

무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜 설계를 위한 접근

최희석⁰, 신용삼, 박승민
한국전자통신연구원
{choihs⁰, esophia, minpark}@etri.re.kr

An Approach to Designing Routing Protocol for Wireless Sensor Network

Heeseock Choi⁰, Youngsam Shin, Seungmin Park
Ubiquitous Computing Middleware Research Team, ETRI

요 약

최근 센서 기술이 발전함에 따라 무선 센서 네트워크 응용에 대한 관심이 크게 증대되고 있다. 이와 더불어 무선 센서 네트워크 응용에 적합한 라우팅 프로토콜 개발에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나 무선 센서 네트워크가 내재하고 있는 전원 용량의 제약, 메모리 크기의 제약, 프로세싱 능력의 제약, 통신 거리의 제약 등 다양한 제약사항으로 인하여 응용 특성에 특화된 라우팅 프로토콜 개발이 필요하다. 본 논문에서는 기존 라우팅 프로토콜의 주요 메커니즘을 살펴보고, 이를 바탕으로 무선 센서 네트워크 응용의 특성 및 요구 사항을 분석하고 프로토콜을 설계하는 우리의 접근 방법을 제시하고자 한다.

1. 서 론

최근 무선 통신과 전자 기술의 발전으로 인하여 작고 저가격의 센서 개발이 가능하게 되었다. 이로 말미암아 많은 수의 센서 노드들이 무선으로 연결된 무선 센서 네트워크의 응용에 더욱더 많은 관심이 집중되고 있다. 무선 센서 네트워크는 온도, 습도, 소리, 이미지, 자장의 변화, 화학 성분 등의 환경 특성을 감지하여 단독 또는 협동 작업을 통해 인간 생활에 필요한 지능형 정보와 유익한 유비쿼터스 서비스를 제공한다. 이러한 무선 센서 네트워크는 외계 인지에 사용하는 센서 자체의 기술, 정보 전송을 위한 센서간 혹은 기존 네트워크를 연결하는 네트워크 기술, 얻어진 정보를 활용하여 센서 네트워크 응용 서비스 제공을 위한 상위 응용 시스템 기술 등을 포함하고 있다. 특히, 기존 통신 인프라가 없는 무선 센서 네트워크로부터 정보 수집을 위해서는 센서 노드들간의 무선 ad-hoc 네트워킹 능력이 필요하다. 무선 센서 네트워킹을 위하여 무선 매체 접근 제어 뿐만 아니라, 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

비록 무선 센서 네트워크 라우팅을 위한 연구들이 진행되어 왔으나[1,2,3], 응용의 특성을 고려하여 적합한 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜 설계에 대한 체계적인 접근은 부족하였다. 그러므로 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 라우팅을 위해 기존에 적용되었던 대표적인 라우팅 메커니즘들을 비교 분석하고, 교량진단 및 침입탐지 응용을 위한 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜 개발을 위한 우리의 접근 방법을 제시한다.

2. 무선 센서 네트워크에서의 라우팅

무선 센서 네트워크에서 두 노드간의 통신은 일반적으로 배터리 크기, 노드 크기에 따른 메모리 크기, 센서 노드의 프로세싱 능력, 센서 노드간 통신 거리 등으로 인하여 많은 제약을 받는다. 그러므로 무선 센서 네트워크에서 두 노드간의 통신은 기본적인 기능성 이외에도 에너지 효율성 극대화, 패킷 전송의 신뢰성 향상, 최소한의 라우팅 정보 유지, 알고리즘의 복잡성 줄이기 등과 같은 비기능성에 대한 추가적인 고려를 필요로 한다. 그러나 이러한 비기능성은 무선 센서 네트워크의 응용 특성에 의존적으로 비기능성의 중요도가 결정되어야 할 사항이므로, 응용 분야의 특성을 충분히 고려하는 것이 라우팅 프로토콜 개발보다 선행되어야 하는 일이다. 무선 센서 네트워크의 응용 분야에 따라 요구되는 특성이 다양하지만, 크게 다음의 두 가지 측면에서 라우팅 프로토콜을 생각해 볼 수 있다.

2.1 에너지 효율을 고려한 라우팅

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 고려한 라우팅은 크게 두 가지 관점에서 이해될 수 있다. 하나는 데이터 전송시 최단거리 전송을 통하여 전체적인 에너지 소모량을 최소화하는 것이다. 그리고 다른 하나는 데이터 전송시 비록 우회적인 경로를 따라 먼 거리로 데이터를 전송하더라도 센서 노들간의 전체적인 에너지 소모량을 균등하게 조절하는 것이다. 그러므로 응용의 특성을 고려하여 에너지 효율을 위한 선택적 접근이 요구된다.

2.2 신뢰적인 데이터 전송을 위한 라우팅

무선 센서 네트워크에서 교량의 원격계측진단이나 방사능 유출 감지 등의 응용은 센서 노드에 전원이 공급되거나 혹은 쉽게 교체가 가능하므로 에너지 효율성은 덜 중요하다. 그러나 응용의 특성상 신뢰성이 높은 데이터의 전송이 크게 중요시된다. 이를 위하여 동일 데이터를 다중 경로를 따라 동시에 전송함으로써 특정 경로의 실패에도 정확한 데이터 전송이 가능하도록 하거나, 전송 실패시 대체 경로로의 빠른 전환을 통하여 정확한 데이터 전송을 가능하게 할 수 있다. 신뢰적인 데이터 전송을 위한 메커니즘 역시 응용의 특성을 고려하여 단일 경로 선택 전송 (Selective Forwarding) or 다중 경로 동시 전송 (Packet Replication) 방법을 적용할 수 있다.

3. 적용 가능한 라우팅 메커니즘의 비교 분석

무선 센서 네트워크에서 네트워크의 성능을 향상시키고자 데이터의 소스와 목적지간에 다중 경로를 유지하는 다중 경로 라우팅 방법이 종종 활용되어 왔다. 다시 말해서 다중 경로 라우팅은 전통적으로 두 가지 이유로 이용되어 왔다[2]. 첫 번째 이유는 소스와 목적지 간의 중간 노드들에서의 에너지 소모의 분산을 위한 것으로서, 소스와 목적지 간에 부분적으로 혹은 완전히 분리된 경로를 따라 데이터 전송 트래픽을 분산시킴으로써 에너지 소모가 전체 네트워크에 분산되도록 하는 것이다. 두 번째 이유는 신뢰적인 데이터 전송을 위한 것으로서, 서로 다른 경로로 데이터를 복사하여 전송하는 방법으로써, 이것은 비록 전체 네트워크에서 소모되는 에너지량은 많지만 특정 경로의 실패에도 성공적인 데이터 전송이 보장될 수 있다. 그러나 에너지 효율성 측면에서는 분명히 결점을 지니고 있다. 따라서 응용 특성에 적합한 라우팅 프로토콜 설계가 필요하다.

3.1 비겹침형 다중 경로 라우팅 (D-MPR)과 망사형 다중 경로 라우팅 비교 (M-MPR)

무선 센서 네트워크에서 많이 활용되는 다중 경로 라우팅은 중간 노드에서의 경로 겹침 유무에 따라 크게 두 가지로 세분화가 가능하다. 하나는 소스와 목적지간에 다중 경로를 설정할 때 경로가 겹치지 않도록 대체 경로를 설정하는 것이다. 이것을 비겹침형 다중 경로 (Disjoint-Multipath, D-MPR) 라우팅이라 부른다[2,3]. 다른 하나는 소스와 목적지 노드의 중간 노드에서도 다중 경로를 허용함으로써 소스와 목적지간의 중간 노드에서의 경로 겹침을 허용하는 방법으로써, 이것을 망사형 다중 경로 (Meshed Multipath, M-MPR) 라우팅이라 부른다[2,3].

표 1은 응용 특성에 적합한 라우팅 프로토콜 설계시 고려해야 할 다중 경로 유형에 따른 성능을 상대적으로 비교하여 나타낸 것이다[2,3]. 그러나 다음 3.2 절의 데이터 전송 방식과의 조합에 의해 프로토콜 성능은 영향을 받는다.

표 1 다중 경로 유형에 따른 상대적 특성 비교

	M-MPR	D-MPR
에너지 소모의 균 등 분할	불균등 소모	비교적 균등 소모
Throughput	높음	낮음
신뢰성	높음	낮음

3.2 복사 전송(PR)과 선택 전송(SF) 방식 비교

데이터 전송 방식에 따라 라우팅 프로토콜은 크게 두 가지로 분류될 수 있다[3,4]. 전송 가능한 다중 경로로 데이터를 복사하여 동시에 전송하는 방식과, 전송할 데이터가 있는 경우에 여러 전송 가능한 중 하나의 경로를 선택하여 데이터를 전송하는 방식으로 분류될 수 있다. 이에 덧붙여, 단일 경로를 선택하여 데이터를 전송하는 경우는 단일 경로의 선택 방법에 따라 선호 경로 선택 (Selective Preferential Forwarding, SPF) 또는 임의 경로 선택 방식 (Selective Random Forwarding, SRF) 으로 좀더 세분화될 수 있다.

표 2는 응용 특성에 적합한 라우팅 프로토콜 설계시 고려해야 할 데이터 전송 방식에 따른 성능을 비교하여 나타낸 것이다[3,4]. 그러나 이것은 앞서 기술한 3.1절의 다중 경로 유형에 따른 분류와 어떻게 조합되느냐에 따라 그 성능이 영향을 받는다.

표 2 데이터 전송 방식에 따른 상대적 특성 비교

	장점	단점
PR	-Throughput 높음 -신뢰성 높음	-부하 균등에 불리 -에너지 소모 많음
SPF	-부하 균등에 유리 -에너지 소모 적음 -SRF에 비해 Throughput 높음	-Throughput 낮음 -신뢰성 낮음 -SRF에 비해 부하 불균등
SRF	-부하 균등에 유리 -에너지 소모 적음 -SPF에 비해 부하 균등	-Throughput 낮음 -신뢰성 낮음 -SRF에 비해 Throughput 낮음

4. 응용 특성을 고려한 라우팅 프로토콜의 요구사항 정의

무선 센서 네트워크는 응용 분야에 따라 다양한 특성을 나타낸다. 무선 센서 네트워크의 응용은 표 1과 표 2에서 살펴본 바와 같이 프로토콜 설계에 영향을 줄 수 있는 특성을 즉, 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드의 이동성, 센서 노드의 배치 방법, 데이터 전송의 유형, 전원 공급의 유무, 노드의 하드웨어(H/W) 크기 등에 따라 그 응용의

특성이 분석 가능하다. 본 논문에서는 응용의 특성을 분석하기 위하여 표 3과 같이 교량 진단과 침입 탐지와 같은 응용 분야에 대하여 그 특성을 5 가지 측면에서 분석하였다.

표 3. 응용별 특성 분석

	교량 진단	침입 탐지
노드의 이동성	고정노드	고정노드
노드의 배치 방법	계획적 배치 (교체 가능)	무작위 배포 (교체 불가능)
데이터 전송 유형	주기적 / 반응적	주기적 / 반응적
전원 제약	전원 공급 가능	전원 공급 불가능
H/W 크기 제약	크기 제약 없음	크기 작음

표 3의 응용 특성 분석에 따라 응용 분야별 라우팅 프로토콜 설계시 고려해야 할 비기능적인 요구사항을 정의할 수 있다. 교량 진단 응용의 경우, 라우팅 프로토콜 설계시 고려해야 할 비기능적 요구사항은 다음과 같다.

- 신속 정확한 데이터 전송 중요
- 에너지 효율성 덜 중요
- 메모리 효율성 덜 중요

또한 침입 탐지 응용의 고려해야 할 비기능적 요구사항은 다음과 같다.

- 토폴로지 변화에 신뢰성 중요
- 에너지 효율성과 전체 네트워크의 생명 연장 중요
- 간단한 프로토콜

5. 응용 특성에 적합한 라우팅 프로토콜 설계를 위한 접근

3장과 4장의 분석 결과를 토대로 본 연구에서는 교량 진단과 침입 탐지 응용을 위한 라우팅 프로토콜 설계를 각각 다른 방법으로 접근하였다. 즉, 교량 진단 응용의 경우는 신속 정확한 데이터 전송이 중요하므로, 다중 경로 설정에 있어서 표 2를 근거로 망사형 다중 경로 (M-MPR) 방식을 선택하였다. 또한 데이터 전송에 있어서는 표 3을 근거로 비록 에너지 소모가 많지만 빠른 데이터 전송에 장점을 지닌 복사 전송 (PR) 방식을 선택하게 되었다. 다음으로 침입 탐지 응용의 경우 역시 표 2를 근거로 신뢰적인 데이터 전송에 도움이 되는 망사형 다중 경로 (M-MPR) 방식을 선택하였다. 그러나 데이터 전송에 있어서는 에너지 소모량이 적고 에너지를 균등하게 소모하는 데에 유리한 임의 경로 선택 방식 (SRF) 방식을 선택하였다. 요약하면 다음과 같다.

- 교량 진단 응용: M-MPR, PR 메커니즘 적용
- 침입 탐지 응용: M-MPR, SRF 메커니즘 적용

6. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에 대한 이해와 더불어, 기존 센서 네트워크 라우팅 프로토콜에서 적용되었던 M-MPR, D-MRP, PR, SPF, SRF 등의 주요 메커니즘을 살펴보았다. 이들 라우팅 메커니즘에 대한 이해를 통하여 센서 네트워크 응용의 특성을 분석할 때 라우팅 프로토콜의 비기능적 요구사항을 결정하는 데 영향을 미치는 노드의 이동성, 노드의 배치 방법, 데이터 전송 유형, 전원 제약 유무, H/W 크기의 제약 등과 관련하여 응용의 특성을 분석하였다. 이러한 방법으로 응용의 특성을 먼저 분석함으로써 응용에 특화된 요구사항 정의가 가능하고, 이를 통하여 응용에 특화된 라우팅 프로토콜 설계를 위한 올바른 접근이 가능하다. 향후에는 교량 진단과 침입 탐지 응용에 맞는 라우팅 프로토콜을 세부적으로 설계하고, ETRI에서 개발된 센서 노드와 운영체제[4]를 기반으로 라우팅 프로토콜을 구현할 예정이다.

7. 참고 문헌

- [1] Al-Karaki, J.N. and Kamal, A.E., "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Wireless Communications, December 2004, pp.6-28.
- [2] Ganesan, D., Govindan, R., Shenker, S., and Estrin, D., "Highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks", ACM SIG-MOBILE Mobile Computing and Communication, vol. 5, Issue 4, October 2001.
- [3] De, S., Qiao, C., and Wu, H., "Meshed Multipath Routing: An Efficient Strategy in Sensor Networks", Proceedings on IEEE WCNC, vol. 3, March 2003, pp.1912-1917.
- [4] De, S. and Qiao, C., "On Throughput and Load Balancing of Multipath Routing in Wireless Networks", Proceedings on IEEE WCNC, vol. 3, March 2004, pp.1551-1556.
- [5] Embedded S/W Research Division, ETRI, <http://qplus.or.kr>