
TPMS 양방향 통신을 위한 유효 데이터 판정기법

김성민* · 황석승**

Assessment Method of Effective Data for Duplex TPMS Communications

Seong-Min Kim* · Suk-Seung Hwang**

요약

TPMS(Tire Pressure Monitoring System)는 차량에서 사용되는 무선통신기기의 일종으로 운전자가 타이어의 상태를 보다 효율적으로 파악하고 관리하기 위한 안전보조 시스템으로 정의할 수 있다. TPMS는 무선통신을 사용하므로 데이터 송/수신 시 각종 잡음이나 간섭에 의한 통신장애가 발생하게 된다. 운전자의 안전과 직결되는 타이어 사고를 사전에 예방하고 무선통신으로 인한 데이터 전송 시 보다 정확한 데이터 신뢰성 확보를 위해 본 논문에서는 신호처리수신부에서 수신신호의 SINR(signal-to-interference and noise ratio, 신호 대 간섭 및 잡음 비)을 측정하여 데이터 신뢰도를 판정하는 신뢰도 판정기법을 제안한다. 또한, 이를 수행하기 위한 효과적인 데이터 신뢰성 판정 알고리즘 구조를 제안한다. 본 논문에서 제안된 데이터 신뢰성 판정기법은 TPMS 뿐만 아니라 센서를 이용한 양방향통신 시스템에서 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 95%, 97%, 99%의 데이터 신뢰도를 만족하는 임계 SINR 값을 확인한다.

ABSTRACT

TPMS(Tire Pressure Monitoring System) using the wireless communication technique is defined as the safety aid system to efficiently realize and manage the condition of tires in the vehicle. The wireless communication system of TPMS should suffers from various noise and interferences such as signals of each tire sensor or outside electrical equipments. In order to retain the data reliability of TPMS, we propose an assessment method of the data reliability based on signal-to-interference and noise ratio (SINR) of the received signal. The proposed technique can be widely applied to wireless duplex communication systems based on various sensors. We verify critical SINR values to satisfy data reliabilities of 95%, 97%, and 99% through computer simulation.

키워드

TPMS(Tire Pressure Monitoring System), SINR(Signal to Interference and noise ratio), 양방향통신(Duplex Communication), 데이터 신뢰도(Data Reliability)

I. 서론

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 대형사고

* 조선대학교 첨단부품소재학과(정밀기계설계공학전공)(millionairek@naver.com)

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

접수일자 : 2012. 04. 25

심사(수정)일자 : 2012. 05. 10

게재확정일자 : 2012. 06. 07

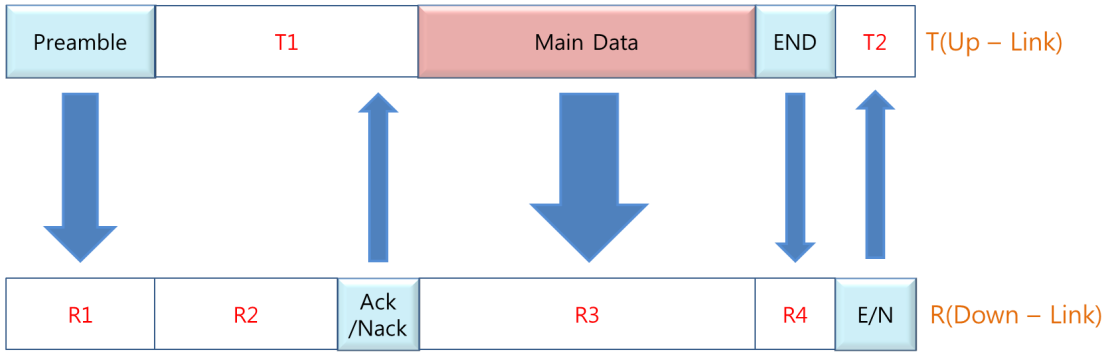


그림 1. TPMS 데이터 유효신호판정을 위한 양방향 통신 데이터 구조
 Fig. 1 Data architecture for duplex TPMS wireless communications.

로 이어지는 경우가 많다[2]. 이러한 문제점 해결을 위해 많은 자동차 관련 업체들이 타이어에 새로운 기술을 접목시켜 연구개발한 것이 TPMS이다. 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]. 이처럼 TPMS는 타이어의 압력 또는 온도 등을 확인하여 디스플레이부에 이상 유무를 표시하고 사전에 사고에 대처할 수 있게 하는 안전 보조 시스템으로 정의할 수 있다[4]-[6].

TPMS는 미국이나 유럽 등 여러 나라에서 의무화를 추진하거나 이미 진행된 상태이다. 미국에서는 2007년 9월 이후 판매되는 모든 차량에 TPMS 장착을 의무화하였고[7]-[10], 이런 의무화로 인해 미국의 연간 교통사고 사망자와 부상자 수가 감소하는 등 여러 긍정적인 결과가 나타났다[11]. 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[12][13].

현재 대부분의 TPMS는 단방향 무선통신 방식을 사용하는데 데이터 송/수신 시 간섭이나 잡음에 의한 통신장애가 발생하게 된다[14]. 단방향 통신의 경우

데이터 전송 효율성이 낮고 데이터 신뢰성 판정이 쉽지 않은 문제점이 있다. 이와 같은 문제점 해결을 위해 본 논문에서는 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 판정 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 판정기법은 신호처리부에서 수신한 수신신호의 SINR을 판정기법의 기준으로 사용한다.

II. 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 (1)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{r}_i(k) = x_i(k) + s(k) + n(k) \quad (1)$$

식 (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 (1)에서 $s(k)$ 간섭신호의 수식은 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$s(k) = \sum_{l=1, l \neq i}^4 x_l(k) + \sum_{l=1}^L s_l(k) \quad (2)$$

식 (2)에서 $x_i(k)$ 는 i 번째 타이어의 다른 타이어에 대한 간섭신호를 나타내고, $s_l(k)$ 는 l 번째 간섭신호, L 은 간섭신호의 총 개수를 나타낸다. 식 (3)은 SINR 계산을 위한 수식을 나타낸다[15][16].

$$SINR = 10 \log_{10} \left(\frac{S.Power}{N.Power + I.Power} \right) \quad (3)$$

식 (3)에서 $S.Power$ (Signal Power)는 각 타이어에서 전송한 신호전력, $N.Power$ (Noise Power)는 잡음 전력, $I.Power$ (Interference Power)는 간섭전력을 뜻한다.

III. TPMS의 유효신호판정을 위한 양방향 무선통신 데이터 구조

본 장에서는 TPMS 무선통신에서 효율적으로 사용할 수 있는 양방향 무선통신 데이터 구조를 소개한다. 그림 1은 제안된 유효신호판정을 위한 TPMS의 양방향 무선통신용 데이터 구조를 나타낸다. 현재 대부분의 TPMS는 단방향 무선통신방식을 사용하는데, 주기적으로 수신 단에 데이터를 송신하는 방식이다. 본 논문에서 고려한 양방향 통신 데이터 구조는 사용자가 필요할 때만 신호를 전송하고, Ack/Nack 및 E/N 데이터(Emergency/Normal mode 구별을 위한) 사용이 가능하므로 소비전력 효율 면에서 매우 효과적이다.

Up-Link는 센서부에서 신호처리부로의 유효신호판정 데이터의 전송을 의미하고, Down-Link는 신호처리부에서 센서부로의 데이터 전송을 의미한다. Up-Link의 데이터 구조는 Preamble, Main 데이터, END 비트 등을 포함하고, Down-Link의 데이터 구조는 Ack/Nack비트와 E/N비트 등을 포함한다. 양방향 TPMS 무선통신을 위해 제안된 데이터 구조 요소들은 다음과 같이 정의된다.

- » 프리엠블 : 채널추정, SINR측정, 동기화 및 유효신호판정을 위한 데이터 등을 포함한다.
- » T1 : 한 타이어에 대한 reference 신호를 전송할 시, 다른 타이어들에 대한 reference 신호는 전송하지 않고 대기하고 있기 위한 센서부 blank이다.
- » Main 데이터 : 센서부에서 측정된 압력, 온도

등의 실제 데이터 등을 포함한다.

- » END : Main 데이터 전송 종료를 알려주기 위한 비트이다.
- » T2 : E/N 비트 수신을 위한 센서부 blank이다.
- » R1 : reference 데이터 수신을 위한 신호처리부 blank이다.
- » R2 : reference 데이터의 타이어별 순환구조 전송을 위한 신호처리부 blank이다.
- » Ack/Nack비트 : 전송데이터가 유효한지 혹은 유효하지 않은지 판단하여 센서부에 결과를 전송한다. Ack인 경우 전송데이터가 유효하다는 의미이며, Nack인 경우 전송데이터가 유효하지 않다는 의미(전송 예 : Ack인 경우 '1'을 전송하고 Nack인 경우 데이터를 전송하지 않음)한다.
- » R3 : Main 데이터 수신을 위한 신호처리부 blank이다.
- » R4 : END 비트 수신을 위한 신호처리부 blank이다.
- » E/N : Emergency/Normal mode 구별을 위한 비트이다.

유효신호판정을 위한 양방향 데이터 구조는 이러한 요소의 데이터들을 필요에 따라 신호처리부와 센서부의 상호간에 반복적으로 송/수신하고 유효신호판정을 통해 효과적인 신뢰성 확보를 가능하게 한다.

IV. 유효신호 판정 알고리즘

본 장에서는 유효신호 판정 알고리즘을 포함한 양방향 TPMS 통신 시스템을 제시한다.

4.1. 신호처리부의 유효신호 판정구조

그림 2는 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.

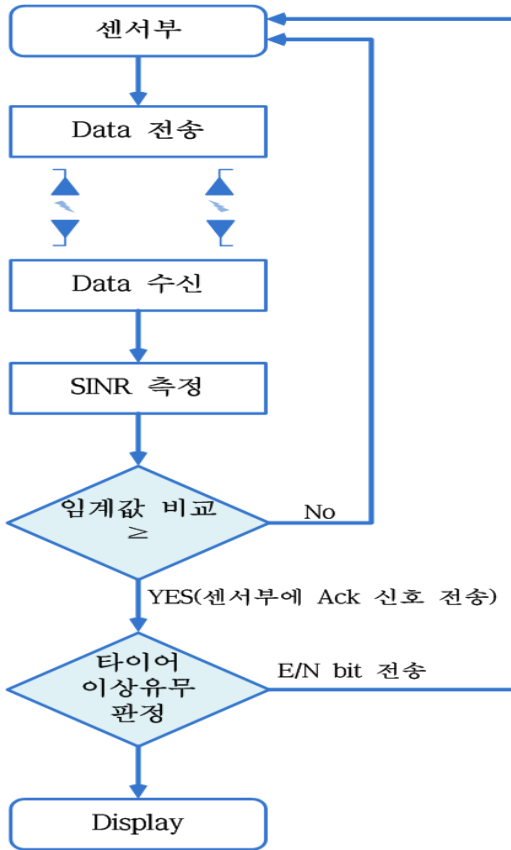


그림 2. 유효신호판정을 위한 양방향 TPMS 통신 시스템의 기본 순서도(신호처리부).
 Fig. 2 Flow-chart of duplex TPMS wireless communication system for determining the effective signal(signal processing unit).

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. 신호

처리부에서 처리된 데이터 값은 display부로 전송되어 타이어 상태를 운전자가 직접 확인한다.

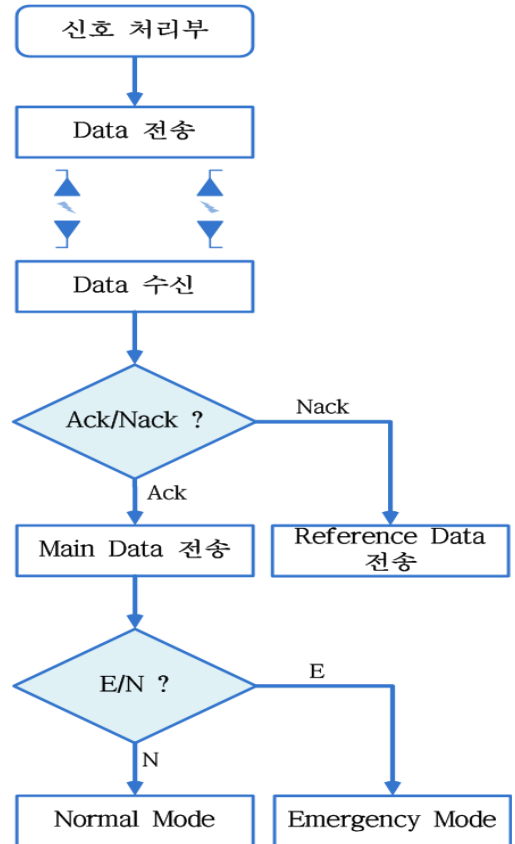


그림 3. 유효신호판정을 위한 양방향 TPMS 통신 시스템의 기본 순서도(센서부).
 Fig. 3 Flow-chart of duplex TPMS wireless communication system for determining the effective signal(sensor unit).

4.2. 센서부의 유효신호 판정구조

그림 3은 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 1

분에 1회 데이터 전송)하고, E신호(“-1”)로 판정되면 emergency mode로 동작(예를 들어 1초에 1회 데이터 전송)한다.

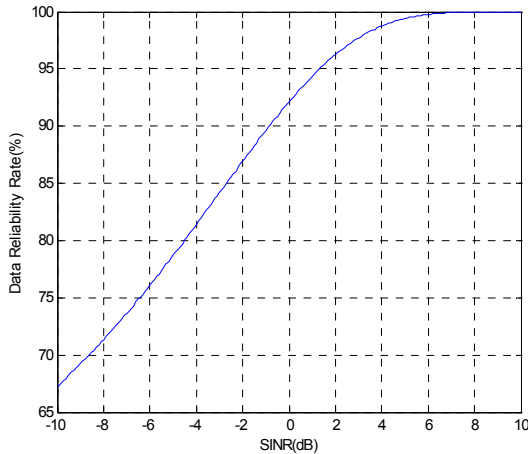


그림 4. SINR에 대한 데이터 신뢰도
Fig. 4 Data reliability rate via. SINR.

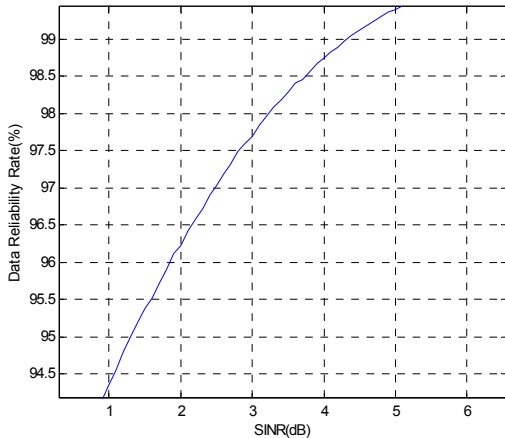


그림 5. SINR에 대한 데이터 신뢰도
(확대된 버전)
Fig. 5 Data reliability rate via. SINR
(expanded version)

V. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 제안된 유효 데이터 판정기법에 대한

SINR 임계값을 결정하기 위한 시뮬레이션 결과를 제시한다. 그림 4는 수신신호의 SINR 당 데이터 신뢰도를 나타낸다. 그림에서 수신신호의 SINR이 증가할수록

표 1. 세 가지 데이터 신뢰도에 대한 임계 SINR(dB) 값
Table 1. Threshold SINR(dB) values for three data reliability rates.

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

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. 그림 4에서는 고려한 신뢰도를 만족하는 SINR 임계값을 확인하기 어려워, 확대된 버전을 그림 5에서 제시하였다. 그림 5를 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 1에 요약되어 있다.

95%의 데이터 신뢰도를 요구하는 TPMS의 경우 수신신호의 SINR은 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.

VI. 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 신뢰성 확보가 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 유효신호판정 기법은 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%, 97%, 99%)를 만족하는 SINR 임계값을 결정하였다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업지원을 받아 수행된 것임(No. 2011-0020027)
 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구 사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2011-0024811)

참고 문헌

[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] Hasan N.N, Hassam M, Ul Husnain S.S, Pervez U, "Implementation of Tire Pressure Monitoring System with Wireless Communication", 2011 International Conference on,

Communications, Computing and Control Applications(CCCA), Mar. 2011.
 [3] 변문재, "TPMS 시스템 RF 성능 검증 시험 기법," 한국자동차공학회, 오토저널, 제29권 제2호 pp. 99 - 104, Apr. 2007.
 [4] 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.
 [5] 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, MMIT '08, Dec. 2008.
 [6] 황석승, 김성민, 박철, "Beamforming을 이용한 TPMS 간섭제거", 한국전자통신학회, 한국전자통신학회논문지, 6권, 2호, pp. 180-185, Apr. 2011.
 [7] 안준오, "ZigBee 및 차량용(TPMS, RKE) 주파수 분배방안 연구," [IITA]정보통신연구진흥원 학술 기사, Dec. 2005
 [8] M. Brzeska, and G. A. Chakam, "RF Modelling and Characterization of a Tyre Pressure Monitoring System," in Proc. EuCAP 2007, Edinburgh, Nov. 2007
 [9] 이혁기, 연구봉, 정기윤, 양인범, 김병우, "타이어 공기압 모니터링 시스템 판단로직 설계," 한국자동차공학회 2006년 춘계학술대회 논문집 Vol. III, pp. 1498 - 1504, June 2006.
 [10] 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.
 [11] 홍승준, 이호근, "공기압에 따른 타이어의 안전성 및 경제성에 관한 실험적 연구," 한국자동차공학회 한국자동차공학회논문집, 제18권, 제1호 Jan. pp. 8~13, 2010.
 [12] 김관희, "타이어공기압과 주행 안정성의 관계," monthly KIDI BRIEF pp. 29 - 33, Aug. 2010.
 [13] "자동차안전기준시행세칙 일부개정안," 국토해양부, 제2011~143호, Apr. 2011.
 [14] 고민호, 표승철, 박효달, "차량용 통합 안테나 모듈용 증폭단에 관한 연구", 한국전자통신학회, 한국전자통신학회논문지, 4권, 2호, pp. 87-92,

Jun. 2009.

- [15] 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.
- [16] 황석승, 김용재, "다수개의 GPS 신호들을 위한 혼합 역확산기와 널 역확산기 기반의 적응 어레이의 SINR 표현", 한국전자통신학회, 한국전자통신학회논문지, 4권, 4호 pp. 274-280, Dec. 2009.

저자 소개



김성민(Seong-Min Kim)

2011년 2월 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업

2011년 3월 조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공) 석사과정

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

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



황석승(Suk-Seung Hwang)

1997년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 6월 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer

Engineering Department 대학원 졸업(공학석사)

2006년 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업(공학박사)

2006.5~2008.3 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008.3~현재 조선대학교 메카트로닉스공학과 조교수

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