

# 인지 무선 모바일 애드혹 네트워크를 위한 다중 메트릭 기반 멀티 홉 클러스터링 기법

김 준 형\*, 최 흥 범\*, 김 도 형\*\*, 고 영 배°, 최 재 각\*\*\*, 한 철 희\*\*\*, 최 증 원\*\*\*\*

## Multiple Metrics Based Multi-hop Clustering Technique for Cognitive Radio Mobile Ad Hoc Networks

Jun-Hyeong Kim\*, Hong-Beom Choi\*, Dohyung Kim\*\*, Young-Bae Ko°, Jae-Kark Choi\*\*\*, Chul-Hee Han\*\*\*, Jeung-Won Choi\*\*\*\*

### 요 약

최근 애드 혹 네트워크 환경에서 인지 무선 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 특히, 효율적인 네트워크를 위해 가용 주파수 채널을 기반으로 한 클러스터링 기법들이 제안되었다. 그러나, 기존 연구들에서는 모바일 애드 혹 네트워크의 특성(단말의 이동성, 홉 수에 따른 성능저하 등)이 크게 고려되지 않은 채 가용 채널의 상태만을 고려하여 클러스터를 형성하기 때문에 빈번한 클러스터 재구성 및 이에 따른 통신 안정성 저하, 네트워크 유지 보수 오버헤드 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 가용 채널의 개수와 더불어 단말의 위상 정보 및 이동성 정보 등을 바탕으로 클러스터를 구성하도록 하는 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 성능검증 결과, 기존 연구들 대비 클러스터링 오버헤드와 통신비용에서 향상된 성능 결과를 보이는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Cognitive Radio Mobile Ad-hoc Networks, Clustering Technique, Cluster Merging

### ABSTRACT

In recent years, the Cognitive Radio(CR) technology has been actively researched in the domain of mobile ad-hoc networks (MANETs). Especially, cluster-based networking mechanisms were introduced for efficient channel management in CR-MANET environments. However, since these schemes form a cluster considering only the available channel information, the characteristics of MANET often lead to frequent reconfiguration of the cluster, resulting in inefficient communication and significant overhead for network maintenance. To resolve the problem, in this paper, we propose a new clustering scheme in which a cluster is formed based on 1) the number of available channels, 2) topological information, and 3) relative mobility. Simulation results show that the proposed scheme reduces the number of cluster re-clustering and the number of hops in routing path for cluster communication, compared to the existing schemes.

※ 본 연구는 한화시스템(주)의 재원을 지원 받아 수행된 연구임.

♦ First Author : Ajou University, Department of Computer Engineering, allbuddy@ajou.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Ajou University, Department of Computer Engineering, youngko@ajou.ac.kr, 중신회원

\* Ajou University, Department of Computer Engineering, 학생회원

\*\* Kangwon University, Department of Computer Engineering

\*\*\* Hanwha Systems

\*\*\*\* Agency for Defense Development

논문번호 : 201902-470-B-RE, Received February 20, 2019; Revised April 24, 2019; Accepted April 29, 2019

## I. 서 론

인지 무선 기술 (CR: Cognitive Radio)은 단말들이 여러 주파수 대역에서의 주파수 사용 여부를 파악하여 동적으로 비어있는 주파수 대역을 활용할 수 있도록 하는 통신 기술이다. 사물인터넷(IoT) 센서 디바이스 등 다양한 무선기기가 등장하면서 주파수 수요가 급증할 것으로 예상됨에 따라 인식 무선 기술을 통한 통신 대역폭 확보가 더욱 중요해지고 있다. 최근에는 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 이와 같은 인지 무선 기술 활용하여 통신 효율성을 높이고자 하는 시도가 활발히 진행되고 있다<sup>1)</sup>.

인지 무선 기술 단말들은 고유의 주파수 대역을 할당받은 주 사용자 (PU)의 주파수 사용을 간섭하지 않는 조건하에서 해당 주파수의 사용이 가능하기 때문에, 주 사용자가 활성화될 경우, 이를 신속히 감지하고 사용중이던 주파수를 비워줘야 하는 의무를 가진다. 따라서, 주 사용자의 등장에 따른 빈번한 채널 변경이 발생하게 되는데, 이런 채널 변경이 애드 혹 네트워크 성능에 미치는 영향에 대한 연구가 보고되고 있다<sup>2)</sup>.

인지 무선 모바일 애드 혹 네트워크 (CR-MANET: Cognitive Radio Mobile Ad Hoc Network)는 크게 플랫폼 구조와 클러스터 구조를 가진다<sup>1,3)</sup>. 플랫폼 구조에서는 네트워크를 구성하는 모든 노드들이 같은 채널을 사용하게 된다. 따라서, 현재 사용하고 있는 채널의 주 사용자가 활성화 될 경우, 네트워크의 모든 노드들이 채널 변경을 수행하게 된다. 플랫폼구조에서는 네트워크가 넓은 지역에 걸쳐서 형성되고 각 지역마다 서로 다른 주파수 대역들에서 PU들이 등장하게 되면, 빈번한 채널변경이 불가피하며 네트워크 전체의 가용 채널수가 심각하게 제한될 수 있다. 이와 같은 문제에 대한 해결책으로, 지역별 가용 채널을 기반으로 단말이 클러스터를 형성하고 클러스터 단위로 네트워크를 수행하는 멀티 홉 클러스터 구조의 CR-MANET 기술이 소개되었다<sup>2,4,5)</sup>. PU의 통신 범위가 특정 지역에 한정되는 만큼, 클러스터 구조에서는 해당 PU에 간섭을 줄 수 있는 단말들에 한해서 채널 변경을 수행하게 된다. 따라서, PU의 등장이 네트워크에 미치는 영향이 제한적일 수 있으며, 타 지역에서의 가용 채널을 제한하지 않을 수 있다.

멀티 홉 클러스터 구조의 CR-MANET에서는 어떻게 클러스터를 형성하느냐에 따라서 네트워크 성능이 크게 좌우된다. 현재까지의 CR-MANET을 위한 멀티 홉 클러스터링 기법들에서는 주로 가용 채널의 정보

만을 가지고 클러스터가 형성되는데, 이 경우, 단말의 이동에 따라 빈번히 클러스터가 재구성되어야 하며, 클러스터 내에서의 통신 홉 수가 길어지는 등의 비효율적인 네트워크가 발생하게 된다. 특히, 빈번한 리클러스터링에 따른 컨트롤 메시지 증가와 길어진 홉 수에 따른 송수신 횟수의 증가는 단말의 에너지 소모를 증가시키고, 결과적으로 네트워크 수명을 크게 단축시키는 문제를 야기시킬 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하고자 CR-MANET에서의 효율적인 통신을 위한 다중 메트릭 기반 멀티 홉 클러스터링 기법을 제안하였다. 클러스터 헤드를 선출하는데 있어서 가용 채널의 수, 이동성 정도 등 CR-MANET의 다양한 속성을 고려함으로써 클러스터가 재구성되어지는 횟수를 최소화하였으며, 단말의 위상정보를 바탕으로 클러스터 중앙에 헤드를 위치시킴으로써, 클러스터 내의 홉 수를 최적화하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 수행한 결과, 제안 기법이 기존 연구들 대비 리클러스터링 오버헤드를 감소시키고, 클러스터 통신비용을 줄일 수 있음을 확인하였다.

## II. 관련 연구

### 2.1 MANET 환경에서의 클러스터링 기법

클러스터링 기법은 크게 클러스터 헤드를 선출하고 클러스터를 형성하는 과정과, 클러스터를 유지보수하는 과정으로 분류할 수 있다. 이 중에서 특히, 클러스터 헤드를 선출하는 메트릭 선정이 네트워크 성능을 좌우하기 때문에 중요하며, 현재 MANET에서 클러스터 헤드를 선출하는 메트릭은 대표적으로 노드 ID, 이웃 노드의 수, 노드의 이동성, 배터리 수명 등이 존재한다.

Weight 기반 클러스터링 기법<sup>6)</sup>은 클러스터 헤드 선출을 위하여 이웃 노드의 수, 이웃 노드들까지의 거리의 합, 노드의 속력, 배터리 수명 등 여러 가지 메트릭을 고려한다. 최종적으로 각 메트릭에 적절한 가중치를 두어 클러스터 헤드 선출 메트릭  $W_A$ 을 계산하고, 자신과 이웃 노드들 중에서  $W_A$ 가 가장 큰 노드가 클러스터 헤드로 선출되어 클러스터를 형성한다. 클러스터 유지보수 기법으로는 클러스터 헤드가 자주 재선출되는 것을 방지하기 위해 클러스터 헤드가 클러스터에서 이탈했을 시 클러스터를 재구성하거나, 클러스터 사이즈를 관리하기 위해 클러스터를 이루는 노드의 수에 upper bound를 둔다. 해당 기법은 구체적인

인 메트릭 선정과 각 메트릭에 대한 가중치를 조절하면서 원하는 네트워크 성능을 향상시키거나 네트워크 성능들의 균형을 맞출 수 있는 장점이 있지만, 클러스터 헤드를 선출할 때 CR 환경을 고려하지 않아 CR-MANET 클러스터링 기법으로는 부적합하고 인위적으로 클러스터 사이즈를 제한하는 한계점을 가진다.

DELFA<sup>[7]</sup>는 트리 구조 기반 클러스터에서 이웃 노드의 수, 노드의 속도, 컴퓨팅 파워, 배터리 수명 등을 고려하여 Leader election 알고리즘을 통해 클러스터 헤드를 선출한다. 해당 기법은 두 클러스터를 병합할 때 노드의 이동성 및 위상정보를 고려한다는 점에서 본 논문의 기법과 공통점이 있으나 클러스터 헤드를 선출할 때 CR 환경을 고려하지 않는 점에서 차이가 있다.

### 2.2 CR-MANET 환경에서 멀티 홉 클러스터링 기법

CR-MANET 환경에서 멀티 홉 클러스터링 기법은 대표적으로 [2,4,5]가 있다. SMART<sup>[2]</sup>는 클러스터 헤드를 선출하는데 있어서 가용 채널의 수를 메트릭으로 사용한다. 가용 채널의 수가 가장 많은 노드가 클러스터 헤드로 선출되고, 주변 이웃 노드들은 클러스터 헤드와 공통 채널이 2개 이상일 시 클러스터에 참여한다. 클러스터 유지보수 기법으로는 클러스터 병합 및 분리 기법을 통해 클러스터 사이즈를 적절하게 조절한다. SMART는 클러스터 헤드를 선출할 때 노드의 이동성을 고려하지 않아 리클러스터링이 빈번하게 발생하며, 두 클러스터가 병합될 시 새로운 클러스터 헤드가 클러스터 상에서 편향되는 문제점을 가진다.

[4]는 클러스터 헤드를 선출하는데 있어서는 이웃 노드의 수, 클러스터 내 평균 홉 수, 클러스터 내 채널 스위칭 수를 고려한 node importance degree를 메트릭으로 사용한다. 클러스터 사이즈는 클러스터 헤드에서 두 홉 이내로 제한한다. 클러스터 헤드와 두 홉으로 떨어진 노드는 클러스터 헤드와 채널이 달라도 스위칭 노드에 의해서 헤드와 연결될 수 있다. 클러스터 유지보수 기법으로는 PU에 의해 클러스터 채널이 간섭 받을 시 클러스터 헤드 다음으로 node importance degree가 큰 멤버 노드가 클러스터 헤드로 동작하여 클러스터를 재구성한다. 해당 기법은 클러스터 헤드를 선출할 때 노드의 이동성을 고려하지 않아 리클러스터링이 빈번하게 발생하는 문제점을 가진다.

[5]는 클러스터 헤드를 선출하는데 있어서 Weight 기반으로 이웃 노드의 수, 송신 파워, 노드의 속도, 잔

여 에너지 메트릭을 고려한다. 클러스터 유지보수 측면으로는 클러스터를 형성하는데 있어서 클러스터 사이즈가 미리 정해진 임계값으로 제한된다. 해당 기법은 클러스터 헤드를 선출할 때 CR의 특성을 고려하지 않으며, 클러스터 사이즈를 인위적으로 제한하는 한계점을 가진다.

### III. 연구 동기

본 장에서는 CR-MANET 환경에서 효율적인 통신을 위한 다중 메트릭 기반 멀티 홉 클러스터 기법 제안을 위하여, 기존 멀티 홉 클러스터링 기법인 SMART<sup>[2]</sup>의 문제점에 대해 고찰하고 이를 수학적 실험을 통해 검증하고자 한다.

SMART는 본 논문의 연구 주제와 가장 유사도가 높은 최신의 효율적인 클러스터링 기법으로, CR의 환경을 고려하여 클러스터 헤드를 선출하고, 네트워크 상황 (가용 채널의 수)에 따라 클러스터를 병합하고 분할함으로써 클러스터 사이즈를 조절하는 기법을 제안한다. 하지만 SMART는 앞서 상술했듯이 두 클러스터가 병합될 시 새로운 클러스터 헤드가 클러스터 상에서 편향되는 문제점이 발생할 수 있다. 게이트웨이 노드가 외부 클러스터와의 공통 채널이 임계값 (기본값: 2) 이상임을 인지할 시 두 클러스터가 병합되는 과정이 발생하게 되는데, 단순하게 해당 게이트웨이 노드가 새로운 클러스터 헤드로 선출되어 클러스터가 병합되고, 이 과정 속에서 새로운 클러스터 헤드와 원 홉으로 연결되지 못하는 멤버 노드들을 기존의 클러스터 헤드가 릴레이 노드로 동작하여 연결해 주기 때문이다.

초기 클러스터 헤드에서 원 홉으로 구성된 클러스

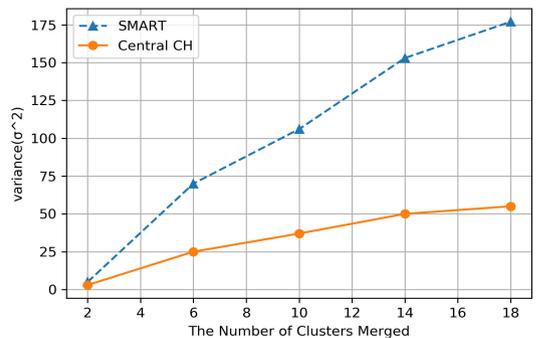


그림 1. 병합되는 클러스터 개수에 따른 Leaf 노드 깊이의 분산  
Fig. 1. Variance of leaf node depth according to the number of merged clusters

터들끼리 병합될 시에는 편향 정도가 심하지 않을 수 있지만, 클러스터 병합이 점차 발생할수록 편향 현상이 심해질 것으로 예상된다. 또한 병합되는 두 클러스터 사이즈의 편차가 클수록 클러스터 헤드 편향 현상은 더욱 심해질 것으로 예상된다. 라우팅을 담당하는 클러스터 헤드가 편향된다면 통신을 하는데 있어서 우회경로가 발생하여 중단 간 지연이 증가하고 네트워크 수명이 줄어드는 등 심각한 네트워크 성능 저하가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 SMART에서 발생하는 클러스터 헤드 편향 문제점을 검증하기 위해 수학적 시뮬레이션을 진행하였다. 해당 시뮬레이션에서는 각 10~16개 사이의 랜덤한 노드를 가진 클러스터들이 일정 횟수의 병합을 지속적으로 진행한다. 여기서 비교 스킴인 'Central CH'는 클러스터 헤드를 선출하는데 있어서 가용 채널의 수를 고려하고, 클러스터 병합 시 새로운 클러스터 헤드를 클러스터 상에서 정중앙에 두는 스킴이다. 해당 스킴은 본 논문에서 사전 시뮬레이션을 위해 설계하였다.

다음으로 클러스터 헤드가 편향됨에 따라 클러스터 통신비용이 증가하는 결과를 그림 2에 나타내었다. 여기서 Intra-Communication은 클러스터 내부에 대한 통신을, Inter-Communication은 클러스터에서 클러스터 외부로 위한 통신(클러스터 내에서 게이트웨이 노드 사이의 통신)을 의미한다. 시뮬레이션 결과 클러스터 헤드 편향 현상이 발생함에 따라 클러스터의 내부 및 외부 라우팅에 필요한 홉 수가 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 병합되는 클러스터 개수가 많아질수록 그 경향이 더 심해지는 것을 확인할 수 있다.

따라서 클러스터 병합 시 새로운 클러스터 헤드 선

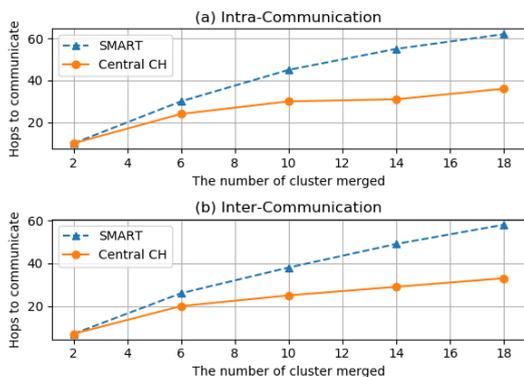


그림 2. 병합되는 클러스터 개수에 따른 클러스터 평균 통신비용  
Fig. 2. Cluster average communication cost by number of merged clusters

출을 다중 메트릭을 고려하여 중앙 지향적으로 한다면 클러스터 헤드의 편향으로 인하여 발생하는 네트워크 성능 저하를 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

#### IV. 제안 기법

본 장에서는 CR-MANET에서 안정적인 통신을 위한 클러스터링 기법을 설명한다. 클러스터는 총 4가지 유형의 노드들로 구성되며, 제안하는 클러스터링 기법은 크게 클러스터를 형성하고 게이트웨이 노드를 선출하는 과정과, 두 클러스터가 병합되는 과정으로 분리되고 이를 구분하여 설명한다. 제안 기법은 네트워크 상황(가용 채널 상황)에 따라 클러스터 병합 및 분할 기법을 통해 클러스터 사이즈를 적절하게 조절한다. 클러스터 병합 기법은 기존 기법들과 다르게 노드의 가용 채널 수, 노드 이동성, 노드의 위상정보를 고려하고, 클러스터 분할 기법은 기존 SMART의 기법을 사용한다. 제안 기법은 비교 기법인 SMART와 비교했을 때 추가적인 컨트롤 메시지가 발생하지 않는다.

##### 4.1 클러스터 구조 및 관리

제안 기법의 클러스터는 클러스터를 관리하고 라우팅을 담당하는 클러스터 헤드(CH: Cluster Head)와, 클러스터 헤드와 연결되어 클러스터를 구성하는 멤버 노드(MN: Member Node), 외부 클러스터와 통신을 담당하는 게이트웨이 노드(GN: Gateway Node), 클러스터 헤드와 원 홉으로 연결되지 못하는 멤버 노드들을 클러스터 헤드와 이어주는 릴레이 노드(RN: Relay Node)로 구성된다. 클러스터에 참여하지 못한 노드는 일반 노드(NN: Non-clustered Node)로 분류된다.

모든 노드들은 주기적으로 자신의 가용 채널을 스캐닝하면서 Hello 메시지를 전파하고 각 노드들은 Hello 메시지를 기반으로 이웃 노드들을 인지하고 이웃 노드들의 정보를 학습한다. Hello 메시지에는 노드의 상태와 가용 채널 정보, 클러스터에 관한 정보들이 삽입되어 있으며 이를 바탕으로 클러스터가 형성되고 관리된다.

##### 4.2 클러스터 헤드 선출 메트릭

각 노드는 클러스터 헤드 선출을 위한 메트릭  $W_A$ 를 가지며  $W_A$ 는 식 (1)과 같이 2가지 종류의 하위 메트릭에 대해 가중치를 두어 계산된다.

$$W_A = w_1 * C_A + w_2 * M_A \quad (1)$$

$C_A$ 는 가용 채널의 수를,  $M_A$ 는 이웃 노드들과의 이동성 정도를 의미한다.  $C_A$ 는 인지 무선 기술의 특성을 고려한 메트릭으로써 가용 채널이 많을수록 많은 노드들을 포함할 수 있기 때문에 선정하였으며,  $M_A$ 는 노드의 이동성 때문에 발생하는 리클러스터링 과정의 빈도수를 줄이기 위하여 선정하였다. 각 하위 메트릭에 대한 가중치는 heuristic하게 결정되며 각 가중치에 따라 원하는 네트워크 성능을 조절할 수 있다.

여기서 이웃 노드들과의 이동성 정도를 나타내는 메트릭  $M_A$ 는 식 (2-5)를 통해서 계산된다.

$$E[D_{AB}] = \frac{k}{\sqrt{P_r}}, \quad (k \text{ is a constant}) \quad (2)$$

$$P_r = P_t * G_t * G_r * \frac{\lambda^2}{(4 * \pi * d)^2} \quad (3)$$

$$VD_{AB} = \sigma(|E[D_{AB}]_1 - E[D_{AB}]_0|, |E[D_{AB}]_2 - E[D_{AB}]_0|, \dots, |E[D_{AB}]_n - E[D_{AB}]_0|) \quad (4)$$

$$M_A = \frac{1}{VD_{AB_1} + k} + \frac{1}{VD_{AB_2} + k} \dots + \frac{1}{VD_{AB_m} + k} \\ = \sum_{l=1}^m \frac{1}{VD_{AB_l} + k} \quad (k \text{ is a constant}) \quad (5)$$

먼저 임의의 노드 A는 식 (2)를 통해 이웃 노드 B와 Hello 메시지 수신 전력  $P_r$ 을 기반으로 대략적인 거리를 구한다. Hello 메시지의 수신 전력  $P_r$ 은 식 (3)을 통해서 구해지며, 여기서  $P_t$ 는 송신 전력,  $G_t, G_r$ 은 송신, 수신 안테나 이득,  $\lambda$ 는 파장을,  $d$ 는 두 노드간의 거리를 의미한다. 이후 이웃 노드와의 거리를  $n$  타임 슬롯동안 관찰한 후 식 (4)를 통해 해당 이웃 노드와의 거리 변화량 (이동성 정도)을 계산한다. 최종적으로 식 (5)를 통해 모든 이웃 노드들과의 거리 변화량을 역수를 취해 더한다. 각 이웃 노드와의 거리 변화량을 역수를 취해 더함으로써 자신과 움직임 패턴이 비슷한 이웃 노드들이 많을수록  $M_A$  값은 커지게 되며, 움직임 패턴이 상이한 이웃 노드들은  $M_A$  값에 큰 영향을 미치지 못하게 된다. 제안 기법은  $M_A$ 를 계산하는데 있어서 기존 SMART 기법 대비  $O(n)$  ( $n$ : 이웃 노드의 수) 오버헤드를 갖는다.

### 4.3 클러스터 형성 및 게이트웨이 노드 선출 과정

클러스터 형성 과정은 클러스터 헤드 선출과 클러스터 참여 과정으로 분류된다. 각 노드는 클러스터 헤드 선출 메트릭  $W_A$ 을 Hello 메시지에 삽입하여 주기적으로 전파하고, 이를 통해 일반 노드들 중에서 자기 자신과 이웃 노드들 사이  $W_A$  값이 가장 큰 노드가 클러스터 헤드로 선출된다.  $W_A$  값이 같을 경우에는  $M_A$  값이 더 큰 노드가 클러스터 헤드로 선출된다. 새로 선출된 클러스터 헤드는 자신의 가용 채널 중에서 PU의 활성화 주기가 긴 채널 2개를 마스터 채널, 백업 채널로 설정한다.

이후 이웃 일반 노드들은 해당 클러스터 헤드에게 JRQE (Join Request) 메시지를 통하여 클러스터 참여를 요청한다. 클러스터 헤드는 참여를 요청한 일반 노드와 공통 채널이 2개 이상일 시 요청을 승인하여 JACC (Join Accept) 메시지를 전송하고 JACC 메시지를 수신한 일반 노드는 멤버 노드로서 클러스터에 참여한다.

클러스터가 형성된 이후 멤버 노드가 외부의 클러스터 정보를 수신하게 되면 게이트웨이 노드로서 동작할 수 있도록 클러스터 헤드에게 GNRQE (Gateway Node Request) 메시지를 전송한다. 클러스터 헤드는 기존에 해당 외부 클러스터에 대한 게이트웨이 노드가 없을 시 요청을 승인하여 GNACC (Gateway Node Accept) 메시지를 전송하고 GNACC 메시지를 수신한 멤버 노드는 게이트웨이 노드로서 동작한다. 각 게이트웨이 노드는 오직 한 외부 클러스터에 대해서 통신을 담당하며, 각 클러스터 헤드는 여러 개의 외부 게이트웨이 노드와 연결될 수 있다.

### 4.4 클러스터 병합 과정

게이트웨이 노드가 자신의 클러스터와 외부 클러스터와 공통 채널이 임계점 (기본 값: 2) 이상임을 인지할 시 그림 3과 같이 두 클러스터가 병합되는 과정이 발생한다. 게이트웨이 노드는 두 클러스터의 클러스터 헤드에게 병합을 요청하는 메시지 MRQE (Merging Request)를 전송하며, 각 클러스터 헤드는 현재 병합 과정을 수행하고 있지 않을 시 병합 요청을 승인하여 게이트웨이 노드에게 MACC (Merging Accept) 메시지를 전송한다. MACC 메시지에는 각 클러스터의 트리 구조 정보가 삽입되어 있다.

게이트웨이 노드는 두 클러스터 헤드에게 모두 MACC 메시지를 수신한 경우, 그림 3 중간과 같이 새로운 클러스터 헤드를 중앙 쪽에 위치한 노드들 중에

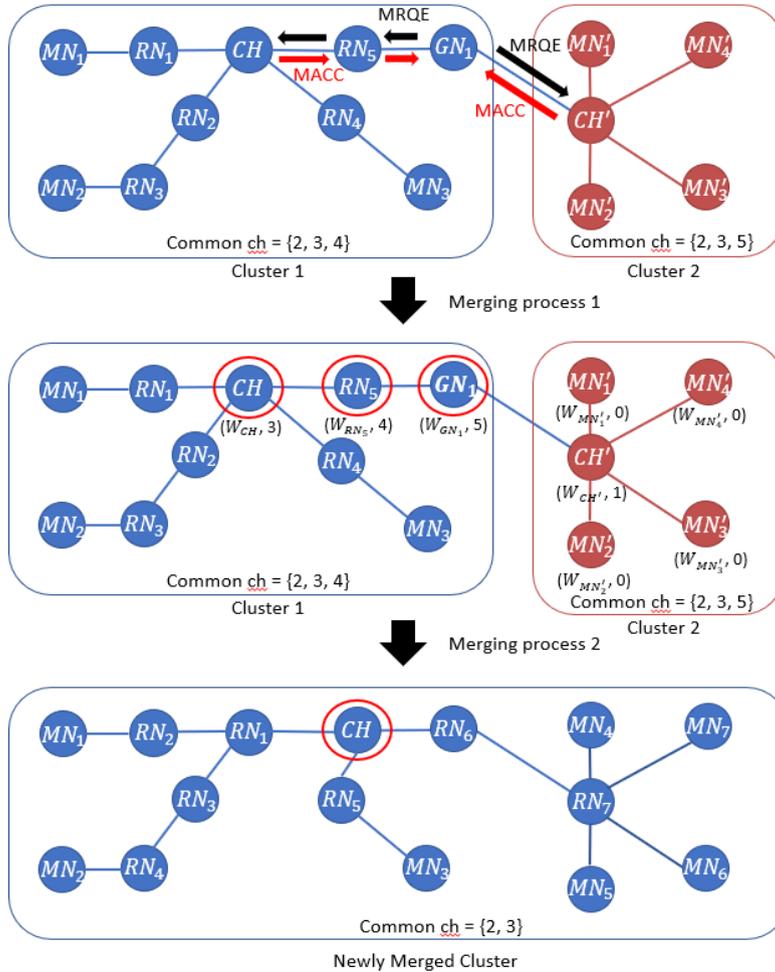


그림 3. 클러스터 병합 시나리오  
Fig. 3. Cluster Merging scenario

서 가장 적합한 노드로 선출하는 과정을 진행한다. 두 클러스터의 구조를 인지한 게이트웨이 노드는 자기 자신을 루트로 하여 두 트리를 병합하고, 병합된 트리의 일부 노드들은 그림과 같이 클러스터 헤드 매트릭  $W_A$ 와 자식 노드 중에서 리프 노드까지의 홉 수  $hop_{leaf}$ 를 pair 값으로 가진다. 게이트웨이 노드가 속한 트리에서는 클러스터 헤드에서부터 게이트웨이 노드까지의 노드들이 pair 값을 가지며, 외부 트리에서는 클러스터 헤드에서부터 클러스터 헤드의 자식 노드들까지 pair 값을 가진다. 이후, 루트 노드의 두 자식 노드  $hop_{leaf}$ 를 더한 값에 2를 더한 값의 절반이  $hit\ value$ 가 되며,  $hit\ value$ 를 가진 노드들과  $hit\ value$ 와 1의 편차를 가진 노드들이 새로운 클러스터 헤드의 후보자가 된다. 해당 시나리오에서의

$hit\ value$ 는 반올림해서 4가 되며,  $CH, RN_5, GN_1$ 이 새로운 클러스터 헤드의 후보자가 된다. 최종적으로 후보들 중에서  $W_A$  값이 가장 큰 노드가 클러스터 헤드로 선출된다. 해당 시나리오에서는  $RN_5$ 가 새로운 클러스터 헤드로 선출되었다. 이와 같은 과정으로 인해 제안 기법은 기존 SMART 기법 대비  $O(n)$  ( $n$ : 트리 노드의 수)의 오버헤드를 갖는다.

최종적으로 새롭게 선출된 클러스터 헤드로 클러스터가 재구성되는 과정이 진행된다. 이를 위해 게이트웨이 노드는 새로운 클러스터 헤드의 존재를 각 클러스터 헤드에게 REL (Relinquishment) 메시지를 통해 알리고, REL 메시지를 수신한 각 클러스터 헤드는 자신 클러스터의 모든 노드들에게 클러스터 참여를 유도함으로써 두 클러스터가 병합된다. 이 과정에서, 새

로운 클러스터에 원 홉으로 연결되지 못하는 멤버 노드들은 기존의 클러스터 헤드가 릴레이 노드로서 동작하여 연결한다.

### V. 시뮬레이션을 통한 성능 검증

본 장에서는 제안 기법의 성능을 확인하기 위해 총 2가지 실험을 진행하였으며 먼저, 클러스터 헤드 선출 메트릭에 대한 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션 환경을 다음과 같이 설정하였다. 각 노드는 1~20 채널의 범위에서 6~16개의 채널을 임의로 할당받으며, 각 노드의 통신 범위는 300m로 설정된다. 또한 각 노드는 Hello 메시지를 1초마다 주기적으로 전파하며, 이동성 모델은 Random Waypoint를 가진다. 노드의 속도는 2~20 (m/s) 범위 안에서 조절하여 총 300초 동안 실험을 진행하였다.

클러스터 헤드 선출 메트릭에 대한 성능 척도를 리클러스터링에 의해 발생하는 JRQE, JACC 메시지 수로 하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 제안 기법에서는 노드 간의 상대적 이동성을 고려하여 최적의 클러스터 헤드를 선출하므로 SMART, Central CH에 비해 컨트롤 메시지 오버헤드가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 낮은 속력에서는 시뮬레이션 시간 내에 리클러스터링이 거의 발생하지 않아 결과 값이 유사하나, 속도가 증가하면 제안 기법의 리클러스터링 오버헤드가 SMART 대비 평균 11%, Central CH 대비 평균 9% 감소하는 것을 확인할 수 있다.

다음으로는 클러스터 병합 시 발생하는 클러스터 헤드 편향 현상의 개선을 보이기 위하여 시뮬레이션 환경을 첫 번째 시뮬레이션 환경에서 노드 속도를 5m/s와 15m/s로 고정하고 노드의 수를 달리 설정하였

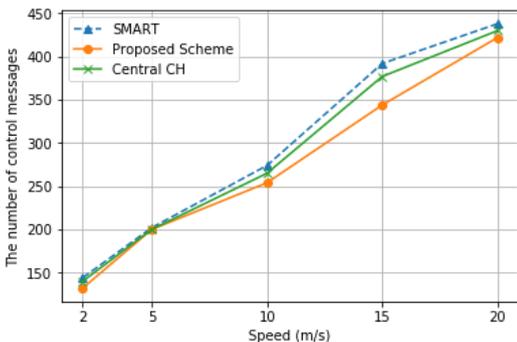


그림 4. 리클러스터링에 따른 컨트롤 메시지 오버헤드 비교  
Fig. 4. Comparison of control message overhead due to re-clustering

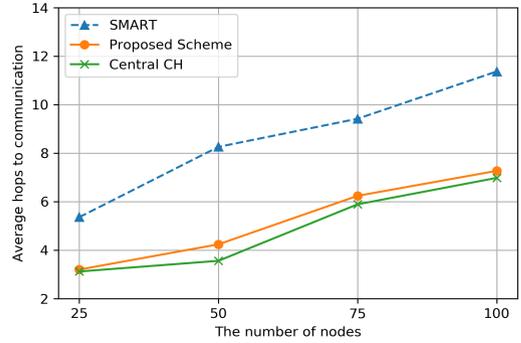


그림 5. 각 노드가 클러스터 통신에 필요한 평균 홉 수 (5m/s)  
Fig. 5. The average number of hops each node requires for cluster communication (5m/s)

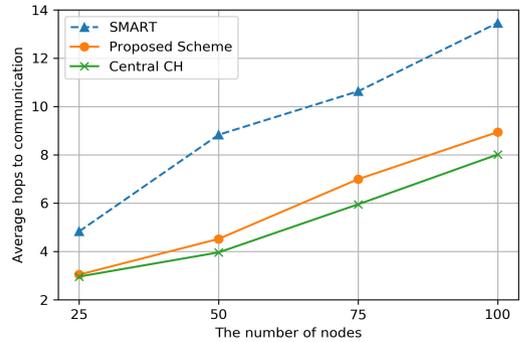


그림 6. 각 노드가 클러스터 통신에 필요한 평균 홉 수 (15m/s)  
Fig. 6. The average number of hops each node requires for cluster communication (15m/s)

고, 실험 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 해당 실험에서는 각 방식으로 클러스터링이 진행된 후 토 폴로지에 클러스터가 2개 또는 3개 정도 형성됐을 시 클러스터 평균 통신비용을 측정하였다. 실험 결과, 제안 기법의 클러스터 통신비용이 SMART 대비 평균 40% 감소한 것을 확인할 수 있으며, Central CH와 비슷한 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 클러스터 헤드 편향 문제를 해결함에 따라 통신비용이 크게 개선된 것을 확인할 수 있다.

### VI. 결 론

본 논문은 CR-MANET 환경에서 다양한 속성을 고려하여 클러스터 헤드를 선출하고, 두 클러스터가 병합될 시 새로운 클러스터 헤드가 클러스터 상에서 편중되는 문제를 해결하는 클러스터링 기법을 제안한다. 주 사용자의 활성화와 노드의 이동성 때문에 토폴

로지 변화가 빈번한 CR-MANET 환경에서는 안정적인 통신을 위한 클러스터링 기법 연구가 필수적이다. 본 논문에서 제안하는 기법은 가용 채널의 수, 이동성 정보 등을 고려하여 클러스터 헤드를 선출하고 클러스터 병합 시 새로운 클러스터를 중앙 쪽에 위치한 노드 중에 가장 적합한 노드를 선출함으로써 타 기법과 비교해 성능 우위를 보인다. 향후 연구로는 CR-MANET 환경에 적합한 클러스터 사이즈의 유동적인 upper bound를 정립하고, 노드의 에너지 모델을 설계하고 이를 적용하여 에너지 효율성 또한 개선해 나갈 예정이다.

### References

- [1] M. M. A. Osman, et al., "A survey of clustering algorithms for cognitive radio ad hoc networks," *Wireless Networks*, vol. 24, no. 5, pp. 1451-1475, 2018.
- [2] Y. Saleem, et al., "SMART: A spectrum-aware cluster-based routing scheme for distributed cognitive radio networks," *Computer Networks*, vol. 91, pp. 196-224, 2015.
- [3] J. Jang and J. Kim, "Analysis on optimized WNW topology and traffic modeling under tactical environment," *J. KICS*, vol. 39C, no. 11, pp. 1114-1121, 2014.
- [4] X.-L. Huang, et al., "Stability-capacity-adaptive routing for high-mobility multihop cognitive radio networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 6, pp. 2714-2729, 2011.
- [5] A. C. Talay and D. T. Altılar, "United nodes: cluster-based routing protocol for mobile cognitive radio networks," *IET Commun.*, vol. 5, no. 15, pp. 2097-2105, 2011.
- [6] M. Chatterjee, S. K. Das, and D. Turgut, "An on-demand weighted clustering algorithm (WCA) for ad hoc networks," *IEEE GLOBECOM'00*, vol. 3, pp. 1697-1701, San Francisco, CA, USA, 2000.
- [7] S. Sharma and A. K. Singh, "An election algorithm to ensure the high availability of leader in large mobile ad hoc networks," *Int. J. Paralle., Emergent and Distrib. Syst.*, vol. 33, no. 2, pp. 172-196, 2018.

### 김 준 형 (Jun-Hyeong Kim)



2018년 2월 : 아주대학교 소프트웨어학과 졸업  
 2018년 3월~현재 : 아주대 학교 컴퓨터공학과 석사  
 <관심분야> 인지무선통신, 엡지 컴퓨팅

### 최 흥 범 (Hong-Beom Choi)



2018년 8월 : 아주대학교 소프트웨어학과 졸업  
 2018년 9월~현재 : 아주대 학교 컴퓨터공학과 석사  
 <관심분야> 실내측위, 인지무선통신

### 김 도 형 (Dohyung Kim)



2004년 2월 : 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부 졸업  
 2014년 8월 : KAIST 전산학과 박사  
 2014년 10월~2018년 2월 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 Post Doc 및 연구교수  
 2018년 3월 : 아주대학교 소프트웨어학과 조교수  
 2019년 3월 : 강원대학교 IT대학 컴퓨터과학과 조교수  
 <관심분야> 컴퓨터네트워크, 미래인터넷 아키텍처, 머신러닝 기반 네트워크

**고 영 배 (Young-Bae Ko)**



1991년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학과 졸업  
1995년 2월 : 아주대학교 경영정보학(MIS) 석사  
2000년 7월 : Texas A&M 대학교, 컴퓨터공학 박사  
2000년 8월~2002년 8월 : 미국 IBM T.J Watson 연구소 전임연구원

2002년 9월~2011년 : 아주대학교 정보통신 대학 정보컴퓨터공학부 조/부교수

2012년~현재 : 아주대학교 소프트웨어학과 정교수  
<관심분야> 인지무선통신, 다중홉 전술통신망, 지능형 사물인터넷

**최 재 각 (Jae-Kark Choi)**



2006년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업  
2008년 8월 : 인하대학교 정보통신공학과 석사  
2013년 2월 : 인하대학교 정보통신공학과 박사  
2013년 1월~2017년 1월 : NIST Guest Researcher

2017년 2월~현재 : 한화시스템  
<관심분야> 무선통신시스템, 인지무선통신, 전술통신

**한 철 희 (Chul-Hee Han)**



1997년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 졸업  
2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사  
2006년 11월~현재 : 한화 시스템 수석연구원  
<관심분야> 전술통신, 이동통신시스템, 신호처리, 인지무선통신

**최 증 원 (Jeung-Won Choi)**



1989년 2월 : 충남대학교 계산통계학과 졸업  
1993년 8월 : 충남대학교 계산통계학과(전산학) 석사  
1997년 8월 : 충남대학교 전산학과 박사  
1997년 7월~현재 : 국방과학연구소 수석연구원

2013년 9월~현재 : 과학기술 연합대학원 대학교 부교수

<관심분야> 전술통신, 위성통신, 인지무선통신, 바이오통신, 정보융합 등  
[ORCID:0000-0002-3642-2323]