

# 이동단말용 위성 통신 무선 패키지 시스템을 위한 D2D Relay 기반 HAM Radio와 Wi-Fi Network 결합망의 통신 성능 확보 연구

황유민\*, 차재상\*\*, 김진영\*

## Study on D2D Relay based Interconnection Network of HAM Radio and Wi-Fi for Securing Communication Performance in 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 시스템을 소개하고, D2D 다중 홉 기반의 재난통신망 접속에서 D2D 단말이 인접 기지국과 D2D 그룹들에 의해 간섭을 받는 간섭 시나리오를 구성하였다. 이러한 간섭 시나리오에서 D2D 단말이 재난통신시 필요한 채널용량 확보하고 재난통신망에 원활하게 접속, 통신할 수 있도록 주파수 재할당 방법을 제시하였고, 제안한 기법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기존 알고리즘 대비 시스템 Throughput 성능 개선 및 BER 성능에서 최대 1.5dB 이득이 있음을 확인하였다.

**Key Words** : Device-to-Device(D2D), HAM radio, Inter-cell interference, Frequency reuse, Disaster communication.

### ABSTRACT

In this paper, we introduce a wireless package system based on the amateur radio HR(HAM Radio) and satellite communication as a novel wireless disaster communication system and have configured a interference scenario receiving interference from adjacent base stations and D2D groups in the disaster network. In such interference scenarios, we propose a frequency re-allocation method to avoid interference and communicate with disaster networks by securing the channel capacity required between D2D terminals. As a result of computer simulation, we can find the proposed method has improved BED performance of a gain of 1.5dB and overall system throughput than conventional methods.

## I. 서 론

본 논문에서는 아마추어 무선 HR(HAM Radio)을 기반한 교신활동을 위한 송·수신기, 안테나 그리고 그 기기들을 조작하는 컨트롤러 모듈이 합쳐져 하나의 무선국을 이루는 이동단말용 위성 통신 무선패키지 시스템에 관한 내용을 다룬다. 현재 대부분의 통신 시스템들은 자연재해, 재난 등과 같은 비상상황이 발생했을 경우 이에 대한 통신이 원활하지 않은 한계를 가지며, 이러한 비상상황은 인간의 생명, 재산과 직결되므로 어떠한 환경에서도 가능하며 빠른 전파를 할 수 있는 통신 시스템의 필요성이 오랜 기간 동안 제기되어 왔

다. 선진각국에서는 국가 안전 및 비상대비 통신 체계를 국가 주도로 우선적으로 확보 하여 운영하고 있으며, 2001년 미국에서 일어난 9.11사태 등 재난 대처 사례에서 구호 요원들 간의 현장통신과 지휘통신의 중요성이 더욱 부각되고 있는 것이 사실이다. 긴급 재난이 발생한 경우 전화, 인터넷 등 사용할 수 있는 통신 수단이 모두 차단되었을 때 위성 HAM Radio를 이용할 경우 통신이 가능한데, 이는 단순 통신방식을 넘어 위성 HR 및 Ad-Hoc망에서의 D2D통신을 통해 신속한 상황 전파 및 구조 요청이 가능하게 된다. 이는 기존의 상황전파 및 구조요청 방식을 벗어나 더욱 효과적이고 신속한 전파 및 구조요청이 가능한 새로운 재난통신 시스템으로

\* 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 13일, 최종 게재확정일자 : 2015년 2월 23일

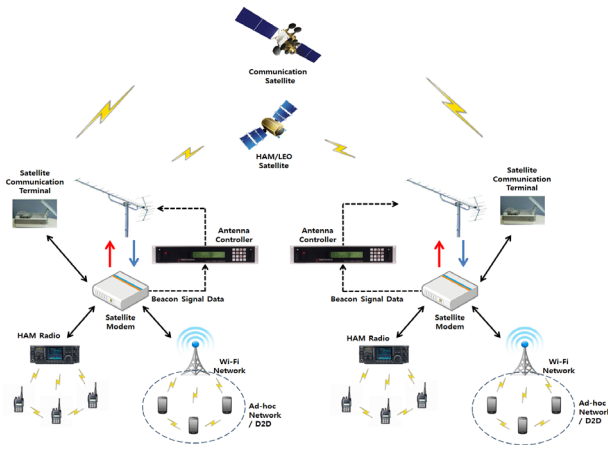


그림 1. 이동단말용 위성 통신 무선패키지 시스템.

말할 수 있다. 뿐만 아니라 최근 SKT의 HLR(Home Location Register, 가입자 확인 모듈) 오류로 인한 통신장애로 560만 명의 이용자들이 피해를 입은 사실이 있는데, 퇴근길 전화사용이 폭주하면서 트래픽이 증가하여 발생하였다. 이러한 통신 트래픽 증가로 인한 통신장애 발생 우려는 꾸준히 증가하고 있으며, 통신장애는 재난상황 또는 비상상황 발생 시 매우 치명적이며, 심각한 인명피해를 발생시킬 수 있다. 이에 기술적으로 어떠한 환경에서도 통신 가능한 솔루션이 필요하고, 기존의 재난 통신 기술과는 또 다른 형태로서 차별되는 스마트 단말 및 D2D 기술을 연동한 위성 HR통신기반 재난통신 시스템 개발은 비상상황에서 효과적인 기술적 솔루션을 제공 할 것으로 예측된다.

스마트 단말 및 D2D 기술을 연동한 위성 HR통신기반 재난통신 시스템의 실제 동작 시나리오는 HAM Radio망과 Wi-Fi망 연동의 경우, 기존 HAM 단말기만을 이용하여 접근 가능했던 HAM 위성 접속의 제한을 벗어나 Wi-Fi망을 이용하여 중계기에 접속하여 HAM(위성+지상파) 또는 위성 전화에 접속 가능하다. Ad-Hoc 네트워킹 및 D2D 시스템의 경우, 주변 단말을 통해 상호 협력통신이 가능하다는 점에 있어서 재난 상황시 단말들 간의 정보 공유를 통해 빠른 상황 전파 및 효과적인 대응이 가능하다. 추가적으로 해당 시스템을 기반한 위성 HR 통신을 위한 UI를 제공하는 앱 구현까지 완료될 경우, 긴급 재난시 위성 HAM Radio를 통해 주변 환경의 제한 없이 신속한 상황 전파 및 구조 요청이 가능할 것으로 기대된다.

스마트 단말 및 D2D 기술을 연동한 위성 HR통신기반 재난통신 시스템은 언제, 어디서, 누구와도 통신을 가능하게 하여 이용자의 이동성과 편의성을 보장해 줄 뿐 아니라 전 세계를 단일 통화권으로 형성하게 하는데 필수적이다. 또한 이동 단말 연계형 위성 HR 패키지 모듈 개발을 통해 신기술, 신제품, 신규 서비스 개발을 가능하게 하여 국가 경제 및 산업발전에 기여할 것으로 기대된다. HAM Radio 통신기능은 재난 소방망 및 국방망에도 활용 가능하며, 재난전파 통신 및 실내 위치인식/전파 시스템에서 재난관련 경우, 지진/

화재 등 인적재난 및 자연적 재난 모두에서 119 종합재난전산정보시스템 및 소방행정망시스템을 통해 각종 재난시 신속 대응할 수 있게 하는 장점을 가지고 있어 현 시대의 기술을 융합한 새로운 재난통신 시스템으로서 연구 가치가 있다.

하지만 스마트 단말 및 D2D 기술을 연동한 위성 HR통신기반 재난통신 시스템에서 스마트 단말이 위성 모델에 접속하여 위성통신 할 때, 주변의 재난통신망에 접속하고자하는 D2D 노드들을 흡수하여 통신망에 접속시킬 수 있다. 이러한 시나리오는 스마트 단말이 위성 모델까지 다수의 흡수로 구성될 수 있는 D2D망들을 이용하게 되는데 이러한 D2D 다중 흡 기반의 통신망 접속에서 근처 기지국과 D2D망들에 의해 간섭을 받을 수 있다. 이러한 간섭은 통신망 성능뿐만 아니라 긴급한 재난통신망 형성에 문제를 야기하기 때문에 본 논문에서 간섭 정렬 알고리즘을 제안하고 이를 통해 간섭문제를 해결하고자 한다[1-6].

논문의 구성은 2장 시스템 모델에서 간섭 시나리오에 대한 구체적 설명과 3장 간섭 문제 해결을 위한 제안한 간섭 제거 알고리즘에 대한 설명한다. 4장에서 제안한 알고리즘의 성능분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 분석하고 기존의 기법과 비교하여 제안한 알고리즘의 우수성을 입증한다. 5장 결론에서 시스템 모델인 다중 흡 D2D기반 재난통신망 형성 시나리오에서 제안한 알고리즘이 간섭 문제를 기존 시스템 대비 완화된 솔루션임을 설명하며 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

고속의 데이터 전송속도 요구와, 무선 자원의 부족 현상이 더욱 빠르게 이동통신 시스템의 성장을 부추기고 있다. 반면 D2D 통신은 스펙트럼 효율을 대단히 크게 개선시키는 하나의 솔루션으로 부각되고 있으며, 셀룰러망에서 End 단말간의 직접통신으로서 무선 자원의 재사용 기술을 통해 이를 이룰 수 있다. 본 논문의 목표는 이러한 D2D통신의 기본적 흐름에서 스마트 단말 및 D2D 기술을 연동한 위성 HR통신기반 재난통신 시스템의 구축을 위해 Cellular망에서의 간섭을 회피하고 전체 Throughput을 최적화 시키는 것에 있다 [7-10].

그림 2는 다중 D2D 흡 기반의 D2D 단말들이 위성 재난통신망인 HAM 통신망에 접속하기 위해 Satellite modem에 연결되어있는 Wi-Fi 네트워크에 접속할 때 인접 셀룰러 망으로부터 간섭을 받고있는 시나리오를 도시한 것이다. 실제 전쟁, 지진, 화재, 태풍, 홍수 등 다양한 재난에 의해서 기지국이 파괴되거나, 정상적으로 운용될 수 없는 상황에서는 그림과 같이 D2D group이 형성될 수 있고, 일부 Group은 커버리지 내에서 기지국에 접속하여 통신할 수 있다. 하지만 확보된 재난통신망에 접속하기 위해서는 위와 같이 Satellite modem까지 접속하기 위한 D2D Link가 확보되어야 하며 이

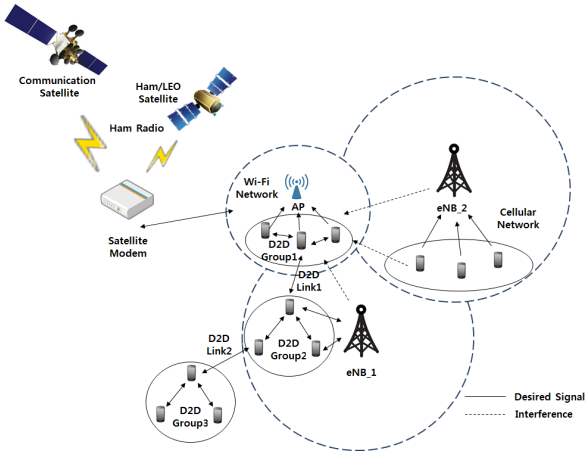


그림 2. 다중 D2D 홉 기반 재난통신망 접속에서의 간섭 시나리오.

러한 상황에서 인접 셀룰러 네트워크로부터 간섭을 받는 상황을 시나리오로 구성할 수 있다. 그림에서 D2D통신망에 접속되어 있는 End 유저들은 최종적으로 재난통신망에 접속하여 재난상황 정보를 전달받을 뿐만아니라 재난상황에 의해 셀룰러 네트워크 접속이 불가능한 경우 위성통신에 접속하여 통신망을 확보하는 것에 목표가 있다. 제안한 시나리오에서 일부 주변 셀룰러 기지국과 그 기지국에 접속되어있는 인접 UE(User Equipment)로부터 간섭을 받을 수 있는데, 이러한 간섭을 회피하여 최대한의 시스템 Throughput을 확보하는것이 본 논문의 최종 목표가 되겠다.

### 2.1 채널 모델

제안한 시나리오를 실험하고, 채널 모델의 복잡도를 줄이기 위해 시스템 성능에 주된 영향을 끼치는 두가지 요소인 path-loss와 shadow fading만을 고려하여 구성하였다. 채널 모델은 Urban Macro[14]에서 LOS(Line of Sight)와 NLOS(Non Line of Sight) 성분을 고려하여 구성되었다.

### 2.2 Mode selection

본 논문에서 우리는 “mode”에 대한 정의가 전송 방법에 대한 것일 뿐만 아니라 하나의 스펙트럼 공유 방안으로서 필요하다.

- 1) Cellular mode (CEL). 기지국 커버리지 내에 위치하는, 기지국에 접속할 수 있는 D2D 송수신단말은 D2D 단말간 뿐만 아니라 기지국에 접속하여 데이터를 주고받을 수 있다.
- 2) Dedicated mode (DED). D2D 단말간 Orthogonal frequency를 할당받아 운용되는 통신 모드.
- 3) Reuse mode. D2D간 통신하는 모드를 의미하여 사용하는 주파수를 커버리지 내 기지국과 인접 기지국의 주파수 운용 정보를 바탕으로 Licensed band를 사용하는 Local Reuse(LRE) 모드[11-13].

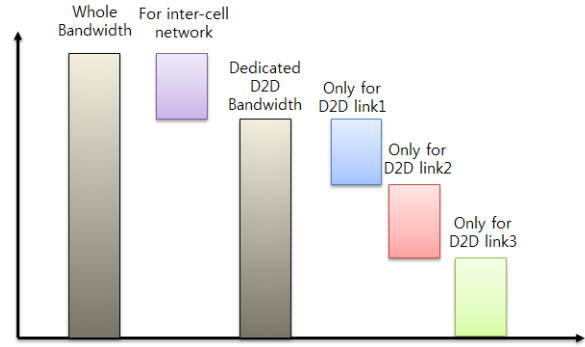


그림 3. D2D링크 확보를 위한 인접 네트워크에서의 주파수 재할당 개념도.

## Ⅲ. 간섭 회피 방법 및 성능 분석

본 논문에서 제안하는 간섭 시나리오에 효율적으로 대응 가능하고 D2D 단말간 시스템 Throughput을 보장하는 매커니즘을 소개한다. 매커니즘은 아래와 같은 조건을 만족하는 것을 기반으로 한다.

1. 기지국에서 최소한의 대역폭 및 채널용량으로 기지국에 접속되어있는 UE와 통신하고 나머지 대역폭을 D2D 링크 보장을 위해 최대한 할당해주는 주파수 할당.
2. FFR(Fractional frequency reuse)-based ICIC(Inter-Cell Interference Coordination)기술과 차별되어 기지국과 D2D 링크가 서로 다른 대역폭으로 운용하는 주파수 재 할당.

그림 2의 시나리오에서 그림 3과 같은 주파수 재할당 매커니즘이 적용되기 위해서는 아래와 같은 상태조건을 기반으로 하여야 한다.

1. eNB\_1과 해당 기지국의 커버리지 내에 위치하는 D2D 노드(D2D group2)간 통신 채널이 확보되어 데이터를 주고받을 수 있는 상태.
2. D2D group2와 D2D group1간 D2D Link1을 통해 통신 가능하지만 인접 셀로부터 간섭을 받고있는 상태.
3. D2D group2가 D2D Link1을 통해 D2D group1과 통신상황을 보고하고 eNB\_1과 주파수 재할당 매커니즘에 의해 D2D Link1을 간섭으로부터 보호할 수 있는 상태.

위 상태에서 D2D group2 내에서 D2D Link1을 통해 위치 및 SINR값에 근거해 가장 효율적으로 D2D group1과 통신할 수 있는 대표 단말이 PDCCH (Physical Downlink Control Channel), PUCCH (Physical Uplink Control Channel) 등 제어 정보를 x2 시그널링을 통해 eNB\_1에게 전송한다. 또한 대표 단말은 해당 D2D 노드들 및 D2D group1에게 재할당된 전용 채널정보를 전달하고 최소한의 간섭을 회피하여 재난 통신망에 접속 가능할 것으로 생각된다.

### 3.1 최대 채널용량 확보

주파수 제한당 매커니즘으로 기지국의 대역폭을 기본적으로 전체 시스템 Throughput을 guarantee하기 위한 조건이 필요하고 조건 내에서 아래와 같이 기술할 수 있다.

$$\max U = \sum_{i=0}^N \alpha^d B_i^d \log(1 + S_i^d) + (1 - \alpha^d) B_i^c \log(1 + S_i^c), \quad (1)$$

$$s.t. \alpha^d B_i^d \log(1 + S_i^d) > (1 - \alpha^d) B_i^c \log(1 + S_i^c). \quad (2)$$

식 (1)의  $U$ 는 D2D 그룹의 Throughput과 D2D 그룹을 포함하는 셀의 eNB의 Throughput의 전체 합을 나타내고 이를 Maximize한다. 식 (1)에서 식 (2)와 같은 조건으로 eNB의 whole bandwidth를 재할당하여 D2D 그룹과 대역폭을 구분하여 운용하고 weighting factor  $\alpha^d$ 를 통해 강제로 D2D 그룹의 채널용량을 guarantee하는 세부 기능을 포함한다. weighting factor  $\alpha^d$ 는 채널 재사용 매커니즘으로 셀룰러망이 운용될 수 있는 최소한의 대역폭을 남겨두고, 그 나머지를 할당받아 최대한의 채널용량을 확보하더라도 재난통신망 접속 및 재난망으로부터 통신 용량이 확보되지 못하여 원활하게 재난통신이 이루어지지 않을 때 가중치를 통해 재난통신망을 원활하게 동작시키는 데에 기능을 한다.

## IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 기법의 성능적 이득을 수치화하기 위해서 discrete event 시뮬레이션으로서 평가하였다. 기지국은 OFDMA 시스템기반으로 70개의 UE와 15개의 D2D 유저가 위치적으로 고정된 상태로 존재하는 것으로 가정한다.

셀룰러 셀의 반경은 1km이고 D2D 그룹과의 거리는 100m로 한다. D2D group2의 핵심 단말  $i$ 와 D2D group1의 핵심 단말  $k$ 사이의 링크 게인  $g_{ik}$ 는  $s_i d_{ik}^{-4}$ , Shadow fading factor는  $s_i$ 로 설정한다.  $d_{ik}$ 는  $i$ 와  $k$  사이의 거리이다. Shadow fading 모델은 표준편차 8dB를 가지는 log-normal 분포를 따른다. 또한 최대 송신 출력은 1watt로 제한하여 시뮬레이션 하였다. 아래는  $i$ 와  $k$ 의 SINR 표현식이다.

$$SINR_i = \frac{g_{ik}}{\sum_{l=1, l \neq k}^M g_{il} + \sum_{l=1, l \neq i}^S g_{il} + N} \quad (3)$$

여기서  $M$ 은 D2D group1을 형성하는 단말 수,  $S$ 는 eNB에 접속되어 있는 상향링크 수,  $N$ 은 Thermal noise이다.

시뮬레이션은 100개의 radio frame을 100회 전송시켜 평균 처리량을 계산하였고, 그 결과를 표 2와 같이 나타내었다.

표 1. 파라미터 설명.

$N$	the total number of the cells
$\alpha^c$	the weighting factor which empowers the total capacity of D2D group than that of cellular network
$B_i^c, B_i^d$	the allocated bandwidth for the $i$ th cellular and D2D users respectively
$S_i^c, S_i^d$	the SINR of the $i$ th cellular and D2D users respectively

표 2. 평균 시스템 처리량.

Noise (dB)	Scheme 1 (bits)	Scheme 2 (bits)	Proposed Scheme (bits)
-130	1422	1422.3	1432.6
-140	1472.5	1472.8	1484.2
-150	1638.1	1640.8	1669.7
-160	1678.2	1680.9	1706.8

\* Scheme 1 : Same resources are shared.

\* Scheme 2 : Only frequency division is used.

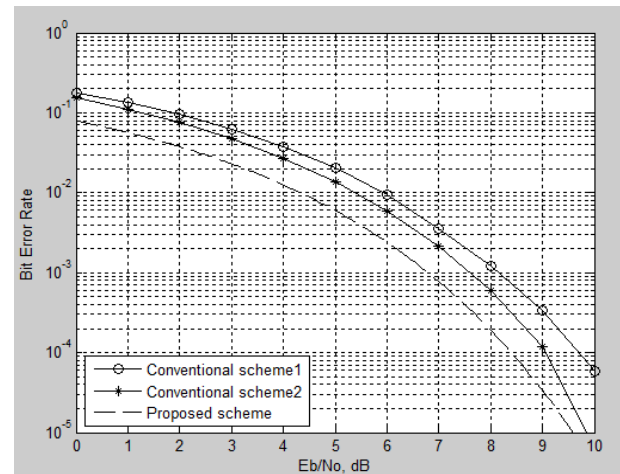


그림 4. 제안한 기법과 기존 알고리즘의 BER performance.

## V. 결론

본 논문에서는 제안한 다중 D2D 홉 기반 재난통신망 접속에서의 간섭 시나리오에서 D2D 단말이 이동단말용 위성 통신 무선패키지 시스템에 원활하게 접속하고 재난통신하기 위한 주파수 재할당 방법을 제시하였다. 제안한 주파수 재할당 방법으로 재난통신에서 필요한 채널용량 확보하고, 시뮬레이션 결과를 통해 기존 알고리즘 대비 제안한 기법의 BER 성능이 최대 1.5dB 이득을 얻었음을 보였다. 또한 시스템 전체 처리량에서도 이득이 있음을 확인하였다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법 외에 우리가 재난발생시 무선 단말들이 재난통신망을 효율적으로 접속하고, 재난 통신 서비스를 원활히 제공하기 위해서 기존 시스템의 단점들을 찾고 보완하는 연구가 지속적으로 이루어져야 한다고 생각한다.



참 고 문 헌

[1] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-Advanced networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.

[2] N. Himayat, S. Talwar, A. Rao, and R. Soni, "Interference management for 4G cellular standards [WIMAX/LTE update]," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 48, no. 8, pp. 86-92, 2010.

[3] Dorna Bandari, Gregory Potti, Pascal Frossard, J. Clerk Maxwell, "Icon: Interference concentration for uplink in multicell OFDMA networks," *2011 WiMob.*, pp. 249-254, 2011.

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

[5] 3GPP TS 36.331 v11.0.0, "Radio Resource Control (RRC) Protocol specification," 2012.

[6] P. Santi and D. M. Blough, "The critical transmitting range for connectivity in sparse wireless ad hoc networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 2, no. 1, pp. 25-39, 2003.

[7] P. Schniter, "Turbo reconstruction of structured sparse signals," *Proceedings of Conference on Information Sciences and Systems*, Mar. 2010.

[8] P. Janis, C.-H. Yu, K. Doppler, C. Ribeiro, C. Wijting, K. Hugl, O. Tirkkonen, and V. Koivunen, "Device-to-device communication underlying cellular communications systems," *International Journal of Commun., Network and System Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 169-178, 2009.

[9] W. C. Ao and K.-C. Chen, "Cognitive radio-enabled network-based cooperation: From a connectivity perspective," *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, vol. 30, no. 10, pp. 1969-1982, 2012.

[10] P. Janis, C.-H. Yu, K. Doppler, C. Ribeiro, C. Wijting, K. Hugl, O. Tirkkonen, and V. Koivunen, "Device-to-device communication underlying cellular communications systems," *International Journal of Commun., Network and System Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 169-178, 2009.

[11] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, et al., "Design Aspects of Network Assisted Device-to-Device Communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp. 170-177, Mar. 2012.

[12] H. Hu, H. Yanikomeroglu, D. D. Falconer, et al., "Range Extension without Capacity penalty in Cellular Networks with Digital Fixed Relays," *Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference*, Nov. 2004, pp. 3053-3057.

[13] C. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "Power optimization of device-to-device communication underlying cellular communication," *Proceedings of IEEE International Conference on Commun.*, June 2009.

[14] T. Peng, Q. Lu, H. Wang, S. Xu, et al., "Interference Avoidance Mechanisms in the Hybrid Cellular and Device-to-Device Systems," *IEEE 20th International Symposium on, Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.*, Sept. 2009.

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.