

인지 무선 기반 산업용 사물 인터넷을 위한 효율적 채널 핸드오프 기법

김승환*, 권기협*, 김재우*, 김동성^o

Efficient Channel Handoff Scheme for Cognitive-Radio-Based Industrial Internet of Things

Seung-Hwan Kim*, Ki-Hyeob Kwon*, Jae-Woo Kim*, Dong-Seong Kim^o

요약

이 논문에서는 인지 무선 산업용 사물 인터넷을 위한 사전 감지 방식을 사용한 효율적인 채널 핸드오프 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 2 단계로 진행된다. 첫째, 부사용자가 면허 대역의 채널을 사용할 수 있도록 신뢰벡터를 사용하여 채널의 유희 가능성에 대해 예측하고, 두 번째로 채널 감지를 통해 얻은 후보 채널 목록 중에서 최적의 채널을 선택하기 위해 탐욕 알고리즘 기반 보상함수를 사용한다. 시스템 모형은 주사용자와 조정자 그리고 부사용자로 구성되며 부사용자는 조정자를 통해 채널을 사용하는 것으로 가정하였으며 따라서 부사용자 간의 충돌은 없는 것으로 가정하였다. 제안된 기법에 대한 성능은 세 가지 측정 지표를 통해 나타내었으며 첫 번째는 완전한 감지를 한 경우와 불완전한 감지를 한 경우에서 데이터 처리량에 대한 성능을 나타내었고 두 번째는 불완전/완전한 감지 환경 가운데서 주사용자의 평균 데이터 처리량에 대한 성능을 나타내었고 마지막으로 불완전한 감지를 통한 채널 사용 효율에 대한 성능을 나타내었다. 모의실험을 통해 나타낸 각 기법의 성능에 따라 제안된 기법의 성능이 세 가지 측정 지표에서 가장 우수한 것을 확인하였다.

Key Words : Cognitive Radio, Industrial Internet of Things, Belief vector, Handoff scheme, Proactive-Sensing

ABSTRACT

In this paper, an efficient channel handoff scheme based on proactive-sensing approach in cognitive radio is proposed for industrial internet of things. The proposed scheme is processed by two step. The first step, licensed channels is checked by using belief vector for secondary user to access one of the channels. The second step, the optimal channel will be selected by using reward function based on greedy algorithm. The system model is composed of primary user, coordinator and secondary users, where we assume that the secondary users can send their packets via coordinator. Thus, there is no collision between secondary users. Performance of the proposed scheme is represented through three metrics. First, average throughput is shown in the case of perfect sensing and imperfect sensing. Second, in perfect sensing and imperfect sensing the average throughput of primary user is shown. Finally, channel utilization efficiency is shown in imperfect sensing. As a result of the simulation, we check that the proposed scheme outperforms in the three metrics.

※ 본 연구는 한국연구재단의 “대학중점연구소 지원사업(2018R1A6A1A03024003)” 및 “중견연구 지원사업(NRF-2017R1A2B4009900)”으로 수행된 연구결과임.

• First Author : Kumoh National Institute of Technology ICT Convergence Research Center, ksh001@kumoh.ac.kr, 정희원

◦ Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology IT Convergence Engineering, dskim@kumoh.ac.kr, 종신희원

* Kumoh National Institute of Technology ICT Convergence Research Center, navkwon@kumoh.ac.kr; Jaewookim@kumoh.ac.kr, 정희원

논문번호 : 201903-028-A-RN, Received March 25, 2019; Revised July 12, 2019; Accepted July 29, 2019

I. 서 론

최근 산업용 사물 인터넷 연구동향에 따라 생산, 운송, 농업, 정유 등 산업분야에서 사물 인터넷 기술을 적용하는 사례가 크게 증가하고 있다^[1-5]. 특히 산업용 사물 인터넷은 4차 산업혁명을 위한 핵심 기술로서 운영 효율성을 크게 개선함을 통해 산업경제 부분에 큰 영향을 주고 있다^[6]. 산업용 사물 인터넷 기술은 사물 인터넷 기술과 같이 분산되어 있는 각 노드를 상호 연결하여 온도, 습도, 기압 등의 데이터를 실시간으로 수집하고 수집된 데이터를 기반으로 하여 산업 시스템의 상태를 감시 및 제어 등을 수행 가능하게 한다^[7,8]. 무선통신의 경우 기존 유선통신보다 효율적으로 노드 간의 연결성과 확장성을 높이며 공간 사용에 대한 효율성과 비용을 줄이는 등 많은 장점을 가지고 있다. 하지만, 무선통신의 서비스에 대한 수요가 급증함에 따라 각각의 응용분야에 따른 주파수 대역 할당은 한계를 가진다. 따라서 각 주파수 대역의 사용 효율을 높이기 위하여 할당된 주파수 대역이 비어있을 때 허가받지 않은 사용자가 사용할 수 있도록 인지 무선 기술이 제안되었다^[9].

인지 무선 기술에서 면허 주파수 대역에 접근하는 사용자를 부사용자로 정의되며 부사용자는 면허 주파수 대역의 일반적인 사용자인 주사용자가 등장하였을 때 부사용자는 해당 주파수 대역 사용을 중단해야 한다. 인지 무선에서 해결해야 할 많은 문제점 중에서 하나는 감지 기술로 이는 주사용자의 성능에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 인지 무선 기술을 실제 적용하기 위해 핵심이기 때문이다. 따라서 이와 관련된 연구로 채널 핸드오프 기법이 있으며 이는 주사용자의 채널사용을 파악하여 비어있는 다른 주파수 대역으로 핸드오프를 통해 주사용자와의 충돌을 피할 뿐 아니라 부사용자가 지속적으로 데이터 전송을 가능하게 하는 기법이다^[10,11]. 인지 무선에서 효율적인 채널 핸드오프를 위한 중요한 요소 중 하나는 채널 핸드오프를 위해 의사결정 관련 정보를 수집하는 것이다^[12]. 의사결정 관련 정보 수집은 채널 감지를 통해 얻게 되며 일반적으로 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 사전감지를 통한 채널 핸드오프 방식이며 두 번째는 반응적 감지를 통한 채널 핸드오프 방식이다^[13]. 사전감지 방식은 주사용자가 등장하기 전에 미리 채널을 파악하는 방법으로 먼저 정기적인 감지를 통해 유휴 채널을 발견하고 유휴 채널에 대한 목록을 메모리에 저장한 다음 주사용자가 채널을 사용 시 목록에 저장된 채널 중 하나를 선택하여 핸드오프 하는 방식이

다. 반응적 감지 방식의 경우에는 미리 유휴 채널을 파악하지 않고 주사용자가 등장하였을 때 채널을 감지하여 사용가능한 채널로 핸드오프 하는 방법이다. 위의 두가지 방법은 각각의 장단점을 가지고 있으며 반응적 감지 방식의 경우 사전감지 방식보다 높은 정확도로 유휴 채널 선택이 가능하지만 유휴 채널을 찾기 위한 감지시간으로 인한 핸드오프 지연시간이 증가하는 단점을 가진다. 사전감지 방식은 반응적 감지 방식과는 반대로 상대적으로 짧은 핸드오프 지연시간을 가지는 장점을 가지지만 채널 선택에 대한 정확도가 낮으며 계산의 복잡성으로 인해 구현의 어려움을 가진다.

기존 인지 무선의 사전감지 방식에 대한 관련연구는 유휴 채널을 감지한 다음 임의채널을 선택한 후 핸드오프 하는 방식을 채택하고 있다. 이는 비어 있는 채널의 상태와 관계없이 채널을 선택하여 패킷을 전송함으로써 핸드오프 횟수가 증가하며 또한 주사용자와의 충돌확률도 증가함으로써 데이터 처리량 성능이 낮아지는 단점을 가진다^[13-15]. 이 논문에서는 신뢰백터를 이용하여 채널의 유휴 상태를 진단하고 탐욕 알고리즘 기반의 보상함수를 사용하여 최적의 채널을 선택하는 사전감지-탐욕 방식 채널 핸드오프 기법을 제안하였으며 제안된 기법의 성능은 완전한 채널 감지와 불완전한 채널 감지에 따른 평균 데이터처리량에 대한 성능을 나타내었으며 완전한 감지 및 불완전한 감지에서 주사용자의 평균 데이터처리량을 비교하여 나타내었고 마지막으로 불완전한 채널 감지에서 각 기법의 채널 사용 효율에 대한 성능을 나타내었다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 모형에 대해 소개하고, III장에서는 제안된 핸드오프 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 제안된 기법에 대한 모의실험 및 성능분석에 대해 나타내었으며, 마지막으로 V장에서 결론 및 향후연구에 대해 언급하였다.

II. 시스템 모형

인지 무선 기반 산업용 사물 인터넷의 시스템 모형은 주사용자와 부사용자로 구성되며 부사용자는 주사용자의 통신서비스품질을 보장하는 조건으로 주사용자의 채널접속을 허용을 받는다. 부사용자는 하나의 조정자에 의해 하나의 그룹을 형성하고 조정자는 주사용자의 채널사용을 감시하여 채널의 가용여부에 따라 부사용자의 채널접속 및 사용을 허용한다. 또 조정자와 부사용자 간의 정보교환은 공통 제어채널을 통

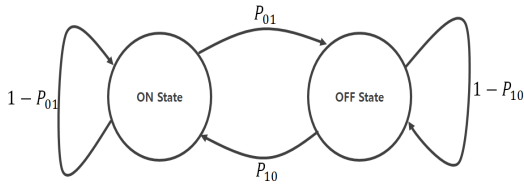


그림 1. 마코브 연쇄 모형 예시
Fig. 1. Example of Markov Chain Modell

해 이루어진다. 부사용자는 주사용자의 통신방식을 알지 못함으로 주사용자의 출현을 알지 못한다. 따라서 부사용자는 주사용자의 채널을 사용 또는 미사용 상태를 추정해야 하며 주사용자의 채널이 미사용 상태인 경우에만 해당 채널 접속하여 데이터를 송신할 수 있다. 주사용자의 채널은 대역폭은 B_i ($i = 1, 2, \dots, N$) 로 나타낼 수 있으며 N 개의 각 채널에 대한 상태는 시간슬롯 t 에서 $\Psi(t) = [S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t)]$, $S_i(t) \in \{0, 1\}$ 로 나타낼 수 있고 1일 때 주사용자가 채널을 미사용, 0일 때 주사용자가 채널을 사용 중임을 의미한다. 주사용자의 채널 사용, 미사용 상태를 독립동일분포 성질을 가지는 확률변수 T_{ON} , T_{OFF} 를 사용하여 모형구축이 가능하며 T_{ON} 에서 T_{OFF} 으로 상태가 전환될 확률과 T_{OFF} 으로 지속될 확률은 마코브 연쇄 모형을 통해 나타낼 수 있다. 여기서 채널 i 에 주사용자의 평균 패킷 도착으로 인한 T_{OFF} 에서 T_{ON} 으로 전환될 확률과 그 반대의 확률은 식 (1), (2)를 통해 나타낼 수 있다^[6].

$$P_{01} = \Pr[S_i(t) = 1 | S_i(t-1) = 0], \quad (1)$$

$$P_{10} = \Pr[S_i(t) = 0 | S_i(t-1) = 1], \quad (2)$$

또 채널이 미사용 상태에서 사용 상태로 변환될 때까지의 시간은 지수 분포를 따르며 그 반대의 경우도 동일하다. 따라서 채널 i 에서 변환될 때까지의 시간은 식 (3), (4)을 통해 나타낼 수 있다.

$$T_{ON} \sim f_{ON}(t) = \frac{1}{\lambda_{ON}} e^{-\frac{t}{\lambda_{ON}}}, \quad (3)$$

$$T_{OFF} \sim f_{OFF}(t) = \frac{1}{\lambda_{OFF}} e^{-\frac{t}{\lambda_{OFF}}}, \quad (4)$$

여기서 λ 는 주사용자의 평균 패킷 도착률을 나타

낸다. 주사용자의 T_{ON} 와 T_{OFF} 는 두 개의 포아송 과정의 조합으로 구성된 갱신 과정이며 갱신 간격은 $T_{rei} = T_{ONi} + T_{OFFi}$ 으로 이에 대한 지속 시간은 식 (5)를 통해 나타낼 수 있다.

$$T_{re} \sim f_{re}(t) = f_{ON}(t) * f_{OFF}(t). \quad (5)$$

여기서 “*” 부호는 합성곱 연산자이다.

III. 제안된 핸드오프 기법

3.1 채널 상태 예측

부사용자는 조정자를 통하여 주사용자가 사용하지 않는 채널에 접속 후 패킷을 전송하기 위해 채널을 감지한다. 이때 감지된 사용가능한 채널수 A 는 주사용자 채널 수 N 보다 크지 않으며 접속 가능한 채널수는 A 와 같다. 시간슬롯 t 에서 부사용자가 최적의 채널을 선택하기 위해 탐욕 알고리즘을 적용하였다. 채널의 사용가능 확률에 대한 값을 신뢰 벡터 $\Lambda(t) = [\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_N(t)]$, $0 \leq \omega_i(t) \leq 1$ 로 정의 될 수 있으며 초기 신뢰벡터 $\omega_i(1)$ 는 식 (6)을 통해 나타낼 수 있다.

$$\omega_i(1) = \frac{P_{01}}{P_{01} + 1 - P_{10}}. \quad (6)$$

감지동작 $a(t)$ 을 통해 $t+1$ 시간슬롯에서 상태확률 값을 추정할 수 있으며 $a(t)$ 는 식 (7)과 같다^[7].

$$a(t) = \omega_i(t)P_{10} + (1 - \omega_i(t))P_{01}. \quad (7)$$

여기서 감지동작을 통한 채널 상태는 $S_i^*(t)$ 로 표기하며 1일 때 채널 미사용, 0일 때 채널 사용을 의미한다. 하지만 감지동작의 상태결과는 완전한 경우와 불완전한 경우로 나누어 질 수 있으며 감지동작이 완전한 경우 $t+1$ 시간슬롯에서 베이즈 정리를 사용하여

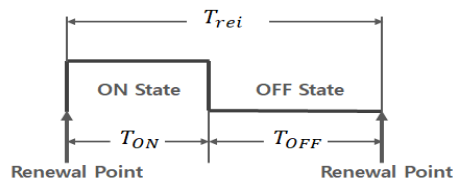


그림 2. 갱신 프로세스 예시
Fig. 2. Example of renewal process

식 (8)을 통해 신뢰벡터를 갱신할 수 있다.

$$\omega_i(t+1) = \begin{cases} P_{01}, & a(t) = i, S_i^*(t) = 1 \\ P_{10}, & a(t) = i, S_i^*(t) = 0. \\ \omega_i P_{10} + (1 - \omega_i(t))P_{01}, & a(t) \neq i, \end{cases} \quad (8)$$

또한 감지동작을 통한 불완전한 상태결과의 경우에는 식 (9), (10)을 통해 나타낼 수 있다^[18].

$$\omega_i(t+1) = \begin{cases} P_{01}, & a(t) = i, S_i^*(t) = 1 \\ \phi_m(t), & a(t) = i, S_i^*(t) = 0, \\ \omega_i P_{10} + (1 - \omega_i(t))P_{01}, & a(t) \neq i, \end{cases} \quad (9)$$

$$\phi_m(t) = \frac{P_f \omega_i(t)}{P_f \omega_i(t) + 1 - \omega_i(t)}, \quad (10)$$

여기서 P_f 는 채널이 사용 중일 때 미사용 중으로 감지 할 확률을 의미하며 식 (11)로 나타낼 수 있다.

$$P_f = \Pr[S_i^*(t) = 1 | S_i(t) = 0] = Q(\sqrt{2\gamma_i + 1} Q^{-1}(\beta) + \gamma_i \sqrt{f_s \tau}). \quad (11)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 Q-함수를 의미하며 $Q^{-1}(\cdot)$ 는 역 Q-함수를 나타낸다. 또 γ_i 는 i 채널에서 평균 신호 대 잡음비, f_s 는 표준화 주파수, τ 는 감지시간 그리고 β 는 탐지확률 임계값으로 $P_d \geq \beta \geq 0.9$ 범위의 값을 가진다. 여기서 P_d 는 정상 탐지확률로 식 (12)로 나타낼 수 있다^[19].

$$P_d = Q\left(\left(\frac{\theta}{N_0} - 1 - \gamma_i\right) \sqrt{\frac{f_s \tau}{2\gamma_i + 1}}\right). \quad (12)$$

여기서 θ 는 에너지탐지 임계값 그리고 N_0 는 부가 백색 가우시안 잡음의 분산을 의미한다.

감지동작과 각각의 시간슬롯에서 부사용자로부터 얻은 신뢰벡터를 기반으로 보상함수 $r_a(t)$ 를 구할 수 있다. 이는 채널의 선정하기 위해 사용되는 매개변수로 평가되는 채널 후보 수는 접속 가능한 채널 수 A 를 초과하지 않으며 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다^[17].

$$r_a(t) = \operatorname{argmax} [\omega_i(t)P_{10} + (1 - \omega_i(t))P_{01}]B_i. \quad (13)$$

여기서 $r_a(t)$ 는 탐욕 알고리즘을 적용하여 최적의 채널을 선정하도록 하였다.

3.2 제안된 채널 핸드오프 알고리즘

이 논문에서는 완전한 감지동작과 불완전한 감지동작 환경에서 사전감지 방식 기반 채널 핸드오프 기법을 사용하여 주사용자와의 충돌을 최소화하고 채널의 사용률을 높이는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에서 채널을 핸드오프 할 때 채널의 사용가능 확률이 높은 곳을 선택하여 유휴 채널로 핸드오프하며, 즉 항상 최대의 데이터 전송이 가능한 채널을 선택한다. 여기서 제안된 알고리즘 흐름도는 다음과 같다.

(1) 조정자는 공통제어채널을 통해 부사용자로부터 전송할 패킷을 수신 받아 임시 기억장치에 저장하고 임시 기억장치에 저장된 패킷을 사용가능 채널로 할당하여 전송한다.

(2) 조정자는 채널상태가 사용 중인 경우 부사용자의 패킷을 다른 후보채널 i 로 핸드오프하기 위해 정

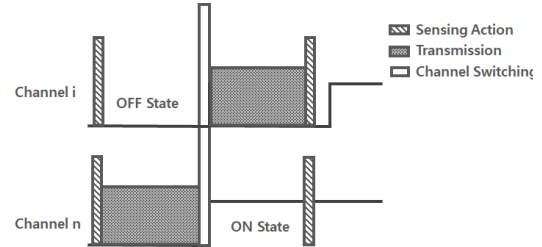


그림 3. 채널 핸드오프 예시
Fig. 3. Example of channel handoff

Algorithm 1: Proposed handoff algorithm

```

1 Initialize  $\omega_i, P_{01}, P_{10}$  and  $P_f$ ;
2 Buffer of Coordinator  $L_{CB} \leftarrow$  SUs packets  $\kappa$ ;
3 while  $L_{CB} \neq 0$  do
4   Belief Vector  $\omega_i(t+1) \leftarrow$  Sensing Action ( $a(t)$ );
5   Candidate Channel List  $B_m \leftarrow$  Channel State  $S_i$ ;
6   if Check current  $S_i$  Condition == 0 then
7     if  $B_m == 0$  then
8       Stop to Transmit Packet from  $L_{CB}$ ;
9       Store the Packets in Memory ( $L_{CB}$ )
10    else
11      Switching to Best Target Channel in  $Ch_m \in B_m$ ;
12      Transmit Packets from  $L_{CB}$ ;
13  else
14    Transmit Packet from  $L_{CB}$ ;
15 List of Candidate Channels Update;
16  $B_T \leftarrow Ch_m \cap B_m$ ;
17  $B_m \leftarrow B_m - B_T$ ;

```

그림 4. 제안된 알고리즘 의사코드
Fig. 4. Proposed algorithm pseudo code

기적으로 감지동작을 하며 감지동작의 결과를 통해 사용가능한 채널 목록을 메모리에 저장한다.

(3) 주사용자의 출현으로 채널 상태가 사용 중으로 전환 시 사용 중인 채널 사용을 중단하고 다른 후보 채널 중 보상 값을 고려하여 최적의 채널 i 로 핸드오프 한다.

(4) 후보 채널 목록에 채널 목록이 비어 있다면 감지동작을 반복하여 패킷을 전송 및 중단에 대한 결정을 내린다.

(5) 후보 채널 목록에 유휴 채널들이 있다면 탐욕 알고리즘을 통해 최적의 채널을 선정 후 패킷을 전송한다.

(6) 조정자의 임시 기억장치에 전송해야 될 패킷이 남아 있다면 위의 과정을 반복하여 전송한다.

IV. 모의실험 및 성능분석

본 장에서는 제안된 알고리즘이 적용된 인지 무선 기반 산업용 사물 인터넷 통신망의 성능분석을 위하여 모의실험 도구 MATLAB 2018a를 사용하였으며 완전한/불완전한 채널 감지 환경에서 사전감지-탐욕, 사전감지-무작위 채널 핸드오프 그리고 반응적 감지 채널 핸드오프 기법과 비교하여 성능을 나타내었다. 모의실험을 위한 매개변수는 표 1과 같이 설정하였으며 통신망의 연결 형태는 변동이 없는 것으로 가정하였다. 모의실험 성능을 위한 측정 지표는 주사용자 평균 데이터처리량과 감지 환경에 따른 주사용자 평균 데이터처리량 그리고 채널 사용 효율에 대한 성능을 나타내었다.

그림 5는 완전/불완전한 감지동작 환경에서 3가지 기법에 대한 평균 데이터처리량에 대한 성능을 나타내었다. 먼저 불완전한 감지동작 환경보다 완전한 감

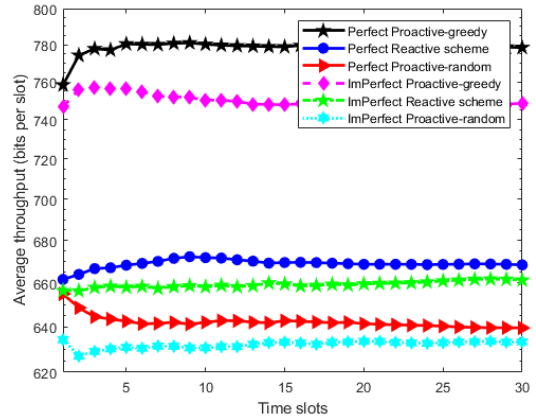


그림 5. 시간슬롯에 따른 평균 데이터처리량 성능
Fig. 5. Average throughput versus time slot

지동작 환경에서 평균 데이터처리량에 대한 성능이 차이가 있으며 완전한 감지동작 환경에서 성능이 더 높게 나온 것을 알 수 있다. 이는 채널이 사용이 가능할 때 또는 채널이 사용가능 하지 않을 때를 정확하게 감지하기 때문이다. 또한 반응적 감지 방식 기반 채널 핸드오프 기법과 사전감지-무작위 채널 핸드오프 기법보다 제안된 기법의 평균 데이터처리량의 성능이 우수하게 나온 것을 알 수 있다. 이는 제안된 기법이 신뢰백터를 참고하여 채널 상태를 판별하고 또 보상 함수의 값에 따라 최적의 채널로 핸드오프 함을 통해 패킷을 전송하는 시간이 증가했기 때문이다.

그림 6은 반응적 감지 방식에서 주사용자의 패킷 도착률에 따라 주사용자의 평균 데이터처리량에 대한 성능을 나타내었다. 여기서 패킷 도착률은 주사용자가 채널을 사용하기 위해 면허 대역 채널을 통해 패킷을

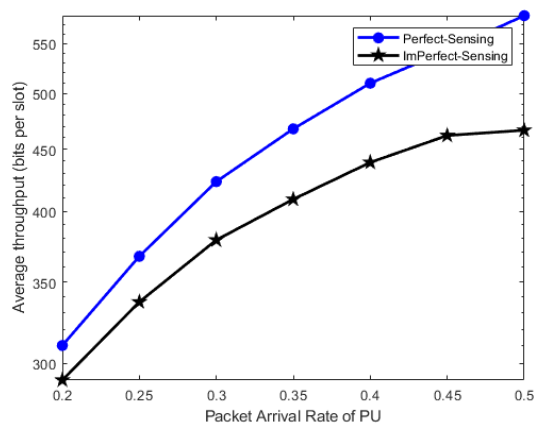


그림 6. 오탐지 확률에 따른 주사용자 데이터 처리량 성능
Fig. 6. Average throughput versus miss detection probability

표 1. 모의실험 매개변수 설정
Table 1. Simulation parameter setup

Parameter name	Value
Number of channels	3
Number of SU packets	3×10^5
PU packet arrival rate	0.2
Miss detection probability	0.4
Packet arrival rate	0.2
SNR threshold	5 dB
Channel bandwidth	1.5 kbps
AWGN(N_0)	-174 dBm

전송할 확률이다. 위의 결과를 통해 주사용자의 패킷 전송률이 증가할수록 주사용자의 평균 데이터처리량은 증가하지만 채널 감지 환경에 따라서 평균 데이터 처리량의 성능에 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 불안정한 채널 감지 환경에서 주사용자의 채널 사용이 증가할 때 부사용자와의 충돌 확률이 증가함에 따라 완전한 감지 환경에서 주사용자의 평균 데이터 처리량의 성능이 불안정한 감지 환경보다 높은 것을 볼 수 있다.

그림 7은 불안정한 감지동작 환경에서 오탐지 확률 대비 채널 사용 효율에 대해 나타낸 것으로 잘못된 탐지로 인해 발생한 충돌이 증가할수록 충돌이 발생한 시간에는 채널사용을 하지 못함으로 채널 사용 효율이 낮아지기 때문에 전체적으로 채널 사용 효율의 성능은 감소하고 있음을 볼 수 있다. 채널 사용 효율에 대한 성능은 제안된 기법의 성능이 다른 기법의 성능보다 우수한 것을 확인하였으며 이는 제안된 기법이 보상함수 사용을 통한 최적의 채널 후보 선택을 통해 채널 사용 효율을 상대적으로 높여 반응적 감지를 통한 채널 핸드오프 방식이나 사전감지-무작위 채널 핸드오프 방식보다 채널의 사용 효율을 높였기 때문이다.

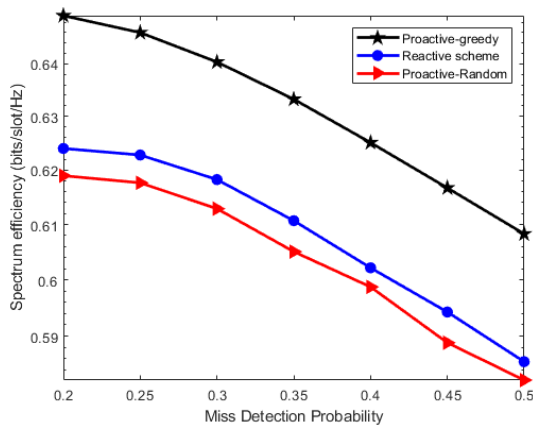


그림 7. 오탐지 확률에 대한 채널 사용 효율 성능
Fig. 7. Spectrum efficiency versus miss detection probability

V. 결론 및 향후연구

이 논문은 인지 무선 기반 산업용 사물 인터넷을 위해 부사용자의 채널의 사용효율을 높이기 위해 효율적인 핸드오프 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 주사용자와 부사용자의 채널 점유에 대한 확률을 마코브 연쇄 모형을 통해 채널 상태전이 모형을 구축하

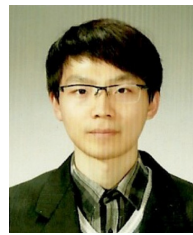
였으며 이를 기반으로 채널 상태 예측을 위해 신뢰벡터를 사용하여 각 채널의 유휴 상태확률을 계산하였다. 또한 채널 핸드오프를 위해 비어있는 채널 목록을 저장 후 보상함수를 통해 가장 최적의 채널을 선택하여 패킷을 전송하는 기법으로 반응적 감지를 통한 채널 핸드오프 방식과 사전감지-무작위 방식의 채널 핸드오프 기법보다 제안된 기법의 성능이 우수함을 나타내었다. 따라서 농업과 공장의 생산라인과 같이 통신망의 연결 형태의 변화가 작은 산업용 응용분야에서 제안된 기법이 적합함을 보였다. 향후연구로는 기존의 평균 데이터처리량 향상을 위해 적응형 채널 감지 기반 알고리즘 제안을 통한 효율적인 핸드오프 기법에 대해 연구할 예정이다.

References

- [1] M. Burns, *IoT-enabled industrial wearables market - drivers and forecasts by technavio* (2017), Retrieved Jul. 11, 2019, from <https://www.businesswire.com/news/home/20171111005025/en/IoT-enabled-Industrial-Wearables-Market---Drivers-Forecasts>.
- [2] M. Wollschlaeger, T. Sauter, and J. Jasperneite, "The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0," *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 11, no. 1, pp. 17-27, Mar. 2017.
- [3] F. Liu, C. W. Tan, E. T. K. Lim, and B. Choi, "Traversing knowledge networks: An algorithmic historiography of extant literature on the Internet of Things (IoT)," *J. Management Analytics*, vol. 4, no. 1, pp. 3-34, Aug. 2016.
- [4] P. T. A. Quang and D. S. Kim, "Throughput-aware routing for industrial sensor networks: application to isa100.11a," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 10, no. 1, pp. 351-363, Feb. 2014.
- [5] T. T. Le and D. S. Kim, "An efficient throughput improvement through bandwidth awareness in cognitive radio networks," *J. Commun. and Netw.*, vol. 16, no. 2, pp. 146-154, Apr. 2014.
- [6] A. Hassanzadeh, S. Modi, and S. Mulchandani,

- “Towards effective security control assignment in the industrial internet of things,” in *Proc. IEEE 2nd World Forum on Internet of Things*, pp. 795-800, Milan, Italy, Dec. 2015.
- [7] W. Li, B. Wang, J. Sheng, K. Dong, Z. Li, and Y. Hu, “A resource service model in the industrial IoT system based on transparent computing,” *Sensors*, vol. 18, no. 4, pp. 1-22, Mar. 2018.
- [8] D. H. Lee and S. C. Kim, “Introduction of industry IoT technology based on wireless communication,” *J. KICS*, vol. 35, no. 6, pp. 37-42, May 2018.
- [9] J. Mitola and G. Q. Maguire, “Cognitive radio: Making software radios more personal,” *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [10] IEEE Std 1900.1TM-2008, “*IEEE standard definitions and concepts for dynamic spectrum access: terminology relating to emerging wireless networks, system functionality, and spectrum management*”
- [11] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, “A survey on spectrum management in cognitive radio networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 4, pp. 40-48, Apr. 2008.
- [12] J. Perez-Romero, A. Raschella, O. Sallent, and A. Umberto, “A belief-based decision-making framework for spectrum selection in cognitive radio networks,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 10, pp. 8283-8296, Oct. 2016.
- [13] L. Wang, C. Wang, and C. Chang, “Modeling and analysis for spectrum handoffs in cognitive radio networks,” *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 11, no. 9, pp. 1499-1513, Sep. 2012.
- [14] Y. Song and J. Xie, “Prospect: A proactive spectrum handoff framework for cognitive radio ad hoc networks without common control channel,” *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 11, no. 7, pp. 1127-1139, Jul. 2012.
- [15] L. C. Wang, C. W. Wang, and C. J. Chang, “Optimal target channel sequence design for multiple spectrum handoffs in cognitive radio networks,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, no. 9, pp. 2444-2455, Sep. 2012.
- [16] Y. Jiao and I. Joe, “Markov model-based energy efficiency spectrum sensing in cognitive radio sensor networks,” *J. Computer Netw. and Commun.*, vol. 2016, pp. 1-8, Jan. 2016.
- [17] S. Zhang, H. Wang, and X. Zhang, “Estimation of channel state transition probabilities based on Markov Chains in cognitive radio,” *J. Commun.*, vol. 9, no. 6, pp. 468-474, Jun. 2014.
- [18] K. Wang, L. Chen, Q. Liu, and K. A. Agha, “On optimality of myopic sensing policy with imperfect sensing in multi-channel opportunistic access,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 9, pp. 3854-3862, Sep. 2013.
- [19] W. Zhang and C. K. Yeo, “Sequential sensing based spectrum handoff in cognitive radio networks with multiple users,” *Computer Networks*, vol. 58, pp. 87-98, 2014.

김승환 (Seung-Hwan Kim)



2010년 8월 : 금오공과대학교 전
자공학부 졸업
2012년 8월 : 금오공과대학교 전
자공학과 석사 졸업
2018년 8월 : 금오공과대학교 전
자공학과 박사 졸업
2018년 8월~현재 : ICT융합특성
화연구센터 전임연구원

<관심분야> 인지 무선 네트워크, 무선 센서 네트워크, 인공지능망

[ORCID:0000-0002-4118-8703]

권 기 협 (Ki-Hyeob Kwon)



2000년 2월 : 금오공대학교 전자공학부 학사 졸업
2003년 2월 : 금오공대학교 전자공학부 석사 졸업
2019년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 박사 졸업
2014년 7월~현재 : ICT융합특성화연구센터 팀장

<관심분야> 머신러닝, 무선 센서 네트워크, 5G

김 재 우 (Jae-Woo Kim)



2004년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과 학사 졸업
2013년 8월 : 금오공과대학교 컴퓨터공학과 박사
2014년~2018년 : (주)에이알텍 광통신 연구소 차장
2018년~현재 : ICT융합특성화연구센터 연구교수

<관심분야> 광트랜시버, 이동통신, 임베디드 시스템

김 등 성 (Dong-Seong Kim)



1992년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
2003년 3월 : 서울대학교 전기 및 컴퓨터공학부 박사 졸업
2004년 : Cornell 대학교 ECE 박사 후 연구원
2004년 3월~현재 : 금오공대 전자공학부 정교수

2014년~현재 : ICT 융합특성화연구센터 센터장 (과기정통부 ITRC 및 연구재단 중점연구소)

2014년~현재 : IEEE/ACM Senior 회원

2015년~2018년 : 금오공대 융합기술원 원장

2016년 9월~현재 : 국방부 CIO 자문위원

<관심분야> 실시간 통신망 및 IoT 시스템, 네트워크 기반 분산제어시스템 시스템, 실시간 S/W