

3GPP 협대역 사물인터넷 시스템에서 단말의 특징을 고려한 커버리지 클래스 적응 기법

남 유진*, 소재우°, 나민수*, 최창순**

Coverage Class Adaptation Schemes Considering Device Characteristics in a 3GPP Narrowband IoT System

Yujin Nam*, Jaewoo So°, Minsoo Na*, Changsoon Choi**

요약

3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서는 IoT (Internet of Things) 서비스의 제공을 위해 초다수의 단말을 지원할 수 있는 NB-IoT (narrowband IoT) 시스템 표준화를 진행 중이다. NB-IoT 시스템은 넓은 커버리지 내 초다수의 단말들을 서비스하면서 시스템의 성능을 향상시키기 위해 커버리지 클래스를 사용하며, 이를 위해 이동 중인 단말은 기지국과 단말 사이의 채널 환경이나 거리 등과 같은 커버리지 클래스 변경 기준에 따라 커버리지 클래스를 변경한다. 하지만 종래의 NB-IoT 시스템 표준에서 단말은 고정된 커버리지 클래스 변경 기준을 사용하기 때문에 이동 중인 단말이 커버리지 클래스를 변경하는 경우 시스템 성능이 열화 된다. 본 논문에서는 IoT 단말의 위치 또는 채널 상태에 따라 동적으로 커버리지 클래스를 변경함으로써 NB-IoT 시스템의 성능을 향상시키는 커버리지 클래스 변경 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법이 기존 커버리지 클래스 변경 기법 대비 시그널링 오버헤드와 PDCCH 디코딩 오류율을 모두 감소시키는 것을 확인하였다.

Key Words : 3GPP, Narrowband IoT, Massive Connectivity, Coverage Class, Signaling Overhead

ABSTRACT

3rd Generation Partnership Project (3GPP) is the progressing standardization of the narrowband IoT (NB-IoT) system to support massive devices for the Internet of Things (IoT) services. The NB-IoT system uses a coverage class technique to increase the performance of the NB-IoT system while serving massive devices in very wide coverage area. A moving device can change the coverage class according to the distance or the channel state between the base station and the moving device. However, in the conventional NB-IoT standard, the performance of the NB-IoT system degrades because the coverage class is changed based on the fixed criterion. This paper proposes the coverage class adaptation schemes to increase the performance of the NB-IoT system by dynamically change the coverage class according to the location or the channel state of the device. Simulation results show that the proposed coverage class adaptation scheme decreases both the signaling overhead and the PDCCH decoding error rate in comparison with the conventional coverage class adaptation scheme in the 3GPP standard.

* 이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0101-15-244, 초연결 스마트 모바일 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발) 그리고 교육부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학 (LINC) 육성사업의 연구결과임.

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

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

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

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

논문번호 : KICS2016-06-107, Received June 2, 2016; Revised September 1, 2016; Accepted September 21, 2016

I. 서 론

최근 이동 통신 시스템에서는 사물을 네트워크에 연결하여 사람과 사물 또는 사물과 사물 간 상호 소통이 가능하도록 하는 IoT (Internet of Things) 기술과 어플리케이션이 주목 받고 있다. IoT 어플리케이션을 위해 연결된 단말 수는 2012년 약 87 억대에서 2020년 약 570 억대로 6배 이상 크게 증가할 것으로 예상된다^{1,2)}. IoT 어플리케이션을 지원하기 위한 단말들은 기존 단말들에 비해 상대적으로 제한적인 자원만을 사용 가능하다^{3,4)}. 따라서 IoT 어플리케이션을 위해 제한적인 자원을 사용하는 초다수 단말을 서비스하기 위한 초다수 단말 연결 기술은 차세대 이동 통신 시스템의 핵심 기술 중 하나로 주목된다^{5,6)}. 이를 위해, 넓은 커버리지에서 낮은 통신 속도를 사용하여 초다수 단말을 서비스할 수 있는 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)이나 UNB (Ultra Narrow Band) 등과 같은 LPWAN (Low Power Wide Area Network) 시스템이 등장했다⁷⁻¹⁰⁾. 이에 발맞추어 3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서도 2015년 9월 TSG RAN 69차 미팅에서 낮은 통신 속도에서 넓은 커버리지 내 초다수의 단말을 지원할 수 있는 NB-IoT (narrowband IoT) 시스템을 WI (Work Item)으로 승인하고 표준화를 진행 중이다¹¹⁾.

NB-IoT 시스템은 LTE와 같은 기존 광대역 시스템보다 좁은 대역폭을 사용함으로써 기지국의 커버리지를 넓히고, 서비스 가능한 단말 수를 증가시킨다. 하지만, NB-IoT 시스템은 적은 대역폭을 사용해서 다수의 단말들을 서비스해야하므로 NB-IoT 시스템의 시그널링 오버헤드를 감소시키는 것은 기존 광대역 시스템에서보다 훨씬 중요한 문제이다. 종래의 시스템들에서 시그널링 오버헤드를 감소시키기 위한 다양한 기법이 적용되었다. IEEE 802.16e는 다른 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨을 가지는 다수의 제어 메시지를 하나의 제어채널을 통해서 전송하는 멀티캐스트 sub-MAP 기술¹²⁾, LTE는 PDCCH (Physical Downlink Control Channel) 포맷에 따라 CCE (Control Channel Element)의 개수를 변경하는 CCE Aggregation 기술¹³⁾, LTE-M은 기지국과 단말 간 거리에 따라서 다른 대역폭과 반복 전송 횟수를 사용하는 EPDCCH (Enhanced PDCCH) 기술을 적용하였다¹⁴⁾. 이에, 3GPP에서 표준화가 진행 중인 NB-IoT 시스템에서 기지국은 기지국과 단말 간 거리에 따라 단말을 분류하고, 분류에 따라 다른 MCS 레벨을 사용하여 PDCCH를 전송하는 커버리지 클래스 기법 및

이를 위한 단말의 동작과정을 제안하였다¹⁵⁾.

커버리지 클래스를 사용하는 NB-IoT 시스템에서 기지국은 가까운 거리에 있는 단말을 낮은 커버리지 클래스로 분류하고 높은 MCS 레벨로 PDCCH를 전송함으로써 하향링크 시그널링 오버헤드를 감소시킨다. 그리고 먼 거리에 있는 단말을 높은 커버리지 클래스로 분류하고 낮은 MCS 레벨로 PDCCH를 전송함으로써 단말의 PDCCH 디코딩 오류율을 감소시킨다. 이를 위해, 3GPP 표준에서는 이동하는 단말의 커버리지 클래스 변경을 위한 커버리지 클래스 변경 기법을 제안하였다^{15,16)}. 커버리지 클래스 변경 기법은 현재보다 높은 MCS 레벨을 사용하기 위해 커버리지 클래스를 감소시키거나, 현재보다 낮은 MCS 레벨을 사용하기 위해 커버리지 클래스를 증가시키는 기법으로 나뉜다. 이에, 각 단말은 커버리지 클래스 변경을 위한 커버리지 클래스 증가나 감소 기준을 정하고, 단말의 현재 상태가 커버리지 클래스 증가나 감소 기준을 만족하는 경우 커버리지 클래스를 변경하도록 하였다. 이때, 만일 커버리지 클래스 증가 기준이 높으면 단말의 부정확한 커버리지 클래스 증가를 방지하여 낮은 커버리지 클래스 (높은 MCS 레벨)에 있는 시간이 길어지므로, PDCCH 전송을 위해서 필요한 자원의 양은 감소하나, PDCCH 디코딩 오류율이 증가한다. 반면, 커버리지 클래스 감소 기준이 높으면 부정확한 커버리지 클래스 감소를 방지하여 높은 커버리지 클래스 (낮은 MCS 레벨)에 있는 시간이 길어지므로, 단말의 PDCCH 디코딩 오류율은 감소하나, PDCCH 전송을 위해서 필요한 자원의 양이 증가한다. 또한, 커버리지 클래스 증가나 감소 기준이 낮으면 변경해야 하는 커버리지 클래스로 빠르게 변경 가능하나 상향링크 시그널링 오버헤드인 커버리지 클래스 변경 보고횟수가 증가한다.

표준에서 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법은 단말의 위치 및 채널 상태, 그리고 시그널링 오버헤드와 PDCCH 디코딩 오류율 사이의 트레이드오프 등을 고려하지 않고 고정된 커버리지 클래스 변경 기준 값을 사용함으로써 시그널링 오버헤드 및 PDCCH 디코딩 오류율이 증가하는 문제점이 있다.

본 논문은 단말의 채널 상태, 위치 등의 특징을 고려하여 상향링크 시그널링 오버헤드와 PDCCH 디코딩 오류율을 최적화하는 커버리지 클래스 변경 기법을 제안함으로써 NB-IoT 시스템의 성능을 향상시킨다. 또한 단말의 상태 및 특징에 따라 다양한 커버리지 클래스 변경 기법을 제안하고 각각의 동작 과정을 설명한다. 시뮬레이션을 통해서 제안하는 커버리지

클래스 변경 기법을 사용하면, 표준에서 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법을 사용하는 경우 보다 평균 PDCCH 전송을 위해 필요한 자원의 양 (하향링크 시그널링 오버헤드), 평균 분당 커버리지 클래스 보고횟수 (상향링크 시그널링 오버헤드) 및 PDCCH 디코딩 오류율 성능을 모두 향상시킬 수 있음을 보인다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 표준에서 제안하는 NB-IoT 커버리지 클래스 기법에 대하여 설명한다. III장에서는 단말의 특징을 고려한 커버리지 클래스 변경 기법에 대해 기술하고, IV장에서는 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법과 표준에서 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법의 성능을 모의실험을 통해서 비교 및 분석한다. V장에서는 결론을 맺는다.

II. 표준 기반 NB-IoT 커버리지 클래스

본 장에서는 3GPP TR 45.820 표준에서 제안한 NB-IoT 시스템의 커버리지 클래스를 위한 PDCCH 포맷 구조와 커버리지 클래스 변경 기법에 대하여 기술한다.

2.1 PDCCH 포맷 구조

그림 1은 커버리지 클래스에 따라 다른 MCS 레벨을 사용하는 PDCCH의 프레임 구조를 나타내며, 표 1은 PDCCH에서 각 커버리지 클래스 별로 사용하는 MCS 레벨, 자원의 양 및 서비스 가능한 단말 수를 나타낸다¹⁷⁾. NB-IoT의 PDCCH는 총 8개의 서브캐리어와 31개의 슬롯으로 구성되며, 커버리지 클래스에 따라서 다른 MCS 레벨과 자원의 양으로 구성된다. 기지국은 가장 높은 MCS 레벨을 사용하는 커버리지 클래스 1부터 가장 낮은 MCS 레벨을 사용하는 커버리지 클래스 4까지 각각 40개, 72개, 48개 및 88개의 서브캐리어를 할당하며, 한 대의 단말을 서비스하기 위해서 각각 4개, 12개, 24개 및 176개의 서브

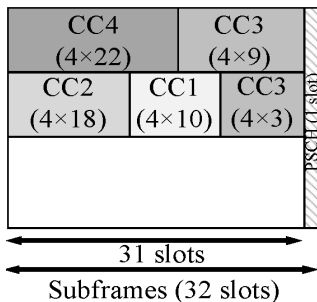


그림 1. NB-IoT 시스템의 PDCCH 구조
Fig. 1. PDCCH structure in NB-IoT system

표 1. 커버리지 클래스에 따른 채널 사용 방법
Table 1. Channel usage schemes according to the coverage classes

	Coverage class 1	Coverage class 2	Coverage class 3	Coverage class 4
Modulation	QPSK	BPSK	BPSK	BPSK
Coding rate	2/3	4/9	4/9	0.061
Total resource allocation	4×10	4×18	4×12	4×22
Resource allocation per user (subcarrier × slots)	4×1	4×3	4×3	4×22
Repetition	1	1	2	2
Bits	900	544	181	45
Number of supported users	10	6	2	0.5

캐리어를 사용한다. 따라서 기지국은 하나의 PDCCH를 사용하여 커버리지 클래스 1부터 커버리지 클래스 4까지 각각 10대, 6대, 2대 및 0.5대의 단말을 서비스 할 수 있다.

2.2 표준 기반 커버리지 클래스 변경 기법¹⁵⁾

NB-IoT에서 기지국이 단말의 커버리지 클래스를 예측하기 위한 과정은 세 단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 단말이 기지국으로부터 수신한 신호 세기를 기반으로 단말의 초기 커버리지 클래스를 예상하는 단계이다. 두 번째 단계는 단말이 이동함에 따라서 단말과 기지국 간 거리가 변하면 단말의 커버리지 클래스를 변경하는 단계이다. 세 번째 단계는 단말이 초기 예상하거나 이동함에 따라서 변경한 커버리지 클래스 정보를 기지국에게 보고하는 단계이다. 그림 2는 단말이 이동하여 기지국과 단말 간 거리가 멀어지는 경우 단말의 커버리지 클래스 증가 기법을 위한 순서도를 나타낸다.

표준 기반 커버리지 클래스 증가 기법에서 단말이 PDCCH 내 DCI (Downlink Control Information) 디코딩에 성공하는 경우, 단말은 커버리지 클래스를 유지한다. 하지만, 단말이 DCI 디코딩에 실패하는 경우, 단말이 DCI 디코딩에 연속적으로 실패한 횟수와 같은 커버리지 클래스 증가 기준을 만족하는지 확인한다. 만일 단말이 커버리지 클래스 증가 기준을 만족하지 않으면, 단말은 다음 프레임에서도 동일하게 DCI 디코딩을 수행한다. 만일 단말이 커버리지 클래스 증가 기준을 만족하면 단말은 현재 커버리지 클래스가 가장 높은 커버리지 클래스인지 확인한다. 만일 단말이

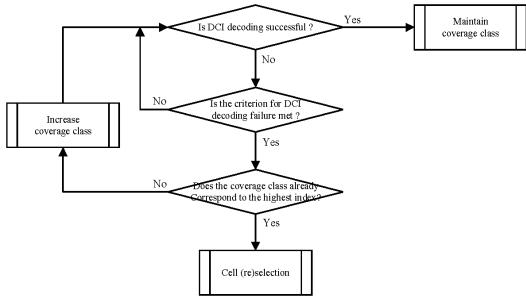


그림 2. 표준 기반 커버리지 클래스 증가 기법의 순서도
 Fig. 2. The flow chart of the standard based coverage class increase scheme

현재 가장 높은 커버리지 클래스인 경우 단말은 다른 기지국을 선택하고, 만일 가장 높지 않은 커버리지 클래스인 경우 단말은 커버리지 클래스를 증가시킨다.

표준에서는 기지국과 단말 간 거리가 가까워지는 경우 단말의 커버리지 클래스 감소를 위한 세부과정은 상세히 기술되어 있지 않으나, 단말의 수신 SNR (Signal-to-Noise Ratio)이 현재보다 낮은 커버리지 클래스 경계에서의 기준 수신 SNR 보다 연속적으로 큰 횟수와 같은 커버리지 클래스 감소 기준을 만족하면 단말의 커버리지 클래스를 감소시킬 수 있다.

III. 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법

본 장에서는 3GPP NB-IoT 시스템에서 단말의 특

징을 고려하여 하향링크 시그널링 오버헤드인 평균 PDCCH 전송을 위해 필요한 자원의 양, 상향링크 시그널링 오버헤드인 평균 분당 커버리지 클래스 보고 횟수 및 PDCCH 디코딩 오류율을 감소시키기 위한 커버리지 클래스 변경 기법에 대하여 기술한다. 이를 위해, 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법을 위한 주요 기호들을 설명하고, 단말의 특징에 따라서 커버리지 클래스 변경 기법을 결정하는 방법과 각 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말의 커버리지 클래스 변경 수행 방법을 설명한다.

3.1 커버리지 클래스 변경 기법을 위한 주요 기호

표 2는 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법을 위해서 주로 사용하는 기호들을 나타낸다.

3.2 커버리지 클래스 변경 기법 선택 방법

단말은 복잡도 증가 가능 여부, 수신 SNR의 pdf (Probability Density Function) 획득 가능 여부, 네트워크 혼잡 여부 및 단말의 위치정보 획득 가능 여부를 기준으로 다섯 가지의 커버리지 클래스 변경 기법 중 가장 적합한 커버리지 클래스 변경 기법을 선택한다. 그림 3은 단말이 커버리지 클래스 변경 기법 선택 기준에 따라 커버리지 클래스 변경 기법을 선택하는 방법의 순서도를 나타낸다.

제안하는 커버리지 클래스 변경 기법 선택 방법에서 단말이 복잡도를 증가시킬 수 없으면 복잡도 최소

표 2. 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법 설명을 위한 주요 기호

Table 2. Main notations for explanation of the proposed coverage class adaptation schemes

Notation	Explanations	Notes
α_{th}	Threshold of the successive number of PDCCH decoding failure (Criterion for coverage class increase)	
β_{th}	Threshold of successive number that the received SNR is higher than the criterion SNR of the lower coverage class (Criterion for coverage class decrease)	
N_{fail}	Successive number of PDCCH decoding failure	Parameters that calculated by a device
N_{succ}	Successive number that the received SNR is higher than the criterion SNR of the lower coverage class	
$P_{err}(\Delta t)$	PDCCH decoding error rate during Δt	
$\eta(\Delta t)$	Number of coverage class notification per minute during Δt	Parameters that set-up by a operator
ξ_{err}	Target PDCCH decoding error rate	
η_{th}	Target number of coverage class notification per minute	
θ	β_{th} update parameter	
δ	Pingpong prevents parameter	

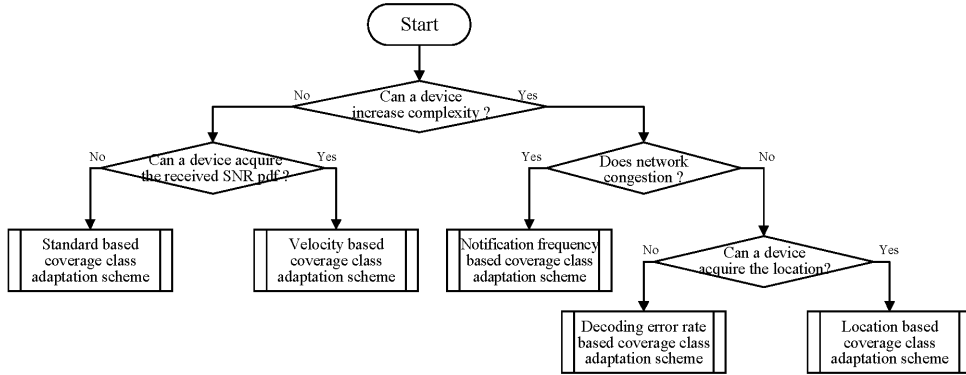


그림 3. 단말의 특징을 고려한 커버리지 클래스 변경 기법 결정 방법
 Fig. 3. The coverage class adaptation scheme selection method considering device characteristics

화를 위한 커버리지 클래스 변경 기법을 선택한다. 이때, 단말이 수신 SNR의 pdf 정보 획득이 가능하면 단말은 고정된 커버리지 클래스 변경 기준을 사용하는 표준 기반 커버리지 클래스 변경 기법을 선택한다. 반면, 수신 SNR의 pdf 정보를 획득할 수 있으면 단말의 속도에 따라 커버리지 클래스 변경 기준을 제어하는 속도 기반 커버리지 클래스 변경 기법을 선택한다. 단말이 복잡도를 증가시킬 수 있으면 단말은 기지국으로부터 네트워크 혼잡 여부를 수신한다. 만일, 네트워크가 혼잡하면 목표 분당 커버리지 클래스 보고횟수에 따라 커버리지 클래스 변경 확률을 제어하는 보고횟수 기반 커버리지 클래스 변경 기법을 선택한다. 네트워크가 혼잡하지 않으면 단말은 위치 정보 획득 가능 여부를 확인한다. 만일, 단말이 위치 정보를 획득할 수 없으면 단말은 목표 디코딩 오류율에 따라서 커버리지 클래스 변경 기준을 제어하는 디코딩 오류율 기반 커버리지 클래스 변경 기법을 선택한다. 위치 정보를 획득할 수 있으면 단말은 기지국과 단말 간 거리에 따라 커버리지 클래스를 변경하는 거리 기반 커버리지 클래스 변경 기법을 선택한다.

3.3 속도 기반 커버리지 클래스 변경 기법 (ν-based)

속도 기반 커버리지 클래스 결정 기법은 목표 PDCCH 디코딩 오류율을 만족하면서 PDCCH 전송에 필요한 자원의 양을 최소화하기 위해 단말의 속도에 따라 미리 결정된 최적 $(\alpha_{th}, \beta_{th})$ 값을 사용하여 커버리지 클래스를 변경하는 기법이다. 단말의 속도 ν 에 따른 최적 $(\alpha_{th}, \beta_{th})$ 값은 수식 (1)을 통해서 결정한다.

$$\begin{aligned}
 [\alpha_{th}^*, \beta_{th}^*] &= \arg \min Resource(\alpha_{th}, \beta_{th}, \nu) \\
 s.t. \bar{P}_{err}(\alpha_{th}, \beta_{th}, \nu) &< \xi_{err} \\
 \alpha_{th} &\leq \alpha_{max}, \beta_{th} \leq \beta_{max}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

식 (1)에서 $Resource(\alpha_{th}, \beta_{th}, \nu)$ 는 $(\alpha_{th}, \beta_{th}, \nu)$ 를 사용하였을 때 예측되는 PDCCH 전송을 위해서 필요한 평균 자원의 양, ξ_{err} 는 목표 PDCCH 디코딩 오류율, α_{max} 와 β_{max} 는 각각 α_{th} 와 β_{th} 의 최댓값을 의미한다.

그림 4는 속도 기반 커버리지 클래스 결정 기법의 순서도를 나타낸다. 속도 기반 커버리지 클래스 변경 기법에서 단말은 커버리지 클래스 변경 기준 값인 α_{th}, β_{th} 와 단말의 커버리지 클래스 변경 결정을 위한 상태 값인 N_{fail}, N_{succ} 를 초기화한다. 여기서, 커버리지 클래스 증가 결정을 위한 상태 값 N_{fail} 은 연속적으로 실패한 PDCCH 디코딩 횟수, 커버리지 클래스 감소 결정을 위한 상태 값 N_{succ} 는 단말의 현재 커버리지 클래스보다 한 단계 낮은 커버리지 클래스에서의 기준 수신 SNR 보다 현재 프레임에서의 수신 SNR이 연속적으로 높은 횟수를 의미한다. 다음으로, 단말의 커버리지 클래스 증가 결정을 위한 상태 값이 커버리지 클래스 증가 기준 값보다 높은 경우 커버리지를 증가시키고, 단말의 커버리지 클래스 감소 결정을 위한 상태 값이 커버리지 클래스 감소 기준 값보다 높은 경우 커버리지를 감소시킨다. 만일, 두 조건을 모두 만족하지 않는 경우 현재 커버리지 클래스를 유지한다. 다음으로 단말은 현재 속도 ν 를 측정 후 현재 α_{th} 와 β_{th} 값을 식 (1)을 기반으로 단말의 속도에 따라 미리 결정된 α_{th} 와 β_{th} 값으로 갱신한다.

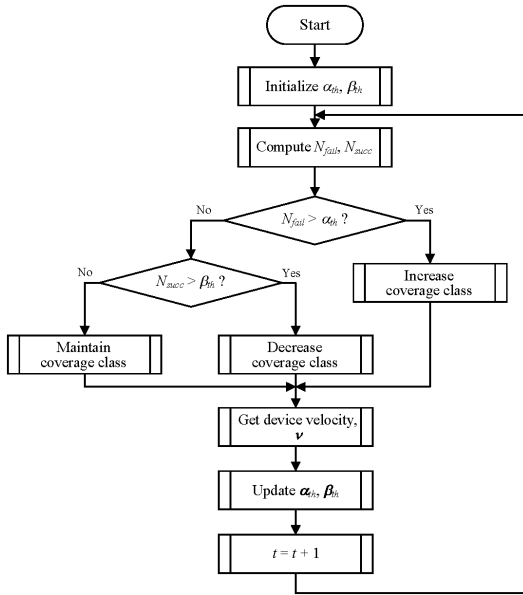


그림 4. 속도 기반 커버리지 클래스 변경 기법의 순서도
Fig. 4. The flow chart of the velocity based coverage class adaptation scheme

3.4 디코딩 오류율 기반 커버리지 클래스 변경 기법 (ξ_{out} -based)

디코딩 오류율 기반 커버리지 클래스 결정 기법은 α_{th} 값을 고정하고 목표 PDCCH 디코딩 오류율과 Δt 동안 단말의 PDCCH 디코딩 오류율을 기반으로 매 t 프레임마다 다음 ($t+1$) 프레임의 β_{th} 값을 갱신 후 갱신된 (α_{th}, β_{th}) 값을 기반으로 커버리지 클래스를 변경하는 기법이다.

그림 5는 디코딩 오류율 기반 커버리지 클래스 결정 기법의 순서도를 나타낸다. 디코딩 오류율 기반 커버리지 클래스 변경 기법에서 단말은 α_{th}, β_{th} 와 함께 목표 PDCCH 디코딩 오류율 ξ_{err} 및 β_{th} 갱신을 위한 시스템 파라미터 θ 를 초기화한다. 또한, N_{fail}, N_{succ} 와 함께 Δt 동안의 평균 PDCCH 디코딩 오류율 $P_{err}(\Delta t)$ 을 계산 한다. 다음으로, 단말의 커버리지 클래스 증가 결정을 위한 상태 값이 커버리지 클래스 증가 기준 값보다 높은 경우 커버리지를 증가시키고, 단말의 커버리지 클래스 감소 결정을 위한 상태 값이 커버리지 클래스 감소 기준 값보다 높은 경우 커버리지를 감소시킨다. 만일, 두 조건을 모두 만족하지 않는 경우 현재 커버리지 클래스를 유지한다. 다음으로, Δt 동안 단말의 평균 PDCCH 디코딩 오류율이 목표 PDCCH 디코딩 오류율 보다 낮은 경우 식 (2)를 사용

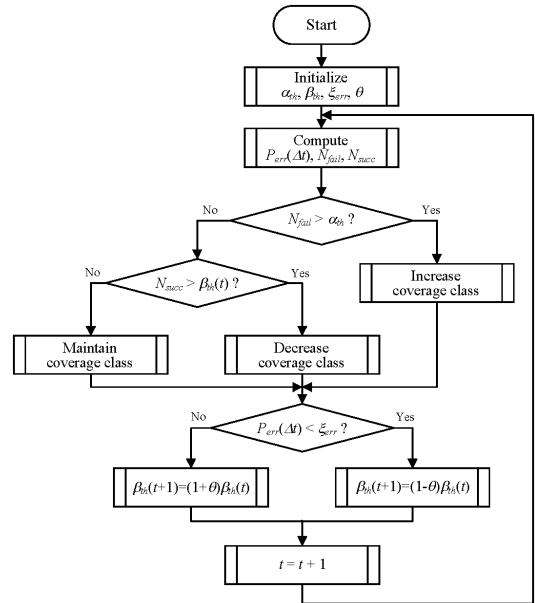


그림 5. 디코딩 오류율 기반 커버리지 클래스 변경 기법의 순서도
Fig. 5. The flow chart of the decoding error rate based coverage class adaptation scheme

하여 다음 프레임에서의 β_{th} 를 감소시키고, 평균 PDCCH 디코딩 오류율이 목표 PDCCH 디코딩 오류율 보다 높은 경우 식 (3)을 사용하여 다음 프레임에서의 β_{th} 를 증가시킨다.

$$\beta_{th}(t+1) = (1 - \theta)\beta_{th}(t) \quad (2)$$

$$\beta_{th}(t+1) = (1 + \theta)\beta_{th}(t) \quad (3)$$

3.5 보고횟수 기반 커버리지 클래스 변경 기법 (η -based)

보고횟수 기반 커버리지 클래스 결정 기법은 디코딩 오류율 기반 커버리지 클래스 결정 기법과 동일한 방법으로 β_{th} 값을 갱신하며, 목표 분당 커버리지 클래스 보고횟수와 Δt 동안 분당 커버리지 클래스 보고횟수를 기반으로 확률적으로 커버리지 클래스를 변경하는 기법이다.

그림 6은 보고횟수 기반 커버리지 클래스 결정 기법의 순서도를 나타낸다. 보고횟수 기반 커버리지 클래스 변경 기법에서 단말은 $\alpha_{th}, \beta_{th}, \xi_{err}$ 및 θ 를 초기화하며, N_{fail}, N_{succ} 및 $P_{err}(\Delta t)$ 를 계산 한다. 다음으로, 단말의 커버리지 클래스 증가 결정을 위한 상태 값이 커버리지 클래스 증가 기준 값보다 높은 경우

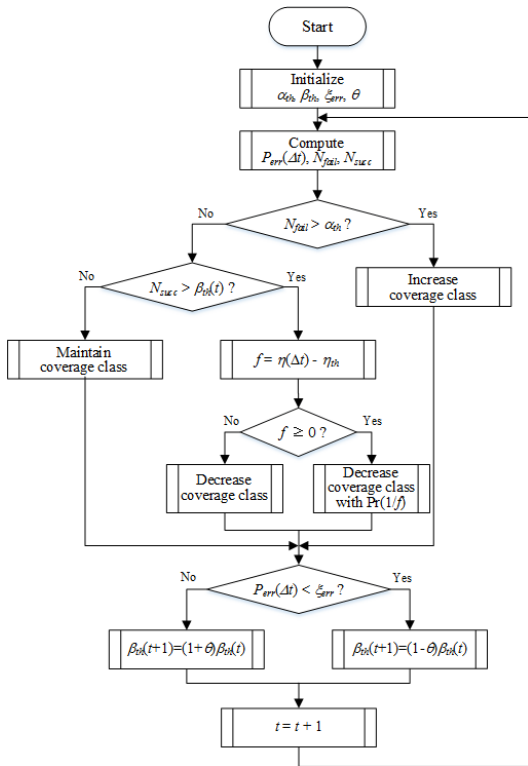


그림 6. 보고횟수 기반 커버리지 클래스 변경 기법의 순서도
 Fig. 6. The flow chart of the notification frequency based coverage class adaptation scheme

커버리지를 증가시킨다. 반면, 단말의 커버리지 클래스 감소 결정을 위한 상태 값이 커버리지 클래스 감소 기준 값보다 높은 경우 단말은 목표 분당 커버리지 클래스 보고횟수와 Δt 동안의 분당 커버리지 클래스 보고횟수의 차이 f 를 구한다. 만일, f 가 0 미만, 즉, Δt 동안의 분당 커버리지 클래스 보고횟수가 목표 분당 커버리지 클래스 보고횟수 보다 작으면 단말은 커버리지 클래스를 감소시킨다. 하지만, f 가 0 이상, 즉, Δt 동안의 분당 커버리지 클래스 보고횟수가 목표 분당 커버리지 클래스 보고횟수 보다 많거나 동일하면 단말은 $\text{Pr}(1/f)$ 의 확률로 커버리지 클래스를 감소시킨다. 만일, 단말이 커버리지 클래스 증가 조건과 감소 조건을 모두 만족하지 않는 경우 현재 커버리지 클래스를 유지한다. 다음으로, Δt 동안 단말의 평균 PDCCH 디코딩 오류율이 목표 PDCCH 디코딩 오류율 보다 낮으면 식 (2)를 사용하여 다음 프레임에서의 β_{th} 를 감소시키고, 평균 PDCCH 디코딩 오류율이 목표 PDCCH 디코딩 오류율 보다 높으면 식 (3)을 사용하여 다음 프레임에서의 β_{th} 를 증가시킨다.

3.6 거리 기반 커버리지 클래스 변경 기법 (L-based)

거리 기반 커버리지 클래스 결정 기법은 α_{th} 와 β_{th} 값을 사용하지 않고, 매 t 프레임에서 기지국과 단말 간 거리인 $D(t)$ 를 기반으로 커버리지 클래스를 결정하는 기법이다.

그림 7은 거리 기반 커버리지 클래스 결정 기법의 순서도를 나타낸다. 거리 기반 커버리지 클래스 변경 기법에서 단말은 평균 방위 파라미터 δ 를 초기화하고, 기지국의 위치 L_{BS} 와 단말의 위치 L_{MS} 를 얻는다. 단말은 L_{BS} 와 L_{MS} 를 기반으로 현재 프레임 t 에서 기지국과 단말간 거리 $D(t)$ 를 계산한다. 만일, $D(t)$ 가 현재 커버리지 클래스의 기준 거리 D_{cc} 보다 δ 이상 먼 경우에는 현재 커버리지 클래스가 최상위 커버리지 클래스인지 확인한다. 현재 커버리지 클래스가 최상위 커버리지 클래스이면 기지국을 변경하기 위한 과정을 수행하며, 최상위 커버리지 클래스가 아니면 커버리지 클래스를 증가시킨다. 반면, $D(t)$ 가 현재 커버리지 클래스보다 한 단계 낮은 커버리지 클래스의 기준거리인 D_{cc-1} 보다 δ 이상 가까운 경우에는 현재 커버리지 클래스가 최하위 커버리지 클래스인지 확인한다. 현재 커버리지 클래스가 최하위 커버리지 클래스이면 현재 커버리지 클래스를 유지하며, 최하위 커버리지 클래스가 아니면 커버리지 클래스를 감소시킨다. 만일, $D(t)$ 가 D_{cc} 보다 δ 이상 멀지 않고, D_{cc-1} 보다 δ 이상 가깝지 않으면 현재 커버리지 클래스를 유지한다.

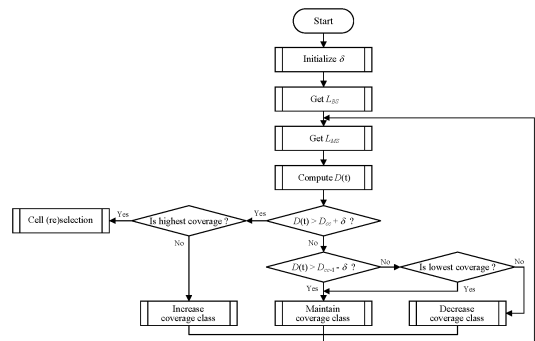


그림 7. 거리 기반 커버리지 클래스 변경 기법의 순서도
 Fig. 7. The flow chart of the location based coverage class adaptation scheme

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 제안하는 커버리지 클래스 변경 기법을 사용하는 경우 PDCCH 전송에 필요한 자원의 양,

단말의 분당 평균 커버리지 클래스 보고횟수, 평균 PDCCH 디코딩 오류율 및 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간 성능을 평가하기 위한 모의실험 환경에 대해서 설명하고, 모의실험을 통해서 기존 커버리지 클래스 변경 기법과 제안한 네 가지 커버리지 클래스 변경 기법의 성능 결과를 도출하고 비교 및 분석한다.

4.1 모의실험 환경

3GPP TR 45.820 표준에서와 같이 모의실험 환경에서 기지국은 커버리지 클래스를 네 단계로 나눈다. 또한, 각 단말의 커버리지 클래스와 $(\alpha_{th}, \beta_{th})$ 갱신주기는 320 msec를 가정한다. 표준 기반 커버리지 클래스 변경 기법에서 커버리지 클래스 변경 기준 값은 4 회로 고정하였다. 모의실험을 위해서 설정한 주요 파라미터 값은 표 3과 같다.

표 3. 모의실험 파라미터
Table 3. Simulation parameters

Parameters	Value	Unit
Center frequency	900	MHz
Total Tx power	43	dBm
PDCCH Tx power	32.5	dBm
Bandwidth	200	kHz
Subcarrier spacing	3.75	kHz
BS antenna gain	18	dBi
MS antenna gain	-4	dBi
Thermal noise density	-174	dBm/Hz
Pathloss[15]	$120.9+37.6\log(R(\text{km}))$	dB
Fast fading	Jake's model	-
Slow fading	$\sim \text{lognormal}(0,4)$	-
Mobility model	Manhattan mobility model	-
Number of users	100	-
MS velocity	$\sim \text{Uniform}(10,40)$	m/s
Moving average window, Δt	8,000	subframes
Target PDCCH decoding error rate, ξ_{out}	0.05	-
Target number of coverage class notification per minute, η_{th}	0.1	-
β_{th} update parameter, θ	0.01	-
Pingpong prevent parameter, δ	200	meter
Coverage class distance criteria, D_{cc}	{4, 6, 7, 8}	kilometer
Simulation times	40,000	subframes

4.2 성능 평가 및 분석

그림 8은 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말 당 평균 PDCCH 전송에 필요한 자원의 양을 나타낸다. 속도 기반 기법에서 단말은 PDCCH 디코딩 오류율을 만족시키면서 PDCCH 전송에 필요한 자원의 양을 최소화하는 최적화 함수를 기반으로 α_{th} 와 β_{th} 를 결정한다. 따라서 표준 기반 기법 대비 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양이 더 낮다. 클래스 감소 기준인 β_{th} 의 값이 낮을수록 단말이 낮은 커버리지 클래스에 있는 시간이 증가하여 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양이 낮아진다. 이때, 제안하는 디코딩 오류율 기반 기법은 단말이 목표 PDCCH 디코딩 오류율을 만족하는 경우 β_{th} 를 최소화 시키는 기법이므로 표준 기반 기법 대비 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양이 더 낮다. 특히, 디코딩 오류율 기반 기법은 현재의 채널 환경을 고려하여 β_{th} 를 제어하므로 속도에 따라 미리 결정되어 현재의 채널 환경을 반영할 수 없는 속도 기반 기법 보다 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양이 더 낮다. 보고횟수 기반 기법의 β_{th} 변경 방법은 디코딩 오류율 기반 기법과 동일하다. 하지만, 보고횟수 기반 기법에서는 단말이 커버리지 클래스 보고횟수에 따라 커버리지 클래스를 감소시키지 않는 경우가 생긴다. 따라서 디코딩 오류율 기반 기법 대비 보고횟수 기반 기법의 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양이 더 높다. 거리 기반 기법은 채널 페이딩의 고려 없이 실제로 커버리지 클래스가 변경되어야 하는 시점에 정확하게 커버리지 클래스를 변경하므로 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양이 가

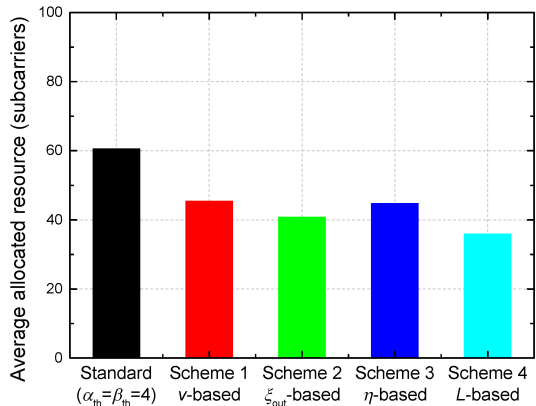


그림 8. 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말 당 평균 PDCCH 전송에 필요한 자원의 양
Fig. 8. The average allocated resources for PDCCH transmission to each user according to the coverage class adaptation schemes

장 낮다. 표준기반 기법 대비 속도 기반 기법은 25.07 %, 디코딩 오류율 기반 기법은 32.71 %, 보고횟수 기반 기법은 26.21 %, 거리 기반 기법은 40.74 % 씩 각각 감소하였다.

그림 9는 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말의 평균 PDCCH 디코딩 오류율을 나타낸다. 제안하는 속도 기반 기법과 디코딩 오류율 기반 기법은 0.1의 목표 PDCCH 디코딩 오류율을 사용한다. 속도 기반 기법에서 단말은 목표 PDCCH 디코딩 오류율을 만족시키는 $(\alpha_{th}, \beta_{th})$ 값을 사용하며, 디코딩 오류율 기반 기법에서 단말은 목표 PDCCH 디코딩 오류율을 만족시키기 위해 β_{th} 를 지속적으로 제어한다. 이때, 목표 PDCCH 디코딩 오류율을 0.1로 선택하여 표준 기반 기법에서 α_{th} 와 β_{th} 를 4로 했을 때 평균 PDCCH 디코딩 오류율인 0.1과 동일한 값을 갖는다. 동일한 목표 PDCCH 디코딩 오류율을 사용하는 보고횟수 기반 기법에서 단말은 커버리지 클래스 보고횟수에 따라 커버리지 클래스를 감소시키지 않는 경우가 생긴다. 따라서, 평균 PDCCH 디코딩 오류율이 목표 PDCCH 디코딩 오류율 보다 더 낮은 값을 갖는다. 거리 기반 기법은 채널 페이딩의 고려 없이 기지국과 단말 간 거리에 따라 정확하게 커버리지 클래스를 변경하기 때문에 가장 낮은 평균 PDCCH 디코딩 오류율을 갖는다. 속도 기반 기법과 디코딩 오류율 기반 기법의 평균 PDCCH 오류율은 표준 기반 기법과 거의 동일하다. 반면, 보고횟수 기반 기법과 거리 기반 기법의 평균 PDCCH 오류율은 표준 기반 기법 대비 각각 3.53%, 4.96% 씩 감소한다.

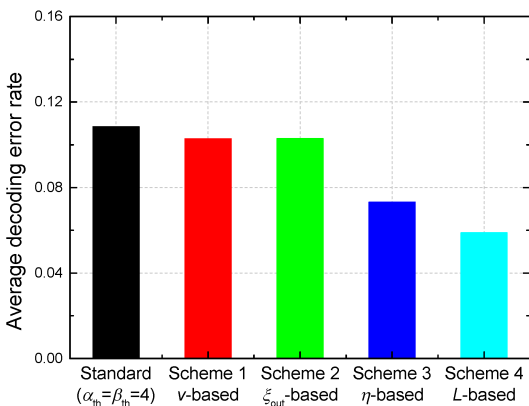


그림 9. 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말의 평균 디코딩 오류율
 Fig. 9. The average decoding error rate of each user according to the coverage class adaptation schemes

그림 10은 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말의 분당 평균 커버리지 클래스 보고횟수를 나타낸다. 표준 기반 기법에서 모든 단말이 동일하게 4의 α_{th} 와 β_{th} 를 사용하므로 채널 페이딩에 의한 핑퐁 효과가 자주 발생하여 높은 커버리지 클래스 보고횟수를 갖는다. 속도 기반 기법에서 속도가 느려 핑퐁효과가 발생할 확률이 높은 단말은 높은 $(\alpha_{th}, \beta_{th})$ 를 사용하므로 채널 페이딩에 의한 핑퐁효과가 감소하여 표준 기반 기법 대비 평균 커버리지 클래스 보고횟수가 감소한다. 디코딩 오류율 기반 기법에서 단말은 β_{th} 값을 제어하여 PDCCH 디코딩 오류율을 만족하면서 최대한 오랫동안 낮은 커버리지 클래스에 있다. 따라서, 단말의 커버리지 클래스가 감소된 후 핑퐁효과에 의해서 다시 커버리지가 증가했다 감소하는 문제를 방지하여 평균 커버리지 클래스 보고횟수를 감소시킨다. 보고횟수 기반 기법에서 단말은 커버리지 클래스 변경확률을 지속적으로 제어하여 목표 커버리지 클래스 보고횟수인 0.1을 만족시킨다. 거리 기반 기법에서 단말은 채널 페이딩에 의한 핑퐁효과가 없지만 속도가 높은 단말의 커버리지 클래스가 빠르게 변하며, 커버리지 클래스가 변할 때마다 커버리지 클래스를 보고함으로써 평균 커버리지 클래스 보고횟수가 표준 기반 기법보다 낮으나 제안된 다른 기법들 보다 높다. 표준 커버리지 클래스 변경 기법 대비 속도 기반 기법은 89.37 %, 디코딩 오류율 기반 기법은 76.76 %, 보고횟수 기반 기법은 84.67 %, 거리 기반 기법은 63.63 % 씩 각각 감소하였다.

그림 11은 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말

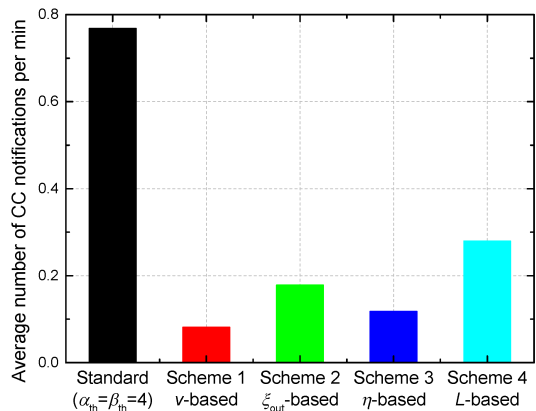


그림 10. 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말의 분당 평균 커버리지 클래스 보고횟수
 Fig. 10. The average number of coverage class notifications per min of each user according to the coverage class adaptation schemes

의 초당 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간을 나타낸다. 여기서, 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간은 단말이 커버리지 클래스 변경을 위한 N_{fail} 이나 N_{succ} 계산에 필요한 시간을 의미한다. 커버리지 클래스 변경 지연시간은 핑퐁 현상이 발생할 확률이 높거나 커버리지 클래스 변경 기준이 높은 경우에 길어진다. 표준 기반 기법에서는 채널 페이딩에 의한 높은 핑퐁효과에 의해 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간이 길다. 속도 기반 기법은 낮은 핑퐁효과로 표준 기반 기법 보다 짧은 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간을 갖는다. 디코딩 오류율 기반 기법과 보고횟수 기반 기법의 핑퐁 효과는 표준 기반 기법보다 낮다. 하지만, 디코딩 오류율 기반 기법과 보고횟수 기반 기법에서 단말이 커버리지 클래스를 빨리 감소시켜 β_{th} 가 증가한 상태에서 커버리지 클래스가 다시 증가하면, 증가된 β_{th} 에 의해서 커버리지 클래스 변경 시간이 길어져 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간이 다소 증가한다. 보고횟수 기반 기법에서 커버리지 클래스 변경 기준은 만족하나 커버리지 클래스 보고횟수가 많아서 커버리지 클래스를 변경하지 않은 단말이 다시 커버리지 클래스 변경을 시도하는 경우가 발생하므로 디코딩 오류율 기반 기법 대비 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간이 더 높다. 거리 기반 기법의 경우 커버리지 클래스 변경과정이 필요하지 않으므로 커버리지 클래스 변경 지연시간이 없다.

결과적으로, 표준 기반 커버리지 클래스 변경 기법은 단말이 설정한 $(\alpha_{th}, \beta_{th})$ 값이나 사용자의 이동성 등을 포함한 단말의 상태에 따라 PDCCH 전송에 필

요한 평균 자원의 양과 PDCCH 디코딩 오류율 사이에 심각한 트레이드오프가 발생한다. 즉, 표준 기반 기법에서 PDCCH 전송을 위해 필요한 자원의 양을 감소시키기 위해서 α_{th} 값을 증가시키거나 β_{th} 값을 감소시키면 PDCCH 디코딩 오류율이 증가한다. 반면, PDCCH 디코딩 오류율을 감소시키기 위해 α_{th} 값을 감소시키거나 β_{th} 값을 증가시키면 PDCCH 전송을 위해 필요한 자원의 양이 증가한다. 하지만 단말이 속도 기반 기법이나 디코딩 오류율 기반 기법을 사용하면 단말의 상태와 상관없이 사용자가 선택한 평균 PDCCH 디코딩 오류율을 만족시키면서 PDCCH 전송을 위해서 필요한 자원의 양을 최소화시킴으로써 PDCCH 전송을 위해서 필요한 자원의 양과 PDCCH 디코딩 오류율 사이의 심각한 트레이드오프를 완화시킨다. 특히, 디코딩 오류율 기반 기법의 경우 속도 기반 기법과 달리 현재의 채널 상황을 추가적으로 고려함으로써 비슷한 PDCCH 디코딩 오류율에서 PDCCH 전송을 위해서 필요한 자원의 양을 감소시킨다. 보고횟수 기반 기법도 속도 기반 기법이나 디코딩 오류율 기반 기법과 마찬가지로 단말의 상태와 상관없이 사용자가 선택한 PDCCH 디코딩 오류율을 만족시키며, 추가적으로 커버리지 클래스 보고횟수를 만족시킨다. 하지만 커버리지 클래스 보고횟수를 만족시키기 위해 특정 조건하에서 확률적으로 커버리지 클래스를 변경함으로써, 속도 기반 기법이나 디코딩 오류율 기반 기법보다 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양이 증가한다. 거리 기반 기법은 단말의 상태와 상관없이 정확하게 커버리지 클래스를 변경하므로, 다른 기법들 대비 PDCCH 전송을 위해 필요한 평균 자원의 양과 PDCCH 디코딩 오류율이 모두 감소한다. 하지만, 핑퐁효과를 방지하기 위한 파라미터 값 δ 에 따라서 PDCCH 전송을 위해 필요한 자원의 양 및 PDCCH 디코딩 오류율과 커버리지 클래스 보고횟수 사이의 트레이드오프 관계가 발생한다. 만일, δ 가 짧으면 거리에 따라 정확한 커버리지 클래스 변경으로 PDCCH 전송을 위해 필요한 자원의 양과 PDCCH 디코딩 오류율이 감소하나 커버리지 클래스 보고횟수가 증가한다. 반면, δ 가 길면 커버리지 클래스 보고횟수는 감소하나 커버리지 클래스 변경의 정확성이 감소하여 PDCCH 전송을 위해 필요한 자원의 양과 PDCCH 디코딩 오류율이 증가한다.

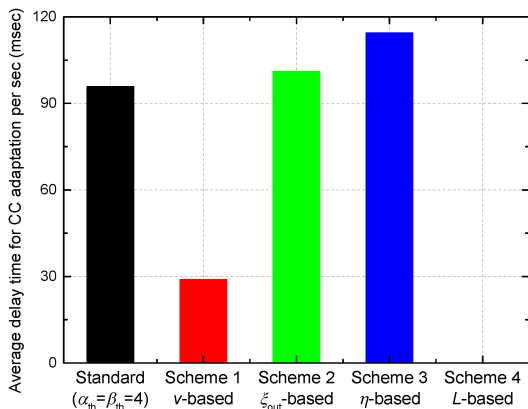


그림 11. 커버리지 클래스 변경 기법에 따른 단말의 초당 평균 커버리지 클래스 변경 지연 시간
 Fig. 11. The average delay time for coverage class adaptation per sec of each user according to the coverage class adaptation schemes

V. 결 론

본 논문에서는 이동 중인 단말을 서비스하는 3GPP NB-IoT 시스템의 상하향링크 시그널링 오버헤드와 단말의 PDCCH 디코딩 오류율을 감소시키기 위한 커버리지 클래스 변경 기법을 제안하였다. 단말은 복잡도, 수신 SNR의 pdf 정보 획득 가능 여부, 네트워크 혼잡 여부 및 단말 위치추적장치 설치 여부에 따라서 다섯 종류의 커버리지 클래스 변경 기법들 중 하나의 기법을 선택한다. 각 커버리지 클래스 변경 기법에서 단말은 상태 변화에 따라 커버리지 클래스 변경 기준을 갱신한다. 제안 기법은 모의실험을 통해 하향링크 시그널링 오버헤드인 PDCCH 전송에 필요한 평균 자원의 양, 상향링크 시그널링 오버헤드인 단말의 분당 평균 커버리지 클래스 보고횟수, 단말의 평균 PDCCH 디코딩 오류율 및 평균 커버리지 클래스 변경 지연시간의 관점에서 성능을 평가하였다. 제안 기법을 사용하면 종래 표준 기반 커버리지 클래스 변경 기법을 사용하는 경우 보다 커버리지 클래스 변경 지연시간이 다소 증가하지만 상하향링크 시그널링 오버헤드와 PDCCH 디코딩 오류율을 모두 감소시킬 수 있음을 보였다.

References

[1] H. Kwon and N. Kang, "Analysis on energy consumption required for building DTLS session between lightweight devices in Internet of Things," *J. KICS*, vol. 40, no. 8, pp. 1588-1596, Aug. 2015.

[2] Cisco, *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015-2020*, White Paper, Feb. 2016.

[3] J. Park, S. Shin, and N. Kang, "Mutual authentication and key agreement scheme between lightweight devices in Internet of Things," *J. KICS*, vol. 38B, no. 9, pp. 707-714, Sep. 2013.

[4] S. Lee, H. Kang, H. Yoo, Y. Jeong, and D. Kim, "Two solutions for unnecessary path update problem in multi-sink based IoT networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 12, pp. 2450-2460, Dec. 2015.

[5] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C.-L. I, and Z. Wang, "Non-orthogonal multiple access

for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74-81, Sep. 2015.

[6] S. Abdelwahab, B. Hamdaoui, M. Guizani, and T. Znati, "Network function virtualization in 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 4, pp. 84-91, Apr. 2016.

[7] X. Xiong, K. Zheng, R. Xu, W. Xiang, and P. Chatzimisios, "Low power wide area machine-to-machine networks: Key techniques and prototype," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 64-71, Sep. 2015.

[8] M. Anteur, V. Deslandes, N. Thomas, and A.-L. Beylot, "Ultra narrow band technique for low power wide area communications," in *Proc. IEEE Globecom*, pp. 1-6, San Diego, CA, USA, Dec. 2015.

[9] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen, and M. Pettissalo, "On the coverage of LPWANs: Range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology," in *Proc. International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, pp. 55-59, Copenhagen, Denmark, Dec. 2015.

[10] IEEE P802.15, *Wireless Personal Area Networks, On-ramp wireless dynamic direct sequence spread spectrum (D-DSSS) proposal for 802.15.4g*, Jul. 2009.

[11] 3GPP TSG-RAN, *New work item: Narrowband IOT (NB-IOT)*, 3GPP TSG-RAN Meeting #69, Phoenix, USA, RP-151621, Sep. 2015.

[12] IEEE Std. 802.16e, *Physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands*, Feb. 2006.

[13] 3GPP TSG-RAN, *Physical channels and modulation (Release 13)*, 3GPP TS 36.211 V13.0.0, Jan. 2016.

[14] Nokia, *LTE-M-optimizing LTE for the Internet of Things*, White Paper, May 2015.

[15] 3GPP TSG-GERAN, *Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput internet of things (CIoT) (Release 13)*, 3GPP TR 45.820 V13.1.0, Dec. 2015.

[16] 3GPP TSG-GERAN, *Coverage class selection*,

adaptation and load balancing, 3GPP TSG-GERAN #68, Anaheim, California, USA, GP-101078, Nov. 2015.

[17] 3GPP TSG-GERAN, *pCr to TR 45.820 - NB-changes to downlink common control channel*, 3GPP TSG-GERAN Meeting #67, Yinchuan, China, GP-150825, Aug. 2015.

남 유 진 (Yujin Nam)



2009년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사
2012년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사
2012년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 공간다중분할시스템, 다중안테나시스템, 차량통신, LPWA 시스템

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 라이프니츠 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