

부분 중계기 협력 다중화 기술에서 동적 최적 시간 할당 기술

준회원 조정 일*, 권 양 수*, 김 남 리**, 종신회원 정 재 학*

A Dynamic Optimum Time Allocation Method in Partial Relay Systems

Jung-il Cho*, Yang-soo Kwon*, Nam-ri Kim* *Associate Members*
Jae-hak Chung* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 부분 중계기 협력 다중화 기술에서 중계기의 위치에 따른 최적의 시스템 용량을 얻기 위한 동적 최적 시간 할당 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 중계기 시스템의 전송 조건식을 추가함으로써 중계기의 유동적인 위치에 따라 최대의 시스템 용량을 가지도록 각 시간 구간의 길이를 최적화하였다. 전산 모의실험을 통해 균일하게 고정된 시간 할당을 가지는 기존의 부분 중계기 협력 다중화 기술에 비해 향상된 시스템 용량을 얻을 수 있었다.

Key Words : Cooperative Multiplexing, Partial Relay Systems, Linear Programming

ABSTRACT

We propose a dynamic time allocation method in cooperative multiplexing with partial relaying system. This method uses a linear programming and considers protocol that is based on relaying of partial information bits followed by cooperative multiplexing. In this protocol, regardless of the location of relay, the allocation time for each transmission time slots are constant. Using a dynamic time allocation method with considering the location of relay, we can find optimal transmission time slots, and show that the system capacity is optimized.

I. 서 론

차세대 이동통신 시스템에서 중계기(Relay Station : RS)를 이용한 기술은 시스템의 서비스 영역을 늘리고 시스템 용량(capacity)을 증대시키기 위해 연구되어 왔다^{[1][2]}. 최근 중계기를 이용한 다중 홉(multi-hop, MH)전송 기술이 무선 링크 환경에서의 성능을 개선하기 위해 연구되어 왔으며 IEEE802.16j 표준에도 이 기술이 사용되고 있다^[2]. 대표적인 중계기 시스템은 증폭 후 전달(Amplify-and-Forward

: AF)과 복호후 전달(Decode-and-Forward : DF)로 구분할 수 있다^[3]. AF에서의 중계기는 송신노드(Source Node)로부터 전송된 신호를 단순히 신호의 세기를 증폭하여 도착노드(Destination Node)로 신호를 전송하는 역할을 하고, DF에서는 중계기가 수신 신호를 복호하고 이를 변조하여 도착노드로 신호를 전송한다. AF의 특징은 하드웨어의 구현에 있어서 복잡도가 상대적으로 낮지만 중계기에서 잡음도 함께 증폭이 되기 때문에 시스템의 성능 향상에 제한이 있다. DF는 복호후 전송으로 인한 복잡

※ 본 연구는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-331-D00337)

* 인하대학교 전자공학과 무선이동통신 연구실(jchojungil0, ysookwon, namliya@inhaian.net, jchung@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-07-295, 접수일자 : 2009년 7월 16일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 8일

도가 증가하지만 AF에 비해 전송성능이 향상되는 장점을 가지고 있다.

이러한 기술들을 바탕으로 공간 다이버시티 (spatial diversity)를 얻음과 동시에 공간 다중화 이득 (spatial multiplexing gain)을 얻을 수 있는 협력 다이버시티 다중화 기술이 연구되어왔다. 협력 다이버시티 다중화 기술은 송신노드, 중계기, 도착노드 사이의 다양한 프로토콜에 따라 성능이 변화하는데 송신노드→중계기, 송신노드→도착노드와 중계기→도착노드 프로토콜에 대해 채널 코딩을 결합하여 성능을 개선한 부분 중계기 협력 다중화 기술 (cooperative multiplexing with partial relaying)이 제안되었다^[4]. 이 방법은 중계기의 위치가 변화함에 따라 송신노드-중계기 사이의 거리와 중계기-도착노드의 거리가 변화하므로 만일 한쪽 링크의 용량이 크다 하더라도 데이터를 구분하는 시간이 동일하게 할당됨으로써 max flow min cut theorem에 의해 최적의 전송용량을 얻을 수 없다^[2]. 따라서 본 논문에서는 부분 중계기 협력 다중화 전송방법에서 최적화된 성능을 얻기 위해 중계기의 위치에 따른 시스템 용량을 분석하고 최적 시간 할당 기법에 대해 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 부분 중계기 협력 다중화 기술에 대한 시스템 모델, 채널 및 신호 모델에 대해서 알아본다. III장에서는 부분 중계기 협력 다중화 기술에서 최적 조건을 찾기 위한 동적 최적 시간 할당 기법에 대하여 논하고 IV 장에서는 III장에서 분석한 기술을 바탕으로 전산 모의실험을 통한 성능 분석을 한다. 마지막으로 V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 부분 중계기 협력 다중화 기술

본 장에서는 부분 중계기 협력 다중화 기술에 대한 시스템 모델과 각 링크의 채널에 따른 신호 전송 방법에 대해 설명한다.

2.1 시스템 모델

송신노드와 도착노드는 각각 단일 송신 안테나와 단일 수신 안테나를 가지고 중계기는 단일 송수신 안테나를 갖는다. 그림 1과 같이 각 국들 사이의 거리, 즉 송신 노드와 중계기사이의 거리를 L_{SR} , 송신노드와 도착노드 사이의 거리를 L_{SD} , 그리고 중계기와 도착노드 사이의 거리를 L_{RD} 로 정의한다.

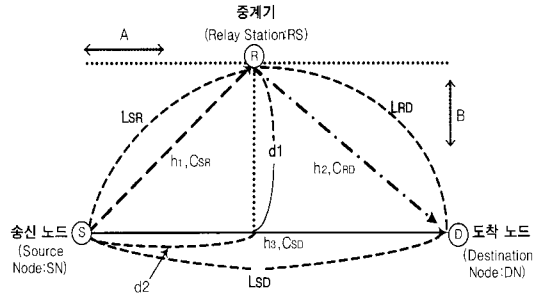


그림 1. 시스템 모델

d_1 은 송신노드와 도착노드가 이루는 직선과의 거리를 나타내고 d_2 는 송신노드와 도착 노드 사이에 존재하는 직선상의 중계기의 위치를 나타낸다. 중계기의 유동적인 특성을 고려하여 중계기의 위치는 A방향과 B방향으로 송신노드와 도착노드 사이에서 변화할 수 있다고 가정하고 본 논문에서는 d_2 의 범위를 $0 \leq d_2 \leq L_{SD}$ 로 가정한다. h_1 과 h_2 , h_3 은 각각 송신노드-중계기, 중계기-도착노드, 송신노드-도착노드 링크의 채널을 나타낸다.

본 논문에서는 DF모드 중계기 기술만을 고려한다. 부분 중계기 협력 다중화 기술의 전송 프레임 구조는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 첫 번째 시간 구간 동안 송신 노드에서 중계기로(SN→RS), 두 번째 시간 구간 동안 중계기에서 도착노드(RS→DN)데이터를 전송함과 동시에 송신노드에서 도착노드(SN→DN)로 데이터를 전송해준다. 데이터 전송은 채널 코딩에서 출력된 K 개의 정보 비트로써 프레임(frame) 단위로 구성할 수 있다. K 개의 정보 비트는 코드율 r 과 번조율 m 에 의해 전체 심볼 수 N 은 $N=K/r/m$ 으로 나타낼 수 있다. 이 프로토콜에서 전체 프레임 구간을 시간 구간 t_1 과 t_2 로 나눌 수 있다. 데이터의 전송 방식은 첫 번째 시간 구간 t_1 동안에 송신노드에서 중계기로 데이터 일부를 전송하고 중계기에서 이 신호를 복호한다. 중계

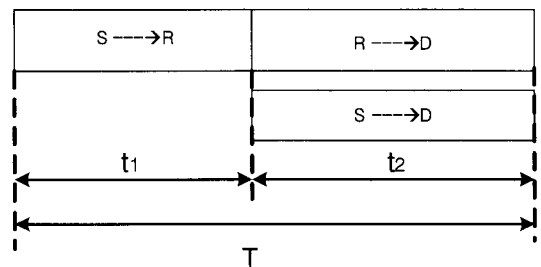


그림 2. 부분 중계기 협력 다중화 기술의 프레임 구조

기는 복호된 신호를 두 번째 시간 구간 t_2 동안에 도착노드로 전송하고 동시에 송신노드에서 도착노드로 나머지 데이터를 전송한다. 중계기는 t_2 동안에 t_1 에 받은 신호를 보내주므로 도착노드는 이전에 받은 신호와 MRC (maximal ratio combining)와 같은 적절한 수신 기술을 통해 다이버시티를 얻을 수 있다.

2.2 채널 및 신호 모델

본 논문에서는 송신노드에서 채널정보를 모르고 도착 노드에서 완벽한 채널 상태 정보를 갖는다고 가정한다. 즉 송신노드-중계기 채널 정보를 중계기에서 모두 알고 있고 각 링크(송신노드-중계기, 중계기-도착노드, 송신노드-도착노드)의 채널정보를 모두 도착노드에서 알고 있다고 가정한다.

각 링크에서의 채널은 $h_i = \sqrt{\gamma}^{-\alpha}$ 로 나타낼 수 있고 여기서 γ 는 i 번째 링크($i=1$ (송신노드-중계기), 2 (중계기-도착노드), 3 (송신노드-도착노드))의 거리를 나타내고 α 는 경로 손실 지수를 나타낸다. 채널은 프레임 구간(T)동안 일정한 채널 값을 가진다고 가정한다.

송신노드에서 첫 번째 시간 구간 t_1 과 두 번째 시간 구간 t_2 에 전송하는 신호를 각각 x_1 과 x_2 으로 나타낸다. 중계기에서 첫 번째 시간 구간 t_1 동안 수신한 신호 $y_{R,1}$ 은 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{R,1} = \sqrt{E_{SR}}h_1x_1 + n_{R,1} \quad (1)$$

식 (1)에서 E_{SR} 은 송신노드에서 보낸 한 심볼의 평균 신호 에너지를 나타내고, h_1 은 송신노드-중계기 링크의 채널 이득을 나타낸다. 또한 $n_{R,1}$ 은 중계기에서 수신한 신호에 대해 전력밀도 N_0 를 갖는 가산 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise : AWGN)이며 평균 값은 0, 분산은 1로 가정한다. 첫 번째 시간 구간 t_1 동안에 중계기는 수신한 신호를 복조, 복호하고 이 신호가 오류없이 도착노드로 재전송한다. 그리고 두 번째 시간 구간 t_2 에 송신노드는 나머지 x_2 신호를 도착노드에 전송하면 도착노드에서 수신한 신호 $y_{D,2}$ 는 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{D,2} = \sqrt{E_{SD}}h_3x_2 + \sqrt{E_{RD}}h_2x_1 + n_{D,2} \quad (2)$$

식 (2)에서 E_{SD} 은 송신노드에서 한 심볼이 송신노드-도착노드 링크를 통해 송신한 평균 신호 에너지를 나타내고 E_{RD} 은 중계기에서 한 심볼이 중계기-도착노드 링크를 통해 송신한 평균 신호 에너지를 나타낸다. $n_{D,2}$ 는 전력밀도 N_0 를 갖는 가산 백색 가우시안 잡음이며 평균 값은 0, 분산은 1로 가정한다. 위와 같은 채널 및 신호 모델에서 동작하는 부분 중계기 협력 다중화 기술은 송신노드와 도착노드 사이에서 중계기의 유동적인 위치를 고려하지 않고 고정된 시간 자원 t_1 과 t_2 를 할당한다면 전체적인 주파수 효율이 낮아진다. 예를 들어 중계기의 위치가 송신노드에 가까울 경우 송신노드-중계기 링크의 채널 이득이 증가하고 반대로 중계기-도착노드 링크의 채널이득이 감소하게 된다. 이 때 max flow min cut theorem에 의해 채널용량이 작은 중계기-도착노드 링크에 의해 시스템 용량이 결정된다. 따라서 송신노드에서 중계기로 전송된 데이터가 중계기에서 도착노드로 전송하는데 있어서 송신노드-중계기 링크의 용량에 비해 상대적으로 작은 중계기-도착노드 링크 용량을 가지므로 t_2 의 시간을 t_1 보다 긴 전송 시간을 할당해야 한다. 그러므로 본 논문에서는 유동적으로 변하는 중계기의 위치에 따라 최적의 시간을 할당하는 기법에 대해 제안을 한다.

III. 부분 중계기 협력 다중화 기술에서 동적 최적 시간 할당 기법

본 장에서는 기존의 고정된 시간 할당을 이용한 부분 중계기 협력 다중화 기술에서의 단점을 극복하고 유동적인 시간 할당을 통해 최적화된 성능을 얻기 위해 부분 중계기 기반 시스템에서의 중계기의 위치에 따른 최적 시간 할당 기법을 제안한다.

3.1 동적 최적 시간 할당 기술을 이용한 시스템 용량 분석

부분 중계기 협력 다중화 기술에서의 동적 최적 시간 할당 기법을 위한 프레임 구조는 기본적으로 그림 2와 같이 나타낼 수 있고 데이터 전송 프로토콜 방식은 앞서 설명한 부분 중계기 협력 다중화 기술과 동일하다. h_1, h_2, h_3 는 각각 송신노드-중계기 링크, 중계기-도착노드 링크, 송신노드-도착노드 링크의 채널을 나타내고 각각은 가산 백색 가우시안 잡음 채널을 가진다. SNR_1, SNR_2, SNR_3 은 각 채널에서의 신호대 잡음비를 나타낸다.

t_1 동안에 송신노드-중계기 링크의 채널 용량은 신호대 잡음비를 이용하여 $C_{SR} = \log_2(1 + |h_{11}|^2 SNR_1)$ 로 표현할 수 있고, t_2 동안 중계기-도착노드 링크의 채널 용량은 $C_{RD} = \log_2(1 + |h_{22}|^2 SNR_2)$, 송신노드-도착노드 링크의 채널 용량은 $C_{SD} = \log_2(1 + |h_{33}|^2 SNR_3)$ 으로 나타낸다. 각 시간 구간 t_1 과 t_2 를 고려하여 얻을 수 있는 시스템 용량 C_{pro} 을 다음 식 (3)과 같이 얻을 수 있다.

$$C_{pro} = t_1 \times \log_2(1 + |h_{11}|^2 SNR_1) + t_2 \times \log_2(1 + \sum_{i=2}^3 |h_i|^2 SNR_i) \quad (3)$$

식 (3)에서 볼 수 있듯이 제안된 시스템의 용량은 각각 할당되는 시간 구간 t_1 과 t_2 의 함수로써 표현되므로 시스템 용량 C_{pro} 을 극대화 할 수 있는 t_1 과 t_2 를 얻어 내기 위해 다음과 같은 몇 가지 조건을 추가할 수 있다.

$$\max_{t_1, t_2} C_{pro} \quad (4)$$

$$s.t. t_1 C_{SR} < t_2 C_{RD}, \quad (5)$$

$$t_1 + t_2 = T, \quad (6)$$

$$t_1, t_2, C_{SR}, C_{RD}, C_{SD} \geq 0. \quad (7)$$

식 (4)에서 보인 바와 같이 목적 함수는 C_{pro} 이다. 식 (5)는 t_1 동안 중계기에 전송된 데이터량이 t_2 동안 도착노드에 데이터의 손실 없이 모두 전송되는 조건식이다. 식 (6)은 그림 2 에서 볼 수 있듯이 두 시간 구간 t_1, t_2 의 합은 전송 프레임의 시간 T 로 설정할 수 있고 식 (7)은 두 시간 구간과 시스템 각 링크의 용량은 항상 양(positive)의 값을 가짐을 보인다.

위에서 구한 식 (3)은 t_1 과 t_2 에 대한 선형 형태로 설정되었고 식 (4), (5), (6), (7)과 같이 제한 조건이 설정 가능하므로 linear programming을 이용하여 최적의 시스템 용량을 얻을 수 있는 시간 구간 t_1, t_2 를 얻을 수 있다. 그러므로 고정적인 시간 할당을 했을 때의 시스템 용량보다 본 논문에서 제안된 추가 조건식에 따른 최적화된 방법을 이용했을 때 시스템 용량의 최적점을 구할 수 있다.

IV. 전산 모의 실험

본 장에서는 제안된 동적 최적 시간 할당 기법의 시스템 용량을 알아보기 위한 전산 모의 실험을 수행하였다. 실험의 단순화를 위해 채널의 페이딩 효과를 고려하지 않고 경로 손실만을 고려한 가산 백색 가우시안 잡음 채널을 사용하였고 전체 데이터 전송 시간 T 는 1로 가정하였다. 또한 송신노드와 도착노드 사이의 거리 L_{SD} 는 2로 설정하고 송신노드와 도착노드 사이에서 중계기의 위치를 나타내는 d_2 의 범위를 $0 \leq d_2 \leq L_{SD}$ 로 가정했다. 경로 손실 지수 α 는 3, 그리고 그림 1에서 송신노드와 도착노드가 이루는 직선과 중계기의 수직 거리 d_1 은 0.1, 0.5, 1 세 가지 경우를 고려하였다.

4.1 중계기의 위치에 따른 시스템 용량

그림 3은 중계기의 위치가 A방향으로 바뀔 때 시스템 용량의 변화를 나타냈다. 가로축은 그림 1에서 설정한 d_2 , 즉 송신노드와 도착노드 사이에서 중계기의 위치를 나타낸다. 즉 $d_2 = 0$ 은 중계기가 송신노드와 동등한 위치에 존재할 경우이고 $d_2 = 2$ 는 중계기가 도착노드와 동등한 위치에 존재할 경우를 나타낸다. 세로축은 식 (3)에서 구한 시스템의 용량(capacity(bps/Hz))을 나타낸다.

중계기의 위치가 A방향으로 변화 (d_2 의 변화)함에 따라서 중계기가 송신노드와 같은 위치에 존재할 경우 동적 최적 시간 할당 기법은 기존의 동일 시간 할당 기법에 비해 약 2.4bps/Hz의 향상된 시스템 용량을 얻을 수 있었다. 만일 d_1 이 감소하면 h_1 과 h_2 의 경로 손실이 작아지기 때문에 채널 이득

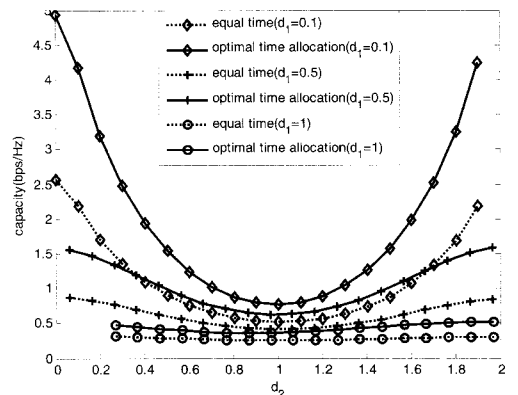


그림 3. 중계기의 위치(d_2)와 RS의 수직거리(d_1)에 따른 시스템 용량

이 증가하므로 전체 시스템 용량이 증가함을 알 수 있다. d_2 가 1인 위치 즉 중계기가 송신노드와 도착노드 사이의 가운데에 존재할 때 가장 낮은 시스템 용량을 보이나 기존의 방법에 비해 최대 약 0.2bps/Hz 높은 시스템 용량을 보인다. 그러므로 전 구간에서 기존의 고정된 시간 할당 기술보다 전체 시스템 용량 측면에서 좋은 성능을 보인다. 또한 중계기의 위치가 송신노드에 가까워짐에 따라서 d_2 가 감소하고 MISO (multi-input-single-output)시스템과 같은 방식으로 동작함을 알 수 있다. 그리고 d_2 가 증가함에 따라 SIMO(single-input-multi-output)시스템과 같은 방식으로 동작함을 보인다.

4.2 중계기의 위치에 따른 시간 구간(t_1, t_2)의 변화

그림 4는 부분 중계기 협력 다중화 기술에서 제안된 동적 최적 시간 할당 기술을 적용하여 송신노드와 도착노드 사이에서 중계기의 위치를 나타내는 d_2 의 변화에 따른 시간 구간 t_1 과 t_2 의 변화를 나타내고 있다. 가로축은 송신노드와 도착노드사이에서 중계기의 위치를 나타내는 d_2 를 나타내고 세로축은 각 시간 구간 t_1, t_2 에 할당되는 시간을 나타낸다.

전체 데이터 전송 시간 T 는 1로 가정했고 따라서 세로축의 최대값은 1로 설정한다. 송신노드와 도착노드가 이루는 직선과 중계기의 수직 거리 d_1 은 1, 0.5, 0.1의 세 가지 경우를 고려하였다.

중계기의 위치가 송신노드에 멀어질수록(d_2 가 증가할수록) 송신노드-중계기 링크에 할당되는 첫 번째 시간 구간 t_1 값이 커짐을 알 수 있다. 또한 중계기의 위치가 송신노드에 가까워 질수록(d_2 가 감소할

수록) t_1 은 줄고 t_2 의 값이 증가함을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 max flow min cut theorem에 의해 송신노드-중계기, 중계기-도착노드 링크에서 송신노드-중계기의 거리가 가까우면 전송 용량이 커지므로 시간 t_1 이 상대적으로 짧아진다는 것을 의미한다.

V. 결론

본 논문에서는 부분 중계기 협력 다중화 기술에서 중계기의 위치에 따른 최적의 시스템 용량을 얻기 위한 동적 최적 시간 할당 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 중계기의 유동적인 위치에 따라 최대의 시스템 용량을 가지도록 각 시간 구간의 길이를 최적화하였다. 전산 모의 실험을 통해 균일하게 고정된 시간 할당을 가지는 부분 중계기 협력 다중화 기술에 비해 중계기가 송신노드와 같은 위치에 존재하는 환경에서 약 2.4bps/Hz의 향상된 시스템 용량을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] A. Sendonaris, E. Erkip and B. Aazhang. "User cooperation diversity-part I: system description," IEEE Trans. on Comm., vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [2] J. N. Laneman, D. N. C. Tse and G.Womell. "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," IEEE Trans. on Inf. Th., vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [3] M. Yu, J. Li and Sadjadpour.H., "Amplify-Forward and Decode-Forward: The impact of location and capacity contour," IEEE MILCOM 2005 conference. Atlantic City, NJ, Oct. 2005.
- [4] 신오순, "효율적인 무선 멀티홉 전송을 위한 부분적 릴레이 기반의 협력다중화 기술," 제19회 통신 정보 합동 학술대회(JCCI), 2009년 4월.
- [5] J. G. Proakis, Digital communications, 4th ed. NewYork: McGraw-Hill, 2001.
- [6] D. Chen and J. N. Laneman, "Modulation and demodulation for cooperative diversity in wireless systems," IEEE Trans. Wireless Comm., vol. 5, pp. 1781-1794, Jul. 2006.

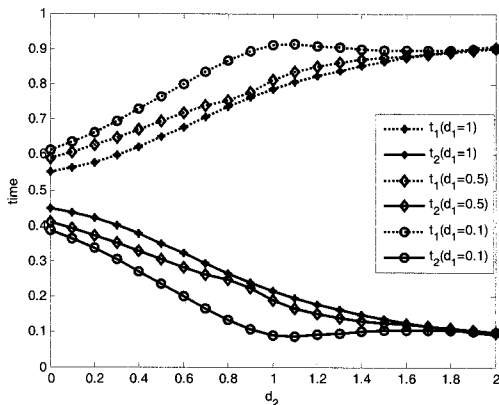
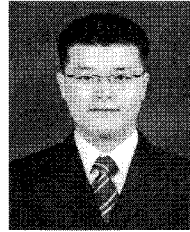


그림 4. d_2 에 따른 각 시간 구간(t_1, t_2)의 변화

- [7] R. D. Moraes, H.R. Sadjadpour and J.J. Garcia-Luna, "Throughput-delay analysis of multiple Ad hoc networks with a multi-copy relaying strategy," IEEE SECON 2004.
- [8] E. Beres and R. Adve. "Selection cooperation in multi-source cooperative networks," IEEE Trans. Wireless Comm., vol. 7, no. 1, pp. 118-127, 2008.
- [9] A. Nosratinia and T.Hunter, "Grouping and partner selection in cooperative wireless networks," IEEE J.Sel. Areas Comm., vol. 25, no. 2, pp. 369, Feb. 2007.
- [10] A. Bletsas, A. Khisti, D.Reed and A.Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," IEEE J.Sel. Area Comm., vol. 24, no. 3, pp. 659-672, Mar. 2006.
- [11] R. U. Nabar, H. Bolcskei and F. W. Kneubuhner, "Fading relay channels: performance limits and space-time signal design," IEEE J.Sel. Areas Comm. vol. 22, pp. 1099-1109, Aug. 2004.

권양수 (Yang-soo Kwon)

준회원



2006년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업
 2008년 2월 인하대학교 전자공학과 석사
 2009년 9월~현재 Penn State University 박사과정
 <관심분야> Network coding, Cognitive radio, Cooperative MIMO, MIMO-OFDM

김남리 (Nam-ri Kim)

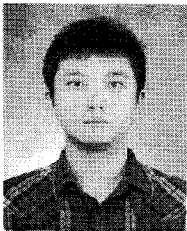
준회원



2009년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업
 2009년 2월~현재 인하대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> 수중 음향 통신, MIMO-OFDM, Cognitive radio

조정일 (Jung-il Cho)

준회원



2009년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업
 2009년 2월~현재 한국대학교 전자공학과 석사과정
 <관심분야> Cooperative MIMO, OFDM시스템, MIMO, Cognitive radio, LTE-Advanced

정재학 (Jae-hak Chung)

종신회원



1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업
 1990년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 2000년 University of Texas at Austin 전기전산 학과 박사
 2000년~2001년 post doctoral fellow, University of Texas at Austin
 2001년~2005년 수석연구원, 삼성종합기술원
 2005년~현재 부교수, 인하대학교
 <관심분야> Cognitive radio, 차세대 무선 이동 통신, MIMO-OFDM, UWB, Cross layer설계