

# 위성 무선 인터페이스를 위한 임의접속 절차

남승현\*, 김희욱\*, 홍태철\*, 강군석\*, 구분준\*, 안도섭\* 정회원

## The Random Access Procedure for Satellite Radio Interface

Seunghyun Nam\*, Heewook Kim\*, Tae Chul Hong\*, Kunseok Kang\*,  
Bon Jun Ku\*, Do-Seob Ahn\* *Regular Members*

### 요 약

미래의 통신망은 지상 네트워크와 위성 네트워크가 결합하거나 협동 통신 하는 방향으로 진화할 것으로 예상된다. 위성/지상 통합 시스템에서 위성과 지상 무선 인터페이스 간 공통성은 단말의 비용을 고려했을 때 매우 중요하게 고려되어야 한다. 특히, 차세대 IMT-Advanced 시스템으로 LTE기반의 지상 시스템이 고려되고 있는 점을 감안했을 때, LTE 기반의 위성 시스템에 대한 연구가 절실히 요구된다. 현존하는 LTE기반의 지상 무선 통신 시스템의 프레임은 최대 100 km 크기의 셀에서 임의 접속이 가능하도록 설계되어 있다. 그러나 위성 시스템의 경우 수 천 km에 이르는 빔 커버리지를 갖기 때문에 최대 100 km의 셀 크기를 고려하여 설계된 LTE프레임 구조 내에서 지상 시스템을 위한 임의 접속 방법을 그대로 적용할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 LTE기반 지상 시스템에서 지원하는 프레임 구조에서 시스템 latency를 줄이고 낮은 복잡도를 가지는 위성 시스템 환경에 적절한 임의 접속 절차를 제안하고자 한다.

Key Words : random access; LTE; terrestrial network; satellite network; coverage.

### ABSTRACT

The future of communication systems is expected to combine with the terrestrial and satellite networks. A commonality between wireless interfaces is important consideration for cost of user equipment in the integrated satellite and the terrestrial system. Because IMT-Advanced system take into account LTE based on the terrestrial system for the next generation of communication, a study of the LTE-based satellite system is especially required. A frame of the existing terrestrial wireless networks is designed to use for a random access up to the maximum cell radius of 100 km. However, the random access scheme for the terrestrial system cannot be used in the satellite system, because the satellite systems generally have large coverage than the terrestrial system. Therefore, we propose that the efficient random access procedure to reduce latency and complexity for the satellite system maintaining commonality with the terrestrial system in this paper.

### I. 서 론

지상 통신 시스템은 4세대 통신 시스템이 도래하면서 단일 물리 계층의 규격으로 발전되고 있다. 또한 현재의 위성 시스템의 네트워크는 지상 통신 시스템과 통신하기 위한 방향으로 발전되고 있다. 지상 통신 시스템과 위성 통신 시스템의 기술 명세서의 단일화를 통해 통신 커버리지를 확장할 수 있고 시스템 간 협동 및 보완함으로써 주

과수, 시간 전력 등 한정된 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있다. 이러한 두 시스템의 결합은 유비쿼터스 시대의 도래를 앞당길 수 있는 계기가 될 것이다. 현재, 위성 사업자에 의해 S-band에서 서비스를 제공하는 스마트폰이 출시되고 되었다. S-band는 지상 네트워크의 주파수 대역과 인접해 있다. 위성 네트워크와 지상 네트워크에서 단일 칩 프로세서로써 구현할 수 있으며, 이는 적은 비용으로 구현하는데 이점이 될 수 있다. 그러나 4세대 지상 통신 시스템이 위성 통신 시스템에 적용될 때 여러 가지

\* 한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성휴대전송연구팀(shnam@etri.re.kr, prince304@etri.re.kr, taechori@etri.re.kr, kangks@etri.re.kr)

\* 본 발명은 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI001794, IMT-Advanced 위성접속기술 개발] 접수일자 : 2010년 8월 14일, 수정완료일자 : 2010년 8월 25일, 최종제재확정일자 : 2010년 9월 25일

문제점이 발생할 수 있으며, 큰 요인으로 두 가지를 들 수 있다. 첫 번째는 긴 전파 지연 시간이다. 단말기가 현존하는 통신 시스템에 접속할 때, 임의접속 절차는 네트워크의 초기 접속을 위해 사용된다. 현존하는 지상 시스템에서 임의 접속 절차는 위성 네트워크와 같이 커버리지가 넓은 시스템을 고려하지 않았기 때문에, 커버리지의 거리가 증가함에 따라 발생하는 지연시간에 제한된 상태로 설계되어 있다. 또한, 확장된 커버리지에 따라 단말기의 개수도 증가하게 된다. 그러므로, 단말기 간 간섭은 증가하게 된다 [1]. 두 번째 문제로서 파워 손실이 있다. 만약 위성 환경에서 지상 통신 시스템을 그대로 사용한다면, 임의접속 절차는 성공할 때까지 반복될 것이며, 이것은 파워 손실을 야기한다. 위성 네트워크에서 지상 시스템을 사용하기 위해서는 프레임 구조를 개선하여 이러한 위의 문제들을 해결해야 한다. 위성 네트워크에서 사용되기 위해 지상 네트워크의 프레임 구조는 넓은 커버리지에서도 사용할 수 있도록 다시 설계되어야 한다. 이러한 이유로, 본 논문에서는 위성 네트워크에서 사용 가능한 임의접속 절차와 프레임에 대해 제안한다. 본 논문에서 제안한 기법은 넓은 커버리지에서 임의접속을 가능할 수 있도록 하며, 지상 네트워크의 시스템으로 설계된 단말기가 물리 계층의 변화 없이 위성 네트워크에서 사용될 수 있도록 한다. 본 논문에서는 임의접속 프리앰블에서 사용되는 Zadoff-Chu (ZC) 시퀀스 [2]의 수직 성분이 파괴됨으로써 발생하는 간섭을 분석한다.

본 논문의 순서는 아래와 같다. 2장에서는 Long Term Evolution (LTE)에서 사용되는 임의접속 구조에 대해 살펴본다. 3장에서는 단일 ZC 시퀀스를 겹친 형태로써 제안한 기법 및 절차를 살펴보고 4장에서 실험 결과를 살펴본다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. LTE 시스템에서 임의접속

이번 장에서는 LTE 시스템 기반의 업링크 모델의 관점에서 임의접속 절차를 설명한다. 임의접속은 네트워크에 접속할 때 동기화를 획득하고자 사용된다.  $u$  번째 근을 갖는 ZC 시퀀스는 다음과 같다.

$$x_u(n) = e^{-j\pi un(n+1)/N_{ZC}}, 0 \leq n \leq N_{ZC} - 1 \quad (1)$$

여기서  $N_{ZC}$ 는 ZC 시퀀스의 길이이다 [3].  $u$  번째 근을 갖는 ZC 시퀀스로부터 상관도가 0인 구간을 갖는  $N_{CS} - 1$  길이의 임의접속 프리앰블은 순환 천이에 의해 아래와 같이 정의된다.

$$x_{(u,v)}(n) = x_u((n + C_v) \bmod N_{ZC}) \quad (2)$$

여기서 순환 천이는 아래와 같다.

$$C_v = \begin{cases} vN_{CS}, v = 0, 1, \dots, \lfloor N_{ZC}/N_{CS} \rfloor - 1, N_{CS} \neq 0 \\ 0, N_{CS} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $N_{CS}$ 는 순환 천이의 수이다 [3]. 본 논문에서 기존 기법과 제안된 기법의 성능을 비교하기 위해 unrestricted set과 프리앰블 포맷 0-3을 고려하였다. 순환 천이  $C_v$ 와  $u$  번째 근의 파라미터를 이용하여 생성 후 Fast Fourier Transform (FFT)하여 전송된 프리앰블을 수신단에서 검출하기 위해서 수신단에서 갖고 있는 ZC 프리앰블의 주파수 도메인상의 복소수의 쉼레 복소수와 곱한다. 이 값을 IFFT 하면, 전송된 ZC 시퀀스의 천이 정도를 통해 지연정도를 확인할 수 있다 [4]. 그림 1은 279 크기의 순환 천이를 거쳐 검출할 수 있는 ZC 시퀀스의 결과이다.  $N_{CS}$ 가 279이면, 순환 천이의 인덱스는 279의 배수로 증가하게 된다. 279 크기의 순환 천이를 이용하여 지상 네트워크의 임의접속 프리앰블을 발생하였을 때, 검출 과정에서 인덱스 279와  $279 \times 2$ 의 샘플 사이에서 IFFT 결과물의 피크 값이 발생하게 된다. 피크 값의 검출 범위는 지연 정도에 따라 변하게 된다.

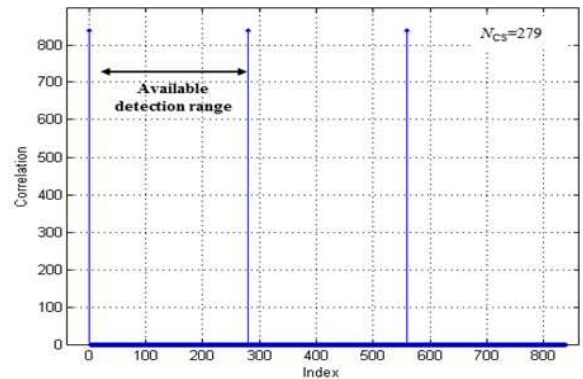


그림 1. ZC 시퀀스 검출 결과  
(하나의 근과 여러 개의 순환 천이)

## III. 위성 환경에 적합한 임의접속 절차

### 1. Overlapped ZC 시퀀스를 이용한 임의접속 시퀀스

위성 시스템같이 많은 단말기가 네트워크 접속을 하기 위해서는 간섭에 대한 강인성이 보장되어야 한다. 기존의 LTE 시스템에서 사용되는 임의접속 프리앰블을 사용하여 프리앰블을 생성할 때, 프리앰블 생성 요소 중 하나인 근 값을 사용하여 발생시킬 수 있는 프리앰블의 개수는 제한되어 있다.

그래서 다른 근을 갖는 프리앰블을 생성할 수밖에 없고, 이는 검출 과정에서 간섭을 야기한다. 본 논문에서, 같은 근 값을 갖고 기존 기법에 비해 여러 개의 시퀀스를 발생시키는 기법에 대해 아래와 같이 제안한다.

$$x_{u,v,w}(n) = \frac{1}{\sqrt{2}} x_u(((n + C_v) \bmod N_{ZC}) + x_u((n + C_w) \bmod N_{ZC})) \quad (4)$$

여기서 순환 천이 값들은 아래와 같다.

$$C_v = \begin{cases} vN_{CS_v}, v = 0, 1, \dots, \lfloor N_{ZC}/N_{CS_v} \rfloor - 1, N_{CS_v} \neq 0 \\ 0, N_{CS_v} = 0 \end{cases}$$

$$C_w = \begin{cases} wN_{CS_w}, w = 0, 1, \dots, \lfloor N_{ZC}/N_{CS_w} \rfloor - 1, N_{CS_w} \neq 0 \\ 0, N_{CS_w} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

위의 식을 이용하여, 사용 가능한 프리앰블의 수와 LTE 시스템에서 발생할 수 있는 프리앰블의 개수가 표 1에 나타나 있다. 표 1의 시퀀스는 각각 동일한 근을 이용하여 발생시킬 수 있는 최대 프리앰블의 개수이다.

표 1. 사용 가능한 프리앰블의 개수

N <sub>CS</sub>	the number of available preamble		Ratio (Proposed / Conventional)
	Conventional	Proposed	
13	65	2080	32
15	56	1540	27.5
18	47	1081	23
22	39	741	19
26	33	528	16
32	27	351	13
38	23	253	11
46	19	171	9
59	15	105	7
76	12	66	5.5
93	10	45	4.5
119	8	28	3.5
167	6	15	2.5
279	4	6	1.5
419	3	3	1

표 2. 위성 네트워크에서 위도에 따른 전파 지연 시간

Central latitude	Cell radius (km)	Edge of latitude (North/South)	The distance between the satellite and terminal (km)	The difference-distance between the satellite and terminals (km)	Round trip delay (ms)
37.5 (KOREA)	50	37.05	37270.4	68.8	0.46
		37.95	37339.2		
	100	36.6	37236.5	137.58	0.92
		38.4	37374.1		
	200	35.7	37169.7	275.11	1.83
		39.3	37444.8		
	500	33	36977.2	686.94	4.58
		42	37664.1		
	1000	28.5	36684.6	1367.9	9.12
		46.5	38052.5		
	1500	24	36429.6	2036.98	13.58
		50.9	38466.6		
	2000	19.5	36214.5	2688.49	17.92
		55.5	38903		

## 2. 임의접속 시퀀스의 검출 절차

지상망에서 임의접속 절차는 5 단계로 구성되어 있다. 첫 단계로 단말기가 primary synchronization signals / secondary synchronization signals [4]를 이용하여 e-NodeB와 동기화하고, 기지국의 브로드캐스팅 된 Broadcasting CHannel (BCH)를 통해 시스템 정보를 획득한다. 획득한 BCH의 시스템 정보 내에는 Random Access (RA) 프리앰블을 생성하는데 사용되는 파라미터가 포함되어 있다. 두 번째 단계로, e-NodeB는 단말기의 전송 타이밍을 추정할 수 있다. 업링크 타이밍 동기화는 네트워크에 접속하기 위해 반드시 필요한 절차이다. 만약 이 단계가 실패할 경우, 업링크 상의 데이터는 전송되지 않는다. 세 번째 단계로 e-NodeB가 수신된 프리앰블로부터 파라미터를 추출한다. 그 다음 단계에서 e-NodeB는 프리앰블 ID, 접속 승인 메시지 등의 정보를 단말기에 전송한다. 마지막으로 단말기는 e-NodeB에게 자원 할당을 요청하는 신호를 전송한다. 위의 임의접속 절차는 지상 네트워크 상에서 설계 되었으며 최대 커버리지는 100 km이다. 그러나, 위성 네트워크의 커버리지는 그림 2와 같이 넓은 커버리지로 인한 지연차이 발생으로 인해 표 2에서와 같이 구조적 한계를 갖고 있다.

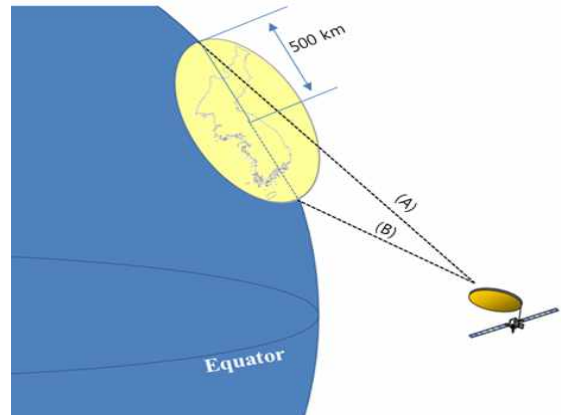


그림 2. GEO 위성에서의 전파지연 차이

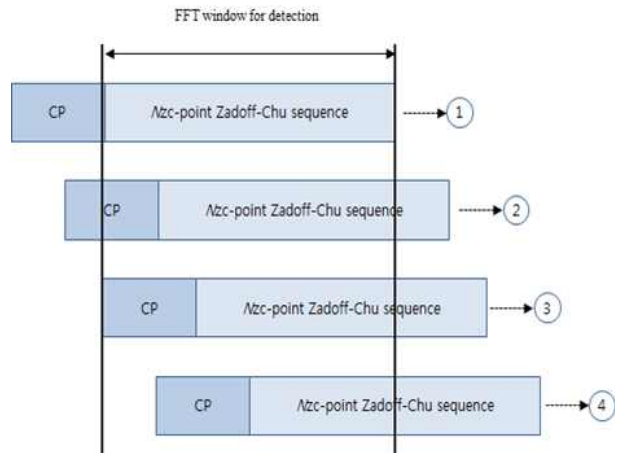


그림 3. FFT 윈도우 내에서 수신된 프리앰블

지상 네트워크의 프레임의 검출 절차에서 지상망의 커버리지는 100 km를 넘지 않기 때문에 보다 큰 커버리지를 고려하지 않았다. 그러므로 위성 네트워크에서 지상 네트워크의 시스템을 적용하기 위해서는 임의접속 절차에 대해 고려해 볼 필요가 있다. 만약, 네트워크의 커버리지가 제한된 커버리지를 넘을 경우에는 전파지연으로 인해 간섭이 발생할 수 있다. 그림 3의 ①, ②, ③은 검출 가능한 구간을 나타낸다. 그러나 전파지연이 길어지게 되면 ④와 같이 제한된 구간을 넘어가게 되고, ZC 시퀀스의 직교성이 깨지게 되어 spurious 피크를 발생하게 된다. 지상 네트워크의 특정 구간에서 신호의 길이에 상응하는 임의접속 프리앰블은 전송된 신호의 전파 지연이 보호 구간보다 작기 때문에 쉽게 검출될 수 있다. 반대로 위성 시스템에서는 단말기 간 전파지연의 시간 차이가 보호 구간의 길이보다 길게 되며, 이는 긴 검출 구간을 필요로 하게 되고 검출을 위한 복잡도가 증가하게 된다. 그림 4에서 ①, ②, ③, ④는 4개의 서브 프레임을 위한 임의접속 시퀀스의 자원 할당을 나타낸다. 단말기는 BCH를 통해 수신된 시스템 정보를 바탕으로 임의접속 프리앰블을 생성하고, 각 프리앰블은 e-NodeB에서 효과적인 검출을 위해 프리앰블마다 다른 근을 이용하여 생성된다. 본 논문에서 임의접속 프리앰블을 생성하는 과정은 하나의 서브프레임 당 오직 하나의 근을 이용하여 이루어지며, 이는 다른 근을 사용하여 시퀀스를 생성할 때 발생하는 간섭을 줄이는데 목적이 있다. LTE에서 후보 임의접속 시퀀스는 64개로 이루어져 있다. 만약 프리앰블 생성 절차가 한 개의 근을 이용할 수 없을 경우, 다른 근을 이용함으로써 발생하는 간섭을 줄이기 위해 최소한의 근만을 사용한다. 그림 4에서 ①, ②, ③은 ①, ②, ③의 자원을 이용하여 전송되는 임의접속 프리앰블의 검출 구간이다.

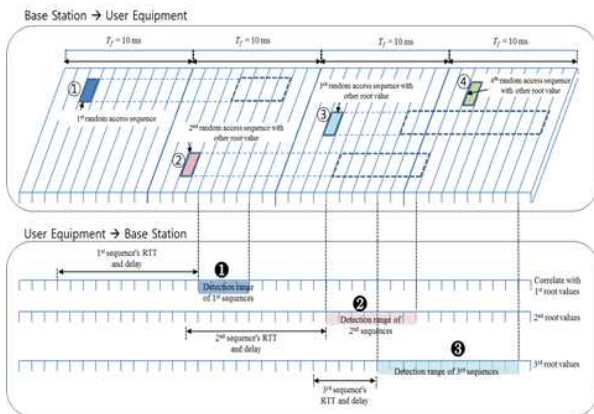


그림 4. 위성 시스템에서 임의접속 절차

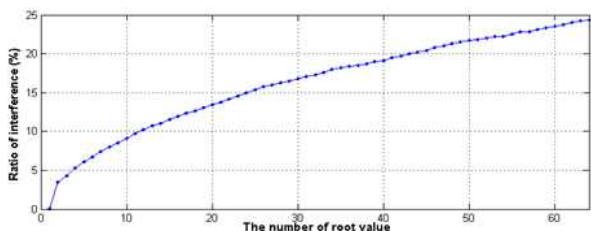


그림 5. 사용되는 근의 개수에 따른 간섭 양 비교

e-NodeB는 이미 대략적인 전파지연 시간을 알고 있기 때문에 FFT를 위한 검출 구간이 최소화 될 수 있다. 각각의 서브프레임마다 각기 다른 근을 이용하여 프리앰블을 생성하였기 때문에, 상관관계를 통해 검출하는 과정에서 상관기는 하나의 근 값을 갖는 시퀀스에 대해서만 검출 과정을 수행하면 된다. 시스템 정보로써 전송되는 파라미터에 최소한의 근을 이용하여 프리앰블을 생성하고, 수신단에서 예정된 검출 구간을 설정하는 것은 임의접속 시 발생할 수 있는 간섭을 최소화하는 방법이다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

이번 장에서 LTE 시스템의 프리앰블 포맷 0에 기반을 두고 임의접속 프리앰블의 간섭에 대한 실험을 실시하였다. 임의접속 프리앰블 간 간섭을 분석하기 위해 프레임의 경계는 이미 검출되었다고 가정하였다. 그림 5는 사용된 근의 개수에 따라 발생하는 간섭의 양에 대한 그림이다. 기존의 LTE 시스템에서 두 개의 근을 이용하여 프리앰블 발생 후 검출했을 때, 약 3%의 간섭율이 발생하는 것을 알 수 있다. 더 많은 개수의 근을 이용하여 여러 개의 프리앰블을 발생시켰을 경우에도 검출시 간섭율이 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 6에서는 가우시안 채널 환경에서 신호 대 잡음비가 30 dB 일 때 제안한 프리앰블과 기존의 프리앰블의 간섭을 비교한 결과를 보여주고 있다.

기존 시퀀스를 사용할 때 검출 절차는 사용된 근의 개수에 따라 다른 근 값을 갖는 프리앰블마다 상관 과정을 연산해야 하고, 간섭이 발생하는 것도 볼 수 있다. 그러나 제안된 시퀀스는 오직 하나의 근만을 이용한다. 이것은 간섭 없이 오직 한 번의 상관 과정으로 전송된 프리앰블을 검출할 수 있음을 의미한다.

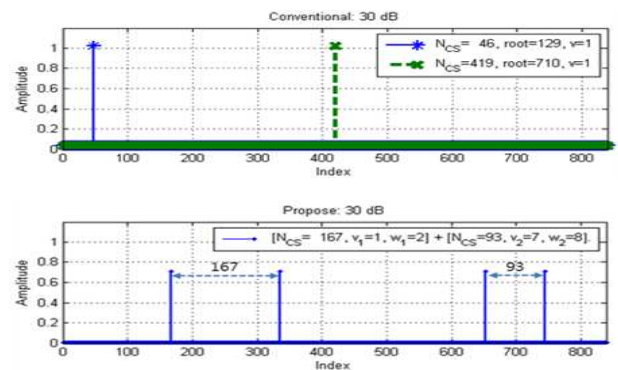


그림 6. 기존 기법과 제안한 기법의 검출 결과 비교

#### V. 결론

본 논문에서는 검출 과정에 있어서 복잡도를 줄이는 방법과, 하나의 근으로 생성된 많은 임의접속 시퀀스를 생성

하는 방법에 대해 제안하고 실험하였다. 실험 결과를 통해 낮은 간섭을 갖는 임의접속 프리앰블을 최소한의 근의 개수를 사용하여 기존의 기법보다 많은 프리앰블을 만들 수 있음을 보였다. 비록 제안된 시퀀스의 피크 값이 기존의 기법에 비해 감소되었지만, 이는 피크 간 거리 차이 및 다이버시티 등 다양한 검출 방법을 연구함으로써 단점을 보완할 것이라고 예상된다.

**참 고 문 헌**

[1] Jong-Min Park, Do-Seob Ahn, Ho-Jin Lee, and Dong-Chul Park, "Feasibility of Coexistence of Mobile-Satellite Service and Mobile Service in Cofrequency Bands," ETRI Journal, vol.32, no.2, pp. 255-264, Apr 2010.

[2] D. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties (Corresp.)," Information Theory, IEEE Transactions on, vol. 18, no. 4, pp. 531-532, 1972.

[3] 3GPP TS 36.211 V8.2.0, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release8), 2008.

[4] E. Dahlman et al., "3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband," Academic Press, London, UK, 2007.

**저 자**

남 승 현(Nam SeungHyun) 정회원



2007년 2월 : 세종대학교  
정보통신공학과 학사  
2009년 2월 : 세종대학교  
정보통신공학과 석사  
2009년 3월~현재 : ETRI 위성무선융  
합연구부 위성휴대전송연구팀 (연구원)

<관심분야> 위성통신, OFDM

김 희 옥(Hee Wook Kim) 정회원



2001년 8월 : 고려대학교 전기전자전  
파공학부 학사  
2004년 2월 : 한국과학기술원  
전자공학과 석사  
2004년 3월~현재 : ETRI 위성무선융  
합연구부 위성휴대전송연구팀

<관심분야> 위성통신, OFDM, 동기, MIMO

홍 태 철(Tae Chul Hong) 정회원



2000년 2월 : 연세대학교  
전자공학과 학사  
2003년 2월 : 연세대학교  
전기전자공학과 석사  
2003년 3월~현재 : ETRI 위성무선융  
합연구부 위성휴대전송연구팀

<관심분야> 위성통신, 무선통신시스템, 무선네트워크

강 군 석(Kunseok Kang) 정회원



1997년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 학사  
1999년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 석사  
1999년 2월~현재 : ETRI 위성무선융  
합연구부 위성휴대전송연구팀

<관심분야> 위성통신, 다중반송파 전송

구 본 준(Bon-Jun Ku) 정회원



1995년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 학사  
1999년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 석사  
2010년 2월 : 충북대학교  
정보통신공학과 박사

1995년~1997년 : 한국타이어 중앙연구소  
1999년 3월~현재 : ETRI 위성무선융합연구부  
위성휴대전송연구팀장

<관심분야> 위성통신, HAPS, 주파수공유, 위성안테나

안 도 섭(Doseob Ahn) 정회원



1988년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 학사  
1990년 2월 : 경북대학교  
전자공학과 석사  
2010년 2월 : 충남대학교  
전자공학과 박사

1990년 2월~현재 : ETRI 위성무선융합연구부장 책임연구원

<관심분야> 위성통신, 성층권통신(HAPS)