

랜덤 액세스 스몰셀 무선망에서의 실시간 기회적 간섭정렬 기법 연구

전 상 운*, 신 원 용^o

Dynamic Opportunistic Interference Alignment for Random-Access Small-Cell Networks

Sang-Woon Jeon*, Won-Yong Shin^o

요 약

최근 무선트래픽 수요가 폭발적으로 증가하면서 셀룰라 무선망에서 이를 효율적으로 지원하기 위한 스몰셀 연구가 활발히 수행 중이다. 본 논문은 랜덤 액세스 스몰셀 무선망에서의 간섭제어 기법에 대해 연구하였다. 기존 랜덤 액세스 망의 경우 셀내의 사용자간 간섭제어에만 초점이 맞춰져 있지만, 스몰셀 환경에서는 셀간의 간섭이 랜덤 액세스 망의 성능을 열화시키는 주요 요인이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 랜덤 액세스의 확률 특성을 반영한 실시간 기회적 간섭정렬 기법을 제안하였다. 제안기법을 통하여 기존기법 대비 셀수가 증가할수록 또한 셀내의 사용자수가 증가할수록 전송율이 획기적으로 향상됨을 모의실험을 통해 확인하였다.

Key Words : Inter-cell interference, interference alignment, opportunistic interference alignment, random-access, small-cell.

ABSTRACT

As the recently soaring wireless traffic, small-cell techniques have been actively studied in order to support such a wireless demand for cellular wireless networks. This paper studies interference mitigation methods for random-access small-cell networks. Although inter-cell interference between small random-access cells is one of the main factors to degrade overall performance, most of the previous works focused on interference mitigation between users in each cell. To address such limitation, dynamic opportunistic interference alignment is proposed exploiting statistical characteristics of random-access. It is demonstrated by simulation that the proposed scheme outperforms the previous approach as the number of cells or the number of users in each cell increases.

I. 서 론

최근 스마트폰과 테블릿 PC 사용자의 폭발적인 증가로 인하여, 언제 어디서나 다양한 통신서비스를 무

선망을 통하여 제공받기를 원한다. 따라서 이러한 폭발적인 무선 트래픽을 셀룰라 무선망을 통해 효율적으로 지원하기 위한 가장 간단하면서도 강력한 방안으로, 셀을 작게 구성하거나 기존 셀에 다수의 소형

* 이 논문은 2013년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (NRF-2013R1A1A1064955, NRF-2012R1A1A1064955)

• First Author : Department of Information and Communication Engineering, Andong National University, swjeon@anu.ac.kr, 중신회원

o Corresponding Author : Department of Computer Science and Engineering, Dankook University, wyshin@dankook.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2014-08-300, Received August 12, 2014; Revised November 18, 2014; Accepted November 18, 2014

셀들을 구축하는 “스몰셀” 기술들이 활발히 연구되고 있다^{1,2)}. 최근 각광받고 있는 스몰셀 셀룰라망은 단위 면적당 전송용량을 획기적으로 개선할 수 있지만, 셀 간 거리 감소로 인한 간섭이 상대적으로 중요하게 작용하게 된다. 그러므로 셀당 전송을 또한 개선하기 위해서는 스몰셀들 간의 효율적인 간섭제어 기법에 대한 연구가 뒷받침되어야 한다³⁻⁵⁾.

최근 ‘간섭정렬’이라는 새로운 간섭제어 패러다임이 제시되면서, 다중셀 무선망의 자유도를 획기적으로 개선하는 연구결과가 다양한 무선망 환경에서 발표되었다⁶⁻¹⁵⁾. 비록 간섭정렬 기술이 다중셀 무선망의 자유도를 획기적으로 증가시키지만 이를 위해서는 송신단이 모든 채널정보를 완벽히 알아야 한다는 제약조건이 있다. 하지만 많은 상용통신시스템에서 채널피드백 지연 및 시스템 복잡도로 인하여 간섭정렬을 구현하는데 한계가 있다.

간섭정렬을 상용통신시스템에 적용하려는 시도 중 하나로서 ‘기회적 간섭정렬’이 제안되었다¹⁶⁻¹⁸⁾. 기회적 간섭정렬이란 무선채널의 페이딩 특성을 활용하여 다른 수신단으로의 간섭이 일정 기준값 이하가 되는 송신단만이 전송에 참여하는 기법이다. 이를 통하여 기존 간섭정렬에 비해 복잡도 및 채널 피드백을 줄이 고자 하였다.

하지만 앞서 언급한 기존의 간섭정렬 및 기회적 간섭정렬 기법들은 사용자수가 고정된 환경에서 제안되었다. 랜덤 액세스 망의 경우, 셀 내의 사용자가 실시간으로 변화하며 따라서 이러한 유동적 환경을 고려하는 간섭제어 기법이 연구되어야 한다. 기존 랜덤 액세스 연구는 이를 반영하였지만 셀내의 사용자간 간섭제어에 초점이 맞춰져 있다.

랜덤 액세스 스몰셀 무선망의 경우, 다중셀 사이의 중첩 및 거리 감소로 인하여 셀간 간섭이 특히 심하다. 본 연구는 이러한 환경에서 간섭을 효과적으로 제어하기 위한 ‘실시간 기회적 간섭정렬 기법’을 제안하였다. 이를 통하여 기존 간섭정렬 및 기회적 간섭정렬을 통한 무선망 자유도 개선을 랜덤 액세스 스몰셀 무선망에서 유동적으로 구현하고자 한다.

II. 랜덤 액세스 스몰셀 무선망

본 논문은 그림 1로 표현되는 M 개의 셀로 구성된 스몰셀 무선망을 고려한다. 이때 각 액세스포인트 (AP)는 N 개의 수신안테나를 가진다. 매 타임슬롯마다 새로운 사용자들이 각 셀에 확률적으로 발생하며, 포아송 분포 $Poisson(\alpha)$ 를 따름을 가정한다. 또한

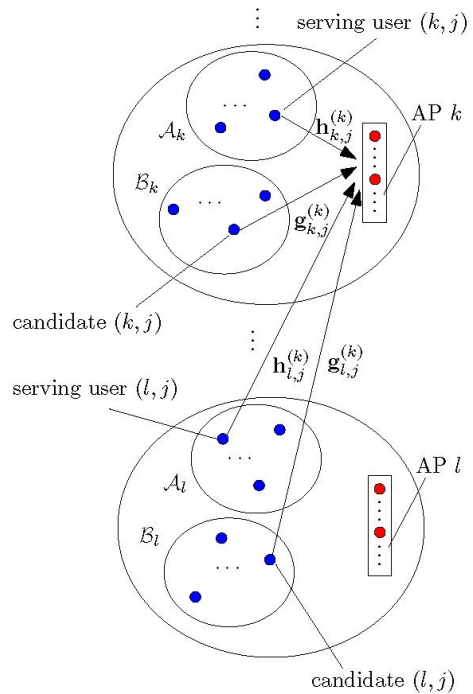


그림 1. 랜덤 액세스 스몰셀 무선망
Fig. 1. Random-Access Small-cell Networks

각 사용자의 서비스 시간, 즉 각 사용자가 서비스를 받을 때 점유하는 타임슬롯의 수는 이항 분포 $Goemetric(\beta)$ 를 따름을 가정한다. 사용자들은 단일 안테나를 가짐을 가정하였다.

특정 타임슬롯을 가정하자. 이때 k 번째 액세스포인트의 이전 서비스사용자 중 서비스가 아직 종료되지 않은 사용자 집합을 A_k 로 표기한다. 또한 새롭게 접속을 시도하는 사용자 집합을 B_k 로 표기한다. 편의상 A_k 에 속한 j 번째 사용자를 ‘서비스사용자 (k, j) ’라고 지칭하며, B_k 에 속한 j 번째 사용자를 ‘후보사용자 (k, j) ’로 지칭한다.

이때 k 번째 액세스포인트의 수신신호벡터는 다음과 같다.

$$y^{(k)} = \sum_{l=1}^M \sum_{j \in A_l} h_{l,j}^{(k)} x_{l,j} + \sum_{l=1}^M \sum_{j \in B_l} g_{l,j}^{(k)} x_{l,j} + z^{(k)} \tag{1}$$

여기서 $h_{l,j}^{(k)}$ 는 서비스사용자 (l, j) 에서 k 번째 액세스포인트로의 $N \times 1$ 채널벡터이며, $g_{l,j}^{(k)}$ 는 후보사용자 (l, j) 에서 k 번째 액세스포인트로의 $N \times 1$ 채널벡터

이다. 또한 $x_{l,j}$ 와 $\bar{x}_{l,j}$ 는 각각 서비스사용자 (l, j)와 후보사용자 (l, j)의 전송신호이며, 평균전송파워 P 를 만족해야 한다, 즉 $E(|x_{l,j}|^2) \leq P$, $E(|\bar{x}_{l,j}|^2) \leq P$. 잡음 벡터 $\mathbf{z}^{(k)}$ 의 각 성분은 독립확률변수이며 정규분포 $CN(0,1)$ 를 따른다.

매 타임슬롯마다 채널값이 무작위로 변함을 가정하였으며, 이때 k 번째 액세스포인트는 자신의 지역채널 정보인 $\{\mathbf{h}_{l,j}^{(k)}\}_{l,j}, \{\mathbf{g}_{l,j}^{(k)}\}_{l,j}$ 를 알고 있음을 가정하였다. 반면, 서비스사용자와 후보사용자는 채널정보를 알지 못함을 가정하였다.

본 논문은 위와 같이 정의되는 랜덤 액세스 스몰셀 무선망에서의 실시간 기회적 간섭정렬 기법을 제안하였다. 이를 위해 매 타임슬롯에서의 서비스사용자 집합을 S_k 로 표기한다. 즉 제안기법은 매 타임슬롯마다 기존의 A_k 를 포함하고 (아직 서비스가 종료되지 않은 사용자이므로) B_k 의 일부 사용자를 새롭게 서비스사용자로 포함하는 알고리즘을 제안하고 이에 따른 성능을 검증하고자 한다.

III. 실시간 기회적 간섭정렬

본 논문에서 제안하는 실시간 기회적 간섭정렬은 크게 두부분으로 구성된다. 매 타임슬롯마다 새롭게 서비스사용자 집합을 갱신하는 알고리즘과 이를 바탕으로 각 액세스포인트에서 다중안테나를 통한 수신단 빔성형기법이 이에 해당한다.

3.1 서비스사용자 갱신 알고리즘

먼저 기존의 서비스사용자 집합 A_k 를 포함하고 새롭게 접속을 시도한 후보사용자 집합 B_k 중 일부 사용자를 선택하여 서비스사용자 집합 S_k 를 구성하는 서비스사용자 갱신 알고리즘을 소개한다. 이 때 후보사용자 선택의 기준은 기존의 서비스사용자로의 간섭을 최소화하는 기회적 간섭정렬에 기반하여 제안한다. 이를 위해 임의의 S_k 가 주어진 상황에서 다음과 같은 지표를 정의하자.

$$\theta_{l,j}^{(k,i)} := \frac{\mathbf{h}_{k,i}^{(k)*} \mathbf{g}_{l,j}^{(k)}}{\|\mathbf{h}_{k,i}^{(k)}\| \|\mathbf{g}_{l,j}^{(k)}\|} \quad (2)$$

여기서 $k \in [1:M]$, $l \in [1:M]$, $i \in S_k$, $j \in B_l$ 로 주어진다. 위에 정의된 $\theta_{l,j}^{(k,i)}$ 는 서비스사용자 (k, i)에서

k 번째 액세스포인트로의 채널과 후보사용자 (l, j)에서 k 번째 액세스포인트로의 채널간의 각도로 해석될 수 있다. 즉 $\theta_{l,j}^{(k,i)}$ 가 작을수록 후보사용자 (l, j)의 간섭이 서비스사용자 (k, i)에게 미치는 영향이 적다. 위의 지표를 바탕으로 서비스사용자 갱신 알고리즘을 제안하였으며, 구체적인 알고리즘은 테이블 1에 소개한다.

3.2 Zero-Forcing에 기반한 액세스포인트 수신기

본 절에서는 서비스사용자 집합 $\{S_k\}_{k \in [1:M]}$ 가 3.1 절에서 제안된 서비스사용자 갱신 알고리즘에 의해 생성된 경우, 각 액세스포인트 수신기에 대해 설명한다. Zero-Forcing에 기반한 수신기 구조를 제안하였다. 채널의 입출력 관계 (1)로부터 k 번째 액세스포인트의 수신신호벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}^{(k)} &= \sum_{l=1}^M \sum_{j \in S_l} \mathbf{h}_{l,j}^{(k)} x_{l,j} + \mathbf{z}^{(k)} \\ &= \sum_{l=1}^M \mathbf{H}_l^{(k)} \mathbf{x}_l + \mathbf{z}^{(k)} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

$$\mathbf{H}_l^{(k)} = [\mathbf{h}_{l,1}^{(k)}, \dots, \mathbf{h}_{l,|S_l|}^{(k)}] \quad (4)$$

는 S_l 에 속한 서비스사용자들로부터 k 번째 액세스포인트로의 $N \times |S_l|$ 채널 행렬이며

$$\mathbf{x}_l = [x_{l,1}, \dots, x_{l,|S_l|}]^T \quad (5)$$

은 S_l 에 속한 서비스사용자들로 구성된 $|S_l| \times 1$ 신호 벡터이다.

각 서비스사용자는 자신의 메시지를 평균전송파워가 P 인 가우시안 코드를 통하여 전송한다. k 번째 액세스포인트는 S_k 에 속한 i 번째 서비스사용자, 다시 말하면, 서비스사용자 (k, i)의 메시지를 Zero-Forcing 수신기를 통하여 추정한다.

구체적으로

$$\mathbf{G}_{ZF}^{(k)} = \begin{bmatrix} \mathbf{g}_{ZF,1}^{(k)} \\ \vdots \\ \mathbf{g}_{ZF,|S_k|}^{(k)} \end{bmatrix} := (\mathbf{H}_k^{(k)*} \mathbf{H}_k^{(k)})^{-1} \mathbf{H}_k^{(k)*} \quad (6)$$

Result: $\{\mathcal{S}_k\}_{k \in [1:M]}$
Initialization:
for $k = [1 : M]$ **do**
 | set $\mathcal{S}_k = \mathcal{A}_k$;
end
if $\cup_{k=1}^M \mathcal{S}_k = \emptyset$ **and** $\cup_{k=1}^M \mathcal{B}_k \neq \emptyset$ **then**
 | set $(l^*, j^*) = \arg \max_{k \in [1:M], i \in \mathcal{B}_i} \|\mathbf{g}_{k,i}^{(k)}\|$;
 | update $\mathcal{S}_{l^*} = \mathcal{S}_{l^*} \cup \{\text{candidate } (l^*, j^*)\}$ **and** $\mathcal{B}_{l^*} = \mathcal{B}_{l^*} \setminus \{\text{candidate } (l^*, j^*)\}$;
 for $k = [1 : M]$ **do**
 | set $\mathbf{h}_{l^*,j^*}^{(k)} = \mathbf{g}_{l^*,j^*}^{(k)}$;
 end
else
 | **return** $\{\mathcal{S}_k\}_{k \in [1:M]}$;
end
Serving User Update:
set flag = true;
while flag = true **do**
 for $l \in [1 : M]$ **do**
 | **if** $S_l < N$ **then**
 | set $\delta_{l,j} = \sum_{k=1}^M \sum_{i \in \mathcal{S}_k} |\theta_{l,j}^{(k,i)}|$ **for all** $j \in \mathcal{B}_l$;
 | **else**
 | set $\delta_{l,j} = 2\epsilon$ **for all** $j \in \mathcal{B}_l$;
 | **end**
 | **end**
 | set $(l^*, j^*) = \arg \min_{l \in [1:M], j \in \mathcal{B}_l} \delta_{l,j}$;
 | **if** $\delta_{l^*,j^*} \leq \epsilon$ **then**
 | update $\mathcal{S}_{l^*} = \mathcal{S}_{l^*} \cup \{\text{candidate } (l^*, j^*)\}$ **and** $\mathcal{B}_{l^*} = \mathcal{B}_{l^*} \setminus \{\text{candidate } (l^*, j^*)\}$;
 | **for** $k = [1 : M]$ **do**
 | set $\mathbf{h}_{l^*,j^*}^{(k)} = \mathbf{g}_{l^*,j^*}^{(k)}$;
 | **end**
 | **else**
 | set flag = false
 | **end**
end
return $\{\mathcal{S}_k\}_{k \in [1:M]}$;

테이블 1. 기회적 간섭정렬 알고리즘
 Table 1. Opportunistic Interference Alignment Algorithm

를 통하여 k 번째 액세스포인트는 서비스사용자 (k, i) 의 메시지를 다음 방법으로 추정한다. 성 가능하다.

$$f_{ZF,i}^{(k)} \mathbf{y}^{(k)} = x_{k,i} + \sum_{l=1}^M \sum_{j \in \mathcal{S}_l, j \neq i} f_{ZF,i}^{(k)} \mathbf{h}_{l,j}^{(k)} x_{l,j} + f_{ZF,i}^{(k)} \mathbf{z}^{(k)} \quad (7)$$

$$r_{k,i} = \log \left(1 + \frac{P}{\|\mathbf{g}_{ZF,i}^{(k)}\|^2 + \sum_{l=1}^M \sum_{j \in \mathcal{S}_l, j \neq i} |\mathbf{g}_{ZF,i}^{(k)} \mathbf{h}_{l,j}^{(k)}|^2 P} \right) \quad (8)$$

그러므로 서비스사용자 (k, i) 는 다음 전송율을 달

IV. 모의실험 및 토의

본 장에서는 제안기법을 시변채널에서 동작시켰을 때의 평균 전송율 (ergodic rate) 에 대해 모의 실험을 수행하였다. 또한 액세스포인트 간의 백홀 채널을 통한 제안 기법의 효율적 구현을 간략히 논의하였다.

4.1 제안기법의 평균 전송율

제안 기법의 성능을 다음과 같은 환경에서 모의 실험을 수행하였다. 매 타임슬롯마다 채널값이 정규분포를 따르며 무작위로 변함을 가정하였다 (Rayleigh fading). 또한 매 타임슬롯마다 기존의 서비스사용자는 확률 1/2로 서비스를 종료하며 (Geometric($\beta=1/2$)) 각 셀 내에서 새롭게 접근을 시도하는 사용자 수의 평균은 각각 10,30,50,100을 고려하였다 (Poisson($\alpha=10,30,50,100$)). 그림 2는 $P=10\text{dB}$ 일 때 2 셀 2 액세스포인트 안테나, 3 셀 3 액세스포인트 안테나, 4 셀 4 액세스포인트 안테나 환경에서 평균 전송율을 도시하였다.

모의 실험 결과에서 확인 할수 있듯이 셀수가 증가할수록 혹은 셀 내의 사용자가 증가할수록 전송율 합이 증가한다, 이는 제안 실시간 기회적 간섭정렬 기법이 랜덤 액세스 환경에서 셀간 간섭을 효과적으로 제어함을 의미한다.

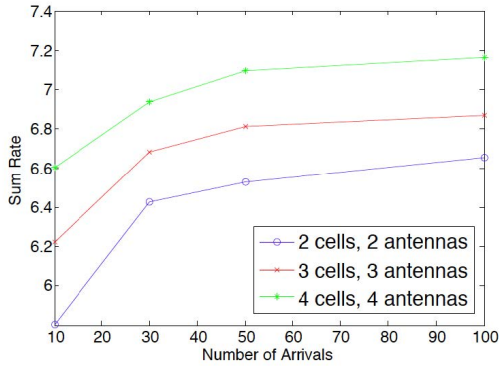


그림 2. 제안기법의 평균 전송율 합
Fig. 2. Sum Rate of the Proposed Scheme

4.2 백홀(Backhaul) 채널을 활용한 제안기법 구현

본 절에서는 셀간 백홀 채널을 통하여 제안기법을 효율적으로 구현하는 방안에 대해 간략히 논의한다. 먼저 다음과 같은 파라미터를 정의하자 (테이블 1 참고).

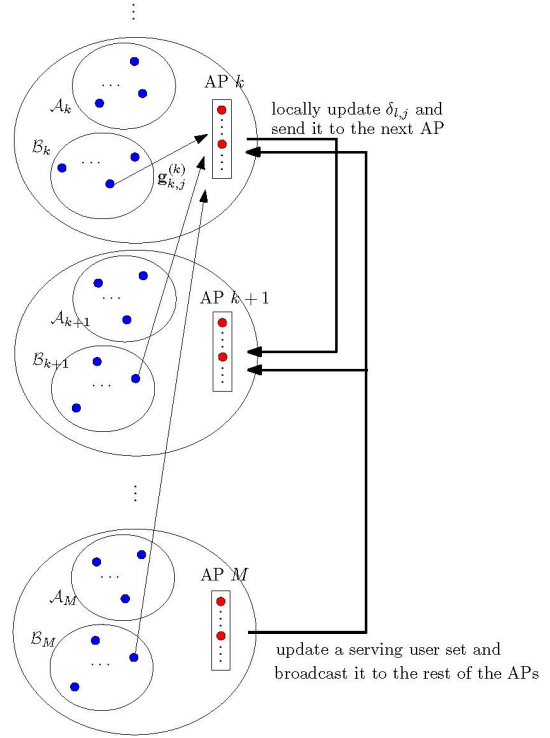


그림 3. 백홀 채널을 활용한 제안기법 구현
Fig. 3. Implementation of the Proposed Scheme Using Backhaul Channels

$$\delta_{l,j} = \sum_{k=1}^M \sum_{i \in S_k} |\theta_{l,j}^{(k,i)}| \quad (9)$$

그림 3은 백홀 채널을 활용한 제안기법의 효율적 구현 방안이다. 먼저 k 번째 액세스포인트는 이전 백홀 채널을 통해 전달된 정보를 통하여

$$\delta_{l,j} = \sum_{k=1}^M \sum_{i \in S_k} |\theta_{l,j}^{(k,i)}|$$

를 모든 $l \in [1:M]$ 와 $j \in B_l$ 에 대해 구한 다음, $k+1$ 번째 액세스포인트로의 백홀 채널을 통하여 갱신된 $\theta_{l,j}^{(k,i)}$ 를 전달한다. 이 과정을 반복하여 최종 M 번째 액세스포인트는 제안 사용자 갱신 알고리즘에 필요한 (9)를 최종적으로 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 (9)를 바탕으로 새롭게 선택된 사용자들은 다시 백홀 채널을 통하여 해당 셀의 액세스포인트에 전달한다.

V. 결론

본 논문은 랜덤 액세스 스몰셀 무선망에 대하여 연

구하였다. 이 경우 기존 랜덤 액세스 망과는 달리 스포셀간의 거리감소로 인하여 셀간 간섭이 전체 망의 성능을 열화시키는 주요 요인이다. 이를 해결하기 위하여 랜덤 액세스 망의 사용자 확률 특성을 고려한 실시간 기회적 간섭정렬 기법을 제안하였다. 본 제안기법은 기존 간섭정렬 혹은 기회적 간섭정렬과는 달리 실시간으로 변화하는 사용자 환경에 유동적으로 간섭정렬을 적용 가능하다. 이를 통하여 랜덤 액세스 스포셀 무선망의 전송율을 크게 증가시켰다.

References

- [1] J. Hoydis, M. Kobayashi, and M. Debbah, "Green small-cell networks," *IEEE Veh. Tech. Mag.*, vol. 6, pp. 37-43, Mar. 2011.
- [2] A. Ghosh, N. Mangalvedhe, R. Ratasuk, B. Mondai, M. Cudak, E. Visotsky, T. A. Thomas, J. G. Andrews, P. Xia, H. S. Jo, H. S. Dhillon, and T. D. Novian, "Heterogeneous cellular networks: From theory to practice," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, pp. 54-64, Jun. 2012.
- [3] R. H. Etkin, D. N. C. Tse, and H. Wang, "Gaussian interference channel capacity to within one bit," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, pp. 5534-5562, Dec. 2008.
- [4] D.-W. Seo, S.-W. Jeon, S.-Y. Chung, and J. Kim, "Rate enhancement for the Gaussian Z-interference channel with transmitter cooperation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 9, pp. 821 - 823, Sept. 2010.
- [5] S.-W. Jeon and M. Gastpar, "A survey on interference networks: Interference alignment and neutralization," *Entropy*, vol. 14, pp. 1842-1863, Sept. 2012.
- [6] V. R. Cadambe and S. A. Jafar, "Interference alignment and degrees of freedom of the K-user interference channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, pp. 3425-3441, Aug. 2008.
- [7] C. Suh, M. Ho, and D. N. C. Tse, "Downlink interference alignment," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, pp. 2616-2626, Sept. 2011.
- [8] C. Suh and D. N. C. Tse, "Interference alignment for cellular networks," in *Proc. 46th Annu. Allerton Conf. Commun., Control, and Comput.*, Monticello, IL, Sept. 2008.
- [9] S.-W. Jeon and S.-Y. Chung, "Capacity of a class of linear binary field multisource relay networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 59, pp. 6405-6420, Oct. 2013.
- [10] T. Gou, S. A. Jafar, C. Wang, S.-W. Jeon, and S.-Y. Chung, "Aligned interference neutralization and the degrees of freedom of the 2x2x2 interference channel," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 58, pp. 4381-4395, Jul. 2012.
- [11] S.-W. Jeon, S.-Y. Chung, and S. A. Jafar, "Degrees of freedom region of a class of multisource Gaussian relay networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 57, pp. 3032-3044, May 2011.
- [12] S.-W. Jeon, C.-Y. Wang, and M. Gastpar, "Approximate ergodic capacity of a class of fading two-user two-hop networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 60, pp. 866-880, Feb. 2014.
- [13] J. Shin, "Non-robust and robust regularized zero-forcing interference alignment methods for two-cell MIMO interfering broadcast channels," *J. KICS*, vol. 38A, pp. 560-570, Jul. 2013.
- [14] S.-W. Jeon and B. C. Jung, "Interference neutralization for small-cell wireless networks," *J. KICS*, vol. 38A, pp. 1117-1124, Dec. 2013.
- [15] C. Lee, J. Kim, J. Kwak, E. Kim, and S. Chong, "Distributed BS Transmit Power Control for Utility Maximization in Small-Cell Networks," *J. KICS*, vol. 38A, pp. 1125-1134, Dec. 2013.
- [16] H. J. Yang, B. C. Jung, W.-Y. Shin, and A. Paulraj, "Codebook-based opportunistic interference alignment," *IEEE Trans. Sig. Process.*, vol. 62, no. 11, pp. 2922-2937, Jun. 2014.
- [17] H. J. Yang, W.-Y. Shin, B. C. Jung, and A. Paulraj, "Opportunistic interference alignment for MIMO interfering multiple-access channels," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 12, pp. 2180-2192, May 2013.

[18] B. C. Jung, D. Park, and W.-Y. Shin, "Opportunistic interference mitigation achieves optimal degrees-of-freedom in wireless multi-cell uplink networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, pp. 1935-1944, Jul. 2012.

전 상 운 (Sang-Woon Jeon)



2003년 8월 : 연세대학교 전기전
자공학부 공학사
2006년 2월 : 연세대학교 전기전
자공학부 공학석사
2011년 8월 : 한국과학기술원 전
기전자공학과 공학박사
2011년 8월~2013년 2월 : EPFL
박사후연구원

2013년 3월~현재 : 국립안동대학교 정보통신공학과
조교수

<관심분야> 정보이론, 무선통신

신 원 용 (Won-Yong Shin)



2002년 2월 : 연세대학교 기계전
자공학 학사
2004년 2월 : KAIST 전자전산
학과 석사
2008년 8월 : KAIST 전자전산
학부 박사
2008년 2~4월 : Harvard University

방문연구원

2008년 9월~2009년 2월 : KAIST BK 정보전자연구소
박사후연구원

2009년 3~4월 : KAIST 고성능집적시스템연구센터 선
임급 위촉연구원

2008년 8월~2009년 4월 : (주)루미콤 방문연구원

2009년 5월~2011년 10월 : Harvard University
Postdoctoral Fellow

2011년 10월~2012년 2월 : Harvard University
Research Associate

2012년 3월~현재 : 단국대학교 국제학부 모바일시스템
공학전공/대학원 컴퓨터학과 조교수

<관심분야> 정보이론, 통신이론, 신호처리, 모바일 컴
퓨팅, 네트워크 이슈로의 다양한 응용