

센서 네트워크의 응용 분야에 따른 라우팅 알고리즘 적용 연구

박종철⁰ 성경아^{*} 김근우 마중수
한국정보통신대학원대학교 공학부, 특허청^{*}
(jcpark7777⁰, kaseong^{*}, ares74, jsma)^{*}@icu.ac.kr

Study on Applicable Routing Algorithms for Several Scenarios

Jong Chul Park⁰, Kyoung A Seong^{*}, Geun Woo Kim and Joong Soo Ma
School of Engineering, Information and Communications University and Korean Intellectual Property Office^{*}

요 약

새로운 센서 네트워크 분야의 특성과 그 특성을 맞추기 위한 여러 라우팅 프로토콜들이 제안 되었다. 하지만, 제안된 알고리즘들이 정확한 시나리오 작성이나 응용분야 설정 없이 제안된 것이 많아 실제 시스템에 적용 하기에는 많은 문제점들을 낳을 것으로 생각된다. 그러므로 본 논문에서는 센서 네트워크의 특성을 파악하여 대표적인 센서 네트워크의 응용 분야를 분류하고 지금까지 제안된 라우팅 알고리즘들을 분류된 응용 분야에 적용하여 살펴 보았다. 이를 통해 앞으로의 센서 네트워크 라우팅 연구 방향을 제시 한다.

1. 서 론

무선통신과 전자의 발전으로 센서의 지능화가 가능해져 새로운 통신 분야인 센서 네트워크의 구축이 가능하게 되었다. 센서 네트워크의 응용분야에는 군사 작전시 적군 출현 관찰, 아주 큰 사파리 공원에서 동물 관찰, 혹은 국립공원내의 산불 관찰등의 예를 들 수 있다. 응용분야에 따라서 네트워크 프로토콜 디자인시 고려해야 할 사항들이 달라진다. 따라서, 센서 네트워크의 대표적인 응용 분야를 알아보고 그에 알맞은 알고리즘을 디자인 하기 위한 필요 조건들을 살펴볼 필요가 있다.

현재까지 여러 편의 센서 네트워크 라우팅 알고리즘 조사 연구 논문이 발표 되었다[1][2][3]. 그러나 이러한 논문들은 제안된 라우팅 프로토콜들을 구체적인 응용 분야에 적용하여 적합한 여부를 파악하는 연구에는 미흡하다. L. F. Akyildiz 등은[1] 센서 네트워크의 전반적인 특성과 넘어야 할 문제점들을 OSI 7 계층에 기반하여 각 레이어 별로 잘 설명 하였다. C. Karlof 등은[2] 센서 네트워크에서 보안의 중요성을 언급하고 현재까지 제안된 라우팅 알고리즘들을 보안성의 측면에서 살펴 보았다. S. Tilak 등은[3] 센서 네트워크를 Communication Models, Data Delivery Models, Network Dynamics Models로 나누어 설명하고 각 모델에 맞는 알고리즘의 특성에 대해 설명 했으나 다루어진 라우팅 알고리즘이 적고 통합된 모델에 대한 특성을 제시하지 못했다. 본 논문에서 대표적인 센서 네트워크 응용분야를 분류 해보고 지금까지 제안된 알고리즘들을 응용 분야들에 적용 시켜 보고자 한다.

2장에서 센서 네트워크의 특성을 살펴보고 가능한 응용분야를 네가지로 분류한다. 3장에서는 응용 분야에 따른 라우팅 알고리즘 디자인에 고려 되어야 할 사항을 살펴보고 4장에서는 지금까지 제안된 센서 네트워크 라우팅 알고리즘을 간단히 설명한 후 그 알고리즘들을 2장에서 분류한 응용 분야에 따라 평가한다.

2. 센서 네트워크 특성과 응용 분야 분류

다음에 본 논문에서 자주 사용되는 용어를 먼저 정의해 놓았다.

- 싱크(Sink)

센서 네트워크에서 감지한 데이터를 받아 사람에게 전달해 주거나 혹은 기반망에 연결되어 데이터를 전달해 주는 노드를 말한다

- 이벤트(Event)

센서가 감지해야 할 사건을 이른다.

가까운 미래에 여러 분야에서 응용 될 것으로 기대되는 센서 노드는 감지(sensing), 데이터 처리(data processing), 통신을 할 수 있는 능력을 갖는다[1]. 센서 네트워크에 사용되는 센서는 무인으로 동작 되거나 사람이 접근 하기 힘든 환경에서 동작 하는 경우가 대부분이다. 또한 다량의 센서를 유포하여 센서 네트워크를 형성 하는 경우가 많아 센서의 크기가 작고 가격이 저렴 해야 하므로 노드의 배터리 에너지 양과 데이터 처리 능력이 작게 된다

이런 센서의 제약 사항들과 센서 네트워크의 용도에 따라 네트워크에서 원활한 통신을 위해 충족되어야 할 조건이 달라지게 된다. 따라서 센서 네트워크가 사용될 응용 분야에 따라 적합한 라우팅 알고리즘이 사용되어야 할 것으로 생각된다. 센서 네트워크의 응용 분야는 다음과 같은 특성에 따라 분류될 수 있다.

- 센서 혹은 싱크 노드의 이동성

식물원의 온도나 습도 감지를 위한 경우 센서들은 건물 내부의 화분이나 선반에 부착되어 고정된 상태로 주위 환경을 감지하게 된다. 그러나 물속의 생태계 측정을 위하여 센서들을 물에 유포하는 경우나 적군 출현 감지를 위한 센서를 유포하고 차량이나 비행기에서 센서 네트워크로부터의 정보를 받는 경우 등은 센서노드와 싱크가 이동성을 갖게 된다.

- 센서 배치방법

사람의 출입이 어려운 지역에 다량의 센서를 설치하여 센서 네트워크 구축을 할 경우에는 센서의 무작위 유포가 불가피하다. 그러나 사전 계획 하에 정해진 위치에 설치하여 위치정보나 노드의 정보를 요하는 센서 네트워크 구축에 사용될 수 있다.

- 데이터 발생 형태

센서 네트워크가 구축된 후 데이터가 발생하여 네트워크 내에 데이터 흐름이 생기게 된다. 이 데이터 흐름이 시작

되는 형태가 이벤트를 감지한 센서노드에 의해 시작되거나 싱크노드가 센서 네트워크에게 요구(query 혹은 request)하여 시작될 수 있다. 또는 센서 노드들이 싱크에게 주기적으로 데이터 전송을 하는 경우도 있을 것이다. 적군 출현 감지의 경우, 적군 출현을 감지한 센서가 데이터를 만들어 보내기 시작 하는 경우가 이벤트에 의한 데이터 발생의 예가 될 수 있고, 특정 지역의 온도를 감지하는 네트워크의 경우 센서 노드들은 주위 온도를 지속적으로 감지하다가 싱크의 요구 발생시 데이터 흐름이 시작되거나 주기적으로 싱크 노드의 요구 없이 데이터를 싱크 노드에게 전송 할 수 있다.

위 세가지 특성을 기준으로 센서 네트워크 응용 분야를 다음의 네가지로 나누어 보았다

- SNA1 지진이 일어 났거나 건물이 붕괴된 재앙 발생 지역에 센서 네트워크를 응용하는 경우 센서들과 싱크는 고정되어 있고 센서의 배치는 무작위로 이루어 지게 된다. 또한 이벤트 발생에 의해 데이터 전송이 시작된다. 즉 무너진 건물등미 아래 사람들을 찾아내기 위해 소리나 온도를 감지 할 수 있는 센서를 무작위로 설치한 후 인명 구조에 이용할 수 있다.
- SNA2 원자력 발전소에서 방사능 유출 가능 지역에 센서들을 설치하여 주기적으로 정보를 받아 관찰하는 예로, 계획된 위치에 배치된 고정노드들이 싱크의 요구 시 혹은 주기적으로 데이터를 발생하는 응용 분야이다.
- SNA3 사람이 접근하기 어려운 지역의 생태계 관찰처럼 이동 가능한 센서를 무작위로 배치하여 싱크가 원하는 데이터를 전송하는 응용 분야이다. 이때 센서의 이동성은 그다지 크지 않다. 화산 발생 가능지역에 센서들을 무작위로 설치하고 주기적으로 감지된 데이터를 받아 관찰 가능한 응용분야와 큰 사파리 공원에서 센서 네트워크를 이용한 동물 관찰을 예로 들 수 있다.
- SNA4 사진 계획 후에 이동성이 있는 물체에 배치된 센서노드로부터 필요한 데이터를 요청하여 전달 받는 형태의 응용 분야가 여기에 속한다. UCLA에서 수행 되는 Smart Kindergarten Project[12]와 차량에 부착된 센서를 통해 교통량을 파악하는 것 등을 예로 들 수 있다.

3. 응용분야와 알고리즘

앞에서 센서 네트워크 응용분야를 네개로 나누어 보았다. 이 장에서는 센서 네트워크 라우팅 알고리즘이 만족해야 하는 특성을 2장에서 나눈 응용분야에 따라 살펴본다. 우선 센서 네트워크의 원활한 통신을 위해 만족해야 할 대표적인 요소들은 다음과 같다.

- 시스템 라이프 타임
전체 센서 노드들이 배터리 전량 소모로 인한 작동 불능 상태가 되어 네트워크가 동작 불능 상태가 되기까지의 시간을 말한다.
- 데이터 응답 대기시간
응용분야에 따라 다르겠지만 긴급한 상황의 응용분야나 도둑 감지 시스템 혹은 군사 작전시에 사용되는 분야에서는 응답시간이 짧아야 한다.
- 토폴로지 변화와 주위 환경에 대한 강인성
센서 노드가 자연환경과 더불어 설치되는 경우 유실의 위험이 크고 배터리량이 적어 전량 소모에 의한 기능 상실 가능성이 크다. 또한 노드의 이동성이 있을 경우 잦은 토폴로지 변화의 가능성이 크므로 이에 대한 강인성을 지녀야 한다.
- 노드수 증가에 따른 확장성

많은 센서 노드를 설치해야 하는 응용분야에서 센서 노드들 사이의 전파 간섭현상 발생이나 싱크까지 수많은 노드를 거쳐 라우팅 경로가 설정되면 생기는 문제점 등에 강해야 한다.

SNA1 응용분야의 예가 재앙발생 지역에서 촌각을 다투어 인명구조가 이뤄지는 상황인 경우가 많으므로 빠른 응답시간과 정확한 데이터 전송이 중요한 요소가 된다. 반면에 짧은 시간에 완료되는 작업의 경우는 시스템 라이프 타임의 고려는 그다지 중요하지 않다. 그러므로 각 센서노드의 전송 강도를 크게 하는 방법이나 경로설정 시간 없이 최단경로를 이용하는 방법, 멀티캐스트를 통해 토폴로지 변화에 따른 데이터 전송 실패를 방지할 수 있는 알고리즘이 요구된다.

SNA2 응용분야에서는 센서들이 계획되어 설치 되었기 때문에 기능을 상실한 센서 노드의 교체가 가능한 경우에는 시스템 라이프 타임이 상대적으로 덜 중요 할 것으로 예상된다. 또한 고정 노드이므로 기능 상실에 의한 것 외의 토폴로지 변화가 없으므로 토폴로지 변화에 대한 강인성 역시 크게 요구 되지 않는다. 하지만 빠른 응답시간이 필요하므로 특히 주기적으로 모든 센서의 데이터를 전송해야 하는 경우에는 전송주기와 요구 시간을 맞추는 시간계획이 매우 중요해진다.

SNA3의 주요 응용 분야는 사람이 접근하기 어려운 지역과 자연 환경에 아주 밀접한 지역일 것이다. 따라서 자연 환경에 의한 센서의 유실 가능성과 노드들의 이동성에 의한 토폴로지 변화가 생기므로 토폴로지 변화에 강해야 할 것으로 보인다. 시스템 라이프 타임 또한 길어야 한다. 반면에 대기시간에 대한 제약 사항은 상대적으로 작을 것으로 보인다. 그러므로 데이터 전송이 필요한 시기에 그 때의 토폴로지에 맞추어 새로운 경로를 설정하는 방법이나 라이프타임을 늘이기 위해 필요한 적은 노드들을 수면모드로 하는 등의 전략이 사용될 수 있다.

SNA4 는 노드가 큰 이동성을 가지므로 토폴로지 변화에 강해야 할 것이다. 즉 결정된 라우팅 경로를 전송기간 동안 유지하는 기법이 필요하다. 또는 경로를 설정한 후 데이터를 전송하는 방법보다 경로설정과 데이터 전송을 동시에 하는 방법 등이 더 유리할 것이다. 그러나 계획에 의한 센서 배치인 경우 상대적으로 노드수가 작은 경우가 많으므로 확장성에 대한 큰 제약은 없을 것으로 보인다.

4. 라우팅 알고리즘 비교분석

지금까지 센서 네트워크를 위한 라우팅 알고리즘들이 많이 제안되었다. 이들 알고리즘은 특정한 환경에 맞추어 잘 동작하도록 고안 되었다. 이 장에서 우리가 분류한 응용 분야에 동작할 수 있는 알고리즘을 살펴보고 그 알고리즘들의 응용 분야에 따른 장-단점을 알아본다. 우선 지금까지 제안된 알고리즘들을 간단하게 살펴보면 다음과 같다.

- Directed Diffusion [4]
데이터를 받고자 하는 싱크가 원하는 데이터 정보를 네트워크 내의 모든 센서에게 플러딩 하면 원하는 정보가 네트워크에 퍼지면서 소스에서 싱크로 방향(gradient)이 설정된다. 싱크는 이 경로들을 통해 데이터를 받으며 재확인(reinforce)를 행하여 여러 경로 중 한 개를 선택하게 된다.
- LEACH [5]
클러스터링을 이용하여 전체 네트워크에서 전력 소비량을 줄여 에너지 효율을 높였다. 무작위로 선출되는 클러스터 헤더가 클러스터내의 모든 노드로부터 정보를 받아 싱크로 전달한다.
- SPIN [6]
플러딩을 이용할 때 발생하는 문제점인 동일 데이터 재전

송과 중복된 데이터 전송을 협의(negotiation)에 의해 줄여 시스템 라이프 타임을 늘였다.

- PEGASIS [7]
체인 토폴로지를 이용하여 가까운 노드와의 전송만으로 데이터를 전달함으로써 LEACH에 비해 시스템 라이프 타임을 늘였다.
- MTBF [8]
싱크가 여러 개 있는 환경에서 이벤트가 발생하면 싱크의 수만큼 경로가 생기는 것을 방지하고 멀티캐스트 트리를 생성하여 공통된 경로까지는 하나의 경로를 이용하여 효율성을 높였다.
- MCF [9]
노드는 모든 싱크로의 최소비용을 미리 산출하여 알고 있으며, 이 값을 사용하여 이벤트가 발생한 노드는 싱크노드로 최소비용 경로를 이용하여 메시지를 보낸다.
- Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks [10]
라우팅 경로의 설정을 요구하는 싱크와 이벤트가 발생한 센서 노드가 모두 실시하여 교차 지점이 생길 때 경로 설정이 된다. 이를 통해 경로설정 시간을 줄일 수 있다.
- GEAR [11]
센서 노드들이 서로간의 위치 정보를 알고 있다고 가정하여 메시지를 전달하려는 최종노드와 가장 가까운 노드를 다음 라우팅 노드로 선정함으로써 에너지 소비 효율을 높였다.

SNA1 응용분야에 가장 알맞은 라우팅 알고리즘은 MCF, Rumor Routing, GEAR 등이다. MCF 알고리즘은 비용설정이 완료된 후에는 데이터 전달이 가장 짧은 경로를 이용하여 이루어지므로 대기 시간에서 장점을 가질 수 있고, 멀티캐스트 역시 가능하므로 노드손실에 대한 강인성을 가진다. 하지만 비용설정 시간이 센서 노드수의 증가에 비례하여 증가하고, 모든 노드가 구별 가능한 아이디를 가져야 하므로 확장성에서 단점을 가진다. Rumor Routing은 경로설정이 여러 방향으로 무작위로 이루어진다는 점에서 전체 네트워크에 대한 정보를 알 수 없는 응용분야에 특히 잘 맞는 알고리즘이다. GEAR는 위치정보를 알기 위해 추가의 하드웨어를 필요로 하지만 경로설정 단계 없이 최단경로를 사용하여 데이터를 전달할 수 있으므로 응답시간에 장점을 가진다.

SNA2 응용 분야는 센서의 배치가 계획적으로 이루어진 경우이므로 전체 네트워크에 대한 많은 정보를 라우팅 알고리즘에서 사용 가능하다. LEACH 와 PEGASIS는 비록 무작위 배치에 의한 센서 네트워크를 가정하고 개발된 알고리즘이나 SNA2 응용분야 중 주기적인 데이터 전송이 필요한 경우 가장 알맞은 알고리즘이다. LEACH는 클러스터링 후에는 두 단계의 경로만을 통해 데이터 전달이 가능하므로 시스템 라이프타임보다 빠른 응답시간이 중요한 분야에서는 클러스터링의 수를 크게 하여 사용할 수 있다. PEGASIS는 특히 체인을 구성하는데 있어 계획적으로 배치된 네트워크 정보를 사용 가능하므로 다른 응용분야에서보다 훨씬 효율적인 이용이 가능할 것이다.

SNA3은 센서의 교체가 불가능한 지역에서의 응용분야인 경우가 많으므로 시스템 라이프타임과 센서 유실에 대한 강인성을 지닌 SPIN, Directed Diffusion, MTBF 등의 알고리즘이 사용 가능하다. SPIN은 데이터 전달에 참여하지 않는 노드들이 수면 모드를 취하거나 에너지량이 적은 노드들은 플러딩에 참여하지 않게 함으로써, Directed Diffusion은 싱크가 각 노드의 남아 있는 에너지량을 고려하여 경로를 재확인하여 모든 노드의 라이프타임을 균등하게 늘이는 것이 가능하며, 유실되는 노드가 한 지역에 편중되지 않는다. MTBF는 특히 여러 개의 싱크가 존재하는 경우에 유리한 알고리즘이며 확장성에 큰 장점을 가

진다.

SNA4에서 가장 중요한 요소는 노드의 이동에 대한 토폴로지 변화에 대한 대처이다. SNA3의 예에서 살펴보았듯이 Directed Diffusion, SPIN 등이 이러한 특징을 가진다. 그러나 SPIN은 특정노드가 전체 네트워크로 데이터를 전달하기 위한 프로토콜로 제안된 것이므로, 싱크의 요구를 전체 네트워크에 전달할 때는 유리하나 특정 노드가 싱크로 데이터를 보내려 하는 경우에는 불필요한 노드로의 데이터 전송이 너무 많은 단점이 있다. Directed Diffusion은 현재의 경로가 사용 불가능해지면 경로 설정 초기에 싱크로부터 발생한 플러딩에 의해 알려진 방향정보를 사용하여 새로운 경로를 재확인 하는 것이 용이함으로 노드의 이동성에 강할 것으로 보인다.

5. 결 론

본 논문에서는 센서 네트워크 특성을 파악하고 특성에 따라 대표적인 응용 분야를 분류 한 후, 기존에 제안된 라우팅 알고리즘들을 분류한 응용 분야에 적용 시켜 해석해 보았다. 그 결과 정확한 응용분야의 정의 없이 알고리즘을 적용하기에는 어려운 점들이 많았다. 앞으로 새로운 라우팅 알고리즘을 디자인 하기 위해서는 적용할 실제 응용 분야를 파악, 모델링 후 그 응용 분야에 적합한 알고리즘을 제안 해야 할 것이다. 앞으로 분류한 응용 분야에 적합한 새로운 알고리즘을 제안한 후 시뮬레이션을 통해 기존에 제안된 알고리즘과 비교 분석하는 연구를 진행 할 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] L. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] C. Karlof, D. Wagner, "Secure Routing in Wireless Sensor Networks: Attacks and Countermeasures," *UC Berkley, Course Term Project*, 2002
- [3] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, W. Heinzelman, "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models," *ACM Mobile Computing and Communication Review*, Vol. 6, Num. 2, April 2002
- [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," in *ACM/IEEE ToN*, 2002
- [5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in *Proc. IEEE HICSS*, Jan. 2000
- [6] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," *ACM Wireless Networks*, 1999
- [7] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," in *Proc. IEEEAC*, Mar. 2002
- [8] J. Mirkovic, G. P. Venkataramani, S. Lu, and L. Zhang, "A Self-Organizing Approach to Data Forwarding in Large-Scale Sensor Networks," in *Proc. IEEE ICC*, 2001
- [9] F. Ye, A. Chen, S. Lu, and L. Zhang, "A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks," in *Proc. IEEE ICCCN*, pp. 304-309, 2001
- [10] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," *ACM WCN*, Sep. 2002
- [11] Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," *UCLA Tech. Report*, 2001
- [12] Smart Kindergarten Project, <http://nesl.ee.ucla.edu/projects/smartkg/outline.htm>