

센서 네트워크에서 무선채널환경을 고려한 위치기반라우팅기법

정회원 심인보*, 종신회원 이재용*

Geographical Routing Scheme Considering Channel Condition in WSN

In-Bo Sim* *Regular Member*, Jai-Yong Lee* *Lifelong Member*

요 약

센서네트워크에서 각 노드가 오직 자신의 이웃 노드에 대한 위치정보만을 가지고 라우팅 경로를 설정하는 위치기반 라우팅은 확장성에 있어 매우 효과적인 프로토콜이다. 그러나 순수한 위치기반 라우팅은 채널상태를 고려하지 않는다. 채널상태를 고려하지 않는다면, 라우팅 테이블이 업데이트될 때 채널상태가 좋지 않은 노드가 라우팅 테이블에 업데이트 되어 릴레이 노드로 선택되어질 수 있다. 이것은 에러로 인한 재전송을 유발하게 되고 이러한 재전송 때문에 추가의 에너지가 소비되게 된다. 이러한 사실로부터, 본 논문에서는 위치기반 라우팅에서 채널상태를 고려함으로 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하고 소비되는 에너지를 최소화 할 수 있는 라우팅 방법을 제시하였다.

Key Words : 위치기반 라우팅; 채널상태; 신뢰성; 에너지; 센서네트워크

ABSTRACT

Geographical routing protocol, where nodes only need local information exchange to make routing decisions, is a very efficient routing scheme for wireless sensor networks in scalability. However, pure geographical routing does not take account of wireless link condition. If wireless link condition is not considered, when the routing table is updated, the nodes with bad link conditions are updated in the routing table and can be chosen as the next hop. This brings out the retransmissions because of received packet's errors. Also, because of these retransmissions, additional power is consumed. In this paper, we propose geographical routing scheme considering wireless link condition, where reliable data transmission is made and the consumed energy is minimized.

I. 서 론

센서노드(sensor node)들은 에너지 제한적이다. 이러한 이유 때문에 센서네트워크에서 모든 응용(application)과 프로토콜(protocol)들은 최소한의 네트워크 자원, 특히 최소한의 에너지를 소비하여야만 하고 이렇게 함으로서 네트워크의 생존성을 높일 수 있어야만 한다. 또한, 에너지 절약(energy saving)과

더불어 확장성(scalability)은 센서네트워크에서 라우팅(routing) 프로토콜을 설계하는데 있어 고려하여야 할 중요한 요소이다. 확장성이란 네트워크의 크기가 커지거나 네트워크의 트래픽(traffic)이 증가하더라도 프로토콜이 잘 동작하여야 한다는 것을 의미한다. 그러므로 좋은 라우팅 프로토콜은 네트워크 토폴로지(topology)의 변화에 적응적이어야 한다.

이러한 것들은 라우팅 경로를 결정하기 위하여

* 연세대학교 전기전자공학과 Ubinet LAB(ivysim@yonsei.ac.kr, jyl@yonsei.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-04-136, 접수일자 : 2009년 4월 1일, 최종논문접수일자 : 2009년 6월 16일

오직 지역적인 정보만(local information)을 이용하는 분산처리 알고리즘(decentralized algorithm)에 의해 잘 이루어질 수 있다. 이러한 의미에서 각 노드가 오직 자신의 이웃 노드(neighbor node)에 대한 위치정보만을 가지고 라우팅 경로를 설정하는 위치기반 라우팅(geographical routing)이 효과적임을 알 수 있고, 또한 위치기반 라우팅이 위치기반이 아닌 라우팅 방법보다 훨씬 확장성이 좋다는 것이 실험적으로 증명되었다¹¹⁾.

또한, 센서노드들은 채널상태가 좋지 않은 나쁜 환경에 분포될 수도 있다. 이러한 환경과 더불어 송신노드에서 목적지 노드인 싱크(sink)노드까지의 거리가 멀어져 목적지까지의 홉수(hop count)가 증가하게 되면 보내고자 하는 데이터가 싱크까지 도달할 가능성은 점점 더 낮아지게 된다¹²⁾. 이러한 이유 때문에 위치기반 라우팅을 사용할 경우 노드의 위치뿐 아니라 채널상태까지 고려되어야 한다. 만일 채널상태가 고려되지 않는다면 전송시 채널상태가 좋지 않은 노드가 next hop으로 선택되어 보내고자 하는 데이터가 목적지에 제대로 전달되지 못할 수 있을 뿐 아니라 재전송으로 인해 추가의 에너지가 소비되게 된다.

이러한 사실로부터, 본 논문에서는 위치기반 라우팅에서 신뢰성(reliability)있는 데이터 전송을 보장하고 소비되는 에너지를 최소화 할 수 있는 라우팅 방법을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구를 기술하였고, III장에서는 제안하고자 하는 내용을 구체적으로 살펴보았다. 또한 IV장에서는 실험 및 고찰에 대하여 마지막으로 V장에서는 결론을 기술하였다.

II. 관련연구

대부분의 제안된 에너지 효율적 라우팅 방법들은 지연(delay)나 홉수(hop count)같은 전통적인 라우팅 메트릭(routing metric)대신 에너지에 관련된 메트릭을 사용한다^{31)[7]}. 그러나 이러한 방법들 대부분은 에너지에 최적인 경로를 찾기 위해 전체 네트워크에 대한 정보(global information)를 필요로 하게 된다.

에너지 효율적 라우팅 프로토콜과 달리 확장성을 향상시킬 목적으로 많은 위치기반 라우팅 프로토콜들이 제안되어졌다^{8)[11]}. 이러한 위치기반 라우팅 방법들에서는 각 노드가 자신과 이웃노드 그리고 목적지의 위치를 알고 있다는 가정하에 오직 자신의

이웃노드에 대한 지역적인 정보만을 이용하여 각 노드에서 릴레이 노드(relay node)를 결정하게 된다. 대부분의 위치기반 라우팅에서 사용되는 greedy algorithm은 자신의 전송거리 범위내에서 자신보다 목적지에 가까운 노드중 목적지에 가장 가까운 노드를 릴레이 노드로 설정하게 된다. 위치기반 라우팅에서 릴레이 노드를 결정할 때 자신의 전송범위내에서 자신보다 목적지에 가까이 위치한 노드가 없을 경우 발생하게 되는 void를 다루는 방법에 따라 다양한 위치기반 라우팅 프로토콜들이 존재하게 된다.

최근에 에너지를 고려한 위치기반 라우팅 프로토콜들이 제안되어졌다. power-aware localized routing에서는 전송전력에 기반한 메트릭과 각 노드에서의 잔여에너지에 기반한 메트릭을 결합한 방법이 제안되었다. partial topology knowledge forwarding¹²⁾에서는 각 노드가 토폴로지의 지역적인 정보에 기반하여 shortest energy-weighted path를 설정하는 방법이 제안되었다. probabilistic geographic routing¹³⁾에서는 각 자신의 이웃 노드들에게 그들의 잔여에너지와 위치에 비례하는 확률을 할당하고 이 들 중에서 릴레이 노드를 확률적으로 선택하였다.

III. 채널상태를 고려한 위치기반 라우팅

3.1 라우팅 방법

만일 목적지 노드(sink)가 전송노드(source)의 전송범위내에 존재한다면 전송노드는 패킷을 목적지 노드에 바로 보내고, 목적지 노드가 전송노드의 전송범위밖에 존재할 때에는 그림 1에서처럼 자신보다 목적지에 가까이 위치한 노드중에서 다음절에서 구체적으로 설명되어질 거리 d_{op} 에서 가장 가까운 노드를 릴레이 노드로 선택한다. 이후 제안된 방법을 optimal-distance라 한다.

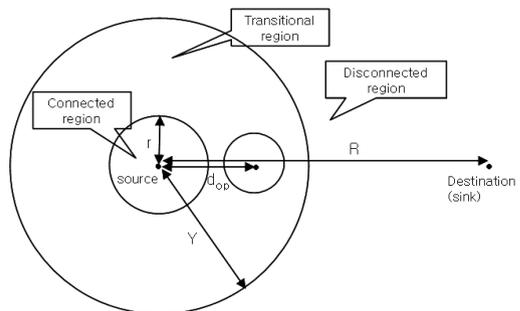


그림 1. 제안된 라우팅 방법

3.2 void와 loop를 다루는 방법

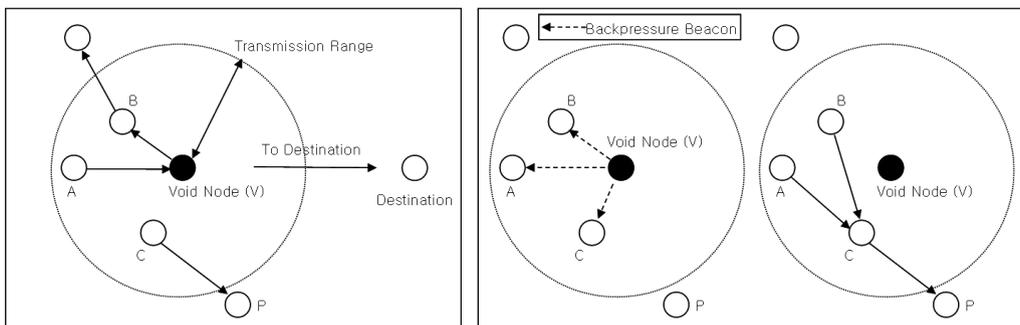
전송노드 S와 목적지 노드 D가 주어진 경우, 이웃노드 X의 advance는 S와 D의 거리에서 X와 D의 거리를 뺀 값으로 정의 된다. 위치기반 라우팅에서 루프(loop)가 발생되지 않기 위해서는 positive advance를 가지는 이웃노드가 릴레이 노드로 선택되어야 한다^[12].

void 노드는 자신의 전송거리 범위 내에서 자신보다 목적지(싱크 노드)에 가까이 위치하는 노드가 존재하지 않는 노드로서, 만일 void노드가 존재하면 negative advance를 가지는 노드가 릴레이 노드로 선택되어질 수 있기 때문에 루프가 발생할 수 있다. 루프가 발생하지 않으면서 void노드를 해결할 수 방법은 크게 right hand rule^{[8],[9]}과 backpressure rule^[10] 두 가지로 분류 된다.

right hand rule에 따르면(그림 2(a)), void노드(V)는 각 방법들에서 다르게 설정되는 기준선을 중심으로 시계반대방향으로 회전시키면서 처음으로 만나게 되는 노드(B)로 패킷을 전송하게 된다. 그림 2(a)에서 void노드(V)는 C노드를 경우 하여 P노드로 패킷을 보낼 경우 루프가 발생되지 않으면서 void문제도 해결될 수 있다. 그럼에도 불구하고 right hand rule이 사용되면 void노드는 패킷을 B노드로 보내게 되는 문제가 발생하게 된다. backpressure rule에 따르면(그림 2(b)) void노드는 backpressure beacon을 보내게 되고, 패킷을 전송하기 위하여 void노드를 필요로 하는 upstream 노드는 backpressure beacon을 이용하여 void노드로 패킷을 전송하는 것을 중단하고 목적지 방향으로 다른 노드를 찾으려고 시도하게 된다. 또한 이러한 방법은 혼잡회피를 위해서도 사용될 수 있다. 그러나 void노드가 패킷을 어떻게 전송해야 하는 지는 언급하지 않고 있다. 만일 void 노드(V)의 패킷전송을

위해 루프가 발생되지 않도록 right hand rule이 적용 된다면 그림2(a)에서처럼 right hand rule적용 시 발생할 수 있는 문제가 동일하게 발생할 뿐 아니라 만일 P노드가 존재하지 않는다면 C와 V노드는 negative advance를 가지게 되어 루프가 발생하게 된다. Backtracking이 허용되지 않는 상황에서는 backpressure rule이 우수한 성능을 보임을 알 수 있다^[10].

본 논문에서는 루프와 void문제를 다루기 위해 아래와 같은 방법을 사용한다. 모든 노드는 라우팅 테이블을 업데이트한 후 만일 자신이 void노드이면 void_message를 자신의 이웃노드들에 브로드캐스팅 한다. 이웃노드들이 void_message를 받으면 그들은 void노드의 ID를 저장하고 릴레이 노드를 선택할 때 void노드를 제외한다. 예를 들면 그림 3(a)에서 노드 A는 설정되어지는 d_{op} 에 따라 B또는 C노드를 릴레이 노드로 선택하게 된다. 또한 B와 V노드는 이웃노드들중에서 싱크노드에 가장 가까운 노드인 C노드를 릴레이 노드로 선택하게 된다. 이러한 방법은 backpressure rule과 the right hand rule의 단점을 보완하면서 backpressure rule과 유사하게 동작함을 알 수있다. 실제로 void 노드는 아니지만 릴레이 노드 선택 시 void_message를 전송한 노드를 제외함으로써 마치 자신보다 목적지에 가까이 위치하는 노드가 존재하지 않는 것처럼 보이는 노드를 virtual void 노드라 할 때, 그림 3(b)에서처럼 만일 P노드가 존재하지 않는다면 A, B, C노드들을 virtual void노드가 되게 된다. 이렇게 됨으로서 V노드와 이웃노드들은 void노드가 되어 패킷을 전송할 수 없게 된다. 이러한 현상을 extended void라 할 때, 이러한 현상은 backpressure rule에서도 동일하게 발생된다. 그러나 extended void는 그림 3(b)에서처럼 right hand rule에 의해 해결될 수 있다.



(a) Right Hand Rule

(b) Backpressure Rule

그림 2. right hand rule과 backpressure rule

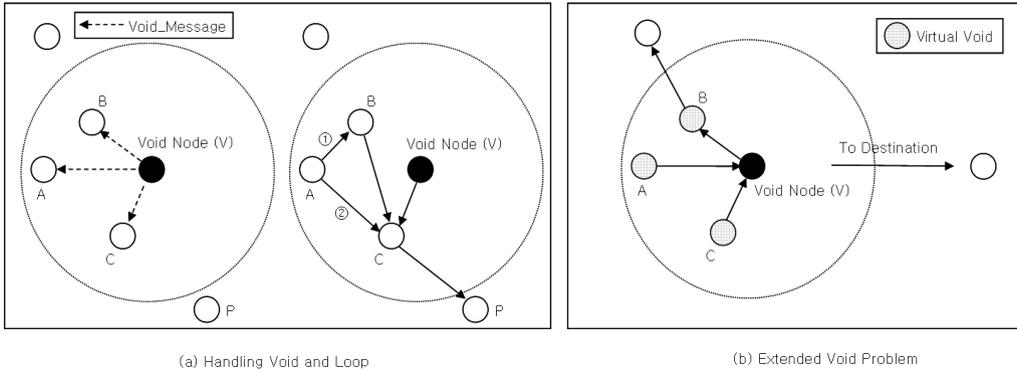


그림 3. void와 loop를 다루는 방법

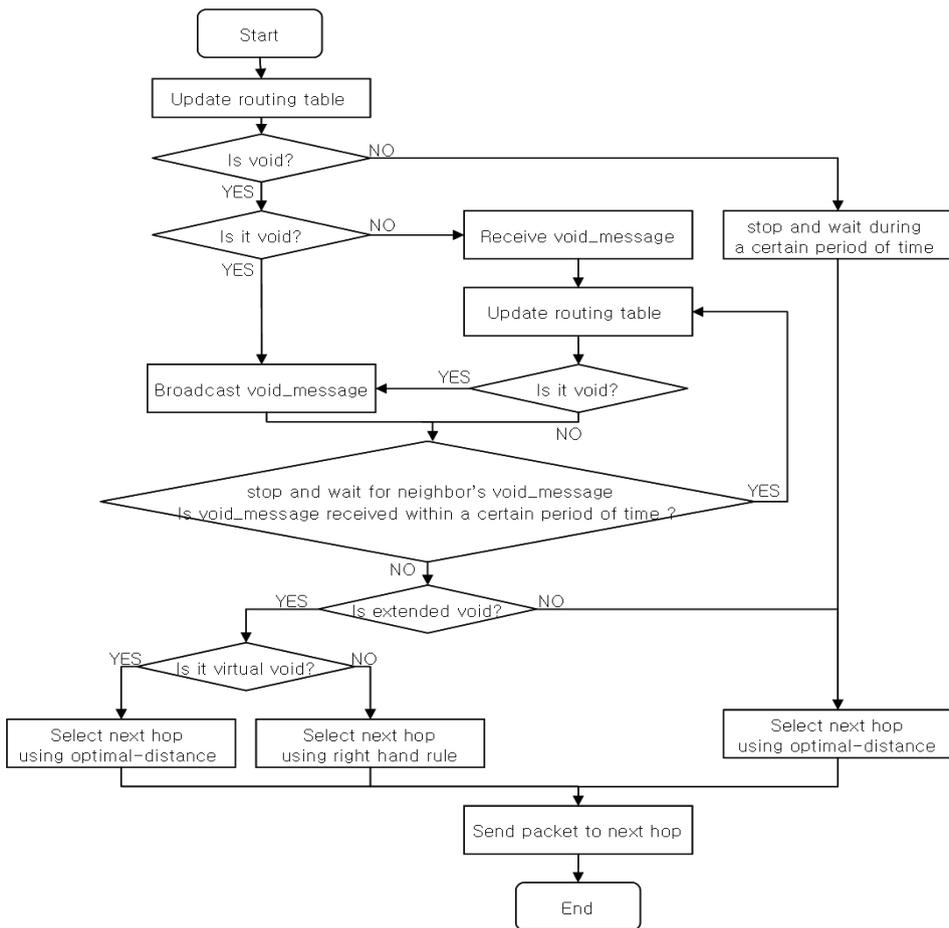


그림 4. 순서도

그림 4는 제안된 방법이 어떻게 동작하는 지는 보여주는 순서도이다.

3.3 거리 d_{op}

임의의 실수 ϵ 에 대해 샘플평균과 모평균의 차이

가 ϵ 보다 클 확률은 샘플크기 n 이 커지면서 점점 작아진다는 것을 의미하는 대수의 약법칙(Weak law of large numbers)에 의해 PRR(Packet Reception Rate)는 패킷을 성공적으로 받을 확률 p 에 의해 근사화 될 수 있다^[4]. 이때 센서모듈인 MICA2

notes에서 사용되는 NRZ (Non Return to Zero) encoding과 non-coherent FSK (Frequency Shift Keying) modulation의 경우 송신노드에서 거리 d 만큼 떨어진 노드에서 패킷을 성공적으로 수신할 확률 p 는 아래와 같이 표현될 수 있다^[14].

$$p = \left(1 - \frac{1}{2} \exp^{-\frac{r(d)}{2} \frac{1}{0.64}}\right)^{8f} \quad (1)$$

여기서 f 는 프레임 크기(frame size), $r(d)$ 는 거리 d 에서의 SNR(Signal to Noise Ratio)이다. 식(1)로부터 $r(d)$ 는 아래와 같이 주어진다.

$$r(d) = 10 \log_{10} \left(-1.28 \ln \left(2 \left(1 - p^{\frac{1}{8f}}\right)\right)\right) \quad (2)$$

또한 $r(d)$ 를 정의로부터 아래와 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$r(d) = 10 \log_{10} \frac{10^{\frac{P_t - PL(d)}{10}}}{10^{\frac{P_n}{10}}} = 10 \log_{10} 10^{\frac{(P_t - PL(d)) - P_n}{10}} \quad (3)$$

여기서 P_t 는 전송전력(transmitting power)(dBm)이고, $PL(d)$ 은 거리 d 에서의 path loss(dB)이고, P_n 은 noise floor(dBm)이다. 각각의 요소들은 다시 아래와 같이 표현된다.

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (4)$$

여기서 d 는 송수신노드간 거리이고, d_0 는 reference distance이고, n 은 path loss exponent, X 는 zero-mean Gaussian RV with standard deviation이다.

$$P_n = (F + 1)kT_0B \quad (5)$$

여기서 F 는 noise figure이고, k 는 Boltzmann's constant이고, T_0 는 ambient temperature, B 는 equivalent bandwidth이다. 식(2)~(5)로부터 거리 d 는 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$d = \left(10^{\frac{(-PL(d_0) - P_n - \log_{10}(-1.28 \ln(2(1 - p^{\frac{1}{8f}}))))}{10}}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (6)$$

그림 1에서처럼 노드의 전송거리 범위내에는 연결영역(connected region), 전이영역(transitional region), 비연결영역(disconnected region)의 3가지 구별되는 영역이 존재한다^[14]. 자신의 전송범위내의 모든 노드는 자신의 이웃노드이다. 이 중 연결영역에내에 있는 노드는 수신단에서 거의 모든 패킷을 완벽하게 수신할 수 있다.

반면, 비연결영역에서는 거의 모든 패킷이 에러를 가지고 수신된다. 여기서 가장 우리의 관심이 되는 영역은 전이영역이다. 전이영역에서의 패킷은 에러를 가지고 수신될 수도 있고 에러없이 수신될 수도 있다.

전이영역이 시작되는 거리 r 범위내에서는 재전송 없이 신뢰성 있는 데이터전송이 가능하다. 그러나 목적지 방향으로 나아가는 평균 원홉전송거리(average one hop forwarding distance)는 next node가 거리 r 이상에서 선택되어지는 경우보다 짧아지게 된다.

또한, 목적지 방향으로 나아가는 평균 원홉전송거리가 r 보다 커지게 되면 재전송은 증가하지만 목적지까지의 홉수가 줄어들게 된다. 그러므로, 본 논문에서 제안된 라우팅 방법에서, 에너지소비를 최소화하기 위한 거리(dop)를 결정하기 위해서는 재전송과 목적지 방향으로 나아가는 평균 원홉전송거리와의 관계가 고려되어야 한다. 이 둘 사이의 관계는 아래와 같다.

$$-\left(\frac{R}{r} - \frac{R}{d}\right)PW + \frac{R}{d} \left(\frac{1}{p} - 1\right)PW < 0 \quad (7)$$

여기서 R 은 송신노드에서 싱크까지의 거리이고, r 은 전이영역이 시작되는 거리이다. 또한 p 는 패킷을 성공적으로 받을 확률이고, PW 는 원홉전송시 소비되는 평균에너지이다. PW 는 [16]에서 정의된 충돌

확률(P_c)를 이용함으로써 $\sum_{N=1}^X (1 - P_c)(P_c)^{N-1} N \times P_w$

의 형태로 정의 될 수 있고 이때 N 은 전송횟수이고 P_w 는 한번 전송시 소비되는 에너지이다. 식(7)의 $((R/r) - (R/d))PW$ 에서 $((R/r) - (R/d))$ 은 r 보다 큰 거리 d 에서 제안된 알고리즘을 적용하여 릴레이 노드를 선택할 경우 줄어드는 홉수이므로 $((R/r) - (R/d))PW$ 는 줄어드는 홉수로 인한 에너지 이득을 의미한다. 이때 r 값은 연결영역(connected-region)에서 릴레이 노드 선택시 평균원홉전송거리로 정의되어야 하나 결과적으로 봤을 때 그림 5.로부터 식(9)가 감소함수이므로 최대값(r)을 사용하는 것이 타당함을 알

수 있다. 식(7)의 $(R/d)((1/p)-1)PW$ 에서 $((1/p)-1)$ 은 r 보다 큰 거리 d 에서 제안된 알고리즘을 적용하여 릴레이 노드를 선택할 경우 재전송으로 인해 증가한 전송횟수이고 $(R/d)((1/p)-1)PW$ 는 증가하는 전송횟수로 인한 에너지 손실을 의미한다. 결국 식(7)은 r 보다 큰 거리 d 에서 가장 가까운 노드를 릴레이 노드로 선택할 경우, 줄어드는 홉수로 인한 에너지 이득이 재전송으로 인한 에너지 손실보다 커야한다는 것을 의미한다. 식(7)은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$-\frac{1}{r} + \frac{1}{d} \frac{1}{p} < 0 \tag{8}$$

최종적으로 식(6)과 (8)로부터 아래식을 구할 수 있다.

$$-\frac{1}{r} + \frac{1}{10^{\frac{-PL(d_0)-P_n}{10} - \log_{10}(-1.28 \ln(2(1-p^{8r})))}} \frac{1}{p} < 0 \tag{9}$$

식(9)를 최소화하는 p 를 사용함으로써, 우리는 식(6)으로부터 소비되는 에너지를 최소화하기 위한 거리 d_{op} 를 구할 수 있다.

3.4 수학적 분석 및 토의

우리는 수학적 분석을 위해 [14]에서 사용된 변수 값을 사용하였다. 표 1은 이 변수값들을 보여주고 있다. 식(6)이 p 가 1인 값에서 연속적이지 않으므로 p 의 상한 값을 0.99로 설정하였다. 그림 5로부터 우리는 식(9)가 감소함수이면서 p 가 0.99인 값에서 음수임을 알 수 있다. 그러므로 거리 d_{op} 는 p 가 0.99인 값에서 16.8m이다.

P_t (transmitting power)가 0dBm일 때 송신단에서 목적지로의 거리가 16.8m인 지점에서 가장 가까운 노드를 릴레이 노드로 선택하게 되면, 신뢰성있는 데이터 전송이 이루어지게 될 뿐 아니라 전체 네트워크에서 소비되는 에너지가 최소화되게 된다. 만일 채널상태를 고려하지 않는다면 채널상태가 좋지

표 1. 수학적 분석을 위한 변수 값

변수	값
r/Y	10m/30m
$PL(d_0)/X$	55 dB/0
P_t/P_n	0 dBm/-115dBm
f	50 bytes
n	4

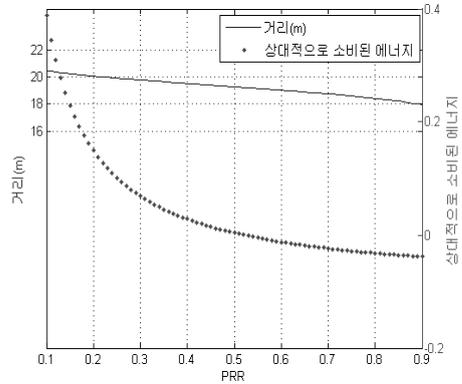


그림 5. 식(6)과 (9)로부터 얻어진 거리와 상대적으로 소비된 에너지

않은 노드가 릴레이 노드로 선택되어 신뢰성이 있는 데이터 전송이 어려울 뿐 아니라 채널상태를 고려하는 경우보다 더 많은 에너지를 소비하게 된다.

IV. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 OPNET을 이용하여 수행하였다. MAC 계층 프로토콜은 802.11을 사용하였고, 물리계층과 채널상태에 대한 변수 값은 표 1 값을 사용하였다. 시뮬레이션은 100m×100m네트워크에서 싱크노드는 중앙에 위치해 있고 100개의 노드가 균일하게 분포된 환경에서 수행되었다. 데이터 전송율은 1Mbps, 버퍼크기는 256kbits, 재전송 횟수는 10으로 설정하고 패킷 생성율은 0.05에서 1.95 packet(s)/sec/node 까지 0.1 packet(s)/sec/node씩 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 각각의 패킷생성율에 대하여 시뮬레이션은 1000sec동안 수행되었고, 라우팅 테이블은 50sec마다 update되었다.

성능평가를 위해서 본 논문에서 제안된 방법 (optimal-distance)과 다른 라우팅 방법 (①, ②)들을 비교하였다. 목적지 노드 D가 송신노드 S의 전송범위 밖에 있을 경우, 송신노드 S는 자신보다 목적지노드에 가까운 노드중에서,

① 전송노드 S는 연결영역(connected region)에서 목적지에 가장 가까운 노드를 next hop으로 선택한다. 이후, connected - region 이라 한다.

② 전송노드 S는 자신의 전송범위내에서 목적지에 가장 가까운 노드를 next hop으로 선택한다. 이후, transitional- region이 라 한다.

성능평가를 위해 아래 3가지 변수를 택하였다.

패킷전달율(packet delivery ratio): ((각 노드에서

생성된 총 패킷 수)-(손실된 패킷 수))/(각 노드에서 생성된 총 패킷 수)

지연(delay)(sec)(scaled as log function): 싱크노드에서 가장 멀리 떨어진 노드로부터 생성된 패킷이 싱크노드(50m×50m)에 도착하기까지 걸린 평균 시간

에너지소비(power consumption)(J): 각 노드에서 소비된 에너지의 총합

4.2 시뮬레이션 결과 및 토의

4.2.1 패킷전달율

라우팅 테이블이 업데이트될 때 채널상태가 좋지 않은 노드가 라우팅 테이블에 업데이트 되어 릴레이 노드로 선택되어질 수 있다. 이러한 경우 재전송 횟수를 초과하여 패킷이 버려지는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 이유 때문에 그림 6에서처럼 우리는 transitional-region이 패킷전달율에 있어 좋지 않은 성능을 보임을 알 수 있다. 게다가, 패킷이 재전송 횟수를 초과하여 버려지지 않도록 재전송 제한값을 증가시키게 되면 에너지와 지연 특성은 더욱 더 나빠지게 된다.

센서 네트워크에서는 모든 노드가 싱크노드에 멀리 홉으로 패킷을 전송하기 때문에 싱크노드에 가까운 노드일수록 더 많은 패킷을 전송하게 된다. 이러한 이유 때문에 패킷전달율은 싱크노드에 인접한 노드에 의해 결정된다. 부하(load)값들 중에서 패킷전달을 보장하는 최대값을 최대부하(max load)라 할 때 최대부하값은 간섭이 증가함에 따라 감소하게 된다¹⁵⁾. 또한, 동일한 전송전력하에서 connected-region이 optimal-distance보다 더 짧은 원홉전송거리를 가지게 된다. 이러한 이유 때문에 connected-region의 경우 더 많은 중계패킷(relayed packets)을 가지게

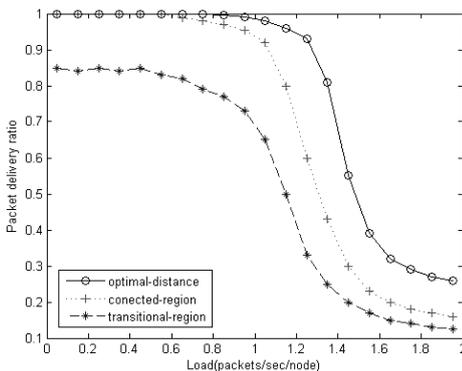


그림 6. 패킷전달율(packet delivery ratio) vs. 부하(load)

된다. 중계패킷이 증가함에 따라 간섭이 증가하고 결과적으로 최대부하값은 감소하게 된다. 그러므로 optimal-distance가 connected-region보다 패킷전달율에 있어 더 좋은 성능을 보이게 된다.

4.2.2 지연

각 홉에서의 지연이 갑자기 증가하지 않는 안정 영역에서는 패킷 손실이 발생하지 않는다¹⁵⁾. 또한 802.11의 일반적인 특성으로 최대부하값 이후에는 패킷손실이 발생하면서 지연이 갑자기 증가하기 시작한다. 이러한 증가량은 간섭에 의해 결정되게 된다. transitional-range의 경우 안정영역에서도 패킷 손실이 발생하게 되는데 이것은 간섭의 증가에 의해서가 아니라 채널상태가 좋지 않은 노드가 릴레이 노드로 선택되어 발생되게 되기 때문에 안정영역에서 지연은 갑자기 증가하지 않는다. 한편 원홉 전송거리가 증가함에 따라 중계되는 홉수(relayed hop counts)가 감소하기 때문에 지연은 원홉전송거리가 증가함에 따라 지연은 감소하게 된다. 이러한 사실과 그림 7로부터 안정영역에서 transitional-region이 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 그러나 패킷전달을 보장하지 못한다는 점에서 큰 의미를 가지지 못한다.

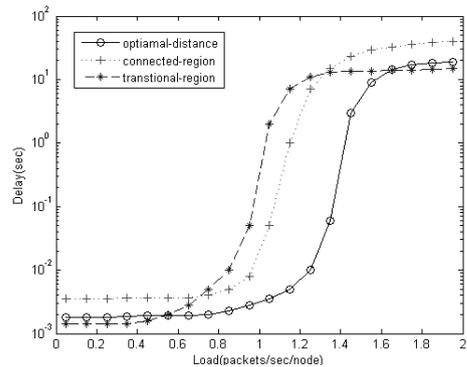


그림 7. 지연(delay) vs. 부하(load)

4.2.3 에너지소비

그림 8에서처럼, connected-region의 경우에는 홉수의 증가로 인한 에너지 증가가 재전송의 감소로 인해 줄어드는 에너지소비보다 크기 때문에, optimal-distance의 경우보다 에너지소비가 증가함을 알 수 있다. 또한 transitional-region의 경우에는 재전송으로 인해 증가하는 에너지 소비가 홉수의 감소로 인한 에너지 감소보다 크기 때문에, optimal-distance의 경우보다 에너지소비가 증가함을 알 수 있다.

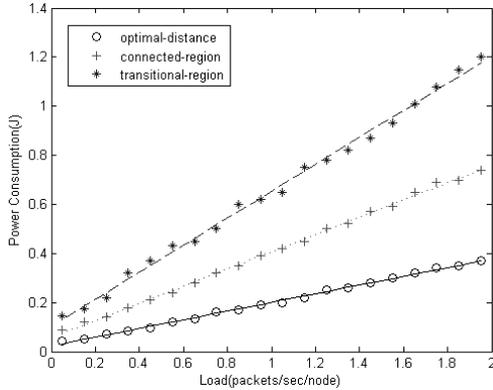


그림 8. 에너지소비(power consumption) vs. 부하(load)

V. 결 론

본 논문에서는 채널상태를 고려하지 않는 전형적인 위치기반 라우팅에서와는 달리 채널상태를 고려한 위치기반 라우팅 방법을 제안함으로써 신뢰성 있는 데이터 전송과 더불어 네트워크에서 소비되는 에너지를 최소화하였다.

참 고 문 헌

[1] D. Braginsky and D. Estrin, 'Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks', ACM WSNA, 2002, pp.22-31.

[2] K. Seada, A. Helmy, R. Govindan, 'On the effect of Localization Errors on Geographic Face Routing in Sensor Networks', IPSN, 2004, pp.71-80.

[3] S. Doshi, S. Bhandare, and T. X. Brown, 'An on-demand minimum energy routing protocol for a wireless ad hoc network', ACM Mob. Comput. Commun. Rev, 2002, Vol.6, No.3, pp.50-66.

[4] K. Kar, M. Kodialam, T. Lakshman, and L. Tassiulas, 'Routing for network capacity maximization in energy-constrained ad-hoc networks', IEEE INFOCOM, 2003, Vol.1, pp.673-681.

[5] J.H. Chang and L. Tassiulas, 'Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks', IEEE INFOCOM, 2000, Vol.1, pp.22-31.

[6] Q. Li, J. Aslam, and D. Rus, 'Online power-aware routing in wireless ad-hoc networks', ACM MobiCom, 2001, pp.97-107.

[7] Q. Dong, S. Banerjee, M. Adler, and A. Misra, 'Minimum energy reliable paths using unreliable wireless links', ACM MobiHoc, 2005, pp.449-459.

[8] B. Karp and H. Kung, 'GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks', ACM MobiCom, 2000, pp.243-254.

[9] Y.J. Kim, R. Govindan, B. Karp, S. Shenker, 'Geographic Routing Made Practical', NSDI, 2005, Vol.2, pp.217-230.

[10] T. He, J. A. Stankovic, C. Lu, T. F. Abdelzaher, 'A Spatiotemporal Communication Protocol for wireless Sensor Networks', IEEE Transaction on Parallel and Distributed System, 2005, Vol.16, No.10, pp.995-1006.

[11] I. Stojmenovic and X. Lin, 'Loop-free hybrid single-path/flooding routing algorithms with guaranteed delivery for wireless networks', IEEE Trans. On Parallel and Distributed System, 2001, Vol.12, No.10, pp.1023-1032.

[12] T. Melodia, D. Pompili, and I. F. Akyildiz, 'Optimal local topology knowledge for energy efficient geographical routing in sensor networks', IEEE INFOCOM, 2004, pp.1705-1716.

[13] T. Roosta, 'Probability geographic routing in ad hoc and sensor networks', Proc. Of Int. Workshop on wireless Ad-hoc Networks, 2005.

[14] M. Zuniga and B. Krishnamachari, 'Analyzing the Transitional Region in Low Power Wireless Links', IEEE SECON, 2004, pp.517-526.

[15] H. Zhai, Y. Kwon and Y. Fang, 'Performance analysis of IEEE 802.11 MAC Protocols in wireless LANs', Wirel. Commun. Mob. Comput., 2004, pp.917-931.

[16] Y. Yang, J.C. Hou and L.C. Kung, 'Modeling the effect of transmit power and physical carrier sense in multi-hop wireless networks', Proc. IEEE INFOCOM, 2007, pp.2331-2335.

심 인 보 (In-bo Sim)

정회원



1995년 3월 공군사관학교 전자
공학과 졸업
2000년 2월 연세대학교 전기전
자공학과 공학석사
2006년 3월~현재 연세대학교
전기전자공학과 박사과정
<관심분야> 유비쿼터스 센서
네트워크

이 재 용 (Jai-yong Lee)

중신회원



1977년 2월 연세대학교 전자
공학과 졸업
1984년 5월 IOWA State Univ.
공학석사
1987년 5월 IOWA State Univ.
공학박사
1987년 6월~1994년 8월 포항
공과대학 교수
1994년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
<관심분야> Protocol Design for Wired/Wireless
QoS Management, Ubiquitous Sensor Network,
Wireless Multimedia Support Protocol