

무선 센서 네트워크에서 수집 데이터의 효과적인 전송을 위한 비겹침 다중경로 라우팅 프로토콜

한 대 만[†] · 임 재 현^{††}

요 약

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성, 전송 지연 그리고 확장성은 중요한 요구사항이며, 특히 다수의 노드로 구성된 무선 센서 네트워크의 경우 네트워크 라이프타임 연장을 위해 제한된 배터리 전력 내에서 각 노드의 에너지 소비를 최소화 시켜야한다. 또한 전송률을 향상시키기 위해서는 각 센서 노드의 에너지 소비를 최소화하기 위한 효율적인 알고리즘과 에너지 관리 기술이 요구된다. 본 논문은 무선 센서 네트워크 환경에서 센서 데이터 전송을 위해 경로의 겹침이 없는 다중경로 프로토콜을 제안한다. 제안한 방법은 다중경로를 검색하고 라우팅 테이블에 다중경로를 추가시켜 센서 데이터 전송의 감소를 통해 네트워크 오버헤드를 최소화 시킨다.

제안한 라우팅 프로토콜은 각 노드의 에너지 소비를 최소화하고, 싱크 노드가 수신 강도 범위 내, 외부에 위치하더라도 무선 센서 네트워크의 생명주기를 연장할 수 있다. 실제 데이터를 이용하여 현실 모델에 맞게 무선 센서 네트워크를 구축하고 제안 기법의 타당성을 검증하며, 전체 에너지의 소비량을 평가한다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 에너지 효율, AODV, DMPRP, 멀티 패스

A Disjoint Multi-path Routing Protocol for Efficient Transmission of Collecting Data in Wireless Sensor Network

Dae-Man Han[†] · Jae-Hyun Lim^{††}

ABSTRACT

Energy efficiency, low latency and scalability for wireless sensor networks are important requirements, especially, the wireless sensor network consist of a large number of sensor nodes should be minimized energy consumption of each node to extend network lifetime with limited battery power. An efficient algorithm and energy management technology for minimizing the energy consumption at each sensor node is also required to improve transfer rate. Thus, this paper propose no-overlap multi-pass protocol provides for sensor data transmission in the wireless sensor network environment. The proposed scheme should minimize network overhead through reduced a sensor data translation use to searched multi-path and added the multi-path in routing table.

Proposed routing protocol may minimize the energy consumption at each node, thus prolong the lifetime of the sensor network regardless of where the sink node is located outside or inside the received signal strength range. To verify propriety proposed scheme constructs sensor networks adapt to current model using the real data and evaluate consumption of total energy.

Keywords : Wireless Sensor Network(WSN), Energy Efficient, AODV, DMPRP, Multi-Path

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 광범위한 지역에 분산되어 있는 초소형, 저 전력 스마트 센서 노

드들로 구성된 Ad-hoc 무선 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 데이터로 활용할 수 있는 프로세스를 가지며, 이를 전송할 수 있는 무선 통신 기능을 갖춘 소형 디바이스 장치이다. 무선 센서 네트워크는 일반적으로 센싱 정보의 정확성과 감지 영역의 확장성을 위해 대규모의 센서 노드들로 구성한다. 이러한 대규모 네트워크 환경에서는 동적인 상황 변화

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구인(2009-0093825)

† 준 회원 : 공주대학교 그린홈에너지기술연구소 연구교수

†† 종신회원 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수

논문접수 : 2010년 7월 26일

수정일 : 1차 2010년 8월 25일

심사완료 : 2010년 8월 25일

에 적용할 수 있는 자기 구성(Self-organizing) 기능 및 노드 간의 상호 협업 기능이 중요하게 사용된다. 또한 다양한 종류의 센서들에 의해 탐지된 센싱 정보를 수집(Sink) 노드에게 보다 효율적으로 전송하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1].

무선 센서 네트워크 기술의 주요 연구로는 에너지 효율성을 고려한 네트워크 프로토콜 설계, 위치 정보 감지(Localization), 동기화(Synchronization), 효율적인 데이터 통합(Data aggregation), 보안 등을 들 수 있다. 네트워크 계층에 있어서는 자기 구성(Self-organizing) 기능, 제한된 전력의 효율적인 사용, 데이터 중심적인 특성을 고려한 라우팅 프로토콜, 데이터 통합 기법이 제안되고 있다[2, 3]. 무선 센서 네트워크에서는 다수의 센서 노드가 조밀하게 분포되어, 다중 홉(Multi-hop) 네트워크 환경을 구성하며, 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 증가하여 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[5]. 하지만 센서 네트워크에서 센서 노드들 간의 자료수집, 센서 망을 통한 인터넷 연결 등 다양한 응용 분야에 적용하기 위해서는 노드들 간의 유니캐스트 형태의 통신이 필요하다. 센서 네트워크에서 노드 간의 점대점 통신을 위한 라우팅 프로토콜은 에너지를 고려하고 있지 않기 때문에 센서 네트워크에 그대로 적용하면 에너지 효율성의 측면에서 문제점이 발생한다. 따라서, 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 센서 데이터 전송을 위해 기존의 Ad-hoc 환경에서 사용되는 라우팅 프로토콜이 아닌 센서 네트워크 환경에서 대용량 데이터 전송에 맞는 새로운 라우팅 프로토콜이 필요하고 이러한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되고 있다[6]. 대표적인 라우팅 프로토콜로 다중경로[7]를 이용하여 센서 데이터를 여러 경로로 분산시켜 소수의 센서 노드에 집중되는 현상을 완화시켜주고 중간 노드에서 Overflow가 발생하는 것을 방지할 수 있는 방법들이 제안되고 있다[7]. 기존의 다중 경로에 관련된 연구는 경로를 분산시키는 방법을 제안하였지만 다중 경로의 겹침 현상이 발생하여 데이터를 전송하는 중간노드에서 다시 Overflow가 발생하기 시작한다.

본 논문에서는 기존의 무선 센서 네트워크 환경에서 센서 전송을 원활히 지원할 수 있도록 노드의 비겹침 다중경로 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 라우팅 프로토콜은 PHY/MAC의 정보를 이용한 링크의 성능을 정량화 할 수 있는 방법과 이 정보를 이용한 노드 비 겹침(Node Disjoint) 다중 경로 라우팅 방법으로써 데이터 전송의 신뢰성을 최대한 보장해 주고 부하 분산(Load Balancing)과 높은 군집 대역폭

(Aggregated Bandwidth)을 제공한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서네트워크와 관련된 부하 균형 프로토콜, 효과적인 경로설정 방법인 매트릭의 종류, 기존의 다중경로 알고리즘에 대하여 알아본다. 3장에서는 제안한 알고리즘에 대하여 서술하고, 4장에서는 본 논문이 제안하는 알고리즘에 대해 구현 및 성능평가하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 부하 균형 프로토콜

네트워크의 성능을 최대로 사용하기 위해서는 부하 분산 기법이 필요하다. 노드의 부하를 고려하는 라우팅은 설정된 경로에 대한 트래픽 부하를 경로 설정 매트릭에 사용한다. 이것은 네트워크의 트래픽 분산효과를 가져오므로서 결국 전체 네트워크의 처리량을 감소시키게 된다. On-demand 방식의 라우팅 프로토콜에서 경로설정 기준이 최단거리가 아닌 전체 네트워크의 성능향상을 고려하는 QoS-aware 라우팅 프로토콜이 제안되고 있다. QoS-aware 매트릭에는 “지연 변화”, “대역폭”, “패킷 손실 확률” 등이 있다. 지금까지 제안된 이동 노드의 부하를 고려하는 프로토콜에는 DLAR(Dynamic Load-aware Routing), LBAR(Load-Balanced Ad-hoc Routing), LSR(Load-Sensitive Routing)등이 있다[8]. 이동 노드의 부하를 고려한 라우팅 프로토콜은 기존의 DSR(Dynamic Source Routing)[9], AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)와 같은 캐시 메커니즘을 사용하지 않는다. 캐시 메커니즘은 중간 노드들이 자신의 라우팅 테이블의 기준에 설정된 경로 정보를 저장하고 있음으로서 또 다시 같은 경로로 요청하는 패킷이 수신되었을 때 즉시 응답해줌으로서 경로 설정 시간을 줄이는 방법이다. 하지만 이러한 방법은 시간이 경과함에 따라 잘못된 경로 정보를 가질 수 있고, 같은 경로를 선택하는 이동 노드가 증가함에 따라 경로에 부하가 증가하게 된다. DSAR은 이동 노드의 해당 노드의 인터페이스 큐에 있는 패킷의 개수로 계산한다. LBAR에서는 해당 노드뿐만 아니라 이웃 노드를 통과하는 경로의 개수를 모두 합한 수를 해당 노드의 부하정보로 사용한다. LSR은 노드와 이웃 노드의 인터페이스 큐에 있는 패킷의 수를 이동 노드의 부하로 정의하고 있다. DLAR은 이웃 노드 간의 접근 경쟁을 고려하지 않았으며, LBAR, LSR은 DLAR의 개념에 접근 경쟁을 고려한 방법이다.

2.2 라우팅 매트릭의 종류

라우팅 프로토콜에 의해서 효과적인 경로를 선택하기 위해서 여러 가지 매트릭이 이용된다. 목적지의 홉 카운트, RTT(Round Trip Time), PktPair(Packet Pair Delay), ETX(Expected Transmission Count), ETT(Expected Transmission Time)와 같은 매트릭을 기반으로 경로를 결정하게 된다. 홉 카운트를 이용하는 방법으로는 손실과 대역폭을 고려하지 않는다[4]. 즉, 신뢰성이 높거나 다른 전송 속도를 가진 경로

를 고려하지 않는다. RTT를 이용하는 방법은 Round Trip Time을 측정하는데 오버헤드가 크며, 무엇보다 링크상의 전송속도를 고려하지 않는다. 또한 Probe 패킷을 통해 RTT를 계산하기 때문에, 채널 점유율이 높아진다. PktPair는 RTT와 마찬가지로 Probe패킷을 사용한다. ETX는 단지 손실률만 고려하고, 각각의 링크에 대한 대역폭은 고려하지 않는다. 즉, 각기 다른 대역폭을 갖는 무선 매쉬 네트워크 환경에는 적합하지 않다. ETT는 ETX의 단점을 보완하기 위해서 제안되었다. 이것은 ETX를 기반으로 하여, 데이터의 전송시간을 예측하여 전송하는 방법이다. 링크에 대한 대역폭을 고려하여 경로를 선택한다.

2.3 Multi-Path Routing 메커니즘

기존 무선 Ad-Hoc 네트워크 환경에서 다중 경로를 통한 센서 전송에 관한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다[8]. 이와 같은 다중 경로 전송의 부하 분산 기능으로 인해 네트워크의 부하를 줄이며 성능 향상에 큰 장점이 논문을 통하여 증명되었다[8]. 기존에 사용되고 있는 대표적인 다중 경로 라우팅 프로토콜은 요구 기반 다중 경로 및 송신자 기반의 라우팅 프로토콜이다. 다중 경로 라우팅 알고리즘으로 SMR(Split Multi-Path Routing)[9]은 DSR과 유사하지만, 최대 비 중첩 경로들을 구성하는데 사용된다. 하지만 DSR과 달리 중간 노드들은 루트 캐시를 유지하지 않기 때문에 RREQ(Route Request)에 대한 응답을 하지 않는다. 이는 수신자가 모든 가능한 경로를 받아서 최대 비 중첩 경로를 선택할 수 있도록 한다. 최대 비 중첩 경로들은 공통적인 노드나 링크를 최소화하는 것을 의미한다. AODV[10]와 유사한 AOMDV(Ad-hoc On-demand Multi-Path Distance Vector) [11]는 시작 노드가 통신을 하기 위해 목적지 노드까지의 경로가 필요할 때 RREQ를 브로드캐스팅 한다. 이 패킷을 받은 노드는 패킷을 보낸 노드의 역 경로(Reverse Path)로 간주하고 이 노드가 자신이 갖고 있는 라우팅 테이블에 있는 경로들과 Link Disjoint 한지 검토하고 Link Disjoint 하면 자신의 역 경로 라우팅 테이블에 저장한다. RREQ 패킷을 다시 브로드 캐스팅한다. 이때 AODV의 경우, 다른 중간 노드를 경유해 온 동일한 RREQ 패킷을 수신했다면 그 패킷

을 무시하여 제거한다. 하지만 AOMDV의 경우는 이를 수신하여 Link Disjoint 한지 판단하여 저장해 또 다른 경로를 확보한다. (그림 1)에는 라우팅 알고리즘에 필요한 RREQ, RREP 패킷의 구조를 나타내었다. RREQ 패킷을 전송하여 목적지까지의 새로운 패스를 찾기 위해 브로드캐스팅 한다. RREP 패킷은 Sink 노드와 같은 목적지 주소로부터 전송된다. RREP 패킷은 RREQ 패킷의 Back-word 경로를 저장하여 새로운 패스를 생성한다. AODV는 Back-word와 RREQ 패킷의 루프 발생을 감소시키기 위하여 카운트와 Timer를 사용하여 일정 기한 이후 패킷의 자동 소멸하는 기능을 지원한다.

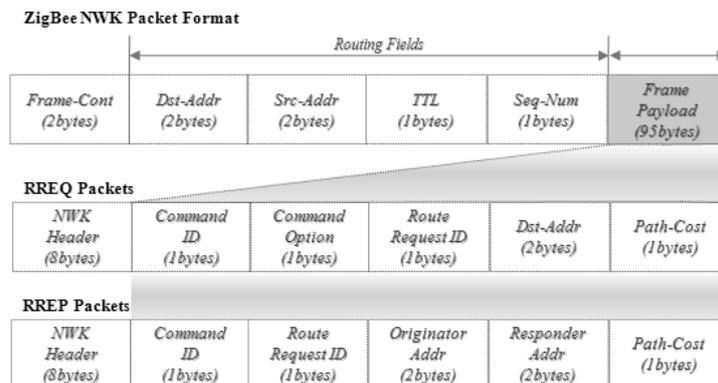
3. DMPPR(Disjoint Multi-Path Routing Protocol)

3.1 다중 경로 설정의 장점

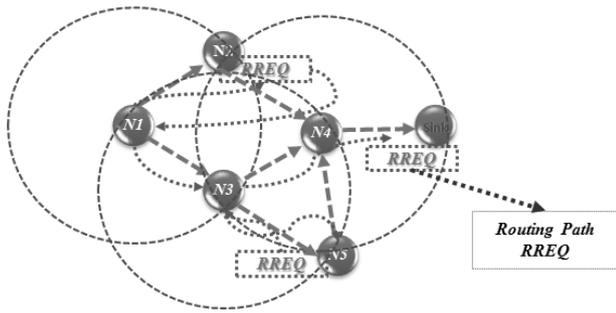
제안하는 경로 설정 방법은 목적지로 가는 다음 홉 정보가 여러 개가 존재하므로 경로에 문제가 발생해도 즉시 다른 경로를 이용할 수 있기 때문에 데이터 전송에 신뢰성이 높고, 여러 경로를 가지는 Hop-by-Hop 전달 구조에서 루프가 존재할 수 있다. 단순히 홉 카운트가 적은 경로를 선택하면 루프를 피해 전송되지만, 링크의 품질을 기반으로 전송하는 네트워크 구조에서 홉 카운트와 관계없이 전송하면 루프가 발생한다. 그리고 자료를 보내기 전에 다음 홉을 선택하여 전달하기 때문에 홉 사이의 다중 경로가 선정되어 데이터 분산의 효과를 얻을 수 있다. 그리고 단일 경로로 구성된 노드인 경우 축약해 한 홉으로 간주하여 Hop-by-Hop의 문제점을 해결할 수 있다. 전달 경로 테이블에 대한 갱신은 초기 네트워크가 시작되거나 새로운 매쉬 노드가 참여하거나 탈퇴하는 경우 즉, 위상의 변화가 생기는 경우에만 수행한다.

3.2 다중 경로 라우팅 프로토콜

본 논문에서 제안하는 최적화된 다중 경로 라우팅의 주요 목적은 경로를 탐색하고 있는 동안 라우팅에 관련된 오버헤드를 줄이면서 여러 개의 독립적인 경로를 탐색하는 것이다. 오버헤드를 줄이기 위해 포워딩 되는 경로 탐색 요청을



(그림 1) RREQ RREP Packet 구조



(그림 2) RREQ를 이용한 경로 탐색

최대한 줄이면서 목적지 노드가 여러 개의 경로 중에서 노드와 독립적인 경로를 선택할 수 있도록 각 경로 별로 해당 경로를 형성하고 있는 노드들의 ID 리스트를 알고 있어야만 한다. 근원 노드의 경로탐색 요청 수신까지의 과정을 (그림 2)에 나타내었다.

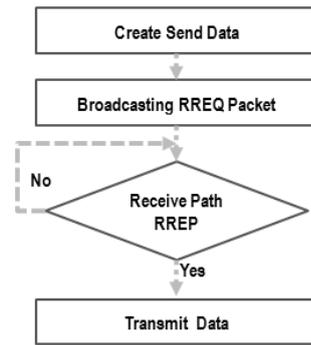
(그림 2)에서 RREQ를 브로드캐스트 하여 싱크 노드까지의 경로를 탐색하고 RREQ의 캐시에 저장된 경로를 메시지 전송 경로로 사용한다. RREQ를 이용하여 생성된 경로는 (N1,N3,N4,Sink), (N1,N2,N4,Sink), (N1,N3,N5,N4,Sink)와 같이 생성되어 RREQ가 통과한 경로가 캐시에 저장되어 있으며 저장된 경로를 이용하여 메시지를 전송한다. 본 논문에서 제안된 프로토콜은 RREQ 캐시의 내용이 동일하지 않은 패스로 데이터를 전송하도록 하여 한 노드의 집중적 사용을 회피 하도록 하였다.

(그림 3)에서는 RREQ의 캐시에 저장된 역 경로 라우팅 테이블을 이용하여 다중 경로를 생성하고 각각의 노드 비겹침 경로를 이용하여 메시지를 전송할 수 있는 경로를 나타내었다. 일반적인 다중 경로 알고리즘은 위와 같은 생성된 경로를 모두 라우팅 테이블로 사용한다. 제안한 알고리즘에서는 Message Path3과 같이 경로에 루프 백이 존재한다면 다중 경로 라우팅 테이블에서 제거하고 루프 백이 존재하지 않는 라우팅 테이블 만을 사용하도록 함으로서 루프 백의 오버 헤드가 발생하지 않도록 한다.

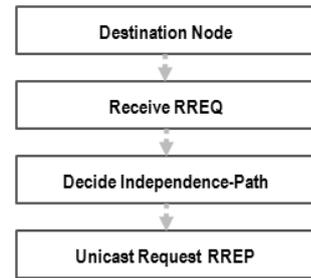
(그림 4)에 RREP패킷의 수신 절차를 나타내었다. 반복방지와 최적의 경로를 탐색하는 알고리즘을 (그림 5)에 나타내었다. (그림 6)에는 경로탐색 절차에 따른 경로탐색 알고리즘을 나타내었다.

Message Path						
	Node1	Node2	Node3	Node4	Node5	Sink
Message Path1		Link(N1,N3)		Link(N3,N4)		Link(N4,Sink)
Message Path2		Link(N1,N2)		Link(N2,N4)		Link(N4,Sink)
Message Path3		Link(N1,N3)		Link(N3,N5)		Link(N5,N4)
						Link(N4,Sink)

(그림 3) RREQ의 역 경로 라우팅 테이블



(그림 4) RREP Packet의 수신 절차



(그림 5) 경로탐색 절차

```

if 노드가 수신 경로 설정 탐색 요청 메시지를 받으면
then
{
  경로 설정 탐색 요청.홉_카운트 <- 경로 설정 탐색 요청.홉_
  카운트 + 1;
  경로 설정 탐색 요청
}
end if
    
```

(그림 6) 경로탐색 알고리즘

중첩되지 않은 경로 선택 과정을 간단히 표현한 알고리즘은 (그림 7)과 같다.

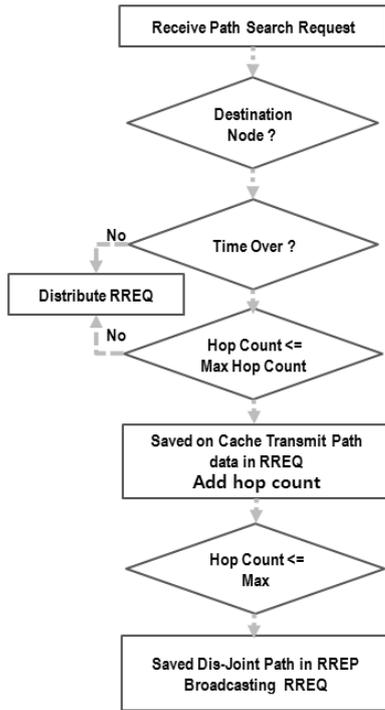
```

/임의의 노드가 RREQ를 수신 /
for1 ( i 가 받아들인 RREQ의 수보다 작거나 같으면)
for2 ( j 가 받아들인 RREQ의 수보다 작거나 같으면)
if (수신 경로 설정 탐색요청[i] != 수신 경로)
  설정 탐색 요청
end if
then
  Compare 수신 RREQ[i].캐시_노드_ID
  and 수신경로 설정 탐색요청[j]> 캐시_노드_ID
if 중복된 즉시_노드_ID가 존재 then
  수신 경로 설정 탐색 요청[i]를 분산
else
  경로 설정 탐색 요청[i]를 브로드캐스트
  경로를 설정
end if
end for2
end for1
    
```

(그림 7) Dis-Joint Path Select Algorithm

3.3 목적 노드의 비 중복 다중 경로 설정 방법

목적지 노드가 경로 설정 요청을 수신하고 다중 경로를 선택하여 경로 설정 응답을 전송하는 과정을 (그림 8)에 나타내었다. 하나의 노드를 거쳐 전달될 때마다 홉 수, 경로상의 최저 잔여 에너지 량 과 잔여 에너지의 합을 갱신하게 된다. 다음은 각 중간 노드에서의 경로 선정 요청 처리 과정을 보여준다.



(그림 8) 비겹침 경로 선정 절차

4. 구현 및 성능평가

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 구현 및 성능평가를 위해 RF 모듈은 Chipcon사의 CC2430과 ZibBee mote는 ATmel 사의 Atmega128L을 적용한 2.4GHz RF-IC CC2430을 내장한 네트워크 모듈을 사용하였다.

4.1 구현 환경

알고리즘의 구현은 NesC(Network Embedded System C)를 사용하여 구현 하였으며 구현 알고리즘을 mote용 컴파일러를 이용하여 Hex코드로 생성하고 ZigBee mote에 다운로드하여 실행하였다. (그림 9)은 센서 노드의 파라미터 정보를 바탕으로 센서 네트워크를 구성하였다. 구성된 센서의 위치를 기반으로 (그림 9)와 같이 센서 네트워크 토폴로지를 구성하고 테스트 환경으로 가정한다. 제안한 알고리즘의 성능평가를 하기위한 환경은 다음과 같다.

- 장치디바이스 : 싱크노드 1개, 센서노드 14개



(그림 9) 네트워크의 구성

- 전원: 배터리 전원 AAx2(3V)
- 평가대상: 센서 노드의 전원 변화, 에너지 소비율, 동작 가능한 센서 노드의 개수
- Message Size: 36Bytes

제안한 알고리즘의 성능평가 방법은 다음과 같다. 다중 경로 알고리즘으로 활용되고 있는 SMR, AOMDV 그리고 본 논문에서 제안한 비교 분석한다. 성능평가를 위해 네트워크 크기는 3 × 3의 grid 형태의 네트워크로 노드의 전송 거리는 10m로 하고 각 노드는 주위의 최대 4개의 노드를 연결할 수 있도록 하였다. MAC 프로토콜은 IEEE802.15.4 MAC Frame[12, 13]을 사용하였다. 이 프로토콜은 ZigBee 네트워크에서 일반적으로 사용하고 있다. 트래픽은 UDP를 사용하였으며, 패킷의 도착 시간에 따른 지연시간과 네트워크 결합 시간을 측정하였다. 측정에서 지연시간은 다음과 같은 수식으로 계산하였다. 시스템이 처리해야할 패킷의 평균 도착률 λ , 와 시스템의 평균 패킷 처리율이 μ 일 때, 테스트 시스템의 평균 처리율 ρ 는 수식 (1)로 계산 할 수 있다.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{1}$$

수식 (1)으로 부터 시스템에서 처리해야 할 패킷의 개수 n 은 수식(2)로 나타낼 수 있다.

$$n = \lim_{t \rightarrow \infty} n(t) = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} \tag{2}$$

시스템에서 패킷을 기다리는 평균 지연시간 T 는 수식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$T = n/\lambda = \frac{1}{\mu-\lambda} = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \tag{3}$$

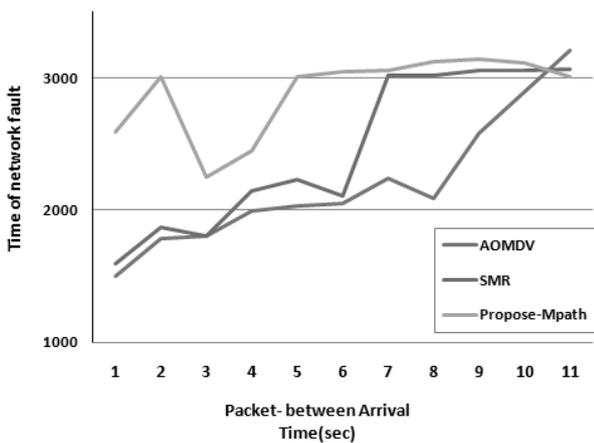
수식(2)에서 처리해야 할 패킷의 개수를 조정하여 대용량의 데이터를 전송할 수 있는 실험데이터를 만들었으며, 수식(3)에 따라 평균 지연시간 T 를 측정하여 실험결과를 산출하였다. 노드의 에너지 잔여량 E_{consum} 산출은 수식(4)를 함수로 사용하여 었으며 E_{max} 는 노드의 최초 에너지량을 나타내고, E_{resid} 는 현재의 에너지량, C_{resid} 은 전체 네트워크 노드 중 수신범위 내의 노드 비율을 의미한다.

$$E_{consum} = C_{resid} \times \frac{E_{resid}}{E_{max}} \quad (4)$$

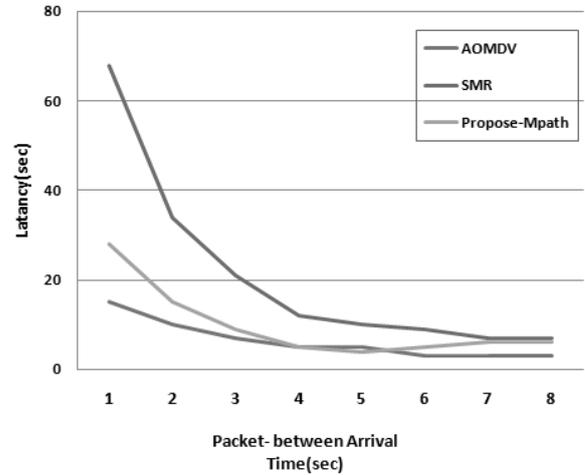
4.2 실험 결과

(그림 10)은 패킷의 도착 시간에 따른 네트워크 결함이 발생하는 시간을 측정하였다. 두 노드 사이의 거리가 전송 거리를 벗어나 배치되면 두 노드 사이의 링크는 존재하지 않은 것으로 하고 패킷 전송의 실패 및 네트워크의 결함으로 판단하였다.

(그림 10)에서는 Propose-Mpath 프로토콜이 패킷 도착시간 10 sec 내에서 성능향상을 보인다. 네트워크 결함의 발생하는 시간이 가장 긴 것을 확인할 수 있다. 결함 발생 시간이 긴 것은 그만큼 네트워크의 상태를 오랫동안 유지할 수 있는 것으로 분석할 수 있다. 결함 발생의 원인은 다중경로에서 Overflow의 발생 빈도에 의해 영향을 받는다. 경로의 겹침이 적을수록 네트워크의 상태를 오랫동안 유지하는 것으로 나타났다. 다음으로 SMR이 중간 정도의 성능을 나타내었으며, AOMDV가 가장 작은 경로 수를 가지기 때문에 가장 먼저 네트워크의 결함이 발생하는 것으로 분석된다. (그림 11)은 라우팅 프로토콜에 따른 소스 노드와 목적지 노드간의 지연시간을 도착 시간에 따라 나타낸 그래프이다. 모두 1sec에서 8sec내에서 측정하였으며 AOMDV가 가장 좋은 성능을 나타내었다. 이는 중단 길이가 가장 짧기 때문에 지연 시간에서 우수한 것으로 실험되었다. 패킷 지연시간이 3-4를 이후에는 Propose-Mpath와 AOMDV의 성능이



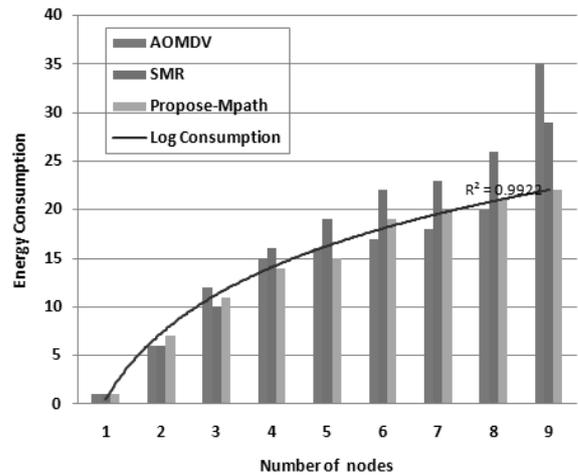
(그림 10) 네트워크 결함 발생 시간



(그림 11) 목적지 노드간의 지연시간

유사하게 나타났으며 6이후 표준오차 이내에서 성능의 감소를 보인다. 7sec 이후에는 실험된 라우팅 프로토콜 모두 표준오차 내에서 유사한 실험 결과를 보였다. 따라서 네트워크에서 발생하는 결함시간에서 Propose-Mpath가 우수한 성능을 보였고 도착 시간이 6sec 내에서는 다른 라우팅 프로토콜보다 우수함을 입증하였다.

(그림 12)에는 노드 수 증가에 따른 에너지 소비량을 나타내었다. AOMDV, SMR, 제안한 프로토콜의 에너지 소비량은 노드의 수가 적을 경우에는 차이를 보이지 않지만 노드의 수가 증가함에 따라 에너지 사용률에서 차이를 나타내었다. AOMDV는 9개 이상으로 노드가 증가할 경우 에너지 사용률에서 다른 프로토콜보다 많은 에너지를 사용하게 된다. 제안한 프로토콜은 노드의 수가 적을 경우에는 AOMDV, SMR 프로토콜과 유사하거나 노드의 수가 5개 이하일 경우에는 에너지 사용량이 많은 경우도 발생하였다. 제안한 프로토콜은 노드의 수가 많은 경우에 에너지 사용률에서 타 프로토콜에 비해 성능이 높은 것으로 나타났다. (그



(그림 12) 노드 수에 따른 에너지 사용량

림 12)의 Log 분석 방법은 그래프의 평균 이동 그래프를 나타낸다. Log 분석 결과는 이러한 결과를 예측할 수 있는 지표로서 노드의 수가 증가하는 경우 다른 프로토콜에 비해 에너지 소비량이 작을 것으로 추측할 수 있다.

5. 결 론

Ad-hoc 네트워크를 기반으로 연구된 경로 설정 방법들은 이동 무선 네트워크에 초점이 맞춰서 연구되고 있다. 즉 무선 네트워크를 효율적으로 사용하는 것보다는, 노드의 에너지 절감, 빠른 경로 탐색 및 설정, 경로 오류에 대비하는 경로 설정을 목표로 연구되었다. 하지만 무선 메쉬 네트워크는 사용 목적이 이동 무선 네트워크와 다르다. 무선 메쉬 네트워크는 다른 통신 단말기에 서비스를 하기 위한 무선 기반 시설로 연구되고 있다. 즉, 네트워크의 효율적 사용 및 네트워크에 존재하는 노드들의 오류에 상관없이 중단 없는 서비스가 가능해야 한다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 센서 데이터를 다중 경로를 이용하여 분산시켜 전송시키는 프로토콜을 제안하였다. 제안한 프로토콜은 무선 센서 네트워크 하에서 근원 노드에서 목적지 노드까지 완전히 독립된 경로를 제공해 준다. 즉, 부하 균형을 가능하게 하여 특정 노드가 가중되는 부하를 줄임으로서 데이터 손실을 낮추고 센서 데이터 통신의 신뢰성 있는 전송 품질을 보장한다. 제안한 다중경로 탐색 프로토콜이 네트워크의 신뢰도 부분에서는 우수한 것으로 결과를 보였고 무선 센서 네트워크에서 요구하는 네트워크의 신뢰도 향상 부분에서 우수한 것으로 고려된다. 따라서, 노드들의 유동성이 강한 센서 네트워크에서 네트워크의 성능을 향상시킴으로써 효과적인 에너지의 사용의 측면에서 성능의 향상을 보였다. 이후의 과제로는 실제의 에너지 소모량을 측정하여 측정된 데이터를 바탕으로 한 연구와 노드의 수가 증가된 평가 모델에서의 평가가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Raymond D.R, Marchny. R.C, Brawnfield. M.I, Midkiff S.F, "Effects of Denial-of Sleep Attacks on Wireless Sensor Network MAC Protocols," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol.58, pp.367-380, Jan., 2009.

[2] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Network," in the Elsevier Ad-Hoc Network Journal, Vol.33, pp.325-349, Dec., 2005.

[3] Q. Jiang and D. Manivannan, "Routing protocols for sensor networks," Proceedings of CCNC 2004, Vol.2, 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, pp.1727-1731, Mar., 2004

[6] Gharavi. H, "Multichannel Mobile Ad Hoc Links for Multimedia Communications," Proceedings of the IEEE, Vol.96, Issue.1, pp.77-96, Dec., 2008.

[7] Mujing. Jin, Zhaowei Qu, "Improvement for split multipath routing protocol in Ad Hoc network," Communications Technology and Applications, ICCTA '09.IEEE International Conference, pp.299-302, Oct., 2009.

[8] DaSilva.L.A, MacKenzie.A.B, Thompson. M.S, Baumann. E.Q, "The MANIAC Challenge: Educational Experience in Ad Hoc Networking," IEEE Pervasive Computing, Vol.8, pp.7-11, Dec., 2009.

[9] Da Fontoura. A, Schmidt. R, Trantin. M, "Simulation of Ad-hoc Routing Protocols in an Interurban University Mesh Network," IEEE Latin America Transaction, Vol.7, pp.122-125, July, 2009.

[10] David B. Johnson, David A. Maltz, and Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks(DSR)," IETF Internet draft, draft-left-manet-dsr-10.txt, July, 2004.

[11] Bai.R, Singhal.M, "DOA: DSR over AODV Routing for Mobile Ad Hoc Networks," Mobile Computing of IEEE Transactions on, Vol.5, pp.1404-1416. Oct., 2006.

[12] YuHua Yuan, HuiMin Chen, and Min Jia, "An Optimized Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector(AOMDV) Routing Protocol," In Asia-Pacific Conference on Communications, pp.14-23, Oct., 2005.

[13] Foo. K.Y, Atkins.P.R, Colins.T, Pointer. S.A, Titeman. C. P, "Sea trials of an underwater, ad hoc, acoustic network with stationary assets," Radar, Sonar & Navigation IET, Vol.4, pp.2-16, Jan., 2010.

[14] Hasegawa. M, Kumazawa.M, "A Study for possibility of detecting IEEE802.15.4a signals," ICUWB 2008. IEEE International Conference on, Vol.1, pp.217-220, Sep., 2008.



한 대 만

e-mail : dmhan@kongju.ac.kr

1998년 학사고시 컴퓨터학과(학사)

2000년 수원대학교 전자계산학과(이학석사)

2006년 수원대학교 컴퓨터학과(이학박사)

2009년~현 재 공주대학교 그린홈에너지

기술연구소 연구교수

관심분야 : Wireless Sensor Network, LAN,

Green Energy, 성능평가



임 재 현

e-mail : defacto@kongju.ac.kr

1986년 중앙대학교 전자계산학과(학사)

1988년 중앙대학교 전자계산학과(공학석사)

1998년 중앙대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1998년~현 재 공주대학교 컴퓨터공학부
교수

관심분야: 상황인식, RFID/USN, 온톨로지, 인터넷 기술 등