

지역항법 신호에 의한 위성항법수신기 간섭상쇄 성능영향

Effect of Regional Navigation Signals upon an Interference Cancellation Capable GNSS Receiver Performance

이장용¹ · 장재규^{1*} · 안우근¹ · 서승우¹ · 이상정²

¹국방과학연구소

²충남대학교 전자공학과

Jang-Yong Lee¹ · Jae-Gyu Jang^{1*} · Woo-Guen Ahn¹ · Seung-Woo Seo¹ · Sang-Jeong Lee²

¹Agency for Defense Development, Daejeon, 34188, Korea

²Department of Electronic Engineering, Chungnam University, Daejeon, 34134, Korea

[요 약]

본 논문에서는 간섭상쇄 기능을 갖춘 지역전파항법 수신기의 GNSS (global navigation satellite system) 위성항법신호 획득성능을 분석하였다. GNSS 항법신호와 동일 주파수영역에 지역전파항법 신호를 사용하여 통합 항법을 수행할 경우 혼신에 의한 영향이 발생하나, 이는 순차적 간섭신호상쇄 알고리즘 등과 같은 간섭상쇄 기술을 통해 어느 정도 극복 가능하다. 하지만 J/S(jamming-to-signal ratio)가 클 경우 잔여 신호와 GNSS신호와의 교차상관 특성에 의해 신호획득 시 잘못된 검출결과를 보일 수 있다. 본 논문은 Kasami코드를 사용할 경우 GNSS신호와의 혼신에 의한 신호획득 성능저하를 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 분석해 보았으며, 비교를 위해 GNSS Gold 코드의 신호획득 성능과 비교하였다.

[Abstract]

This paper analyzed GNSS signal acquisition performance of a regional navigation receiver when an interference cancellation capability is applied. Intereference between the regional navigation and GNSS signal can be mitigated by the interference cancellation technique such as the successive interference cancellation (SIC) algorithm. However signal acquisition performance will be degraded when jamming-to-signal ratio (J/S) is large due to a cross-correlation properties of residual signals. In this paper we analyzed signal acquisition performance degradation due to the interference between the Kasami and GNSS Gold code signal. Monte Carlo simulation is used for the analysis and compared results with those of GNSS Gold code only condition.

Key word : Successive interference cancellation, Global navigation satellite system, Cross-correlation, Kasami, Gold code.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.3.258>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 28 April 2017; Revised 4 May 2017

Accepted (Publication) 24 June 2017 (30 June 2017)

*Corresponding Authr; Jae-Gyu Jang

Tel: +82-42-821-3643

E-mail: jaegy.jang@gmail.com

I. 서론

직접 대역확산 다중접속 (DS-SS; direct sequence code division multiple access)신호를 사용하는 무선 통신/항법 시스템은 상황에 따라 상대적으로 강한 송신 신호에 의해 상호 간섭이 발생할 수 있다. 무선 통신과는 달리 GNSS 항법 시스템은 전지구상에서 수 dB 이내의 차이를 갖고 일정한 크기의 수신신호를 유지하도록 설계가 되기 때문에, 항공기의 일반적인 이착륙 단계에서는 상호 간섭에 의한 영향이 크지 않다[1].

하지만 도심지를 포함하는 지상항법 응용분야 또는 의사위성을 사용한 실내 또는 지역전파항법 시스템의 경우 송수신기 사이의 거리가 상대적으로 가깝기 때문에 상호 간섭에 의한 영향이 매우 크다. 이 문제를 해결하기 위해 간섭신호상쇄 알고리즘에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 통신 분야에서 사용자 수를 늘리기 위해 주로 개발되어 사용된[2],[3] 연속간섭신호상쇄기법(SIC; successive interference cancellation)이 고감도 GNSS 신호 획득 분야에서 적용되기 시작되었다[4],[5]. 의사위성을 사용하는 경우 간섭효과를 최소화하기 위해 시분할접속기법, 주파수 오프셋 등을 사용해 왔으나 최근에 연속간섭상쇄기법을 사용하는 연구도 진행 중이다[6],[7]. 고감도 신호획득의 경우 GPS(global positioning system) 신호 간 상호간섭이 발생하며, 의사위성을 GPS의 보강신호로 사용할 경우 GPS신호와 의사위성 신호 간 이중코드 상호간섭이 발생한다. 본 연구에서는 지역전파항법에 사용되는 의사위성을 위하여 Kasami 코드와 Gold 코드를 사용하여 교차상관 특성을 분석하였다. 원칙적으로 교차상관 특성은 동일 코드 패밀리 내에서 최적의 특성을 갖기 때문에 의사위성 용으로 할당된 GPS Gold코드를 사용할 경우 최고 성능을 보인다. Kasami코드의 경우 최대 부엽 크기 기준으로 Gold 코드 대비 수 dB의 열화를 보인다. 하지만 실제 성능은 최댓값으로만 결정되는 것은 아니기 때문에, 수치 모의실험을 통해 열화 정도를 분석해야 한다. 본 논문에서는 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 신호획득 성능을 비교 분석하였다.

II. 간섭신호상쇄기법 및 코드특성

2-1 연속간섭신호상쇄기법

연속간섭신호상쇄기법은 입력신호 중에서 세기가 강한 간섭신호를 정밀 추정 후 생성한 복제신호를 통해 간섭신호를 제거한 이후, 나머지 신호성분을 획득 및 처리하는 기법이다. 다른 기법들에 비해 강건성이 좋고 구현이 용이해서 주로 사용되는 방법으로, 해당 알고리즘은 그림 1과 같은 형태로 수신기에 구현된다. 간섭신호상쇄기법의 성능은 그림에서 예측가능 하듯이 알고리즘 상으로는 코드위상, 반송파위상, 주파수, 신호크기 추정오차에 의해 결정되며, 그 이외는 하드웨어 분해능 등의 구현상 손실이 고려된다.

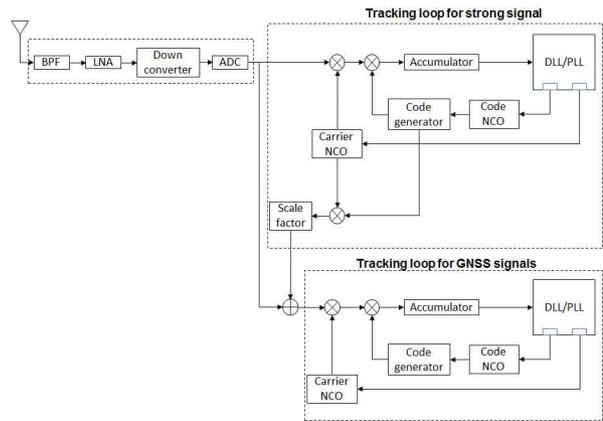


그림 1. 간섭상쇄 수신기 구조도

Fig. 1. Architecture of an interference cancellation receiver.

2-2 코드특성

GPS C/A(coarse acquisition)신호는 현재 Gold 코드를 사용하고 있으며, L1C신호부터는 Weil코드를 사용할 예정이다. 그 외 러시아의 경우 GLONASS(global navigation satellite system)-K에서 Kasami-large 코드를 사용할 것으로 알려져 있다. Kasami-small 코드의 경우 패밀리 수가 매우 적어 위성항법용으로 적합하지는 않으므로, 본 논문에서는 지상항법 시스템 신호로 사용하였다.

그림 2에 위에서 언급된 코드의 교차상관 특성을 비교분석해 놓았다. 교차상관특성으로 최대 부엽크기를 비교하였으며, Kasami-small (이하 Kasami)의 경우 1,023개 칩 길이에서 약 -30 dB로 매우 좋은 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 이는 의사위성 시스템에서 -30 dB 열화 된 송신신호가 간섭에 의해 신호 획득 시 영향을 받지 않는 것을 의미하며, Welch bound를 거의 만족하는 수준의 특성을 보인다.

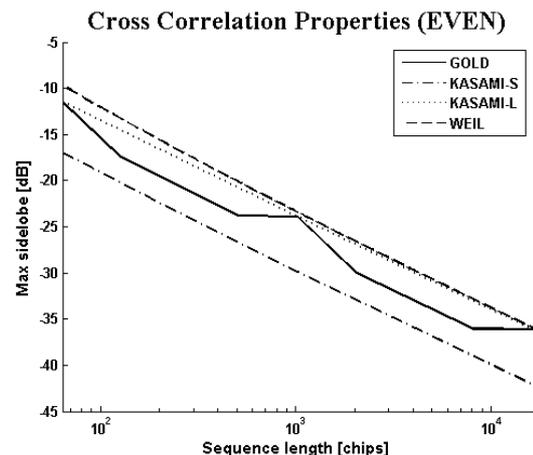


그림 2. 코드패밀리별 교차상관 특성비교

Fig. 2. Cross-correlation properties by code family.

$$K_s(u) = \begin{cases} u \\ u \oplus T^{2^{m/2}-1}w \end{cases} \quad (1)$$

Kasami 코드는 수식(1)과 같은 방법으로 생성되며, GPS Gold코드와 같이 두 개의 LFSR(linear feedback shift registers)로 순서있게 구현이 가능하다. 여기서 u 는 $n = 2^m - 1$ 주기를 갖는 m-sequence이며, m 은 짝수의 정수이다. $w = u[q]$ 는 u 를 q 번째 칩마다 decimation한 코드주기를 의미한다. 그 이후의 작업은 GPS 코드 생성과 동일하다.

$$\theta(t) = \begin{cases} -1 \\ -2^{m/2} - 1 \\ 2^{m/2} - 1 \end{cases} \quad (2)$$

Kasami 코드 패밀리 내에서의 교차 상관특성은 수식(2)와 같으며, 단 3개의 값만을 갖고 있어 GPS Gold코드와 같이 매우 규칙적인 특성을 보인다.

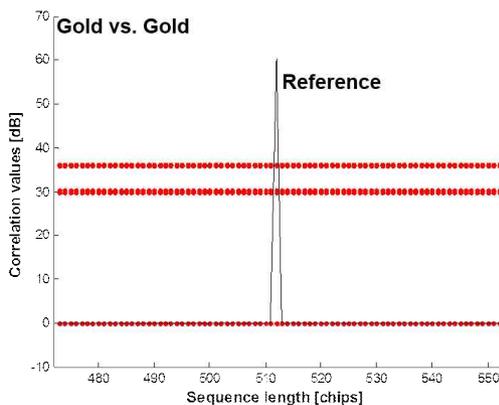


그림 3. Gold 코드 사이의 교차 상관 특성 예
Fig. 3. Cross-correlation property of Gold codes.

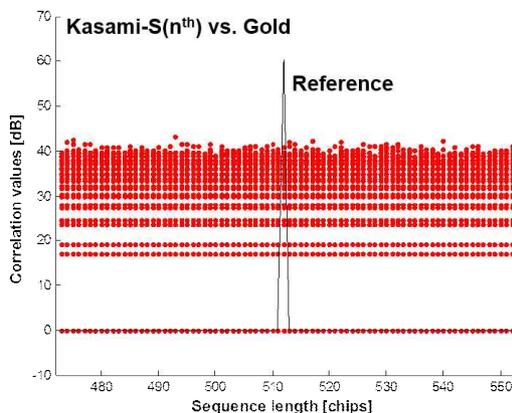


그림 4. Kasami 와 Gold 코드 사이의 교차상관 특성 예
Fig. 4. Cross-correlation between Kasami and Gold.

Gold 코드 사이의 교차상관은 그림 3과 같이 매우 좋은 특성을 보이며, 수식 (2)의 Kasami 특성보다는 작은 약 24 dB 정도의 교차상관 특성을 갖는다. 하지만 지역전파항법 송출 신호로 사용되어 GPS신호와 함께 사용될 경우 기존 GPS신호와 의 교차 특성이 중요해진다. 간섭상쇄 알고리즘 통과 후 남아 있는 Kasami 신호 성분이 GPS 신호와 함께 상관기를 통과하게 되면 그림 4와 같은 특성을 보이게 된다. 서로 다른 이종의 코드 사이의 특성이므로 m-sequence와 마찬가지로 교차특성의 규칙성 또는 상한특성은 만족할 수 없다.

그림 4는 그림 3의 교차상관 특성과 비교하여 최대 약 6 dB 까지도 열화되는 것을 보여준다. 하지만 부엽 크기의 증가 정도가 신호획득 저하정도와 바로 연결되는 것은 아니며, 이는 수치분석을 통해 신호획득 성공률을 분석해야 정확한 비교가 가능하다.

그림5은 GPS신호와 Kasami코드 사이의 교차특성을 FFT기반의 GPS 신호획득 알고리즘 및 연속간섭상쇄 알고리즘을 모 의해서 나타낸 것으로, 실제 수신기 신호처리부에서의 교차상관 영향을 직접적으로 보여준다. GPS1번 신호와 GPS G1 m-sequence를 기본으로 한 Kasami코드 16번 사이의 값이다. 의사위성 송출신호인 Kasami신호가 GPS신호보다 27 dB 높게 수신되는 상황에서 간섭제거알고리즘으로 Kasami신호를 상당부분 상쇄한 이후의 신호 획득 검출기 출력 값을 모의한 것이다. 신호획득 검출기는 FFT (fast fourier transform)반의 순환 상관기술 (circular correlation)을 가정한 것으로, 특정 주파수에서의 병렬코드 위상검출 값에 해당한다.

그림의 원점 근처에 있는 피크는 GPS신호의 자기 상관함수 출력이며, 나머지 피크는 GPS와 Kasami사이의 교차상관 출력 값에 해당한다. 잡음 특성에 의해 교차상관 출력 값을 자기상관 위치로 오판할 가능성이 크며, J/S가 더 커지면 교차상관 출력이 자기상관 출력을 압도하게 되어 GPS신호 획득이 불가능해진다.

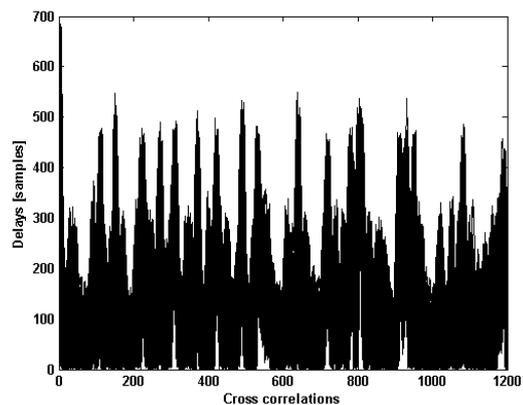


그림 5. 신호검출기 출력 (GPS v.s. Kasami) J/S 27dB
Fig. 5. Signal detection output at J/S 27dB. (GPS v.s. Kasami)

III. 신호획득 성능분석 결과

본 장은 Kasami코드를 의사위성 송출신호로 사용했을 경우 간섭상쇄 수신기에서의 GPS신호 획득성능을 분석하였다. 비교를 위해 GPS신호를 의사위성 송출신호로 사용했을 경우도 동시에 분석하였다.

Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 성능분석을 수행하였으며, 경우 당 1,000회 반복을 하였다. 개방 환경에서의 C/N_0 는 45 dB-Hz로 설정하였으며, GPS신호획득 알고리즘에서의 코드검색 간격은 0.5 chip, 주파수는 500 Hz 간격을 가정하였으며 실제 신호의 위치는 해당 구간 안에서 균일하게 분포하도록 하였다. 의사위성 송출신호와 GPS 항법신호 사이의 코드위상 차이는 한 주기만큼 균일하게 분포하도록 하였다. 시뮬레이션을 위해 GPS 위성과 의사위성 송출기는 각각 한 개씩만 있는 것으로 가정하였으나, GPS 위성 신호가 상대적으로 매우 약하기 때문에 여러 개를 가정한 경우와 큰 차이는 없을 것으로 예상된다. SIC알고리즘에 의한 복제신호의 신호크기 예측오차는 약 2 %로 가정하였으며, 코드위상, 반송파위상, 주파수 오차는 0.1 % 이내로 매우 정확한 상태로 설정하여 실험실 시험 간섭상쇄 성능결과와 유사한 범위 내에 있도록 하였다. 신호획득을 위해서는 P_{fa} (probability of false alarm) 10%로 설정하였으며, 간섭신호상쇄 알고리즘 적용유무 및 적용 신호에 상관없이 임계값을 공통으로 사용하였다. RF 대역폭 (single sided bandwidth)은 10 MHz로 가정하였다.

그림 6은 GPS신호를 송출기에서 사용하였을 경우 신호획득 성능을 분석한 것이다. 주어진 주파수 후보에 대해 참 코드 위상을 1-chip 이내에서 검출한 비율이며, 간섭신호상쇄이후에도 J/S가 올라갈수록 신호획득 성능이 떨어지는 것을 보여준다. J/S 25 dB 근처에서부터 급격히 성능저하를 보여주고 있다.

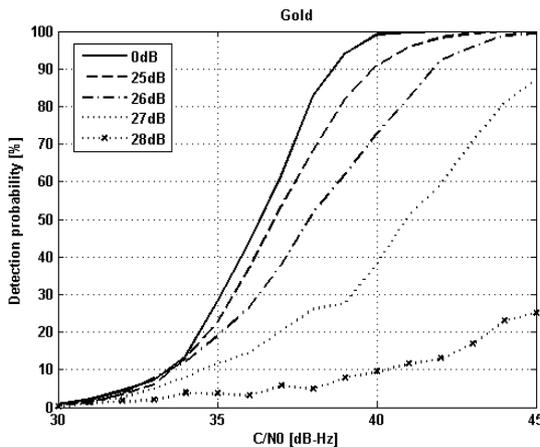


그림 6. GPS코드 간섭상쇄 후 신호획득 성공률 (PIT=5ms)
Fig. 6. Detection probability after GPS code cancellation.

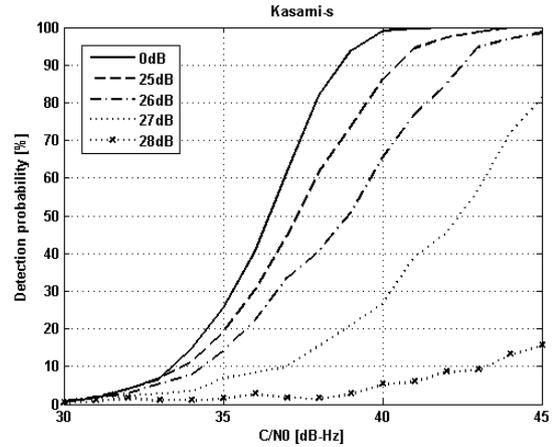


그림 7. Kasami 코드 간섭상쇄 후 신호획득 성공률(PIT=5ms)
Fig. 7. Detection probability after Kasami cancellation.

표 1. 간섭신호제거 후 신호획득 감도분석 결과
Table 1. Sensitivity analysis for GPS signal detection after interference cancellation process.

J/S [dB]	GPS	Kasami
0	38.5 dB	38.6 dB
25	39.8 dB	40.3 dB
26	41.7 dB	42.5 dB

그림 7은 Kasami코드를 송출신호로 사용했을 경우의 GPS신호 획득성능이다. 그림 6의 GPS신호 성능과 유사한 패턴을 보이나 1~2 dB 수준의 성능저하가 관찰된다. 앞 절에서 설명했듯이 교차 상관특성이 최적이지 않기 때문에 발생하는 현상이나, 수치모의시험결과 큰 성능차이를 유발하지는 않는 것으로 분석된다. 위 결과로 볼 때 간섭신호상쇄 알고리즘을 적용한 GPS 수신기의 경우 약 25 dB 수준의 신호차이까지는 1~2 dB 수준의 열화를 겪어 원활한 신호 획득이 가능하지만, 그 보다 강한 신호에 대해서는 신호획득이 원활하지 않을 것으로 분석된다.

위 결과를 사용하여 간섭상쇄 수신기에서의 GPS 항법신호 획득 감도를 정리하면 표1과 같다. J/S값이 커질수록 잔여 신호의 영향으로 인해 감도가 저하되나 J/S 25 dB까지는 총 1~2 dB 열화를 보이나 그 이후부터는 1 dB 신호증가에 의해 거의 2 dB 수준의 급격한 열화를 보인다. J/S 27 dB 부터는 감도가 45 dB를 넘어가기 때문에 시뮬레이션 조건에 의해 개방 환경에서도 신호획득이 불가능 한 것으로 간주하여 표에서 제외하였다. Kasami의 경우 감도는 GPS보다 1 dB이내의 준수한 열화를 보이고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 간섭신호상쇄 알고리즘 적용이후 GPS신호

획득 성능을 분석하였으며, 지역전파항법 시스템의 신호로 Kasami 코드를 사용하였다. 이중 신호에 대한 교차상관 특성은 분석적해로 정의되지 않기 때문에, Monte Carlo 시뮬레이션을 통하여 성능분석을 수행하였다. 결과적으로 GPS신호와 비교하였을 경우 동일한 신호획득 성공률을 달성하기 위해 약 1~2 dB 강한 C/N_0 를 필요로 하였으며, 마찬가지로 신호획득 감도도 약 1~2 dB 수준 열화되었다. J/S기준 25 dB수준까지는 열화정도가 완만하나, 그 보다 큰 신호에 대해서는 급격한 신호획득 성능열화가 관측되어 간섭신호상쇄 알고리즘을 적용하더라도 완만한 GPS신호획득은 힘들 것으로 분석되었다.

References

- [1] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*, 2nd ed. Norwood, MA: Artech House, 2006.
- [2] A. J. Viterbi, "Very low rate convolutional codes for maximum theoretical performance of spread-spectrum multiple-access channels," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 8, No. 4, pp. 641-649, 1990.
- [3] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications," *IEEE Communication Magazine*, Vol. 34, No. 10, pp. 124-136, 1996.
- [4] P. H. Madhani, P. Axelrad, K. Krumvieda, and J. Thomas, "Application of successive interference cancellation to the GPS pseudolite near-far problem," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 39, No. 2, pp. 481-488, 2003.
- [5] Y. T. Morton, M. Miller, J. Tsui, D. Lin, and Q. Zhou, "GPS civil signal self-interference mitigation during weak signal acquisition," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 55, No. 12, pp. 5859-5863, 2007.
- [6] S. W. Seo, J. G. Jang, and W. G. Ahn, "The study of the receiver using interference cancellation technique for selective-jamming system," in *2016 Korea GNSS Society Conference*, Jeju: Korea, pp. 112~115, Dec. 2016.
- [7] W. G. Ahn, S. W. Seo, J. G. Jang, J. Y. Lee, and J. P. Park, "The study on the interference cancellation performance by clock in selective-jamming system," in *2016 Korea GNSS Society Conference*, Jeju: Korea, pp. 17~20, Dec. 2016.



이 장 용 (Jang-Yong Lee)

1995년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학사), 1997년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (박사과정)
1997년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원
※ 관심분야 : 위성항법시스템, 광역보정위성항법시스템, 항재밍장치



장 재 규 (Jae-Gyu Jang)

1999년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사), 2001년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (공학석사)
2006년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사), 2007년 10월 ~ 2009년 11월 : 독일 뮌헨 국방대학교 연구원
2009년 12월 ~ 2013년 5월 : 엘지전자 MC연구소 책임연구원
2013년 6월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
※ 관심분야 : 위성항법시스템, 광역보정위성항법시스템, 항재밍장치



안 우 근 (Woo-Guen Ahn)

2001년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사), 2003년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학과 (공학석사)
2010년 8월 : 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사), 2010년 8월 ~ 2010년 12월 : 한국과학기술원 IT융합연구소 연구원
2011년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
※ 관심분야 : 통신/신호처리, 위성항법시스템, 항재밍장치

서 승 우 (Seung-Woo Seo)

2008년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사), 2010년 2월 : 고려대학교 전자전자전파공학과 (공학석사)
2010년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
※ 관심분야 : 위성항법시스템, 시각동기시스템



이 상 정 (Sang-Jeong Lee)

1979년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사), 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1987년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학박사), 1988년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수

2010년 11월 ~ 현재 : 국방위성항법특화 연구센터 센터장

※ 관심분야 : 강인제어, GNSS, 항법 및 산업제어