

협력 인지 통신망에서의 전 이중 통신

박 상 우*, 송 익 호°, 이 승 원*

Full-Duplex Communication in Cooperative Cognitive Radio Network

Sangwoo Park*, Iickho Song°, Seungwon Lee*

요 약

이제까지의 협력 인지 통신망에서는 쓰는 이들이 거의 대부분 서로 반 이중 방식으로 신호를 주고 받았다. 이 논문에서는 부 쓰는 이들이 전 이중 통신 기술을 쓰는 협력 인지 통신망을 제안하고 그 성능을 간단히 살펴본다. 제안한 방식에서는 협력 인지 통신망의 부 쓰는 이들이 동시 송수신 안테나를 쓰는 환경을 생각하여, 전 이중으로 통신할 수 있도록 하였다. 제안한 방식에서 이를 수 있는 전송률을 해석적으로 얻고, 이제까지의 협력 인지 통신망보다 전송률 성능이 더 높다는 것을 수치적인 계산으로 보인다.

Key Words : Cognitive radio, cooperative communication, full-duplex communication, multiple input multiple output, simultaneous transmit and receive antenna

ABSTRACT

In almost all schemes of cooperative cognitive radio networks (CCRN), the users transmit and receive signals in half-duplex mode. In this paper, a design of CCRN adopting the full-duplex (FD) technique is addressed. In order to enable FD communication among users in the CCRN, simultaneous transmitting and receiving antennas are employed for the secondary users. Preliminary results from analysis and numerical evaluation indicate that the proposed FD multiple-input-multiple-output CCRN framework can provide a performance gain over the conventional CCRN frameworks.

I. 서 론

빅 데이터와 사물인터넷 시대에서는 수많은 전자기에서 나오는 대용량·고차원 신호와 자료를 처리하는 문제, 무선 전송률 폭증에 의한 신호 전송에 필요한 주파수 부족 문제, 그리고 사물 밀도가 높아져서 생기는 기기들 간의 간섭과 전송 용량의 한계 문제를 풀어야 한다. 이와 같은 문제들이 미래 지능형 정보

신호처리 사회에 미칠 영향을 고려하면, 미래 자원 절약형 환경에 알맞은 새로운 통계학적 신호처리 기법이 필요하다. 스마트폰과 태블릿 PC와 같은 새로운 기기와 페이스북과 같은 인터넷 서비스의 등장으로 유무선 인터넷 사용량이 폭발적으로 늘어났고 이러한 추세는 앞으로 더욱 빨라질 것이다. 앞으로 정보 환경이 어떻게 진화할지를 보여주는 대표적인 보기로 사물인터넷을 (Internet of Things) 들 수 있다. 사물인터

* 이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단이 선정하여 지원하는 과제 NRF-2015R1A2A1A01005868을 수행하여 얻은 결과 가운데 하나입니다.

• First Author : School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, aftshock@kaist.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, i.song@ieee.org, 종신회원

* School of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, kkori21@gmail.com

논문번호 : KICS2016-07-163, Received July 22, 2016; Revised August 16, 2016; Accepted August 16, 2016

넷 시대가 오면서 우리가 사용하는 모든 사물은 고유의 주소를 바탕으로 인터넷에 연결되고 있다.

특히, 2015년 1월 미국의 정보 기술 연구 및 자문 회사인 가트너의 분석에^[1] 따르면 2020년까지 250억 개 쯤의 사물이 인터넷으로 연결되어 사물이 서로 정보를 주고받을 수 있을 것으로 기대하고 있다 (그림 1). 또, 2016년 2월 네트워킹 하드웨어 및 보안서비스 등을 제공하는 시스코에서는^[2] 전 세계 이동통신 자료 전송량을 생각할 때 2020년에는 2015년의 8배에 이르는 월평균 30.6엑사바이트, 연평균 367엑사바이트에 달할 것이라고 예측하였다 (그림 2).

이와 같이 신호와 정보 전송/처리를 위한 통신 시설 뿐만 아니라 신호처리를 이용하는 센서 및 구동기의 종류와 밀도가 빠른 속도로 늘어나면서 오가는 신호와 그 안에 들어 있는 정보의 양도 매우 빠른 속도로 늘어나고 있다^[3]. 무수히 늘어나는 전자기기들과 오가는 정보로 우리가 누릴 수 있는 삶이 더욱 편리해지고 있고, 쓰는이의 (user) 요구를 충족시키려는 다양한 서비스를 제공하기 위해 전자기기와 정보의 종류, 그리고 양은 앞으로 더욱 늘어날 것으로 보인다.

한편, 이제까지의 주파수 할당 방식으로는 늘어나

는 정보 서비스에 대한 요구를 충족시키기 어렵고, 이로 말미암아 주파수 부족 현상이 더욱 심해질 것이다. 이에, 미국의 연방 통신 위원회에서는 고정된 주파수 할당 방식의 실제 주파수 사용률에 대한 연구를 실시한 바가 있으며, 시간적으로나 공간적으로 바뀌는 주파수 사용률의 평균을 조사해본 결과 15%에서 85% 쯤의 사용률을 보이고 있음을 확인하였다^[4]. 이처럼, 실제 사용률이 낮은 비어있는 주파수 대역을 효율적으로 쓰기 위한 방법으로 인지 무선통신 (cognitive radio) 기술이 제안되었다.

주파수 감지를 기본적인 바탕으로 하는 인지 무선 통신은 주파수 자원을 아껴서 조금 더 효율적으로 쓰게 해 주는 가장 중요한 기술들 가운데 하나이다^[5,6]. 한편, 여러 연구에서 여러 입력 여러 출력 (multiple-input-multiple-output) 시스템이 통신과 신호처리 기법의 성능을 높일 수 있다는 점을 다루었다^[7-10]. 또한, 협력 인지 통신망은 (cooperative cognitive radio network) 부 쓰는이가 주파수를 언제나 확실히 쓸 수 없다는 인지 통신망의 단점을 고치고자 제안되었다^[11]. 이제까지의 많은 연구가 협력 인지 통신망에서의 효율적인 채널분배에 관해 이루어졌지만^[5,6,11] 전 이중 통신을 (full-duplex) 협력 인지 통신망에 접목시키는 연구는 많이 이루어지지 않았다. 다만, 협력 인지 통신망에서 전 이중 통신을 처음으로 다룬 연구에서는^[12] 부 쓰는이의 안테나 개수를 여섯 개로 두고 그 열 개와 성능을 다루었다.

이 논문에서는 부 쓰는이가 동시 송수신 안테나를 두 개 써서, 전 이중 통신을 협력 인지 통신망에서 가능하게 하고자 한다. 먼저, 알맞은 신호처리 기법과 동시 송수신 안테나를 써서 시간과 공간을 더욱 효율적으로 나누어 쓸 수 있고, 이제까지의 협력 인지 통신망보다 더 많은 신호를 주고받을 수 있게 된다. 제안한 통신망은 시간을 두 구간으로 나누어 쓰는데, 이때 첫째 시간 구간과 둘째 시간 구간에서 모두 부 쓰는이끼리 신호를 주고받을 수 있어, 이제까지의 협력 인지 통신망과 견주었을 때, 같은 주파수 자원을 더욱 효율적으로 쓰게 된다. 제안한 통신망의 자세한 열개와 성능은 다음 절에서 자세히 다룬다.

II. 제안한 방식

2.1 통신망 열개

주 쓰는이 끼리 통신을 할 수 있는 채널과 부 쓰는이끼리 통신을 할 수 있는 채널이 각각 하나인 협력 인지 통신망을 생각해보자. 이 때, 주 쓰는이는 송신

Gartner Inc. forecast, Internet of Things installed base

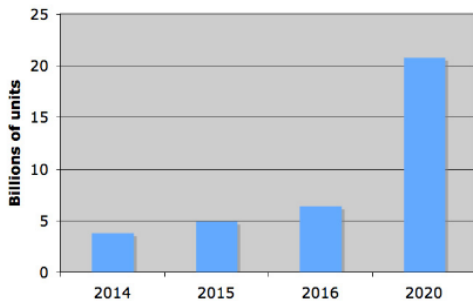
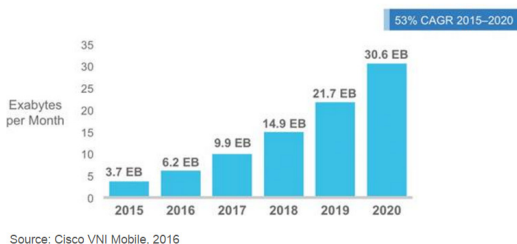


그림 1. 사물인터넷 기기 증가 전망^[1]
Fig. 1. Expected number of units in Internet of Things^[1]



Source: Cisco VNI Mobile, 2016

그림 2. 이동 자료 월간 사용량 예측^[2]
Fig. 2. Forecast of mobile data traffic per month^[2]

또는 수신만 할 수 있는 안테나를 하나 가지고 있고, 부 쓰느이는 동시 송수신이 가능한 안테나를 둘 가지고 있다고 두자. 이제, 이러한 협력 인지 통신망에서 시간 구간을 둘로 나누어 통신을 해보자. 첫째 시간 구간에서는 주 송신자가 주 쓰느이 신호를 중계해주는 부 쓰느이에게 (신호 중계 부 쓰느이) 보내고, 중계에 참여하지 않는 다른 부 쓰느이는 (비 중계 부 쓰느이) 신호 중계 부 쓰느이에게 부 쓰느이 신호를 보낸다. 또, 이와 동시에 신호 중계 부 쓰느이는 비 중계 부 쓰느이에게 부 쓰느이 신호를 보낸다. 다음으로 둘째 시간 구간에서는, 신호 중계 부 쓰느이가 주 쓰느이 신호를 주 수신자에게 보내면서 비 중계 부 쓰느이에게 부 쓰느이 신호를 보내고, 이와 동시에 비 중계 부 쓰느이에게 부 쓰느이 신호를 받는다. 이런 과정을 그림 3에 보였다.

그림 3에서 볼 수 있듯이, 협력 인지 통신망에서 전이중 통신을 생각하려면 채널 행렬을 여덟 개 고려하여야 한다. 주 송신자와 신호 중계 부 쓰느이 사이, 주 송신자와 비 중계 부 쓰느이 사이, 신호 중계 부 쓰느이와 주 수신자 사이, 신호 중계 부 쓰느이와 비 중계 부 쓰느이 사이, 비 중계 부 쓰느이와 신호 중계 부 쓰느이 사이, 신호 중계 부 쓰느이와 신호 중계 부 쓰느이 사이, 그리고 비 중계 부 쓰느이와 비 중계 부 쓰느이 사이의 채널 행렬을 각각 H_{TC} , H_{TN} , H_{CR} , H_{NR} , H_{CN} , H_{NC} , H_{CC} 와 H_{NN} 으로 나타내자. 이 행렬들은 모두

$$H_{XY} = \begin{pmatrix} h_{XY,11} & h_{XY,21} \\ h_{XY,12} & h_{XY,22} \end{pmatrix} \quad (1)$$

와 같이 쓸 수 있다. 이 때,

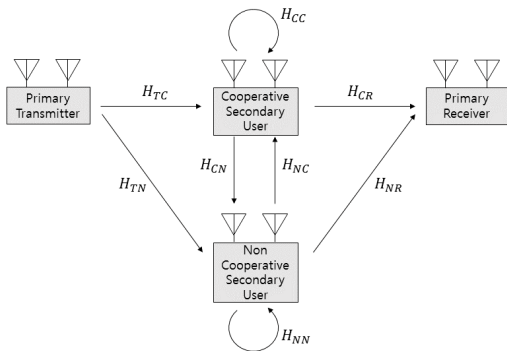


그림 3. 제안한 협력 인지 통신망의 열개 모형
Fig. 3. A model of the proposed FD MIMO-CCRN framework

$$(X, Y) \in \{(T, C), (T, N), (C, R), (N, R), (C, N), (N, C), (C, C), (N, N)\} \quad (2)$$

이고, T, R, C, N은 각각 주 송신자, 주 수신자, 신호 중계 부 쓰느이, 비 중계 부 쓰느이를 뜻한다. 여기서, H_{XY} 는 쓰느이 X에서 쓰느이 Y로 가는 채널이고, H_{XX} 는 쓰느이 X의 자기간섭 채널이며, 아래 첨자 1과 2는 첫째 안테나와 둘째 안테나를 나타낸다. 또, 아래첨자 숫자의 순서는 쓰느이 X의 안테나가 먼저, 그리고 쓰느이 Y의 안테나가 그 다음이다.

한편, $(X, Y) \in \{(T, C), (T, N)\}$ 일 때 $h_{XY,21} = 0$ 이고 $h_{XY,22} = 0$ 이며, $(X, Y) \in \{(C, R), (N, R)\}$ 일 때, $h_{XY,12} = 0$ 이고 $h_{XY,22} = 0$ 임을 주 송신자와 주 수신자의 안테나 개수가 한 개라는 것을 새기면 쉽게 알 수 있다. 이 논문에서 우리는, 부 쓰느이가 채널 상태 정보를 모두 알고 있으며, 모든 채널 상태는 한 정보를 보내는 동안 시간에 따라 바뀌지 않는다고 둔다.

2.2 신호처리 기법

그림 3과 같은 제안한 협력 인지 통신망 구조에서 쓰느이들은 다섯 개의 신호를 보내고자 한다. 첫째 시간 구간에서는 주 송신자가 주 수신자에게, 신호 중계 부 쓰느이가 비 중계 부 쓰느이에게, 그리고 비 중계 부 쓰느이가 신호 중계 부 쓰느이에게 각각 신호 s_{TR} , $s_{1,CN}$, 그리고 $s_{1,NC}$ 를 보내고자 하며, 둘째 시간 구간에서는 신호 중계 부 쓰느이가 비 중계 부 쓰느이에게 그리고 비 중계 부 쓰느이가 신호 중계 부 쓰느이에게 각각 신호 $s_{2,CN}$ 와 $s_{2,NC}$ 를 보내고자 한다. 여기서 아래첨자에 있는 숫자는 어떤 시간구간에 들어있는 신호인지를 나타낸다.

이제, 바라는 신호를 간섭 없이 보내고 받으려면 알맞게 신호를 처리해야 한다. 이를 위하여

$$M_{1,TC} = O_{2,CR} = (1 \ 0) \quad (3)$$

처럼 두고, 크기가 1인 1×2 행렬 $M_{1,CN}$, $M_{1,NC}$, $M_{2,CN}$, $M_{2,NC}$, $M_{2,CR}$, $O_{1,CN}$, $O_{1,NC}$, $O_{1,TC}$, $O_{2,CN}$, $O_{2,NC}$ 가

$$H_{XR} M_{2,XW}^T = (0 \ 0)^T \quad (4)$$

$$O_{1,XW} H_{TW} = (0 \ 0), \quad (5)$$

$$O_{t,XW} H_{WW} M_{t,WX}^T = 0, \quad (6)$$

$$O_{1,TC}H_{NC}M_{1,NC}^T = 0, \quad (7)$$

과

$$O_{2,CN}H_{CN}M_{2,CR}^T = 0 \quad (8)$$

을 만족시킨다고 두자. 이 열두 행렬들은 간섭을 제거하는 신호처리과정에 쓰이는 것들이다. 식 (4)-(6)에서 $X \in \{C, N\}$, $t \in \{1, 2\}$ 이고, $X = C$ 이면 $W = N$ 이고 $X = N$ 이면 $W = C$ 이다. 위 식 (4)-(8)을 만족시키는 행렬 $M_{2,CN}$, $M_{2,NC}$, $O_{1,CN}$, $O_{1,NC}$, $M_{1,CN}$, $M_{1,NC}$, $O_{2,CN}$, $O_{2,NC}$, $O_{1,TC}$ 와 $M_{2,CR}$ 은 쉽게 얻을 수 있으며, 이 행렬들은 신호에서 간섭을 제거하는 처리 과정에서 중요하게 쓰인다.

위 제한 조건 (4)-(8)을 바탕으로 이 열두 행렬을 얻으면^[13],

$$M_{t,XY} = \begin{pmatrix} 1 & -k_{t,XY} \\ \sqrt{1+|k_{t,XY}|^2} & \sqrt{1+|k_{t,XY}|^2} \end{pmatrix} \quad (9)$$

이고

$$O_{t,XY} = \begin{pmatrix} 1 & -l_{t,XY} \\ \sqrt{1+|l_{t,XY}|^2} & \sqrt{1+|l_{t,XY}|^2} \end{pmatrix} \quad (10)$$

이다. 여기서,

$$k_{2,XY} = \frac{h_{XR,11}}{h_{XR,21}}, \quad (11)$$

이고

$$k_{1,XY} = \frac{h_{XX,11}h_{TX,12} - h_{XX,12}h_{TX,11}}{h_{XX,21}h_{TX,12} - h_{XX,22}h_{TX,11}}, \quad (12)$$

이며, $k_{2,CR}$ 은 (13)과 같이, $l_{1,TC}$ 는 (14)과 같으며, $(X, Y) \in \{(C, N), (N, C)\}$ 이다.

III. 제안한 방식의 성능

이제, 제안한 통신망의 성능을 살펴보자. 계산적으로 분석하여 이를 수 있는 전송률을 얻음으로써, 제안한 통신망의 성능을 이제까지의 다중 입출력 협력 인지 통신망의 성능과 견주어 보았다^[4]. 이제까지의 다중 입출력 협력 인지 통신망은 반 이중으로 통신이 이루어진다는 점을 빼고는 제안한 통신망과 같은 열개를 가진다.

그 뿐만 아니라, 제안한 통신망의 성능을 시간 구간을 셋으로 나누는 이제까지의 협력 인지 통신망의 성능과도 견주어보았다^[5]. 시간 구간을 셋으로 나누는 협력 인지 통신망에서는 첫째 시간 구간을 신호 중계 부 쓰는이가 주 쓰는이 신호를 주 송신자에게서 받는 데에 쓰고, 둘째 시간 구간은 신호 중계 부 쓰는이가 주 쓰는이 신호를 주 수신자로 보내는 데에 쓰며, 셋째 시간 구간은 신호 중계 부 쓰는이가 부 쓰는이 신호를 비 중계 부 쓰는이에게 보내거나 비 중계 부 쓰는이에게서 부 쓰는이 신호를 받는 데에 쓴다. 제안한 통신망과 이제까지의 통신망의 이를 수 있는 전송률은 (2)-(8)을 바탕으로 얻을 수 있다^[13-15].

라이시안 채널 (Rician channel) 환경에서 제안한 통신망과 이제까지의 통신망을 계산적으로 분석하여 견주어 보았다. 그림 4와 5에 부 쓰는이끼리의 이를 수 있는 전송률을, 자기 간섭 채널을 뺀 채널들의 라이스 비율이 $K \in [0, 20]$ 일 때, 보였다. 이 때 자기간섭 채널의 라이스 비율은 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 채널의 라이스 비율인 5로 두었다^[16]. 그림 4는 부수신자의 신호대잡음비가 10dB일 때, 그림 5는 부수신자의 신호대잡음비가 30dB일 때를 나타낸다. 그림 4와 5에서, 제안한 통신망이 이제까지의 통신망과 견주었을 때, 부 쓰는이끼리의 전송률을 꽤 높여 준다는 것을 알 수 있다. 그 까닭은 제안한 통신망에서는 동시 송수신 안테나를 써서 전이중으로 통신하기 때문에 이제까지의 통신망보다 부쓰는이들이 신호를 더 많이 주고받을 수 있기 때문이다.

$$k_{2,CR} = \frac{(h_{NN,12}h_{NR,21} - h_{NN,22}h_{NR,11})h_{CN,11} - (h_{NN,11}h_{NR,21} - h_{NN,21}h_{NR,11})h_{CN,12}}{(h_{NN,12}h_{NR,21} - h_{NN,22}h_{NR,11})h_{CN,21} - (h_{NN,11}h_{NR,21} - h_{NN,21}h_{NR,11})h_{CN,22}} \quad (13)$$

$$l_{1,TC} = \frac{(h_{MN,21}h_{TN,12} - h_{MN,22}h_{TN,11})h_{NC,11} - (h_{MN,11}h_{TN,12} - h_{MN,12}h_{TN,11})h_{NC,21}}{(h_{MN,21}h_{TN,12} - h_{MN,22}h_{TN,11})h_{NC,12} - (h_{MN,11}h_{TN,12} - h_{MN,12}h_{TN,11})h_{NC,22}} \quad (14)$$

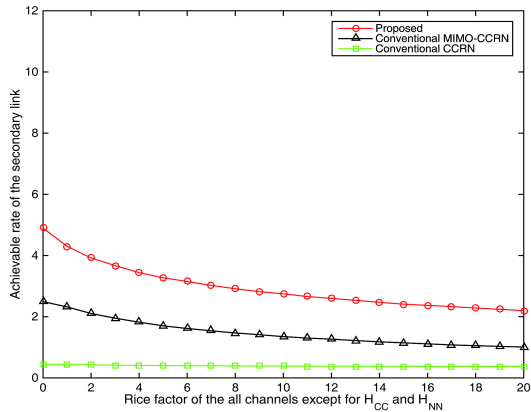


그림 4. 신호대잡음비가 10dB이고 자기 간섭 채널의 라이스 비율은 5일 때, 나머지 채널의 라이스 비율의 함수로 나타난 제한한 통신망 열개와 이제까지의 통신망 열개들에서 부 쓰는이끼리 이룰 수 있는 전송률
Fig. 4. Achievable rate in the secondary link of the proposed and conventional frameworks as a function of the Rice factor K of the other channels when the Rice factors of the self interference channels are equal to 5 and SNR=10dB

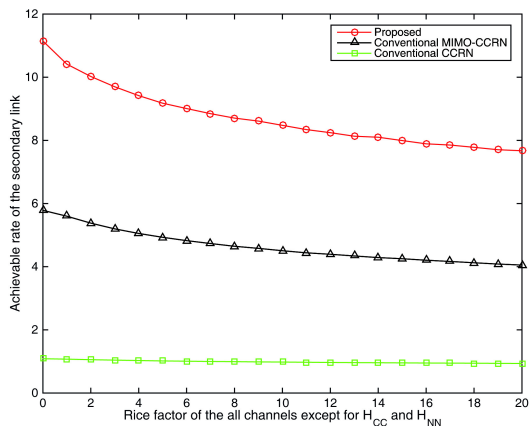


그림 5. 신호대잡음비가 30dB이고 자기 간섭 채널의 라이스 비율은 5일 때, 나머지 채널의 라이스 비율의 함수로 나타난 제한한 통신망 열개와 이제까지의 통신망 열개들에서 부 쓰는이끼리 이룰 수 있는 전송률
Fig. 5. Achievable rate in the secondary link of the proposed and conventional frameworks as a function of the Rice factor K of the other channels when the Rice factors of the self interference channels are equal to 5 and SNR=30dB

IV. 맺음말

전 이중 통신으로 신호를 주고 받는 새로운 다중 입출력 협력 인지 통신망 열개를 제안하였다. 제안한 협력 인지 통신망은 안테나 개수를 두 개로 제한하되, 동시 송수신이 가능한 안테나를 씌으로써 주파수 자

원을 이제까지의 협력 인지 통신망보다 효율적으로 쓴다.

이룰 수 있는 전송률을 해석적으로 분석한 뒤, 계산적으로 얻어내어 제안한 협력 인지 통신망이 이제까지의 협력 인지 통신망과 견주어 성능이 더 좋다는 것을 보였다. 특히, 라이시안 채널에서 채널 상태 정보를 완벽히 알 때 제안한 통신망과 이제까지의 통신망의 성능을 확인하고 견주어 보았으며, 그 결과 제안한 통신망에서의 성능이 이제까지의 협력 인지 통신망과 견주어 꽤 높음을 확인하였다.

References

- [1] <http://www.gartner.com/newsroom/id/2970017>, July 18, 2016.
- [2] Cisco (2016), *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015 - 2020*, San Jose, USA, Cisco.
- [3] S. Y. Jeon, J. H. Ahn, and T.-J. Lee, "Broadcast data delivery in IoT networks with packet loss and energy constraint," *J. KICS*, vol. 41, no. 2, pp. 269-276, Feb. 2016.
- [4] FCC (2002), *Spectrum Policy Task Force Report*, Washington, D.C., USA, FCC.
- [5] T. Yücek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Surveys, Tuts.*, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, First Quarter 2009.
- [6] J. M. Peha, "Approaches to spectrum sharing," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 2, pp. 10-12, Feb. 2005.
- [7] T. An, H. G. Kang, J. Oh, I. Song, and S. Yoon, "Near ML decoding based on metric-first searching and branch length threshold for multiple input multiple output systems," *J. KICS*, vol. 34, no. 8, pp. 830-839, Aug. 2009.
- [8] Y. Kim and S. Choi, "Performance analysis of massive MIMO systems according to DoF," *J. KICS*, vol. 40, no. 11, pp. 2145-2147, Nov. 2015.
- [9] J.-K. Hong, H.-S. Jo, C. Mun, and J.-G. Yook, "Beamforming based CSI reference signal transmission for FDD massive MIMO

systems,” *J. KICS*, vol. 41, no. 5, pp. 520-530, May 2016.

- [10] S. Hua, H. Liu, M. Wu, and S. Panwar, “Exploiting multiple antennas in cooperative cognitive radio networks,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, no. 7, pp. 3318-3330, Sept. 2014.
- [11] J. Zhang and Q. Zhang, “Stackelberg game for utility-based cooperative cognitive radio networks,” in *Proc. ACM Int. Symp. Mob. Ad Hoc Netw., Comput.*, pp. 23-32, New Orleans, USA, May 2009.
- [12] G. Zheng, I. Krikidis, and B. Ottersten, “Full-duplex cooperative cognitive radio with transmit imperfections,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 5, pp. 2498-2511, May 2013.
- [13] S. Park, “Full-duplex communication for Cooperative Cognitive Radio Networks with Two Simultaneous Transmit and Receive Antennas, M.S. Thesis, Korea Adv. Inst. Sci., Technol., Daejeon, Republic of Korea, 2016.
- [14] L. Bixio, G. Oliveri, M. Ottonello, M. Raffetto, and C. S. Regazzoni, “Cognitive radios with multiple antennas exploiting spatial opportunities,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 58, no. 8, pp. 4453-4459, Aug. 2010.
- [15] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communications*, Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2005.
- [16] F. van der Wijk, A. Kegel, and R. Prasad, “Assessment of a pico-cellular system using propagation measurements at 1.9 GHz for indoor wireless communications,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 44, no. 2, pp. 155-162, Feb. 1995.

박 상 우 (Sangwoo Park)



2014년 2월: 한국과학기술원 물리학과 이학사
 2016년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 공학석사
 2016년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 공학박사과정

<관심분야> 통계학적 신호처리, 정보이론

송 익 호 (Iickho Song)

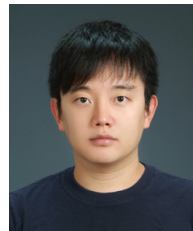


1982년 2월, 1984년 2월: 서울대학교 전자 공학과 공학사 (준최우등), 공학석사
 1985년 8월, 1987년 5월: 펜실베니아대학교 전기공학과 공학석사, 공학박사
 1987년 3월~1988년 2월: 벨 통신연구소 연구원

1988년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 조교수, 부교수, 교수

1995년 1월~현재: 한국통신학회 논문지 편집위원, 편집 부위원장 · 대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회원 · IET 석학회원 · IEEE 석학회원
 <관심분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파와 추정, 이동통신

이 승 원 (Seungwon Lee)



2010년 2월: 경희대학교 전자공학과 공학사
 2012년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 공학석사
 2012년 3월~현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학부 공학박사과정

<관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신