

다중 빔 형성을 위한 GPS 수신기 구조

A GPS Receiver Structure for Multi-beamforming

| | | | |
|---------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 이 건 우* | 임 덕 원* | 이 창 원** | 박 찬 식*** |
| Geon-Woo Lee | Deok-Won Lim | Chang-Won Lee | Chansik Park |
| | 황 동 환* | 이 상 정* | |
| | Dong-Hwan Hwang | Sang-Jeong Lee | |

Abstract

GPS receivers can be disrupted by intentional or unintentional jamming, then it is unable to receive GPS signals and it is impossible to get the correct navigation results. Anti-jamming schemes using array antennas are being studied well due to high performance of those, and the efforts to apply them to GPS receiver are also being done. A GPS receiver structure for a multiple beam-forming scheme among those schemes has been proposed in this paper, and the performance is also compared with that using a general GPS receiver structure. For a general GPS receiver structure, each satellite signal which is formed by a beam-forming scheme is summed to be processed in a part of digital signal processing. For a proposed GPS receiver structure, however, each satellite signal is respectively processed by a designated channel in a part of digital signal processing. Finally, it is confirmed that the proposed GPS receiver structure is superior to a general GPS receiver structure in a point of the carrier to noise power ratio and the navigation accuracy using a software platform.

Keywords : GPS(위성 항법 시스템), Beam-Forming(빔 형성), Array Antenna(배열 안테나), Anti-Jamming(항 재밍), Software Platform(소프트웨어 플랫폼)

1. 서 론

근래 들어서 GPS 위성 신호에 대한 재밍 위협에 관

심이 확산되고 있으며, 북한이나 중국, 러시아 등에서 는 GPS에 위협을 가할 수 있는 재머 개발을 완료했 거나 진행 중임이 알려져 있다^[1]. 실제로 이라크 전쟁 당시에 군함에 탑재된 토마호크 미사일을 향한 재밍 공격이 이루어진 예가 있다^[1]. 이러한 재밍의 위협은 GPS를 이용하여 항법을 하는 미사일, 전투기, 선박의 운항 시에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

GPS 수신기에서 수신하는 GPS 위성 신호 전력은 잡음 전력보다 약 20dB 정도 낮은 -160dBw로 매우

† 2008년 11월 4일 접수~2009년 2월 27일 게재승인

* 충남대학교(Chungnam National University)

** 국방과학연구소(ADD)

*** 충북대학교(Chungbuk National University)

책임저자 : 이상정(eesjl@cnu.ac.kr)

미약하므로 비교의적인 간섭이나 고의적인 간섭인 재밍에 매우 취약할 수밖에 없으며 실제로도 협대역이나 광대역 재밍에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있다^[2,3]. 재밍에 의한 영향으로는 일차적으로 GPS 수신기에서 항법 오차를 유발하며, 심할 경우 항법 불능이나 수신기 자체의 하드웨어적 손상을 유발할 수 있으므로 재밍에 대한 대처가 반드시 필요하다.

배열 안테나를 이용한 재밍 제거 기법은 항 재밍 기법중에서 가장 성능이 우수한 것으로 알려져 있으며, MSINR(Maximum Signal to Interference plus Noise Ratio)과 MMSE(Minimum Mean Squares Error), PM(Power Minimization)등을 만족하는 가중치를 계산하여 빔이나 널을 형성하는 기법으로 나뉜다^[4-7]. 이 중에서 MSINR을 만족하는 기법은 원하는 신호에 대한 빔 형성과 동시에 재밍을 제거하는 빔 형성 기법으로 우수한 성능을 나타낸다. 빔 형성 기법은 주로 레이더나, 통신 장비에 사용되었으며 단일 빔 형성을 통하여 원하는 신호를 주변의 간섭이나 재밍으로부터 보호하는 역할을 한다. 단일 빔 형성의 경우 일반적인 GPS 수신기를 이용하여도 무방하나, 다중 빔의 경우 일반적인 GPS 수신기를 이용하면 각 GPS 위성 신호에 대하여 빔을 형성한 후 형성된 빔을 합하여 수신기의 디지털 신호 처리부에서 처리하므로 빔이 형성된 위성 신호 이외의 신호는 왜곡이 발생하여 성능이 저하될 우려가 있다. GPS의 경우 위성에 대하여 빔을 형성하려면 항법을 위한 가시 위성에 대하여 다중 빔을 형성하여야 하므로 이에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 배열 안테나를 이용한 항 재밍 기법인 Capon 빔 형성 기법을 사용하여 다중 빔 형성을 위한 GPS 수신기 구조를 제안하였고, 일반적인 GPS 수신기 구조와 성능을 비교하였다. 기존의 빔 형성 구조는 GPS 위성 신호 별로 단일 빔을 형성한 후 형성된 빔을 합하여 수신기의 디지털 신호 처리부에서 처리하였으나 본 논문에서 제안하는 구조는 단일 빔을 형성한 후, 디지털 신호 처리부에서 GPS 위성 신호 별로 병렬 처리하는 구조이다. 제안한 구조가 GPS 위성 신호에 대하여 반송파 대 잡음비와 항법 성능면에서 기존의 빔 형성 기법보다 우수한 성능을 나타냄을 소프트웨어 플랫폼을 이용하여 확인하였다.

2. Capon 빔 형성 기법

빔 형성 기법은 신호 대 간섭 및 잡음비를 최대화하는 기법으로 Applebaum 배열 기법이나 Capon 빔 형성 기법이 대표적이다^[4,5]. 본 논문에서는 이득 상수의 조절에 유용한 빔 형성 기법인 Capon 빔 형성 기법을 사용하였으며 Capon 빔 형성 기법에 대하여 간략히 기술하면 아래와 같다.

가. 신호 모델 및 처리 구조

Capon 빔 형성 기법은 Fig. 1과 같은 구조로 가중치를 결정하여 인가된 재밍을 제거하고 원하는 방향에 대하여 빔을 형성한다. 배열 안테나의 출력 신호는 위상과 크기 조절을 위하여 해석적 신호로 변환하여 가중 처리하며 처리된 신호는 합하여 단일 출력으로 수신기에 입력된다.

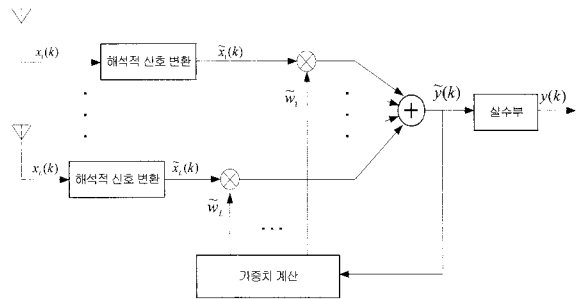


Fig. 1. 공간 처리 구조

L 개의 배열 안테나 소자에 M 개의 GPS 위성 신호와 P 개의 재밍이 입사한다면 l 번째 안테나 소자에 입사하는 신호 중에서 k 번째 샘플링된 값은 식 (1)과 같고 Hilbert 변환을 적용하여 해석적 신호로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$x_l(k) = \sum_{i=1}^M s_{li}(k) + \sum_{p=1}^P j_{lp}(k) + n_l(k), \quad l = 1, \dots, L \quad (1)$$

$$\tilde{x}_l(k) = \sum_{i=1}^M \tilde{s}_{li}(k) + \sum_{p=1}^P \tilde{j}_{lp}(k) + \tilde{n}_l(k) \quad (2)$$

여기서, $s_{li}(k)$ 는 l 번째 안테나 소자에 입사하는 i 번째 GPS 위성 신호, $j_{lp}(k)$ 는 l 번째 안테나 소자에 입사하는 p 번째 재밍, $n_l(k)$ 는 l 번째 안테나 소자의

백색 잡음이다. $\tilde{x} = x + j\hat{x}$ 이고, \hat{x} 은 x 의 Hilbert 변환이다.

식 (2)에서 GPS 위성 신호를 위상 성분인 조절 벡터(Steering Vector)와 크기 성분으로 나누어 나타내고 형성하려는 빔의 개수와 관련된 GPS 위성 신호 성분을 제외한 재밍 및 잡음 성분은 l 번째 안테나 소자에 대하여 각각 $\tilde{j}_l(k)$ 와 $\tilde{n}_l(k)$ 로 표기하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_l(k) &= \sum_{i=1}^M \tilde{a}_{l,i}(k) \tilde{s}_i(k) + \sum_{p=1}^N \tilde{j}_{l,p}(k) + \tilde{n}_l(k) \\ &= \tilde{a}_l(k) \tilde{s}(k) + \tilde{j}_l(k) + \tilde{n}_l(k) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $\tilde{a}_{l,i}(k)$ 는 l 번째 안테나 소자에 입사하는 신호 중에서 i 번째 GPS 위성 신호에 대한 조절 벡터 성분이며, $\tilde{a}_l(k) = [\tilde{a}_{l,1}(k), \tilde{a}_{l,2}(k), \dots, \tilde{a}_{l,M}(k)]$ 로 $1 \times M$ 벡터이고, $\tilde{s}(k) = [\tilde{s}_1(k), \tilde{s}_2(k), \dots, \tilde{s}_M(k)]^T$ 로 $M \times 1$ 벡터이다.

식 (3)의 신호를 이용하여 배열 안테나 신호처리에 사용할 신호 벡터를 정의하면 식 (4)와 같고 i 번째 GPS 위성 신호에 대한 조절 벡터는 식 (5)와 같다. 식 (6)은 M 개의 GPS 위성 신호의 조절 벡터를 모아놓은 행렬이다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}(k) &= [\tilde{x}_1(k), \tilde{x}_2(k), \dots, \tilde{x}_L(k)]^T \\ &= \tilde{A}(k) \tilde{s}(k) + \tilde{J}(k) + \tilde{n}(k) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\tilde{A}_i(k) = [\tilde{a}_{1,i}(k), \tilde{a}_{2,i}(k), \dots, \tilde{a}_{L,i}(k)]^T \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}(k) &= [\tilde{A}_1(k), \tilde{A}_2(k), \dots, \tilde{A}_M(k)] \\ &= [\tilde{a}_1^T(k), \tilde{a}_2^T(k), \dots, \tilde{a}_L^T(k)]^T \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, $\tilde{x}(k)$ 는 $L \times 1$ 벡터이고, $\tilde{A}_i(k)$ 는 $L \times 1$ 벡터이다. $\tilde{A}(k)$ 는 $L \times M$ 행렬, $\tilde{J}(k)$, $\tilde{n}(k)$ 는 $L \times 1$ 벡터이다. $[\cdot]^T$ 는 transpose 연산이다.

나. Capon 빔 형성 기법

Capon 빔 형성 기법은 식 (7)과 같이 빔 형성기의 출력 전력을 최소화하며, 원하는 신호의 입사 방향에 대한 제한 조건을 사용하여 빔을 형성한다. 식 (7)의 문제를 풀면 식 (8)과 같다⁵⁾.

$$\min_{\tilde{w}_i} \tilde{w}_i^H \tilde{R} \tilde{w}_i \quad s.t. \quad \tilde{A}_i^H \tilde{w}_i = 1 \quad (7)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{R}^{-1} \tilde{A}_i / (\tilde{A}_i^H \tilde{R}^{-1} \tilde{A}_i)^{-1} \quad (8)$$

여기서, \tilde{w}_i 는 i 번째 GPS 위성에 대하여 빔을 형성하는 가중치 벡터이고, \tilde{R} 은 식 (4)와 같이 GPS 위성 신호와 재밍이 인가된 입력신호 간의 공분산 행렬을 나타내며 공분산 행렬 계산 시 입력 신호는 영 평균으로 가정하여 기대값(Expectation)을 계산한다. \tilde{A}_i 는 i 번째 GPS 위성 신호에 대한 조절 벡터이다.

빔 형성 기법을 GPS 수신기에 적용하기 위해서는 식 (8)과 같이 GPS 위성 신호에 대한 조절 벡터를 정확히 알고 있어야 하며, 항체가 운행 시에는 탑재된 수신기의 자세 정보를 조절 벡터 계산에 적용하여야 하나 본 논문에서는 항체의 자세정보와 조절 벡터를 정확히 알고 있다는 가정하에 Capon 빔 형성 기법을 이용하였다.

3. 다중 빔 형성 GPS 수신기 구조와 성능평가

가. 수신기 구조

일반적인 GPS 수신기는 하나의 IF(Intermediate Frequency) 신호를 입력받는 구조이므로 Fig. 2와 같이 빔 형성 기법을 통과한 출력을 합하여 단일 출력 신호를 디지털 신호 처리부에서 처리하는 구조를 갖는다. 디지털 신호 처리부에서는 각 GPS 위성에 대한 PRN(Pseudo Random Noise)을 이용하여 상관값을 계산한 후, 신호 획득 및 추적하여 항법을 수행한다.

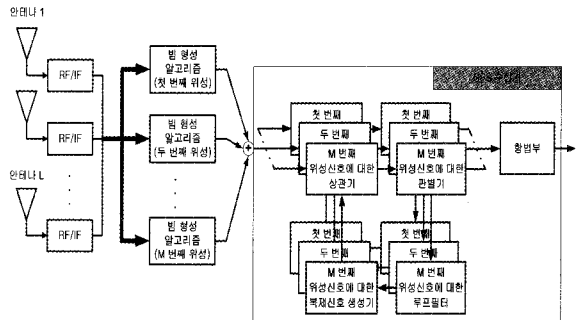


Fig. 2. 일반적인 수신기 구조

다중 빔 형성을 위한 GPS 수신기 구조

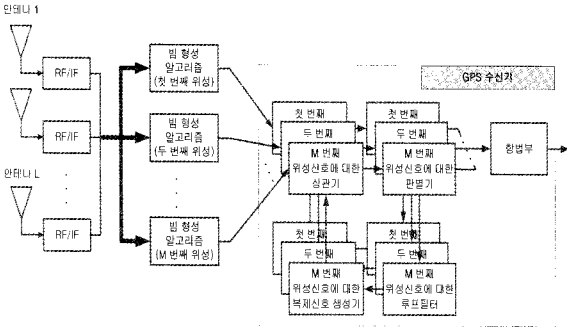


Fig. 3. 다중 빔 형성을 위한 수신기 구조

다중 빔 형성을 위하여 제안하는 GPS 수신기 구조는 Fig. 3과 같다. 제안한 구조에서는 빔 형성 기법을 통과한 각각의 GPS 위성 신호들을 지정된 상관기 채널로 입력하여 독립적으로 처리한다. 따라서 각각의 GPS 위성 신호에 대한 빔 형성 결과를 수신기의 디지털 신호 처리부에서 항법 결과 도출 시 이용하는 구조이며, 일반적인 수신기 구조에서 발생하는 배열 안테나 출력 신호의 합에 의한 GPS 위성 신호의 왜곡이 발생하지 않으므로 향상된 빔 형성 결과를 얻을 수 있다.

나. 실험 환경

제안한 수신기 구조의 다중 빔 형성과 수신기 성능을 분석하기 위하여 Fig. 4와 같은 실험 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다.

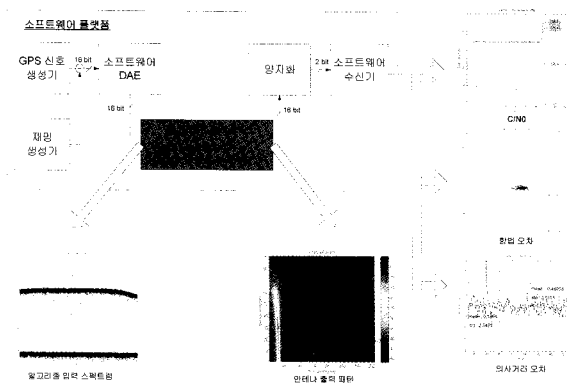


Fig. 4. 실험 환경

GPS 위성 신호는 하드웨어 GPS 시뮬레이터의 신호를 수집하여 사용할 수도 있지만 재밍 신호를 공간상에 발생시켜 시뮬레이터 신호와 동시에 수집하기가

어려우므로 Fig. 4에서처럼 소프트웨어 플랫폼을 이용하여 소프트웨어 기반에서 신호를 생성하였다. 입사하는 GPS 위성 신호 및 재밍은 Fig. 5와 같은 4개의 배열 안테나 소자를 반과장 간격으로 평면 배열한 배열 안테나를 통하여 입사하는 것으로 설정하였다.

GPS 신호 생성기에서는 RINEX(Receiver INdependent EXchange) 파일을 활용하여 항법이 가능한 GPS 신호를 생성한다. 본 실험에 사용된 RINEX 파일은 2007년 4월 19일 14:00(UTC)시에 해당하는 파일로서 수신기 위치(북위 36도, 동경 127도, 고도 100m)에서의 가시 위성 번호 및 배치는 Fig. 6, Table 1과 같다.

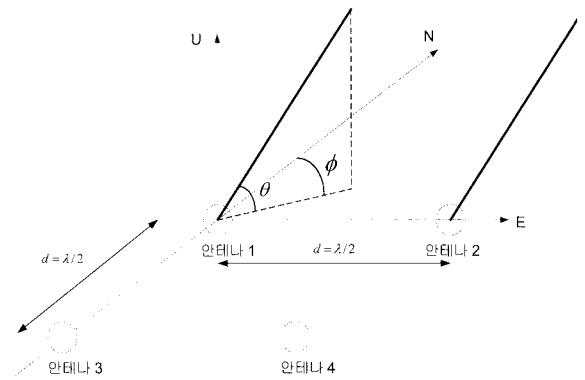


Fig. 5. 4소자 평면 배열안테나

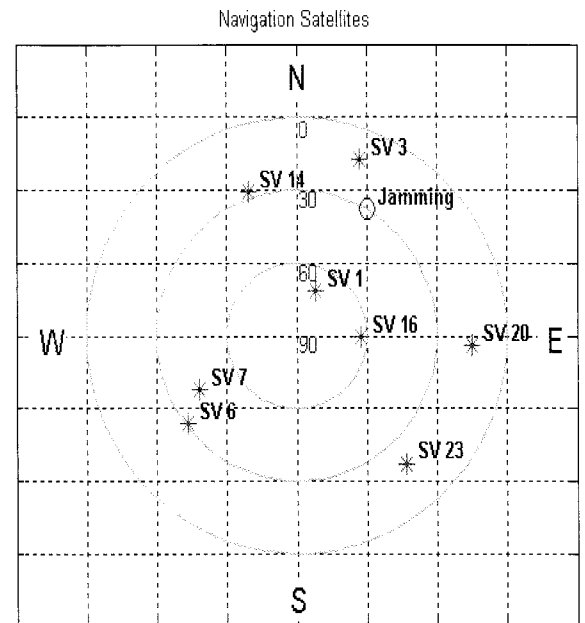


Fig. 6. 가시 위성 배치

Table 1. GPS 위성 시나리오

| 위성 번호 | 양각(도) | 방위각(도) | C/N0(dB-Hz) |
|-------|-------|--------|-------------|
| 1 | 69.8 | 22.8 | 47 |
| 3 | 12.3 | 20.2 | 47 |
| 6 | 30.9 | 232.6 | 47 |
| 7 | 42.5 | 241.9 | 47 |
| 14 | 27.4 | 340.6 | 47 |
| 16 | 62.5 | 90.4 | 47 |
| 20 | 14.74 | 92.76 | 47 |
| 23 | 19.4 | 138.3 | 47 |

재밍 생성기에서는 Table 2와 같이 CW 재밍과 DSSS 재밍을 양각 30도, 방위각 30도에서 생성하여 제안하는 기법의 다중 빔 형성 확인과 수신기 성능에 미치는 영향을 반송파 대 잡음비와 항법 오차로 평가하였다.

Table 2. 재밍 시나리오

| 재밍 종류 | CW | 중심 주파수 | 1575.42MHz |
|-----------|------|---------|------------|
| | | 전력(JSR) | 40dB |
| | | 입사각 | 양 각 : 30도 |
| | | | 방위각 : 30도 |
| | DSSS | 중심 주파수 | 1575.42MHz |
| | | 전력(JSR) | 40dB |
| | | 대역폭 | 2MHz |
| | | 입사각 | 양 각 : 30도 |
| 방위각 : 30도 | | | |

재밍 대응 알고리즘 블록에서는 공간 처리와 시공간 처리에 대하여 Capon 빔 형성 기법을 적용할 수 있으며, 본 논문에서는 공간 구조에 대해서는 안테나 4개, 시공간 구조에 대해서는 안테나 4개, 탭 4개인 경우에 대하여 실험하였다.

양자화 블록에서는 16비트의 알고리즘 출력 신호를 소프트웨어 GPS 수신기에서 처리할 수 있는 2비트의 신호로 양자화 한다. 이 경우에 처리할 수 있는 재밍의 최대 JSR(Jammer to Signal Ratio)는 약 70.9dB이다.

소프트웨어 수신기에서는 2비트의 IF 신호를 처리하여 신호 획득 및 추적을 수행하고, 항법데이터 복조 및 의사거리 계산을 통하여 항법해를 추정한다.

다. 성능평가

다중 빔 형성을 확인하기 위하여 Table 1과 같이 8개의 GPS 위성에 대하여 Capon 빔 형성 기법을 적용한 후 빔 형성 결과를 확인하였다.

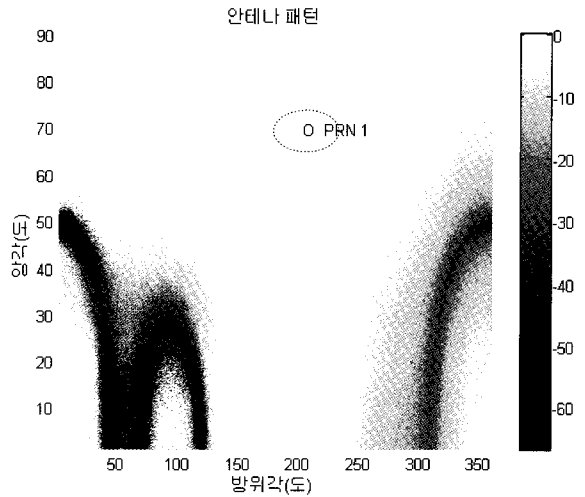


Fig. 7. 1번 위성에 대한 단일 빔 형성 결과

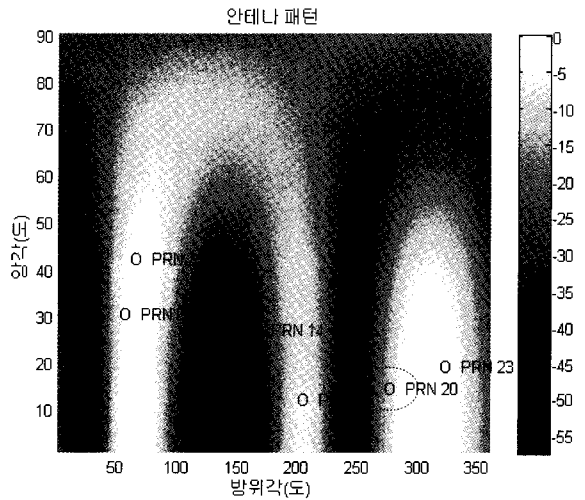


Fig. 8. 8개 위성에 대한 다중 빔 형성 결과

일반적인 GPS 수신기 구조에 단일 빔 형성 기법을 적용하면 Fig. 7과 같이 해당 위성 신호(PRN 1번)에

대해서는 정상적으로 빔을 형성하지만 8개의 위성에 대해서 다중 빔을 형성하면 Fig. 8과 같이 각각의 GPS 위성 신호 방향에 다중 빔을 형성하지 못하고 약각 10도와 방위각 310도 방향에 단일 빔을 형성하는 것을 알 수 있다.

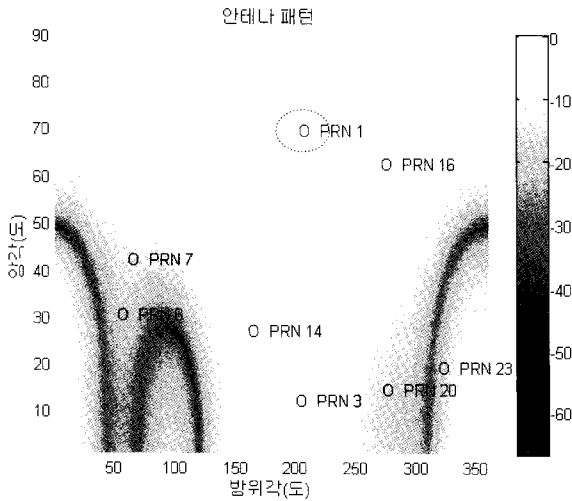


Fig. 9. 1번 위성에 대한 다중 빔 형성 결과

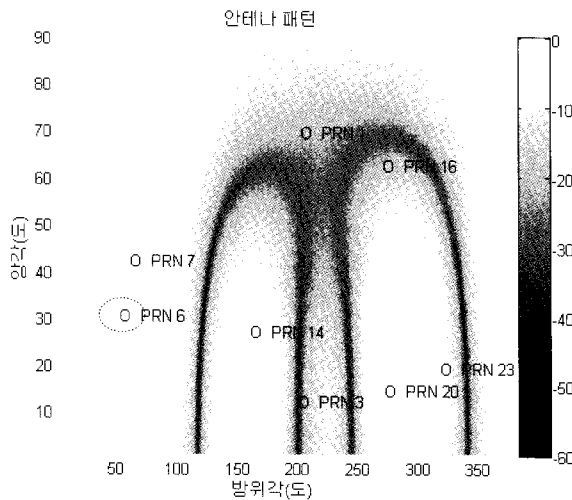


Fig. 10. 6번 위성에 대한 다중 빔 형성 결과

제안한 수신기 구조에서는 다중 빔을 형성한 후, Fig. 9, 10과 같이 임의로 두 개(PRN 1번, PRN 6번)의 위성에 대한 안테나 패턴을 관찰하면 다수의 GPS 위성 신호에 대해서 빔을 형성하는 것을 확인할 수 있다.

CW 재밍과 DSSS 재밍이 인가된 환경에서 공간 처리와 시공간 처리에 대하여 Capon 빔 형성 기법을 적용한 후, 일반적인 GPS 수신기 구조와 제안한 GPS 수신기 구조에서의 항법 성능을 비교하면 Fig. 11, 12와 같다. 두 그림에서 확인할 수 있듯이 제안한 수신기 구조를 사용함으로써 항법 성능이 공간 처리는 약 50%, 시공간 처리는 약 95%가 개선되는 것을 알 수 있다. 각 실험에서 사용한 입력 신호 데이터가 동일하므로 항법 성능이 이러한 차이를 보이는 이유는 의사거리 오차에 의한 영향으로 볼 수 있으며, CW 재밍이 인가된 경우와 DSSS 재밍이 인가된 경우의 각 위성에 대한 의사거리 오차의 평균과 표준편차는 Fig. 13, 14와 같다. Fig. 13, 14에서 의사거리 오차의 표준편차를 비교해보면 Fig. 11, 12의 항법 성능과 동일한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

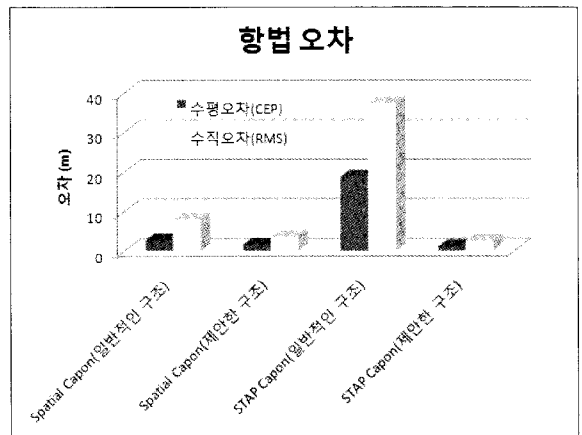


Fig. 11. CW 재밍에 대한 항법 오차 비교

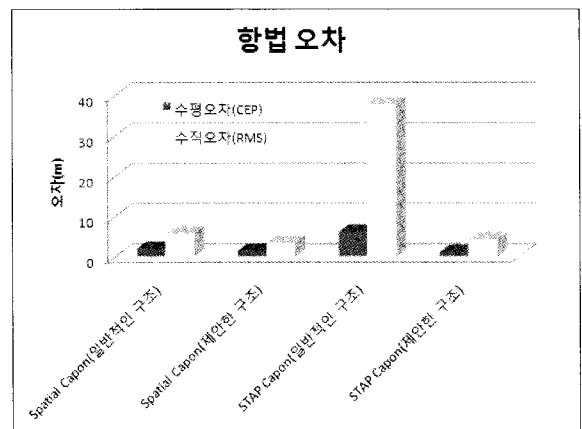


Fig. 12. DSSS 재밍에 대한 항법 오차 비교

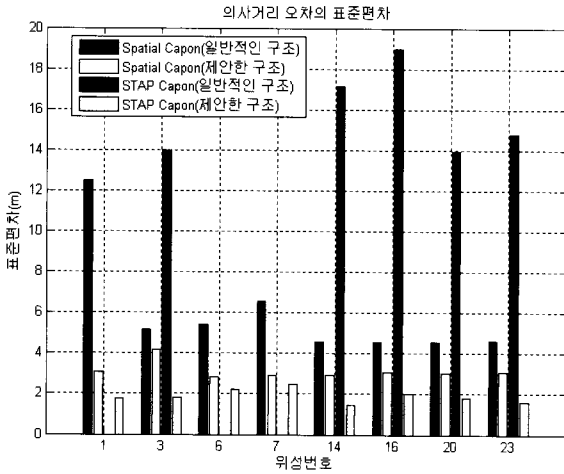


Fig. 13. CW 재밍에 대한 의사거리 오차의 표준편차

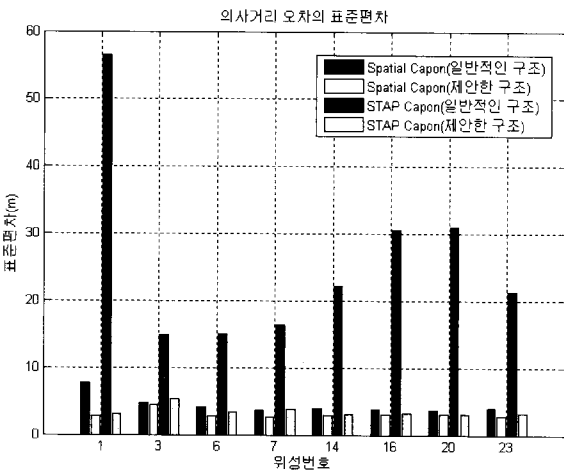


Fig. 14. DSSS 재밍에 대한 의사거리 오차의 표준편차

이처럼 의사거리 오차의 표준편차가 차이를 보이는 이유는 코드 추적 오차의 차이로 볼 수 있다. 코드 추적 오차의 표준편차(σ_{DLL})는 식 (9)와 같다^[2].

$$\sigma_{DLL} = \sqrt{\frac{B_n}{2C/N_0} D \left[1 + \frac{2}{TC/N_0(2-D)} \right]} \quad (9)$$

여기서 B_n 은 추적루프의 잡음 대역폭, C/N_0 는 반송파 대 잡음 전력비, D 는 상관기 칩 간격, T 는 적분시간이다. 각 실험에서 사용한 소프트웨어 수신기의 추적루프 잡음 대역폭은 2Hz, 상관기 칩 간격은 1칩, 적분 시간은 1ms로서 모두 동일하므로 의사거리 오차

가 차이를 보이는 것은 반송파 대 잡음 전력비의 영향으로 판단할 수 있다.

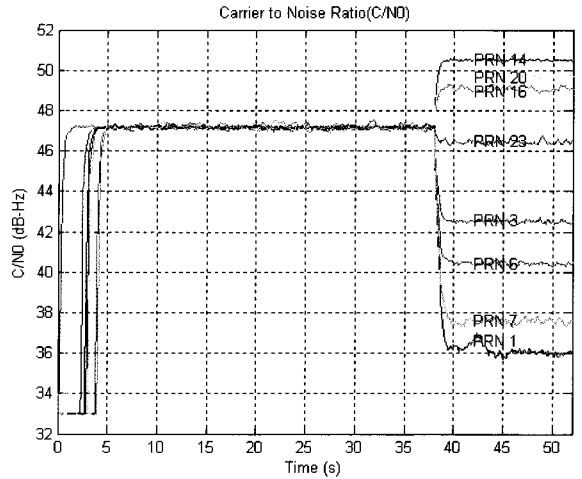


Fig. 15. 공간 처리에서 일반 구조의 C/N0

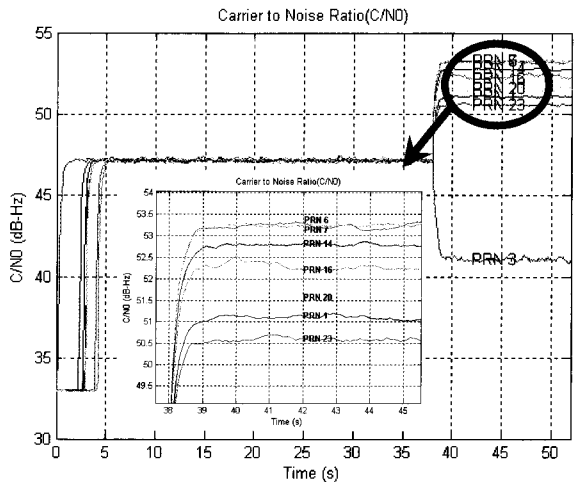


Fig. 16. 공간 처리에서 제한한 구조의 C/N0

각 구조에 대해서 각 위성의 반송파 대 잡음 전력비를 Fig. 15에서 Fig. 18에 보였다. 일반적인 GPS 수신기 구조에 비하여 제한한 수신기 구조가 대부분의 위성 신호에 대하여 향상된 반송파 대 잡음비를 나타냈으며, 위성 신호의 반송파 대 잡음비가 낮을수록 의사거리 오차의 표준편차가 커지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 16에서 3번 GPS 위성의 경우 Fig. 6에서 나타났듯이 인가된 재밍 신호에 가장 근접한 위성 신호이며, 공간 처리에서 형성되는 빔의 폭이 시공간 처리에

비하여 넓기 때문에, 인가된 재밍의 약 10dB 정도가 형성된 빔에 의하여 제거되지 않는 것을 확인할 수 있다.

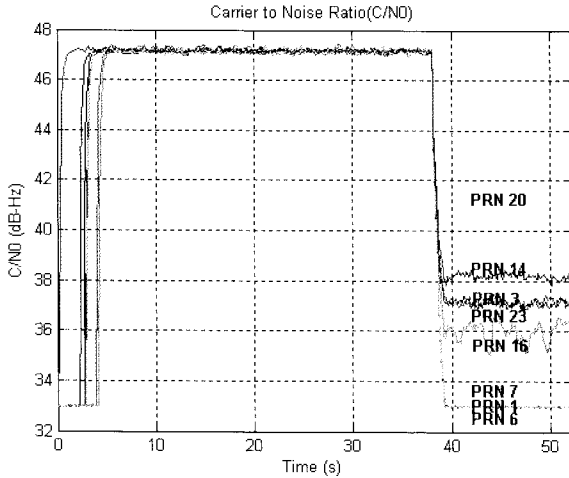


Fig. 17. 시공간 처리에서 일반 구조의 C/N0

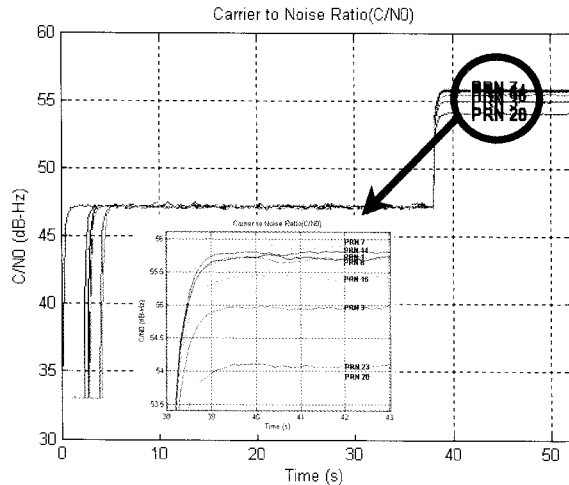


Fig. 18. 시공간 처리에서 제안한 구조의 C/N0

이처럼 배열 안테나를 이용한 재밍 대응 기법 처리에 의해서 위성 신호의 반송파 대 잡음비가 달라지는 이유는 Fig. 5를 통하여 설명할 수 있다. Fig. 5와 같은 배열 안테나에 양각(θ)이 90도인 위성 신호가 입사하게 되면 각 안테나 출력 신호의 합은 기준 안테나 출력 신호의 4배가 되지만, 양각이 0도이고 방위각(ϕ)이 0도인 위성 신호가 입사하게 되면 안테나간 거리가 반파장이므로 각 안테나 출력 신호의 합은 0이

된다. 즉 위성 신호의 입사각에 따라 일부 위성들은 보강 간섭이 발생하게 되고 다른 위성들은 상쇄 간섭이 발생하게 되어 GPS 수신기에 입력될 때의 반송파 대 잡음비가 달라진다.

일반적인 GPS 수신기 구조에서는 빔 형성 기법을 적용하면, Fig. 8에서처럼 원하지 않는 방향에 빔을 형성하므로 Fig. 15, 17과 같이 상쇄 간섭이 많이 발생하여 수신기 항법 성능의 저하를 나타낸다. 반면에 제안한 수신기 구조는 Fig. 9, 10과 같이 각 위성에 대해서 각각 빔을 형성하므로 GPS 수신기로 입력되는 각 위성 신호는 보강 간섭이 발생하여 출력 신호의 크기가 공간 처리는 이론적으로 4배, 시공간 처리는 16배가 된다. 실험결과에서는 Fig. 16과 18을 통하여 대부분의 위성 신호의 신호 처리 구조와 위성의 입사 방향에 따라 반송파 대 잡음비가 약 6dB에서 9dB만큼 향상된 것을 확인할 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 논문에서는 항법 시스템의 항 재밍 성능 향상을 위한 대표적인 배열 안테나 빔 형성 기법인 Capon 빔 형성 기법을 이용하여 항법 시스템에 유용한 다중 빔 형성 GPS 수신기 구조를 제안하였다. 일반적인 GPS 수신기는 디지털 신호 처리부에서 단일 IF 신호를 입력으로 처리하므로 다중 빔 형성을 위한 기법을 적용하더라도 단일 빔이 형성되는 것을 확인하였고, 제안한 수신기 구조는 기존의 신호처리 방식에 비하여 각 위성 별로 형성된 빔을 수신기의 디지털 신호 처리부에서 병렬 처리하여 다중 빔을 정확히 형성하는 것을 확인하였다. 설계한 소프트웨어 플랫폼을 이용하여, 제안한 수신기 구조가 일반 GPS 수신기에 비하여 다중 빔 형성에 따른 반송파 대 잡음의 전력비를 증가시키고 항법 오차를 개선하여 향상된 항 재밍 성능을 나타냄을 확인하였다. 따라서 제안한 수신기 구조는 GPS와 같이 여러 개의 가시 위성에 대한 다중 빔을 형성해야 하는 경우에 적합한 구조이며 항법 시스템에 매우 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

Reference

[1] Alan Cameron, "Perspectives-June 2008", GPS World,

- 2008.
- [2] E. Kaplan, "Understanding GPS : Principles and Applications", Artech House, 1996.
- [3] B. W. Parkinson and J. J. Spilker, Jr, "Global Positioning System : Theory and Application", Vol. I and Vol. II, Washington D.C. : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.
- [4] R. T. Compton, "Adaptive Antennas", Prentice Hall, 1988.
- [5] Simon Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 1996.
- [6] R. Fante and J. Vacarro, "Wideband Cancellation of Interference in a GPS Receive Array", IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol. 36, pp. 549 ~564, April. 2000.
- [7] O. L. Frost. "An Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Array Processing", Proceedings of IEEE, 60, pp. 926~935, August. 1972.