

센서 네트워크에서 에너지 보유량을 고려한 라우팅 프로토콜[†]

(Energy Aware Routing Protocol
over Wireless Sensor Network)

최해원*, 유기영**

(Hae-Won Choi, Kee-Young Yoo)

요약 본 논문에서는 센서네트워크를 위한 라우팅 프로토콜인 EAR의 문제점을 제안하고 이를 효율적으로 해결하기 위한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 노드들 간의 홵 수와 에너지 고갈유무, 그리고 에너지 보유량을 동시에 고려함으로써 EAR에 존재하는 잠재적인 네트워크 분할이나 센싱 홀과 같은 문제점을 효율적으로 해결할 수 있다. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 기존의 라우팅 프로토콜의 문제점을 효율적으로 해결하면서 장점을 그대로 유지할 수 있는 특징을 갖는다.

핵심주제어 : 센서 네트워크, 에너지 효율성, 라우팅 프로토콜, 네트워크 수명

Abstract This paper reports the problem in the previous routing protocol, EAR, and proposes an energy aware routing protocol to solve the problem in it. Proposed routing protocol considers the number of hops, the possibility of node exhaustion, and the node energy amount at the same time from the source to the sink. Thereby, it could efficiently solve the potential network separation problem and the sensing hole problem in EAR. Proposed routing protocol could remove the problems in the previous routing protocols but it still gets the advantages in them.

Key Words : sensor network, energy efficiency, routing protocol, network lifetime

1. 서론

초소형 컴퓨터 디바이스를 사물이나 환경에 내재하여 이로부터 정보를 획득하고 활용하는 기술인 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)은 유통관리, 생산관리, 환경 및 재난관리, 에너지관리, 의료 및 건강 서비스, 지능형 홈, 지능형 교통시스템 등 수많은 분야에 응용될 것으로 예측되고 있

다[1-2]. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심요소 중 한 부분인 센서 네트워크(sensor network)는 다수의 노드들이 근접한 거리 또는 실내 환경에서 센싱 능력과 정보처리 능력, 그리고 무선 통신 능력을 가지며 멀티홵(multi hop) 무선 네트워크를 구성하여 정보를 교환한다. 그러나 배터리에 의존하는 센서노드의 제약사항은 매우 심각하며, 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체 네트워크의 최대수명을 보장할 수 있도록 설계되어야 하고 센서 네트워크의 동적인 구성에 빠르게 대응할 수 있어야 한다[3-6].

[†] 본 연구는 BK21 사업의 지원을 받아서 수행되었음.

* 경운대학교 컴퓨터공학과

** 경북대학교 컴퓨터공학과, 교신저자

지금까지 다양한 종류의 라우팅 프로토콜들이 개발되었고, 그 중에서 에너지소비를 줄이려는 대표적인 것이 LEACH(Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy), EAR(Energy Aware Routing), MECN(Minimum energy communication network)이다[7-9]. LEACH는 클러스터링 방식의 프로토콜로서 클러스터 헤드와 슬레이브 노드들 간의 TDMA(Time Division Multiple Access)를 사용한다[7]. 슬레이브 노드는 할당 받은 타임 슬롯에서만 RF트랜시버를 작동시켜 전력소모를 줄인다. EAR은 출발지와 목적지 사이의 경로 중 가장 적은 전력을 소모하는 경로를 찾아서 라우팅을 한다. 그러나 이런 최저전력경로를 이용한 라우팅이 전체 네트워크의 최대수명을 보장하지는 못한다. 따라서 EAR은 최저전력 경로 외에 다른 후보 경로들도 함께 찾아서 각 경로의 잔류전력을 평가하여 각 경로가 선택될 적절한 확률을 부여한다. MECN은 노드들 사이의 최저전력경로에 포함되지 않을 통신링크를 제거한 후 전력소모를 기준으로 Distributed Bellman-Ford Algorithm[10]을 실행하여 최저전력 라우팅을 위한 라우팅 테이블을 구성한다[9]. MECN은 노드들 사이의 최저전력 경로를 알아내기 위해서 EAR과 비슷한 방법을 이용하지만, 라우팅 테이블을 만들기 전에 최저전력 경로와 상관없는 통신링크를 제거한다는 점에서 MECN이 더 우수하다고 할 수 있다. 반면에 네트워크 수명을 위해서 다양한 경로를 이용한다는 점에서는 MECN보다 EAR이 장점을 갖는다. 그러나 이러한 에너지 효율성을 고려한 다양한 프로토콜들도 동작방식에 따라 각각의 문제점들이 존재한다.

본 논문에서는 기존의 센서네트워크를 위한 라우팅 프로토콜의 문제점을 해결하기 위한 새로운 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 먼저 기존의 라우팅 프로토콜 중 EAR을 분석하고 EAR에 존재하는 문제점을 제시한다. 그리고 EAR의 문제점을 해결하기 위한 라우팅 시 에너지 고갈 노드의 유무를 판별할 수 있고, 에너지의 소모를 네트워크 전체에 골고루 분산시킬 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 기존의 라우팅 프로토콜의 장점은 유지하면서 단점을 효율적으로

해결할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 센서네트워크의 라우팅 프로토콜에 대한 기존의 연구를 분석하고 그 중에 본 논문의 동기연구가 된 EAR의 문제점을 제시한다. 3장에서는 기존의 라우팅 프로토콜의 문제점을 해결하기 위한 새로운 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제시한다. 4장에서는 제안된 프로토콜을 EAR과 비교하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 크게 플랫(flat)방식과 계층구조(hierarchy)방식으로 나뉜다. 플랫방식에서는 노드가 모두 동등한 권한을 가지고 다른 노드의 데이터를 목적지로 전달하는 멀티홉(multi hop) 통신을 한다. 대표적인 플랫방식의 프로토콜은 Directed Diffusion[11], MECN[9], EAR[8], SPIN[12]등이다. 계층구조 방식은 노드의 역할이 상위와 하위계층으로 구분되어, 하위계층은 상위계층의 통제를 받으며 데이터 송수신도 언제나 상위계층의 노드를 통해서 한다.

계층구조방식의 프로토콜로서는 LEACH[7], PEGASIS(Power-efficient Gathering in sensor information)[13] 등이 존재한다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 플랫방식을 기반으로 한다. 그러므로 본 장에서는 본 논문과 연계성이 있는 플랫방식 중에서 에너지 효율성을 고려한 대표적인 프로토콜인 EAR 프로토콜을 살펴보고, 이 프로토콜의 문제점에 대해서 제시한다.

2.1 EAR 프로토콜

EAR프로토콜은 단일경로만이 아닌 다중경로를 유지하고 랜덤으로 경로를 선택하여 메시지를 전송한다[8]. 이로 인해서 네트워크 전체 노드의 에너지 소비를 골고루 분산시키는 에너지 효율적인 프로토콜이다. 기존의 에너지 효율성을 고려한 프로토콜은 다중경로 중 최소한의 에너지 소모를 요구하는 경로만 선택하였다. 이러한 방식과 유사한 프로토콜인 Directed Diffusion은 최저전력경로선

택방식을 취하므로, 최저전력경로상의 노드들은 에너지 고갈 우려가 있으므로 네트워크 전체 수명이 감소하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 EAR은 저전력소비 경로 성향을 띠는 다중경로를 찾은 다음, 각 경로의 잔류전력을 평가하여 각 경로가 선택 될 적절한 확률을 부여한다. EAR 프로토콜 동작은 크게 셋업단계와 데이터 통신 단계로 나눌 수 있다[8]. 이때 셋업단계와 데이터 통신 단계는 각각 7가지와 3가지씩의 세부단계로 나뉘는데, 각 단계에 대한 개략적인 설명은 아래와 같이 줄여서 설명 할 수 있다.

1) 셋업 단계

라우팅 테이블을 생성하고 경로를 찾기 위하여 지역적인 플러딩(flooding)을 한다. 이 과정이 수행되는 동안 각 노드는 수식(1)을 이용하여 전체 에너지 소비량(C)을 계산한다. 즉, 노드 N_i 에서 N_j 로 요구 메시지가 보내진다면, N_j 는 수식(1)을 사용하여 N_i 로부터의 경로비용을 계산한다.

$$C_{N_j, N_i} = Cost(N_j) + Metric(N_j, N_i) \quad (1)$$

위식에서 $Metric$ 에는 노드의 에너지 잔류량에 따라 전송과 수신비용이 저장되고 $Metric(N_i, N_j)$ 은 N_i 와 N_j 사이의 에너지 잔류량에 따른 전송과 수신비용을 의미한다. 이렇게 계산된 경로들 중 많은 비용이 요구되는 경로는 버린다. 노드는 라우팅 테이블(포워딩 테이블)에서 정해진 경로와 부합하는 이웃 노드들에게 각각 수식(2)를 사용하여 확률을 할당한다.

$$P_{N_j, N_i} = \frac{1/C_{N_j, N_i}}{\sum_{k \in FT_j} 1/C_{N_j, N_k}} \quad (2)$$

N_j 는 수식(3)를 사용하여 포워딩 테이블(FT_j)에서 이웃노드들을 경유하여 목적지에 도달 할 수 있는 평균비용을 계산한다.

$$Cost(N_j) = \sum_{i \in FT_j} P_{N_j, N_i} C_{N_j, N_i} \quad (3)$$

구해진 N_j 의 평균비용은 요구 메시지의 비용 필드(cost field)에 기입되고 다시 포워딩 된다.

2) 데이터 통신 단계

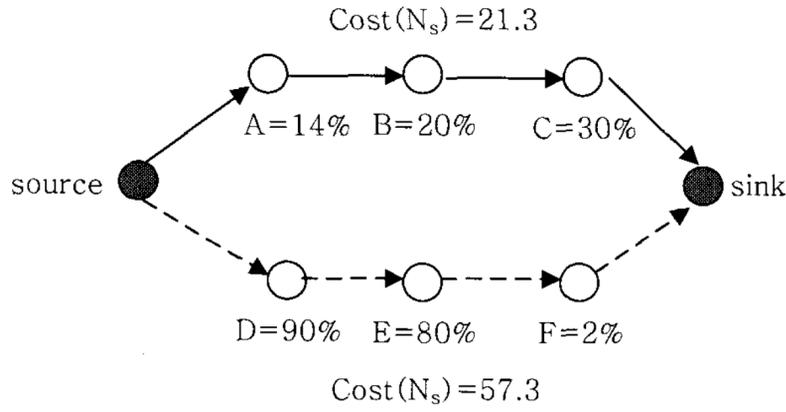
각 노드는 확률이 부여된 포워딩테이블로부터 다음 포워딩 할 노드를 랜덤하게 선택하여 패킷을 포워딩 시킨다.

1단계에서 살펴본 바와 같이 노드 N_i 에서 N_j 까지 경로의 비용은 N_i 에서 N_j 까지 선택확률(P)과 에너지소비비용(C)의 합에 의해 결정된다. EAR에서는 각 경로에 선택될 확률이 부여됨에 따라 최저전력소비경로만 선택되지 않고 전력이 충분한 다양한 경로가 선택되어 질 수 있다. 이러한 EAR은 최단경로 상에 속하는 노드가, 속하지 않는 노드들보다 라우팅 임무가 가중되어 발생할 수 있는 집중적인 에너지 소비문제를 다중경로를 선택함으로써 해결하였다. EAR은 Directed Diffusion과 비교하였을 때 노드간의 에너지 절약적인 측면에서는 21.5%의 개선을 보였고, 네트워크 전체 수명은 44% 길어졌다.

2.2 EAR 프로토콜의 문제점

본 절에서는 EAR의 두 가지 문제점을 다음과 같이 제시한다. 먼저, EAR은 라우팅 경로 선택 시 노드의 최저전력소비량을 계산하여서 평균값이 큰 경로를 선택하기 때문에 중계 홉 노드 각각의 에너지 잔류량이 무시되어질 수 있다. 그림 1은 EAR의 첫 번째 문제점을 보여주고 있다. 그림 1에서 보여 주듯이 소스노드가 싱크로 메시지를 전송하기 위해서는 A노드가 포함된 경로와 D노드가 포함된 경로중 하나의 경로를 선택할 수 있다. 이 과정에서 EAR 프로토콜은 평균비용($Cost(N_s)$)이 큰 경로인 D노드를 포함하는 경로를 선택할 것이다. 하지만 D노드를 포함하는 경로에는 에너지 보유량이 아주 적은 F노드가 포함되어 있어서 네트워크의 분할을 야기할 수 있는 문제점이 있다.

또 다른 문제점은, 랜덤성향을 띠는 확률을 각 경로에 부여하는 것은 다양한 경로를 선택하여 최단경로에 속하는 노드의 에너지 소비를 분산시킬 수는 있지만 전체 노드간의 에너지 소모율의 편차가 커질 수 있다는 점이다.



(그림 1) EAR 프로토콜의 문제점

3. 제안된 라우팅 프로토콜

본 장에서는 EAR 프로토콜의 문제점을 해결하기 위하여 각 노드의 에너지 잔류량을 이용한 에너지효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안한 프로토콜은 전체 네트워크에서 노드의 에너지 사용을 균등하게 분산시킴으로서 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있다. 라우팅 프로토콜은 라우팅을 위해서 싱크노드에서 플러딩 과정을 통해 노드의 에너지 잔류량과 최단경로 테이블을 생성한다. 이러한 수행을 위해서 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 라우팅테이블 설정과 라우팅 경로선택 단계로 구성된다. 먼저 라우팅 테이블 설정 단계에서는 라우팅을 위한 노드의 에너지 잔류량 정보를 포함한 라우팅 테이블을 생성한다. 그리고 라우팅 경로 선택 단계에서는 생성된 라우팅 테이블에서 에너지 효율적이 경로를 선택한다. 각 단계의 구체적인 처리는 다음 소절에서 설명한다.

3-1. 라우팅 테이블 설정

본 소절에서는 라우팅 시 경로를 선택하는데 사용될 *Metric*(라우팅 테이블)을 생성한다. *Metric*의 각 필드는 아래와 같다.

- ID_i : 노드 i 의 식별자
- E_i : 노드 i 의 에너지 잔류량
- HC_i : 싱크노드에서 노드 i 까지 최소 홉 수
- EW_i : 싱크노드에서 노드 i 까지 경유한 경로에 에너지 고갈의 염려가 있는 노드의 유무

*Metric*을 생성하기 위한 라우팅 테이블 설정단계는 다음과 같으며 초기 싱크노드가 플러딩 메시지 $\{ID_i, E_i, HC_i, EW_i\}$ 를 송신한다.

단계 1 : 싱크노드는 소스노드가 있는 네트워크에 플러딩 함으로서 연결을 설정한다. 싱크노드는 요구 메시지를 보내기 전에 홉수인 HC_s 를 0으로 초기화 하고, 에너지 고갈 유무 EW_s 는 *false*로 설정한다.

단계 2 : 요구 메시지를 송신한 노드는 새로운 요구 메시지에 대해서만 요구 메시지를 재전송 한다. 이미 처리한 요구 메시지에 대해서는 무시한다.

단계 3 : 요구 메시지를 받는 노드 i 는 *Metric*에 메시지에 포함된 정보를 이용하여 노드의 식별자, 에너지 잔류량, 홉 수, 에너지 고갈유무를 저장한다.

단계 4 : 생성된 *Metric*에서 다음 수식을 사용하여 다음순서의 라우팅 경로(*path*)를 찾는다.(여기서 S 는 *Metric*에서 홉 수가 작은 인근노드의 집합을 의미한다.)

$$S = \{MIN_{hopcount}(N_i, N_j)\} \quad (4)$$

$$Path = MAX_{energy}(S) \quad (5)$$

만약, 수식(5)에서 선택된 경로의 에너지 고갈 필드 EW_s 가 *true*이면 경로에 속한 노드 중 특정 노드가 에너지 고갈의 염려가 있다는 의미이므로, 선택에서 제외한다. 이러한 경우 집합 S 에서 다음 후보자를 *Path*로 선택한다.

단계 5 : 수신된 메시지의 ID_i, E_i 를 자신의 정보로 갱신하고, 단계 3에서 찾은 *Path*의 HC_i 의 값을 1 증가시킨다. EW_i 는 자신의 에너지 잔류량이 시스템의 임계값 미만이거나, 단계 3에서 *Path*를 찾지 못하였다면 *true*로 설정하고, 그렇지 않은 경우에는 *false*로 설정하여 요구 메시지를 플러딩한다.

단계 6 : *Metric*의 메모리를 최적화한다.

라우팅 테이블을 유지하는데 있어서 *Metric*의

크기와 인근 노드의 수는 아주 밀접한 상관관계가 있기 때문에 공간 집약적인 토폴로지에서는 모든 인근 노드의 정보를 저장하는 것은 메모리 사용에 비효율적이다. 이를 해결하기 위해서 단계5에서는 *Metric*에서 인근노드 중 상대적으로 다른 노드보다 큰 HC_i 를 갖는 노드를 저장 대상에서 제외시킨다. 이러한 과정을 반복함으로써 싱크노드로부터 각 노드까지의 연결정보를 위한 효율적인 *Metric*을 각 노드가 생성할 수 있다.

3-2. 라우팅 경로 선택

제안하는 프로토콜은 라우팅 테이블 설정 단계에서 생성된 각 노드의 *Metric*을 기반으로 각각의 노드가 단일 홉 라우팅을 하여 경로를 선택한다. 그 과정은 다음과 같다.

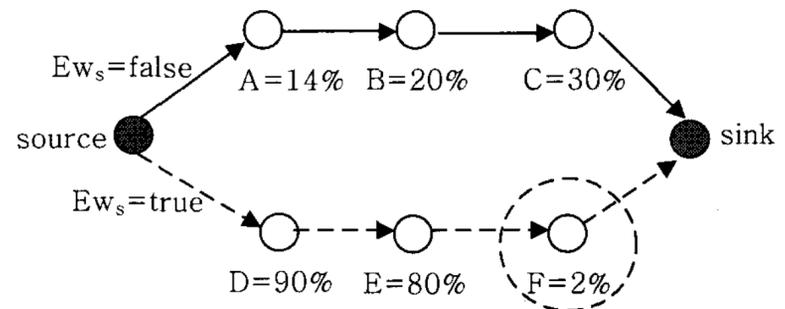
- 단계 1 : 수신 메시지의 요구사항을 만족하는 노드는 라우팅 테이블 설정단계에서 생성된 *Metric*에 기반하여 싱크노드까지 경로를 라우팅 테이블 설정의 단계 4를 이용하여 선택한다.
- 단계 2 : 경로에 속하는 중간 노드들은 단계 1에서의 방식을 이용하여 소스노드로부터 받은 메시지를 싱크노드까지 포워딩시킨다.
- 단계 3 : 이러한 작업은 패킷이 목적지 노드에 도착할 때까지 계속 수행된다.

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 임의의 경로가 최소의 홉 수를 가진다고 하더라도 단계 1에서 에너지 잔류량이 시스템의 임계값 미만이면 라우팅을 위한 후보에서 제거한다. 이렇게 함으로써 네트워크 전체에 에너지 소비의 분산 효과를 최대화 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 프로토콜은 최악의 경우라고 하더라도 싱크와 소스노드 사이의 에너지가 잔류량이 충분한 노드를 항상 선택한다. 하지만, EAR에서는 *Metric*에 단지 인근노드까지의 에너지 잔류량만 저장하기 때문에 전체 경로 상에 에너지 소진 가능성이 있는 노드의 유무를 판별할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 *Energy*

warn 필드를 이용한다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 프로토콜의 처리 과정을 개념적으로 제시한다.

소스노드의 *Metric*

ID	E	HC	EW _s
A	14	3	false
D	90	3	true



(그림 2) 라우팅 프로토콜의 개념적 처리도

그림 2에서 보여주듯이, 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜의 핵심은 다수의 경로 중 에너지 분산효과를 최대화 할 수 있는 에너지 효율성을 고려한 전송경로를 선택하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 노드의 에너지 잔류량을 고려하는 면에서는 EAR과 유사하지만 경로선택 기법에 있어서 차이가 있다. 즉, 본 논문의 프로토콜은 인근노드의 에너지 잔류량과 최단거리를 기준으로 하여 노드 각각의 에너지 잔류량을 고려할 수 있지만, EAR은 경로에 속하는 노드의 평균 에너지 잔류량과 랜덤적인 경로선택 확률을 이용하여 전송경로를 선택하므로 에너지 소비를 네트워크 전체로 분산시킬 수 없는 문제점이 존재한다.

4. 분석

본 장에서는 EAR [8]과 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜 간의 분석을 제시한다. 표 1은 두 라우팅 프로토콜 간의 복잡도의 비교를 보여준다. EAR은 라우팅 테이블 생성단계에서 경로의 평균적인 비용을 계산하고 확률을 부여하는 경로를 선택하는 반면에, 본 논문에서 제안한 프로토콜은 인근노드의 에너지 잔류량과 경유하는 홉 수를 그대로 사용하기 때문에 EAR의 복잡도를 단순화시킬 수 있는 장점이 있다.

표 2는 라우팅 경로 선택에 있어서의 에너지 소진가능 노드의 판별에 대한 두 프로토콜 간의 차이를 보여준다. EAR은 경로 선택에 있어서 노드들의 평균 에너지 잔류량을 사용하기 때문에 단일 경로상의 특정 노드의 에너지 잔류량이 소진 상태이지만 다른 노드들의 에너지가 상대적으로 풍부하다면 이 특정노드의 에너지 잔류량이 무시될 수 있는 가능성이 존재한다. 만약, 이러한 일이 빈번히 발생된다면 일부 노드들의 에너지가 고갈되게 되어 네트워크 분할(network partitioning)과 해당지역을 센싱(sensing)할 수 없는 센싱 홀(sensing hole)과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 하지만, 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 에너지 소진 필드인 EW_i 를 사용하므로, 경로 중에서 에너지 소진의 염려가 있는 노드가 있는지를 판별할 수 있어 EAR에서 발생할 수 있는 문제를 효율적으로 해결할 수 있다.

<표 1> 라우팅 프로토콜의 복잡도

속성 프로토콜	복잡도
EAR[8]	$P_{N_j, N_i} = \frac{1/C_{N_j, N_i}}{\sum_{k \in FT_j} 1/C_{N_j, N_k}}$ $Cost(N_j) = \sum_{i \in FT_j} P_{N_j, N_i} C_{N_j, N_i}$
제안된 프로토콜	$S = \{MINhopcount(N_i, N_j)\}$ $Path = MAXenergy(S)$

<표 2> 라우팅 경로선택

속성 프로토콜	에너지 소진 노드 판별	경로선택방식
EAR	판별불가능	노드의 평균 에너지 잔류량
제안된 프로토콜	판별가능	각 노드의 개별 에너지 잔류량 고려

5. 결론

본 논문은 센서네트워크의 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시킬 수 있는 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 기존의 EAR프로토콜에서 존재하는 문제를 효율적으로 해결하여 센서 네트워크의 전력 요구사항을 전체네트워크에 골고루 분산시킬 수 있는 장점을 가진다. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 최악의 경우라고 하더라도 싱크와 소스노드 사이의 에너지가 잔류량이 충분한 노드를 항상 선택한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 *Energy warn* 필드를 이용하였다. 즉, 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 라우팅 경로를 선택할 때 노드의 에너지 잔류량을 고려하여 최단경로를 선택하므로, 기존의 라우팅 프로토콜의 문제점을 해결하면서 장점은 그대로 유지할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] M. Weiser. Some Computer Science Issue in Ubiquitous Computing. *Comm. ACM*. Vol 36, No. 7, pp. 75-84, 1993.
- [2] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, G. Sukhatme. Connecting the Physical World with Pervasive Network. *Pervasive Computing IEEE*, Vol 1, No 1, pp. 59-69, 2002.
- [3] S. Selvakennedy, S. Sinnappan, Yi Shang. A biologically-inspired clustering protocol for wireless sensor network. *ELSEVIER Computer Communications*, 2007.
- [4] L. Krishnamachari, D. Estrin, S. Wicker. The impact of data aggregation in wireless sensor Network. *Proc. of the 22nd International Conference on Distributed Computing System Workshops*, Vienna, Austria, pp. 575-578, 2002.
- [5] D. Ganesan, A. Cerpa, W. Ye, Y. Yu, J. Zhao, D. Estrin. *Networking Issue in Wireless Sensor Networks*. Journal of

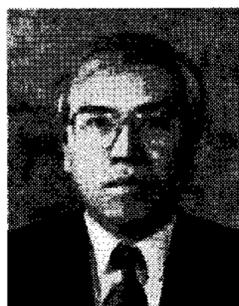
Parallel and Distributed Computing(JPDC), 2003.

- [6] C. Chi, M. Hatler. *Wireless Sensor Networks :Mass Market Opportunities*, ON World, 2004.
- [7] W. R. Heinzelman, A. Chandrachsan, H. Balakrishnan. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Network. *Proc. of IEEE Hawaii International Conference on System Sciences(HICSS)*, Vol. 8, pp. 1-10, 2000.
- [8] R. C. Shah, J. M. Rabaey. Energy Aware Routing for Low Energy ad hoc Sensor Network. *Proc. of IEEE Wireless Communication and Networking Conference(WCNC)*, 2001.
- [9] V. Rodoplu, T. H. Meng. Minimum Energy Mobile Wireless Network. *IEE Journal Selected Areas in Communications*, vol. 17, pp. 1333-1344, 1999.
- [10] N. A. Lynch. Distributed Algorithms. *Morgan Kaufmann Publishherm.* pp. 51-80, 1996.
- [11] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor network. *Proc. of ACM International Conference on Mobile Computing and Networking(MOBICOM)*, pp. 56-67, 2000.
- [12] W. R. Heinzelman. J. Kulik, H. Balakrishnan. Adaptive Protocol for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks. *Proc. of ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp. 174-185, 1999.
- [13] S. Lindsey, C. Raghavendra. PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information System. *IEEE Aerospace Conference*, 2002.



최 해 원 (Hae-Won Choi)

- 정회원
- 1996년 2월 : 경일대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사 수료)
- 2006년 3월~현재 : 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사.
- 관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서 네트워크, 무선 네트워크 보안



유 기 영 (Kee-Young Yoo)

- 1976년 2월 경북대학교 수학과 (이학사)
- 1978년 KAIST 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 1992년 Rensselaer Polytechnic Institute, New York, Computer Science(이학 박사)
- 1993년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 교수
- 관심분야 : 정보보호, 무선네트워크 보안, RFID, 오토마타, DRM