

Massive Connectivity 제공 기술



오 성 민
한국전자통신연구원
모바일단말제어연구실



신 재 승
한국전자통신연구원
모바일단말제어연구실



이 창 희
한국전자통신연구원
무선네트워크연구실



박 옥 선
한국전자통신연구원
무선네트워크연구실

1. 서론

최근 차세대 이동통신 기술로서 5G 이동통신 시스템에 대한 논의 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 국제전기통신연합 (ITU: International Telecommunication Union)에서 2015년도에 5G 이동통신 시스템에 대한 8 대 핵심 성능 지표와 3 대 서비스 시나리오를 제시하면서, 5G 시스템에 대한 연구가 가속화되고 있다^[1]. ITU에서 제시한 3 대 서비스 시나리오 중 하나가 대규모 머신 타입 통신이다. 즉, 향후 5G 시스템을 통해 10^6 개/km²의 초다수 디바이스 연결을 제공함으로써 사용자들에게 스마트 시티나 스마트 홈/빌딩 서비스와 같은 미래 서비스를 제공하는 것이 ITU에서 그리는 5G 비전 중 하나이다.

하지만, 현재 셀룰러 통신 시스템으로는 대규모 연결을 제공하는데 다음과 같은 문제점들이 발생할 수 있다.

- 초다수 디바이스 동시 접속 수용의 한계: [2]에 의하면, 스마트 미터 서비스를 위한 디바이스들이 셀 당 3만 5천개 정도 있을 수 있으며 해당 디바이스들은 시간 동기를 맞추기 위해 10 초 동안 동시 다발적으로 네트워크에 접속을 시도할 수 있다. [2]에서 제시한 성능 분석 결과에 의하면, 3 만개 디바이스가 10초 동안 베타 분포로 접속할 경우 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution) 시스템에서는 접속 충돌 확률이 대략 48 % 까지 증가하고 접속 성공 확률이 대략 30% 까지 감소한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 3GPP LTE 시스템의 랜덤 액세스에 대한 연구가 필요하다.
- 시그널링 절차의 비효율성: 3GPP LTE 시스템에서는 데이터 송수신을 위해 디바이스와 네트워크 간 연결이 선행되어야 한다. 하지만, 초다수 디바이스 대부분이 간헐적으로 작은 크기의 데이터

를 전송하는 유형이기 때문에, 기존 3GPP LTE 시스템의 시그널링 절차는 심각한 시그널링 오버헤드를 초래할 수 있다.

이와 더불어, 최근 협대역을 통해 초저가의 머신 타입 디바이스를 수용하는 방안에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 그 이유는 협대역 통신을 통해 디바이스의 가격을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 비교적 낮은 송신전력으로 더 넓은 커버리지를 확보할 수 있기 때문이다. 3GPP에서는 Release 10과 11에서의 MTC (Machine Type Communication)에 대한 표준화 논의를 시작으로 Release 13에서 eMTC (enhanced MTC)와 NB-IoT (Narrow Band-Internet of Things)에 대한 표준화를 진행하고 있다. 이러한, 협대역 기반 머신 타입 디바이스도 대규모 연결을 위해 고려해야 할 디바이스 유형이기 때문에, 본 논문에서 관련 표준 내용을 다루고자 한다. 특히, 본 논문에서는 최근 많은 관심을 받고 있는 NB-IoT에 대한 주요 특징에 초점을 맞추어 기술한다.

본 논문에서는 2장에서 앞서 기술한 셀룰러 통신 시스템에서의 대규모 연결 제공에 대한 문제점들에 대한 기존 연구 동향과 NB-IoT에 대한 주요 특징들을 기술한다. 또한, 3장에서 셀룰러 통신 시스템에서 대규모 연결을 제공하기 위해 필요한 기술들에 대해 기술한다.

II. 기존 연구 동향

본 장에서는 앞서 기술한 문제점들에 관한 기존 연구 동향과 NB-IoT 주요 특징에 대해 기술한다.

1. 랜덤 액세스 자원 증대 및 제어

3GPP LTE 시스템에서는 휴지(idle) 상태 단말들이 데이터 전송을 위해 랜덤 액세스 절차를 수행하여야 한다. 여기서, 랜덤 액세스 절차는 단말이 미리 주어진 랜덤 액세스 자원 중 하나의 자원을 랜덤하게 선택하여 기지국으로 전송하고 기지국에서는 이에 대한 응답 메시지를 전송

하는 절차를 의미한다.

[2]에서 제시한 바와 같이, 초다수 디바이스가 임의의 시간 동안 동시 접속 시 접속 충돌 확률이 급증할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 랜덤 액세스 자원 증대 방안과 랜덤 액세스 제어 방안을 고려할 수 있다.

1.1 랜덤 액세스 자원 증대 방안

랜덤 액세스 자원 증대 방안 관련 연구로는 [3]에서 제안한 코드 워드 기반 액세스 기술과 [4]에서 제안한 공간 그룹 기반 랜덤 액세스 기술들이 있다.

코드워드 기반 액세스 기술은 3GPP LTE 시스템에 정의된 랜덤 액세스 프리앰블의 특징을 이용한 기술이다^[3]. 여기서, 랜덤 액세스 프리앰블은 Zadoff-Chu 시퀀스를 기반으로 생성되며, 이를 통해 기지국에서는 하나 이상의 서로 다른 랜덤 액세스 프리앰블이 전송될 경우에도 해당 랜덤 액세스 프리앰블이 전송되었음을 인식할 수 있다. 코드워드 기반 액세스 기술은 이러한 랜덤 액세스 프리앰블의 특징을 이용

ITU에서 제시한 5G의 3대 서비스 시나리오 중 하나가 대규모 머신 타입 통신이다. 향후 5G 시스템을 통해 초다수 디바이스 연결을 제공함으로써 사용자들에게 스마트 시티나 스마트 홈/빌딩 서비스 등을 제공할 것이다.

하여 랜덤 액세스 프리앰블 그룹을 하나의 코드워드처럼 활용한다.

예를 들어, 랜덤 액세스 프리앰블 5개를 하나의 그룹으로 설정하고 단말 1에게 '10001'을 할당하고 단말 2에게 '01010'을 할당한다. 여기서, '10001'의 의미는 단말 1이 랜덤 액세스 프리앰블 그룹 내 인덱스 0와 4 번째 프리앰블을 전송함을 의미한다. 단말 1과 2가 전송할 경우 기지국에서는 '11011'이 수신된다. 이에 기지국에서는 단말들의 코드워드를 수신한 코드워드에 AND 연산함으로써 전송한 단말을 검출할 수 있다. (단말 1인 경우, 11011 AND 01010 = 01010) 본 기술의 장점은 랜덤 액세스 프리앰블 5개를 이용하는 경우, 기존 3GPP LTE 시스템에서는 검출 가능한 디바이스 수가 5개인데 반해 본 기술로 인해 2⁵ 개 만큼의 디바이스 검출이 가능할 수 있다. 하지만, 전송하지 않는 디바이스도 마치 코드워드를 전송했던 것처럼 기지국이 인식할 수 있는 문제점이 발생할 수 있다.



공간 그룹 기반 랜덤 액세스 기술 역시 랜덤 액세스 프리앰블의 특징을 이용하여 랜덤 액세스 자원을 증대시키는 기술이다^[4]. 랜덤 액세스 프리앰블 생성 원리는 다음과 같다. 하나의 루트 인덱스에 대해 하나의 cyclic shift 시퀀스를 생성하고 해당 cyclic shift 시퀀스를 전체 시퀀스 길이만큼 반복적으로 쉬프트 시키면서 배치한다. 즉, 랜덤 액세스 프리앰블 수는 전체 시퀀스 길이를 cyclic shift 시퀀스 길이로 나눈 값과 동일하다. 또한, cyclic shift 시퀀스 길이는 셀 전송 범위와 비례하는 특징이 있다. 이에 [4]에서는 전체 셀을 기지국으로부터 도넛 모양으로 지역을 구분하고, 해당 지역 별로 다른 루트 인덱스를 할당하여 랜덤 액세스 프리앰블을 생성한다. 이러한 경우, 지역 별 범위가 기존 셀 반경보다 매우 짧아지기 때문에 전체 셀 내 랜덤 액세스 프리앰블 수가 크게 증대되는 효과가 있다. 하지만, 도심 지역과 같이 셀 반경이 짧은 경우에는 루트 인덱스가 충분치 않을 수 있고 cyclic shift 시퀀스 길이도 크게 줄일 수 없기 때문에 랜덤 액세스 자원 증대 이득이 미비할 수 있다.

1.2 랜덤 액세스 제어 방안

3GPP에서는 네트워크가 혼잡한 상황인 경우 단말들의 액세스를 제어하기 위해 ACB (Access Class Barring)와

EAB (Extended Access Barring)와 같은 기술들을 정의하고 있다.

ACB는 단말들의 접속을 확률적으로 제어하는 방안이다. 기지국은 AC (Access Class) barring factor라는 파라미터를 단말들에게 브로드캐스팅한다. 단말들은 기지국에 접속하기 이전에 [0, 1] 구간에서 하나의 값을 랜덤하게 선택하고, 선택된 값이 AC barring factor보다 낮으면 기지국에 접속을 시도한다. 이러한 이유로, AC barring factor 값을 혼잡 정도 혹은 트래픽 부하에 따라 조절하는 방안들이 연구된 바 있다. 예를 들어, 피코셀이

3GPP LTE 시스템에서는 휴지(idle) 상태 단말들이 데이터 전송을 위해 랜덤 액세스 절차를 수행하여야 한다. 초다수 디바이스가 임의의 시간동안 동시 접속시 접속 충돌 확률이 급증할 수 있다.

배치된 환경에서 셀 간 협력을 통해 AC barring factor를 조절하는 셀 간 협력 ACB 방안^[5]과 기지국에서 성공한 랜덤 액세스 프리앰블의 비율을 기반으로 혼잡도를 추정하는 동적 액세스 제어 방안^[6]들이 대표적이다.

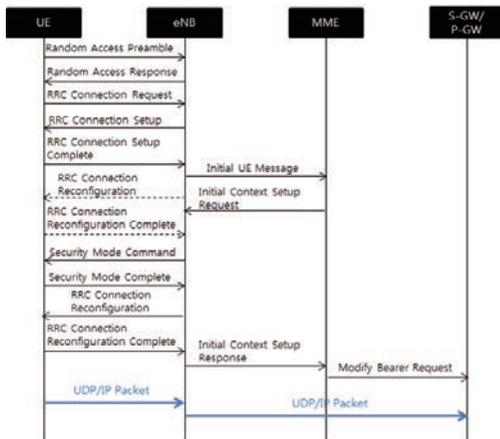
EAB는 비트맵 형식을 기반으로 직접적으로 AC들의 액세스를 제어하는 기술이다. 비트 별로 하나의 AC를 매핑 시키고, 기지국이 임의의 AC의 액세스를 제어하기 위해 해당 비트를 체크하여 브로드캐스팅하면 해당 AC에 속해 있는 단말들은 셀로 액세스하지 않는다.

이 외에도 단말들의 ID를 기반으로 접속 서브 프레임을 미리 계산하여 분산 접속하는 방안과 MTC (Machine Type Communication) 서버가 단말들을 폴링하는 방안 등이 제안된 바 있다.

2. 시그널링 오버헤드 절감

3GPP LTE 시스템에서 휴지 상태의 단말들은 데이터를 전송하기 위해 <그림 1>과 같이 복잡한 절차를 수행하여야 한다. 여기서, 단말과 네트워크 간 제어 연결 및 데이터 전송 베어러 설정 등을 이유로 다수의 메시지들이 전송되며, 상향링크로 전송되는 제어 메시지들의 크기의 총합은 대략 200 바이트 정도 된다.

하지만, 대부분의 머신 타입 디바이스들은 수십에서 수백 바이트의 데이터를 간헐적으로 상향링크를 통해 전송하기 때문에 기존 셀룰러 시스템의 동작 절차는 매우 비



<그림 1> 3GPP LTE 제어 연결 및 베어러 설정 과정

효율적이다.

이에, 3GPP에서는 작은 크기의 데이터를 전송하기 위해 간소화된 절차들을 논의한 바 있다[7]. 특히, 현재 3GPP NB(Narrow Band)-IoT (Internet-of-Things) 워킹 그룹에서는 시그널링 오버헤드 절감을 위해 [7]에서 제시된 방안 중 다음과 같은 두 가지 방안들을 채택하였다^[8].

- 제어 평면 솔루션: 본 방안은 무선 자원 제어 (RRC: Radio Resource Control) 연결 설정 과정 중 무선 자원 제어 연결 설정 완료 메시지에 데이터를 포함하여 전송한다. 이를 통해, 무선 자원 제어 연결 설정 과정 중 데이터를 전송할 수 있기 때문에 시그널링 오버헤드를 감소시킬 수 있다.
- 사용자 평면 솔루션: 본 방안은 단말이 휴지 상태가 되어도 단말 및 네트워크 노드에서 제어 연결 및 베어러 설정 정보를 그대로 저장하여 데이터 전송 시 재사용한다. 즉, 단말이 연결 상태에서 휴지 상태로 전환 시 기지국에서 연결 보류 (suspend) 메시지를 단말에게 전송한다. 이를 통해, 해당 단말과 네트워크 노드에서는 휴지 상태에서도 해당 단말에 대한 제어 연결 및 베어러 설정 정보를 저장한다. 이 후, 해당 단말이 데이터 전송 시 연결 재개 (resume) 요청 메시지를 기지국으로 전송한다. 이를 통해, 단말과 네트워크 노드에서는 저장했던 제어 연결 및 베어러 정보들을 활성화 한다. 본 방안을 통해 기존 시그널링 절차를 간소화 할 수 있다.

하지만, 앞서 기술한 제어 평면 및 사용자 평면 솔루션들은 데이터 전송을 위해 랜덤 액세스 절차를 선행하여야 하고, 제어 메시지들을 전송해야 하는 오버헤드가 존재한다. 이러한 이유로 인해, ITU에서 제시한 10⁶개/km²의 초다수 디바이스를 협대역을 통해 수용하기 위해서는 시그널링 오버헤드 최소화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

대부분의 머신 타입 디바이스들은 수 십에서 수 백 바이트의 데이터를 간헐적으로 상향링크를 통해 전송 하기 때문에 기존 셀룰러 시스템의 동작 절차는 매우 비효율적이다.

3. NB-IoT 주요 특징

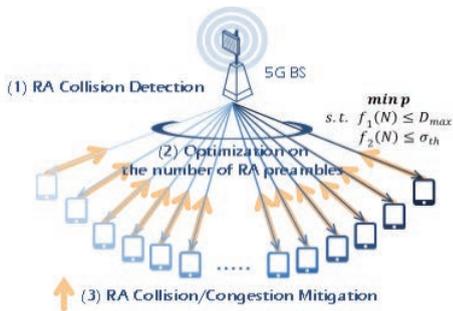
3GPP에서 논의 중인 NB-IoT는 상향링크와 하향링크 모두 180 kHz의 주파수 대역을 사용하며, 다음과 같은 세 가지 동작 모드를 지원 가능하다.

- Stand-alone operation: 하나 이상의 GSM (Global System for Mobile Communications) 주파수 캐리어를 이용하는 모드
- Guard-band operation: LTE 가드 밴드를 이용하는 모드
- In-band operation: LTE 주파수 대역 내 자원 블록을 이용하는 모드

이와 더불어, 현재까지 논의된 NB-IoT의 주요 특징들을 정리하면 다음과 같다.

- 하향링크: OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반으로 동작하고, 모든 동작 모드에 대해 15 kHz 서브캐리어 간격을 지원한다.
- 상향링크: 단일 톤과 멀티 톤 전송이 가능하다. 단일 톤인 경우 3.75 kHz와 15 kHz 서브캐리어 간격에 대한 두 가지 numerology들이 설정 가능하고, 멀티 톤인 경우 15 kHz 서브캐리어 간격이 지원된다.
- 홈/빌딩 내 지하실과 같이 통신 환경이 좋지 않은 경우를 고려하여, 커버리지 레벨 별 반복 전송 횟수를 달리 적용하는 방안이 채택되었다.
- In-band operation인 경우, 기존 LTE 시스템과의 충돌을 감소시키기 위해 LTE 시스템의 제어 채널 및 신호 영역은 최대한 회피하여 설정하는 방안을 적용한다.

이 외에도, 3GPP에서는 NB-IoT를 지원하기 위해 물리 계층의 채널들을 기존 LTE와 다르게 정의하고 있으며, 디바이스 복잡도 및 배터리 소모를 감소시키기 위해 시스템 정보 전송 방식, 휴지 상태 DRX (Discontinuous Receiving), 재전송 방식 등이 간소화되거나 변경되었다.



〈그림 2〉 적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법 개념도

III. Massive Connectivity 제공을 위한 요소 기술

본 장에서는 기존 연구들을 토대로 대규모 연결을 제공하기 위해 추가적으로 필요한 기술들에 대해 기술한다.

1. 적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법

초다수 디바이스들의 액세스량은 서비스 유형에 따라 다양할 수 있다. 즉, 어느 순간에는 다수의 디바이스들이 기지국으로 액세스를 시도하기도 하지만, 어느 순간에는 기지국에 액세스를 시도하는 디바이스가 소수에 불과할 수도 있다. 적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법은 단말이 시도하는 랜덤액세스가 이처럼 산발적 특성을 갖는다는 부분에 초점을 맞춰 랜덤액세스 자원을 적응적으로 조절할 수 있는 기술이며, 그 개념도는 〈그림 2〉와 같다.

적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법은 우선 기지국에서 임의의 단위의 랜덤 액세스 자원 중 성공한 자원 수, 충돌이 발생한 자원 수, 혹은 idle 자원 수를 이용하여 현재 네

적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법은 기지국에서 임의 단위의 랜덤 액세스 자원 중 성공한 자원 수, 충돌이 발생한 자원 수, 혹은 idle 자원 수를 이용하여 현재 네트워크에서 액세스 디바이스 수를 추정한다.

〈표 1〉 적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법 시뮬레이션 결과

적응적 변경 주기	320 ms			640 ms		
	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
접속 성공률 (%)	100%	99.90%	98.30%	100%	97.60%	93.60%
접속 충돌률 (%)	6.90%	11.60%	19.00%	7.30%	13.60%	21.50%
평균 랜덤 액세스 자원 수	96.8	76.7	69.4	95.6	77.3	70.1

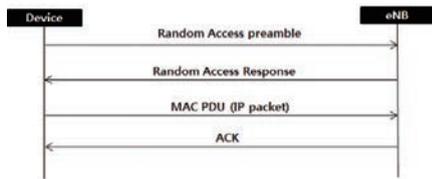
트워크에서 액세스 디바이스 수를 추정한다. 기지국은 추정된 디바이스 수를 기반으로 최적의 랜덤 액세스 자원을 할당한다. 여기서, 랜덤 액세스 자원 수는 최대 할당 가능한 자원 수를 넘지 못하고, 랜덤 액세스 충돌 확률은 타겟 충돌 확률보다 작아야 한다. 이러한, 조건들을 만족시키면서 랜덤 액세스 자원 수를 최소화하기 위한 수식은 수식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \min n \\ & 0 < n \leq N_{\max} \\ & \text{s.t. } p_c = 1 - \exp\left(-\frac{\lambda}{n}\right) \leq \delta_{th} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, n 은 랜덤 액세스 자원 수이고, N_{\max} 는 최대 할당 가능한 랜덤 액세스 자원 수이며, p_c 는 랜덤 액세스 충돌 확률이다. 또한, λ 는 랜덤 액세스 디바이스 수이고, δ_{th} 는 타겟 충돌 확률이다. 수식 (1)에서 N_{\max} 와 δ_{th} 는 시스템 파라미터로 값이 주어지기 때문에, 앞서 기술한 랜덤 액세스 디바이스 수 추정 기법에 의해 λ 를 계산하여 최적의 랜덤 액세스 자원 수인 n 을 도출할 수 있다.

본 논문에서는 [2]에서 제시한 시뮬레이션 환경을 기반으로 적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법에 관한 성능을 〈표 1〉과 같이 분석하였다. 〈표 1〉에서의 시뮬레이션 결과는 셀 내 3 만개의 디바이스가 10 초 동안 베타 분포로 액세스하는 환경에서 도출되었다. 여기서,

접속 성공률은 전체 접속 시도 중 랜덤 액세스 절차를 성공적으로 완료한 시도에 대한 비율을 의미하며, 접속 충돌률은 전체 랜덤 액세스 수 중 충돌이 발생한 액세스 수의 비율을 나타낸다. 또한, 랜덤 액세스 자원 수는 시스템 파라미터이기 때문에 순간적으로 변경하기 어렵다. 이에 〈표 1〉에서와 같이 적응적 변경 주기를 추가적으로 고려하였다. 시뮬레이션 결과에 의하면, 적응적 랜덤 액세스 자원 조절 기법을 통해 접속 충돌률을 21 % 이하로 감소시킬 수 있고, 접속 성공률이 93 % 이상으로 향상될 수 있음을 분석할 수 있다.



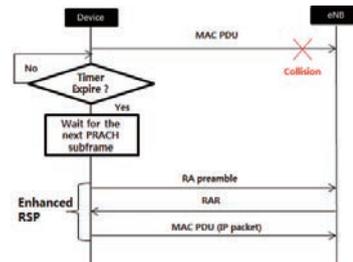
〈그림 3〉 3-step 데이터 전송 기술 (Enhanced RSP)

2. 시그널링 오버헤드 절감

본 논문에서는 [8]에서 제시한 방안 중 제어 평면 슬루션을 기존 간소화된 시그널링 절차 (Conventional Reduced Signaling Procedure: Conventional RSP)로 정의한다. 기존 방안에 대한 시그널링 오버헤드를 추가적으로 감소시키기 위해 3-step 데이터 전송 방안 (Enhanced RSP)을 고려한다. 3-step 데이터 전송 방안에서는 〈그림 3〉과 같이 단말이 휴지 상태에서 작은 크기의 데이터를 전송할 경우 랜덤 액세스 응답 메시지를 수신하고 바로 데이터를 전송한다. 이를 위해, 랜덤 액세스 프리앰블 중 일부를 작은 크기의 데이터 전송을 위해 할당하고, 기지국에서 해당 랜덤 액세스 프리앰블이 감지되면 작은 크기의 데이터가 세 번째 단계에서 전송됨을 인식할 수 있다.

[9]에서는 데이터 전송을 위한 시그널링 절차를 최소화하기 위해 데이터를 직접 전송하는 방안(Simple Direct Data Transmission: Simple DDT)을 제안한 바 있다. 본 방안은 상향링크 자원 요청 과정 없이 직접 데이터를 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)로 전송하는 방안이다. 이러한 경우 시그널링 오버헤드를 최소화할 수 있지만, 데이터를 랜덤하게 전송하기 때문에 충돌에 의해 전송 성공률이 급격하게 저하될 수 있는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 연구에서는 하이브리드 데이터 전송 기술(Hybrid Access)을 고려한다. 본 방안은 데이터 직접 전송 방안의 충돌 확률을 감소시키기 위해, 데이터 직접 전송에서 충돌이 발생하여 재전송 시 〈그림 4〉와 같이 3-step 데이터 전송 방안을 통해 데이터를 전송한다. 이를 통해, 초기 데이터 직접 전송 단말들만



〈그림 4〉 하이브리드 데이터 전송 기술 (Hybrid Access)

경쟁하기 때문에 데이터 직접 전송 방안 보다 충돌 확률을 크게 감소시킬 수 있다. 즉, 초기 데이터 직접 전송에서 충돌이 발생한 단말들은 랜덤 액세스 프리앰블을 전송하기 때문에 데이터 직접 전송과 경쟁을 하지 않게 된다.

앞서 기술한 방안들에 대한 성능분석을 위해 시스템 파라미터를 〈표 2〉와 같이 정의하였고, [10]에서 제시한 수학적 모델을 참조하여 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해 셀 내 모든 디바이스들이 10 초 동안 균등 분포로

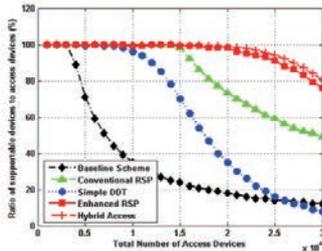
데이터 전송을 시도한다고 가정하였으며, 데이터 패킷의 크기는 20 바이트로 가정하였다.

〈그림 5〉는 전체 디바이스 수 대비 수용 가능한 디바이스 수의 비율(%)을 나타낸다. 여기서, 수용 가능한 디바이스 수는 성공적으로 데

이터를 전송할 수 있는 디바이스의 수를 의미한다. 성능 분석 결과에 의하면, 기존 3GPP LTE 시스템 (Baseline

〈표 2〉 시그널링 오버헤드 성능분석 시스템 파라미터

시스템 파라미터	수치
시스템 대역폭	1.4 MHz
Backoff Indicator	0 msec
랜덤 액세스 프리앰블 수	64
최대 재전송 횟수	3
서브프레임 내 데이터 직접 전송을 위한 기본 단위 당 무선 블록 수	2 무선 블록
라디오 프레임 당 데이터 직접 전송 기본 단위 수	3
MCS (Modulation & Coding Scheme)	QPSK 1/2
물리 계층 제어 오버헤드	25%
LTE 시스템의 상향링크 시그널링 오버헤드	220 바이트
Conventional RSP의 상향링크 시그널링 오버헤드	38 바이트
데이터 직접 전송과 Enhanced RSP 상향링크 오버헤드	2 바이트



〈그림 5〉 전체 디바이스 수 대비 수용 가능한 디바이스의 비율

Scheme)은 시그널링 오버헤드로 인해 10 초 동안 데이터를 전송하는 디바이스의 수가 대략 3,000 개 정도 일 때까지만 100% 수용하는 것을 분석할 수 있다. 또한, 데이터 직접 전송 방안은 대략 9,000 개 정도의 디바이스를 100 % 수용할 수 있는 반면, 기존 간소화 시그널링 절차는 대략 15,000 개 정도의 단말을 100 % 수용할 수 있는 것을 분석할 수 있다. 여기서, 데이터 직접 전송 방안이 기존 간소화 시그널링 절차 보다 더욱 성능이 저하된 이유는 데이터 직접 전송의 충돌 확률이 급격하게 증가하기 때문이다. 본 연구에서 추가적으로 고려한 3-step 데이터 전송 방안과 하이브리드 데이터 전송 기술은 대략 20,000 개 단말을 100% 수용할 수 있는 것을 분석할 수 있다. 즉, 제안한 방식들로 인해 한정된 자원으로 100 % 수용 가능한 단말의 수를 데이터 직접 전송 방안 대비 122%, 기존 간소화 시그널링 절차 대비 33 % 정도 향상시킬 수 있음을 분석할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 대규모 연결 제공을 위한 기존 관련 연구 동향과 추가적으로 필요한 기술에 대해 기술하였다. 하지만, 본 논문에서는 3GPP LTE 시스템을 기반으로 설계한 방안들에 대해서만 기술하였다. 최근 대규모 연결 제공에 관한 미래 원천 기술 연구로 새로운 다중 접속 기술, 압축 센싱 기반 접속 및 데이터 전송 기술, 다중 안테나 기반 Grant-free 데이터 전송 기술 등과 같은 새로운 기술들이 연구되고 있다.

V. Acknowledgement

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. R0101-15-244, 초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)

참고 문헌

- [1] ITU-R WP 5D, "Key Performance Indicators for 5G Mobile Communications," Feb. 2015.
- [2] 3GPP TR 37.868 v11.0.0, "Study on RAN Improvements for Machine-Type Communications," Sept. 2011.
- [3] METIS, "Proposed Solutions for New Radio Access, Deliverable D2.4," 2015.
- [4] H. S. Jang et al., "Spatial Group Based Random Access for M2M Communications," IEEE Commun. Letters, vol. 18, no. 6, Jun. 2014.
- [5] S. -Y. Lien et al., "Cooperative Access Class Barring for Machine-to-Machine Communications," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 11, no. 1, Jan. 2012.
- [6] J. -P. Cheng et al., "Prioritized Random Access with Dynamic Access Barring for RAN Overload in 3GPP LTE-A Networks," in Proc. IEEE GLOBECOM 2011.
- [7] 3GPP TR 23.887 v12.0.0, "Study on Machine-Type Communications (MTC) and other Mobile Data Applications Communications Enhancements," Dec. 2013.
- [8] Mediatec Inc. (NB-IoT Session Chair), "Report of the LTE Break Session (NB-IoT)," 3GPP TSG-RAN WG2 Meeting #92, R2-157014, Nov. 2015.
- [9] S. Andreev et al., "Efficient Small Data Access for Machine-Type Communications in LTE," in Proc. IEEE ICC 2013.
- [10] Y. -J. Choi et al., "Multichannel random access in ofdma wireless networks," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. 24, pp. 603-613, March 2006.



오성민

- 2004년 2월 아주대학교 전자공학부 졸업
- 2006년 2월 아주대학교 전자공학과 석사
- 2011년 8월 아주대학교 전자공학과 박사
- 2011년 9월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

〈관심분야〉
5G 이동통신 시스템, Massive IoT, 단말 간 직접 통신 시스템



이창희

- 2011년 2월 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업
- 2013년 2월 고려대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사
- 2013년 3월~현재 한국전자통신연구원 연구원

〈관심분야〉
5G 이동통신 시스템, multi-user MIMO, 단말간 직접 통신 시스템



신재승

- 2007년 5월 Pennsylvania State University 컴퓨터공학과 박사
- 1993년 2월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

〈관심분야〉
M2M, D2D, 소형셀, 5세대 이동통신 시스템, 이동통신 프로토콜, Resource Scheduling



박옥선

- 1996년 2월 전남대학교 전자공학과 졸업
- 1999년 2월 전남대학교 전자공학과 석사
- 2014년 8월 충남대학교 정보통신공학과 박사
- 1999년 3월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

〈관심분야〉
5G 이동통신시스템, MTC/IoT 무선전송방식