

무선 센서 네트워크를 위한 필드기반 경로 설정 방법*

이진관** · 이종찬*** · 박상준**** · 박기홍***** · 최형일*****

A field-based Routing Scheme for Wireless Sensor Networks

Lee, Jin Kwan · Lee, Jong Chan · Park, Sang Jun · Park, Ki Hong · Choi, Hyung Il

〈Abstract〉

The recent interest in sensor networks has led to a number of routing schemes that use the limited resources available at sensor nodes more efficiently. These schemes typically try to find the minimum energy path to optimize energy usage at a node. Some schemes, however, are prone to unbalance of the traffic and energy. To solve this problem, we propose a novel solution: a gradient-field approach which takes account of the minimum cost data delivery, energy consumption balancing, and traffic equalization. We also modify the backoff-based cost field setup algorithm to establish our gradient-field based sensor network and give the algorithm. Simulation results show that the overhead of routing establishment obtained by our algorithm is much less than the one obtained by Flooding. What's more, our approach guarantees the basic Quality of Service (QoS) without extra spending.

Key Words : Wireless sensor networks, Gradient, Routing, QoS

I. 서론

무선 통신의 발달과 새로운 센서 기술은 저비용, 저전력 다기능 센서노드의 개발을 가능케 했으며, 더불어 소형화, 근거리 무선 통신 등을 통하여, 소형의 센서 노드들을 군집화 함으로서 무선 센서 네트워크(Wireless

Sensor Network)의 공동 작업 개념을 도입하였다.

센서 노드가 주기적으로 근접할 수 없는 지역에 다량으로 설치되는 WSN의 특성 때문에, 기존 에드혹 라우팅 기술은 WSN의 정보 전송 요구 사항을 만족시킬 수 없다. 따라서 센서 노드들과 싱크 노드 사이에 특별한 멀티홉 무선 라우팅 프로토콜이 요구되고 있다.

이와 같은 멀티홉 라우팅 프로토콜의 하나로써, 본 연구에서는 최소 경사도 전송에 기반한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 이 방법에서, 먼저 싱크 노드의 비용 필드를 설정한다. 각 중간 노드에서 그 값은 그 노드로부터 싱크노드에 도달하기 위한 최소 비용을 나타낸다. 그리고 각 노

* 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2006-005-J03801)

** 숭실대학교 중점연구소 공동연구원

*** 군산대학교 컴퓨터정보공학과 부교수(교신저자)

**** 군산대학교 컴퓨터정보공학과 조교수

***** 군산대학교 컴퓨터정보공학과 교수

***** 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

드는 사용 가능한 전력량과 캐시의 상태에 따라 경사도를 계산한다. 일단 경사도 필드가 설정되면, 임의의 센서는 싱크로 데이터를 최소 경사도 경로를 따라 전달한다. 하나의 노드가 싱크로 데이터 패킷을 전송하기를 원할 때, 먼저 그의 이웃 노드들의 경사도를 계산하고 가장 최소 값의 중계 노드를 선택한다. 마지막으로, 데이터 패킷을 브로드캐스트한다. 선택된 하나의 노드만이 그 패킷이 싱크에 도달할 때 까지 처리를 반복 수행한다. 이 방법을 통하여 최소 비용 경로를 유지할 수 있으며, 중간 노드에서도 전체 경로 정보를 유지할 필요 없이 전달할 수 있다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 설명한다. 3장에서는 경사도 기반 전달 방법과 함께 백오프 기반 경사도 설정을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션과 기존 방법과의 비교를 통해 제안된 프로토콜을 평가한다. 5장에서 결론을 내린다.

II. 관련연구

본 논문은 새로운 프로토콜을 설계하기 위하여, 기존에 제안된 프로토콜을 분석하고 그들의 장점을 비교하였다. <표1>과 <표2>는 각각 라우팅 프로토콜의 장·단점을 보인다. 특히 <표1>은 라우팅 설정과 유지 관리 면에서의 오버헤드를 보인다.

본 논문에서는 SPIN[3], Directed Diffusion[4], Ye et al. [1], 그리고 GPRS[5]의 기본 개념을 차용하였으며, 단점을 억제하고, 단순하고 명료한 알고리즘을 제안하였다.

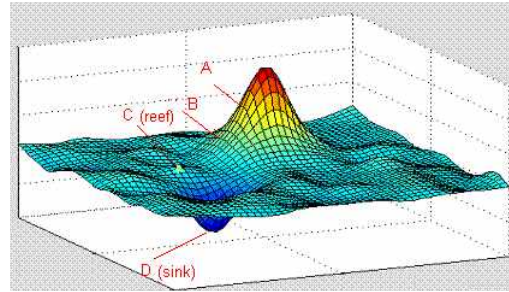
또한, 에너지 소비량과 트래픽 균형을 고려하였다. 실제로, LEACH[6], PEGASIS[7], TEEN[8]같은 몇몇 프로토콜은 그것을 해결하기위해서 제안되었다. 그러나 그들의 대부분은 무작위로 클러스터 헤더나 슈퍼 노드를 선택하고, 수동적으로 트래픽과 에너지 균형에 확률을 사용하도록 시킨다. 본 논문은 경사도 계산 공식을 사용하고, 모든 노드의 전력과 캐시정보를 적극적으로 에너지와 트래픽을 분산시키기 위해 동적으로 업데이트 한다.

<표 1> 라우팅 설정 및 유지 관리의 오버헤드

	Computation	Communication	Storage
Flooding	×	데이터 플러딩	×
Gossiping	×	임의의 경로를 따라 데이터를 전송	×
SPIN	×	ADV 플러딩	×
Directed Diffusion	경사도를 계산하고 결합	Interest 플러딩	경사도 저장과 Interest 버퍼링
Rumor	Agent 결합	임의의 경로를 따라 Agent를 전송하는 소스와 질의를 전송하는 싱크	소스와 이벤트 저장
GFSR	싱크까지 이웃 노드의 거리 계산	이웃노드의 위치 수집	×
TBF	커브까지 이웃 노드의 거리 계산	이웃노드의 위치 수집	×
Shah, et al	이웃의 확률 할당	이웃노드의 비용 측정	전송데이터 저장
LEACH	정기적으로 클러스터 헤드 선출 과 클러스터 헤더의 신호 강도를 비교	정기적으로 클러스터링	클러스터 헤드 저장
PEGASIS	적은 오버헤드를 갖는 클러스터 헤더 선출	체인을 구성하고 토큰을 전달	체인을 따라 두 이웃 노드 저장
TEEN	정기적으로 클러스터 헤드 선출 과 클러스터 헤더의 신호 강도를 비교	정기적으로 클러스터링	클러스터 헤더를 저장하는 노드와 임계값을 저장하는 클러스터 헤더
TTDD	그리드에서 교차노드를 계산	지역으로 Query 플러딩을 위한 그리드와 싱크를 구성	소스와 이벤트를 저장하는 교차노드
SAR	×	라우팅 요청을 플러딩하고 QoS를 측정	spanning tree에서 부모노드와 QoS를 저장
Chang, et al.	비용 함수 계산	이웃노드의 비용 측정	이웃노드비용 저장
TinyOS Beaconing	×	라우팅 요청 플러딩	spanning tree에서 부모노드 저장
Ye, et al	이웃노드의 비용을 비교	비용 광고	자신의 비용과 백오프 시간 저장

<표 2> 라우팅 프로토콜의 장점

Protocol	Data Aggregation	Optimal Path	Normal Node mobility	Sink mobility
Flooding		Shortest path	✓	✓
Gossiping			✓	✓
SPIN	✓	Possible	✓	✓
Directed Diffusion	✓	Possible		
Rumor	✓			✓
GPRS		Nearly	✓	
TBF			✓	
Shah et al.	✓	Suboptimal		
LEACH	✓			
PEGASIS	✓			
TEEN	✓			
TTDD				✓
SAR				
Chang et al.		Optimal cost		
TinyOS Beacoing				
Ye et al.		Optimal cost		



<그림 1> 경사도 필드 예

<그림 1>에서 D의 위치가 B보다 낮은 이후로, B의 물은 단지 D로만 흘러간다. 같은 이유로 B는 A로 흘러가지 않는다.

각 노드에서 경사도(G) 필드는 가상 값으로 정의된다. 최적의 경로에서 그 노드로부터 싱크까지 최소 비용(MC), 사용가능한 전력량(AP)와 노드에서 캐시의 상태(SoC)로 구성된다. 경사도 필드 G는 다음과 같이 계산된다.

$$G = W_{cost} * MC + W_{power} / AP + W_{cache} * SoC \dots\dots\dots (1)$$

W_{cost} 는 최소 비용 값, W_{power} 는 사용 가능한 전력량의 값, W_{cache} 는 캐시의 상태 값을 나타낸다. MC는 각 노드에서 오직 하나의 상태를 갖는다. 그것은 일반적으로 홉 카운트, 소비된 에너지, 지연 같은 것이 있다. AP는 시간이 지남에 따라 감소될 것이다. SoC는 데이터 트래픽에 따라 변한다.

III. 필드 기반 최소경사도 전달 방법

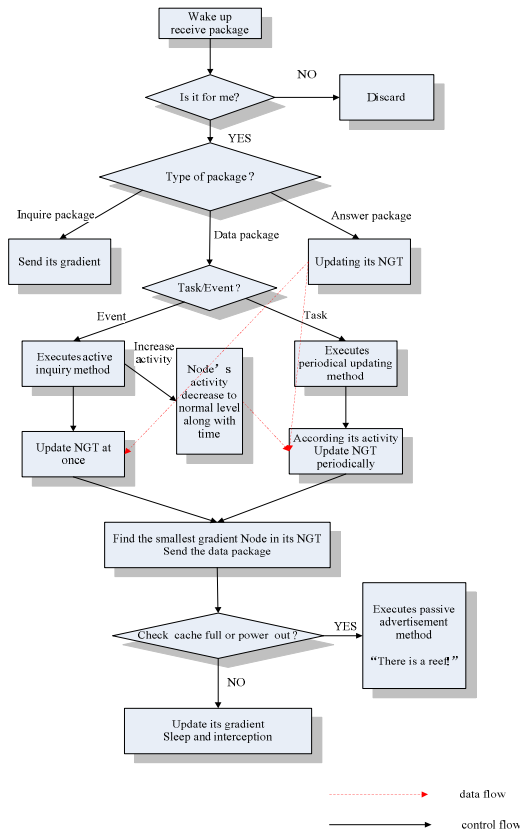
3.1 경사도 필드 개념

경사도 필드 기반 설계는 <그림 1>과 같이 일반적인 자연 현상으로 설명할 수 있다. 산악의 물은 계곡 아래로 흘러간다. 각 지점의 고도는 높은 곳으로부터 낮은 곳으로 물의 흐름을 조정함으로써, 결국 가장 낮은 고도를 갖는 계곡 아래로 흘러간다. 결국 자신의 전달 경로에 주위보다 높은 reef가 있을 때, 물은 reef를 우회하여 계속 전달된다. 이와 같은 자연 현상을 기반으로 경사도 필드를 설정한다.

3.2 최소 경사도 경로 전달

비용 필드를 설정할 때, 모든 노드는 각각의 경사도를 주기적으로 계산한다. 본 논문에서는 경사도 정보를 교환하기 위하여 세 가지 방법 - 주기적인 업데이트, 능동적인 질의, 수동적인 광고 - 을 제안하였다.

주기적인 업데이트 방법은 태스크 패키지 전송(task package transmission)에 사용된다. 이웃 경사도 테이블



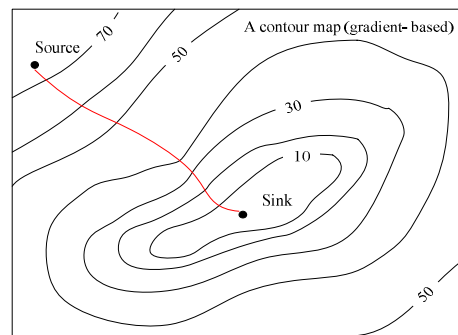
<그림 2> 패키지 처리 순서도

(NGT)은 인접 노드의 경사도를 저장하고, 각 노드는 정기적으로 NGT를 업데이트 한다. 능동적인 질의 방법은 이벤트 패키지 전송에 사용된다. 긴급 상황이 발생할 때, 정보를 가능한 빨리 싱크 노드로 전송해야 한다. 따라서 노드들은 능동적으로 질의 패키지를 브로드캐스팅한다. 만약 한 노드 캐시가 Full 이고 전력이 너무 낮으면, 그것은 인접 노드들에게 reef가 되었음을 광고하기 위하여 수동적인 광고 방법을 사용한다.

상위의 방법들을 위하여 3가지 종류의 패키지를 설계하였다. 그것은 질의 패키지(inquire package), 응답 패키지(answer package), 데이터 패키지(data package)이다. 노드는 NGT를 업데이트하거나, 능동으로 질의할 때, 질의 패키지를 사용한다. 인접 노드들이 질의 패키지를 수

신했을 때, 응답 패키지를 사용하여 자신의 경사도를 전송한다. 그 방법을 통하여, 수동적인 광고 방법 또한 브로드캐스팅하기 위하여 응답 패키지가 필요하다. 또한 데이터 패키지는 태스크/이벤트 정보를 전송하기 위하여 사용된다. <그림 2>는 경사도 전송 방법과 패키지가 동작하는 절차를 보인다.

만약 이벤트가 있다면 <그림 3>과 같은 최적의 경로 위에 있는 이 노드들을 주목해야 한다. 이벤트 패키지가 통과하는 노드의 활동(Activity)을 증가시킬 수 있도록 설계하였다. 만약 한 노드의 활동이 증가하면, 그것은 신속하게 NGT를 갱신한다. 물론, 만약 정해진 시간에 이벤트 패키지가 없다면, 노드의 활동은 정상 수준으로 전환된다.



<그림 3> 경사도 필드 기반 최적 경로

전송 전에 경사도의 총계를 산출하기 위하여, 노드는 그의 인접 노드의 경사도를 얻기 위하여 데이터 패키지 대신에 질의 패키지를 보낸다. 그의 인접 노드들은 패키지를 받고, 응답 패키지를 보낸다. 그 노드는 가장 작은 경사도를 가지는 이웃노드를 선택하고, 그 노드에 데이터 패키지를 보낸다. 이 처리는 데이터 패키지가 싱크노드에 보내질 때까지 계속된다.

이 방법을 통하여 최소 경사도 경로상의 노드들이 경로상태(Path State)를 고려하지 않고 데이터 패키지를 전송할 수 있다. 이는 각 노드가 NGT에 의해 자신이 최적 경로 상에 있는 가를 알 수 있기 때문이다.

3.3 백오프 기반 경사도 필드 설정

최소 경사도(MG) 필드를 설정하기 위하여, 최소 비용(MC) 필드를 설정하고 AP와 SoC 임계치를 확인하기 위하여 백오프(backoff) 알고리즘을 사용한다.

3.3.1 최소 비용 필드 설정

비용 필드의 설정은 플러딩을 이용한다. 우선, 각 노드는 자신의 비용을 무한대(∞)로 놓는다. 싱크가 최초 0으로 설정된 비용을 포함하는 광고(ADV) 메시지를 네트워크 전역으로 브로드캐스팅한다. 노드는 ADV 메시지를 수신하여 자신의 현재 비용과 수신된 비용을 비교한다(여기서 수신된 비용은 상위 노드의 비용과 그 노드와 상위 노드를 연결하는 비용을 합해서 결정한다). 만약 새로운 비용이 더 작다면, 수신된 비용으로 재 설정하고 신규 ADV 메시지를 브로드캐스팅한다. 결국 모든 노드는 싱크노드까지 플러딩을 통해서 최적 비용을 계산할 수 있다.

플러딩 기반 설계의 문제는 과도한 ADV 메시지가 발생하는 것이다. 각 노드는 ADV 메시지를 연속적으로 수신하고 또한 반복하여 브로드캐스팅을 수행한다. 노드가 싱크에서 더 멀면 멀수록, 노드는 더 많은 ADV 메시지를 브로드캐스팅한다. 노드가 이전의 것보다 다수의 브로드캐스팅을 하는 이유는 보다 더 작은 비용을 수신한 직후에 브로드캐스팅하기 때문이다. 따라서 현재의 비용이 최적인지 아닌지는 문제가 되지 않는다. 만약 최소 비용 메시지를 수신한 후에 브로드캐스팅을 지연할 수 있다면, 수신하고 한번의 최적 비용을 수반하는 브로드캐스팅을 수행할 수 있다. 따라서 얼마나 수신하는가 보다 브로드캐스팅을 지연시킬 수 있는 가가 중요하다. 따라서, 백오프 시간 계수(Γ)와 두 노드사이의 연결 비용을 곱한 전체 지연시간을 구하기 위하여 백오프 알고리즘[1]을 사용한다.

백오프 시간 계수(Γ)를 크게 하면 할수록 소수의 ADV 메시지를 브로드캐스팅하지만 필드 셋업 시간이

증가한다. 셋업 시간과 에너지 소비량을 평가하도록 백오프 시간 계수(Γ)를 10ms로 설정하고, 각 노드에서 싱크노드의 위치는 고려하지 않으며, 브로드캐스트는 세 번을 초과하지 않는다. 노드는 비용이 더 작은 다중 ADV 메시지를 수신할 수도 있지만, 즉시 브로드캐스팅하지 않고, 비용을 업데이트하며 백오프 타이머 만기까지 기다린다. 따라서, 노드가 브로드캐스팅할 시점에, 최소 비용을 얻을 수 있게 된다.

3.3.2 최소 경사도 필드 설정

AP와 SoC의 값이 각 노드에서 측정된다. 경사도 식(1)을 사용하여 최소 경사도 필드를 얻을 수 있다. <그림 4>에 최소 경사도 필드 설정 방법을 보인다.

```

Event 1: node N receives an ADV message from node M
If ( $L_N > L_M + C_{N, M}$ )
{
 $L_N = L_M + C_{N, M}$ 
Reset timer to expire after  $\Gamma \cdot C_{N, M}$ 
}
Event 2: Node's backoff timer expires
Broadcast an ADV message containing  $L_N$ 
Event 3: Establish the minimum gradient field
AP = 3V (two-AA cells)
SoC = 0 (the queue is empty),
 $G = W_{cost} * MC + W_{power} / AP + W_{cache} * SoC$ 
Event 4: Update the minimum gradient field periodically
Power management:
AP: measuring available power (V)
Queue management:
SoC: counting how many messages in the queue
Gradient computation:
 $W_{power} = \begin{cases} 1(AP > \text{threshold}) * \\ \text{Max}(AP \leq \text{threshold}) \end{cases}$ 
* threshold = 24V in our experiment
 $W_{cache} = \begin{cases} 1(SoC < \text{threshold}) * \\ \text{Max}(SoC \geq \text{threshold}) \end{cases}$ 
* threshold = 12 in our experiment
 $W_{cost}: W_{power}: W_{cache} = 8:1:1$  in normal condition
Maximum valid transmission range is 10 feet
(under power level 50)
 $G = W_{cost} * MC + W_{power} / AP + W_{cache} * SoC$ 
    
```

<그림 4> 최소 경사도 필드 설정 알고리즘

<그림 4>에서, L_N, L_M : 싱크에 도달하기 위한 노드 N,

M의 비용; $C_{N, M}$: 노드 N과 M사이의 비용; Γ : 백오프 시간 계수; G: 경사도; MC: 최적 경로에서 노드에서 싱크까지의 최소 비용; AP: 노드에서 사용가능한 전력량; SoC: 노드의 캐시 상태; W_{cost} : 최소비용의 가중치; W_{power} : 사용가능한 전력량의 가중치; W_{cache} : 캐시상태의 가중치를 나타낸다. 이벤트1은 노드N에서 노드M으로부터 ADV 메시지를 받으면, 싱크까지의 비용을 비교하여 노드N의 비용을 다시 계산하고 백오프 타이머를 다시 설정한다. 이벤트2는 노드의 백오프 타이머가 만기되면 노드의 비용을 포함하는 ADV메시지를 브로드캐스트한다. 이벤트3은 식(1)을 이용하여 최소 경사도 필드를 설정한다. 이벤트4는 정기적으로 최소경사도 필드를 업데이트한다. 전력량을 측정하고, 큐에서 메시지를 카운팅하고, 경사도를 계산한다.

3.4 신규 노드 배포

필드에서 상황의 변화에 따라 추가적인 노드를 관심 지역에 배포하고 기존 노드에 연결해야한다. 이런 상황에서 최소 경사도 필드를 어떻게 설정할 것인가의 문제가 대두된다. 사용 가능한 전력과 그 캐시의 상태는 측정 가능하므로 최소비용 필드 설정 문제가 중요하다. 본 연구에서는 시작에서 싱크노드의 위치가 알려지지 않은 추가 노드는 최소 비용 필드를 ∞ 로 초기화 한다. 상세한 방법은 다음과 같다.

첫 번째, 모든 추가 노드는 그의 이웃노드의 최소 비용 필드를 질의하기 위하여 브로드캐스팅한다. 이 필드에서, 몇몇 이웃노드는 원본 노드로 OriN(Original Node)으로, 다른 노드는 ∞ 로 설정된다. 그 외의 인접 노드들은 추가 노드로 의미가 없다.

두 번째, 우리는 최소비용을 계산하기 위하여 다음의 식(2)를 사용한다.

$$MC = \sum_{i \in OriN} MC_i / \sum_{i \in OriN} i, i \in neighbors \dots\dots\dots (2)$$

마지막으로, 추가 노드의 모든 최소 경사도 필드를 설정하기 위하여 백오프 기반 경사도 필드 설정 알고리즘을 사용한다.

IV. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

전력 소비량의 측정과 AP 임계값의 확인을 위해 하드웨어 플랫폼으로써 버클리 MICA2 모드를 사용하였다. 테스트[10]는 두 개의 AA건전지를 사용하는 사무실 실내 환경에서 진행하였다. 실험시, AP 임계값을 2.4v로 설정하였다. 패킷 큐는 16 패킷을 캐시하도록 설계하였고, 트래픽 부하와 처리율에 따라 SoC 임계값을 12로 설정하였다.

Alec Woo의 실험[11]에 따라, 최대 유효 전송 범위를 10 feet로 설정하였다. 50의 전력 수준에 대해 10 feet는 거리이다. 기본적으로 모든 노드가 좋은 연결성을 갖는 거리라 할 수 있다. MC가 패킷의 방향성을 결정하기 때문에 그것은 경사도의 기본이 되어야 한다. 게다가 AP와 SoC는 같은 비율의 가중치를 갖는다. 이에 따라, Alec Woo의 실험[11]에서 제시한 W_{cost} , W_{power} , and W_{cache} 의 비율인 8:1:1로 설정하였다.

제안된 방법의 평가를 위하여 TinyOS 센서 네트워크를 위한 개별 이벤트 시뮬레이터인 TOSSIM[9]를 사용하였다. TOSSIM을 통하여 성능 테스트 및 프로토콜을 설정된 환경에서 분석하였다. 그리고 TOSSIM은 전력 사용이나 에너지 소비에 대한 분석을 모델화하지 않았으므로, 전력 상태를 변경하자마자 정보를 제공하기 위하여 전력을 소비하는 컴포넌트에 주석을 추가한다. 시뮬레이션을 시작한 후에, 에너지 또는 전력 모델을 적용하여, 에너지 소비를 계산할 수 있다.

100개의 노드로 구성된 센서 네트워크를 분석할 수 있는 시뮬레이터에 센서 노드를 위치시킨다. 싱크노드는

그리드의 좌측 아래에 위치시켰다. 각 노드는 10초의 데이터 패킷, 20초의 라우트 패킷에 주기적인 트래픽의 부하를 제공한다.

해당 평가에서 라우팅 프로토콜은 다음을 포함한다.

- 최소 경사도(MG)는 제안한 방법으로서 가중치와 임계값을 갖는다. 그 경사도가 동적으로 갱신되고, 만약 신규 비용이 더 적다면 트래픽 균형을 유지하기 위하여 신규 경로가 사용된다.
- 최단 경로(SP 및 SP(t))는 거리-벡터 접근 방법이다. 각 노드는 최소 홉수를 갖는 이웃노드를 선택하고, 상위 노드보다 1이 더 큰 홉수를 설정한다. 만약 패킷이 수신되었다면 노드는 SP에 적합한 인접 노드이고, 링크 품질이 임계값 t 를 초과한다면 노드는 SP(t)에 적합한 인접 노드이다. 따라서 최단 경로 라우팅은 높은 품질 연결의 후보 그래프안에서 수행된다. 본 논문에서는 t 에 대한 두 값을 고려하였다. $t=70\%$ 일때, 효과적이고 유일한 링크를 얻을 수 있다. $t=40\%$ 일때, 일반적인 공간에서 대부분의 좋은 연결을 얻을 수 있다.
- 브로드캐스트는 단순한 플러딩 기반의 프로토콜이다. 루트는 주기적으로 네트워크에 플러딩한다. 노드는 각 시점에서 받은 첫 번째 플러딩 메시지의 소스 주소 기반으로 상위노드를 선택한다. 브로드캐스트는 특히 DSR[12]같은 프로토콜에서 찾을 수 있는 역방향 경로 라우팅을 이용한다.

상위 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 세 가지의 중요한 방법을 정의하였다.

- 홉 배포(Hop distribution)는 네트워크 전역에 걸쳐 노드들의 라우팅 깊이를 측정한다. 그것은 종단간 대기 시간과 에너지 사용을 모두 반영한다.
- 종단간 성공률(End-to-end success rate)은 각 노드에서 전송한 패킷의 수에 대하여, 싱크에서 수신한 패킷 수의 비율이다. 싱크에 도달하기 전에 패킷의 손실은 에너지와 네트워크 자원의 낭비뿐만 아니라 어플리케이션의 QoS를 저하시킨다. 또한 싱크로부터 더 멀리

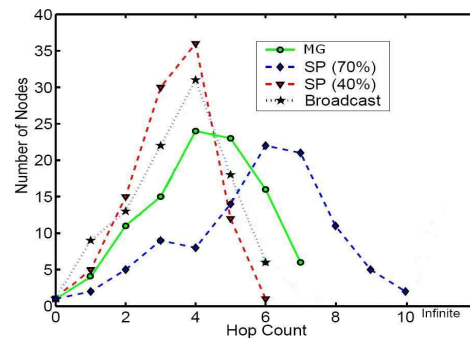
위치한 노드들은 근접한 노드보다 더 낮은 종단간 성공률을 가지므로. 홉이나 거리에 의한 성공률의 오류는 이와 관련성이 있다.

- 전력 소비 분산(Power Consumption Distribution)은 센서 네트워크에서 각 노드에서 사용가능한 전력의 분산을 의미한다. 구축한 네트워크를 10시간 동안 동작시키고, 전체 전력 소비량이 균형적으로 분산되어 있는 가를 표현한다.

4.2 시뮬레이션 결과

라우팅 프로토콜과 전력 소비량의 동적인 변화를 평가하기 위하여 패킷 수준의 시뮬레이션을 수행하였다.

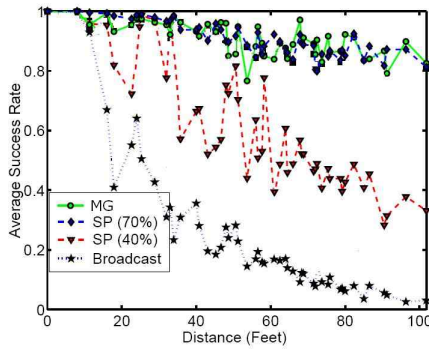
<그림 5>는 결과의 홉 분산을 나타낸다. SP(40%)와 브로드캐스트는 홉의 분산이 작은 반면에, SP(70%)와 MG는 홉 분산이 넓게 나타나며, 일반적으로 더 많은 홉을 얻을 수 있었다. 비록 이것은 지연의 증가를 의미하지만, 그러나 거리가 근접한 점대점 통신은 신뢰할 수 있는 경로를 보장하고 전력 소비량을 줄인다.



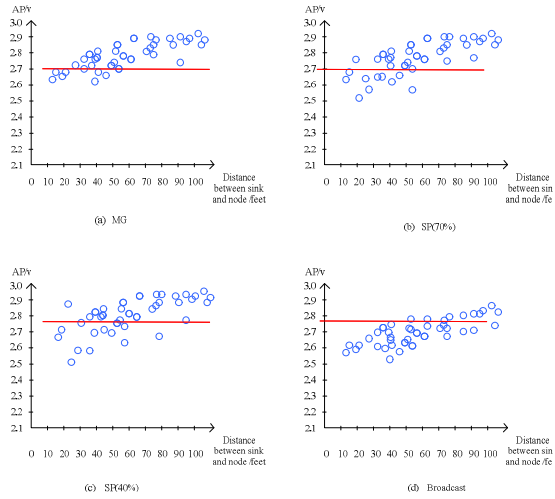
<그림 5> 시뮬레이션에서 홉 분산

<그림 6>에서 보듯이 제안된 방법의 두 링크 계층의 재전송 성공률이 90%에 근접한다. 반면에 SP(40%)과 브로드캐스트는 패킷 손실이 증가함을 알 수 있고, 패킷 손실률의 증가에 따라 브로드캐스트는 노드의 네트워크 질

합 및 분리가 어렵게 만든다. 단지 SP(70%)과 제안된 알고리즘은 중단간 지연에서 우수한 성능을 보인다.



<그림 6> 거리 대비 중단간 성공률



<그림 7> 시뮬레이션에서 전력 소비량의 분산

<그림 7>은 각 노드의 사용가능한 전력량의 분산을 보인다. 다른 방법에 비하여 브로드캐스팅 알고리즘을 적용한 노드의 전력 소비량이 증가함을 알 수 있다. 실험에서 트래픽 부하가 급격히 증가되는 노드들이 싱크 노드에 인접해 있으므로 더 많은 전력을 소비함을 알 수 있다. 사용가능한 전력이 2.1v 이하이면, 트리에서 분리됨으로서 전체 네트워크 토폴로지에 영향을 미친다. <그림 7>에서, (a)는 다른 방법에 비해 전력 소비량이 더 적고, 거리에 상관없이 균형을 유지함을 볼 수 있다. 제안된 알고리즘은 전력 소비량을 균형 있게 유지시키고 노드들의 서비스 기간을 증가시키므로, 네트워크 토폴로지를 상대적으로 안정되게 유지할 수 있다.

네트워크를 구성하고, 백오프 기반 비용 필드 설정 알고리즘을 수정하였다.

추후 연구에서 QoS 방법론과 중요 데이터의 이중화를 고려한 경로 설정 방법을 제안하고자 한다. 또한 Localized Energy Aware Routing이나, Conditional Max-Min Battery Capacity Routing등과의 비교분석하고자 한다.

V. 결론

본 논문에서 최소 비용과 사용가능한 전력량, 캐시의 상태를 이용하는 경사도 필드 기반 접근 방법을 제안하였다. 경사도 정보를 교환하기 위하여 세 가지 종류의 패킷지를 사용하였다. 하나는 소스에서 싱크까지 최적의 경로에 데이터를 전송한다. 또한 경사도 필드 기반 센서

참고문헌

[1] Ye F, Chen A, Lu S, Zhang L., "A Scalable Solution to Minimum Cost forwarding in Large Sensor Networks," In Proc. of the IEEE 10th Int'l Conf. on Computer Communications and Networks, 2001, pp. 304-309.

[2] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," in IEEE Communications Magazine, August 2002.

[3] Kulik J, Heinzelman WR, Balakrishnan H., "Negotiation based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," Wireless Networks, 8(2-3) 2002, pp. 169-185.

[4] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D, Heidemann J., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Trans. on Networking, 11(1) 2003, pp. 2-16

[5] Karp B, Kung H., "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," In: Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM Press, 2000, pp. 243-254.

[6] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H., "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," In Proc. of IEEE 33rd Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences, 2000, pp. 3005-3014.

[7] Lindsey S, Raghavendra CS, "PEGASIS: Power-efficient Gathering in Sensor Information Systems," In: Proc. of the IEEE Aerospace Conf. Montana: IEEE Aerospace and Electronic Systems Society, 2002, pp. 1125-1130.

[8] Manjeshwar A, Agrawal DP, "TEEN: A Protocol

for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," In Proc. of IEEE 15th Parallel and Distributed Processing Symp, 2001, pp. 2009-2015.

[9] TOSSIM: A Simulator for TinyOS Networks, <http://www.tinyos.net/tinyos-1.x/doc/>

[10] MICA2 Battery Life test, <http://www.xbow.com/Support/appnotes.htm>

[11] Alec Woo, Terence Tong, David Culler, "Taming the Underlying Challenges of Reliable Multihop Routing in Sensor Networks," SenSys'03, November 5-7, 2003 ACM 1581137079/03/0011, 2003.

[12] D. Johnson and D. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," In Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996, pp. 153-181.

■ 저자소개 ■



이진관
Lee, Jin Kwan

2009년 3월~현재
 숭실대학교 중점연구소 공동연구원
 2007년 2월 군산대학교 컴퓨터학과(이학박사)
 2002년 2월 군산대학교 컴퓨터학과(이학석사)
 1995년 2월 군산대학교 컴퓨터학과(이학사)
 관심분야 : 정보검색, 센서네트워크, 유비쿼터스
 E-mail : leejinkwan@kunsan.ac.kr



이종찬
Lee, Jong Chan

2005년 3월~현재
 군산대학교 컴퓨터정보공학과
 부교수
 2000년 10월 한국전자통신연구원 선임연구원
 2000년 8월 숭실대학교 컴퓨터학과(공학박사)
 1996년 8월 숭실대학교 컴퓨터학과(공학석사)
 1994년 2월 군산대학교 컴퓨터학과(이학사)
 관심분야 : 이동통신, 원격제어시스템
 E-mail : chan2000@kunsan.ac.kr



박 상 준
Park, Sang Joon

2007년 ~ 현재
군산대학교 컴퓨터정보공학과
조교수
2002년 숭실대학교 컴퓨터학과 박사
1998년 숭실대학교 컴퓨터학과 석사
1996년 동국대학교 전자계산학과 학사
관심분야 : B3G 이동통신, 생존성기반 네트워크
시스템, 인터넷 망 분석, 유비쿼터스
디지털방송
E-mail : lubimia@kunsan.ac.kr



박 기 홍
Park, Ki Hong

1987년~현재
군산대학교 컴퓨터정보공학과 교수
1995년 일본 토쿠시마대학교
지능정보과학과(공학박사)
1986년 숭실대학교 전자계산학과(공학석사)
1986년 숭실대학교 전자계산학과(이학사)
관심분야 : 정보검색, 시스템공학, 유비쿼터스,
센서네트워크, 텔레메틱스
E-mail : spacepark@kunsan.ac.kr



최 형 일
Choi, Hyung Il

1987년 ~ 현재
숭실대학교 글로벌미디어학부
부교수
1987년 미시간대학교 전산공학과 (공학박사)
1982년 미시간대학교 전산공학과 (공학석사)
1979년 연세대학교 전자공학과(공학사)
관심분야 : 컴퓨터비전, 퍼지 및 신경망 이론,
비디오검색, 패턴인식, 인터페이스
에이전트, 지식기반시스템
E-mail : hic@ssu.ac.kr

논문접수일	: 2009년 8월 17일
수 정 일	: 2009년 9월 17일 (1차)
	: 2009년 11월 1일 (2차)
게재확정일	: 2009년 11월 20일