

센서 네트워크 환경에서의 AODV 성능 분석

장재혁[○] 최 린

고려대학교 전자전기공학과

{twinsijh[○], lchoi}@korea.ac.kr

A Performance Analysis of AODV in Sensor Network

Jaehyuk Jang[○] Lynn Choi

Korea Information Science Society

요 약

본 논문에서는 센서 네트워크 환경에, MANET기반의 라우팅 프로토콜인 AODV[1]를 적용하여 실험한 내용에 대해 소개한다. AODV는 RREQ, RREP 그리고 RERR등의 제어 메시지를 이용하여, 데이터를 전송하기 위한 망을 동적으로 구성하는 특징을 갖는다. MANET환경에 비해서 센서네트워크 환경은 에너지 사용 혹은 네트워크 망 구성에 있어서 많은 제약조건을 갖고 있다. 이러한 센서 네트워크 망에 AODV를 적용하였을 경우 어떠한 특성이 나타나는지 문제점을 분석하였다. 시뮬레이션 환경으로는 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 구성하였으며 AODV 라우팅 프로토콜을 이용하여 싱크 수 증가, 소스 수 증가와 S-MAC을 적용함에 따른 평균 메시지 Delay, 평균 소비 에너지, 평균 데이터 전송률 등이 어떻게 변화하는지 살펴보았으며 센서 네트워크 환경에서의 성능을 확인하였다.

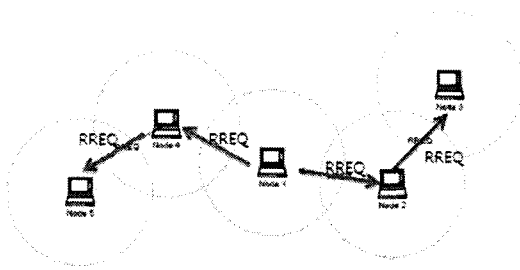
1. 서 론

센서 네트워크는 기본적으로 다수의 노드들이 특정한 싱크를 향해서 무선으로 데이터를 전송하는 망을 일컫는다. 이러한 센서 네트워크의 특징은 제한된 에너지의 양으로 특정 위치에서 몇 달 혹은 수년에 가까운 기간 동안 장시간 작동을 해야 하는 제약조건을 갖는다. 이러한 센서 네트워크에서 DATA를 전송하기 위한 여러 라우팅 방법들이 제안되어져 왔다.[2][3] 이러한 라우팅 방법들의 단점은 기본적으로 고정 노드들을 주로 대상으로 하고 있으며 에너지 사용을 극도로 제한하고 있어 다수의 이동성을 가진 네트워크 환경에 혹은 소수의 데이터 소스들이 통신하는 네트워크 환경에 효율적으로 대처하지 못한다는 점이다. 이에 MANET 기반의 라우팅 프로토콜의 하나인 AODV를 센서 네트워크에 적용하여 MANET 기반 라우팅 프로토콜의 장점을 살펴보고 동시에 센서 네트워크 환경의 라우팅 프로토콜의 개선점을 찾아보고자 한다. 실제 다수의 이동 싱크 환경 그리고 소스 수 증가에 따라 평균 데이터 Delay, 평균 소비 에너지량 그리고 평균 데이터 전송률을 측정하여 센서 네트워크 환경에서 어떠한 특성을 나타내는지 실험을 하였다. 실험 환경으로는 NS-2(v2.28)시뮬레이터[4]를 사용하였고 시뮬레이터의 MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 DCF로 구성하였다.

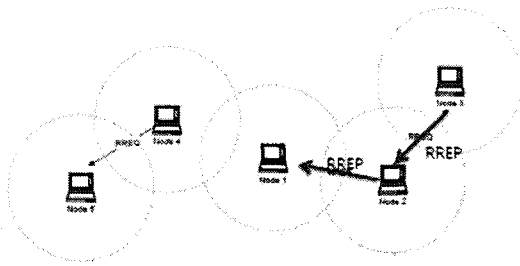
2. 본 론

2.1 AODV algorithm

AODV 라우팅 프로토콜은 망 구성을 하기 위해서 RREQ, RREP 그리고 RERR 등의 메시지들을 이용한다. 전송을 원하는 데이터를 갖고 있는 한 노드가 자신의 이웃들에게 RREQ 메시지를 보내게 되며 이 메시지는 인접한 노드들을 따라 퍼져나가게 된다. 목적지의 노드인 싱크노드가 이 RREQ 메시지를 받으면 그 응답으로 RREP를 보내게 된다. 이 RREP는 처음 데이터를 전송하기 원하는 노드인 소스 노드에 도착하게 되고 소스 노드는 RREP의 경로를 따라서 데이터를 전송하게 된다. 노드가 이동하거나 노드 스스로가 망을 형성하지 못하거나 혹은 인접 노드로부터 RERR 메시지를 받는 경우 RERR 메시지를 보내 망을 재 형성한다. 순환 루프 네트워크 망의 형성을 막기 위해서는 네트워크의 각 노드들에 대한 Sequence number 정보를 사용한다.



(a) Route request



(b) Route response

그림 2-1. AODV 알고리즘

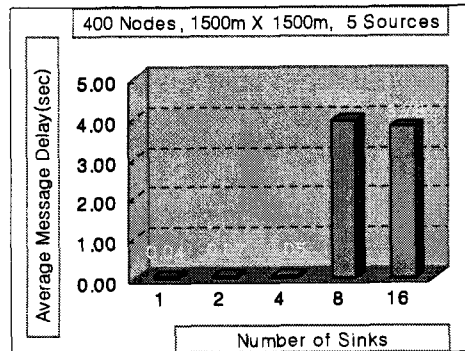
2.2 센서 네트워크와 AODV

AODV는 MANET의 라우팅 프로토콜로서 기본적으로 노드가 이동하는 환경에서 many to many 멀티 홉 통신을 가정하고 설계되어 있다. 하지만 일반적으로 센서 네트워크는 이동하지 않는 노드를 가정하고 있고 many to one 통신의 특성을 나타내며 또한 노드의 크기가 작아서 적은 에너지 소스를 가지고 있기 때문에 AODV를 그대로 적용할 경우에는 효과적인 라우팅 기능을 기대하기 힘들다. 일단 AODV는 경로를 탐색하기 위해 플러딩을 하고 있으며 이는 센서 네트워크 환경에서는 극심한 에너지 소모를 가져오게 된다. 왜냐하면 센서네트워크는 노드의 수가 많고 상대적으로 에너지 소모에 취약한 노드를 사용하기 때문이다. 통신의 신속함보다는 긴 수명이 상대적으로 중요한 센서네트워크에서 이러한 극심한 에너지 소모는 바람직하지 않다. 그리고 만약 싱크노드가 움직이는 센서 네트워크 환경일 경우, 플러딩에 의한 문제는 더욱 심각해진다. 왜냐하면 필드내의 모든 노드가 소스가 될 수 있기 때문에 이벤트가 동시다발적으로 발생할 경우 싱크의 위치를 찾으려는 소스에 의한 플러딩이 기하급수적으로 증가할 가능성이 있기 때문이다. 게다가 이러한 현상은 노드 에너지의 소모를 증가시킬 뿐만 아니라 다른 센서 노드와 싱크 노드간의 통신을 방해할 수도 있다. 또 센서 네트워크는 MANET과 달리

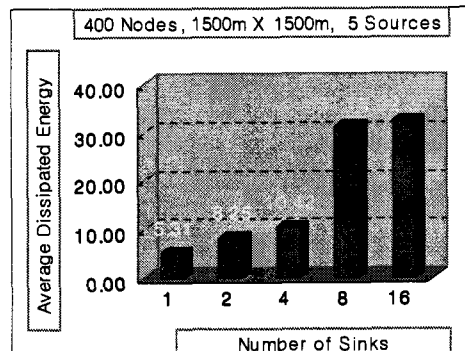
간헐적인 데이터 통신 특성을 보이기 때문에 AODV를 사용하면 중간 노드가 잘못된 경로 정보를 가지고 있을 경우 새로 경로를 요청하는 노드에게 잘못된 정보를 알려주어 경로가 왜곡되거나 단절될 수 있다. 이런 경우 유효하지 않은 경로로 인하여 경로 재 탐색이 이루어지고 이는 또 다시 전체적인 플러딩을 유발하여 필드의 에너지를 소모하게 만든다.

3. 평가/분석

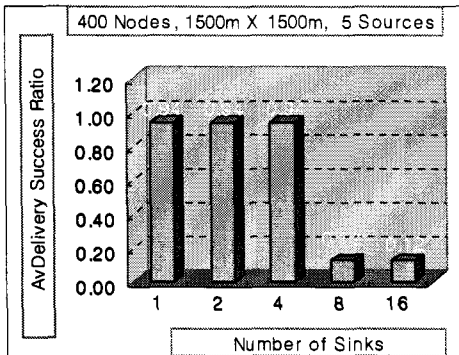
이 장에서는 NS-2 시뮬레이터에서 실험한 내용을 소개한다. NS-2 시뮬레이터의 MAC protocol은 IEEE 802.11 DCF로 구성하였으며 파워 소비시의 전력은 Tx 660mW, Rx 395mw 그리고 Idle시에 35mw로 설정하였다. Radio range는 250m이다. 노드들의 수는 400개의 노드가 랜덤하게 위치되도록 하였으며, 노드 이동속도는 5m/sec이고, 센서 필드는 1500x1500으로 잡았다. 100sec 동안 실험을 수행하였으며 패킷 사이즈는 64kbyte이다. 위와 같은 실험 환경에서 싱크 수, 소스 수 등을 변경하면서 실험을 수행하였다.



(a) 평균 메시지 딜레이

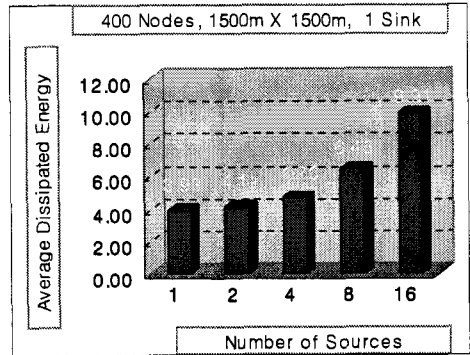


(b) 평균 소비 에너지



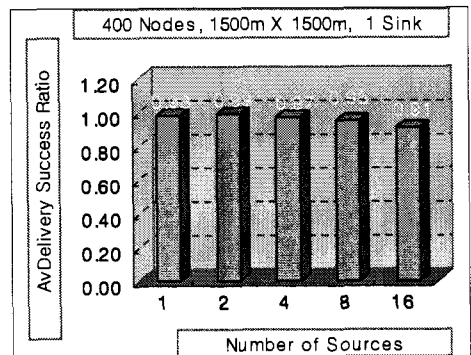
(c) 평균 데이터 전송률

그림 3-1. 싱크 수 변화에 따른 실험 데이터



(b) 평균 소비 에너지

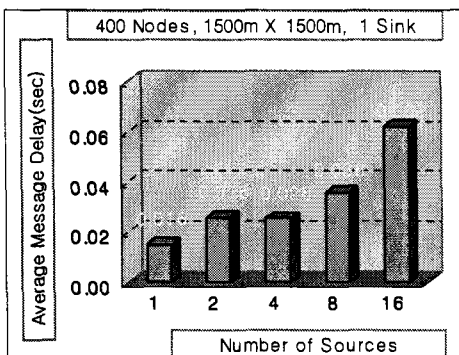
그림 3-1은 싱크 노드의 수를 변화시켰을 때 AODV의 평균 메시지 딜레이, 에너지, 전송률의 실험 결과를 보여준다. 노드 이동속도는 5m/sec이며, 싱크 노드의 수를 1개, 2개, 4개, 8개, 16개로 증가시키고 실험을 하였다. 싱크 노드 수의 증가는 곧 데이터를 받는 장소의 증가를 일컫는다. 즉, 해당 소스 노드들이 데이터를 전송해야 하는 대상이 늘어난다는 것을 의미한다. 싱크 노드의 수가 많아 질수록 점점 더 메시지가 도달하는 딜레이가 길어지고 평균 소비되는 에너지가 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 소스 노드들이 싱크 노드로 데이터를 전달하려 할 때 RREQ의 메시지 양이 늘어나 네트워크의 트래픽이 증가하여 데이터 전송에 방해가 되기 때문이다. 평균 데이터 전송률의 경우는 싱크 노드수가 4개에서 최고치를 보였다가 떨어지는 모양을 하는 것을 확인할 수 있다. 이는 RREP로 해당하는 노드까지의 경로가 잡혀있어 데이터를 보냈는데 노드의 이동으로 인해 상대적으로 수신률이 떨어지기 때문이다.



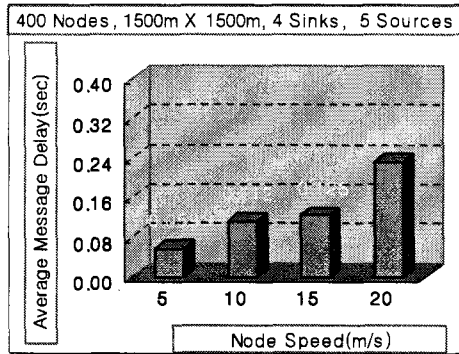
(c) 평균 데이터 전송률

그림 3-2. 소스 수 변화에 따른 실험 데이터

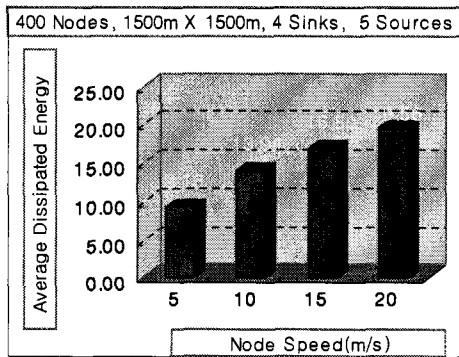
그림 3-2는 소스 노드 수 변화에 따른 평균 메시지 딜레이, 에너지 그리고 전송률의 실험 결과를 보여준다. 소스 노드의 수가 점점 증가할수록 소비 에너지, 전송률 모두 점차 증가하는 것을 확인할 수 있다. 에너지가 증가하는 것은 RREQ, RREP로 인해 패킷의 양이 증가했다는 것을 의미한다. 평균 메시지 딜레이의 경우 소스 노드의 수가 증가할수록 RREQ의 증가로 인해서 전송 트래픽의 양이 증가했기 때문에 평균 메시지 딜레이가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 싱크 수 변화에 따른 실험과는 달리 소스수가 증가해도 데이터 전송 성공률은 싱크까지의 경로 유지가 잘되어 그다지 큰 차이가 없이 일정한 상태를 보인다.



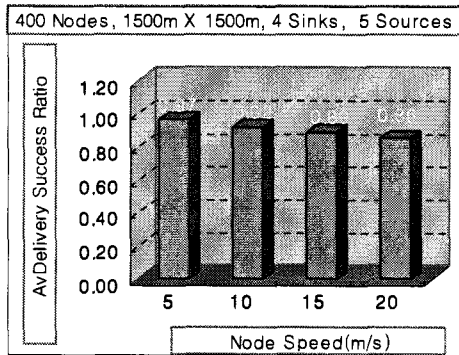
(a) 평균 메시지 딜레이



(a) 평균 메시지 딜레이



(b) 평균 소비 에너지

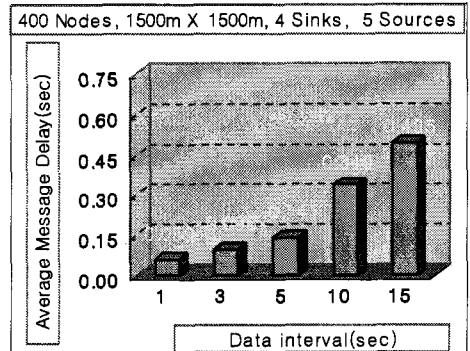


(c) 평균 데이터 전송률

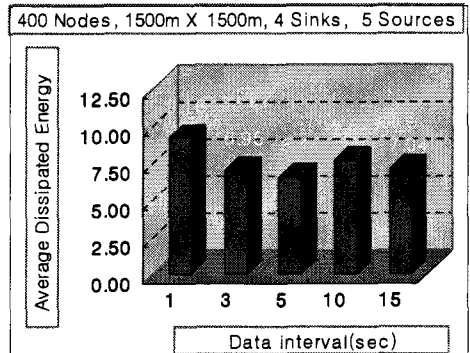
그림 3-3. 노드 속도 변화에 따른 실험 데이터

그림 3-3은 5개의 소스와 4개의 싱크가 있는 것으로 설정하였으며 노드의 이동 속도를 0m/s ~ 15m/s까지 늘려가며 메시지 지연 시간, 소모된 에너지, 메시지 전송 효율 등을 측정하여 결과를 그래프로 나타내었다. 속도가 증가할수록 그 지연 시간도 증가함을 알 수 있는데 이는 속도가 증가할수록 네트워크 토폴로지의 변화가 심하고 이로 인해 경로가 자주 유실이 되기 때문에 그러한 경로를 새로이 탐색하는 과정으로 인해서 평균 메시지 지연 시간이 증가하고 에너지 소모 역시 증가

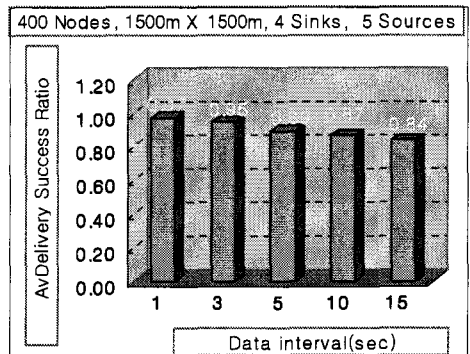
도가 증가함에 따라 86%까지 전송 효율이 떨어진다.



(a) 평균 메시지 딜레이



(b) 평균 소비 에너지



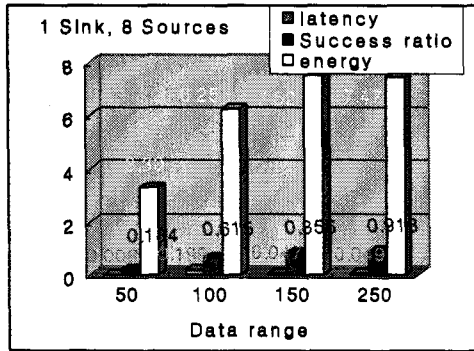
(c) 평균 데이터 전송률

그림 3-4. 데이터 발생 빈도에 따른 실험 데이터

그림 3-4은 각 실험에서 5개의 소스와 4개의 싱크가 있는 것으로 설정하였으며 소스의 데이터 발생 주기를 1 ~ 15초로 변화를 주었다. 각각의 데이터 발생빈도에 따른 평균 메시지 지연 시간, 평균 소모된 에너지, 평균 메시지 전송 효율을 그래프로 나타내었다.

평균 메시지 지연시간은 데이터의 발생빈도가 5초를 넘어가면서 급격히 증가하는 양상을 보인다. 이는

AODV는 reactive 방식의 라우팅 프로토콜이기 때문에 일정시간 동안 경로를 통한 데이터 전송이 이루어지지 않으면 그 경로의 유효기한이 지났다고 판단하여 그 경로정보를 지워버리기 때문이라 볼 수 있다. 따라서 소스는 다시 경로를 탐색해야 하고 이는 네트워크에 플러딩을 발생시키기 때문에 이러한 과정으로 인해 메시지는 지연될 수 밖에 없는 것이다. 또 데이터 발생 빈도가 낮아 오히려 에너지 소모가 증가하는 것을 보여준다. 그리고 많은 플러딩과 경로 유실에 따른 경로 재 탐색으로 데이터 전송 성공률이 떨어졌다.

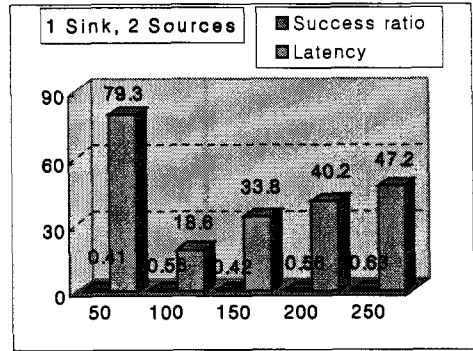


(a) 평균 데이터 전송률

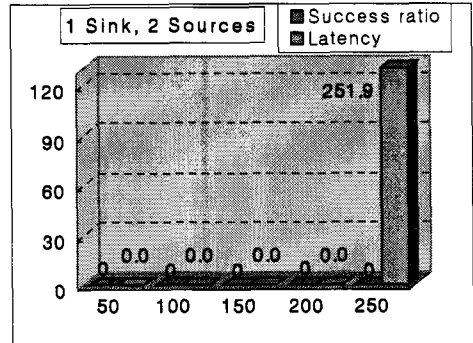
그림 3-5. 데이터 전송 Range 변경 실험 데이터

그림 3-5는 8개의 소스와 1개의 싱크가 있는 것으로 설정하였으며 데이터 전송 Range를 50m에서 250m까지 변화를 주었다. 데이터 전송 Range 변화에 따른 평균 메시지 지연 시간, 평균 소모된 에너지, 평균 메시지 전송 효율을 그래프로 나타내었다.

밀도는 변화를 주지 않으면서 단지 Range만 줄어서 연결되는 노드 수가 줄어들어 경로가 미 성립 되면 flooding이 발생되고 다른 경로 성립 후 데이터를 다시 보낼 때 방해가 되어 range가 줄어들 수록 latency는 길어지고, 데이터 전송 성공률도 낮아진다. Range가 증가될수록 데이터 전송 성공률은 높아지고, latency는 줄어들며 에너지 소비는 증가된다. 또 range 증가 시 싱크와 소스간의 Hop수가 감소되어 소모되는 에너지보다 더 먼 거리를 전송하기 위해 소모되는 에너지의 영향이 더 큰 것을 알 수 있다.



(a) 평균 데이터 전송률 / (Interval 200초)



(b) 평균 데이터 전송률/ (Interval 0초)

그림 3-6. S-MAC을 적용 실험 데이터

그림 3-6은 2개의 소스와 1개의 싱크가 있는 것으로 20개의 노드로 설정하였으며, 802.11 DCF를 대신하여 S-MAC[5]을 적용한 실험이다.

802.11에 비하여 S-MAC 적용 시 데이터 전송 성공률과 메시지 딜레이는 현저히 차이가 나며, 특히 그림(a)는 소스 노드가 200초 Interval을 두고 전송하지만 그림(b)는 두 개의 소스 노드가 동시에 메시지를 전송하여 Collision에 의해 데이터 전송이 전혀 이루어 지지 않는다. 주기적인 수면 시간을 가지는 S-MAC에서는 송신 노드가 데이터를 전송하고자 할때, 수신노드가 깨어날 때까지 기다려야 하고, RREQ,RRER 신호 송수신시에 제약을 받게 되고, 트래픽의 양이 많은 경우 큐잉 지연 시간이 발생되며 데이터 전송률이 떨어지고 latency 또한 길어진다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 센서 네트워크 환경에 AODV 라우팅 프로토콜을 적용하여 그 성능을 분석한 내용을 소개하였다. AODV 라우팅 프로토콜은 이동성을 가진 노드들

이 있는 네트워크 망에서는 우수한 성능을 보여주는 것을 알 수 있었다. 싱크 노드 수 변경, 소스 노드 수 변경, 노드 이동 속도 변화, 데이터 발생빈도 변경을 통한 실험을 통해 평균 메시지 지연 시간, 평균 소모된 에너지, 평균 메시지 전송 효율간의 관계를 알 수 있다. 또한 802.11을 대체한 S-MAC 적용 시 어떤 특성이 나타나는지에 대한 현상을 볼 수 있다. 앞으로 S-MAC을 적용하여 더 많은 노드로 실험을 할 예정이며, 더 나은 성능 향상을 위한 개선사항이 필요하다.

참고문헌

- [1] Perkins, C. Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing. Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-04.txt, Oct. 1999.
- [2] A. Woo, T. Tong, and D. Culler. Taming the underlying challenges of reliable multihop routing in sensor networks. In Proc. the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003), November 2003..
- [3] C. Schurgers and M.B. Srivastava, ENERGY EFFICIENT ROUTING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS, MILCOM01, Septempber 2001.
- [4] The Network Simulator ns-2 Documentation, <http://www.isi.edu/nsman/ns>.
- [5] Ye, W., Heidemann, J., Estrin, D., An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Network, IEEE Infocom, June 2002.