

다중경로 오차 제거를 위한 새로운 상관기 설계

*장한진¹, 김정원², 황동환³, 이상정⁴, 엄철문⁵

¹대전연구소, NEX1 Future co. ltd. (Tel: 042-610-7226 E-mail: hjjanga@nex1.co.kr)

²전자공학과, 충남대학교(Tel: 042-821-7709 E-mail: kimjw@cnu.ac.kr)

³전기정보통신공학부, 충남대학교(Tel: 042-821-5670 E-mail: dhhwang@cnu.ac.kr)

⁴전기정보통신공학부, 충남대학교(Tel: 042-821-6582 E-mail: sjlee@cslab.cnu.ac.kr)

⁵대전연구소, NEX1 Future co. ltd. (Tel: 042-610-7220 E-mail: cmyum@nex1.co.kr)

Abstract: 본 논문에서는 Late 암으로부터 측정된 상관 값을 보정하여 상관함수의 비대칭을 완화시키고 다중경로 신호 오차를 제거하는 새로운 상관기 설계법을 제안하였다. 다중경로 오차에 의한 신호 추적 오차는 상관함수의 Early-Late 간 비대칭과 관련이 있으므로, 다중상관기 구조를 이용하여 상관함수의 Early-Late간 상관값 차를 측정하면 상관함수의 비대칭 정도를 추정할 수 있다. 상관값 차를 이용하여 추정한 상관함수 비대칭을 감소시키면 다중경로 신호에 의한 코드 추적 오차를 줄일 수 있다. 제안한 상관기는 4개의 암과 보정치 생성 블록으로 구성된다.

제안한 상관기의 다중경로 오차 제거 성능은 시뮬레이션을 이용하여 확인하였다. 여러 가지 지연시간 및 신호 진폭을 가지는 다중경로 신호에 대하여 일반 수신기와의 위상 추적 오차를 비교하여 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 결과에서 제안한 상관기는 우수한 다중경로 오차 제거 성능을 가지며 일반상관기와 유사한 평균 신호 획득시간을 가짐을 알 수 있다.

Keywords: GPS, 다중경로 신호, 상관함수 비대칭, 다중 상관기

1. 서 론

항공기 혹은 유도무기의 항법시스템으로 GPS의 활용이 증가하고 있다. 많은 군용 항체에서 GPS를 단독 혹은 INS(Inertial Navigation System) 등의 보조 센서로 사용하고 있다. 예로, 미국은 JDAM(Joint Direct Attack Munition)과 토마호크 미사일의 항법시스템으로 GPS를 사용하여 이에 대한 안정성 및 효용성을 입증하고 있다[1].

항공기 항법시스템에서 다중경로 신호는 GPS의 주요 오차 요인 중 하나이다. 다중경로 신호는 지면 및 주변 지형의 신호 반사에 의해 발생하므로 지면으로부터 어느 정도의 고도로 운용되는 항체는 다중경로 신호에 항상 노출되어 있다. 다중경로 신호는 수신기에 최대 70m 정도의 의사거리를 발생시킬 수 있다. 다중경로 오차는 DGPS(Differential GPS) 등의 보정 항법 기법으로 제거되지 않으며 초크링, 안테나 수신 패턴 설계, 새로운 신호 상관기 설계, 그리고 추정기법의 사용 등을 통해 제거한다[2][3].

초크링의 사용이나 안테나 수신패턴 설계에 의한 제거방법은 낮은 양각을 가지는 신호 입력을 차단하는 방법이다[2][3]. 안테나 수신패턴 설계 기법은 자세 변화가 없는 기지국 수신기에서 우수한 성능을 보이나 항공기, 미사일 등 자세변화가 많은 항체에서는 효용성이 떨어진다[3]. 추정기법은 언급한 방법 중 가장 우수한 다중경로 오차 제거 성능을 가지나 많은 계산과 측정치 관측 시간이 요구되어 실시간 항법에 적용이 어렵다. 신호 상관기 설계 기법은 항체 자세변화에 의한 성능 변화가 없으며 계산 부하의 증가도 거의 없어 항공기의 다중경로 오차 제거에 가장 효과적 방법이다[4].

다중경로 오차제거를 위한 상관기로는 협대역 상관기와 스트로브 상관기, MET(Multipath Elimination Technique), E1/E2 추적기 등이 있다[2][3]. 현재까지 제안된 대부분의 상관기들은 협대역 상관기에 기반을 두고 있기 때문에 단독으로 사용시 신호 획득에 소요되는 시간이 일반 상관기에 비해 길며 신호 추적 범위도 좁아 고기동 항체에서의 사용이 어려운 단점이 있다[3].

본 논문에서는 Early와 Late간 상관값 차를 이용하여 상관

함수의 비대칭성을 추정하는 방법에 대해 소개하고 추정한 비대칭성을 감소시켜 코드 위상 추적 성능을 개선하는 방법과 이의 구현을 위한 상관기 구조를 제안한다. 다중경로 신호에 대한 제안한 상관기의 코드 추적 성능은 모의실험을 통하여 확인하였다. 또한 이론 값 계산을 통해 제안한 상관기의 평균 신호 획득 시간이 일반상관기와 유사함을 확인하였다.

2. 다중경로 오차 제거용 상관기 구조

2.1 다중경로 신호에 의한 상관함수 비대칭 발생

수신기 입력에 다중경로 신호가 포함되어 있는 경우 안테나로의 입력신호 $s_r(t)$ 는 식 (1)과 같다[2]. 식 (1)에서 A는 직접경로신호(LOS, Line-Of-Sight)의 진폭을 의미하며, α_k , τ_k , 그리고 θ_k 는 각각 다중경로 신호의 반사율, 지연시간 위상차를 나타낸다. $C(t)$ 는 GPS의 L1 C/A(Course Acquisition) 코드를 의미하며 $D(t)$ 는 항법데이터이다.

$$s_r(t) = AC(t)D(t)\cos(\omega t + \theta) + \sum_{k=1}^n \alpha_k AC(t - \tau_k)D(t - \tau_k)\cos(\omega t + \theta_k) \quad (1)$$

다중경로 신호가 포함된 수신기 입력 와 상관기내에서 생성하는 복제 신호와의 상관함수 $R_T(\tau)$ 는 식 (2)와 같다[2].

$$R_T(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T s_r(t)C(t - \tau)\cos(\omega t + \theta)dt = A \left(R(\tau) + \sum_{k=1}^n \alpha_k \cos(\theta_k - \theta)R(\tau - \tau_k) \right) \quad (2)$$

그림 1은 수신기 입력에 단일 다중경로 신호가 포함된 경우, 식 (2)에 의한 상관함수의 변형을 나타낸 것이다.

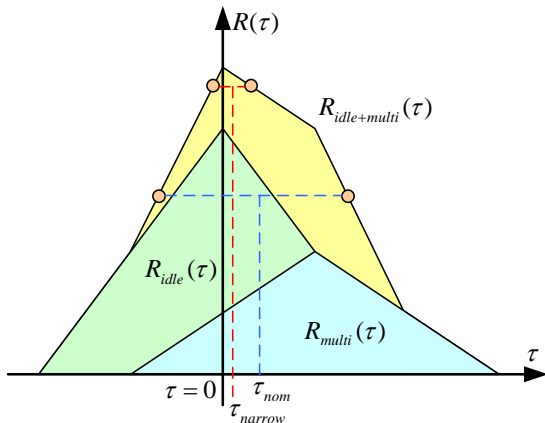


그림 1. 다중경로 신호에 의한 상관함수 특성 변화

수신기 입력에 다중경로 신호가 포함된 경우, 입력신호와 수신기 복제신호의 상관함수에는 우함수 특징이 사라진다[2]. 상관함수의 비대칭은 수신기의 지연추적루프(DLL, Delay Locked Loop)에 코드위상추적 오차를 발생시킨다. 그림 2는 다중경로 신호 입력 시 지연추적루프의 위상판별기 출력을 나타낸다.

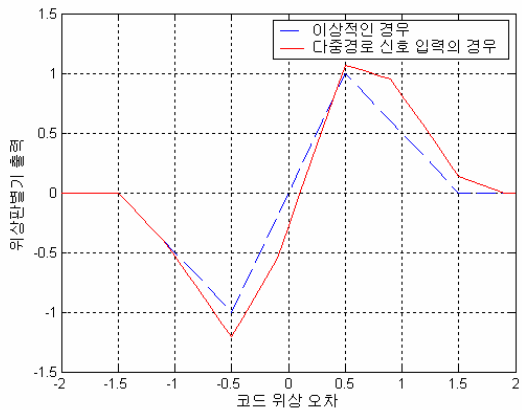


그림 2. 다중경로신호에 의한 위상판별기 출력 변화

그림 1에서 $\tau < 0$ 인 구간을 Early, $\tau > 0$ 인 구간을 Late라고 하면, 상관함수 비대칭이 발생한 경우 $\tau = 0$ 으로부터 동일 간격만큼 떨어진 Early와 Late지점 간에는 상관값 차이가 발생한다. 다중경로 신호에 의한 상관함수 비대칭 발생시 상관값 차와 다중경로 신호 특성의 관계는 표 1과 같다[2].

표 1. 상관값 차와 다중경로 신호 특성 관계

상관값 차(if $\tau > 0$)	다중경로 신호 특성
$R_T(-\tau) = R_T(\tau)$	다중경로 신호 영향 없음
$R_T(-\tau) > R_T(\tau)$	상쇄 간섭
$R_T(-\tau) < R_T(\tau)$	보강 간섭

2.2 상관함수 비대칭성 감소 방안

다중경로 신호의 지연특성으로 인하여 상관함수 변화는 Early 보다 Late에 더 많이 나타난다. Early를 기준으로 Late의 상관값 출력을 조절하면 상관함수의 비대칭 정도를 줄일 수 있다. 그림 3은 상관함수 Late 을 조절하여 코드 위상 추적의

정확도를 높이는 방법에 대해 설명한 것이다. 그림 4는 Late의 상관값을 보상하였을 때 위상판별기의 코드 위상판별 정확도가 향상됨을 보여준다.

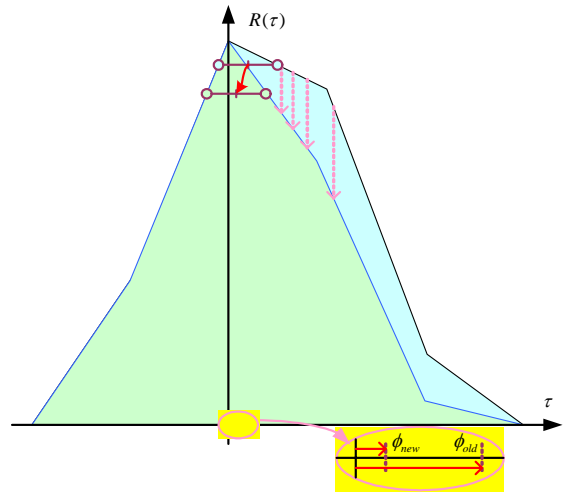


그림 3. Late 상관값 조절에 의한 상관함수 비대칭 감소

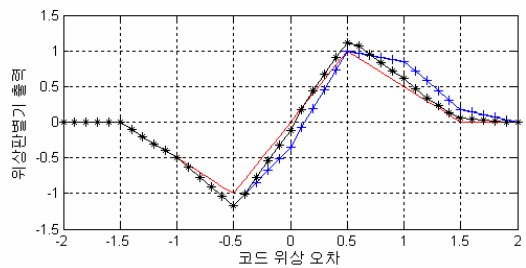
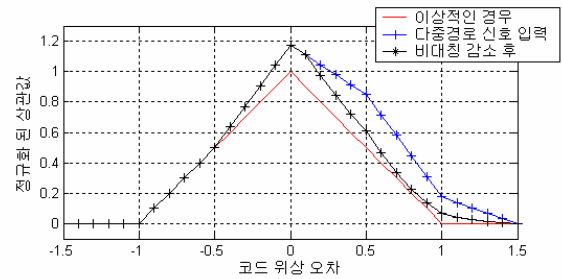


그림 4. 상관값 조절에 의한 위상판별기 정확도 향상

2.3 다중경로 오차 제거를 위한 상관기 구조 제안

다중 상관기를 이용하면 상관함수의 Early-Late간 상관값 차를 측정할 수 있으며, 이를 통해 상관함수 비대칭 정도를 결정할 수 있다[6]. 그림 5는 상관값 차 측정이 가능한 다중상관기 구조를 나타낸 것이다.

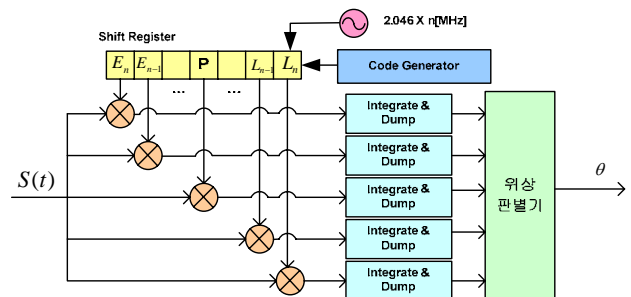


그림 5. 상관값 차 측정을 위한 다중상관기 구조

그림 5의 다중 상관기에서 각 양은 코드 추적점을 중심으로 일정한 간격으로 배열되어 있다. 그림 5의 여러 상관 양 중에서 한 쌍은 코드위상추적에 사용되며 나머지는 상관값 비교를 통해 상관함수의 비대칭 정도를 추정하는데 사용된다.

다중경로 신호에 의한 상관함수의 비대칭 정도를 추정하고 이를 근거로 Late의 상관값 보정이 가능한 상관기를 그림 6과 같이 설계하였다.

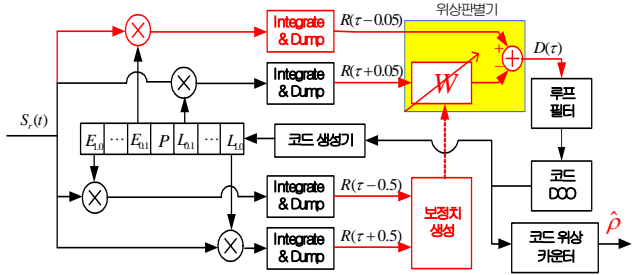


그림 6. 제안한 다중경로 오차제거용 상관기 구조

그림 6의 다중경로 오차 제거용 상관기는 코드 추적점으로부터 0.05칩의 간격을 가지는 2개의 상관양과 0.5칩 간격을 가지는 2개의 상관양으로 구성하였다. 0.05칩 간격을 가지는 2개의 상관양은 기존 상관기로서 코드 위상 추적을 담당하며, 0.5칩 떨어진 2개의 상관양은 보조 상관기로 Early와 Late간 상관값 차이를 측정한다. 보정치 생성블록은 보조상관기에서 측정된 상관값 차를 이용하여 상관함수 비대칭 감소를 위한 보정치 W를 생성한다. 생성된 W 값은 기존상관기의 Late 상관값에 곱해짐으로써 상관함수 비대칭을 감소시킨다. 식 (3)은 보정치 W의 생성식을 나타낸다.

$$W = \frac{1 - \beta(R_T(\tau + 0.5) - R_T(\tau - 0.5))}{1 + \beta(R_T(\tau + 0.5) - R_T(\tau - 0.5))} \quad (3)$$

식 (3)에서 W는 보강간섭의 경우 1보다 작은 값을 가지며 상쇄간섭의 경우 1보다 큰 값을 가진다. β 값은 상관값 차에 따른 상관함수 비대칭 보상 정도를 결정하는 설계 변수로 모의실험을 통해 1.5칩 이하의 지연시간을 가지는 다중경로 신호에 대하여 코드추적오차 총 합을 최소로 만드는 값으로 선정하였다. 본 논문에서 선정된 β 값은 0.1330이다.

2.4 다중경로 오차 제거를 위한 상관기 구조 제안

그림 6에서 제안한 구조에서 신호 검색은 보조상관기를 이용 코드 위상 값을 추적하여 기존상관기의 검색 셀 개수를 줄이는 방법을 사용한다. 보조 상관기를 이용하여 코드추적을 완료한 경우 다중경로 신호에 의한 코드 위상의 불확실 범위는 최대 0.45칩이다. 기존상관기의 신호 추적 범위는 0.05칩이므로 기존 상관기를 위한 검색 셀의 개수는 9개이다. 그림 6은 제안하는 신호 검색 방법을 나타낸다. 콜드 스타트(Cold Start)의 경우 수신기는 보조 상관기를 이용하여 0.5칩 단위로 신호 검색을 수행한다. 보조 상관기를 이용한 신호 셀 검색 및 추적이 완료되면 신호 추적범위로부터 0.45칩 범위를 0.05칩 단위로 검색하여 기존 상관기의 신호 추적이 가능한 셀을 찾아낸다. 기존 상관기를 위한 셀 검색은 보조 상관기의 코드추적점으로부터 가까운 순서로 수행한다. 기존 상관기의 신호 추적이 완료되면 보조상관기는 신호 추적 과정에 더 이상 관여하지 않으며 상관값 차 측정만을 위해 사용된다.

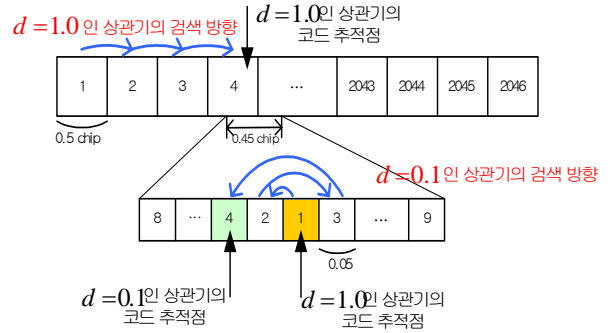


그림 7. 제안한 상관기의 신호 획득을 위한 셀 검색 순서

3. 성능 검증

3.1 다중경로 오차 제거 성능 확인

2절에서 제안한 다중경로 오차 제거용 상관기의 성능을 모의실험을 통해 확인하였다. 그림 8은 다중경로 신호의 대역폭이 무한대이며 진폭이 직접경로신호의 50%일 때 제안한 상관기의 코드 추적오차를 나타낸 것이다. 다중경로 신호 진폭이 50%인 경우, 제안한 상관기는 모든 지연시간에 대하여 0.025칩 이하의 오차를 가짐을 확인하였다.

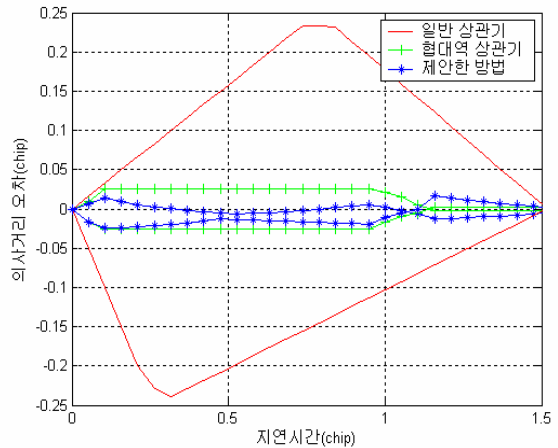


그림 8. 다중경로 신호 진폭이 50%인 경우 제안한 상관기의 오차 포락선

그림 9는 다중경로 신호의 대역폭이 무한대이고 진폭이 직접경로신호의 25%일 때 제안한 상관기의 코드 추적오차를 나타낸 것이다. 다중경로 신호 진폭이 25%인 경우, 제안한 상관기는 모든 지연시간에 대하여 0.0125칩 이하의 오차를 가진다.

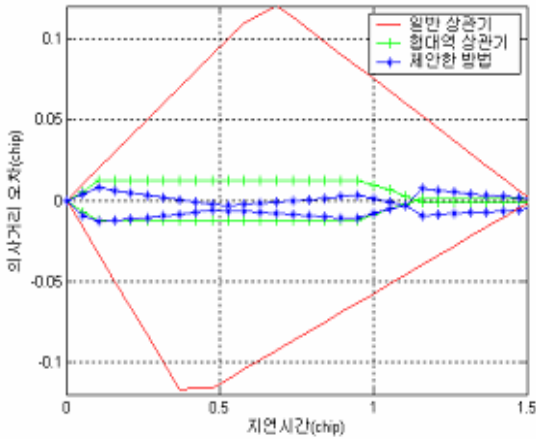


그림 9. 다중경로 신호 진폭이 25%인 경우 제안한 상관기의 오차 포락선

실제 수신기는 인접 신호의 간섭이나 기타 잡음 영향을 줄이기 위해 신호 대역폭을 제한한다. 위성 신호의 대역을 제한할 경우 위성 신호 전력의 일부도 같이 제거 되므로 상관함수 특성이 달라진다. 실제 수신기에 적용시의 성능 예측을 위하여 입력신호 대역폭을 8MHz로 제한한 후 성능을 확인하였다. 그림 10은 대역제한 시 제안한 상관기의 성능을 나타낸 것으로 모든 지연시간에 대하여 0.045칩 이하의 코드 추적 오차를 가짐이 확인되었다.

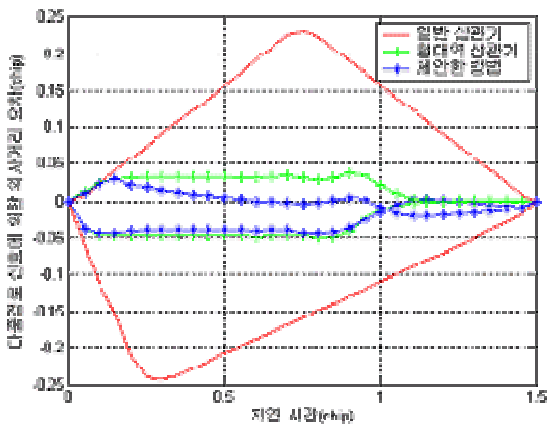


그림 10. 다중경로 신호 진폭이 50%이며 입력신호 대역폭이 8MHz인 경우 제안한 상관기의 오차 포락선

3.2 평균 신호 획득 시간 확인

제안한 상관기의 신호 획득 성능을 알아보기 위하여 평균신호획득시간을 계산하여 이를 일반상관기의 경우와 비교하였다. 평균신호획득시간 계산은 J.B.Lowzow의 유도식을 이용하였다[4]. 제안한 상관기의 평균신호획득시간 $\bar{T}_{AQ_{new}}$ 은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{T}_{AQ_{new}} = \bar{T}_{AQ_{0.5}} + \bar{T}_{TRAC} + \bar{T}_{AQ_{0.05}} \quad (4)$$

식 (4)의 $\bar{T}_{AQ_{0.5}}$ 는 보조상관기를 이용한 경우의 평균신호획득시간이며 $\bar{T}_{AQ_{0.05}}$ 는 기준상관기의 평균신호획득시간이다. \bar{T}_{TRAC} 은 보조상관기의 신호 획득 완료 시부터 추적완료 시까지의 시간이다. 식 (4)의 계산에 필요한 파라미터 값은 표 2와 같이 설정하였다.

표 2. 평균신호획득시간 계산을 위한 설정 파라미터 값

파라미터	설정 값(seconds)
신호검출 확률	0.99
오보 확률	10^{-3}
무신호 셀의 검색 시간	1ms
오보에 의한 페널티 계수	10
도플러 빈 개수	21개

표 2에 제시한 파라미터 값을 근거로 제안한 상관기의 평균신호획득 시간을 계산하면 표 3과 같다.

표 3. 제안한 상관기와 일반 상관기의 신호획득시간 비교

평균신호획득시간	값(seconds)
$\bar{T}_{ACQ} _{1,0}$	22.162
$\bar{T}_{ACQ} _{new}$	22.147

계산결과에서 제안한 기법은 일반 상관기에 비해 단지 0.07%의 평균 초기획득 시간 만을 증가시키므로 신호 획득 성능은 일반상관기와 유사함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 다중 상관기를 이용하여 상관함수의 비대칭을 측정하고 이를 통해 효과적인 다중경로 오차제거가 가능한 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 상관기의 Early-Late 간격이 크고 작은 임의의 두 상관기를 이용하여 상관함수의 비대칭 정도를 측정한다. 상관함수 비대칭을 측정하기 위한 방법으로 Early와 Late간의 상관 값 차이를 이용하여 이를 통해 보정치 생성 값을 결정한다. 보정치는 Late의 상관 값을 조절하여 비대칭 정도를 완화시켜 다중경로 오차 영향을 감소시킨다.

모의실험을 통한 성능확인 결과 제안한 상관기는 우수한 다중경로 오차 제거 성능을 가지며 일반상관기와 유사한 신호 획득 성능을 가짐이 확인 되었다.

참고 문헌

- 황동환, *GPS/INS 통합 항법 시스템의 설계*, 충남대학교 출판사, 2006.
- 최일홍, *자기 상관 함수 기술기 변화를 이용한 다중 경로 오차 감쇄 기법*, 학위논문, 충남대학교, pp.26-32, 2003.
- Lionel Garin, "Strobe & Edge Correlator Multipath Mitigation for Code," *Proceedings of the International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, pp.657-664, September 1996.
- J. B. Lowzow, "Analysis of Direct P(Y)-Acquisition," *NAVIGATION: Journal of The Institute of Navigator*, Vol. 44, No. 1, pp.89-98, Spring 1997.
- R. Eric Phelts, "Multipath Mitigation for Narrowband Receivers," *Position Location and Navigation Symposium*, IEEE 2000, pp.30-36, March 2000.
- Robert Eric Phelts, *Multicorrelator Techniques for Robust Mitigation of Threats to GPS Signal Quality*, Ph.D. Thesis, Stanford University, Stanford, California 94305, June 2001.