

센서망에서 에너지 효율을 고려한 신뢰성 있는 브로드캐스팅 기법

송유경[○] 함성일 박병창 김중권

서울대학교 컴퓨터공학부

{songyk, siham, bcpark, ckim}@popeye.snu.ac.kr

Energy-Efficiency Considered Reliable Broadcasting Mechanism in Sensor Networks

Yu-Kyoung Song[○] Seong-Il Hahm Byung-Chang Park Chong-Kwon Kim

School of Computer Science and Engineering,
Seoul National University, Korea

요 약

센서 노드의 제한된 전력(power)으로 인해, 센서 네트워크에서의 통신은 에너지 소비를 최소로 하여 네트워크의 수명을 길게 하는 것이 가장 큰 목표 중 하나이다. 또한, 센서 네트워크에서는 일대일 통신보다는 하나의 노드에서 네트워크 상의 모든 노드로 패킷을 전달하는 브로드캐스트 통신이 빈번히 사용된다. 이러한 이유들로 인해서 여러 에너지 효율적인 브로드캐스트 기법들이 제안되고 있다. 이 논문에서는 'Angle-Based' 브로드캐스트 알고리즘을 제안한다. 'Angle-Based' 기법은 각 센서 노드가 자신이 받은 패킷을 통해 이웃 노드와의 각도를 계산하고, 그것을 바탕으로 패킷의 재전송 여부를 결정하는 방식이다. 따라서 이웃 노드들의 정보를 미리 가지고 있지 않고도 재전송 노드의 수를 최소화할 수 있다. 그리고 무엇보다 'Angle-Based' 기법은 높은 신뢰성(reliability)을 제공하는데, 이는 각도 정보를 사용하여 소스의 전송범위 내의 모든 영역에서 골고루 재전송이 이루어지도록 하기 때문이다. 시뮬레이션 결과, 'Angle-Based' 방법은 에너지 효율적으로 재전송이 이루어졌으며 이웃 노드들의 정보를 사용하지 않는 다른 브로드캐스트 기법들보다 신뢰성 측면에서 특히 뛰어난 결과를 보였다.

1. 서 론

센서 네트워크에서는 센서 필드에 많은 수의 노드가 밀집되어 분포하고 있으며, 각 센서 노드는 전력 및 계산능력, 저장용량 등의 제약이 크다[1]. 또한, 한번 배치된 센서 노드는 배터리 교체가 거의 불가능하므로 센서 네트워크에서는 에너지 효율이 가장 중요한 요소 중 하나가 된다.

그리고 센서 네트워크에서는 브로드캐스트 통신이 많이 사용된다. 예를 들어, 센서 네트워크의 통신 기법 중 하나인 쿼리 기반의 통신[2]에서도 싱크 노드가 쿼리를 모든 센서 노드들에게 브로드캐스트 해야 하며 각 센서 노드 또한 발생한 데이터를 여러 싱크 노드들로 전달해야 한다. 또한 관리자(user)가 센서 필드의 모든 센서 노드들에게 어떤 프로그램을 입력하거나 중요한 정보(ex. alarm, signal)를 전달할 때에도 브로드캐스팅이 유용하게 사용될 수 있다. 특히 이러한 어플리케이션들은 에너지 효율 뿐 아니라 신뢰성과 확장성이 높아야 한다[3]. 이 논문에서는 이렇듯 신뢰성을 요하는 응용 분야를 대상으로, 에너지 효율을 고려한 신뢰성 있는 브로드캐스트 기법을 제안한다.

2. 관련 연구

노드가 유지하는 이웃노드의 정보가 많을수록 신뢰성은 높아 지지만 hello packet을 주기적으로 교환하는 등의 추가적인 오버헤드가 커진다. 따라서 이 논문에서는 토폴로지 정보를 유지하지 않는 브로드캐스트 기법을 제안하였고, 애드 혹 네트워크에서 제안된 브로드캐스트 방법들과 비교하여 성능을 측정하였다. 먼저 Counter-Based 기법에서는, 각 노드가 RAD(Random Assessment Delay, 이 값은 0~T_{max} 사이의 랜덤값)동안 중복된 패킷을 수신한 횟수가 어떤 임계값 이상이면 재전송을 하지 않는다[4]. 그리고 Distance-Based 방법에서는, 각 노드가 RAD동안 중복된 패킷을 받을 때마다 모든 재전송 노드와 자신과의 거리를 계산한다[4]. 그리고 거리가 임계값보다 작은 것

이 하나라도 있으면 재전송을 하지 않는다. 그러나 거리나 횟수 정보로는 토폴로지를 제대로 반영하지 못하는 한계가 있다.

3. Angle-Based 브로드캐스트 알고리즘

3.1 기본개념

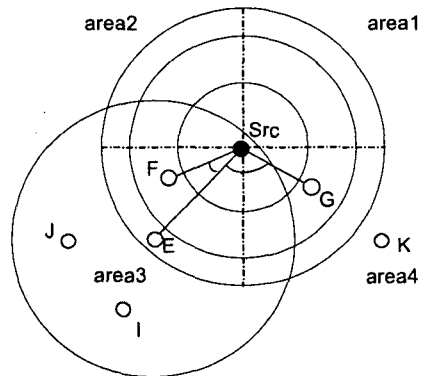


그림 1. 기본적인 재전송 결정 방법

"Angle-Based" 재전송 결정 알고리즘을 설명하기에 앞서, 이 알고리즘이 나오게 된 배경을 살펴보고자. 우선, 이 논문에서는 브로드캐스트 패킷이 네트워크 상의 모든 노드들에게 전달되도록 하는 것(신뢰성)과 그 때의 전체 재전송 노드의 개수를 줄이는 것(에너지 효율성)을 두 가지를 목표로 한다.

그림1 과 같은 부분적인 토폴로지를 생각해보자. 소스노드(Src)가 패킷을 브로드캐스트 하면 소스의 전송 범위내에 있는 노드 E,

F, G가 패킷을 수신한다. 그리고 이 노드들은 수신한 패킷의 재전송 여부를 결정하게 되는데, 이 때 자신의 '소스로부터의 거리'와 '이웃노드와의 각도'를 고려해 볼 수 있다.

그림에서 노드 E와 F사이의 각도가 작으므로 E와 F 중 어느 노드가 재전송을 수행하든지 신뢰성 측면에서는 거의 차이가 없다. 즉, E와 F가 재전송하는 패킷이 전달되어 가는 방향이 거의 일치하기 때문에 E와 재전송에 의해 커버되는 이웃노드들이 F의 이웃노드들을 대부분 포함한다. 이와 같이 E의 재전송과 F의 재전송이 전체 신뢰성에 영향을 주지 않는다면, 되도록 소스로부터 멀리 떨어진 노드 E가 재전송을 하는 것이 훨씬 에너지 효율적이다. 소스로부터 멀리 떨어진 노드가 재전송을 했을 때, 한번에 커버되는 이웃노드들의 개수가 많아지고, 따라서 동일한 수의 노드를 커버하기 위한 재전송 횟수가 줄어들기 때문이다.

또한, 이같은 이유로 노드 E가 재전송을 수행한 경우 E의 재전송으로 인해서 F의 전송 방향에 존재하는 소스의 2층 이웃 노드들이 거의 커버가 되므로 F는 재전송을 수행하지 않아도 무방하게 된다. 이 때 E의 재전송에 의해 커버되지 않는 F의 이웃 노드들은 area2에 있는 노드의 재전송에 의해 커버될 수 있을 것이다. 반면, 노드 G의 경우는 소스와의 거리는 가깝지만 E와의 각도가 크기 때문에 K와 같은 노드들을 커버하기 위해서는 자신이 재전송을 수행해야 한다.

즉, 전송방향이 비슷한 노드 E와 F의 경우는 소스로부터 거리가 먼 노드 E만 재전송을 수행하게 하여 에너지 효율을 높이고, 전송방향이 차이가 나는 노드 E와 G의 경우는 둘 다 재전송을 하게 하여 신뢰성을 높이도록 하였다.

3.2 재전송 결정 방법

3.2.1 '소스로부터의 거리'에 의한 재전송 결정 알고리즘

패킷을 수신한 노드는 수신신호의 세기를 이용하여 소스와의 거리를 추정할 수 있다고 가정한다. 즉, 소스가 P_t 의 세기(power)로 패킷을 브로드캐스트 하였을 때, 이를 수신한 각 노드는 자신과 소스와의 거리(d)를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$d = \sqrt{\frac{P_t G_r G_t h_r^2 h_t^2}{P_r L}}, \quad 3 \leq \alpha \leq 4 \quad (1)$$

(P_r 은 수신신호의 세기)

그리고 각 노드는 (1)식에서 계산한 'd'값을 사용하여 RAD를 다음과 같이 설정한다.

$$RAD = (T_{range} - d) * unit1 + w * unit2 \quad (2)$$

여기서 ' T_{range} '는 소스 노드의 전송범위(transmission range)이며 모든 노드에 대해 동일하다. 그리고 'w'는 0부터 w_{max} 사이의 랜덤값이며 'unit1'값은 'unit2'값의 1000배 정도가 되게 한다. 식 (2)에서 소스로부터의 거리(d)가 크면 ($T_{range} - d$)값이 작아지므로 RAD값이 작아지게 된다. 즉, 소스로부터 멀리 있는 노드일수록 먼저 재전송 여부를 결정하게 하여 재전송 확률을 높인다. 이는 소스로부터 최대한 멀리 있는 노드가 재전송을 수행함으로써, 모든 노드가 패킷을 받을 때까지 전체 재전송 횟수를 줄이기 위한 것이다. 단, 이때 거리가 같은 노드들을 고려하여 랜덤값(w)을 두며, unit2를 unit1보다 작은 값으로 하여 w가 RAD에 미치는 영향은 작게 한다.

3.2.2 '재전송 노드와의 각도'에 의한 재전송 결정 알고리즘

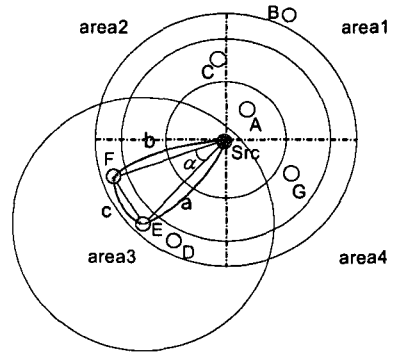


그림 2. 재전송 결정 방법

소스노드(Src)가 패킷을 브로드캐스팅 하면 전송범위(T_{range}) 내에 있는 A, C, G, D, E, F노드가 패킷을 수신한다. 각 노드는 (1)식에 의해 소스와의 거리를 계산한다(E, F까지의 거리를 각각 a, b라 하자). 또한, 각 노드는 (2)식에 의해 RAD를 설정하고, RAD동안 패킷의 재전송 여부를 결정하게 된다. 그리고 RAD가 끝나기 전에 다른 노드가 재전송한 패킷을 받으면 패킷을 보낸 노드와 자신과의 각도를 계산하여 그 각도가 어떤 기준값보다 작으면 재전송을 취소하게 된다.

그림에서 소스로부터 거리가 가장 먼 D, E, F가 RAD값에 의해 우선적으로 재전송 여부를 결정하게 된다. 위 그림은 마침 E가 가장 먼저 재전송을 수행한 경우이다. 이 때 재전송을 하는 노드는 RAD가 끝나면 소스와의 거리를 패킷에 추가하여 재전송을 한다(노드 E의 경우 'a'를 패킷에 추가). 이 때 F와 D는 E가 재전송한 패킷을 듣게 되고, 소스를 기준으로 자신과 E와의 각도를 계산할 수 있다. 즉, F는 E가 재전송한 패킷으로부터 거리 a와 c를 추가적으로 알게 되므로 E와의 각도 α 를 코사인 법칙에 의하여 계산한다.

$$\cos \alpha = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}, \quad \alpha = \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (3)$$

그리고 α 가 어떤 임계값(θ_{th})보다 작으면 재전송을 취소한다. 이때 임계값은 다음과 같이 결정된다. 소스노드가 자신의 360° 전송범위를 m개의 영역으로 나누어 $\theta = \frac{360^\circ}{m}$ 구간마다

최소한 하나의 노드가, 그리고 최대한 하나의 노드가 재전송을 해주기를 원한다고 하자. 그림1의 경우는 $m=4, \theta=90^\circ$ 이다. 즉, 그림1에서는 소스의 전송 범위를 area1, 2, 3, 4의 4개의 영역으로 나누고 각 영역에서 적어도 한 노드는 재전송을 수행함으로써 4방향으로 모두 패킷이 전달되어 갈 수 있도록 한다. 그리고 각 영역에서 이미 한 노드가 재전송을 하였다면 그 영역내의 다른 노드들은 재전송을 하지 않아도 되게 한다.

이를 위한 $\theta_{th} = \frac{\theta}{2} - \delta$ 가 된다(단, δ 는 영역 간에 약간의 overlap을 주기 위한 값이다). 즉, 그림1의 경우 각 노드는 소스를 기준으로 왼쪽으로 $45^\circ(\theta_{th})$, 혹은 오른쪽으로 $45^\circ(\theta_{th})$ 이내에 있는 노드가 이미 재전송을 하였다면 자신은 재전송을 하지 않고, 재전송을 한 노드가 없다면 자신이 대표로 재전송을 수행한다. 따라서 이러한 방법을 사용하면 $90^\circ(\theta)$ 의 각 영

역에서 재전송 노드를 최소화한 하나로 하여 신뢰성을 높이고, 동시에 재전송 노드를 최대한 하나로 하여 전체 재전송 횟수를 줄이게 된다.

4. 실험 환경 및 결과

ns-2를 이용하여 실험을 하였다. 브로드캐스트 기법으로 Simple Flooding, Counter-based, Distance-based, 그리고 Angle-based 방법에 대하여 성능을 비교해 보았다.

4.1 실험 환경

1000 x 1000 (m²) 크기의 네트워크에서 노드 개수 50, 100, 150, 200개 경우에 대하여 실험하였다. 그리고 4가지 서로 다른 토폴로지에 적용시켜 평균값을 나타내었다. 노드의 전송방위는 250m로 하였고 수신세기(rxPower)는 140mW, 전송세기(txPower)는 280mW로 주었으며 RAD값을 계산할 때 'W_{max}'값은 10000으로, unit1=0.5ms, unit2=0.5μs로 주었다. 그리고 20번 노드(Src)가 처음 패킷을 브로드캐스트 한 경우를 측정하였다. Performance metric은 Src의 한 번의 브로드캐스팅에 의해서 일어난 전체 재전송 노드의 개수(Number of Retransmitting Nodes)와 각 노드의 에너지 소비(Energy Consumption), 브로드캐스트 패킷을 받은 노드의 비율(Delivery Ratio), 그리고 마지막 노드까지 패킷이 전송되는데 걸리는 시간(Diffusion Latency)이다.

4.2 실험 결과

4.2.1 재전송 노드의 개수와 Delivery Ratio

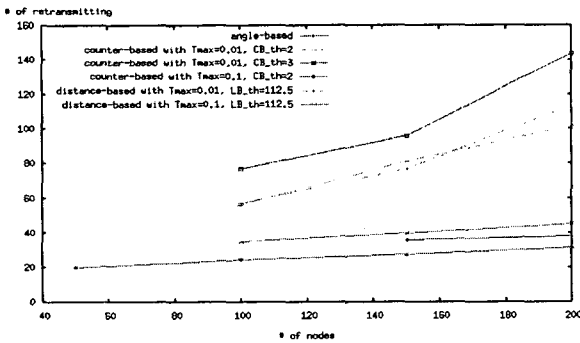


그림 3. 재전송 노드의 개수

그림3은 재전송 노드의 개수를 나타낸 결과이다. 이 결과와 Delivery Ratio가 1인 경우(모든 노드에 전송이 다 된 경우)의 결과값이다. 가장 아래 선이 Angle-Based 방법으로, 다른 방법들보다 재전송 노드의 개수가 많이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그리고 무엇보다 Delivery Ratio측면에서 좋은 성능을 보였다. 재전송 노드 개수의 측면에서 Angle-based 방식과 가장 유사한 결과를 보이는 것이 T_{max}=0.1일 때의 Counter-Based 방식과 T_{max}=0.1일 때의 Distance-Based 방식인데, 이 두 방식은 Angle-Based 방식에 비해 Delivery Ratio가 매우 낮은 것을 볼 수 있다. Angle-Based 방식은 노드 개수가 50개일 때 Delivery Ratio가 1이 된 반면, Distance-Based 방식은 노드 개수 100개일 때, Counter-Based 방식은 노드 개수 150개 일 때 각각 Delivery Ratio가 1이 되었다.

4.2.2 에너지 소비량

그림 4는 각 노드의 에너지 소비량을 나타낸 결과이다. 이 결

과는 마찬가지로 Delivery Ratio가 1인 경우에 대한 에너지 소비량을 나타낸 것이다. 가장 아래 선이 Angle-Based 방법으로, 가장 에너지 효율적인 것을 볼 수 있다. 이는 앞에서 보인 재전송 노드의 개수가 줄어든 것에 의한 효과라고 볼 수 있다.

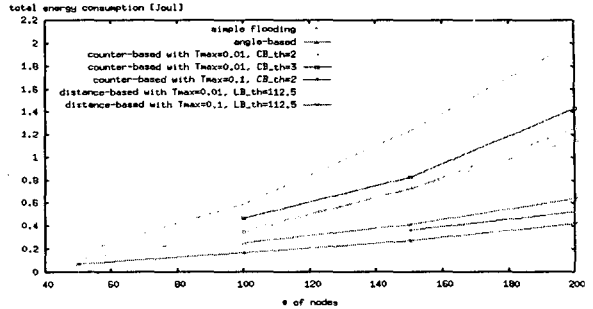


그림 4. 각 노드의 에너지 소비량

4.2.3 마지막 노드까지 패킷이 전송되는데 걸리는 시간

Flooding	0.131318
Angle	0.172595
Counter1	0.140811
Counter2	0.144766
Counter3	0.252714
Distance1	0.141838
Distance2	0.261546

표 1. Diffusion Latency

표1에서 Counter1, Counter2, Distance1은 T_{max}가 0.01인 경우이고 Counter3, Distance2는 T_{max}가 0.1인 경우이다. Angle-Based 방법은 T_{max}가 0.1인 방법들과 비교했을 때 재전송 개수도 적으면서 지연 시간도 더 짧은 것을 볼 수 있다.

5. 결론

이 논문에서는 토폴로지 정보 없이, 에너지 효율적이면서 신뢰성을 보장하는 Angle-Based 브로드캐스트 기법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 이웃 노드와의 각도를 계산하여 재전송을 결정함으로써 신뢰성을 높이고자 하였다. 즉, 소스노드가 자신의 360° 등방향을 m개의 영역으로 나누어 각 영역마다 최소한 하나의 노드가 재전송을 하게 함으로써 신뢰성을 높이고, 동시에 재전송 노드를 최대한 하나가 되게 하여 전체 재전송 횟수를 줄인다. 실험 결과, Angle-Based 기법이 에너지 효율의 측면과 신뢰성 측면, 지연 시간의 측면에서 모두 가장 좋은 성능을 보였다.

참고문헌

[1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su et al., "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, 2002
 [2] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan et al., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking", MobiCom, 2002
 [3] Yogesh Sankarasubramaniam, Ian F. Akyildiz et al., "ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks", MobiHoc, 2003
 [4] Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng et al., "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network", MobiCom, 1999