



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](#)

2012년 8월

조선학우회

데이브

신민호

근정형

자정현

TPMS

양영환

홍진기

김성민

2012년 8월
석사학위논문

데이터 신뢰도를 고려한
저전력 TPMS 양방향 통신기법

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공)

김 성 민

데이터 신뢰도를 고려한
저전력 TPMS 양방향 통신기법

Low-Power TPMS Duplex Communication Technique
Considering Data Reliability

2012년 8월 24일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공)

김 성 민

데이터 신뢰도를 고려한
저전력 TPMS 양방향 통신기법

지도교수 황 석 승

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2012년 04월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공)

김 성 민

김성민의 석사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 심재기 (인)

위 원 조선대학교 교수 유영태 (인)

위 원 조선대학교 교수 황석승 (인)

2012년 05월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF FIGURES	iv
LIST OF TABLE	vi
ABSTRACT	vii
제1장 서론	1
제1절 연구배경	1
제2절 연구목적 및 방법	3
제2장 저전력 TPMS 무선통신을 위한 양방향 통신	5
제1절 TPMS에 적용된 양방향 무선통신방식	6
1. 양방향 무선통신을 위한 전력 모델	6
2. TPMS 양방향 무선통신을 위한 데이터 구조	6
3. TPMS 양방향 무선통신을 위한 시스템의 기본 알고리즘	8
제2절 컴퓨터 시뮬레이션	10
제3절 결론	12

제3장 양방향 통신 기반의 TPMS 데이터 신뢰성 평가기법	13
제1절 수신신호 모델	13
제2절 유효신호 판정 알고리즘	15
1. TPMS의 유효신호판정을 위한 양방향 무선통신 데이터 구조	15
2. 신호처리부의 유효신호 판정구조	15
3. 센서부의 유효신호 판정구조	17
제3절 컴퓨터 시뮬레이션	19
제4절 결론	21
제4장 TPMS 빔형성 시스템의 복잡도 계산	22
제1절 수신신호 모델	23
제2절 간섭제거를 위한 빔형성기	25
1. 스위칭 빔형성기	25
2. GSC 빔형성기	26
3. MVDR 빔형성기	27
제3절 빔형성기의 계산 복잡도	28
1. 스위칭 빔형성기	28
2. GSC 빔형성기	28

3. MVDR 빔형성기	29
제4절 컴퓨터 시뮬레이션	31
제5절 결론	35
제5장 결론	36
Reference	38

List of Figures

Figure 1.1. Tire Pressure Monitoring System(TPMS)	1
Figure 2.1. Data architecture for duplex TPMS wireless communications	7
Figure 2.2. Basic Flow-chart for duplex TPMS wireless communication system	8
Figure 2.3. Duplex communication transmit data 100 times more in comparison to simplex communications	10
Figure 2.4. Duplex communication transmit data 4 times more in comparison to simplex communications	11
Figure 3.1. Flow-chart of duplex TPMS wireless communication system for determining the effective signal(signal processing unit)	16
Figure 3.2. Flow-chart of duplex TPMS wireless communication system for determining the effective signal(sensor unit)	17
Figure 3.3. Data reliability rate via SINR	19
Figure 3.4. Data reliability rate via SINR(expanded version)	20
Figure 4.1. Beamforming antenna arrangement applied to TPMS	24
Figure 4.2. Comparison of computational complexity via number of samples for convergence. $M=4, N=15$.(Multiplication/Division)	31
Figure 4.3. Comparison of computational complexity via number of samples for convergence. $M=4, N=15$.(Addition/Subtraction)	32

Figure 4.4. Comparison of computational complexity via length of gold code.
 $M=4, K=10$.(Multiplication/Division) 33

Figure 4.5. Comparison of computational complexity via length of gold code.
 $M=4, K=10$.(Addition/Subtraction) 34

List of Tables

Table 3.1. Threshold SINR(dB) values for three data Reliability rates	24
Table 4.1. Performance Comparison of Beamformer	35

ABSTRACT

Low-Power TPMS Duplex Communication Technique Considering Data Reliability

Kim, Seong-min

Advisor : Prof. Hwang, Suk-seung, Ph.D.

Dept. of Advanced parts and materials engineering,

Graduate School of Chosun University

TPMS (Tire Pressure Monitoring System) is a wireless communication device used for vehicle, and can be defined as a safety support system for vehicle operation by efficiently managing information such as the tire pressure and temperature, to maintain the optimal tire operation conditions.

TPMS transmits the data measured by the sensor unit through the wireless communication to the signal processor unit within the vehicle, and a battery is used for such data transmission. On average, the battery life is about 7 years, and the problem is that TPMS itself must be replaced according to the battery life. In order to maximize the power efficiency of batteries used for TPMS, this study suggests a data structure for duplex wireless communication. Computer simulation will verify the performance of technology suggested in this paper.

Because TPMS uses wireless communication, it creates communication failure

due to various noises and interferences when receiving/transmitting data. In order to prevent tire accidents which are directly related to the driver's safety, and improve data reliability for the TPMS wireless communications, this thesis suggests a reliability evaluation method for determining the data reliability by measuring SINR (signal-to-interference and noise ratio) of the received signal at the receiver. The method suggested in this paper will be able to be used widely not only for TPMS but also for duplex communication system based on a sensor. The computer simulation will verify critical SINR values satisfying reliability rates of 95%, 97%, and 99%.

When the data measured at TPMS sensor unit is transmitted to the signal processing unit inside the vehicle, it suffers from various interferences that causes communication failure. In order to remove such interference, some papers have studied for interference suppression by using beamforming technology such as Switching Beamformer, GSC(Generalized Sidelobe Canceler) Beamformer, MVDR(Minimum Variance Distortionless Response) Beamformer, etc. In this paper, the complexity of these beamformers that are effective in removing TPMS interference are calculated to mathematically compare them. The computer simulation will verify the complexity of three beamformers introduced in this paper.

1장 서론

제1절 연구배경

차량의 주행 시 도로 및 외부의 상태에 의해 타이어가 파손되거나 공기압이 낮아지는 현상이 발생한다. 타이어의 공기압이 낮아지면 타이어 파손에 의한 사고 발생 가능성이 커지고, 공기압이 정상일 때 보다 제동성능이 감소하게 된다[1]. 대다수의 운전자들이 이러한 위험을 감지하기 어려워 이로 인해 대형사고로 이어지는 경우가 많다[2]. 이와 같은 문제점의 해결을 위해 많은 자동차 관련 업체들이 타이어에 새로운 기술을 접목시켜 연구개발한 것이 TPMS이다. Fig. 1.1에서 보는바와 같이 TPMS는 차량에 사용되는 무선통신기기의 일종으로 휠 또는 밸브 등 자동차 타이어 내부에 압력 및 온도 센서가 내장된 송신기모듈을 장착하여 타이어 내부의 실시간 온도와 압력 데이터를 측정하여 무선으로 차량 내부에 설치된 신호처리부의 수신기에 전송한다[3]-[5]. 이처럼 TPMS는 타이어의 압력 또는 온도를 확인하여 디스플레이부에 이상 유무를 표시하고 사전에 사고에 대처할 수 있게 하는 안전 보조 시스템으로 정의할 수 있다[6]-[8].

TPMS는 미국이나 유럽 등 여러 나라에서 의무화를 추진하거나 이미 진행된 상태이다. 미국에서는 2007년 9월 이후 판매되는 모든 차량에 TPMS 장착을 의무화하였

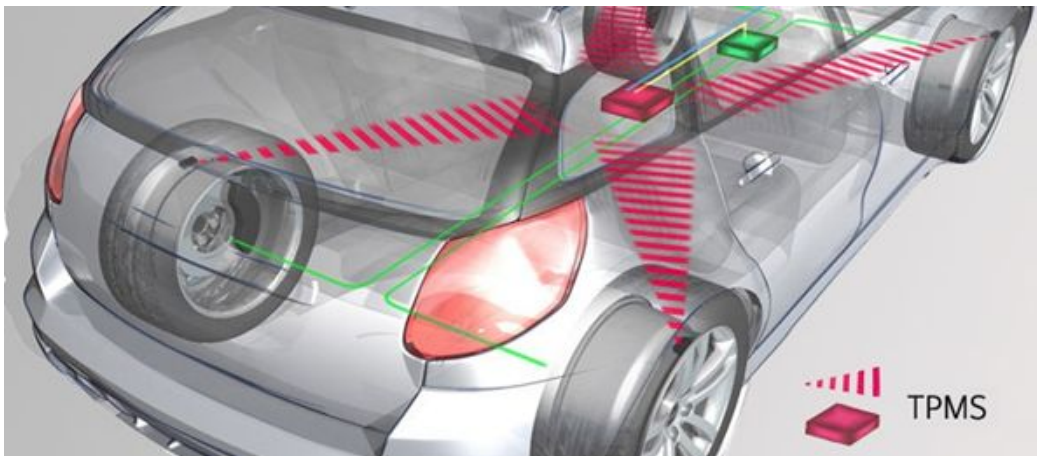


Fig. 1.1. Tire Pressure Monitoring System(TPMS)

고[9]-[12], 이런 의무화로 인해 미국의 연간 교통사고 사망자와 부상자 수가 감소하는 등 여러 긍정적인 결과가 나타났다[13]. 유럽에서도 TPMS의 장착이 사고를 예방해주고, 온실가스가 약 3.2g/km 감소한다는 조사결과를 발표하였다. 서유럽에서는 2012년 말부터 TPMS의 장착을 의무화해 2014년 말 이후로 판매되는 모든 차량에 TPMS가 장착될 예정이다. 국내에서도 2013년 1월 1일부터 새롭게 생산되는 모든 승용차 및 3.5톤 이하 승합화물 특수차량에 TPMS가 의무적으로 장착된다 [14][15].

현재 대부분의 TPMS는 단방향 무선통신 방식을 사용하는데 데이터 송수신 시간섭이나 잡음에 의한 통신장애가 발생한다. 또한, 센서부에서 신호처리부로 주기적으로 데이터를 전송하기 때문에 배터리의 수명이 다하면 TPMS 자체를 교체해야하는 문제점이 있고[16], 데이터 전송 효율성이 낮아 데이터 신뢰성 판정이 쉽지 않은 문제점이 있다. 이러한 근본적인 문제점을 해결하기 위해 기존 단방향 통신 방식을 양방향 통신으로 사용하여 배터리의 수명을 효율적으로 관리하는 것은 물론 기존 TPMS에서 고려하지 않은 우수한 성능의 TPMS 데이터 신뢰 판정기법을 도입하여, TPMS의 일부 단점들을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

제2절 연구목적 및 방법

본 연구에서는 기존 TPMS의 배터리 수명, 데이터 신뢰도 판정 등 단방향 무선통신에서 발생하는 문제점들의 해결방안으로 양방향 TPMS 무선통신을 제안한다. 또한, TPMS 무선통신 시 간섭제거에 효과적인 다양한 빔형성기의 복잡도를 계산하여 비교한다. 이러한 연구 목표를 달성하기위해 세 가지 연구로 나누어 수행하였으며, 연구수행 방법은 다음과 같다.

1. 저전력 TPMS 무선통신 기법 연구

현재 사용되고 있는 TPMS 센서의 수명은 배터리의 한계로 평균 7년 정도인데, 배터리의 수명에 따라 TPMS 자체를 교체해야 하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점의 해결을 위해 저전력 TPMS 무선통신 기법을 제안하여 TPMS의 수명을 보다 효율적으로 연장시키는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 센서부에서 신호처리부로 주기적으로 데이터를 전송하는 단방향 통신 보다는 필요할 때만 데이터를 송신할 수 있는 양방향 무선통신을 위한 데이터 구조를 제안한다.

2. 데이터 신뢰도 판정을 위한 연구

현재 대부분의 TPMS는 단방향 무선통신 방식을 사용하는데 데이터 송/수신 시간섭이나 잡음에 의한 통신장애가 발생하게 된다. 단방향 통신의 경우 데이터 전송 효율성이 낮고 데이터 신뢰성 판정이 쉽지 않은 문제점이 있다. 이와 같은 문제점 해결을 위해 TPMS의 유효신호 판정을 위한 양방향 통신 데이터 구조를 소개하고 양방향 통신 데이터 신뢰성 확보를 위한 기존의 TPMS에서 고려하지 않은 우수한 성능을 가지는 TPMS 데이터 신뢰 판정기법을 제안한다. 제안한 판정기법은 신호처리부에서 수신한 수신신호의 SINR을 판정기법의 기준으로 사용한다.

3. 빔형성기의 복잡도 계산을 위한 연구

현재 사용되는 TPMS의 주파수 대역은 여러 장치에서 비슷한 대역의 주파수 기반의 고출력 신호를 사용하고 있어 무선통신 시 심각한 간섭이 발생할 가능성이 존재한다. 이러한 간섭들을 효율적으로 제거하기 위해 다양한 빔형성기 연구가 진행 중에 있다. 본 연구에서는 간섭제거에 효과적인 스위칭 빔형성기, GSC 빔형성기, MVDR 빔형성기의 복잡도를 계산하고 분석한다. 또한, 각 빔형성기의 복잡도를 비교 분석하여 실제 TPMS에 사용할 경우 소프트웨어 및 하드웨어에 얼마나 많은 영향을 미칠지 판단할 수 있는 근거를 제시한다. 복잡도 계산은 실질적인 연산에 사용되는 사칙연산(덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈)을 기반으로 이루어진다.

제2장 저전력 TPMS 무선통신을 위한 양방향 통신

각 타이어의 휠 또는 밸브 등에 장착된 TPMS는 타이어에 대한 정보 분석과 관리 등을 보다 능동적으로 수행하여 외부로부터의 사고위험을 방지하고[17], 최적의 타이어 주행조건을 유지함으로써 연료소비 절감효과를 얻을 수 있는 전자 제어 장치이다[9][18]-[20]. 자동차의 사고 방지를 위하여 많은 장치들이 고안되었고 여러 국가에서 TPMS의 장착 의무화를 추진하고 있다. 미국의 경우 2007년 9월 이후 4,500kg이하의 모든 차량에 100% 의무 장착을 실시하였고[10][21][22], 국내에서도 2010년 5월 경제운전(Eco-Drive)의 활성화 방안에 대한 일환으로 차량의 안전 기준을 개정하여 2010년 12월까지 TPMS의 안전기준을 마련하였으며, 신규 생산차량은 2013년부터 TPMS 장착 의무화가 진행 중에 있다[23].

ASK(Amplitude-Shift Keying) 또는 FSK(Frequency-Shift Keying)의 무선통신 변조방식[24]을 사용하는 TPMS는 타이어의 변화를 감시하는 간접 방식과 각 타이어의 압력을 센서를 이용해 측정하는 직접 방식으로 구분된다[25]. 현재 사용되는 TPMS의 방식은 직접방식을 주로 사용하는데 이 경우에는 휠에 모듈로 몰딩하여 센서를 부착하므로 전력관리가 필수 요소이다[26][27].

현재 사용되고 있는 TPMS 센서의 수명은 배터리의 한계로 평균 7년 정도인데, 배터리의 수명에 따라 TPMS 자체를 교체해야 하는 문제점을 가지고 있다[16][28]. 본 논문에서는 저전력 TPMS 무선통신 기법을 제안하여 TPMS의 수명을 보다 효율적으로 연장시키는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 센서부에서 신호처리부로 주기적으로 데이터를 전송하는 단방향 통신 보다는 필요할 때만 데이터를 송신할 수 있는 양방향 통신사용을 위한 데이터 구조를 제안한다.

제1절 TPMS에 적용된 양방향 무선통신 방식

1. 양방향 무선통신을 위한 전력 모델

본 장에서는 TPMS 배터리의 전압과 용량에 의해 결정되는 전력과 관련하여 데이터 전송 횟수에 따른 전력의 변화를 나타내기 위한 전력관련 식을 식 (2.1)과 같이 정의한다.

$$P(T) = w \times k \times T \quad (2.1)$$

식 (2.1)에서 k 는 무선통신에서 단위 시간당 데이터를 전송하는 횟수이고, w 는 각 비트 당 전송 시 소모되는 전력이다. 그리고 T 는 시간의 변화량을 나타낸다.

2. TPMS 양방향 무선통신을 위한 데이터 구조

본 절에서는 TPMS 무선통신 시 전력감소에 효율적인 데이터 구조를 제안한다. Fig. 2.1은 제안된 TPMS 무선통신용 데이터 구조를 나타낸다. 현재 상용화되고 있는 TPMS는 대부분이 단방향 통신방식으로 되어있어 센서에서 측정된 값을 주기적으로 수신단에 송신하기 때문에 불필요한 전력을 소비하고 있다. 본 논문에서는 TPMS의 양방향 무선통신 데이터 구조를 사용하는데, 사용자가 필요할 때만 신호를 전송할 수 있어 불필요한 전력 낭비를 줄일 수 있다. 또한, Ack/Nack 데이터 사용 및 E/N 데이터(Emergency/Normal mode 구별 용) 사용이 가능하므로 데이터 신뢰도 향상에 매우 효율적일 것으로 판단된다.

Up-Link는 센서부에서 신호처리부로의 데이터전송을 의미하며, Up-Link의 데이터 구조는 Preamble, Main 데이터, END 등을 포함한다. Down-Link는 신호처리부에서 센서부로의 데이터 전송을 의미하며, Down-Link의 데이터 구조는Ack/Nack, E/N 등을 포함한다.

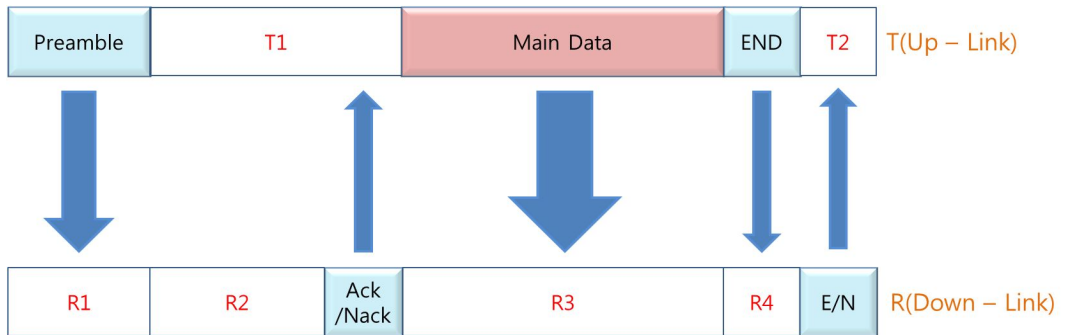


Fig. 2.1. Data architecture for duplex TPMS wireless communications.

저전력 TPMS 무선통신을 위해 제안된 양방향 데이터 구조 요소들은 아래와 같이 정의된다.

- ▶ 프리엠블 : 채널추정, SINR(Signal-to-Interference-Noise Ratio; 신호-대-간섭 및 잡음 비)측정, 동기화 등을 위한 데이터를 포함한다.
- ▶ Main 데이터 : 센서부에서 측정된 압력, 온도 등의 실제 데이터를 포함한다.
- ▶ END : Main 데이터 전송 종료를 알려주기위한 비트이다.
- ▶ Ack/Nack비트 : 전송데이터가 유효한지 아닌지를 판단하여 센서부에 결과를 전송(전송 예 : Ack인 경우 '1' 을 전송하고 Nack인 경우 데이터를 전송하지 않음)한다.
- ▶ T1 : 한 타이어에 대한 reference 신호를 전송할 시, 다른 타이어들에 대한 reference 신호는 전송하지 않고 대기하고 있기 위한 센서부 blank이다.
- ▶ T2 : E/N 비트 수신을 위한 센서부 blank이다.
- ▶ R1 : reference 데이터 수신을 위한 신호처리부 blank이다.
- ▶ R2 : reference 데이터의 타이어별 순환구조전송을 위한 신호처리부 blank이다.
- ▶ R3 : Main data 수신을 위한 신호처리부 blank이다.
- ▶ R4 : END 비트 수신을 위한 신호처리부 blank이다.
- ▶ E/N: Emergency/Normal mode 구별을 위한 비트이다.

양방향 데이터 구조에서는 이러한 요소들 간의 데이터들을 필요에 따라 상호간에 반복적으로 송/수신 한다.

3. TPMS 양방향 무선통신을 위한 시스템의 기본 알고리즘

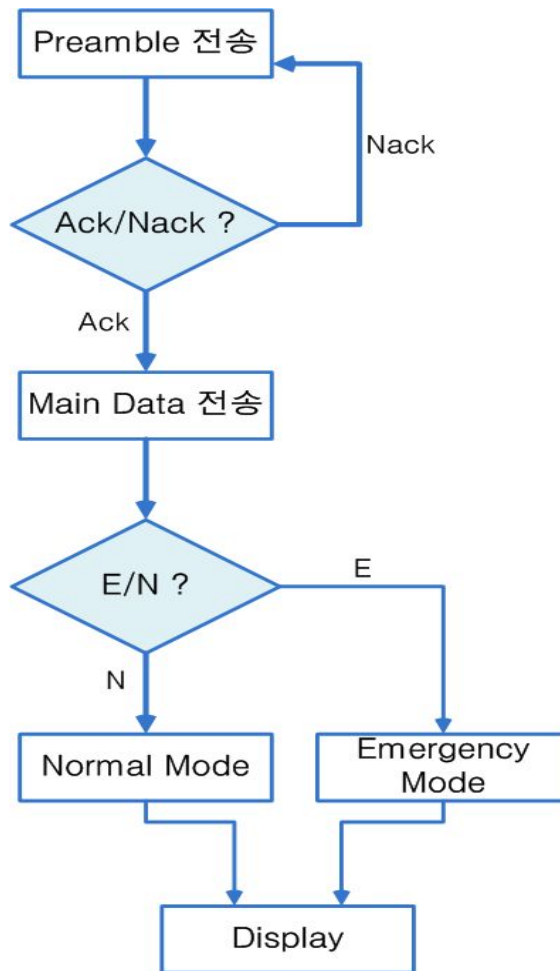


Fig. 2.2. Basic Flow-chart for duplex TPMS wireless communication system.

본 절에서는 TPMS 양방향 무선통신 시스템을 위해 제안된 기본적 순서도를 제시한다. Fig. 2.2는 본 절에서 제안된 순서도를 나타낸 것이다. 센서부로부터 프리앰블을 수신하여 채널추정, SINR측정, 동기화 등을 위해 사용하고, 데이터를 측정하여 신호처리부로 전송하고 수신된 프리앰블 데이터를 이용하여 신호가 유효하다고 판정되면 Ack 신호를 센서부에 전송하여 main 데이터의 전송을 요구하고, 유효하지

않다고 판정되면 신호를 보내지 않고 센서부에서는 Nack 신호로 인식하여 다시 reference 데이터를 전송한다. 수신된 main 데이터는 신호처리부로 전송되어 타이어의 공기압, 온도 등에 대한 이상 유무를 판정(판정의 예로 Normal Mode인 경우 '1' 을 전송하고, Emergency Mode인 경우는 '-1' 을 전송)하게 된다. 타이어의 상태가 정상이라고 판단되면 normal mode를 뜻하는 N신호를 전송하고 normal mode로 동작(예를 들어 1분에 1회 데이터 송신)하고, 이상이 발생했다고 판단되면 emergency mode를 뜻하는 E신호를 전송하고 emergency mode로 동작한다. 이러한 과정을 거친 후, 신호가 신호처리부에서 처리된 데이터 값을 display부로 전송하여 공기압, 온도 등에 대한 값을 display에 표시하게 된다.

제2절 컴퓨터 시뮬레이션

본 절에서는 제안된 TPMS를 위한 양방향 무선통신 시스템의 효율적인 전력감소 성능을 확인하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션을 위해 양방향일 때는 120초 동안 n번의 데이터를 전송하였고, 단방향일 때는 일반적인 경우를 고려하여 매초마다 데이터를 전송하는 것으로 가정하였다. 배터리의 전력은 전송되는 데이터를 이용하여 데이터 패킷 당 전송 시 소모되는 전력을 단방향과 양방향 무선통신 시스템에서의 전력 사용량으로 나타내었다.

Fig. 2.3은 송신전력(Watt)이 0.317mW이고 데이터를 100번 전송 하였을 경우, 단방향과 양방향 통신에서 시간의 증가에 따른 전력의 사용량에 대한 성능을 비교하여 나타낸 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 제안된 양방향 무선통신을 사용하였을 경우의 전력 사용량이 단방향 무선통신을 사용하였을 때보다 시간이 지날수록 감소량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2.4는 송신전력(Watt)이

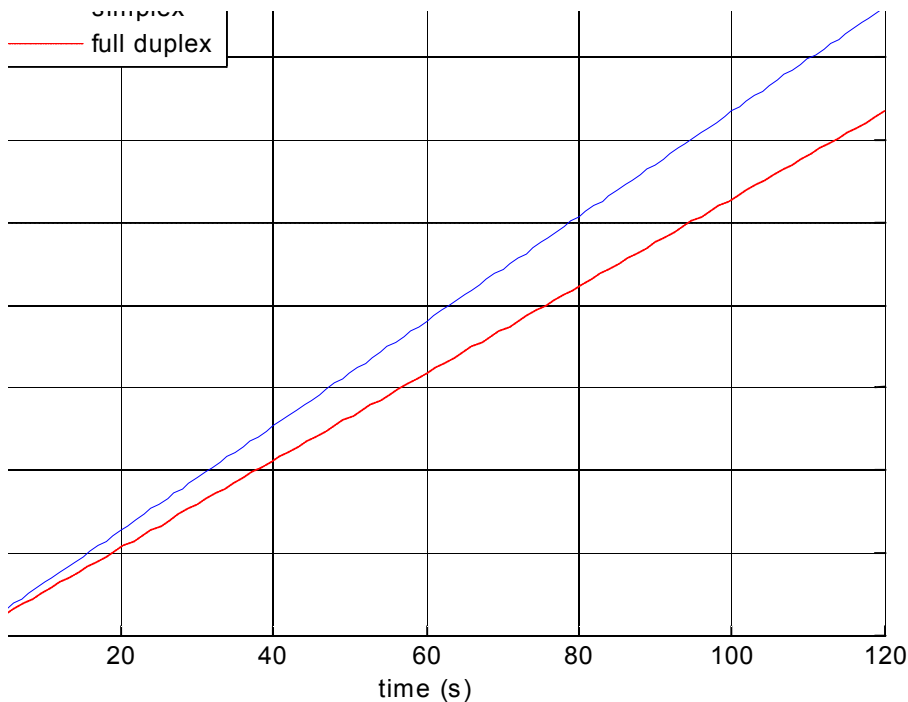


Fig. 2.3. Duplex communication transmit data 100 times more in comparison to simplex communications.

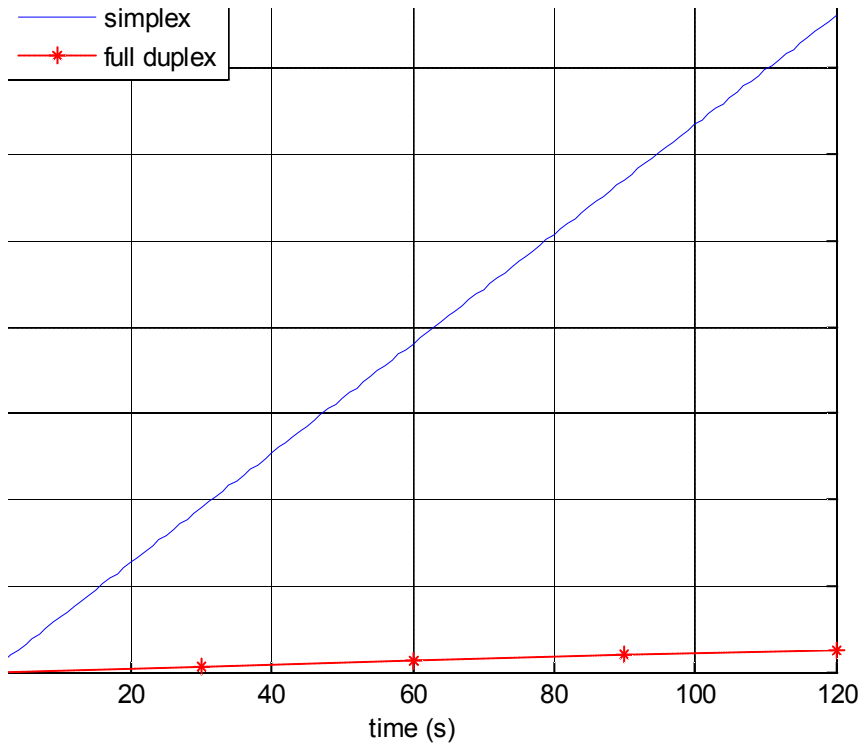


Fig. 2.4. Duplex communication transmit data 4 times more in comparison to simplex communications.

0.317mW이고 데이터를 4번 전송하였을 경우, 단방향과 양방향 통신에서 시간의 증가에 따른 전력의 사용량에 대한 성능을 비교하여 나타낸 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 양방향 무선통신을 사용하였을 경우의 전력 사용량이 단방향 무선통신을 사용하였을 때보다 시간이 지날수록 전력감소량이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2.3과 Fig. 2.4를 통해 확인할 수 있듯이 단방향일 때는 데이터를 매초마다 전송하는데 반해, 양방향통신에서는 사용자가 필요할 경우에만 데이터를 전송하기 때문에 전력소비 면에서 보다 효율적임을 알 수 있다.

제3절 결론

전 세계적으로 의무화를 추진하고 있는 TPMS의 중요성은 한층 더 부각되고 있으며, 고성능의 TPMS를 위해 센서의 강력한 내구성과 높은 전력 효율성이 요구되고 있다. 이러한 무선통신을 이용하는 TPMS를 효율적으로 활용하기 위하여 배터리의 저전력 통신에 대한 연구가 필요하다. 현재 국내에서 사용되고 있는 TPMS의 수명은 5년에서 7년 정도인데, 배터리의 수명이 종료되면 TPMS 자체를 교체해야하는 문제점이 있다. 효율적인 배터리의 전력사용을 위해 본 논문에서는 기존의 단방향 무선통신방식에서 사용하던 기술에 비해 효율적인 양방향 무선통신방식을 사용하여 필요할 때만 전력을 사용하는 양방향 무선통신 시스템을 고려하였고, 이에 따른 시스템의 효율적인 데이터 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 양방향 통신시스템의 전력사용 효율성을 확인할 수 있다.

제3장 양방향 통신 기반의 TPMS 데이터 신뢰성 평가기법

현재 대부분의 TPMS는 단방향 무선통신 방식을 사용하는데 데이터 송/수신 시간섭이나 잡음에 의한 통신장애가 발생하게 된다. 단방향 통신의 경우 데이터 전송 효율성이 낮고 데이터 신뢰성 판정이 쉽지 않은 문제점이 있다. 이와 같은 문제점 해결을 위해 본 장에서는 TPMS 양방향 통신 데이터 신뢰성 확보를 위한 기존에 고려하지 않은 우수한 성능을 가지는 TPMS 데이터 신뢰성 판정기법을 제안한다. 본 장에서 제안한 판정기법은 신호처리부에서 수신한 수신신호의 SINR을 판정기법의 기준으로 사용한다.

제1절 수신신호 모델

TPMS의 유효신호 판정을 위해 본 장에서는 양방향 통신 기반의 TPMS 데이터 신뢰성 평가를 위한 수신신호 모델을 제시한다. 각종 간섭과 잡음을 포함한 수신신호 모델은 식 (3.1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}_i(k) = x_i(k) + s(k) + n(k) \quad (3.1)$$

식 (3.1)에서 $x_i(k)$ 는 i 번째 타이어에 대한 전송신호를 나타내고, $s(k)$ 는 간섭신호, $n(k)$ 는 i.i.d(independent and identically distributed) 원소로 구성되어있는 '0' 과 σ^2 를 각각 평균과 분산으로 가지는 AWGN(additive white Gaussian noise; 백색 가우시안 잡음)을 뜻한다. 식 (3.1)에서 $s(k)$ 간섭신호의 수식은 식 (3.2)와 같이 나타낸다.

$$s(k) = \sum_{j=1, j \neq i}^4 x_j(k) + \sum_{l=1}^L s_l(k) \quad (3.2)$$

식 (3.2)에서 $x_j(k)$ 는 i 번째 타이어의 다른 타이어에 대한 간섭신호를 나타내고, $s_l(k)$ 는 l 번째 간섭신호, L 은 간섭신호의 총 개수를 나타낸다. 식 (3.3)은 SINR 계산을 위한 수식을 나타낸다[29].

$$SINR = 10 \log_{10} \left(\frac{S.Power}{N.Power + I.Power} \right) \quad (3.3)$$

식 (3.3)에서 $S.Power$ (Signal Power)는 각 타이어에서 전송한 신호전력, $N.Power$ (Noise Power)는 잡음전력, $I.Power$ (Interference Power)는 간섭전력을 뜻한다.

제2절 유효신호 판정 알고리즘

본 절에서는 Fig. 2.1의 양방향 무선통신 데이터 구조에 대해 간단히 소개하고, TPMS의 유효신호 판정 알고리즘을 포함한 양방향 TPMS 통신 시스템을 제시한다.

1. TPMS의 유효신호판정을 위한 양방향 무선통신 데이터 구조

현재 대부분의 TPMS는 단방향 무선통신방식을 사용하는데, 주기적으로 수신 단에 데이터를 송신하는 방식이다. Fig. 2.1에서 소개한 양방향 통신 데이터 구조는 사용자가 필요할 때만 신호를 전송하고, Ack/Nack 및 E/N 데이터(Emergency/Normal mode 구별을 위한) 사용이 가능하므로 유효신호판정을 위한 양방향 데이터 구조는 이러한 요소의 데이터들을 필요에 따라 신호처리부와 센서부의 상호간에 반복적으로 송/수신하고 유효신호판정을 통해 효과적인 신뢰성 확보를 가능하게 한다.

2. 신호처리부의 유효신호 판정구조

Fig. 3.1은 제안된 유효신호판정을 위한 양방향 TPMS 통신 시스템의 기본 순서도(신호처리부)를 나타낸다. 센서부에서 수신된 reference 데이터를 이용하여 SINR을 측정하고, 측정된 SINR이 임계값과 비교하여 크다고 판정되면 유효신호인 Ack 신호를 센서부에 전송하여 main 데이터 전송을 요구한다. 반대로 측정된 SINR이 임계값과 비교하여 작다고 판정되면 신호를 보내지 않고 센서부에서 유효하지 않은 신호인 Nack로 인식하여 다시 reference 데이터 전송을 요청한다. 이렇게 수신된 main 데이터를 신호처리부에서 처리하여 타이어 상태에 대한 이상 유무를 판정하고, 여기서 판정된 main 데이터를 통해 타이어의 상태가 정상이라고 판단되면 normal mode를 나타내는 정상신호인 N신호(“1”)를 전송하고 정상상태를 나타내는 normal mode(예를 들어 1분에 1회 데이터 수신)로 동작한다. 반대로 타이어의 상태가 정상이 아니라고 판단되면 emergency mode를 나타내는 위험신호인 E신호(“-1”)를 전송하고 위험상태를 나타내는 emergency mode(예를 들어 1초에 1회

데이터 수신)로 동작한다. 신호처리부에서 처리된 데이터 값은 display부로 전송되어 타이어 상태를 운전자가 직접 확인한다.

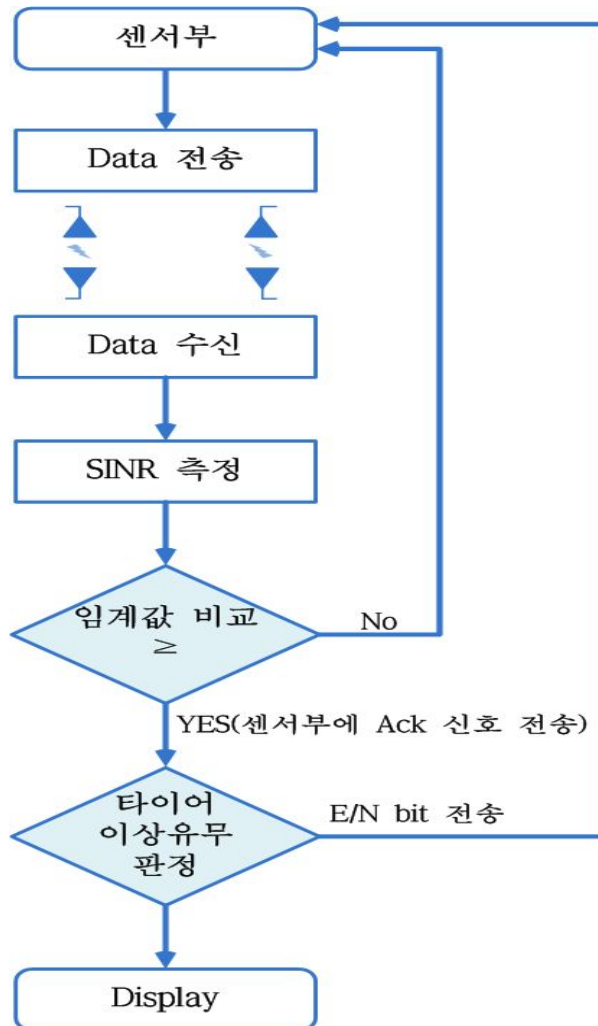


Fig. 3.1. Flow-chart of duplex TPMS wireless communication system for determining the effective signal (signal processing unit).

3. 센서부의 유효신호 판정구조

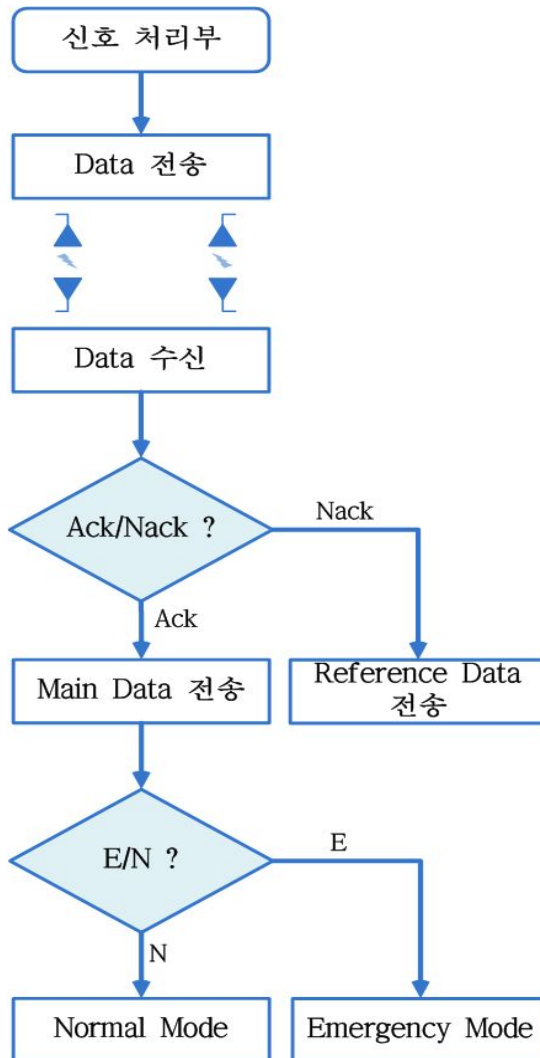


Fig. 3.2. Flow-chart of duplex TPMS wireless communication system for determining the effective signal (sensor unit).

Fig. 3.2는 제안된 유효신호판정을 위한 양방향 TPMS 통신 시스템의 기본 순서도(센서부)를 나타낸다. 신호처리부로부터 Ack/Nack신호 또는 E/N신호 등을 수신하게 되는데 Ack 신호(“1”)가 수신되면 main 데이터를 신호처리부로 전송하고, Nack 신호(무신호)가 수신되면 reference 데이터를 다시 신호처리부로 전송한다. main 데이터에서 전송된 신호가 N신호(“1”)로 판정되면 normal mode로 동작(예를 들어 1분에 1회 데이터 전송)하고, E신호(“-1”)로 판정되면 emergency mode로 동작(예를 들어 1초에 1회 데이터 전송)한다.

제3절 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 제안된 유효 데이터 판정기법에 대한 SINR 임계값을 결정하기 위한 시뮬레이션 결과를 제시한다.

Fig. 3.3은 수신신호의 SINR 당 데이터 신뢰도를 나타낸다. 그림에서 수신신호의 SINR이 증가할수록 데이터 신뢰도가 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 SINR이 증가하면 간섭 및 잡음신호의 전력에 비해 송신신호의 전력이 증가하여 BER(bit error rate)이 감소한다는 사실과 부합된다. 본 논문에서는 세 가지 유효한 데이터 신뢰도 값으로 95%, 97%, 99%를 고려한다. Fig. 3.3에서는 고려한 신뢰도를 만족하는 SINR 임계값을 확인하기 어려워, 확대된 버전을 Fig. 3.4에서 제시하였다. Fig. 3.4를 통해 95%의 데이터 신뢰도를 만족하는 SINR 임계값은 약 1.3(dB)이고, 97%에 대한 SINR 임계값은 약 2.5(dB), 99%에 대한 SINR 임계값은 약 4.3(dB)임을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과는 표 3.1에 요약되어 있다.

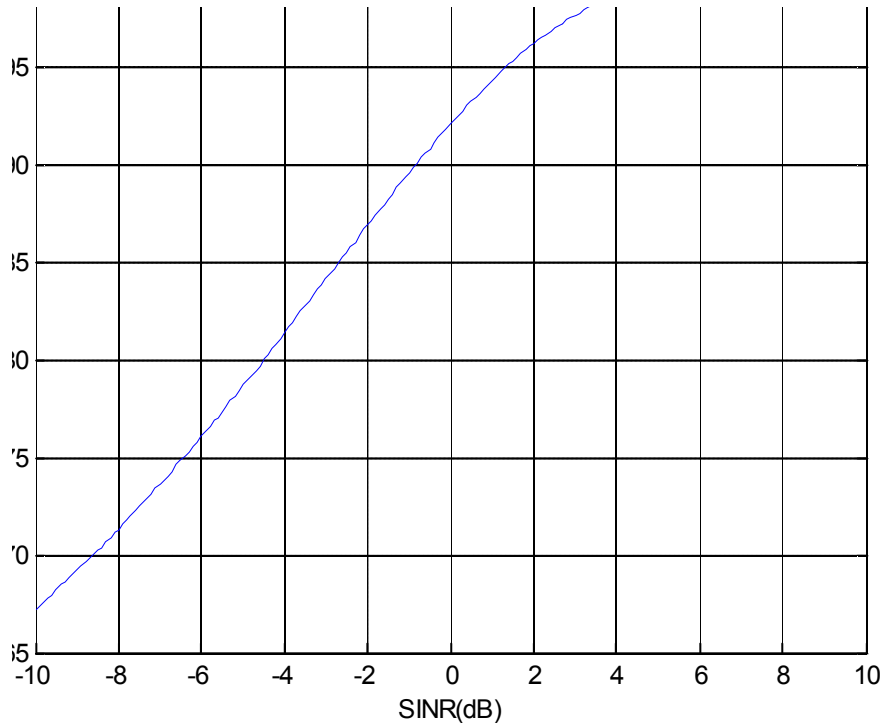


Fig. 3.3. Data reliability rate via SINR.

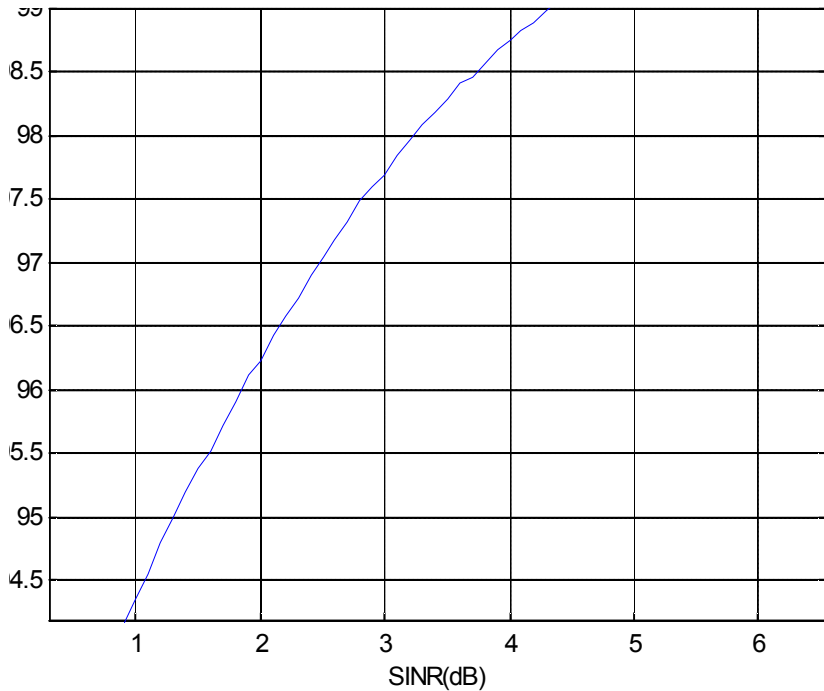


Fig. 3.4. Data reliability rate via SINR(expanded version).

데이터 신뢰도(%)	임계 SINR(dB)값
95 %	1.3 dB
97 %	2.5 dB
99 %	4.3 dB

Table 3.1. Threshold SINR(dB) values for three data Reliability rates.

95%의 데이터 신뢰도를 요구하는 TPMS의 경우 수신신호의 SINR 은 1.3(dB) 이상을 유지하여야 하고, 1.3(dB) 이하의 SINR이 측정되면 Nack신호를 신호처리부에서 센서부로 전송하여 다시 reference 신호의 전송을 요청한다. 97%를 요구하는 경우에는 수신신호의 SINR이 2.5(dB) 이상을 유지하여야 하고, 그 이하의 값이 측정되면 reference 신호의 전송을 센서부에 요청한다. 마찬가지로 99%의 데이터 신뢰도를 요구하는 TPMS의 경우 수신신호의 SINR은 4.3(dB) 이상을 유지하여야 하고, 그 이하의 값이 측정되면 Nack신호를 센서부에 전송하여 reference 신호의 재전송을 요청한다.

제4절 결론

현재 전 세계적으로 TPMS 의무화를 추진 중이며, 국내에서도 의무화를 추진하고 있어 TPMS의 중요성은 차량 안전시스템 중 많은 비중을 차지한다. TPMS는 무선통신을 이용하므로 데이터 송/수신 시 각종 간섭이나 잡음에 의한 영향으로 이들 정보에 대한 신뢰성확보가 필수적이다. 이러한 TPMS의 데이터 신뢰성 확보를 위해 TPMS 무선통신 시스템의 문제점들을 보완하고 효율적으로 사용할 수 있는 유효신호판정 기법 개발이 요구되고 있다. 본 논문에서는 기존 TPMS에서 사용된 단방향 무선통신방식에서 발전된 양방향 무선통신방식 기반의 무선통신 시스템을 고려하였고, 이에 따른 시스템의 효율적인 유효신호판정 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 유효신호판정기법은 수신신호의 SINR을 측정하여, 측정된 SINR이 임계값보다 크면 유효신호로 판정하여 main 데이터 전송을 신호처리부에 요구하고, 임계값보다 작으면 유효한 신호로 판정하지 않고 다시 reference 데이터 전송을 요구하는 것을 기본으로 한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 다양한 데이터 신뢰도(95%에서 약 1.3dB, 97%에서 약 2.5dB, 99%에서 약 4.3dB)를 만족하는 SINR 임계값을 결정하였다.

4장 TPMS 빔형성 시스템의 복잡도 계산

TPMS는 타이어의 휠이나 밸브 등에 장착된 센서가 타이어 내부의 압력, 온도, 움직임 등의 측정된 정보를 무선으로 송신하고, 실시간으로 타이어 압력 및 온도 등의 상태를 운전자에게 알려줌으로써 타이어 공기압과 관련된 예기치 못한 사고를 사전에 방지하는데 도움을 주는 장치이다[22]. 차량의 타이어 공기압이 낮아지면 타이어 수명도 비슷한 수치로 줄어들고, 연료소비량은 증가한다[18]. 또한, 제동성능이 저하되고 타이어 파열사고 원인의 절반 이상이 타이어 공기압 저하에서 비롯된다는 통계도 있다. 국내에서는 TPMS의 주파수 대역으로 433.92MHz와 447MHz를 주로 사용하는데, 미국이나 유럽 등 여러 나라에서 433.92MHz의 주파수 대역을 사용하므로[30] 수출 경쟁력을 고려하여, 433.92MHz 주파수 대역의 TPMS 국내 개발이 활발히 이루어져야 할 것으로 판단된다. 하지만 국내에서는 RKE(Remote Keyless Entry), 아마추어 무선국, 컨테이너 관리를 위한 RFID 장치 등이 433.92MHz와 비슷한 대역의 주파수 기반의 고출력 신호를 사용하고 있어 무선통신 시 심각한 간섭이 발생할 가능성이 크다[31]. 이러한 다양한 간섭들을 효율적으로 제거하기 위해 스위칭 빔형성기[32], GSC 빔형성기[33], MVDR 빔형성기[34] 등 다양한 연구가 진행 중에 있다.

본 장에서는 대표적으로 연구가 진행 중인 세 가지 빔형성기들의 복잡도를 계산하고 분석한다. 각 빔형성기의 복잡도를 비교 분석하여 실제 TPMS에 사용할 경우 소프트웨어 및 하드웨어에 얼마나 많은 영향을 미칠지 판단할 수 있는 근거를 제시한다. 본 논문에서의 복잡도 계산은 실질적인 연산에 사용되는 사칙연산(덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈)을 기반으로 이루어진다.

제1절 수신신호 모델

본 장에서는 빔형성 기반의 TPMS 수신신호 모델을 제시한다. TPMS에 빔형성 기술을 적용시키기 위해 자동차 중앙에 안테나를 일직선으로 배치시켜 각 타이어에 부착된 송신 안테나에서 전송된 데이터를 수신하는 안테나 구조를 제안한다. 제안된 수신 안테나의 구조는 Fig. 4.1과 같이 M 개의 배열 요소를 가지며, TPMS 수신신호는 샘플 인덱스 k 와 i 번째 타이어에 대하여 식 (4.1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}_i(k) = \mathbf{a}_i x_i(k) b_i(k) + \mathbf{A} \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k), \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (4.1)$$

식 (4.1)에서 \mathbf{a}_i 는 $M \times 1$ 크기의 i 번째 타이어 신호에 대한 어레이 응답 벡터이고, $x_i(k)$ 는 i 번째 타이어에 대한 사이클로스테이셔너리(cyclostationary) 골드코드(길이 N)이며[35], $b_i(k)$ 는 한 사이클 동안 일정한 값을 가지는 측정된 데이터 비트(bit)이다. \mathbf{A} 는 $M \times L$ 크기의 간섭신호에 대한 어레이 응답 행렬을 나타낸다. 여기서 L 은 TPMS 통신에 간섭을 미치는 간섭신호의 수를 나타낸다. $\mathbf{s}(k)$ 는 크기 $L \times 1$ 의 간섭신호들로 이루어진 간섭신호 벡터를 나타낸다. $\mathbf{n}(k)$ 는 i.i.d(independent and identically distributed) 원소로 구성되어있는 '0' 과 σ^2 을 각각 평균과 분산으로 가지는 AWGN(additive white Gaussian noise; 백색 가우시안 잡음)을 뜻한다.

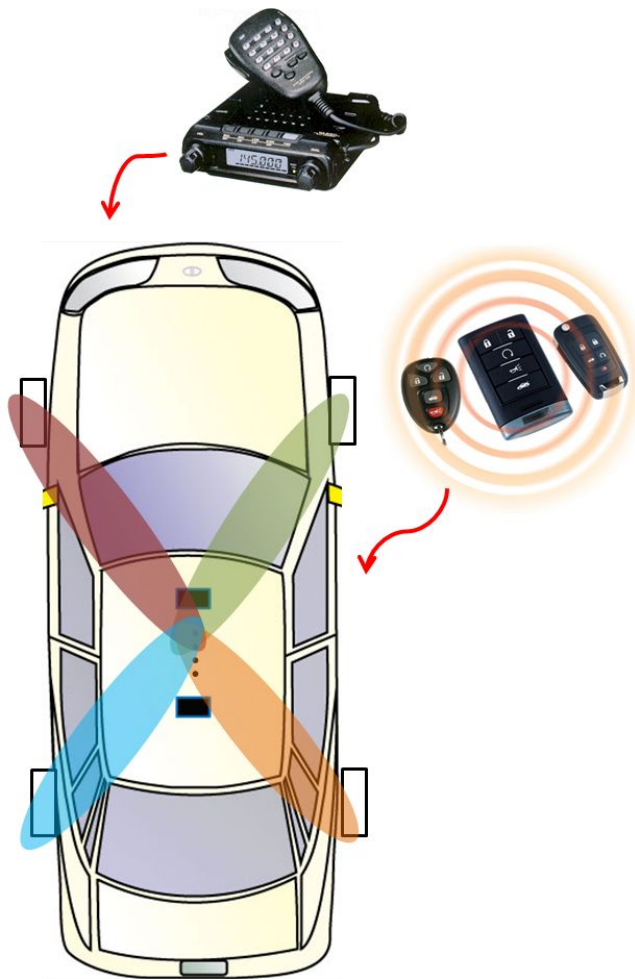


Fig. 4.1. Beamforming antenna arrangement applied to TPMS

제2절 간섭제거를 위한 빔형성기

본 장에서는 TPMS의 간섭제거에 우수한 성능을 가지는 세 가지 빔형성기(스위칭 빔형성기, GSC 빔형성기, MVDR 빔형성기)에 대해 소개한다.

1. 스위칭 빔형성기

스위칭 빔형성기는 외부로부터의 간섭을 최소화하고 센서부에서 측정된 데이터의 정확한 수신을 위해 각 타이어의 송신안테나로부터 차량 내부 수신안테나로의 AOA(Angle-of-Arrival) 벡터를 기반으로 하는 일반적인 빔형성기를 교대로 사용하는 방법을 고려한 기법이다. 빔형성기 가중치에 의한 각 타이어에 대한 빔형성기 출력은 식 (4.2)와 같이 주어진다[36].

$$y_i(k) = \mathbf{w}_i^H \mathbf{r}(k) \quad (4.2)$$

식 (4.2)의 빔형성기 출력 $y_i(k)$ 는 원하는 타이어의 TPMS 데이터 신호와 잡음, 그리고 작은 전력의 억제된 간섭 신호를 포함한다. 또한, 식 (4.2)의 빔형성기 가중치 벡터는 스위칭 빔형성기의 경우 식 (4.3)과 같이 나타낸다[37].

$$\mathbf{w}_i = \frac{\mathbf{a}_i(\phi)}{\sqrt{\mathbf{a}_i^H(\phi) \mathbf{a}_i(\phi)}} \quad (4.3)$$

식 (4.3)에서 i 번째 타이어에 대한 AOA 벡터는 $\mathbf{a}_i(\phi)$ 로 나타내고, H 는 켈레복소수 전치(transpose)를 나타낸다. 식 (4.3)은 i 번째 타이어에 대해 크기 '1'의 빔팩터(beam factor)를 생성하고, SIR(signal-to-interference ratio)값을 향상시킨다.

2. GSC 빔형성기

GSC 빔형성기는 MVDR 빔형성기와 비슷한 간섭제거 성능을 보유하면서 자기상관 행렬 계산이 필요하지 않아 MVDR 빔형성기에 비해 낮은 복잡도를 가지는 효율적인 간섭제거기이다. GSC 빔형성기 가중치 벡터를 구하기 위한 주요식은 아래와 같이 요약할 수 있다. GSC 빔형성기의 경우 i 번째 타이어에 대한 가중치 벡터는 식 (4.4)와 같이 주어진다.

$$\mathbf{w}_i(k) = \frac{1}{M} \mathbf{a}_i - \mathbf{K} \mathbf{w}_{g_i}(k) \quad (4.4)$$

식 (4.4)에서 $\mathbf{w}_{g_i}(k)$ 는 LMS 알고리즘에서 시간에 따라 적응되는 $(M-1) \times 1$ 크기의 가중치 벡터이고, \mathbf{K} 는 $M \times (M-1)$ 크기를 가지는 \mathbf{a}_i 의 left null space 행렬이다. i 번째 타이어에 대한 GSC의 LMS 알고리즘 가중치 벡터는 식 (4.5)에 의해 계산된다[38].

$$\mathbf{w}_{g_i}(k+1) = \mathbf{w}_{g_i}(k) + 2\mu z(k) \mathbf{y}^*(k) \quad (4.5)$$

μ 는 스텝사이즈 매개변수로서 $0 < \mu$ 이고, $z(k)$ 는 입력신호 벡터, $\mathbf{y}(k)$ 는 추정오류이며, 식 (4.6)과 같다.

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{z}_i(k) - h(k) \quad (4.6)$$

$\mathbf{z}_i(k)$ 는 LMS 알고리즘의 reference 신호와 같은 기능을 가지며 식(4.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{z}_i(k) = \frac{1}{M} \mathbf{a}_i^H \mathbf{r}_i(k) \quad (4.7)$$

LMS 알고리즘의 출력 $h(k)$ 는 식 (4.8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(k) = \mathbf{w}_{g_i}^H(k)z(k) \quad (4.8)$$

$z(k)$ 는 $(M-1) \times 1$ 크기의 벡터로 식 (4.9)와 같다.

$$z(k) = \mathbf{K}^H \mathbf{r}(k) \quad (4.9)$$

3. MVDR 빔형성기

MVDR 빔형성기는 원하는 방향의 신호는 일정하게 유지하면서 빔형성기의 출력신호의 전력을 최소화하는 적응 빔형성 기법이다[39]. MVDR 빔형성기는 원하는 신호에 크기 '1'의 빔 팩터를 형성하여 수신방향으로 빔을 형성하고, 간섭들의 방향으로 null을 형성하여 간섭을 제거한다. i 번째 타이어에 대한 MVDR 가중치 벡터는 식 (4.10)에 의해서 계산된다.

$$\min_{\mathbf{w}_i} \mathbf{w}_i^H \mathbf{R} \mathbf{w}_i \quad \text{subject to} \quad \mathbf{a}_i^H \mathbf{w}_i = 1 \quad (4.10)$$

식 (4.10)에서 $\mathbf{R} = E[\mathbf{r}(k)\mathbf{r}^H(k)]$ 는 수신신호 벡터의 자기 상관행렬이며, 크기는 $M \times M$ 이다. i 번째 타이어에 대한 MVDR 빔형성 가중치 벡터는 식 (4.11)과 같이 주어진다[40].

$$\mathbf{w}_i = [\mathbf{a}_i^H \mathbf{R} \mathbf{a}_i]^{-1} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{a}_i \quad (4.11)$$

제3절 빔형성기의 계산 복잡도

본 장에서는 고려된 빔형성기들의 복잡도를 계산하여 각 빔형성기들의 복잡도 특성을 비교 분석한다.

1. 스위칭 빔형성기

스위칭 빔형성 방식은 미리 몇 개의 방향에 대한 가중치 벡터를 설정하여 원하는 방향에 교대로 빔을 형성시키는 방식이다. TPMS 스위칭 빔형성기 기반으로 송신 데이터를 추정하는데 필요한 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺄셈의 총 복잡도는 각각 $M+N$ 과 $M+N-2$ 이다. 스위칭 빔형성기는 원하는 신호의 방향으로 빔을 형성하지만, 간섭신호의 방향으로 null을 형성하지 않아 GSC, MVDR 빔형성기에 비해 간섭제거 성능은 좋지 않다. 하지만, 복잡도 면에서는 두 빔형성기에 비해 월등히 우수한 성능을 가진다.

2. GSC 빔형성기

적응 GSC 빔형성의 복잡도 계산을 고려하여 식 (4.7)의 $z_i(k)$ 와 식 (4.9)의 $z(k)$ 를 얻기 위한, 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺄셈의 수는 각 샘플 k 에 대해 각각 M^2 과 $M(M-1)$ 이다. 식 (4.5)가 K 번째 샘플에서 수렴한다고 가정하면, GSC 빔형성을 사용하여 TPMS 데이터를 추정하는 곱셈/나눗셈의 복잡도는 $K > N$ 일 때, 대략 $KM(M+2)+N$ 이고, $K < N$ 일 때, $KM+NM(M+1)$ 이다. 또한, 덧셈/뺄셈의 복잡도는 $K > N$ 일 때, $K(M^2+M-3)+N-1$ 이고, $K < N$ 일 때, $NM^2+K(M-1)$ 이다. GSC 빔형성기의 간섭제거 성능은 MVDR 빔형성기에 근접한 성능을 가진다. MVDR 빔형성기와 다르게 자기상관행렬 계산이 필요하지 않으므로 MVDR에 비해 복잡도는 낮지만, 스위칭 빔형성기의 복잡도 보다는 높다.

3. MVDR 빔형성기

MVDR의 빔형성에 필요한 자기상관관계 행렬을 계산하기 위해 식 (4.12)의 시간 평균을 활용한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}(k) &= \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \mathbf{r}(j)\mathbf{r}^H(j) \\ &= \frac{k-1}{k} \mathbf{R}(k-1) + \frac{1}{k} \mathbf{r}(k)\mathbf{r}^H(k) \end{aligned} \quad (4.12)$$

각 샘플 k 에 대하여 식 (4.12)에서 요구하는 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺄셈의 개수는 $2M^2+M$ 과 M^2 이다. 상관 행렬의 역행렬 계산에 필요한 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺄셈의 개수는 M^3 과 M^3-2M^2+M 이므로, MVDR 빔형성을 사용하여 TPMS 데이터를 추정하는데 필요한 곱셈/나눗셈의 총 복잡도는 $K > N$ 일 때, 대략 $K(M^3+4M^2+4M)+N$ 이고, $K < N$ 일 때, 대략 $K(M^3+4M^2+4M)+(N-K)+M+N$ 이다. K 번째 샘플에서 식 (4.12)가 수렴한다고 가정하면, 덧셈/뺄셈의 총 복잡도는 $K > N$ 일 때, $K(M^3+M^2+M-2)+N-1$ 이고, $K < N$ 일 때, $K(M^3+M^2+M-2)+(N-K)(M-1)+N-1$ 이다. MVDR 빔형성기의 간섭제거 성능은 스위칭 빔형성기 보다 월등히 우수하고, GSC 빔형성기 보다 조금 더 우수하다. 하지만, MVDR 빔형성기는 자기상관행렬 계산이 요구되므로 복잡도는 스위칭, GSC 빔형성기 보다 높다.

	간섭제거 성능	복잡도 계산
스위칭	낮음	낮음
GSC	좋음	보통
MVDR	좋음	높음

Table 4.1. Performance Comparison of Beamformer

표 4.1은 본 장에서 제시한 빔형성기의 간섭제거 복잡도 성능을 요약한 표이다. 표에서와 같이 간섭제거 성능은 MVDR 빔형성기가 가장 우수하고, 복잡도 효율성은 스위칭 빔형성기가 가장 우수하다. GSC 빔형성기는 MVDR 빔형성기와 비슷한 간섭제거 성능을 갖지만, MVDR 빔형성기 보다 낮은 복잡도를 가진다.

제4절 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 세 가지의 빔형성 기술들의 복잡도 계산을 확인하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션을 위해 각각의 빔형성기의 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺄셈의 복잡도를 계산하였고, M , N , K 변수들에 대한 각 빔형성기의 복잡도를 시뮬레이션을 통하여 비교한다.

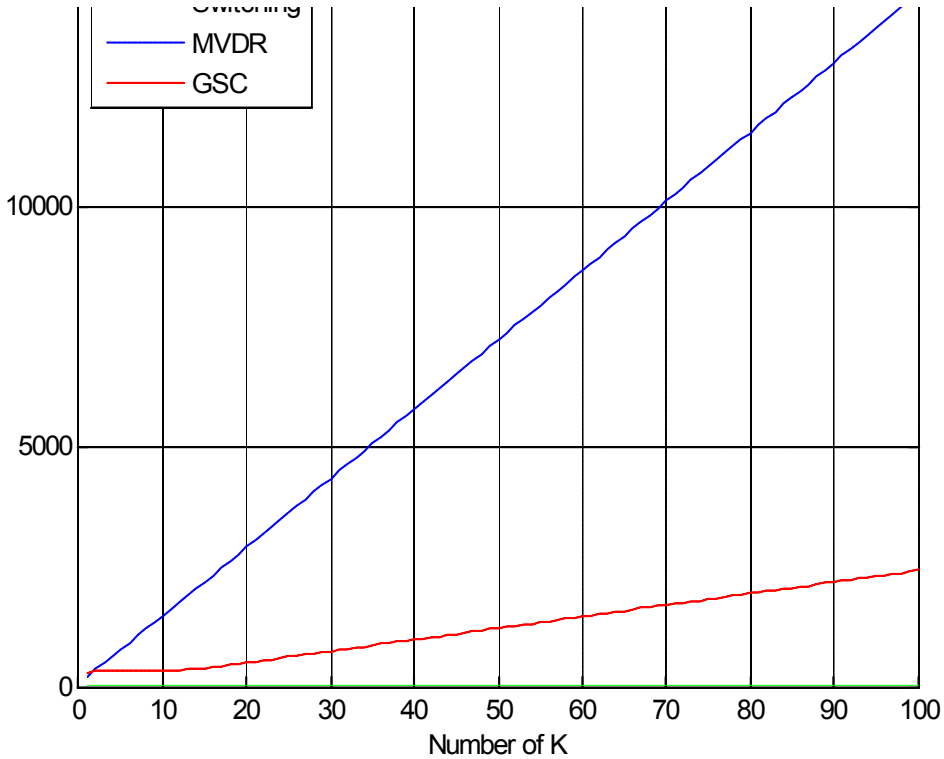


Fig. 4.2. Comparison of computational complexity via number of samples for convergence. $M=4, N=15$. (Multiplication/Division)

Fig. 4.2는 안테나의 개수 $M=4$, 골드코드의 길이를 $N=15$ 로 가정하고, K 의 변화에 따른 곱셈/나눗셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 그림에서 나타내듯이 K 값이 증가할수록 MVDR 빔형성기가 가장 높은 복잡도를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 또한, K 값이 증가할수록 GSC 빔형성기가 MVDR 빔형성기에 비해 월

등히 낮은 복잡도를 보이지만, 스위칭 빔형성기가 세 가지 빔형성기 중 가장 낮은 복잡도를 가지고, $K > N$ 일 때와 $K < N$ 일 때의 복잡도가 달라 $K=15$ 에서 값이 변하는 것을 확인할 수 있다.

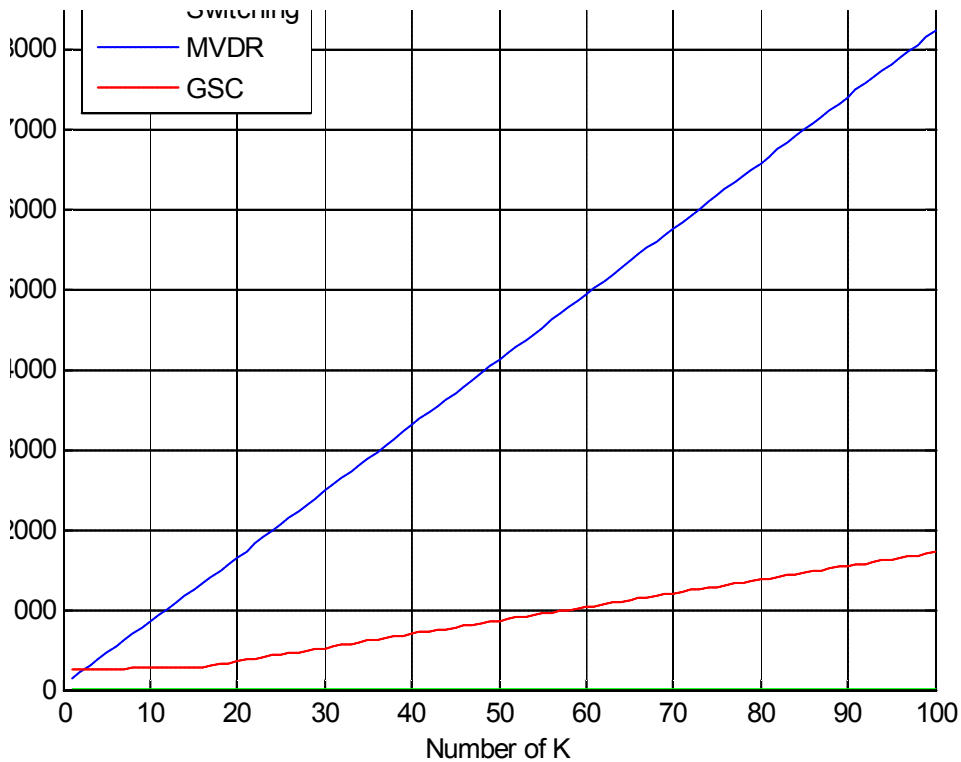


Fig. 4.3. Comparison of computational complexity via number of samples for convergence. $M=4, N=15$. (Addition/Subtraction)

Fig. 4.3은 안테나의 개수 $M=4$, 골드코드의 길이를 $N=15$ 로 가정하고, K 의 변화에 따른 덧셈/뺄셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Fig. 4.2와 마찬가지로 MVDR 빔형성기를 사용할 때, 가장 높은 복잡도를 가지고, GSC 빔형성기를 사용할 때 MVDR 빔형성기에 비해 월등히 낮은 복잡도를 보이지만, 스위칭 빔형성기가 세 가지 빔형성기 중 가장 낮은 복잡도를 가진다. 또한, $K > N$ 일 때와 $K < N$ 일 때의 복잡도가 달라 $K=15$ 에서 값이 변하는 것을 확인할 수 있다

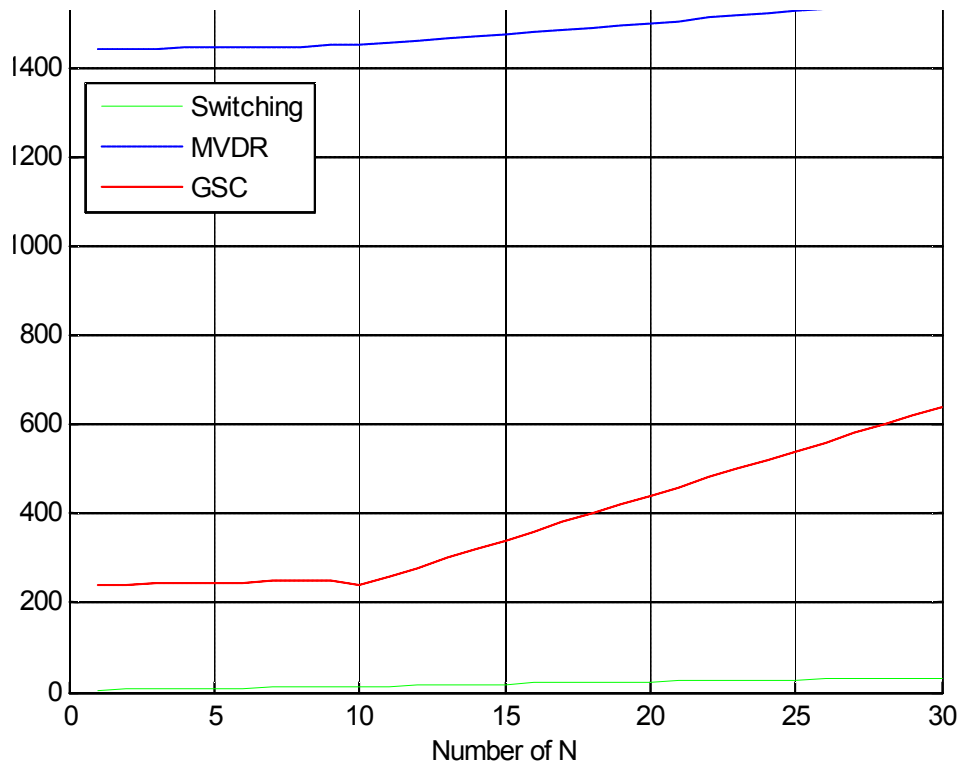


Fig. 4.4. Comparison of computational complexity via length of gold code.
 $M=4, K=10$. (Multiplication/Division)

Fig. 4.4는 안테나의 개수 $M=4$, $K=10$ 으로 가정하고, 골드코드의 길이 N 의 변화에 따른 곱셈/나눗셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 N 의 값이 증가할수록 GSC 빔형성기가 MVDR 빔형성기에 비해 낮은 복잡도를 보이지만, 스위칭 빔형성기가 세 가지 빔형성기 중 가장 낮은 복잡도를 가지고, $K > N$ 일 때와 $K < N$ 일 때의 복잡도가 달라 $N=10$ 에서 값이 변하는 것을 확인할 수 있다.

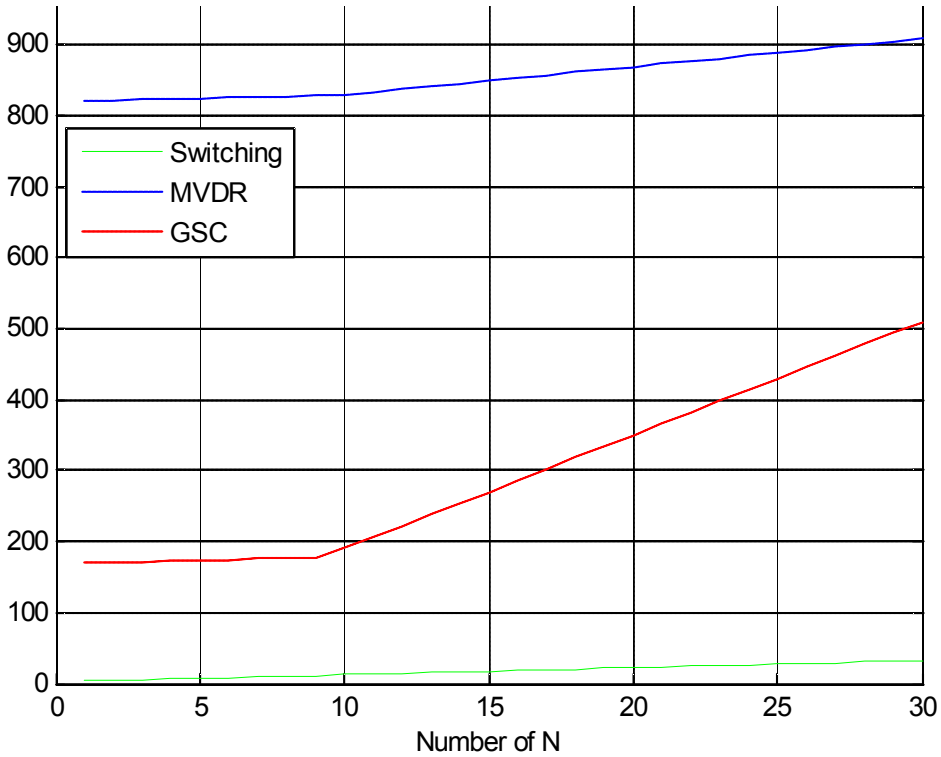


Fig. 4.5. Comparison of computational complexity via length of gold code.
 $M=4, K=10$. (Addition/Subtraction)

Fig. 4.5는 안테나의 개수 $M=4$, $K=10$ 으로 가정하고, 골드코드의 길이 N 의 변화에 따른 덧셈/뺄셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Fig. 4.4와 마찬가지로 값이 증가할수록 GSC 빔형성기가 MVDR 빔형성기에 비해 낮은 복잡도를 보이지만, 스위칭 빔형성기가 세 가지 빔형성기 중 가장 낮은 복잡도를 가지고, $K > N$ 일 때와 $K < N$ 일 때의 복잡도가 달라 $N=10$ 에서 값이 변하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 네 그림들로부터 변수를 바꿔 시뮬레이션을 실행한 결과 MVDR 빔형성기의 복잡도가 가장 높고 GSC, 스위칭 빔형성기 순으로 복잡도가 낮아진다는 것을 확인할 수 있다.

제5절 결론

차량의 타이어 파손 사고에 대한 관심도가 높아짐에 따라 국내는 물론이고 전 세계적으로 TPMS의 사용량이 증가하고 있고, 이로 인한 TPMS의 관심이 한층 더 부각되고 있다. TPMS는 무선통신을 사용하므로 외부로부터 다양한 고출력 신호를 가지는 간섭들의 영향으로 잘못된 데이터를 수신하여 타이어의 이상 유무를 정확히 판단할 수 없는 경우가 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, TPMS를 위한 빔형성기에 대한 연구가 진행 중이며, 이러한 빔형성기가 소프트웨어 및 하드웨어에 얼마나 많은 영향을 미칠지 판단할 수 있는 근거를 제시하기 위해 본 논문에서는 TPMS의 간섭제거에 우수한 성능을 가지는 세 가지의 빔형성기 복잡도를 계산하여 비교하였다. 복잡도 계산결과는 컴퓨터 시뮬레이션 그래프를 통하여 확인할 수 있다.

5장 결 론

본 연구에서는 기존의 TPMS에서 고려하지 않은 단점(배터리의 문제, 데이터 신뢰도 확보)을 보완하고 새로운 기술들을 제안하여 TPMS 개발에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한, 빔형성기 복잡도 계산을 통해 소프트웨어 및 하드웨어에 얼마나 많은 영향을 미칠지 판단할 수 있는 근거를 마련하였다.

1. 효율적인 배터리의 전력사용을 위해 기존의 단방향 무선통신방식에서 사용하던 기술에 비해 효율적인 양방향 무선통신방식을 사용하여 필요할 때만 전력을 사용하는 것이 가능한 양방향 무선통신 시스템을 고려하였고, 이에 따른 시스템의 효율적인 데이터 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 양방향 통신시스템의 전력사용 효율성을 확인할 수 있다.

2. 기존 TPMS에서 사용된 단방향 무선통신방식에서 발전된 양방향 무선통신방식 기반의 시스템을 고려하였고, 이에 따른 시스템의 효율적인 유효신호판정 기법을 제안하였다. 제안된 유효신호판정기법은 수신신호의 SINR을 측정하여, 측정된 SINR이 임계값보다 크면 유효신호로 판정하여 main 데이터 전송을 신호처리부에 요구하고, 임계값보다 작으면 유효한 신호로 판정하지 않고 다시 reference 데이터 전송을 요구하는 것을 기본으로 한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 다양한 데이터 신뢰도(95%에서 약 1.3dB, 97%에서 약 2.5dB, 99%에서 약 4.3dB)를 만족하는 SINR 임계값을 결정하였다.

3. TPMS에 적용되는 빔형성기가 소프트웨어 및 하드웨어에 얼마나 많은 영향을 미칠지 판단할 수 있는 근거를 제시하기 위해 TPMS의 간섭제거에 우수한 성능을 가지는 세 가지의 빔형성기(스위칭, GSC, MVDR) 복잡도를 계산하여 비교하였다. 복잡도 계산결과는 컴퓨터 시뮬레이션 그래프를 통하여 확인할 수 있다.

TPMS는 미국에서 이미 의무화를 시작한 상태이고, 국내를 포함하여 여러 국가에서 의무화를 진행 중이다. 이러한 의무화로 인해 TPMS의 사용량이 증가하게 될 것이고, 배터리의 수명과 데이터 신뢰도 확보를 포함한 기존 TPMS가 가지는 문제점들을 보완하기 위해서 앞으로도 많은 기술개발의 필요성이 있다.

Reference

- [1] Zhiping Jiang, Huachun Liu, Qingguang Dai, “A New Intelligent Tire Pressure Monitoring System” , 2011 International Conference on, Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences(ICM), Sept. 2011.
- [2] N.N. Hasan, A. Arif, M. Hassam, S.S. Ul Husnain, U. Pervez, “Implementation of Tire Pressure Monitoring System with Wireless Communication” , 2011 International Conference on, Communications, Computing and Control Applications(CCCA), Mar. 2011.
- [3] M. Cheikh, J.-G. Tartarin, J. David, S. Kessler, A. Morin, “RF source characterization of Tire Pressure Monitoring System” , European Wireless Technology Conference, 2009. EuWIT 2009. pp. 176–179, Sept. 2009.
- [4] 변문재, “TPMS 시스템 RF 성능 검증 시험 기법,” 한국자동차공학회, 오토저널, 제29권 제2호 pp 99 - 104, Apr. 2007.
- [5] Yi Leng, Genbao Zhao, Qingxia Li, Chunyu Sun, Sheng Liu, “A High Accuracy Signal Conditioning Method and Sensor Calibration System for Wireless Sensor in Automotive Tire Pressure Monitoring System” , International Conference on, Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2007, Wicom 2007, Sept. 2007.
- [6] Qi Zhang, Bo Liu, Guofu Liu, “Design Tire Pressure Monitoring System Based on Resonance Frequency Method” , IEEE/ASME International Conference on, Advanced Intelligent Mechatronics 2009, AIM 2009, July 2009.

- [7] Jiaming Zhang, Quan Liu, Yi Zhong, "A Tire Pressure Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks Technology", International Conference on, Multimedia and Information Technology 2008, MMTT ' 08, Dec. 2008.
- [8] I-Hsiu Ho, Jia-min Chung, Hsiao-Chin Chen, Hung-Wei Chiu, "A Battery-Less Tire Pressure Monitoring System", 2009 [Vehicular Technology Conference](#), VTC Spring 2009, IEEE 69th, pp. 1-5, Apr. 2009.
- [9] 천재영, 조평동, "타이어 공기압 감지 시스템 기술 동향, " 전자통신동향분석 제20권 제6호 pp. 167-177, Dec. 2005.
- [10] 이혁기, 연규봉, 정기윤, 양인범, 김병우, "타이어 공기압 모니터링 시스템 판단로직 설계," 한국자동차공학회 2006년 춘계학술대회 논문집 Vol. III, pp. 1498-1504, June 2006.
- [11] M. Brzeska, and G. A. Chakam, "RF Modelling and Characterization of a Tyre Pressure Monitoring System," in Proc. EuCAP 2007, Edinburgh, Nov. 2007
- [12] Liuxi Tan, Sheng Liu, Honghai Zhang, Zhiying Gan, Cheng Chen, Bin Hou, "Numerical Analysis of the Reliability of Tire Pressure Monitoring System Installed on Wheel Hub With Glue", 7th International Conference on, Electronic Packaging Technology 2006, ICEPT ' 06, Aug. 2006.
- [13] 홍승준, 이호근, "공기압에 따른 타이어의 안전성 및 경제성에 관한 실험적 연구," 한국자동차공학회 한국자동차공학회논문집 제 18권 제1호, pp 8 - 13, Jan. 2010.
- [14] 김관희, "타이어공기압과 주행 안정성의 관계," monthly KIDI BRIEF pp. 29 - 33, Aug. 2010.

- [15] “자동차안전기준시행세칙 일부개정안,” 국토해양부 제2011 - 143호, Apr. 2011.
- [16] H. Zeng, T. Hubing, “The Effect of the Vehicle Body on EM Propagation in Tire Pressure Monitoring Systems” , IEEE Transactions on, Antennas and Propagation, pp. 1, 2012.
- [17] Yulan Zhou, Yongsheng Chai, Yahong Lin, Kun Wang, “An application of multi-sensor information fusion in Tire Pressure Monitoring System” , 2010 International Conference on, Intelligent Systems and Knowledge Engineering(ISKE), pp. 187-190, Nov. 2010.
- [18] M. Cheikh, J.-G. Tartarin, J. David, S. Kessler, A. Morin, “Transmission quality evaluation of Tire Pressure Monitoring Systems” , 12th International IEEE Conference on, Intelligent Transportation Systems, 2009. ITSC '09. pp. 1-5, Oct. 2009.
- [19] 안준오, “ZigBee 및 차량용(TPMS, RKE) 주파수 분배방안 연구” , [IITA]정보통신연구진흥원 학술기사, Dec. 2005
- [20] M. Shao, W. Guo, “Tire Pressure Monitoring System” , 2011 Second International Conference on, Mechanic Automation and Control Engineering(MACE), July 2011.
- [21] M. Brzeska, and G. A. Chakam, “RF Modelling and Characterization of a Tyre Pressure Monitoring System,” in Proc. EuCAP 2007, Edinburgh, Nov. 2007

- [22] J. Grosinger, L.W. Mayer, C.F. Mecklenbrauker, A.L. Scholtz, “Determining the Dielectric Properties of a Car Tire for an Advanced Tire Monitoring System”, 2009 IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall(VTC 2009-Fall), Sept. 2009.
- [23] 김관희, “타이어공기압과 주행 안정성의 관계,” monthly KIDI BRIEF pp. 29-33, Aug. 2010.
- [24] J. G. Proakis, Digital Communications. Fourth Edition, New York: McGraw-Hill, 2001.
- [25] V. Kukshya, H.J. Song, H.P. Hsu, R.W Wiese, “Impact of Inter-Vehicular Interference on the Performance of Tire Pressure Monitoring Systems”, 2007 IEEE 66th Vehucular Technology Conference 2007, VTC-2007 Fall, Sept. 2007-Oct. 2007.
- [26] 지철호, “제어용으로써의 RF 기술,” Real-Time Embedded World, pp. 36-41, Sept. 2007.
- [27] V. Sankaranarayanan, G. Levent, "Tire Pressure Monitoring," IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE, pp. 22-25, Dec. 2007
- [28] Jinyu Zhu, Liji Wu, Xiangmin Zhang, Chen Jia, Chun Zhang, “A low-power 433MHz transmitter for battery-less Tire Pressure Monitoring System”, 2011 IEEE 9th International Conference on, ASIC(ASICON), pp. 184-187, Oct. 2011.
- [29] Guocong Song, Kenneth Stewart, Rober Love, Xiangyang (Jeff) Zhuang, Yakun Sun, “Asymptotic Performance of Broadcast Services in IEEE 802.16e with CSTD,” Vehicular Technology Conference, 2006. Sept. 2006.

- [30] 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.
- [31] 정보통신부, "차량용 주파수 분배방안" 차량용 주파수 분배 공청회, July 2005.
- [32] 박철, 김성민, 황석승, "간섭제거를 위한 TPMS 스위칭 빔형성기", 한국전자통신학회, 한국전자통신학회 추계학술지 제4권 제2호, pp. 385-390, Nov. 2010.
- [33] 박철, 황석승, "Generalized Sidelobe Canceler 기반의 TPMS 간섭제거", 한국전자통신학회, 한국전자통신학회 추계학술지 제5권 제2호, pp. 153-156, Nov. 2011.
- [34] 박철, 황석승 "TPMS를 위한 AOA 기반의 MVDR 빔형성기", 한국전자통신학회, 한국전자통신학회 춘계학술지 제5권 제1호 pp. 244-249, Jun. 2011.
- [35] John G. Proakis, Masoud Salehi, Gerhard Bauch, "Contemporary Communication Systems using MATLAB and Simulink", Brooks/Cole Publishing Company, June 2003.
- [36] J. Benesty, Jingdong Chen, Yiteng Huang, "A generalized MVDR spectrum," IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, VOL. 12, NO. 12, pp. 827-830, Dec. 2005.
- [37] Seun-gil Kim, Yang-seok Jeong "Array Signal Processing", 토파민, Sep. 2007.
- [38] B. Widrow and S.D. Stearns, Adaptive Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1985.

[39] 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), Nov. 1995.

[40] 이장식, 박도현, 김정수, 이균경, “부대역을 이용한 MVDR 빔형성기의 주파수 분해능 향상기법,” 한국음향학회지 제21권 제1호 pp.62-68, Jan. 2002.

감사의 글

한편의 논문을 마무리하는 이 과정에서 성취한 것보다 아쉬움이 많이 남습니다. 석사학위과정을 마치면서 도움을 주신 여러분들께 글로써나마 감사의 마음을 전합니다.

항상 막내아들로서 묵묵히 저를 믿고 지켜 봐주신 아버지, 힘들어할 때마다 따뜻한 말로 위로해주신 어머니, 같이 살면서 늘 챙겨주지만 막상 고맙단 얘기를 한번도 하지 못했던 형, 이 글을 쓰며 먼저 감사하단 말을 전하고 싶습니다.

석사학위과정 동안 저를 지도해 주시고 참된 연구자의 자세를 가르쳐 주신 황석승 교수님께 머리 숙여 감사드리며, 논문이 나오기까지 교정 및 심사를 하시느라 고생하신 심재기 교수님, 유영태 교수님께 감사의 말을 전합니다.

또한, 실험실에서 저와 같이 티격태격하면서도 친구로서 의지가 되었던 박철, 영어교정 해주면서 고생했던 카드카 그리슈마 후배, 늘 막내로서 열심히 하는 신재희 후배에게 감사의 말을 전합니다.

실험실 선배가 없는 저에게 많은 조언을 해주셨던 열공압 실험실의 윤희성 선배님, 제어계측 실험실의 김승현 선배님, 곽남수 선배님, 박대광 선배님, 복합재료 실험실의 김형석 선배님께 감사의 말을 전합니다. 또한, 늘 격려해주며 용기를 북돋아 준 박효동, 양윤석 형, 황찬연, 이가람, 박은경, 최용배 및 많은 지인 분들께 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 제가 여기까지 성장하는데 많은 사랑과 애정으로 저를 믿고 보살펴 주신 부모님께 머리 숙여 감사드립니다.

2012년 6월 적응신호처리 실험실에서.....