

이동단말용 위성 통신 무선 패키지 시스템을 위한 적응적 D2D 채널 모델링 기법의 성능

황유민*, 차재상**, 김진영*

Performance of an Adaptive D2D Channel Modeling Scheme for Satellite Wireless Package Systems

Yu Min Hwang*, Jae Sang Cha** and Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 아마추어 무선 HR(HAM Radio)을 기반으로 구축되는 새로운 무선 재난통신망인 이동단말용 위성 통신 무선패키지 시스템과 이 재난통신망에 접속하려는 D2D 단말의 채널 환경에 대해 소개한다. 이러한 재난통신망과 D2D 단말이 서로 재난통신할 때 재난정보를 멀티미디어 데이터급 수준으로 원활하게 전송 및 통신하기 위해서는 D2D 단말이 처한 다양한 재난상황에 적응적으로 채널 값을 추정하는 채널 모델링 연구가 요구된다. 따라서 본 논문에서 LOS component ratio 기반의 적응적 채널 모델링 기법을 제안하고, 제안한 기법의 성능을 Okumura-Hata model의 Open area 및 Urban area model과 비교하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 거리 대비 BER 성능 및 SNR 대비 BER 성능에서 이득이 있음을 확인하였다.

Key Words : Device-to-Device(D2D), HAM radio, Adaptive channel modeling, Line-of-Sight(LOS), Autocorrelation property.

ABSTRACT

In this paper, we introduce satellite communication for new wireless disaster network to be built on the basis of amateur radio HR (HAM Radio) as a wireless package system, and channel environments of a D2D terminal that tries to connect and communicate with the wireless disaster network. In this disaster network, we propose a LOS component ratio based adaptive channel modeling approach to accurately estimate a variety of channels whose the D2D terminal could have and smoothly transfer to the level of multimedia data based on the Okumura-Hata channel model. As a result of computer simulation, performance of the proposed method was compared with the that of Okumura-Hata model of open area and urban area model and we were confirmed that there is a gain of BER performance from the results of the computer simulation.

I. 서 론

최근 대부분의 통신 시스템들은 자연재해, 재난 등과 같은 비상상황이 발생했을 경우 이에 대한 통신이 원활하지 않은 한계를 가지며, 이러한 비상상황은 인간의 생명, 재산과 직결 되므로 어떠한 환경에서도 가능하며 빠른 전파를 할 수 있는 통신 시스템의 필요성이 오랜 기간 동안 제기되어 왔다. 본 논문에서는 이러한 통신 시스템의 필요성에 입각하여 아마추어 무선 HR(HAM Radio)을 기반한 교신활동을 위한 송·수신기, 안테나 그리고 그 기기들을 조작하는 컨트롤러 모델

이 합쳐져 하나의 무선국을 이루는 “이동단말용 위성 통신 무선패키지 시스템”을 하나의 새로운 재난통신망으로서 소개한다. 이동단말용 위성 통신 무선 패키지 시스템은 HR을 통신 수단으로 하며 ‘HAM’은 1988년 서울올림픽 때 우리나라를 해외에 적극 홍보하고 1994년 성수대교 붕괴, 1995년 삼풍백화점 붕괴와 대구 가스폭발사고 때는 구조 활동에 크게 기여한 적이 있다. 또 2011년 동일본대지진이 발생했을 때 모든 통신수단이 두절되어 통신이 불가능 했지만, 최후의 통신수단 ‘HAM’을 이용해 각종 상황전파, 구조 활동에 사용되었다.

* 본 연구는 2014년도 중소기업 기술혁신개발사업 글로벌전략기술개발 글로벌강소기업육성과제의 일환으로 작성되었음. [S2176630, '이동 단말용 위성통신 무선 패키지 개발']

*광운대학교 전파공학과 유비쿼터스 통신 연구실(yumin@kw.ac.kr)(jinyoung@kw.ac.kr)

**서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수 (chajaesang@gmail.com)

접수일자 : 2015년 1월 10일, 수정완료일자 : 2015년 2월 2일, 최종 게재확정일자 : 2015년 2월 23일

II. 시스템 모델

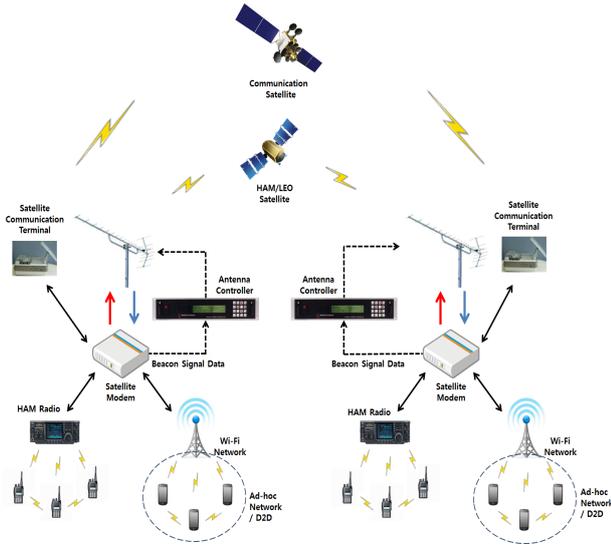


그림 1. 이동단말용 위성 통신 무선패키지 시스템.

그림 1은 HAM기반 통신시스템으로서 이러한 재난상황에서 유용하게 운용될 수 있는 “스마트 단말 연동형 위성 HR통신용 무선 패키지 시스템”이다. 재난상황에서 언제 어디서나 통신 가능한 위성통신 시스템으로 이해할 수 있으며, 실현될 경우, 긴급한 인적, 자연적 재난 상황에서 위성 HAM Radio를 통해 주변 환경의 제한 없이 신속한 상황 전파 및 구조 요청이 가능한 시스템이다. 또한 실내에서 통합 패키지 활용의 경우, Psuedo Satellite를 실내·외를 이어주는 중계기로 활용하여 기존 실내에서 위성통신이 되지 않는 한계를 극복가능하며, 이를 통해 건물 붕괴 등 건물 내 비상상황 시에서도 효과적으로 대응할 수 있다. 기존 비상상황시의 경우 전파가 느려 신속한 상황 대응에는 다소 무리가 있었으나 Ad-Hoc망에 따른 Device to 복합 통신 Server를 통한 앱으로 재난 상황을 전파할 경우, 더욱 많은 정보 공유 및 대응 방안이 신속하게 전파되어 피해규모를 줄일 수 있는 기대효과를 가지고 있다.

본 논문에서 해결하고자 하는 과제는 앞서 소개한 스마트 이동단말용 위성 통신 무선 패키지 시스템에서 D2D 단말이 HR통신하기 위해 위성 모뎀에 접속을 시도하고 접속에 성공하여 재난통신할 때, 원활하게 텍스트/음성 데이터 뿐만 아니라 멀티미디어급의 데이터를 송수신하기 위해 D2D 단말이 처해있는 재난상황에 대한 적응적 채널 모델링 기법을 제안하고 시스템 성능을 개선하여 이를 해결하고자 한다.

논문의 구성은 2장 시스템 모델에서 재난통신망인 이동단말용 위성 통신 무선패키지 시스템에 접속하려는 D2D 단말의 채널 환경에 대한 구체적 설명과 3장 LOS 및 NLOS 성분 분석 방법을 설명한다. 4장에서 3장에서 분석한 LOS/NLOS 성분 분석을 통해 적응적 D2D 채널 모델링 기법을 제안하고, 5장에서 제안한 기법의 성능분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션하고 결과를 분석한다. 그리고 마지막 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

D2D 통신(Device-to-Device Communication)은 단말간 직접 통신 기술이다. 즉, 늘어나는 데이터 트래픽의 수요를 해결하고 한정된 주파수 자원의 이용 효율을 증대하기 위하여 기지국을 거치지 않고 단말기 간 직접 데이터를 교환하는 기술이다. 하지만 주파수 자원의 효율 문제 뿐만 아니라 재난 상황에서 기지국의 부재로 인해서, 그리고 본 시스템 모델에서는 앞서 소개한 재난통신망에 접속하기 위한 도구로써 D2D 통신을 활용한다. 본 논문의 목표는 이러한 D2D통신의 기본적 흐름과 더불어 스마트 단말 및 D2D 기술을 연동한 위성 HR통신기반 재난통신 시스템에서 채널 용량 및 시스템 처리량 확보를 위한 LOS/NLOS path의 성분 비교를 기반한 채널 모델링 기법을 제안하고자 한다.

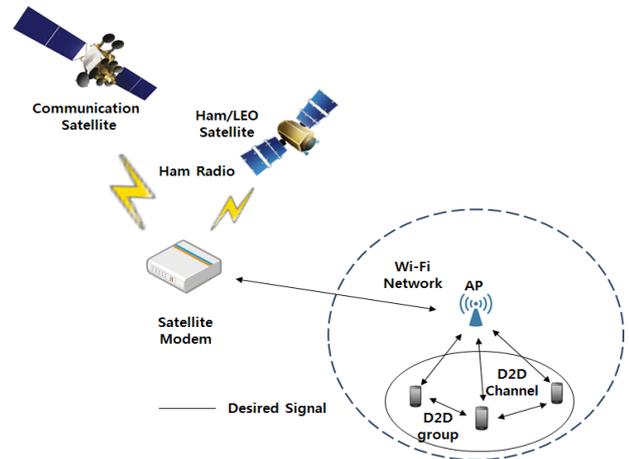


그림 2. D2D 단말의 재난통신망인 이동단말용 위성 통신 무선 패키지 시스템 접속 시나리오.

그림 2는 D2D 단말의 재난통신망인 이동 단말용 위성 통신 무선패키지 시스템의 접속 시나리오이다. 그림의 Satellite modem은 Ham/LEO 위성과 Ham 통신하며 보조 수단으로 일반 위성통신과 통신 가능한 기능을 가지고 있다. 또 지상으로는 Wi-Fi AP와 연결되어 이에 접속되어있는 다수의 D2D 노드와 통신할 수 있는 구조를 가지고 있다.

그림 3은 Tx로서 Source와 Receiver간 통신할 때 LOS path와 NLOS path를 가지는 일반적 Multi-path fading 채널 모델이다. 이 채널 모델은 실내 환경으로만 국한하지 않고, 실외에서도 여러 가지 반사물에 의해서 다중경로 신호 모델이 구성될 수 있다. 따라서 본 논문에서 실내외 환경에서 모두 적용 가능한 채널 모델링 기법을 제안한다.

제한한 시나리오를 실험하고, 채널 모델의 복잡도를 줄이기 위해 시스템 성능에 주된 영향을 끼치는 두가지 요소인 path-loss와 shadow fading만을 고려하여 본 논문의 채널을 구성하였다. 또한 채널 모델은 Urban Macro[8]에서 LOS(Line of Sight)와 NLOS(Non Line of Sight) 성분을 고려하여 구성되었다[1-7].

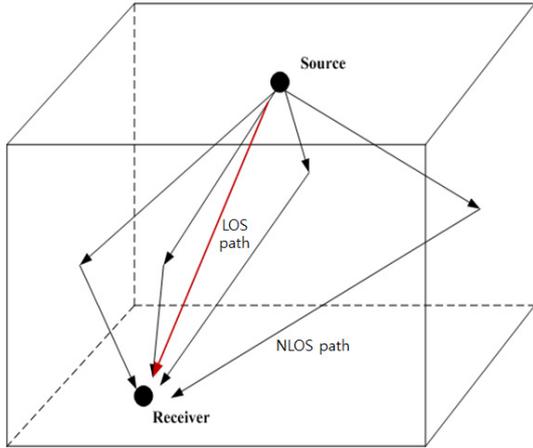


그림 3. 실내 Multi-path 채널 모델링.

III. LOS 및 NLOS 채널 성분 분석

본 일반적 noiseless LOS 전송 모델은 Complex envelope에 상수값만 더해주는 것으로 표현할 수 있다[8-9].

$$v(t) = Ae^{j\phi_0} + R(T(t)) + jI(T(t)), \quad (1)$$

여기서 $j = \sqrt{-1}$, A 는 LOS 컴포넌트의 크기, ϕ_0 는 constant phase shift[10], $R(\cdot)$ 은 변수의 Real part, $I(\cdot)$ 는 Imaginary part, $T(t)$ 는 복소 포락을 의미한다. 복소 포락의 특징을 기반으로 $v(t)$ Autocorrelation값이 수치적으로 구할 수 있다.

3.1 LOS성분 확인

대부분의 현대의 coherent transceiver는 각 다중경로 신호를 트래킹하여 Channel estimation이 가능하다. 본 논문은 각각의 채널에서 Multi-path들을 coherent 수신기 아키텍처에서 판별할 수 있는점을 기반으로 한다.

이러한 제한한 기법에서, 첫 번째로 수신되는 path의 자기상관값의 first zero-crossing 포인트를 찾아내는 것이 본 알고리즘의 핵심 중 하나이며 결론을 가장 빠르게 이끌 수 있다.

최근 대부분의 연구 논문에서 LOS component는 수신부 관점에서 송신부에서 신호를 방사했을 때 가장 첫 번째로 들어오는 path로 인식한다[8-11]. 그러므로 만약 수신기에서 LOS component를 탐지했을 때, 그 다음 component와의 path간 특징의 차이를 구분하는 것으로 LOS와 NLOS component를 탐지 및 확인할 수 있다. 이러한 특징의 차이는 component의 자기상관값의 차이로서 기술할 수 있으며, LOS의 자기상관값은 그 나머지보다 비교적 높은 특징을 가진다[19]. 반면에, LOS component가 존재하지 않을 시 또는 매우 약신호일 경우에는, 거의 동일하거나 비슷한 자기상관 지연(Autocorrelation delay)값을 갖는다. 첫 번째 신호 외에

신호들간 자기상관 지연이 큰 차이를 가지지 않는 것이 특징이다. 그러므로 D2D 단말이 LOS 채널에 있는지 결정하기 위해서 Multi-path 신호들간 자기상관 지연값을 체크하는 것만으로도 충분히 채널 모델을 판단할 수 있다.

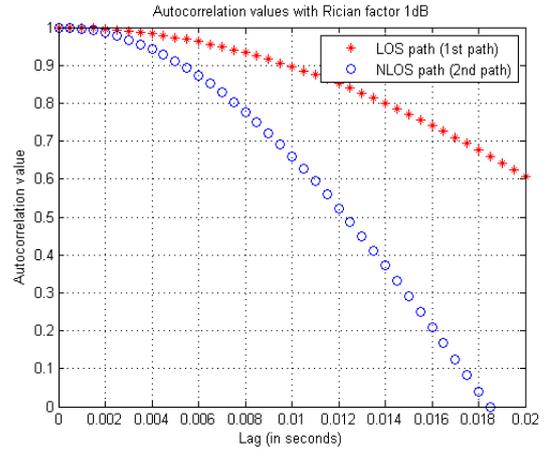


그림 4. Rician factor 1dB에서 각 path들의 자기상관 그래프 (without noise).

그림 4에서 $\delta_i(\kappa_0)$ 을 i 번째 신호의 시간지연 κ_0 에서 자기상관값으로 표현한다. 여기서 $i = 1, 2, \dots, N$ 그리고 $\kappa_0 = 1, 2, \dots, \kappa_{\max}$ 이며, κ_{\max} 는 i 번째 신호의 자기상관값이 처음 zero-crossing하는 시간 지연을 의미한다. 그리고 채널의 LOS component가 있는지와 NLOS와의 비율을 구하기 위해서 수신부 입장에서 수신되는 첫 번째 path와 두 번째 path의 자기상관값의 차, $\delta_1(\kappa_0) - \delta_2(\kappa_0)$ 를 구한다. 만약 이 차이가 연속되는 신호의 것과 계속해서 비교했을 때 매우 크다면 LOS component가 존재하는 것이 더욱 확실해진다. 그래서 LOS 확인 함수를 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$L(\kappa_0) = \frac{\delta_1(\kappa_0) - \delta_2(\kappa_0)}{0.931}, \quad (2)$$

여기서 $L(\kappa_0)$ 의 값을 추후에 Weighting factor로서 활용하기 위하여 Normalization하였는데, $\delta_1(\kappa_0) - \delta_2(\kappa_0)$ 의 최대값인 0.931으로 나누어 주었다. 0.931은 D2D 단말간 거리 100m에서 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서 두 path의 자기상관값의 최대값의 근사치이며, Monte Carlo 방법으로 1천번 연산한 값의 평균이다. 따라서 $L(\kappa_0)$ 은 $0 \leq L(\kappa_0) \leq 1$ 범위를 갖게 되며, 1과 0값을 가질때의 의미는 각각 LOS channel, NLOS channel이며 1에서 0으로 값이 떨어질수록 NLOS component가 주요하게 되는 채널이 됨을 의미한다.

IV. 적응적 채널 모델링 기법

우리는 3장에서 D2D 통신에서 가질 수 있는 채널에 대해 LOS와 NLOS 성분의 비율값으로 $L(\kappa_0)$ 값을 이끌어냈고, 이는 무선통신 시스템에서 널리 쓰이는 Path loss model인 Okumura-Hata model에 Weighting factor로서 응용하여 적응적 채널 모델링을 도출할 수 있다. Okumura-Hata path loss model은 주파수, Tx height h_t , Rx height h_m , Tx-Rx 거리 r 에서 각각 150MHz~1500MHz, 30~200m, 1~10m, 1~10km의 유효 적용 범위를 가진다.

$$\text{Urban areas: } PL_{dB}^U = A + B \log_{10} R - E, \quad (3)$$

$$\text{Open areas: } PL_{dB}^O = A + B \log_{10} R - D, \quad (4)$$

여기서 A 는 $69.55 + 25.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b$, B 는 $44.9 - 6.55 \log_{10} h_b$, C 는 $2(\log_{10}(f_c/28))^2 + 5.4$ (Suburban area에서 적용), D 는 $4.78(\log_{10} f_c)^2 + 18.33 \log_{10} f_c + 40.94$, E 는 대도시에서 300MHz 이상일 때 $3.2(\log_{10}(11.7554 h_m))^2 - 4.97$, 300MHz 이하일 때 $8.29(\log_{10}(1.54 h_m))^2 - 1.1$, 중소 도시에서 $(1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_c - 0.8)$ 값을 가진다. R 은 Tx와 Rx간 거리이다[12]. 식 3~4는 각각 Okumura-Hata model의 도심지역과 개활지에서의 path loss이다.

$$L(\kappa_0) PL_{dB}^O + (1 - L(\kappa_0)) PL_{dB}^U. \quad (5)$$

식 5는 본 논문에서 제안하는 Path loss model이며 Weighting factor $L(\kappa_0)$ 를 도심지역과 개활지에서의 Okumura-Hata model에 LOS component의 비중만큼을 할당하여 적응적으로 채널을 모델링 하였다.

V. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 LOS component ratio 기반 채널 모델링 기법의 성능을 테스트하기 위해 표 1과같이 시뮬레이션 파라미터를 설정하였다.

그림 4는 제안하는 LOS component ratio 기반 적응적 채널 모델링 기법의 거리 R대비 BER 성능그래프이며, Okumura-Hata model의 Open area 및 Urban area model과 그 성능을 비교하였다. 거리 100m에서 세 그래프의 BER 성능을 비교했을 때 Okumura-Hata의 Open area 모델의 성능은 본 실험에서 설정한 파라미터로서 제한되는 환경에서 일반적 무선통신 시스템의 Error free state로서 의미를 가지는 값인 10^{-3} 이상의 값을 가지며, 반면 제안한 채널 모델링

기법의 성능은 약 170m까지 무선 링크를 유지할 수 있는 것으로 확인된다.

그림 5는 Okumura-Hata model의 Urban area model과 제안한 채널 모델링 기법의 SNR 대비 BER 성능을 나타낸 것이다. 그래프는 실험 환경으로서 Tx와 Rx간 거리 100m가 설정되어 있으며 약 1dB정도의 이득을 얻는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 파라미터 설명.

Parameters	Values
Carrier frequency	900MHz
Constellation	QPSK
R	1~1000m
Number of FFT size	256
Number of Guard interval	64
Noise floor	-130 dBm
Channel model	Okumura-Hata (Urban, Open areas)
E_b/N_0	10dB(only in Fig. 4)
Obstacles	Multi-path model

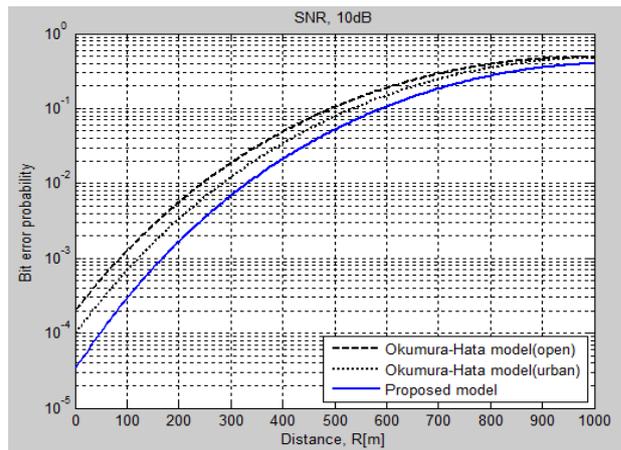


그림 4. 제안한 채널 모델링 기법의 거리 R대비 BER 성능그래프 (SNR=10dB).

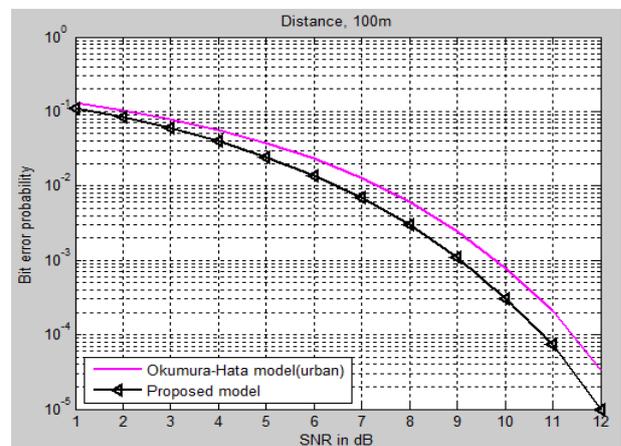


그림 5. 제안한 채널 모델링 기법의 SNR 대비 BER 성능그래프 (R=100m).

VI. 결론

본 논문에서는 D2D 단말이 이동 단말용 위성 통신 무선 패키지 시스템과 원활하게 재난통신하기 위해서 적응적 채널 모델링 기법을 제안하고 이를 성능 평가 하였다. D2D 단말이 가지는 채널은 처한 재난상황에 따라 다양할 수 있지만 근본적으로 LOS와 NLOS component로서 구성된다. 따라서 Multi-path fading 채널 모델에서 LOS와 NLOS component의 비율값을 산출하여 Path loss model인 Okumura-Hata model에 Weighting factor로서 응용하여 적응적 채널 모델링을 도출하였다. 또한 제안한 기법의 성능을 Okumura-Hata model의 Open area 및 Urban area model과 비교하였을 때, 컴퓨터 시뮬레이션 결과 거리 대비 BER 성능 및 SNR 대비 BER 성능에서 이득이 있음을 확인하였다. 하지만 본 논문에서 고려된 채널 모델링 기법 외에 재난상황에서 재난 통신 서비스를 효율적으로 제공하기 위한 다양한 시각에서의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE Journal on Select. Areas Comms.*, vol. 45, pp. 1451-1458, 1998.

[2] A. Goldsmith. "*Wireless Communication*", New York: Cambridge University Press, (2005).

[3] P. Gupta and P. R. Kumar, "The capacity of wireless networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 46, no. 2, pp. 388-404, 2000.

[4] 3GPP TS 36.201 v11.0.0, "*LTE physical layer; general description*,"2012.

[5] Zhang Y P, Hwang Y, Kouyoumjian R G, "Ray optical prediction of radio wave propagation characteristics in tunnel environments "- part 2: analysis and measurements, *IEEE Transactions on AP*, Vol.46, pp.1337-1345, Sep. 1998.

[6] A. Chehri, P. Fortier, and P.-M. Tardif, "Measurements and Modeling of Line-of-Sight UWB Channel in Underground Mines," *Proceedings of the Global Telecommunications Conference*, pp.1-5, Nov. 2006.

[7] Mathieu Boutin, Ahmed Benzakour, Charles L. Despina, "Radio Wave Characterization and Modeling in Underground Mine Tunnels," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 56, No. 2, pp.540-549, Feb. 2008.

[8] A. H. Tewfik and S. Srirangarajan, "Localization in non line-of-sight environments for wireless sensor networks," in *2nd European Workshop on Wireless Sensor Networks*, Istanbul, Jan. - Feb. 2005, pp. 410-414.

[9] W. Chung and D. Ha, "An accurate ultra wideband (UWB) ranging for precision asset location," *Proceedings of the International Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies*, Reston, Virginia, Nov. 2003 pp. 383-393.

[10] J.-Y. Lee and R. A. Scholtz, "Ranging in a dense multipath environment using an UWB radio link," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 9, no. 20, pp. 1677-1683 Dec. 2002.

[11] S. S. Ghassemzadeh, L. J. Greenstein, T. Sveinsson, A. Kavcic, and V. Tarokh, "UWB delay profile models for residential and commercial indoor environments," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 54, no. 4, pp. 1235-1244, July 2005.

[12] A. Medeisis, A.Kajackas, "On the Use of the Universal Okumura-Hata Propagation Prediction Model in Rural Areas", *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 3, May 2000, pp. 450-453.

저자

황 유 민(Yu Min Hwang)

준회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박통합과정

<관심분야> : 4G 이동통신, 디지털 통신, 가시광통신, D2D, LBS, 인지무선통신.

차 재 상(Jae-sang Cha)

종신회원



- 2000년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과(공학박사)
- 2002년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송 기술 연구소 선임연구원 2002년 ~ 2005년 : 서경대학교 정보통신공학과 전임강사

· 2008년 : 미국 Florida University, Visiting Professor
 · 2005년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 매체공학과 교수
 <관심분야> : LED-ID, 조명IT융합신기술, LBS, ITS, UWB, 무선 홈 네트워크, DMB 및 디지털 방송 등

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신.