

IMT-2000 위성부문 무선인터페이스 표준을 위한 임의 접속 기법

정회원 임 광 재*, 김 수 영*

Random access method for radio interface specification of IMT-2000 satellite component

Kwang Jae Lim*, Sooyoung Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 IMT-2000 위성 부문 무선 인터페이스 표준을 위한 임의 접속 채널의 전송 구조 및 접속 과정을 제시한다. 제안된 임의 접속에 관한 표준 내용은 IMT-2000 지상 부문 무선 인터페이스 표준의 하나인 3GPP FDD 모드의 임의 접속 기법과 많은 부분에서 공통성을 가지며, 위성 부문의 채널 특징을 고려하여 프리엠블의 반복 전송, 프리엠블과 메시지의 동시 전송, 그리고 물리 계층 레벨에서의 빠른 검출 확인이라는 특징을 갖는다. 현재, 제안된 임의 접속 기술은 한국 TTA에 의해 제안되어 IMT-2000 위성 부문의 하나의 무선 인터페이스로 ITU-R에서 승인된 SAT-CDMA의 임의 접속 기술로 포함되었다. 또한, 본 논문에서는 SAT-CDMA에 적용된 임의 접속 채널을 이용한 시그널링 과정과 지연 특성을 분석하였으며, 기존의 ALOHA 방식과 3GPP에서 사용하는 임의 접속 방식과 시그널링 지연 측면에서 비교하였다. SAT-CDMA의 고도 1600 km LEO 위성 궤도를 고려할 때, SAT-CDMA 임의 접속 방식은 기존 ALOHA 방식에 비해 전송 회수가 증가함에 따라 100 ms 이상의 적은 지연 시간을 보이며, 3GPP 방식에 비해 약 30 ms의 적은 지연 시간을 갖는다.

ABSTRACT

In this paper, the transmission structure and procedure of a random access channel for the IMT-2000 satellite radio specification are presented. The proposed random access method has much commonality with that of the 3GPP FDD specification which is a terrestrial radio interface of IMT-2000. The proposed method was designed by considering characteristics of satellite link as well as the commonality with the terrestrial component. A preamble consists of sub-preamble repetition and a message is transmitted along with the preamble successively. The propose method has fast indication of preamble acquisition by physical layer. The proposed method has been included in the SAT-CDMA which is a radio transmission technology proposed by TTA, KOREA and approved as a satellite radio interface at ITU-R. Additionally, in this paper the signaling delay for the proposed random access channel will be analyzed and it will be compared to that of the random access methods using a conventional ALOHA procedure and the 3GPP procedure in aspect of the signaling delay. When the SAT-CDMA satellite constellation at the height of about 1600 km is considered, the delay of the proposed method was estimated to 100 ms less than that of the conventional ALOHA. This delay difference increases with the number of retransmissions. The delay is reduced by 30 ms, compared with the 3GPP method.

* 한국전자통신연구원 무선방송연구소 위성통신융용연구부 (kylim@etri.re.kr)
논문번호 : K01122-0425, 접수일자 : 2001년 4월 25일

I. 서론

IMT-2000 시스템은 지상 또는 위성의 무선 링크를 통하여 음성과 고속 데이터를 포함한 넓은 범위의 서비스를 제공하는 이동 통신 시스템으로, IMT-2000의 주요 특성 중의 하나는 전세계적인 로밍과 호환이다. IMT-2000 시스템에서 위성 부문 (satellite component)과 지상 부문 (terrestrial component)은 경쟁적이 아닌 상호 보완 관계에 있다. 지상 부문은 경제적으로 충분히 서비스 될 수 있는 인구 밀집 지역을 커버하고, 위성 부문은 밀집 지역을 포함하여 넓은 지역 지역에서의 서비스를 제공함으로써, 실질적인 전세계적 커버리지와 서비스는 두 부문의 결합으로 이루어질 수 있다^[1].

위성 부문의 무선 접속 표준으로 1999년 말에 마감된 ITU-R TG8/1의 작업을 통하여 현재 6건의 표준이 포함되었으며^[2], 2000년 5월 이스탄불에서 개최된 RA 회의에서 최종 승인되었다. 승인된 위성 부문의 무선 접속 표준은 ESA에서 제안한 SW-CDMA와 SW-CTDMA, TTA에서 제안한 SAT-CDMA, ICO Global Communications의 ICO, INMARSAT의 Horizons, Motorola의 Satcom2000이 포함된다. 승인된 권고서에서 각각의 제안 무선 전송 기술은 순차적으로 SRI (Satellite Radio Interface)-A에서 SRI-F로 명시되어 있다. 현재까지 승인된 위성 무선 접속 표준들은 표준화 작업 과정에서 각 기관으로부터 제안된 기술은 초기 수준으로 지상 부문에서와 같이 상세한 내용을 포함하고 있지 않고 있다. 따라서, 위성 부문 표준은 앞으로 계속적으로 보완될 것이며, 더욱이 새로운 무선 접속 표준을 IMT-2000 위성 부문 표준으로 받아들일 수 있도록 되어 있다.

위성 부문 표준의 물리 채널은 위성 링크의 전파 지연 시간, 페이딩 특성, 위성 이동에 따른 도플러 천이 등의 위성 채널 환경의 고유 특징이 고려되어야 하는 부분을 제외하고 지상 부문 표준과 가능한 많은 공통성을 가질 수 있다. SAT-CDMA^[2]의 기저 대역은 지상 부문의 3GPP FDD 모드 표준^[3-5]과 가능한 한 많은 공통성과 호환성을 갖도록 TTA에 의해 2000년 10월 ITU-R WP8D 표준화 회의에서 개정되었다. 개정된 SAT-CDMA는 위성 부문 환경의 전파 지연 시간과 도플러 천이의 고유 특징을 고려하여 새로이 제안된 임의 접속 과정 (random access procedure)과 이를 위한 임의 접속

채널 (RACH: Random Access Channel)을 포함하고 있다. 본 논문에서는 SAT-CDMA에 포함된 임의 접속 채널에 대한 상세한 전송 구조와 접속 과정을 제시한다. 또한, 시그널링 지연 측면에서 기존 ALOHA 방식 및 3GPP FDD 모드 표준에서의 임의 접속 방식을 위성 부문에 적용하였을 경우의 지연 시간과 SAT-CDMA에 포함된 방식에 대한 지연 시간을 비교 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. I장 서론에 이어, II장에서는 SAT-CDMA에 포함된 임의 접속 기법에 대한 상세 표준 내용을 제시하고 기존의 ALOHA 방식과 3GPP의 임의 접속 방식과의 특징을 비교한다. III장에서는 임의 접속 채널을 이용하여 단말과 위성망과의 시그널링 과정과 그러한 과정에서 소요되는 지연 시간을 추정하여 3가지 임의 접속 방식에 대한 시그널링 지연을 비교하고, IV장의 결론에서는 추후 연구 방향을 제시하는 것으로 끝을 맺는다.

II. 임의 접속 기법

1. SAT-CDMA의 임의 접속 기법

임의 접속 전송은 상향 링크 (단말에서 위성망으로 향하는 무선 링크) PRACH (Physical Random Access Channel)를 통해 이루어지며, 프리엠블 획득 지시를 갖는 임의 접속 방식을 기본으로 한다. 사용자 단말 (UE: User Equipment)은 보통의 무선 프레임의 2 배인 20 ms 길이의 접속 프레임(access frame)을 주기로 각 접속 프레임의 시작점에서 전송을 시작할 수 있다. 임의 접속 전송은 그림 1과 같이 $N_p \times 4096$ 칩의 길이를 갖는 프리엠블 부분 (preamble part)과 10 ms 또는 20 ms의 길이를 갖는 메시지 부분(message part)으로 구성된다.

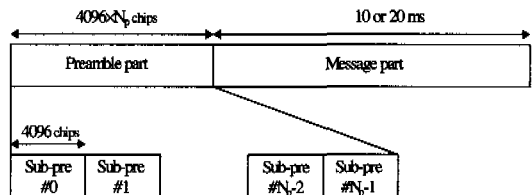


그림 1. 임의 접속 전송 구조

프리엠블 부분은 수신 검출 성공률을 높이기 위해 N_p 개의 반복된 서브 프리엠블로 구성되며, 마지막 서브 프리엠블은 앞의 반복 프리엠블에서 사용된 코드에 대해 공액 코드(conjugate code)를 가짐으로

써 프리엠블의 종료 시점을 알린다. 각 서브 프리엠블은 3GPP^[3,4]의 프리엠블과 동일하게 16 칩 길이의 Hadarmard 코드인 시그너처(signature)의 256 회 반복으로 4096 칩의 길이를 갖는다. 서브 프리엠블의 수 N_p 는 위성접속망 (S-RAN: Satellite-Radio Access Network)으로부터 전송되어 오는 방송 채널에서 그 값을 얻으며, 위성 빔의 채널 환경이나, 위성군의 도플러 천이 범위에 따라 시스템에 의해 정해지는 설계 변수로, 동일한 위성에 속한 빔들이라도 서로 다른 N_p 값을 사용할 수 있다.

메시지 부분에서의 프레임은 그림 2와 같이 10 ms 길이로 15 개의 슬롯으로 구성되고, 각 슬롯은 메시지 내용 운반을 위한 데이터 부분과 물리 계층 제어를 위한 제어 부분으로 나누어져 각각 I-채널과 Q-채널로 전송된다. 데이터 부분은 확산인자(SF: Spreading Factor)로 256, 128, 64, 32가 사용될 수 있으며, 제어 부분은 SF=256의 고정 전송률을 갖는다. 제어부분의 각 슬롯에서는 동위상 복조를 위한 8 비트의 파일럿 (pilot) 필드와 2 비트의 TFCI (Transport Format Combination Indicator) 필드가 전송된다. TFCI는 동일 프레임의 데이터 부분의 전송 포맷에 대한 정보로 수신기는 이를 이용하여 데이터부분의 확산률을 알 수 있다.

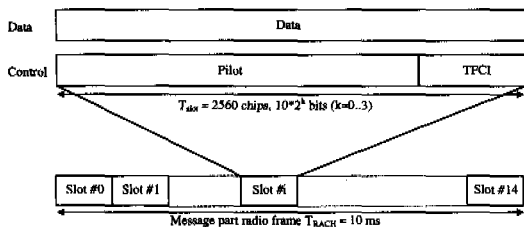


그림 2. 메시지 부분의 프레임과 슬롯 구성.

하향 링크(위성망에서 단말로 향하는 무선 링크)에서 AICH (Acquisition Indicator Channel)는 PRACH의 프리엠블에서 사용된 시그너처에 대응되는 AI (Acquisition Indicator)를 운반하는 채널로 SF=256의 고정 전송률로 전송된다. AICH 프레임은 그림 3과 같이 20 ms의 길이로 15개의 접속 슬롯으로 구성되며, 각 접속 슬롯의 길이는 5120 칩이다. 접속 슬롯 중 첫번째 접속 슬롯만이 AI의 전송을 위해 사용되며, 첫번째 접속 슬롯에서 32 개의 심볼로 구성되는 AI는 4096 칩에 걸쳐 전송되고 나머지 1024 칩은 다른 물리 채널의 전송을 위하여 비워져 있다. AI는 PRACH 프리엠블의 시그너처에 대응되는 비트 패턴을 가지며, +1, -1, 또는 0의 값

을 가질 수 있다. 하향 링크의 AICH 프레임은 그림 4와 같이 하향 링크 방송 채널인 P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel)의 프레임을 기준 시간으로 배열되며, 각 AICH 프레임은 방송 채널의 SFN (System Frame Number) 번호가 짝수가 되는 P-CCPCH 프레임과 같은 시간에서 시작된다.

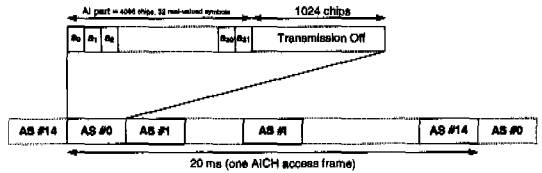


그림 3. AICH 전송 구성.

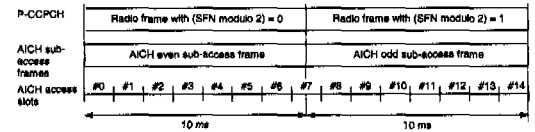


그림 4. AICH 프레임 타이밍.

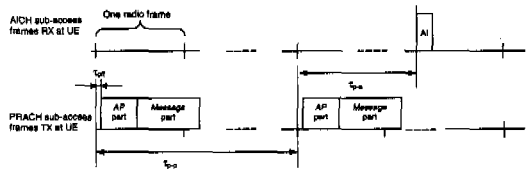


그림 5. PRACH와 AICH 타이밍 관계.

표 1. PRACH와 AICH 타이밍 관계.

AICH 타이밍 파라미터	$T_{p-p,min}$	T_{p-a}
0	3 access frames	2 access frames
1	4 access frames	3 access frames

상향 링크의 접속 프레임과 하향 링크 AICH 프레임은 단말의 송수신 관점에서 그림 5와 같은 타이밍 관계를 갖는다. 전송 오프셋 τ_{off} 는 최대전송 오프셋 $\tau_{off,max}$ 에 의해 정의되는 $-\tau_{off,max}$ 에서 $\tau_{off,max}$ 의 범위에서 단말의 선택에 따라 임의의 칩 값을 가질 수 있으며, 최대전송오프셋은 위성접속망에 의해 정해진다. 재전송되는 프리엠블은 바로 이전 프리엠블 전송 보다 최소한 $\tau_{p-p,min}$ 이상의 시간 간격을 갖는다. 즉, 연속되는 두 프리엠블 사이의 시간 간격 τ_{p-p} 는 최소 프리엠블간 시간 간격 $\tau_{p-p,min}$ 보다 크거나 같아야 한다. 프리엠블과 대응되는 AI 사이의 시간 간격 τ_{p-a} 와 $\tau_{p-p,min}$ 는 AICH 타이밍 파라미

터 값에 따라 표 1과 같이 정의된다. 표 1에서의 파라미터에 따른 서로 다른 타이밍 관계는 적용되는 위성군에서의 위성 고도 또는 단말과 위성 사이의 전파 지연 시간을 고려해서 위성접속망에 의해 선택되고, AICH 타이밍 파라미터 값은 방송 채널을 통하여 위성접속망으로부터 전달된다.

그림 6은 저궤도 위성군에서의 위성 고도와 스폿빔 커버리지 (spot beam coverage)에 따라 최대 스폿빔 내에서 서로 다른 단말이 겪는 최대 왕복 전파 지연 시간차(maximum difference of round-trip delays)를 나타낸 것이다. 여기서, 스폿빔 커버리지 크기는 지표면 상에서의 크기이고, 최소 양각 10°를 사용하였다. 그림 6에서 스폿빔 내 최대 왕복 지연 시간차는 위성의 고도보다는 스폿빔 크기에 따라 많은 차이를 가지며 6~13 ms의 범위의 값을 갖는다. 이는, 동일 빔 내에서 동일 P-CCPCH 프레임을 기준으로 단말이 전송한 프리엠블에 대해 위성망에서의 검출 시간이 최대 13 ms의 시간차를 가질 수 있음을 의미한다. 따라서, PRACH 전송과 그에 대응되는 AICH 전송 또한 하나의 무선 프레임인 10 ms 이상의 전송 주기를 가져야 하며, 프레임 길이를 전송 주기의 기본 단위로 고려한다면, 접속 프레임의 길이는 2개의 무선 프레임 길이인 20 ms가 되어야 한다.

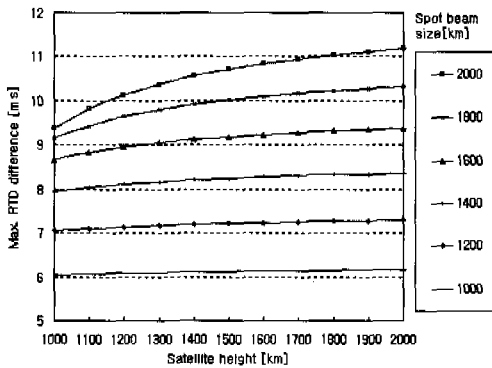


그림 6. 스폿빔 내에서 서로 다른 단말이 겪는 최대 왕복 전파 지연 시간차.

2. SAT-CDMA의 임의 접속 과정

물리 계층의 임의 접속 과정은 MAC (Medium Access Control) 서브 계층의 PHY-Access-REQ 프리미티브(primitive)의 요청에 의해 시작된다. 임의 접속 과정이 시작되기 이전에, 물리 계층은 RRC (Radio Resource Control) 계층과 MAC 서브 계층으로부터 PRACH 전송에 사용될 파라미터를 수신

한다. PRACH 접속 프레임은 하향 링크 AICH 프레임보다 t_{pa} 칩 이전에 시작되고, RACH 서브 채널은 하향 링크의 P-CCPCH 프레임과 시간적으로 대응되는 상향 링크 접속 프레임의 집합이다. RACH 서브 채널은 RACH로 전송되어야 할 메시지의 서비스 우선 순위 (ASC: Access Service Class)에 따라 다르게 할당될 수 있다.

단말에서의 물리 계층의 임의 접속 과정은 그림 7과 같이 수행된다. 먼저, 주어진 ASC에 대해 사용 가능한 RACH 서브 채널 그룹으로부터 사용 가능한 접속 프레임들을 유도하고, 유도된 접속 프레임 중 하나를 임의적으로 선택한다. 주어진 ASC에서 사용 가능한 시그니처 중 하나를 임의적으로 선택하고, 재전송 카운터, 초기 프리엠블 전송 전력, 전송 오프셋 등의 전송 파라미터를 설정한다. 다음으로, 프리엠블 부분과 메시지 부분을 선택된 접속 프레임, 전송 오프셋, 시그니처, 프리엠블 전송 전력을 이용하여 전송한다. 선택 전송된 상향 링크 접속 프레임에 대응되는 하향 링크 AICH 프레임(프리엠블 전송으로부터 t_{pa} 칩 후)에서 선택된 시그니처에 대응되는 양 또는 음의 AI가 검출되지 않을 경우, 다음으로 사용 가능한 접속 프레임에서 프리엠블 전송 전력을 미리 정의된 전력 증가 스텝만큼 증가시키고 프리엠블과 메시지를 재전송한다. 이 때, 재전송 회수가 최대 재전송 회수(Ramp_Retrans_Max)를 초과하면 (즉 하나의 전력 증가 재전송 주기가 종료하면), 재전송하지 않고 상위 계층(MAC)에 "No ack on AICH"를 전달하고 물리 계층의 임의 접속 과정을 중단한다. 만약, 하향 링크 AICH 프레임에서 선택된 시그니처에 대응되는 양의 AI가 검출될 경우, MAC에 "Ack on AICH received"를 전달하고 물리 계층의 과정을 중단하고, 음의 AI가 검출될 경우에는 "Nack on AICH received"를 전달하고 물리 계층의 과정을 중단한다. 임의 접속 과정 중 어떠한 시간에서도 상위 계층에서 전송된 RACH 메시지에 대응되는 응답 메시지가 수신되었을 경우에는 물리 계층 임의 접속 과정을 중단한다.

MAC 서브 계층은 10 ms 무선 프레임 레벨의 RACH 전송 타이밍에 대한 제어를 수행한다. 전송할 데이터가 있을 때, 단말의 MAC은 먼저 사용 가능한 ASC 집합 중 ASC를 선택한다. 퍼시스턴스 값 P_i 을 이용하여 단말은 현재의 프레임에서 물리 계층 PRACH 전송 과정을 수행할 것을 결정한다. 만약 전송이 허가되면 PRACH 전송 과정(즉, 하나의 전력 증가 재전송 주기)을 시작한다. 그 후,

MAC은 물리계층으로부터의 접속 정보를 기다린다. 만약 전송이 허가되지 않으면 다음 프레임에서 새로운 퍼시스턴스 검사를 수행하며, 퍼시스턴스 검사는 전송이 허가될 때까지 반복된다. 타이머 T_2 는 두개의 연속되는 퍼시스턴스 검사가 적어도 10 ms 시간 간격을 갖도록 하는 역할을 수행한다.

물리계층으로부터 "Ack on AICH"의 접속 정보를 수신하면 상위 계층에 RACH 전송 성공을 알린다. 물리계층에서 전력 증가 재전송의 최대 회수동안 "No ack on AICH"의 접속 상태를 알려 오면, 다음 프레임에서 새로운 퍼시스턴스 검사를 수행한다. 물리계층에서 "Nack on AICH"의 접속 상태를 알려올 경우, 백오프(backoff) 타이머 T_{BO1} 를 가동시키고 타이머가 만기된 후, 퍼시스턴스 검사를 다시 수행한다. 백오프 타이머 T_{BO1} 는 10 ms 단위로 $N_{BO1min} \sim N_{BO1max}$ 의 범위에서 균일한 분포에 따라 임의의 정수로 선택된다. 퍼시스턴스 검사 이전에 RACH 메시지에 대응되는 응답 메시지가 수신되었음을 상위 계층으로부터 전달받으면, 물리계층에 이를 통보하고 RACH 전송 제어를 중단한다. 또한, 재전송 주기 회수가 M_{max} 를 초과하면, 상위 계층에 RACH 전송 실패를 알리고 전송 과정을 중단한다.

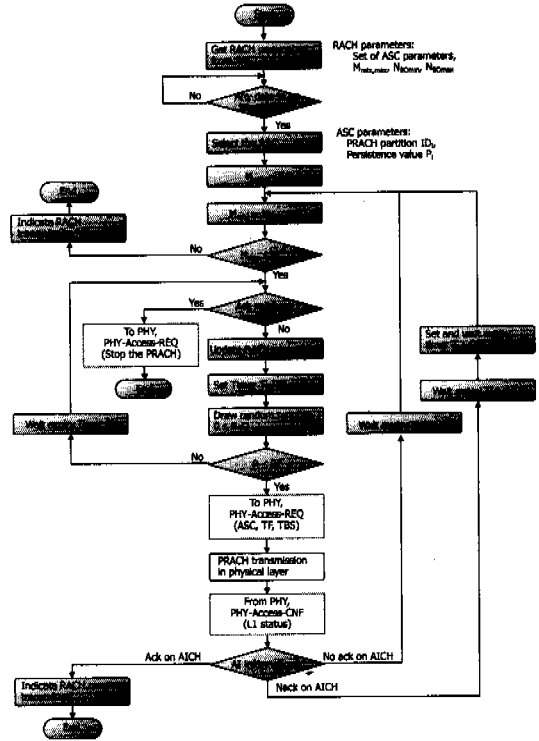


그림 8. 단말 MAC 서브 계층에서의 RACH 접속 과정.

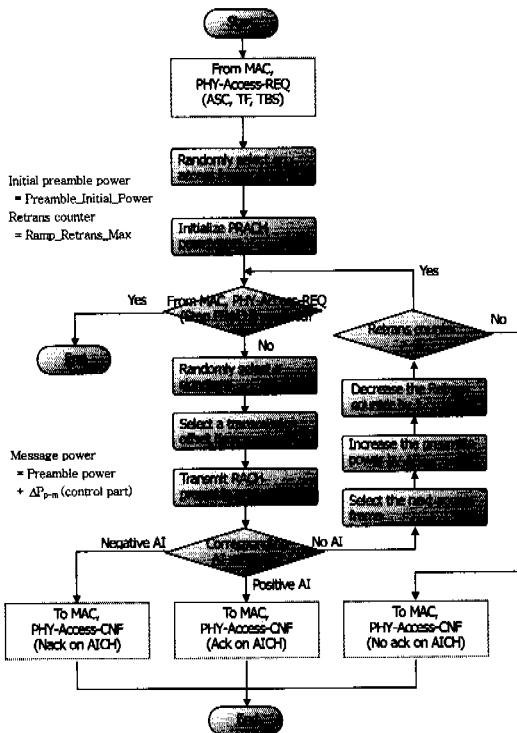


그림 7. 단말에서의 PRACH 접속 과정.

3. 임의 접속 기법의 특징 비교

표 2는 개정 이전의 SAT-CDMA 임의 접속 방식, 3GPP에서의 임의 접속 방식, 제안된 SAT-CDMA에서 사용되는 임의 접속 방식의 3가지 기법에 대한 특징을 비교한 것이다. 가장 큰 차이는 프리앰블의 구성과 전송 구조에 있다. 개정된 SAT-CDMA의 PRACH는 수십 ms의 위성 링크 전파 지연 시간을 고려하여 프리앰블과 메시지를 동시에 전송하며, 재전송 시에 소요되는 응답 확인을 위한 대기 시간을 줄이기 위해 물리 계층 레벨에서의 빠른 확인 과정을 갖는다. 개정 이전의 SAT-CDMA의 임의 접속 기법은 슬롯형 ALOHA 방식을 기본으로 보통 슬롯의 5배의 길이를 갖는 접속 슬롯을 사용하고, 프리앰블과 메시지를 동시에 전송하고, 프리앰블은 3GPP와 동일한 구조를 가진다. 그러나, 외부의 동기 장치를 이용하지 않는 한, 앞의 2절에서 기술한 바와 같이 위성 스포트빔 내에서의 전파 지연 시간 차이는 10 ms 이상이 될 수 있으며, 접속 슬롯의 5×2560 칩 길이로는 불충분하게 된다. 따라서, 개정된 SAT-CDMA에서는 이를 감안하여 20 ms 길이의 접속 프레임을 기본 시간 간격으로 임의 전송이 이루어진다. 또한, 개정 이전의 SAT-

표 2. 임의 접속 기법의 특징 비교

	기존 SAT-CDMA	3GPP	개정 SAT-CDMA
접속 방식	슬롯형 ALOHA	고속 획득 확인을 갖는 슬롯형 ALOHA	고속 획득 확인을 갖는 ALOHA
기준 시간 단위	접속 슬롯 길이: 5×2560 chips	접속 슬롯 길이: 2×2560 chips	접속 프레임 길이: 2×38400 chips
전송 구조	프리앰블과 메시지의 동시 전송	프리앰블과 메시지의 분리 전송	프리앰블과 메시지의 동시 전송
프리앰블 구성	· 단일 프리앰블 · 시그너처(16칩길이)의 256회 반복 · 길이: 4096 chips	· 단일 프리앰블 · 시그너처(16칩길이)의 256회 반복 · 길이: 4096 chips	· 서브 프리앰블의 Np 반복 · 서브 프리앰블: 시그너처 (16칩 길이)의 256회 반복 · 길이: 4096×Np chips
프리앰블 검출 확인	사용하지 않음	AICH를 통한 AI 확인	AICH를 통한 AI 확인

CDMA의 임의 접속 기법에서 재전송을 시도할 경우, 재전송은 전송한 메시지의 응답을 대기한 후에 이루어지며 이러한 대기 시간은 왕복 전파 지연 시간 이외에 시그널링을 위해 요구되는 지연 시간을 충분히 포함하여야 한다. 그러나, 개정된 SAT-CDMA에서는 빠른 메시지 수신 확인을 위해 3GPP와 유사하게 물리 계층 레벨에서 AICH에 의한 검출 확인 과정을 가지고 있다. 따라서, 재전송이 시도되기까지의 대기 시간에서 시그널링을 위한 대기 시간을 포함하지 않게 된다.

III. 시그널링 지연 분석

본 장에서는 RACH를 이용한 계층간 시그널링 과정을 분석하고, 개정 이전의 SAT-CDMA, 3GPP, 개정 이후의 SAT-CDMA에서 사용되는 3가지 방식의 임의 접속 기법을 사용한 RACH 시그널링 지연 시간을 비교 분석한다.

1. 임의 접속 채널을 이용한 시그널링 과정

위성접속망은 지상 IMT-2000 시스템의 기능적 구성과 유사하게 그림 9에서의 같이 RNS (Radio Network Subsystem)들의 집합으로 구성되며, CN (Core Network)과 Ius 인터페이스를 통하여 연결된다. RNS는 하나의 RNC (Radio Network Controller)와 하나 이상의 Node B들로 구성되고, Node B는 Iubs 인터페이스를 통하여 RNC에 연결된다. 위성접속망 내에서 RNC들은 서로 Iurs 인터페이스를 통하여 연결될 수 있으며, Iurs는 직접적으로 물리적인 연결에 의해 또는 전송망(transport network)을 이용한 가상적인 연결로 구성될 수 있다. 각 RNS는 속하여 있는 셀들의 자원을 제어하

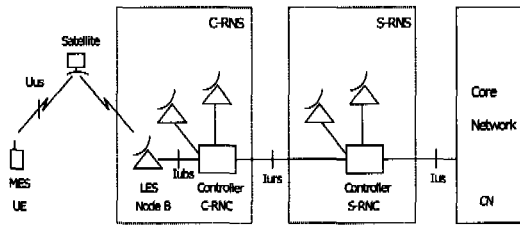
는 책임을 가진다. UE와 위성접속망 사이에 각 RRC 연결에 대해, 하나의 RNS가 Serving RNS가 되고, Serving RNS는 해당 UE를 위해 CN과 Ius 인터페이스를 가지고 있다. 특정 UE와 무선 인터페이스를 갖고 있는 Node-B의 무선망 제어를 관할하는 RNS가 Serving RNS의 SRNC (Serving RNC)와 다를 수 있으며, 이 경우 해당 Node-B가 속한 RNS의 CRNC (Controlling RNC)와 SRNC 사이는 Iurs 인터페이스에 의해 연결된다.

시그널링 지연은 위성망의 구성에 따라, 특히 위성의 기능에 따라, 크게 다를 수 있으며, 이러한 고려를 위해서 그림 9와 같이 다음 3가지 경우의 위성망 구성을 고려할 수 있다.

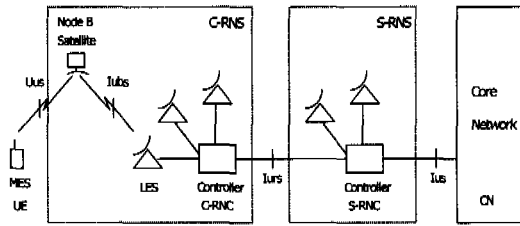
- Case A: 지구국(LES: Land Earth Station)에 Node-B가 위치한 경우,
- Case B: 위성에 Node-B가 위치한 경우,
- Case C: 위성에 Node-B와 RNC가 위치한 경우.

Case A는 위성은 단순한 리피터 역할을 수행하고, 기능적 구성 요소인 Node-B는 지상의 지구국(LES)에서 RNC는 위성망 제어국(NC: Network Controller)에서 그 역할을 수행하여 Uus 인터페이스는 단말과 지구국 사이에 존재하고 Iubs 인터페이스는 지구국과 위성망 제어국 사이에 존재한다. Case B에서는 위성은 신호 재생 기능을 가지고 물리 계층의 Node-B의 역할을 수행하고, 이 경우 PRACH에 대한 물리 계층 응답으로 AICH는 위성으로부터 전송되어 Uus 인터페이스는 단말과 위성 사이에, Iubs 인터페이스는 지구국과 제어국 사이에 있다. Case C는 위성이 RNC까지의 역할을 수행하여 Iubs 인터페이스는 위성 내부에 존재하고 RNC 간의 Iurs 인터페이스는 위성간 링크 또는 위성과 지구국 사이의 링크에 의해 형성된다.

CASE A: Node-B at LES and RNC on ground



CASE B: Node-B at satellite and RNC on ground



CASE C: Node-B and RNC at satellite

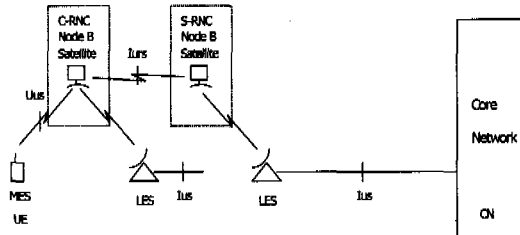


그림 9. 위성 접속망의 기능적 구성.

RACH는 상위 계층의 논리 채널 CCCH (Common Control Channel), DCCH (Dedicated Control Channel), DTCH (Dedicated Traffic Channel)의 데이터를 전달하기 위해 사용되며, 단말이 전송한 시그널링 메시지에 대한 응답은 CCCH의 경우 위성망의 RNC 계층, DCCH와 DTCH의 경우 해당 논리 채널을 담당하는 RLC가 응답한다. 그림 10과 그림 11은 CCCH 메시지를 RACH를 이용하여 전달하고 그에 대한 응답 메시지를 FACH (Forward Access Channel)로 수신하기까지의 시그널링 과정을 도시한 것이다. 그림 10은 CRNC와 SRNC가 동일할 경우이고, 그림 11은 CRNC와 SRNC가 다를 경우이다. 그림 10에서 단말의 RNC에서 발생한 메시지는 CCCH를 통하여 단말의 MAC에 전달되고, MAC은 위성 부분에서의 MAC 계층 임의 접속 과정에 따라 퍼시스턴스 검사에 의해 초기 백오프 시간이 지난 후에 RACH를 통해 물리 계층에 전송 요구를 한다. 물리 계층은 PRACH를 통해 임의 접속을 시작하고 위성접속망

으로부터 오는 AICH의 응답과 물리 계층 임의 접속 과정에 따라 재전송을 시도한다. 메시지가 성공적으로 수신되어 AICH로부터 ACK를 수신하면 UE는 RACH 과정을 중단한다. 위성접속망의 Node-B는 수신된 메시지를 Iubs 인터페이스를 연결하는 전송망을 통하여 RNC MAC에 전달하고 최종적으로 RRC까지 전달된다. 위성접속망의 RRC는 수신된 메시지의 내용에 따라 특정 처리 과정을 거친 후에 대한 응답을 하향링크 CCCH와 FACH를 통하여 Node-B에 전달되고 FACH를 운반하는 S-CCPCH를 통하여 UE에게 전달된다. 그림 11의 경우 그림 10의 과정에서 CRNC와 SRNC사이의 전달이 추가되어 RACH 메시지를 수신한 CRNC는 해당 메시지의 단말 ID로부터 소속 SRNC를 파악하고 해당 SRNC에 메시지를 Iurs 인터페이스를 연결하는 전송망을 통하여 전달한다. 또한, FACH 전달에 있어서도 역의 과정이 추가된다.

2. 시그널링 지연 분석

표 3은 앞 절의 RACH/FACH를 이용한 시그널링 과정에서 소요되는 지연 구성을 나타낸 것이다. 표의 각 구성 요소에서 내부적으로 소요되는 처리 시간 $T_1, T_4, T_6, T_8, T_{10}, T_{12}, T_{15}, T_{16}$ 은 문헌 [6]의 값을 사용하였다. T_9 은 RACH 메시지의 내용에 따라 RRC가 수행하는 처리 시간으로 표에서는 이 처리 시간에 의한 지연 시간은 고려하지 않았다. T_2 는 UE MAC에서 실질적인 PRACH 전송 전에 수행되는 퍼시스턴스 검사에 의한 지연으로 매 프레임마다 검사를 수행하고 전송 확률이 0.5일 경우 소요되는 평균 지연 시간은 20 ms가 된다.

T_3 의 PRACH 전송 시간은 임의 접속 과정에 의해 소요되는 지연 시간으로, RACH 전송 과정에서 프리앰블과 AI의 응답 과정을 통해 재전송이 이루어진다. 이 때, 본 논문에서 제시된 SAT-CDMA 임의 접속 기법에 대한 전력 증가 재전송 주기에 대한 지연은

$$T_{cycle} = \sum_{i=1}^{N_{cycle}} (T_2 + N_{ramp,i} T_{p-a} + (N_{ramp,i} - 1) T_{af})$$

로 계산될 수 있고, 위 식에서 T_{p-a} 는 프리앰블-AI 응답 시간, T_{af} 는 접속 프레임 길이이다. N_{cycle} 는 전력 증가 재전송 주기에 대한 회수이고 $N_{ramp,i}$ 는 각 주기에서 재전송 회수이다. 총 재전송 수가 N 이라 할 때 다음과 같은 관계식을 갖는다.

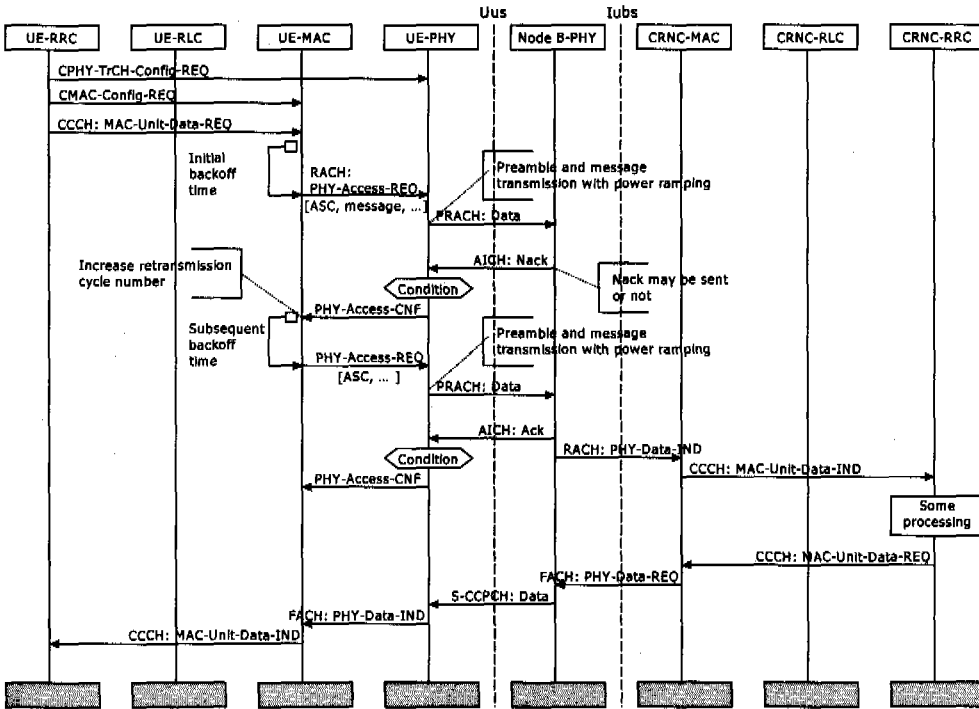


그림 10. RACH를 이용한 시그널링 과정 - CRNC와 SRNC가 동일한 경우.

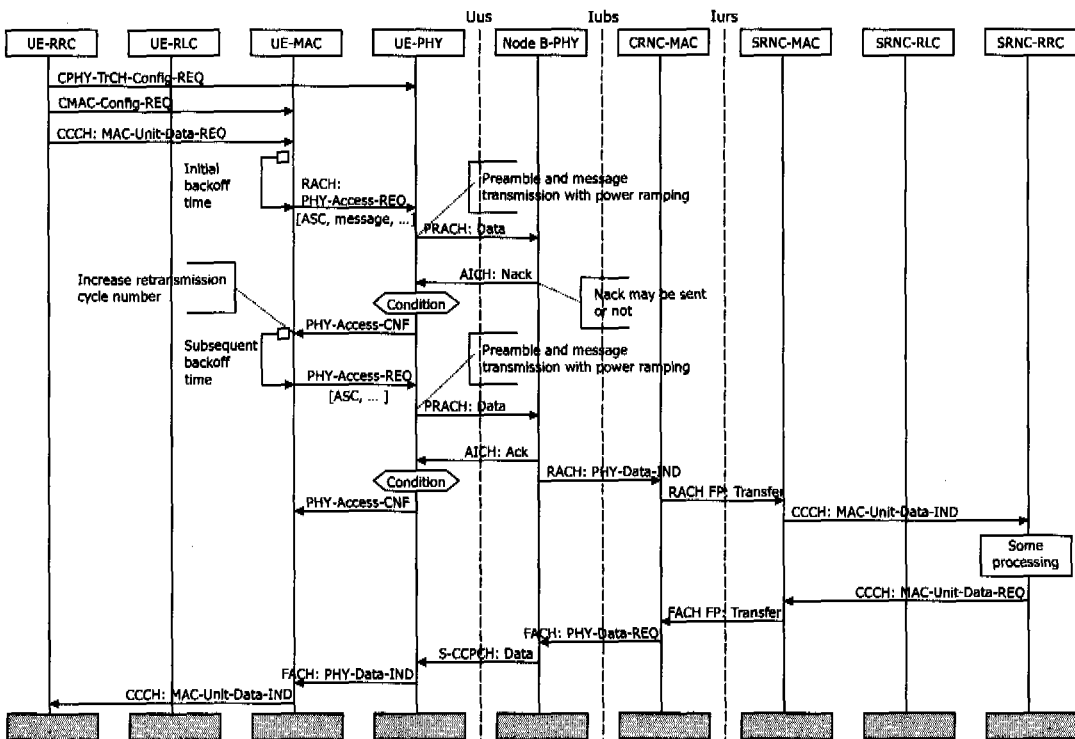


그림 11. RACH를 이용한 시그널링 과정 - CRNC와 SRNC가 다른 경우

표 3. 시그널링 지연 분석.

	Delay components	Position	Value
T ₁	UE Interlayer processing	UE	2 ms
T ₂	Persistence check (Pi=0.5)	UE	20 ms
T ₃	PRACH transmission	UE	Variable
T ₄	Node-B uplink physical processing	Node-B	15 ms
T ₅	Iubs interface	Transport network	2T _{node} + T _{transport1}
T ₆	CRNC processing	CRNC	5 ms
T ₇	Iurs interface	Transport network	2T _{node} + T _{transport2}
T ₈	SRNC processing	SRNC	5 ms
T ₉	Message-dependent processing	SRNC	0 ms
T ₁₀	SRNC processing	SRNC	5 ms
T ₁₁	Iurs interface	Transport network	2T _{node} + T _{transport2}
T ₁₂	CRNC processing	CRNC	5 ms
T ₁₃	Iubs interface	Transport network	2T _{node} + T _{transport1}
T ₁₄	FACH scheduling	CRNC	10 ms
T ₁₅	UE downlink physical processing	UE	15 ms
T ₁₆	UE Interlayer processing	UE	2 ms

$$N_{cycle} = \lfloor N / N_{ramp,max} \rfloor + 1$$

$$N_{ramp,i} = \begin{cases} N_{ramp,max}, & i=1,2,\dots,N_{cycle}-1 \\ N - (N_{cycle}-1)N_{ramp,max}, & i=N_{cycle} \end{cases}$$

여기서, N_{ramp,max}는 전력 증가 재전송에 대한 최대 회수이다. 위의 재전송 주기에서 소요되는 시간 T_{cycle}, UE와 Node-B 사이의 전송 시간 T_{UE-Node-B}, PRACH의 프리앰블 및 메시지 길이 T_{pre-msg}를 포함하여 PRACH 전송 시간은

$$T_{PRACH_SAT-CDMA} = T_{cycle} + T_{UE-Node-B} + T_{pre-msg}$$

와 같이 얻을 수 있다. 여기서, T_{UE-Node-B}는 와 같이 Node-B의 위치에 따라 다른 값을 가질 수 있다. 앞 절의 위성망 구성에서 Case A의 경우 단말로부터 위성을 거쳐 지구국까지의 전송 경로가 해당되고, Case B 및 Case C의 경우 Node-B가 위치한 위성까지의 전송 경로만이 해당된다.

T₃의 PRACH 전송 시간에 대해 3GPP의 임의의 접속 기법을 그대로 적용할 경우, 시그널링 흐름에서 UE와 Node-B 사이에서 프리앰블의 성공적인 검출 확인 후에 비로소 메시지를 전송함으로써 SAT-CDMA의 PRACH 전송 시간에서 프리앰블 전송 후의 메시지 전송 시간이 추가되어 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$T_{PRACH_3GPP} = T_{cycle} + T_{p-a} + T_{UE-Node-B} + T_{msg}$$

T₃의 PRACH 전송 시간에 대해 개정 전의 SAT-CDMA에서의 같이 기존의 ALOHA 방식에 의한 경우, RACH 전송 후 하향 링크 FACH를 통한 상위 계층 응답을 기다린 후 재전송을 결정해야 한다. 이러한 상위 계층의 RACH/FACH 응답은 Iub 및 Iurs 인터페이스와 각 기능 요소에서의 처리 시간, 기능 요소 사이의 전달 시간 등을 포함하여 상대적으로 긴 시간을 요한다. 대기 시간은 표 3에서 T₄ ~ T₁₆까지의 시간을 포함하여

$$T_{wait} = T_{UE-Node-B} + T_{pre-msg} + \sum_{i=4}^{16} T_i$$

로 얻을 수 있고, PRACH 전송 시간은 다른 방식의 경우와 유사하게 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$T_{PRACH_ALOHA} = \sum_{i=1}^{N_{cycle}} (T_2 + N_{ramp,i} T_{wait}) + T_{UE-Node-B} + T_{pre-msg}$$

T₅와 T₁₃은 Iubs 인터페이스 상에서, T₇와 T₁₁은 Iurs 인터페이스 상에서 전송망에 의해 데이터를 운반하는데 소요되는 시간으로 2개의 노드에서의 처리 시간과 전송망의 전달 시간을 포함한다. 노드 처리 시간은 실질적으로 노드 내에서의 버퍼링, 스케줄링, 전송망 프로토콜 처리 시간 등을 포함하고, 전송망 전달 시간은 전송 경로의 물리적 매체, 전송 링크 속도, 중간 노드의 수에 의존적이다. 특히, 전송망 전달 시간은 위성망의 구성에 따라 각 인터페

이스 상에 존재하는 전송 링크가 다르게 되며, 표 4와 같이 각 위성망 구성 경우에 따라 그 지연 요소를 나타낼 수 있다. Case A의 경우, Iubs 인터페이스의 전송 경로는 지구국과 위성망 제어국 사이의 지상 링크가 되고 Iurs 인터페이스는 제어국 사이의 지상 링크가 된다. Case B의 경우, Iubs 인터페이스의 전송 경로는 위성 SAT과 위성망 제어국 사이에 위성 링크와 지상 링크를 포함하고 Iurs 인터페이스는 제어국 사이의 지상 링크가 된다. Case C의 경우, Iubs 인터페이스의 전송 경로는 위성 내에 있기 때문에 소요되는 전송 링크 지연은 없고 Iurs 인터페이스는 위성간 링크에 의해 연결된다.

T_{14} 는 하향 링크 FACH로 RACH 메시지의 응답을 전송하기 위해서 소요되는 스케줄링 지연으로, FACH는 다른 사용자의 데이터 전송과 함께 공유되는 채널이기 때문에 RNC의 MAC 서브계층에서 스케줄링이 필요하며 스케줄링 지연은 트래픽과 해당 응답 메시지의 우선 순위 등에 의존된다. 표 3에서는 하나의 전송 프레임에 해당되는 스케줄링 지연 시간을 가정하였다.

표 4. Uus, Iubs, Iurs 인터페이스의 지연

	$T_{UE-SAT} + T_{SAT-LES}$	T_{LES-NC}	T_{NC-NC}
Case A	$T_{UE-SAT} + T_{SAT-LES}$	T_{LES-NC}	T_{NC-NC}
Case B	T_{UE-SAT}	$T_{SAT-LES} + T_{LES-NC}$	T_{NC-NC}
Case C	T_{UE-SAT}	0	T_{ISL}

표 5. 지연 파라미터

Name	Delay components	Value
T_{pre}	PRACH preamble length	10 ms
T_{msg}	PRACH message length	10 ms
T_{af}	Access frame length	20 ms
T_{UE-SAT}	UE-to-Satellite delay	7.5 ms
$T_{SAT-LES}$	Satellite-to-LES delay	7.5 ms
T_{LES-NC}	LES-to-NC transport delay	1 ms
T_{NC-NC}	NC-to-NC transport delay	5 ms
T_{ISL}	Inter-satellite link delay	10 ms
T_{node}	Node processing delay	2 ms

지연 구성에 대한 표 3, 표 4, 표 5를 이용하여 PRACH 재전송 회수에 따른 전체 시그널링 지연 시간을 그림 12, 그림 13, 그림 14와 같이 얻을 수 있다. 표 5에서 프리앰블과 메시지의 길이로 10 ms를 사용하였고, 위성 링크에서의 전파 지연 시간은

SAT-CDMA의 고도 약 1600 km의 저궤도 위성군^[2]을 사용한 경우의 평균적인 지연 시간으로 7.5 ms를 사용하였다. 지구국과 제어국 사이의 거리와 제어국 간의 거리는 지상에서 구성된 위성망의 구성에 따라 적게는 수 km에서 크게는 수 천 km의 거리를 가질 수 있다. 위성망 제어국 사이의 거리는 수 개의 위성 커버리지를 포함한 거리를 가지기 때문에 지구국과 제어국 사이의 거리에 비해 상대적으로 크다.

결과 그림에서, 재전송이 없이 한번의 전송으로 성공하였을 경우에는 ALOHA 방식과 SAT-CDMA 방식은 동일한 지연 시간을 갖는다. 그러나, ALOHA 방식의 경우 위성망 응답 대기 시간에 의해 PRACH 전송 회수가 증가함에 따라 급격히 지연이 증가한다. 3GPP 방식과 SAT-CDMA 방식을 비교하여 볼 때, 3GPP 방식의 프리앰블 응답 후 메시지 전송이라는 과정으로부터 재전송이 없을 경우를 포함하여 PRACH 재전송 회수에 관계 없이 약 30 ms의 지연차가 있다. 그림 12의 Case A와 그림 13의 Case B의 경우를 비교하여 볼 때, 접속 프레임이 20 ms의 길이를 갖기 때문에 Case B에서 T_{p-a} 에 대해 Uus 인터페이스 상에서의 감소된 단말과 Node-B 사이의 지연에 의한 영향은 없다. 접속 프레임 20 ms의 길이로 인해 3가지 위성망 구성에 대해 Uus 인터페이스 상에서의 지연 감소에 의한 영향은 3가지 모두에서 $T_{p-a}=40$ ms이다. 그림 14의 Case C의 경우, Iubs 인터페이스 상에서의 지연 시간이 없기 때문에 다른 경우에 비해 약 20 ms의 지연 감소를 얻을 수 있다. CRNC와 SRNC가 동일한 경우(그림에서 RNC)와 다른 경우(그림에서 CRNC-SRNC)의 지연차는 PRACH 재전송 회수와 관계 없이 Iurs 인터페이스 지연에 의해 약 20 ms의 차이를 갖는다.

기존 ALOHA 방식에 의한 RACH 접속 과정은 응답 확인을 위한 대기 시간으로 타 방식에 비해 수 십 ms에서 수 백 ms의 더 많은 지연 시간을 요하며, 재전송 회수의 증가에 따라 그 차이는 더욱 커진다. SAT-CDMA의 접속 과정은 3 GPP 방식과 프리앰블 검출 후 메시지 전송이라는 차이점으로부터 재전송 회수에 관계없이 약 30 ms의 차이를 가진다. 그러나, RACH는 일반적으로 짧은 길이의 패킷 데이터 시그널링 메시지를 신속히 전송하기 위한 채널로 매우 낮은 트래픽 환경을 가질 것이므로 따라서 충돌과 간섭에 의한 재전송 회수는 수 회 이하가 될 것이다. 이러한 2 또는 3회의 재전송 회

수에 대해서 30 ms의 지연 시간은 무시할 수 없는 차이가 된다.

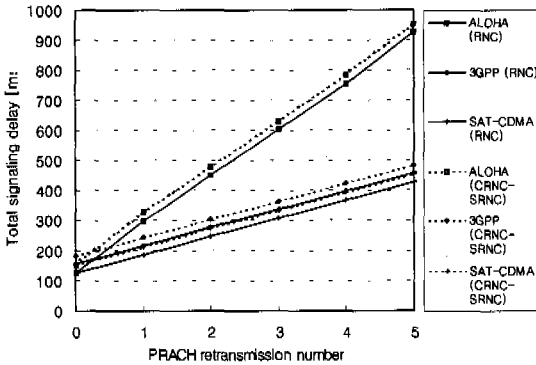


그림 12. RACH를 이용한 시그널링 지연 - Case A.

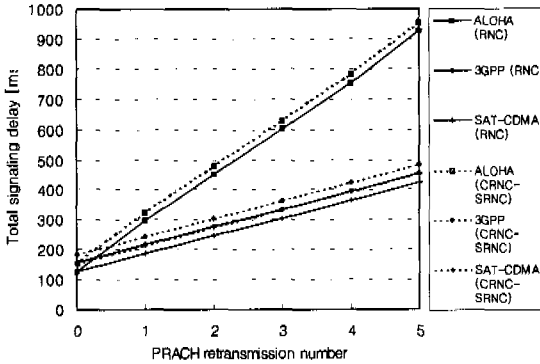


그림 13. RACH를 이용한 시그널링 지연 - Case B.

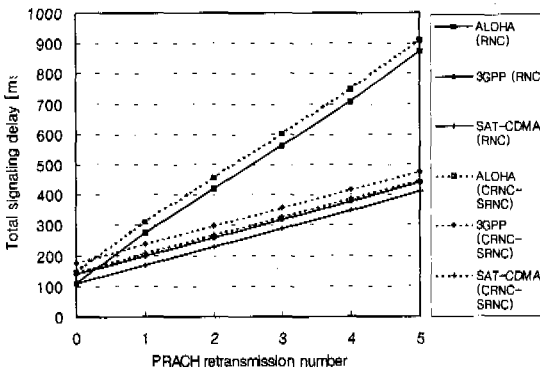


그림 14. RACH를 이용한 시그널링 지연 - Case C.

IV. 결론

본 논문에서는 IMT-2000 위성부분 무선 인터페이스 표준을 위한 임의 접속 채널의 전송 구조 및

접속 과정을 제시하였다. 제안된 임의 접속 기법은 위성 부분의 고유 채널 특징을 고려해야 하는 부분을 제외하고는 3GPP FDD 모드의 표준과 많은 면에서 공통성을 가지도록 설계되었으며, 위성 링크 특징을 고려하여 프리엠블의 반복 전송, 프리엠블과 메시지의 동시 전송, 그리고 물리 계층 레벨에서의 빠른 검출 확인이라는 특징을 갖는다. 현재, 제안된 임의 접속 기술은 TTA에 의해 제안되어 IMT-2000 위성 부분의 무선 인터페이스로 승인된 SAT-CDMA의 임의 접속 기술로 포함되었다.

또한, 본 논문에서는 SAT-CDMA에 적용된 임의 접속 채널을 이용한 시그널링 과정과 지연 특성을 분석하였으며, 기존의 ALOHA 방식과 3GPP에서 사용하는 임의 접속 방식과 시그널링 지연 측면에서 비교하였다. SAT-CDMA의 고도 약 1600 km 저궤도 위성을 고려할 때, SAT-CDMA 임의 접속 방식은 기존 ALOHA 방식에 비해 전송 회수가 증가함에 따라 100 ms 이상의 적은 지연 시간을 보이며, 3GPP 방식에 비해 약 30 ms의 적은 지연 시간을 갖는다.

본 논문의 시그널링 지연에 대한 비교 결과는 재전송 회수에 대한 비교로, 동일한 트래픽 부하에서 3가지의 임의 접속 방식에 대한 실질적인 재전송 회수는 타 전송에 의한 간섭 차이로 인하여 동일하지 않을 수 있다. 이러한 고려와 함께 차후 연구에서는 간섭과 페이딩 채널 특성을 포함한 실질적인 시뮬레이션을 통하여 SAT-CDMA의 임의 접속 채널의 전송 효율 및 지연에 대한 성능 비교 분석이 이루어져야 한다.

참고 문헌

- [1] ITU-R Recommendation M.1034-1, Requirements for the radio interface(s) for IMT-2000.
- [2] ITU-R Recommendation M.1457, Detailed specifications of the radio interfaces of IMT-2000.
- [3] 3G TS 25.211 v3.5.0, Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD), 3GPP TSG-RAN, 2000-12.
- [4] 3G TS 25.213 v3.5.0, Spreading and modulation (FDD), 3GPP TSG-RAN, 2000-12.
- [5] 3G TS 25.214 v3.5.0, Physical layer procedures (FDD), 3GPP TSG-RAN, 2000-12.
- [6] 3G TR 25.853 v3.0.0, Delay budget within

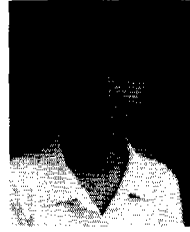
the access stratum, 3GPP TSG-RAN, 2000-12.

약 어

AI	Acquisition Indicator
AICH	Acquisition Indicator Channel
ASC	Access Service Class
CCCH	Common Control Channel
CN	Core Network
CNF	Conform
CRNC	Controlling RNC
DCCH	Dedicated Control Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
FACH	Forward Access Channel
LES	Land Earth Station
MAC	Medium Access Control
NC	Network Controller
P-CCPCH	Primary Common Control Physical Channel
PHY	Physical
PRACH	Physical Random Access Channel
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
REQ	Request
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRC	Radio Resource Control
Satellite-RAN	Satellite Radio Access Network
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SF	Spreading Factor
SFN	System Frame Number
SRI	Satellite Radio Interface
SRNC	Serving RNC
TFCI	Transport Format Combination Indicator
UE	User Equipment

김 수 영(Sooyoung Kim)

정회원



1990년 2월 : 한국과학기술원
전기 및 전자 공학과
학사

1994년 2월~1991년 9월 : 한국
전자통신연구소 위성통
신시스템연구부 연구원

1992년 10월 : Univ. of Surrey, U.K 공학 석사

1995년 2월 : Univ. of Surrey, U.K 공학 박사

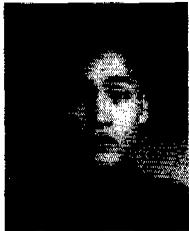
1994년 11월~1996년 6월 : Research Fellow, Univ.
of Surrey, U.K

1996년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 위성통신응
용연구부 위성전송방식연구팀장

<주관심 분야> 오류정정 부호화 방식, 이동/위성통
신 전송 방식 연구 등

임 광 재(Kwangjae Lim)

정회원



1992년 2월 : 인하대학교
전자공학과 학사

1994년 2월 : 인하대학교
전자공학과 석사

1999년 2월 : 인하대학
전자공학과 박사

1999년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 위성통신응
용연구부 선임연구원

<주관심 분야> 이동 및 위성 통신 시스템, 다중 접
속 방식 등.