

이동통신 역방향 스케줄러에서의 고신뢰성 자원 할당 기법

이성원*, 정광렬**, 박애순**

Reliability Constrained Resource Allocation in Cellular Network Uplink Scheduler

Sungwon Lee*, Kwang-Ryul Jung**, and Aesoon Park**

요약

본 연구에서는 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Long Term Evolution (LTE)와 같은 이동통신 네트워크에서 역방향 전송이 전용회선 방식이 아닌 패킷 전송으로 이루어지는 환경에서의 고신뢰성 역방향 패킷 스케줄링 기법을 제안하고, 기존 방안과 성능을 비교하여 장단점을 분석한다. 제안하는 고신뢰성 역방향 패킷 스케줄링 기법은 전송속도 혹은 처리용량의 극대화를 추구하는 기존 방식과 다르게 현재 차세대 이동통신의 핵심 연구 분야로 고려되는 Machine Type Communication (MTC) 분야에서, 단말의 위치 및 단말의 무선링크 상태에 독립적으로, 반드시 단말이 생성한 정보가 네트워크로 전송되어야 하는 요구사항을 만족하도록 제안되었으며, 성능 평가를 통하여 제안방안이 기존 방안 대비 우수한 신뢰성을 제공하는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose the reliability constrained resource allocation scheduling algorithm in cellular network for uplink transmission, where uplink transmission is supported via packet switching schemes without the dedicated uplink circuit links. We evaluate the performance of the proposed algorithm, and compared with the conventional works to identify the pros and cons. The proposed uplink scheduling algorithm is to satisfy the constraints requirements of the MTC services which is considered as the core technology for future mobile wireless networks. It is different to conventional works which target to maximize the link capacity. The proposed algorithm provides reliable uplink transmission independent to the location and the quality of the wireless link of the mobile terminal. Based on the performance evaluation results, we conclude that the proposed method provides enhanced reliability performance than conventional works.

• 제1저자 : 이성원

• 투고일 : 2010. 09. 13, 심사일 : 2010. 09. 23, 게재확정일 : 2010. 10. 04.

* 경희대학교 컴퓨터공학과 **한국전자통신연구원

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술 개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI001484, 차세대 이동통신 서비스 플랫폼 연구]

▶ Keyword : 역방향 스케줄러 (Uplink Scheduler), 고신뢰성 전송 (High Reliability Transmission), MTC, M2M, 3GPP LTE

I. 서론

현재 전 세계적으로 Machine-to-Machine (M2M) 통신 환경에서 3G/4G 이동통신기술을 활용하고자 하는 요구가 급격하게 증가하고 있다. 2020년 전 세계 50 Billion의 M2M 기기의 사용이 예상되고 있으며, 북미 National Institute of Science and Technology (NIST)는 SmartGrid에서 이동통신기술을 활용하는 것을 핵심 기술로 고려하고 있다 [1].

북미 Electric Power Research Institute (EPRI)는 Advanced Metering Infrastructure (AMI)에서 IEEE 802.16, 3GPP WCDMA/ HSPA/LTE 등을 적용하고자 고려중이며, 북미 Verizon 등 유무선 통신 사업자의 SmartGrid/M2M 시장 진입이 본격화되고 있다. 영국 Ofcom도 800~900MHz 주파수의 SmartGrid 적용을 검토하고 있고, 유럽 이동통신사업자/제조업체 중심으로 European Future Internet Initiative (EFII)를 결성하여, 이동통신 기술에 기반을 두는 SmartGrid와 M2M 관련 5개년 프로젝트를 2010년 시작하였다. 국내의 경우도 SKT, KT, 정부, 국공립연구소에서 SmartGrid를 향후 핵심 사업으로 선정하여 추진하고 있으며, LTE 및 Mobile-WiMAX 등 이동통신기술과의 접목을 활발하게 연구하고 있다. 특히 3GPP에서는 MTC를 정식 명칭으로 정의하여, 2007년부터 M2M 통신에 대한 연구를 진행해 오고 있으며, 2010년부터 본격적인 시나리오 발굴과 기술 표준화를 추진하고 있다. 아울러 LTE 이후의 핵심 기술로서 선정하여 적극적으로 연구를 추진하고 있다[2][3].

MTC 트래픽은 일반적으로 인간중심의 웹, Email, 파일 전송을 지원하는 경우와 다른 요구사항을 갖는다. 인간중심의 서비스에서는 제한된 무선채널 자원의 처리용량을 최대한으로 향상시키는 방향으로 연구가 이루어졌으며, 개발 단말에 대해서도 전송속도를 고속화 하는 방향으로 연구가 되었다. 앞서의 서비스들을 고려하면, 대부분 재전송 메커니즘에 의하여 재전송을 시도하기도 하지만, 지역적인 이유나 이동 등의 이유로 무선채널을 통한 통신이 원활하지 않으면, 인간이 지능적으로 다른 통신 방식을 사용하거나, 무선통신이 원활한 위치로 이동하여 통신을 재개하는 것이 가능하였다. 하지만, MTC 통신의 경우는 이와 다르게 고정적인 위치에서 통신을 하는 시나리오가 현재 많이 고려되고 있으며, 이동 시에도 자발적인 의사로 좋은 무선링크 품질지역으로의 이동이 불가능

하다. 예를 들어 SmartGrid의 가장 대표적인 스마트미터링의 경우,택내의 검침기와 전력 회사 간에 이동통신으로 정보를 주고받는 것을 고려하고 있다. 그러나 검침기가 설치된 환경이 셀 간의 경계지역이거나, 음영지역이라고 하더라도, 검침기와 전력 회사 간에는 반드시 통신이 이루어져야만 하는 요구사항을 만족해야 한다. 아울러, 사람의 안전과 관련한 센서기기 혹은 공공 안전 기기에서 이동통신을 통하여 긴급한 메시지를 보내는 경우에도 이동통신 망에서 해당 단말의 위치나 무선링크 품질과 독립적으로 반드시 서비스를 해주어야 한다. 따라서 MTC 중심 이동통신에서의 고신뢰성 전송기술은 중요하지만, 이에 대한 연구는 아직 미진한 상황이며, 특히 MTC의 상당수의 응용서비스가 단말에서 네트워크로 전송하는 역방향 시나리오이기에 역방향 통신에서의 고신뢰성 통신을 위한 핵심기술로서의 역방향 패킷 스케줄러에 대한 연구는 매우 중요한 부분이다[4].

본 논문에서는 1장 서론에 이어서, 2장에서 이동통신 분야에서의 M2M 통신에 대한 기존 연구와 표준 현황에 대하여 살펴본다. 이를 통하여 기존 연구의 문제점을 파악하며, 3장에서 본 논문에서 제안하는 역방향 스케줄링 알고리즘에 대해서 설명한다. 제안한 방안과 기존 방안의 성능 평가 및 분석을 4장에서 수행하며, 5장에서 결론을 내리도록 한다.

II. 관련 연구

FDMA/CDMA 기반 이동통신에서는 순방향과 역방향 통신이 대칭적인 특성을 가졌으며, 역방향의 경우 전용의 회선 통신을 수행하여 왔다. CDMA2000 1xEV-DO와 WCDMA/HSPA의 3세대 통신 기술에서 순방향은 시분할 슬롯을 할당하는 파이프의 개념으로 동작하게 되면서 변화를 가졌지만, 역방향의 경우는 최근 4세대 통신의 핵심기술로 활용되는 OFDM/OFDMA가 적용되면서부터 기존의 전용 회선 방식에서 공유되는 패킷 파이프를 단말들이 공유하는 방식으로 변화하고 있다. 하지만 순방향의 경우는 많은 연구가 이루어져 왔으나, 역방향에 대한 연구는 아직까지 많은 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다[5][10].

기존의 이동통신네트워크에서는 무선채널의 처리용량을 최대화 하는 방향으로 연구가 되어 왔으며, 이에 추가적으로 각 단말들이 경험한 전송속도를 감안하여 형평성(fairness)을 보장하는 방안들로 연구가 이루어져 왔다. 일반적으로 순

방향 스케줄러의 경우는 스케줄링을 통하여 무선자원을 할당하고자 하는 목표 단말을 선택할 때, 해당 단말에게 전송할 트래픽 버퍼의 상태, 지금까지 해당 단말이 실제 지원받은 전송속도, 그리고 현재 단말의 무선링크 품질 상태를 인자로 순방향 자원에 대한 스케줄링을 수행하였다. 기본적으로 무선채널의 처리용량을 극대화하는 것을 목표로 하면서, 무선링크의 품질이 열악한 단말에 대해서 최소한의 전송속도를 보장하는 방향으로 fairness를 감안하는 방식으로 연구되어 왔다. 역방향 스케줄러에 대한 연구도 이와 다르지 않게 처리용량을 가장 중요한 성능지표로 연구가 되어 왔다[6][7][8].

역방향 전송 경우는 무선채널 스케줄러가 위치한 기지국에서 단말 버퍼상태를 알 수 없기에, 단말에서 기지국으로 역방향 버퍼 상태를 알리는 절차가 필요하다. 3GPP LTE에서 단말이 역방향 버퍼 상태를 기지국에 알리는 Buffer Status Report (BSR) 메시지가 그림 1에 나타나 있다[9].

단말은 복수의 논리채널을 지원할 수 있기에, 특정의 채널에 대한 버퍼크기를 알리는 메시지는 그림 1의 (a)와 같으며, 논리채널(그룹)을 식별하기 위한 Logical Channel Group ID (LCG ID)를 포함한다. 4개의 채널(그룹)에 대한 버퍼의 상태를 알리기 위해서는 그림 1의 (b)와 같은 메시지를 사용하며, 그림에서는 총4개에 대한 버퍼 상태를 알리고 있다. 그러나 이러한 방안들의 경우는 단순하게 역방향으로 전송할 트래픽의 버퍼 크기만을 알려주기 때문에, 전송할 역방향 트래픽이 음성/동영상과 같은 실시간성 서비스인 경우, 해당 서비스의 지연특성을 동적으로 기지국의 스케줄러에 전송하는 방안이 없었다.

0	1	2	3	4	5	6	7
LCG ID		Buffer Size					

(a) BSR Short Format

0	1	2	3	4	5	6	7
Buffer Size #1						Buffer Size #2	
Buffer Size #2				Buffer Size #3			
Buffer Size #3		Buffer Size #4					

(b) BSR Short Format

그림 1. 3GPP LTE BSR 포맷
Figure 1. 3GPP LTE BSR Format

이를 개선하고자 참고문헌 [9]에서는 지연요구사항을 만족하기 위한 역방향 스케줄링 알고리즘을 제안하였으며, 식 (1)과 같이 표현된다. 스케줄러는 스케줄링 시점에서 각 단말에 대한 다음의 값을 계산하고, 가장 큰 값을 가지는 단말부터 우선적으로 처리하게 된다. 기존 방안은 단말의 내부에 서

로 다른 특성을 가지는 응용 서비스가 복수로 존재하고, 해당 서비스에 대한 버퍼 상태까지 파악하여 스케줄링 하는 것을 목표로 하였으나, 본 논문에서는 설명의 용이성을 위하여, 단말이 하나의 서비스를 지원하여, 하나의 버퍼만을 가지는 경우로 가정하여 설명을 한다. 즉, 아래 수식에서 j는 단말 혹은 단말 내에 복수의 서비스가 서로 다른 독립적인 버퍼를 가지면 해당 버퍼의 서비스를 식별하는 인덱스 이지만, 본 논문에서는 설명의 용이성을 위하여 j가 단말에 1:1로 매칭 되는 것으로 설명한다. 이는 기존방안과 제안방안의 설명에서 모두 동일한 의미를 갖는다.

$$g_j W_j(t) \dots\dots\dots (1)$$

식에서 $W_j(t)$ 는 단말 j의 Head-Of-Line (HOL) 패킷 지연을 의미한다. $ij(t)$ 는 단말의 동적인 무선링크 채널특성을 감안하여 산출한 현재 시점에서의 가능한 무선전송속도를 의미한다. g_j 는 양수의 상수 값으로서, aj/cj 로 나타내어지고, q_j 는 단말 j의 평균 데이터 레이트를 나타내며, aj 는 $aj = -(\log dj)/Tj$ 로 나타내어진다. dj 및 Tj 값과 관련해서, 단말이 요구하는 지연 요구사항은 일반적으로 식(2)와 같이 정의된다. Wi 는 단말 i의 패킷지연을 의미하며, Ti 는 지연의 임계치 값, 그리고 di 는 지연 임계치의 초과에 대한 최대 확률 값을 정의한다.

$$Pr \{W_i > T_i\} \leq d_i \dots\dots\dots (2)$$

기존방안은 성능평가를 통하여 단순하게 버퍼 상태만 보고한 기존의 역방향 스케줄러 대비 지연 값을 함께 고려하는 경우의 성능이 우월함을 보였다. 기존방안들의 문제점을 고려하면, 지금까지의 이동통신네트워크가 음성의 경우는 안정적인 회선 채널이 별도로 있고, 긴급한 911류의 통화도 모두 회선 채널로 이루어져 왔으며, 패킷 채널의 경우는 주로 웹, Email, 파일전송과 같이 긴급하거나 고신뢰성을 요구하는 서비스를 지원하지 않았다는 점에서 문제가 발생한다. 고신뢰성은 특정 트래픽이 무선링크의 상태 혹은 단말의 위치와 상관없이 반드시 무선채널을 통하여 전송이 이루어져야 하는 것을 의미한다.

차세대 무선통신의 핵심 이슈인 MITC의 스마트미터링을 예로 든다면, 스마트미터링 기기와의 통신을 수행하는 목적은 사람이 미터링 기기가 장치된 곳을 방문하지 않고 원격지에서 이동통신으로 자동 검침을 하겠다는 것이다. 따라서 가장 중요한 성능 지표는 “정해진 종료시점까지, 반드시 스마트미터 기기의 수치를 읽어내야 한다.”는 점이다. 이는 기존 방안에서는 무선채널 처리용량의 극대화를 위하여 무선채널이 안 좋은 단말을 낮은 우선순위로 처리하거나 아예 처리하지 않던 점에 비교하

면 완전히 다른 요구사항이다. MTC 기기들은 대부분 기기의 설치된 위치 혹은 무선품질 상태가 열악하더라도 과금을 위해서는 정해진 시점까지 반드시 통신이 이루어 져야 한다. MTC 기기가 아닌 다른 사례로는 회선 음성 통신을 지원하지 않는 순수 패킷 네트워크(예를 들면 LTE 단독 망)에서도 역방향으로 전송하고자 하는 정보가 공공의 안전을 위한 긴급성 서비스로서 해당 단말의 위치가 음영지역으로 품질이 열악하더라도 우선적으로 통신이 이루어져야 하는 요구사항이 정의된다. 이는 911과 같은 긴급 음성 서비스가 Voice over IP (VoIP)로 이동통신네트워크에서 제공되는 경우에도 마찬가지이다.

따라서 향후 MTC 기반의 이동통신네트워크가 활발해 지는 상황과 역방향 전송도 회선 통신이 제거되고 순수하게 패킷 통신으로만 서비스가 제공되는 경우에서의 공공안전, 긴급 통화 그리고 일반적인 음성 서비스가 열악한 무선품질에서 제공되는 경우에서도 해당 서비스의 안정적인 품질 보장을 위한 고신뢰성 역방향 스케줄링 기술이 필요하다.

III. 제안하는 역방향 스케줄링 알고리즘

제안방안은 역방향 무선통신 전송을 위하여 무선채널 처리 용량 증대, 그리고 역방향 전송버퍼의 지연 값을 고려한 실시간 서비스의 품질 개선을 주목적으로 이루어진 기존 연구에 추가하여 무선단말의 위치와 무선링크 품질에 독립적인 고신뢰성 전송이 가능하도록 하는 것에 목표를 두었다. 제안하는 역방향 스케줄링 기술은 기존 방안과 비교하여 두 가지 기술 개선 사항을 제안한다. 첫째는 2장의 기존 방안과 같이 버퍼에 있는 트래픽의 지연 시간을 스케줄링에 반영하는 것에서 나아가, 트래픽의 지연 임계치 값에 비교하였을 때, 버퍼의 트래픽이 경험하고 있는 지연이 얼마나 급박한 것인가를 스케줄링 동작에 반영하는 것이다. 둘째는 단말에서 역방향으로 전송할 트래픽에 대한 고신뢰성 요청정보를 제공하면, 기지국에서 해당 고신뢰성 요청 정보에 대한 우선순위 조정을 스케줄러에 감안하는 것이다.

1. 역방향 전송요청 메시지 구조

제안하는 방안에서 역방향 전송요청을 위하여 단말이 기지국으로 전달하는 메시지의 구조가 그림 2에 나타나 있다. 현재의 3GPP LTE BSR 메시지 구조인 그림 1과 비교하여, 제안하는 방안에서는 각 논리채널(그룹)에 대해서 임계치 값에 대비하여 해당 버퍼의 지연이 상대적으로 얼마나 긴급한지를 나타내는 Graded Delay (GD) 필드가 있으며, 단말의

위치나 무선링크 품질에 상관없이 고신뢰성이 보장되어야 한다는 의미의 Enhanced Reliability (ER) 필드가 포함된다. GD 필드는 7비트로 정의하며, 의미상으로는 1~100의 유효 값을 가진다. ER 필드는 0/1의 이진 값을 가지는 1비트로 정의하여, 고신뢰성을 요청/미요청 하는 것을 의미한다. 그림 2의 (a)는 단말내의 특정 논리채널(그룹)에 대한 보고를 나타내며, (b)와 같이 단말 내에 여러 서비스가 있고, 각각에 대한 개별 정보를 하나의 메시지로 묶어 보내는 경우는 복수의 GD/ER 필드를 각 논리채널(그룹)에 대해서 연속 정의한다.

0	1	2	3	4	5	6	7	
LCG ID		Buffer Size						Octet 1
Graded Delay							ER	Octet 2

(a) Extended BSR Short Format

0	1	2	3	4	5	6	7	
Buffer Size #1						Buffer Size #2		Octet 1
Buffer Size #2				Buffer Size #3				Octet 2
Buffer Size #3		Buffer Size #4						Octet 3
Graded Delay #1						ER #1		Octet 4
Graded Delay #2						ER #2		Octet 5
Graded Delay #3						ER #3		Octet 6

(b) Extended BSR Short Format

그림 2. 3GPP LTE BSR 확장 포맷
Figure 2. 3GPP LTE BSR Extended Format

2. Graded Delay 리포트 방안

제안 방안에서 그림 2의 GD 필드의 값은 다음의 식(3)을 통해서 계산한다. 식에서 $W_j(t)$ 는 기존방안의 식(2)에서와 동일하게 단말 j의 Head-Of-Line (HOL) 패킷 지연을 의미한다. E_j 는 단말 j의 지연 임계치 값을 의미한다.

$$GD = W_j(t) / E_j \dots\dots\dots (3)$$

지연 값이 같더라도 지연 임계치가 작은 값의 단말은 지연 임계치가 큰 단말과 비교하여 높은 GD 값을 가진다. 결국 GD는 주어진 지연 임계치 값을 기준으로 보았을 때, 해당 지연 값이 얼마나 긴급한가를 나타낸다.

3. 고신뢰성 전송지원 역방향 스케줄링 방안

제안 방안에서 GD 필드의 값과 함께, 그림 2에서 단말이 전송한 ER 필드를 감안하여 고신뢰성이 요구되는 역방향 전송에 대한 지원을 수행한다. 제안하는 방안의 스케줄러는 식 (4)와 같이 정의한다.

$$g_{vj}(t)r_j(t)(1+ajb_j(t)c(t)) \dots\dots\dots (4)$$

식에서 $v_j(t)$ 는 GD를 반영하여, 단말 j 의 HOL 패킷에 대한 graded delay 지연을 의미한다. g_j 와 $r_j(t)$ 는 기존 방안과 동일하다. 새로 추가한 사항에서 a_j 는 단말 j 가 고신뢰성 역방향 전송을 요청하였는가를 의미한다. 이는 ER 펄드 값과 대응하여 요청/미요청의 의미로 각각 1/0의 값을 가진다. $b_j(t)$ 는 단말 j 가 시간 t 에서 갖는 무선링크의 품질을 보상하는 factor를 의미한다. 다양한 계산방법이 가능하지만, 본 논문에서는 $R_{max}/R_{current}$ 로 정의한다. R_{max} 는 주어진 이동통신네트워크에서 제공할 수 있는 역방향 최대 전송 속도를 의미하며, $R_{current}$ 는 단말 j 가 현재 무선링크의 상태를 감안하여 제공할 수 있는 무선 채널의 전송속도를 의미한다. $c(t)$ 는 이동통신 사업자가 고신뢰성 전송요청을 수락할지 말지에 대한 policy 함수이다. 해당 함수를 도입한 이유는 고신뢰성 전송이 무선채널의 전송용량 성능감소를 야기할 수 있으므로, 이동통신네트워크를 운영하는 사업자 입장에서 지원 여부를 동적으로 조절할 필요가 있기 때문이다. 이동통신 사업자가 항상 고신뢰성 역방향 전송을 지원하고자 한다면, 해당 함수는 항상 1의 값을 돌려주며, 다음의 식(5)처럼 특정 시간에서만 지원하는 방안도 가능하다.

$$c(t) = 1.0, \text{ if } T_{StartER} < T_{Current} < T_{EndER},$$

$$= 0.0, \text{ others.}$$

..... (5)

식(4)처럼, 이동통신 사업자는 고신뢰성 역방향 전송을 특정 시간대에서만 동작하도록 할 수 있으며, 이의 적용 예를 고려해 보면, 스마트미터링과 같은 MTC 서비스에 대해서 낮에는 다른 Non MTC 서비스들과 공정하게 스케줄링을 받지만, 밤이 되어 인간 사용자들의 통신이 상대적으로 적어지면, MTC 서비스의 지원을 위한 우선순위를 더 높게 적용하도록 가변적으로 구정이 가능하다. 아울러, 매일 밤에 스마트미터링 기기의 정보 수집이 마감되는 특정 등을 감안하여, 평상시에는 스마트미터링 기기가 다른 트래픽과 동일하게 처리되지만, 월말의 경우 고신뢰성의 전송이 가능하도록 조정하는 방안도 가능하다.

IV. 성능평가결과 및 분석

1. 성능 평가 환경

제안하는 방안의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이

션을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 UNIX 운영체제의 Octal Core 컴퓨터에서 C++언어를 통하여 개발하였다. 성능평가는 앞서 2장에서 살펴본 기존 방안과 제안하는 방안에 대해서 이루어 졌으며, 제안하는 방안의 성능평가를 위해서 그림 3의 무선네트워크 환경을 가정하였다. 무선네트워크에는 복수의 Non MTC 단말과 MTC 단말들이 존재한다. 단말들은 본인이 역방향 채널을 통하여 기지국으로 전송할 트래픽이 있으며, 앞서 정의한 역방향 Reporting 절차와 메시지를 통하여 기지국으로 채널 요청을 하고, 기지국은 역방향 스케줄링을 통하여 적합한 단말을 선정한 후, 역방향 Grant 절차를 통하여 선택된 단말에게 트래픽의 전송을 수행하도록 지시한다. 본 성능 평가에서는 역방향 스케줄링 알고리즘의 성능평가 및 기존 방안과의 비교가 주목적이므로, 역방향 Reporting과 역방향 Grant에 따른 메시지 송수신 시간은 고려하지 않는 것으로 가정하였다.

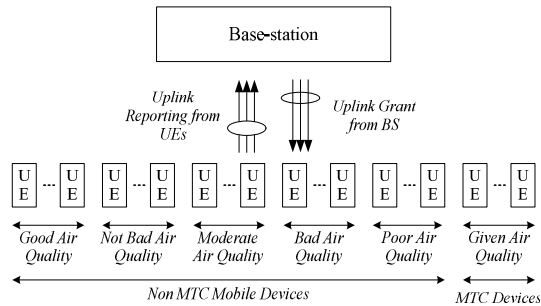


그림 3. 무선네트워크의 컴퓨터시뮬레이션 모델링
Figure 3. Computer Simulation Modeling for Wireless Network

각각의 단말들은 서로 다른 무선링크 품질을 가진다. 무선링크 품질은 각각의 단말의 상태와 위치에 따라 달라진다. 상태는 이동 중이거나 정지 중인 상황이 대표적이며, 위치는 기지국으로부터 근접한 거리에 있거나, 멀리 떨어져 있는 경우, 음영지역에 있는 경우, 혹은 기지국간의 중간 지점에 있는 경우 등을 의미한다. 성능평가에서 각 단말은 5단계로 무선품질을 갖는 것으로 가정하였다. 가장 좋은 무선품질인 상태를 Good으로 하고, 가장 열악한 상태를 Poor으로 정의하여, Good/Not-Bad/Moderate/Bad/Poor의 상태로 구분하였다. 각 상태는 앞서 제안하는 방안의 기지국 역방향 스케줄링 알고리즘에서 사용하는 식(2)의 $r_j(t)$ 값에 대응하는 값을 가지게 되며, 본 성능평가에서는 각 단말들 간의 상대적인 성능을 평가하는 것이 목적이므로, Poor의 상태에서 해당 $r_j(t)$ 값이 1.0인 것으로 가정하고, Good/Not-Bad/Moderate/Bad인 경우의 각 상태를 갖는 단말의 $r_j(t)$ 값이 각각 5.0/4.0/3.0/2.0인 것으로 가정하였다. 해당 상대 값은 WCDMA/

LTE, Mobile-WiMAX 등의 이동통신에서 무선링크의 품질에 따른 최대 전송 속도 및 최소 전송 속도의 상대적인 비율을 감안하여 정의하였다. 본 논문에서는 각 단말들이 고정적인 위치를 갖는 것으로 하였으며, 따라서 해당 단말의 무선링크 품질은 시뮬레이션의 시작시점에서 종료시점까지 동일한 것으로 가정하였다. 이는 제안하는 방안과 기존 방안의 경우 모두가 $r_j(t)$ 값을 통하여 이동 중인 단말의 가변적인 무선링크 품질 변화를 반영하고 있는 점을 감안하여, 고정 상황에서의 두 방안의 성능평가를 통하여 각 방안의 장단점을 보다 명확하게 분석하기 위한 것이다. Non MTC 단말의 경우는 복수의 단말들이 5가지 무선링크 상태를 갖도록 하였으며, MTC 단말의 경우는 하나의 상태로 통일하여 성능 평가를 수행하였다.

성능평가에서의 무선채널은 1 ms의 고정 슬롯으로 동작하는 시분할 방식을 가정하였으며, 최대 전송속도는 무선링크가 상태가 Good인 경우 1 ms 슬롯에서 512 바이트의 전송이 가능하도록 하였다. 기지국에서의 역방향 스케줄링은 무선채널의 고정 슬롯을 할당하기 위하여, 1 ms 단위로 주기적으로 이루어지는 것으로 가정하였으며, 해당 역방향 스케줄링 시점에서 앞서 정의한 스케줄링 알고리즘을 계산하여 무선채널을 사용하도록 허락할 단말을 선정하는 것으로 하였다. 각 단말들은 평균 10 ms 값을 갖는 지수분포의 간격으로 메시지를 생성하도록 하였으며, 생성하는 메시지의 크기는 각 단말의 무선 링크에서 1 ms 시간에 전송할 수 있는 평균 메시지의 크기를 지수 분포로 가지는 방법으로 생성하였다. 예를 들어, Good 무선링크 상태의 단말은 512바이트의 평균 크기를 갖는 지수분포로 메시지가 생성되도록 하였으며, 다른 상태는 해당 크기에 대해서 비례적으로 작은 크기를 갖도록 하였다. 각 단말은 생성한 메시지를 저장할 유한 크기의 버퍼를 독립적으로 가지고 있는 것으로 가정하였다. 단말에서 생성된 메시지는 요구되는 임계치를 초과하면 폐기하는 것으로 하였으며, 본 성능평가에서는 Non MTC 단말이 생성하는 메시지의 경우는 일반적인 웹 서비스에 대한 임계치 요구수준인 600 ms로 하였고, MTC 단말이 생성하는 메시지의 경우는 VoIP 음성 서비스 및 긴급 서비스들에 대한 임계치 요구수준인 100 ms로 하였다. 정해진 임계치를 초과하는 경우는 단말의 버퍼에서 해당 메시지를 폐기하고, 이를 성능평가 결과 계산을 위한 처리율에 반영하였다.

기존 방안과 제안 방안의 성능 비교를 위하여 두 가지 경우를 고려한다. 첫는 Non MTC 단말의 개수가 9개이고, MTC 단말의 개수가 1개인 상황으로서, 4.1에서 살펴본 것처럼 1 ms 고정슬롯이 전체 단말에게 할당이 될 수 있는 상황인 경우이다 (이후 Case 1). 둘째는 Non MTC 단말의 개

수가 10개이고, MTC 단말의 개수가 1개인 상황으로서, 무선채널 대비 더 많은 단말과 메시지가 생성되는 상황이다 (이후 Case 2). 첫째 경우에서 Non MTC 단말 중 5개는 무선링크가 Good 상태이며, 4개는 Poor 상태인 것으로 가정한다. 둘째 경우에는 Non MTC 단말 중 5개는 무선링크가 Good 상태이며, 5개는 Poor 상태인 것으로 가정한다. 두 경우에 있어서 MTC 단말은 성능 비교의 용이성을 위하여 Poor 상태의 무선링크인 1개의 단말로 가정하였다.

2. 성능 평가 결과

제안 방안과 기존 방안에 대해, Case 1과 Case 2 환경의 처리율 (throughput) 결과가 그림 4에 나타나 있다. X축은 역방향 스케줄링 방안을 의미하며, Y축은 처리율을 의미한다. 처리율은 각 단말에서 역방향으로의 전송을 위하여 발생한 메시지를 중에서 성공적으로 역방향을 통하여 전송이 이루어진 메시지의 비율을 의미한다. 임계치를 초과하여 버려지거나 버퍼에 저장되어 아직 전송되지 못한 패킷은 성공적으로 처리되지 못한 것으로 처리율에서 계산한다.

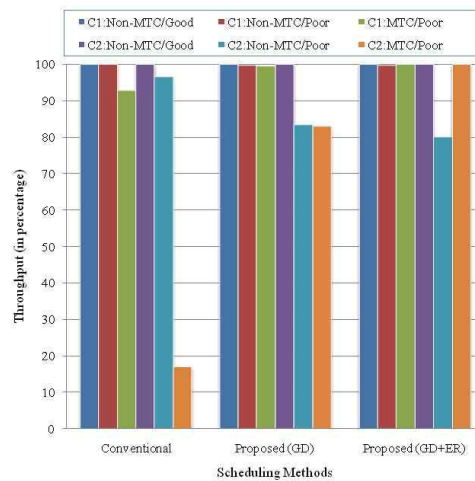


그림 4. 처리율 성능 결과
Figure 4. Throughput Performance Results

성능평가를 수행한 방안에서 Conventional은 기존 방안이다. Proposed (GD: Graded Delay) 방안은 앞서 제안 방안에서 설명한 것처럼, 기존 방안에서 지연시간을 버퍼에 저장된 메시지의 실제 지연시간을 알려주는 것과 다르게, 해당 메시지가 속한 서비스의 임계치 기준에서의 긴급성을 알려주는 방안을 의미한다. Proposed (GD+ER: Graded Delay with Enhanced Reliability) 방안은 Proposed (GD) 방

안에 추가로 역방향 Request 단계에서 단말로부터 기지국이 수신한 해당 메시지가 속한 서비스의 긴급성(혹은 고신뢰성) 정보를 역방향 스케줄링에 반영한 것을 의미한다.

기존 방안의 성능 결과를 보면, Case 1 (C1)의 경우에 있어서, 무선품질이 우수한 Non MTC (Good) 단말들의 경우는 100% 처리가 되며, 무선품질이 좋지 않은 Non MTC (Poor)의 경우도 100% 처리가 된 것을 볼 수 있다. 다만 무선품질이 좋지 않은 MTC (Poor)의 경우 93%의 처리율을 보이는 것을 볼 수 있다. 동일하게 무선품질이 Poor 상태인 Non MTC 단말과 비교하여 MTC 단말이 더 낮은 처리율을 나타낸 이유는 기존 방안의 경우 역방향 스케줄링 과정에서 “메시지가 겪고 있는 지연시간”을 반영하기 때문이다. 즉, Non MTC 메시지의 임계치가 600 ms인 점에 비교하여 MTC 메시지의 경우는 100 ms의 임계치를 갖기에, 동일한 지연시간을 가지는 경우에 상대적으로 MTC 메시지가 임계치를 초과하여 단말 내에서 폐기되는 확률이 더 크기 때문이다. 이는 무선네트워크에서 채널의 용량보다 더 많은 역방향 트래픽이 발생하는 congestion 환경에서, 더욱 큰 성능 저하를 기존 방안의 MTC 단말이 경험하도록 하며, 이에 대한 성능 결과가 Case 2 (C2)의 그래프에 나타나 있다. Case 2의 그래프에서 Non MTC (Good) 단말의 처리율은 Case 1과 마찬가지로 100%를 나타내고 있다. Non MTC (Poor)의 경우는 성능 저하가 일부 발생하여 97%의 성능을 나타내고 있다. 하지만 MTC (Poor)의 경우는 17%로 성능이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 무선네트워크에 순간적 혹은 지속적인 congestion이 발생하면, 전송의 고신뢰성이 필요한 MTC 트래픽의 경우에 있어서 치명적인 성능저하가 발생하는 것을 확인하여 준다.

제안하는 Proposed (GD)의 Case 1 경우에 대한 성능을 보면, Non MTC (Good)과 Non MTC (Poor)의 경우는 기존 방안과 동일하게 100%의 처리율을 보이는 것을 볼 수 있다. 하지만 MTC (Poor)의 경우는 기존방안에서 93%의 처리율을 보인데 비교하여, 100%의 처리율을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 제안하는 Proposed (GD) 방안이 역방향 스케줄링 시에 메시지의 지연시간 자체 보다는 메시지가 경험한 지연시간이 임계치를 고려할 경우 긴급한 것인지 아니면 여유가 있는 것인지를 알 수 있는 특징에 기반을 둔다. 제안하는 방안에서는 같은 지연시간을 갖는 Non MTC (Poor)와 MTC (Poor) 단말 중에서 임계치 대비 긴급한 MTC (Poor)를 먼저 서비스 하게 되므로 MTC (Poor)의 처리율은 향상되게 된다. 무선네트워크의 순간 혹은 지속적인 congestion을 가정한 Case 2의 경우에 대해서도, 제안하는 방안에서의 MTC (Poor) 단말은 기존 방안의 17% 대비 83%의 처리율을 나타내게 된다. 하지만, 무선채널의 용량 대비 과부하가

발생한 상태이기에, MTC (Poor)의 처리율 향상은 역방향 스케줄링 시점에 경쟁 상대인 Non MTC (Poor) 단말의 성능 저하를 야기하게 되며, 이 경우 기존 방안에서의 97% 대비 83%로 처리율이 낮아지게 된다.

제안하는 방안에서 Proposed (GD+ER)의 성능 결과를 보면, Case 1의 경우는 Proposed (GD)와 동일하게 모든 단말 타입에 대해서 동일하게 100%의 처리율을 보여 주고 있다. Case 2의 경우에서도 Non MTC (Good)은 100%의 처리율을 유지하고 있는 것을 보여준다. 하지만 MTC (Poor)에 대한 우선순위가 경쟁 상대인 Non MTC (Poor)보다 높게 설정되기 시작하면서, MTC (Poor)의 경우는 100%의 처리율을 보여준다. 이는 제안하는 Proposed (GD+ER) 방안이 네트워크의 과부하 상태에서도 고신뢰성을 요구하는 트래픽에 대해서 성공적으로 서비스가 이루어지고 있음을 보여준다. 하지만, 이에 대한 단점으로서 MTC (Poor)와 경쟁 대상인 Non MTC (Poor)의 처리율은 앞서 Proposed (GD)에서의 83%에서 80%으로 소폭 저하 된다.

앞서 설명한 그림 4에 대해서 지연 성능을 나타낸 그래프가 그림 5에 나타나 있다. 지연 성능은 처리율에 반영됨, 즉 성공적으로 기지국으로 전송이 이루어진 트래픽들의 평균 지연 시간을 산출한 것이다.

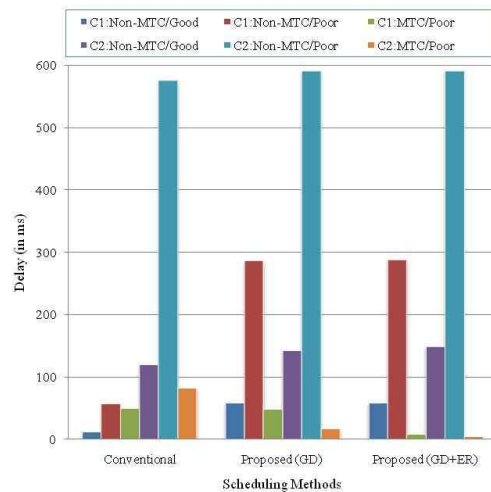


그림 5. 지연 성능 결과
Figure 5. Delay Performance Results

기존 방안의 Case 1와 Case 2에서, Non MTC (Good)의 지연이 Non-MTC (Poor) 보다 항상 작은 것을 볼 수 있으며, 이는 처리율에서도 나타나듯이 역방향 스케줄러가 Non MTC (Good)을 우선적으로 처리하기 때문이다. MTC (Poor)의 경우는 Case 1의 경우는 Non MTC (Poor) 보다

작은 지연을 보이고, Case 1의 경우는 Non MTC (Good) 보다도 작은 지연을 보이는 데, 이는 각각의 경우에 MTC (Poor)의 처리율이 93%, 17%으로 많은 량의 트래픽이 임계치를 넘어서 폐기 된 이유로 낮아 보이게 된 것이다.

제안한 Proposed (GD)의 지연에서, Non MTC (Good)의 지연은 기존 방안과 마찬가지로 항상 Non MTC (Poor) 보다 우수하다. 아울러 MTC (Poor)의 경우는 Case 1과 Case 2 모든 경우에 있어서 가장 낮은 지연을 보이고 있으며, 이는 Proposed (GD)의 방안이 임계치에 기반을 두어 긴급성이 요구되는 MTC (Poor)의 스케줄링에 가중치를 둔 점에 기인한다. Propose (GD)와 기존 방안의 지연 성능을 비교하면, 제안하는 방안이 제한된 무선채널에 대해서 MTC (Poor)의 서비스에 우선순위를 두고 동작하였기에, 상대적으로 우선순위에서 낮아진 Non MTC 단말들의 트래픽에 대한 지연 시간은 기존 방안 대비 증가한 것을 볼 수 있다.

제안한 Proposed (GD+ER)에서 지연을 보면, Non MTC 단말들의 트래픽은 Proposed (GD)의 경우와 거의 동일한 수준을 보이며, MTC (Poor)의 지연이 소폭 개선된 것을 볼 수 있다. 이는 수치상으로 Proposed (GD)에서의 Case 1과 Case 2의 MTC (Poor)에 대한 평균 지연이 각각 48 ms, 17 ms 이었으나, 9 ms, 5 ms로 향상된 수준이다.

각 단말 별로 데이터 레이트를 계산한 성능 결과가 그림 6에 나타나 있다. 데이터 레이트는 해당 단말이 성공적으로 전송에 성공한 트래픽의 량을 전체 시뮬레이션 시간으로 나눈 값으로, 해당 단말의 평균적인 전송속도를 의미한다.

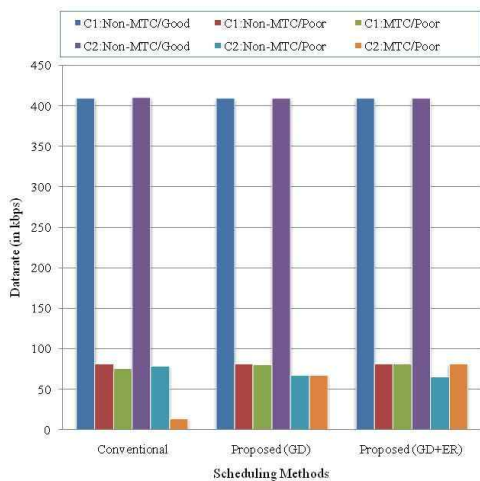


그림 6. 전송속도 성능 결과
Figure 6. Datarate Performance Results

앞서 4.1에서 가정한 것처럼, 각 단말은 무선링크 품질에

따라서 다른 무선채널 전송속도를 갖게 된다. 그림 6에서 Non MTC (Good) 단말은 410 kbps 수준의 전송 속도를 모든 방안과 환경에서 제공 받은 것을 볼 수 있다. Case 1의 경우에 있어서 기존 방안에서의 Non MTC (Poor) 단말은 모든 방안에 대해서 82 kbps 수준의 전송 속도를 나타내었으나, Case 2의 경우에 있어서 기존방안/Proposed(GD)/Proposed(GD+ER)에 대해서 각각 79 kbps, 68 kbps, 65 kbps로 점차 성능 저하가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 MTC (Poor)의 성능 향상을 위하여 사용된 것으로서, MTC (Poor)의 경우 Case 2에 대해서 기존방안/Proposed(GD)/Proposed(GD+ER)에 대해서 각각 14 kbps, 68 kbps, 82 kbps로 성능이 증가함을 볼 수 있다. 추가로 그림 6에서 볼 수 있는 것 한 가지 사항은, 제안하는 방안이 MTC 단말에 대해서 경쟁 대상인 Non MTC 단말 대비 보다 우선적으로 스케줄링이 이루어지도록 하지만, 해당 무선단말이 지원할 수 있는 무선링크의 전송속도를 높이지는 않는다는 점이다.

앞서 식(5)와 같이, 단말에서 요청되는 고신뢰성 전송을 역방향 스케줄러가 항상 지원하지 않고 시간대를 정하여, 해당 시간대에서만 지원하는 방식에 대한 결과가 그림 7에 나타나 있다. 그림 7은 Case 2의 환경에 대해서 시뮬레이션 시간이 20,000초가 되는 시점에서 고신뢰성 전송을 허용하는 식(5)의 값을 1.0으로 하고, 그 외의 시간에서는 0.0으로 설정한 경우이다. 그림 7은 단말 타입별 처리율을 나타낸 것으로서, MTC (Poor) 단말에 대한 고신뢰성 전송이 허용되는 20,000초 부분부터 MTC (Poor) 단말의 처리율이 향상되기 시작하다가, 종료시점인 80,000초를 지나면서, 같은 상태의 Non MTC 단말과 유사한 성능으로 돌아가는 것을 볼 수 있다. Non MTC (Poor)는 MTC (Poor)와 동일한 수준의 처리율을 보이다가, MTC (Poor)에 대한 고신뢰성 전송이 시작되면 소폭으로 성능 저하가 발생한 후, 고신뢰성 전송이 종료되면 다시 성능이 향상되어 MTC (Poor)와 동일한 처리율을 보이는 것을 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 무선네트워크 환경에서의 역방향 스케줄러에 대해서 다루었다. 기존의 방안들이 대부분 사람이 사용하는 웹 서비스 등의 성능 지향 서비스에 대해서 무선 채널의 전송 속도와 용량 개선을 목표로 연구되어 왔다면, 제안하는 방안은 최근 본격적으로 표준화와 연구가 시작되고 있는 machine 중심 MTC 통신 환경에서 무선채널이나 단말위치에 상관없이 고신뢰성의 서비스를 제공하는 방향으로 역방향

스케줄링 방안을 연구하였다.

성능 평가를 통하여 제안하는 방안과 기존 방안의 장단점을 분석하였다. 무선네트워크의 채널 부하 상태가 과부하 상태가 아니라면, 제안하는 Proposed (GD) 방안을 역방향 스케줄러에 적용하는 것만으로도 고신뢰성을 필요로 하는 MTC 트래픽의 요구사항을 만족시킬 수 있다. 하지만 고신뢰성이라는 의미가 네트워크의 상황에 상관없이 발생하는 트래픽의 전송이 반드시 성공적으로 이루어 져야 하는 수준으로 요구된다면, Proposed (GD) 만으로는 부족하며, Proposed (GD+ER) 방안의 적용이 필요하다.

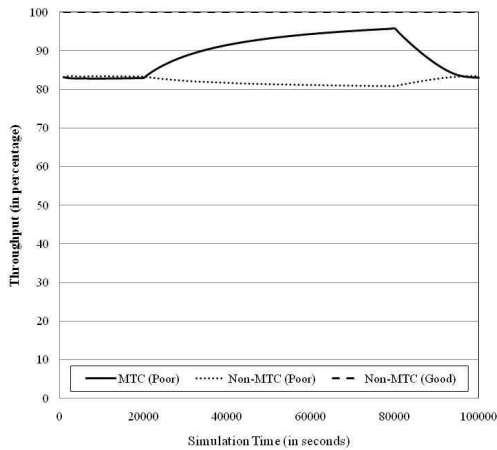


그림 7. 시간대별 고신뢰성 역방향전송 성능 결과
Figure 7. Enhanced Reliability Performance Results for Uplink Transmission varied by Time Sequence

제안하는 방안이 고신뢰성의 MTC 트래픽을 지원할 수 있는 장점을 가지지만, 이에 대한 단점은 경쟁이 되는 Non MTC 단말의 트래픽 처리에 있어서 MTC 트래픽 보다 낮은 우선순위를 주기에 발생하는 Non MTC 단말의 성능 저하이다. 앞서 그래프에서 보았듯이 무선네트워크가 과부하 상태가 아니라면 단순히 경쟁이 되는 Non MTC 단말의 트래픽에 지연이 증가한 수준이 되겠지만, 과부하 상태에서라면 경쟁이 되는 Non MTC 단말의 처리율 저하가 발생할 수 있다.

제안하는 방안은, 인간 중심의 기술 및 시장의 한계로 애로를 겪고 있는[11], 현재의 이동통신 서비스가 MTC의 원활한 서비스를 위하여 발전할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것으로 사료된다. 아울러 MTC 서비스 외에도, LTE와 같이 순수 패킷 네트워크에서 열악한 무선채널을 갖는 단말의 안정적인 패킷음성서비스와 공공안전서비스의 지원을 위한 방안으로서도 적용이 가능하다. 본 논문은 트래픽을 전송하는 베어러평면(bearer plane)에 대한 연구를 진행하였지만, 추후

연구에서는 역방향 Request와 Grant를 위한 제어평면(control plane)에 대한 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] National Institute of Science and Technology (NIST), "NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards Release 1.0 (Draft)," September 2009.
- [2] 3GPP TR 23.888, "System Improvements for Machine Type Communications," March 2010.
- [3] 3GPP TS 22.368, "Service Requirements for Machine Type Communications," April 2010.
- [4] OPENmeter Project, <http://www.openmeter.com/>
- [5] Hyung G. Jyung, Junsung Lim, and David J. Goodman, "Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission," IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol.1, Issue.3, pp.30-38, September 2006.
- [6] Luis Angel Maestro Ruiz de Temino, Gilberto Berardinelli, Simone Frattasi, and Preben Mogensen, "Channel Aware Scheduling Algorithm for SC-FDMA in LTE Uplink," Proc. of Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp.1-6, 2008.
- [7] Ian C. Wong, Oghenkome Oteri, and Wes McCoy, "Optimal Resource Allocation in Uplink SC-FDMA Systems," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.8, No.5, pp.2161-2165, May 2009.
- [8] Khalid Elgazzar, Mohamed Salah, Abd-Elhamid M. Taha, Hossam Hassanein, "Comparing UplinkSchedulers for LTE," Proc. of the 6th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, pp.189-193, 2010.
- [9] Pradap K V, Vinod Ramachandran, and Suresh Kalyanasundaram, "Uplink Buffer Status Reporting for Delay Constrained Flows in 3GPP Long Term Evolution," Proc. of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp.1-6, 2009.

- [10] 남재현, “다중 무선 에드혹 네트워크에서 불공정 문제를 해결하기 위한 802.11 MAC 프로토콜,” 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 12권, 제 6호, 229~234쪽, 2007년 12월.
- [11] 윤중수, “휴대인터넷(WiBro) 서비스의 주요성공요인에 관한 연구,” 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 14권, 제11호, 233-245쪽, 2009년. 11월.

저 자 소 개



이 성 원
 1994년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 (학사).
 1996년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 (학사).
 1998년 : 경희대학교 컴퓨터공학과 (박사).
 1999년 ~2008년 :
 (주)삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
 2008년~ 현재 :
 경희대학교 전자정보대학 컴퓨터공학과 조교수.
 관심분야 : 이동통신, 무선접속제어프로토콜, MTC/M2M, 통신서비스, 통신프로토콜



정 광 렬
 1997년 : 경희대학교 학사.
 1999년 : 경희대학교 석사.
 1999년~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원.
 관심분야 : 4세대이동통신 시스템, 무선자원제어 프로토콜, 매체접속제어 프로토콜, 이동단말



박 애 순
 1987년 : 충남대학교 학사.
 1997년 : 충남대학교 석사.
 2001년 : 충남대학교 박사.
 1988년~ 현재 :
 한국전자통신연구원 책임연구원.
 관심분야 : 4세대이동통신 시스템, 버티컬 핸드오버, 이동단말, 이동 통신 프로토콜