
Beamforming을 이용한 TPMS 간섭제거

황석승* · 김성민** · 박철**

TPMS Interference Suppression Based on Beamforming

Suk-seung Hwang* · Seong-min Kim** · Cheol Park**

요 약

TPMS(Tire Pressure Monitoring System)는 차량의 주행 또는 정차 시 타이어의 압력 또는 온도 등에 따른 이상 유무를 측정하여 수신기의 표시장치에 해당 상황을 나타내주도록 설계된 안전 보조 시스템이다. TPMS의 센서부에서 측정된 데이터를 자동차 내부의 신호처리부로 무선통신을 이용하여 전송하는데, 통신 시에 다양한 간섭으로 인한 통신 장애가 발생할 수 있다. 대표적인 TPMS 간섭으로 아마추어 무선국, 컨테이너 관리용 RFID(Radio-Frequency IDentification), RKE(Remote Keyless Entry) 신호 등을 들 수 있다. 이러한 다양하면서도 높은 전력을 가지는 간섭들을 제거하기 위하여 본 논문에서는 빔형성(Beamforming) 기술을 고려한다. 이에 따른 데이터 구조 및 빔형성기에 알맞는 차량내부의 안테나 배치 등을 제안한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안된 기술의 간섭제거 성능을 확인 할 것이다.

ABSTRACT

The TPMS(Tire Pressure Monitoring System) is an electronic system designed to display the air pressure inside the pneumatic tires and report real-time tire-pressure information to the driver of the vehicle, either via a gage, a pictogram display, or a simple low-pressure warning light. Although the data measured by TPMS sensor is transmitted to internal signal processor in a vehicle through wireless communication, the receiver may suffers from various interferences such as amateur radio station, RFID(Radio-Frequency IDentification) for controlling container, RKE(Remote Keyless Entry) signal, and so on. In this paper, we consider beamforming technology to suppress various high-power interference signals for the TPMS wireless communications. Also, we propose the proper data structure and antenna arrangement for the beamformer inside the vehicle. The performance for the interference suppression is illustrated by computer simulation example.

키워드

TPMS(Tire Pressure Monitoring System), Interference Cancellation, Beamforming, MVDR(Minimum Variance Distortionless-Response)

I. 서 론

차량에 사용되는 무선통신기기를 포함하는 TPMS는 휠 또는 밸브 등 자동차의 타이어 내부에 압력 및 온도 센서가 내장된 송신기모듈을 장착하여 타이어

내부의 실시간 온도와 압력 측정 데이터를 무선으로 차량 내부에 설치된 신호처리 수신부의 수신기에 전송한다 [1]. TPMS는 타이어의 센서부로부터 전송된 데이터를 기반으로 하여 자동차의 타이어에 이상이 발생할 경우 수신기의 표시장치에 해당 사항을 즉시

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

* 조선대학교 첨단부품소재공학과(millionairek@naver.com)

접수일자 : 2011. 02. 23

** 조선대학교 첨단부품소재공학과(frizzle@naver.com)

심사(수정)일자 : 2011. 03. 28

게재확정일자 : 2011. 04. 12

표시해주는 안전보조 시스템으로 정의할 수 있다 [2]. 2008년 9월 이후, 미국에서는 미국 내 생산차량 및 수입차량에 대해 TPMS 센서 장착을 100% 의무화 하고 있고 [3], 국내에서도 TPMS 등의 차량 안전장치 도입 및 개발이 상당히 활성화되고 있는 실정이다.

현재 국내의 TPMS는 433MHz, 447MHz 등의 주파수 대역을 사용하고 있는데, 특히 433MHz 주파수 대역은 유럽과 미국 등지에서 주로 사용되는 주파수로서 [4] 제품의 수출 경쟁력을 고려하여 필히 사용되어야 할 주파수로 판단되고 있다. 하지만, 국내에서 RKE, 아마추어 무선국, 컨테이너 관리용 RFID 등의 장치들이 433MHz 부근의 주파수 대역을 사용하고 있고, TPMS 신호에 비해 고출력의 신호를 사용하고 있기 때문에 이들 장치들은 TPMS에 대하여 상당히 심각한 간섭을 제공할 수 있을 것으로 판단된다 [5]. 본 논문에서는 이러한 간섭들을 제거하기 위하여 채널기반의 빔형성 기술을 TPMS 수신기에 사용하는 방법을 제안한다.

TPMS는 각 TPMS 송신기의 전파를 수신기가 직접 수신하는 방식인 제1세대형, 하나의 별도 송신기로 TPMS 측정을 명령하는 방식인 제2세대형, 각 타이어 근처 부위에서 TPMS 측정을 실시하는 제3세대형, 각 타이어 근처 부위에서 TPMS 측정 명령을 주고 다시 근처 안테나를 통해 TPMS 신호를 수신하는 방식인 제4세대형으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 TPMS에 빔형성 기술을 고려하기 위하여 차량 중심부에 네 개의 수신안테나를 일렬로 배치시키는 방식을 제안한다. 또한, 빔형성 기술을 고려한 무선통신에 적합한 데이터 구조를 제안한다.

II. 수신신호 모델

본 논문에서는 TPMS에 빔형성기를 적용시키기 위하여 자동차의 중앙에 일직선으로 배치되어 각 타이어에 부착된 송신 안테나로부터 측정된 데이터들을 수신하는 안테나 구조를 제안한다. 제안된 수신 안테나의 구조는 그림 1과 같이 네 개의 배열 요소를 가진다. ASK(Amplitude-Shift Keying) 또는 FSK(Frequency-Shift Keying)의 변조방식 [6]을 사용하는 TPMS 수신신호는 샘플 인덱스 k 와 i 번째 타이어에

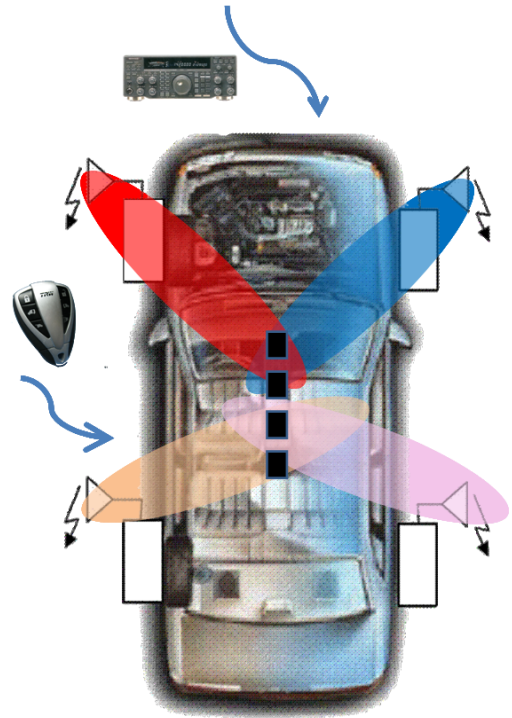


그림 1. TPMS에 적용되는 빔형성기를 위한 자동차 내부의 안테나 구조

Fig. 1 Antenna arrangement for beamformer in the vehicle

대하여 식 (1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}_i(k) = \mathbf{h}x_i(k) + \mathbf{H}_s\mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k), \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

식 (1)에서 \mathbf{h} 는 각 안테나에 대한 TPMS 송신신호 채널들을 포함하는 크기 $M \times 1$ 채널벡터이고, $x_i(k)$ 는 i 번째 타이어에 대한 전송신호이다. $\mathbf{s}(k)$ 는 간섭신호들로 이루어진 크기 $L \times 1$ 의 간섭신호 벡터이고, \mathbf{H}_s 는 각 간섭신호들에 대한 채널벡터들을 열(column)로 가지는 크기 $M \times L$ 의 간섭 채널행렬을 나타낸다. L 은 TPMS 통신에 영향을 미치는 간섭의 수를 나타내고 M 은 자동차 중앙에 설치된 안테나 어레이 요소들의 개수이다. 또한, $\mathbf{n}(k)$ 는 i.i.d(independent and identically distribute -d) 원소로 구성되어 있는 '0'과 σ^2 를 각각 평균과 분산으로 가지는 AWGN(additive white Gaussian noise; 백색 가우시안 잡음)을 뜻한다. 본 논문에서는 한 데이터 패킷을



그림 2. Beamforming을 고려한 TPMS 데이터 구조
Fig. 2 TPMS data structure considering Beamforming

전송하는 동안 채널이 변하지 않으며, 각 채널은 단일 탭(one-tap)으로 가정한다.

III. TPMS Beamforming을 위한 데이터 구조

본 장에서는 간섭제거용 빔형성기를 고려한 TPMS 무선통신 시 필요한 데이터 구조를 제안한다. 그림 2는 제안된 TPMS 무선통신용 데이터 구조를 나타낸다. 본 논문에서는 어느 한 타이어의 TPMS 무선통신 시 다른 세 개의 타이어의 통신에 의한 간섭을 차단하기 위하여, 한 타이어의 TPMS 송신기가 데이터를 전송할 시에는 다른 타이어의 TPMS 송신기는 데이터를 전송하지 않는 방법을 사용한다.

각 타이어에 대하여 제안된 데이터 구조는 프리앰블(preamble), Start gap, Start #, 주 데이터(main data), End # 등으로 구성되어 있다. 프리앰블 구간에서는 채널추정 및 동기화 (Synchronization) 등을 위한 학습신호(reference signal)를 포함한다. 프리앰블 데이터와 주 데이터를 구분해 주는 공백(gap)이 필요한데, start gap의 구간 동안은 신호를 전송하지 않아 프리앰블과 주 데이터를 구분해 준다. 주 데이터를 전송하기 전에 전송될 주 데이터가 어느 타이어의 TPMS 송신기로부터 수신 되었는지를 파악하여야 하는데, 이를 위해서 Start #가 타이어 고유의 ID를 전송한다. 즉, 네 개의 타이어 TPMS가 각각 고유의 ID를 지정 받아 사용한다. 주 데이터는 센서부에서 측정 한 압력 및 온도 등의 타이어 상태를 판단할 수 있는 데이터들을 포함한다. 주 데이터의 전송이 끝나면, END #에서 현재의 타이어를 위한 데이터 전송이 끝났다는 것을 알려준다. 이 과정이 모두 끝나면 다음 데이터 전송이 종료되고 다음 타이어에 대한 TPMS 데이터 전송이 시작된다.

IV. 간섭제거를 위한 Beamforming

TPMS 무선통신 시에 아마추어 무선국, RKE, 킨 테이너관리용 RFID 등 TPMS와 동 주파수대역을 사용하는 다양한 고전력 간섭들이 존재한다. 이러한 간섭들을 제거하기위해 TPMS에 적합한 빔형성 기술을 소개한다. 빔형성기에는 다양한 적응 알고리즘 (Adaptive Algorithm)들이 적용될 수 있는데, 그 중 간섭제거 성능이 우수한 MVDR (Minimum Variance Distortionless Response) [7], [8] 기술을 고려한다. 그림 3에서 보여지는 MVDR 빔형성기는 원하는 신호는 변화시키지 않고 빔형성기 출력신호의 전력을 최소화시켜주도록 설계되어있다. 즉, 간섭 신호들을 최소화시켜줌으로써 간섭들을 제거하게 된다. MVDR 가중치 벡터는 아래 식 (2)에 의해서 계산된다.

$$\min_{\mathbf{w}} \mathbf{w}^H \mathbf{R}_i \mathbf{w} \text{ subject to } \mathbf{h}^H \mathbf{w} = 1 \quad (2)$$

식 (2)에서 $\mathbf{R}_{x_i} = E[\mathbf{r}(k)\mathbf{r}^H(k)]$ 는 수신신호 벡터의 자기상관(autocorrelation) 행렬이고, H 는 켈레복소수 전치(transpose)를 나타낸다. 본 논문에서는 [8]의 MVDR 빔형성기 가중치 벡터의 계산에 어레이 벡터를 대신하여 TPMS 신호에 대한 채널 벡터를 사용하였다. 식 (2)를 만족시키는 MVDR 빔포밍 가중치 벡터는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{w} = [\mathbf{h}^H \mathbf{R}_i \mathbf{h}]^{-1} \mathbf{R}_i^{-1} \mathbf{h} \quad (3)$$

식 (3)에 의해서 생성된 가중치 벡터를 가지는 빔형성기 출력은 식 (4)와 같이 주어질 수 있다.

$$y(k) = \mathbf{w}^H \mathbf{r}(k) \quad (4)$$

식 (4)의 MVDR 빔형성기 출력 $y(k)$ 는 원하는 TPMS 신호와 잡음 그리고 매우 작은 전력의 제거된

간섭 신호들을 포함한다.

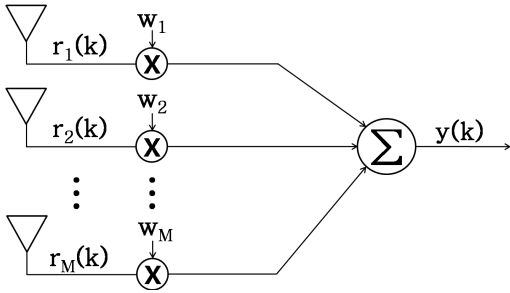


그림 3. MVDR 구조 빔형성기
Fig. 3 Beamformer structure for MVDR

V. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 TPMS 간섭제거를 위해 제시된 빔형성 기술의 성능을 확인하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션을 위해 차량 중앙부에 설치된 네 개의 신호처리부 수신 안테나를 가정하였고, TPMS 수신신호에 영향을 미치는 세 개의 간섭신호를 고려하였다. 또한, 채널은 단일-탭 채널을 사용하였고, 간섭제거 성능을 보이기 위해 정확한 채널추정이 이루어졌다고 가정하였다.

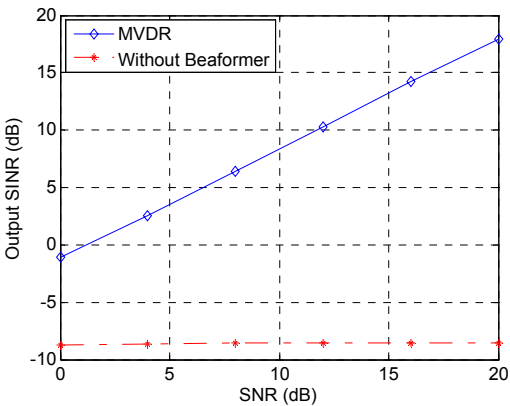


그림 4. ISR=10(dB) 일 때 MVDR과 빔형성기를 사용하지 않았을 때의 SNR 당 출력 SINR 성능 비교
Fig. 4 Output SINR performance of MVDR beamformer and non-beamformer with ISR=10(db)

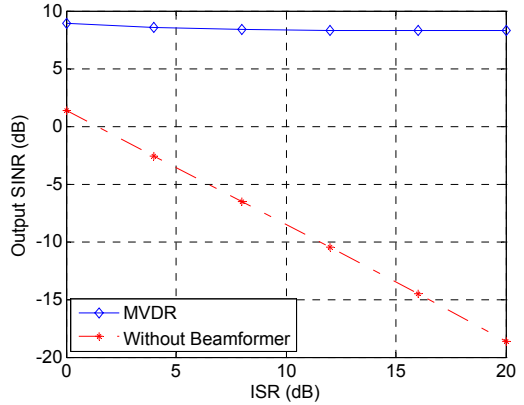


그림 5. SNR=10(dB) 일 때 MVDR과 빔형성기를 사용하지 않았을 때의 ISR 당 출력 SINR 성능 비교
Fig. 5 Output SINR performance of MVDR beamformer and non-beamformer with ISR=0(db)

그림 4는 ISR(Interference-to-Signal Ratio, 간섭-대-신호 비)이 10dB로 주어졌을 때, MVDR 빔형성기와 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) 성능을 비교한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 빔포밍을 사용하지 않았을 경우 간섭제거가 이루어 지지 않았고 간섭전력이 잡음전력보다 항상 크기 때문에, 출력 SINR은 모든 SNR에 대하여 비슷한 성능을 보인다. 하지만, MVDR 빔형성기를 사용하였을 경우 간섭제거가 이루어졌기 때문에, 출력 SINR은 SNR에 비례하는 형태를 보이는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 SNR이 10dB로 고정되어 있을 때, MVDR 빔형성기와 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 ISR 당 출력 SINR성능을 비교한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 빔포밍을 사용하지 않았을 경우의 출력 SINR은 ISR에 비례하지만, MVDR 빔형성기를 적용하였을 경우 간섭제거가 이루어져, 출력 SINR은 ISR에 관계없이 거의 일정한 것을 확인할 수 있다. 즉, 두 그림들로부터 MVDR 빔형성기를 통하여 TPMS에 영향을 미치는 간섭들이 거의 완벽하게 제거되었음을 확인할 수 있다.

VI. 결론

자동차의 연비를 절약하고 타이어 파손에 의한 사고를 방지하기 위해 세계 각국에서 TPMS의 사용이 증가하고 있고, 차량 내 TPMS의 중요성이 한층 부각되고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 TPMS는 동일 주파수 대역을 사용하고 있는 고전력의 아무추어 무선신호 및 RKE신호 등 다양한 간섭들로부터 영향을 받고 있다. TPMS 센서부에서 차량 내부에 위치한 신호처리부로 신호를 전송할 시, 간섭이 존재한다면 신호처리부에서 잘못된 데이터를 수신하게 되어 타이어 이상 유무를 제대로 판단할 수 없게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 MVDR 빔형성기를 사용하여 간섭을 제거하는 기술을 고려하였고, 이에 따른 자동차 중앙부에 위치한 안테나 배열과 데이터 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 MVDR 빔형성기의 TPMS 간섭제거 성능을 확인할 수 있다.

감사의 글

※ 본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

※ 본 논문은 2010년도 한국전자통신학회 춘계 학술대회 우수논문학술상을 수상한 논문입니다.

참고 문헌

- [1] 김병우, "타이어 공기압 모니터링 시스템의 판단 로직 설계에 관한 연구," 한국산학기술학회 논문지, Vol. 7, No. 3, pp. 285-290, June. 2006.
- [2] 천재영, 조평동, "타이어 공기압 감지 시스템 기술 동향," 전자통신동향분석, 제20권, 제6호 pp. 167-177, Dec. 2005.
- [3] M. Brzeska, and G. A. Chakam, "RF Modelling and Characterization of a Tyre Pressure Monitoring System," in Proc. EuCAP 2007, Edinburgh, pp. 1-6, Nov. 2007.
- [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, pp. 1-5, Nov. 2007.
- [5] 정보통신부, "차량용 주파수 분배방안" 차량용 주파수 분배 공청회, pp. 20-28, July. 2005.
- [6] J. G. Proakis, Digital Communications. Fourth Edition, New York: Mcgraw-Hill, 2001.
- [7] P. Pal and P. P. Vaidyanathan, "Frequency Invariant MVDR Beamforming without Filters and Implementation using MIMO Radar," ICASSP 2009 (Taipei), pp. 2081-2084, Apr. 2009.
- [8] M. D. Zoltowski and A. S. Gecan, "Advanced Adaptive Null Steering Concepts for GPS," in Proc. of the IEEE Military Communications Conf., (San Diego, CA), pp. 1214-1218, Nov. 1995.

저자 소개



황석승(Suk-seung Hwang)

1997년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

2001년 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)

2006~2008 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008~현재 조선대학교 메카트로닉스공학과 조교수

※ 관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동로봇용 위치추정, 간섭제거



김성민(Seong-min Kim)

2011년 조선대학교 메카트로닉스공
학과 졸업(공학사)

2011년 조선대학교 대학원 첨단부
품소재공학과(석사과정)

※ 관심분야 : 적응신호처리, 신호 및 시스템, 저전
력 통신 시스템



박철(Cheol Park)

2011년 조선대학교 메카트로닉스공
학과 졸업(공학사)

2011년 3월 조선대학교 대학원 첨
단부품소재공학과(석사과정)

※ 관심분야 : 신호 및 시스템, 간섭제거, 적응신호
처리