

# 결정궤환 기반 IEEE802.11p 다이버시티 모뎀 개발

## Decision Feedback Based Diversity Modem for IEEE802.11p WAVE

윤 상 훈\*, 진 성 근\*, 신 대 교\*, 임 기 택\*, 정 한 균\*

Sang-Hun Yoon\*, Seong-Keun Jin\*, Dae-Kyo Shin\*,  
Ki-Taeg Lim\*, Han-Gyun Jung\*

### Abstract

In this paper, we designed a decision feedback based diversity modem hardware architecture for IEEE802.11p WAVE and tested the modem on the road with car attached shark antenna. One of the dual channel modem and the diversity single modem with maximum ratio combining algorithm can be selected on the designed architecture. The designed modem have been implemented on the Xilinx Kintex7 FPGA. We tested the modem performance on the smart highway experience road. As experimental results, we can verify the performance of the diversity modem on real road and the enlarged communication range by more than 100%.

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11p WAVE 모뎀을 위한 다이버시티 모뎀 구조를 제안하고 설계하였으며, 이를 실차에 장착하여 성능테스트를 수행하였다. 제안한 구조는 듀얼채널과 다이버시티 기능을 선택적으로 수행할 수 있으며, 선택적 안테나 다이버시티와 Maximum Ratio Combining (MRC) 다이버시티 기능 중하나를 선택하여 수신할 수 있다. 개발된 구조는 HDL로 설계되어 Xilinx Kintex7보드를 이용하여 실도로에서 실차에 장착하여 테스트를 수행하여 성능을 검증하였다. 실험결과 개발된 다이버시티 모뎀은 단일 채널 모뎀에 비하여 안정적인 통신 성공률을 유지할 수 있으며, 전송거리도 안테나 후면 수신시 최소 100%이상 향상됨을 확인하였다.

*Key words* : WAVE, IEEE802.11p, diversity, MRC, road test, decision-directed

### I. 서론

기존의 교통 정보 시스템에 첨단 IT 기술을 접목하여 교통 혼잡도를 줄이고 안전 운행과 대기 오염 감

소 등을 실현하는 지능형 교통시스템 (ITS, Intelligent Transport System)은 현재 전 세계적으로 대두되고 있는 교통문제의 심각성을 해결하기 위하여 교통운영의 최적화, 교통사고 감소, 물류비용 절감 및

\* Korea Electronics Technology Institute

★ Corresponding author

shyoon11@keti.re.kr, 031-739-7434

※ Acknowledgment

This research was supported by a grant from "Development for V2X based convergence terminal integrating the diversity enable OBU with the navigation system" funded by Ministry of Science, ICT and Future Planning of Korean government

Manuscript received Agu. 24, 2015; revised Sep. 4, 2015 ; accepted Sep. 4. 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

환경 보호 등을 목표로 발전하고 있다. 이와 같은 ITS의 핵심은 차량과 인프라(V2I)간 또는 차량과 차량(V2V)간의 원활한 통신이며, 이를 위하여 IEEE에서는 802.11p과 1609 시리즈 표준을 제시하였고 이 두 가지 표준시리즈를 합하여 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)라 부르고 있다.

IEEE 802.11p표준은 무선랜 표준인 IEEE 802.11a를 기반으로 만들어져 거의 모든 PHY기능이 유지되도록 설계되었다. 802.11a는 실내에서 거동 수준의 움직임에 적합하도록 설계된 표준으로 시속 200km/h에 달하는 고속 주행에는 적합하지 않은 특징을 가지고 있다. 이로 인하여 안전 서비스를 위한 고속 주행에 있어서의 고신뢰 수신기의 설계기술은 IEEE802.11p의 실사용에 있어 매우 중요한 연구 분야가 되었다. 본 논문에서는 수신 성능의 안정성 및 신뢰성 확보를 위하여 다이버시티 모뎀의 설계를 수행하였으며, 설계된 모뎀을 실차에 장착하여 실도로에서 성능 향상 여부를 확인하기 위한 실험을 수행하였다.

본 논문은 서론을 통하여 논문의 목적 및 진행 방향을 제시하였으며, 본문에서는 설계된 다이버시티 모뎀의 구조, 실험을 위한 환경, 그리고, 실차 실험의 결과물을 설명하고, 결론에서 본 논문이 시사하는 바를 정리하도록 한다.

## II. 본론

### 1. 다이버시티 모뎀 구조

본 논문에서 구현한 다이버시티 모뎀은 그림 1과 같이 두 개의 기저대역 모뎀에서 주파수 영역(FFT 이후)의 신호를 maximum ratio combining(MRC)[1] 알고리즘을 이용해 수신하기 위한 구조로 설계되었다. 각 채널의 채널 추정 오류를 최소화

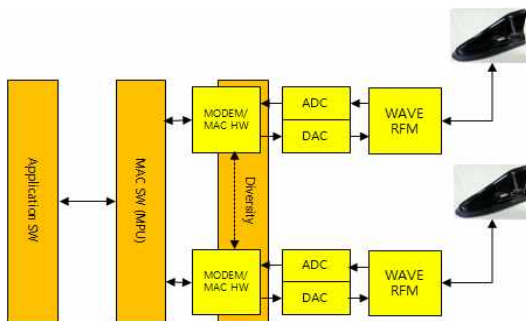


Fig. 1. Block diagram of diversity modem  
그림 1. 다이버시티 모뎀 블록도

하기 위하여 본 논문에서는 그림 2와 같이 결정 궤환 방식을 적용하였으며, SIFS 타이밍을 맞추기 위하여 간략화한 채널 디코더 구조를 사용하였다. 패킷의 수신은 [1]등과 같이 듀얼 다중 안테나의 특성을 이용하여 성능을 개선시킬 수 있으나 복잡도등의 문제로 인해 모뎀 각각이 신호를 검출하는 역할을 수행하도록 설계하였다.

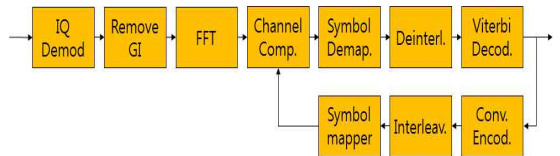


Fig. 2. Decision Feedback based Diversity modem  
그림 2. 결정 궤환 기반 다이버시티모뎀

본 논문에서는 기저대역 모뎀 및 HW MAC을 위하여 Xilinx사의 Kintex 7을 이용하였으며, SW MAC을 위한 프로세서로는 프리스케일사의 MPC5125를 사용하였으며, ADC와 DAC는 아날로그 디바이스사의 AD9248과 AD9767을 각각 사용하였다. 그림 3은 본 논문에서 사용된 FPGA 보드를 보여주고 있다.

본 실험을 위하여 사용된 다이버시티 방식은 maximum ratio combining (MRC)[2]와 안테나 선택(AS) 방식이었다. 이중 보다 성능이 우수한 것으로 알려진 MRC 알고리즘을 적용한 모뎀의 성능에 대해 집중적으로 다루도록 한다. 식 (1)에서  $y_k$ 는 k번째 안테나로부터 수신된 주파수 영역의 신호를 의미하며,  $h_k$ 는 k번째 주파수를 통해 수신된 신호의 주파수 영역에서의 채널 정보를 나타낸다. 또 s는 송신 신호,  $n_k$ 는 k번째 안테나를 통해 수신된 신호에 대한 가우시안 잡음을 각각 나타낸다. 식 (1)을 least square solution으로 풀면 식 (2)와 같이 나타나며 N개의 안테나로부터 복원된 s들을 최적의 SNR을 가지도록 합하게 되면 식 (3)과 같은 형태가 나타나게 된다. 본 논문에서는 N=2를 사용하여 식 (4)의 형태로 MRC 알고리즘을 구현하였다. 이때 얻을 수 있는 SNR은[3] 식 (5)와 같으며, 안테나 선택 방식을 이용한 다이버시티의 이득인 식 (6)에 비하여 약 1.7dB 향상된 성능을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

$$y_k = h_k s + n_k \tag{1}$$

$$\bar{s} = (h_k^* h_k)^{-1} h_k^* y_k \tag{2}$$

$$s = \frac{h_0^* y_0 + h_1^* y_1 + \dots + h_{N-1}^* y_{N-1}}{|h_0|^2 + |h_1|^2 + \dots + |h_{N-1}|^2} \quad (3)$$

$$s = \frac{h_0^* y_0 + h_1^* y_1}{|h_0|^2 + |h_1|^2} \quad (4)$$

$$SNR = \sum_{k=0}^{N-1} SNR_k \quad (5)$$

$$power\ gain = \sum_{k=0}^{N-1} \frac{1}{k} \quad (6)$$

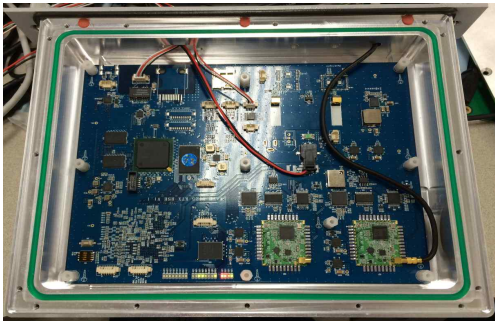


Fig. 3. FPGA board for diversity modem  
그림 3 다이버시티 모델을 위한 FPGA 보드

**2. 실험 환경**

실험은 스마트하이웨이 사업단[4]이 운영하고 있는 스마트하이웨이 체험도로에서 수행되었으며, 그림 4에서와 같이 4번 기지국을 시점으로 2번 기지국까지의 왕복 주행을 통해 성능을 측정하였다.

2번과 4번 기지국 사이에는 그림 5와 같이 교각, 갠트리 등의 장애물이 존재하며 두 기지국 사이에는

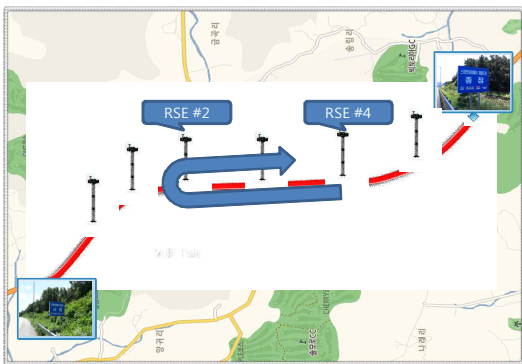


Fig. 4. Test Site  
그림 4. 여주 체험도로에서의 실험 구간

언덕이 있어 직선주로나 전구간에서 가시거리가 확보되지는 않는다.



Fig. 5. Test Environment  
그림 5. 여주 체험도로에서의 실험 환경

다이버시티를 위한 차량용 안테나는 그림 6과 같이 차량 최상부에 장착하였다. 안테나의 장착위치는 다이버시티 성능에 매우 큰 영향을 미치게 되므로 최적의 장착 위치를 선정하여야 하며, [5]에서와 같이 송수신 분리도를 최적화하여 설계된 안테나를 사용하여야 하나 본 논문에서는 다이버시티 기능 구현을 통한 성능 개선 상황을 확인하는 것을 목적으로 하여 안테나 장착위치 최적화와 관련된 문제는 논외로 하도록 한다. 본 실험에서는 그림 6에서와 같이 설치된 안테나와 그림 7에서와 같은 테스트보드를 이용하여 모든 실험을 진행하여 다이버시티로 인한 성능향상 정도만을 측정하였다. 사용된 안테나는 인팩일렉스에서 개발한 V2X용 안테나로 30x130x210mm 크기의 4dBi게인을 가지고 있다. 싱글 안테나로 테스트 수행 시에는 장착된 안테나 중 1번(좌측) 안테나를 이용해 수신된 결과를 나타내었다.



Fig. 6. Antenna attached on top of a test car  
그림 6. 테스트 차량에 장착된 안테나 형태

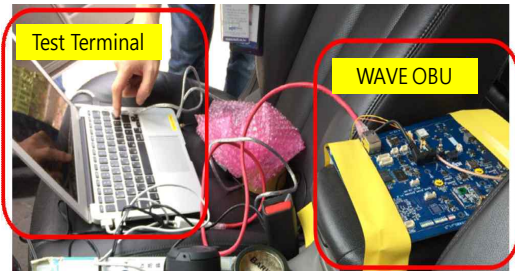


Fig. 7. Test Board on vehicle  
그림 7. 차량에 장착된 테스트 보드

차량과 기지국간의 거리를 실시간 측정하여 해당 전송거리에서의 성능을 확인하기 위해 본 실험에서는 기지국과 차량 단말의 GPS 좌표값을 이용하였으며, GPS로부터 얻어진 좌표값은 식 (7)을 통하여 거리 (m)로 환산되었다[6].

$$d = \text{acos}(\sin\phi_1 \sin\phi_2 + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \cos\Delta\lambda)R \quad (7)$$

실험은 인프라에서 송신하여 차량에서 수신(I2V)하는 형태로 수행되었고, 송신 파워는 20dBm으로 3, 6, 9, 12, 18, 24, 27Mbps 모드에 대해 각각 80~100km/h의 속도로 주행하며 성능을 측정하였으며, 날씨의 맑았다. 이와 같은 테스트 환경을 요약하여 표 1에 나타내었다.

Table 1. Test environment  
표 1. 테스트 환경

항목	내용
통신 형태	I2V
데이터율(Mbps)	3,6,9,12,18,24,27
송신 파워(dBm)	20
데이터 길이(Bytes)	1,000
송신 기지국	4번
차량 운행 속도(km/h)	80~100
송신 간격(ms)	10
안테나 케이블 손실(dB)	6
날씨	맑음

### 3. 실험 결과

그림 8~15는 다이버시티 알고리즘이 적용된 모뎀과 단일 모뎀을 사용하였을 때의 수신 성능을 각각 나타내고 있다. 여기서 상부 그래프의 x축은 패킷 일련번호를, y축은 전송거리(m)를 각각 나타내며 붉은 색 점은 해당 패킷 일련번호를 수신하였으면 해당 통신 거리에 해당하는 거리에 수신하지 못했으면 0에 표시가 나타나도록 하였다. 상부 그래프의 푸른 선은 패킷 수신 성공률을 나타내며 아래로 출렁임이 클수록 수신 오류가 많았음을 나타낸다. 하부 그래프는 상부 그래프의 패킷 수신시의 수신 파워를 나타내고 있으며 최소 수신감도가 약 96dBm 정도임을 확인할 수 있었다.

각 그림의 왼쪽 그래프는 다이버시티가 적용된 모뎀의 성능을, 오른쪽 그래프는 단일 모뎀의 성능을 각각 나타낸다. 안테나의 후면을 통하여 수신하는 모든 경우에서 싱글 모뎀은 매우 짧은 전송거리를 나타내고 있으나, 다이버시티 모뎀을 적용한 구조에서는 오히려 후면부로 수신할 경우에 더 긴 전송거리를 얻을 수 있었다. 3Mbps 모드의 경우 다이버시티 적용 모뎀은 약 1km의 전송거리를 나타낸 반면 싱글 모뎀 적용 구조에서는 약 0.4km의 전송거리를 나타내었다. 기타의 모드에서도 후면 수신시 최소 100%의 전송거리 확대가 나타남이 확인되었다.

### III 결론

본 논문에서는 결정제한 기반 다이버시티 모뎀의 실차환경에서의 효용성 검증을 위한 모뎀 구현 및 실차 테스트를 수행하였으며, 본 실험을 통하여 향후 차량의 통행 및 통신 장애물이 많이 존재하는 지역에서는 다이버시티 기능이 성능 향상을 위해서 필수적으로 요구됨을 확인하였다. 본 실험의 결과는 추후 WAVE 모뎀을 개발하는 개발자들에게 다이버시티 모뎀 적용의 당위성을 제공하는 데에 대한 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

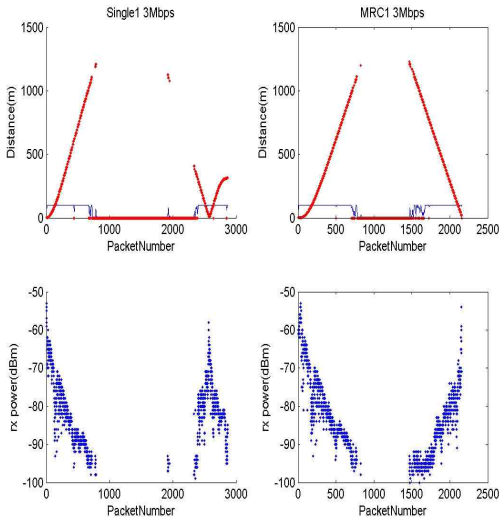


Fig. 8. Comparison of Communication Distance and PER at 3Mbps mode between single and diversity modem  
그림 8. 3Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

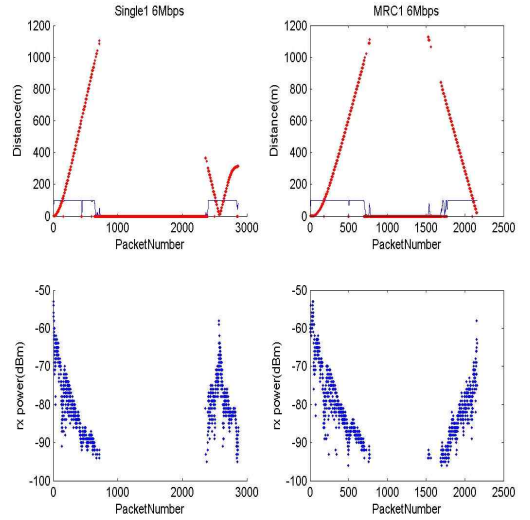


Fig. 10. Comparison of Communication Distance and PER at 6Mbps mode between single and diversity modem  
그림 10. 6Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

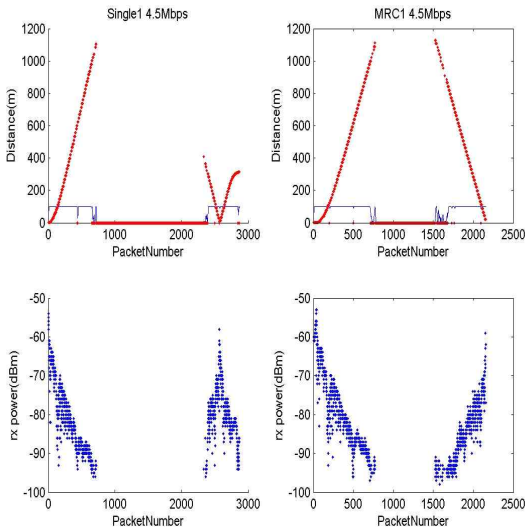


Fig. 9. Comparison of Communication Distance and PER at 4.5Mbps mode between single and diversity modem  
그림 9. 4.5Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

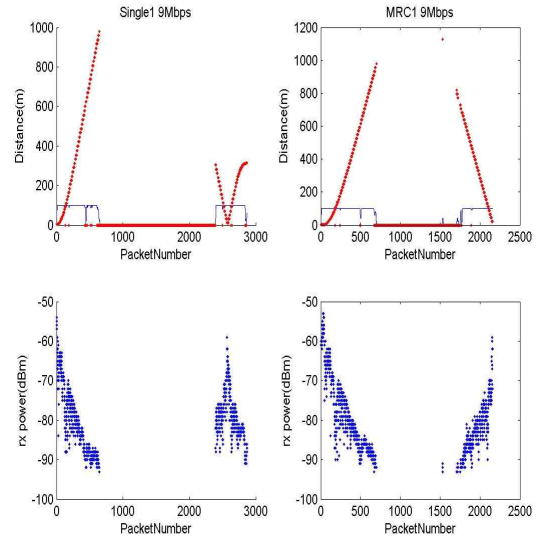


Fig. 11. Comparison of Communication Distance and PER at 9Mbps mode between single and diversity modem  
그림 11. 9Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

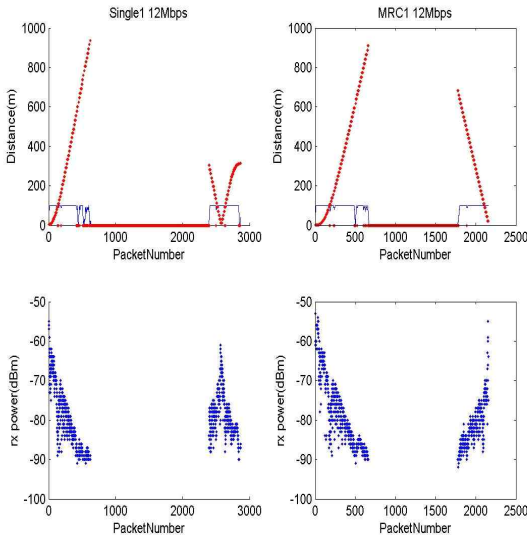


Fig. 12. Comparison of Communication Distance and PER at 12Mbps mode between single and diversity modem  
 그림 12. 12Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

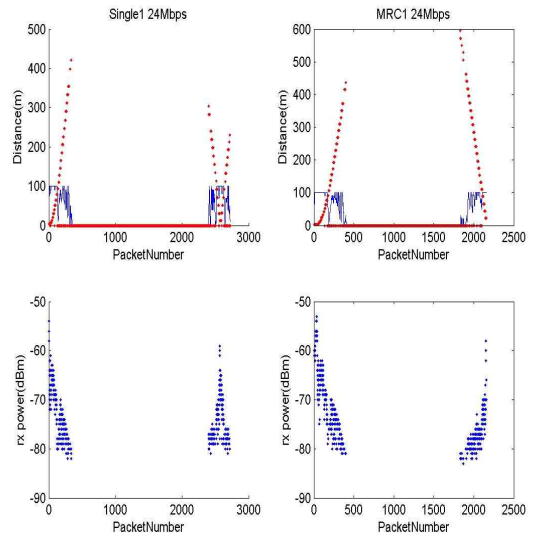


Fig. 14. Comparison of Communication Distance and PER at 24Mbps mode between single and diversity modem  
 그림 14. 24Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

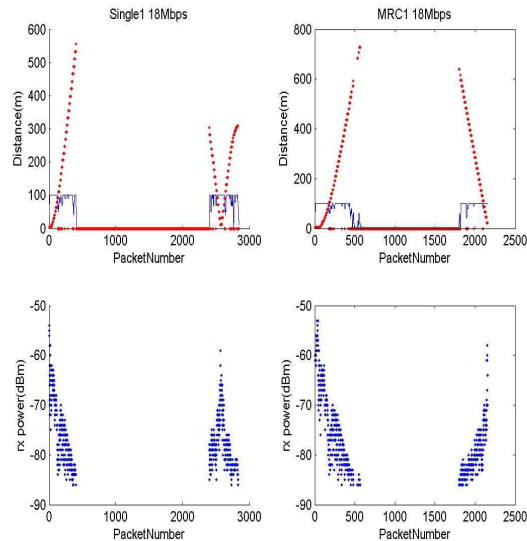


Fig. 13. Comparison of Communication Distance and PER at 18Mbps mode between single and diversity modem  
 그림 13. 18Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

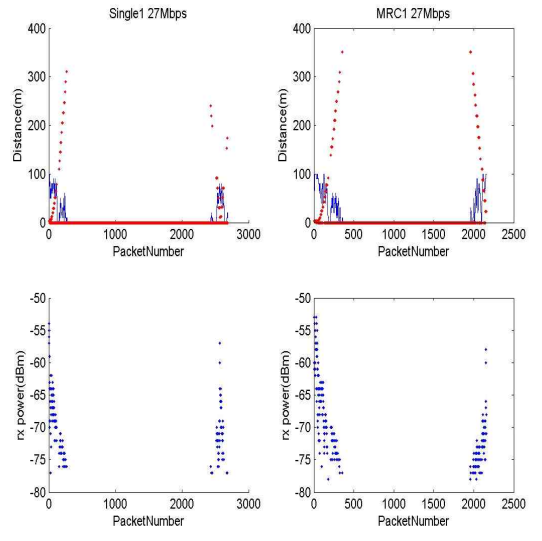


Fig. 15. Comparison of Communication Distance and PER at 27Mbps mode between single and diversity modem  
 그림 15. 27Mbps모드에서의 싱글 모뎀과 다이버시티 모뎀의 통신 거리 및 PER 비교

## References

- [1] Dongyeup Shin, Chulwoo Kim, Jongsun Park, "A Low-complexity Mixed QR Decomposition Architecture for MIMO Detector," Journal of IKEEE, vol.18, no.1, pp.165-171, 2014
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Maximal-ratio\\_combining](http://en.wikipedia.org/wiki/Maximal-ratio_combining)
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Diversity-gain>
- [4] <http://www.smarthighway.or.kr>
- [5] Kiho Yoon, "Tx/Rx Isolation enhancement of the Planar Patch Antenna at 5.8GHz ISM band," Journal of IKEEE, vol.17, no.3, pp.385-392, 2013
- [6] <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>

---

## BIOGRAPHY

---

### Sang-Hun Yoon (Member)



1996 : BS degree in E.E, Hanyang University.  
 1998 : MS degree in E.E., Hanyang University.  
 2008 : PhD degree in E.E., Hanyang University.  
 2012~ : Senior Researcher, Korea Electronics Technology Institute.

### Seong-Keun Jin (Member)



2008 : BS degree in Computer Science Engineering, Hankuk University of Foreign Studies.  
 2010 : MS degree in E.E, Hanyang University.  
 2010~ : Researcher, Korea Electronics Technology Institute.

### Dae-Kyo Shin (Member)



1998 : BS degree in E.E, Ajou University.  
 2000 : MS degree in E.E, Ajou University.  
 2000~2003 : Research Engineer, eMDT.  
 2003~ : Managerial Researcher, Korea Electronics Technology Institute.

### Kitaeg Lim (Member)



1994 : BS degree in E.E, Hanyang University.  
 1996 : MS degree in E.E., Hanyang University.  
 1996~ : Principal Researcher, Korea Electronics Engineering.

### Han-Gyun Jung (Member)



2005 : BS degree in Korea Aerospace University.  
 2007 : MS degree in Korea Aerospace University.  
 2008~ : Senior Researcher, Korea Electronics Technology Institute.