

센서 네트워크에서 전송범위와 전송방향을 이용한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜

이 현 준[†] · 이 영 한[†] · 이 경 오^{††}

요 약

센서네트워크에서 센서는 배터리에 의해 작동이 되며 배터리의 수명이 다하면 더 이상 동작을 할 수 없다. 센서가 수집한 데이터는 효과적인 경로를 통해 싱크노드로 전달되어야 하며 이를 위한 여러 라우팅 알고리즘이 제안되었다. 하지만, 기존의 알고리즘은 데이터를 전송하는데 있어서 전송범위와 전송방향을 고려하지 않기 때문에 많은 노드들이 데이터 전송에 참여하게 되고 결과적으로 많은 에너지를 소모한다. 본 논문에서는 센서 네트워크에서의 효과적인 데이터 전송을 위해 전송범위와 전송방향을 고려한 라우팅 알고리즘인 TDRP(Transmission range and Direction Routing Protocol)를 제안한다. TDRP는 클러스터 또는 그리드를 생성하지 않고, 싱크노드를 중심으로 사분면을 형성하여 패킷의 전송방향을 결정하는 방법으로 네트워크 오버헤드가 적으며, 패킷의 전송방향에 위치하는 노드들만이 통신에 참여하므로, 에너지 효율성이 기존의 알고리즘들보다 뛰어나다.

키워드 : 센서네트워크, 라우팅 프로토콜, 전송범위, GPSR

An Energy Efficient Routing Protocol using Transmission Range and Direction for Sensor Networks

HyunJun Lee[†] · YoungHan Lee[†] · KyungOh Lee^{††}

ABSTRACT

Sensors in sensor networks are operated by their embedded batteries and they can not work any more if the batteries run out. The data collected by sensors should be transferred to a sink node through the efficient routes. Many energy efficient routing algorithms were proposed. However, the previous algorithms consume more energy since they did not consider the transmission range and direction. In this paper we propose an algorithm TDRP(Transmission range and Direction Routing Protocol) that considers the transmission range and direction for the efficient data transmission. Since TDRP does not produce clusters or grids but four quadrants and send data to the nodes in one quadrant in the direction of the sink node, it has less network overhead. Furthermore since the proposed algorithm sends data to the smaller number of nodes compared to the previous algorithms, the energy efficiency is better than other algorithms in communication node fields that are located in packet transmit directions.

Keywords : Sensor Networks, Routing Protocol, Transmission Range, GPSR

1. 서 론

현재 제안된 라우팅 기법은 크게 데이터중심 알고리즘, 계층 기반 알고리즘, 위치 기반의 알고리즘으로 나누어 볼 수 있다. 이 중, 위치 기반의 알고리즘은 각 센서의 측정 데이터와 함께 위치 데이터를 이용하여 경로를 찾는 방법으로

그 효율성이 높아 많은 연구가 이루어 지고 있다[1, 11-17]. 현재 연구되고 있는 위치 기반의 알고리즘은 각 노드의 절대 좌표를 이용하거나 고정 노드를 이용한 상대좌표를 이용하고 있어, 효과적인 라우팅 경로를 찾기 위해 주변 노드들의 위치정보와 싱크 노드의 정보 등을 주기적으로 업데이트하는 방식을 사용한다. 그러나 이는 라우팅을 유지하기 위해 패킷의 교환이 빈번하게 일어나고, 라우팅 중간에 연결이 중단 되었을 때 복구를 위한 오버헤드가 크다[6, 10]. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은, 각 노드의 상대적인 좌표를 이용하며 싱크 노드의 위치를 기준으로 네트워크를 4개의 영역으로 구분하여 데이터를 일부분의 노드들 에게만 전송

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2009-C-1090-0902-0020)

† 준 회 원 : 선문대학교 컴퓨터정보학과 박사과정

†† 종 신 회 원 : 선문대학교 컴퓨터공학부 부교수

논문접수 : 2009년 7월 6일

수 정 일 : 1차 2009년 9월 24일, 2차 2009년 11월 11일

심사완료 : 2009년 11월 13일

한다. 본 논문에서 제시하는 기법에서는 소스에서 싱크까지의 홉의 수를 줄이기 위해 전송범위 내에서 싱크노드의 방향으로 가장 멀리 있는 노드를 중계 노드로 선택함으로써 에너지 소비를 최소화 하는 방법을 제시한다.

본 논문의 구조는 2장에서는 위치기반 알고리즘인 GPSR과 Geo-Back에 대하여 분석하고, 센서 네트워크의 전송전력 최적화에 관련된 내용에 대해 설명한다. 3장에서는 알고리즘을 각 단계별로 설명하며, 4장에서는 GPSR과 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 비교 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가하고, 5장에서 향후 연구계획과 함께 결론을 맺는다.

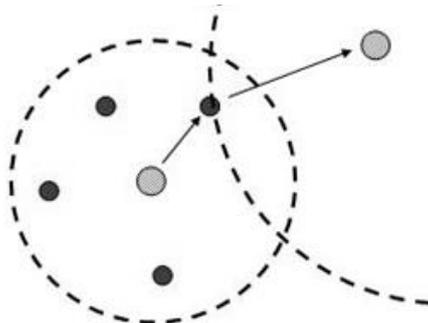
2. 관련 연구

2.1 GPSR(Greedy Perimeter Stateless routing)[1]

GPSR은 애드혹 네트워크에서 위치기반의 라우팅을 위하여 개발된 알고리즘이다. GPSR에서의 라우팅은 Greedy Forwarding을 사용하게 된다. Greedy Forwarding이란 자신이 전송할 수 있는 노드들 중에서 목적지 노드에 가장 가까운 노드에게 전달하는 방법을 말한다. 만일 경로선택이 막힌 부분이 나오면 GPSR은 시계방향으로 다음 노드를 찾는 Perimeter Protocol을 호출하여 경로를 계속 찾는다. 그리고, 목적지와 가까운 노드를 발견하고 Greedy distance 라우팅 기법으로 사용할 수 있을 때 Perimeter Protocol 사용을 중지하고 Greedy distance 라우팅 기법을 재사용하여 경로를 찾는다. 이를 위해서 GPSR은 주기적으로 주변의 한 홉 노드들과 위치 데이터를 주고받아 모든 노드는 자신의 한 홉 노드들의 위치데이터를 테이블로 만들어서 관리하게 된다. 하지만, 이러한 방법은 노드가 전달해야 할 패킷이 없을 때에도 항상 주변의 노드들과 위치데이터를 주고 받아야 하고, 주변의 노드들과 위치데이터를 주고 받기 위해서 계속해서 브로드캐스팅을 해야 하기 때문에 네트워크 전체에 큰 부담을 주게 된다.

2.2 Geo-back (Geographical Time Backoff routing)[3]

Geo-Back은 기존의 위치 기반 라우팅 알고리즘과 달리 주기적인 이웃 노드들의 위치 데이터 혹은 하나의 홉 내에 있는 이웃 노드들 수의 데이터를 이용하지 않고, 오직 소스



(그림 1) GPSR에서의 라우팅 예

와 목적지 노드의 위치 데이터만을 이용하며, 최적의 백 오프 시간(Back-off Time) 메커니즘을 사용하여 패킷 전송을 결정한다. 데이터를 보내려는 노드, 즉 소스노드는 한 홉 내의 노드들에게 ONI(Optimal Nexthop Information)값을 브로드캐스팅 하게 된다. ONI는 노드가 전송할 수 있는 전송범위 안에서 목적지 노드에 가장 가까운 가상의 위치를 말한다. ONI값을 받은 노드들은 자신이 ONI와 얼마나 떨어져 있는지 계산하게 되고 그 값을 기반으로 백 오프 시간을 가지게 된다. ONI로부터 가까운 곳에 위치한 노드는 짧은 백 오프 시간을 갖게 되고, ONI에 가까운 노드는 ONI에 대한 응답 메시지인 WA(Winner Application) 메시지를 보내게 된다. WA 메시지를 수신한 노드들은 백 오프 연산을 중지한다. 따라서, 소스는 WA 메시지를 보낸 노드를 다음 노드로 선택하고 그 노드에게 패킷을 전달하게 된다. 하지만, Geo-back 알고리즘은 ONI로부터의 거리에 따라서 백 오프 연산을 사용해 정해진 백 오프 시간을 이용하기 때문에 토폴로지의 빈번한 변경이 이루어지는 센서 네트워크 환경하에서는 적용하기에 다소 무리가 있다.

2.3 전송전력 최적화를 통한 효율적 에너지 관리[6]

노드는 수신한 패킷에 대한 연산과 송수신 시 사용하는 전송작업에 노드가 가지고 있는 에너지를 소비하게 된다. 연산에 사용되는 에너지의 양은 전송 시 사용되는 에너지에 비교하면 매우 작다. 따라서, 센서네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 전송전력에 따른 전송범위에 대한 관리가 필요하다. 센서 네트워크를 비롯하여 대부분의 무선 통신에서는 채널의 신호 감쇄특성으로 인하여 전송전력이 송수신 거리에 대하여 2차 이상의 상당한 증가를 보인다[5]. 이는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{rx} = k \times P_{tx} \times d^\alpha \tag{1}$$

P_{tx} 와 P_{rx} 는 각각 무선 채널내의 송수신 전력을, d 와 는 전송거리와 신호 감쇄 지수를 나타낸다. 각 무선모듈은 센서 네트워크 내에서 각각 소모하는 전류가 다르다. 이는 주파수 합성기, 필터와 같은 회로의 물리적 요소도 있으나 전송전력의 변화가 소모 전류에 가장 큰 영향을 미친다. 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 통신을 위한 적정 크기 이상의 전송 전력은 불필요한 네트워크의 에너지 소모를 야기할 수 있다[4]. 하지만, 기존의 알고리즘들은 이러한 점을 고려하지 않고 있다. 그러므로 무선채널 내에서의 연결 상태를 가늠할 수 있는 기준이 필요하다. 만일 10^{-3} 의 비트에러발생확률을 통하여 채널의 안정성을 가정한다면 O-QPSK의 변조방식을 사용하는 CC2420의 비트에러발생확률은 식(2)와 같이 표현될 수 있으며, 전송거리에 따라 소모되는 전류의 변화는 식 (3)과 같다. T_b 는 비트당 전송시간을 나타내며 Q 는 전하량, d 는 거리, 일반적인 노이즈 세기는 약 -80dBm 을 나타내며, α 는 신호감쇄지수를 나타내며 4로 설정한다. 또한 식 (3)을 위한 인수로 $T_b(1/\text{bps})$ 는 $4\mu\text{s}$ 로, N_0 는 410^{-14} mW/Hz

로 설정한다. 이에 따라, 실험에 의한 소모전류 값에 식(3)을 대입하면 전송거리가 증가함에 따라 무선모듈이 소모하는 전류량은 대략 선형적 증가를 보이게 된다. 이는 기존의 멀티홉 방식 알고리즘들이 효율적인 에너지 관리를 할 수 있다는 기존의 연구들과는 다른 결과이며 높은 전송전력에 의한 최소홉의 라우팅의 성능이 뛰어나다는 결과를 보여준다[6]. 하지만, 높은 전송전력은 보다 넓은 전송 가능 지역을 보장하나, 수신노드에서의 데이터 충돌을 발생시키는 노드수의 증가를 초래한다[7]. 따라서, 노드가 낼 수 있는 최대한의 전송전력을 사용하기 보다는 데이터 충돌을 고려한 적절한 세기의 전송전력을 사용하면 홉 수의 감소에서 얻어지는 에너지 이득과 더불어 보다 효율적인 에너지 관리가 가능할 것이다.

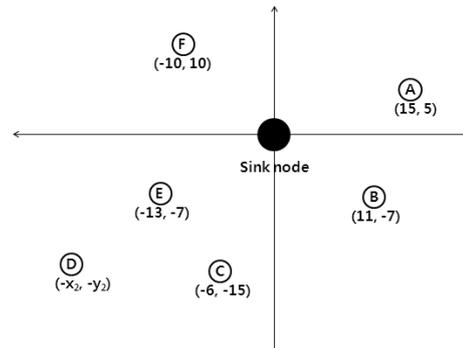
$$P_{tx}(d) = \left(\frac{\{Q^{-1}(\text{Pr}_{O-QPSK})\}^2 \times N_0 \times d^\alpha}{2 \times T_b} \right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Pr}_{O-QPSK} &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \\ &= Q\left(\sqrt{\frac{2 \times P_{tx} \times (1/d)^\alpha \times T_b}{N_0}}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

3. 제안 프로토콜(TDRP)

3.1 노드들의 상대좌표 초기화

본 논문에서는 한 개의 싱크노드와 다수의 센서 노드가 무작위로 배치된 방대한 네트워크 환경을 대상으로 한다. 싱크노드는 센서 노드들 보다 더 넓은 통신 반경을 가지고 있으며 데이터를 수집하는 역할을 한다[9]. 또한, 유선으로 연결된 워크 스테이션에 연결되어 정확한 위치를 알고 있다[16]. 센서노드의 전송범위는 기기의 종류에 따라 잔류 에너지량, 장애물 존재유무에 의해 약간의 차이는 있을 수 있으나, 일정한 범위를 갖고, 싱크노드는 센싱필드를 모두 커버할 수 있는 전송범위를 갖는다고 가정한다. 센서 노드의 위치를 알아내는 방법에는 GPS를 사용하는 방법[13]과 GPS 정보를 이용하지 않고 신호의 도달시간이나 신호의 도착시간차이 등을 이용하여 기준점으로부터의 거리를 계산해 내는 방법[14-17]이 있다. 기존에 제안된 위치기반의 라우팅 프로토콜들은 노드의 위치를 알아내는데 GPS 정보를 이용하여 데이터를 라우팅 하는데 일반적으로, 센서 노드에 장착될 수 있는 작은 GPS모듈은 위치 정보 수신시 65mA의 전류를 소비하며[13], 센서 노드의 RF모듈은 데이터 수신시 19.7mA의 전류를 소비한다[6]. 이는 센서 노드에서 GPS 정보 수신시, RF정보를 수신하는 것보다 약 3배 정도의 더 많은 에너지 소비가 있다는 사실을 나타낸다. 따라서, 기존에 제안된 위치기반 알고리즘에서 제안하는 방법을 이용하여 싱크노드와 센서노드간의 상대위치를 구하는 것이 에너지



(그림 2) 노드의 초기화

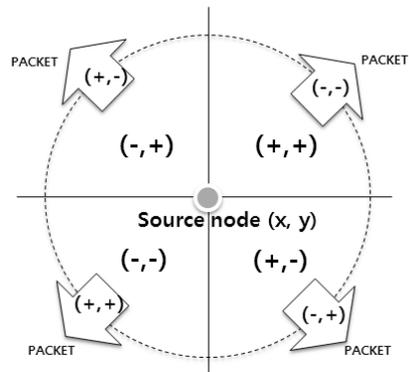
관리 측면에서 효율적이라 할 수 있다. [2, 11-16]

$$d_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (4)$$

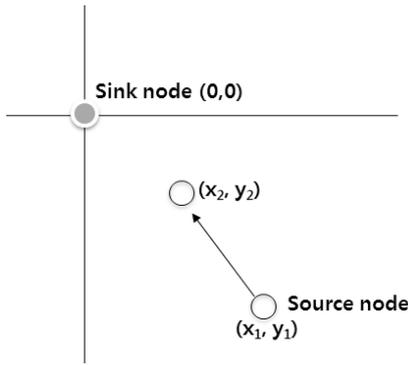
(그림 2)에서 보는 바와 같이 싱크 노드는 자신의 좌표를 (0,0)으로 갖는 사분면을 생성하고 자신의 위치와 시간을 브로드 캐스팅한다. 그 후, 각 노드들은 위치판별 알고리즘을 기반으로 자신의 상대적 좌표를 저장한다. 이 과정에서 각 센서 노드들은 싱크노드로부터 식(4)와 같이 거리 d_i 를 계산하여 위치정보와 함께 캐시에 저장하고 싱크에서의 주기적인 위치 정보 브로드캐스팅을 통해 소스 노드의 위치 정보를 업데이트 한다.

3.2 전송방향 결정

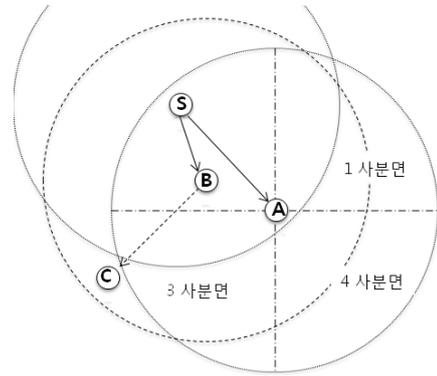
소스 노드는 이벤트가 발생할 때, 그 자신을 기준으로 다음 전송노드(T-node)를 찾는다. 라우팅에 참여하는 노드는 싱크노드의 방향으로 패킷을 전송한다. 만일, 싱크 노드의 반대편으로 패킷을 보낸다면 라우팅 홉수가 증가하게 되고 통신비용이 증가하여 네트워크의 에너지 소모의 원인이 된다[8]. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 초기화 과정에서 생성된 싱크 노드를 기준으로 하는 상대적인 좌표에 따라, 소스 노드가 패킷을 보낼 통신 영역을 4개의 사분면으로 나눈다. (그림 3)에서 보는 바와 같이 패킷을 수신할



(그림 3) 소스 노드의 전송방향 결정



(그림 4) 소스 노드로부터의 패킷 전송방향



(그림 5) T-노드의 재선정

<표 1> 전송방향 탐색 우선순위

소스좌표	1순위	2순위	3순위
+,+	-,-	+,-/-,+	+,+
+,-	-,+	-,-/+ ,+	+,-
-,+	+,-	-,-/+ ,+	-,+
-,-	+,+	+,-/-,+	-,-

다음 노드는 되도록 소스 노드가 가지고 있는 좌표값과 동일한 형태를 갖는 것이 좋으며, (0,0) 좌표(싱크노드)를 향해 패킷이 이동하여야 하므로 (0,0)에 가까운 좌표를 갖는 노드를 T-노드로 선택한다.

예를 들어, 센서 노드의 싱크노드로부터의 상대적인 좌표가 +,+인 경우에는 자신의 방향과 비교해서 상대적으로 -,- 좌표를 갖는 노드가 다음 전송노드로 선택되어야 하며, +,-인 경우에는 -,+ 좌표를 갖는 방향을 선택해야 한다. (그림 4)를 보면 싱크와 비교하여 소스노드는 (+,-)방향에 위치한다. 즉, $x_1 > 0, y_1 < 0$ 인 분면에 위치한다. 다음 전송노드를 (x, y) 라고 한다면, 식(5)는 만족하게 된다.

$$(x, y)_{next} = \begin{cases} x_1 - x_2 > 0 \\ y_1 - y_2 < 0 \end{cases} \quad (5)$$

이 과정은 효율적인 경로를 찾는 첫 번째 단계인 전송 방향을 결정하는 것으로써 소스 노드의 좌표에 따라 초기화 과정(3.1)에서 생성된 좌표값을 통해 쉽게 전송 방향을 결정할 수 있다.

<표 1>은 노드가 다음 전송 노드를 선택할 때, 탐색하는 사분면의 우선순위를 나타낸다. 각 노드는 표에서 나타난 것처럼 우선 자신의 좌표와 반대되는 분면을 탐색하고, 모든 분면을 탐색했음에도 해당하는 노드를 발견하지 못했다면, 자신의 좌표와 같은 분면을 탐색한다.

3.3 T-노드(Transfer node)의 재선정

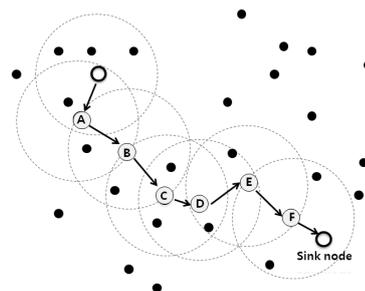
T-노드는 자신의 전송범위안에 있는 노드 중, 일차적으로 싱크노드 방향에 있는 노드를 다음 전송노드로 선정하려고 시도한다. 그러나, 그 분면에 노드가 존재하지 않으면 시

계방향, 혹은 반시계 방향의 분면에 T-노드로 선정될 노드가 있는지 탐색한다. 3개의 사분면에 다음 T-노드 역할을 할 노드가 없다면 이 T-노드는 자신을 T-노드로 선정한 노드에게 메시지를 보내 T-노드를 재선정할 것을 알리고 T-노드 재선정 메시지를 받은 노드는 이 노드를 제외하고 다시 T-노드 선정 작업에 들어간다. 실질적으로는 이 T-노드의 재전송을 수행할 확률은 매우 희박하나 노드의 위치가 변경되었거나, 사(死)노드의 출현과 같은 경우에 대비하여 T-노드 재선정 기법이 제시되어야 한다.

(그림 5)는 T-노드 재선정의 과정을 보여준다. 싱크노드가 +,-방향에 있다고 가정하면 소스 노드는 싱크노드로부터 상대적으로 2사분면에 있으면서 싱크노드와 가깝게 있는 노드, 즉 d값이 가장 작은 A노드를 T-노드로 선정한다. 하지만, A노드의 전송범위안의 1,3,4 분면에 위치한 노드가 하나도 없는 경우, A노드는 다시 S노드에게 메시지를 보내 T-노드를 재 설정할 것을 알려준다. 소스 노드는 A보다는 가까운 곳에 있는 노드 B를 T-노드로 선택하고 B는 역시 4사분면 →3사분면 →1사분면을 탐색하여 데이터 전송에 참여할 다음 노드를 선택한다. 노드 B는 이상적 데이터 전송 방향인 4사분면에 위치한 노드가 없으므로 3사분면을 탐색하여 C노드를 다음 T-노드로 선정한다.

3.4 TDRP에서의 라우팅 예

(그림 6)은 노드들이 무작위로 배치된 환경에서 이벤트가 발생된 소스노드로부터 싱크노드까지의 라우팅과정을 보여주고 있다.

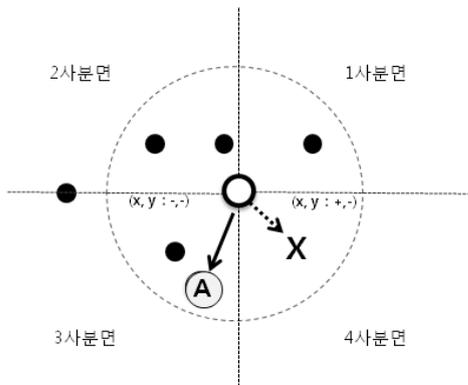


(그림 6) 이벤트 발생에 따른 라우팅 예시

단계 1. 이벤트 발생

이벤트가 발생한 S노드는 자신의 좌표를 이용하여 패킷을 전송할 방향을 결정한다. 소스 노드가 가지고 있는 싱크 노드와의 상대적 위치 좌표는 $(-,+)$ -2사분면-의 형식을 갖는다고 가정하자. 따라서 패킷의 전송방향은 일차적으로 $(+,-)$: 4사분면이 된다.

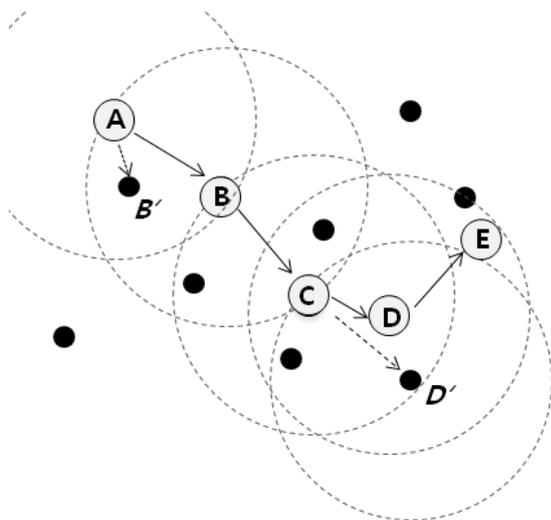
(그림 7)을 보면 4사분면에는 전송범위내에 노드가 존재하지 않으므로 시계방향으로 탐색방향을 변경하여 3사분면에 위치하는 노드 중, 좌표값이 싱크노드의 좌표인 $(0,0)$ 에 가까운 A 노드를 찾게 된다. 만일 3사분면에서도 노드를 발견하지 못한다면 1사분면을 탐색하고, 마지막으로 2사분면을 탐색하게 된다.



(그림 7) 이벤트 발생 이후 전송방향 설정

단계 2. T-node의 선정 및 데이터 전송

A노드가 최초 패킷을 전송한 소스 노드에게 T-노드로 선정되면, A노드는 소스 노드에게 Receive Message를 돌려주며 A노드는 다시 소스 노드가 했던 방식으로 다음 T-노드를 찾게 된다. (그림 8)에서 A노드는 B노드를 T-노드로



(그림 8) 소스 노드에서 싱크노드로의 패킷 전송

선정한다. A노드의 전송방향인 $(+,-)$ 방향에는 B와 B'이 위치한다. B가 B'보다 싱크 노드에 더 가까운 노드이기 때문에, 즉 $d_{B} < d_{B'}$ 이기 때문에 A는 B를 다음 전송을 위한 T-노드로 선정하게 된다. C노드의 경우 프로토콜에 따라 C노드를 기준으로 $(+,-)$ 방향 즉, 4사분면에 노드를 탐색하여 T-노드로 선정하여야 하나, 프로토콜에 따라 선정된 D'노드의 전송범위 안에 패킷을 받은 방향 외에는 노드가 존재하지 않으므로 다시 C노드로 패킷을 되돌려 준다. 패킷을 되돌려 받은 C노드는 C노드의 탐색범위 안에 위치한 노드 중 두 번째로 작은 d_i 값을 가진 노드를 T-노드로 선정하고 T-노드 선정에 실패한 사분면과 이전 패킷을 받은 사분면을 제외한 나머지 사분면을 탐색하여 E노드를 다음 T-노드로 선정한다.

단계 3. 싱크노드로의 패킷전송.

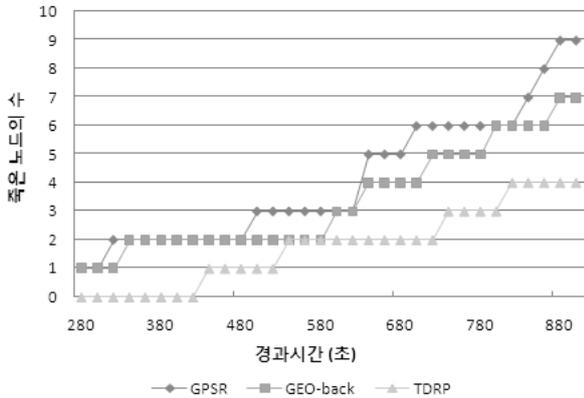
최종적으로 싱크노드가 전송범위안에 있는 노드를 찾게 되면 T-노드를 선정하는 작업 즉, 경로를 선정하는 작업이 완료되고 소스 노드는 이 경로상의 T-노드를 이용해 싱크노드로 데이터를 전송한다.

4. 시뮬레이션 및 결과

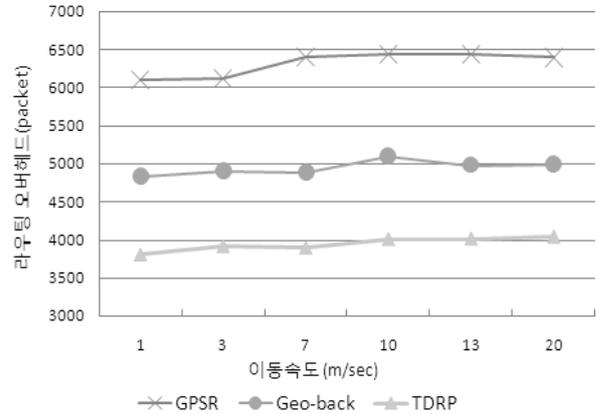
시뮬레이션은 NS2(Network Simulation2)를 사용하였다. 시뮬레이션 환경은 $100(m) \times 100(m)$ 의 평면 공간에서 노드의 개수를 50개로 설정하고, 각 노드의 전송 범위는 10m로 설정하였으며, 싱크노드의 전송반경은 전체 네트워크 영역을 커버할 수 있도록 설정하였다. 또한 실험은 900초 동안 진행 하였다. MAC 프로토콜은 NS2에 구현되어 있는 802.11을 사용하고 CBR(Constant Bit Rate) 모델을 이용하여 초당 64바이트 크기의 패킷을 발생시켜 각 노드의 트래픽 발생 확률을 일정하게 가정하였다. 에너지 소모 모델은 각 노드의 초기 에너지는 10J로 설정하고, 송신출력 24.75mW, 수신 출력 13.5mW, 대기 모드일 때의 출력은 고려하지 않았다. 또한, random-way point[18] 모델을 이용하였으며, 오버헤드의 증가[1]와 실제 필드에서의 센서노드의 이동이 3초 정도의 시간 내에 빈번하게 일어나지 않는다는 판단에 따라 비콘의 주기를 3초로 설정한 GPSR과 Geo-back을 비교하였으며, 각 노드의 위치 업데이트는 전송범위와 이동속도를 고려하여 10초로 설정하였다.

(그림 9)는 네트워크 운용시간에 따라 사(死)노드(dead node)의 수를 나타낸다. 센서 네트워크에서는 최초 사(死)노드가 나타나는 시기가 네트워크 전체 수명을 결정짓는 기준이 된다[6]. 시뮬레이션 결과로 볼 때, 첫 번째 사(死)노드의 출현은 GPSR과 Geo-back보다 약 100초 이상 늦고, 시간이 경과함에 따라 사(死)노드의 출현빈도 역시 적음을 알 수 있다. 이는 TDRP가 에너지 관리측면에서 뛰어난 효율성을 가지고 있다는 것을 보여주고 있다.

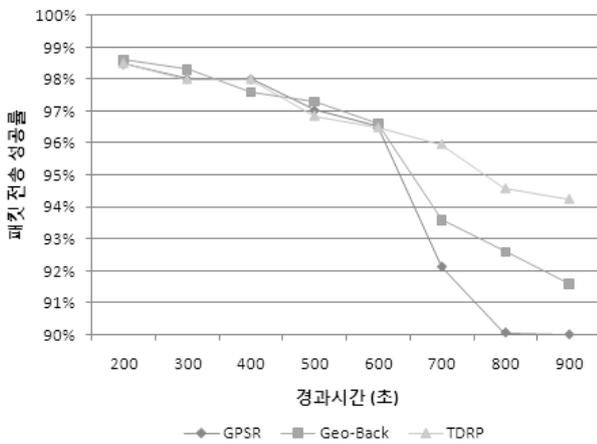
(그림 10)은 경과시간 대비 송수신 성공률을 나타낸다. GPSR과 Geo-back은 시간이 지남에 따라 사(死)노드의 증



(그림 9) 경과시간 대비 사(死)노드 출현



(그림 11) 이동속도에 따른 라우팅 오버헤드



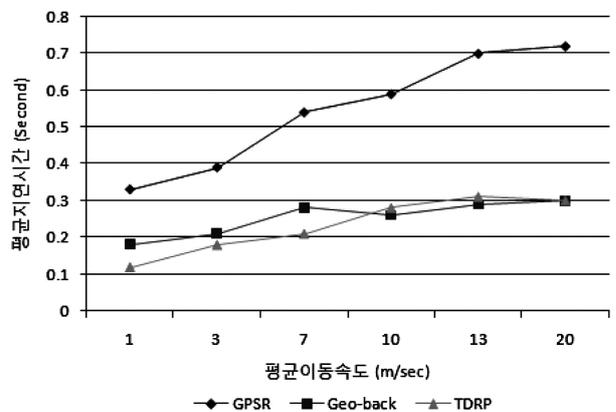
(그림 10) 패킷전송 성공률

가에 의해 전송 성공률은 감소한다. 하지만, TDRP는 초기에는 GPSR보다 약간 낮은 성공률을 보이는 반면에 사(死)노드의 증가에도 불구하고 높은 전송 성공률을 보이고 있다. GPSR은 주기적인 비콘(beacon)을 이용해 주변 노드들의 위치를 테이블에 저장하기 때문에 처음에는 TDRP보다 높은 성공률을 가진다. 하지만 사(死)노드들이 발생함에 따라 테이블 내용을 업데이트 하는데 많은 오버헤드가 발생하게 되고, 이에 따라 전송 성공률도 떨어지는 것으로 판단된다. Geo-back의 경우, 초기에는 GPSR과 패킷 전송 성공률은 거의 비슷하지만, ONI의 사용으로 인해 GPSR과 같은 급격한 감소율을 나타내지는 않는다. 그래프에서도 알 수 있듯이 TDRP의 경우 능동적으로 T-노드를 탐색하는 방법을 사용하기 때문에 사(死)노드의 증가에도 불구하고 GPSR보다 안정된 성공률을 가지게 된다.

(그림 11)은 전체 라우팅 오버헤드를 보여주고 있다. 소스 노드로부터 브로드 캐스팅하여 주변 노드들의 정보를 모두 습득하는 GPSR과 소스 노드와 싱크 노드의 위치정보를 바탕으로 ONI를 계산하고 이웃 노드들에게 브로드 캐스팅하는 Geo-back과 달리 소스 노드로부터 사분면을 형성하여

해당되는 사분면만을 통신에 참여 시키는 방법을 사용하기 때문에 GPSR에 비하여 평균적인 오버헤드를 계산하였을 때, 결과는 (그림 11)과 같이 GPSR보다 20% 이상 낮은 오버헤드 수치를 보여주고 있다

(그림 12)는 이동속도에 따른 평균 지연시간을 나타낸다. GPSR의 경우 속도가 느릴 때는 위치 정보의 정확성이 높아지기 때문에 빠르게 목적지 노드까지 전송한다. 하지만, 속도가 증가하면, GPSR은 위치정보의 부정확성으로 인한 전달노드의 부재로 인해 전달 노드의 재선택과 데이터의 재전송으로 인하여 지연시간은 이동속도에 비례하여 증가하게 된다. 그러나, Geo-back의 경우, 전송 전에 위치정보를 수신했다면 위치정보의 정확성이 시간이 지남에 따라 떨어지게 되지만, 전송하는 시점에 전송 노드를 선택하게 되므로 (그림 12)와 같은 결과를 보여주고 있다. 또한, TDRP의 경우 노드의 선정 기준이 3.2절에서 설명한 것과 같이, 사분면의 부호 형식이기 때문에 이동속도가 낮을 때는 해당 분면의 범위를 넘어가기 전까지는 T-노드의 위치가 유효하므로 지연시간은 적어지나, 속도가 높을 때에는 Geo-back과 유사한 결과를 보이고 있다.



(그림 12) 이동속도에 따른 지연시간

5. 결 론

본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘은 클러스터 또는 그리드를 생성하지 않고, 전송범위와 노드의 상대적 위치만을 이용하여 특정 사분면의 노드들에게만 데이터를 전송하기 때문에 네트워크 오버헤드가 적다. 또한, 센서 네트워크 내의 라우팅 경로 설정에 장애가 생겼을 때, 능동적인 T-노드를 선택하여 유효한 경로를 재 선택할 수 있다. 패킷의 전송방향에 위치하는 노드들만이 통신에 참여하는 방식으로 노드의 통신참여 확률을 줄임으로써, 에너지 효율성 또한 뛰어남을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 센서 네트워크에서 노드의 이동성을 지원하기 위해서는 주기적으로 위치정보를 갱신해야 하지만, 이는 갱신에 의한 오버헤드가 매우 크다는 문제점이 있다. 향후, 최소의 추가적 오버헤드로 노드의 이동을 지원할 수 있는 방법에 대한 연구를 계획 중이며, 장애물에 의해 통신이 단절 되었을 때 효과적인 경로 재설정에 대한 연구도 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] B Karp, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless routing for Wireless Networks," Mobicom., pp.243-254, 2000.
- [2] Tjjs van Dam, Koen Langendoen, "An adaptive energy Efficient MAC Protocol for Wireless sensor networks," In 21st Conf. of the IEEE Computer and Communications Soc. INFOCOM, pp.1567-1576, 2002.
- [3] Jaiyong Lee, "Energy Efficient Geographical Time Backoff Routing for wireless Sensor Networks," RFID/USN Korea 2005 International Conference, Seoul, Korea, Oct., 14, Track 5, Session1, 2005.
- [4] Jeffrey P. Monks, Jean-Pierre Ebert, Adam Wolisz, Wen-mei W.Hwu, "A Study of the energy Saving and Capacity Improvement Potential of Power Control in Multi-hop Wireless Networks," in Proc. of Local Computer Networks 26th Annual IEEE Conference, pp.550-559, 2001.
- [5] Katja Schwiager, Gerhard Fettweis, "Power and Energy Consumption for Multi-Hop Protocols : A sensor network Point of View," in International Workshop in Wireless Ad-Hoc Networks, London, Session I-a [Sensor Networks], 2005.
- [6] Heungsik Eom, Keonwook Kim, "Study of Efficient EnergyManagement for Ubiquitous sensor networks with Optimization of the RF power," IEEK. pp.37-42, 2007.
- [7] Swetha Narayanaswamy, Vikas Kawadia, R. S. Sreenivas and P. R. Kumar, "Power Control in Ad-Hoc Networks : Theory, Achitecture, algorithm and Implementation of the COMPOW Protocol," in Proc, Eur, Wireless Conf. pp.156-162, 2002.
- [8] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin. "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE / ACM Trans. on Networking, pp.493-506, 2004.
- [9] Rappaport, Theodore S, "Wireless Communications Priciple and Practice," 2nd edition, Prentice Hall, 2005.
- [10] SON Dongjin, HELMY Ahmed, KRISHNAMACHARI Bhaskar, "The Effect of Mobility-Induced Location Errors on Geographic Routing in Mobile Ad Hoc and Sensor Networks: Analysis and Improvement Using Mobility Prediction," IEEE Trans, Mobile Computing, pp.233-245, 2004.
- [11] Menouar, H. Lenardi, M. Filali, F. "Movement prediction-based routing (MOPR) concept for position-based routing in vehicular networks," in Proc, IEEE WiVec, pp.2101-2105, 2007.
- [12] P. Bahl, V. N. Padmanabhan. RADARL: An in-building RF-based user location and tracking system. In Proc. IEEE Infocom, pp.775-784, 2000.
- [13] N. Bulusu, J. Heidemann, D. Estrin, "GPS less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices," IEEE Personal Communications Magazine, pp.23-34, 2000.
- [14] T. He, C. Huang, B.M. Blum, J.A. Stankovic and T. Abdelzaher, "Range Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," ACM International Conference on Mobile Computing and Netwo king, pp.81-95, 2003.
- [15] H. Yan, H. Han-ying, Z. Shan, "A TOA Based Believable Factor Mobile Location Algorithm," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp.260-263, 2004.
- [16] L. Cong, W. Zhuang, "Non-Line-of-Sight Error Mitigation in TDOA Mobile Location," IEEE Global Telecommunications Conference, pp.680-684, 2001.
- [17] V. Ramadurai, M.L. Sichitiu, "Localization in Wireless Sensor Networks: A Probabilistic Approach," In Proceeding of 2003 International Conference on Wireless Networks, pp.300-305, 2003.
- [18] Broch, J., Maltz, D., Johnson, D., HU, Y., Jetcheva, J. A "performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols," In Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '98) (Dallas, Texas, USA, Aug., 1998).
- [19] 이좌형, 정인범 "센서 네트워크에서 홈에이전트와 액세스 노드에 기반한 모바일 싱크를 위한 데이터 전송 기법" 정보처리학회논문지C, Vol.15-C, No.5, pp.383-390, 2008.
- [20] 안상현, 임유진, 김만희 "무선 센서 네트워크의 데이터 전송 특성을 고려한 효율적인 플러딩 기법" 정보처리학회논문지C, Vol.16-C, No.2, pp.209-216, 2009.
- [21] 남도현, 민홍기 "센서 네트워크에서 클러스터 헤드의 load-balancing을 통한 에너지 효율적인 클러스터링" 정보처리학회 논문지C, Vol.14-C, No.3, pp.277-284, 2007.



이 현 준

e-mail : dblab@sunmoon.ac.kr
2005년 선문대학교 컴퓨터정보학과(학사)
2007년 선문대학교 전자계산학과(이학석사)
2007년~현재 선문대학교 컴퓨터정보학과 박사과정
관심분야: 센서네트워크, 데이터베이스, RFID



이 경 오

e-mail : leeko@sunmoon.ac.kr
1989년 서울대학교 계산통계학과(학사)
1994년 서울대학교 전산학과(이학석사)
1999년 서울대학교 전산학과(이학박사)
1999년~현재 선문대학교 컴퓨터공학부 부교수
관심분야: 컴퓨터보안, 센서네트워크, 멀티미디어



이 영 한

e-mail : hans0209@sunmoon.ac.kr
2003년 선문대학교 컴퓨터정보학과(학사)
2007년 선문대학교 전자계산학과(이학석사)
2007년~현재 선문대학교 컴퓨터정보학과 박사과정
관심분야: 센서네트워크, 센서미들웨어, 컴퓨터보안