
애드-혹 네트워크에서의 에너지 보존적인 계층 클러스터링에 관한 연구

문창민* · 이강환**

A Study on Energy Conservative Hierarchical Clustering for Ad-hoc Network

Chang-min Mun* · Kang-whan Lee**

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업과
한국기술교육대학교 교육연구진흥비 지원에 의하여 수행된 결과임

요 약

애드-혹 네트워크는 기간망에 의존하지 않고, 노드들끼리 자율적으로 데이터 이동 경로를 형성하는 네트워크이다. 일반적으로 애드-혹 네트워크는 다중-홉 통신을 기반으로 하며 네트워크의 규모가 커질수록 경로 설정을 위한 제어 패킷의 양이 급격히 증가하게 되고 노드의 수명이 단축 된다. 이러한 노드들의 특성으로 인해서 네트워크 크기에 따른 보다 에너지 효율성 적용이 가능한 경로 설정 기법에 대한 연구가 요구되고 있다. 본 논문에서는 특히 계층적인 클러스터 구조 기반의 애드-혹 네트워크 환경에서 노드가 동질적 공간-포아송의 조건에서 노드의 분포 밀도와 속성정보를 고려한 클러스터의 계층 깊이 결정 알고리즘인 **CACHE-R(Context-Aware Clustering Hierarchy, Efficient and Resilient)**를 제안한다. 제안하고자 하는 **CACHE-R** 기법은 최적화된 계층의 깊이와 속성정보를 적용함으로써 에너지 보존적인 경로를 설정하여, 전체 네트워크의 에너지 소비량을 감소시키고 네트워크 수명을 향상되는 특성을 보여주었다.

ABSTRACT

An ad-hoc wireless network provides self-organizing data networking while they are routing of packets among themselves. Typically multi-hop and control packets overhead affects the change of route of transmission. There are numerous routing protocols have been developed for ad hoc wireless networks as the size of the network scale. Hence the scalable routing protocol would be needed for energy efficient various network routing environment conditions. The number of depth or layer of hierarchical clustering nodes are analyzed the different clustering structure with topology in this paper. To estimate the energy efficient number of cluster layer and energy dissipation are studied based on distributed homogeneous spatial Poisson process with context-awareness nodes condition. The simulation results show that **CACHE-R** could be conserved the energy of node under the setting the optimal layer given parameters.

키워드

애드-혹 네트워크, 무선센서네트워크, 계층적 라우팅

Key word

Ad-hoc network, WSN, Clustering, Routing Protocol

* 준회원 : 한국기술교육대학교 첨단기술연구소
** 종신회원 : 한국기술교육대학교 (kwlee@kut.ac.kr)

접수일자 : 2012. 07. 17
심사완료일자 : 2012. 07. 24

I. 서 론

에드-hoc 네트워크는 무선 모바일 노드들의 집단으로 이루어지며, 이로부터 망의 이동성과 연결성을 보장하는 것을 목적으로 한다. 이 경우 무선 모바일 노드들은 주어진 알고리즘에 의해 스스로의 자율망을 형성하게 되는데 이때 각 노드들은 스스로 주어진 망의 환경조건에 적합한 최적의 추론망(Inference Network)의 조건을 찾게 된다. 이러한 서비스를 지원하기 위해서는 기본적으로 무선환경을 기반으로 한 네트워크 추론망 생성 및 통신 노드들의 이동에 따른 네트워크 토폴로지 변화가 스스로 관리되어야 하는데 이와 같은 기능을 가진 네트워크의 한 형태를 MANET(Mobile Ad-hoc Network)이라고 한다. MANET은 이동 노드들이 필요에 따라 임시로 구성하는 네트워크이며, 기간망의 도움 없이 구축되는 특징으로 인해 주로 군사 네트워크, 재난, 재해 상황에서의 네트워크 구축 및 운영의 필요성에 의해 연구되어져 왔다[1-4].

IETF(Internet Engineering Tasking Force)에서는 MANET working group을 결성하여 관련 문제로서 경로 설정기법의 표준화, 자동주소설정모델 등에 대해서 연구 중이다. 일반적으로 MANET은 망의 운영상 전송 대역폭과 에너지 사용에 따른 통신 제약을 가지기 때문에 에너지 효율 향상을 위한 경로설정기법이 요구된다[2]. 본 논문에서는 이러한 에드-hoc 네트워크에서의 에너지 보존적인 클러스터관리 기법을 제안하고자 한다. 즉, 최적화된 노드 집단의 클러스터 계층의 깊이를 추정함으로써 네트워크에서 소비되는 에너지를 줄이고 노드의 수명을 향상시켜야 한다는 것이다. 본 논문에서는 이를 위해 각 시스템 및 노드들이 자율망에 의한 네트워크를 형성할 수 있도록 클러스터링된 망의 계층적인 구조에서 경로를 설정하는 CACHE-R을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서 관련연구를 살펴보고, 제 3장에서는 본 논문에서 적용한 CACHE-R 기법에 적용된 기술을 제안하며 CACHE-R의 시험 환경과 성능 분석을 검토한다.

II. 관련연구

멀티-홉을 기반으로 하는 에드-hoc 네트워크에서 각

노드들은 주어진 통신반경에 있는 주변 노드들을 제외하고는 노드에 대한 정보가 없기 때문에 이웃한 노드 정보를 획득하고, 경로를 설정하는 과정이 필수적이며 이를 위한 다양한 경로설정기법이 그동안 연구되어져 왔다[8].

경로설정기법은 다양한 기준을 바탕으로 속성의 분류가 가능하며, 목적 노드를 찾는 방법에 따라 적응적 경로 설정 기법(reactive routing protocol), 비적응적 경로 설정 기법(proactive routing protocol), 하이브리드 경로 설정 기법(hybrid routing protocol)으로 나뉜다. 비적응적 경로 설정 기법은 경로에 대한 정보가 필요하기 전에 미리 테이블 형식으로 경로를 지정해 놓는 방식인 반면에 적응적 방식은 경로탐색이 필요할 때에만 경로를 찾는다. 하이브리드 기법은 앞서 설명한 두 가지 경로 설정 기법을 융합하여 인접한 노드에 대해서는 비적응적으로 운영하고 원거리에 위치한 노드에 대해서는 적응적으로 경로를 설정하는 기법이다. 적응적인 경로 설정 기법은 비적응적인 경로 설정 기법에 비해 자원이 많이 소모되므로, 만약 노드들이 정적이려면 비적응적으로 운영하는 것이 적합하다[3].

경로설정기법에 대한 다른 분류 기준으로는 네트워크 구조적인 차이가 있으며, 노드들의 연결 형태에 따라 평면적 경로 설정 기법, 계층적인 경로 설정 기법 그리고 위치기반 경로 설정 기법으로 나뉜다. 평면적 경로 설정 기법은 구조가 간단하지만 다수의 노드로 이루어진 네트워크에서는 경로 설정 기법을 확장하여 적용시키기가 어렵고, 중복 데이터에 의한 추가 에너지 손실이 발생한다. 계층적인 경로 설정 기법은 유선 네트워크에서 기인한 방법으로 확장성과 효율적인 통신이 가능하다는 특징을 갖고 있다. 좀 더 많은 전력을 보유한 노드가 데이터 처리 및 송신 기능을 담당하고, 좀 더 적은 전력을 보유한 노드는 센싱 및 근거리 송신 기능만 부여함으로써 에너지 효율을 높인다. 그리고 위치기반 경로 설정 기법은 노드의 위치를 추정하여 위의 두 경로 설정 기법보다 효율적인 경로 설정이 가능하지만 추가 에너지 소모가 필요하다.

계층 클러스터 구조는 일반적으로 그림 1과 같이 각 클러스터 마다 클러스터를 대표하는 클러스터헤드(CH)가 존재하고 클러스터에 속한 클러스터헤드가 아닌 일반노드들은 데이터 전송을 할 때 클러스터헤드에 전송하는 방법을 취한다. (i-1)계층의 클러스터헤드는

다시 i 계층에서 일반노드로서 클러스터에 참여하여 위와 같은 과정을 반복한다. 이 때 클러스터를 형성하는 재귀적인 반복 횟수의 결정은 경로 설정 기법마다 차이가 있다.

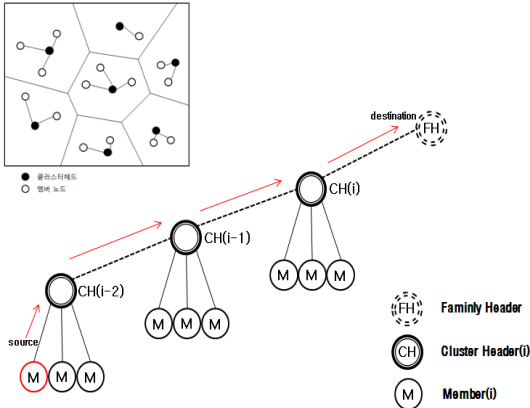


그림 1. 계층적 클러스터링의 구조
Fig. 1 Clustering formation for hierarchical layer

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[1]는 2계층의 클러스터에 기반한 경로 설정 기법으로서 노드의 구성은 멤버노드, 클러스터헤드, 싱크노드로 구분된다. 데이터의 전송과정은 각 멤버노드에서 센싱한 데이터를 자신이 속한 클러스터의 클러스터헤드에 전송하며, 클러스터헤드는 자신의 모든 멤버노드로부터 받은 데이터를 압축, 가공하여 싱크노드에 직접 전송하는 절차로 이뤄진다. 이러한 전송과정을 한 개의 라운드 단위로 정의하였으며 네트워크의 수명 동안에 라운드 단위의 TDMA 스케줄을 네트워크에 적용한다.

LEACH에서는 클러스터헤드를 라운드라고 정해 놓은 단위 주기마다 재선출 함으로써 전체 노드들에게 소비 에너지를 고루 분산시키고, 특정 노드의 잔여 에너지가 급격하게 소진되는 것을 방지한다. 하지만 어느 한 클러스터헤드의 통신반경 밖에 싱크노드가 존재한다면 해당 클러스터헤드를 포함하여 그 클러스터헤드에 속해 있는 모든 비클러스터헤드들의 데이터는 싱크노드로 전송이 불가능하게 된다. 또한 클러스터 헤드가 된 모든 노드들은 직접 싱크노드와 통신이 이루어져야 한다는 점에서 헤드 노드의 부담을 경감 할 수 있는 알고리즘과 헤드 노드를 선택하는 상황조건을 극복할 수 있는 논리가 요구 된다[9].

RODMRP(Resilient Ontology-based Dynamic Multicasting Routing Topology)[5]는 계층적 클러스터의 깊이에 제한을 두지 않은 계층적 클러스터 경로 설정 기법이며, 또한 노드의 이탈이나 새로운 노드의 유입으로 인한 경로재설정을 신속하게 복원하기 위해 양부(step-parent)노드 방법을 사용하는 탄력적인 경로설정기법이다. 하지만 RODMRP는 클러스터 계층의 깊이를 결정하는 방법에 대해서는 설명하지 않고 있다.

Seema Bandyopadhyay[8]등은 계층 클러스터 구조에서 클러스터 헤더선출확률(P)과 클러스터 내에서의 최대 홉수(k)를 최적화 인자로 정의하고, 추정된 값을 네트워크에 적용했다. 클러스터 계층의 깊이와 에너지 효율성의 상관관계를 이론적으로 정리했으며 기본 가정은 다음과 같다.

- 이동 노드들은 동질적 공간 포아송 과정(homogeneous spatial Poisson process)에 따라 분포한다 이 때 한 번의 길이가 R인 정사각형 영역에 존재하는 노드들의 개수는 포아송 확률 변수(N)로 정의하고, 이 때 확률 변수(N)은 포아송 공간밀도 함수(λ)와 면적(R²)에 의해 λR^2 값을 가지게 된다..
- 이동 노드들 중에서 확률(p)에 의해 클러스터 헤드(CH)가 선출된다고 할 때 CH들과 CH가 아닌 노드들은 각각 공간분포함수 PP1, PP0으로 정의 하고 이는 동질적 공간 포아송 과정을 따르며, 공간밀도 함수는 각각 $\lambda_1=p\lambda$ 와 $\lambda_0=(1-p)\lambda$ 를 갖는다.
- CH가 아닌 노드들은 자신으로부터 가장 가까운 CH를 자신의 CH로 선택하여 보로노이 영역화를 하고, 네트워크 영역은 보로노이 셀이라고 불리는 영역으로 분할된다. 이 때 랜덤변수 N_v 를 한 보로노이 셀에 속한 PP0 과정에 속한 점들의 개수라고 정의하고, 랜덤변수 L_v 는 PP0 과정의 점들에서 해당 보로노이 셀의 PP1까지의 거리들의 총 합이라고 정의하면, N_v 와 L_v 의 기대값은 각각 다음과 같다[9].

$$E[N_v|N=n] \approx E[N_v] = \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \quad \text{식(1)}$$

$$E[L_v|N=n] \approx E[L_v] = \frac{\lambda_0}{2\lambda_1^{3/2}} \quad \text{식(2)}$$

논문[8]의 제안된 알고리즘에서 1계층 클러스터는 확률 P1에 의해서 선출되며, (i+1)계층 클러스터는 P(i+1)

에 의해서 선출된다. 즉, 포아송 확률과정에 의해 i 계층 클러스터헤드는 동질적 포아송 과정을 따르며, 이 때 공간밀도 함수 $\lambda Li = \lambda \prod_{j=1}^i P_j$ 이다.

따라서 계층(i) 클러스터 헤드에서 ($i-1$) 계층 클러스터 헤드들 사이의 거리(L)의 합 혹은 임의의 i 계층 클러스터헤드에서 멤버노드들까지의 거리 합은 다음과 같이 정의 된다.

$$E[L_i | N = n] = \frac{(1 - p_i) \lambda \prod_{j=1}^{i-1} p_j}{2(\lambda \prod_{j=1}^i p_j)^{3/2}}, \quad i = (2, 3, \dots, n) \quad \text{식(3)}$$

여기서 에너지 소비량을 계산하는데 있어서 적용하기를 1홉당 1단위의 에너지를 소비한다고 가정을 하였으며, 클러스터 헤드 노드와 멤버노드간의 거리와 에너지소비량이 비례한다는 가정은 현실적인 경로손실모델이 아니고 또한 네트워크 내의 노드들이 위치한 정보에 의해 전송에너지는 다양한 상호관계를 형성하게 된다. 따라서 위의 상황적 설정은 정확한 에너지 소비량을 분석하기에는 주어진 임의의 i 계층 클러스터헤드에서 멤버노드들까지의 거리 해석에 따른 분석이 보다 강화되어야 할 필요가 있겠다. 가장 일반적인 거리에 따른 노드간의 에너지 소모 모델은 일반적으로 에너지소비량은 거리에 비례하며, α 는 환경에 따른 변수로서 표 1과 같다[6]. 본 논문에서는 상기 식(3)의 결과를 사용하여 (거리) $^\alpha$ 에 비례하는 에너지 소비량을 추정한다.

표 1. 다양한 환경에서의 거리 인자
Table. 1 parameters for different environment

환경	α
자유공간	2
도시공간	2.7-3.5
실내 가시선(line-of-sight)	1.6-1.8
실내 불가시선(non-line-of-sight)	4-6

III. 제안하는 CACHE-R 알고리즘

CACHE는 계층적 클러스터 구조의 에너지 보존적인 클러스터 관리 기법이며 노드의 분포, 경로설정 기법 등

에 의해서 에너지 효율성에 영향을 받는다. 노드의 분포는 아래와 같다.

이동 노드들은 한 변의 길이가 R 인 정사각형 영역에서 동질적 공간 포아송 확률 과정을 따라 분포하며, 포아송 확률 변수 N 은 분포된 노드들의 개수로 정의하고, N 의 평균은 λR^2 이다. 확률 $P_i(i=1,2,\dots,L)$ 는 클러스터계층의 최대 깊이 L 에 대해서 $i-1$ 계층 클러스터에 속한 노드들 중에서 i 계층 클러스터의 클러스터헤드로 선출될 확률이며, i 가 0일 때는 최하위 클러스터 계층의 멤버노드를 의미한다. P_1 의 확률에 의해 1계층 클러스터헤드들이 선출되고 난 후에 1계층 클러스터헤드들과 0계층의 일반노드들은 각각 PP_1 과 PP_0 의 독립적인 동질적 공간 포아송 과정으로 분포하며 이 때의 강도는 $\lambda_1 = P_1\lambda$ 와 $\lambda_0 = (1 - P_1)\lambda$ 이다. 다시 1계층의 클러스터헤드들을 2계층의 클러스터의 일반노드들로 간주하여 P_2 의 확률에 의해 2계층 클러스터헤드를 선출한다. 2계층 클러스터헤드로 선출된 노드들과 비선출 노드들은 서로 독립적으로 동질적 공간 포아송 과정에 따라 분포하며 이 때의 강도는 $\lambda_2 = P_2P_1\lambda$ 와 $\lambda_1 = (1 - P_2)P_1\lambda$ 이다. 따라서 ($i-1$)계층의 노드로부터 i 계층 클러스터헤드까지 거리2의 총합은($i=2,3,\dots,h$) 식(4)의 $f(x)$ 에 $|x|$ 를 대입하여 구할 수 있다[9].

$$ES_f = \lambda_{i-1} \int f(x) e^{-\lambda \pi |x|^2} dx, \quad i = (2, 3, \dots, n) \quad \text{식(4)}$$

다음은 이러한 계층을 갖는 동질 공간에서의 CACHE-R 알고리즘의 의사코드를 보여준다.

Procedure : Optimal Layer Setting(OLS) in CACHE-RODMRP

1. **Begin** OLS
 \forall nodes
2. **Begin** Initializing
3. current layer=1
4. current consumed energy =0
5. previous consumed energy =0
6. intensity = λ
7. L_{TH} = Critical value
8. L_{INT} = 3
9. **End** Initializing
10. Set routing by RODMRP(L_{INT})
11. $NODE_{PROC}$ = ClusterHead(L_{INT}) that have lowest number of member nodes.

```

a NODEPROC
12. While ( (Current Layer < # of nodes)
           or (differential error>LTH ))
13. Begin while
14.   current consumed energy=Eq.(9)
15.   differential error=[current consumed
           energy-previous consumed energy]
16.   increase Current Layer by 1
17.   previous consumed energy =
           current consumed energy
18. End while
19. if(Current consumed energy is
       bigger than previous consumed energy)
20.   Optimal Layer = Previous Layer
21. else
22.   Optimal Layer = Current Layer
23. End if
24. End while
25. broadcasting Optimal Layer
    ∇ nodes except NODEPROC
26. receive the Optimal Layer from NODEPROC
27. Set routing by RODMRP(Optimal Layer)
28. End OLS
    
```

아래의 식(5)에 $|x^2|$ 를 적용하여 풀면 식(2)과 유사한 값을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E[L_i^2|N=n] &= \lambda_{i-1} \int |x^2|(x) e^{-\lambda_{i-1}|x|^2} dx, \quad i = (2, 3, \dots, n) \\
 &= \frac{(1 - P_i) \lambda \prod_{j=1}^{i-1} P_j}{2 \left(\lambda \prod_{j=1}^i P_j \right)}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

각 클러스터헤드는 클러스터 계층의 깊이를 변화시키면서 식(5)의 값이 최소가 되는 i 를 찾아 이를 최적화된 계층의 깊이로 결정한다. 비교하는 계층의 깊이는 최대 노드의 개수이며, 노드의 개수가 많을 때에는 비교에 따른 오버헤드가 크기 때문에 $E[L_i^2|N=n]$ 과 $E[L_{i+1}^2|N=n]$ 의 오차를 비교하여 그 오차가 L_{TH} 보다 작게 되면 알고리즘을 종료한다.

IV. 시험 환경 및 성능 분석

4.1. 시험환경

제안하는 **CACHE-R**의 성능분석을 위해 **MATLAB**을 사용하며, 에너지보존적인 측면에서의 정확성 검증은 보여주하고자 기존에 제안된 알고리즘과 비교해 보았다. 기존 **LEACH**[1]에서 제안한 1차 모델을 기반으로 계층 클러스터 구조에 기반한 네트워크 구조에서 **Seema Bandyopadhyay**[8] 등이 제안한 알고리즘과 **CACHE-R**을 비교해 보았다. 본 논문에서 모의실험을 위한 네트워크의 환경 조건 및 구성은 다음과 같다.

- 초기 상태의 노드들의 자원은 동일하다.
- 모든 노드는 전송세기를 조절하여 통신범위를 조절할 수 있다.
- 경로손실모델은 자유경로모델(에너지소비량 \propto 거리²)을 따른다.
- 두 노드 u, v 에 대해서 $E(u, v)$ 를 u 에서 v 로 데이터를 전송할 때 발생하는 에너지 소비량이라고 정의하면, $E(u, v)=E(v, u)$ 이다.
- 데이터 송수신에 사용하는 패킷의 길이는 **IEEE 802.15.4 MAC**의 데이터 패킷 프레임의 최대 길이인 128Byte를 사용한다.
- 노드 초기 분포는 2장에서 설명한 분포를 따르며, **RODMRP**에 따라 계층적 경로가 설정된다.
- 모든 노드들은 잔여 에너지 및 통신 범위를 알 수 있다.

4.2. 성능분석

본 절에서는 2장에서 설명한 **CACHE**알고리즘에 대해서 다양한 공간 밀도를 적용시킨 노드들의 분포에 따른 시뮬레이션 결과를 분석한다. **Seema Bandyopadhyay** 등은 단위 거리당 단위 에너지를 소비한다고 가정하였기 때문에 경로손실모델이 적용되지 않았지만 본 논문에서는 모든 경우에 대해서 단위 거리당 에너지 소비량은 거리 제곱에 비례한다고 가정한다. 제안하는 알고리즘을 통해서 클러스터계층의 깊이를 변화시키고, 클러스터 계층의 깊이에 따라서 소비되는 에너지량을 측정하여, 클러스터계층의 깊이와 에너지소비량과의 상관관계를 보인다.

표 2. 성능 분석 환경
Table. 2 Performance evaluation environment

항목	내용
실험 영역	70m x 70m
노드의 수	25,000
단위 패킷 크기	128byte

본 논문에서 제안한 **CACHE** 알고리즘의 데이터 전송에 따른 에너지 소비량을 추정하기 위해서 먼저 두 노드 간의 에너지소비량의 추정은 **LEACH**에서 제안한 1차 라디오 모델을 따른다. 이 에너지 소비모델에서는 k 비트의 데이터를 d 거리만큼 전송할 때의 에너지 소비량 E_{tx} 은 다음과 같다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^2 \quad \text{식(6)}$$

이 때 E_{elec} 는 회로에서 1비트를 전기적 신호로 처리하는데 소모되는 에너지(J)이고, ϵ_{amp} 는 1비트를 증폭할 때 소비되는 에너지량(J)을 나타낸다. 그리고 k 비트의 데이터를 수신할 때의 에너지 소비량 E_{rx} 는 다음과 같다.

$$E_{Tx}(k) = E_{elec} \times k \quad \text{식(7)}$$

초기 노드들의 분포는 강도 λ 를 갖는 공간적 포아송 확률 과정을 따르며 노드들은 확률 $P_i(i=1,2,\dots,n)$ 에 따라 계층별로 클러스터를 나눈다. 따라서 i 계층 클러스터헤드에서 $i-1$ 계층 클러스터헤드까지 데이터를 전송할 때 소모되는 에너지는 다음과 같다.

$$E_{Tx}^i = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times (E[L_i^2 | N=n]), \quad i = (2, 3, \dots, n) \quad \text{식(8)}$$

즉 1계층 클러스터헤드에서 n 계층 클러스터헤드까지 데이터를 전송할 때 소비되는 에너지는 다음과 같다.

$$E_{Total} = \left(\sum_{i=2}^n E_{Tx}^i \right) + n \times E_{elec} \times k \quad \text{식(9)}$$

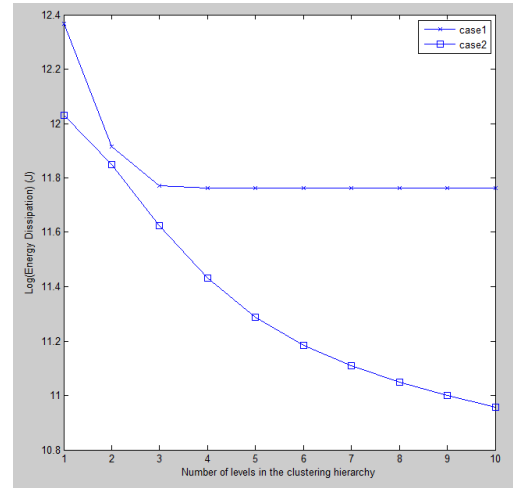


그림 2. 클러스터 계층 깊이에 따른 에너지소비량
Fig. 2 Total Energy Spent with Number of depth in clustering hierarchy

그림 2는 i 계층 클러스터헤드로 선출될 확률 P_i 를 표 3과 같이 2가지 경우로 구분하여 설정한 후에 식(9)의 값을 측정된 결과이다. 계층의 깊이가 깊어질수록 에너지 소비량은 감소하는 것을 볼 수 있다.

표 3. 그림1에 사용된 변수
Table. 3 parameters for figure1

case	i 계층 클러스터 헤드 확률
case1	0.3
case2	1/클러스터 계층의 수

case1의 경우에는 3계층이상부터 값이 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있는데, 상위 계층으로 갈수록 클러스터에 속한 노드수가 감소하기 때문에 에너지 감소 효과를 볼 수 없다. **case2**의 경우에는 계층의 개수가 많아질수록 상위 계층의 노드의 분포가 많아지면서 에너지 소모가 감소되는 현상을 볼 수 있다.

그림 3은 **LEACH**[6] 그리고 본 논문에서 제안하는 **CACHE-R**의 클러스터 계층 수 변화에 따른 에너지 소비량 비교이다. [6]에 비해 **CACHE**와 **LEACH**의 에너지 소비량이 많은 것은 거리가 아닌 거리의 제곱에 비례한 에너지 소비량을 측정했기 때문이며 좀 더 정확한 소비량을 의미한다.

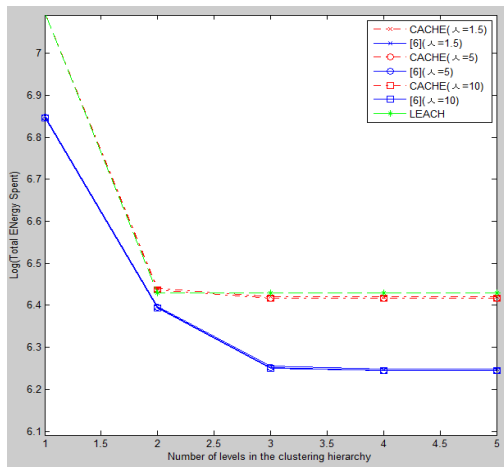


그림 3. 계층 깊이에 따른 에너지 소비량 비교
Fig. 3 Comparison of our Algorithm and Leach Clustering Algorithms

또한 LEACH는 2계층으로 클러스터 계층의 깊이를 제한하였기 때문에 2계층 이후로는 에너지소비량의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 또한 강도 λ 에 따른 에너지 소비량 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있다.

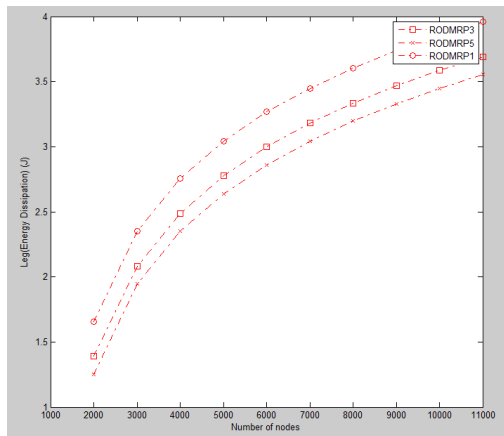


그림 4. 노드 개수와 클러스터 계층 레벨에 따른 에너지 소비량
Fig. 4 Total Energy Spent with Number of level in clustering hierarchy

그림 4는 i 계층 클러스터 헤드 확률 P_i 를 ($1/\text{클러스터 계층의 수}$)로 설정했을 때 노드의 개수에 따른 에너지 소비량을 나타낸 그래프이다. RODMRP의 클러스터 계층

깊이가 1개, 3개 그리고 5개일 때를 각각 RODMRP1, RODMRP3, RODMRP5라고 표시했으며, 노드의 개수가 증가함에 따라 RODMRP1, RODMRP3, RODMRP5의 서로간의 에너지 소비량 차이는 좁혀지지 않는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안하는 CACHE알고리즘의 L_{TH} 를 1000으로 설정했을 때, RODMRP6과 RODMRP5의 차이가 이를 넘지 못하기 때문에 그림 3에서는 RODMRP5까지의 결과만 나타내고 있다. 네트워크의 환경에 따라 상황인식을 하여 L_{TH} 값을 조정함으로써 최적화된 클러스터 계층깊이 h 를 구하고, 이를 이용해 RODMRP(h)를 경로설정에서 사용할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서 제안한 클러스터관리 기법인 CACHE-R는 RODMRP구조에 기반으로 한 계층 클러스터의 깊이 변화에 따른 에너지소비량을 추정하여 이를 적용함으로써 클러스터내의 에너지 소비량을 최소화하고 클러스터를 에너지 효율적으로 관리한다. 클러스터 계층의 최적의 수는 각 클러스터 계층에 속한 노드들의 비율에 따라 달라지며, 본 논문에서는 각 계층에 속한 노드들의 비율을 조정하면서, 그 때 소비되는 에너지량을 관찰하여 최적의 클러스터 계층의 깊이를 추정하였다. 추정된 클러스터 계층의 깊이 h 를 RODMRP에 적용하여 RODMRP(h)라 명명하였으며, h 와 네트워크 내 노드의 수에 따른 에너지소비량을 관찰하였다. 그 결과 클러스터 계층의 깊이의 수는 많아질수록 에너지 보존적인 결과를 보였지만, RODMRP(h)와 RODMRP($h+1$) ($1 \leq h \leq \text{노드의 수}$)의 차이값이 미리 설정된 임계값 L_{ih} 보다 작게 되는 시점에서는 RODMRP($h+1$)대신에 RODMRP(h)를 최적이라고 판단하여 알고리즘의 결정 속도를 향상시켰다.

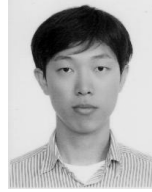
감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업과 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 지원에 의하여 수행된 결과입니다.

참고문헌

- [1] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor networks”, Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol.1, No.4, p.660, 2002.
- [2] 김영삼, 이강환, “모바일 에드혹 망에서 에너지 효율적인 노드관리를 위한 TICC 알고리즘에 대한 연구”, 한국기술교육대학교 대학원, 2010.
- [3] Al-Karaki, J.N., Kamal, A.E., “Routing techniques in wireless sensor networks: a survey”, Wireless Communications, IEEE, Vol.11, No.6, pp.6~28, 2004.
- [4] 손상복, “연동노드를 포함하는 MANET에서의 이산사건시스템기반 성능분석 방법론”, 인제대학교, 2010.
- [5] 김순국, 지삼현, 이강환, “상황인식 기반의 RODMRP 지식기반의 추론망 연구”, 한국해양정보통신학회, vol.11, No.6, 2007.
- [6] paolo santi, “Topology Control in wireless Ad Hoc and Sensor Netowkrs”, Wiley, p.16, 2005.
- [7] Kyoung-min Doo, “A study on the Computing System,” The Korea Institute of Maritime Information and Communication Sciences, 2007.
- [8] Seema Bandyopadhyay et al, “An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks”, Proc. INFOCOM, vol.3, pp.1713-1723, 2003.
- [9] S. G. Foss, “On a Voronoi Aggregative Process Related to a Bivariate Poisson Process”, Advances in Applied Probability, vol.28, No.4, pp.965-981, 1996.
- [10] Jan M. Rabaey, Daniel Burke, Ken Lutz, and John Wawrzynek, “Workloads of the Future”, Design & Test of Computers, IEEE, Vol.25, No.4, p.358, 2008.

저자소개



문창민(Chang-Min Mun)

2009 한국기술교육대학교
컴퓨터공학과 학사
2009~현재 한국기술교육대학교
전기전자공학 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~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수
※관심분야: USN, Ad-hoc network, 차세대이동통신
기술, Wireless SoC