

# MIMO 기반의 IoT 통신 잡음을 최소화하기 위해서 딥러닝을 활용한 비밀키 차원 분배 메커니즘

조성남<sup>1</sup>, 정윤수<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술정보연구원 학술정보공유센터 선임연구원, <sup>2</sup>목원대학교 정보통신융합공학부 교수

## Secret Key-Dimensional Distribution Mechanism Using Deep Learning to Minimize IoT Communication Noise Based on MIMO

Sung-Nam Cho<sup>1</sup>, Yoon-Su Jeong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Senior Researcher, Korea Institute of Science and Technology Information

<sup>2</sup>Professor, Department of information Communication Convergence Engineering, Mokwon University

**요약** IoT 장치가 기하급수적으로 증가하면서 다중 안테나를 통해 IoT 정보를 송·수신하기 위한 MIMO 간섭 최소화 및 전송 용량 증대는 가장 큰 이슈로 남아있는 상황이다. 본 논문에서는 MIMO 기반의 IoT 통신 잡음을 최소화하기 위해서 딥러닝을 활용한 비밀키 차원 분배 메커니즘을 제안한다. 제안 메커니즘은 다중의 안테나를 통해 송·수신되는 IoT 정보를 딥러닝을 사용하여 일괄적으로 분산 처리함으로써 송·수신 과정 중에 발생하는 자원 손실을 최소화하고 있다. 또한, 제안 메커니즘은 AP들간의 직접적인 간섭이 없는 기지국의 다중 안테나 다중 스트림 전송을 통해 용량을 최대 로 증대시킬 수 있도록 다차원 키 분배 처리 과정을 적용하였다. 또한, 제안 메커니즘은 다중 안테나 기술을 최대한 활용하기 위해서 IoT 정보의 주파수 채널 수에 따라 비밀키를 차원 분배하는 방식을 적용함으로써 IoT 정보수에 따른 비밀키 사용 빈도수를 딥러닝하여 IoT 정보를 서로 동기화하고 있다.

**주제어** : MIMO, 사물인터넷, 키 차원 분배, 다중 접근, IoT 빅데이터

**Abstract** As IoT devices increase exponentially, minimizing MIMO interference and increasing transmission capacity for sending and receiving IoT information through multiple antennas remain the biggest issues. In this paper, secret key-level distribution mechanism using deep learning is proposed to minimize MIMO-based IoT communication noise. The proposed mechanism minimizes resource loss during transmission and reception process by dispersing IoT information sent and received through multiple antennas in batches using deep learning. In addition, the proposed mechanism applied a multidimensional key distribution processing process to maximize capacity through multiple antenna multiple stream transmission at base stations without direct interference between the APs. In addition, the proposed mechanism synchronizes IoT information by deep learning the frequency of use of secret keys according to the number of IoT information by applying the method of distributing secret keys in dimension according to the number of frequency channels of IoT information in order to make the most of the multiple antenna technology.

**Key Words** : MIMO, IoT, Key-level distribution, Multi Access, IoT Big data

\*Corresponding Author : Yoon-Su Jeong(bukmunro@mokwon.ac.kr)

Received September 29, 2020

Revised November 1, 2020

Accepted November 20, 2020

Published November 28, 2020

## 1. 서론

사물인터넷(Internet of Things)는 인터넷 환경이 증가하면서 다양한 사회 분야에 사용되고 있으며, 클라우드 환경에서 빅 데이터를 처리하는 분야에서 각광을 받으면서 광범위하게 사용되고 있다[1]. 특히, 이동통신 환경에서 IoT 장치를 통해 송·수신되는 IoT 정보의 잡음을 최소화하기 위한 연구는 꾸준히 진행되고 있다[2].

이동통신과 같은 환경에서 IoT 장치는 24시간 연속 무휴로 사용자들이 접근할 수 있기 때문에 IoT 정보의 통신 잡음에 대한 IoT 정보의 높은 수준의 신뢰성과 정확성은 보장받아야 한다. 이동통신 환경에서 IoT 장치로부터 송·수신되는 정보는 각 AP내 안테나를 통해 전달되는 과정에서 IoT 정보의 잡음이 증가되는 것이 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다[3]. 또한, 각 AP내 안테나를 통해 넓은 지리적 영역을 상호 연결하여 IoT 정보를 송·수신하는 연구 분야에서는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 간섭 최소화 및 전송 용량 증대가 가장 큰 환경 이슈로 대두되고 있다[4].

본 논문에서는 이동통신 환경에서 MIMO 기반의 IoT 통신 잡음을 최소화하기 위해서 딥러닝을 활용한 비밀키 적용 메커니즘을 제안한다. 제안 메커니즘은 다중 안테나를 통해 주파수 정보를 대량 전달하기 때문에 IoT 장치를 사용하여 주파수 정보를 송·수신할 때 발생하는 간섭을 최소화하기 위해서 딥러닝을 활용하여 IoT 정보에 비밀키를 계층적으로 할당하여 IoT 정보를 동적으로 송·수신할 수 있도록 함으로써 자원 손실을 최소화하였다. 또한, 제안 메커니즘은 AP들 간 기지국의 다중 안테나 다중 스트림 전송 용량을 최대로 증대시키기 위해서 다차원 비밀키 차원 분배 방식을 적용함으로써 IoT 정보수에 따른 비밀키 사용 빈도수를 딥러닝하여 IoT 정보를 서로 동기화하고 있다.

제안 메커니즘은 다음과 같은 목적을 가진다. 첫째, 제안 메커니즘은 딥러닝을 사용하여 다중의 안테나를 통해 IoT 장치 정보를 일괄적으로 계층적 다단계 과정을 통해 IoT 정보가 동적으로 송·수신할 수 있도록 함으로써 자원 손실을 최소화한다. 둘째, 제안 메커니즘은 AP들 간 직접적인 간섭이 없는 경우 기지국의 다중 안테나를 통해 전송하는 용량을 최대로 증가시키기 위해서 다차원 비밀키 분배 처리 과정을 적용한다. 셋째, 제안 메커니즘은 다중 안테나 기술을 최대한 활용하기 위해서 IoT 정보의 주파수 채널 수에 따라 비밀키를 차원

분배하는 방식을 적용함으로써 IoT 정보수에 따른 비밀키 사용 빈도수를 딥러닝하여 IoT 정보를 서로 동기화한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MIMO와 기존 연구에 대해서 설명한다. 3장에서는 MIMO IoT 정보에 비밀키를 적용하여 IoT 통신 잡음을 최소화하기 위한 메커니즘을 제안하고, 4장에서는 제안 메커니즘의 성능평가를 수행하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

### 2.1 MIMO

MIMO는 안테나를 이용하는 무선 통신 환경에서 통신 용량을 늘리기 위해 사용하는 안테나 기술을 의미한다[5,6]. MIMO는 기지국과 여러 안테나로 구성되어 있으며 만약 기지국이 M개이고, 단말기가 N개일 경우에는 최소  $\min(M, N)$  만큼의 전송 용량이 증가하게 된다. 기지국 대비 사용된 안테나 수에 따라 다중안테나 기술들은 Fig. 1과 같이 SISO, SIMO, MISO, MIMO 등으로 사용된다.

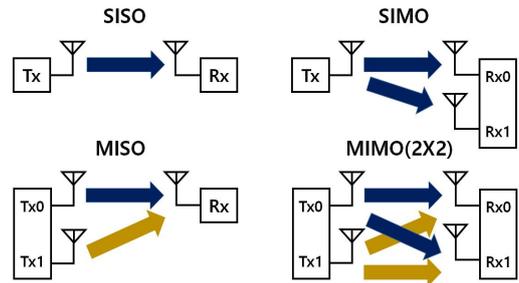


Fig. 1. Type of multi-antenna technique

MIMO를 이용하여 다중 안테나를 사용할 경우 크게 공간 다이버시티 이득, 공간 다중화 이득, 빔포밍 이득 등 3가지 이득을 가져올 수 있다[7]. 공간 다이버시티 이득은 공간 병렬 경로 중 가장 좋은 신호를 선택함으로써 신뢰성(Reliability)을 제고하며 페이딩 영향 감소와 다이버시티 효과를 달성하는 장점이 있다. 공간 다중화 이득은 고속화, 대용량 전송이 가능한 특징을 가지고 있다. 빔포밍 이득은 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio)를 최대화하여 간섭 제거를 수행한다.

### 2.2 기존 연구

최근 광대역 이동통신과 관련하여 스펙트럼 효율을

극대화하기 위한 대규모의 MIMO 관련 연구가 다양하게 진행되고 있다[8-10]. 그러나, 기존 연구에서는 MIMO 기반의 IoT 통신 잡음을 최소화하기 위해서 채널과 스펙트럼을 사용하거나 멀티 안테나 기지국을 사용하고 있지만 주파수 정보를 송·수신할 때 발생하는 간섭을 만족만하게 최소화하지는 못하고 있다. Marzetta et al.은 확장형 광대역 이동통신 환경에서 AP내 안테나의 스펙트럼 효율을 달성하기 위해서는 채널 혼련 오버헤드뿐만 아니라 공간적으로 멀티플렉스 사용자 수를 최적화할 필요가 있다고 주장하고 있다[11]. 다중 셀 대용량 MIMO 시스템의 파일럿 오염은 높은 스펙트럼 효율을 달성하는데 가장 심각한 제한 요소로 간주되고 있다[12-14]. 그러나 Björnson et al.은 파일럿 오염이 존재하더라도 안테나의 수가 증가함에 따라 대규모 MIMO 시스템의 용량이 공간적으로 상관된 채널일 경우 한계에 도달하지 못한다고 주장하고 있다[15]. Wang. et al.은 파일럿(pilot) 상호접속 사용자를 분리할 수 있는 고유한 사용자 서명을 할당하기 위해서 FEC(Forward Error Corrrection) 코드를 다양하게 이용해야 한다고 주장하고 있다[16]. Panigrahi et al.은 멀티안테나 기지국과 송신기 사이에 안테나를 1개 또는 2개가 일관성 있게 존재하는지에 따라서 UL 전송의 필요성을 분석하였다[17].

### 3. MIMO 기반 분산 IoT 비밀키 차원 분배 메커니즘

#### 3.1 개요

MIMO 기술은 다중 안테나를 통해 주파수 정보를 대량 전달하기 때문에 IoT 장치를 사용하여 주파수 정보를 송·수신할 때 발생하는 간섭을 최소화하기 위해서 제안 메커니즘에서는 Fig. 2처럼 딥러닝을 활용하여 IoT 정보에 비밀키를 계층적으로 할당하여 IoT 정보를 동적으로 송·수신할 수 있도록 자원 손실을 최소화하고 있다.

제안 메커니즘은 AP들 간 기지국의 안테나 전송 용량을 최대로 증대시키기 위해서 다차원 비밀키 분배 처리 과정을 적용하였다. 제안 메커니즘은 기존 다중 안테나 기술을 최대한 활용하기 위해서 MIMO IoT 정보의 주파수 채널 수에 따라 비밀키를 차원 분배하는 방식을 적용함으로써 IoT 정보수에 따른 비밀키 사용 빈도수를 딥러닝하여 IoT 정보를 서로 동기화한다.

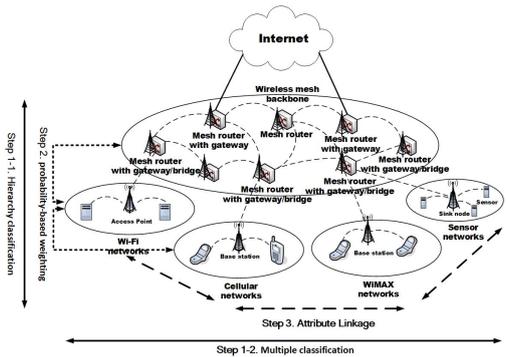


Fig. 2. Proposed Model using MIMO IoT

Fig. 2는 IoT 정보를 계층적 형태  $IoT_H: \{0,1\} \rightarrow Z_N$ 으로 표현한 후 MIMO IoT 정보를  $MIMOIoT_{Info}: \{0,1\}^* \times Z_N \rightarrow Z_{Info}$  처럼 나타내어 MIMO IoT 정보들을 서로 인터리브하도록 행렬 형태로 나타내도록 계층적 구조를 해쉬 체인으로 묶었다. 그 이유는 첫째, AP들 간 기지국의 다중 안테나에서 송·수신 되는 MIMO IoT 정보의 중요 정보는 쌍대 비교를 통해 비밀키 검증을 수행해야 하기 때문이다. 둘째, MIMO IoT 정보의 중요 정보는 MIMO IoT 장치 수 만큼 반복 수행하여 MIMO IoT 정보의 중요 정보에 대한 유사도를 검증해야 하기 때문이다.

#### 3.2 MIMO IoT 정보 처리

제안 메커니즘은 MIMO IoT 장치에서 송·수신되는 정보는 AP들 간 기지국의 다중 안테나를 통해 처리된다고 가정한다. 또한, 제안 메커니즘은 대용량의 MIMO IoT 정보를 간섭없이 처리하기 위해서 MIMO IoT 정보 유사도에 따라 N-1차의 다항식 비밀키를 생성한다. 제안메커니즘은 N-1차의 다항식 비밀키를 이용하여 MIMO IoT 정보를 처리하는 과정을 크게 5단계로 구분하고 있다.

· 1단계 : 이 단계는 AP들 간 기지국의 다중 안테나를 통해 MIMO IoT 정보가 수집되는 단계이다. AP들 간 기지국의 다중 안테나를 통해 수집되는 MIMO IoT 정보는 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$MIMOIoT_i = \sum_{i=1}^n (IoTI_i + \sum_{j=1}^m IoTW_j) \quad (1)$$

여기서, MIMO IoT 정보는 AP들 간 기지국의 다중 안테나를 통해 수집된 정보 중 IoMT IoT 정보에 다중 가중치 정보를 수집 정보에 포함하도록 하고 있다.

· 2단계 : 이 단계는 MIMO IoT 정보에 식별 정보를 부여한 후, MIMO IoT 정보를 인터리브하도록 XOR 과정을 MIMO IoT 정보 수 만큼 수행한다.

· 3단계 : 이 단계는 2단계에서 수행한 인터리브한 MIMO IoT 정보에 비밀키를 가중치 정도에 따라 부여한 후 암호화된 MiMIMO IoT 정보를 중앙의 서버에게 전달한다. 이 때, 비밀키는 AP 기지국의 안테나 상태에 따라 MIMO IoT 정보의 생성 정보(시간, 날짜, 위치, 일련 번호 등)를 이용하여 생성한다.

· 4단계 : 이 단계는 서버에서 MIMO IoT 정보를 다중 블록체인과 딥러닝 알고리즘에 적용하여 MIMO IoT 정보를 가공 처리한다. 이 때, 제안 메커니즘은 MIMO IoT 정보를 블록체인과 non-블록체인으로 조합하여 계층적으로 분산 처리하도록 한다. 그리고, MIMO IoT 정보는 서로 다른 AP 기지국 내 안테나의 MIMO IoT 정보의 상관관계 정보를 추출한다.

$$MIMO\_Att\_Info = \{IoT\_Att_i \mid IoT\_Att_i \in IoT\_Att, 1 \leq i \leq n\} \quad (2)$$

· 5단계 : 이 단계는 추출된 MIMO IoT 정보의 상관관계 정보를 중앙 서버에서 분석하여 MIMO IoT정보를 실시간으로 모니터링하고 모니터링된 정보는 각 AP 기지국에서 관리하는데 활용하도록 한다.

### 3.3 MIMO IoT 정보 유사도 생성

제안 메커니즘에서는 MIMO IoT 정보가 AP들 간 기지국의 다중 안테나를 통해 대용량의 정보가 간섭없이 빠른 시간 안에 송수신하기 위해서 Fig. 3처럼 MIMO IoT 정보의 가중치를 이용한다.

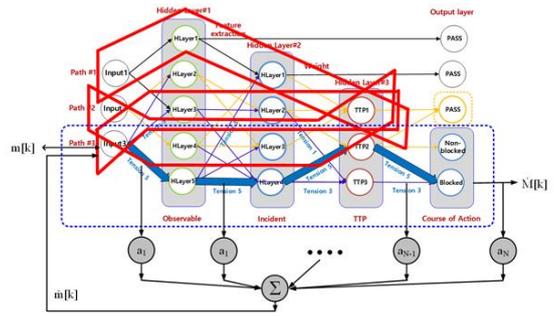


Fig. 3. Process of MIMO IoT Information

MIMO IoT 정보를 서로 연계하여 대규모의 MIMO IoT 정보를 정확하게 대규모로 송수신할 수 있도록 딥러닝을 이용하여 시간에 따라 MIMO IoT 정보의 속성 정보  $v_t$ 를 IoMT 정보의 유사정보  $h_t$ 에 따라 시드  $\hat{y}_t$ 를 선택하도록 한다. 이 때, MIMO IoT 정보 경로 및 핵심 추출의 결과 과정에서 IoT 정보의 연관성이 높은 순위가 MIMO IoT 정보를 그룹핑한다. 제안 메커니즘에서는 MIMO IoT 정보의 연결 그룹에 대한 유사도를 검사하고, 가능성 있는 전체 경로를 하나의 그룹으로 묶을 때 N-1 차의 다항식 비밀키를 적용한다. 그 이유는 연관성이 높은 패턴 분석을 통해서 추가 경로를 찾아 MIMO IoT 정보의 패턴을 예측 분석할 수 있기 때문이다. 제안 메커니즘은 MIMO IoT 정보의 중요 정보를 계층적 구조로 구성되어 MIMO IoT 정보의 중요 정보를 중첩없이 분산 처리함으로써 안전하게 복원가능하다.

### 3.4 MIMO IoT 정보 연계

제안 메커니즘에서는 MIMO IoT 정보 분석을 위해서 AP 기지국내 안테나에서 수집된 정보를 쌍대비교 행렬을 통해 MIMO IoT 전체 정보 수 만큼 계층적으로 결과값을 구한다. MIMO IoT 정보  $a_{ij}$ 의  $n \times n$  행렬간 관계 성분에 대한 중요도를 산출함으로써 MIMO IoT 정보를 서로 연계하기 때문에 대규모의 MIMO IoT 정보를 단시간 안에 정확하게 결정할 수 있다.

MIMO IoT 정보는 딥러닝을 이용하여 MIMO IoT 정보의 가중치를 식 (2)처럼 가중치 확률 이론에 기반하여 MIMO IoT 정보를 해쉬 체인으로 묶는다.

$$\begin{aligned}
 &P_{xy}(MIMO\_IoT_i^{t-1}, MIMO\_IoT_i^t) \\
 &= P_x(MIMO\_IoT_i^{t-1})P_y(MIMO\_IoT_i^t)
 \end{aligned}$$

Where  $i, j = 1, \dots, n$  (2)

제안 메커니즘은 수 많은 AP들 간 기지국의 다중 안테나에서 송·수신하는 MIMO IoT 정보의 가중치를 적용하기 위해서 시드 값을 이용하여 동기화를 수행한다. 제안 메커니즘은 MIMO IoT 정보의 시드 정보를 이용하여 계층 레벨의 MIMO IoT 정보를  $n + 1$  계층과  $n - 1$  계층 사이에서 처리되며, 계층별 MIMO IoT 중요 정보가 서로 연계할 때 임의의 2개의 랜덤키를 사용하여 MIMO IoT 정보의 무결성을 보장한다.

### 4. 평가

#### 4.1 환경 설정

제안 메커니즘은 Fig. 4과 같이 IoT 아두이노 장비를 이용하여 MIMO IoT 정보를 송·수신하도록 환경을 구축하였으며, 각 AP의 기지국은 멀티 메시 망으로 구성되었다고 가정한다. 또한, 각 기지국은 안테나에서 송·수신되는 MIMO IoT 정보가 Fig.4와 같은 장비로 송·수신될 수 있도록 수집된 정보는 서버가 실시간으로 분석하도록 하였다.

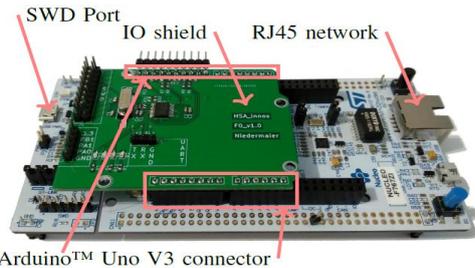


Fig 3. IoT Device used in Performance Evaluation

#### 4.2 성능 평가

##### 4.2.1 효율성

각 AP내 안테나에서 처리되는 IoT 정보의 효율성을 평가한 결과는 Table 2와 같다. Table 2는 기지국 대비 사용된 안테나 수에 따라 다중안테나 기술별 안테나 수에 따른 IoT 정보의 효율성을 비교 분석한 결과이다. 제안 메커니즘의 IoT 정보 수집의 효율성 성능 평가는 단일 입력 대비 단일/다중 출력과 다중 입력 대비 단일/다

중 출력 방법이 평균 SISO 방법보다 MIMO 방법이 평균 3.11% 향상된 결과를 얻었다. 이 같은 결과는 MISO/MIMO IoT 네트워크보다 SISO/SIMO IoT 네트워크 환경에 적합하도록 네트워크가 구축되었기 때문이며, IoT 장치에서 처리되는 정보의 처리 방법이 손쉽게 정보를 수집 및 처리할 수 있을 뿐만 아니라 쌍대 비교 행렬을 통해 구한 결과값을 전체 IoT 정보 수만큼 계층화 하였기 때문에 향상된 효율성 결과를 얻을 수 있었다.

Table 2. Efficiency by type of multi-antenna technique using Proposed Method

Method	Efficiency(%)			
	NoA=5	NoA=10	NoA=25	NoA=50
SISO	85.741	84.627	83.956	83.142
SIMO	84.563	83.994	83.102	82.883
MISO	82.967	82.369	81.689	81.212
MIMO	82.324	81.914	81.428	80.831

NoA = Number of Antenna

##### 4.2.2 정확도

Table 3은 각 AP내 안테나 수에 따른 IoT 정보를 서버에서 처리할 때 다중안테나 기술별 안테나 수에 따른 IoT 정보의 정확도에 대한 평가 결과를 보여주고 있다. Table 3은 기지국 대비 사용된 안테나 수에 따라 다중 안테나 기술별 안테나 수에 따른 IoT 정보를 서버에서 처리할 때의 정확도를 분석한 결과이다. Table 3의 결과처럼 제안 메커니즘은 딥러닝 기반으로 IoT 정보들 간 연계 정보를 확률값에 따른 시드를 선택하여 해쉬 체임으로 IoT 정보를 묶음 처리하였기 때문에 각 AP내 안테나 수의 증가에 따라 정확도가 평균 15.7% 향상된 결과를 얻었다. 이 같은 결과는 IoT 정보에 가중치를 적용하여 시드 값을 통해 동기화를  $n+1$  계층과  $n-1$  계층 사이에서 수행하도록 하였기 때문이다. 또한, IoT 장치에서 수집되는 정보들을 딥러닝 알고리즘을 통해 IoT 정보 오류율을 최적화하였기 때문이다.

Table 3. Accuracy by type of multi-antenna technique using Proposed Method

Method	Accuracy(%)			
	NoA=5	NoA=10	NoA=25	NoA=50
SISO	71.457	72.127	74.681	76.585
SIMO	76.741	77.598	79.598	81.325
MISO	79.696	80.114	81.769	83.052
MIMO	81.354	82.765	84.296	85.121

NoA = Number of Antenna

#### 4.2.3 처리시간

Table 4는 각 AP내 안테나 수에 따른 IoT 정보를 서버에서 처리할 때 IoT 정보의 처리시간을 평가한 결과이다. Table 4는 기지국 대비 사용된 안테나 수에 따라 서버에서 다중안테나 기술별 안테나에서 처리되는 IoT 정보의 처리시간을 분석한 결과를 보여주고 있다. Table 4의 결과처럼 제안 메커니즘은 IoT 정보를 서버에서 분석할 때 IoT 정보간 연계 처리에 대한 트랜잭션의 누적 사용을 일정 크기의 블록으로 그룹 관리하기 때문에 처리시간이 기존 기법들에 비해 평균 14.3% 향상된 결과를 얻었다.

**Table 4. Process time by type of multi-antenna technique using Proposed Method**

Method	Process time(ms)			
	NoA=5	NoA=10	NoA=25	NoA=50
SISO	0.4847	0.5166	0.5896	0.6235
SIMO	0.5299	0.5757	0.6165	0.6818
MISO	0.6271	0.6467	0.7123	0.7747
MIMO	0.6588	0.6638	0.7321	0.8421

NoA = Number of Antenna

## 5. 결론

최근 이동통신 분야에서는 다양한 IoT 장치를 접목하여 네트워크 서비스를 제공하고 있다. 지난 10여년 동안 IoT 연결 디바이스를 사용한 이동통신 환경에서는 IoT 장치가 기하급수적으로 증가할수록 MIMO 간섭 최소화 및 전송 용량 증대가 큰 이슈로 대두되고 있다. 본 논문에서는 이동통신 환경에서 MIMO 기반의 IoT 통신 잡음을 최소화하기 위해서 딥러닝을 활용한 IoT 정보의 비밀키 차원 분배 메커니즘을 제안하였다. 제안 메커니즘은 다중 안테나를 통해 주파수 정보를 대량 전달할 때 발생하는 간섭을 최소화하기 위해서 딥러닝을 활용한 비밀키를 IoT 정보에 적용하여 IoT 정보의 자원 손실을 최소화하였다. 또한, 제안 메커니즘은 AP들 간 기지국의 다중 안테나 다중 스트림 전송 용량을 최대로 증대시키기 위해서 다차원 비밀키 차원 분배 방식을 적용하여 IoT 정보수에 따른 비밀키의 사용 빈도수를 딥러닝한 후 IoT 정보를 서로 동기화하였다. 실험 결과, IoT 정보 수집의 효율성 성능 평가는 단일 입력 대비 단일/다중 출력과 다중 입력 대비 단일/다중 출력 방법이 평균 SISO 방법보다 MIMO 방법이 평균 3.11% 향상된 결과

를 얻었으며, 딥러닝 기반으로 IoT 정보들간 연계 정보를 확률값에 따른 시드를 선택하도록 하여 해쉬 체인으로 IoT 정보를 묶음 처리하였기 때문에 각 AP내 안테나 수의 증가에 따른 정확도가 평균 15.7% 향상된 결과를 얻었다. 마지막으로, IoT 정보의 처리 및 저장을 중앙에서 분석할 때 IoT 정보간 연계 처리에 대한 트랜잭션의 누적 사용을 일정 크기의 블록으로 그룹 관리하기 때문에 처리시간이 기존 기법에 비해 평균 14.3% 향상된 결과를 얻었다. 향후 연구에서는 MIMO IoT 를 연구한 기존 연구와 비교 분석을 통해 이동통신 환경에 최적화된 IoT 정보의 간섭 최소화 방안을 연구할 계획이다.

## REFERENCES

- [1] P. Popovski, K. F. Trillingsgaard, O. Simeone & G. Durisi. (2018). 5g wireless network slicing for embb, urllc, and mmcc: A communicationtheoretic view. *IEEE Access*, 6, 55765-55779.
- [2] H. Han, X. Guo & Y. Li. (2017). A High Throughput Pilot Allocation for M2M Communication in Crowded Massive MIMO Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(10), 9572-9576. DOI : 10.1109/TVT.2017.2702604
- [3] L. Liu & W. Yu. (2018). Massive Connectivity With Massive MIMO-Part I:Device Activity Detection and Channel Estimation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66(11), 2933-2946. DOI : 10.1109/TSP.2018.2818082
- [4] F. Boccardi, R. W. Heath, A. Lozano, T. L. Marzetta & P. Popovski. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 1-11. DOI : 10.1109/MCOM.2014.6736746
- [5] T. L. Marzetta (2010). Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 9(11), 3590-3600. DOI : 10.1109/TWC.2010.092810.091092
- [6] E. Björnson, J. Hoydis & L. Sanguinetti. (2017). Massive MIMO Networks: Spectral, Energy, and Hardware Efficiency. *Foundations and Trends in Signal Processing*, 11(3-4), 516. DOI : 10.1561/20000000093
- [7] E. Björnson, E. de Carvalho, J. H. Sørensen, E. G. Larsson & P. Popovski. (2017). A Random Access Protocol for Pilot Allocation in Crowded Massive

MIMO Systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(4), 2220-2234.  
DOI : 10.1109/TWC.2017.2660489

[8] H. Q. Ngo, E. G. Larsson & T. L. Marzetta. (2014). Aspects of favorable propagation in Massive MIMO. In *2014 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)* (pp. 76-80). IEEE.

[9] E. Björnson, E. G. Larsson & M. Debbah. (2016). Massive MIMO for Maximal Spectral Efficiency: How Many Users and Pilots Should Be Allocated. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 15(2), 1293-1308.  
DOI : 10.1109/TWC.2015.2488634

[10] J. Hoydis, S. ten Brink & M. Debbah. (2013). Massive MIMO in the UL/DL of Cellular Networks: How Many Antennas Do We Need?. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 31(2), 160-171.  
DOI : 10.1109/JSAC.2013.130205

[11] T. Marzetta, E. Larsson, H. Yang & H. Ngo. (2016). *Fundamentals of Massive MIMO*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2016.

[12] A. Khansefid & H. Minn. (2015). Achievable downlink rates of mrc and zf precoders in massive MIMO with uplink and downlink pilot contamination. *IEEE Trans. Commun.*, 63(12), 4849-4864.  
DOI : 10.1109/TCOMM.2015.2482965

[13] K. Upadhyya, S. A. Vorobyov & M. Vehkaperä. (2017). Superimposed pilots are superior for mitigating pilot contamination in massive MIMO. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 65(11), 2917-2932.  
DOI : 10.1109/TSP.2017.2675859

[14] D. Verenzuela, E. Björnson & L. Sanguinetti. (2018). Spectral and energy efficiency of superimposed pilots in uplink massive MIMO. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17(1), 7099-7115.  
DOI : 10.1109/TWC.2018.2860939

[15] E. Björnson, J. Hoydis & L. Sanguinetti. (2018). Massive MIMO has unlimited capacity. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17(1), 574-590.  
DOI : 10.1109/TWC.2017.2768423

[16] K. Wang & Z. Ding. (2016). FEC Code Anchored Robust Design of Massive MIMO Receivers. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 16(12), 8223-8235.  
DOI : 10.1109/TWC.2016.2613516

[17] S. R. Panigrahi, N. Björnsell, & M. Bengtsson. (2017). Feasibility of Large Antenna Arrays towards Low Latency Ultra Reliable Communication. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 1289-1294). IEEE.  
DOI : 10.1109/ICIT.2017.7915549

조 성 남(Cho, Sung-Nam)

[정회원]



- 2004년 8월 : 고려대학교 소프트웨어공학과(전산학석사)
- 2017년 8월 : 광운대학교 경영정보학과(박사 수료)
- 1996년 ~ 현재 한국과학기술정보연구원 선임연구원

- 관심분야 : 정보화전략, 정보화투자성과, 정보기술아키텍처, IT거버넌스, 소프트웨어공학
- E-Mail : chosn@kisti.re.kr

정 윤 수(Yoon-Su Jeong)

[정회원]



- 1998년 2월 : 청주대학교 전자계산학과 학사
- 2000년 2월 : 충북대학교 전자계산학과 석사
- 2008년 2월 : 충북대학교 전자계산학과 박사

- 2012년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 정보통신공학과 조교수
- 관심분야 : 유·무선 통신 보안, 정보보호, IoT, 빅 데이터, 바이오인포매틱스
- E-Mail : bukmunro@mokwon.ac.kr