DBpia

논문 16-41-08-03 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '16-08 Vol.41 No.08
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2016.41.8.859

GPS 수신기에서 적용 가능한 효과적인 협대역 전파방해 신호 제거 알고리즘

이 인 석◆, 오 성 준°, 한 진 희*

Narrow-Band Jamming Signal Cancellation Algorithm for GPS Receivers

In-seok Lee◆, Seong-jun Oh°, Jin-hee Han*

요 약

GPS(Global Positioning System)는 미국에서 군사목적으로 이용하기 위해 개발된 위치측정 시스템으로, 현재는 우리나라를 포함한 각 국에서 군용뿐만 아니라 민간에도 유용하게 쓰이고 있다. 하지만 GPS는 위성으로부터 지면에 도달하는 신호의 세기가 매우 약해서 전파방해신호(Jamming Signal)에 약하다는 단점을 가진다. 본 논문에서는 수신된 GPS 신호에 협대역의 전파방해 신호가 존재한다고 가정하고, 새로운 협대역 전파방해신호 제거 알고리즘을 제안한다. 우선, GPS 수신기에서 수신한 신호를 FFT를 이용하여 주파수 성분으로 표현하며, FFT로 인하여 발생하는 Spectral Leakage의 영향을 줄이기 위하여 Blackman-Harris window를 적용한다. Blackman-Harris window의 주파수 응답을 형태를 이용하여, 가장 큰 파워를 가지는 주파수 성분을 찾고 그 주변으로 일정한 개수의 성분을 제거하는 알고리즘을 제안하였다. 주로 쓰일만한 128~512포인트의 FFT를 사용할 시에 고정적으로 최대값 주변의 42개의 성분을 제거하는 것이 가장 최적임을 알 수 있었다.

Key Words : GPS, Jamming, FFT, Windowing, Spectral Leakage

ABSTRACT

The Global Positioning System is a navigation system that has been developed by the United States for military use. Currently, many countries, including the Republic of Korea, use GPS for civilian and military uses. However, as useful as it is, GPS is vulnerable to its Jamming signal, as the strength of the signal from satellites is very weak. In this paper, a novel jamming signal detection and cancellation method is proposed when a narrow-band jamming signal is included in the GPS received signal. At the GPS receiver, the received signal is transformed to a frequency domain sample by Fast Fourier Transform. In order to suppress the Spectral Leakage, the Blackman-Harris window is used. The proposed jamming signal cancellation algorithm will find the frequency sample with maximum power and null the maximum sample in addition to some lateral samples. If the GPS receiver is designed with FFT of size 128 to 512, it is shown that 42 samples are optimal to cancel the narrow-band jamming signal.

※ 본 연구는 2014년도 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(과제명: 고감도 다중위성 통합항법칩 및 항법장치개발, 과제번호 : 14-PD-AS-01)

◆ First Author : Korea University Department of Computer science and Engineering, insukee@korea.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Korea University Graduate School of Information Security, seongjun@korea.ac.kr, 종신회원
* TelAce,Inc. hjh@telace.co.kr, 정회원
논문번호 : KICS2016-05-098, Received May 20, 2016; Revised August 8, 2016; Accepted August 9, 2016

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

현재 널리 이용되는 항법 장치의 대부분은 GPS를 이용하고 있다. GPS(Global Positioning System)는 본래 미국에서 군사적인 목적으로 이용하기 위해 개발된 위치 측정 시스템으로, 위성으로부터 받은 신호를 바탕으로 작동하게 되어있다. 4 ~ 6개의 위성에서 수신한 정밀시간정보를 바탕으로 삼각측량법을 이용함으로써 자신의 정확한 위치를 계산한다. 즉, 지상에서 GPS 수신기를 이용하여 GPS 위성에서 송신된 전파가 도달하는 시간을 계산하고, 위성과 현재 수신기와의 거리를 계산할 수 있다. 이러한 위성 정보를 최소 4개 이상 취합하여 GPS 수신기가 위치한 장소의 경위도 좌표와 고도 정보를 얻는다[1,2]. GPS 외에 러시아에서 운용하는 GLONASS도 마찬가지로 위성에서 정밀 시간정보를 제공하여 위치 계산이 가능하도록 하는 글로벌 위성 항법 시스템(GNSS; Global Navigation Satellite System)이다. 또한 유럽연합(EU)에서는 갈릴레오 시스템을 구축중이며, 중국은 BeiDou를 구축중이다. 이 외에 일본과 인도도 독자적인 항법시스템을 적극적으로 개발 중에 있다. 그러나 우리나라를 포함하여 독자적인 위성 항법 시스템이 없는 대다수의 국가에서는 GPS를 이용하고 있다. 국방 분야에서는 군용 통신장비, 정찰장비나 유도 무기 등에 쓰이며, 민간 분야에서는 선박이나 비행기의 항로 계산, 휴대폰의 통신 서비스나 위치기반 서비스, 전력망, 금융망 등 다양하게 활용되고 있다. 이처럼 국방, 민간을 가리지 않는 수많은 핵심적인 서비스들은 GPS에 의존하고 있으며, 그 중요성이 나날이 커지고 있다.

GPS에 사용되는 위성들은 지구상으로부터 20,000km 이상의 거리만큼 떨어져서 위치한다. 따라서 위성으로부터 지면에 도달하는 신호는 세기가 약 -160dBW정도로 매우 약하기 때문에, 신호의 간섭에 매우 취약하다는 단점을 가진다[3,4]. 이러한 간섭의 예시로는 전파방해 즉, 재밍(Jamming) 기법이 있다. 재밍 기법이란, 위성 신호와 같은 주파수 대역에 강한 전력의 신호를 보내어 수신을 방해하는 전파방해기술로 앞에서 말한 위성 신호의 취약성을 이용한 기법이다. GPS 주파수 대역 전반에 걸쳐 간섭 신호를 발생시키는 광대역(Wide-band) 재밍은 비용과 전력이 많이 소모되나, 특정한 좁은 주파수 대역에 간섭 신호를 발생시키는 협대역(Narrow-band) 재밍은 간단한 기술과 낮은 비용으로도 손쉽게 재머(Jammer)를 만들 수 있다. 이러한 이유로 군사 작전상에서의 의도적인 재밍에 의한 피해 뿐만 아니라, 비의도적으로 발생된 협대역의 신호에 의해 야기된 GPS 혼란 사례도 빈번하다. 이처럼 비고의적인 재밍에도 취약한 GPS를 국가 전반적인 시설 및 서비스에 이용하기에는 큰 위험이 따른다.

확실한 취약점이 존재하기 때문에 전파방해신호와 이를 방어하는 방법에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 전파방해신호 자체에 대한 연구와[5], 대비책으로 전파방해모델을 고려한 송신기 개발[6], 배열 안테나를 이용하거나, 빔포밍 알고리즘을 이용한 GPS 수신기 설계 등의 연구가 진행되었다[7-13]. 이들 대부분이 재밍 신호의 방향을 추적하여 그 방향에 nulling을 수행하거나 위성 신호 방향으로의 지향성 빔 형성 등의 방식을 이용한다. 하지만 이러한 방식은 복잡한 알고리즘이 사용되거나, 시스템을 구축하는 데에 비용이 많이 든다. 따라서 의도적인 재밍 뿐 아니라 비의도적으로도 수시로 발생하는 협대역의 전파방해신호에 대처하기에는 효율적이지 못하다.

본 논문에서는 협대역 전파방해가 존재하는 경우에, GPS 수신기에서 FFT(Fast Fourier Transform)를 기반으로 하여 신호를 제거하는 방법을 이용한다[14,15]. FFT를 사용함에 따라 발생하는 Spectral Leakage를 해결하기 위한 Blackman-Harris window의 적용, Blackman-Harris window의 특성을 이용한 새로운 전파방해신호 판별 및 제거 알고리즘을 제안하고 그에 대한 시뮬레이션을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 FFT/IFFT를 이용한 신호처리 방법에 대하여 소개하고, III장에서 새롭게 제안하는 전파방해신호 제거 알고리즘을 소개한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘이 기존의 기법에 비해 나은 성능을 가짐을 보이며 V장에서 본 논문을 정리하고 결론을 맺는다.

Ⅱ. 수신 신호 처리 방법

GPS 수신기에서 신호를 수신했을 시에 여러 가지 이유로 전파방해신호가 존재할 수 있다. 협대역 특성을 가지는 전파방해신호의 경우, 칩 내부에서 Anti-Jamming 블록을 구성하여 제거가 가능하다. 수신 신호로부터 전파방해신호를 판별해내기 위하여 FFT/IFFT를 이용할 것이며, FFT로 인해 발생하는 Spectral Leakage로 인한 손실을 줄이기 위해 Blackman-Harris window를 적용한다.

www.dbpia.co.kr

2.1 FFT/IFFT를 이용한 신호 처리

전파방해신호 성분 제거 방법은 고속 푸리에 변환, 즉, FFT를 이용한다. 수신한 신호를 식(1)과 같이 FFT를 통하여 주파수 성분들로 표현한다.

$$X[k]=\sum_{n=0}^{N-1}x(n)e^{-j2\pi kn/N}\quad k=0,1,\cdots,N-1 \qquad (1)$$

$$x'(n)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}X'[k]e^{j2\pi kn/N}n=0,1,\cdots,N-1 \quad (2)$$

식(1)에서 $x(n)$이 수신기에서 수신한 시간 축의 신호이며, $X[k]$가 주파수 축으로 표현한 수신 신호의 성분이 되고 N은 FFT 포인트 수이다. 주파수 성분 X[k] 중에서 전파방해신호의 비중이 높은 주파수 성분들을 모두 0으로 만들어 전파방해신호의 영향을 줄이는 새로운 신호 $X'[k]$를 만든다. 이렇게 전파방해신호의 주파수성분들이 제거된 신호는 식(2)와 같이 IFFT를 거쳐 전파방해를 받기전과 유사한 형태의 신호 $x'(n)$로 재구성 된다.

2.2 Window를 이용한 Spectral Leakage 해결

협대역의 전파방해신호가 존재할 경우 그림 1에서 보이는 바와 같이 다른 주파수 성분에 비해 매우 큰 파워를 가지는 성분이 존재한다. 전파방해신호가 추가된 수신된 신호를 FFT할 경우, 전파방해신호의 주파수가 FFT 포인트의 주파수 성분 값으로 정확히 표현이 되지 않을 때 주파수 성분의 Spectral Leakage가 전 대역으로 발생할 수 있다[16]. Spectral Leakage 현상이란 그림 2에서 볼 수 있듯이 전파방해신호의 주파수 주위로 파워가 퍼지는 것을 말하며 다른 주파수의 신호에 영향을 끼쳐 성능 저하를 유발하는 원인이 된다. 높은 FFT 포인트를 가질수록 더 세분화된 주파수 단위로 신호를 표현할 수 있고, 포인트가 낮을수록 넓은 간격의 주파수 단위로만 신호를 표현해야 한다. 그림 1은 전파방해신호의 주파수와 FFT 포인트의 주파수 성분이 정확히 일치하는 best case의 경우를 보이고 있고, 그림 3은 전파방해신호의 주파수와 FFT 포인트의 주파수 성분이 최대한 어긋나 있는(포인트의 중간에 위치하는) worst case를 보이고 있다. 전파방해신호의 Spectral Leakage로 인하여 영향을 받는 주파수 샘플의 수가 많게 되면, 그만큼 많은 샘플을 제거해야 하고 원래 신호의 손상도 커지게 되므로 좋은 성능을 기대할 수 없다. 이와 같이 발생하는 Spectral Leakage로 인한 성능 저하를 막기 위해서

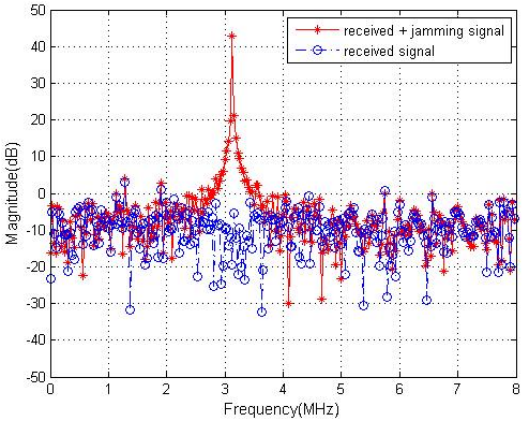

그림 2. 스펙트럼 누설현상
Fig. 2. Spectral Leakage

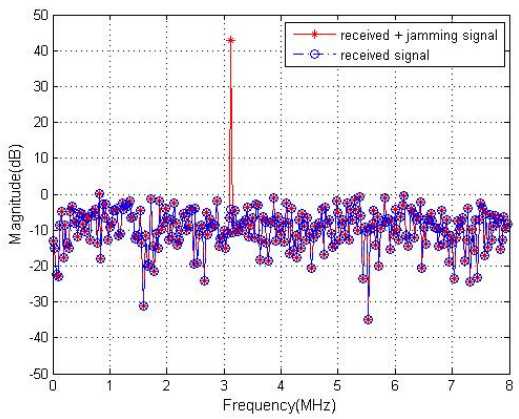

그림 1. 협대역의 교란 신호 (Best Case)
Fig. 1. Narrow-band jamming signal(Best Case)

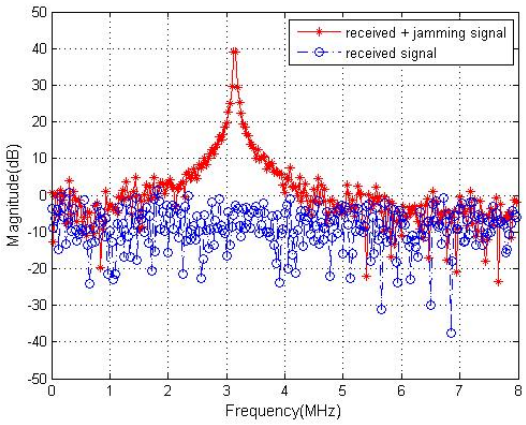

그림 3. 스펙트럼 누설현상의 worst case
Fig. 3. Worst case of Spectral Leakage

www.dbpia.co.kr

FFT의 입력 신호에 window를 적용하는 방식이 사용된다. FFT window기법은 수식(4)와 같이 FFT의 입력신호에 일정한 계수들을 곱하여 FFT를 실행하게 된다. 그 결과 전 대역으로 넓게 퍼지는 전파방해의 신호를 비교적 좁은 범위로 압축시켜주는 효과를 보여준다. 자주 사용되는 window는 Hamming, Blackman-Harris 등이 있다[16]. 수식(5)는 Hamming window, 수식(6)은 Blackman-Harris window를 나타내는 식이며 N은 window length를 나타낸다. 본 논문에서는 Blackman-Harris window를 선택하여 적용하였다.

$$X[k]=\sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n)e^{-j2\pi kn/N} \quad k=0,1,\cdots,N-1 \tag{4}$$

$$w(n)=0.54-0.46\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad n=0,1,\cdots,N-1 \tag{5}$$

$$w(n)=a_0-a_1\cos\left(\frac{2\pi}{N}n\right)+a_2\cos\left(\frac{2\pi}{N}2n\right)-a_3\cos\left(\frac{2\pi}{N}3n\right)$$
$$n=0,1,\cdots,N-1,\ a_1=0.48829,\ a_0=0.35875,$$
$$a_2=0.14128,\ a_3=0.01168 \tag{6}$$

그림 4는 Worst Case에서 Blackman-Harris window를 적용한 신호이며, Spectral Leakage가 영향을 끼치는 범위가 감소하였음을 보이고 있다. 하지만 Windowing을 사용하게 되면 window 자체의 특성으로 인해 best case의 경우에는 오히려 손실이 발생하고, 신호의 왜곡으로 인한 성능의 저하가 발생한다. 즉, window를 적용하면 Spectral Leakage가 완화되는 효과를 얻을 수 있으나, 신호의 왜곡으로 인한 손실이

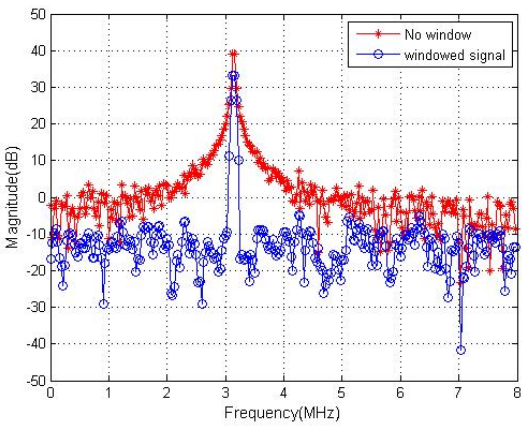

그림 4. Blackman-Harris window를 적용
Fig. 4. Use Blackman-Harris window

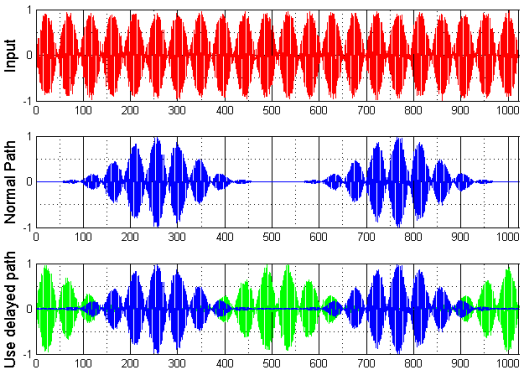

그림 5. 지연되는 경로 추가를 이용한 신호 왜곡 보상
Fig. 5. Signal distortion compensation by adding delayed path

라는 trade-off가 존재한다. Windowing으로 인해 손상된 신호는 프로세서의 하드웨어 설계 과정에서 원래 신호의 전송 경로에 신호가 지연되는 전송 경로를 추가하는 방식으로 보상할 수 있다[15,16]. 그림 5에서 지연되는 전송 경로를 추가하여 손상된 신호를 보상하는 것을 나타내고 있다. 신호의 전송 경로를 2개로 구성하며, 2번째 경로에서는 수신 신호가 FFT 주기의 절반만큼 지연되어 들어가게 된다. 그림 5의 첫 번째 그래프는 원래의 입력 신호, 두 번째 그래프는 Blackman-Harris window가 적용된 신호이다. Window의 적용으로 인한 신호의 왜곡이 심하여, 결과적으로 SNR에 큰 영향을 미친다. 따라서 FFT 주기의 절반만큼 지연시키는 경로를 구성한 뒤, 신호 처리 후 통합하여 Window의 적용으로 인한 손실을 보상하였다. 그림 5의 세 번째 그래프는 지연 경로의 신호와 원래 경로의 신호가 통합된 출력 신호이며, 신호의 왜곡이 어느 정도 보상된 모습을 확인할 수 있고 실제로 SNR 측면에서도 이득을 가진다.

Ⅲ. 제안하는 알고리즘

3.1 전파방해신호 제거 알고리즘

앞서 언급하였듯이 FFT/IFFT을 이용한 항재밍 기법의 경우 재밍 신호에 해당하는 주파수 성분을 0으로 만들어 제거하는 방식으로 재밍 신호의 영향을 줄이게 된다. 이때 0으로 만들어진 주파수 성분에는 원신호의 정보도 들어있으므로 원신호의 손상이 일어나며 이로 인한 성능저하도 나타나게 된다. 따라서 어떤 기준으로 전파방해 신호의 성분을 판단하고 제거하는가의 여부가 성능을 결정하는 중요한 요인이 된다. 기존의 주파수 성분을 제거하는 알고리즘은 다양한 방

www.dbpia.co.kr

식이 있으며[14-18], N-sigma, K-median 알고리즘 등으로 threshold를 설정하여 그 이상의 값은 제거하고 그 이하의 값은 그대로 남기는 방식이 일반적이다. N-sigma의 경우는 FFT를 취하여 얻은 주파수 성분들의 표준편차와 평균을 구해 평균과 표준편차에 N배를 한 값의 합을 기준으로 그것보다 크면 주파수성분들을 제거하고 크지 않으면 그대로 남겨 재밍 신호의 주파수 성분들을 제거하는 방식이다. 이는 간단한 발상으로 이루어져 있지만 실제로 통계적인 값인 평균과 표준편차를 구해야 하기 때문에 복잡도가 비교적 높은 편이다. K-median의 경우는 주파수 성분들의 중간값을 구해 그 K배를 취하여 그것을 기준으로 그보다 큰 성분들을 제거하고 나머지만 남기는 방식이다. 이는 N-sigma에 비해 복잡도가 낮으면서 동일한 성능을 가질 수 있는 방식이다. 그러나 K-median 방식은 상수 K에 따라 신호의 손실 정도가 크게 변하며, 이는 성능에 굉장히 크게 영향을 미친다. 본 논문에서는 복잡도 측면에서는 N-sigma방식이나 K-median보다 더 간단하면서 성능적인 이득을 가지는 새로운 threshold setting 방법을 제안 및 적용하였다. 우선 주파수 성분 중 가장 큰 파워를 가지는 성분을 찾은 후 그것을 중심으로 좌우로 대칭되도록 일정한 개수의 주파수성분을 제거하는 방식이다. 즉, 그림 6에서 보이는 바와 같이 검출된 Jamming 신호의 폭을 기준으로 Jamming 신호를 제거하는 방식으로, 이는 최대값을 가지는 포인트만 검출하면 되기 때문에, 구현이 매우 간단하다. 또한, 주파수성분의 제거에 대한 기준이 확실하기 때문에 부분적인 최적 성능을 구현하는데 용이한 장점을 가지고 있다. 만약 전파방해신호가 1개보다 많은 환경이라면, 최대값을 기준으로 성분을 제거하는 알고리즘이 효과적이지 않을 수 있다. 이러한 경우에는 제안하는 알고리즘과 K-median방식을 혼합한 방법이 해결책이 될 수 있다. 신호 파워의 최대값과 median값을 찾은 뒤에, median값의 K배를 한 값이 최대값에 근접하도록 K를 결정한다. 최대값이 K를 결정하는 기준이 되는 것이며, 일반적으로 사용하는 K-median값보다 큰 값이 될 것이다. 이와 같이 최대값보다는 작지만 충분히 높은 threshold값을 이용하여, 기준보다 높은 성분을 찾은 뒤 좌우 주파수 성분을 제거하는 방식을 적용할 수 있다.

3.2 Blackman-Harris window의 주파수 응답 분석

위와 같은 새로운 전파방해신호 제거 알고리즘을 제안하게 된 배경은 Blackman-Harris window의 적용에 있다. 제안하는 기법의 경우, FFT 포인트에 따라서 최적의 성능을 보이는 제거 성분 개수가 달라지며 Blackman-Harris window의 특성으로 인해 일정한 경향을 보인다. 그림 7, 그림 8은 Blackman-Harris window의 frequency response를 나타내고 있다. Frequency response의 형태에 따라 3개의 region으로 나누어 볼 수 있다. 1st region에서 전파방해신호의 주파수(가장 큰 파워를 가지는 주파수 성분)를 중심으로 7~8개의 주파수 샘플은 BH window를 사용하더라도 항상 큰 영향을 받는다. 이 영역의 바깥 영역부터 Spectral Leakage 현상을 억누르는 효과를 기대할 수 있다. 따라서, 어떠한 경우에도 교란 신호의 주파수를 중심으로 7개에서 8개의 샘플은 반드시 제거해주는 것이 좋은 성능을 낼 수 있음을 예상해볼 수 있다. 2nd region에서 전파방해신호의 주파수를 중심으로 약 36개의 샘플은 어느 정도 Spectral Leakage 현상이 남아있다. 전파방해신호의 파워가 어느 정도 클 때에는 이 영역 역시 영향력이 클 것이므로, 요구되는 성능에 따라서 36개 정도의 샘플은 제거해주어야 할 필요가 있다. 3rd region에서 전파방해신호의 파워가 엄청 클 경우에는 광범위한 영역에 Spectral Leakage 현상이 큰 영향을 끼치게 된다. 이 때에는 FFT size를 매우 크게 키워서 넓은 영역을 제거해주는 것이 효과

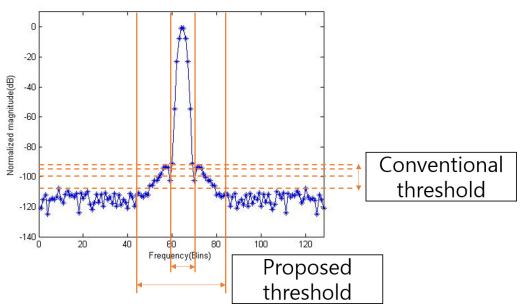

그림 6. 제안하는 전파방해신호 제거 알고리즘
Fig. 6. Proposed jamming signal cancellation algorithm

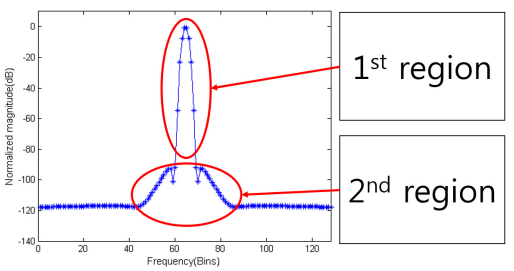

그림 7. Blackman-Harris window의 주파수 응답
Fig. 7. Frequency response of Blackman-Harris window

www.dbpia.co.kr

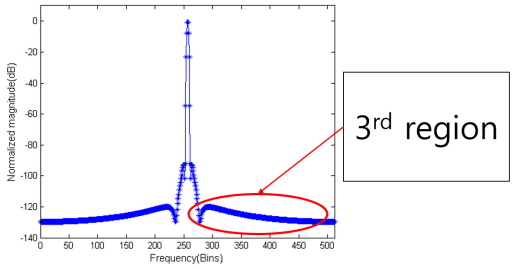

그림 8. Blackman-Harris window의 주파수 응답
Fig. 8. Frequency response of Blackman-Harris window

적인 방법일 수 있다. 하지만, 제거하는 샘플의 개수가 너무 많아진다면 원래 신호의 손실로 인한 성능 저하가 발생할 것이라는 점도 염두에 두어야 한다. 결론적으로, 최대값을 가지는 성분을 중심으로 일정한 개수의 주파수 성분을 제거하는 알고리즘을 적용하면 효율적으로 전파방해신호를 제거할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 사용하는 FFT 포인트 수에 따라 제거하는 성분의 개수를 고정시켜놓은 하드웨어를 구성한다고 하더라도 안정적인 성능을 보일 것으로 예상되며, 그 개수는 36개 정도가 적절할 것이라고 예상해볼 수 있다. 제거 성분의 개수를 고정시킨 하드웨어는 가변적으로 구성하는 것에 비해 구현이 간단하다는 장점도 있을 수 있겠다.

Ⅳ. 시뮬레이션 결과

제안하는 기법의 성능 검증을 위해 K-median, N-sigma와의 성능 비교 시뮬레이션을 진행하였다. 8MHz의 대역폭을 가지는 신호를 생성하여 이것을 GPS 원신호로 가정하였고, 대역폭 내에서 랜덤하게 결정된 주파수를 가지는 하나의 신호를 생성하여 이것을 전파방해신호로 가정하였다. 생성된 하나의 전파방해신호를 noise와 함께 원 신호에 더하는 것으로 협대역 전파방해의 환경을 구성하였다. 구체적인 시뮬레이터 구성 방법은 그림 9에 나타나 있다. 실제 하드웨어로 구현 시에도 그림 9의 형태로 구현이 가능하다[19]. 원 신호 생성을 위해 BPSK 데이터를 생성하고 1023 chip spreading하여 30dB의 processing gain을 얻도록 하였고, SNR(Signal to noise ratio)은 10dB로 고정한 채로 JSR(Jamming to signal ratio)를 90~170dB까지 5dB간격으로 변경해가면서 noise와 전파방해신호를 더하여 협대역 전파방해 신호가 포함된 수신 신호를 만들었다. 2개의 data path를 이용하고 Blackman -Harris window를 적용하였으며, FFT 포인트는 실제로 이용될 만한 크기인 128, 256, 512개일 때를 선택하였다. 방해신호 제거 알고리즘은 제안하는 기법, K-median, N-sigma 세 가지를 이용하였으며, 방해 신호를 제거한 뒤에 IFFT를 거쳐 combining, despreading을 수행하여 BER을 측정하였다. 제안하는 기법은 최대값을 찾은 뒤 주변 36개의 성분을 제거하는 알고리즘을 적용한 것이고, K-median방식에서 threshold는 median값의 5배로 설정하였으며, N-sigma 방식에서 threshold와 N을 결정하는 방법은 참조논문[18]의 방법을 적용하였다. K-median과 N-sigma로 결정된 threshold보다 높은 값을 가지는 성분은 0으로 만들어 제거하도록 하였으며, 그 외의 조건은 모두 같게 하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 10은 K-median과 N-sigma, 제안하는 기법의 JSR/BER Curve를 비교하여 그린 것으로, 가로축이 JSR, 세로축은 BER이다. 오른쪽으로 갈수록 JSR 측면에서 이득을 가지고, 아래쪽으로 갈수록 BER 측면에서 좋은 성능을 가지게 된다. 같은 알고리즘을 적용한 경우에 FFT 포인트가 늘어날수록 좋은 성능을 보이며, K-median과 N-sigma에 비해 제안하는 기법이 더 좋은 성능을 보여줌을 확인할 수 있다. 여기서 더 좋은 성능이란, 같은 강도의 교란 신호가 있을 때 BER이 더 낮게 나오며, 더 강한 교란 신호가 있을 때

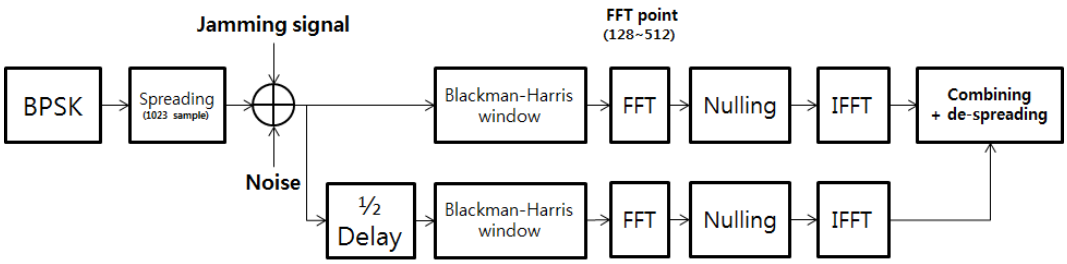

그림 9. 협대역 전파방해신호 제거 시뮬레이터 구조
Fig. 9. The structure of narrow-band jamming signal cancellation simulator

www.dbpia.co.kr

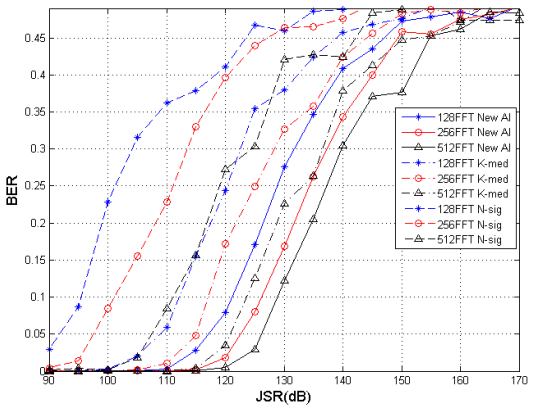

그림 10. K-median과 N-sigma, 제안하는 알고리즘의 JSR/BER 커브
Fig. 10. JSR/BER curve, K-median vs N-sigma vs New algorithm

에도 같은 수준의 BER을 얻을 수 있음을 말한다. 같은 FFT 포인트 수를 가질 때, N-sigma방식보다 15~20dB, K-median방식보다 6~10dB 정도의 더 강한 교란 신호가 존재하더라도 같은 수준의 BER을 얻을 수 있다. 그림 11은 FFT 포인트에 따른 성분 제거 개수 성능 비교 결과를 나타낸 것으로, 가로축이 제거한 샘플의 개수이며 세로축이 BER이다. 각각의 교란 신호 세기는 그림 10에서 0.1정도의 BER을 얻을 때의 세기를 기준으로 하였다. 8~10개 정도의 구간에서 BER 감소 폭이 크며, 대략 40~42개 정도에서 가장 낮은 BER을 보임을 알 수 있다. 교란 신호의 주파수 중심으로부터 42개 이상의 샘플을 제거할 때 BER이 커지는 것은 전파방해신호의 영향이 적고 원 신호의 제거로 인한 손실 때문으로 해석할 수 있다. 그림 11에서 얻은 결과로 128~512개의 FFT 포인트를 사용할 때에는 42개의 샘플을 제거한다면, 그림 10에서 얻은 성능보다 더 좋은 성능을 얻을 수 있을 것으로 보인다.

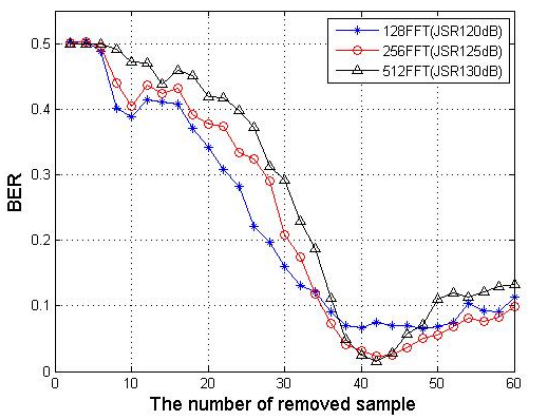

그림 11. 제거 샘플 개수에 따른 BER curve
Fig. 11. BER curve as the number of removed sample

V. 결 론

본 논문에서는 협대역의 교란 신호를 효과적으로 제거하기 위한 방법에 대하여 연구하였다. 주파수 대역에서 존재하는 교란 신호를 제거하기 위해 FFT/IFFT를 이용하며, 이로 인하여 발생하는 Spectral Leakage를 해결하기 위해 Blackman-Harris window를 적용하였다. 또한 Window로 인한 원 신호의 손실을 최소화하기 위해 지연되는 경로를 추가하여 손실을 보상하도록 하였다. FFT를 한 이후에 가장 큰 파워를 가지는 주파수 성분을 찾아서 그것을 중심으로 좌우로 대칭되도록 일정한 개수의 주파수 성분을 제거하는 알고리즘을 제안 및 적용하였다. 기존의 교란 신호 제거 알고리즘에 비해 기준이 확실하고 구현이 간단하다는 장점이 있으며 K-median과 N-sigma 방식에 비해 더 나은 성능을 얻을 수 있었다. Blackman-Harris window의 특성으로 인해 최적의 성능을 보이는 주파수 성분 제거 개수는 일정한 경향을 보이며, 실제로 이용할만한 FFT point의 범위에서는 대략 40~42개의 주파수 성분을 제거하는 것이 가장 최적의 성능을 보였다.

References

[1] E. D. Kaplan, *Understanding GPS; Principles and Applications*, Artech House, 2002.

[2] B. Parkinson and J. Spilker, *Global Positioning System: Theory and Applications*, AIAA, 1996.

[3] D. W. Lim, “Case study of incidents by GPS interferences and trend for monitoring techniques,” *Current Ind. Technol. Trends in Aerospace*, vol. 11, no. 1, pp. 129-176, Jul. 2013.

[4] H. Hu and N. Wei, “A study of GPS jamming and anti-jamming,” in *Proc. 2009 PEITS*, pp. 388-391, Shenzhen, China, Dec. 2009.

[5] S. K. Jeong, T. H. Kim, C. S. Sin, and S. U. Lee, “Technical trends of smart jamming for GPS signal,” *2012 ETRI Electron. Telecommun. Trends*, vol. 27, no. 6, pp. 75-82, Dec. 2012.

www.dbpia.co.kr

[6] S. L. Cho, C. S. Park, S. W. Hwang, Y. S. Choi, J. H. Lee, S. J. Lee, J. K. Pack, D. K. Lee, and G. I. Jee, "Development of a GNSS signal generator considering reception environment of a vehicle," *J. KICS*, vol. 37, no. 9, pp. 811-820, Sept. 2012.

[7] S. M. Seo, "Design of an anti-jamming five-element planar GPS array antenna," *The J. Korean Inst. Electromagnetic Eng. Sci.*, vol. 25, no. 6, pp. 628-636, Jun. 2014.

[8] R. L. Fante and J. J. Vaccaro, "Enhanced anti-jam capability for GPS receivers," in *Proc. ION GPS 1998*, pp. 251-254, Nashville, TN, Sept. 1998.

[9] J. S. Han, K. Y. Kim, S. J. Kim, H. D. Kim, and H. J. Choi, "Analysis of adaptive digital signal processing for anti-jamming GPS system," *J. KICS*, vol. 32, no. 8, pp. 745-757, Aug. 2007.

[10] Y. Lu, J. Yang, Z. Ding, and Z. Tan, "The orthogonal weighted algorithm for GPS receiver anti-jamming," *2001 CIE Int. Conf. Radar*, pp. 1190-1194, Beijing, China, Oct. 2001.

[11] W. Huang, D. Lu, R. Wu, and Z. Su, "A novel blind GPS anti-jamming algorithm based on subspace technique," *2006 8th Int. Conf. Sign. Process.*, Beijing, China, Nov. 2006.

[12] W. Sun and M. G. Amin, "A self-coherence anti-jamming GPS receiver," *IEEE Trans. Sign. Process.*, vol. 53, no. 10, pp. 3910-3915, Oct. 2005.

[13] K. Y. Kim, "Analysis of anti-jamming techniques for satellite navigation systems," *J. KICS*, vol. 38, no. 12, pp. 1216-1227, Dec. 2013.

[14] R. C. DiPietro, "An FFT-based technique for supperssing narrowband interference in PN spread-spectrum communications systems," in *ICASSP'89*, pp. 1360-1363, Glasgow, Scotland, UK, May 1989.

[15] T. Capozza, "A single-chip narrow-band frequency-domain excisor for a global positioning system (GPS) receiver" in *IEEE J. Solid-State Cir.*, vol. 35, no. 3, pp. 401-411, Mar. 2000.

[16] F. J. Harris, "On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform," in *Proc. IEEE*, vol. 66, no. 1, pp. 51-83, Jan. 1978.

[17] J. O. Kim, J. S. Bae, and K. W. Song, *A method and apparatus to improve anti-jamming and to eliminate jamming in a GPS system by adjusting additional threshold value in the frequency domain*, patent application number: 10-2010-0014870, Aug. 2010

[18] M. Y. Shin, C. S. Park, H. K. Lee, D. Y. Lee, D. H. Hwang, and S. J. Lee, "A narrowband interference excision algorithm in the frequency domain for GNSS receivers," *KINPR Int. Symp. GPS/GNSS*, vol. 2, pp. 359-364, Jeju Island, Korea, Oct. 2006.

[19] I. S. Lee, J. W. Park, and S. J. Oh, "A study on FFT/IFFT processor design for narrow-band jamming signal cancellation," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 793-794, Jan. 2016.

www.dbpia.co.kr

이 인 석 (In-seok Lee)

2014년 2월 : 고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·통신공학부 졸업
2014년 3월~현재 : 고려대학교 일반대학원 전파통신공학전공 석·박사통합과정
<관심분야> 무선통신, 네트워크

오 성 준 (Seong-jun Oh)

1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1994년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
2000년 9월 : University of Michigan, Ann Arbor, EE:Systems PhD
2000년 9월~2007년 8월 : Ericsson Wireless Commiunications와 Qualcomm CDMA Technologies 근무
2007년 9월~현재 : 고려대학교 정보보호대학원 교수
<관심분야> 무선네트워크, 통신 표준화, 모뎀 구현

한 진 희 (Jin-hee Han)

1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
1993년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1999년 2월~2011년 4월 : ETRI 근무.
2011년 4월~2013년 8월 : ETRI 근무.
2013년 8월~현재 : (주)텔에이스 대표이사
<관심분야> GNSS 수신기, 무선통신

www.dbpia.co.kr