

N홉 접근보장의 백본을 이용한 무선 센서 네트워크 데이터 전송 프로토콜

WSN Data Dissemination Protocol by N-hop Access Guarantee Backbone

김 문 성* 조 상 훈** 추 현 승***
Moonseong Kim Sang-Hun Cho Hyunseung Choo

요 약

잘 알려진 무선 센서 네트워크의 프로액티브 프로토콜인 Flooding과 SPIN은 싱크 노드의 요청 없이 감지한 데이터를 즉각적으로 전송한다. 그러나 이러한 전송방법은 그 데이터가 필요하지 않는 노드들에게까지 전송하기에 에너지 효율성 측면에서 비효율적이다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해서 전체 노드 대신에 적절한 일부 노드들에게만 전송할 수 있는 세미프로액티브 프로토콜을 제안한다. 따라서 만일 싱크노드와 같은 어떠한 노드가 감지한 데이터를 필요로 할 경우 미리 설정한 몇 홉 이내에 그 데이터를 쉽게 얻을 수 있다. 시뮬레이션 결과는 잘 알려진 SPIN과 비교하여 노드의 에너지 효율성이 약 83%까지 높다는 것을 보여주었다.

Abstract

Flooding and SPIN, which are well-known WSN(Wireless Sensor Network) proactive protocols, spontaneously disseminate the sensed data without a request from an arbitrary sink node. However, these methods disseminate the data even to some nodes that do not need it, which is energy inefficient. In this paper, we introduce a semi-proactive protocol to disseminate only to pertinent nodes instead of all nodes in order to overcome this weakness. Thus some nodes, such as arbitrary sink nodes that need the sensed data, could easily obtain the data within some hops. The simulation result shows that the proposed protocol has higher average node energy efficiency than that of well-known earlier work, SPIN. If a proactive protocol, such as SPIN, is changed to semi-proactive and has only a 1-hop burden, then the energy efficiency enhancement is up to about 83% compared with SPIN.

☞ keyword : Wireless Sensor Networks, Data Dissemination Protocol, Energy Efficiency, Network Lifetime, SPIN, SPMS.

1. 서 론

무선 센서 네트워크(WSNs: Wireless Sensor Networks)에서 데이터의 전송[1]은 광범위하게 분포한 수 만개의 센서노드들이 데이터를 수집

하고 전달하기 때문에 중요한 부분이다. 수집한 데이터를 전송하기 위한 대표적인 프로액티브(Proactive) 프로토콜로는 Flooding과 SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation[2])이 있다. Flooding은 데이터를 수신한 노드가 모든 이웃노드들에게 전달하는 방식이며 각 노드의 상태정보 관리 없이 전송만하는 가장 간단한 프로토콜이다. Flooding은 간단히 데이터의 빠른 전송을 보장하지만 중복전송으로 인한 에너지 소비는 피할 수 없다[3]. SPIN은 메타데이터를 사용하여 이웃노드들과의 정보교환을 통해서

* 정 회 원 : 미국 미시간주립대학교 박사후연구원
mkim@msu.edu

** 정 회 원 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 박사과정
shcho@ece.skku.ac.kr

*** 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
choo@skku.edu

[2007/11/01 투고 - 2007/11/11 심사 - 2007/11/22 심사완료]

중복전송 문제를 해결하였다. 하지만 SPIN에서는 데이터 전송 시 노드간의 거리를 고려하지 않고 모든 데이터를 같은 파워레벨로 전송하기 때문에 효율적인 데이터 전송이 이루어 지지 않는다.

SPIN을 비롯한 모든 프로액티브 프로토콜은 모든 노드에게 데이터를 전달하는 방식을 가진다. 그것은 매번 소스노드에 이벤트가 발생할 때마다 많은 에너지를 낭비하는 비효율적인 구조로 되어 있다. 이벤트가 발생할 때마다 모든 노드가 데이터를 전송하는 역할을 담당하기 때문에 필요 이상으로 많은 에너지를 낭비한다. 여기에서 감지된 데이터와의 연관성이 없는 노드들의 데이터 전송 참여를 줄인다면 그만큼의 에너지를 절약할 수 있게 된다는 점에 착안하여 본 논문에서는 DADs (DAta Dissemination semi-proactive protocol for WSNs)를 제안한다. DADs는 적절한 노드에게만 데이터를 전송하는 방식으로 전송 시 사용하는 노드를 백본노드라고 부르며, 다시말해 그 데이터를 원하는 노드에 최대 n 홉(Hop) 이내로 전송해 줄 수 있는 노드들의 집합을 말한다.

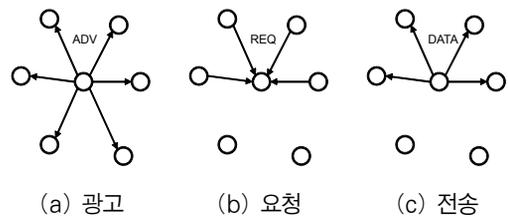
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련연구를 설명하고, 3장에서는 제안 프로토콜의 목적과 구성요소 및 동작 과정에 대해서 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 보이고 제안 프로토콜의 몇 가지 특성을 고찰 한 후, 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 관련연구

리액티브(Reactive) 방식은 싱크(Sink) 중심의 데이터전송 방식으로서 요청이 있을 때마다 소스(Source)에서 싱크로 1:1 전송을 한다. 반면에 프로액티브(Proactive) 방식은 소스 중심의 데이터 전송 방식으로 이벤트가 발생하면 누군가 정보를 원하기 전에 모든 노드에게 데이터를

전송한다. 따라서 싱크노드는 소스를 따로 검색할 필요 없이 데이터를 전송받게 된다는 차이점이 있다. 프로액티브 방식에는 대표적으로 Flooding과 SPIN 등이 있다.

Flooding은 데이터를 중계하기 위해서 특별한 알고리즘이 필요 없는 방식이다. Flooding으로 보내는 데이터 패킷은 데이터가 처음 지정된 최대 홉에 도달하거나 도착지에 도착하기 전까지 계속 이웃노드로 데이터를 전송한다. Flooding은 구현이 쉽지만 몇 가지 단점을 가지고 있다. 그중 대표적인 문제로 중복 전송을 들 수 있다.



(그림 1) SPIN 동작 과정

SPIN은 Flooding의 문제점을 3-way handshake를 통해 해결한 프로토콜이다. 데이터 전송 전에 메타데이터(metadata)의 교환으로 해당 센서 노드가 데이터를 가지고 있는지를 판단하기 때문에 중복 전송을 피할 수 있다. 메타데이터는 데이터에 비해서 매우 작은 용량을 가지고 있기 때문에 Flooding에 비해 약 50%의 데이터를 더 전송할 수 있다[4].

모든 노드에게 데이터를 전달하는 프로액티브 방식은 그 자체에서 한계점을 가지고 있다. 우선 필요로 하지 않는 노드가 데이터를 전송받고 그 경로상의 노드 역시 데이터 전송에 참여하기 때문에 에너지를 낭비하게 된다. 하지만 어떤 노드가 데이터를 필요로 하는지 알 수 없는 프로액티브 방식에서 원하는 노드에게 데이터를 전달하는 가장 효율적인 전송방법을 찾는

것은 불가능 하다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 비록 노드가 데이터를 가지지 않지만 필요한 때에 언제든지 데이터를 보유한 노드에게 접근하여 전송 받을 수 있게 하는 세미프로액티브(Semi-proactive) 방식을 제안한다. 이 방식은 백본노드라고 불리는 노드에게 데이터를 전달하고 모든 노드가 백본 노드로 n 홉 이내 접근 가능하게 하여 언제든지 데이터를 쉽게 전송받도록 한다.

3. 제안 프로토콜

3.1 프로토콜 구성요소

DADs에서는 데이터가 발생할 때마다 백본트리를 형성하고 그것을 통하여 네트워크에 데이터를 전달한다. 또한 데이터를 전달받지 못한 노드들은 데이터에 관한 메타데이터만을 전달 받고 라우팅 테이블에 해당 데이터의 백본노드로 가는 경로를 기록해 둔다. 우선 DADs 알고리즘을 설명하기 전에 필요한 관련 용어를 정의한다.

■ 노드의 종류

- 대기노드 : 데이터에 대해 어떠한 메시지를 받지 못한 노드
- 백본노드 : 실제 데이터를 보유한 노드
- 하위노드(n) : 실제 데이터가 없으며 백본노드와 거리가 n 홉 떨어진 노드
- 준비노드(n) : 백본노드나 하위노드가 되기 위해 대기 중인 상태의 노드. n 이 1이면 백본노드의 후보 노드, n 이 2 이상일 경우는 하위노드(n)의 후보노드

■ 메시지의 종류

- 백본메시지 : 백본으로 선정된 노드가 이웃노드로 보내는 메시지. 메시지를 받은

준비노드는 그 노드의 하위 노드, 대기노드는 다음 백본이 되기 위한 준비노드.

- 하위노드(n) 메시지 : 하위노드(n)가 자신의 하위노드를 만들기 위해 보내는 메시지. 메시지를 받은 대기노드는 준비노드(n)가 되어 일정시간 대기한 뒤 하위노드($n+1$)가 된다.

■ 대기시간

대기시간은 백본을 여러 후보 중에 선택할 때와 하위노드가 자신의 하위노드를 만들 때 백본이 퍼지는 속도와 같은 지연시간을 주기 위해서 사용한다.

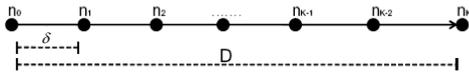
백본노드 선택 시 네트워크 생존시간(Network lifetime)과 에너지 효율(Energy efficiency)을 고려하여 대기시간 T 후 다음 백본노드를 선택하는데 이때에 두 개의 속성을 고려한다. 첫 번째 속성은 $F_e = \frac{\text{잔여에너지}}{\text{총에너지}}$ 로 노드의 에너지 잔량을 나타낸다. 그리고 두 번째 속성은 $F_d = 1 - \min\{1, \frac{|\delta-d|}{\delta}\}$ 로 전송 시 에너지가 가장 효율적으로 소비되는 거리인 δ 에 가까운 정도를 나타낸 값이다. δ 의 값을 알기위해 우선 DADs의 에너지 모델을 살펴보자[5].

$$E_{tx} = \alpha_{11} + \alpha_2 d^p$$

$$E_{rx} = \alpha_{12}$$

여기서 E_{tx} 와 E_{rx} 은 각각 거리 d 에 대해 1비트의 데이터를 송신과 수신 시 소모하는 에너지를 뜻한다. α_{11} 은 송신장치가 데이터 송신 시 1비트 당 소모하는 에너지이며, α_2 는 연산 증폭기(op-amp)가 소모하는 에너지다. α_{12} 는 수신장치가 데이터 수신 시 1비트 당 소모하는 에너지다. 데이터 송신 시 E_{tx} 는 거리에 따라 지

수적으로 증가하기 때문에 다수의 노드를 거쳐서 전송하는 것이 효율적일 수 있다. 하지만 데이터 송신 시 거쳐야 할 중간노드의 개수가 너무 많다면 한번에 보내는 방법보다 더 많은 에너지를 소비할 것이다. 따라서 에너지 효율적인 데이터 송신을 위한 중간노드 사이의 적절한 거리가 중요하다.



(그림 2) 중간노드를 통한 데이터 송신

그림 2는 노드 n_0 와 n_K 사이의 경로 $P(n_0, n_K)$ 를 통한 데이터 전송을 보여준다. 데이터 송신 시 중간노드를 통한 경로 소비 에너지 $E(P(n_0, n_K))$ 은 다음과 같다.

$$E(P(n_0, n_K)) = \sum_{r=1}^K E(P(n_{r-1}, n_r))$$

이 때 중간노드의 이상적인 거리를 δ 라 정의하자. δ 에 의한 최적의 중간노드 개수는 $\lfloor D/\delta \rfloor$ 이다. 따라서 노드 n_0 와 n_K 간의 소비 에너지는 다음과 같다.

$$E(P(n_0, n_K)) \approx \frac{D}{\delta} (\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_2 \delta^p)$$

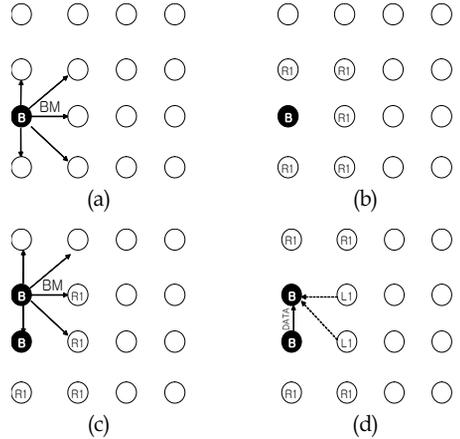
여기서 데이터 전송 시 에너지 소모 $E(P(n_0, n_K))$ 가 극소값을 가질 때 에너지 소모는 최소가 된다. 따라서 $\frac{\partial}{\partial \delta} E(P(n_0, n_K)) = 0$ 이며, 이

때의 δ 는 $\sqrt[p]{\frac{\alpha_{11} + \alpha_{12}}{\alpha_2(p-1)}}$ 이다[5].

따라서 대기시간 $T(w_e, w_d)$ 는 언급한 두 개의 속성에 각각 가중치 w_e, w_d 를 사용하여 다음과 같이 얻을 수 있다. $T(w_e, w_d) = (1 - F$

$+ \text{random}()) \cdot \theta$, 여기서 θ 는 최대 대기시간이며 $F = w_e F_e + w_d F_d$, 그리고 $w_e + w_d = 1$ 이다. 또한 $\text{random}()$ 함수는 0과 1에 가까운 작은 수 사이의 랜덤한 값이다.

3.2 $DADs(w_e, w_d)$ 세미프로액티브 알고리즘

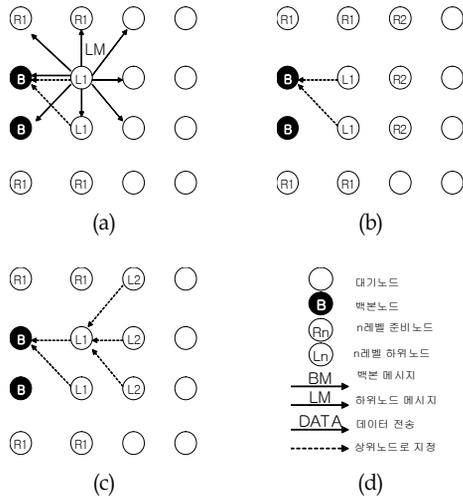


(그림 3) $DADs_1(w_e, w_d)$ 백본트리 분포 과정

(표 1) $DADs_1(w_e, w_d)$ 알고리즘

01. 데이터 발생
02. 소스 노드가 그림 3(a)처럼 이웃 노드로 백본메시지 전파
03. 메시지를 받은 대기노드는 그림 3(b)와 같이 준비노드가 됨
04. 각 준비노드는 대기시간 $T(w_e, w_d)$ 를 계산 후 대기
05. While 준비노드가 존재
 06. If 아무런 신호를 받지 않았을 때
 07. 대기시간이 만료되어 노드는 그림 3(c)처럼 백본노드가 됨
 08. 이웃 노드로 백본메시지 전파, 그림 3(c)
 09. 백본노드로부터 실제 데이터 수신, 그림 3(d)
 10. Else if 백본메시지를 받았을 때
 11. If 자신이 대기노드일 때
 12. 다음 백본노드의 준비노드가 됨, 그림 3(d)
 13. 대기시간 $T(w_e, w_d)$ 를 계산 후 대기
 14. Else if 자신이 준비노드일 때
 15. 백본메시지를 보낸 노드의 하위노드가 됨, 그림 3(d)
 16. 라우팅테이블에 상위노드 기록

백본노드는 데이터를 중계하고 보유하는 노드이기에 에너지 효율을 높이고 네트워크 수명을 길게 하는데 최적의 조건을 만족하는 노드가 백본노드로 선정 된다. 준비 노드 중에 최적의 조건을 가진 노드가 이웃하는 다른 준비노드보다 먼저 백본으로 선정되기 위해서는 그 노드의 대기시간을 짧게 설정한다. 이웃노드에 백본노드가 있으면 자신이 다시 백본노드가 될 필요가 없기 때문에 백본메시지를 받은 준비노드는 그 백본노드의 하위 노드가 된다. 이러한 과정을 통해서 백본노드는 서로 중복되는 영역을 최소화하며 네트워크 전체에 형성된다. $DADs_1(w_e, w_d)$ 백본트리는 데이터를 전달받지 못한 노드가 백본노드에 한홉으로 접근 가능하게 백본노드를 구성한다.



(그림 4) $DADs_n(w_e, w_d)$ 백본트리 분포 과정

데이터 접근 거리가 두홉 이상으로 늘어나면 백본노드의 관할영역이 커지고 그만큼 필요한 수가 적어져 에너지를 절약할 수 있다. $DADs_n$ 알고리즘은 $DADs_1$ 알고리즘에서 확장된 개념으로 하위 노드가 다시 자신의 하위 노드를 만드는 부분에서 차이가 있다.

(표 2) $DADs_n(w_e, w_d)$ 알고리즘

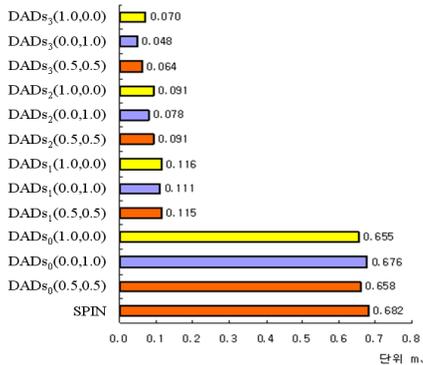
01-16.	$DADs_1(w_e, w_d)$
17.	그림 4(a)처럼 일정시간 대기후 이웃노드로 하위노드메시지 전파
18.	Else if 하위노드(x)메시지를 받았을 때
19.	If 자신이 대기노드일 때
20.	대기 시간만큼 대기, 그림 4(b)
21.	하위노드(x+1)가 됨, 그림 4(c)
22.	라우팅 테이블에 상위노드 기록, 그림 4(c)
23.	If $x+1 < n$
24.	이웃 노드로 하위노드(x) 메시지 전달

4. 성능평가

$DADs$ 의 성능을 분석하기 위해 JAVA로 구현하였으며, 표 3은 시뮬레이션 환경을 나타내고 있다. $600m \times 600m$ 의 네트워크 크기에 $50m$ 의 전송반경을 가진 센서노드를 임의로 배치하였으며, 각 센서노드들은 초기에 $1mJ$ 의 에너지를 보유하고 있다. 에너지 모델은 $\alpha_{11}, \alpha_{12} = 90nJ/bit$ 그리고 $\alpha_2 = 0.08nJ/bit/m^2$ 로 설정했으며 이로부터 계산한 δ 는 $47.43m$ 이다. 사용하는 패킷의 크기는 $80bits$ 이며, 에너지 모델의 p 값은 2로 하였다.

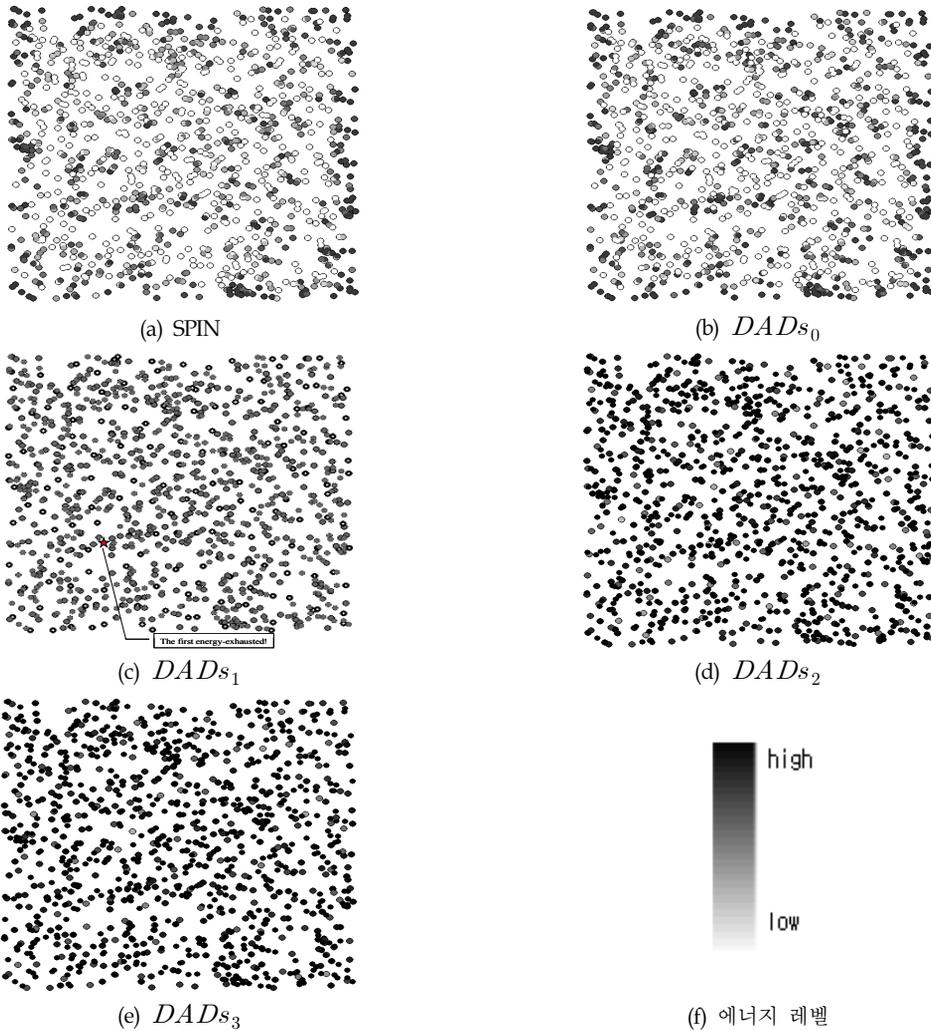
(표 3) 시뮬레이션 환경

네트워크 크기	$600m \times 600m$
노드밀도	$0.003nodes/m^2$
초기 노드 에너지	$1mJ$
α_{11}, α_{12}	$90nJ/bit$
α_2	$0.08nJ/bit/m^2$
패킷크기(DATA)	$80bits$
노드 전송 반경	$50m$
δ	$47.43m$

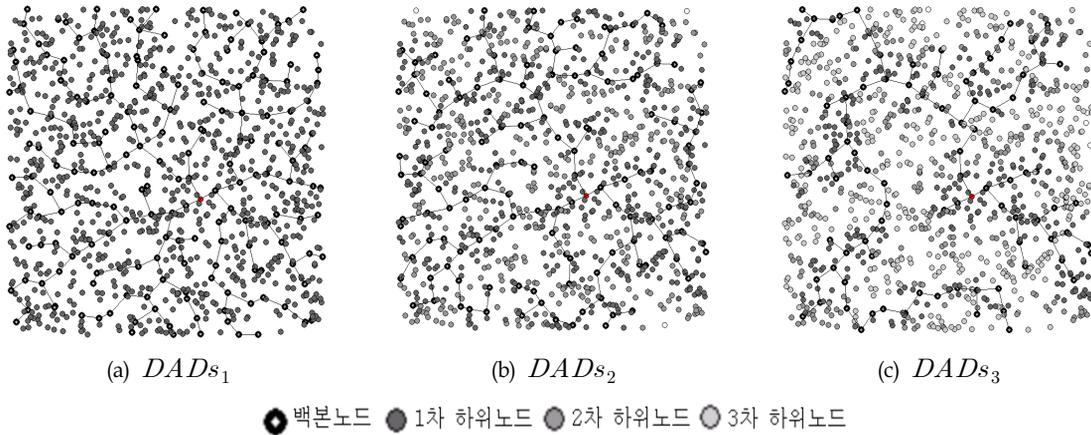


(그림 5) 평균에너지 소비량 그래프

그림 5는 노드당 평균 에너지 소비량을 비교한 것이다. 각 노드의 초기 에너지가 $1mJ$ 이므로 SPIN은 에너지의 약 68.2%를 소비하는 반면 $DADs_1$ 은 SPIN에 비해 에너지 소비가 약 83% 적은 것을 알 수 있다. 그리고 하위노드의 레벨이 증가할수록 에너지 소비량이 점차 감소하는 것을 알 수 있다.



(그림 6) 에너지 소비 분포도



(그림 7) 백본노드 분포 모양

그림 6은 각 프로토콜에 따른 에너지 잔량 분포도를 나타낸다. 그림 6(c)에서 별모양은 에너지가 가장 처음 소진된 노드를 의미한다. 이때를 기준으로 각각의 에너지 분포의 현 상태를 그림 6에서 표현하였다. SPIN의 에너지 분포도는 에너지가 소진된 노드가 많은 반면 DADs의 방법은 에너지 소비가 거의 없는 것을 알 수 있다($n \geq 1$). 그림 7은 각각 프로토콜에 따라 백본노드가 퍼지는 분포를 나타낸다. DADs에서는 데이터 전송에 참여하는 노드의 비중이 SPIN에 비해 현저히 적은 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 잘 알려진 프로액티브(Proactive) 방법인 Flooding과 SPIN에 대하여 간략히 알아보았다. 이에 기존의 프로액티브 방법의 단점을 살펴보았으며 이를 보완할 수 있는 세미프로액티브(Semi-proactive) 방법인 DADs (DATA Dissemination semi-proactive protocol for WSNs)를 새롭게 제안하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 SPIN과 비교하여 DADs의 우수성을 보였다. 실험결과 SPIN에 한

홉의 부담을 감하면 약 83%의 에너지 효율성을 보장 할 수 있었다. 따라서 만일 싱크노드와 같은 어떠한 노드가 감지한 데이터를 필요로 할 경우 DADs와 같은 세미프로액티브 방식을 통하여, 미리 설정한 몇 홉 이내에 그 데이터를 쉽게 얻을 수 있으므로 프로액티브 및 리액티브 방식들 보다는 효율적인 에너지 관리를 할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

시뮬레이션을 도와준 이영섭 군에게 감사드립니다. 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

IITA-2008-(C1090-0801-0046). 교신저자 : 추현승.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.

- [2] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," ACM/IEEE MOBICOM 99, August 1999.
- [3] S.-Y. Ni, Y.-C. Tseng, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," ACM/IEEE MOBICOM 99, pp. 151-162, August 1999.
- [4] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communication, vol. 1, issue 4, pp. 660-670, October 2002.
- [5] M. Bhardwaj, T. Garnett, and A. P. Chandrakasan, "Upper bounds on the lifetime of sensor networks," IEEE Intl Conf on Comm (ICC), vol. 3, pp. 785-790, June 2001.

● 저 자 소 개 ●



김 문 성(Moonseong Kim)

2007년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(박사)
2007년 3월 ~ 2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 연구교수
2007년 12월 ~ 현재 미국 미시간주립대학교 박사후연구원
관심분야 : 라우팅 프로토콜, 모바일컴퓨팅, 센서네트워크, 네트워크 보안
E-mail : mkim@msu.edu



조 상 훈(Sang-Hun Cho)

2002년 2월 성균관대학교 수학과 졸업(학사)
2004년 8월 성균관대학교 수학과 졸업(석사)
2004년 9월 ~ 현재 성균관대학교 컴퓨터공학과 박사과정
관심분야 : 라우팅 프로토콜, 광 네트워크, 웹토셀 네트워크
E-mail : shcho@ece.skku.ac.kr



추 현 승(Hyunseung Choo)

1996년 University of Texas 컴퓨터공학과 졸업(박사)
1998년 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
2005년 10월 ~ 현재 지식경제부 ITRC 지능형HCI융합연구센터장
관심분야 : 유/무선/광네트워킹, 모바일컴퓨팅, 센서네트워크, 임베디드SW, 그리드컴퓨팅
E-mail : choo@skku.edu