

안테나 간격 변화에 대한 TPMS 빔형성기 성능분석

최병상* · 김성민** · 황석승***

Performance Analysis of TPMS Beamformer According to Variance of Antenna Interelement Spacing

Byung-Sang Choi* · Seong-Min Kim** · Suk-Seung Hwang***

요 약

TPMS(Tire Pressure Monitoring System)는 자동차 타이어의 센서부에서 전송된 온도나 압력 등의 데이터를 기반으로 타이어의 상태를 파악하여 운전자가 수시로 이를 점검하여 차량의 주행조건을 최적의 상태로 유지시켜주기 위한 안전보조시스템이다. TPMS는 특성상 무선통신을 기반으로 데이터를 전송하는데, 무선통신 시 TPMS와 비슷한 주파수 대역을 사용하는 외부의 각종 전기 및 전자 장치들에 의한 간섭의 영향으로 통신 장애가 발생할 수 있다. 이러한 다양한 고출력의 간섭을 제거하기 위해 등간격 선형 안테나 어레이 구조의 다양한 빔형성 기술을 사용한다. 빔형성 기술은 많은 수의 안테나를 사용할수록 더욱 향상된 간섭제거 성능을 얻을 수 있는데, 차량 내부의 구조상 사용할 수 있는 안테나의 수는 제한적이다. 본 논문에서는 차량 내부에 설치되는 안테나 수를 늘리기 위해 안테나 사이의 간격을 줄였을 경우 빔형성기의 성능을 비교 분석한다. 빔형성기의 성능분석을 위해 최근에 제안된 TPMS용 스위칭(steering) 빔형성기와 MVDR(Minimum -Variance Distortionless-Response) 빔형성기를 고려한다.

ABSTRACT

Tire Pressure Monitoring System (TPMS) is an auxiliary safety system for recognizing the condition of tires based on the pressure and temperature data transmitted from the sensor unit installed on a tire of the vehicle. Using TPMS, a driver can frequently check the state of tires and it aids to maintain the optimum running condition of the vehicle. Since TPMS must utilize the wireless communication technique to transmit data from a sensor unit to a signal processing unit installed in the vehicle, it suffers from interference signals caused by various external electrical or electronic devices. In order to suppress high-power interference signals, we employ beamforming techniques based on the uniform linear antenna array. As the number of the antennas is increased, the performance of the interference suppression is improved. However, there is the limit of the number of antennas, installed in the center of a vehicle, because of its size. In this paper, we compare and analyze the performance of the beamformer, when reducing the interelement spacing of antennas, to increase the number of the receiving antennas. For the performance analysis of the beamformers, we consider the steering beamformer and minimum-variance distortionless-response (MVDR) beamformer for TPMS, recently proposed.

키워드

Tire Pressure Monitoring System, Uniform Linear Array, Steering Beamformer, Minimum-Variance Distortionless-Response Beamformer
TPMS, 등간격선형 어레이, 스위칭 빔형성기, MVDR 빔형성기

* 조선대학교 금속재료공학과(bschoi@chosun.ac.kr)

** 조선대학교 첨단부품소재공학과(millionairek@naver.com)

*** 교신저자 : 조선대학교 메카트로닉스공학과(hwangss@chosun.ac.kr)

접수일자 : 2013. 04. 19

심사(수정)일자 : 2013. 05. 20

게재확정일자 : 2013. 06. 21

1. 서 론

차량 사고는 승객의 생명과 직결되므로 최근 승객의 안전을 위해 다양한 기술들이 차량에 도입되고 있다. 이 중 TPMS는 타이어의 온도나 압력 등을 측정하여 운전자가 타이어의 상태를 수시로 점검하여 사고를 사전에 방지하기 위해 많은 차량에 사용되고 있다[1]. TPMS는 차량에 사용되는 무선통신기기의 하나로 타이어의 휠이나 밸브 등에 장착된 송신기모듈이 타이어 내부의 실시간 온도나 압력 등을 측정하여 측정된 데이터를 무선으로 차량 내부의 신호처리부 수신기로 전송한다. TPMS는 센서부로부터 전송된 데이터를 기반으로 타이어의 상태를 차량 안의 디스플레이부에서 실시간으로 표시해주는 안전보조 시스템으로 정의할 수 있다[2-3].

현재 국내에서 개발된 TPMS는 433.92MHz와 447 MHz의 두 주파수를 사용하고 있는데, 이 중 433.92 MHz는 미국과 유럽 등 전 세계적으로 주로 사용되는 주파수 대역으로[4] 제품의 수출 경쟁력을 고려하여 433.92MHz 주파수를 사용하는 우수한 성능의 TPMS 개발이 필요하다. 그러나 국내에서 RKE(remote keyless entry), 컨테이너 관리용 RFID(radio frequency identification), 아마추어 무선국 등의 다양한 전기 및 전자 장치들이 TPMS와 비슷한 주파수 대역의 고출력 신호를 사용하므로 TPMS 무선통신에 있어 심각한 간섭[5]으로 작용할 가능성이 있다. 이러한 간섭들의 효율적인 제거를 위해 스위칭[6], GSC(Generalized Sidelobe Canceler)[7], MVDR[8] 빔형성 기술들을 차량의 내부에 있는 TPMS 수신기에 적용하는 기술들이 제안되었다. 이 중 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기는 차량 중앙에 M 개의 수신안테나를[9-11] 일직선으로 배치시키는 구조를 사용하는데, 이들 빔형성기는 많은 수의 안테나를 사용할수록 향상된 간섭제거 성능을 가지는 특성이 있다. 하지만, 차량의 구조상 많은 안테나를 차량 내부에 일렬로 배치하는 것은 제한적이다. 빔형성기에 일반적으로 사용되는 안테나 사이의 간격을 TPMS에 적용하면, 승용차 기준으로 차량 내부에 일렬로 장착할 수 있는 안테나의 개수는 네 개 정도로 국한된다. 본 논문에서는 차량에 일렬로 장착할 수 있는 안테나의 개수를 늘리기 위해 안테나 사이의 간격을 변화시켰을 경우의 스

위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기의 간섭제거 성능을 비교, 분석한다. 분석된 결과를 바탕으로 효과적인 TPMS 빔형성기 사용을 위해 차량내부에 장착할 수 있는 안테나의 개수를 파악할 수 있다.

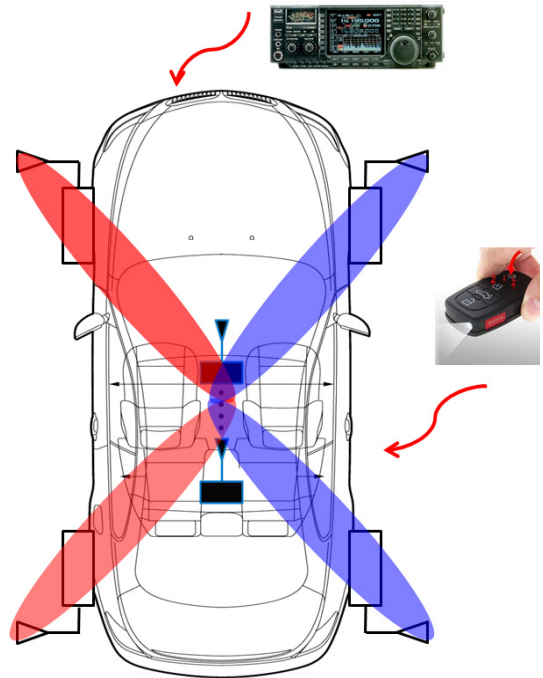


그림 1. TPMS에 적용되는 빔형성기 구조
Fig. 1 Beamforming antenna arrangement applied to TPMS

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 수신신호 모델을 제시하고, 3장에서는 본 논문에서 고려된 TPMS용 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기를 간략히 소개하며 안테나 간격을 변화시키기 위한 방법을 제안한다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 안테나 간격 변화 시의 빔형성기 성능을 비교/분석하고, 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 수신신호 모델

TPMS용 빔형성기를 위한 수신 안테나는 그림 1과 같이 차량의 중앙에 일렬로 배치된 M 개의 안테나 어레이 구조를 사용한다고 가정한다. 등간격 선형 어레

이 (Uniform Linear Array, ULA)를 고려한 수신신호 벡터는 이산 샘플 인덱스 k 에 대하여 식 (1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}(k) = \sum_{j=1}^4 \mathbf{a}_j g_j(k) b_j(k) + \mathbf{A} \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad (1)$$

식 (1)에서 \mathbf{a}_j 는 j 번째 타이어에 대한 $M \times 1$ 크기의 어레이 응답 벡터이고, $g_j(k)$ 는 각 타이어에 부여되는 길이 N 의 j 번째 타이어에 대한 사이클로스테이션너리(cyclostationary) 골드코드이며, $b_j(k)$ 는 골드코드의 한 사이클(cycle)동안 일정한 j 번째 타이어에 대한 데이터 비트(bit)를 나타낸다. \mathbf{A} 는 $M \times L$ 크기의 간섭신호에 대한 어레이 응답 행렬이며, L 은 간섭신호의 개수이고, $\mathbf{s}(k)$ 는 $L \times 1$ 크기의 간섭신호 벡터를 나타낸다. $\mathbf{n}(k)$ 는 i.i.d(independent and identically distributed) 원소로 구성되어있는 분산 σ^2 과 평균 0을 가지는 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise, AWGN) 벡터이다. 도래각(angle-of-arrival, AOA) 어레이 응답 행렬 \mathbf{A} 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[12-13].

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ e^{-i\zeta_l} & \dots & e^{-i\zeta_l} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ e^{-i(M-1)\zeta_l} & \dots & e^{-i(M-1)\zeta_l} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서 l 번째 열의 ζ_l 는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\zeta_l = 2\pi \left(\frac{d}{\lambda} \right) \cos \phi_l \quad (3)$$

식 (3)에서 d 는 안테나 사이의 간격을 나타내고, λ 는 신호의 파장, ϕ_l 은 수신안테나로 입사되는 l 번째 간섭신호에 대한 수신 방향 각도이다. 일반적인 빔형성기는 식 (4)와 같이 안테나 사이의 간격으로 신호 파장의 반을 사용하는데, 본 논문에서는 d 값을 변화시켰을 경우 빔형성기의 성능을 비교, 분석한다.

$$d = \lambda/2 \quad (4)$$

III. 간섭제거를 위한 TPMS 빔형성기

본 장에서는 안테나 사이의 간격 변화에 대한 빔형성기의 간섭제거 성능 분석을 위해 AOA 벡터 기반의 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기를 적용한 TPMS 무선통신시스템 구조를 고려한다.

3.1 TPMS 스위칭 빔형성기

스위칭 빔형성기는 원하는 신호가 입사되는 방향으로 빔을 형성하여 SIR(Signal-to-Interference Ratio, 신호-대-간섭 비)를 향상시키도록 설계되어 있다. j 번째 타이어 신호에 대한 빔형성기의 가중치 벡터는 식(5)와 같이 주어진다.

$$\mathbf{w}_j = \frac{\mathbf{a}_j(\phi)}{\sqrt{\mathbf{a}_j^H(\phi) \mathbf{a}_j(\phi)}} \quad (5)$$

j 번째 타이어 신호에 대한 빔형성기 출력은 식(6)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_j(k) = \mathbf{w}_j^H \mathbf{r}_j(k) \quad (6)$$

스위칭 빔형성기는 두개 이상의 가중치 벡터를 교대로 사용하여 다수개의 원하는 신호의 방향으로 빔을 형성시켜 간섭을 억제한다. 식 (1)과 식(5)의 어레이 응답 벡터는 cosine 함수를 포함하고 있어, 가중치 벡터 하나로 두 개의 빔을 형성할 수 있다. 따라서 네개의 타이어 신호에 대하여 두 개의 가중치 벡터가 필요하다[6].

3.2 TPMS MVDR 빔형성기

MVDR 빔형성기는 TPMS를 차량에 설치할 시에 정해지는 송신안테나에 대한 수신안테나의 AOA 벡터를 이용하여 원하는 방향에서 입사되는 신호의 전력은 그대로 유지하면서 빔형성기의 출력신호의 전력을 최소화시키는 가중치 벡터를 계산한다[14-15]. j 번째 타이어 신호에 대한 MVDR 빔형성기의 가중치 벡터는 식 (7)로 주어진다.

$$\mathbf{w}_j = [\mathbf{a}_j^H(\phi) \mathbf{R}_r^{-1} \mathbf{a}_j(\phi)]^{-1} \mathbf{R}_r^{-1} \mathbf{a}_j(\phi) \quad (7)$$

식 (7)의 \mathbf{R}_r 은 수신신호의 자기상관 행렬로 식 (8)

과 같이 나타낼수 있다.

$$\mathbf{R}_r = E[r(k)r^H(k)] \quad (8)$$

MVDR 빔형성기 출력도 식 (6)과 같은 방법으로 주어진다. MVDR 빔형성기는 원하는 신호 방향으로 빔을 형성시키는 동시에 간섭신호들의 방향으로는 널(null)을 형성시켜 SIR을 향상시킨다. MVDR 빔형성기는 스위칭 빔형성기에 비해 높은 계산 복잡도를 가지지만, 간섭제거 성능은 월등히 우수하다.

TPMS용 빔형성기는 한 번에 두 방향으로 빔을 형성하므로 원하는 방향의 타이어 데이터를 수신할 시 다른 방향의 타이어 신호가 간섭으로 작용하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 각 타이어에 N 의 길이를 가지는 고유의 코드코드를[16][17] 부여하여 데이터를 송신한다.

3.3 안테나 사이의 간격

간섭제거를 위한 빔형성 기술을 TPMS에 사용하기 위해서는 M 개의 안테나를 차량 중앙에 일렬로 배치하여야 하는데, 등간격 선형 어레이 구조인 경우 차량의 길이 상 배치할 수 있는 안테나 개수에 제한이 있다. 빔형성기의 경우, 최적의 간섭제거 성능을 위해 안테나 사이의 간격을 $d = \lambda/2$ 가 되도록 배치한다 [7][14]. 이 경우, 433.92MHz TPMS 주파수에 대한 λ 는 약 0.69m이고, d 는 약 0.35m가 필요하다. 네 개의 안테나 사용 시 안테나 배치에 필요한 총 길이는 약 1.05m이고, 여섯 개의 안테나 배치에 필요한 총 길이는 약 1.75m가 된다. 승용차 기준으로 빔형성기를 위해 실제 배치 가능한 안테나 수는 네 개라고 판단된다. 차량에 설치되는 다른 기기들을 고려하면, 안테나 배치를 위해 필요한 총 길이는 짧을수록 효과적이다.

본 논문에서는 짧은 배치 길이를 가지면서 많은 수의 안테나를 사용할 수 있는 방법을 모색하기 위해, 안테나 사이의 간격을 줄였을 경우 빔형성기의 간섭제거 성능을 비교, 분석한다. 이를 위해 $d = \lambda/2$, $d = \lambda/4$, $d = \lambda/6$ 의 총 세 가지 안테나 간격을 고려한다. $d = \lambda/4$ 인 경우, 안테나 사이의 간격은 약 0.18m이고, 총 안테나 배치 길이는 $M=4$ 에 대해 0.53m, $M=6$ 에 대해 0.88m가 필요하다. 또한, $d = \lambda/6$ 인 경우, 안테나 사이의 간격은 약 0.12m이

고, 총 안테나 배치 길이는 $M=4$ 에 대해 0.35m, $M=6$ 에 대해 0.58m가 필요하다. 안테나 개수가 늘어날수록 빔형성기의 간섭제거 성능은 향상되지만, 안테나 사이의 간격이 줄어들면 빔형성기의 간섭제거 성능이 낮아진다. 효과적인 TPMS 빔형성기 사용을 위해, 유효한 간섭제거 성능을 가지면서 최소한의 안테나 간격 및 최대의 안테나 개수를 가지는 안테나 어레이 구조를 설계 하는 것이 필요하다. 이를 위해 위에서 제시된 각 경우에 대한 간섭제거 성능을 확인하여, 실제 사용 할 수 있는 안테나 간격 및 배치 가능한 안테나 개수를 결정한다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 및 성능분석

본 장에서는 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기의 안테나 사이 간격 변화에 대한 간섭억제 성능 확인을 위해 시뮬레이션 결과를 제시하고, 안테나의 개수와 간격에 따른 빔형성기의 성능을 비교/분석한다.

4.1. 컴퓨터 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 차량 중앙에 네 개 또는 여섯 개의 수신안테나를 사용한다고 가정하였고, 안테나 사이의 간격 d 를 $\lambda/2$, $\lambda/4$, $\lambda/6$ 의 세 가지 경우로 고려하였다. 또한, 각 타이어의 TPMS 송신신호에 길이가 $N=15$ 인 코드코드를 부여하였다. 각 타이어에 대한 TPMS 송신신호의 입사각들은 60° , 120° , 240° , 360° 로 가정하였고, 수신안테나에 대하여 각각 11° , 175° , 270° 로 입사되는 세 개의 간섭신호가 존재하는 것으로 가정하였다.

그림 2, 3, 4는 네 개의 수신안테나 사용 시, 각 안테나 사이의 간격에 대한 스위칭 빔형성기의 빔 패턴 (beam pattern)을 나타낸다. 그림 2(a)와 (b)는 $d = \lambda/2$ 에 대한 스위칭 빔형성기의 빔 패턴으로 각 타이어의 송신신호 방향으로 원하는 빔이 확실하게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(a)와 (b)는 $d = \lambda/4$ 에 대한 스위칭 빔형성기의 빔 패턴으로 $d = \lambda/2$ 에 비해 큰 폭을 가지지만 원하는 방향으로 빔이 형성되어 있다. 그림 4(a)와 (b)는 $d = \lambda/6$ 에 대한 스위칭 빔형성기의 빔 패턴으로 앞의 경우 들에 비해 상당히 넓은 폭을 가져 각 타이어의 송

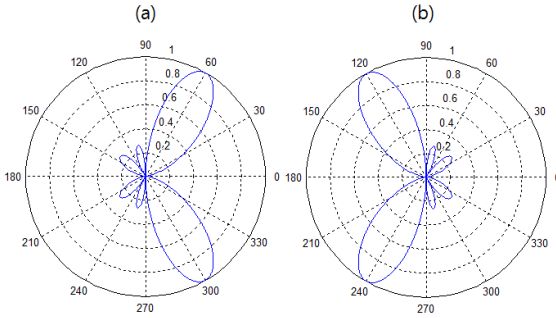


그림 2. 스위칭 빔형성기 빔패턴 ($d = \lambda/2, M = 4$)
 (a) 우측타이어($60^\circ, 300^\circ$) (b) 좌측타이어($120^\circ, 240^\circ$)
 Fig. 2 Beam patterns for switching beamformer
 ($d = \lambda/2, M = 4$) (a) right tires ($60^\circ, 300^\circ$)
 (b) left tires ($120^\circ, 240^\circ$)

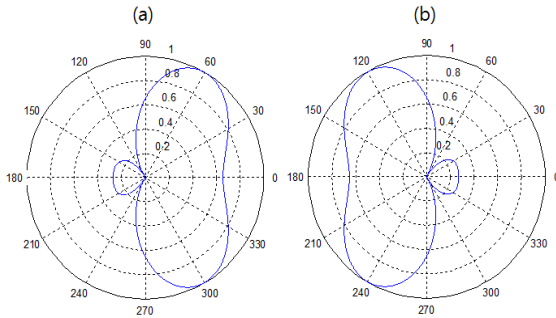


그림 3. 스위칭 빔형성기 빔패턴 ($d = \lambda/4, M = 4$)
 (a) 우측타이어($60^\circ, 300^\circ$) (b) 좌측타이어($120^\circ, 240^\circ$)
 Fig. 3 Beam patterns for switching beamformer
 ($d = \lambda/4, M = 4$) (a) right tires ($60^\circ, 300^\circ$)
 (b) left tires ($120^\circ, 240^\circ$)

신방향으로 확실한 빔이 형성되어 있다고 할 수는 없지만, 원하는 방향에서 가장 큰 빔 크기를 가지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 세 가지 경우 모두, 한 개의 빔형성기 가중치 벡터로 두 개의 타이어(앞과 뒤)에 대한 방향으로 빔을 형성한다.

그림 5, 6, 7은 네 개의 수신안테나 사용 시, 각 안테나 사이의 간격에 대한 MVDR 빔형성기의 빔 패턴을 나타낸다. 그림 5(a)와 (b)는 $d = \lambda/2$ 에 대한 MVDR 빔형성기의 빔 패턴으로 각 타이어의 송신신호 방향으로 원하는 빔이 확실하게 형성되어 있으며, 세 개의 간섭신호 방향으로 널이 형성되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 6(a)와 (b)는 $d = \lambda/4$ 에 대한 MVDR 빔형성기의 빔 패턴으로 $d = \lambda/2$ 에 비해 큰

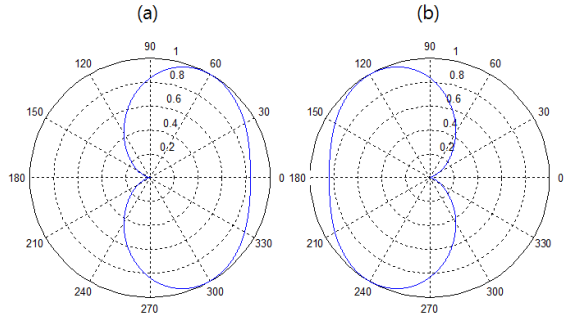


그림 4. 스위칭 빔형성기 빔패턴 ($d = \lambda/6, M = 4$)
 (a) 우측타이어($60^\circ, 300^\circ$) (b) 좌측타이어($120^\circ, 240^\circ$)
 Fig. 4 Beam patterns for switching beamformer
 ($d = \lambda/6, M = 4$) (a) right tires ($60^\circ, 300^\circ$)
 (b) left tires ($120^\circ, 240^\circ$)

폭을 가지지만 원하는 방향으로 빔이 형성되어 있고, 완벽하지만 넓지만 간섭신호들의 방향으로 어느 정도의 널이 형성되어 있다. 그림 7(a)와 (b)는 $d = \lambda/6$ 에 대한 MVDR 빔형성기의 빔 패턴으로 세 개의 간섭신호들에 대한 널은 형성되어 있지는 않지만, 각 타이어 수신신호의 원하는 방향으로 가장 큰 빔 크기를 가지고 있다.

빔 패턴에 대한 그림들로부터, 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기 모두 $d = \lambda/2$ 일 때 가장 우수한 간섭제거 성능을 가지고, $d = \lambda/6$ 일 때 가장 열등한 간섭제거 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 ISR(Interference-to-Signal Ratio, 간섭-대-신호 비)을 20dB로 가정하고 네 개의 안테나를 사용하였을 때, 안테나의 간격 변화에 대한 스위칭 빔형성기, MVDR 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 SNR (Signal-to-Noise Ratio, 신호-대-간섭 비) 당 출력 SINR(Signal-to-Interference and Noise Ratio, 신호-대-간섭 및 잡음 비)의 성능을 비교한 결과이다. 그림 9는 여섯 개의 안테나를 사용하였을 때, 각 경우의 간섭제거 성능을 비교한 결과이다. 두 그림으로부터, $d = \lambda/2$ 의 경우 가장 우수한 간섭제거 성능을 가지며, $d = \lambda/6$ 의 경우 가장 열등한 간섭제거 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 또한, MVDR 빔형성기가 스위칭 빔형성기의 간섭제거 성능보다 모든 경우에 대하여 우수하며, 두 빔형성기의 성능이 빔형성기를 사용하지 않았을 경우 보다 우수하다. 그림 8과 9를 비교하면, 여섯 개의 안테나를 사용하였을 경우 네 개의 안테나를 사용하였을 경우 보다 간섭제거 성능이 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

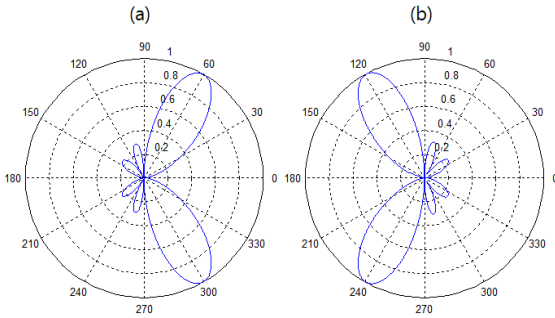


그림 5. MVDR 빔형성기 빔패턴 ($d = \lambda/2, M = 4$)
 (a) 우측타이어($60^\circ, 300^\circ$) (b) 좌측타이어($120^\circ, 240^\circ$)
 Fig. 5 Beam patterns for MVDR beamformer ($d = \lambda/2, M = 4$) (a) right tires ($60^\circ, 300^\circ$) (b) left tires ($120^\circ, 240^\circ$)

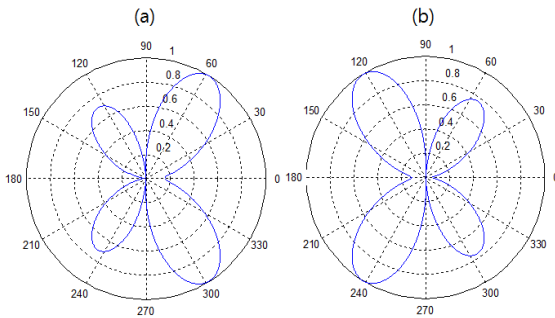


그림 6. MVDR 빔형성기 빔패턴 ($d = \lambda/4, M = 4$)
 (a) 우측타이어($60^\circ, 300^\circ$) (b) 좌측타이어($120^\circ, 240^\circ$)
 Fig. 6 Beam patterns for MVDR beamformer ($d = \lambda/4, M = 4$) (a) right tires ($60^\circ, 300^\circ$) (b) left tires ($120^\circ, 240^\circ$)

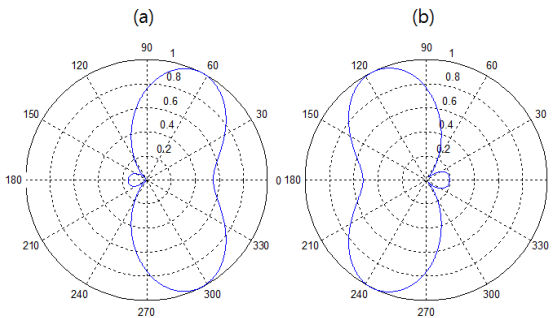


그림 7. MVDR 빔형성기 빔패턴 ($d = \lambda/6, M = 4$)
 (a) 우측타이어($60^\circ, 300^\circ$) (b) 좌측타이어($120^\circ, 240^\circ$)
 Fig. 7 Beam patterns for MVDR beamformer ($d = \lambda/6, M = 4$) (a) right tires ($60^\circ, 300^\circ$) (b) left tires ($120^\circ, 240^\circ$)

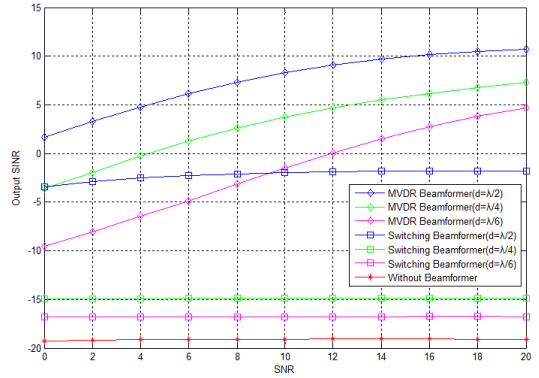


그림 8. 세 가지 안테나 간격에 대한 스위칭 빔형성기, MVDR 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 SNR 당 출력 SINR 성능 비교 ($M = 4$)
 Fig. 8 Performance comparison for output SINRs of the switching beamformer, the MVDR beamformer, and without beamformer, versus SNR ($M = 4$)

4.2. 안테나 개수와 간격에 대한 빔형성기 성능 분석

표 1은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 도출한 안테나 개수와 간격에 대한 빔형성기의 간섭제거 성능을 정리해 놓은 것이다. 본 장에서 안테나 사이의 간격을 계산하기 위해 고려된 TPMS 전송주파수는 앞에서 언급한 433.92MHz로 가정한다.

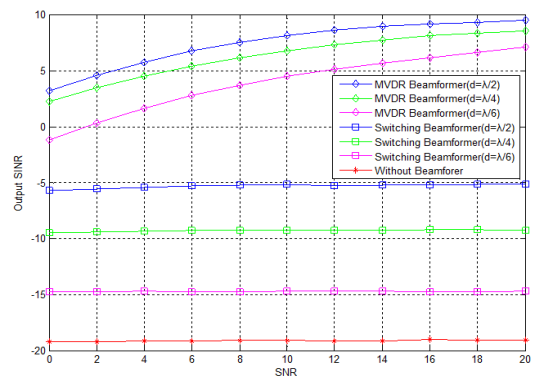


그림 9. 세 가지 안테나 간격에 대한 스위칭 빔형성기, MVDR 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 SNR 당 출력 SINR 성능 비교 ($M = 6$)
 Fig. 9 Performance comparison for output SINRs of the switching beamformer, the MVDR beamformer, and without beamformer, versus SNR ($M = 6$)

스위칭 빔형성기의 경우, 네 개의 수신 안테나를 사

용할 때 $d = \lambda/2 (0.35m)$ 인 경우에만 양호한 간섭제거 성능을 가지고, 다른 경우에는 미흡한 간섭제거 성능을 가진다. 즉 스위칭 빔형성기에 네 개의 수신안테나를 사용 하였을 경우, 필요한 안테나 배치의 총길이는 최소 1.05m가 된다. 여섯 개의 수신 안테나를 사용할 경우, $d = \lambda/2 (0.35m)$ 와 $d = \lambda/4 (0.18m)$ 일 때 양호한 간섭제거 성능을 가지고, $d = \lambda/6 (0.12m)$ 일 때는 간섭제거 성능이 미흡하여 빔형성기의 역할을 제대로 수행하지 못한다. 여섯 개의 안테나 빔형성기를 사용하는 스위칭 빔형성기에 대한 최소 안테나 배치 총길이는 최소 0.88m가 된다. 표 1에서 스위칭 빔형성기를 위한 가장 효율적인 안테나 개수는 여섯 개 이고, 안테나 배치의 총길이는 0.88m라는 것을 확인할 수 있다.

MVDR 빔형성기의 경우, 안테나의 개수가 네 개 이고 $d = \lambda/6 (0.12m)$ 일 때만 간섭제거 성능이 양호하고, 나머지 경우에는 모두 우수한 간섭제거 성능을 가진다. 또한, 여섯 개의 안테나를 사용하는 MVDR 빔형성기의 경우, 모든 안테나 사이의 간격에 대해 우수한 간섭제거 성능을 가진다. 표 1에서 MVDR 빔형성기를 위한 가장 효율적인 안테나 개수는 여섯 개 이고, 안테나 배치의 총길이는 0.58m라는 결론을 도출할 수 있다.

표 1. 안테나 개수와 간격에 대한 빔형성기 성능분석
Table 1. Analyze of the beamformer performance according to the number of antennas and the spacing

	Inter-element spacing of Antenna	Beamformer	Interference Suppression Performance
Number of Antenna $M=4$	$d = \lambda/2 (0.35m)$	Switching	Good
		MVDR	Excellent
	$d = \lambda/4 (0.18m)$	Switching	Insufficient
		MVDR	Excellent
	$d = \lambda/6 (0.12m)$	Switching	Insufficient
		MVDR	Good
Number of Antenna $M=6$	$d = \lambda/2 (0.35m)$	Switching	Good
		MVDR	Excellent
	$d = \lambda/4 (0.18m)$	Switching	Good
		MVDR	Excellent
	$d = \lambda/6 (0.12m)$	Switching	Insufficient
		MVDR	Excellent

위의 결과를 토대로 스위칭 빔형성기 및 MVDR 빔형성기를 사용할 시 필요한 안테나 개수와 안테나

사이의 간격을 결정할 수 있다. 스위칭 빔형성기는 계산 복잡도는 매우 낮지만 간섭제거 성능이 우수하지 못하다는 단점을 가지는 반면, MVDR 빔형성기는 간섭제거 성능은 우수하지만 계산 복잡도가 매우 높다는 단점을 가진다. 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기를 선택할 경우는 이러한 각 빔형성기의 특성을 고려하여야 한다.

V. 결론

TPMS 데이터 전송 시 외부의 다양한 전자 및 전기 장치에 의한 고출력 신호들로부터 심각한 통신 장애를 유발시키는 영향을 받을 수 있다. 이러한 간섭신호들을 제거하기 위해, TPMS용 빔형성기 기술이 제안되었다. 차량에 빔형성기를 사용할 경우, 차량 내부에 수신안테나를 설치하여야 하는데, 차량 특성 상 배치할 수 있는 안테나 수는 제한적이다. 수신안테나 수가 증가할수록, 빔형성기의 간섭제거 성능은 향상되므로, 최소한의 배치 길이를 가지면서 최대한 많은 수의 수신 안테나를 사용하는 것이 TPMS용 빔형성기를 사용하는 효과적인 방법이다. 본 논문에서는 빔형성기를 위한 최적화된 안테나 개수와 안테나 사이의 간격을 결정하기 위한 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 기반으로 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 결과를 비교/분석하였다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012-0008837)

이 논문은 2009학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Min-ho Go, Seung-chul Pyo, Hyo-dal Park, "A Study on the Amplification Block for Integrated Antenna Module Applicable to Vehicles", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 4, No. 2, pp. 87-98, 2009.
- [2] J.Y. Chun, P.D. Cho, "Technical Trend of Tire

- Pressure Monitoring System”, *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 20, No. 6, pp. 166-177, 2005.
- [3] Seungjun Hong, Hoguen Lee, “An Experimental Study of Tire Safety & Economical Efficiency with Respect to Inflation Pressure”, *The Korean Society of Automotive Engineers, Transactions of KSAE*, Vol. 18, No. 1, pp. 8-13, 2010.
- [4] 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.
- [5] Seong-Kweon Kim, “Interference Analysis based on the Monte-Carlo Method”, *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 3, No. 2, pp. 61-67, 2008.
- [6] Cheol Park, Seong-min Kim, Suk-seung Hwang, “TPMS Switching Beamformer for Interference Suppression”, *The Conference of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 4 No. 2, pp. 385-390, Nov. 2010.
- [7] Cheol Park, Suk-Seung Hwang, “TPMS Interference Cancellation Based on Generalized Sidelobe Canceler”, *The Conference of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 5, No. 2, pp. 153-156, 2011.
- [8] Cheol Park, Suk-seung Hwang, “MVDR beamformer based on the AOA for TPMS”, *The Conference of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 5, No. 1, pp. 244-249, 2011.
- [9] Seung-Jae Lee, Joong-Han Yoon, Jin-Woo Lee, “Construction and Measurement of a T-DMB/GPS/Mobile Antenna for Vehicular Application”, *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 6, No. 5, pp. 629-636, 2011.
- [10] Joong-Han Yoon, Kil-Yeon Jang Young-Chul Rhee, “A compact Monopole Antenna Design for WLAN/WiMAX Triple Band Operations”, *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 7, No. 3, pp. 465-473, 2012.
- [11] Kyoo-Nam Choi, “Vehicle Collision Avoidance Sensor with Interference Immunity to Own Transmitted Signal”, *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 8, No. 3, pp. 433-438, 2013.
- [12] Suk-seung Hwang, “AOA Choosing Algorithm for GPS Adaptive Array”, *The Conference of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 5, No. 2, pp. 342-346, 2011.
- [13] R. A. Monzingo,, and T. W. Miller, “Introduction to Adaptive Arrays”, New York : Wiley, 1980.
- [14] Seun-gil Kim, Yang-seok Jeong “Array Signal Processing: Theory and Applications”, TOP-AMIN, Sep. 2007.
- [15] Benesty J.,Jingdong Chen, Yiteng Huang, “ A generalized MVDR spectrum,”*IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS*, Vol. 12, No. 12, pp. 827-830, 2005.
- [16] Chan-Ho Park, Yong-Ho Kim, “Interference Control using Linear BISP Algorithm in DS/SS Communication”, *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 2, No. 4, pp. 229-234, 2007.
- [17] John G. Proakis, Masoud Salehi, Gerhard Bauch, "Contemporary Communication Systems using MATLAB and Simulink," Brooks/Cole Publishing Company, Jun. 2003.

저자 소개



최병상(Byung-Sang Choi)

1995년 2월 조선대학교 금속공학과 졸업
 2001년 12월 금속공학, University of Utah (공학석사)

2005년 8월 금속공학, University of Utah (공학박사)
 2005.9~2005.11 Post Doctoral Research Associate, Chemical Eng., University of Utah
 2006.1~2006.11 Post Doctoral Research Associate, Chemistry, University of Nebraska-Lincoln
 2006.12~2008.2 Post Doctoral Research Associate, 신소재공학과, 광주과학기술원
 2008.3~현재 조선대학교 금속재료공학과 조교수

※ 관심분야 : Crystallization phenomena (bulk, thin film, and particle), nano-technology in organic/inorganic materials, Synthesis of nanoparticle/wire/wall, and their applications in sensor, device, solar cell, and etc.



김성민(Seong-Min Kim)

2011년 2월 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업

2012년 8월 조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공) 졸업(공학석사)

2012년 9월 조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공) 박사과정

※ 관심분야 : 적응신호처리, 신호 및 시스템, 저전력 통신 시스템, 양방향 통신 시스템



황석승(Suk-Seung Hwang)

1997년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 6월 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업(공학석사)

2006년 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, RFID