creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000263397

2012년 8월

석사학위논문

빔형성기 기반의 TPMS 간섭제거

박 철

2012년 8월

석사학위논문

빔형성기 기반의
TPMS 간섭제거

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공)

박 철

빔형성기 기반의
TPMS 간섭제거

TPMS Interference Cancellation Based on
Beamformer

2012년 8월 24일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공)

박 철

빔형성기 기반의
TPMS 간섭제거

지도교수 황 석 승

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2012년 4월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공)

박 철

박철의 석사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 심 재 기 (인)

위 원 조선대학교 교수 유 영 태 (인)

위 원 조선대학교 교수 황 석 승 (인)

2012년 5월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF FIGURES ····· iii
ABSTRACT ····· viii

제 1 장 서론 ····· 1
제 1 절 연구배경 ····· 1
제 2 절 연구목적 및 방법 ····· 2
제 3 절 TPMS용 빔형성기 수신신호모델 ····· 3
제 4 절 골드코드 기반의 TPMS 송신신호 ····· 5

제 2 장 스위칭 빔형성기 ····· 6
제 1 절 TPMS를 위한 스위칭 빔형성기 알고리즘 ····· 6
제 2 절 컴퓨터 시뮬레이션 ····· 8
제 3 절 결론 ····· 16

제 3 장 TPMS를 위한 AOA 기반의 MVDR 빔형성기 ····· 17
제 1 절 TPMS를 위한 AOA 기반의 MVDR 알고리즘 ····· 17
제 2 절 컴퓨터 시뮬레이션 ····· 19
제 3 절 결론 ····· 26

제 4 장 GSC 기반의 빔형성기 ····· 27
제 1 절 GSC 빔형성기 알고리즘 ····· 27
제 2 절 컴퓨터 시뮬레이션 ····· 30

제 3 절 결론 ····· 38

제 5 장 하이브리드 빔형성기 ····· 39

제 1 절 하이브리드 빔형성기 ····· 39

1. 스위칭 빔형성기 모드 ····· 39

2. MVDR 빔형성기 모드 ····· 40

제 2 절 컴퓨터 시뮬레이션 ····· 41

제 3 절 결론 ····· 46

제 6 장 결론 ····· 47

Reference ····· 48

List of Figures

Fig.1-1 Antenna arrangement inside the vehicle for TPMS beamformer ····· 4

Fig.2-1 Conventional beamformer structure ····· 7

Fig.2-2 Beam pattern of switching beamformer with four 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 ····· 9

Fig.2-3 Beam pattern of switching beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles ····· 9

Fig.2-4 Beam pattern of switching beamformer 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 ····· 10

Fig.2-5 Beam pattern of switching beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles ····· 11

Fig.2-6 Beam pattern of switching beamformer 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 ····· 11

Fig.2-7 Beam pattern of switching beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence

angles ····· 12

Fig.2-8 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (SNR=0(dB)) ····· 12

Fig.2-9 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (SNR=10(dB))····· 13

Fig.2-10 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (SNR=20(dB))····· 13

Fig.2-11 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (ISR=-10(dB))····· 14

Fig.2-12 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (ISR=0(dB))····· 14

Fig.2-13 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (ISR=10(dB))····· 15

Fig.3-1 Beam pattern of MVDR beamformer with four 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 ····· 21

Fig.3-2 Beam pattern of MVDR beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles ····· 21

Fig.3-3 Beam pattern of MVDR beamformer 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 ····· 22

Fig.3-4 Beam pattern of MVDR beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles ····· 22

Fig.3-5 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer SNR=-10(dB) ····· 23

Fig.3-6 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer SNR=-5(dB) ····· 23

Fig.3-7 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer SNR=0(dB) ····· 24

Fig.3-8 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer ISR=0(dB) ····· 24

Fig.3-9 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer ISR=10(dB) ····· 25

Fig.3-10 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer ISR=20(dB) ····· 25

Fig.4-1 GSC beamformer structure for TPMS ····· 29

Fig.4-2 Beam pattern of GSC beamformer with four 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 ····· 31

Fig.4-3 Beam pattern of GSC beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles ····· 32

Fig.4-4 Beam pattern of GSC beamformer 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 ····· 32

Fig.4-5 Beam pattern of GSC beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles ····· 33

Fig.4-6 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with four antennas (ISR=0(dB)) (b) Fig.4-6. (a) of extended version to verity the difference····· 34

Fig.4-7 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with four antennas (ISR=10(dB)) (b) Fig.4-7. (a) of extended version to verity the difference····· 35

Fig.4-8 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with six antennas (ISR=0(dB)) (b) Fig.4-8. (a) of extended version to verity the difference····· 36

Fig.4-9 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with six antennas (ISR=10(dB)) (b) Fig.4-9. (a) of extended version to verity the difference····· 37

Fig.5-1 Hybrid beamformer structure for TPMS····· 40

Fig.5-2 Output SINR performance of the Hybrid beamformer ISR = -3(dB) ····· 42

Fig.5-3 Output SINR performance of the Hybrid beamformer ISR = 0(dB) ····· 43

Fig.5-4 Output SINR performance of the Hybrid beamformer ISR = 3(dB)····· 43

Fig.5-5 Output SINR performance of the Hybrid beamformer ISR = 6(dB) ····· 44

Fig.5-6 Output SINR performance of the Hybrid beamformer SNR = 0(dB) ····· 44

Fig.5-7 Output SINR performance of the Hybrid beamformer SNR = 10(dB) ····· 45

Fig.5-8 Output SINR performance of the Hybrid beamformer SNR = 20(dB) ····· 45

ABSTRACT

TPMS Interference Cancellation Based on Beamformer

Park Cheol
Advisor : Prof. Hwang Suk-seung, Ph.D.
Department of Advanced parts and
Materials Engineering,
Graduate School of Chosun University

The importance of the auxiliary safety device for vehicles are emerging worldwide in order to prevent traffic accident due to the abnormality of the tires. The TPMS(Tire Pressure Monitoring System) is the auxiliary safety system that transfers the temperature and pressure of the tire, measured at the sensor unit of the tire, indicating them on the display panel and informing the condition of the tire to the driver. TPMS uses the wireless communication technique for transmitting data from the sensor unit to the signal processing unit inside vehicle.

Frequencies TMPS are 433.92MHz and 447MHz domestically, and in many other countries including U.S.A and Europe,433.92MHz is used, which should be considered for export reasons. However, about the 433.92MHz, since various devices such as the Amateur wireless station, RKE(Remote Keyless Entry) and RFID(Rdio-Frequency Identification) for container management use high power

signals in similar frequency as that of the TPMS, those have a high potentiality of working as a serious interruption in the wireless communication used in the TPMS. Therefore efficient the interference cancellation technique for the TPMS wireless communication is required.

In this thesis, we propose Switching Beamformer based on AOA(angle of arrival) of the interesting signal that forms a beam in direction of the desired signal by giving greater weight in order to eliminate the interference and receive accurate data. However, when it forms the beam in receiving direction of desired signal, Switching Beamformer is inferior function for interference rejection for the high-power interference from various electrical and electronic devices received at the receiving antenna. For the suppression of the interference and transmission of exact data, we consider MVDR(Minimum Variance Distortionless Response) beamformer, designed to minimize the power of interference. It generates beam to the desired signal but nulls interference signal. Although the interference rejection performance of MVDR algorithm is excellent, its complexity is extremely high because of the requirement of calculating the auto-correlation matrix. In order to overcome such a high complexity, we suggest the TPMS interference rejection method based on the GSC(Generalized Sidelobe Canceler) with lower complexity than MVDR beamformer and similar performance of the interference rejection. We also propse the hybrid beamformer based on switching beamformer and MVDR beamformer, which choose the most efficient beamformer depending on the situation between the low complexity and excellent performance of the interference suppression. All proposed TPMS beamformers are verified of their performance through computer simulation examples.

제1장 서 론

제1절 연구배경

타이어 이상이 심각한 교통사고의 주요 원인이 될수 있어, 이를 방지하기 위해 전세계적으로 차량용 안전보조장치의 중요성이 부각 되고 있다. 안전보조장치의 한 종류인 TPMS는 각 타이어에 부착된 센서에서 압력, 온도 등을 측정하여 타이어의 휠 또는 밸브 등에 부착된 송신기모듈에서 측정된 데이터를 자동차 내부에 설치된 신호 처리부 수신기에 무선으로 전송한다[1-4]. 수신안테나와 송신안테나 간에 무선 통신으로 데이터를 송·수신할 시 각 타이어에 장착된 송수신기모듈에 공급되는 배터리 용량을 차량 수명 이상으로 늘리거나 저전력 무선통신 기법 개발이 필요한 실정이다[5]. 2000년도에 타이어 파열사고로 인해 200명이상이 사망하였고, 이러한 사고방지를 위해 미국의회에서는 타이어의 안전규정을 만들도록 지시하였다[6]. 미국에서는 2007년 9월부터 TPMS의 장착의무화[7]를 통해 연간 사망자는 124명, 부상자는 8500명이 감소되는 효과를 보여주면서 TPMS 장착의 중요성을 부각시켰다[8]. EU에서는 2012년부터 2014년 까지 차량에 TPMS 장치의 부착 의무화를 추진 중에 있다. 국내에서도 2013년 1월1일부터는 새로 생산되는 차량에 TPMS 장치의 장착 의무화를 국토해양부에서 추진 중에 있다.

TPMS는 발전을 거듭하여 현재 4세대 방식을 사용하고 있다. 1세대 형 TPMS는 송신기의 전파를 수신기가 직접 수신하는 방식을 사용하였고, 2세대 형은 하나의 고유 송신기를 이용하여 TPMS 측정을 지시하는 장치를 사용하였다. 3세대 형은 TPMS 데이터 측정 및 송/수신을 각 타이어 근처에서 실시하였고, 4세대 형은 TPMS 데이터 측정 명령을 각 타이어 근처에서 지시하고 근처의 안테나를 통하여 TPMS 신호를 수신하는 방법을 사용한다.

TPMS 주파수 대역은 국내에서 433.92MHz, 447MHz등을 사용하며, 미국과 유럽 등 여러 국가에서는 433.92MHz을 사용하므로 국내에서도 해외 수출용으로 참고해야할 주파수 대역으로 간주된다[9]. 그러나 433.92MHz 주파수 대역은 국내에서 아마추어 무선국, RKE(Remote Keyless Entry), 컨테이너 관리용 RFID(Rdio-Frequency Identification) 등의 장치들이 TPMS와 비슷한 주파수 대역에서 고출력의 신호를 사용하기 때문에 TPMS에 사용되는 무선통신에 심각한 간섭으로 작용할 가능성이 높아 TPMS를 위한 무선통신 간섭제거 기술이 필요한 실정이다[10].

제2절 연구목적 및 방법

TPMS의 무선통신 시에 발생하는 여러 가지 간섭들은 정확한 데이터 전송을 방해하여 TPMS의 성능을 저하시키는 요인이다. 이러한 여러 종류의 간섭들을 제거하여 정확한 데이터 전송을 하기위한 간섭제거 방식의 연구가 필요하다. 본 논문에서 효율적인 간섭제거를 위하여 AOA(angle of arrival) 벡터 기반의 스위칭 빔형성 기술과 MVDR알고리즘 기반의 빔형성기, GSC 알고리즘 기반의 빔형성기를 차량의 내부에 있는 TPMS 수신기에 적용하여 간섭들을 제거하는 방법과 SINR값에 따라 선택적으로 빔형성기를 사용하는 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기 기반의 하이브리드 TPMS 빔형성기를 제안한다.

각종 빔형성 기술을 TPMS에 적용시키기 위하여 각 타이어에 한 개의 송신안테나를 배치하고 차량 중심부에 M개의 수신 안테나를 일정한 간격으로 일렬로 배치시키는 구조를 제안한다. 또한 각 타이어의 송신신호에 의한 간섭을 제거하고 TPMS의 소비전력을 감소시키기 위해 각 타이어에 고유의 골드코드[11]을 부여하는 방식을 고려한다.

제3절 TPMS용 빔형성기 수신신호 모델

빔형성기를 TPMS에 사용하기 위하여 차량의 중앙에 일직선으로 M개의 수신안테나를 배치하여 네 개의 타이어로부터 송신된 데이터들을 수신하는 안테나 구조를 고려한다. 차량 내의 송수신 안테나 구조는 Fig.1-1과 같이 나타낼 수 있다. 샘플 인덱스 k와 i번째 타이어에 대한 등 간격 선형 어레이(Uniform Linear Array, ULA) 기반의 수신 신호는 식(1-1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}_i(k) = \mathbf{a}_i g_i(k) b_i(k) + \mathbf{A}\mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad i = 1,2,3,4 \tag{1-1}$$

식 (1-1)에서 $\mathbf{a}_i$는 i번째 타이어에 대한 $M \times 1$ 크기의 어레이 응답 벡터이고, $g_i(k)$는 길이 N의 i번째 타이어에 대한 사이클로스테이셔너리(cyclostationary) 골드코드이며, $b_i(k)$는 골드코드의 한 사이클(cycle)동안 일정한 i번째 타이어에 대한 실제 측정된 데이터 비트(bit)를 나타낸다. 또한, $\mathbf{A}$는 $M \times L$ 크기의 어레이 응답 행렬이고, L은 간섭신호의 개수이며, $\mathbf{s}(k)$는 간섭신호들로 이루어진 크기 $L \times 1$의 간섭신호 벡터를 나타낸다. 마지막으로, $\mathbf{n}(k)$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 뜻한다. l번째 간섭에 대한 AOA 어레이 응답 벡터인 $\mathbf{A}$의 l번째 열벡터인 $\mathbf{a}_l$ 및 $\mathbf{a}_i$는 식(1-2)와 같이 나타낼 수 있다[12-16].

$$\mathbf{a}_l = \begin{pmatrix} 1 \\ e^{-j\zeta_l} \\ \vdots \\ e^{-j(M-1)\zeta_l} \end{pmatrix} \tag{1-2}$$

식 (1-2)에서

$$\zeta_l = 2\pi\left(\frac{d}{\lambda}\right)\cos\phi_l \tag{1-3}$$

이고, ϕ_l는 l번째 간섭신호 또는 TPMS 송신신호에 대한 수신 방향 각도를 나타낸다. 또한, 식(1-3)에서 $d = \lambda/2$는 안테나 사이의 간격을 뜻하며, λ는 신호의 파장을 나타낸다[17].

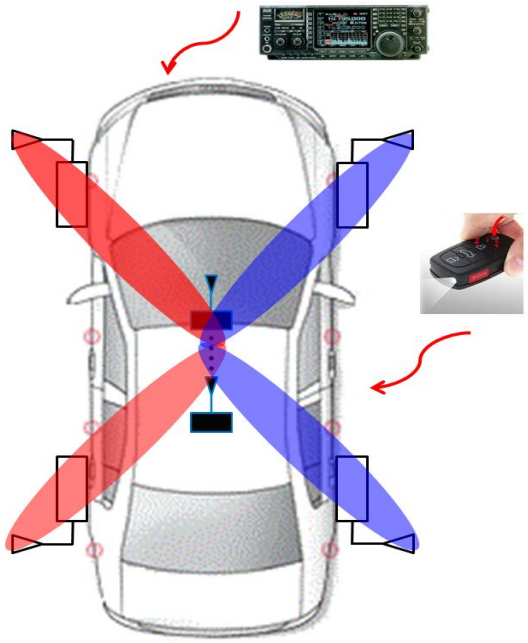


Fig.1-1 Antenna arrangement inside the vehicle for TPMS beamformer

제4절 골드코드 기반의 TPMS 송신신호

3절에서 제안된 빔형성기 구조는 한 번의 빔을 생성할 시, 수신안테나는 두 개의 타이어(예를 들면, 오른쪽 앞 타이어와 오른쪽 뒤 타이어 또는 왼쪽 앞 타이어와 왼쪽 뒤 타이어)에 대한 데이터 신호를 수신하게 된다. 그러므로 어느 한 타이어에 대한 신호는 원하는 타이어에 대한 신호의 간섭으로 작용하게 된다. 이러한 각 타이어에 대한 간섭을 제거하고 전력소비를 감소시키기 위하여 길이 N의 골드코드를 사용한다. 즉 각 타이어의 송신안테나는 길이 N의 각기 다른 골드코드를 부여 받아 데이터를 송신한다. 송신신호는 골드코드에 의해 확산(spreading)되고, 차량 내부의 수신안테나에서 수신된 신호는 부여 된 골드코드에 의해 역확산(despreading)된 후, 원하는 데이터를 검출하게 된다. 역확산된 수신신호는 식(1-4)와 같이 주어진다.

$$y_i(n) = \mathbf{y}_i^T(n)\mathbf{g}_i \tag{1-4}$$

식(1-4)에서 i번째 타이어에 대한 $\mathbf{y}_i(n)$과 골드코드 $\mathbf{g}_i$는 식(1-5)과 식(1-6)로 정의된다[11].

$$\mathbf{y}_i(n) = \left[y_i(k), y_i(k+1), \cdots, y_i(k+N-1)\right]^T \tag{1-5}$$

$$\mathbf{g}_i = \left[g_i(k), g_i(k+1), \cdots, g_i(k+N-1)\right]^T \tag{1-6}$$

제2장 스위칭 빔형성기

TPMS의 무선통신 시 외부 전자장치로부터의 간섭을 억제하고 효과적으로 TPMS 센서부로부터 측정된 데이터를 수신하기 위하여 차량 내부에 일렬로 수신안테나를 배치하고 AOA 벡터 기반의 빔형성기를 이용하여 원하는 방향으로 빔을 형성하는 구조를 제안한다[18-19]. 송신안테나에 대한 수신안테나의 AOA 벡터는 차량에 TPMS를 설치할 시 결정된다. 이와 같은 스위칭 빔형성기는 원하는 신호가 입사되는 어레이의 방향에 간섭에 비하여 큰 가중치를 부여하여 SIR(Signal-to-Interference Ratio, 신호-대-간섭 비)를 향상시키도록 각 타이어 방향으로 교대로 빔을 형성한다. 이러한 특성을 가지는 AOA 기반의 빔형성기를 TPMS 무선통신시스템에 적용한다.

제1절 스위칭 빔형성기 알고리즘

스위칭 빔형성기는 Fig.2-1에서 보여 지는 기본적인 빔형성기를 사용하여 원하는 신호는 변화시키지 않고 다른 방향에서 입사되는 간섭신호들만 억제해 주도록 설계되어 있다. 이러한 빔형성기의 가중치 벡터는 식(2-1)과 같이 주어진다[20-22].

$$\mathbf{w}_{s_i} = \frac{\mathbf{a}_i(\phi)}{\sqrt{\mathbf{a}_i^H(\phi)\mathbf{a}_i(\phi)}} \tag{2-1}$$

식(2-1)에서 $\mathbf{a}_i(\phi)$는 i번째 타이어에 대한 AOA 벡터이고, ^{H}는 켤레복소수 전치(transpose)를 나타낸다. 식(2-1)은 i번째 타이어에 대하여 크기 '1'의 빔(beam) 펙터(factor)를 생성하고, SIR을 향상시킨다. 주어진 빔형성기 가중치에 의한 i번째 타이어에 대한 빔형성기 출력은 식(2-2)와 같이 주어진다[23].

$$y_i(k) = \mathbf{w}_{s_i}^H \mathbf{r}_i(k) \tag{2-2}$$

식(2-1)의 빔형성기 출력 $y_i(k)$는 원하는 i번째 TPMS 데이터 신호와 잡음, 그리고 작은 전력의 억제된 간섭 신호들을 포함한다.

식(1-3)에 주어진 어레이 응답 벡터의 구조상 식(2-1)의 가중치 벡터는 입사각 ϕ와 $360-\phi$ 각도로 동시에 빔을 형성하게 된다. 차량의 앞쪽 타이어와 뒤쪽 타이어는 서로 일직선으로 위치하기 때문에, 만약 오른쪽 앞 타이어에 대한 송신신호가 ϕ_i로 입사되면, 오른쪽 뒤 타이어에 대한 송신신호는 $360-\phi_i$ 각도로 입사하게 된다. 그러므로 오른쪽 앞 타이어에 대한 가중치 벡터와 왼쪽 앞 타이어에 대한 가중치 벡터를 교대로 빔형성기에 사용하면, 네 개의 모든 타이어에 대한 신호들을 수신할 수 있게 된다. 이와 같이 두개 이상의 가중치 벡터를 교대로 사용하여 원하는 방향에 빔을 형성시켜주는 것이 스위칭 빔형성기의 개념이 된다.

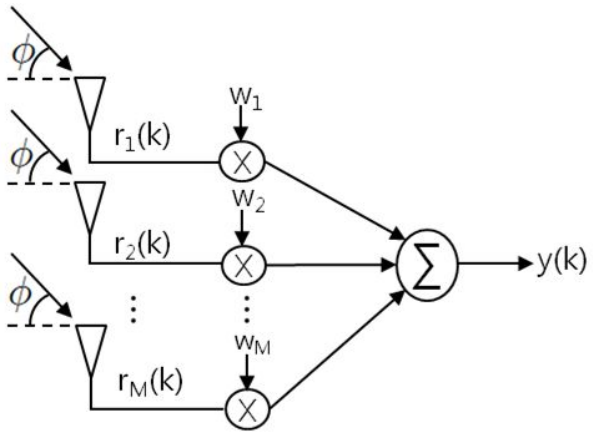


Fig.2-1 Conventional beamformer structure

제2절 컴퓨터 시뮬레이션

본 절에서는 제안된 AOA 기반의 스위칭 빔형성 기술 성능 확인을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션을 위해 차량 중앙부에 네 개의 수신안테나와 여섯 개의 수신안테나, 여덟 개의 수신안테나를 사용하는 세 가지 경우를 고려하였다. 또한, 각 타이어의 TPMS 송신신호에 길이 $N=15$의 골드코드를 부여하였다. 수신신호에 포함되는 타이어로부터의 송신신호와 간섭들에 대한 신호는 다음의 두가지 경우를 고려하였다. 첫 번째의 경우 각 타이어에 대한 송신신호의 입사각은 각각 60°,120°,240°,300°로 가정하였고, 세 개의 간섭신호들에 대한 입사각은 87°,165°,268°로 가정하였다. 두 번째의 경우 각 타이어에 대한 송신신호의 입사각은 각각 70°,110°,250°,290°로 가정하였고, 세 개의 간섭신호들에 대한 입사각은 15°,145°,325°로 가정하였다.

Fig.2-2와 Fig.2-3은 네 개의 수신안테나를 사용하였을 경우의 빔 패턴(Beam pattern)을 보인다. Fig.2-2 (a)에서 오른쪽 앞과 뒤의 타이어 TPMS 신호에 대한 입사각 60°,300° 방향으로의 빔이 형성되었음을 확인할 수 있고, Fig.2-2. (b)에서 왼쪽 앞과 뒤의 타이어 TPMS 신호에 대한 입사각 120°,240° 방향으로의 빔이 형성되었음을 확인할 수 있다. Fig.2-3 (a),(b)에서도 각각 70°,290° 와 110°,250° 두 방향으로 빔이 형성되었음을 확인할 수 있다. 즉, 각각 두 방향으로 빔을 형성하는 가중치 벡터를 교대로 사용하는 스위칭 빔형성기를 적용하여 네 개의 모든 타이어에 대한 입사각 방향으로 빔이 형성되어 있음을 확인할 수 있다. Fig.2-4와 Fig.2-5는 여섯 개의 수신안테나를 사용하였을 경우의 빔 패턴을 보이는데 Fig.2-2와 Fig.2-3의 (a),(b)처럼 두 번의 빔형성을 교대로 수행하였을 때, 네 개의 타이어에 대한 입사각 방향으로 빔들이 형성되었음을 확인할 수 있다. 마찬가지로 여덟 개의 수신안테나를 사용하는 Fig.2-6와 Fig.2-7의 그림에서도 네 개의 타이어에 대한 입사각 방향으로 빔들이 교대로 형성된다. 시뮬레이션을 통해 생성된 빔패턴을 비교해보면 안테나 개수가 증가할수록 좁은 빔이 형성되고, 작은 크기의 사이드로브(side-lobe)가 존재하는 것을 알 수 있다.

Fig.2-8 ~ Fig.2-10은 SNR(Signal-to-Noise Ratio, 신호-대-간섭 비)이 각각 0dB, 10dB, 20dB 일 때, 네 개와 여섯 개, 여덟 개의 안테나를 사용하였을 경우의 스위칭 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 ISR(Interference-to-Sig

nal Ratio, 간섭-대-신호 비) 당 출력SINR(Signal-to-Interference and Noise Ratio, 신호-대-간섭 및 잡음 비) 성능을 비교한 결과이다. Fig.2-8~Fig.2-10으로부터 빔형성기를 사용하지 않았을 경우 간섭제거가 이루어 지지 않았고, 여덟 개의 안테나를 사용한 스위칭 빔형성기 일 경우 네 개와 여섯 개의 안테나를 사용한 스위칭 빔형성기 보다 강력한 간섭제거가 이루어져 향상된 출력 SINR을 얻은 것을 확인할 수 있다.

Fig.2-11~Fig.2-13은 ISR이 각각 -10dB, 10dB 일 때, 네 개와 여섯 개, 여덟 개의 안테나를 사용하였을 경우의 스위칭 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 SNR 당 출력 SINR 성능을 비교한 결과를 나타낸다. Fig.2-8 ~ Fig.2-10에서 빔형성기를 사용하지 않았을 경우 간섭이 제거되지 않은 결과를 보여주며, 네 개 이상의 안테나를 사용했을 경우 간섭이 제거되어 향상된 출력 SINR을 얻는 것을 확인할 수가 있다. 안테나를 사용하였을 경우 여덟 개의 안테나가 가장 좋은 간섭제거 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

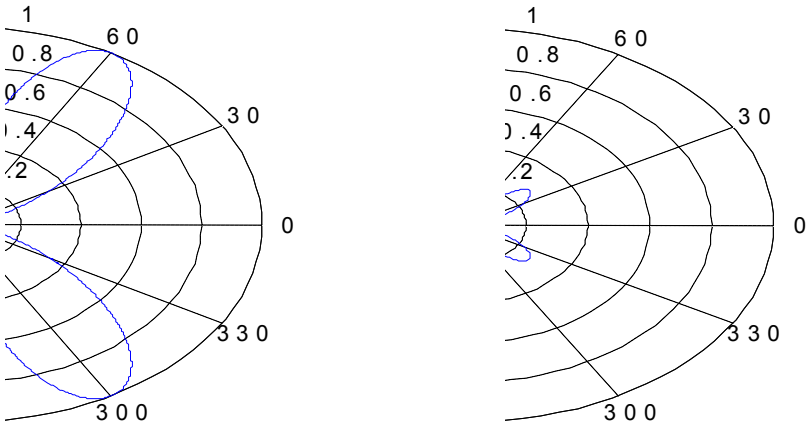


Fig.2-2 Beam pattern of switching beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

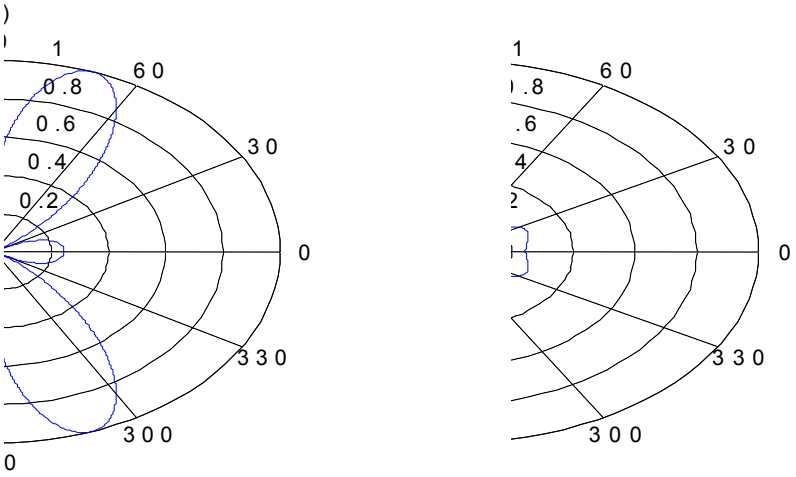


Fig.2-3 Beam pattern of switching beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles

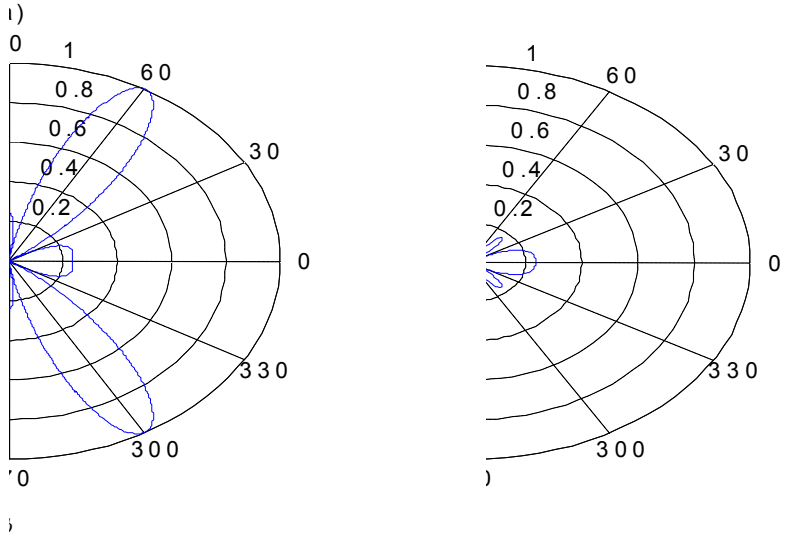


Fig.2-4 Beam pattern of switching beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

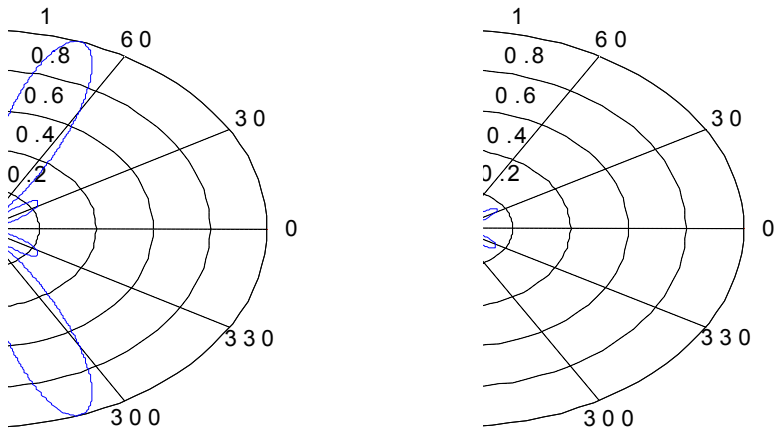


Fig.2-5 Beam pattern of switching beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles

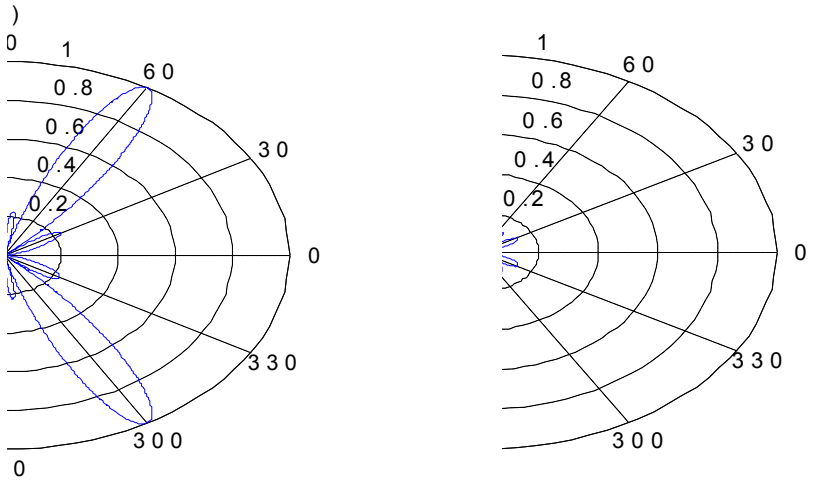


Fig.2-6 Beam pattern of switching beamformer with eight antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

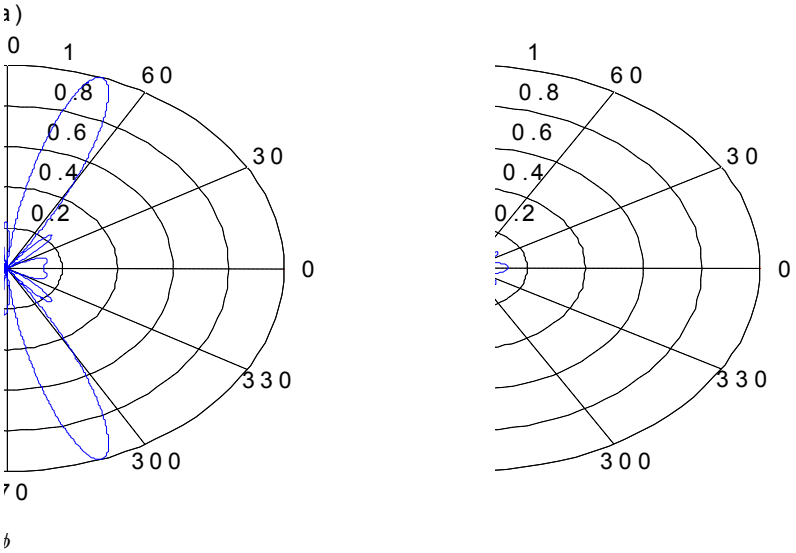


Fig.2-7 Beam pattern of switching beamformer with eight antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles

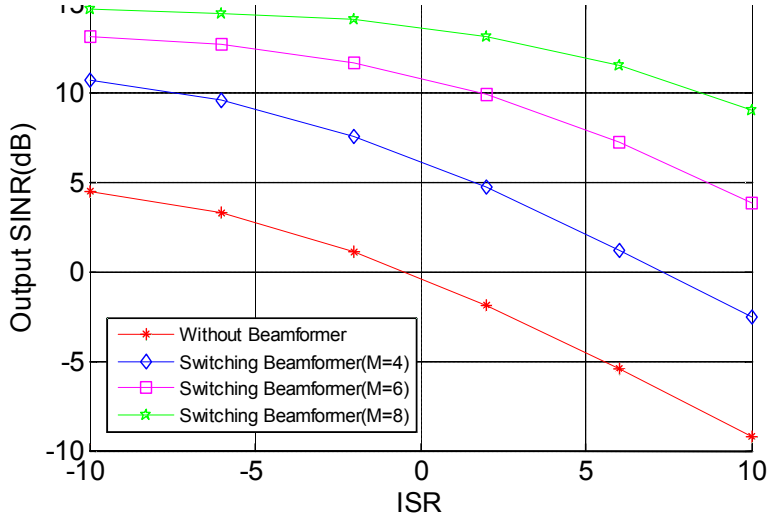


Fig.2-8 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (SNR=0(dB))

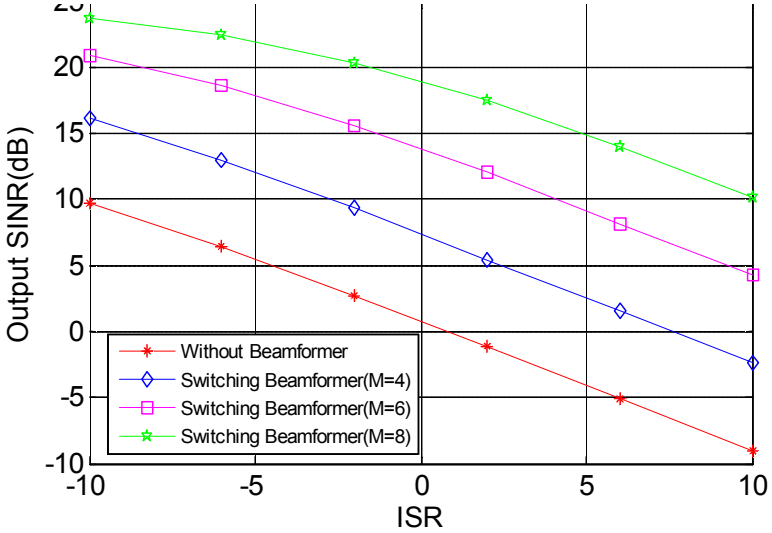


Fig.2-9 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (SNR=10(dB))

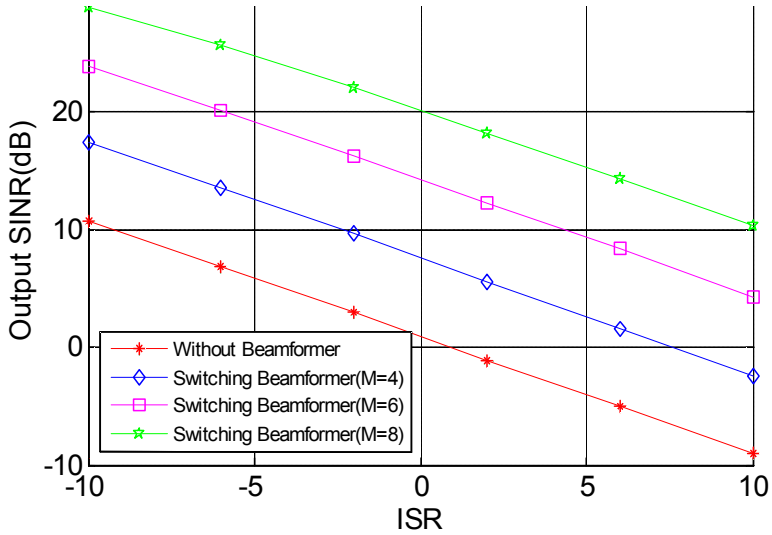


Fig.2-10 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (SNR=20(dB))

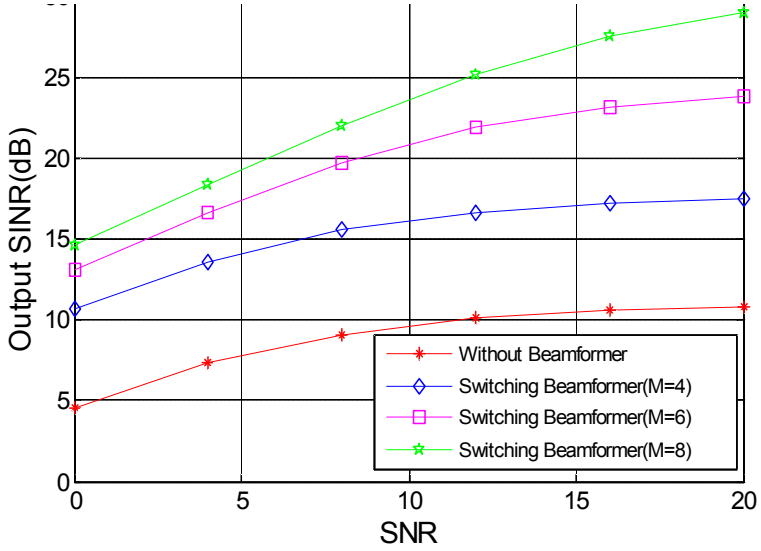


Fig.2-11 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (ISR=-10(dB))

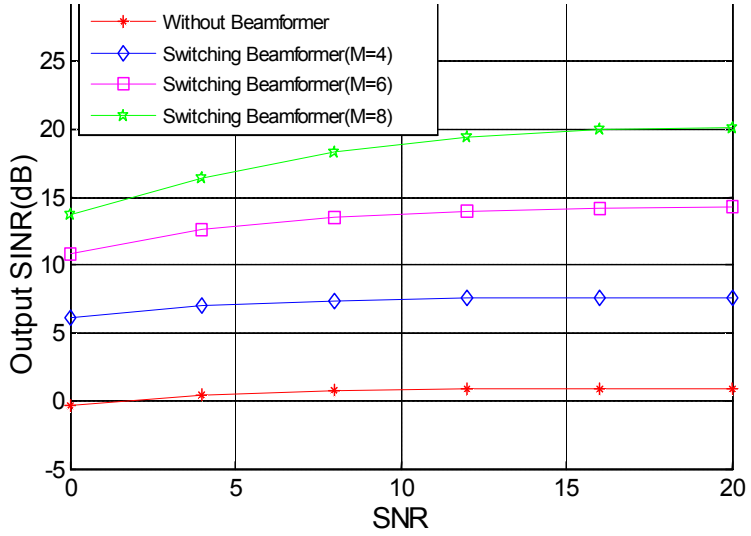


Fig.2-12 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (ISR=0(dB))

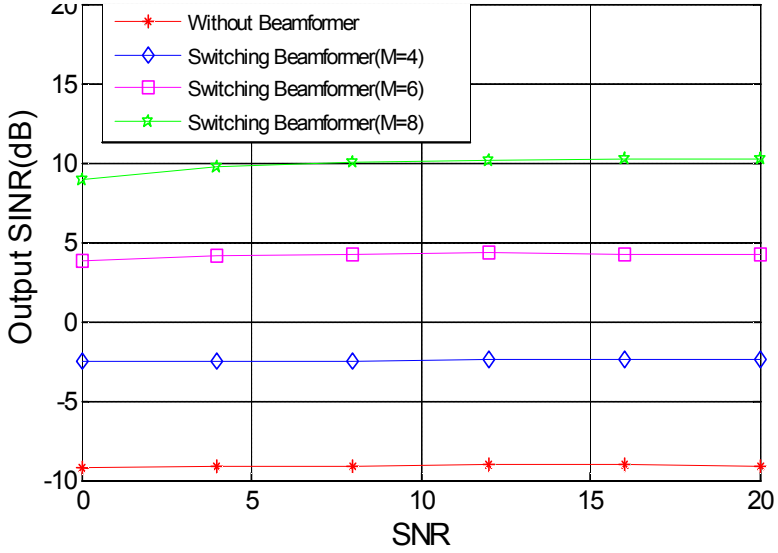


Fig.2-13 Output SINR performance of the switching beamformer with four, six, eight antennas and without beamformer (ISR=10(dB))

제3절 결론

차량에서 배출되는 온실가스의 감축과 연료낭비를 방지하고 타이어 공기압 부족으로 인한 교통사고를 미연에 예방하기 위해서 전 세계적으로 TPMS 사용의 의무화가 진행 중이며 이로 인한 TPMS의 중요성이 한층 더 강조되고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 TPMS는 비슷한 주파수 대역을 사용하는 장비들로부터 많은 무선통신 간섭을 받고 있다. TPMS 센서부에서 신호처리부로 데이터신호를 전송할 때, 고 전력의 간섭이 존재하면 신호처리부에서 잘못된 데이터신호들을 수신하게 되어 차량의 타이어 이상 유무를 정확히 판별할 수 없게 된다. 이러한 외부의 전자장치 신호에 의한 간섭을 억제하기 위하여, 본장에서는 TPMS에 알맞은 일반적인 빔형성기 기반의 스위칭 빔형성기를 제안하였다. 스위칭 빔형성기는 복잡도가 매우 낮고 원하는 방향으로만 빔을 형성할 수 있는 특성을 가지고 있다. 또한, 각 타이어에 의한 간섭을 제거하고 소비전력을 감소시키기 위하여 각 타이어에 고유의 골드코드를 부여하는 시스템을 고려하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 TPMS 무선통신기의 성능을 확인할 수 있다.

제3장 TPMS를 위한 AOA 기반의 MVDR 빔형성기

2장에서 소개된 AOA 벡터 기반의 스위칭 빔형성기는 원하는 신호가 수신되는 방향으로 빔을 형성할시 수신안테나에 수신되는 각종 전기 및 전자장치의 고출력 간섭에 대한 근본적인 간섭제거는 불가능하고 신호전력에 비해 간섭의 전력을 약화시키는 기능만 수행한다. 본장에서는 고전력의 간섭신호 제거를 위해 빔형성기에 MVDR 알고리즘을 사용하는 TPMS 간섭제거 기술을 제안한다[24-25].

제1절 TPMS를 위한 AOA 기반의 MVDR 알고리즘

본장에서는 TPMS 데이터 수신 시 전기 및 전자장치에 의한 간섭들을 제거하여 원하는 신호를 정확하게 수신하기 위해서 TPMS 빔형성기에 간섭제거 성능이 뛰어난 MVDR 빔형성 기술을 적용한다. MVDR 빔형성기는 TPMS를 차량에 설치할 시에 정해지는 송신안테나의 위치에 대한 수신안테나의 AOA벡터를 이용하여 원하는 방향에서 입사되는 신호는 일정한 값을 유지하면서 빔형성기의 출력신호의 전력을 최소화시키는 가중치 벡터[26]를 계산한다. 식 (3-1)을 이용하여 AOA 기반의 MVDR 가중치 벡터를 구할 수 있다[27-28].

$$\min \mathbf{w}^{H}\mathbf{R}_{r}\mathbf{w} \quad \text{subject to} \quad \mathbf{a}_{i}^{H}\mathbf{w} = 1 \tag{3-1}$$

식 (3-1)에서 $\mathbf{R}_{r} = E\left[\mathbf{r}(k)\mathbf{r}^{H}(k)\right]$는 수신신호의 자기상관(autocorrelation)행렬를 나타내며[29-30], $\mathbf{a}_{i}$는 i번째 타이어에 대한 AOA 기반의 조향(steering)벡터이며, ^{H}는 켤레복소수 전치(transpose)를 나타낸다. 식 (3-1)을 만족하는 가중치 벡터는 식 (3-2)로 주어진다[31-33].

$$\mathbf{w}_{M_i} = \left[\mathbf{a}_{i}^{H}\mathbf{R}_{r}^{-1}\mathbf{a}_{i}\right]^{-1}\mathbf{R}_{r}^{-1}\mathbf{a}_{i} \tag{3-2}$$

가중치 벡터는 i번째 타이어에 대해 “1” 의 크기를 가지는 빔(beam)펙터(factor)

를 생성하고, 원하지 않는 간섭신호 방향으로는 null을 형성시켜 간섭을 최소화한다. SIR(Signal-to-Interference Ratio, 신호-대-간섭 비)을 증가시키는 빔형성기 출력은 식 (3-3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_i(k) = \mathbf{w}_{M_i}^H \mathbf{r}(k) \tag{3-3}$$

식 (3-3)에서 $y_i(k)$는 수신을 원하는 i번째 타이어의 TPMS 데이터 신호와 잡음, 그리고 작은 전력을 가지는 억제된 간섭 신호들을 포함한다.

제2절 컴퓨터 시뮬레이션

본 절에서는 AOA 벡터 기반의 MVDR 빔형성 기술의 성능 확인을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 차량 중앙부에 네 개와 여섯 개의 수신안테나를 고려하였다. 수신신호에 대한 각 타이어의 TPMS 송신신호와 세 개의 간섭들에 대한 골드코드의 길이는 2장 2절과 같은 값들을 사용하였다.

Fig.3-1과 Fig.3-2은 네 개의 수신안테나를 사용하였을 경우의 빔 패턴을 보인다. Fig.3-1의 (a)에서 오른쪽 앞과 뒤의 타이어 TPMS 신호에 대한 입사각 60°,300° 방향으로의 빔이 형성되었음을 확인할 수 있고, Fig.3-1의 (b)에서 왼쪽 앞과 뒤의 타이어 TPMS 신호에 대한 입사각 120°,240° 방향으로의 빔이 형성되었음을 확인할 수 있다. Fig.3-2의 (a)에서도 오른쪽 앞과 뒤의 타이어 TPMS 신호에 대한 입사각 70°,290° 방향으로 빔이 형성되었고, Fig.3-2의 (b)에서는 왼쪽 앞과 뒤의 타이어 TPMS 신호에 대한 입사각 110°,250° 방향으로 빔이 형성되었음을 확인할 수 있다. 또한 Fig.3-1과 Fig.3-2에 입사되는 간섭들의 방향에 null을 형성하는 것을 확인할 수 있다. Fig.3-3에서도 (a).(b)에서 오른쪽 앞과 뒤의 타이어 TPMS 신호에 대한 입사각 60°,300° 와 120°,240° 방향으로의 빔이 형성되었음을 확인할 수 있다. Fig.3-4에서 마찬가지로 TPMS 신호에 대한 입사각이 70°,110° 250°,290° 방향으로 빔을 형성되었음을 확인할 수 있다. 마찬가지로 Fig.3-3와 Fig.3-4에 입사되는 간섭들의 방향으로 null이 형성되었음을 확인할 수 있다.

Fig.3-5는 SNR이 -10(dB)일 경우, 네 개의 안테나를 사용하였을 경우와 여섯 개의 안테나를 사용하였을 경우의 MVDR 빔형성기, 그리고 빔형성기를 사용하지 않은 경우의 ISR당 출력 SINR 성능을 비교한 결과이다. Fig.3-5로 부터 안테나가 네 개일 경우 보다 여섯 개일 경우가 우수한 간섭제거 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우 간섭이 거의 제거 되지 않았다. Fig.3-6은 SNR이 -5(dB) 일 경우, 네 개의 안테나를 사용하였을 경우와 여섯 개의 안테나를 사용하였을 경우의 MVDR 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 ISR당 출력 SINR 값을 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이다. Fig.3-6에서 빔형성기를 사용하지 않았을 경우에는 간섭을 제거하지 못하기 때문에 ISR이 상승함에 따라 출력 SINR이 감소한다. 하지만 네 개의 안테나와 여섯 개의 안테나를 사용한

MVDR 빔형성기는 간섭이 제거되어 거의 일정한 값을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 또한 네 개의 안테나를 사용한 경우보다 여섯 개의 안테나를 사용한 경우의 간섭제거 성능이 더 우수한 것을 확인할 수가 있다. Fig.3-7은 SNR이 0(dB) 일 경우, 네 개의 안테나를 사용하였을 경우와 여섯 개의 안테나를 사용하였을 경우의 MVDR 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 ISR당 출력 SINR 값을 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이다. Fig.3-5와 Fig.3-6의 결과와 마찬가지로 여섯 개의 안테나가 네 개의 안테나보다 간섭제거 성능이 우수하고, 빔형성기를 사용하지 않을 경우 간섭이 거의 제거 되지 않는 다는 것을 확인할 수 있다.

Fig.3-8은 ISR이 0(dB)일 경우, 네 개의 안테나를 사용하였을 경우와 여섯 개의 안테나를 사용하였을 경우의 MVDR 빔형성기, 그리고 빔형성기를 사용하지 않은 경우의 SNR당 출력 SINR 성능을 비교한 결과이다. Fig.3-8에서 빔을 형성하지 않았을 경우 간섭이 거의 제거가 되지 않고, 안테나의 개수가 네 개일 경우 보다 여섯 개일 경우가 우수한 간섭제거 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. Fig.3-9와 3-10은 각각 ISR이 10(dB), 20(dB) 일 경우, 네 개의 안테나를 사용하였을 경우와 여섯 개의 안테나를 사용하였을 경우의 MVDR 빔형성기, 빔형성기를 사용하지 않았을 경우의 SNR당 출력 SINR 값을 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이다. Fig.3-9과 Fig.3-10에서 빔형성기를 사용하지 않았을 경우에는 간섭을 제거하지 못하기 때문에 SINR이 낮은 값을 갖는다. 하지만 네 개의 안테나와 여섯 개의 안테나를 사용한 MVDR 빔형성기는 간섭이 제거되어 높은 SINR값을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 또한 네 개의 안테나를 사용한 경우보다 여섯 개의 안테나를 사용한 경우의 간섭제거 성능이 더 우수한 것을 확인할 수 있다.

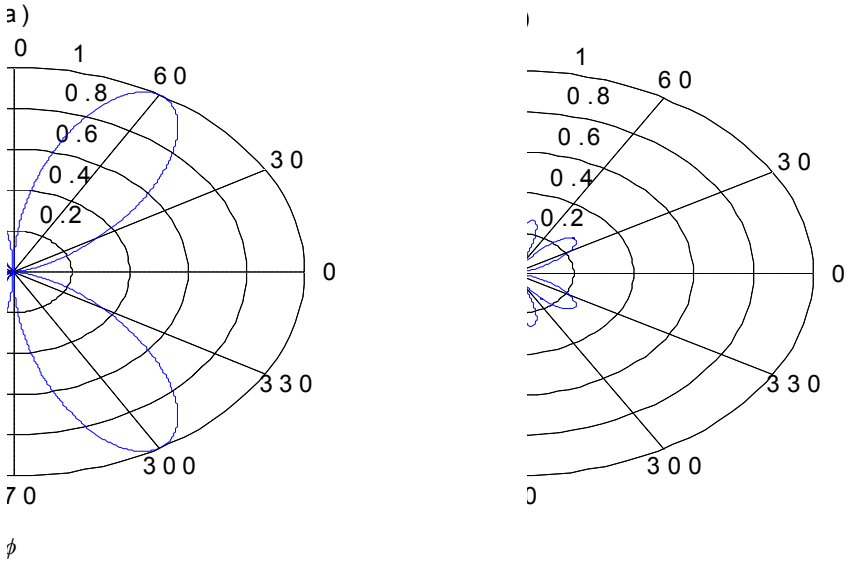


Fig.3-1 Beam pattern of MVDR beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

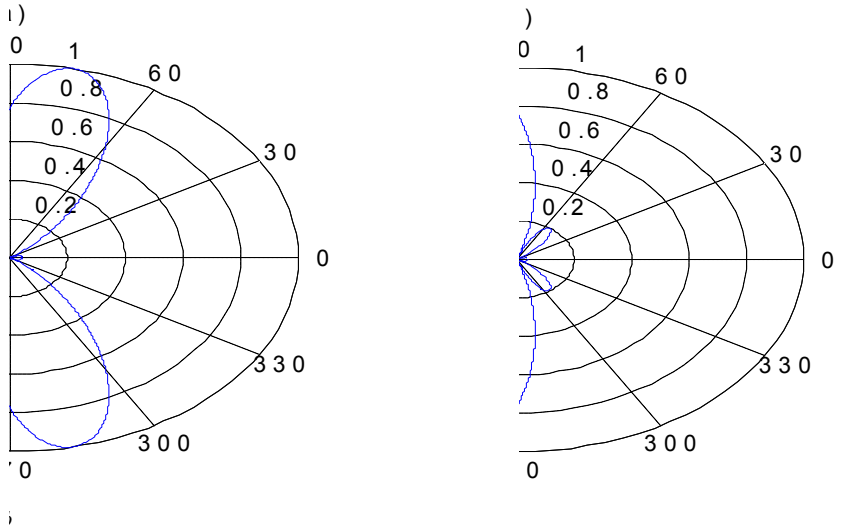


Fig.3-2 Beam pattern of MVDR beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles

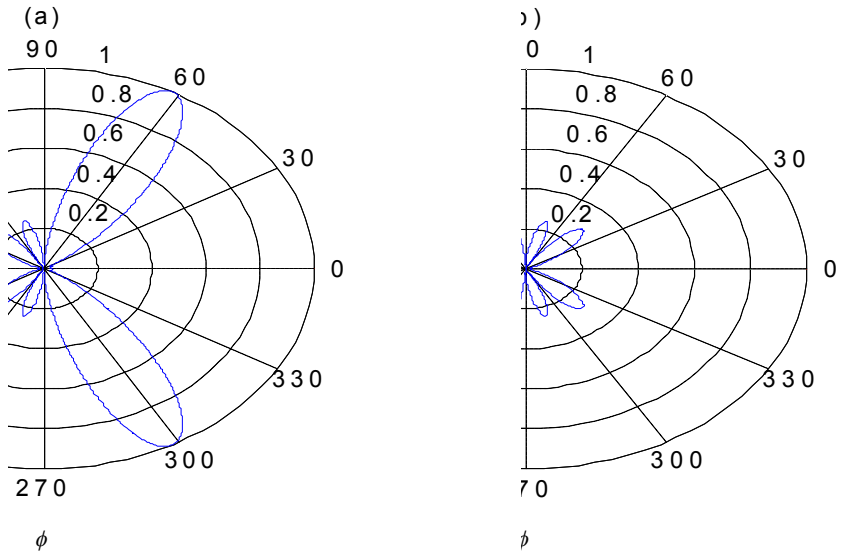


Fig.3-3 Beam pattern of MVDR beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

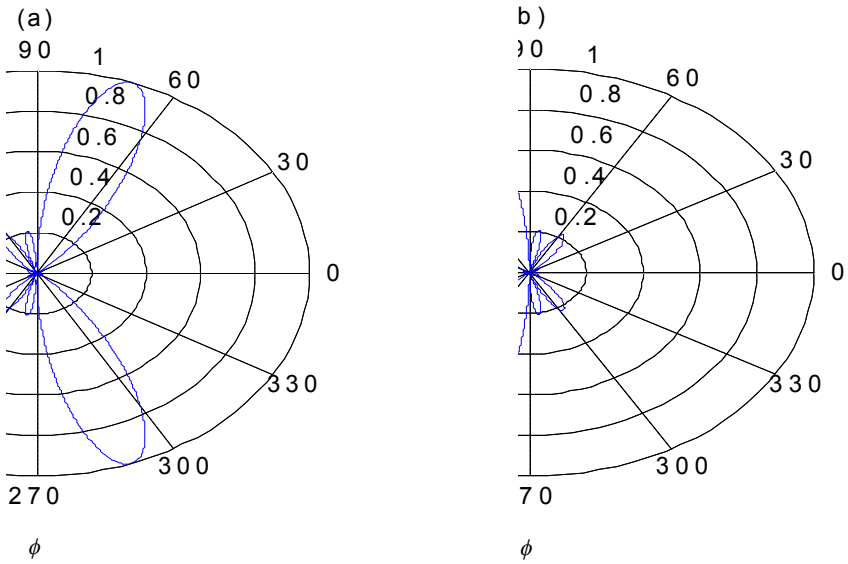


Fig.3-4 Beam pattern of MVDR beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles

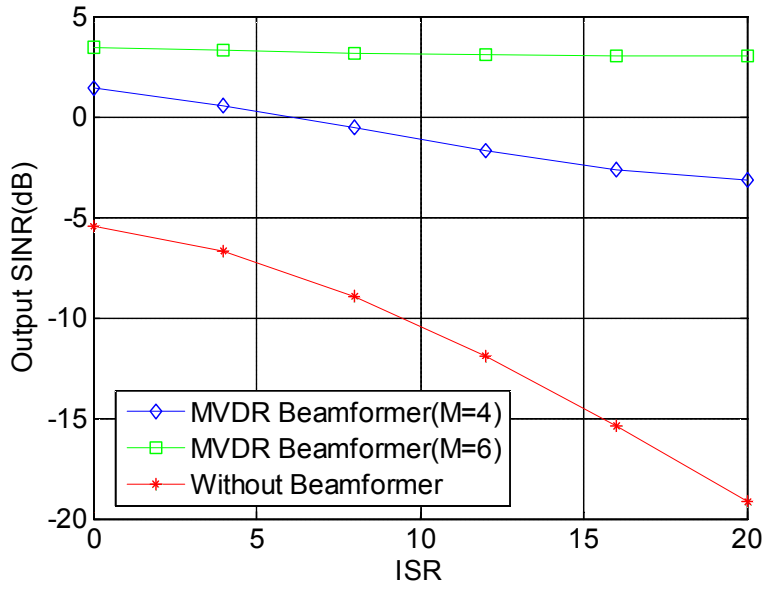


Fig.3-5 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer SNR=-10(dB)

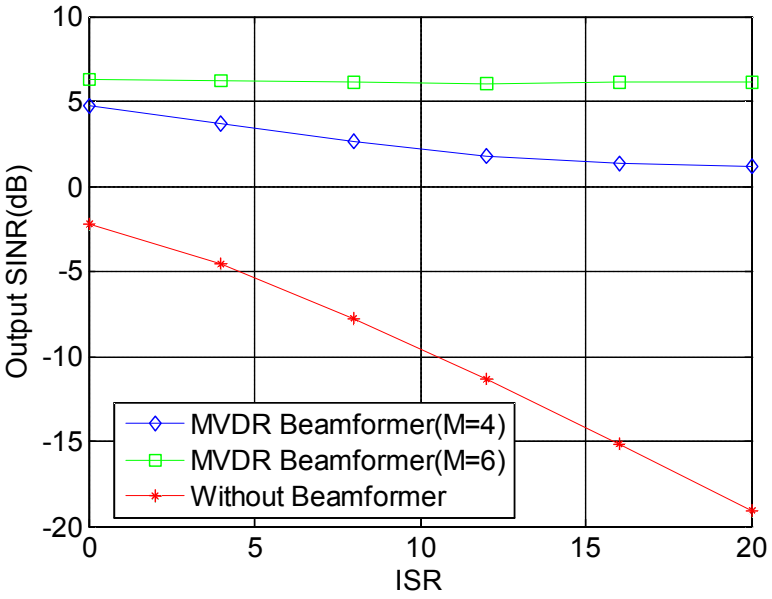


Fig.3-6 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer SNR=-5(dB)

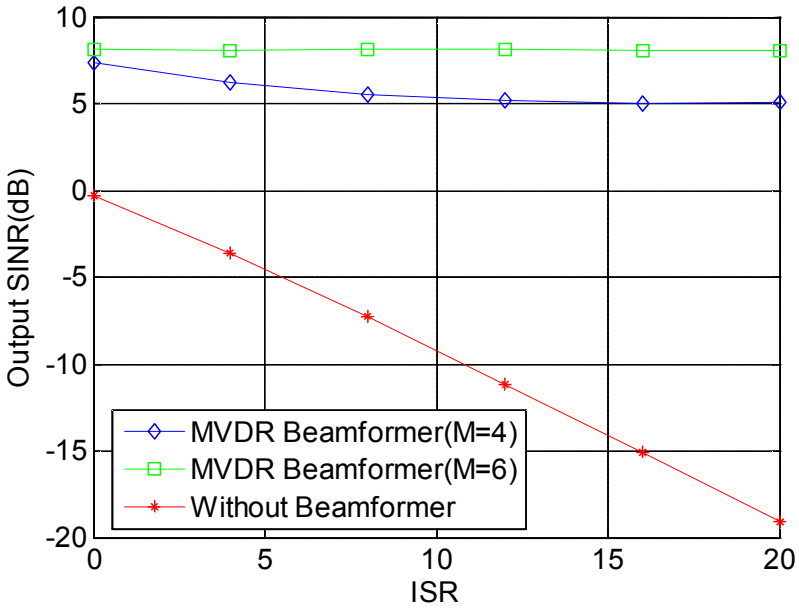


Fig.3-7 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer SNR=0(dB)

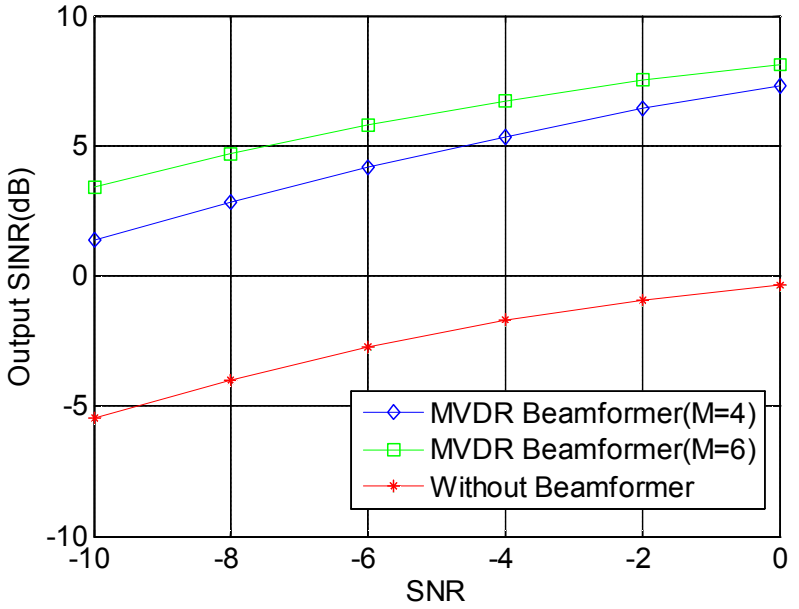


Fig.3-8 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer ISR=0(dB)

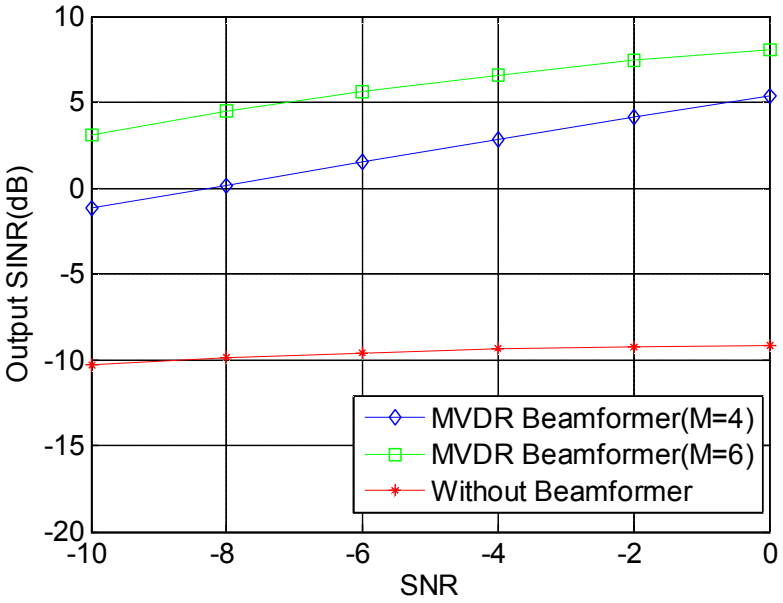


Fig.3-9 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer ISR=10(dB)

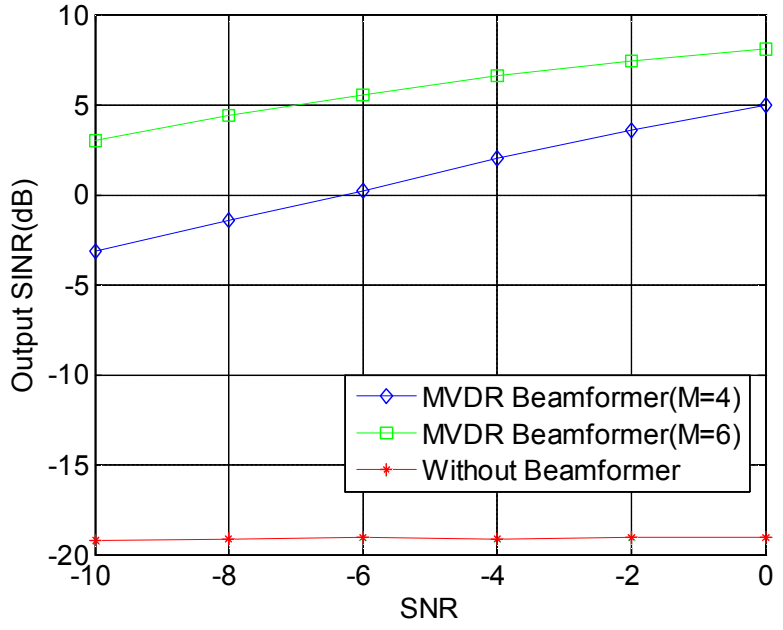


Fig.3-10 Output SINR performance of the MVDR beamformer with four, six antennas and without beamformer ISR=20(dB)

제3절 결론

전 세계적으로 발생되는 교통사고 중에 타이어의 과열사고를 방지하기 위한 방법으로 차량의 주행중 또는 정차중에 상태를 감지하여 이상유무를 운전자에게 알려주는 TPMS 시스템 장착이 증가되고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 차량의 TPMS는 주파수 대역이 동일한 각종 전기 및 전자 장치로부터 무선통신 시 간섭을 받을 수 있으며, 이러한 고출력 간섭들에 의해 타이어의 센서부에서 측정된 데이터를 무선으로 중앙처리부로 전송할 시 정확한 데이터수신을 방해하여 타이어의 상태를 정확하게 파악할 수 없게 된다. 외부의 장치로부터의 간섭을 제거하기 위해, 본 장에서는 TPMS에 알맞은 AOA 벡터 기반의 MVDR 빔형성기를 제안하였다. MVDR 빔형성기는 데이터를 수신하려는 방향으로는 빔을 형성하고, 원하지 않는 간섭신호 방향으로는 null을 형성시켜 간섭을 최소화한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안된 TPMS 무선통신장치의 성능을 확인할 수 있다.

제4장 GSC 기반의 빔형성기

본 장에서는 적응(adaptive)필터의 한 방식인 LMS 알고리즘을 기반으로 하는 GSC(Generalized Sidelobe Canceler)를 TPMS 빔형성기에 적용하는 방법을 제안한다[34]. 적응필터는 필터계수를 상황에 따라 변환하면서 시스템 자체적으로 최적의 상태에 이르도록 하는 기술이며, 통신분야, 제어분야, 레이다(radar), 소나(sonar) 분야 등에도 광범위하게 사용되고 있다[35-37].

제1절 GSC 빔형성기 알고리즘

GSC를 TPMS 빔형성기에 적용시켜 외부로부터 수신되는 고전력의 다양한 간섭을 제거하기 위해 Fig.4-1과 같은 TPMS 수신기를 제안한다. GSC 빔형성기 알고리즘에서는 MVDR 빔형성기와 다르게 자기상관 행렬계산이 필요하지 않아 MVDR보다 월등히 낮은 복잡도를 가지며, MVDR과 거의 비슷한 간섭제거 성능을 보유한다. GSC는 적응 알고리즘의 한 방식인 LMS 알고리즘을 사용하여 가중치 벡터를 구한다. LMS 알고리즘은 환경변화에 강인하며, 식의 단순성으로 계산이 간단한 특성을 가진다. GSC의 LMS 알고리즘 가중치 벡터식은 식 (4-1)과 같이 나타낼 수 있다[38-39].

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

$\mathbf{w}(k)$는 LMS알고리즘에서 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 (4-2)로 나타낸다.

$$y(k) = z_i(k) - h(k) \tag{4-2}$$

$z_i(k)$는 LMS의 reference 신호와 같은 기능을 가지며 식 (4-3)으로 나타낼 수 있다.

$$z_i(k) = \frac{1}{M}\mathbf{a}_i^H \mathbf{r}(k) \quad (4\text{-}3)$$

식 (4-2)에서 $h(k)$는 LMS 출력 값을 나타내며 식 (4-4)와 같다.

$$h(k) = \mathbf{w}^H(k) z(k) \quad (4\text{-}4)$$

여기서 $\mathbf{z}(k)$는 수신신호 $\mathbf{r}(k)$에서 간섭과 잡음을 남기고 TPMS 데이터신호를 제외한 신호로써 식 (4-5)로 나타낸다.

$$z(k) = K^H \mathbf{r}(\mathrm{k}) \quad (4\text{-}5)$$

식 (4-5)에서 K는 $\mathbf{a}_i$의 left null space이다[12]. 식 (4-1)의 LMS알고리즘 가중치 벡터를 이용한 GSC의 가중치벡터는 식 (4-6)과 같이 주어진다[40-41].

$$\mathbf{w}_{gsc}(k) = \frac{1}{M}\mathbf{a}_i - K\mathbf{w}(k) \quad (4\text{-}6)$$

식 (4-6)은 i번째 타이어에 대하여 크기 '1' 의 빔 펙터를 생성하고 간섭신호의 AOA방향으로 null을 생성시켜 SIR을 향상시킨다. 주어진 GSC의 가중치벡터에 의한 i번째 타이어에 대한 빔형성기 출력은 식 (4-7)과 같이 나타낸다.

$$y_i(k) = \mathbf{w}_{gsc_i}^H \mathbf{r}(k) \quad (4\text{-}7)$$

식 (4-7)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[42].

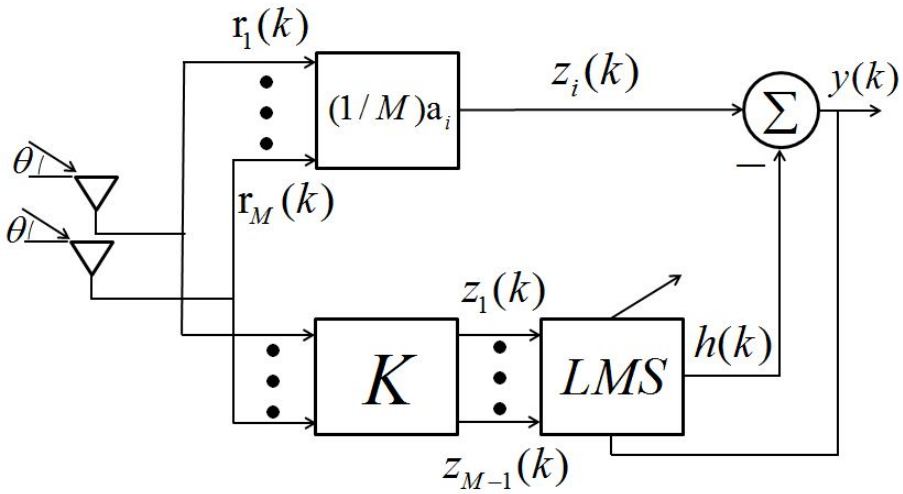


Fig.4-1 GSC beamformer structure for TPMS

제2절 컴퓨터시뮬레이션

본 장에서 제안된 GSC 기반의 빔형성기를 적용한 TPMS의 무선통신 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 확인한다. 시뮬레이션을 위하여 네 개의 수신안테나와 여섯 개의 수신안테나를 사용하였다. 수신신호에 대한 각 타이어의 TPMS 송신신호와 세 개의 간섭들에 대한 입사각과 골드코드의 길이는 2장 2절, 3장 2절과 같은 값들을 사용하였다.

Fig.4-2와 Fig.4-3는 네 개의 수신안테나를 차량의 중심부에 일렬로 배치하였을 경우의 빔패턴들의 시뮬레이션 결과를 보여준다. Fig.4-2은 네 개의 안테나를 사용했을 경우 빔패턴으로써 Fig.4-2.(a)는 오른쪽 타이어의 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 빔패턴으로 차량 중앙의 수신안테나를 기준으로 오른쪽 앞과 뒤 타이어의 TPMS 신호에 대한 입사각 $60^{o}, 300^{o}$방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수 있다. Fig.4-2.(b)는 왼쪽 타이어의 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 빔패턴으로 차량의 중앙의 수신안테나를 기준으로 왼쪽 앞쪽과 뒤쪽 타이어의 TPMS 신호에 대한 입사각 $120^{o}, 240^{o}$방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수 있다. Fig.4-3.(a)는 두 번째 시나리오에 대한 오른쪽 타이어의 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 빔패턴으로 차량 중앙의 수신안테나를 기준으로 오른쪽 앞과 뒤 타이어의 TPMS 대한 입사각 $70^{o}, 290^{o}$방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수가 있고, Fig.4-3.(b)는 두 번째 시나리오에 대한 왼쪽 타이어의 GSC 출력 가중치 벡터에 대한 빔패턴으로 차량 중앙의 수신안테나를 기준으로 왼쪽 앞쪽과 뒤쪽 타이어의 TPMS 신호에 대한 입사각 $110^{o}, 250^{o}$방향으로 빔을 형성하는 것을 확인할 수가 있다. 또한 Fig.4-4과 Fig.4-5는 여섯 개의 안테나를 사용했을 경우의 시뮬레이션 결과를 나타내는데 Fig.4-2와 Fig.4-3의 (a),(b)처럼 두 번의 빔형성을 교대로 수행했을 때, 네 개의 타이어에 대한 입사각 방향으로 빔이 형성되었음을 확인할 수 있다. Fig.4-2~Fig.4-5은 간섭이 들어오는 방향으로 널(null)이 생성되는 것을 확인할 수 있으며, 안테나 개수가 증가할수록 빔폭이 좁아지는 결과를 보여준다.

Fig.4-6~Fig.4-11은 ISR이 각각 0dB, 10dB일 경우 안테나의 개수에 따라 MVDR 빔형성기와 GSC 기반의 TPMS의 SNR당 출력 SINR성능을 비교한 결과를 보여준다. Fig.4-6.(a)는 ISR이 0dB일 경우 네 개의 안테나를 사용한 결과로써 GSC 빔형성기 기반의 TPMS와 MVDR 기반의 TPMS 수신기가 거의 같은 간섭제거 성능을 갖는다는

것을 확인 할 수 있으며, Fig.4-6.(b)는 Fig.4-6.(a)를 확대한 것으로 MVDR의 최적화된 알고리즘 결과에 GSC의 가중치 벡터가 매우 가깝게 수렴함을 확인 할 수가 있다. Fig.4-7.(a)는 ISR이 10dB일 경우 네 개의 안테나를 사용한 결과로써 Fig.4-6.(a)와 같은 간섭제거 성능을 보유한다는 것을 확인 할 수 있다. Fig.4-8과 Fig.4-9은 여섯 개의 안테나를 사용한 시뮬레이션 결과를 보여주며, 모든 경우에 우수한 간섭제거 성능을 보유한다는 것을 확인 할 수 있다.

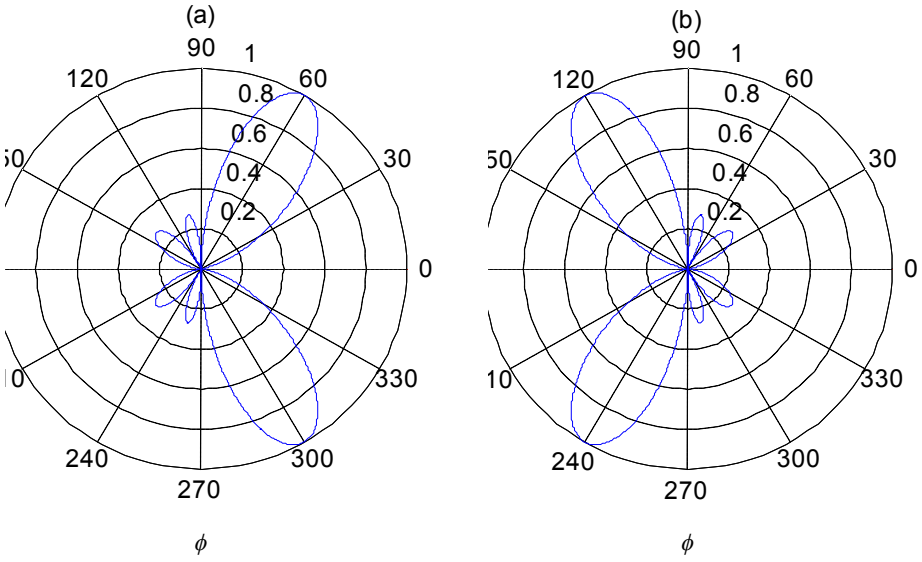


Fig.4-2 Beam pattern of GSC beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

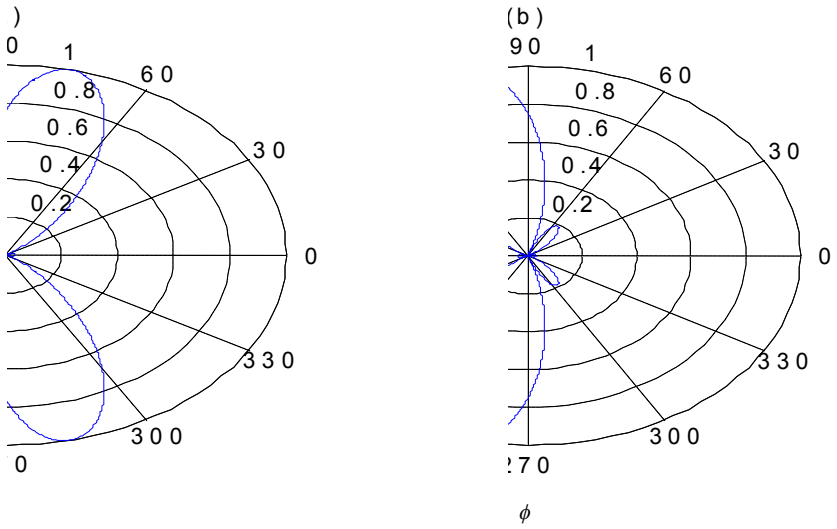


Fig.4-3 Beam pattern of GSC beamformer with four antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles

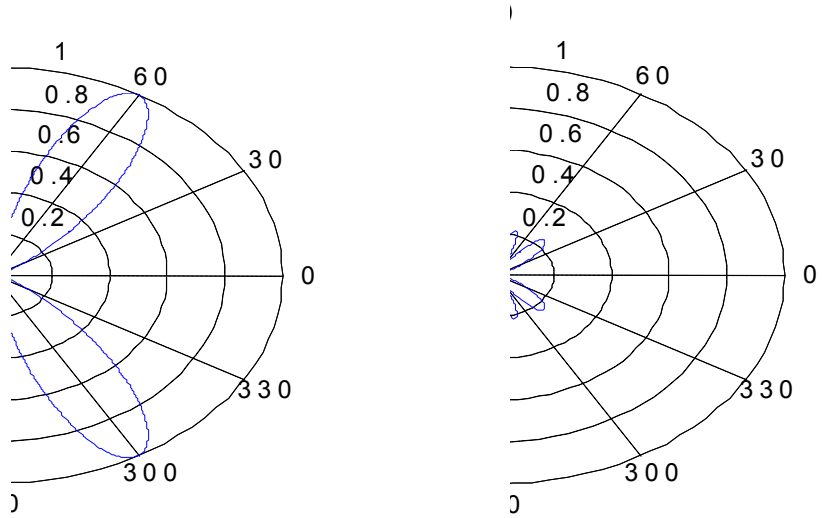


Fig.4-4 Beam pattern of GSC beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 60° and 300° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 120° and 240° incidence angles

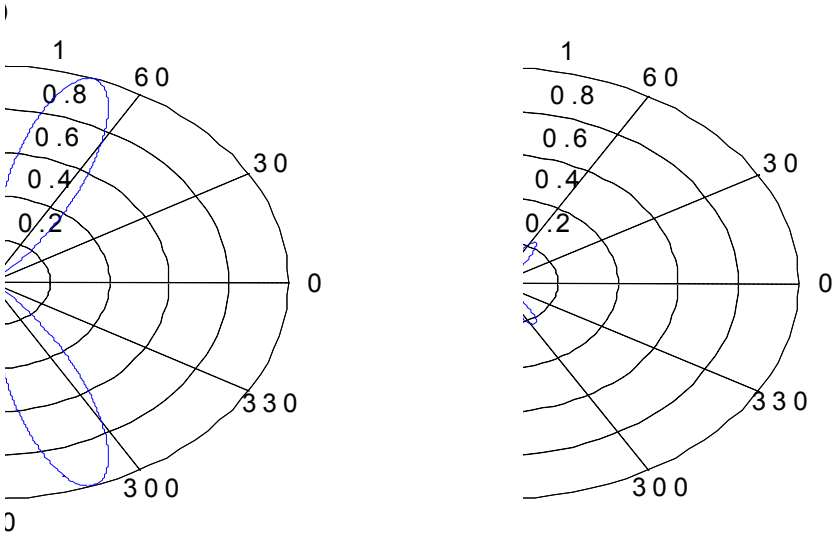
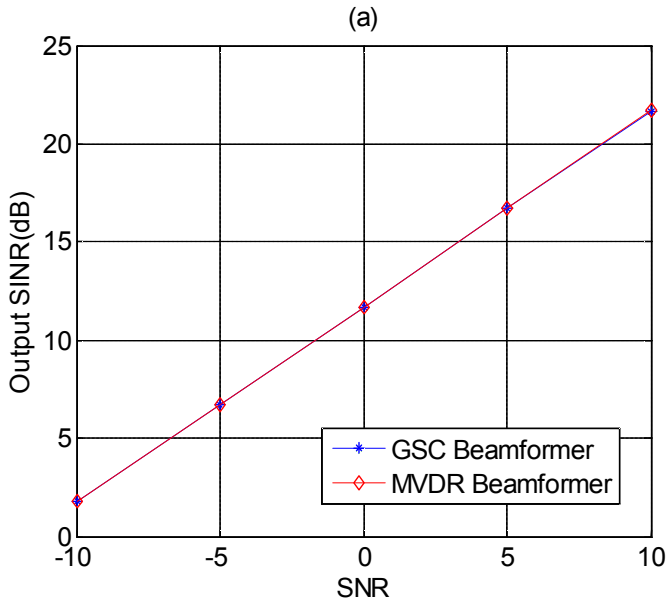


Fig.4-5 Beam pattern of GSC beamformer with six antennas (a) Beam pattern for right tire TPMS signals with 70° and 290° incidence angles, (b) Beam pattern for left tire TPMS signals with 110° and 250° incidence angles



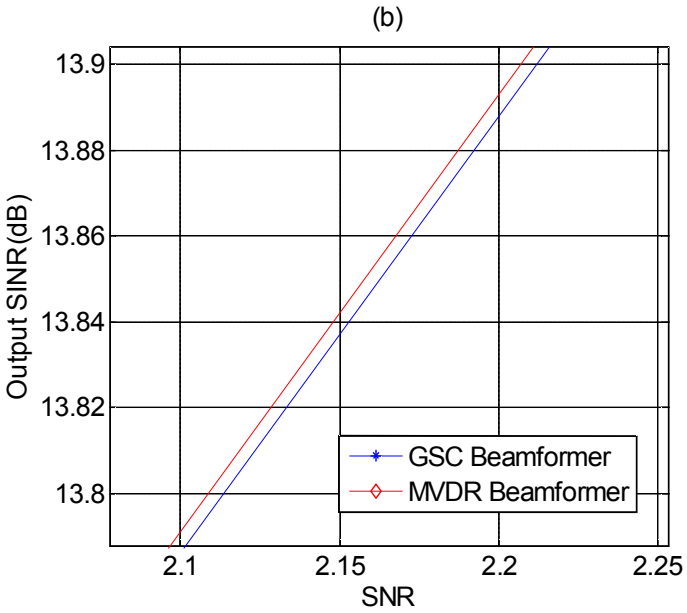


Fig.4-6 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with four antennas (ISR=0(dB))

(b) Fig.4-6. extended version of (a) to verity the difference

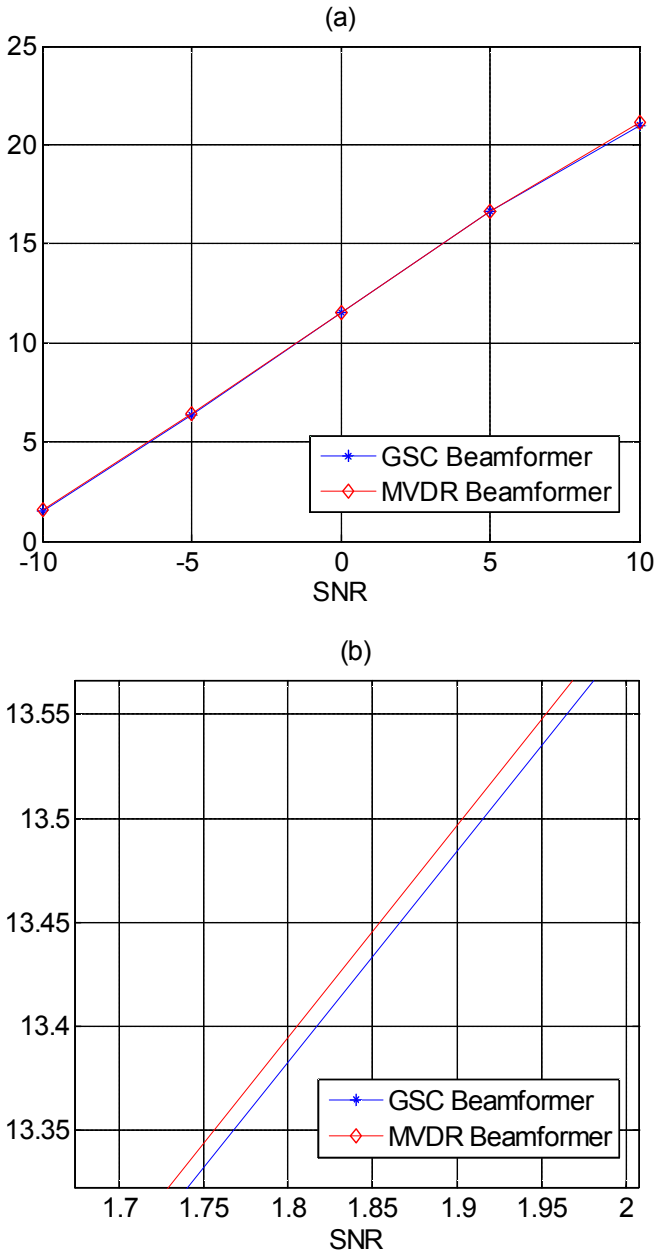


Fig.4-7 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with four antennas (ISR=10(dB))

(b) Fig.4-7. extended version of (a) to verity the difference

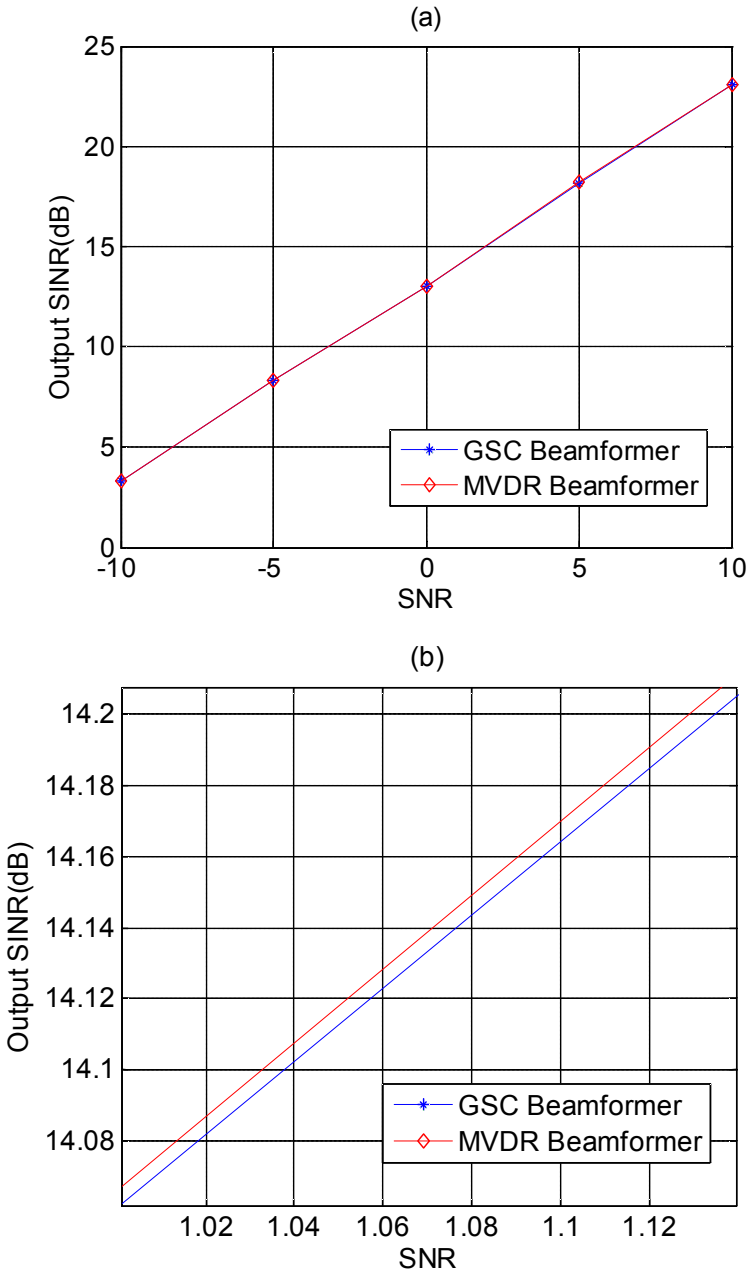


Fig.4-8 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with six antennas (ISR=0(dB)) (b) Fig.4-8. extended version of (a) to verity the difference

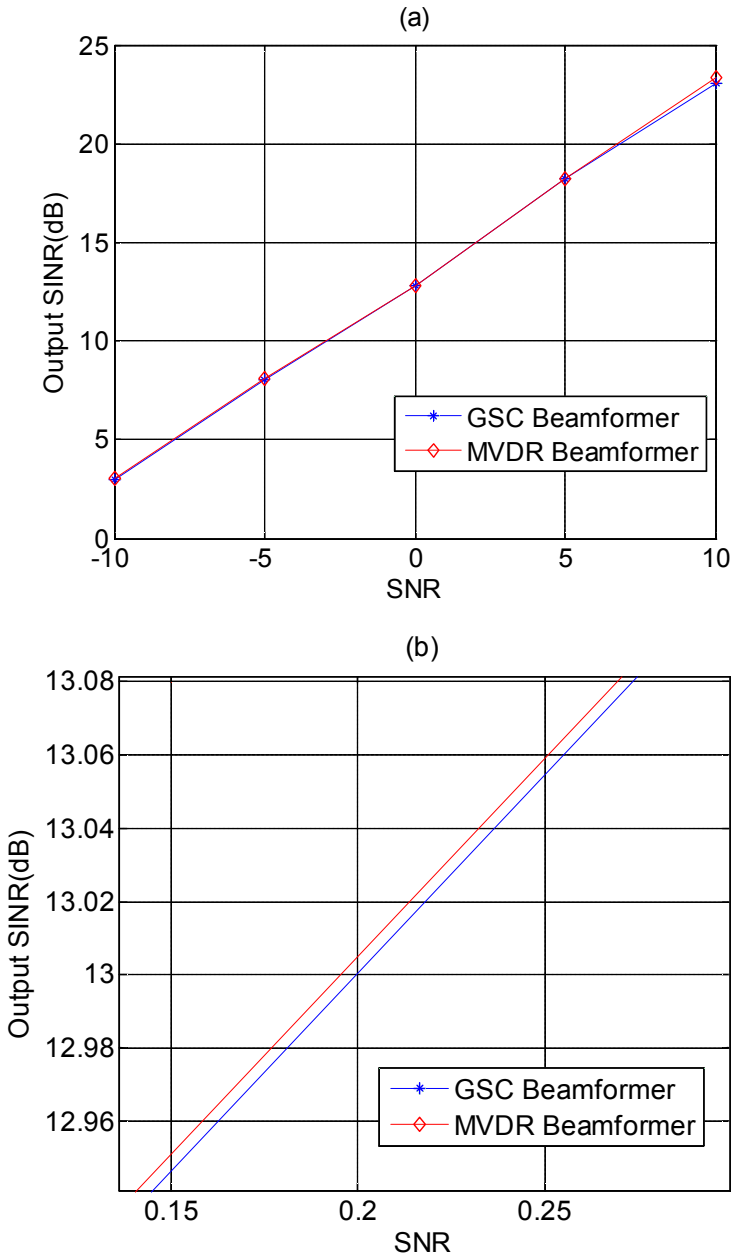


Fig.4-9 (a) Output SINR performance of the GSC beamformer and MVDR beamformer with six antennas (ISR=10(dB)) (b) Fig.4-9. extended version of (a) to verity the difference

제3절 결론

차량사고가 증가함에 따라 사고방지를 위해 전세계적으로 안전보조장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 그 장치 중에 하나인 TPMS는 타이어의 공기압 이상으로 발생되는 교통사고를 미연에 방지하기위한 장치이며, 자동차에서 발생되는 온실가스와 연료소비량을 감소시킨다. 주파수 대역이 TPMS 무선통신 주파수와 비슷한 대역을 사용하는 전자 장비로부터 심각한 간섭으로 인해 TPMS 무선통신 시 정확한 데이터 전송을 받지 못할 가능성이 있다. 이러한 간섭을 제거하기 위하여 본 장에서는 MVDR에 비해 월등히 낮은 복잡도를 보유하고 MVDR과 거의 비슷한 성능을 가지는 적응 GSC 빔형성기 기반의 TPMS 무선수신기 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 시스템의 간섭제거 성능 결과를 확인할 수 있다.

제5장 하이브리드 빔형성기

수신안테나에 수신되는 신호에는 외부로부터 수신된 간섭들이 존재한다. 이러한 간섭들은 상황에 따라 간섭의 개수, 도래각, 전력이 변동되며, 이러한 간섭요소의 변동에 따라 상황에 맞는 TPMS 빔형성기를 사용하여 시스템의 효율을 높이기 위해 앞장에서 제안한 AOA벡터 기반의 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기를 SINR값에 따라 선택적으로 사용하는 하이브리드 빔형성기를 제안한다. 하이브리드 빔형성기는 Fig.1-1과 같이 M개의 안테나를 차량의 중앙에 일렬로 배치하고 각 타이어에 한 개의 송신안테나를 배치하며, 각 타이어에 고유의 골드코드를 부여하는 기본구조를 고려한다.

제1절 하이브리드 빔형성기 구조

본 장에서는 Fig.1-1과 같이 차량의 중앙에 위치한 수신안테나에 수신되는 수신신호의 SINR을 측정하여 일정한 임계값과 비교한 후 AOA벡터 기반의 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기를 선택적으로 사용하여 외부전자장치 신호에 의한 간섭을 제거하고 타이어의 데이터를 정확히 수신하는 TPMS 무선통신방식을 제안한다. 하이브리드 빔형성기는 원하는 방향으로 빔을 형성하여 TPMS 데이터를 수신한다. 수신안테나에 수신되는 신호는 각 타이어의 TPMS 데이터 신호와 외부로 부터의 간섭, 잡음 등을 포함한다. Fig.5-1과 같이 수신신호는 외부 전자장치의 간섭에 의한 정확한 데이터 전송을 방해 받기 때문에 스위칭 빔형성기를 처음에 사용하여 간섭의 영향을 약화시킨다. 스위칭 빔형성기 출력의 SINR이 임계값보다 클 경우 간섭이 제거된 수신신호의 데이터를 해석 후 디스플레이에 표시하여 운전자에게 타이어의 상태를 알려준다. 하지만 측정된 SINR이 임계값보다 작을 경우 빔형성기의 모드를 Fig.5-1과 같이 스위칭 빔형성기에서 MVDR 빔형성기 모드로 전환한다.

1. 스위칭 빔형성기 모드

스위칭 빔형성기는 복잡도가 매우 낮고 일반적인 환경에서의 간섭억제 성능이 우수하므로, 하이브리드 빔형성기의 기본 빔형성기로 사용된다. 즉, SINR이 특정

임계값보다 큰 경우에는 스위칭 빔형성기 모드로 하이브리드 빔형성기가 동작된다.

2. MVDR 빔형성기 모드

스위칭 빔형성기 출력의 SINR이 임계값보다 낮아지는 경우 간섭에 의한 정확한 데이터 수신율이 낮아지므로 원하는 방향으로 빔을 형성하고 간섭이 수신되는 방향으로 null을 형성하여 간섭을 최소화하는 MVDR 빔형성기를 사용한다. MVDR 빔형성기는 간섭제거 성능은 우수하지만 자기상관(autocorrelation)행렬을 계산하여야 하므로 매우 높은 복잡도를 가진다. 본 장에서 제안된 하이브리드 빔형성기는 명확한 장단점을 가지는 두 개의 빔형성기를 사용하여 간섭제거 성능 및 복잡도 효율을 극대화 시킨다.

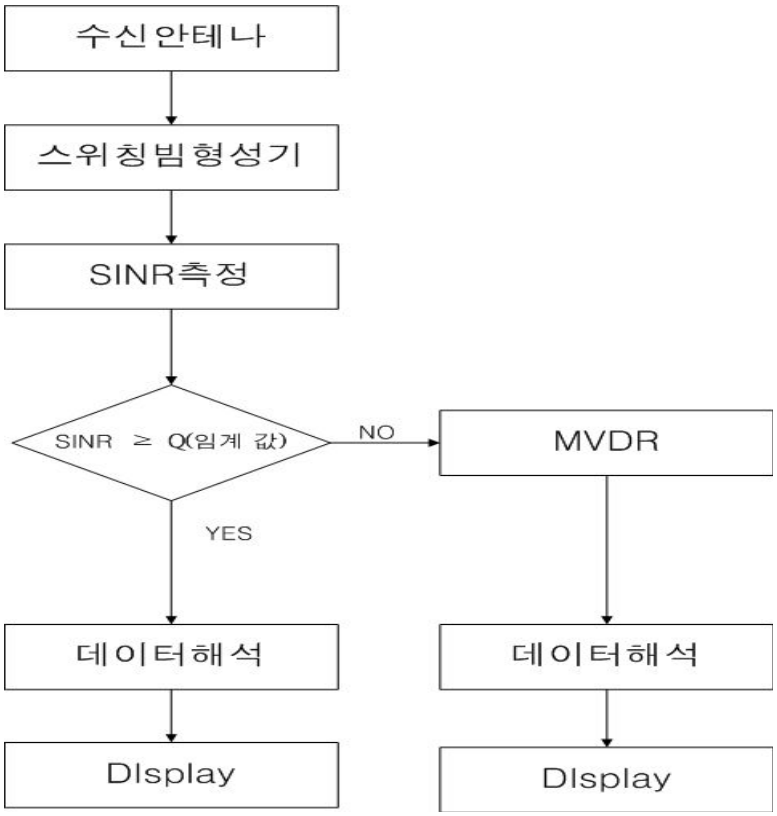


Fig.5-1 Hybrid beamformer structure for TPMS

제2절 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 제안된 스위칭 빔형성기와 MVDR 빔형성기 기반의 하이브리드 TPMS 간섭제거기의 성능확인을 위한 시뮬레이션 결과를 제시한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위하여 차량의 중앙에 네 개의 수신안테나를 사용하고 각 타이어의 TPMS 송신신호에 길이 $N=15$의 골드코드를 부여한다. 수신안테나에 입사되는 외부로부터의 간섭은 세 개가 존재한다고 가정한다. 데이터 신뢰도 99%를 위한 실험에 의한 출력 SINR값은 대략 4.4dB 이상인데, 본 시뮬레이션에서는 이 값을 임계값으로 가정한다[43].

Fig.5-2 ~ Fig.5-5는 하이브리드 TPMS 빔형성기의 성능을 ISR의 값에 따른 SNR 당 출력 SINR의 시뮬레이션 결과이다. Fig.5-2는 ISR=-3(dB)일 경우 출력 SINR값을 보여주는데 SNR=-5(dB)미만인 경우 MVDR 빔형성기 모드로 전환이 된다. 하지만 SNR=-5(dB)이상 일 경우에는 스위칭 빔형성기 모드로도 원하는 SINR 값을 얻을 수 있다. Fig.5-3에서는 ISR=0(dB) 일 경우 시뮬레이션 결과값을 나타내며, SNR=-4(dB)이상의 구간에서는 출력 SINR이 임계값보다 크기 때문에 스위칭 빔형성기 모드를 사용하고 SNR=-4(dB)미만인 구간에서는 SINR이 임계값보다 작아져서 스위칭 빔형성기 모드에서 MVDR 빔형성기 모드로 전환되어 작동하는 결과를 나타낸다. Fig.5-4에서는 ISR=3(dB) 일 경우 시뮬레이션 결과값을 나타내며, SNR=3(dB)이상의 구간에서는 출력 SINR이 임계값보다 크기 때문에 Fig.5-3의 SNR=-4(dB)이상인 구간과 동일하게 스위칭 빔형성기를 사용하고 SNR=3(dB)미만인 구간에서는 SINR이 임계값보다 작아져서 스위칭 빔형성기 모드에서 MVDR 빔형성기 모드로 전환되어 동작하는 결과를 나타낸다. Fig.5-5은 ISR=6(dB)에 대하여 스위칭 빔형성기 출력 SINR 값이 모든 구간에서 임계값보다 작게나와 모든 구간에서 MVDR 빔형성기 모드로 동작한 결과를 나타낸다.

Fig.5-6 ~ Fig.5-8는 특정 SNR값에 대한 ISR 당 출력 SINR의 값의 결과를 보인다. Fig.5-6은 SNR =0(dB)일 경우 ISR 당 출력 SINR의 값을 보여준다. Fig.5-6에서 ISR=5(dB) 구간에서 SINR값이 감소하다가 상승하는 구간이 존재하는데 이 구간은 TPMS 빔형성기가 스위칭 빔형성기 모드로 동작 되다가 SINR이 임계값 이하가 되어 MVDR 빔형성기 모드로 전환되는 결과를 나타낸다. Fig.5-7은 SNR=10(dB)일 경우 ISR 당 출력 SINR의 값을 나타내는데, ISR=3(dB)에서 측정된 SINR값이 임계

값보다 작아져서 MVDR 빔형성기 모드로 전환된 결과를 보인다. 마찬가지로 Fig.5-8에서 SNR=20(dB)일 경우의 ISR 당 출력 SINR의 값을 나타내는데, ISR=3(dB)에서 Fig.5-6, Fig.5-7과 같이 스위칭 빔형성기에서 MVDR빔형성기로 전환되는 결과를 보여준다. Fig.5-6 ~ Fig.5-8에서 SNR이 일정할 경우 ISR이 증가함에 따라 SINR이 임계값보다 작은 구간이 발생하여 스위칭 빔형성기 모드에서 MVDR 빔형성기 모드로 전환되는 것을 확인할 수 있다.

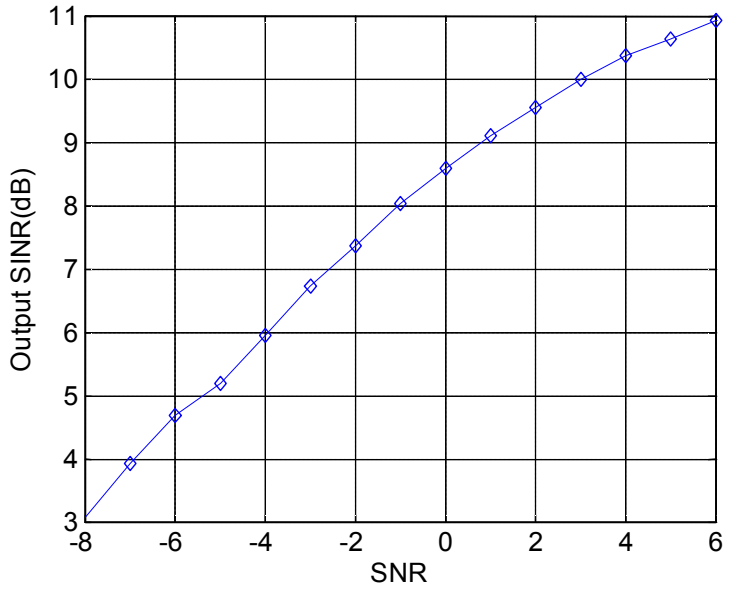


Fig.5-2 Output SINR performance of the Hybrid beamformer
(ISR = -3(dB))

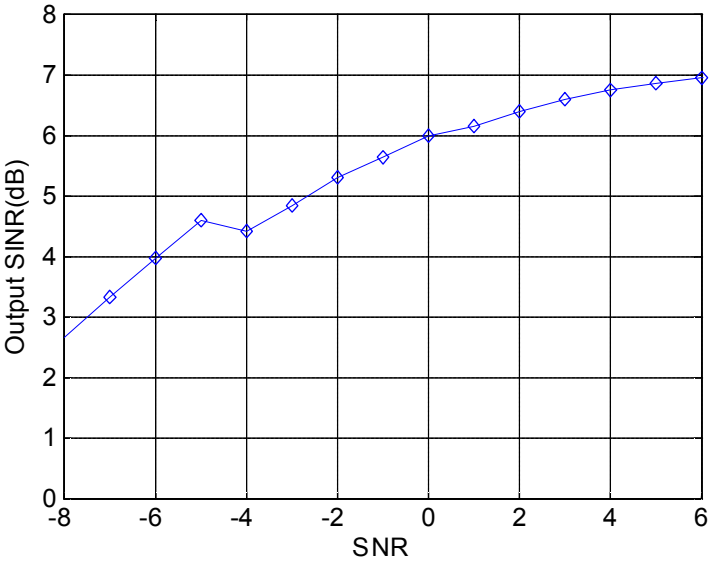


Fig.5-3 Output SINR performance of the Hybrid beamformer (ISR = 0(dB))

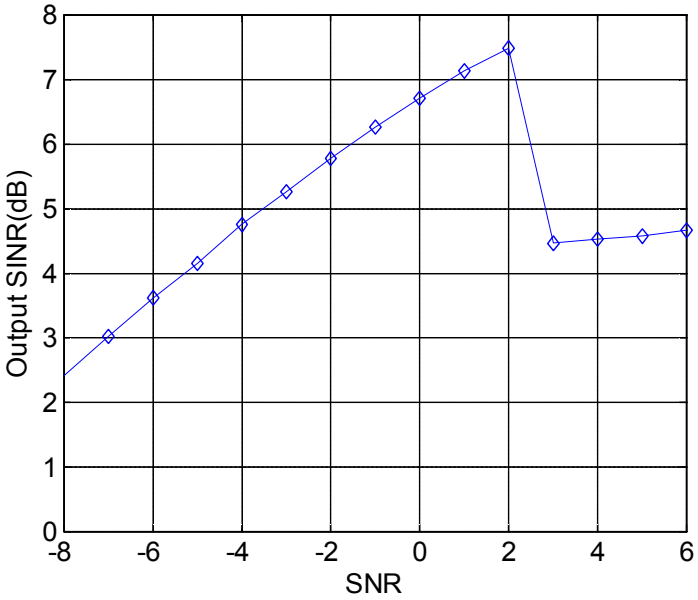


Fig.5-4 Output SINR performance of the Hybrid beamformer (ISR = 3(dB))

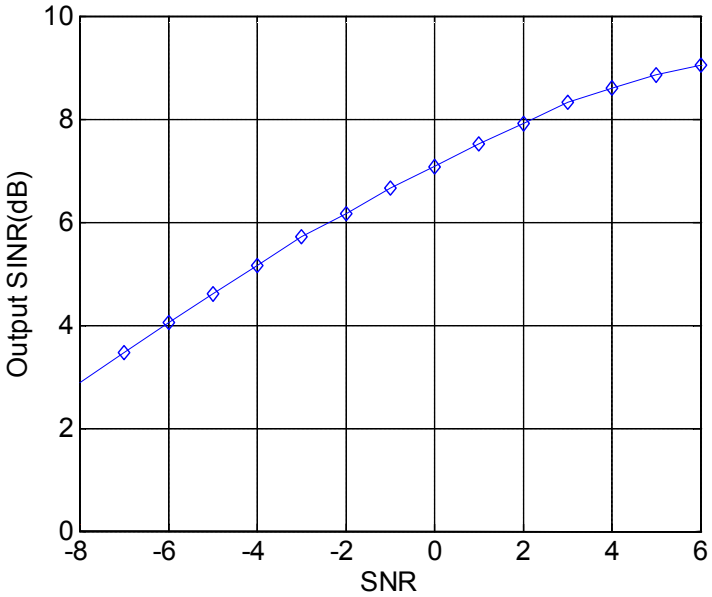


Fig.5-5 Output SINR performance of the Hybrid beamformer (ISR = 6(dB))

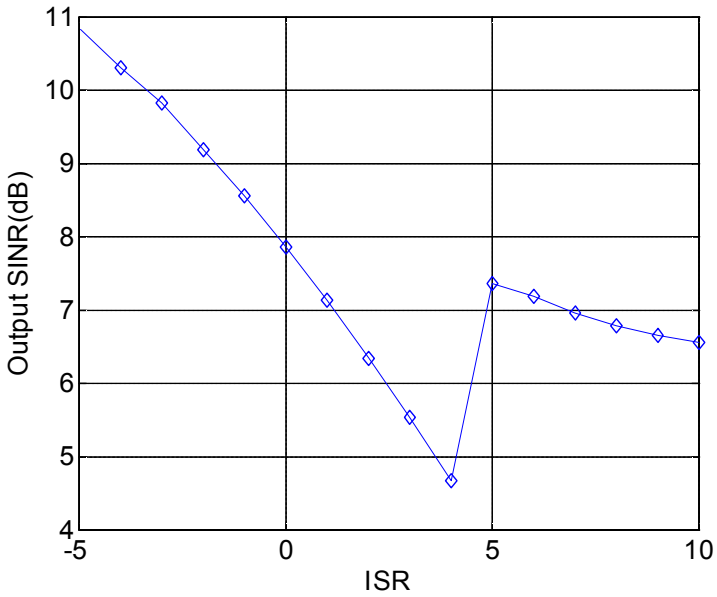


Fig.5-6 Output SINR performance of the Hybrid beamformer (SNR = 0(dB))

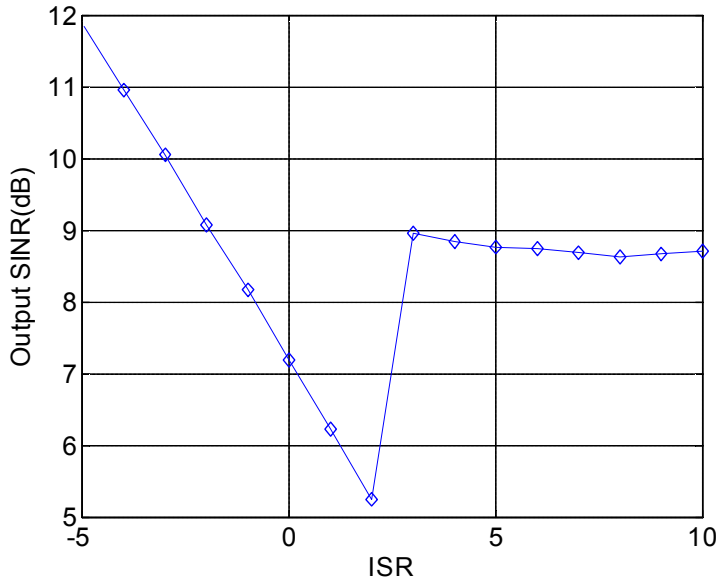


Fig.5-7 Output SINR performance of the Hybrid beamformer (SNR = 10(dB))

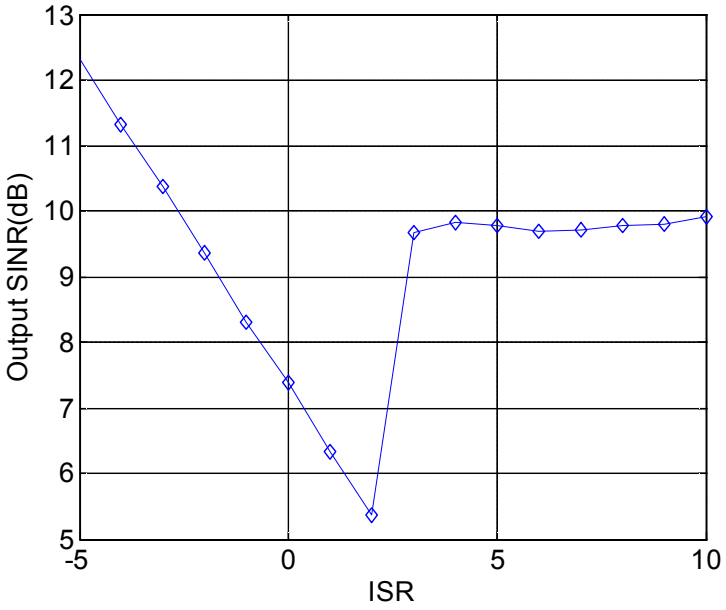


Fig.5-8 Output SINR performance of the Hybrid beamformer (SNR = 20(dB))

제3절 결론

TPMS 무선통신 시 발생하는 간섭들은 TPMS와 비슷한 대역의 주파수들을 사용하는 각종 전기 및 전자장치들로부터 발생되는데 타이어에 장착된 TPMS 센서부에서 신호처리부로 데이터를 송신 시 정확한 데이터 전송에 영향을 미친다. 본 장에서는 이와 같은 외부에서 수신되는 간섭들을 억제하기 위해서 복잡도가 낮고 원하는 방향으로 빔을 형성하는 스위칭 빔형성기와 고전력 간섭제거 성능이 뛰어난 MVDR 빔형성기 기반의 하이브리드 TPMS 빔형성기를 제안하였다. 정확한 데이터 전송을 위해 상황에 따라 최적의 알고리즘을 선택하고 각 타이어에는 골드코드를 부여하여 서로간의 간섭을 제거하고 소비전력을 감소시킨다. 제안된 하이브리드 TPMS 빔형성기는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 출력 SINR이 임계값 이상일 경우 스위칭 빔형성기 모드로 계속해서 사용되고, 임계값 이하일 경우에는 MVDR 빔형성기 모드로 전환이 되는 것을 확인할 수 있다.

제6장 결론

본 연구에서는 TPMS 무선통신 시 각종 전기 및 전자장치들에서 발생하는 간섭들을 제거하여 정확한 데이터를 전송하기위해 여러 종류의 간섭제거기를 제안하고 TPMS 무선통신을 위해 수신안테나를 차량의 중앙에 일렬로 배치하며, 각 타이어에 한 개의 송신안테나를 배치하는 TPMS 수신안테나 구조를 제안하였다.

1. AOA벡터 기반의 스위칭 빔형성기를 TPMS에 적용시켜 원하는 데이터를 수신하려는 타이어의 방향으로만 빔을 형성하여 수신한다. 빔형성기 구조상 한 번에 두 방향으로 빔을 형성하는 특성을 이용하여 오른쪽과 왼쪽 두 방향으로 교대로 빔을 형성하는 방법을 사용한다. 시뮬레이션을 통해 빔형성 패턴과 빔형성기의 성능을 확인하였다.

2. MVDR 빔형성기는 간섭을 제거하는데 탁월한 성능을 발휘하는 고성능 간섭제거기이다. 이러한 MVDR 빔형성기를 각종 전기 및 전자장치들에서 발생하는 간섭들을 제거하기 위하여 TPMS에 적용하였다. MVDR 빔형성기의 간섭제거성능은 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

3. 적응필터의 한 종류인 LMS 알고리즘 기반인 GSC를 TPMS 빔형성기에 사용하는 방식을 제안하였다. GSC 빔형성기는 자기상관행렬을 사용하지 않으므로 MVDR 빔형성기에 비해 낮은 복잡도를 가진다. GSC 빔형성기와 MVDR 빔형성기는 거의 비슷한 간섭제거 성능을 보유하고 있다는 결과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

4. 낮은 복잡도와 원하는 방향으로만 빔을 형성시키는 스위칭 빔형성기의 특성과 높은 복잡도를 갖지만 탁월한 간섭제거성능을 보유하고 있는 MVDR 빔형성기의 장점을 활용하기위해 임계값에 따라 빔형성기 모드가 변하는 하이브리드 빔형성기 방식을 TPMS에 적용하는 방식을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 출력 SINR값 따라 스위칭 빔형성기 모드와 MVDR 빔형성기 모드로 전환되는 것을 확인하였다.

REFERENCES

[1]H. Jiapeng and T. Xiaofeng, “Research on ABS and TPMS merging system based on sliding mode variable structure control system”, International Forum on, ’09. Computer Science-Technology and Applications (IFCSTA ’09), (Chongqing, China), vol 1, pp. 340 - 342, Dec. 2009.

[2]Liuxi Tan, Sheng Liu, Honghai Zhang, Zhiying Gan, 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.

[3]김병우, “타이어 공기압 모니터링 시스템의 판단 로직 설계에 관한 연구,” 한국산학기술학회논문지, Vol 7, No. 3, pp. 285 - 290, June 2006.

[4]천재영, 조평동, “타이어 공기압 감지 시스템 기술 동향,” 전자통신동향분석 제20권, 제6호, pp. 167 - 177, Dec. 2005.

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

[6]최범규, 김도형, 오재근, “TPMS 적용을 위한 가변 정전 용량형 압력센서 개발” 한국센서학회지, Vol 14, No. 4, pp.265-271, 2005.

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

[8]최광명, 황교수, 정완영, “RF 송수신 모듈을 이용한 타이어 압력 모니터링 시

스템(TPMS)의 기초연구” 한국센서학회종합학술대회논문집, Vol 15, No. 1, pp. 167-168, 2004.

[9]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.

[10]정보통신부, “차량용 주파수 분배방안,” 차량용 주파수 분배 공청회, July 2005.

[11]John G. Proakis, Masoud Salehi, Gerhard Bauch, "Contemporary Communication Systems using MATLAB and Simulink", Brooks/Cole Publishing Company, June 2003.

[12]정상배, 이성독, “이동형 단말기를 위한 다채널 입력 기반 비정상성 잡음 제거기,” 한국지능시스템학회 논문지, 제 17권 제7호, pp.945-951, Dec. 2007.

[13]Jungtai Kim, Hyun Jong Yang, and Joohwan Chun, “Sidelobe Suppressing Beamforming Using Linearly Constrained Adaptive Arrays for Low Angle Tracking”, 2008 42nd Asilomar Conference on, pp. 407-410 Oct 2008.

[14]R. A. Monzingo,, and T. W. Miller, "Introduction to Adaptive Arrays", New York: Wiley, 1980.

[15]Seungyeun Yoo, Sangheon Kim, Dae Hee Youn, Chungyong Lee, “Multipath Mitigation Technique Using Null-Steering Beamformer for Positioning System”, IEEE Semiannual, Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring, VOL. 1, pp. 602-605, April 2003.

[16]Suk-Seung Hwang, John J. Shynk, “Multicomponent Receiver Architectures for GPS Interference Suppression," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 42, pp. 489 - 502 Apr. 2006.

[17]Yu Yang, Jiang-Ying Wang ; Zhong-Ke Yin, “A new approach for source localization of wideband signals based on matching pursuit”, ICWAPR '07, Vol. 3, pp. 1020-1025, Nov. 2007.

[18]Alba Pages-Zamora, Josep Vidal, Dana H. Brooks, “Closed-form solution for positioning based on angle of arrival measurements“, Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, VOL. 4, pp. 1522-1526 Sep. 2002.

[19]S. Chandran, Advances in Direction of Arrival Estimation, Artech House, 2006.

[20]M. R. A. Khandaker, Imdadul Islam, M.R. Amin, “Adaptive Beamforming of Linear Array Antenna System with Provision of Sidelobe Cancellation”, ICCIT 2007, pp. 27-29, Dec 2007.

[21]Steven W. Ellingson, “Effects of angle spread in a complex outdoor environment at 2.4 GHz“, Antennas and Propagation Society International Symposium 2003,VOL. 3, pp. 264-267, June 2003.

[22]Yaqin Xie, Yan Wang, Xiaohu You, “Closed-form Location Estimator from TOA/AOA/AOD Measurements in MIMO Communication Systems“, Sarnoff Symposium 2009, pp. 1-6, April 2009.

[23]Benesty J.,Jingdong Chen, Yiteng Huang," A generalized MVDR spectrum,”IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, VOL. 12, NO. 12, pp. 827-830, Dec. 2005.

[24]Emanuël A. P. Habets, Jacob Benesty,Patrick A. Naylor, “A Speech Distortion and Interference Rejection Constraint Beamformer“, IEEE TRANSACTIONS ON AUDIO, SPEECH, AND LANGUAGE PROCESSING,

VOL. 20, NO. 3, pp. 854-867, MARCH 2012.

[25]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.

[26]Seun-gil Kim, Yang-seok Jeong “Array Signal Processing", 토파민, Sep. 2007.

[27]이장식, 박도현, 김정수, 이균경, “부대역을 이용한 MVDR 빔형성기의 주파수 분해능 향상기법,” 한국음향학회지 제21권 제1호 pp.62-6 8, Jan. 2002.

[28]Mehrez Souden, Jacob Benesty, and Sofiène Affes, “A Study of the LCMV and MVDR Noise Reduction Filters“, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 58, NO. 9, pp. 4925-4935, Sept. 2010.

[29]Jacob Benesty, , Jingdong Chen, Yiteng (Arden) Huang, “A Generalized MVDR Spectrum”, IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, VOL. 12, NO. 12, pp. 827-830, DECEMBER 2005.

[30]Ollila. E, Koivunen. V, “Influence Function and Asymptotic Efficiency of Scatter Matrix Based Array Processors: Case MVDR Beamformer”, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 57, NO. 1, JANUARY. 2009.

[31]Dan Li, Qinye Yin, Pengcheng Mu, Wei Guo, “Robust MVDR Beamforming Using the DOA Matrix Decomposition”, 2011 1st International Symposium on Access Spaces (ISAS), pp. 105-110, June 2011.

[32]Jean-Pierre Delmas, Abdelkader Oukaci, “Optimal widely linear MVDR beamforming for noncircular signals”, ICASSP 2009. IEEE International

Conference on, pp. 35673-3576, April 2009.

[33]Sanaz Seyedin, Seyed Mohammad Ahadi, “Robust MVDR-based Feature Extraction for Speech Recognition”, ICICS 2009. 7th International Conference on, pp. 1-5, Dec. 2009.

[34]Y. Lee H.-W. Shieh, “Adaptive decision-feedback generalised sidelobe canceller against desired signal and interference non-stationarity”, Signal Processing, IET, VOL. 5, NO. 5, pp. 488-498, August 2011.

[35]Bernard Widrow, Max Kamenetsky, “On the Statistical Efficiency of the LMS Family of Adaptive Algorithms“, Neural Networks 2003, VOL. 4, pp. 2872-2880, July 2003.

[36]K. M. Buckley and L. J. Griffiths, “An adaptive generalized sidelobe canceller with derivative constraints,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation, VOL. AP-34, No. 3, pp. 311-319, March 1986.

[37]우홍체, “오류 차이를 활용한 가변 스텝 사이즈 LMS 알고리즘”, 한국음향학회지, 28권 23호, PP. 245 - 250, 2009.

[38]B. Widrow and S. D. Stearns, Adaptive Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1985.

[39]Michael Reuter, Kevin Quirk, James Zeidler, Laurence Milstein,“Non-Linear Effects in LMS Adaptive Filters“, Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control Symposium 2000. AS-SPCC. The IEEE 2000, pp. 141-146, 2000

[40]J. An, B. Champagne , “GSC realisations using the two-dimensional transform-domain LMS algorithm“, Radar, Sonar and Navigation, IEE

Proceedings, VOL. 141, NO. 5, pp. 270-278, Oct 1994

[41]Wei Shao, 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

[42]J.S Goldstein, I.S.Reed.and L. L. Scharf, “ A multistage representation of the Wiener filter based on orthogonal projections”, IEEE Treans. on Information Theory, vol, 44, pp. 2943 - 2959,Nov.1998.

[43]김성민, 황석승, “양방향 통신 기반의 TPMS 데이터 신뢰성 판정 기법”,한국전자통신학회 2011 추계종합학술대회지, VOL. 5, NO. 2, pp.167-170, Nov. 2011.

감사의 글

대학원에 재학기간동안 자신의 전공에 대한 공부를 열심히 했지만 졸업논문을 마무리하는 시점에서 자신의 부족함이 아쉬울 따름입니다. 하지만 학위과정을 무사히 마칠 수 있도록 도움을 주신 분들게 감사의 마음을 글로써 전합니다.

본 논문을 완성하는 과정동안 올바른 연구 자세와 연구의 방향과 방법을 지도편달 해주셔서 한사람의 연구자로써 홀로 설수 있는 사람을 만들어주신 황석승 교수님께 진심으로 감사드립니다.

또한, 석사학위 졸업논문의 완성을 위해 교정 및 심사를 해주신 심재기 교수님, 유영태 교수님께 진심으로 감사드립니다.

석사과정동안 기쁘거나 슬프거나 힘들 때 항상 도와주고 함께해준 친구들 김성민, 박효동에게 감사의 말을 전해드립니다. 또한 실험실을 김성민과 함께로 시작하여 선배들이 없는 상황에서도 저희들을 도와주신 열공압 실험실의 윤희성 선배님, 제어계측 실험실의 김승현 선배님, 곽남수 선배님, 박대광 선배님, 복합재료 실험실의 김형석 선배님께 감사의 말을 전합니다. 그리고 대학원에 같이 입학하고 나중에 들어와 여러 가지 일들을 도와주신 양윤석 형, 황찬연, 이가람, 박은경 및 이미 졸업하신 상홍이 누나와 잛은 기간이지만 실험실생활을 같이한 그리슈마에게 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 태어나서부터 지금까지 지금의 제가 있도록 키워주신 부모님께 마음 깊이 감사드립니다.

2021년 6월 적응신호처리 실험실에서.....