AODV 기반의 무선 센서 네트워크용 저전력 라우팅 프로토콜 설계

한재병*, 이인환**
한양대학교 전자통신컴퓨터공학과
e-mail: *jbhan@csl.hanyang.ac.kr, **ihlee@hanyang.ac.kr

Design of a Power-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Network Based on AODV

Jaebyeong Han*, Inhwan Lee**
Dept. of Electronics and Computer Engineering
Hanyang University

요 약

무선 센서 네트워크의 설계에 있어서 전력 소모는 중요 요소이다. 본 논문은 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜을 센서 네트워크에 적용하여 망 전체의 전력 소모를 최소화하고 수명 시간을 연장하려 한다. 이를 위해 전송 경로 탐색시 필요한 경로 요구 메시지(RREQ:Route Request)에 불응답 필드(No Reply Field)와 데이터 필드(Data Field)를 추가, 확장하여 전송 경로 탐색과 데이터 전송이 동시에 수행되어져 각종 제어 메시지(경로 응답, 경로 에러, 헬로 메시지)를 감소시키는 것을 제안한다. 이는 싱크 노드에 최종 데이터가 전송되는 시간이 기존 대비 20% 연장되고 노드 이동성에 따른 망의 토폴로지의 변화에도 강한 경향을 나타낸다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 센서 노드들이 배치된 센서 필드와 외부 망을 연결하는 싱크로 구성된다. 매우 많은 수의 센서 노드들이 밀접한 지역에 조밀하게 배치되어 데이터를 수집하고 싱크로 전달하는 네트워크를 형성하여 헬스, 군사, 홈 네트워크, 환경 감시, 공장 관리, 재난 감시 등의 다양한 응용에 적용될 수 있다.[1]

최근 유비쿼터스 세상의 도래가 예측되면서 이에 따른 새로운 기술들이 요구되고 있으며 그 중에 무선 센서 네트워크도 관심의 대상이 되고 있다. 특히 무선 통신과 전자 기술의 비약적 발전으로 저비용의 무선 센서 네트워크의 개발과 구축이 가능케 되었다. 그러나 무선 센서 네트워크를 개발하기 위해서는 많은 문제점들을 내포하고 있다. 그 중에 중요한 요소가 전력 소모이다. 무선 센서 네트워크에서의 전력 소모는 기존의 무선 통신 네트워크와 애드혹 네트워크보다 더 제한적이여서 더 중요한 요소가 되고 있다.

센서 네트워크 분야에서는 이러한 전력 소모를 줄이기 위해 많은 부분에서 연구되어 왔다. 특히 효율적인 전력 소모의 라우팅 프로토콜 분야에서는 노드가 가지고 있는 유효한 전력량 또는 연결 노드간의 전송 전력 소모량을 이용하고 있다. 그 방법들에는 두 노드간의 데이터를 전송하는 전력을 최소로 하는 방법이 있고, 두 번째는 각 노드의 전력 용량의 합이 최대인 전송 경로를 결정하는 방법 있으며, 세 번째는 최소의 라우팅 홉으로 전송 경로를 결정하는 방법이 있다. 그리고 네 번째로 여러 경로 중에 최소 전력량을 가지고 있는 노드들 중에 가장 큰 전력량을 가진 노드를 포함하고 있는 경로를 선택하는 방법 등이 제시되고 있다.[2]

애드혹 네트워크 분야에서도 배터리 용량의 역수를 배터리 비용으로 정의하여 최소 배터리 비용이 드는 경로를 선택하거나 배터리 비용이 많이 드는

것 중에 최소를 선택하는 방법 등이 제안되고 있다.[3]

그러나 위 방법들은 노드간의 전력 소비나 남아 있는 전력량을 이용하여 적절한 전송 경로를 결정하고 있다. 이는 네트워크에 이동되는 데이터를 전송하기 위한 제어 메시지나 데이터 전송 자체에 대한 고려는 미흡하다.

따라서 본 논문에서는 AODV 라우팅 프로토콜을 이용하여 전송에 필요한 제어 메시지와 함께 동일 데이터 중복을 감소시켜 네트워크의 전력 소모를 절약하고 동작 수명을 최대한 연장하는 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 애드혹 라우팅 프로토콜인 AODV의 경로 요구(RREQ: Route Request) 메시지에 불응답 필드(No Reply Field)와 보내려는 데이터의 필드(Data Field)를 추가, 확장하여 경로 탐색 절차가 데이터 전송을 동시에 수행하여 경로 응답(RREP: Route Reply) 메시지를 제거하고 네트워크 전체 전력 소모를 감소시켜 수명 시간을 연장한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2절에는 AODV 라우팅 프로토콜의 동작을 설명하고 제 3절에는 전력 소모를 최소로 하기 위한 방안을 제시하고 제 4절에서는 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 네트워크의 수명 시간을 측정하고 제 5절에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

2. AODV 라우팅 프로토콜

AODV 라우팅 프로토콜 동작은 전송 경로 탐색과 전송 경로 유지 단계로 구성된다.[4]

2.1 경로 탐색

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

그림 1) 경로 요구 메시지 형식

데이터를 보내려고 하는 소스 노드가 자신의 라우팅 테이블에 정보를 가지고 있지 않는 목적지 노드와 통신하기 위해 자신의 이웃 노드들에게 경로 요구 (RREQ: Route Request) 메시지 (그림1)를 방송한다.

중간 노드가 경로 요구 메시지를 수신하면 라우팅 테이블의 정보와 비교하여 최신 라우팅 정보를 갱신하고 다시 반송한다. 동일한 경로 요구 메시지를 수신하였을 때에는 방송하지 않고 제거한다. 이를 통해 갱신된 정보는 자동적으로 소스 노드로 역방향 경로가 설정된다.

목적지 경로를 알고 있는 중간 노드 또는 목적지 노드에 경로 요구 메시지가 도착하면 경로 응답(RREP: Route Reply) 메시지를 역방향 경로로 소스 노드에 전송한다. 경로 응답 메시지가 소스 노드에 도착하게 되면 소스 노드는 목적지 노드에 데이터를 전송할 수 있게 된다.

2.2 경로 유지

데이터를 전송하던 중에 소스 노드가 이동하게 되면 소스 노드는 경로 탐색을 다시 시작하여 목적지 노드에 대한 새로운 경로를 설정한다.

전송 경로 상에 있는 노드들은 주기적으로 Hello 메시지를 송수신하여 현재의 링크가 양방향 링크라는 것을 보장하거나 링크 실패를 감지 할 수 있게 된다. 링크 실패가 감지되면 경로 에러 (RERR: Route Error) 메시지를 이웃 노드에 전송하여 전송 경로 상에 있는 노드들에 알린다. 소스 노드가 경로 에러 메시지를 수신하면 목적지 노드의 경로를 얻기 위해 경로 탐색을 다시 시작한다.

3. WSN AODV (wAODV) 라우팅 프로토콜

Type	J	R	G	D	U	**N**	Reserved	Hop Count
Broadcast ID								
Destination Address								
Destination Sequence Number								
Originator Address								
Originator Sequence Number								
Data Field								

그림 2) 변경된 경로 요구 메시지 형식

제 2절처럼 필요시 데이터 전송을 하기 위해 경로 요구 메시지를 전송하는 AODV를 무선 센서 네트워크에 적합한 라우팅 프로토콜로 설계하기 위해서는 전력 소모를 최소화하여야 한다. 이를 구현하기 위해서 다음과 같은 방법을 제안한다.

첫 번째는 제어 메시지를 줄여야 한다. 전송 경로 탐색과 유지를 하기 위해 사용되던 AODV의 제어 메시지를 줄여 기존 대비 전력 소모를 줄인다. (그림2) 처럼 Reserved Bits 필드 중에 불응답 필드

(No Reply Field)와 보내려는 데이터의 필드 (Data Field)를 경로 요구 메시지에 추가한다. No Reply 필드 값이 1로 설정되면 목적지 노드에서 해당 값을 보고 경로 응답 메시지를 전송하지 않는다. 이는 데이터 필드에 채워진 값에 의해 목적지 노드까지의 경로 탐색과 함께 보내려고 한 데이터 전송을 동시에 수행을 하게 되었기 때문이다. 따라서 목적지 노드에 도착한 경로 요구 메시지에 의한 소스 노드까지의 역방향 경로가 사실상 필요가 없어진다. 이는 경로 응답 메시지를 줄이는 결과를 가져온다.

```
알고리즘: S는 동일 데이터 여부 판단 시간
 if(node receives A data) {
    if(get B data from buffer of node)
       if( (A, B) data are equal &&
           A time - B time <= S )
          merge (A, B) data to A data;

    send A data;
 }
```

두 번째는 동일한 전송 데이터를 줄여야 한다. 무선 센서 네트워크는 동일 지역에서 동일한 데이터 발생 확률이 높다. 따라서 첫 번째 제안처럼 데이터를 가지고 있는 경로 요구 메시지가 방송 확산되어 동일한 데이터를 가진 메시지가 특정 노드에 여러 번 중첩될 수 있으므로 나중에 수신되는 메시지를 제거하여 확산을 방지한다.

```
알고리즘:
Power Level P1, P2;
Current data A;
Previous data B;

 if(Current Power Level>P1)
    if(A>B)
       send A data;
 else
 if(Current Power Level<P2)
    if(A>(B+1))
       send A data;
```

세 번째는 노드에 남은 전력량에 따라 전송 데이터의 정밀도를 낮추어야 한다. 응용 분야에 따라 정밀도가 높은 데이터가 요구되지 않는다면 노드에 남은 전력량에 따라 이전 데이터와 비교하여 전송 여부를 결정한다. 이는 제어 메시지 발생을 막는다.

4. 성능 평가

본 논문에서 온도, 습도, 풍속 같이 주변 환경 변화를 감지하여 해당 데이터를 싱크로 보내는 응용 분야에서 위에서 제안한 WSN AODV를 적용하여 기존 AODV와 무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜인 DD(Directed Diffusion)와 함께 싱크 노드에 마지막 데이터가 들어온 시간을 측정하여 전체 네트워크의 동작 수명 시간을 비교 분석하였다. DD는 최대 데이터 전송률 필드를 1로 한 경우 DD(a)와 100으로 한 경우 DD(b) 두 가지를 설정하여 기존 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜과 비교하여 성능을 측정하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 시뮬레이션 도구로써 버클리 대학에서 개발한 NS-2를 이용하였다.[5] 사용된 시뮬레이션 버전은 2.27이며 670m x 670m 넓이의 지역에 50개의 노드를 무작위로 배치하였다. Mac 계층의 인터페이스로는 802.11을 사용하였다. 이동 노드는 NS-2에서 지원하는 랜덤으로 설정하였다. 그리고 데이터 패킷의 크기는 64 bytes로 고정하였으며 노드들의 전력 초기값은 1.1 Joules로 하였고 전체 시뮬레이션 시간은 40초로 하였다.

무선 센서 네트워크로 동작하기 위해 싱크 노드는 1개, 데이터가 발생하는 센서 노드는 임의의 3개로 정하여 동일한 시간에 동작하도록 하였다. 싱크 노드에 마지막 데이터가 들어온 시간을 측정하여 전체 네트워크의 동작 수명 시간을 비교하였다. 또한 초기에 모든 노드는 동일한 전력을 가지며 싱크 노드는 다른 노드의 전력이 모두 소모되기 전까지 계속 공급 되도록 하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

본 논문은 AODV 라우팅 프로토콜을 무선 센서 네트워크에 적용하여 싱크 노드에 최종 데이터 수신 시간으로 망 수명 시간을 측정하였다. (그림 3)은 기존 AODV, 센서 네트워크용으로 수정된 WSN AODV, DD를 비교한 결과이다. 각 라우팅 프로토콜의 좌측 막대기는 노드를 고정하였을 경우이며 우측 막대기는 노드 이동을 랜덤하게 한 경우이다.

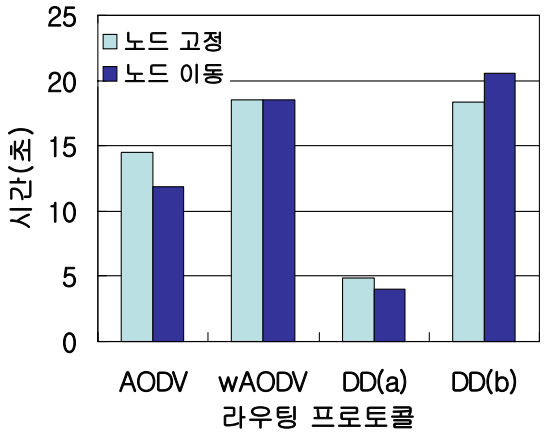

그림 3) 망 수명 시간 비교

먼저 센서 네트워크용으로 수정된 WSN AODV와 기존 AODV의 망 수명 시간을 분석한다. (그림 3)에서 살펴보면 WSN AODV는 기존 AODV보다 20% 정도의 망 수명 시간이 증가되었음을 보이고 있다. 이는 경로 요구 메시지에 대응하는 경로 응답 메시지의 발생과 동일 데이터를 가진 경로 요구 메시지가 망 전체로 확산되는 것이 억제되었기 때문이다. 또한 WSN AODV는 노드 이동성 여부와 관계없이 망 수명 시간이 동일하여 기존 AODV경우처럼 경로 탐색 이후 전송 경로 유지에 발생할 수 있는 링크의 실패에 영향을 받지 않는다. 따라서 상대적으로 노드 이동성에 의한 망의 토폴로지의 변화에도 강한 경향을 띄는 것을 알 수 있다.

WSN AODV를 기존 센서 네트워크용 라우팅 프로토콜인 DD와 비교하여 센서 네트워크 적용 가능성과 전력 소모를 분석한다.

DD(a) 경우는 일정 시간 간격으로 환경 변화를 가정하고 이에 따른 데이터 발생을 실험 환경으로 적용한 WSN AODV와 유사하게 적용하기 위해 데이터 전송률 필드를 1로 설정하였다. 다른 라우팅 프로토콜과 비교하여 현저하게 큰 차이를 보이고 있다. 이는 DD가 전송 경로가 만들어진 후 일정 시간 동안 해당 지역의 데이터를 연속적으로 전송 받는 특징에 적합한 라우팅 프로토콜이기 때문이다. 따라서 적용할 응용 분야에 따라 적합한 라우팅 프로토콜은 다르다는 것을 알 수 있다.

DD(b) 경우는 일정 시간동안 일정 시간 간격으로 데이터를 연속 전송하는 DD의 특징을 반영한 것으로 데이터 전송률 필드를 100로 설정하였다. 이 경우 WSN AODV와 대등한 결과 값을 나타내고 있다. 이는 WSN AODV이 망 수명 시간에 있어서 센서 네트워크에 적용 가능성을 시사한다.

5. 결론

본 논문은 AODV를 이용하여 효율적인 저전력 무선 센서 네트워트용 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 실험을 통해서 싱크 노드에 최종 데이터가 도착한 시간으로 망 수명 시간을 비교하였다. AODV 라우팅 프로토콜의 경로 요구 메시지에 불응답 필드와 데이터 필드를 추가, 확장하여 전송 경로 탐색과 동시에 데이터를 전송하여 경로 응답 메시지 전송을 억제하여 기존 네트워크의 동작 수명 시간을 20% 연장하였다.

특정 응용 분야에 적용할 애드혹 라우팅 프로토콜도 동작 특징을 이용, 개선하여 전력 소모를 줄이고 동작 수명을 증대시켜 무선 센서 네트워크용 라우팅 프로토콜에 적용 가능성을 보였다.

향후 여러 애드혹 라우팅 프로토콜을 무선 센서 네트워크 응용 분야에 따라 적합한 프로토콜이 될 수 있도록 개선점을 찾아 저전력 라우팅 기법을 연구하여야 할 것이다.

참고문헌

[1] 배정숙, 김성희, “무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜”, ITFIND 주간기술동향, 1140호, 2004

[2] Lan F. Akyildiz, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communication Magazine, p108-p109, 2002

[3] C.-K. Toh, “Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing In Wireless Ad Hoc Networks", IEEE Communication Magazine, 2001

[4] Charles E. Perkins, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing", Proc. of WMCSA'99, 1999

[5] Kevin Fall and Kannan Varadhan, "ns Notes and Documents" The VINT Project. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, February 2005, http://www.isi.edu/nsnam/ns-documentation.html