Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 5, October 2012, pp. 663-668
http://dx.doi.org/10.5391/JKIIS.2012.22.5.663

TPMS 간섭제거를 위한 Generalized Sidelobe Canceler

Generalized Sidelobe Canceler for TPMS Interference Cancellation

박철* · 황석승**†
Cheol Park and Suk-seung Hwang+

*조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과
**조선대학교 공과대학 메카트로닉스공학과

요 약

차량의 각 타이어에 부착된 센서에서 압력과 온도 등을 측정하여 측정된 데이터를 차량의 무선 수신기에 전송하여 디스플레이에 타이어의 상태를 표시하는 TPMS(Tire Pressure Monitoring System)는 차량의 운행 또는 정지 중에 타이어의 상태를 수시로 점검하여 운전자에게 타이어 상태정보를 제공하는 안전보조 장치이다. TPMS는 각 타이어에서 측정되는 데이터를 전송하기위해 무선통신을 이용하는데, 정확한 데이터 전송을 방해하는 외부 전기 및 전자장치에 의한 간섭이 존재할 수 있다. 본 논문에서는 정확한 데이터 전송에 영향을 주는 간섭을 제거하고 MVDR(Minimum-Variance Distortionless-Response) 보다 낮은 복잡도를 가지는 GSC(Generalized Sidelobe Canceler) 기반의 TPMS 간섭제거 방식을 제안한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안된 간섭제거 기술의 성능을 확인한다.

키워드 : TPMS(Tire Pressure Monitoring System), LMS(Least Mean Square), 간섭제거, 빔형성기, GSC(Generalized Sidelobe Canceler)

Abstract

A TPMS(Tire Pressure Monitoring System) is a wireless communication system designed to monitor the pressure and temperature of pneumatic tires of a vehicle. In order to provide the aid in protecting a driver, this system reports tire pressure information to the driver of the vehicle. Since the wireless communication technique should be employed to transmit the TPMS data from each tire to signal processing unit in the vehicle, it suffers from interference signals from external electrical or electronics equipments. In this paper, we propose the TPMS interference cancellation technique based on GSC(Generalized Sidelobe Canceler), which does not have only the excellent performance like MVDR(Minimum-Variance-Distortionless-Response) but also has the low computational complexity comparing with MVDR. The performance of interference suppression is conformed by computer simulation examples.

Key Words : TPMS(Tire Pressure Monitoring System), LMS(Least Mean Square), Interference Suppression, Beamformer, GSC(Generalized Sidelobe Canceler)

1. 서 론

차량의 주행 또는 정지 중에 타이어의 공기압이 기준치보다 너무 높거나 낮으면 타이어에 이상이 생기기 쉽고 사고로 이어질 가능성이 있다. TPMS는 이러한 차량사고를 방지하기 위해 각 타이어에서 온도, 압력 등을 부착된 센서로 측정한 뒤 측정된 데이터를 차량의 수신처리부에 전송하는 시스템이다[1]. 타이어에 장착된 TPMS는 타이어에서 측정되는 데이터를 실시간으로 운전석에 있는 디스플레이에 표시하여 운전자가 타이어의 압력과 온도 등을 확인할 수 있게 한다[2,3]. TPMS는 타이어에 있는 송신 안테나와 차량의 중앙에 있는 수신 안테나간의 무선통신을 통하여 데이터를 송·수신하므로 타이어에 장착된 송신모듈에는 전력을 공급하는 배터리가 필요하여, 배터리의 소형화와 낮은 전력을 소비하는 장치를 통해 TPMS의 수명을 연장시키는 기술개발이 필요한 실정이다[4].

2007년 9월 이후 미국 내에서 TPMS 장착 의무화를 통해 미국 내에 판매되는 국산 자동차와 수입 자동차에 장착이 의무화 되었다[5]. 현재 국내에서도 2013년부터 전 차량의 TPMS 장착 의무화를 계획하고 있고, TPMS 뿐만 아니라 각종 차량 안정장치의 도입과 개발을 진행 중이다. TPMS는 미국과 유럽 등에서 433.

접수일자: 2012년 7월 12일
심사(수정)일자: 2012년 10월 7일
게재확정일자 : 2012년 10월 8일
† 교신 저자
이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2011-0020027).
이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2011-0024811).

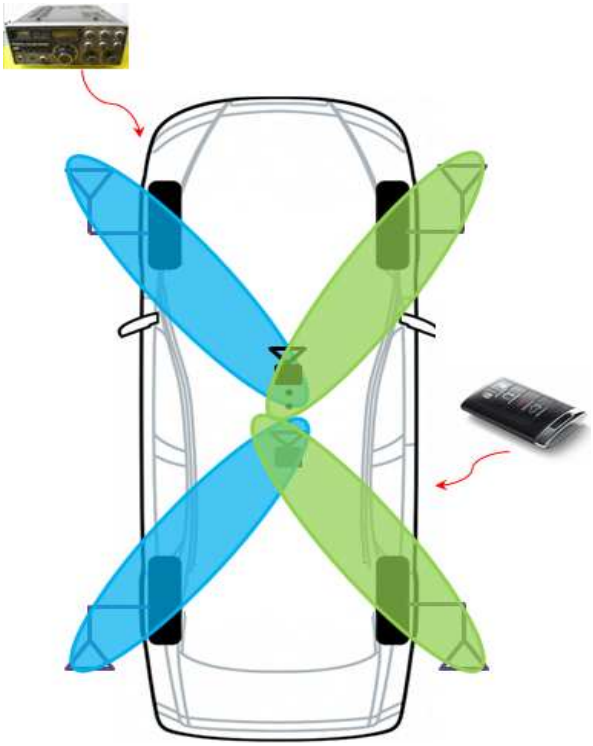


그림 1. TPMS 용 빔형성을 위한 자동차 내부의 안테나 구조

Fig. 1. Antenna arrangement structure inside the vehicle for TPMS beamformer

92MHz의 통신 주파수를 사용하는데, 국내에서는 433.92MHz와 447MHz를 사용하고 있다[6]. 국내에서 TPMS 개발 시 해외시장 진출을 고려하여 미국과 유럽 등에서 사용하고 있는 433.92MHz의 주파수기반의 TPMS 개발이 필요하다. 국내에서 사용되고 있는 TPMS의 주파수 433.92 MHz는 RKE, 컨테이너 관리용 RFID, 아마추어 무선국 등의 주파수와 유사하여 TPMS 데이터 송수신 시 각종 외부장치의 고출력 신호에 의한 간섭으로 인하여 전송되는 TPMS 데이터의 정확한 전달을 방해할 수 있다[7]. 앞서 연구된 대표적인 TPMS 간섭제거 용 빔형성기로는 TPMS 데이터를 정확하게 수신할 수 있도록 AOA 벡터를 사용하여 TPMS 데이터를 수신하는 스위칭 빔형성기[8]와 우수한 간섭제거성능을 가지는 TPMS 용 MVDR 빔형성기[9] 등이 있다. 스위칭 빔형성기는 간섭제거성능이 낮고, MVDR 빔형성기는 자기상관행렬의 계산이 필요하므로 복잡도가 매우 높은 문제점을 가진다. 이와 같은 문제점을 보완하기위해 본 논문에서는 GSC 기반의 빔형성기를 제안한다. GSC[10] 기반의 빔형성기는 MVDR 빔형성기와 비슷한 간섭제거 성능을 가지면서 MVDR 빔형성기 보다 복잡도가 현저히 낮은 성능을 가진다. GSC 빔형성기의 기본이 되는 LMS 알고리즘은 통신분야, 레이더(radar), 소나(sonar), 제어분야 등에서 시스템 자체적으로 주변 환경에 맞게 필터계수를 자동으로 변환하면서 최적의 상태로 만드는 방식이다[11,12]. 본 논문에서는 GSC를 TPMS에 적용시키기 위해서 각 타이어에 송신안테나와 센서를 배치하고 차량의 중앙에 일렬로 M개의 안테나를 배치한다. 또한 각 타이어간의 송신 신호간의 간섭을 제거하기 위하여 고유의 Gold Code[13]를 각 타이어에 부여하는 방식을 제안한다.

2. 수신신호 모델

GSC 빔형성기를 TPMS에 적용하기 위해 본 논문에서는 그림 1과 같이 각 타이어로부터 데이터를 전송 받기 위하여 차량의 중심부에 일렬로 M개의 안테나를 배치한 구조를 사용한다. 등 간격 선형 어레이(Uniform Linear Array, ULA)를 이용한 i번째 타이어와 샘플 인덱스 k 기반의 수신 신호는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}_i(k) = \mathbf{a}_i g_i(k) b_i(k) + \mathbf{A}\mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \tag{1}$$

식 (1)에서 $\mathbf{a}_i$는 i번째 타이어에 대한 $M\times 1$ 크기의 어레이 응답 벡터이고, $g_i(k)$는 N의 길이를 가지는 i번째 타이어에 대한 사이클로스테이션너리(cyclostationary) Gold Code이며, $b_i(k)$는 한 사이클의 골드코드에 대하여 일정한 i번째 타이어의 실제 측정된 데이터 비트(bit)를 나타낸다. $\mathbf{A}$는 크기 $M\times L$의 어레이 응답 행렬이고, L은 간섭신호의 개수, $\mathbf{s}(k)$는 간섭신호들로 이루어진 크기 $L\times 1$의 간섭신호 벡터이다. 또한 $\mathbf{n}(k)$는 i.i.d (independent and identically distributed) 원소로 구성되어있는 '0'과 σ^2를 평균과 분산으로 가지는 AWGN (additive white Gaussian Noise, 백색 가우시안 잡음)을 의미한다. $\mathbf{A}$는 식 (2)와 같이 주어진다. 여기서 $\mathbf{A}$의 j번째 열은 j번째 간섭신호의 어레이 응답 벡터를 나타낸다[14,15].

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ e^{-j\zeta_1} & \cdots & e^{-j\zeta_j} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ e^{-j(M-1)\zeta_1} & \cdots & e^{-j(M-1)\zeta_j} \end{bmatrix} \tag{2}$$

식 (2)에서 j번째 열의 ζ_j는 아래 식 (3)과 같이

$$\zeta_j = 2\pi\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cos\phi_j \tag{3}$$

주어지며, 식 (3)에서 ϕ_j는 수신안테나로 입사되는 j번째 간섭신호에 대한 수신 방향 각도이며, $d=\lambda/2$는 안테나 사이의 간격을 나타내며 λ는 신호의 파장을 의미한다.

3. GSC 기반의 TPMS 무선통신

본 논문에서는 그림 2와 같이 외부 간섭을 제거하는 방법으로 GSC 빔형성기를 적용시킨 TPMS 수신기를 제안한다. 자기상관행렬(auto correlation matrix)계산이

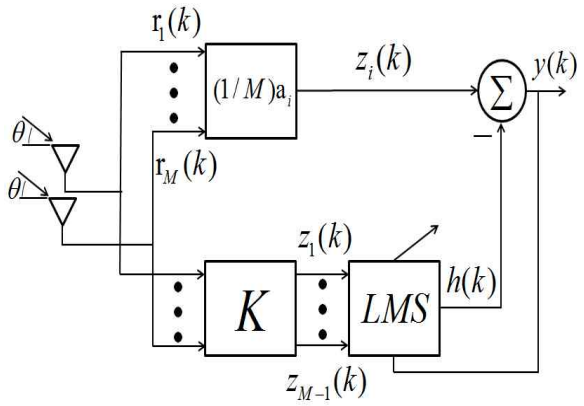


그림 2. LMS 기반의 GSC 빔형성기 구조
Fig. 2. Structure of GSC Beamformer based on LMS

필요하지 않아서 MVDR보다 월등히 낮은 복잡도를 가지는 GSC는 MVDR과 거의 비슷한 간섭제거 성능을 보유한다. 본 논문에서 제안된 TPMS 구조는 차량의 중심부에 일렬로 M개의 안테나를 배치시키고 각 타이어에 한 개의 송신안테나를 설치하여 타이어에서 측정된 데이터를 송신한다.

LMS 알고리즘과 같은 적응(adaptive) 알고리즘을 사용하여 GSC 가중치 벡터를 구한다. 적응 알고리즘의 한 종류인 LMS 알고리즘은 환경변화에 강인한 특성과 식의 단순성으로 계산이 간단한 특성을 가지고 있다. 식 (4)는 GSC의 LMS 알고리즘 가중치 벡터를 구하는 식을 나타낸다[16,17].

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + 2\mu \boldsymbol{z}(k) y^*(k) \tag{4}$$

$\mathbf{w}(k)$는 LMS 알고리즘에서 시간에 따라 적응되어가는 가중치 벡터이며, μ는 스텝사이즈 매개변수로서 $0 < \mu$이다. $\boldsymbol{z}(k)$는 입력신호 벡터를 나타내며, $y(k)$는 추정오류(estimation error)이며 식 (5)와 같다[18].

$$y(k) = z_i(k) - h(k) \tag{5}$$

$z_i(k)$는 LMS의 reference 신호와 같은 기능을 가지며 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$z_i(k) = \frac{1}{M}\mathbf{a}_i^H \mathbf{r}(k) \tag{6}$$

식 (5)에서 $h(k)$는 LMS 출력 값을 나타내며 식 (7)과 같다.

$$h(k) = \mathbf{w}^H(k) z(k) \tag{7}$$

여기서 $z(k)$는 수신신호 $\mathbf{r}_i(k)$에서 TPMS 데이터신호를 제외하고 남은 간섭과 잡음을 포함하는 신호로써 식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$z(k) = K^H \mathbf{r}_i(k) \tag{8}$$

식 (8)에서 K는 a_i의 left null space이다[19]. 위의 GSC의 LMS알고리즘 가중치 벡터를 이용한 GSC의 가중치벡터는 식 (9)와 같이 주어진다[20,21].

$$\mathbf{w}_{gsc}(k) = \frac{1}{M}\mathbf{a}_i - K\mathbf{w}(k) \tag{9}$$

식 (9)는 i번째 타이어에 대하여 크기 '1'의 빔 펙터를 생성하고 SIR(Signal-to-Interference Ratio, 신호-대-간섭 비)을 향상시킨다. 주어진 GSC의 가중치벡터에 의한 i번째 타이어에 대한 빔형성기 출력은 식 (10)과 같이 나타낸다.

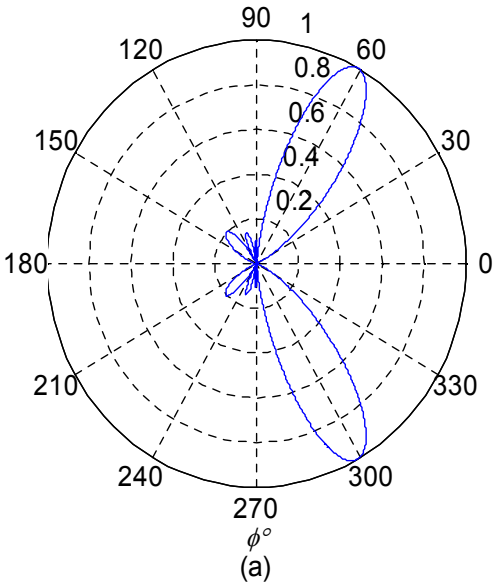
$$y_i(k) = \mathbf{w}_{gsc}^H \mathbf{r}(k) \tag{10}$$

식 (10)의 GSC 기반의 빔형성기 출력 $y_i(k)$는 전송받으려는 i번째 TPMS 데이터 신호와 제거된 후의 매우 작은 전력을 가지는 외부 간섭신호 및 AGN(Additive Gaussian Noise)을 포함한다[22].

4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 제안된 적응 GSC 기반의 빔형성기를 적용한 TPMS의 무선통신 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 확인한다. 시뮬레이션을 통한 확실한 성능 비교를 위해 여섯 개의 수신안테나와 여덟 개의 수신안테나를 사용하였고, 각 타이어의 TPMS 송신신호에 길이 $N=15$의 골드코드를 각각 부여하였다. 타이어에서 수신안테나로 입사되는 수신신호의 입사각은 60^o, 120^o, 240^o, 300^o로 가정하였고 수신안테나에 수신되는 간섭들의 입사각은 85^o, 170^o, 275^o으로 가정하였다.

특정 방향으로 빔이 모양을 형성하는 것을 빔패턴(beam pattern)라고 한다. 그림 3과 그림 4는 각각 여섯 개의 안테나와 여덟 개의 안테나를 차량의 중심부에 일렬로 배치하였을 경우의 빔패턴들의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 3은 여섯 개의 안테나를 사용했을 경우 빔패턴으로써 그림 3(a)는 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 입사각 60^o 또는 300^o의 빔패턴으로 차량의 중앙의 수신안테나를 기준으로 오른쪽 앞과 뒤 타이어의 TPMS 신호에 대한 입사각 60^o, 300^o방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수 있고, 그림 3(b)는 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 입사각 120^o또는 240^o의 빔패턴으로 차량 중앙의 수신안테나를 기준으로 왼쪽 앞쪽과 뒤쪽 타이어의 TPMS 신호에 대한 입사각 120^o, 240^o방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 여덟 개의 안테나를 사용했을 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 4(a)는 그림 3(a)와 같은 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 입사각 60^o 또는 300^o의 빔패턴으로 차량의 중앙의 수신안테나를 기준으로 오른족 앞과 뒤 타이어의 TPMS에 대한 입사각 60^o, 300^o방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수 있고, 그림 4(b)는 그림 3(b)와 같은 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 입사각 120^o



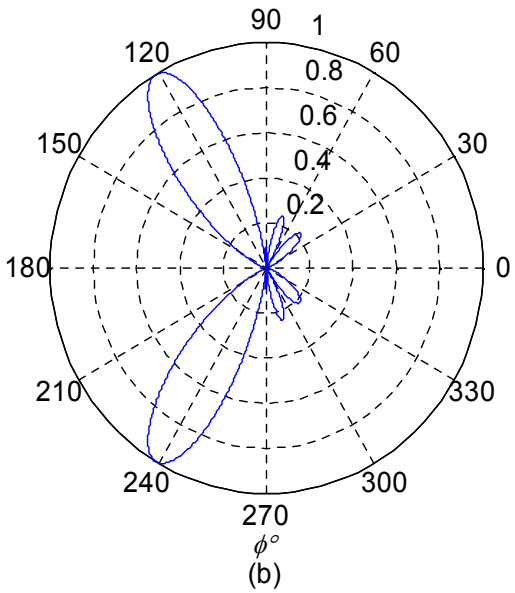
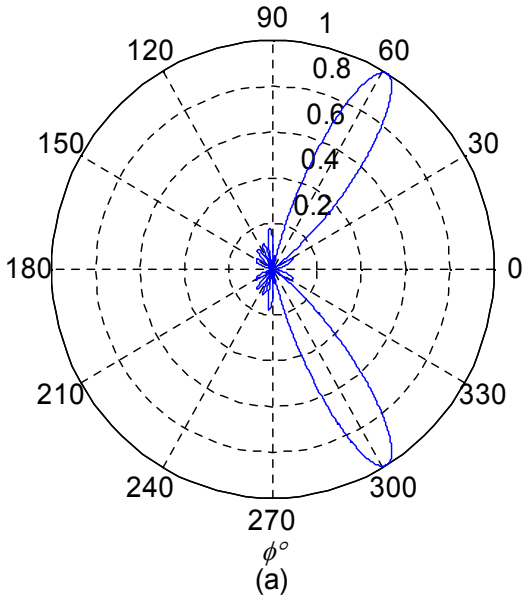


그림 3. 여섯 개의 안테나를 사용하였을 경우의 GSC 빔형성기에 대한 빔패턴 (a) 60^o, 300^o의 입사각을 가지는 오른쪽 타이어 TPMS 신호에 대한 빔패턴 (b) 120^o, 240^o의 입사각을 가지는 왼쪽 타이어 TPMS 신호에 대한 빔패턴

Fig. 3. Beam pattern of GSC beamforming with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles



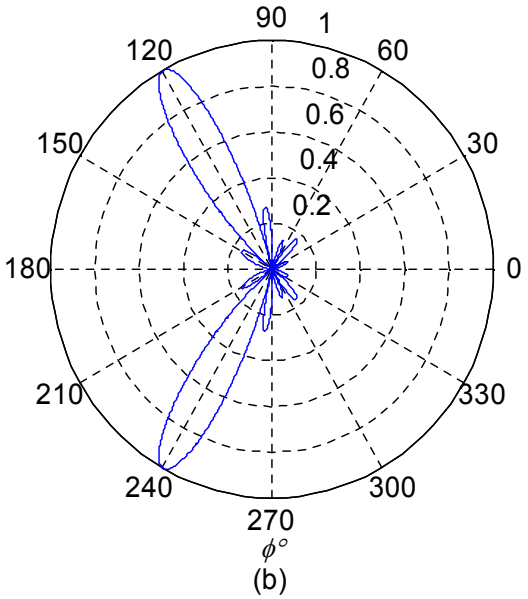


그림 4. 여덟 개의 안테나를 사용하였을 경우의 GSC 빔형성기에 대한 빔패턴 (a) 60^o, 300^o의 입사각을 가지는 오른쪽 타이어 TPMS 신호에 대한 빔패턴 (b) 120^o, 240^o의 입사각을 가지는 왼쪽 타이어 TPMS 신호에 대한 빔패턴

Fig. 4. Beam pattern of GSC beamforming with eight antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

또는 240^o의 빔패턴으로 차량 중앙의 수신안테나를 기준으로 왼쪽 앞쪽과 뒤쪽 타이어의 TPMS 신호에 대한 입사각 120^o, 240^o방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 3과 그림 4에서 간섭의 입사 방향 85^o, 147^o, 255^o에 널(null)이 생성되는 것을 확인할 수 있다. 그림 5와 그림 6은 ISR(Interference-to-Signal Ratio, 간섭-대-신호 비)이 10dB일 경우 안테나가 여섯 개일 때와 여덟 개일 때의 MVDR 빔형성기와 GSC 기

반의 TPMS의 SNR(Signal-to-Noise Ratio, 신호-대-잡음 비)당 출력 SINR(Signal-to-Interference and Noise Ratio, 신호-대-간섭 및 잡음 비)성능을 비교한 결과를 보여준다. 그림 5(a)는 여섯 개의 안테나를 사용한 결과로써 GSC 빔형성기 기반의 TPMS와 MVDR 기반의 TPMS 수신기가 거의 같은 간섭제거 성능을 보유한다는 것을 확인 할 수 있으며, 그림 6(a)는 여덟 개의 안테나를 사용한 결과로써 여섯 개의 안테나의 경우보다 GSC 와 MVDR 빔형성기들이 향상된 성능을 보유하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5(b)는 그림 5(a)를 확대한 것으로 MVDR의 최적화된 알고리즘 결과에 GSC의 가중치 벡터가 매우 가깝게 수렴함을 확인 할 수 있다. 또한 그림 6(a)를 확대한 그림 6(b)에서도 그림 5(b)에서처럼 GSC의 가중치 벡터가 최적화된 알고리즘 결과를 가지는 MVDR에 매우 가깝게 수렴함을 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6의 결과에서 확인할 수 있듯이 GSC 빔형성기와 MVDR 빔형성기는 비슷한 간섭제거 성능을 가지고 있지만 MVDR 빔형성기는 자기상관행렬을 사용하므로 매우 높은 계산량을 가진다. MVDR 빔형성기의 자세한 간섭제거 성능은 [9]에서 확인할 수 있다. GSC는 자기상관행렬을 사용하지 않아 현저히 낮은 복잡도를 가진다.

5. 결 론

차량사고가 증가함에 따라 이를 방지하기 위해 전 세계적으로 안전보조 장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 장치 중에 하나인 TPMS는 타이어의 공기압 이상으로 발생되는 교통사고를 미연에 방지하는 기능을제공하며, 자동차에서 발생되는 온실가스와 연료 소비량을 감소시킨다. 또한 전 세계적으로 TPMS 사용의 의무화가 진행 중이며 국내에서도 2013년부터 전 차량에TPMS 장착 의무화를 위한 정책이 추진 중에 있다. TPMS 무선통신 주파수와 비슷한 주파수를 사용하는 전기 및 전자 장비로부터 심각한 무선통신 간섭이 발생하여 TPMS무선통신 시 정확한 데이터를 전송 받지 못할 가능성이 있다. 이러한 간섭을 제거하기 위해 본 논문에서는 MVDR에 비해 월등히 낮은 복잡도를 보유하고 MVDR과 거의 비슷한 성능을 가지는 적응 GSC 빔형성기 기반의 TPMS 무선 수신기 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 시스템의 간섭제거 성능 결과를 확인할 수 있다. 현재, 상황에 따라 효과적인 빔형성기를 선택적으로 사용할 수 있는 TPMS 간섭제거를 위한 하이브리드 빔형성기에 대한 연구가 진행 중에 있다.

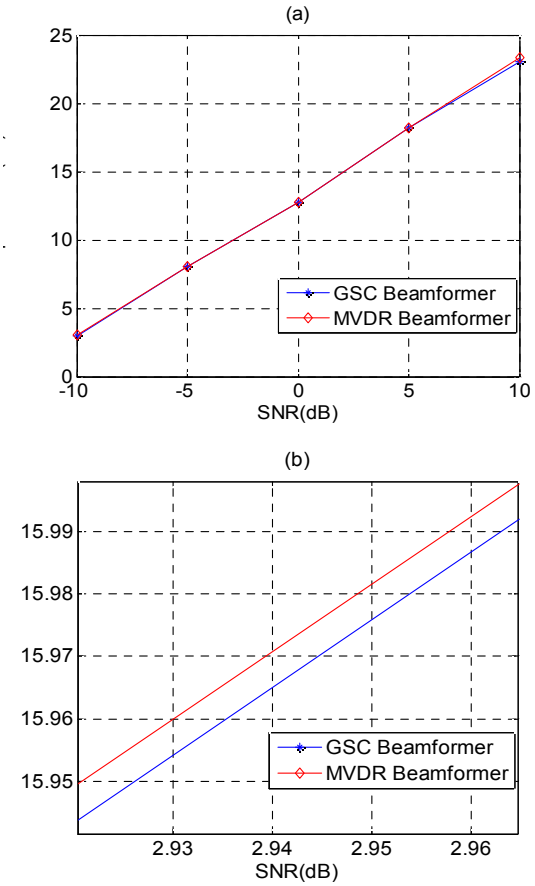


그림 5. (a) ISR=10(dB)일 때 여섯 개의 안테나를 사용한 경우의 GSC 빔형성기와 MVDR 빔형성기의 SNR 당 출력 SINR 성능 비교 (b) 그래프(a)의 GSC와 MVDR의 성능 차이를 확인하기 위한 확대된 결과

Fig. 5. (a) Output SINR performance of the GSC and MVDR beamformers with six antennas for ISR=10(dB) (b) Extended version for verifying the difference of performance for GSC and MVDR beamformers

References

[1] B. Kim, "A Study on the Design of decision logic for Tire Pressure Monitoring System," *KAIS*, vol. 7, no. 3, pp. 285-290, June 2006.

[2] J. Chun and P. Cho, "Technical Trend of Tire Pressure Monitoring System", *Electronics and Telecommunications Trends* vol. 20, no. 6, pp. 167-177, Dec. 2005.

[3] Liuxi Tan, Sheng Liu, Honghai Zhang, Zhiying Gan, and Cheng Chen, "Numerical Analysis of the Reliability of Tire Pressure Monitoring System Installed on Wheel Hub with Glue," *Electronic Packaging Technology, 2006. ICEPT*, Shanghai, Aug. 2006.

[4] Mark L. Shaw, "Considerations to Improve Battery Life in Direct Tire Pressure Monitoring," *SAE 2002 World Congress & Exhibition*, Detroit, MI, USA, Mar. 2002.

[5] M. Brzeska, and G. A. Chakam, "RF Modelling and Characterization of a Tyre Pressure Monitoring System," *in Proc. EuCAP 2007*, Edinburgh, Nov. 2007.

[6] M. Brzeska, J. Pontes, G. A. Chakam, and W. Wiesbeck, "RF-Design Characterization and Modelling of Tyre Pressure Sensors," *in Proc. EuCAP 2007*, Edinburgh, Nov. 2007.
[7] 정보통신부, "차량용 주파수 분배방안", *차량용 주파수 분배 공청회*, July 2005.
[8] C. Park, S. Kim, and S. Hwang, "Interference Suppression Based on Switching Beamforming for TPMS,", *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 21, no. 4, pp. 436-441, 2011.
[9] C. Park, and S. Hwang, "MVDR beamformer based on the AOA for TPMS" *in Proc. The Korea Institute of Electronic Communication Sciences,* vol. 5, no. 1, pp. 244-249, June 2011.
[10] S. Jeong, and S. Lee, "Multi-channel input-based non-stationary noise cenceller for mobile devices", *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 7 , Dec. 2007.
[11] B. Widrow and M. Kamenetsky, "On the Statistical Efficiency of the LMS Family of Adaptive Algorithms," *Neural Networks 2003*, vol. 4, pp. 2872-2880, July 2003.
[12] K. M. Buckley and L. J. Griffiths, "An adaptive generalized sidelobe canceller with derivative constraints," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 3, pp. 311-319, March 1986.
[13] John G. Proakis, Masoud Salehi, and Gerhard Bauch, *Contemporary Communication Systems using MATLAB and Simulink*, Brooks/Cole Publishing Company, June 2003.
[14] R. A. Monzingo and T. W. Miller, *Introduction to Adaptive Arrays*, New York: Wiley, 1980.
[15] S. Hwang and J. J. Shynk, "Multicomponent Receiver Architectures for GPS Interference Suppression," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, pp. 489-502 Apr. 2006.
[16] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1985.
[17] J. Choi, "Reverse Filtering of Sound Field by Adaptive Filter and Neural Network", *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 2, pp. 145-151, 2010
[18] M.Chelaru, H.N.Teodorescu, and C.Dumitrascu, "A FUZZY LMS ALGORITHM," in Proc. *International Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks IIZUKA 90*, vol. 1, pp. 107-110, July 1990.
[19] J.S Goldstein, I.S.Reed, and L. L. Scharf, "A multi-stage representation of the Wiener filter based on orthogonal projections," *IEEE Treans. on Information Theory*, vol, 44, pp. 2943 - 2959, Nov. 1998.
[20] J. An and B. Champagne, "GSC realisations using the two-dimensional transform-domain LMS algorithm," *Radar, Sonar and Navigation, IEEE Proceedings*, vol. 141, no. 5, pp. 270-278, Oct. 1994.
[21] Wei Shao and Wei-cheng Wang, "A New GSC based MVDR Beamformer with CSLMS Algorithm for Adaptive Weights Optimization," *2011 4th International Congress on Image and Signal Processing*, vol. 5, pp. 2299-2302, Oct. 2011.
[22] Guerreiro, A.M.G., Neto, A.D.D., and Lisboa, F.A., "Beamforming applied to an Adaptive Planar Array," *Radio and Wireless Conference, 1998. RAWCON 98*, pp. 209-212, Aug. 1998.

저 자 소 개

박철(Cheol Park)
2011년 2월 : 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업
2011년 3월 : 조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과 석사과정

관심분야 : 신호 및 시스템, 간섭제거, 적응신호처리
E-mail : samasin@nate.com

황석승(Suk-seung Hwang)
1997년 2월 : 광운대학교 제어계측공학과 졸업
2001년 6월 : University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업 (공학석사)
2006년 3월: University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업 (공학박사)
2006.5~2008.3 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원
2008.3~현재 : 조선대학교 메카트로닉스공학과 조교수

관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동로봇용 위치추정, 간섭제거
Phone : 062-230-7741
Fax : 062-230-6596
E-mail : hwangss@chosun.ac.kr