

LTE 멀티미디어 데이터를 위한 패킷 스케줄링 알고리즘에 관한 연구

레탄투안*, 유대승*, 김형주*, 진광자*, 장병태*, 노승환**

A Study on Packet Scheduling for LTE Multimedia Data

Le Thanh Tuan*, Daeseung Yoo*, Hyungjoo Kim*, Gwangja Jin*, Byungtae Jang*,
Soonghwan Ro**

요약

Long Term Evolution(LTE) 시스템은 멀티미디어 서비스와 같은 다양한 서비스를 이동 사용자에게 제공할 수 있다. 실제로 HSPA+(High Speed Packet Access plus)는 다운링크의 비트 율(bit rate)을 크게 향상시켰으나, 다양한 멀티미디어 서비스에서 요구하는 서비스 품질을 어떻게 만족시킬 것인가에 대한 연구는 매우 미비한 상태이다. 본 논문에서는 proportional fair(PF) 알고리즘을 기반으로 하여 LTE를 위한 효율적인 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서는 패킷 스케줄링을 할 때 패킷의 우선순위를 결정하는 가장 중요한 요소인 트래픽 클래스의 가중치와 순간 사용자 데이터 전송율을 최적화 하였다. 또한 다중 셀(multi-cell) 환경에서 LTE를 통해서 사용자에게 전송되는 멀티미디어 트래픽을 시뮬레이션 함으로써 제안된 알고리즘의 성능이 향상되었음을 보였다.

Key Words : LTE, 패킷 스케줄링, Proportional Fairness(PF), Max C/I, 멀티미디어 트래픽

ABSTRACT

The Long Term Evolution (LTE) system is already able to provide a background of variety services for mobile users with multimedia services such as audio, video, and data. In fact, the High Speed Packet Access plus (HSPA+) solution can greatly enhance bit rates on down-link. However, the supporting for multimedia applications with different QoS (Quality of Service) requirements is not devised yet. Hence, in this paper we propose an effective packet scheduling algorithm based on Proportional Fairness (PF) scheduling algorithms for the LTE. In this proposed packet scheduling scheme, we optimized instantaneous user data rates and the traffic class weight which prioritize user's packets. Finally, we evaluated and showed the performance of the proposed scheduling algorithm through simulations of multimedia traffics being transmitted to users over LTE links in a multi-cell environment.

I. 서론

LTE[1]는 3GPP(Third Generation Partnership

Project)에서 4G 무선 통신 시스템을 제공하기 위해 개발된 무선 접속 기술이다. LTE에서 다운링크는 OFDMA 기술을 사용함으로써 각 사용자에게 필요

※ 본 연구는 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음.
[KI10038619, 해상 에드혹 네트워크 기반 선박 안전운항 솔루션 개발]

♦ 주저자 : 공주대학교, tuanlt@kongju.ac.kr, 준회원

* 한국전자통신연구원, ooseyds@etri.re.kr, 정희원 kimhj@etri.re.kr, 정희원, gjjin@etri.re.kr, 정희원, jbt@etri.re.kr

** 공주대학교, rosh@kongju.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-06-277, 접수일자 : 2012년 6월 11일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 5일

한 대역, 현재의 부하(load) 및 시스템의 설정에 의해서 사용 가능한 대역(서브캐리어 그룹(sub-carrier group))을 할당 받는다. LTE 네트워크는 무선과 관련된 기능을 수행하는 eNodeB 만으로 구성되어 있으며, RRM(Radio Resource Management)[1]은 무선 자원관리 기능을 담당한다. 패킷 스케줄링(Packet Scheduling)은 RRM 기능 중의 하나이며 무선 자원에서 적절하게 사용자 패킷을 사용할 수 있도록 선택하게 하는 기능을 수행한다.

LTE의 패킷 스케줄링 동작은 시스템의 용량을 최대화함과 동시에 QoS를 보장할 수 있는 핵심 역할을 한다. 패킷 스케줄링 알고리즘의 목적은 무선 자원의 각 서브 프레임(sub-frame)을 서로 다른 사용자에게 할당함으로써 제한조건을 고려했을 때 처리율(throughput), 지연(dealy)과 같은 측정값들을 최적화하기 위한 것이다.

LTE는 높은 전송율을 지원함으로써 한 사용자에게 다양한 클래스와 지연 및 전송율 제약 조건을 갖는 응용 서비스를 개발하는 것을 가능하게 하였다.

따라서 한 사용자에게 전송되는 패킷의 트래픽 클래스에 대한 스케줄링을 할 필요가 발생하며, 다른 사용자에게 스케줄링하는 문제는 더욱 더 신중하게 고려되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 PF 스케줄링 알고리즘을 기반으로 LTE 링크를 통해서 전송되는 멀티미디어 트래픽에 대한 패킷 스케줄링과 최적화에 대한 연구를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 LTE 다운링크의 동작에 대해서 설명하고, 3장과 4장에서는 PF 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 각각 설명하였으며, 5장에서는 시뮬레이션 결과 설명과 성능에 대한 평가하고 6장에서 결론을 맺는다.

II. LTE 시스템 다운링크 모델

LTE의 다운링크에서 사용자에게 할당되는 자원은 자원 블록(RB : Resource Block)이라고 하는 주파수 도메인과 시간도메인에서 정의 된다.[1][2] 주파수 도메인에서 RB는 전체 180kHz의 대역을 갖는 12개의 연속된 서브 캐리어(sub-carrier)로 구성되며, 시간 도메인에서는 하나의 0.5 ms 간격의 타임 슬롯(time slot)으로 이루어지고, 하나의 타임 슬롯은 7개의 OFDM 심볼로 이루어진다. 패킷 스케줄링은 eNodeB에서 1ms 간격(TTI : Transmission

Time Interval)으로 이루어진다.

본 논문에서는 각 RB에서 사용자가 SINR(Signal to Intefereance and Noise Ratio)와 같은 자신의 채널 상태(channel condition)를 TTI 간격으로 eNodeB에 보고를 한다고 가정한다. 채널 상태는 각 중심 주파수에 위치하는 서브캐리어의 SINR 값에 의해서 결정된다. eNodeB는 수신된 SINR 값에 의해서 각 TTI에서 지원할 수 있는 사용자 트래픽을 RB에 할당한다.

eNodeB에는 각 사용자 단말 트래픽을 저장하는 버퍼를 할당하며, 버퍼에 도착한 패킷에는 타임 스탬프(time stamp)가 찍히고 큐에 저장된다. 스케줄러는 매 TTI 마다 패킷 스케줄링 알고리즘에 의해서 결정된 우선순위가 높은 사용자를 선택해서 각 RB에 할당하고 사용자에게 전달되도록 한다. 그림 1은 일반적인 LTE 다운링크 시스템의 패킷 스케줄링 알고리즘을 보여준다.

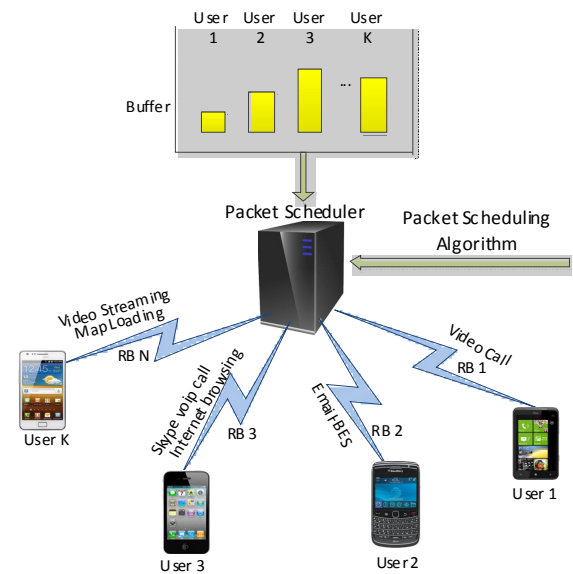


그림 1. 다운링크 LTE의 패킷 스케줄링 모델
Fig. 1. The model of LTE packet downlonk scheduling

III. 연구배경

LTE 패킷 스케줄링에서 전체 시스템 처리율(throughput)만을 최대로 하기 위해서는 C/I(Max C/I : carrier-to-interference) 스케줄링 알고리즘[3]이 가장 효율적이다. 이 방법에 의해서 캐리어 전송율이 가장 높은 사용자에게 패킷을 전달하는 우선 순위가 주어지지만, Max C/I 알고리즘은 C/I가 낮은 사용자에게 공정성(fairness)이 매우 낮다. 이러한 점

을 보완하기 위해 PF 알고리즘이 제안되었다.[4][5]. PF 알고리즘은 채널의 상태가 상대적으로 좋은 사용자에게 우선순위가 주어진다.

Kelly et al [4]은 PF 할당 알고리즘(PF rate allocation algorithm)을 정의하고 대역폭이 일정한 광대역 네트워크에서 대역을 가변적인 트래픽에 할당하기 위해서 효용 함수(utility function)을 사용하였다. 이 알고리즘에서 로그 전송율(logarithmic transmission rate)를 최대화 하면 사용자 간에 PF가 이루어진다는 것이 증명됐다. 그러나 이 알고리즘은 트래픽의 QoS 요구는 고려하지 않고 데이터 율(data rate)만을 고려한다.

PF 스케줄링 알고리즘[5]에서 eNodeB는 TTI 시간에 N RB를 통해서 스케줄 된 사용자 k^* 에게 식 (1)에 따라 트래픽을 전송한다.

$$k^*(t) = \arg \max_{k=1,2,\dots,K} \frac{[R_k(t)]^\alpha}{[T_k(t)]^\beta} \quad (1)$$

위 식에서 $R_k(t)$, $k=1,2,\dots,K$ 는 t번째 TTI에서 k 사용자의 순간 데이터 율이며, $T_k(t)$ 는 평균 처리율이고 식 (2)와 같이 지수 가중 저대역 통과 필터(exponential weighted low-pass filter)를 사용해서 갱신된다.

$$T_k(t+1) = \begin{cases} (1 - \frac{1}{\tau_c})T_k(t) + \frac{1}{\tau_c}R_k(t), & k \in k^* \\ (1 - \frac{1}{\tau_c})T_k(t), & k \notin k^* \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 τ_c 는 윈도우 크기를 나타낸다.

식 (1)에서 $\alpha=0$ 이고 $\beta=1$ 일 때 이 알고리즘은 라운드 로빈 스케줄링이 되며 사용자의 채널 상태와 데이터 율과 상관없이 사용자에게 동일한 서비스를 제공한다. 반면에 $\alpha=1$ 이고 $\beta=0$ 이면 이 알고리즘은 채널 상태가 가장 좋은 사용자에게 대해서 스케줄하고 사용자 처리율을 무시한다. 결과적 모든 사용자가 동일한 채널 상태를 유지한다면 최적의 알고리즘이 될 것이다. 그러나 셀룰라 시스템에서 평균 채널 상태에 따라서 사용자의 SINR이 큰 차이를 보이기 때문에 채널상태가 약한 사용자는 서비스를 받는 못하게 될 수 있다. 이 알고리즘이 시스템의 처리율을 최대화 할 수 있지만 채널이 약한 사용자에게는 매우 불공정(unfairness)하기 때문에 처리율이 매우 낮아지거나 데이터를 전송할 기회를 전혀

받지 못할 가능성이 있다. 분명히 $\alpha=1$ 이고 $\beta=1$ 일 때 PF 스케줄러는 공정성(fairness)와 처리율간에 균형을 이룰 수 있으며, α 와 β 값에 따라서 공정성과 시스템 처리율사이에 균형을 이룰 수 있다. 따라서 본 논문에서는 TTI t에서 사용자 k에 대한 우선 순위에 관한 식을 다음과 같이 다시 정의한다.

$$P_k(t) = \frac{[R_k(t)]^\alpha}{[T_k(t)]^\beta} \quad \text{With } \alpha = \beta = 1 \quad (3)$$

IV. 제안된 PF 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해 PF 스케줄링 알고리즘을 기본으로 하는 WDLM(Weighted Delay and Lagrange Multiplier) 알고리즘을 제안 한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 사용자의 채널 상태를 고려한 다중 사용자인 경우에 매우 유리하다. 또한 최대로 허용이 가능한 지연시간과 같은 서비스 품질의 허용 한계(QoS constraint)를 고려하는 것이 매우 중요하다. 그 뿐만 아니라 본 알고리즘은 허용 가능한 최소 데이터 율과 같은 다른 서비스 품질 요소를 고려할 때에도 쉽게 적용될 수 있다. 제안하는 스케줄링 기법은 도식적으로 설명하는 그림 2와 같다.

4.1. 우선 순위의 결정

한 사용자의 서로 다른 클래스의 우선순위를 결정하는 방법에는 정적 우선순위(static prioritization)와 동적 우선순위(dynamic prioritization) 방법이 있다. 정적 우선순위 방법은 트래픽의 서비스 품질 요구의 정도에 따라서 고정된 순위대로 다른 클래스의 트래픽을 서비스 하는 것이다. 예를 들어서 기지국(base station)에 한 사용자에게 전달될 음성 대화 오디오 트래픽과 소프트웨어 다운로드 트래픽 패킷이 큐에 저장되어 있다면, 소프트웨어 다운로드 패킷이 드롭(drop)된다 하더라도 항상 음성 대화 오디오 패킷이 항상 서비스 될 것이다. 반면에 동적 우선순위(dynamic prioritization)는 다른 클래스의 서비스는 우선순위가 트래픽의 긴급한 정도(urgencies)에 따라서 동적으로 정해진다. 따라서 만일 소프트웨어 다운로드 패킷이 드롭되려고 하면 비록 다른 트래픽에 비해서 요구되는 서비스 품질이 낮더라도 이 트래픽의 우선 순위가 높아지게 된다.

또한 한 사용자는 다른 트래픽 클래스를 가질 수 있으며, 하나의 트래픽 클래스는 동시에 다른 사용자에게 의해서 사용될 수 있다고 가정한다.

제안된 알고리즘은 PF 알고리즘의 복잡도를 증가시키지 않는다는 것을 알 수 있다.

V. 성능평가

본 장에서는 LTE 시스템 시뮬레이터[9]를 사용해서 제안된 WDLM 알고리즘에 대한 성능 평가를 실시하였으며, 멀티미디어 트래픽에 대해서 Max C/I 및 PF 알고리즘과 성능 결과를 비교하였다. 테스트 절차는 시뮬레이션 시나리오를 정하고 결과를 평가하는 순서로 진행되었다.

5.1. 시뮬레이션 시나리오

본 시뮬레이션에서는 LTE 파라미터를 표 1과 같이 정하였다.

표 1. LTE 시스템 시뮬레이션의 시스템 파라미터
Table 1. System parameter of LTE system simulator

파라미터	값
셀간 거리	500m
TTI 간격	1ms
셀 배치	13개 6각 그리드, 3 섹터 셀
트래픽 모델	비디어, VoIP, FTP, HTTP
서브 캐리어/RB	12
리소스 블록 수	25
단말 이동 속도	5Km/h

트래픽 클래스는 RAN R1-070674[10]에 의해 생성되었다.

표 2. 클래스의 QoS 요구
Table 2. QoS requirement of traffic classes

트래픽 클래스	QoS 요구
VoIP 음성 대화	rmin = 64kbps Dmax = 80ms
비디오 스트리밍	rmin = 128kbps Dmax = 150ms
FTP 데이터 다운로드	파일크기 = 10KB ~ 2MB Dmax = 10s

UE(User Equipment)의 이동은 그림 3과 같이 임의로 발생한다.

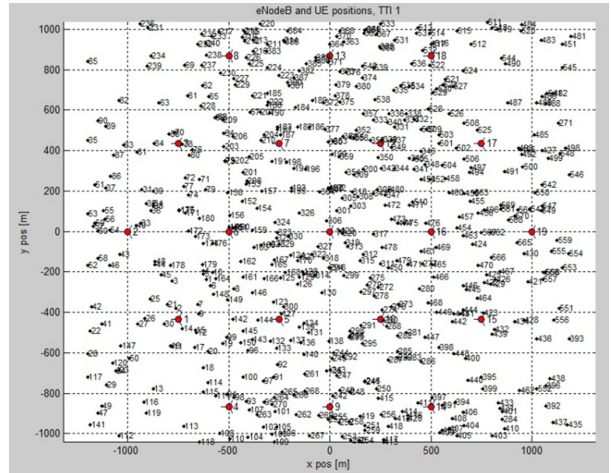


그림 3. TTI 1에서의 UE와 eNodeB 위치
Fig. 3. The position of UE and eNodeB at TTI 1

5.2. 시뮬레이션 결과

멀티미디어 응용 서비스에 대한 WDLM 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 UE의 수를 늘리고 각 UE에서의 서비스 품질을 측정하였다. 각 eNodeB에서 UE에 대해서 제안된 알고리즘을 적용했을 때와 PF, Max C/I 알고리즘을 적용했을 때 다양한 서비스 클래스의 품질을 측정하고 비교하였다.

5.2.1. 평균 처리율

그림 4에는 다른 트래픽 클래스에 대한 한 사용자의 처리율을 보여준다. 결과에서 WDLM의 성능이 다른 알고리즘보다 향상된 것을 알 수 있으며, 특히 셀당 단말의 수가 적을수록 성능이 우수한 것을 알 수 있다. 그 이유는 사용자의 수가 적을 때 Max C/I와 PF 알고리즘은 트래픽의 우선순위를 고려하지 않기 때문에 지연에 의해 많은 패킷이 드롭되기 때문이다.

이 테스트에서 제안된 WDLM은 다른 트래픽에 대해서 가중치를 사용하였으며, 결과적으로 그림 5에서와 같이 다른 알고리즘과 비교했을 때 낮은 BLER(Block Error Rate)을 보여주었다. BLER 값은 데이터 전송의 품질을 측정할 때 주로 사용된다.

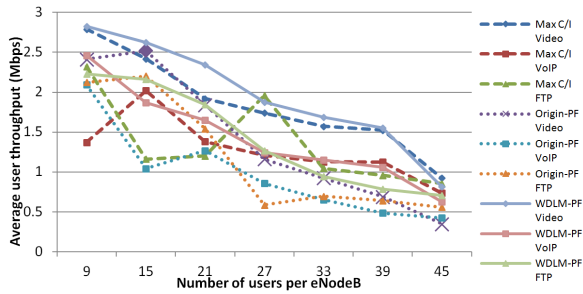


그림 4. 제안한 기법의 평균 처리율 성능 비교
Fig. 4. The throughput of proposed mechanism

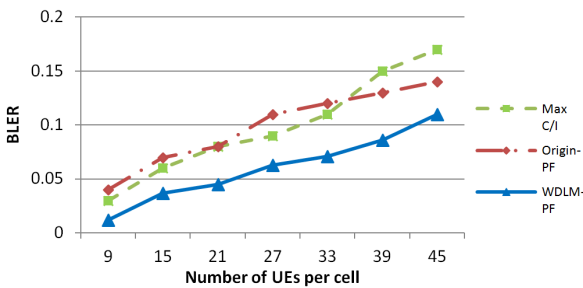


그림 5. 제안한 기법의 BLER(Block Error Rate) 성능 비교
Fig. 5. The BLER of proposed mechanism

5.2.2. Utility level

Utility level은 사용자 데이터 율이 최소 허용 가능한 서비스 율과 같거나 높을 확률로 정의된다. 본 절에서는 제안된 알고리즘이 다른 서비스 사용자에 대해서 얼마나 최소 허용 가능한 데이터 율을 만족하는지 알기 위해서 utility level 성능을 측정하였다. 측정 결과 그림 6과 같이 제안된 알고리즘의 utility level이 다른 알고리즘보다 우수한 것을 알 수 있다. 특히 제안된 WDLM 알고리즘이 셀당 사용자의 수가 증가할수록 utility level이 향상되는 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 알고리즘은 최소 허용 가능한 데이터 율을 만족하면서 멀티미디어 응용 서비스를 지원할 수 있다는 것을 알 수 있다.

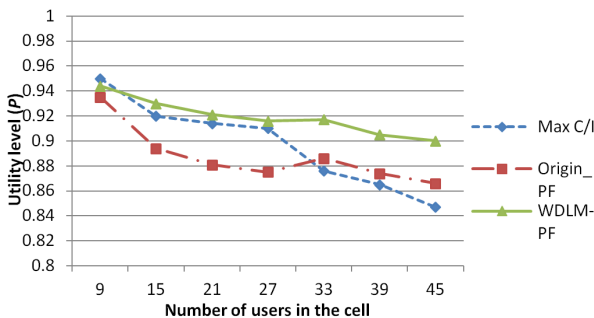


그림 6. 셀당 사용자 수에 따른 utility level
Fig. 6. The utility level vs. number of users in the cell

VI. 결 론

본 논문에서는 PF(Proportional Fairness) 알고리즘을 기반으로 다운로드 LTE 시스템의 패킷 스케줄링 알고리즘 WDLM-PF를 제안하였다. 이 알고리즘은 수신 채널의 상태, 패킷 지연, 데이터 율 및 트래픽 클래스의 서비스 품질을 고려한 우선순위 함수를 기반으로 제안되었다.

또한 우선순위 함수를 위해서 다양한 트래픽 클래스의 가중치와 라그랑즈 승수(Lagrange multiplier)를 적용해 가면서 제안된 WDLM-PF 알고리즘에 대한 성능을 평가하였다. 시뮬레이션에서는 제안된 WDLM-PF 알고리즘과 Max C/I 그리고 PF 알고리즘에 대해서 성능 비교를 하였으며, 제안하는 패킷 스케줄링 알고리즘이 평균 처리율에서 향상된 성능을 보이는 것을 알 수 있었다. 특히 BLER에서는 Max C/I와 PF 알고리즘보다 평균 25%가 개선되었음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Smith, Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld and Per Beming, "3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband," Academic Press, 2007.
- [2] Rohde & Schwarz Products, "UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction," 2007.
- [3] Toni Janevski, and Kire Jakimoski, "Comparative Analysis of Packet Scheduling Schemes for HSDPA Cellular Networks," TELFOR, Belgrade, Nov. 25-27, 2008.
- [4] F. P. Kelly, A.K. Maulloo and D.K.H. Tan, "Rate control in communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 49, pp. 237-252, 1998.
- [5] Farooq Khan, Richardson, "LTE for 4G Mobile Broadband," Cambridge, Mar. 2009.
- [6] Alexander L. Stolyar and Kavita Ramanan, "Largest weighted Delay First Scheduling : Large Deviations and Optimality," *The Annals of Applied Probability*, Vol. 11, No. 1, pp.1 - 48, 2001.
- [7] Shuonan Dong, "Methods for Constrained Optimization," 18.086 Project 2, Spring 2006.

[8] Dimitri P. Bertsekas, "Constrained Optimization and Lagrange Multiplier Methods,(Optimization and neural computation series)," Jan. 1996.

[9] <https://www.nt.tuwien.ac.at/downloads/>

[10] 3GPP TSG-RAN1#48, R1-070674, St. Louis, MIUSA, Feb. 2007.

[11] R. Jain, D. Chiu, and W. Hawe, "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Recourse Allocation in Shared Computer Systems," DEC Research Report TR-301, Sep. 1984.

[12] Shyh-Fang Huang, Eric Hsiao-kuang, Wu and Pao-Chi Chang, "Optimal Adaptive Voice Smoother with Lagrangian Multiplier Method for VoIP Service," Apr. 2006.

[13] The Engine of Broadband Wireless Innovation, a White Paper by the NGMN Alliance, "Next Generation Mobile Networks Radio Access Performance Evaluation Methodology," Jan. 2008.

레탄투안 (Le Thanh Tuan)



2010년 6월 하노이 공과대학 졸업
 2011년 3월~현재 공주대학교 석사과정
 <관심분야> 컴퓨터 네트워크, 이동통신, 임베디드 시스템

유 대 승 (Daeseung Yoo)



1998년 2월 울산대학교 컴퓨터 공학과 졸업
 2001년 2월 울산대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2011년 2월 울산대학교 컴퓨터 공학과 박사
 2009년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> 소프트웨어 공학, 이동 통신, 조선-IT 융합, ad-hoc 네트워크

김 형 주 (HyungJoo Kim)



1997년 2월 전북대학교 제어계측 공학과 졸업
 1999년 2월 전북대학교 전기공학과 석사
 2000년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 <관심분야> 유무선 네트워크, 임베디드SW, IT융합

진 광 자 (Gwangja Jin)



1987년 2월 건국대학교 전자공학과 졸업
 1990년 2월 건국대학교 전자공학과 석사
 1990년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 <관심분야> 위성통신, 센서 네트워크, 조선 IT

장 병 태 (Byungtae Jang)



1989년 2월 서울대학교 대기과 학과 졸업
 1997년 2월 충남대학교 컴퓨터 과학과 석사
 2001년 2월 충남대학교 컴퓨터 과학과 박사
 1989년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 조선 IT, e-네비게이션 시스템, 지능형 자동차.

노 승 환 (Soonghwan Ro)



1987년 8월 고려대학교 전자공학과 공학사
 1989년 8월 고려대학교 전자공학과 공학석사
 1993년 2월 고려대학교 전자공학과 공학박사
 1997년 한국전자통신연구원 초빙연구원

2003년 영국버밍엄 대학교 초빙연구원
 1994~현재 국립 공주대학교 정보통신공학부 교수
 <관심분야> 이동통신, pervasive 컴퓨팅, 임베디드 시스템.