

WiMAX 네트워크에서 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링 기법

정회원 최 재 각*, 종신회원 유 상 조*

QoS-Aware Group Scan Scheduling in WiMAX Networks

Jae-Kark Choi* *Regular Member*, Sang-Jo Yoo* *Lifelong Member*

요 약

WiMAX에서 핸드오버를 준비하는 단말은 타겟 기지국을 결정하기 위해 스캐닝 동작을 수행한다. 보다 빠른 타겟 기지국 결정을 위해, 기존의 그룹 스캐닝 기법에서는 인접한 단말들 간에 그룹을 구성하여 분산적으로 후보 채널들을 스캔하도록 하였다. 그러나 기존의 그룹 스캐닝은 각 단말이 사용 중인 서비스의 QoS 요구조건이 각기 다른 경우, 각 단말이 후보 채널들을 스캔하는 성능에 차이가 있을 수 있음을 고려하지 않았다. 본 논문에서는 그룹 스캐닝을 수행하는 단말들이 각각의 QoS에 적합한 스캔 스케줄을 갖도록 하는 QoS 기반의 효율적 그룹 스캔 스케줄링 기법을 제안한다. 제안된 방법은 서빙 기지국이 단말의 QoS를 고려하여, 초기에 그룹을 형성한 단말들과 나중에 그룹에 참여하는 단말들에게 적절한 후보 기지국들을 스캔하도록 할당하며, 각 단말이 QoS를 저해하지 않으면서 효율적으로 그룹 스캐닝을 수행할 수 있도록 한다. 모의 실험 결과, 제안된 방법은 단일의 그룹 내에서 상대적으로 QoS가 높은 단말로 하여금 상대적으로 적은 채널을 스캔하도록 하며, 각 단말의 QoS를 저해하지 않는 범위 내에서 기존의 그룹 스캐닝 보다 빠르게 타겟 기지국을 결정하도록 한다.

Key Words : QoS-aware scanning, group scanning, WiMAX

ABSTRACT

For the fast target base station channel decision in WiMAX networks, fast group scanning scheme was suggested, in which mobile stations in proximity of each other form a group and scan the candidate channels dispersively. However, the previous group scanning scheme does not consider the different QoS requirements of each MS in a group. In this paper we propose the enhanced group scanning scheme, so-called QoS-aware group scan scheduling scheme, that makes mobile stations in a group scan the candidate channels without deteriorating the QoS requirements. We introduce the QoS-aware channel scanning concept of a individual mobile station and show the different scanning latencies due to the different QoS requirements. With the help of the efficient channel allocation by the serving BS, in the proposed scanning scheme, a mobile station with relatively higher QoS in a group scans less amount of candidate channels than the others with relatively lower QoS, while the mobile stations in a group still guarantees the fast target base station decision. The performance results show that our proposed scanning scheme results in the fast target base station decision while considering the QoS requirements of each MS.

* 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-521-D00384).

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학기술재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0079228).

* 인하대학교 정보통신대학원 (jkc@inha.edu, sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-04-183, 접수일자 : 2009년 4월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 1월 15일

1. 서 론

WiMAX^[1] 기술을 이용하는 이동 단말은 WiMAX 기지국 간을 자유롭게 이동하면서도 지속적으로 서비스를 이용할 수 있도록 핸드오버를 수행한다. WiMAX에서는 기본적으로 기존의 기지국과의 연결을 끊고, 새로운 기지국과 연결을 시도하는 하드 핸드오버를 지원하며, 선택사항으로 다양한 기지국들을 동시에 관리하며 단말의 서비스에 적절한 기지국을 선택하는 MDHO (Macro Diversity HandOver)와 FBSS (Fast Base Station Switching)를 지원하고 있다. 본 논문에서 다루는 스캔 스케줄링 기법은 WiMAX가 기본적으로 지원하는 하드 핸드오버 동작을 대상으로 한다.

WiMAX에서 동작하는 이동 단말은 현재 접속 중인 기지국과의 연결이 종료되기 전에, 다음에 접속할 기지국을 미리 검토하고 결정하기 위해 인접한 여러 기지국들에 대한 스캐닝을 수행한다. 본 논문에서는 이동 단말을 MS (mobile station)로, 단말이 현재 접속 중인 기지국을 서빙 BS (serving base station)로, 단말이 스캐닝을 수행하는 인접 기지국을 후보 BS (candidate base station)로, 단말에게 적절한 다음 기지국을 타겟 BS (target base station)로 표기한다. MS는 스캐닝을 수행하는 동안 후보 BS들로부터, DL/UL-MAP (Downlink/Uplink Map)의 수신을 통해 다운링크 및 업링크 자원에 관한 정보를 습득하며, DCD/UCD (Downlink/Uplink Channel Descriptor)의 수신을 통해 각각의 후보 BS들의 동작 채널에서 사용되는 데이터의 버스트 프로파일 (burst profile) 특성을 비롯한 물리적 정보를 습득한다. MS는 이후 선택적으로 레인징 (ranging)을 수행하여, 각 후보 BS에 대한 적절한 전송전력과 시간 동기를 조정할 수 있다. 이때, 각 후보 BS들로부터 주기적으로 전송되는 DCD/UCD는 수초에 달하는 긴 전송주기를 갖기 때문에, WiMAX에서는 서빙 BS가 주기적으로 전송하는 MOB_NBR-ADV를 통해 자신에게 연결된 각각의 MS들이 후보 BS들에 대한 DCD/UCD 정보를 사전에 파악할 수 있도록 하는 네트워크 토폴로지 획득 (network topology acquisition)과정을 지원한다^[1]. 그러나 대부분의 네트워크에서와 같이, WiMAX에서는 MS의 현재 위치에 관한 정보를 제공하지 않는다. 이는 곧, 서빙 BS의 셀 경계 (cell boundary)에 도달하여 핸드오버를 준비하는 MS가 후보 BS에 대한 정보를 사전에 인지하고 있다 하더

라도, 자신의 위치에 적합한 타겟 BS를 결정하기 위해서는 여러 후보 BS들에 대한 반복적인 스캐닝을 수행하는 것이 불가피함을 의미한다.

본 논문에서는 단일의 MS가 스캐닝을 시작한 시점부터 타겟 BS를 결정하기까지의 시간을 스캐닝 지연시간 (scanning latency)으로 정의한다. 스캐닝 지연시간이 증가하게 되면, MS의 핸드오버 시작 시간이 보다 지연될 수 있기 때문에, 서비스의 끊김 현상이 발생할 수 있다. MS가 단일의 후보 BS를 스캔하는데 소요되는 시간은, DL/UL-MAP과 DCD/UCD를 수신하는 동기화 (synchronization)와 선택적인 레인징에 따라 최대 300msec 정도까지 증가할 수 있다^[2]. 스캐닝을 수행하는 동안, MS는 서빙 BS와의 통신을 수행할 수 없게 되는데, 이때 서빙 BS는 해당 MS로의 데이터를 일시적으로 저장 (buffering)해 두었다가 해당 MS가 스캐닝을 종료하고 정상 동작을 수행할 때에 이를 전달 (forwarding) 해주게 된다. [2]에서는 여러 MS들이 동시에 스캐닝을 수행할 때에 서빙 BS에 의한 과도한 버퍼 오버헤드를 방지하고, 스캐닝 과정 중 자원의 효율성을 높이도록 하는 적응적 채널 스캐닝 (Adaptive Channel Scanning) 기법을 제안하였다. [4]에서는 핸드오버를 수행중인 MS가 핸드오버 도중에도 긴급한 실시간 데이터를 수신할 수 있도록 하는 향상된 링크계층 핸드오버 (enhanced link-layer handover) 기법을 제안하였다. 그러나 이들은 스캐닝 지연시간을 고려하지 않았다. [3]에서 MS는 여러 후보 BS들에 대한 preamble proving을 통해 각각으로부터 측정된 CINR (Carrier to Interference Noise Ratio)과 ATD (Arrival Time Difference)를 통해, 가장 큰 CINR과 가장 작은 ATD를 가지는 후보 BS를 타겟 BS로 간주하고 있다. 그러나 일시적인 preamble proving을 통해 측정된 CINR은 타겟 BS를 선택하기 위한 기준으로 적절하지 않을 수 있다. [5]에서는 서빙 BS에 의해 모니터링되는 MS의 업링크 신호세기에 의해 서빙 BS가 핸드오버 시작을 알리고, 이웃한 후보 BS들로 하여금 MS의 업링크 신호세기를 관찰하도록 하여, 이를 바탕으로 서빙 BS가 MS에게 적절한 타겟 BS를 결정하도록 한다. 그러나 핸드오버가 요구되는 개개의 MS에 대하여 후보 BS들이 이를 모니터링하도록 하는 것은 BS의 오버헤드 측면에서 적절치 못하다. [6]에서는 인접한 MS들간의 그룹핑 (grouping)을 통해, 그룹 내 여러 MS들이 분산적으로 후보 BS들의 동작 채널을 스캔하고 그 결과를 공유할 수

있도록 하는 그룹 스캐닝 방법을 제안하였으며, 이를 통해 기존의 스캐닝 방법에 비해 보다 짧은 스캐닝 지연시간을 보장할 수 있음을 보였다. 그러나 MS 각각의 서비스 품질 요구사항에 따른 스캔 스케줄을 고려하지 않았다.

본 논문에서는 [6]의 그룹 스캐닝의 수행 시 각 MS의 QoS를 고려하여 기존의 그룹 스캐닝 방법의 성능을 보다 향상시킬 수 있는 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링 기법을 제안한다. 이는 서빙 BS가 그룹 스캐닝을 수행하는 각 단말의 QoS를 고려하여, 그룹이 스캐닝을 시작하는 시간과 각 단말의 스캐닝 구간 (scanning interval), 서비스 구간 (interleaving interval) 및 스캔할 이웃 기지국 채널의 개수를 최적화하여 스케줄링 하는 것을 말한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장의 관련 연구에서는 기존의 그룹 스캐닝 방법을 간략히 소개한다. 제 3장에서는 QoS 기반의 스캐닝 구간과 서비스 구간의 개념과 그에 따라 타겟 기지국을 결정하기까지의 시간에 차이가 있을 수 있음을 설명하고, 이후 본 논문에서 제안하는 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링 기법을 기술한다. 제 4장에서는 수치 해석과 모의 실험을 통해 제안된 기법의 성능을 평가한다. 제 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

본 장에서는 WiMAX에서 동작하는 기존의 그룹 스캐닝 방법^[6]을 간략히 소개한다. 이후에서 스캐닝 구간은 MS가 후보 BS를 스캐닝하는 시간을, 서비스 구간은 MS가 스캐닝 구간 이후 서빙 BS의 채널로 돌아와서 정상 동작 (normal operation)을 수행하는 시간을 의미하며, 각각은 SI (Sensing Interval), II (Interleaving Interval)로 표기한다.

기존의 그룹 스캐닝 방법은 인접한 곳에 위치한 MS들이 그룹을 구성하는 그룹핑 과정과, 각 그룹의 MS들이 분산적으로 후보 BS들을 스캔하는 그룹 스캐닝 과정으로 나눌 수 있다. 그룹의 영역은, 그림 1에서 나타낸 것과 같이, D_{SCAN} , D_{READY} , 그리고 D_{GROUP} 와 같이 사전 정의된 세 가지의 기준 거리에 의해서 결정되며, 이들 기준 거리들은 MS가 서빙 BS로부터 혹은 인접한 MS로부터 수신하는 신호의 강도 (RSS: Received Signal Strength)를 기준으로 정의된다. D_{READY} 는 임의의 MS가 현재 그룹 스캐닝을 수행하고 있는 그룹을 발견하기 시작하는 거리이고, D_{GROUP} 은 임의의 그룹을 발견한 MS가 해

당 그룹으로의 참여여부를 결정하는 거리이다. MS는 발견된 그룹이 자신으로부터 D_{GROUP} 거리 이내에 위치하는 경우, 해당 그룹에 참여할 수 있게 된다. D_{SCAN} 은 그룹을 발견하지 못한 MS가 새로운 그룹을 형성하는 거리이다. MS는 스스로 새로운 그룹을 형성하는 경우 해당 그룹의 그룹 헤드 (GH: Group Head)가 된다. 반면, 기존의 GH와 거리 D_{GROUP} 이내에 위치한 MS는 기존의 그룹에 참여하면서 해당 그룹의 그룹 멤버 (MBR: Member)가 된다. 서빙 BS는, 현재 그룹을 형성하여 그룹 스캐닝을 수행 중인 GH가 이후에 업링크 하도록 예약된 자원 구간을 주기적으로 광고하여, 그룹핑 과정을 수행하는 MS들이 각각의 GH와의 거리를 측정하고 MBR로서 기존의 그룹에 참여할 수 있도록 한다. MS가 D_{SCAN} , D_{READY} , D_{GROUP} 의 거리정보를 이용하여 그룹핑을 수행하는 과정은 다음과 같다.

- STEP1. MS의 서빙 BS로부터의 거리가 D_{READY} 보다 크고 D_{SCAN} 보다 작은 경우, MS는 서빙 BS로부터 주기적으로 광고되는 GH들의 업링크 할당구간을 검토한다. 현재 그룹 스캐닝을 수행하는 GH의 업링크 할당구간이 광고메시지에 포함된 경우, STEP2를 따른다. 광고메시지에 포함된 GH가 없거나, 주기적인 광고메시지가 수신되지 않는 경우, 현재 GH가 존재하지 않는 것으로 판단하고 STEP1을 반복적으로 수행한다.

- STEP2. MS는 각 GH가 업링크를 수행하는 구간에서, 수신되는 신호의 강도를 측정한다. 수신 신호 강도를 기준으로 임의의 GH가 D_{GROUP} 보다 작은 거리상에 위치해 있는 것으로 판단되면, 해당 GH의 그룹에 참여하여 그룹 스캐닝을 수행한다. D_{GROUP} 보다 작은 거리상에 위치한 GH가 없는 경우, MS는 STEP1을 수행한다. D_{GROUP} 보다 작은 거리상에 위치한 GH가 다수 존재하는 경우, MS는 가장 가까운 GH가 속한 그룹에 참여하여 그룹 스캐닝을 수행한다.

- STEP3. MS의 서빙 BS로부터의 거리가 D_{SCAN} 보다 크고, 동시에 MS가 어떠한 그룹에도 참여하지 않았다면, 해당 MS는 스스로 GH가 되어 새로운 그룹을 형성한다.

비록 WiMAX의 PMP (point to multipoint) 모드가 단말들 간의 통신을 허용하지는 않지만, WiMAX 서빙 기지국이 매 프레임의 초기에 UL-MAP을 통해 각각의 단말들이 상향전송하기 위한 기회를 서브 채널과 OFDMA 심볼의 매핑 (mapping)을 통해 공지하므로, 각각의 단말들은 기

존의 GH들의 상향전송 기회를 사전에 알고 있는 것으로 간주한다. 따라서 임의의 단말이 GH의 신호를 센싱하는 것은, GH의 업링크 매핑에서 발생하는 신호의 강도를 측정함으로써 가능하다.

그림 1에서는 이상에서 설명한 MS의 그룹핑 과정을 예를 들어 설명하였다. 그림 1a에서 서빙 BS는 현재 존재하는 그룹이 없는 경우, 그룹 광고 메시지 (Group-ADV: Group Advertisement)에 아무런 GH의 정보도 포함하지 않는다. 불필요한 그룹 광고 메시지 오버헤드를 줄이기 위해, 현재 GH가 존재하지 않는 경우, 그룹 광고 메시지는 생략될 수 있다. 서빙 BS로부터의 거리가 D_{SCAN} 에 다다른 MS1은, Group-ADV(NULL) 메시지를 수신함으로써 (혹은 아무런 그룹 광고 메시지를 수신하지 못하였으므로) 자신이 참여할 수 있는 그룹이 없음을 알고, 서빙 BS에게 새로운 그룹을 형성하는 Group-GEN (Group Generation) 메시지를 전송한다. 이후, 서빙 BS는 MS1의 업링크 자원 구간을 광고하기 위해 Group-ADV(MS1)을 주기적으로 브로드캐스트 한다. 그림 1b는 MS1의 그룹에 참여하는 MS2와, MS1의 그룹에 참여하지 못한 MS3가 새로운 그룹을 형성하는 것을 보여준다. MS2는 서빙 BS의 Group-ADV(MS1)을 수신한 후, MS1의 업링크에 대한 신호 강도를 측정하여 자신이 MS1으로부터 D_{GROUP} 이내에 위치한 것을 알고, MS1의

그룹에 참여하기 위해 Group-PART (Group Participation) 메시지를 서빙 BS에게 전송한다. 반면, MS3는 서빙 BS로부터 거리가 D_{SCAN} 에 다다를 때까지 MS1의 신호 강도를 측정하지 못하였거나, 혹은 측정하더라도 자신과 MS1 사이의 거리가 D_{GROUP} 보다 크다고 판단하게 된다. 따라서 MS3는 Group-GEN 메시지를 전송하여, 자신이 직접 GH가 되어 새로운 그룹을 형성하게 된다. 이후 서빙 BS는 MS1과 MS3에 대한 주기적인 광고메시지 Group-ADV(MS1, MS3)를 전송하게 된다.

그룹핑 과정 이후의 그룹 스캐닝 과정은 서빙 BS가 각 MS들에게 후보 BS를 분산적으로 할당하고, 이를 스캔한 각 MS들이 스캔 결과를 서빙 BS에게 보고하는 과정으로 이루어진다. 단일 그룹에 포함된 서로 다른 MS들은 서로 인접한 거리에 위치해 있기 때문에, 동일한 타겟 BS를 가질 확률이 크다. 이러한 상황에서 각각의 MS들이 동일한 후보 BS들을 스캔하도록 하는 것은 효율적이지 못하다. 따라서 서빙 BS는 동일한 그룹에 포함된 여러 MS들이 각기 다른 후보 BS 채널들을 스캔할 수 있도록, 서로 다른 후보 BS를 각 MS들에게 할당한다. 할당받은 후보 BS들을 스캔하는 도중, 그룹 내에서 가장 먼저 타겟 BS를 발견한 MS는 이를 서빙 BS에 보고한 후, 타겟 BS로의 핸드오버 과정을 시작할 수 있다. 해당 MS와 동일한 그룹에 속한 다른 MS들은 돌아오는 SI에서 발견된 타겟 BS를 할당받아 스캔을 수행할 수 있다. 또한, 그림 1b의 MS3와 같이 기존의 그룹이 존재함에도 불구하고, 새롭게 형성된 그룹은 기존의 그룹과 동일한 타겟 BS를 가질 수 없는 것으로 간주된다. 따라서 서빙 BS는 이러한 그룹들에게 후보 BS들을 i) 기존의 그룹에 의해 스캔이 시도되었지만 타겟으로 적절하지 않은 후보 BS들, ii) 기존의 그룹에 의해 스캔이 아직 시도되지 않은 후보 BS들, iii) 기존의 그룹의 타겟 BS로 결정된 후보 BS들 순으로 할당한다.

그룹 스캐닝을 수행하는 MS들은 지속적으로 이동하기 때문에, 결정된 타겟 BS는 시간이 지남에 따라 변경될 수 있다. 따라서 그룹 스캐닝을 수행하여 이미 타겟 BS를 발견한 MS라 하더라도 긴급한 핸드오버가 요구되지 않는 경우에는 타겟 BS를 반복적으로 스캔해 볼 수 있다. 기존의 타겟 BS가 자신에게 적합하지 않은 경우, MS는 스스로 새로운 그룹을 형성하거나, 인접한 다른 그룹에 참여하여 그룹 스캐닝을 수행할 수 있다.

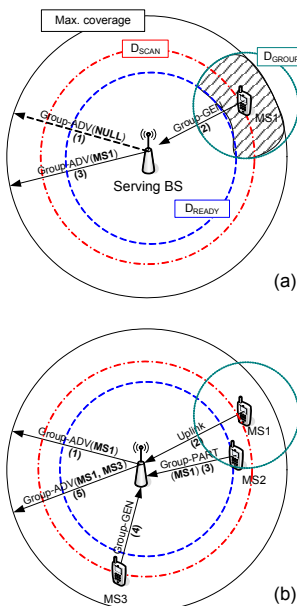


그림 1. 그룹 영역과 그룹 생성 및 참여

III. QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링

기존의 그룹 스캐닝 기법은 그룹 스캐닝을 수행하는 각각의 MS들의 QoS 요구조건을 고려하지 않았다. 본 장에서는 QoS 요구조건의 차이에 의한 MS들의 스캐닝 지연시간의 차이를 설명한 후, QoS 요구조건이 고려되지 않은 그룹 스캐닝의 문제점을 지적하고, 제안하는 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링을 설명한다.

3.1 QoS 기반의 스캐닝 구간과 서비스 구간

WiMAX에서 동작하는 MS는 스캐닝 구간동안 정상적인 서비스를 이용할 수 없다. 따라서 서빙 BS는 MS의 SI동안 해당 MS를 목적지로 하는 패킷을 일시적으로 저장 (buffering)하며, 이어지는 II에서 저장된 패킷들을 포워딩한다. [7]에서 저자는 MS가 이용 중인 서비스의 요구 패킷 지연 시간 (required packet delay)과 요구 패킷 손실률 (required packet loss rate)을 위반하지 않는 조건에서, 해당 MS의 최대 SI (maxSI)와 최소 II (minII)를 유도하였다. maxSI는 요구되는 패킷 지연 시간을 만족하는 최대 시간이며, minII는 maxSI에 의한 패킷 손실의 증가가 요구되는 패킷 손실률을 넘지 않도록 하는 최소 시간을 의미한다. MS(i)가 QoS 수준 c_i 에 해당하는 서비스를 이용하는 경우, 최대 SI와 최소 II를 각각 maxSI(i)와 minII(i)라 하면, 이들 간의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\max SI(i) = \alpha_{c_i} \times \min II(i) \quad (1)$$

α_{c_i} 는, MS(i)가 이용 중인 QoS 수준 c_i 에서의, minII에 대한 maxSI의 비율을 나타내는 상수로서, 0보다 큰 값을 가지며, 보다 높은 QoS가 요구될수록 작은 값을 갖는다. maxSI(i)는 MS(i)가 이용 중인 서비스의 QoS 수준 c_i 만을 고려한 값인 반면, 채널 스캔을 위해 실제 스케줄 되는 값은 이보다 작을 수 있다. 이후에서는 단일의 후보 BS 채널을 스캔하는데 소요되는 시간을 T_s 로, MS(i)에게 실제로 스케줄 되는 스캐닝 구간 SI를 $T_{SI}(i)$ 로 정의한다. 그러면, $T_{SI}(i)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{SI}(i) = \left\lfloor \frac{\max SI(i)}{T_s} \right\rfloor \times T_s \quad (2)$$

마찬가지로 $T_{II}(i)$ 를 QoS 수준 c_i 의 서비스를 이

용 중인 MS(i)에게 실제로 스케줄 되는 서비스 구간 II라 한다면, $T_{SI}(i)$ 와 $T_{II}(i)$ 는 여전히 (1)의 관계를 만족시키도록 설정될 수 있다.

본 논문에서는 높은 QoS 수준의 서비스일수록, 짧은 maxSI와 긴 minII가 요구된다고 가정하였다. 즉, MS(i)가 이용 중인 서비스의 QoS 수준을 c_i , MS(j)가 이용 중인 서비스의 QoS 수준을 c_j 라 할 때, c_i 가 c_j 보다 높은 QoS 수준을 의미한다면, $\max SI(i) < \max SI(j)$ 와 $\alpha_{c_i} < \alpha_{c_j}$ 는 동시에 만족되는 것으로 간주한다. 각각의 MS의 QoS 요구사항을 고려한 maxSI와 minII의 결정 방법은 본 논문에서는 다루지 않기로 한다.

$\max SI(i) < \max SI(j)$ 와 $\alpha_{c_i} < \alpha_{c_j}$ 의 관계를 만족하는 두 MS(i)와 MS(j)가 존재한다면, 이들 두 MS의 독립적인 스캐닝 과정에 의한 스캐닝 지연시간은 서로 다를 수 있다. 그림 2에서는 동일한 순서로 제공되는 후보 BS들을 각각 스캔하는 MS(i)와 MS(j)가 4번째로 스캔하는 후보 BS를 타겟 BS로 결정하는 경우 각각의 스캐닝 지연시간의 차이를 보인 것이다. MS(i)의 maxSI(i)는 하나의 후보 BS를 스캔하기에 충분하지만, 두 개의 후보 BS를 한번에 스캔하기에는 부족한 시간으로 설정된 반면, MS(j)의 maxSI(j)는 두 개의 후보 BS를 스캔하기에 충분한 시간으로 설정되었다. MS(i)와 MS(j) 각각의 T_{SI} 와 T_{II} 는 (1)과 (2)에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{cases} T_{SI}(i) = T_s, & T_{II}(i) = \frac{T_s}{\alpha_{c_i}} \\ T_{SI}(j) = 2T_s, & T_{II}(j) = \frac{2T_s}{\alpha_{c_j}} \end{cases} \quad (3)$$

그림 2에서 MS(i)는 t_1 의 시간에서 스캐닝을 시작하여 t_2 에 타겟 BS를 결정하였으며, MS(j)는 t_3 의

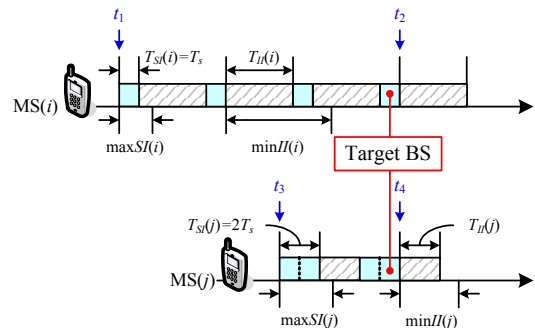


그림 2. QoS 요구조건에 따른 MS의 스캐닝 지연시간

시간에 스캐닝을 시작하여 t_4 에 타겟 BS를 결정한다. 따라서 그림 2에서 MS(i)와 MS(j)의 스캐닝 지연시간은 각각 (t_2-t_1) , (t_4-t_3) 이며, MS(j)는 MS(i)보다 짧은 스캐닝 지연시간으로 타겟 BS를 발견하게 된다. 이는 곧, 상대적으로 QoS 수준이 낮은 MS가 상대적으로 QoS 수준이 높은 MS 보다 일반적으로 더 짧은 스캐닝 지연시간을 갖는 것을 의미한다. 기존의 그룹 스캐닝 기법⁶⁾은 이처럼 서로 다른 QoS 요구조건을 갖는 MS들을 고려하지 않았다.

3.2 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링

본 논문에서 제안하는 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링 기법은 단일의 그룹 내에서 함께 스캐닝을 수행하는 MS들을 대상으로 한다. 기존의 그룹 스캐닝에서는, 서빙 BS가 각 MS의 매 SI의 시작 전에, 스캔할 후보 BS들을 반복적으로 할당해 주었다. 그러나 제안하는 QoS 기반의 그룹 스캐닝은 초기에 그룹이 형성되었을 때, 서빙 BS가 MS들에게 후보 BS들을 한 번에 스케줄 할당해 주도록 한다. 또한 그룹 스캐닝이 진행 중인 그룹에 새로운 MS가 참여하였을 때, 기존 MS들의 스케줄을 수정할당필요 없이, 새로운 MS에게 적절한 후보 BS들을 스케줄 할당해 주도록 한다. 각각의 MS가 수신하는 스캔 스케줄 메시지는 스캔을 시작하는 시간, 스캔을 수행할 후보 BS들의 목록과 순서를 포함한다.

그룹 내 다수의 MS들 각각에게 적절한 후보 BS들을 순서대로 스케줄 하기 위해, 서빙 BS는 MS들의 스캐닝 요청 메시지에 포함된 정보를 바탕으로, 그룹 내 MS들 각각의 QoS 요구사항을 고려하여 스캐닝 동작을 예측할 수 있어야 한다. 이를 위해 각 MS들은 자신의 QoS 요구사항에 대한 정보를 서빙 BS에게 적절하게 전달해주어야 한다. 제안된 방법에서는 MS가 스캐닝 요청 메시지를 전송할 때에 이러한 정보를 포함하는 것으로 간주하였다.

MS(i)로부터 서빙 BS까지의 거리를 d 라 하면, MS(i)는 $D_{READY} < d < D_{SCAN}$ 인 상황이 되면, 거리 D_{GROUP} 이내로 인접한 GH가 존재하는 경우, 해당 그룹으로의 참여를 요청하는 메시지를 서빙 BS에게 전송한다. 만일 $d > D_{SCAN}$ 이 될 때까지 참여할 그룹을 발견하지 못하는 경우에는 자신을 GH로 하는 새로운 그룹의 형성을 요청하는 메시지를 서빙 BS에게 전송한다. 이처럼 MS(i)가 새로운 그룹을 형성하거나 기존의 그룹에 참여하기 위하여 스캔 스케줄 요청 메시지를 전송하는 경우, MS(i)는 자신의 $\max SI(i)$ 와 $\min II(i)$ 를 메시지에 포함하여 전송하게

된다. 각각의 단말로부터 스캔 스케줄 요청 메시지를 수신한 서빙 BS는 현재 그룹에 포함된 MS들 각각의 $\max SI$, $\min II$ 를 참조하여, 각 MS가 스캔을 시작하는 시점으로부터 매 SI가 끝나는 시점을 예측하여, 각각의 MS에게 적합한 T_{SI} 와 T_{II} 및 후보 BS들의 목록과 순서를 스케줄 해주어야 한다.

MS(i)가 한번의 SI 동안 스캔할 수 있는 후보 BS의 개수를 $n_{SI}(i)$ 라 하면, $n_{SI}(i)$, $T_{SI}(i)$, $T_{II}(i)$ 는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$n_{SI}(i) = \left\lfloor \frac{\max SI(i)}{T_s} \right\rfloor, \quad \begin{cases} T_{SI}(i) = \left\lfloor \frac{\max SI(i)}{T_s} \right\rfloor \times T_s = n_{SI}(i) \times T_s \\ T_{II}(i) = T_{SI}(i) \times \frac{\min II(i)}{\max SI(i)} = n_{SI}(i) \times T_s \times \frac{\min II(i)}{\max SI(i)} \end{cases} \quad (4)$$

임의의 MS(i)가 스캔을 시작한 시점부터 m 개의 BS 채널을 스캔하는데까지 소요되는 시간을 $T_{scan}(i,m)$ 이라 하면, 서빙 BS는 MS(i)의 스캐닝 요청 메시지를 수신한 후, MS(i)의 $T_{scan}(i,m)$ 를 (5)와 같이 예측할 수 있다.

$$T_{scan}(i,m) = (\text{Time for scanning } m \text{ channels}) + (\text{Accumulated interleaving intervals}) = \left\lfloor \frac{n_{SI}(i)}{m} \right\rfloor \times T_{SI}(i) + \{n_{SI}(i) \bmod m\} \times T_s + \left(\left\lceil \frac{n_{SI}(i)}{m} \right\rceil - 1 \right) \times T_{II}(i), \quad \text{where } m = 1, 2, \dots \quad (5)$$

그림 3은 서빙 BS의 그룹 스캔 스케줄링 동작 알고리즘을 나타낸 것이다. 임의의 그룹 G에 초기에 참여하는 n 개의 MS가 존재한다면, 서빙 BS는 각각의 MS에 대한 $T_{scan}(i,m)$ ($1 \leq i \leq n$)값이 작은 순서대로 후보 BS들을 하나씩 할당한다. 즉, N_{BS} 개의 후보 BS들이 서빙 BS에 의해 제공된다면, 서빙 BS는 그룹 G의 MS들의 $T_{scan}(i,m)$ 값을 작은 순서대로 N_{BS} 개를 나열한 후, 이들 각각에 후보 BS들을 하나씩 대응시켜서 각 MS들이 스캔할 수 있도록 스케줄한다. 임의의 두 MS(i), MS(j)에 대하여, $T_{scan}(i,m) = T_{scan}(j,m')$ 를 만족하는 m, m' 이 존재한다면, 이들 간의 순서는 랜덤하게 결정된다. 순서대로 나열된 N_{BS} 개의 $T_{scan}(i,m)$ 값들을 각각 T_k' ($1 \leq k \leq N_{BS}$), 그룹 G의 스캐닝 시작시간을 t_{start} , T_k' 각각에 대응하는 N_{BS} 개의 후보 BS들을 각각 BS_k ($1 \leq k \leq N_{BS}$)라 하면, BS_k 에 대한 스캔이 완료되는 실제 시간 T_k ($1 \leq k \leq N_{BS}$)는 다음과 같다.

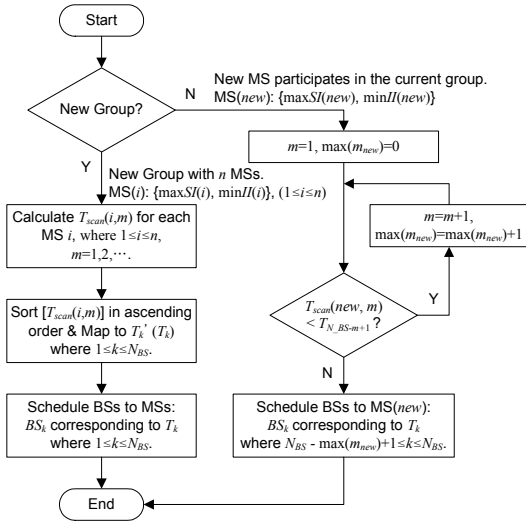


그림 3. 서빙 BS의 QoS 기반 그룹 스캔 스케줄링 동작

$$T_k = t_{start} + \{T_{scan}(i, m) \text{ for } k^{th} BS\} = t_{start} + T'_k \quad (6)$$

즉, 서빙 BS는 상기 MS(i)가 m번째 스캐닝 구간에서 BS_k를 스캔하도록 스케줄한다. 이 같은 스케줄을 통해, 서빙 BS는 그룹 G가 N_{BS}개의 후보 BS들 각각에 대한 스캔을 완료하는 시간 T_k를 사전에 알 수 있다. 이처럼 후보 BS를 순서대로 할당하는 것은 그룹 G에 속한 MS들이 각각의 QoS 요구조건을 만족하면서도, 동시에 여러 후보 BS 채널들을 가장 빠르게 스캔하도록 하기 위한 것이다.

초기에 그룹을 형성한 n개의 MS들이 그룹 스캐닝을 진행하는 도중, 새로운 MS, MS(new)가 그룹에 추가로 참여한다. 서빙 BS가 MS(new)로부터 그룹 참여를 요청하는 스캐닝 요청 메시지를 수신한 시점을 t_{part}라 하고, 메시지 t_{part}와 MS(new)가 실제 스캔을 시작하는 시간 t_{MS}간격은 무시(진행하는 것으로 가정)하자. 서빙 BS는 가_{실제} 스new을 시파메시지 존의 스케줄 된 BS_{N-BS_{유포}+1}캐닝을 될 예정시간x) 가_{N-BS_{유포}+1}값의 대소를 비교한다. 가_{실제} 스new을 시 < 가_{N-BS_{유포}+1}의 조건을 만족시키는 가장 큰 m의 값을 식제x 스m_{new})출 된 BSN-BS_{유포}MS(new)캐닝을 진행하는 도중, 새로운 MS는 곧메시지되게 참여한 MS가 기존에 스케줄 된 후보 BS들 중 가장 나중에 스캔하도록 스케줄 한 식제x 스m_{new}) 출 된 BSN-BS_{유포}기 존 보다 빠르게 스캔(진행하는해당 그룹 캐닝전체된 BSN-BS_{유포}스캔(진행하는 는 시간캐닝감소

되도중,은 MS때는 는 것스캐닝을 수행하고는 는 기존의 MS들에 대한 스케줄은 수정되지 않아도 무관왕 MS만일 MS(new)에게 스케줄 된 후보 BS들 가운데 타겟 BS가 닝 요청 메시했당 BS는 서빙 BS를 통해+1른 MS들에게 공유될 하는 기 때문이다.

그림 4는 서빙 BS가 제안된 스케줄링 방법을 이용하여 그룹 G의 MS들에게 후보 BS들을 스케줄하는 동작 예시이다. 그림 4의 서빙 BS는 총 10개의 후보 BS를 제공하며(N_{BS}=10), 모든 MS들은 각각의 SI 동안 하나의 후보 BS를 스캔할 수 있도록 설정되었다. MS들 간의 QoS 수준의 차이는 각각의 II의 값의 차이에 의해 결정되는 것으로 가정하였다. 서빙 BS는 각 MS들의 T_{scan}(i,m) (1 ≤ i ≤ 3)을 계산한 후, T_{scan}(i,m)이 작은 순서로 그림 3의 스케줄링 알고리즘을 이용하여 후보 BS들을 각 MS에게 스케줄하게 된다. 그 결과, MS(1)은 후보 BS {1,6,10}을, MS(2)는 후보 BS {2,5,8}을, MS(3)는 후보 BS {3,4,7,9}를 순서대로 스캔하게 된다.

그룹 G의 MS들이 그룹 스캐닝을 진행하는 도중에 새로운 MS, MS(new)가 그룹에 추가로 참여하게 되면, 서빙 BS는 MS(new)로부터 그룹 참여를 요청하는 스캐닝 요청 메시지를 수신한 시점(그림 4의 t_{part})에서 MS(new)의 T_{scan}(new,m) (m=1,2,...)과 현재 그룹의 스캐닝에 의한 T_{N-BS-m+1}을 비교하여 max(m_{new})를 구하고, 그에 따라 후보 BS들을 스캔하도록 스케줄한다. 그림 4에서는 MS(new)에 대한 max(m_{new})=3이므로, 서빙 BS는 MS(new)에게 가장 늦게 스캔될 후보 BS들 3개를 스케줄하게 된다.

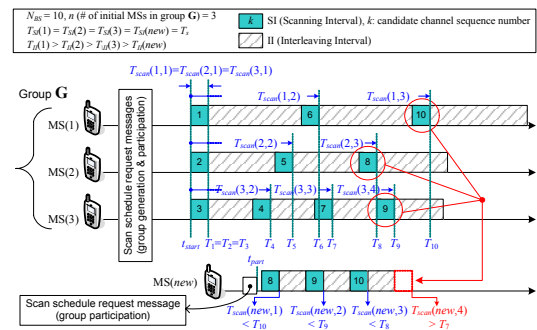


그림 4. QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링

IV. 성능 평가

본 장에서는 제안된 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링의 성능을 평가하기 위해 수치 해석과 모의실

험의 결과를 보여준다. 표 1은 QoS 요구조건에 따른 MS의 스캐닝 지연시간을 평가하기 위해, 수치 해석에 사용된 파라미터들을 나타낸 것이다.

그림 5a는 임의의 MS의 $\alpha_c (= \max T_{SI} / \min T_{II})$ 가 변화할 때, 한 번의 SI동안 해당 MS가 스캔할 수 있는 채널의 개수 n_{SI} 와 그에 따라 실제 적용되는 T_{SI} 및 T_{II} 를 나타낸 것이다. 그림 5b는 이처럼 MS의 α_c 가 변화할 때, N_{BS} 가 10인 상황에서 MS가 단독으로 스캐닝을 수행하는 경우, 타겟 BS를 발견하기까지 예상되는 스캐닝 지연시간을 나타낸다. 단독으로 스캐닝을 수행하는 MS(i)의 예상 스캐닝 지연시간을 $T_{SL}(i)$ 라 하면, $T_{SL}(i)$ 는 식 (5)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{SL}(i) = \frac{1}{N_{BS}} \sum_{m=1}^{N_{BS}} T_{scan}(i, m) \quad (7)$$

그림 5의 결과는 임의의 MS가 현재 이용 중인 서비스의 QoS 요구수준을 만족시키면서 단독으로 스캐닝을 수행하는 경우, 일반적으로 보다 높은 QoS 요구수준의 서비스를 이용하는 MS의 일수록 타겟 BS를 발견하기까지 보다 긴 스캐닝 지연시간이 요구된다는 것을 단적으로 보여준다.

그림 6은 MS(1)과 MS(2)로 구성된 그룹의 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링에 대한 시뮬레이션 토폴로지이다. MS(1)과 MS(2)는 동일한 타겟 BS를 향해 이동하며, 이때 그룹에 적절한 타겟 BS는, 서빙 BS를 중심으로 균일하게 분포된 N_{BS} 개의 이웃 BS들 (후보 BS들) 중 하나인 것으로 간주하였다. MS(1)과 MS(2)로 구성된 그룹에서 실제 GH가 되는 MS는 초기 MS(1)과 MS(2)의 위치에 따라 랜덤하게 결정된다. WiMAX 시스템의 프레임당 시간은 5ms로 설정하였고, 서빙 BS는 매 프레임 구간에서 DL-/UL-MAP을 브로드캐스트 하도록 설정하였다. MS는 서빙 BS에 의해 주기적으로 전송되는 MOB_NBR-ADV 메시지를 통해, 이웃 BS의 채널들에 대한 정보를 제공받는다. $\max T_{SI}(1)=32$,

표 1. 수치해석에 사용된 파라미터

Parameter	Value
T_s	20 frames
$\alpha_c (= \max T_{SI} / \min T_{II})$	0.25 ~ 1
(fixed) $\min T_{II}$	80 frames
N_{BS}	10

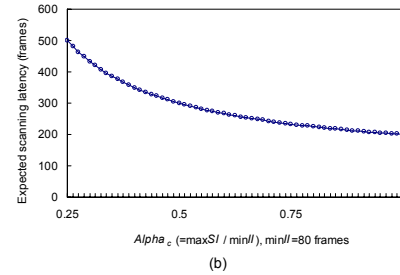
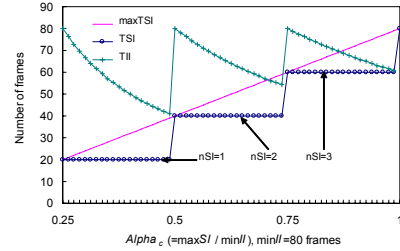


그림 5. α_c 값에 따른 TSI, TII와 MS의 예상 스캐닝 지연시간

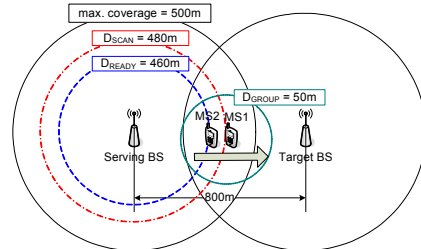
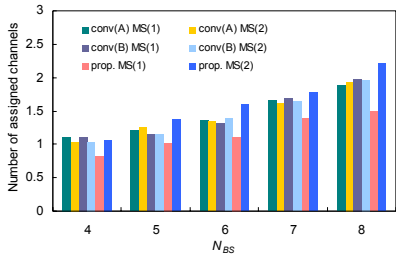


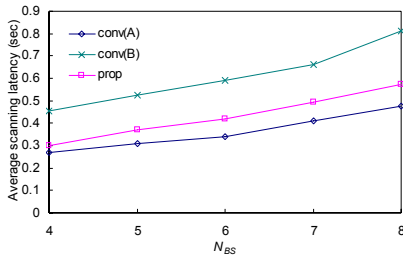
그림 6. 시뮬레이션 토폴로지

$\min T_{II}(1)=96$, $\max T_{SI}(2)=48$, $\min T_{II}(2)=72$ (frames)로 설정되었다. 각각의 후보 BS가 동작하는 채널에서, 단말은 $T_{21}^{[1]}=20$ (frames)동안 머무르며 DL-/UL-MAP의 수신을 시도하게 된다. 만일 DL-/UL-MAP을 수신하였다면, 이웃 BS와의 거리가 D_{READY} 보다 가까운 곳에 자신이 위치한 경우, 해당 이웃 BS를 타겟 BS로 결정하게 된다.

그림 7에서는 그림 6의 실험 환경에서 기존의 그룹 스캐닝 기법과 제안된 QoS 기반의 그룹 스캐닝 기법의 성능을 이웃 기지국 채널의 개수 N_{BS} 의 변화에 따라 비교하였다. 기존의 그룹 스캐닝에서는 MS(1)과 MS(2)의 QoS를 고려하지 않고, 동일한 T_{SI} 와 T_{II} 가 적용되는 상황을 가정하였다. 그림 7의 conv(A)는 MS(1), MS(2)의 T_{SI} 와 T_{II} 가 각각 40, 60 (frames)로 고정된 경우이고, conv(B)는 20, 60 (frames)로 고정된 경우이다. 반면, 제안된 QoS 기반의 그룹 스캐닝에서는 $T_s (=20frames)$ 와 각



(a)



(b)

그림 7. 기존 그룹 스캐닝과 QoS 그룹 스캐닝의 성능 비교

각의 $minSI$ 에 대한 $maxSI$ 의 비율을 고려하여, $T_{sr}(1)=20$, $T_{tr}(1)=60$, $T_{sr}(2)=40$, $T_{tr}(2)=60$ (frames)가 적용되었다. 그림 7a는 MS(1)과 MS(2)가 각각 타겟 BS를 발견하기까지 스캔하게 되는 후보 BS의 개수를 보여준다. 기존의 그룹 스캐닝에서는 conv(A), conv(B) 모두에서 MS(1)과 MS(2)가 스캔하는 후보 BS의 개수가 거의 비슷하지만, 제안된 QoS 기반의 그룹 스캐닝에서는 QoS 요구수준이 상대적으로 높은 MS(1)이 MS(2)보다 적은 수의 채널을 스캔하는 것을 볼 수 있다. 그림 7b는 평균 스캐닝 지연시간을 비교한 결과를 보여준다. conv(A)의 경우 가장 짧은 평균 스캐닝 지연시간을 보이며, conv(B)의 경우는 가장 긴 평균 스캐닝 지연시간을 보인다. 제안된 QoS 기반의 그룹 스캐닝(prop)은 conv(A)와 conv(B)의 중간에 해당하는 스캐닝 지연 시간을 갖는다. 각각의 시나리오에서 MS들이 매 SI마다 스캔하는 채널의 개수가 많을수록 평균 스캐닝 지연 시간이 감소하는 것을 알 수 있다. 비록, conv(A)가 제안된 방법보다 더 빠른 타겟 BS의 결정을 보장하지만, 이러한 결과를 유도하는 conv(A)의 MS(1)은 자신의 QoS 요구조건 $maxSI(1)$ 을 만족시키지 못하기 때문에, QoS가 악화될 수 있다는 것에 유의해야 한다. conv(B)의 MS들은 모두 QoS 요구조건을 만족하고 있지만, 제안된 방법에 비해 더 긴 스캐닝 지연시간이 요구된다. 따라서 그림 7의 결과는 제안하는 QoS 기반의 그

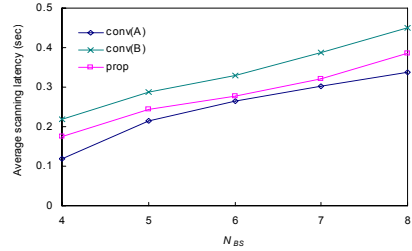


그림 8. 랜덤 토폴로지에서의 스캐닝 지연시간 비교

룹 스캔 스케줄링 기법이 각 MS의 QoS 요구조건을 만족시키면서, 동시에 빠르게 타겟 BS를 결정하도록 하는 것을 알 수 있다.

그림 8은 그림 6의 네트워크 토폴로지와 동일한 환경에서, 랜덤하게 분포된 100개의 MS를 대상으로 평균 스캐닝 지연시간을 관찰한 결과이다. 분포된 100개의 MS들은 1~4m/s의 속력으로 이동하며, 시뮬레이션은 매 실험마다 100초씩, 총 20번을 수행하였다. 분포된 100개의 MS들이 모두 스캐닝을 수행하는 것은 아니며, 실험에서 스캐닝을 수행하는 MS들은 그룹을 형성하여 스캔을 수행하거나, 혹은 그룹을 형성하지 못하여 단독으로 스캐닝을 수행하기도 한다. 총 100개의 MS들 가운데, 50개의 MS들은 이전 실험의 MS(1)과 동일한 QoS 요구조건을 가지며, 나머지 50개의 MS들은 이전 실험의 MS(2)와 동일한 QoS 요구조건을 가진다. conv(A)와 conv(B)의 MS들 역시 이전 실험과 동일한 T_{sr} 와 T_{tr} 를 적용하였다. 그림 8의 실험 결과는 그림 7의 결과와 유사한 관계를 보인다. 이는 임의의 상황에 대해서도 QoS에 기반한 그룹 스캔 스케줄링 기법이, 기존의 그룹 스캐닝 기법에 비해, 각 MS들의 QoS 요구조건을 최대한 반영하면서도 빠른 타겟 BS 결정을 보장할 수 있음을 의미한다.

VI. 결론

본 논문에서는 기존의 그룹 스캐닝 방법을 보다 발전시키기 위하여, 각 단말의 QoS 요구사항을 기초로 하는 QoS 기반의 그룹 스캔 스케줄링 기법을 제안하였다. 특히, 본 논문에서는 그룹 스캐닝을 스케줄하기 위해, 서빙 기지국이 각각의 단말의 QoS 요구조건에 따른 최대 스캐닝 구간과 최소 서비스 구간을 반영하여, 이러한 단말들이 그룹 스캐닝을 수행할 때에, 각각의 QoS를 왜곡시키지 않도록 하는 적절한 스캐닝 구간과 서비스 구간을 결정하고,

각각의 단말들에게 적절한 수의 채널이 할당될 수 있도록 하였다. 그 결과 보다 높은 QoS 수준의 서비스를 이용하는 단말은 그렇지 않은 단말보다 적은 수의 채널을 할당받으며, 동시에 각각의 그룹은 최대한 빠르게 타겟 기지국을 스캔할 수 있도록 스케줄되는 것을 보였다. 그룹 스캐닝을 수행하는 단말들은 각각이 스캔하도록 분산된 채널들을 초기의 스캐닝 응답 메시지를 통해 한 번에 수신할 수 있기 때문에, 기존의 WiMAX 표준에서 고려한 것과 같이 스캐닝 동작의 수행시 발생하는 메시지 교환의 오버헤드를 최소화할 수 있게 한다. 수치 해석과 모의 실험을 통한 성능 평가 결과에서는 제안된 스캐닝틀의 적용을 통한 그룹 스캐닝 기법과, 기존의 그룹 스캐닝 및 QoS 요구조건에 기반한 단말의 독립적인 스캐닝 동작을 비교하였으며, 제안된 방법이 기존의 스캐닝 방법들에 비해, 보다 QoS에 적절하면서도 빠른 타겟 기지국의 결정을 보장할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

[1] IEEE Std 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed band and corrigendum 1," February 2006.

[2] R. Rouil and N. Golmie, "Adaptive Channel Scanning for IEEE 802.16e," in *Proc. of IEEE MILCOM 2006*, pp.1-6, October 2006.

[3] D. Lee, K. Kyamakya, and J. Umondi, "Fast Handover Algorithm for IEEE 802.16e Broadband Wireless Access System," in *Proc. of IEEE ISWPC 2006*, pp.1-6, January 2006.

[4] S. Choi, G. Hwang, T. Kwon, A. Lim, and D. Cho, "Fast Handover Scheme for Real-Time Downlink Services in IEEE 802.16e BWA System," in *Proc. of IEEE VTC 2005-Spring*, pp.2028-2032, June 2005.

[5] S. Cho et al. "Hard Handoff Scheme Exploiting Uplink and Downlink Signals in IEEE 802.16e Systems," in *Proc. of IEEE VTC 2006-Spring*, pp.1236-1240, May 2006.

[6] 최재각, 유상조, "IEEE 802.16e에서 그룹 기반의 빠른 스캐닝 기법," *한국통신학회논문지*, Vol.33, No.6, pp.624-634, June 2008.

[7] S.J. Yoo, N. Golmie, and H. Xu, "QoS-aware channel scanning for IEEE 802.11 Wireless LAN," in *Proc. of IEEE PIMRC 2008*, pp.1-6, September 2008.

[8] S. Woon, N. Golmie, and Y.A. Sekercioglu, "Effective Link Triggers to Improve Handover Performance," in *Proc. of IEEE PIMRC 2006*, pp.1-5, September 2006.

[9] J.J. Huang, Y.H. Chen, S.C. Chang, and H.W. Ferng, "An Efficient Channel Scan Scheduling Algorithm for VoIP Handoffs in WLANs," in *Proc. of IEEE VTC 2007-Spring*, pp.1340-1344, April 2007.

[10] R. Rouil and N. Golmie, "Effects of IEEE 802.16 Link Parameters and Handover Performance for Select Scenarios," IEEE 802.21 session #13 in Denver Colorado, February 2006.

최 재 각 (Jae-Kark Choi)

정회원



2006년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)
 2008년 8월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)
 2008년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정
 <관심분야> Cognitive Radio,

Seamless handover, MAC

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

종신회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과(공학사)
 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
 2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
 1990년 3월~2001년 2월 KT 연구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
 <관심분야> 초고속 통신망, 무선 MAC 프로토콜, 인터넷 QoS, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio Network