

사물인터넷을 위한 협대역 LTE 시스템에서의 준지속적 스케줄링의 성능 평가

김선경*, 차원정*, 소재우°, 나민수**, 최창순**

Performance Evaluation of Semi-Persistent Scheduling in a Narrowband LTE System for Internet of Things

Sunkyung Kim*, Wonjung Cha*, Jaewoo So°, Minsoo Na**, Changsoon Choi**

요 약

LTE 시스템에서 단말이 기지국에 데이터를 전송하기 위해서는 기지국이 physical downlink control channel (PDCCH)을 통해 역방향 자원 할당 제어 정보를 방송해야 한다. PDCCH 메시지의 크기 및 전송 횟수는 셀 내 단말의 수에 비례하여 증가하기 때문에 narrowband LTE (NB-LTE) 시스템의 경우 다수의 단말에 의해 발생하는 PDCCH의 오버헤드 증가 문제가 네트워크에 심각한 혼잡을 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 PDCCH의 오버헤드 감소를 위해, 제안하는 간소화 된 PDCCH 정보 비트 구성 방법을 사용하여 PDCCH 메시지의 크기를 줄인다. 또한, PDCCH 메시지의 전송 횟수를 감소시키는 semi-persistent scheduling (SPS) 기법을 NB-LTE 시스템에 적용하여 성능을 평가한다. 모의실험을 통해 SPS의 경우 PDCCH의 오버헤드가 감소하였으며, 시스템의 사용 효율이 높아짐을 보였다.

Key Words : NB-LTE, PDCCH, Semi-Persistent Scheduling, Cellular IoT

ABSTRACT

In LTE networks, the base station transmits control information over the physical downlink control channel (PDCCH) including scheduling grants, which are used to indicate the resources that the user equipment uses to send data to the base station. Because the size of the PDCCH message and the number of the PDCCH transmissions increase in proportion to the number of user equipments, the overhead of the PDCCH may cause serious network congestion problems in the narrowband LTE (NB-LTE) system. This paper proposes the compact PDCCH information bit allocation to reduce the size of the PDCCH message and evaluates the performance of the semi-persistent scheduling (SPS) in the NB-LTE system. The simulation results show that the SPS can significantly reduce the signaling overhead of the PDCCH and therefore increase the system utilization.

※ 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2014R1A1A2058084) 그리고 교육부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과임.

♦ First Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, sunkyung@sogang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, jwso@sogang.ac.kr, 종신회원

* LG Uplus, cwj0515@lguplus.co.kr, 정회원

** 5G Tech. Lab, Corporate R&D Center, SK Telecom, {minsoo.na, changsoon.choi}@sk.com, 정회원

논문번호 : KICS2016-06-108, Received June 3, 2016; Revised September 1, 2016; Accepted September 1, 2016

I. 서 론

5G 이동통신은 4G 이동통신보다 빠른 속도의 서비스를 제공하는 것과 더불어 사람과 사람 간의 인간 중심 통신 방식을 사람과 사물, 사물과 사물 간의 통신으로 확장하고 지능화 된 융합 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다^[1]. 사물 간 통신 서비스는 사물인터넷 (Internet of Things; IoT)으로 지칭된다. 사물인터넷이란 실생활에 존재하는 모든 객체들이 인간의 개입 없이 서로 연결되어 정보를 주고받는 환경을 말한다.^[2] 가트너에서는 2020년에 통신 단말이 약 210억 대에 이를 것이라 전망하고 있으며, International Telecommunication Union (ITU) 22차 회의에서 결정된 IMT-2020 표준에 따르면 $10^6/\text{km}^2$ 의 연결 밀도를 5G 이동통신의 요구사항으로 정의하고 있다^[3,4].

사물인터넷은 다수의 단말 연결, 단말의 낮은 전력 소모 및 낮은 복잡도, 낮은 이동성, 긴 데이터 전송 주기, 작은 데이터 크기 등을 특징으로 한다. 따라서 사물인터넷을 위해서는 데이터 속도를 중시하는 종래의 이동통신과는 다른 방식의 새로운 표준이 필요하다. 이를 위해 Long Term Evolution (LTE)으로 4G 이동통신을 주도해 온 3rd Generation Partnership Project (3GPP)에서는 '15년 8월에 사물인터넷 표준 중 하나로 NB-LTE를 제안하였다^[5]. 이후 NB-LTE는 '15년 12월에 또 다른 사물인터넷 표준인 Narrowband Cellular IoT (NB-CIoT)의 일부 내용을 반영하여 NB-IoT로 이름이 변경되었다. NB-IoT는 3GPP의 Release 13에 포함되어 '16년 6월에 표준화가 완료되었다.

LTE 시스템에서 단말이 기지국에 데이터를 전송하기 위해서는 기지국이 단말에 Physical Downlink Control Channel (PDCCH)을 통해 데이터 전송을 위한 제어 정보를 전송해야 하며, 이때 PDCCH 메시지에는 자원 할당 정보 및 기타 제어 정보들을 정의하는 정보 비트가 포함되어 있다^[6]. PDCCH 메시지의 크기 및 전송 횟수는 기지국이 스케줄링하는 단말의 수에 비례하여 증가하며, 협대역 시스템의 경우 자원 할당 정보의 양에 대비하여 제어 정보의 양이 크기 때문에 PDCCH의 오버헤드가 증가하는 문제가 발생한다. 또한 넓은 커버리지를 지원해야 하는 셀룰러 사물인터넷 시스템에서는, 낮은 Modulation and Coding Scheme (MCS) 레벨로 PDCCH 메시지를 전송해야 하기 때문에 PDCCH의 오버헤드가 증가한다. 따라서 사물인터넷을 위한 협대역 네트워크에서는 한정된 양의 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위한 자원 할당

오버헤드 감소 해결이 중요하다.

PDCCH의 오버헤드를 줄이기 위해서는 첫째, PDCCH 메시지 자체의 크기를 감소시키는 방법과 둘째, 기지국이 단말에 전송하는 PDCCH 메시지의 전송 횟수를 감소시키는 방법이 있으며 이와 관련하여 다양한 연구가 이루어졌다. 사물인터넷은 작은 크기의 데이터 전송 등을 비롯한 단말 특징으로 인해 LTE에서 정의하는 단말 분류 중 어느 곳에도 속하는 곳이 없으며, 따라서 LTE와는 다른 전송 포맷 및 정보 비트 구성 방법을 필요로 한다^[7]. 논문 [8]에서는 상향링크 환경에서 최대 전송 전력을 고정하여 사용함으로써 전력 제어 지시자를 제거하는 등 기존 PDCCH 메시지의 불필요한 구간을 제거하여 PDCCH 메시지의 크기를 일부 줄이는 방법을 제안하였다. 논문 [9-11]에서는 PDCCH 메시지의 전송 횟수를 줄이기 위해, LTE 환경에서 사물 간 통신을 위한 Semi-Persistent Scheduling (SPS) 알고리즘을 제안하였다. SPS 알고리즘은 LTE 음성 통신 환경에서 일정 시간 동안 동일한 자원 할당을 통해 저 지연 성능과 제어 채널의 무선 자원 효율성을 보장하기 위한 스케줄링 기법이다. 논문 [12-14]에서는 사물 간 통신의 적은 데이터 전송에 비하여 많은 PDCCH 메시지 전송 횟수를 감소시키기 위해 SPS 기법을 사용하였으나, 스케줄링 시간에 따른 채널 환경의 변화가 빠르게 이루어지는 LTE 환경에서 성능 평가가 이루어졌다. 논문 [15]에서는 차량 네트워크에서 차량들이 기지국에 직접 정보를 요청하고 응답받는 메시지 수행과정의 일부를, 시그널링 오버헤드를 감소시키기 위해 중간에 대형 차량 노드를 두어 프록시 서버의 역할을 하게 함으로써 일반 차량 노드가 기지국으로 요청 메시지를 전달할 필요 없이 대형 차량 노드에 메시지를 요청하는 방법을 제안하였다. 논문 [16]에서는 사물 간 통신을 하는 다수의 단말을 동적으로 그룹핑하고, 그룹의 대표 단말만 시그널링을 수행함으로써 오버헤드를 줄이는 방법을 제안하였으나, 그룹 내 단말들의 이동성이 같아야 하는 제약 조건이 따른다.

본 논문에서는 NB-LTE 시스템에서 PDCCH의 오버헤드 감소를 위한 두 가지 방법을 함께 적용한다. NB-LTE 시스템을 위한 간소화 된 PDCCH 정보 비트 구성 방법을 제안하여 PDCCH 메시지의 크기를 줄이고, SPS 기법을 적용하여 기지국의 PDCCH 메시지 전송 횟수를 감소시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 제안하는 간소화 된 PDCCH 정보 비트 구성 방법을 사용하는 NB-LTE 시스템 모델을 설명한다. 다음으로 3

장에서는 PDCCH 메시지 전송 횟수 감소를 위한 SPS 동작을 설명한다. 이어서 4장에서는 모의실험을 통해 성능을 평가하고 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서 본 논문에 대한 결론을 맺고 논문을 마친다.

II. 시스템 모델

본 장에서는 NB-LTE 환경에서 SPS 동작의 성능을 평가하기 위해 구성한 시스템 모델을 설명한다. 먼저 NB-LTE의 프레임 구조를 설명하고 NB-LTE 시스템의 PDCCH인 M-PDCCH의 구조와 제안하는 정보 비트 구성 방법에 대하여 설명한다.

2.1 NB-LTE 시스템의 프레임 구조

NB-LTE는 20kHz의 가드밴드를 포함한 200kHz 시스템 대역폭에서 동작한다. 하향링크는 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)를 기반으로 한다. NB-LTE의 하향링크 프레임 구조는 그림 1과 같다. NB-LTE 하향링크는 LTE와 동일한 부반송파 간격, 심볼 시간, 슬롯 포맷, 슬롯 시간, 서브프레임 시간 등을 가지며, 스케줄링 단위인 M-서브프레임은 서브프레임 6개로 구성되어 총 6ms의 시간으로 이루어져 있다. 또한 NB-LTE 자원 할당의 최소 단위는 180kHz 대역폭과 1ms 서브프레임으로 이루어진 하나의 Physical Resource Block (PRB)이며, 자원 할당을 위한 제어 정보는 PRB의 처음 두 심볼에 담겨 M-PDCCH를 통해 전송된다.

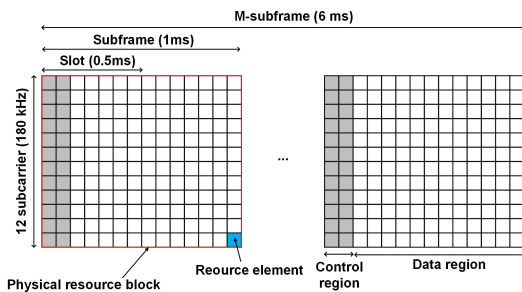


그림 1. NB-LTE 시스템의 하향링크 프레임 구조
Fig. 1. Downlink frame structure of an NB-LTE system

2.2 제안하는 M-PDCCH 정보 비트 구성

NB-LTE에서 M-PDCCH 메시지는 매 서브프레임의 처음 두 심볼로 전송된다. 따라서 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) 변조 방식과 1/3 코딩 레이트를 가정했을 때 하나의 서브프레임 당 M-PDCCH 메시지에 실을 수 있는 정보 비트 수는 총

16비트이다. 이는 기존 PDCCH 정보 비트 방법을 사용하여 자원 할당을 나타낼 때 필요한 제어 자원의 양에 비하여 매우 적다.

본 논문에서는 PDCCH 정보 비트 구성 방법을 기반으로 사물인터넷 단말에 필요한 최소한의 정보 비트만을 사용하여 M-PDCCH 메시지의 크기를 줄였다. 제안하는 정보 비트 구성 방법을 표 1에 나타내었다. NB-LTE의 스케줄링 단위인 6ms 동안에는 총 6개의 자원 블록이 존재하므로, 자원 할당 정보에 필요한 정보 비트는 6비트이다. 기존 LTE에서는 주파수 분할 방식을 사용할 때 총 8가지 종류의 Hybrid Automatic Repeat Request (Hybrid-ARQ)를 사용할 수 있으며 어떤 Hybrid-ARQ 방식을 사용할 것인지를 나타내는 지시자는 총 3비트로 나타낼 수 있다^[17]. 또한 NB-LTE의 경우 M-PDCCH 메시지에는 추가적으로 단말의 위치에 따른 커버리지 정보가 포함되어야 한다. NB-LTE의 커버리지는 총 세 단계로 나뉜다. 본 논문에서는 커버리지 정보로 인해 발생하는 오버헤드를 줄이기 위해, 표 2에 나타낸 바와 같이 MCS 레벨을 변조 방식, 코딩 레이트와 더불어 커버리지를 추가하여 코드워드를 나타내었다^[18]. 16비트로 구성된 Cell Radio Network Temporary Identifier (C-RNTI)는 기지국이 각 단말을 구별하기 위한 단말 식별자를 의미

표 1. 제안하는 M-PDCCH 정보 비트 구성 방법
Table 1. Proposed information bit composition for M-PDCCH

Parameter	Value (bit)
Resource allocation information	6
Hybrid-ARQ indicator	3
MCS level	3
C-RNTI	16
Sum	28

표 2. M-PDCCH의 MCS 레벨 코드워드 지시자
Table 2. MCS level codeword indicator of M-PDCCH

MCS level	Coverage	Modulation	Coding rate	Codeword
1	3	BPSK	0.21	000
2	3	BPSK	0.42	001
3	2	QPSK	0.26	010
4	2	QPSK	0.52	011
5	2	QPSK	0.78	100
6	1	QPSK	0.26	101
7	1	QPSK	0.52	110
8	1	QPSK	0.78	111

하며, 16비트로 셀 당 65523개의 단말을 구별할 수 있다.

그림 2는 본 논문에서 구성한 NB-LTE의 M-PDCCH 정보 비트를 LTE의 PDCCH 정보 비트와 비교한 결과이다. 동일한 조건에서 비트 수를 비교하기 위해 LTE와 NB-LTE의 PRB 개수는 6개로 고정한다. 데이터 전송 시 LTE는 1.4MHz 시스템 대역폭과 1ms 시간을, NB-LTE는 200kHz 시스템 대역폭과 6ms 시간을 가지며 PDCCH 메시지의 전송 시간 단위는 1ms이다. 이때 MCS는 QPSK 1/3을 가정하였으며, PDCCH는 Downlink Control Information (DCI) 포맷 1을 기준으로 하였다. 오류 검출을 위한 순환중복검사 (Cyclic Redundancy Check; CRC)는 CRC-4로 총 16비트이다. 그림 2에서 보듯이 같은 조건에서 기존 PDCCH 정보 비트 구성 방법을 사용하면 총 254비트가 필요하다. 하지만 제안하는 M-PDCCH 정보 비트 구성 방법을 사용할 경우에는 총 200비트로 제어 정보를 나타낼 수 있어 필요한 비트 수가 21% 감소한다. 커버리지가 높은 단말일수록 사용하는 MCS 레벨이 낮아지므로, 필요한 비트 수는 더 큰 차이를 보인다. 또한 하나의 서브프레임 당 M-PDCCH 메시지에 실을 수 있는 정보 비트 수는 총 5.28비트이다. 그러므로 기존의 방법은 제어 정보를 보내기 위해 10.6개의 M-PDCCH 메시지에 걸쳐 정보를 전송해야 한다. 그러나 제안한 정보 비트 구성 방법을 사용할 경우에는 8.3개의 M-PDCCH 메시지만을 사용하면 된다.

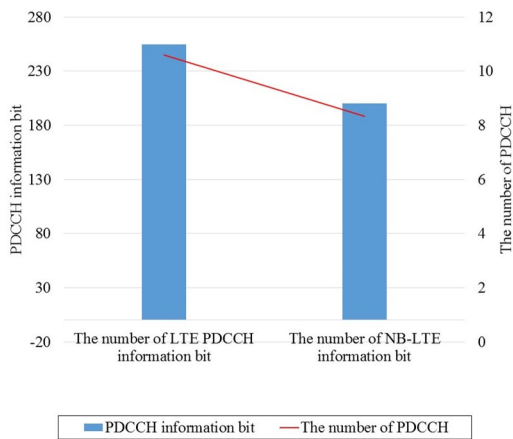


그림 2. PDCCH와 제안하는 M-PDCCH 정보 비트 수 비교
Fig. 2. Comparison of the number of information bits between the PDCCH message and the proposed M-PDCCH message

III. Semi-Persistent 스케줄링 동작 과정

본 장에서는 NB-LTE 상향링크 스케줄링 동작 과정에 대해 설명한다. 먼저 NB-LTE의 스케줄링 기법인 동적 스케줄링 동작 과정에 대해 설명한다. 이어서 M-PDCCH 메시지의 전송 횟수를 줄이는 SPS 동작 과정에 대해 설명한다.

3.1 동적 스케줄링 동작

NB-LTE의 M-PUSCH 자원 스케줄링 방법을 그림 3에 도시하였다¹⁹⁾. 기지국은 하향링크를 통해 M-서브프레임에 걸쳐 전송되는 M-PDCCH 메시지에 다음 6ms 동안 할당할 자원 및 기타 제어 정보를 실어 단말에 전송한다. 단말은 6ms에 걸쳐 받은 M-PDCCH 메시지를 이용하여 M-PUSCH로 기지국에 데이터를 전송한다. NB-LTE 상향링크의 경우 프레임의 시간 확장으로 인하여, 하나의 PRB의 대역폭은 30kHz이고, 각 PRB는 12개의 부반송파로 이루어져 있기 때문에 시간과 주파수 측면에서 각 단말의 최소자원 할당 단위는 각각 6ms와 30kHz가 된다. NB-LTE에서는 단말이 속해 있는 커버리지에 따라 할당하는 자원의 양을 다르게 한다.

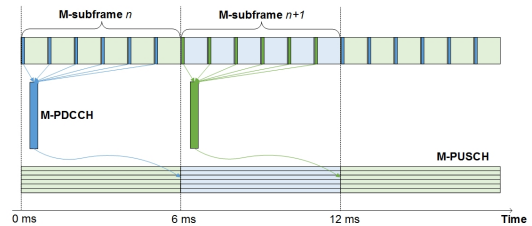


그림 3. M-PDCCH 메시지를 통한 M-PUSCH의 동적 자원 할당 스케줄링
Fig. 3. Dynamic scheduling of M-PUSCH via M-PDCCH message transmissions

3.2 Semi-Persistent 스케줄링 동작

사물인터넷 단말은 낮은 이동성, 적은 데이터 전송 등의 특징을 가지므로, 기존의 LTE 단말에 비하여 시간에 따른 채널 변화의 영향이 매우 작다. 그러므로 LTE 단말은 짧은 시간 동안 빠르게 변화하는 채널 환경으로 인해 1ms 마다 자원 할당을 하는 반면, NB-LTE 단말은 이전 6ms 동안 받은 자원 할당 제어 정보를 이용해 다음 6ms 동안 데이터를 전송한다. 그러나 사물인터넷 단말은 시간에 따라 채널 변화가 거의 없고 주기적으로 적은 양의 데이터를 보내는 특성을 갖기 때문에, 6ms의 스케줄링 시간 단위마다 같은

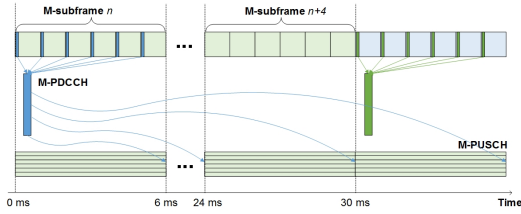


그림 4. M-PDCCH 메시지를 통한 M-PUSCH의 SPS 자원 할당
 Fig. 4. SPS of M-PUSCH via M-PDCCH message transmissions

내용의 MCS 레벨 및 자원 할당 정보를 전송하는 것은 M-PDCCH의 오버헤드를 일으킬 수 있다. 매 스케줄링 시간 단위마다 M-PDCCH 메시지를 전송하는 동적 스케줄링과 달리, SPS 스케줄링 주기마다 M-PDCCH 메시지를 한 번씩 전송하고, 주기 사이에는 M-PDCCH 메시지 전송 없이 처음 전송한 M-PDCCH 메시지와 동일한 제어 정보로 스케줄링을 하므로 M-PDCCH의 오버헤드를 줄일 수 있다.

NB-LTE의 M-PUSCH 자원 SPS 방법을 그림 4에 도시하였다. 기지국은 M-PDCCH를 통해 SPS 주기인 T_{SPS} 동안 할당할 자원 정보 및 기타 제어 정보를 단말에 전송한다. 단말은 처음 6ms 동안 받은 M-PDCCH 메시지를 이용하여, 다음 SPS 주기 전까지 동일한 자원 할당 정보 및 제어 정보로 M-PUSCH를 통해 기지국에 데이터를 전송한다.

IV. 모의실험

본 장에서는 모의실험을 통해 상향링크 NB-LTE 시스템에서 SPS 기법의 성능을 평가하고 결과를 분석한다. 먼저 본 논문에서 실행한 모의실험의 환경에 대해 설명한다. 이어서 모의실험의 결과를 분석하고 성능을 평가한다.

4.1 모의실험 환경

본 절에서는 모의실험에서 사용한 파라미터를 기술한다. 제안하는 모의실험의 환경은 표준 [5]의 3GPP NB-LTE 링크 레벨 모의실험을 위한 파라미터를 근거로 작성하였다. 모의실험 네트워크 모델은 상향링크 NB-LTE 시스템이며 동적 스케줄링의 주기는 6ms, SPS의 주기는 30ms이다. 모의실험에는 한 개의 셀이 존재하며 기지국이 서비스할 수 있는 셀 반경은 4km이다. 단말이 겪는 채널 환경은 중심 주파수가 900MHz인 레일리 페이딩을 가정하였다^[20]. 기지국은 각 단말로부터 전송 받은 수신대잡음비 정보를 통해

스케줄링 할 단말과 각 단말이 전송하는 데이터의 MCS 레벨을 선택하고, 결정된 스케줄링 정보를 M-PDCCH를 통해 전송한다. 상향링크에서는 단말이 기지국에 M-PUSCH를 통해 데이터를 전송한다. M-PUSCH를 위한 상향링크 시스템 대역폭은 단말과 기지국과의 거리인 커버리지에 따라 달라진다. 본 모의실험에서는 커버리지 1의 경우 80kHz 대역폭, 커버리지 2의 경우 5kHz 대역폭, 커버리지 3의 경우 2.5kHz 대역폭을 필요로 한다. 이 외에 필요한 모의실험 파라미터를 표 3에 정리하였다.

표 3. 모의실험 파라미터
 Table 3. Simulation parameters

Parameter	Value
Mobile station transmit power	23dBm
Bandwidth	180kHz
Pass loss model	$PL = 120.9 + 37.6 \log_{10}(R(km))$
Channel model	Rayleigh fading
Traffic model	Full buffer model
Traffic amount	800bit
Center frequency	900MHz
Base station antenna gain	18dBi
Mobile station antenna	-4dBi
Base station cable loss	3dB

4.2 모의실험 결과

본 절에서는 동적 스케줄링 및 SPS의 모의실험 결과를 나타내고 성능을 비교 및 분석한다. 그림 5와 그림 6은 도플러 주파수가 각각 1Hz, 500Hz일 때 시간에 따라 단말이 선택한 MCS 레벨의 변화를 나타낸 그래프이다. 이 때 하나의 단말이 기지국으로부터 2km 떨어진 위치에 있다고 가정하였으며, 총 0.5초의 시간 동안 단말이 데이터 전송을 위해 선택하는 MCS 레벨을 표시하였다. 동적 스케줄링은 6ms 주기마다 직전 6ms 동안의 평균 신호대잡음비로 MCS 레벨을 결정하며, SPS는 30ms 주기마다 직전 30ms 동안의 평균 신호대잡음비로 MCS 레벨을 결정한다. 시간의 변화에 따라 발생하는 레일리 페이딩으로 인해 기지국이 수신하는 신호대잡음비는 채널의 변화를 겪게 된다. 그림 5를 보면, 도플러 주파수가 1Hz일 때에는 시간에 따른 채널 상태의 변화가 상대적으로 작으므로, 0.5초 동안 변하는 MCS 레벨은 거의 없다. SPS 방법을 적용할 때에도 0.5초 동안 MCS 레벨은 거의 변하지 않는다. 반면 그림 6을 보면, 도플러 주파수가 500Hz일 때에는 시간에 따른 채널 상태의 변화가 상

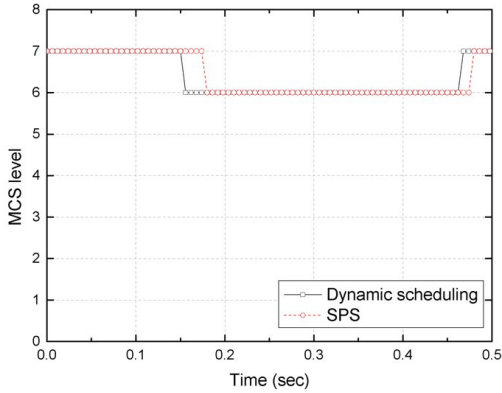


그림 5. 도플러 주파수가 1Hz일 때, 시간에 따른 MCS 레벨 변화
 Fig. 5. MCS level transition at 1Hz Doppler frequency

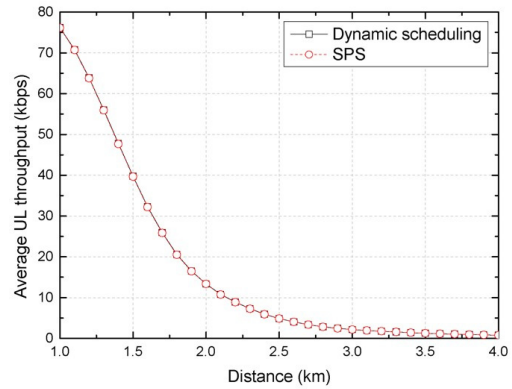


그림 7. 도플러 주파수가 1Hz일 때, 평균 상향링크 시스템 수율
 Fig. 7. Average uplink throughput at 1Hz Doppler frequency

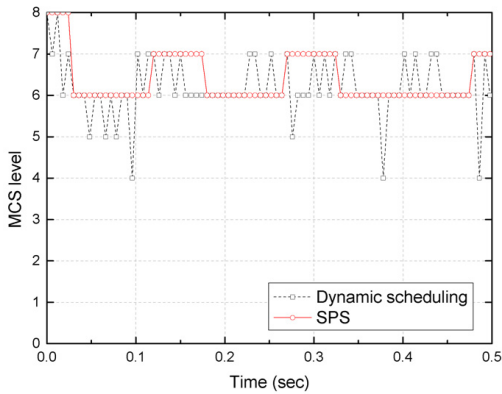


그림 6. 도플러 주파수가 500Hz일 때, 시간에 따른 MCS 레벨 변화
 Fig. 6. MCS level transition at 500Hz Doppler frequency

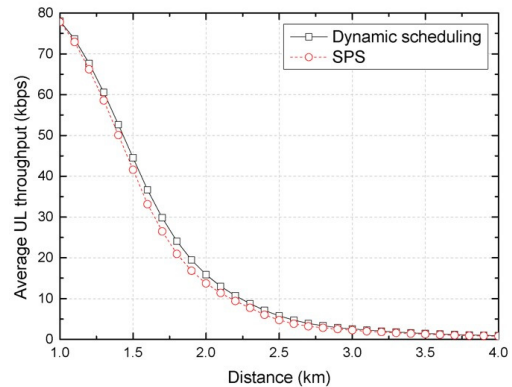


그림 8. 도플러 주파수가 500Hz일 때, 평균 상향링크 시스템 수율
 Fig. 8. Average uplink throughput at 500Hz Doppler frequency

대적으로 크므로 시간에 따른 MCS 레벨 변화가 크다는 것을 확인할 수 있다.

그림 7과 그림 8은 각각 도플러 주파수가 1Hz, 500Hz일 때 단말이 위치한 거리에 따라 시스템의 평균 수율을 계산한 결과이다. 스케줄링 주기에 따라 수율 값의 변화가 있는지 알아보기 위해 6ms 스케줄링 주기마다 MCS 레벨을 결정하는 동적 스케줄링과 30ms마다 MCS 레벨을 결정하는 SPS로 나누어 모의 실험을 진행하였다. 단말 당 시스템 수율을 계산하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$Throughput(t) = R(1 - BLER_M(t)) \text{ (bps)} \quad (1)$$

여기서 R 은 단위 시간 내 처리할 수 있는 비트 양인 비트 전송률을 의미한다. $BLER_M(t)$ 는 M 번째

MCS 레벨을 선택했을 때 시간 t 에서의 BLER을 의미한다. 그림 7에서 도플러 주파수가 1Hz일 때는 페이딩의 영향이 거의 없으므로 거리에 의한 평균 시스템 수율은 스케줄링 주기에 상관없이 일정함을 알 수 있다. 도플러 주파수가 500Hz일 때는 시간에 따른 페이딩의 영향이 매우 빠르게 변한다. 그러므로 30ms마다 MCS 레벨을 선택할 경우 채널의 변화를 반영하지 못한다. 이 경우 잘못된 MCS 레벨 선택으로 BLER이 증가하여 평균 시스템 수율이 감소한다. 그림 8에서 단말과 기지국 간의 거리가 2km일 경우 SPS는 동적 스케줄링에 비해 수율이 13.7% 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 단말과 기지국 간 거리가 1.2km 이하 또는 2.8km 이상일 경우에는 스케줄링의 시간 주기가 변하더라도 평균 시스템 수율의 감

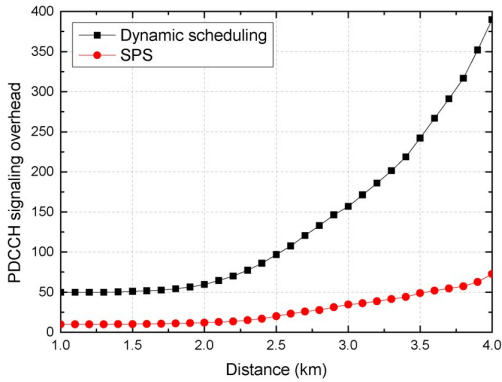


그림 9. 거리에 따른 자원 할당 오버헤드
Fig. 9. Signaling overhead according to the distance

소 정도가 매우 작다. 그 이유는 단말과 기지국의 거리가 가까운 경우 신호대잡음비는 페이딩의 영향으로 값이 감소하더라도 단말이 항상 가장 높은 MCS 레벨로 데이터를 보낼 수 있을 만큼의 최소 신호대잡음비를 만족한다. 따라서 이 경우 페이딩 여부에 상관없이 항상 가장 높은 MCS 레벨로 데이터를 전송하기 때문에 스케줄링 주기에 무관하게 동일한 수율을 갖는다. 한편, 단말과 기지국 간 거리가 매우 먼 경우 페이딩의 영향으로 신호대잡음비 값이 증가하더라도 수신 신호대잡음비는 항상 일정 값 이하이기 때문에 단말은 항상 가장 낮은 MCS 레벨로 데이터를 보내야 한다. 그러므로 이 경우 역시 페이딩 여부에 상관없이 항상 가장 낮은 MCS 레벨로 데이터를 전송하므로 스케줄링 주기와 무관하게 동일한 수율을 갖는다.

그림 9는 단말이 위치한 거리에 따라 M-PDCCH의 시그널링 오버헤드를 계산한 결과이며 채널의 도플러 주파수는 1Hz이다. 오버헤드는 단위 시간 당 M-PDCCH 메시지를 위해 필요한 자원의 양으로 정의하며, 계산하는 방법은 식 (2)와 같다.

$$Overhead = \frac{b}{N_M T} \text{ (symbol/sec)} \quad (2)$$

여기서, b 는 제어 정보 전송을 위해 필요한 비트 수, N_M 는 M-PDCCH의 MCS 레벨이 M 일 경우 한 심볼 당 비트 수, T 는 스케줄링 주기를 의미한다. 즉, M-PDCCH의 MCS 레벨이 높을수록 한 심볼 당 전송하는 비트 수가 많으므로 M-PDCCH 시그널링을 위한 오버헤드가 감소한다. 또한, 스케줄링 주기가 길수록 단위 시간 당 전송해야 하는 M-PDCCH 메시지 횟수가 작으므로 M-PDCCH 시그널링을 위한 오버헤

드가 감소한다. 그림 9에서 보듯이 단말과 기지국 간 거리가 멀어질수록 M-PDCCH의 MCS 레벨이 낮아지기 때문에 M-PDCCH 메시지 전송에 필요한 자원의 양은 증가한다. 따라서 M-PDCCH 시그널링을 위한 자원 할당 오버헤드가 증가하게 된다. 한편, 스케줄링 주기가 6ms 단위인 동적 스케줄링 대비 30ms 단위인 SPS는 1/5의 시그널링 전송 횟수를 갖는다. 따라서 그림 9에서 보듯이 동적 스케줄링 대비 SPS의 M-PDCCH 시그널링 오버헤드가 크게 감소한다. 단말과 기지국 간의 거리가 2km 떨어져 있을 때, SPS 기법은 동적 스케줄링 대비 80.20% 오버헤드가 감소하였다.

V. 결론

본 논문은 사물인터넷 서비스를 위한 NB-LTE 시스템에서 간소화 된 M-PDCCH 정보 비트 구성 방법을 제안하였고 메시지 전송횟수를 줄이는 SPS 방법을 사용하여 성능을 향상시켰다. 5G 이동통신의 연결성 목표는 $10^6/\text{km}^2$ 이지만 많은 수의 단말들이 기지국에 접속할 경우 전송 메시지의 충돌 문제와 부족한 자원 등으로 인한 오버헤드 문제가 발생한다. 오버헤드 감소를 위하여 제안하는 간소화된 M-PDCCH 정보 비트 구성 방법을 사용하여 M-PDCCH 메시지의 크기를 줄였고, SPS 방법을 사용하여 M-PDCCH 메시지의 전송 횟수를 감소시켰다. 동일한 개수의 PRB를 스케줄링하는 조건 하에서 변조 및 코딩 방식을 각각 QPSK 1/3로 가정하였을 때, 제안하는 간소화된 정보 비트 구성 방법은 LTE에서 사용하는 PDCCH 정보 비트 구성 방법 대비 오버헤드를 21% 감소시켰다. 또한, 도플러 주파수가 각각 1Hz와 500Hz인 레일리 페이딩 채널 환경에서 셀 내에 한 개의 단말이 존재하는 환경을 가정하여 SPS 방법을 평가하였다. 단말 이동성이 적은 사물인터넷 단말의 경우 도플러 주파수가 낮아 MCS 레벨이 거의 변하지 않으므로, 기존 스케줄링 주기보다 긴 시간마다 M-PDCCH 메시지를 전송하여도 시스템 수율에는 영향이 거의 없었다. 그리고 M-PDCCH 메시지의 전송 횟수에 따른 시그널링 오버헤드는 단말과 기지국 간 2km 거리 기준으로 80.20% 감소하였다. 반면 도플러 주파수가 높은 경우에는 채널의 시간에 따른 페이딩의 변화가 커서 MCS 레벨의 변화가 크다. 따라서 MCS 레벨을 일정 주기 간격으로 유지하는 SPS를 사용할 경우 단말과 기지국 간 2km 거리 기준 평균 시스템 수율이 13.7% 감소하였다. SPS 기법의 경우 스케줄링 주기에 따라 평균 시

스텝 수율과 시그널링 오버헤드가 트레이드오프 관계로 작용한다. 따라서 평균 시스템 수율과 시그널링 오버헤드 감소를 동시에 만족할 수 있는 스케줄링 주기에 대한 최적화 연구, 단말의 이동성 등 채널 특성에 따른 변화를 극복할 수 있는 스케줄링 기법에 대한 연구, 단말 개수가 증가할 때 단말 수에 따른 시그널링 오버헤드를 감소시키기 위한 추가 연구가 진행될 필요가 있다.

References

- [1] ITU-R 5D/TEMP/548-E, *IMT vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*, Apr. 2015.
- [2] K. Kwon and Y. Yoo, "IoT platform for network service self-configuration based on data flow," *J. Korea Info. Commun. Soc. (J-KICS)*, vol. 40, no. 10, pp. 2047-2053, Oct. 2015.
- [3] Gartner report, *Analysts to explore the disruptive impact of IoT on business*, Nov. 2014.
- [4] ITU-R WP 5D Meeting document, *Report on the twenty-second meeting of Working Party 5D*, Jun. 2015.
- [5] 3GPP TR 45.820 V2.1.0, *3rd Generation Partnership Project; Technical specification group GSM/EDGE radio access network; Cellular system support for ultra low complexity and low throughput Internet of Things* (Release 13), Aug. 2015.
- [6] C. Yang, J. Wang, M. Wang, K. J. Zou, K. W. Yang, and M. Hua, "Over-the-air signaling in cellular communication systems," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 21, no. 4, pp. 120-129, Aug. 2014.
- [7] X. Chen, W. Yang, and C. Xu, "Novel resource allocation schemes in LTE PDCCH," in *Proc. IEEE ICCT*, pp. 128-132, Chengdu, China, Nov. 2012.
- [8] Q. Mu, L. Liu, H. Jiang, and S. Yasukawa, "A new physical downlink control channel design for MTC in LTE-Advanced," in *Proc. IEEE International Symposium WPMC*, pp. 294-299, Sydney, Australia, Sep. 2014.
- [9] V. G. Drozdova, A. G. Nechaev, and A. V. Andreev, "The efficiency of downlink control channel utilization in LTE," in *Proc. IEEE EDM*, pp. 130-132, Erlagol, Russia, Jun. 2015.
- [10] X. Zhang and X. Zhou, *LTE-Advanced air interface technology*, CRC Press, 2013.
- [11] L. Li, M. Peng, and W. Wang, "Multi-user resource allocation for downlink control channel in LTE systems," in *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 1499-1503, Istanbul, Turkey, Sep. 2010.
- [12] N. Afrin, J. Brown, and J. Y. Khan, "Design of a buffer and channel adaptive LTE semi-persistent scheduler for M2M communications," in *Proc. IEEE ICC*, pp. 5821-5826, London, England, Jun. 2015.
- [13] X. Lv, X. Gu, X. Deng, L. Zhang, and W. Li, "Resource allocation algorithm for VoLTE with semi-persistent scheduling," in *Proc. IEEE VTC Spring*, pp. 1-5, Nanjing, China, May 2015.
- [14] P. Parida, S. S. Das, and S. Paul, "Performance of VoIP in presence of MIMO interference in OFDMA (LTE) networks," in *Proc. IEEE VTC Spring*, pp. 1-6, Dresden, Germany, Jun. 2013.
- [15] Y. Shim and Y. Kim, "Data dissemination in LTE-D2D based vehicular network," *J. Korea Info. Commun. Soc. (J-KICS)*, vol. 40, no. 03, pp. 602-612, Mar. 2015.
- [16] H. Roh and J. Lee, "Mobility management of M2M devices with grouping in the LTE system," *J. Korea Info. Commun. Soc. (J-KICS)*, vol. 37, no. 12, pp. 1119-1127, Dec. 2012.
- [17] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Sköld, *4G: LTE/LTE-Advanced for mobile broadband*, Academic Press, 2nd Ed., 2014.
- [18] Samsung Electronics Co., Ltd., *Apparatus and method for allocating resources using codebook in a broadband wireless communication system*, Korea Patent 10-2009-0034296, Apr. 2009.
- [19] 3GPP TSG GERAN #67 GP-150784,

Narrowband LTE - DCI concept and scheduling, Aug. 2015.

[20] 3GPP TR 36.888 V12.0.0, *3rd Generation Partnership Project; Technical specification group radio access network; Study on provision of low-cost machine-type communications (MTC) user equipments based on LTE (Release 12)*," Jun. 2013.

김 선 경 (Sunkyung Kim)



2013년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사

2015년 9월~현재 : 서강대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> 무선자원관리, 자원할당기법

차 원 정 (Wonjung Cha)



2014년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사

2016년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사

2016년~현재 : 엘지유플러스, 사원

<관심분야> 무선자원관리, IoT 네트워크, 5G 이동통신

소 재 우 (Jaewoo So)



1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사

1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

2002년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

2001년~2005년 : 아이피원, 책임연구원 / 수석연구원

2005년~2007년 : 삼성전자, 책임연구원

2007년~2008년 : Stanford University, 전기공학과 박사후연구원

2014년~2015년 : UIUC, ECE 방문교수

2008년~현재 : 서강대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> 5G/LPWA 네트워크, 차량통신, 인지 무선 네트워크, IoT 네트워크

나 민 수 (Minsoo Na)



2007년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사

2009년 2월 : 서울대학교 전기정보공학부 석사

2009년~2014년 : SK 텔레콤 Network기술원 Access Network Lab

2014년~현재 : SK 텔레콤 종합기술원 5G Tech Lab <관심분야> LTE/LTE-A, Small Cell, SDN/NFV, 5G

최 창 순 (Changsoon Choi)



1999년 2월 : 연세대학교 학사

2001년 2월 : 연세대학교 석사

2005년 2월 : 연세대학교 박사

2005년~2007년 : 일본 정보통신연구기구(NICT) Research Engineer

2008년~2010년 : 독일 라이프 니츠 연구소(IHP) Research Scientist

2010년~2012년 : 독일 NTT DOCOMO 유럽 연구소 Senior Research Engineer

2012년~현재 : SK 텔레콤 종합기술원 5G Tech Lab <관심분야> 5G Architecture, 5G Radio Access, Millimeter-wave/Beamforming, NFV/SDN