

---

# CACH에 의한 상황인식 기반의 분산 클러스터링 기법

문창민\* · 이강환\*\*

CACH Distributed Clustering Protocol Based on Context-aware

Chang-min Mun\* · Kang-whan Lee\*

---

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.  
본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

---

## 요 약

본 논문에서는 이동 애드혹 네트워크(MANET)에서의 상황인식 기반 계층적 클러스터링 기법인 CACH (Context-aware Adaptive Clustering Hierarchy)를 제안한다. CACH는 적응적 라우팅 기법과 비적응적 라우팅 기법을 융합한 하이브리드 라우팅 방식의 분산 클러스터링 기법을 기반으로 하고 있으며, 제안된 CACH는 동적인 토폴로지에서 노드의 이동성을 고려한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜의 성능을 제공하게 된다. 또한 제안된 토폴로지 변경에 대해 상황인식을 기반으로 하여 적응적으로 토폴로지의 계층구조를 결정하는 새로운 기법의 모델을 제시하였고, 이로부터 네트워크에서 전송 에너지를 고려한 노드의 밀도에 따라 계층적 깊이를 결정하는 최적 다중 홉수를 결정하는 결과를 보여주었다.

## ABSTRACT

In this paper, we proposed a new method, the CACH(Context-aware Clustering Hierarchy) algorithm in Mobile Ad-hoc Network(MANET) systems. The proposed CACH algorithm based on hybrid and clustering protocol that provide the reliable monitoring and control of a variety of environments for remote place. To improve the routing protocol in MANET, energy efficient routing protocol would be required as well as considering the mobility would be needed. The proposed analysis could help in defining the optimum depth of hierarchy architecture CACH utilize. Also, the proposed CACH could be used localized condition to enable adaptation and robustness for dynamic network topology protocol and this provide that our hierarchy to be resilient. As a result, our simulation results would show that a new method for CACH could find energy efficient depth of hierarchy of a cluster.

## 키워드

MANET, Routing Protocol, Hierarchy, Distributed Clustering

---

\* 한국기술교육대학교컴퓨터공학과 석사과정  
\*\* 한국기술교육대학교컴퓨터공학과 교수(교신저자)

## I. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅 또는 편재형 컴퓨팅(Pervasive Computing) 등 좀 더 진보된 형태의 네트워크가 출현하면서 어느 곳에서든지 네트워크에 접속할 수 있는 환경이 요구되고 있으며, 이러한 환경에 적합한 무선 기술들이 현재 연구되고 있다. 이동 애드혹네트워크(mobile ad-hoc network-MANET)는 기반 네트워크 없이도 구성이 가능한 차세대 네트워크 기술로서 현재 연구되는 기술 중에서도 주목 받는 기술이다. 하지만 MANET은 일반적으로 배터리로 구동하기 때문에 대역폭과 에너지 측면에서 제약이 따른다. 이런 문제점을 극복하는 MANET에 보다 적합한 라우팅 프로토콜을 설계하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 일반적으로 MANET에서 라우팅 프로토콜은 적응적(adaptive, reactive) 라우팅 기법과 비적응적(nonadaptive, proactive) 라우팅 기법으로 구분된다. 비적응적 라우팅 기법은 사전에 모든 경로에 대한 정보를 테이블에 기록해둬서 경로 계산에 의한 지연을 줄일 수 있는 반면 네트워크에 변화가 있을 때마다 혹은 주기적인 테이블 업데이트가 필요하기 때문에 노드의 이동이 잦은 MANET에서는 패킷 오버헤드가 증가하는 문제가 있다[1]. 적응적 라우팅은 경로에 대한 정보가 필요할 때에만 경로 계산을 수행하므로 MANET에 적합하지만 대규모의 MANET에 적용될 경우에는 경로 계산 시에 지연이 발생하는 문제점을 갖고 있기 때문에 이런 경우 적응적 라우팅과 비적응적 라우팅 기법을 융합한 하이브리드 라우팅 기법을 사용할 수 있다. 또한 MANET은 노드의 구성 및 상태에 따라 토폴로지가 급격하게 변하는 특성을 갖고 있어 잦은 경로 재설정을 유발하여 패킷오버헤드를 발생시키기 때문에 앞서 언급한 제약들이 더욱 커지게 되는 문제점이 있다[2].

따라서 MANET에서는 노드가 주어진 환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 요구되며, 본 논문에서는 상황인식을 기반으로 한 계층적 클러스터링 기법(CACH, Context-aware Adaptive Clustering Hierarchy)을 제안한다. 제안된 CACH에서는 적응적 계층 클러스터링을 이용하여 노드들의 에너지 효율적인 성능을 이끌어냄으로써 네트워크의 수명과 지연속도 면에서 좋은 성능을 발휘한다. 또한 상황인식을 위해 클러스터 내의 노드의 수 즉

노드의 밀집도를 인자로 활용하여 각 노드에 대한 상황 정보를 수집한다.

## II. 기존연구

적응적 라우팅과 비적응적 라우팅을 융합한 하이브리드 라우팅 프로토콜은 경로설정 시에 발생하는 패킷 오버헤드를 감소시켜 네트워크의 확장을 용이하게 한다. 패킷 오버헤드의 감소가 가능한 것은 인접한 노드들 간에는 현재의 경로를 유지하고, 원거리의 노드들 간에만 적응적으로 경로를 재설정하는 전략을 이용하기 때문이다. 이러한 패킷 오버헤드의 감소는 확장을 용이하게 해줄 뿐만 아니라 에너지 소모를 줄여 네트워크의 수명 또한 연장시켜 주는 장점이 있으며, 더 효율적인 프로토콜을 위한 연구도 진행되어 왔다.

기존에 제안된 하이브리드 라우팅 프로토콜 중 하나인 ZRP[3]에서는 노드들이 라우팅 존을 갖고 있어서 해당 라우팅 존에 포함된 노드들끼리는 즉각적으로 경로를 만들 수 있다. 또한 다른 라우팅 존에 있는 노드와의 통신은 임의의 적응적 라우팅 프로토콜을 이용하여 경로탐색을 할 수 있다. ZRP의 단점은 라우팅 존이 매우 클 때에는 비적응적 라우팅 프로토콜처럼 동작하고, 라우팅 존이 매우 작을 때에는 적응적 라우팅 프로토콜처럼 동작하기 때문에 하이브리드 라우팅 프로토콜의 이점을 잃게 되는 점이다.

또 다른 프로토콜인 ZHLS[4]는 존 레벨과 노드 레벨의 계층적 구조를 갖는다. 경로탐색 시에 존 레벨에서 먼저 검색하므로 DSR[5], ADOV[6]와 같은 적응적 프로토콜이 사용하는 브로드캐스팅에 비해 패킷 오버헤드가 감소한다. ZHLS는 존 레벨에서 해당 존을 찾은 후에 노드 레벨에서 최종적으로 목적지를 찾는 두 번의 과정을 갖는다. 하지만 정적인 존 맵이 미리 프로그램 돼 있어야 하는 문제점이 있다.

이 외에도 SURP[7], DST[8], DDR[9]과 같은 프로토콜들이 연구되었으며, 이러한 프로토콜들은 ZRP를 제외하고 계층적 클러스터 구조를 갖는 특징을 갖는다. 위에서 언급한 프로토콜들에서는 네트워크가 특정한 계층의 깊이를 갖는다고 가정하거나 계층의 깊이에 대한 제한을 두지 않음으로써, 계층의 깊이 변화에 따른 에너지 효율성을 고려하지 않았다.

LEACH[10]에서는 효율적인 클러스터의 개수를 계산하여 네트워크 토폴로지에 적용하는 기법을 사용하고 있지만, 역시 계층의 깊이의 변화에 따른 에너지 효율을 고려하지 않고 있다.

### III. 제안된 CACH 프로토콜 구조

기존에 제안된 하이브리드 라우팅 프로토콜은 일반적으로 계층적 클러스터 구조를 갖고 있지만, 계층의 깊이 변화에 대한 에너지 효율성 고려를 하지 않고 있다. 본 논문에서는 계층적 클러스터 구조에서 계층의 깊이 변화에 따라 클러스터 내 전체 패킷 전송 비용을 예측하여, 에너지 효율적인 클러스터를 구성하는 라우팅 프로토콜을 제안하고자 한다.

#### 1. 네트워크모델

FTEP[11]에서는 2계층의 클러스터를 가정한 네트워크 모델을 예로 들고, 각 노드는 두 가지 모드 즉, 고전력 전송모드와 저전력전송 모드를 사용하는 것으로 가정하고 있다. 본 논문에서는 클러스터 내에 포함된 센서노드의 수에 따라 클러스터 계층의 깊이를 가변적으로 운용하기 때문에 FTEP의 2계층 네트워크 모델을 그대로 적용하는 것은 적합하지 않다. 또한 각 노드는 두 가지 전력 전송모드가 아닌 클러스터 계층의 깊이에 따라 다 전력 전송 모드를 탄력적으로 사용한다.

그림1은 본 논문에서 사용하는 네트워크 모델을 보여 주고 있다. 본 논문에서는 에너지 효율적인 클러스터 계층의 깊이가 2라고 가정하고, 2계층의 클러스터에 대한 클러스터링 과정을 설명한다.

초기에 2계층 CH(클러스터헤드)는 임의적으로 선출된다. 모든 노드들의 통신범위를  $R$ 이라고 가정하면, 2계층 CH는  $R/2$ 의 클러스터 범위를 갖는다. 이는 통신 범위  $R$ 에 위치한 다른 2계층 CH와 1홉만으로 통신이 가능함을 보장한다. 2계층 CH는  $R/2$ 에 비례하는 전력 모드를 갖고 범위 내의 노드들에게 JREQ(Join Request)를 브로드캐스팅한다. JREQ를 받은 노드들은 주어진 속성정보에임의적으로 JREP(Join Reply)를 2계층 CH에게 전송한다. 본 논문에서 적용한 2계층 CH는 주어진 노드의 속성 정보에 따라 선착순으로 이웃한 노드에 대한 JREP를 수용하여, 해당 JREP를 보낸 노드들을 1

계층 CH로 결정한다. 따라서 1계층 CH는  $R/6$ 의 클러스터 범위 갖게 되며, 클러스터 범위 내의 노드들에게 JREQ를 보내 일반노드를 수용한다. 이 때 어느 1계층 CH에도 속하지 못한 일반노드들은 2계층 CH에 속하게 된다. 클러스터 계층의 깊이가 늘어나면, 위와 같은 방법을 재귀적으로 이용하여 각 계층의 CH를 결정하여 클러스터를 구성하게 된다.

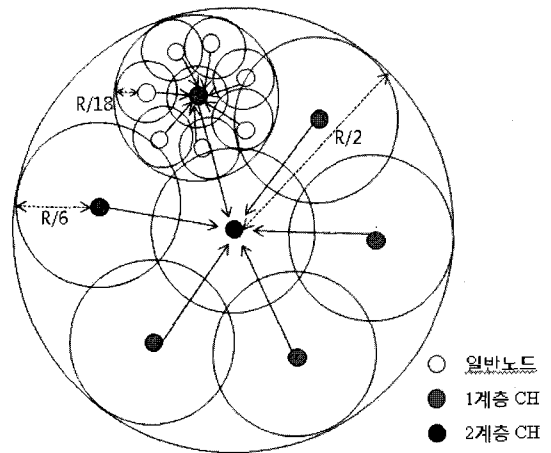


그림 1. 제안된 CACH 알고리즘  
Fig. 1 Proposed CACH Algorithm

#### 2. 센서의 에너지 모델

전행적인 센서 노드의 역할은 주로 신호 수집 및 변환, 디지털 신호 처리, 무선 연결로 이뤄진다. 다음은 각 센서노드들의 에너지 소비 모델에 대한 요약이다.[12]

이 모델에서 통신을 위한 핵심적인 에너지 인자들은 송신기에 의한 비트당 에너지 소모량( $\alpha_{trans}$ ), 송신단의 증폭기에 의한 에너지 소모량( $\alpha_{amp}$ ), 그리고 수신 측에 의한 비트당 에너지 소모량이다( $\alpha_{recv}$ ).  $1/d^4$ 를 거리에 따른 에너지 감쇠량이라고 가정하면 에너지 소모량은,

$$E_{tx} = (\alpha_{trans} + \alpha_{amp} \times (d)^4) \times r \quad (1)$$

$$E_{rx} = \alpha_{recv} \times r \quad (2)$$

여기서  $E_{tx}$ 는  $r$ 비트를 보낼 때의 에너지 소비량이고,  $E_{rx}$ 는  $r$ 비트를 받을 때의 에너지 소비량이다.  $R_{jCH}$ 는 노드들이 1홉 이내의 타 CH와 최소의 에너지로 통신이 가

능함을 보장하기 위한 값이다.  $L_C$ 의 CH는  $R/2$ 의 값을 갖고, 그 이외의 CH는 다음과 같은 값을 갖는다.

$$R_{jCH} = R_{(j-1)CH} / 3^{j(N)}, R_{0CH} = R/2 \quad (3)$$

표 1. 에너지 소비량을 계산하기 위한 기호.  
Table 1. Notations for calculating the Energy Consumption

기호	정의
$N$	인접한 노드의 밀도
$R_{jCH}$	$j$ 계층 CH의 통신범위
$L_C$	계층의 깊이
$E_{jCH}$	$j$ 계층 CH의 에너지 레벨
$P_{ij}$	$j$ 계층 클러스터에 속한 일반노드 $i$ 가 $R_{jCH}$ 내에서 분포할 확률
$R_{ijCH}$	노드 $i$ 에서 $j$ 계층 클러스터 헤드까지의 거리

$E_{jCH}$ 는  $j$ 계층 CH의 송신 전력을 조절함으로써,  $R_{jCH}$  범위 내에서 제어하기 위한 값이다.  $P_{ij}$ 는 일반노드의 통신범위 내에 임의적으로 분포함을 가정하여, 0과 1사이의 값을 갖는 확률값이다.  $R_{ijCH}$ 는 다음과 같은 값을 갖는다.

$$R_{ijCH} = R_{jCH} \times P_{ij} \quad (4)$$

#### IV. CACH 분석 및 시뮬레이션

한 클러스터 내에 포함 되어 있는 노드의 수에 따라 가장 에너지 효율적인 클러스터 계층의 깊이를 구하기 계층의 깊이에 따른  $E_{tx}$ 를 구한다. 식(5)에서  $k$ 는 오차보정상수이며, 본 논문에서는 이상적인 경우를 가정하여  $k$  값을 1로 고정한다.

$$E_{tx} = \left[ \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^{L_C} (\alpha_{trans} + \alpha_{amp} \times (R_{ijCH})^4) \times r \right] \times k \quad (5)$$

$$E_{rx} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^{L_C} (\alpha_{recv} \times r) \quad (6)$$

$$E_{total} = E_{tx} + E_{rx} \quad (7)$$

이러한 접근방법을 통해, 특정 클러스터 내에 포함된 노드수가  $N$ 이라고 가정하고, 클러스터 계층의 깊이  $L_C$ 를 변화시켜 가면서 식(7)의  $E_{total}$ 이 최소가 될 때의  $L_C$ 를 찾을 수 있다.

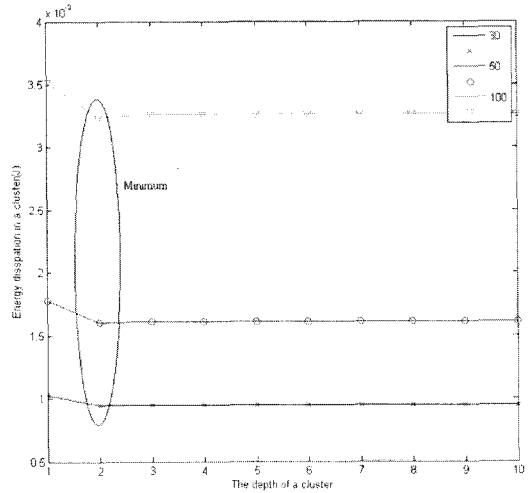


그림 2. 노드의 개수가 각각 30, 50 그리고 100개 일 때, 클러스터 깊이 변화에 따른 클러스터 내 에너지 소비량

Fig. 2 . Energy dissipation upon the depth of a cluster where the number of nodes are 30, 50 and 100

그림2의 분석 결과는 30, 50 그리고 100개의 노드들이 분포되어 있으며, 1에서 10까지의 계층을 갖는 클러스터에 대해서 시뮬레이션을 한 것이다. 상수값은  $\alpha_{trans} : 50nJ/bit$ ,  $\alpha_{amp} : 100pJ/bit$ 로 가정한다. 이 결과는 일반노드들을 임의의 위치에 위치시키고, 각 CH는 알고리즘에 의해 반지름이 30m인 원 형태의 지역에 배치된 것이다. 시뮬레이션 결과를 보면 노드의 수에 관계없이 클러스터 계층의 깊이가 2일 때 에너지 소모가 최소값에 근사하며, 그 이후의 깊이에서는 깊이가 2일 때와 근소한 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 사용하는 네트워크 모델에서는 상위 계층에서부터 클러스터링이 수행되기 때문에, 일정한 노드가 주어졌을 때, 특정 계층 이후로는 더 이상 계

층의 변화가 없기 때문에 성능개선에는 한계가 있다. 그림 2에서는 각 노드의 수에 따라 에너지소모를 계산한 결과 2계층에서 최소값을 갖으며, 그 이후로는 계층의 더 이상 확장되지 않기 때문에 일정한 값을 유지하게 된다.

### V. 결 론

본 논문에서는 계층적 클러스터 구조에서 계층의 깊이 변화에 따라 클러스터 내 전체 패킷 전송 비용을 예측하여, 에너지 효율적인 클러스터를 구조에서 계층의 깊이 변화에 따라 클러스터 내 전체 패킷 전송 비용을 예측하여, 에너지 효율적인 클러스터링 기법을 제안하였다. 이를 바탕으로 통신범위에 밀집된 노드들에 대해서 에너지 효율적인 클러스터 계층의 깊이를 찾아낼 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

### 참고문헌

[ 1 ] Zhihao Guo, Behnam Malakooti, "Energy Aware Proactive MANET Routing with Prediction on Energy Consumption"

[ 2 ] Sirisha Medidi, Jiong Wang, "A Fault Resilient Routing Protocol for Mobile Ad-hoc Networks", Third IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2007).

[ 3 ] Z.J. Hass, R. Pearlman, "Zone routing protocol for ad-hoc networks", Internet Draft, draft-ietf-manet-zrp-02.txt, work in progress, 1999.

[ 4 ] M. Joa-Ng, I.-T. Lu, "A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications 17(8) 1415 - .1425, (1999)

[ 5 ] D. Johnson, D. Maltz, J. Jetcheva, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks", Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, work in progress, 2002.

[ 6 ] S. Das, C. Perkins, E. Royer, "Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing", Internet Draft, draft-ietf-manetaodv-11.txt, work in progress, 2002.

[ 7 ] S.-C. Woo, S. Singh, "Scalable routing protocol for ad hoc networks", Wireless Networks 7(5) 513 - .529, (2001)

[ 8 ] S. Radhakrishnan, N.S.V Rao, G. Racherla, C.N. Sekharan, S.G. Batsell, "DST - . . A routing protocol for ad hoc networks using distributed spanning trees", in: IEEE Wireless Communications and Networking Conference, New Orleans, 1999.

[ 9 ] N. Nikaein, H. Laboid, C. Bonnet, "Distributed dynamic routing algorithm (ddr) for mobile ad hoc networks", in: Proceedings of the MobiHOC 2000: First Annual Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2000.

[ 10 ] W. Heinzelman; A. Chandrakasan ; H.Balakrishnan "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks" in Proc. of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, January 4-7, Page(s) : 3005-3014, 2000.

[ 11 ] Nidhi Bansa\*, T. P. Sharma, Manoj Misra and R. C. Joshi, "FTEP: A Fault Tolerant Election Protocol for Multi-level Clustering in Homogeneous Wireless Sensor Networks", ICON 2008

[ 12 ] M. Bhardwaj, T. Garnett, A. P. Chandrakasan, "Upper Bounds on the Lifetime of Sensor Networks", In Proceedings of ICC 2001, vol. 3 pp. 785-790, June 2001.

## 저자소개



문창민(Chang-Min Mun)

2009 한국기술교육대학교 컴퓨터  
공학과 학사  
2009~ 한국기술교육대학교 전기  
전자공학 석사

※ 관심분야: USN, Ad-hoc network



이강환(Kang-whan Lee)

1983 한양대학교 전자공학과 학사  
1989 중앙대학교 전자공학 석사  
2002 중앙대학교 전자공학 박사  
1989 한국전자통신연구원  
선임연구원

2004 특허청 서기관

2005~ 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

※ 관심분야: USN, Ad-hoc network, 차세대이동통신기  
술, Wireless SoC