

GPS 신호의 주파수가 고려된 Steering Vector를 활용한 Space-Time Adaptive Processing에서의 위상 왜곡 감소 기법

박 관 식^{1,2} · 서 지 원^{1,2}

¹연세대학교 글로벌융합공학부

²연세대학교 글로벌융합기술원

A Method to Decrease Phase Distortion in Space-Time Adaptive Processing Using Steering Vector Considering GPS Signal Frequency

Kwansik Park^{1,2} · Jiwon Seo^{1,2}

¹School of Integrated Technology, Yonsei University

²Yonsei Institute of Convergence Technology, Yonsei University

Abstract

In this paper, a method for decreasing the phase distortion by Space-Time Adaptive Processing (STAP) using the steering vector considering the GPS signal frequency is proposed. Since the proposed method considers the frequency of the received GPS signal, phase distortion of the GPS signal by STAP can be decreased. To demonstrate the performance of the proposed method, simulations are performed for a interference scenario and the phase distortions depending on the frequency errors between the real GPS frequency and the estimated frequency by GPS receivers is depicted.

I. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 위성 기반의 항법시스템 중 하나로, 현재 군사, 산업 및 민간 분야에서 다양하게 널리 활용되고 있다. 그러나 위성에서 송신되어 지표면에 도달하는 GPS 신호는 그 신호 세기가 일반 열잡음보다 낮은 정도로 매우 미약하여 전파교란의 위협에 상시적으로 노출되어 있다. 이러한 취약점을 보완하기 위한 방법 중 하나로, 배열안테나 신호처리 기법이 널리 연구되고 있다.

배열안테나 기법은 다수의 안테나를 활용하는 기법으로 GPS 신호를 안정적으로 수신함과 동시에 특정 방향의 신호를 감쇄할 수 있으며, 교란신호를 공간 및 주파수 영역에서 동시에 감쇄하는 STAP (Space-Time Adaptive Processing) 기법은 가장 우수한 감쇄 성능을 보이는 배열안테나 기법 중

하나다[1,2].

STAP의 구현을 위해 다양한 신호처리 알고리즘이 적용되고 있으며, 그 중 MVDR (Minimum Variance Distortionless Response) 알고리즘이 가장 일반적으로 사용되고 있다. MVDR 알고리즘을 통해 계산되는 STAP의 가중치 벡터는 MVDR 알고리즘 내부의 constraint equation에 활용되는 steering vector에 의해 결정된다.

보편적으로 사용되는 steering vector는 각 안테나 소자의 공간적 배치에 따른 수신 신호간의 위상 차이만을 고려하여 결정되나, STAP의 경우 각 안테나에 연결된 FIR 필터에 의한 주파수 영역에서의 영향이 존재한다. 이로 인해 기존 steering vector를 사용할 경우, STAP을 거친 GPS 신호에서의 위상 왜곡이 발생하며, 이는 GPS 수신기의 측위 정확도를 저하시킨다.

따라서 본 논문에서는, STAP에 의한 GPS 신호의 위상 왜곡을 감소하기 위해, GPS 신호의 주파수가 고려된 steering vector가 활용된 MVDR 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 제안된 기법과 기존 기법에 의한 위상 왜곡 정도를 비교함으로써 성능을 분석한다.

II. STAP 및 기존 MVDR 알고리즘

STAP 및 기존 MVDR 알고리즘은 그림 1 및 식 (1)과 같다[3].

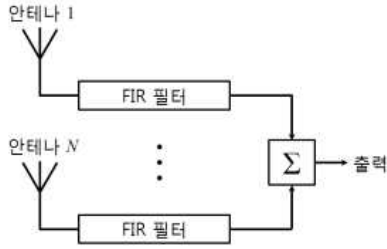


그림 1. STAP의 블록 다이어그램

$$\min E\{W^H X X^H W\} \text{ subject to } W^H C = 1 \quad (1)$$

여기서 W 와 X 는 각각 STAP의 가중치 벡터 및 입력 신호 벡터로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = [w_{1,0} \cdots w_{1,M-1} \cdots w_{N,0} \cdots w_{N,M-1}]^T \quad (2)$$

$$X = [x_{1,0} \cdots x_{1,M-1} \cdots x_{N,0} \cdots x_{N,M-1}]^T \quad (3)$$

여기서 $x_{n,m}$ 은 안테나 n 의 Finite Impulse Response (FIR) 필터의 m 번째 time tap에 해당하는 신호이며, $w_{n,m}$ 은 $x_{n,m}$ 에 할당되는 가중치이다. 또한 식 (1)에서 C 는 steering vector로서 다음과 같이 표현된다.

$$C = [e^{j\phi_1(\theta, \psi)} \cdots e^{j\phi_N(\theta, \psi)} 0 \cdots 0]^T \quad (4)$$

여기서 $\phi_n(\theta, \psi)$ 은 기준 안테나와 안테나 n 의 GPS 수신 신호 간 위상차이며 이는 각 안테나 소자의 공간적인 배치에 의해 결정된다. 위의 steering vector가 적용된 MVDR 알고리즘으로 얻어지는 최적 가중치 벡터는 다음과 같다.

$$W_{opt} = R^{-1} C (C^H R^{-1} C)^{-1} \quad (5)$$

입사의 방향 (θ, ψ) 및 주파수 f 의 신호가 배열안테나에 입사하는 경우, 입사하는 신호에 대한 STAP의 영향은 angle-frequency response로 나타낼 수 있으며, 다음과 같이 표현된다[1].

$$G(\theta, \psi, f) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^{M-1} w_{n,m}^* \times \exp[j\{\phi_n(\theta, \psi) - 2\pi f m T_s\}] \quad (6)$$

여기서 T_s 는 sampling time이다. 식 (5)에 나타낸 바와 같이, angle-frequency response는 입사하는 신호의 방향 뿐 아니라 신호의 주파수에 의해서 결정된다. STAP을 거친 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(\theta, \psi, f) = |G(\theta, \psi, f)| \exp[\angle G(\theta, \psi, f)] \times S(\theta, \psi, f) \quad (7)$$

여기서 $S(\theta, \psi, f)$ 및 $S(\theta, \psi, f)$ 는 각각 입사신호 및 출력 신호의 푸리에 변환이다. 식(7)과 같이, 출력신호는 입력신호에 비해 $|G(\theta, \psi, f)|$ 만큼 증폭되며 $\angle G(\theta, \psi, f)$ 만큼 위상이 변하게 된다. 기존 MVDR 알고리즘의 steering vector는 각 안테나 소자 간의 GPS 수신신호 위상차만 고려할 뿐 주파수를 고려하지 않으므로, STAP 적용 후 GPS 신호의 상당한 위상 왜곡을 야기할 수 있다.

III. 제안된 steering vector가 적용된 MVDR 알고리즘

STAP의 적용으로 인한 GPS 신호의 위상 왜곡을 감소하기 위해, 본 논문에서는 GPS 신호의 주파수가 고려된 steering vector를 다음과 같이 제안한다.

$$\bar{C} = [\bar{C}_0 \bar{C}_1 \cdots \bar{C}_{M-1}]^T \quad (7)$$

여기서 \bar{C}_m 은 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{C}_m = [\bar{c}_{1,m} \bar{c}_{1,1} \cdots \bar{c}_{1,M-1}] \quad (8)$$

$$\bar{c}_{n,m} = \exp[j\{\phi_n(\theta, \psi) - 2\pi f_{REC} m T_s\}]$$

여기서 f_{REC} 는 수신기의 acquisition 과정에서 추정하는 doppler frequency를 통해 얻어지는 GPS 신호의 주파수 추정치이다. 제안된 steering vector가 적용된 MVDR 알고리즘을 통해 얻어지는 최적 가중치 벡터는 다음과 같다.

$$\bar{W}_{opt} = R^{-1} \bar{C} (\bar{C}^H R^{-1} \bar{C})^{-1} \quad (9)$$

여기서 R 은 공분산 행렬로써, $R = E[XX^H]$ 이다.

IV. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 1개의 GPS 신호와 3개의 광대역 교란신호가 4 소자 선형 배열안테나에 입사하는 시나리오를 가정하였으며, FIR 필터의 time tap 수는 8로 설정하였다. GPS 신호의 실제 주파수(f_{GPS})와 수신기에서 추정된 doppler frequency로부터 계산되는 주파수(f_{REC})와의 오차

($\Delta f = |f_{GPS} - f_{REC}|$)에 따른 위상 왜곡은 다음 그림과 같다.

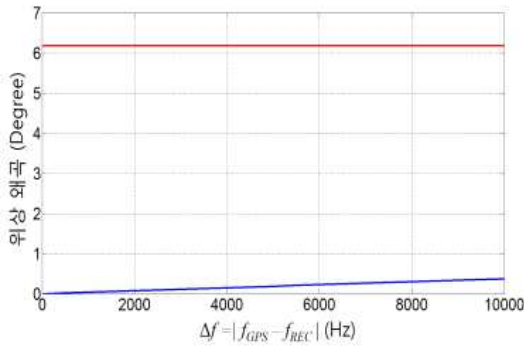


그림 2. 주파수 추정 오차에 따른 STAP의 위상 왜곡

그림 2에서 푸른색 그래프는 제안된 기법을 적용한 경우의 STAP에 의한 오차를 주파수 오차에 대하여 나타낸 것이며, 붉은색 그래프는 비교를 위해 기존 steering vector를 활용한 STAP을 적용한 경우의 위상 왜곡을 나타낸 것이다. 그림 2로부터, 제안된 기법을 통해 STAP에 의한 위상 왜곡이 기존 기법에 비해 감소한 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 GPS 신호의 주파수가 고려된 steering vector를 활용한 STAP에서의 위상 왜곡 감소 기법의 성능 분석 수행하였다. 이를 위해 기존 MVDR 알고리즘과 제안한 steering vector가 활용된 MVDR 알고리즘을 비교하였다. 기존 MVDR 알고리즘의 steering vector는 주파수 영역의 영향을 고려하지 않은 반면, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 GPS 신호의 주파수를 고려한 steering vector를 사용하므로, 기존 MVDR 알고리즘에 비해, STAP에 의해 발생하는 GPS 신호의 위상 왜곡을 감소할 수 있다. 임의로 설정된 교란 시나리오에 대하여 시뮬레이션을 수행하였고, GPS 신호의 실제 주파수와 수신기에서 추정된 주파수간의 오차에 따른 위상 왜곡 정료를 도시하고 이를 기존 기법과 비교함으로써 제안된 기법의 성능을 분석하였다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-R0346-16-1008).

참고 문헌

- [1] Y. -H. Chen, J. -C. Juang, J. Seo, S. Lo, D. M. Akos, D. S. De Lorenzo, P. Enge, "Design and Implementation of Real-Time Software Radio for Anti-Interference GPS/WAAS Sensors," *Sensors*, 12(9), pp.13417-13440, 2012.
- [2] J. Seo, Y. -H. Chen, D. S. De Lorenzo, S. Lo, P. Enge, D. Akos, J. Lee, "A Real-Time Capable Software-Defined Receiver Using GPU for Adaptive Anti-Jam GPS Sensors," *Sensors*, 11(9), pp.8966-8991, 2011.
- [3] H. L. Van Trees, "Optimum Array Processing, Part IV of Detection, Estimation and Modulation Theory," Wiley, 2002.