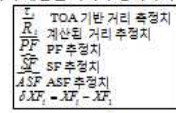
- ASF를 보상함으로써 100[m] 이내의 위치해 정확도 달성 가능
 - FAA(Federal Aviation Administration) 평가 보고서
- ASF 보상 방법: ASF Model 이용
 - Milington, Monteath 등의 ASF Model 사용
 - 한 지점에서 계산된 ASF를 다른 점에 적용할 수 없음
 - 일반적으로 500m ~ 2km 격자로 계산
 - 1회 계산에 상당한 시스템 자원과 시간 소요: 실시간 측위가 어려움
- ASF 보상 방법: ASF Map
 - ASF를 실제 측정하여 Digital Map 형태로 수신기 내부에 저장
 - 격자 내 ASF는 Interpolation을 통하여 추정

ASF 보상방법: GPS 측정치를 이용(1/2)

- GPS Aiding Method
 - 매 epoch GPS 측정치 이용
 - GPS-eLoran 연동으로 항상 사용자의 위치를 알고 있는 경우 사용
 - 송신국의 위치와 수신기의 위치로부터 거리의 추정치 계산
 - 직선 거리가 아닌 지구 타원체 상의 거리 계산: Vincenty의 역문제
 - 측정치 오차: eLoran의 TOA 기반 거리 측정치와 계산된 거리 추정치의 차

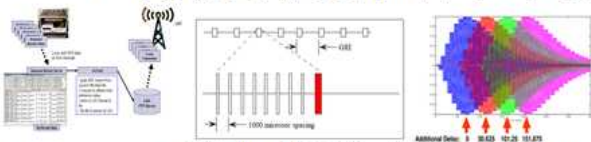
$$r_i - \hat{R}_i = \overline{PF} + \overline{SF} + \overline{ASF}$$
 - 첫 epoch의 GPS 측정치만 이용
 - 처음 1회만 GPS를 이용하여 측정치의 오차 계산
 - 오차 보정

$$\hat{r}_i = r_i - (\overline{PF} + \overline{SF} + \overline{ASF}) = \hat{R}_i + \delta PF_i + \delta SF_i + \delta ASF_i \approx \hat{R}_i$$
 - GPS 기반 ASF 보상 방법의 장점
 - PF, SF, ASF를 한번에 계산
 - (GPS-eLoran 연동 중), GPS off시에도 가장 최근의 ASF 추정치 이용 가능



ASF 보상방법: ASF Map과 dLoran 이용

- dLoran(Differential Loran) 기준국
 - 목적: 시간 특성에 의하여 변화하는 ASF 보정
 - 고정된 위치에서 ASF 보정 데이터 생성
 - 기준국의 장시간 ASF 평균값(ASFnominal_value)
 - 기준국의 시간특성에 의한 ASF(ASFtemporal_value)
 - LDC(Loran Data Channel)
 - 기존 Loran-C 펄스열에 9번째 펄스를 추가하여 데이터 채널로 사용
 - PPM 방식을 사용, 한 개의 메시지에 전송에 24 GRI 주기 소요(18.8~48.obps)



dLoran 기준국 시스템 구성, eLoran의 9번째 펄스, 9번째 펄스의 지연시간

ASF 보상방법: GPS 측정치를 이용(2/2)

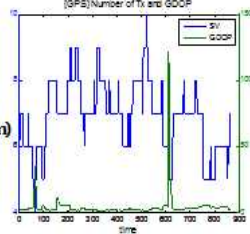
- ASF 평균값 산출
 - 매 epoch마다 구한 ASF 추정치의 평균 계산
 - 측정 잡음의 영향 감소 효과
- Hatch Filter를 이용한 ASF 보정
 - Hatch Filter
 - 전체 측정치의 평균값 대신 최근의 측정치에 많은 가중치 부여하여 평균 계산

$$\overline{ASF}_N = \begin{cases} \frac{\overline{ASF}_N}{N} + \frac{(N-1)\overline{ASF}_1}{N}, & N < N_{window} \\ \frac{\overline{ASF}_N}{N} + \frac{(N_{window}-1)\overline{ASF}_1}{N_{window}}, & N \geq N_{window} \end{cases}$$

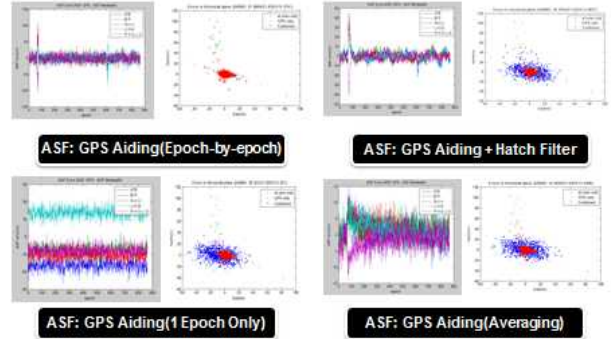
시뮬레이션(1/2)

■ 성능 평가 시나리오

- MATLAB/SIMULINK 기반 성능 평가 플랫폼
- 시뮬레이션 시간: 1일
- Epoch 간격: 100 초
- 수신기 설정
 - 좌표: (N 37.5°, E 127°, 100m)
 - 수신기 측정 잡음
 - AWGN(평균 0m, 표준편차 10m)
 - 수신기 시계 오차: 0
 - 막음각(Mask Angle): 10°



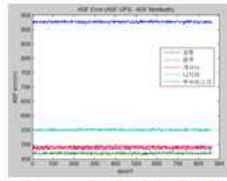
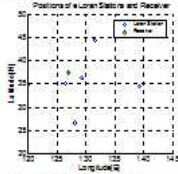
항법 결과(2/3)



시뮬레이션(2/2)

■ 성능 평가 시나리오

▪ eLoran 설정



송신국의 배치: GRI9930 Korea Chain

ASF Errors: GRI9930 시뮬레이션 결과

- GRI 9930 Korea Chain내 송신국 신호 생성
- ASF Error: MonteathModel로부터 생성한 ASF+Bias를 참값으로 가정
- ASF Map: Monteath Model 값에 근사화한 값 사용
- dLoran기준국에서 Bias 추정하는 것으로 처리함

항법 결과(3/3)

■ ASF Map 이용

- ASF Map Only: Bias만큼의 오차 발생
- ASF Map + dLoran: ASF와 Bias 모두 보상

■ GPS Aiding

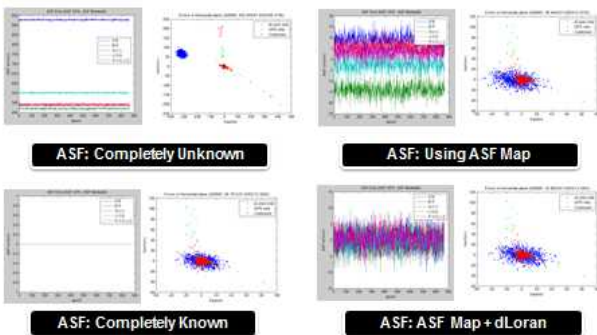
- GPS 위성 수가 부족할 경우의 GPS 성능이 eLoran 오차 추정에 영향
- 매 epoch 마다 오차 추정할 경우 GPS와 비슷한 정확도의 위치 추정

■ 기타 방법들은 30~40m의 오차 발생

■ eLoran/GPS 통합 항법을 통하여 위치해 정확도 향상

	eLoran	GPS	Combined		eLoran	GPS	Combined
Completely unknown	652.8	21.6	68.4	Epoch-by-epoch	21.6	21.6	15.38
Completely known	26.7	21.6	13.32	1 Epoch	38.4	21.6	13.35
ASF Map	37.0	21.6	13.34	Averaging	34.9	21.6	12.45
ASF Map + dLoran	34.8	21.6	13.33	Hatch filter	34.4	21.6	13.08

항법 결과(1/3)



결론

■ ASF Map 사용시 dLoran을 같이 사용하여야 항법 정확도 향상

- 실제 측정치 기반의 검증 필요
- ASF Map의 확보와 dLoran 인프라 구축 필요

■ eLoran/GPS 통합 항법 알고리즘과 ASF 보상

- eLoran과 GPS의 연동을 통하여 매 epoch마다 eLoran 오차 추정
 - ASF Map이나 dLoran이 없어도 ASF 보상 가능
 - 계산된 ASF를 수신기에 저장함으로써 ASF Map 데이터 획득 가능
- ASF Map과 dLoran이 없어도 정확한 위치 추정 가능
- 향후 ASF Map과 dLoran 데이터를 이용한 실제 항법 성능 확인 필요
 - GPS Aiding, ASF Map, dLoran 성능 비교