무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터의 대체노드 선출 방법에 관한 연구

오영준* · 이강환**

A Study on the Election of Cluster Alternative node for Energy-Efficient
in Wireless Sensor Networks

Young-jun Oh* · Knag-whan Lee**

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

요 약

무선 센서 네트워크에서 효율적인 대체 노드의 관리 및 유지 방법에 관한 문제는 매우 근본적인 문제 중 하나이다. 특히 계층적 클러스터에서 각 그룹 멤버 노드의 대체 기능이 가능한 노드(Alternative node)를 선정하여 임의 노드의 경로 단절시 대체 경로를 찾기 위해서는 대체 노드의 기능이 절차에 따라 실시간으로 경로를 복구 할 수 있어야 하며, 에너지를 최소화하여 네트워크를 유지 관리가 가능해야 한다. 본 논문에서 제안한 EEAP(Energy-Efficient Alternative Paths)는 이러한 양부 헤드 노드를 선정함에 있어서 에너지 잔량과 노드간의 거리 등의 노드 속성 정보를 활용하여 각 경로에서 소모되는 비용과 노드의 관리에 있어 경비가 효율적인 경로의 대체 노드를 제공하게 됨으로 효율적인 에너지 관리를 할 수 있게 되어 전체 네트워크의 유지 시간을 향상 시킬 수 있는 결과를 보여주었다.

ABSTRACT

One fundamental issue in ad hoc networks is the alternative node election problem, which reflects how well a sensor network is monitored or tracked by sensors. In this paper, we proposed EEAP(Energy-Efficient Alternative Paths). This is a method of selecting an alternative node for path routing management. When some node disconnection on the path routing, using pre-selected backup node provides immediately recover the path recovery. When selecting an alternative node of Step-Parents head node on the path management, the node's energy level and distance information are cared in context-awareness. This is not only increased the system's capacity cost effectively, but also reduce transmission power entire nodes consume energy. As a result, each node could efficiently management and improves the life time for mobile host and extends system coverage.

키워드

무선 센서 네트워크, 대체 노드, 대체 경로

Key word

WSN, Step-Parents node, Alternative path

* 정회원 : 한국기술교육대학교 첨단기술연구소

** 종신회원 : 한국기술교육대학교 (교신저자, kwlee@koreatech.ac.kr)

접수일자 : 2012. 11. 22

심사완료일자 : 2012. 12. 05

I. 서 론

유연하고 자유도가 높은 네트워크의 구성이 가능하다는 장점을 가지고 있는 MANET(Mobile Ad hoc Network)은 그 특성으로 인하여 다양한 활용 분야가 제시되면서 특히 노드의 특성을 고려한 라우팅에 대한 연구가 활발히 전개 되고 있다. 또한 MANET은 그 특성상 제한적 자원을 활용하고 이동성으로 인하여 기존 네트워크의 라우팅 방식이 적용하기 어렵기 때문이다. 이와 관련된 많은 연구가 이루어지고 있는 분야중 하나가 경로의 단절성을 보장하는 에너지 효율적인 망구조의 개선 방법이다[1].

본 논문에서는 계층적 클러스터인 RODMRP(Resilient Ontology-based Dynamic Multicast Routing Protocol)구조에서 노드들의 속성 정보를 고려한 에너지 효율적인 대체 경로의 헤드노드 선출 방법인 EEAP(Energy-Efficient Alternative Paths)를 제안한다[2,3,4,5]. 제안된 EEAP는 노드의 경로에 있는 헤드 노드를 포함한 임의의 노드의 손상으로 인한 경로 유지 실패 시에 미리 정해진 양부 노드(Step-Parents Node)를 통하여 대체 경로를 생성하여 즉각적으로 경로를 복구하여 관리하게 된다. 이때 양부 노드의 선출 시, 노드의 거리 정보와 에너지 잔량을 사용하여 각 경로 비용을 구하고 최소 경로비용을 가진 경로의 노드를 경로상의 헤드노드인 양부 노드로 선출함으로써, 효율적인 에너지를 소모를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 전체적인 노드의 경로관리가 가능하게 된다[6,7]. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 본 논문의 관련된 연구의 RODMRP에 대해 개괄적으로 살펴본다. 제 3장에서는 본 논문이 제안한 EEAP알고리즘에 살펴보고, 제 4장에서는 제안한 EEAP의 시험환경과 성능 분석을 검토한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 상황인식 기반의 RODMRP 알고리즘

MANET에서의 일정 노드들의 집합인 클러스터의 형성은 전송 홉의 감소에 따른 효율 증가 및 노드의 관리의 효율성 등의 이유로 많이 사용되고 있다. 그림 1은

일반적인 노드들의 관리를 위한 클러스터의 구조를 보여준다.

그림 1. 클러스터의 토폴로지의 망구조
Fig. 1 Topology of the network structure in a cluster

일반적인 클러스터링을 기반으로 한 망구조는 그림 1에서 보여주는 바와 같이 일정 노드를 그룹화하여 클러스터를 형성하고, 그 클러스터를 대표하는 헤드 노드를 두어 헤드 노드를 중심으로 클러스터를 관리하고, 라우팅 경로를 유지한다. 이러한 노드들의 관리 기법은 라우팅 홉 감소하는 효과를 기대할 수 있으나 관리 헤드 노드에 집중된 에너지 등의 집중 부하로 노드 간의 속성에 따른 망 관리 기법이 요구되기도 한다 [8,9]. 그러나 상기 알고리즘에 따른 토폴로지 프로세서에서는 전송되는 패킷의 양을 줄이고 라우팅 경로를 효율적으로 관리하게 된다면 전송 홉의 수를 감소하게 되며, 전송 시 발생하는 오버헤드 및 전송지연 요소를 감소하여 패킷의 전송율을 향상시킬 수 있다. 일반적으로 클러스터링 단위별 헤드 노드를 두어 클러스터를 관리 하고 라우팅 테이블을 체계적으로 관리하게 되어, 보다 효율적으로 망에서 라우팅이 가능하게 된다. 이것은 제한된 자원과 여러 제약 조건을 가지고 있는 MANET에 매우 효율적인 네트워크 구조가 요구됨을 의미한다[5].

본 논문에서 제안하는 기법은 RODMRP 계층적 클러스터 구조에 보조경로를 에너지 효율적 방법으로 관리 적용하도록 제안되었다[2]. 이를 위한 방법으로 기존에 제안된 RODMRP의 계층적 클러스터 구조의 ID 기법에 대해 먼저 간단하게 설명하면 다음과 같다.

RODMRP의 계층적 클러스터 구조는 그림 2와 같다. 그림 2에서 각 노드는 자신의 속한 클러스터내의 역할에 따라 패밀리 헤더, 그룹 헤더, 멤버 노드로 나누어진다. 망에서 메쉬 구조를 가지는 패밀리 헤더는 최상위 계층 노드 중 하나가 되며 멤버 노드를 갖지 않는다. 각 그룹 헤더는 자신이 속한 그룹 내의 노드들 중에서 상황인식 구조를 적용하여 최적의 노드를 그룹 헤더로 선출하며 각 멤버노드를 관리 한다. 각 멤버노드들은 정보 수집의 역할을 하며 자신의 그룹 헤더와만 통신을 할 수 있다. 최상위 패밀리 헤더들은 서로 메쉬 구조를 이루어 타 클러스터와 탄력적 연결을 할 수 있다. 클러스터내의 각 계층은 트리 구조를 이루고 있으며, 각 그룹 헤더만이 라우팅에 참여하게 된다.

만약 그룹 헤더의 손상으로 인해 라우팅에 참여할 수 없을 경우 그룹헤더 교체를 통해 경로를 복구하게 된다. 하지만 경로 복구 기법을 사용함에 있어서 불필요한 패킷 교환 및 전송 지연이 발생하고 그로 인한 에너지 소모로 인해 네트워크 유지 시간의 단축을 초래 할 수 있다. 이에 본 논문은 대체 경로를 미리 선정하여 그룹 헤더의 손상으로 인한 경로 단절시 신속한 경로 복구를 목적으로 한다.

그림 2. RODMRP의 계층적 클러스터 구조
Fig. 2 Hierarchical cluster structure in RODMRP

본 연구에서 적용하고 있는 RODMRP 계층적 클러스터 구조에서의 각 노드는 EOMM(Efficient Overlay Routing for Multi-casting Multi-layer)의 ID 구조를 따른다[3].

Octets:	1	1	1
	Cluster ID	Layer level	Role Definition

그림 3. EOM의 ID구조
Fig. 3 ID structures in EOM

그림 3 과 같이 노드의 ID는 전체 3 byte로 구성되며 각 각의 1 byte 마다 고유의 의미를 가진다. cluster ID는 각 클러스터가 가지는 고유의 식별자로써 같은 클러스터 내의 모든 노드는 같은 식별자를 갖는다. Layer level은 현재 자신이 속한 계층의 식별자로써 동일한 계층의 모든 노드는 같은 Layer level을 갖는다. Role Definition은 노드가 헤더인지 멤버인지를 나타내는 식별자로써 헤더 이면 00 멤버이면 그 외에 수를 갖는다.

각 노드의 ID는 상위 노드부터 하위 노드로 내려가면서 동일한 속성을 상속하면서 할당된다. 즉 최상위 노드인 FH는 자신의 고유속성 정보를 자신의 클러스터에 속한 모든 노드에게 상속하고, 각 GH는 자신의 Layer level 정보를 자신의 계층의 모든 멤버 노드에게 상속한다. 이와 같이 주어진 ID 정보만으로 현재 노드의 역할, 계층, 클러스터 등을 알 수 있다.

III. EEAP(Energy-Efficient Alternative paths)알고리즘

3.1. 상황인식 기반의 멀티 홉 통신의 효율성

상황인식 기반 멀티 홉의 장점은 클러스터 내의 전송 경로에 따라 노드의 속성 정보를 고려하여 에너지 효율적인 경로 설정이 가능함에 있다[10].

아래 그림 4와 같이 노드 U가 노드 V로 패킷을 전송할 때, 전송 거리는 d 로 한정 된다. 이때 노드 V는 노드 U의 최대 전송 반경 안에 있으므로 노드 U는 노드 V로 직접 전송 할 수 있다. 하지만 노드 U와 노드 V의 전송 거리 d 를 지름으로 하는 원 안에 또 다른 노드 W가 존재 한다. 즉, $P(U, W) = d_1 < d$ 이고 $P(V, W) = d_2 < d$ 임으로 노드 W를 중계 노드로 하여 패킷을 전송 할 수 있다.

그림 4. Free space model에 따른 멀티 홉의 효율성
Fig. 4 Free space model according to the efficiency of the multi-hop

기존 연구 결과인 [11]의 정의에 따르면, free space model에 의하여 노드 U에서 노드 V로 직접 전송 할 때 전송 전력은 거리(d)에 비례하고, 노드 W에 의해 중계될 때의 전송 전력은 거리(d1+d2)에 비례한다. 그런데 전송의 경로를 관찰해 보면, 위 그림과 같이 세 개의 노드 W, U, V를 꼭짓점인 삼각형이 존재한다. 즉, 제2 코사인 법칙을 적용하면 식 1와 같고 이를 에너지의 분석 방법인 LEACH에 적용하게 되면 각 노드의 에너지 관리에 있어 보다 효율적인 양부노드의 경로 설정을 할 수 있게 된다.

$$d^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2\cos r \quad (1)$$

위 식에서 중계 노드의 위치에 의한 각 r에 의하여 다음 같은 부등호(식 2)가 성립한다.

$$\begin{aligned} r > 90^\circ &\Rightarrow d^2 > d_1^2 + d_2^2 \\ r < 90^\circ &\Rightarrow d^2 < d_1^2 + d_2^2 \end{aligned} \quad (2)$$

즉, 위의 식에 의하여 중계 노드 W가 노드 U와 노드 V사이 거리를 지름으로 하는 원 안에 존재 한다면 W를 통해 패킷을 멀티 홉으로 전송하는 것이 에너지 효율적이며, 원 밖에 존재한다면 노드 U에서 V로 직접 전송하는 것이 에너지 측면에서 보다 효율적이다[12].

즉, 각 경로 경비를 구하는 식은 LEACH에서 제안한 전파 모델을 이용하여 구하게 된다. 만일거리 정보만을 고려한 경로 선정을 하게 된다면, 노드 U를 RODMRP에서 양부 노드를 선출하려는 헤드노드로 가정하고, W를 양부 노드로 본다면, W는 노드 U와 V를 지름으로 하는

원 안에 존재 할 때만 노드 U의 대체하고자 하는 헤드노드의 양부 노드로써 에너지 전송의 효율적 가치를 가지는 노드가 된다.

3.2. EEAP에서 적용된 양부 노드 선출 기준

제안된 EEAP에서는 노드의 에너지 잔량 및 거리 정보를 활용하여 가장 효율적으로 에너지를 관리 할 수 있는 헤드노드로써의 양부 노드로 선출한다. 계층적 클러스터인 RODMRP 구조에서 패밀리 헤더를 제외한 모든 노드는 양부 노드를 선출하는 과정을 가진다. 또한 양부 노드가 될 수 있는 노드는 양부 노드를 선출하려는 노드와 같은 계층의 타 클러스터 그룹헤더로 한정한다.

그림 5는 임의의 클러스터에서 임의의 노드가 자신의 양부노드를 선출하는 방법을 보여준다. 여기서 GM31은 3계층 그룹의 첫 번째 멤버노드이자 양부 노드를 선출하려고 하는 노드이다. GH3는 3계층 그룹의 헤더, GH2는 2계층의 그룹 헤더로써 GM31을 포함하는 3계층의 모든 멤버 노드들이 양부 노드를 선출하려고 할 때 기준 노드로써 사용된다, GH1는 1계층의 그룹 헤더노드 이다. 그 외의 A, B, C, D 노드는 타 클러스터의 3계층 그룹헤더로써 양부 노드가 될 수 있는 노드이다. Rt-GM31은 GM31의 최대 통신 반경, Rt-GH2는 GH2의 최대 통신 반경을 나타낸다.

아래 그림 5와 같이 RODMRP에서는 GM31에서 자신의 그룹헤더 GH3를 통해 GH2, GH1 거치는 경로를 가진다.

그림 5. 노드의 거리정보와 에너지 잔량을 고려한 양부 노드 선출 모델

Fig. 5 Node elected model of node distance information and energy levels

하지만 GH3가 외부 손상 및 기타 이유로 인해 라우터 역할을 할 수 없게 되면 GM31은 미리 선정된 후보 양부 노드 A, B, C, D 노드 중 최적의 조건을 만족하는 관리를 통해 신속히 경로를 대체해야 한다.

3.3. EEAP에서 양부 노드 선출 절차

본 절에서는 제안된 EEAP에서 후보 양부노드로부터 최적의 에너지 상태를 유지하면서 각 노드의 에너지 상태를 고려한 후보 양부 노드를 선출해야 한다. 이를 위한 노드의 호처리 절차 및 이의 유지 관리 방법에 대해 설명 한다. 본 연구실에서 제안하고 있는 RODMRP의 망구조는 패밀리 헤더를 제외한 모든 노드들이 경로상의 대체를 위해 양부 노드를 선출하기 위한 절차를 가진다. 또한 최상위의 패밀리 헤더 노드들은 메쉬 구조를 이루고 있기 때문에 양부 노드를 필요로 하지 않고 있다. 제안된 망에서 계층적 클러스터가 생성이 되고, 모든 노드가 EOMM의 ID기법에 의해 ID를 부여받으면 클러스터마다 고유 ID를 가지게 된다. 동시에 모든 노드가 컨트롤 패킷을 보내게 되면 패킷의 간섭과 충돌이 생길 수도 있다. 이에 클러스터 ID가 빠른 클러스터의 최하위 계층의 멤버 노드들부터 양부 노드를 선출하게 된다. 다음 그림 6은 임의의 클러스터의 3계층 멤버 노드가 양부 노드를 선출하기 위한 호 처리 절차를 보여 준다.

그림 6. 양부 노드 선출 호 처리 절차
Fig. 6 Procedure of step-parents node election

여기서 GH2는 기준 노드, GM31은 양부 노드를 선출하려는 노드, BN(C, D)는 양부 노드가 될 수 있는 노드, GH3는 GM31의 그룹 헤더, FH는 패밀리 헤더를 의미한다.

- GH3는 기준 노드[GH2]에게 양부 노드 선출 절차의 시작[BN_START]을 알린다.
- 기준 노드[GH2]는 자신의 최대 통신 반경 안에 있는 타 클러스터의 한 단계 하위 계층의 그룹 헤더[BN(C, D)]들에게 에너지 잔량[BNE_REQ]을 요청한다.
- 이를 수신한 BN(C, D)는 자신의 에너지 잔량을[BN_ENERGY] 기준 노드[GH2]에게 전송 한다.
- 기준 노드[GH2]는 수신된 에너지 잔량과 RSSI값, ID [BN_DATA]를 GH3에게 전송하고 GH3는 자신의 멤버 노드들[GM31]에게 [BN_DATA]를 broadcast 한다.
- 멤버 노드[GM31]는 수신된 정보를 저장한 후, 자신의 최대 통신 반경 안에 있는 타 클러스터의 같은 계층의 그룹 헤더[BN(C, D)]에게 에너지 잔량[BNE_REQ]을 요청한다.
- 이를 수신한 BN(C, D)는 자신의 에너지 잔량[BN_ENERGY]을 전송 한다.
- 멤버 노드[GM31]는 수신된 에너지 잔량과 RSSI값, ID를 저장한 후, 앞서 기준 노드가 보낸 저장된 정보의 ID와 비교한 후 같은 ID를 갖는 노드를 후보 노드로 정하고 나머지 노드들에 대한 정보를 버린다.
- 멤버 노드는 후보 노드들의 RSSI값과 에너지 잔량 정보를 이용하여 양부 노드 선출 기준에 따라 가장 적은 경로경비를 소모하는 노드를 후보 양부 노드로 선정한 다음 선정된 노드[BN(D)]에게 알린다[BN_SEL].
- BN(D)는 자신의 양부 노드 관리 리스트의 노드 수 제한을 넘어선 경우에는 양부 노드가 될 수 없음을 GM31에게 알린다[BN_NO]. 이를 수신한 GM31은 자신의 양부 노드 후보 노드 중 다음으로 경로경비가 적은 노드 [BN(C)]에게 양부 노드로 선출[BN_SEL]되었음을 알리고 BN(C)는 자신의 양부 노드 관리 리스트에 여유가 있을 경우, 리스트에 노드ID를 저장하고 GM31에게 받아들였음을 알린다[BN_OK]. 만약 GM31이 모든 후보 노드에게 BN_NO메시지를 받게 되면 GM31은 양부 노드를 선정하지 않는다.
- 멤버 노드는 자신의 양부 노드 선출 절차가 끝났음을 자신의 그룹 헤더[GH3]에게 알린다[BN_FINISH_M].

- 멤버 노드들의 그룹 헤더[GH3]는 자신의 모든 멤버 노드들이 양부 노드를 선출하게 되면 자신의 패밀리 헤더[FH]에게 양부 노드 선출과정의 마침을 알려준다 [BN_FINISH_G].
- 패밀리 헤더는 클러스터 내 모든 노드들이 선출 절차를 마치게 되면 다음 패밀리 헤더에게 알려준다.

위 과정으로 네트워크 내의 모든 노드들은 양부 노드를 선출하게 된다.

3.4. 양부 헤드노드(Step-Parents Head Node) 재선출

양부 노드로 선택된 후보노드는 양부 노드로써의 역할보다는 자신의 클러스터에서의 그룹헤더로써의 역할을 주로 수행하게 된다. 그룹헤더로써 자신의 멤버 노드를 관리하고 라우터로써의 역할을 수행함에 따라 멤버 노드들 보다 비교적 빨리 에너지를 소모하게 된다. 이에 RODMRP에서는 그룹헤더 교체를 통해 새로운 그룹헤더를 선출하여 모든 노드의 균일한 에너지 소모를 이루려 한다. 이처럼 그룹헤더가 교체됨으로써 자신을 양부 노드로 선출한 노드들과의 연결이 끊어지게 되게 된다. 이에 양부 노드로 선출된 노드는 자신의 그룹헤더 교체 과정에서 자신의 양부 노드 관리 리스트에 저장된 노드들에게 자신이 그룹헤더 교체 과정에 있음을 알려준다. 즉, 자신을 양부 노드로 선출한 모든 노드들에게 양부 노드를 재선출하라고 알려준다. 재선출 메시지를 받은 노드들은 자신의 그룹헤더에게 양부 노드 재선출 과정을 요청하고 그룹헤더는 일정 시간 동안 자신의 멤버 노드들 중 또 다른 노드의 재선출 과정 요청 메시지를 받는다. 자신의 멤버 노드 중 같은 양부 노드를 선정한 노드가 있을 수도 있기 때문이다. 그룹헤더는 재선출 과정 요청 메시지를 전송한 멤버 노드의 ID를 저장 후, 자신의 상위 헤더에게 양부 헤드 노드 재선출이 시작되었음을 알려준다. 이에 앞서 말한 선출 절차에 따라 다시 양부 노드를 재선출하게 된다. 그림 7과 같다.

GM3x는 그룹 헤더 교체에 따른 양부 노드를 재선출하려는 노드들, GH3는 재선출하려는 노드의 그룹 헤더, GH2는 기존 노드, BN_before는 기존의 양부 노드, BNC는 현재의 양부 후보 노드들의 집합을 나타낸다. Tr은 그룹헤더가 첫 양부 노드 재선출 메시지를 받은 후 자신의 또 다른 멤버 노드들의 재선출 요청 메시지를 받기 위하여 기다리는 일정 시간을 의미한다.

그림 7. 그룹 헤더 교체에 따른 양부 노드 재선출 호 처리 절차

Fig. 7 Replaced procedure of Group header node by re-elected Processing

Tr 동안 받은 멤버 노드의 ID를 저장하여 이후 BN_DATA를 저장한 노드들에게만 전송한다. GH_CHG 기존 양부 노드의 그룹 헤더 교체 메시지, BNSTART_REQ 양부 노드 재선출 요청 메시지, BN_START 양부 노드 선출 시작 메시지, BNE_REQ는 에너지 잔량 요청 메시지, BN_ENERGY 에너지 정보 메시지, BN_DATA 양부 노드 후보들의 에너지, RSSI, ID 정보 메시지, BN_SEL 양부 노드 선출 메시지, BN_OK 양부 노드 선출에 대한 응답 메시지, BN_FINISH는 양부 노드 선출 절차가 끝났음을 알리는 메시지이다.

그룹 헤더 교체는 전체 네트워크 내의 모든 그룹 마다 각 그룹에 속한 노드들의 상황정보에 따라 자율적으로 교체하기 때문에 그룹헤더 교체 시에만 양부 노드를 재선출하여 모든 노드가 임의의 시간에서 가장 적절한 양부 노드를 선출 할 수 있다.

계층적 클러스터가 형성된 후 제일 처음 시도된 전체 네트워크 내의 모든 노드의 양부 노드 선출 절차에서 조건에 맞지 않아 양부 노드를 선출하지 못한 노드는 일정 시간이 지나게 되면 변화된 네트워크 조건에서 다시 양부노드를 선출하려는 절차를 가지게 된다. 이때에도 양부 노드를 선출하지 못하면 일정 시간마다 양부 노드를 선출 할 때까지 반복 하게 된다. 양부 노드가 선출되면 앞서 설명한 그룹 헤더 교체에 따른 양부 노드 재선출 과정을 따르게 된다. 또한 그룹헤더 교체에 따른 재선출 과

정에서 양부 노드를 선출하지 못한 경우에는 일정 시간이 지난 후에 양부 노드 재선출 과정을 가지게 된다.

IV. 성능분석

본 논문에서 제안하고 있는 EEAP의 성능을 분석하고자 MATLAB을 이용하여 양부 노드의 에너지 소모량 및 지속시간을 모의실험 하였다. 3장에서 설명한 제안된 EEAP 알고리즘에 대하여 그림 8 과 같이 임의의 노드가 S 가 목적지 노드 D로 전송하고자 할 때 각 양부 노드의 지속시간과 대체 경로로 통한 에너지 소모량을 분석하고, 다른 기법과 비교하였다.

그림 8. EEAP의 성능 분석을 위한 망 구조
Fig. 8 Performance of EEAP in network architecture

본 논문에서의 연구결과인 모의실험의 환경은 표 1 과 같이 설정하고 모의실험을 수행하였다.

표 1. 모의실험 환경
Table. 1 Simulation environment

항목	내용
Eelec	50nJ/bit
ϵ_{amp}	100pJ/bit*m ²
패킷의 크기	1250byte
노드의 수	6
경로 실패율	0.3
전송 횟수	10000
각 노드의 초기 에너지량	5J

그림 8과 같이 3개의 후보 양부 노드가 될 수 있는 노드 BN1, BN2, BN3가 있다. 노드 S가 3개의 노드 중에 양부 노드를 선출할 때 세 가지 방법으로 나누어 모의 실험 하였다. 첫 번째는 제안된 EEAP의 조건에 의하여 양부 노드를 선출, 두 번째는 거리가 최소가 되는 노드를 선출하는 방법, 마지막으로 각 노드가 확률적으로 선출되는 방법이다. 일정 시간마다 위 세 가지 방법으로 양부 노드를 교체하게 되고, 각 경우에서 임의의 확률로 경로 실패가 발생할 때마다 양부 노드의 에너지 잔량과 대체경로를 통한 에너지 소모량을 실험하였다.

그림 9. 후보 양부노드의 거리에 따른 성능
Fig. 9 Performance of Candidate adoptive node according to the distance

그림 10. 후보 양부노드의 확률에 따른 성능
Fig. 10 Performance of candidate adoptive node according to the probability

그림 11. 후보 양부노드의 EEAP에 따른 성능
Fig. 11 Performance of candidate adoptive node according to the EEAP

본 실험에서는 각각 다른 방법에 의해 양부 노드를 선출하였을 때 각 노드마다의 전송 횟수에 따른 에너지 잔량을 나타낸다. 그림 9와 같이 최소 거리로 양부 노드를 선출하였을 때는 각 노드의 에너지 잔량의 차이가 크며, 가장 먼저 BN2 전체 에너지를 소모하게 되지만 BN1의 에너지 잔량은 가장 많다. 하지만 이 방법은 각 노드의 균등한 에너지 소모가 될 수 없으며, 한 노드에 부담이 집중되어 조기에 노드의 에너지를 소모하게 된다. 그림 10은 [4]에 따른 일정 확률에 의해 양부 노드를 선출할 때 각 노드의 에너지 잔량을 보여준다. 양부 노드가 일정 확률로 교대로 선출되기 때문에 각 노드에 에너지는 일정하게 감소하게 된다. 그로 인해 각 노드의 에너지 격차는 전송 횟수가 늘어날수록 커지게 되고 BN2의 에너지 고갈이 다른 노드에 비해 비교적 빠르다. 그림 11는 제안한 EEAP에 의한 에너지 잔량을 나타낸다. 보는 바와 같이 각 노드의 에너지가 가장 균등하게 소모되는 것을 알 수 있고, 또한 BN2가 위의 다른 두 방법보다 가장 오래 노드가 관리되고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서 제안한 EEAP는 계층적 클러스터 구조인 RODMRP에서 대체 노드의 거리정보와 에너지 잔량을 이용하여 각 대체 경로에서 소모되는 경비를 구하여 경로 상에서 보다 효율적인 대체 노드를 선정하는 기법이다. 선정된 대체노드를 이용하여, 임의의 노드 손상으로

인한 경로 실패 시, 선정된 대체 노드를 통한 전송 경로를 복구한다.

주어진 EEAP의 성능 분석은 모의실험을 통하여 대체 노드의 수가 많을수록 에너지 소모가 적다는 것을 알 수 있었으며, 에너지 잔량의 가중치에 따라 제안된 기법에서 대체 경로로 통한 에너지 소모량이 달라지고, 각 노드들 간의 균등한 에너지 소모율이 달라진다는 것을 알 수 있다. 또한 EEAP로 대체 노드를 선정 할 시, 다른 기법들에 비하여 노드 간의 에너지 소모를 균일하게 하였으며, 그로 인해 노드의 생존 시간을 향상시킴을 확인하였다.

RSSI 거리 정보의 정확성 실험에서 이론값과 실험을 통해 얻은 거리 값을 비교하였지만, 이론값과는 많은 오차가 있음을 알 수 있었다. 따라서 RSSI값을 이용하여 구한 거리 정보를 제안한 EEAP 기법에 적용하기에는 어려움이 있다. 이에 좀 더 정확한 거리를 구할 수 있는 연구가 더욱 필요하겠다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] I. A. Akyildiz, W. Su, Y. sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication magazine, Vol. 40, no 8, pp. 102-114, 2002.
- [2] Sunguk Kim, Kangwhan Lee, "A study on the Resilient Ontology-based Dynamic Multicast Routing Protocol," ICKIMICS2007, vol.1, pp. 59-63, 2007.
- [3] Bumjae Lee, Kangwhan Lee, "Construction of an Efficient Overlay Multicast for Multi-layer," The 9th Proceedings of ICEIC2008, pp. 746-750, 2008.

- [4] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor networks," Wireless Communications, IEEE Transactions, vol.1, no.4, pp. 660-670, 2002.
- [5] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient routing protocols for wireless microsensor networks," in Proc. 33rd Hawaii Int. Conf. System Sciences (HICSS), Maui, HI, 2000.
- [6] C. E. Perkins and E. M. Royer. "Ad hoc on-demand distance vector Routing," In Proc. of IEEE WMCSA, pp. 90-100, 1999.
- [7] C. E. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector Routing (DSDV) for mobile computers," ACM SIG-COMM '94, pp.234-244, 1994.
- [8] D. Johnson, D. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, pp.154-181, 1996.
- [9] Seema Bandyopadhyay, Edward J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," IEEE Societies, pp. 1713-1723, 2003.
- [10] B. Schilit, N Adams, R. Want, "Context-Aware Computing Applications," WMCSA '94, pp. 85-90, 1994.
- [11] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, pp.254-256, 1946
- [12] Paolo santi, "Topology Control in wireless Ad Hoc and Sensor Netowkrs," Wiley, 2005.
- [13] G. Pottie, "Wireless sensor networks," in Proc. Information Theory Workshop, San Diego, CA, pp. 139 - 140, 1998.

저자소개

오영준(Young-jun Oh)

2009년 나사렛대학교 정보통신학과
학사

2011년 한국기술교육대학교
전기전자공학과 공학 석사

2011년~ 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과 박사과정
※ 관심분야 : Ubiquitous computing, WSN, Ad-hoc network, 차세대이동통신기술, Wireless SoC

이강환(Kang-whan Lee)

1983년 한양대학교 전자공학과 학사

1989년 중앙대학교 전자공학 석사

1989년 한국전자통신연구원
선임연구원

2002년 중앙대학교 전자공학 박사

2004년 특허청 서기관

2005년~ 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

※ 관심분야 : WSN, Ad-hoc network, 차세대이동통신 기술, Wireless SoC