

멀티미디어 이동 통신에서 Hybrid Joint 주파수 재사용 구간을 이용한 동일 채널 간섭 억제 및 시스템 전송량 최대화 방법

Co-Channel Interference Mitigation and System Throughput Maximization Using Hybrid Joint Reuse Partitioning in Multimedia Mobile Communications

김 정 수

Jeong-Su Kim

요 약

멀티미디어 이동 통신에서 동일 채널 간섭은 시스템의 성능을 저하시키는 중요한 요인이다. 본 논문에서는 이러한 동일 채널 간섭을 억제하고 시스템의 성능을 최대화하기 위하여 주파수 재사용 구간을 사용한다. 먼저 수학적 모델링을 통하여 주파수 재사용 구간을 적용한 시스템에서의 동일 채널 간섭량을 분석한다. 이를 바탕으로 시스템 전송량을 최대화 시킬 수 있는 주파수 재사용 구간을 결정한다. 마지막으로 분석 결과와 모의 실험 결과를 통하여 주파수 재사용 구간을 적용한 시스템이 동일 채널 간섭량을 줄이며 시스템 전송량을 최대화 시킬 수 있음을 보인다. 실험 결과를 통하여 셀의 트래픽 로드에서 따라가 재사용 구간이 0.7~0.8의 구간에서 시스템 전송량이 최대화 되며, 셀룰러 시스템 디자인 변수로 이와 같은 결과를 이용하면 시스템 전송량을 최대화 할 수 있다.

Abstract

The co-channel interference is a primary factor of loss in multimedia mobile communications. In this paper, we present a performance of the frequency reuse partitioning to refrain the co-channel interference and maximize system performance. First, we analyze the co-channel interference using the frequency reuse partitioning through the statistical modeling. From this results, we decide on the frequency reuse partitioning for the system throughput which is maximized. Finally, analysis and simulation results show that the frequency reuse partitioning based cellular system can mitigate the co-channel interference and maximize the system throughput. The experimental results show that system throughput is maximized from 0.7 to 0.8 according to traffic road. We can maximize the system throughput using the results with cellular system design parameter.

Key words : Co-channel Interference, Frequency Reuse Partitioning, System Throughput

I. 서 론

셀룰러 시스템에서 대용량 서비스에 대한 요구가 증대됨에 따라서 시스템의 전송량의 증대는 중요한

문제로 떠오르고 있다. 주파수의 재사용은 시스템 전송량을 증대시키기 위한 하나의 해결책이다^[1]. 그러나 셀룰러 시스템에서는 주파수를 재사용하게 되면 인접 셀로부터 동일 채널 간섭이 발생하게 되어

「이 논문은 2005년도 정부 재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2005-003-D00195).」

한국사이버대학교 컴퓨터정보통신학부(Department of Computer Information and Communication, Korea Cyber University)

· 논문 번호 : 20061208-151

· 수정완료일자 : 2007년 4월 30일

시스템 전송량을 거하시킬 수 있는 문제점이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것이 주파수 재사용 구간을 이용하는 것이다^{[2],[3]}. 주파수 재사용 구간은 인접 셀로부터의 동일 채널 간섭량을 주파수 재사용 구간을 이용하여 조절함으로써 동일 채널 간섭으로 인한 전송량 감소를 억제할 수 있다. 참고문헌 [2]에서는 비슷한 방법으로 코드 분할 다중 접속 방식(CDMA: Code-Division Multiple Access)에서도 주파수 재사용 구간을 사용함으로써 시스템 전송량을 증대시킬 수 있음을 보였다. 비슷한 방법으로 참고문헌 [3]에서는 직교 채널을 갖는 시스템에서 고정된 채널 할당 방법을 사용한 경우에 있어 시스템 전송량을 주파수 재사용 구간에 대하여 나타내고, 주파수 재사용 구간을 사용하는 경우가 더 좋은 시스템 전송량을 얻을 수 있음을 보였다. 그러나 주파수 재사용 구간을 통한 성능 향상을 위해서는 동적 채널 할당이 같이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 참고문헌 [3]과 같이 시간 분할 다중 접속 방식(TDMA: Time-Division Multiple Access)나 주파수 분할 다중 접속 방식(FDMA: Frequency-Division Multiple Access)과 같은 직교 채널을 갖는 셀룰러 시스템에서 주파수 재사용 구간을 적용하여 시스템 전송량을 최대화 하고자 한다. 먼저 셀룰러 시스템에서의 CCI를 수식적으로 유도하고, 그 결과를 이용하여 주파수 재사용 구간을 기반으로 하는 시스템의 성능을 분석한다. 이때 참고문헌 [3]과는 다르게 기본적인 동적 채널 할당인 랜덤 채널 할당의 경우를 고려한다. 분석 결과를 통하여 주파수 재사용 구간을 기반으로 하는 셀룰러 시스템에서 시스템 전송량을 최대화 하는 조건을 찾는다. 결과와 모의 실험 결과를 통하여 주파수 재사용 구간을 기반으로 하는 셀룰러 시스템이 동일 채널 간섭량을 줄이며, 시스템 전송량을 최대화 시킬 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 셀룰러 시스템 모델 및 신호 모델에 대하여 설명한다. 3장에서는 동일 채널 간섭량을 수식적으로 유도하고, 이를 이용하여 셀룰러 시스템의 성능을 분석한다. 4장에서는 분석된 결과를 컴퓨터 모의실험을 통하여 검증 및 확인하며, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 셀룰러 시스템 및 신호 모델

2-1 셀룰러 시스템 모델

시스템 전송량을 최대로 하기 위하여, 대부분의 셀룰러 시스템(cellular system) 설계에서는 사용하는 주파수 재사용율이 1인 모델을 사용한다. 또한 동일 채널 간섭을 줄이기 위하여 셀 섹터링(cell sectoring)을 사용하며, 이때 일반적으로 3 섹터링이 사용된다^[1]. 주파수 재사용율이 1인 모델과 3 섹터링을 사용하는 셀 모델에서, 각 섹터 별로 가능한 모든 주파수를 사용하는 모델을 1-셀 재사용(1-cell reuse) 모델, 각 섹터 별로 가능한 주파수를 1/3로 나누어 사용하는 모델을 3-셀 재사용(3-cell reuse) 모델로 정의한다. 3-셀 재사용 모델을 사용하는 경우, 동일 채널 간섭은 줄일 수 있지만 주파수 스펙트럼 효율이 감소하게 되며, 1-셀 재사용 모델을 사용하는 경우는 그 반대의 현상이 발생하게 된다. 이러한 동일 채널 간섭과 시스템 전송량 간의 균형을 맞추기 위하여 본 논문에서는 주파수 재사용 구간을 기반으로 하는 모델을 사용한다.

셀 내의 사용자들은 기지국으로부터 랜덤하게 채널을 할당 받으며, 한 개의 채널은 한 명의 사용자만 할당 받게 된다. 이로 인하여 셀 내의 간섭은 없으며, 동일 채널 간섭은 다른 셀로부터만 발생하게 된다. 동일 채널 간섭은 가장 가까운 6개의 인접 셀로부터만 발생한다고 가정한다. 또한 셀룰러 시스템에서 순방향 링크와 역방향 링크 간의 간섭량은 서로 다르다. 참고문헌 [4]의 결과에 따르면 역방향 링크의 동일 채널 간섭이 순방향 링크의 동일 채널 간섭에 비하여 시스템 성능 저하에 큰 영향을 미치기 때문에, 본 논문에서는 역방향 링크 경우를 고려하여 시스템 성능을 평가한다.

2-2 전송 신호 모델

셀룰러 시스템에서 전송 신호는 거리에 따른 α 승의 경로 감쇠를 평균으로 하는 로그 정규 분포(log-normal distribution) 섀도잉(shadowing)으로 모델링될 수 있다^[1]. 따라서 사용자 m 으로부터 거리가 r_{mk} 인 기지국 k 에 수신되는 평균 전력 P_{mk} 는 다음과 같이 표현된다.

$$P_{mk} = P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \quad (1)$$

여기서, P_0 는 단위 거리에 따른 수신 신호 전력, L_{mk} 는 평균이 0이고, 표준 편차가 σ_{shadow} 인 독립 로그 정규분포를 갖는 수신 신호의 섀도잉 영향을 나타낸다. 좁은 범위에서의 페이딩(small scale fading)은 평균화되어 영향을 미치지 않는다고 가정한다.

III. 동일 채널 간섭량 및 시스템 전송량 분석

3-1 동일 채널 간섭량의 계산

역방향 셀룰러 시스템에서, 셀 k 의 기지국에 수신되는 전체 동일 채널 간섭량은 간섭을 미칠 수 있는 기지국에 서비스되고 있는 사용자 중 셀 k 에서 사용되고 있는 주파수와 같은 주파수를 사용하고 있는 사용자 전력의 합이며, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$I(k) = \sum_{h \in H_k} \sum_{m \in M_h} I_m(h, k) \\ = \sum_{h \in H_k} \sum_{m \in M_h} P_{mk} = \sum_{h \in H_k} \sum_{m \in M_h} P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \quad (2)$$

여기서 $I_m(h, k)$ 는 셀 k 에서 서비스되고 있는 사용자 m 으로부터 셀 k 의 기지국에 미치는 전력이며, H_k 는 셀 k 에 간섭을 미칠 수 있는 셀들의 집합(가정에 의하여 가장 가까운 6개의 셀)이다. 또한 M_h 는 셀 h 에서 셀 k 에 간섭을 미치는 사용자들의 집합이다. $I(k)$ 는 독립적인 로그 정규 분포를 갖는 랜덤 변수의 합이기 때문에 평균을 $m_{I(k)}$, 표준 편차를

$\sigma_{I(k)}$ 로 갖는 하나의 로그 정규분포 랜덤 변수로 모델링할 수 있다.

셀 h 의 사용자 m 이 셀 k 의 기지국에 미치는 평균 간섭량을 $\bar{I}(h, k)$ 라고 하면, 가우시안 근사법에 의하여 $m_{I(k)}$ 는 식 (3)과 같이 근사화 된다.

$$m_{I(k)} = \sum_{h \in H_k} M_h \times \bar{I}(h, k) \\ = \sum_{h \in H_k} M_h \times E_m \{ P_{mk} \} \\ = \sum_{h \in H_k} M_h \times E_m \{ P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \} \quad (3)$$

이때 M_h 는 셀 k 에 간섭을 미치는 셀 h 의 사용자 수이며, $E_m \{ \cdot \}$ 은 m 에 대한 평균치를 의미한다. 가정된 것과 같이 각각의 셀에서 분산적인 동적 채널 할당 알고리즘을 사용할 경우 M_h 는 각 셀의 전체 데이터 트래픽에 관련된 함수이다. 각각의 섀도잉들이 같은 표준 편차를 가지며 독립적이라고 가정하면 $\sigma_{I(k)}$ 는 σ_{shadow} 로 나타낼 수 있다. 결과적으로 평균 간섭량 $\bar{I}(h, k)$ 를 계산함으로써 동일 채널 간섭을 분석할 수 있게 된다.

평균 간섭량을 계산하기 위하여 그림 1과 같이 간섭을 받는 셀 k 의 기지국과 간섭을 주는 사용자 m 사이의 거리 r_{mk} 를 삼각공식을 이용하여 정리하면, 평균 간섭량은 식 (4)와 같이 표현된다.

여기서 $p(r_{mh}, \phi_m)$ 은 사용자 m 이 (r_{mh}, ϕ_m) 에 위치할 확률밀도 함수이다. L_{mk} 는 평균이 0인 로

$$\bar{I}(h, k) = E \{ P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \} = E \{ P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \}_{inner} + E \{ P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \}_{outer} \\ = P_0 \int_{inner} d\Omega (4R^2 + r_{mh}^2 - 4Rr_{mh} \cos(\phi_m))^{-\alpha/2} p(r_{mh}, \phi_m) r dr d\phi \\ + P_0 \int_{outer} d\Omega (4R^2 + r_{mh}^2 - 4Rr_{mh} \cos(\phi_m))^{-\alpha/2} p(r_{mh}, \phi_m) r dr d\phi \quad (4)$$

$$E \{ P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \}_{inner} \approx P_0 \frac{z^2}{R^2} \left[\int_0^{\pi/2} \int_0^R (2R - r_{mh})^{-\alpha} r dr_{mh} d\phi_m + \int_0^{\pi/2} \int_0^R (2R + r_{mh})^{-\alpha} r dr_{mh} d\phi_m \right] \quad (5)$$

$$E \{ P_0 L_{mk} r_{mk}^{-\alpha} \}_{outer} \approx P_0 \left(1 - \frac{z^2}{R^2} \right) \\ \left[\int_{11\pi/6}^{\pi/2} \int_z^R (2R - r_{mh})^{-\alpha} r dr_{mh} d\phi_m + \frac{z^2}{R^2} \int_{\pi/2}^{3\pi/6} \int_z^R (2R + r_{mh})^{-\alpha} r dr_{mh} d\phi_m \right. \\ \left. + \frac{z^2}{R^2} \left\{ \int_{7\pi/6}^{3\pi/2} \int_z^R (2R + r_{mh})^{-\alpha} r dr_{mh} d\phi_m + \int_{3\pi/2}^{11\pi/6} \int_z^R (2R - r_{mh})^{-\alpha} r dr_{mh} d\phi_m \right\} \right] \quad (6)$$

$$\bar{I}(h, k) \approx P_0 \frac{1}{\alpha - 1} \left[\frac{z^2}{R^2} \frac{\pi}{2} \{ A^{-\alpha+1} - B^{-\alpha+1} \} \right. \\ \left. + \left(1 - \frac{z^2}{R^2} \right) \frac{2\pi}{3} \left\{ \left(1 + \frac{z^2}{2R^2} \right) (B^{-\alpha+1} - (3R)^{-\alpha+1}) + \frac{3z^2}{2R^2} (R^{-\alpha+1} - A^{-\alpha+1}) \right\} \right] \quad (7)$$

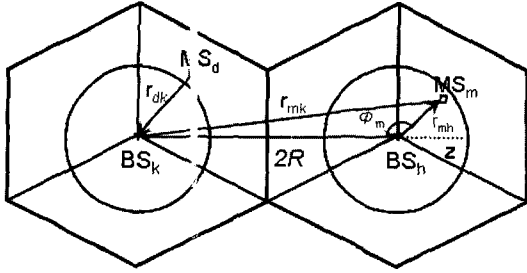


그림 1. Co-channel interference의 계산 모델
Fig. 1. The calculation model of CCI.

그 정규분포이기 때문에 1로 평균화 된다. 주파수 재사용에 대한 가정에 의하여, 주파수 재사용 구간 안 쪽과 바깥쪽으로 부터의 평균 간섭량은 각각 다음 식 (5)와 (6)과 같이 근사화 된다.

z 는 재사용 구간의 반경이다. 식 (6)의 각 항은 간섭을 주는 사용자가 각각의 섹터에 존재할 경우의 평균 간섭량이다. 식 (5)와 (6)을 식 (4)에 적용하여 정리하면, 셀 h 의 사용자 m 이 셀 k 의 기지국에 미치는 평균 간섭량 $\bar{I}(h, k)$ 는 식 (7)과 같이 계산된다. 이때 $A=2R-z$, $B=2R+z$ 를 의미한다. 식 (7)에서 z 가 R 인 경우 1-셀 재사용 모델의 평균 간섭량이 되며, z 가 0인 경우 3-셀 재사용 모델의 평균 간섭량이 된다.

3-2 시스템 전송량

시스템 전송량은 실패하지 않고 전송된 데이터의 양으로 나타낼 수 있다. 따라서 우선 실패 확률을 구하고 이를 이용하여 시스템 전송량을 구하게 된다.

실패 확률은 사용자가 신호 대 간섭비(Signal-to-Interference Ratio: SIR)를 만족하는 채널을 할당 받지 못한 경우의 확률로 정의된다. 따라서 셀 k 의 사용자 d 에 대한 실패 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$p_{d, outage} = p(SIR_{dk} < \gamma_{th}) \quad (8)$$

여기서 $SIR_{dk} = P_{dk}/I(k)$ 이다. 신호 대 간섭비가

$$p_{d, outage} = p\left(\frac{P_{dk}}{I(k)} < \gamma_{th}\right) = 1 - Q\left(\frac{\ln(\gamma_{th}) - \ln\left\{P_{dk} / \sum_{h \in H_k} M_h \times \bar{I}(h, k)\right\}}{\sigma_{I(k)}}\right) \quad (9)$$

$$\eta_d = \lambda_k (1 - p_{d, outage}) = \lambda_k \times Q\left(\frac{\ln(\gamma_{th}) - \ln\left\{P_{dk} / \sum_{h \in H_k} M_h \times \bar{I}(h, k)\right\}}{\sigma_{I(k)}}\right) \quad (10)$$

로그 정규 분포를 가지므로 실패 확률은 식 (9)와 같다. 이때 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$ 이다.

실패 확률이 식 (9)와 같이 구해지면 시스템 전송량은 식 (10)과 같이 구해진다^[5]. 여기서 λ_k 는 사용자 k 의 데이터 발생률이다.

식 (10)에서 P_{dk} 와 γ_{th} 가 고정되어 있다면 시스템 전송량은 $\bar{I}(h, k)$ 의 함수이고, 결과적으로 이는 재사용 비율, $(z/R)^2$ 에 의한 함수이다. 따라서 시스템 전송량이 최대가 되는 값은 식 (10)을 재사용 비율에 대하여 미분하여 얻을 수 있다. 그러나 이를 수식적으로 얻기 위해서는 한계가 있으므로, 본 논문에서는 모의 실험을 통해서 이를 보여 준다.

IV. 모의 실험

실험 환경은 쉐도잉 표준편차 $\sigma_{shadow} \approx 8$ dB 경로 감쇠 지수 $\alpha=3.5$ 인 도시환경 모델^[1]을 사용하였으며, 각 사용자의 데이터 발생률(λ)은 100 kbps로 가정하였다. 각 셀에서 사용할 수 있는 채널의 개수는 18개로 가정하였다. 재사용 구간을 위한 모델로는 $\gamma_{zone}=25$ dB, $\gamma_{th}=15$ dB의 조건을 가지고 실험하였다. 이는 재사용 구간을 전체 셀 면적의 반으로 설정한 경우이다.

표 1은 데이터 트래픽 로드 $\rho=0.6$ 인 경우에 대하여, 재사용 구간에 따른 동적 채널 할당의 성능을 분석한 것이다. z 가 0일 때, 즉 3-셀 재사용 모델을 기반으로 하는 동적 채널 할당을 사용할 경우의 실패 확률이 가장 낮고, 재사용 구간에 늘어남에 따라 실패 확률이 증가한다. 이와 같은 결과는 재사용 구간이 늘어남에 따라 동일 채널 간섭이 커지기 때문으로, 이를 통하여 동일 채널 간섭이 시스템 성능 저하에 중요한 요소임을 알 수 있다. 또한 재사용 구간이 전체 셀 면적의 7/8인 모델을 사용한 동적 채널 할당 알고리즘의 성능에서 전체 데이터 전송량이 가장 큰 값을 갖는다. 이것은 시스템의 전송 효율을 최

표 1. $\rho=0.6$ 일 때의 재사용 구간 비율에 따른 성능
Table 1. The performance according to reuse ratio at $\rho=0.6$.

	실패 확률 (%)	평균 전송량 (kbps)	시스템 전송량 (Mbps)
$(z/R)^2=0$	41.3	17.4	5.6
$(z/R)^2=2/8$	44.0	11.1	8.1
$(z/R)^2=4/8$	53.0	6.9	9.0
$(z/R)^2=5/8$	56.0	5.8	9.5
$(z/R)^2=6/8$	58.1	5.0	10.0
$(z/R)^2=7/8$	60.8	4.2	10.3
$(z/R)^2=1$	66.6	3.3	9.6

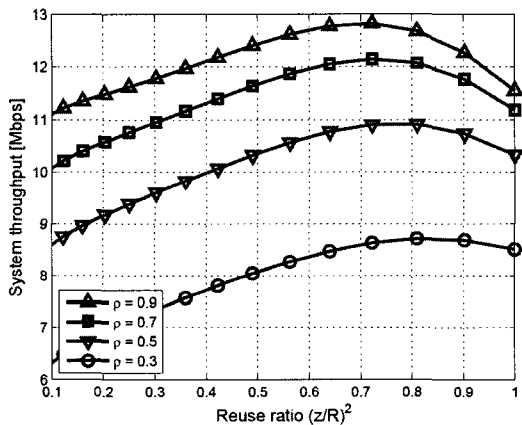


그림 2. 재사용 구간 비율에 따른 시스템 전송량
Fig. 2. The system throughput according to reuse ratio.

대화시키기 위해서는 재사용 구간을 사용하여 동일 채널 간섭을 고려하는 것이 필요함을 의미한다.

그림 2는 재사용 구간 비율에 따른 시스템 전송량을 트래픽 로드 변화에 따라 나타내고 있다. 표 1의 결과와 마찬가지로 재사용 구간 비율이 0.7~0.8 구간에서 시스템 전송량이 최대화 되는 것을 알 수 있다. 또한 트래픽 로드가 증가됨에 따라서 재사용 구간 비율이 낮은 영역에서 시스템 전송량이 최대가 되는데, 이것은 트래픽 로드 변화에 따른 동일 채널 간섭량의 증가로 인한 결과임을 알 수 있다. 이 결과를 이용하여 셀룰러 시스템을 운영하는데 있어 트래픽 로드 변화에 따른 재사용 구간 비율을 정의함으로써 시스템 전송량을 최대화를 이룰 수 있다.

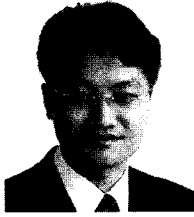
V. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 시스템에서 주파수 재사용 구간을 이용하여 동일 채널 간섭을 억제하고, 시스템 전송량을 최대화 하는 방법을 제시하였다. 먼저 동일 채널 간섭을 계산하고 이것을 통하여 셀룰러 시스템의 실패 확률과 시스템 전송량을 분석하였다. 분석과 모의실험을 통하여 셀룰러 시스템에서 동일 채널 간섭이 시스템 성능 저하의 주요한 요인이며, 주파수 재사용 구간을 기반으로 시스템은 이러한 동일 채널 간섭을 줄임으로서 시스템 전송량을 증가시킬 수 있었다. 우리가 분석한 모델을 이용하면 데이터 트래픽 로드 변화에 따라 전송 효율을 최대화시킬 수 있는 재사용 구간을 찾을 수 있으며, 이를 통하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [2] A. Ghasemi, E. Sousa, "Distributed intercell coordination through time reuse partitioning in downlink CDMA", in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf.*, vol. 4, pp. 1992-1997, Mar. 2004.
- [3] C. Tai-Po, S. R. Rappaport, "Overlapping coverage with reuse partitioning in cellular communication systems", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, pp. 41-54, Feb. 1997.
- [4] Z. Xu, A. N. Akansu, and S. Tekinay, "Cochannel interference computation and asymptotic performance analysis in TDMA/FDMA systems with interference adaptive dynamic channel allocation", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, no. 3, pp. 711-723, May 2000.
- [5] G. Li, H. Liu, "Dynamic resource allocation with finite buffer constraint in broadband OFDMA networks", in *Proc. WCNC'03*, vol. 2, pp. 1037-1048, Mar. 2003.

김 정 수



1996년 2월: 순천대학교 전자공학과 (공학사)

1998년 2월: 전북대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2003년 2월: 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)

2002년 6월~현재: 한국사이버대학교 컴퓨터정보통신학부 전임강사, 조교수

[주 관심분야] 이동통신, 채널코딩, 변복조, 멀티미디어통신