

유비쿼터스 센서네트워크에서 균일한 에너지 소모를 유도하는 경로설정기법

정회원 윤미연*, 이광겸**

An Uniform Routing Mechanism with Low Energy Consumption over Wireless Sensor Network

Mi-youn Yoon*, Kwang-kyun Lee** *Regular Members*

요 약

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 감지기능을 수행하기 위해서는 센서노드에서 싱크로의 라우팅 기법이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 데이터의 전달을 위한 경로설정시 에너지의 효율성 및 균일성을 제공하는 제어메시지의 확률적 플래딩을 제안하며 에너지의 소모를 되도록이면 균일하도록 유도하는 에너지확률을 이용하고 경로를 은닉할 수 있는 분산 라우팅기법을 제안하였다. 에너지효율성을 측정하기 위하여 수학적 모델링과 NS-2 시뮬레이터를 이용하였다. 각 기법은 기존의 관련연구와 비교분석하여 본 논문에서 제안한 기법이 우수함을 증명하였다.

Key Words : wireless sensor network, energy-constraints, routing, WSN

ABSTRACT

WSN(Wireless Sensor Network) performs to detect and collect environmental information for one purpose. As examples, WSN is applicable for home network, patient management of a hospital, logistics management, status detection during the war and so on. The WSN is composed of a sink node and several sensor nodes and has a constraint in an aspect of energy consumption caused by limited battery resource. So many required mechanisms in WSN should consider the remained energy condition. A routing mechanism is requested to deliver the collected information to a sink considering energy efficiency in WSN. There have been many researches to establish (a) route(s) for data delivery to the sink. In this paper, we propose establishment of efficient routes. We proposed a uniform routing mechanism together with considering energy efficiency. For the routing, we define energy probability as routing metrics information and performs suppression of exchange of control messages. In addition, we derive to uniformly consume the energy of the sensor node when establishing the routes. Also, we evaluate and analyze the energy efficiency for proposed mechanisms through NS-2 simulator.

I. 서론

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 자료 수집을 위한 네트워크로 초경량, 저전력의 많은 센서 노드들이 넓은 지역이나 조밀한 지역에 설치되어 무

선으로 자료를 주고받는 네트워크이다. 센서노드는 싱크 노드라는 관리 노드로부터 자료 요청을 받으며 수집된 자료를 송신하게 되는데 이 과정에서 센서노드와 센서노드들 간의 통신이 무선으로 이루어지며 센서 노드와 싱크 노드사이에서도 데이터의

* 한국정보보호진흥원 기술기획팀 (myyoon@kisa.or.kr),
논문번호 : KICS2005-08-352, 접수일자 : 2005년 8월 29일

** 숭실대학교 ICN 연구실 (goodwin77@cherry.ssu.ac.kr)

전송이 무선으로 이루어진다. 이러한 USN은 인간 외부환경의 감지와 제어 기능을 수행하게 될 것이며, 예들 들어 화재동화를 유도하는 홈네트워크의 구성에도 USN이 적용될 것이며, 도로의 교통관리 시스템, 의료시스템, 물류시스템 하물며 인간의 경제 활동에도 USN의 기술이 적용될 것으로 기대된다. 본 논문에서는 USN상에서 싱크까지 데이터의 전달을 위한 경로설정기법을 제안한다.

에너지를 효율적으로 사용하면서 데이터를 전달하기 위해 경로설정 메트릭으로써 에너지량과 방향성 및 시간정보를 이용하였다. 방향성과 시간정보를 이용하여 되도록이면 빠른 경로를 설정하도록 제안하였으며, 에너지량을 이용하여 노드의 에너지량이 균일하도록 제안하였다. 세가지 메트릭에서 에너지량을 이용하여 에너지확률값을 생성함으로써 정해진 확률을 넘기는 노드중에서 확률적으로 선택할 수 있도록 제안하였으며, 방향성은 싱크로부터의 초기 세션 신호의 도착시의 타임스탬프값을 이용하여 결정할 수 있으며 또한 세션 신호의 도착 순서에 따라 시간정보를 설정할 수 있도록 제안하였다.

2장에서는 본 논문과 관련된 여러 기존 연구들을 소개하고 3장에서는 에너지 효율적인 경로설정기법에 대해 제안한다. 그리고 4장에서는 제안하는 기법을 에너지 효율적인 측면에서 성능을 분석하도록 한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2장에서는 센서네트워크상에 존재하는 물리적 여러 제약조건들을 포함하여 USN에 대해 소개한다. USN상에서 제안된 기존의 경로설정기법으로 플러딩^[9], SPIN^[9], DD^[2], LEACH^[9]기법을 소개하도록 한다.

USN은 자료 수집을 위한 네트워크로 초경량, 저전력의 많은 센서노드들이 넓은 지역이나 조밀한 지역에 설치되어 무선으로 자료를 주고받는 네트워크로 유비쿼터스 컴퓨팅환경의 중요한 요소이다. 유비쿼터스 컴퓨팅 환경이란 어떤 기기(Any device)로든 언제(Anytime) 어디서나(Anywhere) 사용자가 PC를 활용할 수 있는 환경이다. 이러한 환경에서 인간 외부환경의 감지와 제어기능을 수행하기 위한 네트워크가 바로 USN이다. 각 센서노드는 자신이 담당하고 있는 영역에서 목표의 상태정보를 수집하고 이를 무선채널을 통하여 싱크까지 전달한다. 이때, 데이터의 전달은 센서노드에서 싱크까지 한 홉 이상 존재할 수 있다. 따라서 싱크와 센서들 간의

애드 혹 네트워크가 형성되어야 하며 형성된 애드 혹 네트워크상의 센서노드들을 라우터로 하여 싱크까지 데이터를 전달할 수 있다. 이렇게 전달된 데이터는 싱크를 통해 본 정보를 요구하는 관찰자에게 보내지며 싱크와 관찰자 시스템은 동일하거나 상이할 수도 있다. 상이한 경우, 싱크부터 관찰자 시스템까지는 싱크가 가지는 가입자망의 형태에 따라 무선네트워크 또는 유선네트워크를 통해 전달될 수 있다.

USN의 응용분야로는 크게 전장환경, 홈네트워크, 긴급재난, 교통관리, 물류관리, 의료관리와 과학분야에의 필요 정보의 수집으로 들 수 있다. 전장환경에서는 아군의 상태 및 적군의 감시 등에 사용될 수 있으며, 홈네트워크에서는 자신이 위치한 곳에서 자동으로 가전기기들을 제어하거나, 집안의 온도 및 침입자의 감지 등을 수행할 수 있다. 긴급재난시는 인간이 쉽게 접근할 수 없는 긴급재난 지역의 생존자 현황 또는 현재상태 등을 빠르게 수집할 수 있다. 교통관리는 센서노드를 이용하여 현재 도로교통현황과 사고발생 등의 상황 등을 감지할 수 있으며, 여러 산업분야에서는 유통 물류의 추적 또는 상태 파악 등 여러 곳에 응용될 수 있을 것이다. 또한 의료관리분야에서는 병원내의 환경상태의 감지, 환자상태의 모니터링 등에 적용될 수 있으며 과학분야에서는 관찰하고자 하는 개체의 상태 변화 등을 감지할 수 있다.

USN에서의 싱크까지 데이터 전달을 위한 대표적인 경로설정기법으로 플러딩, 평면적 라우팅 그리고 계층적 라우팅 방식이 있다. 센서네트워크에서의 초기 라우팅 방식은 에너지 소모를 적게 하기 위해 경로설정과정이 없는 플러딩 방식이 제안되었으며, 이후 에너지 효율만을 고려한 평면적 라우팅 기법과 데이터의 취합과정을 수행하는 계층적 라우팅 기법으로 제안되어 왔다.

초기에 제안된 플러딩기법^[9]은 특정한 경로의 설정 없이, 이웃 노드에게 전체 데이터를 보내는 과정을 반복한다. 따라서, 경로설정에 드는 에너지 소모는 없지만, 그에 따른 메시지의 중복전송으로 인한 불필요한 에너지 소모를 초래할 수 있다. 이를 위해 개선된 플러딩기법이 제안되었는데, 정의된 제한된 영역에 플러딩 하는 방식이며 클러스터링 방식과 비클러스터링 방식이 있다. 클러스터링 방식에서는 대표노드 및 게이트웨이 노드 선출을 통하여 해당 노드만이 플러딩기능을 수행하게 하여 중복정보의 전송을 줄였으며, 비클러스터링 방식에서는 플러딩할

이웃노드집합을 제한함으로써 중보정보 전송시의 불필요한 에너지를 줄였다. 그러나 여전히 불필요한 데이터의 전송 또는 수신에 소모되는 에너지가 크다.

평면적 경로설정기법으로서의 SPIN^[9]은 싱크 또는 이웃노드의 요청으로 인해 초기화되는 것이 아닌, 데이터를 보낼 센서노드가 자신의 감지정보를 광고하면서 시작된다. 해당 광고메시지를 받은 이웃노드 중 필요한 노드는 해당 노드에게 데이터를 전달해줄 것을 요청(b-req)며, 데이터를 가진 노드는 요청한 노드에게 데이터를 전달한다. 이러한 광고-요청-데이터전달의 세단계계를 각 센서노드가 반복적으로 수행하면서 해당 정보가 전체 USN로 전달될 수 있다. 또한 센서노드가 일정 에너지 이하로 내려갈 경우, 휴면상태로 진입함으로써 센서노드의 배터리 고갈상태를 방지하였다.

계층적 라우팅 방식의 대표적인 기법인 LEACH^[9]는 이웃노드의 리더노드들을 선출함으로써 리더노드를 통해 여러 소스노드로부터의 데이터를 취합하고 전달하는 기법이다. 리더노드들은 각 노드가 가지는 임의의 확률이 일정 확률 이하일 경우에 그 대상이 되며 그 중에서 리더노드를 선출한다. 또한 리더노드들의 에너지 소모의 균일성을 기하기 위해 리더노드들은 리더의 책임을 한번씩 돌아가면서 수행한다.

센서네트워크에서의 대표적인 라우팅 기법으로서 DD(Directed Diffusion)^[2]는 평면적 라우팅 방식을 가지며, 싱크로부터 이웃노드들을 거쳐서 플러딩되는 인터레스트(interest)정보를 이용하여 이웃노드에 대한 정보를 캐싱하며 본 정보와 인터레스트가 전달된 역방향으로 그레디언트(gradient)값을 설정하여 함께 기억하고 있다. 이를 통하여 각 노드들은 싱크로 통하는 여러 개의 임시 경로를 가지고 있게 되어 해당 경로로 데이터를 전달한다. 초기의 데이터를 전달받은 싱크는 빨리 데이터를 전달하는 노드에 대하여 더 빠른 주기로 인터레스트를 보냄으로써 하나의 경로로 데이터를 전달하는 효과를 볼 수 있다. 각 과정은 인터레스트 플러딩 그리고 그레디언트 생성하여 데이터를 보내는 단계로 볼 수 있으며, 임시로 저장한 여러 그레디언트 정보 중 가장 높은 주기의 그레디언트를 찾아 경로를 보장하는 단계를 거친다.

Ⅲ. 에너지소모의 효율성 및 균일성을 고려한 확률적 경로설정

본 장에서는 데이터의 전달을 위해 센서네트워크 상에서 경로를 설정하는 기법에 대하여 제안한다.

세션을 시작하는 세션 신호 i 를 받은 각 노드는 자신의 에너지수준확률 P_E 을 이웃노드에게 플러딩한다. 각 노드는 다른 노드들에게서 받은 P_E 값 중 큰 P_E 를 가진 일부 노드의 현재 Id 정보 중 노드의 방향벡터 정보 θ 가 싱크의 방향인 노드들의(Id, P_E) 형태로 임시로 저장하고 있다. 저장된 각 정보를 이용하여 싱크에게 보낼 데이터를 가진 노드는 자신이 알고있는 이웃 노드에게 데이터를 전송하며 첫 번째 데이터를 받음으로서 자신이 중계노드로 선출되었음을 알 수 있다. 하나의 송신 노드에서 싱크까지의 경로는 하나 이상을 가진다. 이는 유일 경로를 설정하여 데이터 전달동안 선출된 중계노드들만이 에너지를 소모하여 해당 노드가 다른 노드보다 빨리 에너지가 고갈되는 현상을 방지하기 위함이다. 그러나 실시간 데이터와 같이 데이터의 수신 순서와 시간이 중요시되는 데이터의 경우는 싱크에서 세션 신호에서 이를 알리는 식별값을 추가하여 유일경로를 통한 데이터 전달을 가능할 것이다.

3.1 낮고 균일한 에너지 소모를 유도하는 경로 설정기법

세션 신호 i 를 수신받은 각 센서노드는 수식 (1)에 의해 도출된 자신의 에너지수준확률값 P_E 를 세션 신호와 함께 이웃 노드에게 플러딩을 수행한다. 각 이웃 노드로부터 P_E 값을 받은 센서노드는 에너지 확률값이 큰 일부노드의 정보를 임시로 저장하고 있다. 각 센서노드가 경로설정을 위하여 저장하는 정보는 방향벡터 정보 θ 가 싱크방향인 노드들의 Id 값과 에너지확률(Id, P_E)의 형태로 저장하고 있다. 이때, 각 노드는 자신의 위치 정보를 알고 있다라고 가정하며 자신의 위치정보를 기준으로 하여 싱크로부터 세션 신호를 수신받은 방향을 기억하고 있으므로 이웃노드들이 싱크의 방향에 존재하는 노드인지, 반대방향인지를 알 수 있다. 방향벡터 정보 θ 는 수식 (2)와 같이, 정확한 값이라기보다는 싱크가 존재하는 방향인지 반대방향인지 정도를 알 수 있도록 해준다. 싱크의 반대방향에 있는 노드를 중계노드로 선택하는 경우를 배제함으로써 경로의 루프 발생을 방지하고 싱크까지의 더 빠른 경로를 선택할 수 있도록 한다. 마지막으로 에너지절약을 위해 데이터를 전송하고 있는데 다른 노드로부터 또 다른 데이터를 수신한다면, 데이터취합과정^[11]을 통해 전송할 데이터의 양을 줄이도록 한다.

$$P_E = \frac{1}{|E_T - E_C + S|}$$

where

$$S = \begin{cases} s > 1 & \text{if the node is a source} \\ 1 & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta = \begin{cases} 1 & \text{if towards the sink} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

수식 (2)는 플러딩되어 오는 메시지 중 이미 받은 세션 신호를 다시 보내는 경우를 싱크의 반대방향이라고 간주하여 0으로 설정하고 그 외의 경우는 1로 설정한다. 이는 최초의 세션 신호가 싱크로부터 온다는 사실에 준하여 각 노드까지의 전파지연을 고려함으로써 세션 신호를 더 빨리 수신한 노드가 싱크쪽에 더 가까이 위치한다는 점을 이용하였다. 경로설정 메트릭 정보(Id , P_E)를 가지고 그림 1과 같은 규칙에 의해 다음 노드를 선택하며, 그림 2에 의해 초기 이웃노드의 존재 및 대응하는 정보를 설정한다.

싱크에게 전달할 데이터를 가진 센서노드는 그림 3과 같이 자신이 가진 이웃노드의 정보를 이용하여 다음 중계노드를 선택하여 데이터를 전달한다. 각 송신노드가 데이터를 전달하기 위해 선택하는 경로는 hop-by-hop형식으로 다중 경로를 선택한다.

이는 각 노드의 에너지 소모의 균일성을 제공하기 위한 것으로 유일 경로를 선택하였을 때, 특정 노드들의 에너지의 소비가 많아져 일부노드의 배터리 고갈로 인한 고장을 방지하기 위함이다. 센서네트워크에서는 노드의 고장이 네트워크분리 현상을 초래하고 결국 네트워크 전체의 고장을 가져올 수 있기 때문이다. 표 1은 제안하는 알고리즘들에서 정의된 변수와 명령에 대해 정의하고 있다.

각 중계노드에서의 다음 중계노드 선택 규칙

$$\exists X \text{ s.t. } t_x > t_y \text{ for } \forall X, Y \in N_G \text{ where } N_G = \{X | \alpha_x = 0 \wedge P_E(X) > P_E(a) \text{ and } P_E(a) = \alpha(T_E + R_E)\}$$

- X : 이웃노드
- N_G : 대상 이웃노드의 집합
- t_x : X 노드로부터의 세션 신호시의 타임스탬프값
- t_y : Y 노드로부터의 세션 신호시의 타임스탬프값
- $P_E(X)$: X 노드의 에너지 확률값
- $P_E(a)$: 중계노드 역할이 가능한 최소 기준 에너지값
- α_x : X 노드의 방향성
- T_E : 데이터 전송시 단위 소모에너지
- R_E : 데이터 수신시 단위 소모에너지
- a : 1이상인 비율값

그림 1. 각 센서노드에서의 다음 중계노드 선택 규칙

표 1. 알고리즘 5와 6에서의 변수 및 명령어 정의

| 함수 및 변수 | 설명 |
|------------------------|-----------------------|
| Calculate x | x 를 정의한 식에 의해 계산 |
| Store x | x 를 저장 |
| Update x | x 정보를 갱신 |
| Flood x | x 를 이웃노드에게 플러딩 |
| Ignore x | x 를 무시 |
| Choose x | x 를 선택 |
| Send x to y | x 를 y 에게 전송 |
| Execute x | x 를 실행 |
| Set x | x 를 설정 |
| Id_x | x 의 ID 정보 |
| P_x^E | x 의 에너지확률 정보 |
| t | 타임스탬프값 |
| M | 데이터 또는 메시지 |
| $Next$ | 다음 노드 |
| $result$ | 알고리즘의 수행결과 |
| T | 참 |
| F | 거짓 |
| $adv(x)$ | x 를 이웃노드에게 광고하는 메시지 |
| $wait_timer_x$ | x 의 타이머 |
| $Previous$ | 수신메시지의 송신노드 |
| Me | 현재 자신노드 |

알고리즘 1. 초기 이웃발견 알고리즘

입력 : 세션 신호 i

출력 : 노드에 캐싱된 이웃 정보(Id_i , P_E)

Procedure *initial*(i)

Calculate θ for the previous transmitting i //through equation 2

If $\theta = 0$ **Then Ignore** the transaction

Else

Begin

Store ($Id_{previous}$, $P_{Previous}^E$)

Update (Id_{Me} , P_{Me}^E) and t of i

Flood i to neighbors

End

{(Id , P_E) is routing metrics information to deliver data towards the sink}

그림 2. 초기 이웃발견기법

그림 2는 초기 세션 신호 수신 후 세션 신호를 이웃노드들에게 플러딩하면서 이웃노드를 발견하는 기법을 나타낸 것으로, θ 정보를 먼저 계산하고 싱크 방향에 놓인 노드들에 대한 경로설정정보(Id , P_E)를 저장후 세션 신호에 자신의 ID정보(Id_{Me})와 P_E 정보(P_{Me}^E) 그리고 타임스탬프(t)정보를 갱신 후에 자신의 이웃 노드들에게 다시 세션 신호를 플러딩한다.

그림 2는 초기 이웃발견 후에 자신이 보낼 데이터가 있거나, 다른 노드로부터 데이터를 수신시에 자신이 다음 경로를 설정하는 기법으로 자신이 가진 이웃노드의 정보를 기반으로 하여 그림 1의 중계노드 선택기준에 의해 다음 노드를 결정하여 데이터를 전송하고 자신의 현재 P_E 정보와 선택한 중계노드의 P_E 정보를 현재 자신이 데이터를 처리하여 다음 노드로 보낼 때 수신하는 에너지정도를 감소 시킴으로써 갱신한다.

알고리즘 2. 경로설정 알고리즘

입력:감지한 정보 또는 이웃노드로부터 수신한 다른 감지 정보

출력:노드전달의 성공여부

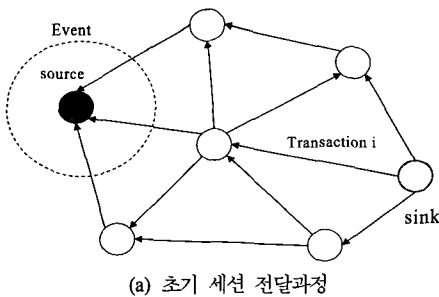
Procedure *pathEstablish*(*M*)

```

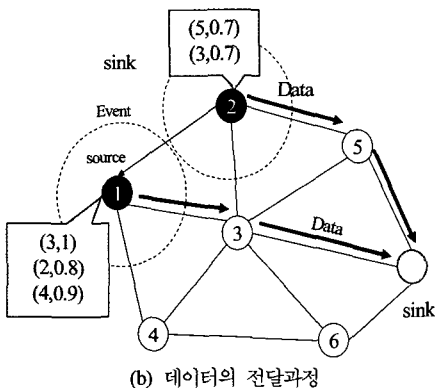
If M to send to sink Then
  Choose next through [그림 2] based on (Id,  $P_E$ ) information of neighbor nodes
  Send M to next
  Update  $P_{E_{next}}$  and  $P_{Me}$ 
  If the M is sent to next normally Then result := T
  Else result := F
    
```

{*result* shows whether the message is sent normally}

그림 3. 경로설정기법



(a) 초기 세션 전달과정



(b) 데이터의 전달과정

그림 4. 제안한 경로설정기법의 예

그림 4는 제안한 경로설정기법에 의해 싱크까지 데이터를 전달하는 예이며, 소스노드 1이 세션 플러딩과정을 통해 이웃노드 2,3,4를 발견하고 3에게 데이터를 전달하고 다음 데이터는 2에게 전달한다. 이는 중계노드 선택 규칙에 따라 3노드에게 데이터를 보낸 후 3노드의 갱신된 P_E 정보가 2의 에너지확률보다 작아지게 되어 2노드를 선택한 것이며, 갱신 후에도 3노드의 에너지확률이 높다면 여전히 3노드에게 데이터를 전송할 것이다.

4.2 확률적 경로갱신기법

세션 신호 직후 센서노드들간에 교환된 PE정보는 시간이 경과함에 따라 새로운 값으로 갱신되어 재교환되어야 한다. 이때, 전체 센서노드의 주기적인 광고를 통한 교환 방식은 여러 센서노드들에게 제어메시지 교환으로 인한 동일한 에너지를 소모한다. 그러나, 안전한 데이터 전달을 위해 제어 메시지를 인증 및 암호·복호화를 통해 보호하는 경우에는 전체 노드에게 또한 동일하게 보안기법 적용으로 인한 추가적인 에너지 소모를 초래한다. 따라서, 본 논문에서는 에너지의 소모를 줄이기 위해 주기적 교환이 아닌, 확률적 교환 방법을 제안하도록 한다. 이는 각 제어메시지의 억제 효과도 볼 수 있다.

그림 5는 경로를 갱신이 수행될 경우를 나타낸 것으로, 휴면 모드로 진입하는 노드가 발생하여 이웃노드로부터 *adv(Idle, Id)* 메시지를 수신하거나 자신의 타이머 값이 종료되었거나 P_E 값을 요구하는 *req(PE)*를 수신한 경우에 자신의 P_E 정보를 이웃노드에게 플러딩한다.

그림 7과 같이, 각 노드는 첫 번째 P_E 메시지 교환 후 각자 임의의 시간을 대기 후 현재 상태의 자

알고리즘 3. 경로갱신요청기법

출력:*pathUpdate()*의 실행

Procedure *pathUpdateReq*()

```

If  $P_E(Me) < P_E(\tau)$  Then
  Begin
    Flood adv(Idle, Id)
    Execute pathUpdate()
  End
  If (no neighbor cache despite node should be transport data to the sink) or (wait_timerMe is expired) Then
    Execute pathUpdate()
    
```

{*pathUpdate()* is executed}

그림 5. 제안하는 경로갱신요청기법

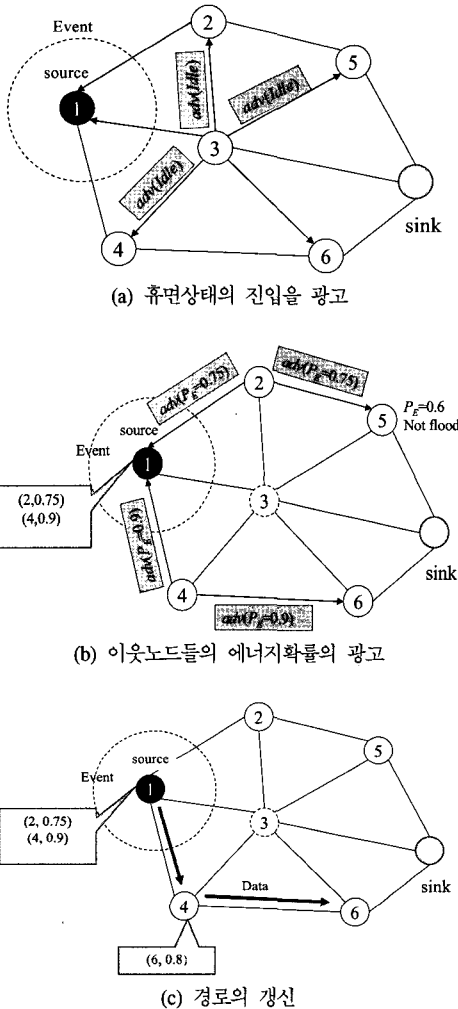


그림 6. 노드의 idle모드 전환시 경로갱신과정

알고리즘 4. 경로갱신기법

출력:노드에 캐싱된 이웃 정보 (Id, P_E)

```

Procedure pathUpdate()
If adv(PE(You)) is received from other node Then
Begin
    Calculate  $\theta$  for the adv(PEYou)
    If  $\theta=0$  Then Ignore adv(PEYou)
    Else
        Update (IdYou, PEYou)
    End
Else If wait_timerMe is expired or PEYou < PEMe Then
    Flood adv(PEMe) to its neighbors
    Set wait_timerMe
    
```

{(Id_{You}, P_E^{You}) is update information to deliver data towards the sink}

그림 7. 제한하는 경로갱신기법

신의 P_E를 계산하여 이웃노드에게 플러딩한다. 각 센서노드는 자신의 P_E를 광고하려는 순간에 다른 노드로부터 P_E 광고메시지를 수신한 경우, 자신의 P_E값과 비교하여 수신한 값이 보다 큰 경우에는 자신의 P_E를 광고하지 않고 임의의 시간을 대기 후 다시 P_E광고를 시도한다. 그렇지 않은 경우에는 자신의 P_E를 임의의 시간 대기 후 1홉 브로드캐스팅을 수행함으로써 제어 메시지 교환시 소모되는 에너지량을 줄였다. 이 때, 다른 노드로부터 P_E광고메시지를 수신하지 못한 상태에서 전달할 데이터가 있는 경우에는 자신의 이웃에게 P_E값을 알려달라는 광고메시지(req(P_E))를 플러딩한다. 해당 메시지를 받은 노드들은 자신의 P_E를 광고한다. 이러한 과정을 수행하여 보다 현재 상태에서 보다 큰 에너지수준확률을 가진 노드를 이용하여 데이터의 전달을 수행할 수 있도록 한다.

또한, 센서노드의 에너지 고갈로 인한 고장을 방지하기 위해서 각 노드는 자신의 에너지수준확률이 수식 3에서의 임계치 이하로 떨어지는 경우에는 휴면모드로 진입하기 위해 이웃노드에게 휴면모드로 전환한다고 adv(idle)메시지를 이웃노드들에게 플러딩한다. 해당 메시지를 받은 노드들은 현재 상태의 자신의 PE정보를 광고할 준비를 하며, 그림 7처럼 확률적 광고기법에 의거하여 플러딩을 수행한다.

$$P_E(\tau) = \frac{1}{|EL\tau - \tau + 1|} \quad (3)$$

수식 3에서 τ 는 네트워크 운영자에 의해 정해지는 가능한 최하 잔존에너지량이다. 따라서 실제 운영자와 센서노드의 성능에 의해 유동적으로 적용 가능하다.

그림 6은 3노드로부터의 adv(Idle)를 수신한 1, 2, 4, 5, 6노드가 갱신된 P_E값을 플러딩하는 예이며, 각 노드 1, 2, 4, 6노드들은 자신의 P_E정보를 플러딩하나 5노드의 경우 자신의 P_E정보를 플러딩 하기 전에 4노드로부터 수신한 P_E정보가 자신의 P_E정보 보다 큰 것을 감지하고 플러딩을 수행하지 않고 임의의 시간을 더 대기함으로써 플러딩 수행횟수를 억제한다. 이에 따라 1노드는 데이터를 3노드로 보내지 않고 중계노드 선택 규칙에 의해 4노드를 선택하여 데이터를 전달한다.

V. 성능분석

제안하는 경로설정기법에 대하여 시뮬레이션을 통하여 DD와의 비교분석을 통하여 에너지효율이

우수함을 증명하였다. 표 4에서와 같이, DD는 제안하는 기법에서와 같이 경로설정시 고려하는 요소와 싱크까지 되도록 짧은 경로를 설정한다는 면에서 공통점을 가지고 있다.

에너지 소모의 균일성은 각 센서노드들이 소스노드 또는 중계노드로서 데이터를 전달시 소모하는 에너지량이 평균과 차이가 크지 않아야 하며 잔존 에너지량에 대한 노드의 개수가 정규분포의 형태를 띄고 있는 것을 말한다. 그리고 경로 설정에 대한 효율성은 경로설정후 데이터를 전달하기까지 각 노드들이 소모하는 에너지의 증가율로서 정의한다.

균일성을 측정하기 위해 여러 소스노드를 두고 제한한 기법에 의하여 중계노드를 선택한 후 경로를 설정하여 데이터 전달을 완료할때까지 각 소스노드들의 소모 에너지량과 중계노드들의 에너지 소모량을 측정한다. 이를 이용하여 각 노드들의 평균 소모에너지에 대한 각 노드들의 에너지 소모 분포를 알아봄으로써 균일성의 정도를 분석한다.

에너지 효율성을 측정하기 위해서는 하나의 소스노드가 목적노드에게 데이터를 전달하기까지의 에너지의 소모량을 측정·분석하고 이를 기반으로 하여 소스노드가 증가시 제안하는 기법과 DD^[2]와의 에너지소모 증가정도를 분석한다.

에너지의 효율성은 최대에너지에 대한 같은 데이터를 여러 처리를 통하여 싱크까지 전달하는데 소비하는 에너지량으로 정의한다.

5.1 네트워크 환경

실험을 위한 네트워크 환경은 그림 8과 같이 100개의 센서노드와 한개의 싱크로 구성되며 센서노드로부터 싱크까지는 배치에 따라 직접 통신을 할 수 있거나 센서노드들을 중계노드로 하여 여러홉을 경유하여 싱크로의 데이터의 전달이 가능하다. 표 2에서와 같이 단위 데이터의 크기는 128 바이트로 가정한다. 그림 8에서 100개의 센서노드가 0~99까지 그리드 구조로 배치되어 있으며, 90번 노드가 싱크노드와의 근접노드로 설정하였다. 시뮬레이션 환경은 그리드 구조이나, 키패기법 및 인증기법과 안전 경로설정기법은 센서노드의 이동 등을 고려하여 활동모드시 일괄적으로 이웃발견을 수행하고 통신 도중에도 확률적으로 이웃발견을 수행하기 때문에 센서노드의 배치환경에는 독립적이며 네트워크 환경이 환경적 변화요인으로 작용하지 않는다.

표 2에서의 소스노드의 개수 및 싱크근접노드는 경로설정기법의 에너지효율을 측정하기 위한 시뮬레

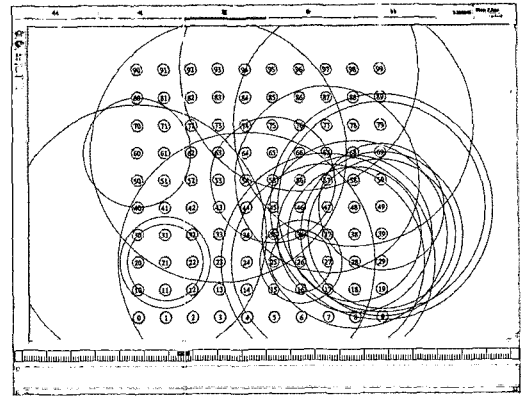


그림 8. 네트워크 모델의 적용 예

표 2. 네트워크 실험환경

| 요소 | | 설정값 |
|------|---------------|----------------------------|
| 토폴로지 | 노드의 개수 | 100노드 |
| | 영역 크기 | 500 x 500좌표, 단위 1 |
| 작업부하 | 소스노드(라우팅) | 15,16,17,26,27,28,36,37,38 |
| | 싱크의 근접노드(라우팅) | 90번 노드 |
| | 단위 패킷 크기 | 128 Bytes |

이션상의 설정노드이다.

5.2 시스템 환경 및 실험 시나리오

싱크는 일반 컴퓨터 등과 같이 대용량의 시스템으로 가정하며 싱크노드는 표 3과 같이 WIN NG^[3]의 Sensoria 노드를 기준으로 실험하였다. 각 센서노드는 10kbps의 송수신률로 비트당 각각 21 μ J과 14 μ J을 소비하므로 128byte의 데이터를 송수신시에는 약 0.021J과 0.014J을 소모한다. 각 노드가 Sleep모드시의 소비전력은 고려하지 않았다.

싱크로부터 세션 신호를 직접 받은 센서노드들은 제안된 절차에 따라 계산된 에너지 수준을 세션 신호에 덧붙여 플러딩한다. 이때, 세션 신호의 소스주소는 싱크로 고정하고 자신의 에너지확률 및 ID정보를 덧붙여 플러딩한다.

해당 메시지를 받은 노드들은 연쇄적으로 플러딩하여 이웃을 발견하면서 세션의 시작을 감지한다. 세션의 시작을 감지한 소스노드들은 제안된 절차에

표 3. 시스템 실험환경

| 요소 | 설정값 |
|----------------|-----------------------------|
| 초기에너지 | 26kJ(7.2 volt battery pack) |
| 송/수신기준전력 | 210mW/140mW |
| 비트당 송/수신 소모에너지 | 21 μ J/14 μ J |

따라 경로를 설정하며 각 소스들은 일정량의 데이터를 그림 8과 같은 환경에서 싱크로 데이터를 전달한다. 이때, 전체 USN에서의 경로설정에서 데이터전달을 완료 할때까지의 에너지 소모량을 측정하고, 경로설정시의 에너지 소모량을 각각 측정한다. 또한 시간이 경과함에 따라 에너지가 고갈되는 노드의 개수를 측정하여 에너지의 효율성을 분석한다.

그림 8과 같은 네트워크 환경과 표 3과 같은 센서노드의 시스템 환경을 가정한다. NS-2시뮬레이터를 이용하고 이의 측정치에 따른 분석을 위한 수학적 모델을 정의하여 실험을 수행한다.

5.3 실험결과분석

그림 9는 시간이 변함에 따라 전체 센서노드들이 가지는 평균 잔존 에너지량을 나타낸 것으로 각 데이터를 전달함에 따라 각 노드의 잔존에너지량의 평균값을 나타낸다. 이벤트가 발생한 영역내의 9개의 노드에서 20초간 데이터를 보낼 때 소스노드부터 싱크노드까지의 전달시 사용되는 각 센서노드들이 갖는 에너지량에 대한 10회 반복 실험에 대한 평균값이다. 여기서 시간은 시뮬레이터가 10^9 초단위로 이벤트를 발생하기 때문에 x좌표의 각 상수값은 의미가 없다. 수식 4에서 각 실험시 9개의 소스노드에서의 100개의 패킷을 전달시 사용되는 노드의 평균값(E_k)에 대하여 10회 실험에 대한 평균값(E_{avg})을 산출하여 초당 평균잔존에너지량을 산출하였다.

$$E_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{10} E_i}{10} \quad \text{where} \quad E_i = \frac{\sum_{j=1}^k E_k}{k} \quad (4)$$

데이터 전송이 시작된 이후 비슷한 값을 보이는 것은 두 기법에서 초기에 데이터 및 제어메시지의 플러딩 과정으로 인해 소모되는 부분으로 유사한

에너지 소모를 보이는 것으로 판단된다. 왜냐하면 제안기법이 유사한 에너지소모를 보이는 것은 두 기법 모두 초기에는 플러딩 기법을 사용하게 되므로 데이터 전달을 위한 송신회수가 유사하여 초기의 소모에너지량이 거의 유사한 것을 볼 수 있다.

그러나, 6초 이후 에너지 감소의 정도가 급격하게 차이를 보이는 것은 데이터를 연속적으로 전송함에 따라 DD^[2]는 싱크로부터의 주기적 제어메시지 수신을 통한 거의 단일 경로를 사용하게 되어 중계노드들의 에너지 소모가 커지고, 제안기법은 되도록이면 짧은 경로를 사용하면서도 에너지확률을 고려하여 다중 분산 라우팅을 수행하고 제어메시지의 주기적 송수신을 수행하지 않고 확률적 플러딩기법을 사용하여 교환횟수를 억제함으로써 데이터 전달시 사용되는 노드들의 에너지 감소가 급격하지 않은 것으로 판단된다. 또한 자신이 중계노드 또는 송신자 역할을 수행하고 있을 때 여러 경로로부터 데이터가 수신되는 경우, 데이터 취합과정^[11]을 수행하게 되므로 또한 여기서 통신에너지를 줄일 수 있었다. 그러나 DD^[2]는 단순히 가장 짧은 경로를 설정하여 데이터를 전송하기 때문에 기존의 개선된 플러딩^[9] 방식보다는 좋은 성능을 보이나 각 노드의 에너지수준을 고려하지 않고 데이터의 취합과정도 없기 때문에 시간이 지남에 따라 통신시 사용되는 센서노드들의 평균 잔존 에너지량이 급격히 소모하는 것을 볼 수 있다.

이는 제안기법에 의해 제어메시지와 정보메시지의 송·수신시의 횟수를 줄이면서 소모에너지가 DD보다 적게 나온 것으로 판단된다.

그림 10은 시간경과에 따른 평균 에너지 감소율을 나타낸 것으로 최대 DD^[2]보다 4%정도의 에너지 효율이 더 좋음을 알 수 있으며, 평균적으로 제안기법은 약0.4%, DD^[2]는 약 2%정도의 감소율을 보임

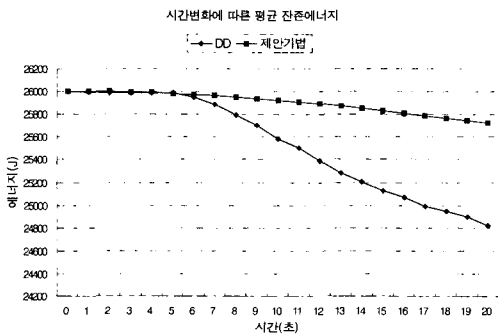


그림 9. 시간변화에 따른 평균 잔존에너지

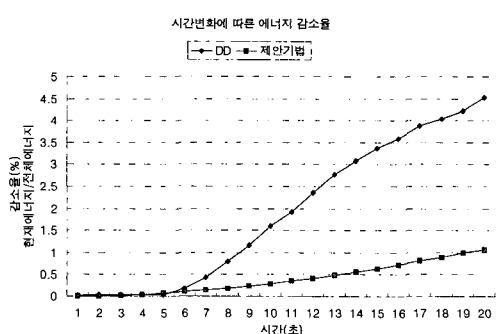


그림 10. 시간변화에 따른 에너지 감소율

으로써 약 1.6% 정도 제안하는 기법의 평균에너지 효율이 더 높음을 알 수 있다.

제어메시지 교환시의 에너지소모의 정도는 데이터 전송시 소모되는 에너지에 비하여 극히 적은 부분을 차지하므로 이를 배제하고, 데이터를 전송시 초당 평균 에너지소모량을 구해보면 제안기법은 1.3J이고 DD^[2]는 5.8J이다. 따라서, 계속해서 쉬지 않고 데이터를 전송시에 수식 5에 따라 약 144분 정도를 지속할 수 있으며, DD^[2]의 경우는 약 75분 정도를 지속할 수 있어 약 2배에 이르는 생존성을 보인다. 지속시간 그 자체는 의미가 없으며, 에너지 분산 및 짧은 경로를 선택하며 데이터취합과정을 통해 전달되는 패킷의 수를 줄임으로써 최단 하나의 노드가 연속해서 사용될 경우, 생존할 수 있는 시간을 늘임으로써 특정노드들의 배터리 고갈로 인한 센서네트워크의 분리를 막고 전체적인 네트워크의 생존시간이 DD^[2]보다 크다는 데에 주목할 만하다.

$$Lasting\ Time = \frac{E_T}{E_u} \quad (5)$$

수식 5는 초당 에너지 소모율(E_u)에 따른 전체 에너지(E_T)가 소진되기까지의 지속시간(*Lasting Time*)을 나타내고 있다.

또한 네트워크의 생존성을 분석하기 위하여 시간이 경과함에 따라 발생하는 고갈 노드의 개수를 알아보았다. 이를 위해 초기에너지를 1000J로 설정하여 9개의 노드로부터 25초 동안 데이터를 보냈을 때, 평균 고갈 노드의 개수를 측정하였다. 본 논문의 제안기법에서는 센서노드의 고장을 방지하기 위해 잔존 에너지량이 임계값 이하로 떨어지지 않게 하였으나, 본 실험을 위하여 임계값을 0으로 설정하고 실험하였다.

그림 11에서 보듯이 제안하는 기법은 각 노드의 균일한 에너지 소모와 짧은 경로를 고려하기 때문

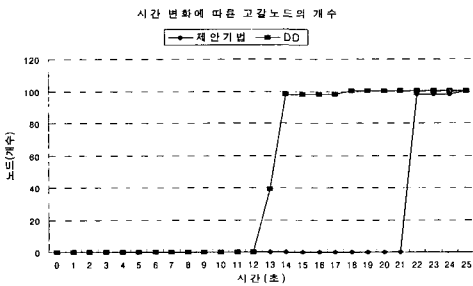


그림 11. 시간 변화에 따른 고갈노드의 개수

에 21초 후에 대부분의 노드의 에너지가 함께 고갈 되는 것을 볼 수 있으며 이는 즉, 대부분의 노드가 생존시까지의 균일하게 에너지 소모상태를 보임을 알 수 있다. 그러나 DD^[2]는 13초에 40개의 노드의 에너지가 고갈되는 것은 최단경로만을 고려하기 때문에 나타난 현상이라고 볼 수 있다. 또한 제안하는 기법이 에너지 고갈시기가 DD^[2]보다 늦은 것을 볼 수 있다. 이는 제안기법에서 노드의 센서네트워크의 생존성이 더 높음을 의미한다.

그림 12와 그림 13은 각각 제안기법과 DD^[2]의 잔존 에너지별 노드의 분포를 나타내고 있다. 본 결과는 20초동안 9개의 노드에서 싱크에게 데이터를 전송을 10회 반복하여 각 노드에 대한 잔존 에너지의 평균값을 이용하여 데이터를 산출하였다.

제안기법은 평균값 약 25,185J과 표준편차 약 4J을 갖으며, 전체노드의 78%정도가 편차 범위내의 에너지를 갖고 있었다. 반면에 DD^[2]의 경우 평균 22,532J정도의 에너지에 편차가 26J로 분석되었다. 20초 후의 평균 에너지 잔존량면에서도 제안기법에 12% 정도 많았으며, 각 노드가 가지는 에너지의 편차 또한 제안기법이 작았다. 편차가 작다는 것은 평

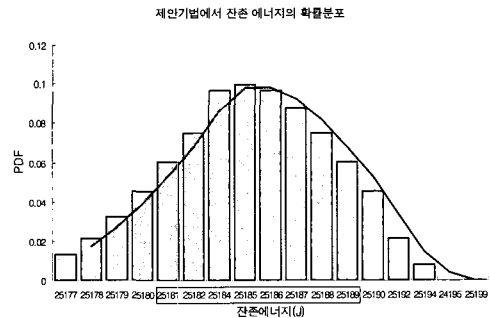


그림 12. 제안기법의 잔존에너지 확률분포(평균잔존에너지=25,185J, 표준편차=4J)

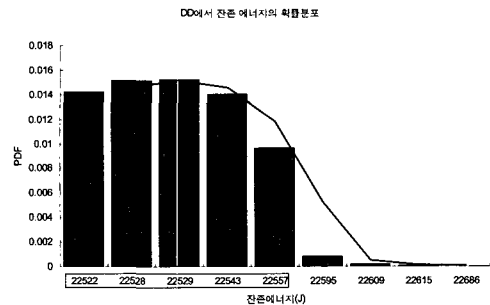


그림 13. DD의 잔존에너지 확률분포(평균잔존에너지=22,532J, 표준편차=26J)

표 4. 기존연구와의 비교분석

| 성질 | 제안기법 | DD ^[9] | SPIN[37] | LEACH[38] |
|-------------|--------------------|-------------------|----------|--------------------------|
| 에너지 균일성 고려 | 잔존 에너지값에 의한 확률적 선택 | 무 | 무 | 임의의 확률값에 따른 단순한 헤드의 역할교대 |
| 경로 설정요소 | 에너지 방향성 벡터 | 방향성 벡터 | 플러딩 | 플러딩 |
| 데이터경로 | 다중짧은경로 | 단일최단경로 | 다중경로 | 다중경로 |
| 경로 루프 발생가능성 | 목시적으로 거의없음 | 목시적으로 거의없음 | 유 | 유 |

표 5. 안전한 경로설정기법 및 데이터 전달의 에너지효율

| 성능요소 | 세부성능요소 | 제안기법 | DD[2] | 실험결과 |
|--------|---|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 제안특징 | - 짧은 경로를 이용한 라우팅 - 에너지효율을 고려한 분산 라우팅 - 제어메시지의 확률적 플러딩을 이용한 제어메시지의 교환억제 - 필요한 경우 데이터 취합과정을 통한 전달할 패킷의 개수 감소 | | | |
| 에너지효율성 | 송·수신 횟수 감소 | -확률적 플러딩 -전달경로설정 -데이터취합 | -주기적플러딩 -전달경로설정 | 시간별, 평균에너지감소율 -DD(제안기법) |
| | 네트워크 생존시간 | 에너지확률값의 직접적 제어 | 반응시간에 의한 간접적 제어 | 비트당 에너지소모율 -DD(제안기법) |
| 에너지균일성 | 부하 집중 노드 억제 | 에너지확률값의 직접적 제어 | 없음 | 시간별, 고갈노드의 개수 -DD(제안기법) |
| | | | | 잔존 에너지별, 노드의 분포 -제안: 정규분포형 |

균값과 각 노드가 유사한 에너지를 가지고 있다는 것을 의미하며 이는 즉 각 노드가 가지는 잔존 에너지량이 균일하다는 것을 의미한다.

DD는 선택한 노드를 계속해서 사용하기 때문에 그림 11에서 40개 정도의 노드가 먼저 고갈되는 것과 같은현상으로 에너지 분포 면에서도 사용된 약 40개의 노드가 잔존에너지가 평균값보다 작았다. 그림 12와 그림 13에서 볼 때도 제안하는 기법의 에너지 분포는 정규분포의 형태를 띄고 있으나, DD의 경우 그러한 분포를 볼 수 없다. 따라서 제안하는 기법이 센서노드들을 고루 사용하여 네트워크의 분리를 방지하면서도 에너지를 줄이면서 안전한 라우팅이 가능함을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안하는 경로설정기법이 전체적으로 소비되는 에너지가 적음을 알 수 있으며, 또한 싱크의 방향에 존재하는 노드들 중에서 에너지 확률이 큰 노드들을 선택하여 각 노드의 에너지 소비의 균일성을 제공하였다. 그리고, 되도록이면 짧은 경로를 선택함으로써 데이터 전달시 거치는 중계홉수를 줄임으로써 에너지를 절약할 수 있었고 초기 데이터 전달 후 다른 노드로부터 데이터가 수신되면 이후 데

이터는 자신의 데이터와 취합 후에 전송되기 때문에 특별히 취합과정을 위한 제어메시지 교환 절차 없이도 데이터 전달시의 에너지를 줄일 수 있었다.

표 5는 제안한 경로설정시 에너지의 측면에서 분석한 결과를 정리하였다. 센서네트워크에서 네트워크의 생존성을 극대화시키기 위해서는 송수신횟수를 줄이고 특정노드로 부하가 집중되는 것을 억제해야 한다. 이를 위해서는 에너지확률값을 직접적으로 제어하는 것이 가장 효과적이다. 또한 송수신횟수를 줄이기 위한 한 방법으로 인접영역들간의 센서노드들은 데이터 취합과정을 거치는 것이 효과적이다.

정보수집률의 측면에서 같은 데이터의 크기를 더 적은 에너지로 전달할 수 있다면 같은 에너지량으로는 더 많은 데이터를 전달 할 수 있다. 따라서 제안하는 안전한 경로설정기법은 에너지효율이 더 좋으므로 정보수집률 또한 더 좋다.

VI. 결론

본 논문에서는 USN네트워크 상에서 경로설정기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 에너지효율성에

각 노드의 에너지 소모의 정도가 균일하도록 하는 에너지 균일성 문제를 해결하였다. 에너지 효율적인 경로설정을 위해서는 에너지 소모가 효율적도록 주기적인 제어메시지의 플래딩을 억제하고 확률적으로 경로를 설정하도록 제안하였으며 센서노드의 에너지 소모의 균일성을 제공하기 위해 중계노드의 설정시 에너지확률값을 고려하여 선택한다. 본 논문에서는 초기 제어메시지의 에너지 소모가 더 적음을 증명하였으며, 이후 경로갱신과 데이터전달과정에도 확률적 경로설정을 통한 에너지 소모를 억제하고 각 노드의 에너지 소모가 균일하도록 하여 경로설정 시 사용되는 노드의 수가 늘어날 수는 있지만 각 노드가 소모하는 에너지를 균일하도록 하여 네트워크내의 고갈노드의 발생시기를 늦추고 고갈노드의 발생을 거의 한번에 이루어지도록 하여 네트워크의 분리현상을 방지하도록 하였다.

참 고 문 헌

[1] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker., "The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks.," International Workshop on Distributed Event-Based Systems, (DEBS '02), Vienna, Austria, July 2002.

[2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion : A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," Proceedings of the Sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks, August 2000.

[3] David W. Carman, P. Kruus and B. Matt, "Constraints and Approches for Distributed Sensor Network Security," NAI LABS Technical Report, 2000.

[4] Kenneth H. Rosen, "Discreate Mathematics and its Applicationtion," McGraw Hill, 5th Edition, 2003.

[5] Taek Jin Kwon, Gerla M., Varma, Barton M., "Efficient Flooding with Passive Clustering and Overhead Free Selective Forward Mechanism for ad hoc/Sensor Networks," Proceedings of the IEEE, Vol.91 Issue 8, 1210-1220, August 2003.

[6] W.Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proceedings of 5th ACM/IEEE Mobicom

Conference, Seattle, WA, August 1999.

[7] W.Heinzelman, A.Chandrakasan, and H.Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of Hawaaian Int'l Conf. on Systems Science, January 2000.

[8] S.Tilak, N.Abu-Ghazaleh, W.Heinzelman, "A Taxnomy of Wireless Micro-Sensor Network Models," ACM Mobile Computing and Communications Review, April 2000.

[9] Akyildiz I.F., W.Su, Y. Sankarasubramaniam, E.Cayirci, "A Survery on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, pp.102-114, August 2002.

[10] M.Tubaishat, S.Madria, "Senosr Networks:An Overview," IEEE Potentials, April/May 2003.

[11] J.Kulik, W.Heinzelman, H.Balakrishnan, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks," Wireless Networks Volume 8, Issue 2/3, pp.169-185, March-May 2002.

[12] S.Park, A.Savvides, M.Srivastava, "Simulating networks of wireless sensors," 33rd conference on Winter simulation, December 2001.

윤 미 연 (Mi-young Yoon)

정회원



2002년 2월 숭실대학교 컴퓨터학과 석사
 2005년 8월 숭실대학교 컴퓨터학과 박사
 2005년 6월~현재 한국정보보호진흥원 선임연구원 재직
 <관심분야> 센서네트워크 라우팅/보안/개인정보보호, IP/전송/응용 멀티캐스트, 멀티캐스트 보안, ad-hoc 컴퓨팅/보안, IPv6/ MIPv6 프로토콜/보안

이 광 겸 (Kwang-kyum Lee)

정회원



2003년 8월 가톨릭대학교 수학과 컴퓨터학과 졸업
 2005년 6월~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 석사과정
 <관심분야> 센서네트워크 라우팅/보안, IP/응용 멀티캐스트, 멀티캐스트 보안, IPv6/MIPv6

프로토콜/보안