

인지 무선 애드혹 네트워크에서의 멀티노드 채널 랑데부 알고리즘

성진욱¹ · 이봉환² · 양동민^{3*}

A Multi-Node Channel Rendezvous Algorithm in Cognitive Radio Ad-hoc Networks

Jin-uk Seong¹ · Bong-Hwan Lee² · Dongmin Yang^{3*}

¹Staff, Able IT Co., 272-37, Munji-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34050, Korea

²Professor, Department of Electronics, Information and Communications Engineering, Daejeon University, Daejeon, 34520, Korea

^{3*}Assistant Professor, Graduate School of Archives and Records Management, Chonbuk National University, Baekje-daero, Jonju-si, Jeollabuk-do, 54896, Korea

요약

본 논문에서는 비효율적인 주파수 자원의 효율적인 사용을 위해 연구되고 있는 CRAHNs(Cognitive Radio Ad-hoc Networks) 환경에, 데이터를 전달하기 전에 다수의 노드들이 여러 채널 중 하나의 공통 채널에서 만나는 연구에 초점을 맞춘다. 기존의 연구들은 대부분 두 개 노드의 채널 랑데부를 다루는데, 이를 3개 이상의 노드들에 적용하면 시간이 오래 걸리거나 통신이 불가능하다. 그래서 본 논문에서는 3개 이상의 다수 노드들이 빠른 시간 내에 하나의 채널에서 만나게 해주는 MNSEQ(Multi-Node Sequence)를 제안한다. 또한, 랑데부 후 데이터 교환을 위해 CSMA/CA 기법을 적용하였다. 기존 두 개의 노드 기반 랑데부 기법과 MNSEQ를 통신완료시간 및 전송의 효율성 관점에서 성능평가를 수행하여 MNSEQ가 기존의 기법보다 우수하다는 것을 보여 준다.

ABSTRACT

In this paper, we focus on the study of multi-node rendezvous on one common channel among multiple channels before transmitting in CRAHNs (Cognitive Radio Ad-hoc Networks) for the efficient use of inefficient frequency resources. Most existing researches have dealt with the channel rendezvous between two nodes. But, it can be time-consuming to apply them to three or more nodes. In addition, it can be impossible to communicate with each other. Therefore, in this paper, we propose a Multi-Node Sequence (MNSEQ), which allows three or more nodes to rendezvous on a single common channel in a short period of time. And, CSMA/CA was applied for data exchange after rendezvous. By performance evaluation through very extensive simulations, we have demonstrated that the proposed MNSEQ outperforms the existing scheme in terms of communication completion time and transmission efficiency.

키워드 : 인지 라디오, 인지 무선 애드혹 네트워크, 채널 랑데부, 다중 노드

Key word : Cognitive radio, CRAHN, Channel rendezvous, Multi-Node

Received 1 February 2019, Revised 15 February 2019, Accepted 3 March 2019

*Corresponding Author Dongmin Yang(E-mail:dmyang@jbnu.ac.kr Tel:+82-63-270-3249)

Assistant Professor, Graduate School of Archives and Records Management, Chonbuk National University, Baekje-daero, Jonju-si, Jeollabuk-do, 54896, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.4.453>

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. 서론

과거 주파수 자원은 방송과 통신 등 매우 한정적인 범위 내에서만 사용되어 왔다. 하지만 무선 통신 기술은 지난 20여 년 동안 국방, 농업, 교통, 물류 관리 등 다양한 분야에서 활발히 사용되어 오며 비약적으로 발전하였다. 또한 과거 산업 혁명이 석탄, 석유 등 화석연료를 주된 자원으로 필요로 하는 것처럼 21세기 정보화 사회의 주된 자원은 주파수 자원이라고 할 수 있다[1].

주파수 자원은 특성상 자원의 한계가 존재하지만 주파수 자원의 수요는 계속해서 증가하고 있다. 수요가 공급에 비하여 많기 때문에 자연스레 주파수 자원의 부족 현상이 발생하게 된다. 미국 FCC(Federal Communications Commission)의 주파수 스펙트럼 이용현황 조사에 따르면 주파수 스펙트럼의 이용 효율은 평균 30%에 그친다. 주파수 자원이 한정적이지만 효율적으로 사용되지 못하고 있기 때문에 주파수 부족 현상이 더욱 심각하게 두드러진다. 따라서 주파수 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있는 기술이 반드시 필요하다[2].

이러한 주파수 자원의 비효율적 사용을 해결할 수 있는 기술로 Cognitive Radio Networks(CRNs)가 제안되었다. CRNs은 주파수가 할당되어 있지만 사용되지 않는 시간을 이용하여 주파수 자원을 할당하는 기술로써 권한을 가진 사용자 PU(Primary User)에 의해 사용되지 않고 비어있는 주파수 자원을 이용하여 권한이 없는 사용자 SU(Secondary User)가 통신을 하는 기술이다. SU는 유휴 채널을 사용하여 통신하기 때문에 주변 환경을 센싱하여 유휴 채널을 인지해야 한다. 이때 PU가 해당 채널에 등장하게 되면 자리를 비워줘야 한다. 이들이 Ad-hoc 환경일 때는 CRAHNs(Cognitive Radio Ad-hoc Networks)라 한다. 본 논문에서는 CRAHNs에 초점을 맞춘다.

주파수 자원의 효율적인 사용을 위해 등장한 핵심 기술 중 하나는 채널 랑데부 알고리즘이다. 노드가 주변 환경에서 인지한 접근 가능 다중 채널이 존재한다 하더라도 노드 간 통신을 하기 위해 서로 채널을 일치시킬 수 없다면 통신이 이루어질 수 없다. 따라서 채널 랑데부 알고리즘은 중요한 기술이다[3].

기존에 만들어진 채널 랑데부 알고리즘은 노드 간 일대일 통신을 기반으로 개발되었다. 하지만 실제로 발생할 수 있는 다양한 환경 중에는 일대다수의 통신이나 다

수의 노드가 서로 데이터를 주고받는 경우가 존재한다. 이러한 경우 기존의 일대일 기반 채널 랑데부 알고리즘을 사용한다면 통신이 완료되기까지의 소요되는 시간이 길어 통신 효율이 떨어진다.

본 논문에서는 CRAHNs의 핵심 기술인 채널 랑데부 알고리즘으로 MNSEQ(Multi-Node Sequence)를 제안한다. 해당 알고리즘은 3개 이상의 다수의 노드가 통신하는 상황을 기반으로 하며 모든 노드가 접근 가능한 다중 채널 중 하나의 채널이 통신 채널로 결정되어 통신에 참여하는 모든 노드가 해당 채널에서 랑데부된다. 모든 노드가 하나의 채널에서 랑데부되기 때문에 하나의 노드가 데이터를 송신할 경우 해당 송신 노드를 제외한 노드들이 동시에 데이터를 수신할 수 있다. 따라서 일대다수의 통신이나 다수의 노드가 데이터를 주고받는 경우 기존의 일대일 채널 랑데부 알고리즘보다 좋은 성능을 보일 것으로 예측한다.

II. 배경 지식

2.1. Cognitive Radio Networks

2.1.1. Cognitive Radio Networks 정의

2000년 Joseph Mitola 연구원에 의해 제안되었다. 통신 시스템 주변의 전파 환경을 측정하여 인지한다. 측정된 전파 환경에 적합하게 지능적으로 판단하여 각 통신 시스템을 주변 환경에 맞게 최적화하여 동작시키는 기술로, IEEE 802.22 인지무선 통신 분야인 WRAN(wireless regional area network)에 응용해 2004년부터 표준화가 진행되었다.

2.1.2. Cognitive Radio Networks 주요 기술

스펙트럼 센싱(Spectrum Sensing)은 주변 환경의 주파수 스펙트럼을 측정하여 사용 현황을 감지하는 기술로써 이를 구현하기 위한 방식으로는 다음과 같은 센싱 기법들이 있다.

첫 번째, 정합필터 기반의 센싱으로 최적의 신호를 검출할 수 있지만 미리 신호에 대한 정보를 알고 있어야 한다. 따라서 다양한 환경에서의 신호를 검출하는 것은 어려움이 있다. 두 번째, 에너지 검출 기반의 센싱은 해당 주파수의 세기만을 관측하여 감지하는 방식이며 간섭에 취약하다라는 단점을 가지고 있다. 세 번째, 스

팩트럼 상관 기반의 센싱은 수신된 신호의 상관관계를 통하여 감지하며 간섭에 대하여 좋은 성능을 보인다.

동적 주파수 선택(Dynamic Frequency Selection)은 IEEE802.11a에서 고안된 방법으로 레이더 신호나 위성 신호에 간섭 받지 않고 5GHz의 UNII 주파수 대역에서 전송하기 위한 방법이다. 간섭이 없는 주파수 대역을 검출하며 사용자의 전파수신 감도 상태나 데이터 요구량을 통해 좋은 QoS(Quality of Service)를 제공할 수 있도록 주파수 대역을 할당한다.

CRAHNs을 이용하는 사용자가 인접한 위치에 존재할 때 서로 비어있는 주파수 대역을 사용하려는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 조정할 수 있는 충돌 회피 방지를 수행하는 프로토콜이 요구된다.

2.2. Channel Rendezvous

2.2.1. Channel Rendezvous Algorithm [4-9]

CRAHNs의 가장 중요한 기술 중 하나는 바로 채널 랑데부 알고리즘이다. SU는 통신하기 위해 주변 환경의 주파수 스펙트럼을 검출하여 사용 현황을 감지한다. 하지만 SU가 사용 가능한 주파수 자원을 감지하더라도 SU는 서로 블라인드 상태이기 때문에 채널 랑데부 알고리즘 없이는 통신의 QoS를 보장받지 못한다. 따라서 통신의 QoS를 보장하기 위하여 채널 랑데부 알고리즘이 반드시 필요하다.

예를 들어 노드 SU1과 SU2는 통신을 하기 위해 주변 환경에서 접근 가능한 채널을 3개 인지하였다. 해당 채널을 편의상 각각 1ch, 2ch, 3ch로 표현한다. 노드 SU1과 SU2는 서로에 대해 블라인드 상태이기 때문에 항상 같은 Sequence만을 사용하여 채널을 탐색한다.

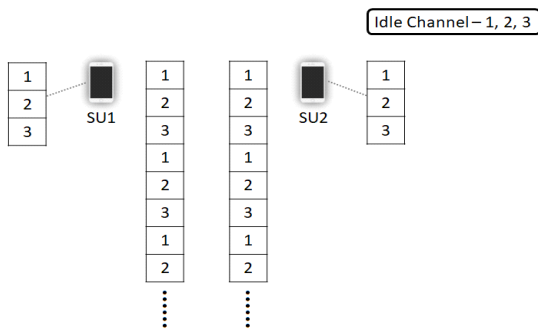


Fig. 1 Visit a channel 1

그림 1의 경우 노드 SU1과 SU2는 같은 시간대 동시에 탐색하는 채널이 존재하기 때문에 통신이 이루어진다. 하지만 CR에서 SU는 배터리의 한계점으로 인해 항상 통신대기를 하는 것이 불가능하다. 따라서 SU는 통신의 필요가 있을 경우에만 단말기를 부팅하여 채널의 탐색을 시작한다. 이때 그림 2와 같은 문제점이 발생한다.

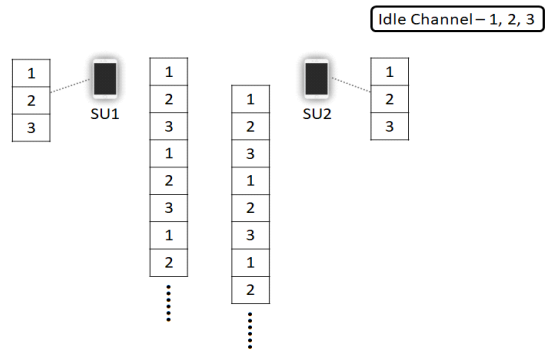


Fig. 2 Visit a channel 2

노드 SU1과 SU2이 인지한 사용 가능한 채널이 같더라도 부팅시간이 서로 다르기 때문에 통신이 이루어지지 않는다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 통신의 QoS를 보장하기 위하여 채널 랑데부 알고리즘이 반드시 필요하다. 채널 랑데부 알고리즘은 통신을 위해 노드 간 랑데부를 보장하여야 하며 알고리즘의 길이가 짧을수록 성능이 뛰어나다.

2.2.2. DRSEQ [10]

CRAHNs의 QoS를 보장하기 위하여 여러 랑데부 알고리즘들이 개발되었다. 그 중에서 DRSEQ 알고리즘은 대칭 모델에서 동작하는 알고리즘 중 가장 성능이 우수하다. 해당 알고리즘은 N개의 접근 가능한 다중 채널이 존재할 경우 2N+1 슬롯 이내에서 랑데부를 보장한다.

랑데부 알고리즘의 시퀀스는 이용 가능한 N개의 채널이 존재하고 랑데부를 위해 방문하는 채널수의 크기가 M이라고 할 때 SEQ = (a₀, a₁, ..., a_{M-1})로 표현 가능하며 그림 3과 같은 구조로 이루어져 있다. DRSEQ 알고리즘을 이용하여 채널 랑데부를 시도할 경우 k번의 슬롯이 지난 후 Node B가 부팅하여 채널 탐색을 시작하여도 Node A와 랑데부에 성공할 수 있다.

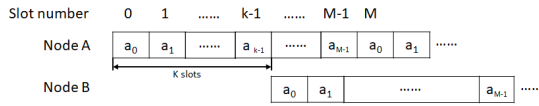


Fig. 3 Structure of DRSEQ Sequence

그림 4는 사용 가능한 채널이 4개 존재할 때 DRSEQ 알고리즘의 랑데부 과정을 나타낸 것으로 여기서 e는 탐색을 하지 않는 빈 슬롯을 의미한다. 무작위한 값을 갖는 k만큼의 슬롯이 지난 뒤 Node B가 부팅되더라도 Node A와 Node B는 항상 $2N+1$ 슬롯 안에 하나 이상의 채널에서 랑데부 된다.

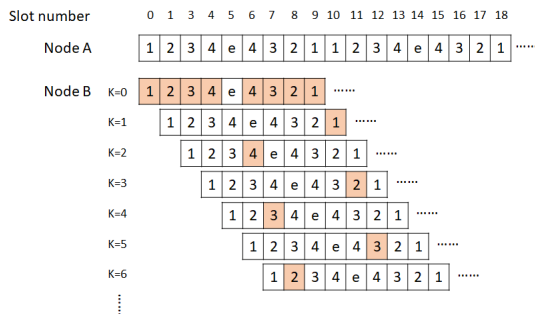


Fig. 4 Channel Rendezvous Using the DRSEQ

2.3. CSMA/CA [11, 12]

CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance)는 무선 환경에서 사용되는 프로토콜로 한 노드에서 목적지 노드로 데이터를 전송할 때 사용된다. 무선 환경에서는 유선 환경과는 다르게 충돌을 감지하는 것이 쉽지 않기 때문에 프레임 검출을 전위 변화로 쉽게 알 수 있는 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)와는 달리 충돌을 회피하는 방향으로 동작한다[13].

충돌회피를 위해 전송 전 채널이 Idle한지 확인 후 일정시간 대기 후 전송한다. 노드 간 데이터 전송에 충돌을 회피하기 때문에 오류 제어에 용이하며 충돌 패킷을 재전송하기 위해 낭비되는 대역폭이 감소된다.

제안하는 알고리즘을 활용하여 여러 노드들은 하나의 채널에서 랑데부하게 된다. 전송할 데이터를 가지고 있는 여러 노드들이 하나의 채널에서 랑데부한 후, 실제로 데이터 전달하기 위해서는 하나의 송신자 노드와 하나의 수신자 노드만 통신해야 한다. 이 때, 하나의 채널

에서 노드 간 통신의 충돌 회피를 위해 CSMA/CA를 적용하였다.

III. 관련연구

3.1. 멀티 홉 전송을 위한 멀티채널할당기법 [14]

인지 무선 애드혹 네트워크에서 멀티 홉 라우팅은 먼 거리까지 적은 전력으로 데이터를 전송할 수 있는 중요한 라우팅 기법이다. 여러 개의 채널을 갖는 멀티홉 라우팅에서 전송할 채널을 선택하는 경우 우선 PU에 의한 간섭을 최소화하고 전송할 수 있는 용량을 극대화하기 위해 간섭을 최소화하는 채널을 선택하는 기법이 필요하다. [14]에서는 스케줄링 방식을 사용하여 전송할 수 있는 용량을 높이는 기법을 제안하였다. 이 기법은 랑데부가 된 이후에 데이터를 목적지까지 전달할 때 간섭에 최적화된 채널들을 계산하여 라우팅에 적용하는 방안이다. 이 기법이 실제 상화에 적용되기 위해서는 멀티노드들 사이의 랑데부 기법이 선행되어야 한다.

3.2. The Life Cycle of the Rendezvous Problem [15]

이 연구에서는 인지 무선 네트워크나 동적 스펙트럼 액세스 네트워크에서 랑데부를 두 가지 매커니즘으로 분류하였다. 첫 번째는 미리 정의된 공통 제어 채널을 사용하는 것이며, 두 번째는 채널 호핑을 사용하는 것이다. 이 두 매커니즘 모두 인지 무선 네트워크에서 랑데부 문제를 단순화 할 경우 라이프 사이클을 형성하고 있으며 어떻게 형성되는지를 지적하여 설명하였다. 이 기법도 마찬가지로 랑데부 방식에 대한 구체적으로 제안하고 있지 않다.

이 두 가지 연구를 포함하여 대부분의 연구에서 다수의 노드가 존재할 때 하나의 채널에서 랑데부를 어떻게 하는지에 대한 구체적인 방안을 제시하지 않고 있다. 특히, [15]에서 CCC(Common Control Channel)가 미리 정해져 있다고 한다. 그러나 CRAHNS 환경에서는 CCC는 언제라도 PU에 의해서 점유될 수 있기 때문에 고정적일 수 없고, 변경되는 주파수 환경에 따라 CCC를 찾아야 한다.

4.2. Operation Algorithm of MNSEQ

그림 8은 통신에 참여하는 노드가 데이터를 전송하는 과정을 알고리즘으로 나타낸 것이다.

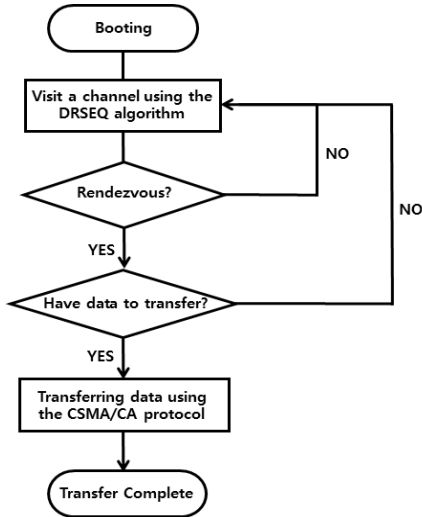


Fig. 8 Operation algorithm of MNSEQ

4.3. 일대일 기반과 vs MNSEQ 전송 횟수 비교

기존에 개발된 채널 랑데부 알고리즘은 일대일 통신에 적합한 알고리즘으로 다수의 노드가 서로 통신을 해야 하는 경우에는 상당히 많은 횟수의 통신이 필요하다. 총 4개의 노드가 통신에 참여할 경우 모든 노드가 데이터를 주고받기까지 그림 9와 같은 통신이 필요하다.

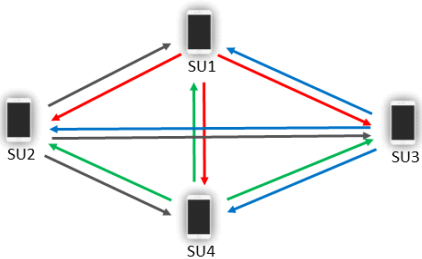


Fig. 9 Communication among four nodes

이 경우 기존의 일대일 기반 랑데부 알고리즘을 사용하면 필요한 랑데부 횟수와 모든 전송 횟수의 합은 다음과 같다.

- 통신 완료까지의 모든 랑데부 횟수 : 6회
- 통신 완료까지의 모든 전송 횟수 : 12회

노드의 수가 증가할수록 랑데부 횟수와 전송 횟수는 매우 크게 증가하며 노드의 수가 n 일 경우 기존의 일대일 기반 랑데부 알고리즘을 사용할 경우 다음과 같다.

- 통신 완료까지의 모든 랑데부 횟수 : $\frac{n(n-1)}{2}$ 회
- 통신 완료까지의 모든 전송 횟수 : $n(n-1)$ 회

이처럼 다수의 노드가 존재하는 환경에서 기존의 일대일 방식 알고리즘을 사용한다면 노드의 수가 증가할수록 통신 효율이 매우 크게 떨어지게 된다. 반면 MNSEQ 알고리즘을 사용할 경우 필요한 랑데부 횟수와 모든 전송 횟수의 합은 다음과 같다.

- 통신 완료까지의 모든 랑데부 횟수 : 1회
- 통신 완료까지의 모든 전송 횟수 : n 회

일대일 기반 채널 랑데부 알고리즘에 비해 MNSEQ 알고리즘은 랑데부 횟수와 필요한 전송 횟수의 수가 매우 적다. 따라서 데이터의 크기가 클수록 더욱 좋은 성능을 보일 것으로 예측할 수 있다. 이때 하나의 통신 채널에서 다수의 노드가 경합하기 때문에 통신 충돌 회피를 위한 프로토콜이 요구된다.

V. 멀티노드 채널 랑데부 알고리즘 성능 평가

5.1. 성능 평가

본 장에서는 성능 평가를 위하여 Matlab을 이용해 기존 일대일 기반 채널 랑데부 알고리즘 중 성능이 가장 우수한 DRSEQ 알고리즘과 MNSEQ 알고리즘의 테스트 환경을 구축하여 성능을 평가하였다. 성능 평가 지표로는 통신에 참여하는 노드의 수, 사용 가능한 채널의 수를 변화시키며 통신이 완료되기까지 걸리는 총 시간을 측정하였다.

기존의 일대일 기반 랑데부 알고리즘인 DRSEQ는 모든 노드 사이에 정보를 주고받기 위해 일대일 통신을 진행하며 각 노드들은 랜덤하게 부팅 한 뒤 DRSEQ sequence를 이용해 채널을 탐색한다. 랑데부가 성공하면 충돌 회피를 위해 CSMA/CA 프로토콜을 적용하여 데이터를 송수신한다. 랑데부에 성공한 노드들은 Contention Window에서 Random Slot time을 뽑은 뒤 IFS만큼 대기하고 데이터를 전송한다. 만일 같은 Slot

time을 뽑는다면 Contention Window의 크기를 2배로 증가시킨 뒤 반복하며 데이터 전송에 성공하면 Contention Window의 크기를 초기값으로 되돌린다.

본 논문에서 제안한 MNSEQ 알고리즘은 모든 노드 사이에 정보를 주고받기 위해 하나의 통신 채널에서 랑데부되며 각 노드들은 랜덤하게 부팅한 뒤 DRSEQ sequence를 이용해 채널을 탐색한다. 가장 먼저 랑데부되는 노드들은 다음 슬롯부터 채널 탐색을 다시 시작한다. 모든 랑데부가 성공하면 마찬가지로 전송 시 충돌 회피를 위해 CSMA/CA 프로토콜을 적용하여 데이터를 송수신한다.

n 개의 노드가 존재할 경우 모든 노드가 1회씩 데이터를 주고받았으며 시뮬레이션 결과를 가시적으로 확인하기 위하여 그래프로 표현하였다. 알고리즘 성능 비교 결과값은 그림 10과 같다. x 축의 값은 통신에 참여하는 노드의 개수이며 y 축의 값은 해당 노드의 수에 따른 통신이 완료되기까지 소요되는 총 시간(초)이다.

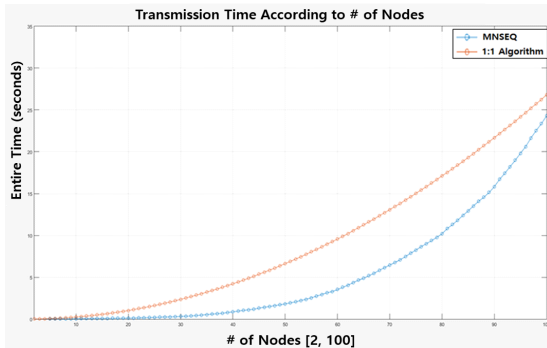


Fig. 10 Performance evaluation result

시뮬레이션 결과 다수의 노드가 데이터를 주고받는 통신을 할 경우 본 논문에서 제안한 MNSEQ 알고리즘이 기존의 일대일 기반 알고리즘보다 통신을 마치기까지 소요되는 시간이 빠른 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 다수의 노드가 데이터를 주고받는 통신을 할 경우에 다수의 노드를 하나의 통신 채널에서 랑데부하는 MNSEQ 알고리즘이 기존의 일대일 기반 랑데부 알고리즘보다 성능이 우수하다고 판단할 수 있다.

하지만 시뮬레이션 결과 MNSEQ 알고리즘의 성능을 평가한 그래프에서 노드의 수가 증가할수록 통신에 소요되는 시간의 기울기 증가값이 크게 증가하는 현상이 관찰되었다. 이를 분석하기 위해 MNSEQ 알고리즘의

Efficiency of Transmission을 측정한 결과 그림 11과 같이 나타났다[15, 16].

Efficiency of Transmission은 (1)과 같이 통신에 걸리는 총 시간(초) 중 실질적으로 데이터 전송을 위해 사용되는 시간(초)의 비율로 정의한다. 이 값이 클수록 통신의 효율이 좋다는 것을 의미한다.

$$Efficiency\ of\ Transmission \quad (1)$$

$$= \frac{Data\ Transmission\ Time}{Entire\ Transmission\ Time}$$

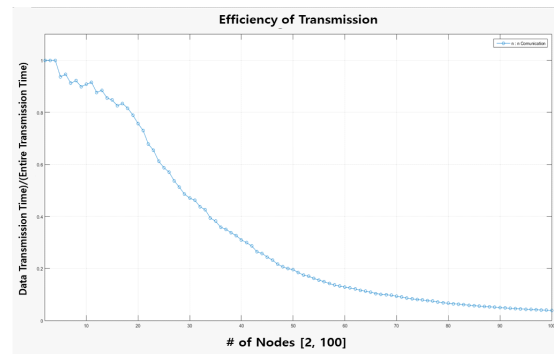


Fig. 11 Efficiency of transmission of MNSEQ

5.2. 결과 분석

실험으로부터 MNSEQ은 두 개의 노드사이의 랑데부만을 제공했던 DRSEQ의 한계점을 극복하고 통신하고자 하는 여러 노드들이 어떠한 정보 공유도 없이 빠른 시간 내에 랑데부하여 데이터를 교환할 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 반면, 통신에 소요되는 시간은 기존의 방식보다는 우수하지만 통신에 노드의 수가 증가하면 통신의 효율이 떨어지는 상황이 발생하였다. MNSEQ를 통해서 여러 노드가 하나의 채널에서 랑데부하여 데이터 통신까지 수행할 때, 참여하는 노드의 수가 많아지면 CSMA/CA 충돌의 횟수가 급격하게 증가하여 Efficiency of Transmission이 지속적으로 떨어지기 때문이다. 이는 Saturated Condition에서 실험하여 그 현상은 더욱 크게 나타난다.

DRSEQ는 인지 무선 통신 환경에서 일정한 시간 내에 두 개의 노드 사이의 랑데부를 완료하는 기법을 제안하였다. 그러나 다수의 노드들이 랑데부하고 통신하는 상황에는 적용할 수 없다. 일반적으로 다수의 노드들이 다수 채널 환경에서의 데이터 통신은 특정한 노드에 의

한 중앙 제어 또는 특정한 제어 채널을 통해서 이루어진다. MNSEQ는 인지 무선 통신 환경에서 어떠한 채널 정보 교환 없이 하나의 채널에서 만나는 즉, 제어 채널을 생성하는 기법을 제공한다. 또한 데이터 통신을 수행하기 위해서 CSMA/CA를 적용하였다.

MNSEQ에 의해 결정된 랑데부 채널에서 데이터 통신까지 하게 되면 노드의 수 증가 시 Efficiency of Transmission이 급격히 감소된다. 따라서 Efficiency of Transmission의 감소 현상을 해결할 수 있는 방안에 대해 추가적인 연구가 필요하다.

VI. 결 론

오늘날 무선 통신 기술은 다양한 분야에서 활발히 사용되어 오며 우리에게 없어서는 안 될 소중한 자산이 되었다. 하지만 무선 통신의 자원으로 사용되는 주파수 자원은 연구 결과에 따르면 효율적으로 사용되지 못하고 있다. 따라서 주파수 자원을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 인지 무선 통신(Cognitive Radio Networks)이 등장하였다. 인지 무선 통신은 권한을 가진 사용자 PU(Primary User)에 의해 사용되지 않고 비어 있는 주파수 자원을 이용하여 권한이 없는 사용자 SU(Secondary User)가 통신을 하는 기술을 말한다.

본 논문에서는 인지 무선 통신의 주요 기술 중 하나인 채널 랑데부 알고리즘에 대한 새로운 방식을 제안하였다. 기존의 일대일 기반의 알고리즘은 다수의 노드가 데이터를 주고받는 통신을 진행하는 경우에 소요되는 시간이 늘어나 통신의 효율이 떨어진다. 따라서 통신에 참여하는 모든 노드를 하나의 통신 채널에 랑데부 한 뒤 통신을 진행하는 MNSEQ 알고리즘을 제안하여 기존의 알고리즘과 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 랑데부 알고리즘보다 우수함을 확인하였다.

MNSEQ의 Efficiency of Transmission을 측정한 결과 노드의 수가 증가할수록 경합 시 충돌 횟수가 증가하여 통신의 효율이 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 본 연구팀은 향후 연구로 MNSEQ 알고리즘의 효율적인 처리량 향상을 위한 추가적인 연구를 계획하고 있다. 노드들이 하나의 통신 채널에서 랑데부하여 제어 채널을 생성한 후에, 데이터 통신을 수행하고자 하는 노드들을 다른 사용가능한 채널들로 분산시켜 데이터 통

신을 수행하는 방법이 제안된다면 Efficiency of Transmission을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2016 S1A5B8913575). This work was supported in part by Daejeon University fund (2018)

References

- [1] J. Mitola, "Cognitive radio for flexible mobile Multimedia communications," in *The IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications*, San Diego, CA, pp. 3-10, 1999.
- [2] A Study on the Use of Frequency Spectrum. [Internet]. Available: <https://www.fcc.gov>
- [3] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, and K. R. Chowdhury, "CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks," *Elsevier Ad hoc Networks*, vol. 7, no. 5, pp. 810-836, July 2009.
- [4] N. C. Theis, R. W. Thomas, and L. A. DaSilva, "Rendezvous for cognitive radios," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, issue 2, pp. 216-227, 2010.
- [5] G. Anquetin, and Y. C. Kim, "A Survey on Rendezvous Algorithms in Cognitive Radio Networks," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 43, no. 2, pp. 209-218, Feb. 2018.
- [6] J. Li, H. Zhao, J. Wei, D. Ma, and L. Zhou, "Sender-Jump Receiver-Wait: a simple blind rendezvous algorithm for distributed cognitive radio networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 17, issue 1, pp. 183-196, 2018.
- [7] J. F. Huang, G. Y. Chang, and J. X. Huang, "Anti-jamming rendezvous scheme for cognitive radio networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 16, issue 3, pp. 648-661, 2017.
- [8] J. P. Sheu, C. W. Su, and G. Y. Chang, "Asynchronous Quorum-Based Blind Rendezvous Schemes for Cognitive Radio Networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, issue 3, 2016.
- [9] S. A. Pambudi, W. Wang, and C. Wang "Fast Rendezvous for Spectrum-Agile IoT Devices with Limited Channel

- Hopping Capability,” in *Proceedings of IEEE Infocom 2018*, Honolulu:HI.
- [10] D. Yang, J. Shin, and C. Kim, “Deterministic rendezvous scheme in multichannel access networks,” *IET Electronics Letters*, vol. 46, no. 20, pp. 1402-1404, 2010.
- [11] C. Cormio, and K. R. Chowdhury, “Common control channel design for cognitive radio wireless ad hoc networks using adaptive frequency hopping,” *Elsevier Ad hoc Networks*, vol. 8, pp. 430-438, 2010.
- [12] G. W. Park, J. K. Choi, and S. J. Yoo, “Multi-hop Routing Protocol based on Neighbor Conditions in Multichannel Ad-hoc Cognitive Radio Networks,” *The Journal of Korean Institute of Communications Sciences*, vol. 36, no. 4, pp. 369-379, Apr. 2011.
- [13] J. H. Choi, and S. J. Yoo, “An Efficient Routing Protocol Considering Path Reliability in Cognitive Radio Ad-hoc Networks,” *The Journal of Korean Institute of Communications Sciences*, vol. 39, no. 11, pp. 730-742, Nov. 2014.
- [14] Y. M. Kwon, and H. K. Park, “Multi-Channel Allocation Scheme for Multi-Hop Transmission in Ad-hoc Cognitive Radio Networks,” *The Journal of Korean Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 35-41, Jan. 2017.
- [15] Zaw Htike, C. S. Hong, and S. W. Lee, “The Life Cycle of the Rendezvous Problem of Cognitive Radio Ad-Hoc Networks,” *Journal of Computing Science and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 45-53, Apr. 2016.
- [16] J. H. Kim, J. K. Choi, and S. J. Yoo, “TDMA based Multi-channel MAC Protocol for Improving Channel Efficiency in Wireless Ad Hoc Networks,” *The Journal of Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 35, no. 2, pp. 153-164, Feb. 2012.



성진욱(Jin-Uk Seong)

2017년 대전대학교 IT전자공학과 졸업(학사)
 2019년 대전대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(석사)
 현재 에이블정보기술 사원
 ※ 관심분야: 프로그래밍, 사물인터넷, 네트워크보안 등



이봉환(Bong-Hwan Lee)

1985년 서강대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1987년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 1993년 Texas A&M 대학교 대학원 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(박사)
 현재 대전대학교 전자정보통신공학과 교수
 ※ 관심분야: 클라우드 컴퓨팅, 사물인터넷, 네트워크보안 등



양동민(Dongmin Yang)

2000년 POSTECH 컴퓨터공학과(학사)
 2003년 POSTECH 컴퓨터공학과(석사)
 2009년 9월 ~2011년 9월 삼성전자 Senior Engineer
 2011년 POSTECH 컴퓨터공학과(박사)
 2011년 9월 ~2017년 9월 대전대학교 정보통신공학과 조교수
 2017년 9월 ~ 현재 전북대학교 대학원 기록관리학과 조교수
 ※ 관심분야: Archives & Records Information Security, IoT, Manet