

무선 센서 네트워크에서 유니캐스트를 위한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜

(An Energy Efficient Routing Protocol for Unicast in
Wireless Sensor Networks)

한 욱 표[†] 이 희 춘^{**} 정 영 준^{***}
(Uk-Pyo Han) (Hee-Choon Lee) (Young-Jun Chung)

요약 무선 센서 네트워크의 각 센서 노드는 배터리 기반의 제한된 에너지로 동작하기 때문에 무선 센서 네트워크에서의 효율적인 에너지 사용에 많은 연구가 이루어지고 있다. 무선 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 전체 네트워크의 전력소비를 줄이는 것도 필요하지만 보다 중요한 것은 센서 노드들의 균일한 에너지 소비를 유도하는 것이다. 무선 센서 네트워크와 같이 많은 수의 센서 노드가 조밀하게 분포되어 긴밀한 협업을 통해 정보를 모으고 전달하는 유기적인 시스템에서는 가능한 많은 노드들이 생존하는 것이 망의 수명에 더욱 중요한 요인이 된다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 Ad Hoc 라우팅 프로토콜인 AODV를 기반으로 수집된 자료를 목표지점까지 전달하는데 소수의 특정 노드들에 트래픽이 집중되지 않게 하여 전체 네트워크의 수명을 연장하는 에너지 인식 라우팅 기법을 제안한다. 제안한 프로토콜에 대해서 시뮬레이션을 기반으로 네트워크 수명과 종단 간 지연 등의 성능 지표에 대한 분석을 수행하였다.

키워드 : 에너지 인식 라우팅, 무선 센서 네트워크, AODV

Abstract The efficient node-energy utilization in wireless sensor networks has been studied because sensor nodes operate with limited power based on battery. To extend the lifetime of the wireless sensor networks, maintaining balanced power consumption between sensor nodes is more important than reducing total energy consumption of the overall network. Since a large number of sensor nodes are densely deployed and collect data by cooperation in wireless sensor network, keeping more sensor nodes alive as possible is important to extend the lifetime of the sensor network. In this paper, we submit an efficient energy aware routing protocol based on AODV ad hoc routing protocol for wireless sensor networks to increase its lifetime without degrading network performance. The proposed protocol is designed to avoid traffic congestion on minor specific nodes at data transfer and to make the node power consumption be widely distributed to increase the lifetime of the network. The performance of the proposed protocol has been examined and evaluated with the NS-2 simulator in terms of network lifetime and end-to-end delay.

Key words : energy aware routing, wireless sensor network, AODV

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 광범위한 지역에 분산되어 있는 초소형, 저전력 스마트 센

서 노드들로 구성된 무선 Ad Hoc 통신망이다. 이러한 무선 센서 네트워크는 유비쿼터스 환경의 핵심 요소로서 다양한 응용 분야에 적용 가능할 것으로 전망된다. 센서 노드는 빛, 소리, 온도, 움직임 등을 감지할 수 있는 센서와, 감지된 정보를 가공할 수 있는 프로세서를 가지며, 이를 전송할 수 있는 무선 통신 기능을 갖춘 소형 장치이다.

무선 센서 네트워크는 일반적으로 센싱의 정확성과 감지 영역의 확장성을 위해 대규모의 센서 노드들로 구성된다. 이러한 대규모 네트워킹 환경에서는 동적인 상

[†] 학생회원 : 강원대학교 컴퓨터과학과
mania2k@kangwon.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 상지대학교 컴퓨터데이터 정보학과 교수
choolee@sangji.ac.kr

^{***} 정 회 원 : 강원대학교 컴퓨터과학과 교수
ychung@kangwon.ac.kr

논문접수 : 2006년 8월 23일
심사완료 : 2007년 4월 6일

황 변화에 적응할 수 있는 자기 구성(self-organizing) 능력 및 노드들 간의 상호 협업 능력이 중요시 된다 [1]. 또한 다양한 종류의 센서들에 의해 탐지된 센싱 정보를 수침(Sink) 노드에게 보다 효율적으로 전달하기 위한 연구가 이루어지고 있다.

무선 센서 네트워킹 기술의 주요 연구로는 에너지 효율성을 고려한 네트워크 프로토콜 설계, 위치정보 감지(Localization) 기법, 동기화(Synchronization), 효율적인 데이터 통합(Data aggregation) 그리고 보안 기법 등을 들 수 있다. 네트워크 계층에 있어서는 자기 구성(self-organizing) 능력, 제한된 전력, 데이터 중심적인 특성 등을 고려한 다양한 라우팅 프로토콜과 데이터 통합 기법이 제안되고 있다[2,3].

무선 센서 네트워크에서는 많은 수의 센서 노드가 조밀하게 분포되어, 다중 홉(multi-hop) 네트워크 환경을 이루며 각 센서 노드는 배터리 기반의 제한된 에너지로 동작된다. 또한 네트워크에 참여하는 각 노드들은 단말 노드의 역할과 라우터의 역할을 동시에 수행하므로 어떤 노드가 에너지를 모두 소비하게 되면 더 이상 네트워크에 참여하지 못하게 되고 이러한 노드가 증가하면 결국 네트워크 파티션이 발생하게 되어 정상적인 통신이 불가능하게 된다. 따라서 무선 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위한 한정된 에너지의 효율적 관리가 매우 중요한 연구 과제이다[4,5].

무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 주로 센서 노드에서 감지된 데이터를 싱크 노드로 전송하기 위한 기법들이 제안되었다. 하지만 센서 네트워크를 센서 노드들 간의 자료 수집, 센서 망을 통한 인터넷 연결 등 다양한 응용 분야에 적용하기 위해서는 노드들 간의 유니캐스트 형태의 통신이 필요하다. 센서 네트워크에서 노드간의 점대점 통신을 위한 라우팅 프로토콜은 AODV[6,7], DSR[8] 등의 무선 애드 혹 망을 위한 라우팅 프로토콜을 사용하고 있다. 하지만 이러한 라우팅 프로토콜들은 에너지를 고려하고 있지 않기 때문에 센서 네트워크에 그대로 적용하면 에너지 효율성의 측면에서 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 노드간 통신을 위해 on-demand Ad Hoc 라우팅 프로토콜인 AODV를 기반으로 노드의 잔여 에너지를 고려한 경로 설정을 수행하는 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안한 프로토콜에서는 데이터 전달 경로에 인접한 특정 노드들로 트래픽이 집중되어 불균형하게 에너지가 고갈되는 것을 억제하여 전체 네트워크 수명의 연장이 가능하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 AODV 라우팅 프로토콜에 대해 기술하고 무선 센

서 네트워크에서의 문제점을 분석하고, 3장에서는 노드의 잔여 에너지를 고려한 라우팅 메커니즘을 제시한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 통한 성능의 비교 분석을 하고, 5장에서 결론 및 향후 연구방향을 기술한다.

2. 관련 연구 및 문제 분석

센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해 에너지 효율성과 관련된 다양한 라우팅 알고리즘이 제안되었으며, 대표적으로 Directed Diffusion[9]과 Energy Aware Routing(EAR)[10] 등이 있다. Directed Diffusion은 싱크 노드의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로, 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현되어 네트워크 전체에 유포되고, 질의에 부합되는 데이터를 데이터 요청 노드로 전송하기 위한 경로를 위해 gradient가 설정된다. 이 때, 데이터는 다중 경로를 통해 전달되는데 경로 중에서 전송 품질이 좋은 몇 개의 노드들이 강화되고, 이 경로를 통해서 데이터 전달이 수행된다. Directed Diffusion의 정보 검색 방법은 데이터를 요청한 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터를 요구하는 경우에는 적합하지만 일회성 혹은 짧은 기간 동안에만 전달되는 형태의 질의에는 적합하지 않은 특성을 가진다. EAR(Energy Aware Routing)은 에너지의 효율성을 높이기 위한 대표적인 무선 센서네트워크의 라우팅 프로토콜로서 최적 경로 외에 다수의 대체 경로를 두어서 선택 가능한 복수 개의 경로 중에 확률에 의해 결정되는 경로로 데이터 트래픽을 전송하여 에너지 소비를 분산시킨다. 따라서 EAR은 단일 경로의 집중적인 에너지 고갈 현상을 막을 수 있지만 단일 홉(single-hop) 경로 정보만을 이용하여 데이터를 전송하므로 송신 노드에서 수신 노드까지 데이터를 전송하는데 지연되는 시간(end-to-end delay)이 크게 증가될 수 있다.

AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector) 프로토콜은 1999년 C.Perkins에 의해 제안된 Ad Hoc 네트워크에 잘 알려진 라우팅 프로토콜로서 노드 간에 데이터 전송 요구가 있을 때 경로 탐색(route discovery) 절차를 수행하고, 획득된 경로 정보를 유지하며 데이터를 전송하는 On-Demand 방식의 라우팅 프로토콜이다. AODV 라우팅 프로토콜은 필요시에만 라우팅을 설정하는 방법으로 기존에 알려진 모든 경로에 대한 정보를 가지고 최적의 경로를 탐색하는 DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector) 라우팅 프로토콜보다 라우팅 정보를 얻기 위한 브로드캐스팅의 수를 크게 줄일 수 있다. 또한 AODV는 각 노드에서 라우팅 테이블을 유지하여 데이터 패킷이 경로 정보를 포함하고 있어 데이터 전송 시에 많은 오버헤드를 가지는 DSR(Dynamic

Source Routing) 방식의 취약점을 크게 개선하였다.

AODV의 경로 탐색은 필요시마다 수행되고, 필요한 때만 유지되며 모든 노드는 이웃노드의 위치에 변화가 있을 때마다 증가하는 순서 번호를 보유하고, 이 순서 번호는 경로 탐색이 수행될 때마다 가장 최근의 경로가 선택될 수 있게 한다. AODV 라우팅 프로토콜은 DSR과 비슷한 경로 탐색 방법을 사용하지만 라우팅 테이블을 유지·관리하는 방법이 다르다. DSR은 소스 노드에서 목적 노드까지의 전체 경로 정보를 유지하지만 AODV는 기본적으로 각 노드에서 간단한 라우팅 테이블을 사용하여 경로를 유지한다. 라우팅 테이블에는 목적지 순서 번호, 목적지 주소와 다음 홉의 주소가 저장되어 있다. 라우팅 테이블 내의 각 항목에는 경로가 사용될 때마다 갱신되는 유효시간(lifetime)이 있어 만일 한 경로가 유효시간 내에 사용되지 않는다면 목록에서 삭제된다. 이렇게 경로 정보에 대한 유효 여부를 결정한다. AODV는 라우팅 테이블을 운영하기 위하여 주기적으로 메시지를 교환하여 가용 대역폭을 감소시키는 단점이 있지만 경로탐색 지연시간을 줄여 통신을 원하는 노드들 사이에 빠르고 효과적인 경로를 제공한다.

AODV의 경로 탐색 과정은 DSR과 유사한 과정을 가진다. 목적지까지의 경로를 찾기 위해 소스 노드는 RREQ(Route Request) 패킷을 브로드캐스팅한다. 이웃 노드들은 RREQ 패킷이 목적지에 대한 최근 경로 정보를 가진 중간(intermediate) 노드나 목적지에 도달할 때까지 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅한다. 경로 정보를 가진 중간 노드나 목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신하면, RREQ 패킷을 송신한 소스 노드에 RREP(Route Reply) 메시지를 전송한다. 이때, 목적지 노드는 일정 시간 동안 모든 RREQ 메시지를 수신하고 이 중 가장 작은 hop 수를 갖는 경로를 선택하여 RREP 메시지를 소스 노드로 전송한다.

RREQ 패킷에 시퀀스 번호를 사용하여 루프 형성을 방지하고, 중간 노드가 최근 경로 정보에만 응답하도록 한다. 각 중간 노드가 RREQ 패킷을 이웃 노드들에게

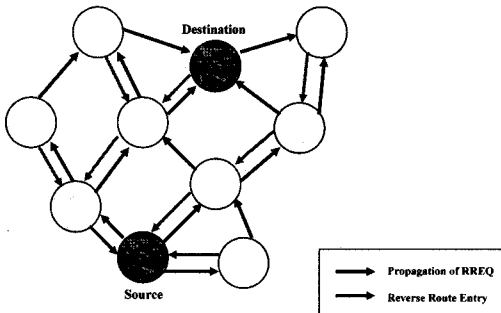


그림 1 RREQ 메시지의 전달(flooding)

전달할 때, RREQ 패킷을 수신한 노드는 이를 전송한 노드를 테이블에 기록한다. 이 정보를 이용하여 RREP 패킷이 역방향 경로(reverse path)를 통해 소스 노드까지 전달된다. RREP를 수신한 노드는 이를 전송한 노드를 테이블에 기록함으로써 순방향 경로(forward path)를 설정하고 이를 근거로 소스 노드와 목적지 노드까지의 경로가 설정된다. 하나의 노드가 동일한 RREQ 메시지를 중복적으로 수신한 경우 최초로 수신된 것만 사용한다. 경로 내의 특정 링크에서 오류가 발생한 경우 지역적인 경로 재탐색 절차를 수행하거나, 또는 RERR(Route Error) 메시지를 생성하여 소스 노드로 전달하여 소스 노드가 경로 재탐색 절차를 시작하게 한다. RERR을 수신한 노드는 오류가 발생한 링크와 관련된 경로 정보를 삭제한다.

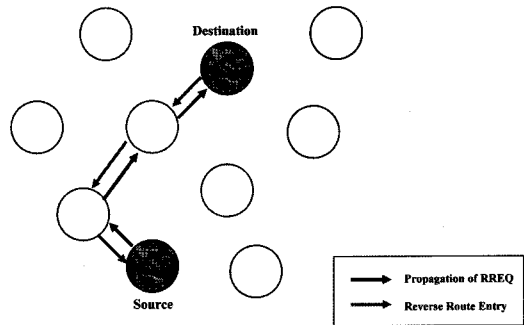


그림 2 소스에서 목적지로의 경로 설정

AODV 라우팅 프로토콜은 출발지와 목적지 사이에 홉 수가 최소인 경로를 설정하므로 종단 간에 데이터 전달 시 지연시간(end-to-end delay)을 최소화한다. 또한 실제 센서 노드에서 가장 큰 에너지 소모를 요구하는 것이 데이터 전송인데 AODV의 경로 설정은 종단 간 최소의 전송과 수신에 발생하도록 하여 전체 에너지 소모 측면에서는 좋은 특성을 갖는다. 하지만 특정 종단 간에 빈번한 통신이 발생한다면 특정 경로로만 데이터의 전송이 이루어지기 때문에 그 경로 상의 노드들은 조기에 에너지가 모두 소모되는 현상이 발생하게 되고 에너지가 고갈된 노드가 증가하게 되면 결국은 전체 센서 네트워크의 파티션이 발생하게 된다. 각 파티션에 속한 노드들 간의 데이터 전송이 불가능하므로 센서 네트워크의 수명(lifetime)이 끝난 것이라고 할 수 있다. 그러므로 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 센서 노드들의 균일한 에너지 소모가 관건이라고 할 수 있다[1]. AODV의 경로 설정 메커니즘에서는 경로 설정 시에 각 노드의 잔여 에너지를 고려하지 않고 오직 홉 수만을 distance metric으로 고려하므로 각 노드의 불균형적인 에너지 소모 현상이 심각하게 나타난다.

3. 제안한 라우팅 프로토콜

본 논문에서는 reactive 방식의 Ad Hoc 라우팅 프로토콜인 AODV를 센서 네트워크에 적용할 때 센서 노드의 불균형한 에너지 소모를 완화하는 노드의 잔여 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안 프로토콜은 기존의 AODV와 비교하여 지연시간 성능 metric을 크게 저하시키지 않으며 각 센서 노드들의 균일한 에너지 소모를 유도하여 전체 네트워크의 수명을 연장할 수 있다.

3.1 제안한 라우팅 프로토콜의 메시지 형식

제안하는 프로토콜은 AODV와 유사한 경로탐색 과정을 수행하며, 경로 선정 과정에서 경로 상에 있는 노드의 잔여 에너지와 홉 수를 고려하여 적절한 경로를 선정하게 된다. 이를 위해 그림 3에 보여진 것처럼 RREQ 메시지에 Min_RE(Minimum Residual Energy)와 TRE(Total Residual Energy) 항목의 추가가 필요하다. 경로 설정 과정에서 RREQ 메시지를 전달할 때 경로상의 노드의 잔여 에너지의 최소값을 Min_RE 항목에, 누적값을 TRE 항목에 기록한다. 소스 노드가 새로운 RREQ 메시지를 전송할 때는 Min_RE 값을 -1, TRE 값을 0으로 설정한다.

Type	J	R	G	D	U	Reserved	Hop Count
RREQ ID							
Destination IP Address							
Destination Sequence Number							
Originator IP Address							
Originator Sequence Number							

그림 3 제안하는 프로토콜의 RREQ 메시지 형식

소스 노드가 RREQ 메시지를 플러딩(flooding)하는 과정에서 해당 메시지가 전송되는 경로에 있는 중간 노드들이 RREQ 메시지를 수신하면 홉 수(Hop Count)를 1 증가시키고 TRE 값에 자신의 잔여 에너지 값을 합산하여 갱신한다. 그리고 Min_RE 값이 -1이거나 자신의 현재 잔여 에너지 보다 큰 경우에는 자신의 잔여 에너지 값으로 대체하고 다시 브로드캐스팅한다. 이 때 중간 노드가 목적지 노드까지의 경로 정보를 가지고 있더라도 자신으로부터 목적지 노드까지의 경로 상에 있는 노드들의 잔여 에너지 정보를 수집하기 위해 계속해서 목적지 노드까지 RREQ를 전달한다.

하나의 노드를 거쳐 전달될 때마다 홉 수, 경로상의 최저 잔여 에너지량과 잔여 에너지의 합을 갱신하게 된

다. 그림 4는 각 중간 노드에서의 RREQ 처리 과정을 보여준다.

```

update_RREQ()
{
  if Node receive RREQ message then
  {
    RREQ.Hop_count ← RREQ.Hop_count + 1;
    RREQ.TRE ← RREQ.TRE + Res_Energy;
    if (RREQ.Min_RE=-1 or RREQ.Min_RE>Res_Energy) then RREQ.Min_RE ← Res_Energy;
  }
  re-broadcast RREQ
}
    
```

그림 4 중간 노드의 RREQ 처리 알고리즘

최종적으로 목적지 노드에 하나의 RREQ 메시지가 도착하면 목적지 노드는 타이머를 작동시켜 일정 시간 동안 다른 경로를 통해 전달되는 RREQ 메시지를 수신한다. 타이머가 종료된 후 목적지 노드는 라우팅 경로를 결정하여 RREP 메시지를 생성하고 소스 노드에게 유니캐스트(unicast) 방식으로 전달한다. 소스 노드가 RREP 메시지를 수신하면 경로가 설정되고 데이터 전송이 가능하게 된다. 그리고 센서 네트워크의 특성 상 노드의 이동이 거의 없어서 토폴로지(topology) 변화가 없더라도 주기적으로 라우팅 경로를 업데이트하여 각 노드의 잔여 에너지 정보를 갱신함으로써 잔여 에너지가 모두 고갈되었거나 상대적으로 적은 노드들이 라우팅 경로에서 제외 되도록 유도한다.

그림 5는 목적지 노드에서의 경로 선택 과정을 보여준다.

```

reply_RREP()
{
  if first RREQ message received then
  {
    start timer_RREQ; ...
    i ← 0;

    while (timer_RREQ is not expired) do
    {
      // calculate ARE, alpha and store forwarding node ID for each route.
      ARE ← RREQ.TRE/(RREQ.Hop_count-1);
      alpha[i] ← (RREQ.Min_RE*P+ARE*(1-P))/(RREQ.Hop_count*k);
      forwarding_node[i] ← RREQ.forwarding_node_ID;
      i ← i+1;
      Wait for next RREQ;
    }
    Find index value n for maximum alpha value;
    Send RREP message to forwarding_node[n];
  }
}
    
```

그림 5 목적지 노드의 경로 선택 알고리즘

3.2 제안한 라우팅 프로토콜의 경로 선정 전략

라우팅 경로의 선택 기준은 식 (1)에서 α 의 값이 가장 큰 경로를 선택한다. 즉, 제안하는 프로토콜의 경로 선택은 상대적으로 경로상의 노드의 평균 잔여 에너지

값과 최저 잔여 에너지 값이 크고 홉 수가 작은 경로를 선택하여 다른 노드에 비해 잔여 에너지가 적은 노드들이 경로에 선택되는 것을 제한한다. 식 (1)에서 인자 P를 두어 경로 선택 시 최저 잔여 에너지(Min_RE)와 평균 잔여 에너지(ARE) 간의 반영 비율을 적절히 조정할 수 있다. 즉, P를 1에 가깝게 설정하면 최저 잔여 에너지에 많은 비중을 두어 경로 설정을 하므로 잔여 에너지가 적은 노드 위주의 에너지 소모 균형을 유도하고, 0에 가깝게 설정하면 평균 잔여 에너지에 비중을 두어 경로상의 전체 노드의 에너지 수준을 고려한 균형을 유도한다.

$$\alpha = \frac{Min_RE \cdot P + ARE(1 - P)}{\#Hops \cdot k} \quad (1)$$

- Min_RE : 경로 상의 노드의 최저 잔여 에너지 값.
- ARE : 경로 상의 노드의 평균 잔여 에너지 값.
- # Hops : 경로의 hop 수.
- P : ARE와 Min_RE에 대한 비율 인자 (0 ≤ P ≤ 1)
- k : 홉 수에 대한 가중치.

여기에서 잔여 에너지의 단위가 주울(Joules)인 점을 감안하면 1 홉의 차이는 단지 한 번의 전송과 수신을 더하는 것이므로 에너지 측면에서는 상대적으로 매우 작은 차이라고 할 수 있다. 그러므로 홉 수의 차이가 경로 선택에 너무 큰 비중으로 반영되지 않도록 홉 수에 대한 가중치 k를 두었다. 이 값은 센서 네트워크의 트래픽 모델, 대역폭(bandwidth), 에너지 모델을 고려하여 홉의 증가에 따른 에너지 소비비의 근사값을 구하여 설정한다. 즉, 하나의 패킷을 전송하고 수신하는데 필요한 에너지를 계산하여 가중치로 사용한다.

3.3 제안한 라우팅 프로토콜의 비교 모델

제안한 라우팅 프로토콜을 비교·분석하기 위해 다음의 세 가지 라우팅 경로 설정 모델을 고려한다.

- Case-1 : 가장 작은 홉(hop)수를 갖는 경로 선택
- Case-2 : 잔여 에너지의 최소값이 가장 큰 경로 선택
- Case-3 : 상대적으로 노드의 잔여 에너지의 평균값과 최소값이 크고 홉 수가 작은 경로 선택(제안 프로토콜)

그림 6은 소스 노드 S에서 목적지 노드 D로 경로를 설정하는 간단한 예를 보여준다. 세 개의 후보 경로가 설정되어 있으며 각 노드 위의 수치는 잔여 에너지를 나타낸다. Case-1의 모델은 홉 수가 가장 작은 경로를 설정하므로 # Hops가 3인 <S-B-J-D> 경로를 선택한다. Case-2의 모델은 경로 내의 잔여 에너지의 최소값이 가장 큰 경로를 설정하므로 Min_RE가 6인 <S-A-K-F-L-H-G-D> 경로를 선택하게 된다. 마지막으로 제안 모델에서는 각 후보 경로에 대해 식 (1)의 α 값을 계산하여 가장 큰 값을 갖는 경로를 선택한다.

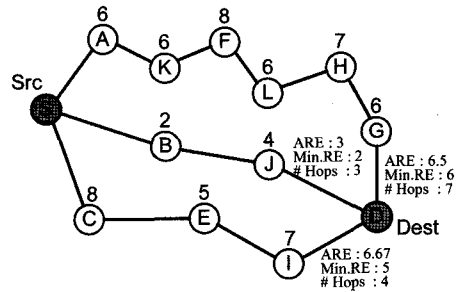


그림 6 각 모델의 경로 설정의 예

가중치 k를 1로, 비율 인자 P를 0.5로(동일 비율) 설정할 경우 가장 큰 α 값 1.46을 가지는 <S-C-E-I-D> 경로가 선택된다.

Case-1의 모델은 에너지를 고려하지 않고 가장 짧은 경로를 선택하는 방식으로 대부분의 유선 네트워크나 AODV 등의 무선 Ad Hoc 네트워크에서 채택하고 있다. 무선 센서 네트워크에서는 중단 간 지연과 처리율(throughput)보다는 네트워크의 수명(lifetime)이 더욱 중요한 성능 요소(metric)로 작용한다. 그러므로 Case-1의 모델은 지연의 측면에서는 다른 두 방식에 비해 좋은 성능을 얻을 수 있으나 센서 네트워크에 적용하기에는 무리가 있다. Case-2의 모델은 잔여 에너지의 최소값이 가장 큰 경로를 택함으로써 네트워크의 수명을 연장하기 위한 방식이나 홉 수가 고려되지 않아 메시지가 크게 우회하거나 루프(loop)가 형성되는 문제점이 있다. 네트워크 수명의 측면에서 이점이 있으나 전체 네트워크 캐퍼시티(capacity)나 지연의 측면에 있어서 많은 성능 저하가 예상된다. Case-3의 모델은 Case-2 모델의 단점을 보완하여 잔여 에너지와 홉 수를 모두 고려하는 방식으로 최단 경로에 인접한 노드들이 고르게 전송에 참여하여 네트워크 수명을 연장하며 비교적 적은 홉 수를 가지는 경로를 선택하므로 지연에 있어서도 큰 성능 저하는 없다.

4. 성능 평가

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜의 성능 평가를 위해 NS-2 시뮬레이터[12]를 사용하여 제안한 프로토콜에서 비율 인자 P의 설정에 따른 네트워크 수명을 비교하였으며, 3장에서 기술한 두 개의 모델(Case-1, Case-2)과 제안한 프로토콜을 평균 지연시간 및 센서 네트워크 수명의 관점에서 비교·분석하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 모델은 네트워크 영역의 크기를 500×500m로 하였고 센서 노드의 개수는 100개로 설정하여 랜덤하게 배치하고 노드의 이동은 없는 것으로 설정하

여 60초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 실험에 사용된 무선 센서 네트워크의 전파 방식(Propagation Model)은 Two-ray Ground Reflection 모델을 사용하며 노드의 최대 전송 범위는 100m로 설정하였다. MAC 프로토콜은 802.11로 1Mbps의 대역폭을 설정하였다.

센서 노드의 에너지 모델은 초기 에너지를 7 줄(Joules)로 설정하고, 패킷을 전송할 때는 600mW(Watts)가 소비되도록 하고, 패킷을 수신할 때는 300mW가 소비되도록 설정하였다. 트래픽 모델은 UDP 프로토콜에 기반한 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽이 발생 되도록 하였다. 데이터 패킷의 크기는 512byte로 설정하고, 초당 발생하는 패킷의 수를 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10(packet/sec)으로 설정하여 트래픽 부하의 변동에 따른 성능을 비교 분석하였다.

홉 수에 대한 가중치 k는 설정한 시뮬레이션 환경의 트래픽 모델, 대역폭(bandwidth), 에너지 모델을 적용하여 계산한다. 설정된 네트워크는 1Mbps의 대역폭에 패킷 사이즈가 512 Byte이므로 패킷 하나의 송신 및 수신 시간은 약 0.004096초로 계산되고, 설정된 에너지 모델을 적용하면 소모된 에너지는 약 0.0037 Joule이 된다.

4.2 결과 분석

첫 번째 분석으로 제안된 모델에서 경로 선택에 사용된 비율 인자 P를 0.8, 0.7, 0.6, 0.4로 설정하여 각 경우의 네트워크 수명을 비교하기 위해 60초의 시뮬레이션을 수행하는 동안 매초마다 각 노드의 잔여 에너지를 조사하여 에너지가 모두 소모된 노드들의 수를 측정하였다.

그림 7의 결과는 각 설정의 시간에 따른 잔여 에너지가 고갈된 노드의 수를 나타낸 것으로 작은 값을 가질수록 네트워크의 수명이 연장되는 것을 의미한다. 결과에서 비율 인자 P를 0.7로 설정한 경우의 네트워크 수명이 상대적으로 오래 지속되는 것을 보여준다.

두 번째 분석으로 3.3절에 기술한 각 모델의 네트워크 수명을 비교하였다. 첫 번째 분석과 같이 각 모델에 대해 60초의 시뮬레이션을 수행하는 동안 에너지가 모두 소모된 노드들의 수를 측정하였다. 제안한 모델에서의 비율 인자 P는 그림 7의 결과에서 가장 우수한 성능을 보여준 0.7로 설정하였다.

그림 8의 각 모델의 네트워크 수명 비교 결과에서 제안한 프로토콜의 수명이 다른 모델에 비해 상대적으로 오래 지속되는 것을 보여준다. 제안한 프로토콜의 경로 설정 기법이 센서 노드의 균형적인 에너지 소모를 유도하는 것을 알 수 있다.

그림 9는 트래픽 부하에 따른 각 모델의 중간 간 평균 지연시간을 보여준다. 가장 작은 홉 수를 경로로 설정하는 AODV 모델의 지연이 가장 작은 것을 볼 수 있다. 그러나 제안한 프로토콜의 평균 지연시간이 AODV

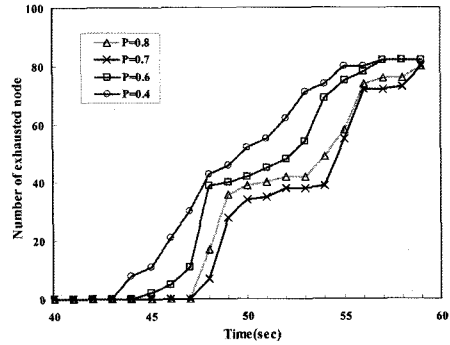


그림 7 제안 모델에서 비율 인자에 따른 잔여 에너지가 고갈된 노드 수의 비교

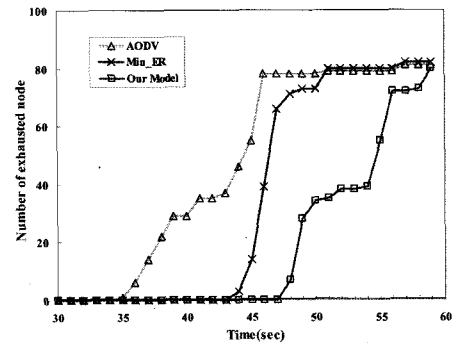


그림 8 잔여 에너지가 고갈된 노드 수의 비교

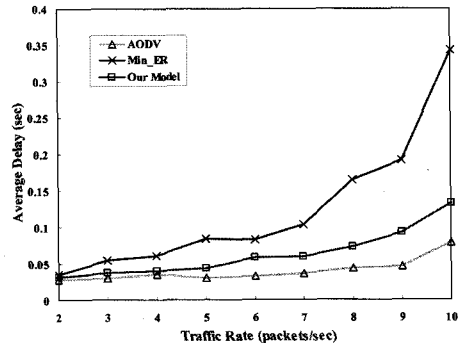


그림 9 부하의 증가에 따른 지연시간의 비교

모델에 근접하게 나타나므로 제안한 프로토콜의 지연 성능이 AODV와 비교하여 크게 뒤떨어지지 않는 것을 알 수 있다. 이는 노드의 잔여 에너지 뿐 아니라 홉 수를 고려하는 제안한 프로토콜의 전략이 타당하다는 것을 보여준다.

이러한 결과를 바탕으로 우리는 잔여 에너지와 홉 수를 동시에 고려하는 제안한 라우팅 프로토콜이 지연 시간이 크게 저하되지 않으면서 전체 네트워크 수명 연장에 효율적임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 Ad-Hoc 라우팅 프로토콜인 AODV 프로토콜을 무선 센서 네트워크에서 사용할 경우 에너지를 고려하지 않는 경로 설정으로 인해 네트워크 수명이 단축되는 문제를 보완하기 위해 개선된 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 노드의 잔여 에너지와 홉 수를 고려하여 경로 설정을 함으로써 각 노드의 균형적인 에너지 소모를 유도하여 전체 네트워크의 수명을 연장하고자 하였고 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다. 또한 센서 네트워크에서는 각 노드의 고른 에너지 소모가 전체 네트워크의 수명 연장에 중요한 요인이라는 것을 확인할 수 있었다.

앞으로의 연구과제는 다양한 네트워크의 상황에서 제안한 프로토콜의 경로 설정 시에 더욱 확장된 균등한 노드의 에너지 소모를 유도하기 위하여 보다 효율적인 잔여 에너지의 비율 인자 설정에 다양한 분석과 연구를 수행하여 경로 선택에 적용하는 것을 과제로 남겨두고 있다.

참고 문헌

[1] Ian F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, volume 40, Issue 8, pp.102-114, Aug. 2002.

[2] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," in the Elsevier Ad Hoc Network Journal, Vol 3/3, pp.325-349, 2005.

[3] Q. Jiang and D. Manivannan, "Routing protocols for sensor networks," Proceedings of CCNC 2004, pp.93-98, Jan. 2004.

[4] Suresh Singh and Mike Woo, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, Dallas, Texas, pp.181-190, 1998.

[5] S. Rhee, D. Seetharam and S. Liu., "Techniques for Minimizing Power Consumption in Low Data-Rate Wireless Sensor Networks," Wireless Communications and Networking Conference 2004, IEEE Vol. 3, Mar. 2004, pp.1727-1731.

[6] Charles E. Perkins and Elizabeth M. Royer. "Ad hoc On-demand Distance Vector Routing," Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, New Orleans, LA, pp.90-100, Feb. 1999.

[7] Charles E. Perkins, "Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing," RFC 3561, IETF MANET Working Group, July 2003.

[8] David B. Johnson, David A. Maltz, and Josh Broch, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks," in Ad Hoc Networking, edited by Charles E. Perkins, Chapter

5, pp.139-172, Addison-Wesley, 2001.

[9] C. Intanagonwivat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," Proc. ACM MobiCom'00, Boston, MA, 2000, pp. 56-67.

[10] Rahul C. Shah and Jan M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," IEEE Wireless Communication and Networking Conference, 2002.

[11] S. Doshi, S. Bhandare, and T.X. Brown, "An on-demand minimum energy routing protocol for a wireless ad hoc network," ACM Mobile Computing and Communications Review. vol. 6. no. 3, July 2002.

[12] Information Sciences Institute, "The Network Simulator ns-2," <http://www.isi.edu/nanam/ns/>, University of Southern California

한 옥 표



1993년 2월 강원대학교 전자계산학과 학사. 1996년 2월 강원대학교 전자계산학과 석사. 1997년 11월~2003년 11월 강원 인터넷 대학, 시스템 운용실장. 2001년 8월~현재 강원대학교 컴퓨터과학과 박사과정. 관심분야는 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서네트워크, 네트워크보안

이 희 춘



1974년 2월 강원대학교 수학교육과 이학사. 1983년 2월 경희대학교 수학과 통계학전공 이학석사. 1987년 8월 경희대학교 수학과 통계학전공 이학박사. 2004년 8월 강원대학교 컴퓨터과학과 박사과정 수료. 1989년 3월~1991년 10월 동신대학교 조교수. 1991년 11월~현재 상지대학교 컴퓨터데이터 정보학과 교수. 관심분야는 정보검색, 전자상거래, 이동통신망

정 영 준



1974년 서울대학교 전기공학과 학사. 1984년 University of Kansas, 컴퓨터공학과 석사. 1988년 University of Kansas, 컴퓨터공학과 박사. 1982년~1988년 미국, KGS 연구소, 연구원. 1988년~1991년 미국, RANPAC 연구소, 개발부장. 1991년~현재 강원대학교 컴퓨터과학과 교수. 관심분야는 BcN, 유비쿼터스 컴퓨팅/네트워크, 센서네트워크, 이동통신, 무선인터넷 응용기술, 네트워크보안