

## 인프라구조 도움을 받는 소거 네트워크에서 용량에 대한 랜덤 노드 분포의 효과

신원용\*

### Effect of Random Node Distribution on the Throughput in Infrastructure-Supported Erasure Networks

Won-Yong Shin\*

Department of Computer Science and Engineering, Dankook University, Yongin 16890, Korea

#### 요 약

인프라구조 도움을 받는 최 인근 다중 홉 라우팅 및 순수 최 인근 다중 홉 라우팅은 다수 개의 무선 노드와 중계기가 균일하게 분포되며 패킷이 특정 확률로 삭제되는 거대한 패킷 소거 네트워크에서 최적의 용량 스케일링을 취득하는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 보다 실제적인 시나리오으로써 무선 노드가 랜덤하게 분포하는 인프라구조 도움을 받는 소거 네트워크에서의 용량 스케일링 법칙을 보인다. 소거 확률을 모델링하기 위해 지수적 감쇠 모델을 사용한다. 혼합 랜덤 소거 네트워크에서 고용량 취득을 위해 침투 이론을 사용한 고속도로 기반 다중 홉 라우팅을 제안하고, 대응되는 용량 스케일링을 분석한다. 주요 결과로써, 제안한 침투 고속도로 기반 라우팅 기술은 혼합 균일 소거 네트워크에서 최 인근 다중 홉을 사용한 경우와 동일한 용량 스케일링 취득이 가능함을 보인다. 즉, 노드가 랜덤하게 분포하는 상황에서도 성능 손실은 발생하지 않음을 확인한다.

#### ABSTRACT

The nearest-neighbor multihop routing with/without infrastructure support is known to achieve the optimal capacity scaling in a large packet-erasure network in which multiple wireless nodes and relay stations are regularly placed and packets are erased with a certain probability. In this paper, a throughput scaling law is shown for an infrastructure-supported erasure network where wireless nodes are randomly distributed, which is a more feasible scenario. We use an exponential decay model to suitably model an erasure probability. To achieve high throughput in hybrid random erasure networks, the multihop routing via highway using the percolation theory is proposed and the corresponding throughput scaling is derived. As a main result, the proposed percolation highway based routing scheme achieves the same throughput scaling as the nearest-neighbor multihop case in hybrid regular erasure networks. That is, it is shown that no performance loss occurs even when nodes are randomly distributed.

**키워드** : 용량 스케일링, 소거 네트워크, 인프라구조, 다중 홉, 침투 고속도로, 중계기

**Key word** : Throughput scaling, Erasure network, Infrastructure, Multihop, Percolation highway, Relay station

Received 03 April 2016, Revised 05 April 2016, Accepted 12 April 2016

\* Corresponding Author Won-Yong Shin(E-mail:wysin@dankook.ac.kr, Tel:+82-31-8005-3253)

Department of Computer Science and Engineering, Dankook University, Yongin 16890, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.5.911>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

### 1.1. 관련 연구

[1]에서 부가 가우시언 잡음을 가정한 거대 무선 네트워크에 대한 합 용량 스케일링이 소개되고 분석되었다. 단위 면적에  $n$ 개의 노드가 랜덤하게 위치하는 네트워크에 대해서, 전체 용량은  $\Theta(\sqrt{n/\log n})$ 으로 스케일함을 보였다. [1] 이외에도 다중 홉에 대한 추가적인 연구가 [2-4]에서 이루어졌는데, 전체 용량은 모두  $\Theta(n)$ 보다 훨씬 작게 스케일하게 된다. 뿐만 아니라, 단위 면적의 가우시언 네트워크 모델에서 계층적 협력 통신 기술[5]을 사용하여 선형에 가까운 용량 스케일링 법칙, 즉 임의의 작은  $\epsilon > 0$ 에 대하여  $\Theta(n^{1-\epsilon})$ 을 취득할 수 있음을 보였다. 전체 용량을 선형 스케일링까지 개선하기 위한 대안으로 인프라구조 노드, 즉 중계기가 무선 애드 혹 네트워크에 전개될 수 있는데, 이 때 중계기는 서로 무한대에 가까운 용량 링크로 연결되어 있다고 가정하였다[6-8]. 이러한 혼합 네트워크에서 기지국 수  $m$ 에 따른 선형 스케일링을 취득하기 위해서는  $m$ 이 특정 임계값을 넘어야한다는 요구 사항이 따르게 된다. [9]에서는 다중 안테나가 각 중계기에 설치된 보다 일반적인 혼합 네트워크에서, 중계기 도움을 받는 단일 홉, 중계기 도움을 받는 다중 홉, 순수 다중 홉[1], 계층적 협력 통신[5] 중 하나를 사용함으로써 최적의 용량 스케일링을 취득할 수 있음을 보였다.

게다가, 또 다른 근본적인 네트워크 유형으로 무선 소거 네트워크[10]가 소개되었다. 소거 네트워크에서는 신호가 성공적으로 전달되거나 혹은 완전히 분실된다. 이러한 소거 채널 모델은 모든 정보 전송이 패킷화되는 ARQ (Automatic Repeat reQuest)와 같은 메카니즘을 갖는 시스템에 적합하다고 할 수 있다. 소거 채널 분석은 정보 이론 및 부호 이론에서 중요한 역할을 한다. 이는 무선 네트워크에서의 각 통신 채널을 기억이 없는 (memoryless) 소거 채널로 모델링함으로써, 일반적인 가우시언 (Gaussian) 다중 터미널 네트워크에 대한 용량에 대응하는 장기간 풀리지 않았던 문제에 쉽게 접근할 수 있기 때문이다.

노드 사이의 물리적인 거리가 증가할 때, 노드의 링크 질은 하락하게 된다. 이런 현상을 소거 채널 모델에 포함하기 위해, 성공적인 전송 확률이 두 노드 사이의 거리에 지수적으로 감소하는 지수적 감쇠 모델을 일반

적으로 사용하고 있다[11]. 또한, [12]에서는 지수적 감쇠 모델을 사용한 다수의 인프라구조 노드를 가진 혼합 소거 네트워크 하에서 최적의 용량 스케일링 법칙을 유도하였다. 하지만, [12]에서는 무선 노드가 네트워크에 균일하게 분포되어 있는 다소 현실적이지 않은 간단한 네트워크를 가정하였다. 랜덤 노드 분포를 가정한 혼합 소거 네트워크에서 고용량 스케일링을 취득하는 방법은 간단한 확장으로 전개될 수 없다. 그리고, 랜덤 소거 네트워크 모델에서 최적의 용량을 보장하는 취득 기술을 구체적으로 설계하는 방법도 기존 논문 기반으로 명확히 설명할 수 없다.

### 1.2. 주요 제안 사항

본 논문에서는 지수적 감쇠 모델을 사용하여  $m$ 개의 균일하게 위치한 중계기와  $n$ 개의 랜덤하게 분포하는 무선 노드를 가진 거대 스케일 혼합 소거 네트워크에 대한 용량 스케일링 법칙을 분석한다. 고용량 취득을 위해 최 인근 다중 홉 대신에 침투 고속도로 (percolation highway) 기반으로 한 다중 홉 라우팅 [2]을 활용한다. 보다 구체적으로, 기지국 도움을 받는 침투 고속도로 라우팅 및 순수 침투 고속도로 라우팅을 소개하고, 대응하는 용량 스케일링을 유도한다. 주요 결과로써, 지수적 감쇠 모델을 사용하는 랜덤 네트워크 하에서 취득할 수 있는 용량 스케일링 법칙은 균일 네트워크 모델 [12] 하에서 보인 결과와 동일함을 보인다. 즉, 새로운 라우팅을 활용함으로써 추가적인 랜덤성으로부터 오는 성능 저하가 발생하지 않음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 및 채널 모델을 소개한다. III장에서는 새로운 라우팅을 소개하고 IV장에서는 용량 스케일링 결과를 보인다. V장에서는 본 논문을 요약 및 마무리한다.

## II. 시스템 및 채널 모델

정사각형 평면에 균일하고 독립적으로 분포된  $n$ 개의 무선 노드로 구성된 단일 노드 밀도를 갖는 2차원 확장 네트워크 [5, 9]를 고려한다. 각 노드가 단지 하나의 source가 되도록 source-destination 쌍을 랜덤하게 택한다. 전체 네트워크 영역이  $m$ 개의 정사각형 셀로 나누어지고, 각 셀은 중심에 하나의 단일 안테나 중계기를

갖는다고 가정한다. 각 중계기 중심과 가장 인접한 무선 노드들 사이의 최소 거리는  $0 < d_{\min} \leq 1$ 로 주어진다. 분석적 편의를 위해 변수  $n$ 과  $m$ 은  $\beta \in [0, 1)$ 에 대해 관계식  $m = n^\beta$ 를 따르도록 설정한다. 게다가 [6, 7], [9]와 같이, 중계기와 중계기 사이 링크는 서로 무한대의 대역폭으로 연결되어 있고, 이 중계기들은 source나 destination 역할을 하지 않는다고 가정한다.  $T(n)$ 을 네트워크의 전체 용량으로 정의할 때, 각 노드는  $T(n)/n$ 의 전송률로 송신한다고 가정한다.

이제 두 개의 노드 사이의 채널에 대해 설명한다. 모든 채널에 대해 독립적으로 소거 사건을 갖는 비메모리 소거 채널로 모델한다. 먼저 상향링크에서의 채널 모델을 보인다. 노드  $i \in \{1, \dots, n\}$ 와 중계기  $k \in \{1, \dots, m\}$  사이의 전송에 대해 소거 확률  $\epsilon_{ki}$ 는 거리에 따라 증가하는 함수로 모델링된다. 본 연구에서는, 경로 손실 감쇠 모델로써 성공적인 전송 확률이 노드  $i$ 와 중계기  $k$  사이의 거리  $d_{ki}$ 와 함께 지수적으로 감소하는 지수적 감쇠 모델 [11, 12]을 고려한다. 이 때, 아래의 식을 따른다.

$$\epsilon_{ki} = 1 - \delta^{d_{ki}} \quad (1)$$

여기에서,  $0 < \delta < 1$ 이다. 또한 무선 네트워크의 브로드캐스트 특성을 추가로 반영하기 위해, 유한한 필드 부가 간섭을 고려한다. 각 시간 슬롯에서 각 노드  $i \in \{1, \dots, n\}$ 는 유한한 필드 알파벳  $F_q$ 로부터 단일 심볼  $x_i$ 를 선택할 때, 중계기  $k$ 에서 수신된 심볼  $y_k$ 는 아래와 같이 주어진다.

$$y_k = \sum_{i \in I} \gamma_{ki} x_i \quad (2)$$

여기에서,  $I$ 는 동시에 전송하는 노드들의 집합이고,  $\gamma_{ki}$ 는 확률  $\epsilon_{ki}$ 와 함께 값 0을 취하는 이진 랜덤 변수이다. 이 때, 출력은 모든 소거되지 않은 심볼의 합으로 표현된다. 위 채널 모델은 하향링크 및 무선 애드 혹 통신 환경에서도 유사하게 성립될 수 있다.

### III. 라우팅 프로토콜

본 장에서는 인프라구조 도움을 받는 라우팅 프로토콜 및 인프라구조 도움 없는 순수 라우팅 프로토콜을

침투 고속도로 기법 [2]을 사용하여 설명한다. [1, 5, 9]와 같이, 두 개의 라우팅 프로토콜에 대해서 큰 간섭이 야기되는 것을 피하기 위해 시 분할 다중 접속 (TDMA: time division multiple access)을 사용한다.

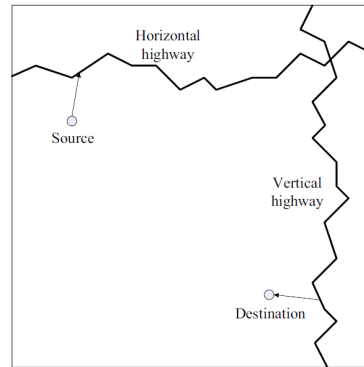


Fig. 1 Percolation delivery routing without the help of infrastructure in the network

#### 3.1. 인프라구조를 사용하지 않는 전송 라우팅

침투 고속도로 전송 [2]의 기본 절차는 배수 (draining) 단계, 고속도로 (highway) 단계, 전달 (delivery) 단계, 이렇게 3단계를 따른다. 이 라우팅 기술은 부가 가우시안 잡음을 가진 랜덤 애드 혹 네트워크 [2]에서 사용되었는데, 약간의 변경과 함께 랜덤 소거 네트워크에서도 역시 적용될 수 있다. 먼저 백본 네트워크를 어떻게 설계하는지에 대해 설명한다.  $n$ 과 독립인 상수  $c > 0$ 에 대해 네트워크 영역을 길이  $c$ 를 갖는 동일한 정사각형 격자로 분할한다. 다음으로, 네트워크 영역을 크기  $\sqrt{n} \times \sqrt{2} c p \log l$ 의 동일한 직사각형으로 분할한다. 여기에서,  $l = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2} c}$ 이고, 변수  $c$ 와  $p$ 는 왼쪽에서 오른쪽으로 각 직사각형을 가로지르는  $\Theta(\log l)$ 개의 수평으로 분리된 열린 경로를 생성하도록 결정된다. 따라서 각 직사각형은 침투 모델에서  $l \times \log l$  격자를 갖게 된다. 그 영역은 아래에서 위로 수직으로 분리된 경로를 생성하기 위해  $l/\log l$ 개의 동일한 수직의 직사각형들로 분할된다. 그림 1에서 보인바와 같이, 전체적인 절차는 아래와 같다.

- 배수 단계: 각 수평 직사각형에서의 source는 백본 네트워크의 수평 경로에 위치한 노드에게 단일 홉으로 직접 패킷을 전송한다.

- 고속도로 단계: 패킷은 다중 홉 라우팅을 사용하여 수평 경로를 따라 전송되고 수직 경로에 도달하게 된다.
  - 전달 단계: 수직 경로에서의 노드는 대응하는 destination에게 단일 홉으로 직접 패킷을 전송한다.
- 활성화된 source-destination 쌍의 평균 개수는 높은 확률로  $\Theta(\sqrt{n})$ 으로 주어지는데, 이는 모든 직사각형과 함께 동시에  $\Theta(\sqrt{n})$ 개의 수평 및 수직 경로가 존재하기 때문이다.

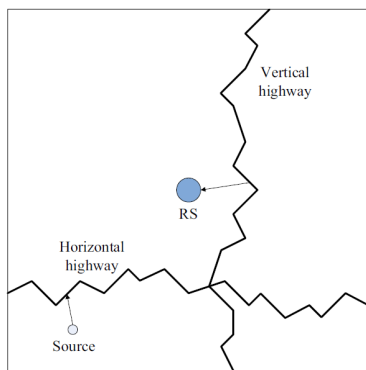


Fig. 2 Percolation delivery routing with the help of infrastructure in a cell

### 3.2. 인프라구조 도움을 받는 전송 라우팅

중계기의 수  $m$ 이 특정 레벨보다 높을 때, 중계기 도움을 받는 네트워크의 용량 스케일링은 개선될 수 있다. 즉, 중계기 도움을 받는 프로토콜은  $m$ 이 충분히 클 경우 중계기 도움이 없는 순수 애드 혹 전송보다 더 높은 용량 스케일링을 취득할 수 있다. 본 연구에서는 그림 2에서 보인바와 같이, 확장 네트워크에서 중계기 도움을 받는 침투 고속도로 기반 다중 홉 라우팅을 아래와 같이 제안한다.

- 네트워크를 각 셀의 중심에 하나의 중계기를 갖는 면적  $n/m$ 의 동일한 정사각형 셀로 분할한다. 인프라구조 도움을 없는 전송 라우팅의 경우와 유사하게 각 셀에서 수평 및 수직 고속도로가 생성된다.
- 접속 (access) 라우팅에서는, 각 셀 안에서의 하나의 source가 침투 고속도로를 통해 대응하는 중계기로 패킷을 전송한다.
- 패킷 복호를 마친 중계기는 우선 중계기-중계기 링크를 통해 대응하는 destination과 가장 가깝게 위치한 또 다른 중계기에 패킷을 전송한다.

- 출구 (exit) 라우팅에서는, 접속 라우팅 경우와 마찬가지로 중계기에서 대응하는 destination으로의 침투 전달 라우팅이 수행된다.
- 위 인프라구조 도움을 받는 전송 라우팅과 함께  $m$ 개의 source-destination 쌍이 동시에 활성화될 수 있다.

## IV. 용량 스케일링 분석

본 장에서는 III장에서 라우팅 프로토콜을 사용하여 지수적 감쇠 모델 하에서 중계기 도움을 받는 랜덤 소거 네트워크에서의 용량 스케일링을 유도한다.

**Theorem 1:** 수식 (1)을 따르는 지수적 감쇠 모델 하에서 중계기를 갖는 랜덤 소거 네트워크를 가정하자. 이 때,  $\beta \in [0, 1)$ 을 만족하는 모든  $m = n^\beta$ 에 대하여 취득 가능한 전체 용량은 아래와 같이 주어진다.

$$T(n) = \Omega(\max\{m, \sqrt{n}\}) \quad (3)$$

**증명:** 먼저 크기  $c > 0$ 의 정사각형으로 분할된 네트워크에서 인프라구조 도움 없는 라우팅 프로토콜을 사용하여 취득되는 전송률을 유도한다. Source와 destination 사이의 거리를  $d$ 로 정의하자. 이 때, 라우팅은  $t$ -TDMA 기법 기반으로 수행된다. 여기에서,  $t = (kd/c)^2$ 로 주어진다.  $t$ -TDMA 기법 하에서, 최 인 근 간섭 송신기는 의도된 수신기로부터 최소  $(k-1)d - c$  만큼 떨어져 있다. 동시에 간섭을 야기하는 노드 중 최소 하나로부터 전송된 심볼이 소거되지 않을 확률  $P_I$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_I \leq \sum_{i=1}^{\infty} (8i) \delta^{(ik-1)d-c} = \frac{8\delta^{(k-1)d-c}}{(1-\delta^{kd})^2}$$

여기에서,  $0 < \delta < 1$ 이다.  $(1-\delta^{kd})^2 > \frac{1}{4}$ 이 되도록 값  $k > \frac{-\ln 2}{d \ln \delta}$ 를 선택한다고 가정하면,  $P_I < 32\delta^{(k-1)d-c}$ 를 만족하게 된다. 그 때, 부등호  $k > \frac{-\ln 2}{d \ln \delta}$ 를 만족하는  $k > 1 - \frac{5 \ln 2}{d \ln \delta} + \frac{c}{d}$ 를 선택함으로써  $P_I < 1$ 이 성립한다. 따라서, 거리  $d$  안에 있는 destination으로의 전송률  $\delta^d(1-P_I)/t$ 를 취득할 수 있게 된다. 여기에서,

$$t = \left\lceil \left( \frac{d}{c} - \frac{5 \ln 2}{c \ln \delta} + 1 \right)^2 \right\rceil = \Theta(d^2) \text{이다.}$$

배수 또는 전달 단계에서는, 노드와 고속도로 위에 있는 점 사이의 거리가  $\sqrt{2} cp \log \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2}c}$  보다 크지 않다. 또한, 각 정사각형에는  $O(\log n)$  개의 노드가 존재한다는 점을 확인할 수 있다. 따라서, 이 두 가지 단계에서의 전송률은 아래와 같이 주어진다.

$$\Omega(\delta^d (1-P_I) d^{-2} (\log n)^{-1}) = \Omega\left(n^{-\frac{\sqrt{2}cp}{2d}} (\log n)^{-3}\right)$$

여기에서,  $\delta^d = e^{-d/d^*}$  이고  $d^*$ 는  $\delta$ 에 따라 결정되는 임계 거리이다.  $\frac{\sqrt{2}cp}{2d^*} < \frac{1}{2}$  을 선택하면, 노드 당 전송률은 단지 고속도로 단계에 의해 제한되게 된다. [2, Lemma 4]로부터 고속도로에 위치한 노드에 대한 노드 당 전송률은  $\Omega\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right)$  으로 주어진다. 따라서, 중계기를 도움을 받지 않은 라우팅 프로토콜을 사용하여 전체 용량  $\Omega(\sqrt{n})$  이 취득 가능하다.

유사하게 중계기 도움을 받은 라우팅 프로토콜을 사용하여 전체 용량  $\Omega(\sqrt{m})$  이 취득됨을 보일 수 있다. 이는 셀 당 전송률  $\Omega(1)$  이 인프라구조 도움을 받은 전송 라우팅에 의해 취득될 수 있기 때문이다. 그러므로, 지수적 소거 모델 하에서 중계기 도움을 받은 랜덤 소거 네트워크에 대한 용량 스케일링은 (3)과 같이 주어지게 된다. ■

Theorem 1과 [11, Theorem 2] 기반으로, 기지국 도움을 받는 다음의 두 가지 네트워크, 즉 균일 소거 네트워크와 랜덤 소거 네트워크는 동일한 용량 스케일링 법칙을 취득함을 확인할 수 있다. 따라서, 노드 분포에 따른 랜덤성은 스케일링 법칙 측면에서 성능 저하를 야기하지 않음을 알 수 있다.

## V. 결론

지수적 감쇠 모델 하에서 인프라구조 도움을 받는 랜덤 소거 네트워크에 대해, 무선 노드 수와 중계기 수의 함수로써 취득 가능한 용량을 유도하였다. 주요 결과로

써, 침투 고속도로를 통한 다중 홉을 사용한 제한한 라우팅 기술은 [1]에서의 최 인근 다중 홉을 사용한 균일 혼합 네트워크의 경우와 동일한 용량 스케일링 취득이 가능함을 보였다. 즉, 균일 네트워크 시나리오 대비 추가적인 노드 분포에 대한 랜덤성으로부터 오는 성능 손실은 발생하지 않음을 확인하였다. 본 연구 결과로부터 사물 인터넷과 같이 다수의 무선 노드가 랜덤하게 분포하는 네트워크 환경에서 이론적 한계치를 직관적으로 파악할 수 있을 뿐만 아니라 최대 용량 취득을 위한 프로토콜 설계에 대한 가이드라인을 제시해줄 수 있을 것으로 기대한다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2014R1A1A2054577) and by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (MSIP) (2015R1A2A1A15054248).

## REFERENCES

- [1] P. Gupta and P. R. Kumar, "The capacity of wireless networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 46, no. 3, pp. 388-404, Mar. 2000.
- [2] M. Franceschetti, O. Dousse, D. N. C. Tse, and P. Thiran, "Closing the gap in the capacity of wireless networks via percolation theory," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 53, no. 3, pp. 1009-1018, Mar. 2007.
- [3] F. Xue, L.-L. Xie, and P. R. Kumar, "The transport capacity of wireless networks over fading channels," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 51, no. 3, pp. 834-847, Mar. 2005.
- [4] W.-Y. Shin, S.-Y. Chung, and Y. H. Lee, "Parallel opportunistic routing in wireless networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 59, no. 10, pp. 6290-6300, Oct. 2013.
- [5] A. Ozgur, O. Leveque, and D. N. C. Tse, "Hierarchical cooperation achieves optimal capacity scaling in ad hoc

- networks,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 53, no. 10, pp. 3549-3572, Oct. 2007.
- [ 6 ] B. Liu, Z. Liu, and D. Towsley, “On the capacity of hybrid wireless networks,” in *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, San Francisco, CA USA, pp. 1543-1552, Mar. 2003.
- [ 7 ] A. Zemplianov and G. de Veciana, “Capacity of ad hoc wireless networks with infrastructure support,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 3, pp. 657-667, Mar. 2005.
- [ 8 ] W.-Y. Shin, “Refined routing algorithm in hybrid networks with different transmission rates,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 59, no. 5, pp. 1242-1246, May 2011.
- [ 9 ] W.-Y. Shin, S.-W. Jeon, N. Devroye, M. H. Vu, S.-Y. Chung, Y. H. Lee, and V. Tarokh, “Improved capacity scaling in wireless networks with infrastructure,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 57, no. 8, pp. 5088-5102, Aug. 2011.
- [10] A. Dana, R. Gowaikar, and B. Hassibi, “Capacity of wireless erasure networks,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 32, no. 3, pp. 789-804, Mar. 2006.
- [11] B. Smith, P. Gupta, and S. Vishwanath, “Routing is order-optimal in broadcast erasure networks with interference,” in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)*, Nice, France, pp. 141-145, June 2007.
- [12] W.-Y. Shin and A. Kim, “Capacity scaling of infrastructure-supported erasure networks,” *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 5, pp. 485-487, May 2011.



신원용(Won-Yong Shin)

2002년 연세대학교 기계전자공학부 학사  
2004년 KAIST 전자전산학과 석사  
2008년 KAIST 전자전산학부 박사  
2008년 2월~4월 Harvard University 방문연구원  
2008년 9월~2009년 2월 KAIST BK 정보전자연구소 박사후연구원  
2009년 3월~4월 KAIST 고성능집적시스템연구센터 선임급 위촉연구원  
2009년 5월~2011년 10월 Harvard University Postdoctoral Fellow  
2011년 10월~2012년 2월 Harvard University Research Associate  
2012년 3월~현재 단국대학교 국제학부 모바일시스템공학전공/대학원 컴퓨터학과 조교수  
※관심분야 : 정보이론, 통신이론, 신호처리, 모바일 컴퓨팅, 빅데이터 분석, 소셜네트워크 분석