

---

# 실시간 및 비실시간 패킷서비스를 위한 통합 패킷 스케줄링

이은영\* · 박형근\*\*

Integrated Packet Scheduling Algorithm for real-time and non-real-time packet service

Eunyong Lee\*, Hyung-Kun Park\*\*

## 요 약

최근 고속데이터통신방법을 사용하는 3세대 이동통신 서비스가 널리 보급됨에 따라 VoIP와 같은 다양한 실시간 데이터 서비스에 대한 요구 또한 증대되고 있다. VoIP 패킷은 일반적인 데이터패킷과 달리 한계지연시간이 있으며 낮은 손실율을 필요로 한다. 우리는 이러한 VoIP 패킷의 특징을 고려함과 동시에 데이터 패킷과 통합적으로 스케줄링이 가능한 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 알고리즘은 기본적으로 지연시간 및 채널상태를 함께 고려하여 스케줄링 하되 VoIP 패킷이 큐에 머물러 있는 시간이 증가함에 따라 채널상태에 대한 가중치를 줄이고 지연시간에 대한 가중치를 높임으로서 스케줄링 우선권을 할당한다. 실험을 통해 우리는 이 알고리즘이 기존의 방법에 비해 높은 성능을 가지고 있음을 입증할 수 있었다.

## ABSTRACT

Recently, as 3rd-generation mobile communication services using high-speed data rate system are widely employed, the demand for a variety of real-time data services such as VoIP service are also increased. Unlike typical data packets, VoIP packets have delay bound and low loss rate requirement. In this paper we propose a new scheduling algorithm that schedule two deferent kinds of packets efficiently, considering the characteristics of VoIP. Basically this algorithm considers both time delay and channel condition and gives priority depending on the time delay. Simulation results show that the proposed algorithm works more efficiently than conventional algorithms.

## 키워드

packet scheduling, VoIP, proportional fairness, priority, QoS

---

\* 한국기술교육대학교 정보기술공학부 석사과정

접수일자 2008. 11. 24

\*\* 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수, 교신저자

심사완료일자 2008. 12. 16

## I. 서 론

고속 데이터 통신 시스템을 사용하는 3세대 이동통신 서비스가 확대됨에 따라 셀룰러 네트워크에서도 다양한 형태의 데이터 서비스가 가능해지고 있으며 VoIP와 같이 지연시간에 민감한 실시간 데이터 서비스에 대한 요구 또한 증가하고 있다. 특히 All IP기반의 차세대 통신 시스템에서는 음성과 같은 실시간 데이터도 패킷 형태로 서비스 될 것으로 예상되고 있다. 통상적으로 실시간 데이터를 전송하기 위해서 먼저 채널을 예약하여 할당된 채널을 통해 연속적으로 패킷을 전송하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 지연에 민감한 실시간 데이터들을 패킷 스케줄링으로 인한 시간지연이 없이 연속적으로 전송한다는 점에서 높은 서비스의 질을 보장하지만 채널을 효율적으로 사용하지 못한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 예약 기반 방식의 한계를 극복하기 위해 음성 패킷을 일정한 한계지연시간 (delay bound) 내에서 패킷 스케줄링을 통해 채널을 할당하고자 한다.

이제까지 패킷 형태의 데이터를 효율적으로 전송하기 위해 다중사용자 다이버시티와 공정성을 함께 고려한 Proportional Fairness 등과 같은 스케줄링 알고리즘이 사용되어 왔다. 이 방법은 비실시간 데이터 패킷을 스케줄링 하는 데에는 적합한 것으로 알려져 있지만 시간지연을 고려하지 않으므로 VoIP 패킷과 같은 실시간 패킷 스케줄링에는 적합하지 않다. VoIP 패킷은 비실시간 데이터 패킷과는 달리 최소한의 서비스의 질의 보장을 위한 한계지연시간을 가지고 있으며 낮은 손실율을 필요로 하므로 이러한 특징들을 고려한 스케줄링 알고리즘을 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 음성 패킷의 한계지연시간과 채널 상태를 동시에 고려하면서 데이터 패킷도 통합적으로 스케줄링 할 수 있는 새로운 스케줄링 알고리즘을 소개하고자 한다.

먼저 II장에서 본 연구에서 고려한 시스템에 대해 설명한 후 III장에서 스케줄링 알고리즘을 소개하고 이에 대한 성능 분석 및 결과를 IV장에서 논의한 다음 V장에서 본 논문에 대한 결론을 내리도록 한다.

## II. 시스템 모델

하나의 셀에 N개의 사용자를 가진 일반적인 데이터 통신 시스템에서는 기지국에서 매 시간구간 당 하나의 사용자에게 패킷을 전송한다. 기지국은 각 사용자들의 원활한 데이터 흐름을 위한 N개의 큐와 패킷이 전송될 순서를 정할 패킷 스케줄러를 가지고 있다. 사용자는 VoIP 또는 비실시간 데이터 서비스를 사용할 것이므로 각각의 큐도 음성 또는 데이터 패킷을 가지고 있다. 이 시스템을 도식하면 그림 1과 같다[1].

스케줄러는 매 시간구간 마다 스케줄링 알고리즘을 통해 가장 적절한 사용자 세션을 선택하게 되는데 한 시간구간에 자원을 할당받지 못한 패킷들은 스케줄링 시간만큼의 시간지연이 있을 것이다. 음성 패킷의 경우 이러한 지연시간이 특정한 delay bound를 초과하게 되면, 즉 패킷이 한계지연시간에 해당하는 시간 동안 채널을 할당받지 못할 경우 패킷 지연이 발생하여 서비스의 질에 영향을 미칠 것이다.

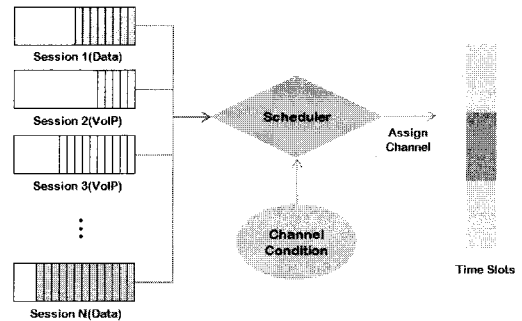


그림 1. 기지국에서의 스케줄링 시스템  
Fig 1. Scheduling system in base station

일반적으로 실시간 패킷의 서비스의 질을 보장하기 위해서는 일정 구간의 채널을 예약하여 실시간 패킷에 할당하는 예약 기반 방식을 사용하나 이는 채널을 효율적으로 활용하지 않으므로 전체 시스템의 성능은 보장할 수 없다. 반면 비실시간 패킷을 효율적으로 스케줄링 하는 비례공정 (Proportional Fairness) 알고리즘은 지연시간에 민감한 실시간 패킷의 특수성을 고려하지 않으므로 실시간 패킷 스케줄링에는 적합하다고 볼 수 없다. 따라서 본 논문에서는 시스템 성능과 서비스의 질을 동시에 지원하는 새로운 스케줄링 알고리즘을 소개하고

자 한다.

### III. 스케줄링 알고리즘

한정된 자원을 여러 명의 사용자에게 효율적으로 할당하기 위해서는 적절하게 전송 순서를 결정하는 스케줄링 알고리즘을 필요로 한다. 이를 위해 현재까지 다양한 방식의 스케줄링 알고리즘이 연구되어 왔지만 본 장에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 비례공정방식 및 예약 기반 방식을 먼저 소개하고 한계지연시간을 고려한 방식을 제안하고자 한다.

#### 3.1 비례공정알고리즘(PF)

비례공정 방법은[2] 아래와 같이 사용자의 채널상태와 지금까지 전송된 평균 데이터 전송률을 고려함으로써 시스템 전체의 성능과 각 사용자에 대한 공정성을 함께 보장하는 알고리즘이다.

$$j = \arg \text{MAX}_i \left( \frac{C_i(t)}{R_i(t)} \right) \quad (1)$$

$C_i(t)$ 는 사용자  $i$ 의 현재 채널 상태,  $R_i(t)$ 는 사용자  $i$ 의 전송된 데이터의 평균 전송률을 뜻한다.

$R_i(t)$ 는 아래와 같이 업데이트 된다.

$$R_i(t+1) = \left(1 - \frac{1}{t_c}\right)R_i(t) + \frac{1}{t_c}C_i(t) \quad (2)$$

$t_c$ 는 low pass filter의 averaging factor이다.

비록 PF 방식이 다중사용자 다이버시티 이득과 각각의 사용자에 대한 서비스의 공정성을 제공함으로써 비실시간 데이터 패킷 스케줄링에 있어서는 효율적이지만 패킷 지연에 대해 고려하지 않음으로써 실시간 서비스를 제공하는데 있어서 한계가 있다.

#### 3.2 예약 기반 방식(Reservation Based: RB)

예약기반 방식은 실시간 데이터와 같은 중요한 데이터의 서비스의 질을 보장하기 위해 무선랜 및 Zigbee 통신 등에서 일반적으로 사용하는 방법이다. 이 방식에서는 그림 2와 같이 채널을 경쟁구간과 비경쟁구간으로 나

누고 실시간 패킷을 비경쟁구간의 채널을 예약하여 할당함으로써 패킷간의 경쟁이 없이 연속적인 전송을 가능하게 한다.

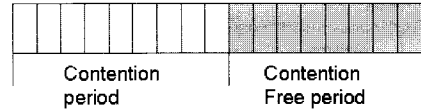


그림 2. 예약 기반 방식의 프레임 구조  
Fig 2. The frame structure in reservation based system

이 방법은 실시간 패킷의 연속적인 전송을 지원함으로써 서비스의 질을 보장하는 반면 채널상태를 고려하지 않기 때문에 전체 시스템의 높은 성능은 보장하지 않는다.

#### 3.3 통합 패킷 스케줄링 알고리즘

VoIP와 같은 실시간 데이터는 QoS 제공을 위한 한계 지연시간을 가지고 있기 때문에 스케줄링에 있어서 지연시간에 대해 고려할 필요가 있다. 따라서 우리는 채널뿐만 아니라 지연시간도 함께 고려하여 음성 패킷과 데이터 패킷을 통합하여 스케줄링 할 수 있는 알고리즘을 다음과 같이 제안하고자 한다. 이 알고리즘은 패킷이 큐에 머무르는 시간이 증가할수록 채널에 대한 비중을 줄이고 지연시간에 대한 비중을 높임으로써 패킷의 지연시간이 커질수록 우선적으로 채널을 할당한다.

$$j = \arg \text{MAX}_i \left( \frac{(D_{bnd} + d_i)d_i + \alpha(D_{bnd} - d_i)C_i}{D_{bnd}(R_i(t)+1)} \right) \quad (3)$$

$$d_i = 0, i \in \text{data session}$$

$$R_i = \bar{R}, \alpha = 1, i \in \text{voice session}$$

여기서  $D_{bnd}$ 는 패킷이 큐에 머무를 수 있는 최대 한계 지연시간,  $d_i$ 는 사용자  $i$ 의 패킷이 큐에 머무른 시간,  $\alpha$ 는 데이터 세션에 가중치를 주기 위한 스케줄링 파라미터,  $\bar{R}$ 는 데이터 세션의 평균  $R(t)$  값을 의미한다.

best effort 방식의 데이터 패킷은 시간지연에 대한 제한이 없으므로  $d_i = 0$ 으로 설정한다. 기본적으로 PF 방식과 같이 수율과 공정성을 고려하되 음성 패킷의 경우 큐

에 머무르는 시간이 증가함에 따라 우선적으로 할당될 확률이 높아진다.

이 알고리즘의  $R_i(t)$  파라미터의 경우 음성 패킷에 대해 다르게 정의될 필요가 있다. 음성 패킷의 경우 데이터 패킷과는 달리 불특정한 시간에 한꺼번에 전송되는 것이 아니라 일정 시간구간 동안 연속적으로 전송되므로 전송된 데이터의 평균 전송률이 크게 의미가 없다. 따라서 이 식에서는 데이터 세션과의 공평한 경쟁을 위해 데이터 세션들의 평균 전송률  $\bar{R}$ 로 정의하였다. 이 알고리즘을 가상의 code로 그림 3과 같이 나타내었다.

```

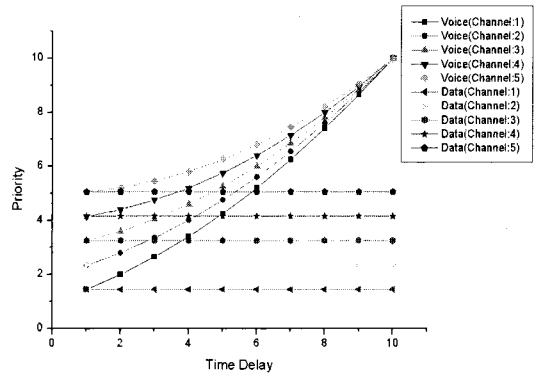
while(slot_num < number of slots)
  X_max = NULL, max = NULL
  for every session i
    if ( session i ∈ voice session )
      di = packet delay of session i
      Ri(t) =  $\bar{R}$ 
    else
      di = 0
      Ri(t) = average transmitted data rate of session i
    if (Ci(t) ≥ C_min & di(t) ≤ Dbnd)
      
$$X_i = \frac{(D_{bnd} + d_i)d_i + \alpha(D_{bnd} - d_i)C_i}{D_{bnd}(R_i(t) + 1)}$$

      if (X_max < X_i)
        X_max = X_i, max = I
  Scheduling selected
  Increase slot_num
  for every voice session i
    Increase di
    
```

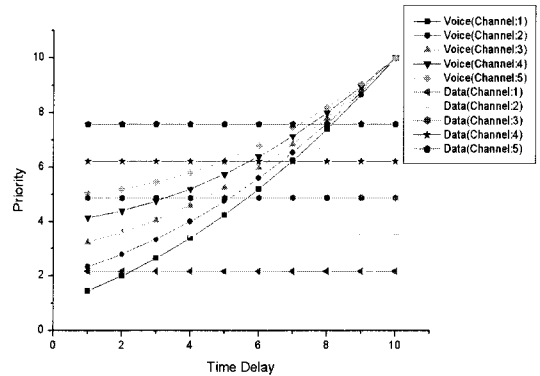
그림 3. 통합 패킷 스케줄링 알고리즘  
Fig 3. The proposed scheduling algorithm

그림 4(a)는 모든 세션의  $R_i(t)$  값이 동일하고 스케줄링 파라미터  $\alpha$ 의 값이 1일 경우, 지연시간과 채널 상태에 따른 음성 및 데이터 세션의 스케줄링 값의 변화를 나타낸다. 여기서 채널의 값이 클수록 채널 상태가 더 좋은 것을 의미한다. 그림을 통해 지연시간이 증가함에 따라 음성 세션의 스케줄링 값은 증가하는 반면, 데이터 세션은 지연시간에 관계없이 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 스케줄링 값은 파라미터  $\alpha$ 의 값을 조정하

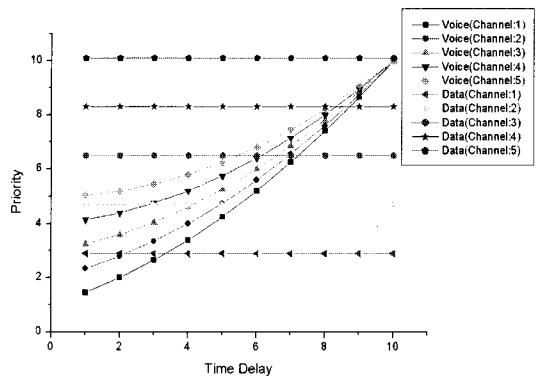
여 데이터 세션에 더 가중치를 줌으로써 그림 4 (b), (c)와 같이 바꿀 수 있다.



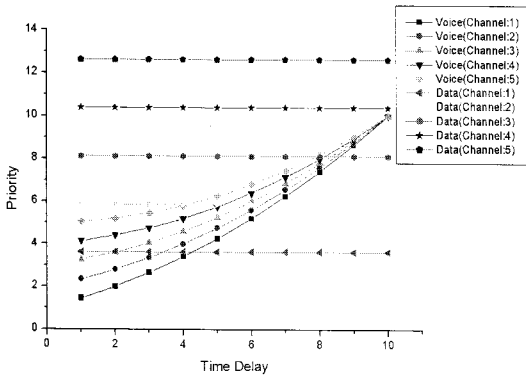
(a)  $\alpha = 1$



(b)  $\alpha = 1.5$



(c)  $\alpha = 2.$



(d)  $\alpha = 2.5$

그림 4. 지연시간에 따른 스케줄링 값의 변화  
Fig 4. Scheduling value according to the time delay

#### IV. 시뮬레이션을 통한 성능분석

시뮬레이션을 위해 우리는 하나의 셀 안에서 사용자 가 균등하게 분포되어 있는 것을 가정하였다. 각 사용자는 일정 시간 간격으로 채널 정보를 전송한다. 채널 모델은 mobility 60km/h, path loss exponent 4의 Rayleigh fading 채널을 가정하고, 1xEV-DO 네트워크 모델과[2][3] G.729. VoIP 모델을 참조하였다. 그 외 파라미터들은 아래 항목들과 같다.[5]

- Cell radius : 1,000m
- Simulation time : 240,000slots
- Number of sessions : 28
- Slot length : 1.667ms
- Delay bound for VoIP packets : 75ms
- Averaging factor for PF(tc): 600
- BS transmission power : 20W
- Packet length of VoIP: 40bytes
- Interval of VoIP generation : 40ms

성능분석을 위해 수율, 음성 패킷 드롭 확률 측면에서 제안한 알고리즘을 기존의 예약기반 방식 및 PF 방식과 비교해 보았다.

그림 5는 12개의 데이터 세션에 음성 세션을 10에서

16으로 증가시켰을 때의 평균 수율을 다른 방식들과 비교해 본 것이다. 전반적으로 제안한 방식이 예약기반 방식에 비해 높은 수율을 보이나 음성 세션수가 증가할수록 수율이 감소하는 경향을 보이는데 이는 음성 세션수가 증가함에 따라 비트수가 적은 음성 패킷의 전송 또한 증가하기 때문이다. 그림 6은 음성 세션과 데이터 세션의 비율이 같을 때 전체 세션수의 증가에 따른 평균 수율의 변화를 나타낸다. 두 개의 수율 그래프를 통해 볼 때 전반적으로 스케줄링 파라미터  $\alpha$  값이 증가할수록 수율이 증가하는 것을 알 수 있다.

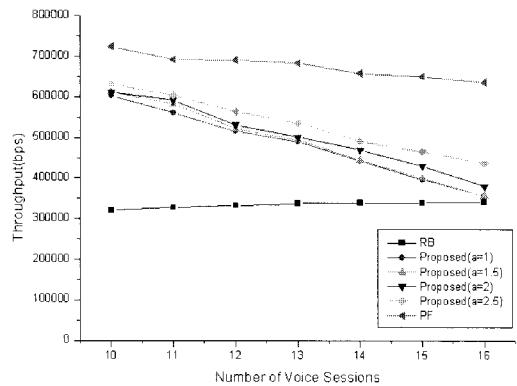


그림 5. 음성 세션 수의 증가에 따른 수율  
Fig 5. Average throughput vs. number of voice sessions

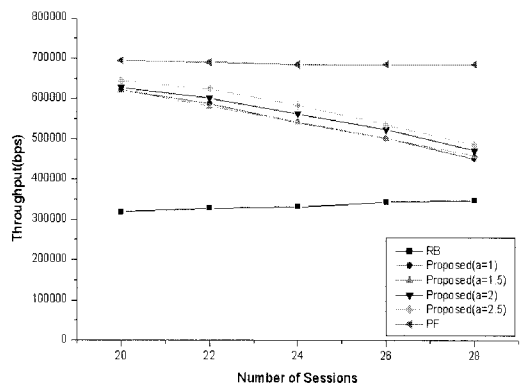


그림 6. 음성 및 데이터 세션 수가 같을 때의 전체 세션 수의 증가에 따른 수율  
Fig 6. Average throughput in the same number of voice and data sessions.

그림 7은 음성 세션 증가에 따른 음성패킷의 드롭 확률을 각 알고리즘별로 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 제안한 방식이 지연시간을 고려하지 않는 PF 방식에 비해 드롭 확률이 있어서 더 나은 성능을 보이고 있다. 그림 8은 음성과 데이터의 세션수가 같을 때 세션수의 증가에 따른 드롭 확률을 나타낸다. 두 그림에서 알 수 있듯이 스케줄링 파라미터  $\alpha$  값이 증가함에 따라 드롭 확률 또한 높아지는 경향을 보이나 전반적으로 PF 방식에 비해 낮은 확률을 나타냄을 알 수 있다.

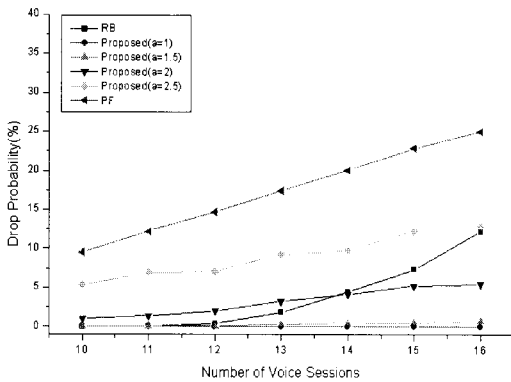


그림 7. 음성 세션 수의 증가에 따른 각 알고리즘 별 음성패킷 드롭 확률

Fig 7. Average drop probability of voice packets with increasing number of voice sessions

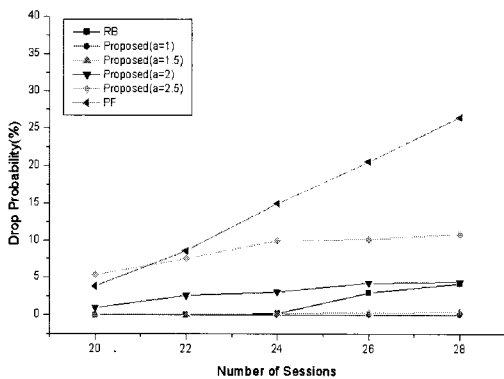


그림 8. 음성 및 데이터 세션 수가 같을 때의 세션 수의 증가에 따른 음성패킷 드롭 확률

Fig 8. Average drop probability of voice packets in the same number of voice and data sessions.

## V. 결 론

본 논문에서는 실시간 패킷 전송을 지원하는 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 스케줄링 시 채널 상태와 지연시간을 함께 고려했을 때 VoIP 패킷의 QoS를 보장하면서 기존의 방식에 비해 높은 성능을 나타낼 수 있었다. 시뮬레이션 결과로 볼 때 제안한 알고리즘이 채널 상태만 고려한 PF 알고리즘에 비해 낮은 드롭 확률을 가지며 예약기반 방식에 비해 높은 수율을 얻음을 알 수 있었다. 또한 스케줄링 파라미터  $\alpha$  값에 따라 다른 성능을 나타내므로 이 파라미터 값을 조정함으로써 성능을 조절할 수 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] H. Fattah and C. Leung, "An overview of scheduling algorithms in wireless multimedia networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 9, no. 5, pp. 76 - 83, Oct. 2002.
- [2] A. Jalai, R. Pankaj, Data Throughput of CDMR-HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System, VTC 2000-Spring Tokyo, pp.1854-1858 vol.3
- [3] Qualcomm, "1x EV: 1x Evolution IS-856 TIA/EIA Standard Airlink Overview", May 11, 2001, Revision 7.1
- [4] P. Bender et al., "CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users", *IEEE Comm. Mag.*, July 2000.
- [5] Y.-J. Choi, S. Bahk, Scheduling for VoIP service in cdma2000 1x EV-DO, in: Proceedings of the IEEE ICC '04, Paris, France, June 2004.

## 저자소개



이은영(Eunyoung Lee)

2006년 2월 한국기술교육대학교  
정보기술공학부 (공학사)  
2008년 3월~현재: 한국기술교육대학  
교 전기전자공학과 석사과정

※ 관심분야: 3/4세대 이동통신, 무선자원관리



박형근(Hyung-Kun Park)

1995년 2월 고려대학교 전자공학과  
(공학사)  
1997년 2월 고려대학교 전자공학과  
(공학석사)

2000년 8월 고려대학교 전자공학과 (공학박사)

2000년 9월 ~ 2001년 8월: University of Colorado at  
Colorado Springs, Postdoc.

2001년 9월 ~ 2004년 2월: 현대시스콤, 선임연구원

2004년 3월 ~ 현재: 한국기술교육대학교  
정보기술공학부 조교수

※ 관심분야: 4세대 이동통신, OFDM, 무선자원관리