무선 센서 네트워크에서의 노드 재라우팅 알고리즘 설계에 관한 연구*

배지혜* 엄익정** 윤남식** 박윤용*** 오문균****
*선문대학교 IT교육원
**선문대학교 대학원 컴퓨터공학과
***선문대학교 컴퓨터공학부
****한국전자통신연구원, 조선융합기술연구팀
{jhbae327,weezzle7,windsong,yypark}@sunmoon.ac.kr, mkoh@etri.re.kr

A Study on Node Re-routing Algorithm Design in Wireless Sensor Networks

Ji-Hye Bae* Ik-Jung Um** Nam-Sik Yun** Yoon-Young Park*** Moon-Gyun Oh****
*IT Education Center, SunMoon University
**Dept. of Computer Engineering, Graduate School, SunMoon University
***Dept. of Computer Engineering, SunMoon University
****Ship Fusion Technology Research Team, ETRI

요 약

수천 개의 센서 노드들이 센서 필드에 전개되어 있는 경우에 센서 노드의 상태를 효율적으로 관리하는 것은 매우 중요한 기술이다. 본 논문에서는 기본적으로 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 이용하여 노드들 간의 상대 거리 정보를 수집하여 센서 노드의 위치 정보를 탐지하고 이를 이용하여 임의의 노드가 고장이 났을 경우, 데이터 전송을 원활히 하기 위한 최적의 재라우팅을 설정하는 방법을 제시하고자 한다.

1. 서론

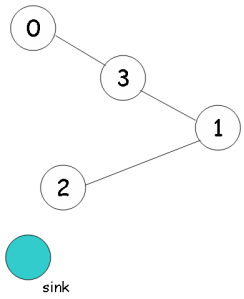
수천 개의 센서 노드들 간의 공동 작업을 기반으로 한 무선 센서 네트워크는 대규모 서식지 모니터링, 침입 탐지, 자동화된 실시간 위치 평가, 홈 애플리케이션, 과학적인 탐사 등 수많은 응용에 대한 새로운 플랫폼을 제공하고 있다. 각 센서 노드의 상태를 관리하고 센서 데이터를 얻기 위해서는 노드들의 정확한 위치가 필요하다[3,4]. 특정 지역에서 발생하는 물리적인 현상을 관측하는 무선 센서 네트워크의 경우 센서 노드가 센싱한 값과 센서 노드의 위치가 매핑되지 않으면 센싱한 값으로부터 얻을 수 있는 정보는 매우 한정이 된다. 예를 들면, 일정한 지역에 센서 노드들이 뿌려져서 그 지역의 온도 변화를 관찰하고자 한다고 가정하여 보자. 이 경우 센서 노드들이 자신의 위치를 알지 못한다면 센서 노드들이 보내오는 온도 측정값들로부터 알 수 있는 정보는 그 지역의 평균 온도의 변화 정도일 것이다. 그러나 센서 노드들이 온도 측정값과 함께 자신의 위치를 함께 보낸다면 지역 내 위치에 따른 온도의 분포를 포함한 보다 다양한 정보의 획득이 가능하다. 즉, 센싱 데이터와 위치가 결합된 경우 그렇지 않은 경우에 비하여 보다 유용한 정보를 추출할 수 있다. 또한, 센서 노드의 위치 정보는 센서 노드의 위치 정보를 기반으로 라우팅을 수행하는 지리적인 라우팅(Geographic Routing)에 유용하게 사용될 수 있다. 한편, 배터리로 동작하는 무선 센서 네트워크의 경우 전력 소모가 최우선적으로 고려되어야 하기 때문에 센서 노드들은 근거리 무선 통신 기술을 사용하여 데이터를 전송하고, 멀리 떨어져 있는 싱크 노드까지는 중간에 존재하는 다른 여러 센서 노드들을 경유해야만 데이터 전달이 가능한 멀티홉 방식의 라우팅을 사용한다[3,4]. 이러한 특징을 갖고 있는 멀티홉 애드혹 기반의 센서 네트워크 상에서 중간 특정 노드가 고장이 났을 경우 데이터 전송이 불가하게 된다. 이를 위해 각 노드들은 자가구성적(Self-Configured) 능력을 통해 라우팅을 재설정하여 데이터 전송이 중간에서 끊기지 않도록 해야한다. 이를 위해 본 논문에서는 노드의 절대적 위치 정보를 이용하여 경로를 재구성하기 위한 고장 복구 노드 재라우팅 알고리즘을 제시하고자 한다. 2장에서는 본 라우팅의 기본 구성 라우팅이 되는 PEGASIS 라우팅 프로토콜에 대해 기술하고 3장에서는 노드 고장 시 이를 재라우팅하기 위한 알고리즘에 대한 설계부분을 기술한다. 4장에서는 설계한 알고리즘을 기반으로 노드 재라우팅 설정에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2009-C1090-0902-0020)

2. 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

기존 통신 인프라가 없는 무선 센서 네트워크로부터 정보 수집을 위해서는 센서 노드들간의 무선 애드혹 네트워킹 능력이 필요로 된다. 그러나 기존의 무선 애드혹 네트워크를 위해 제안된 라우팅 프로토콜은 무선 센서 네트워크가 가지는 특성들로 인해 적용하기에 적합하지 않다. 그러므로 무선 센서 네트워크의 자가 구성적 능력, 제한된 전력과 데이터 중심적 특성을 고려한 센서 네트워크 용 라우팅 기법이 요구된다. 본 장에서는 이러한 무선 센서 네트워크에서의 대표적인 라우팅 프로토콜이며 본 논문의 노드 위치 추적을 위해 기본적으로 사용되는 PEGASIS 라우팅 프로토콜에 관하여 기술하고자 한다.

PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) 라우팅 프로토콜의 특징으로는 토큰 패싱 체인 기반(Token-passing chain-based)으로 구성된 프로토콜로서 네트워크 생명 주기를 연장할 수 있고 거의 최적에 가까운 센서 네트워크 라우팅 프로토콜로 간주되어진다는 점이다. 이 프로토콜은 노드와 싱크가 고정되어 있어야 하며 모든 노드들은 글로벌 네트워크 맵을 가지고 있어서 이웃 노드 뿐 아니라 센서 필드 내의 모든 노드들과의 거리 정보를 맵에 유지하고 있다. 각 노드는 신호 강도(Signal strength)를 사용하여 이웃 노드들과의 거리를 측정할 수 있고 이에 따라 가장 이웃한 노드 하나를 식별하게 된다. 노드는 임의의 노드에서 시작하여 이웃 노드와 하나의 체인(chain)을 구성한다. 구성 방식은 그리디(Greedy) 알고리즘을 이용하여 노드들이 스스로 구성하거나 싱크에서 만들어 노드에게 브로드캐스트할 수 있다.



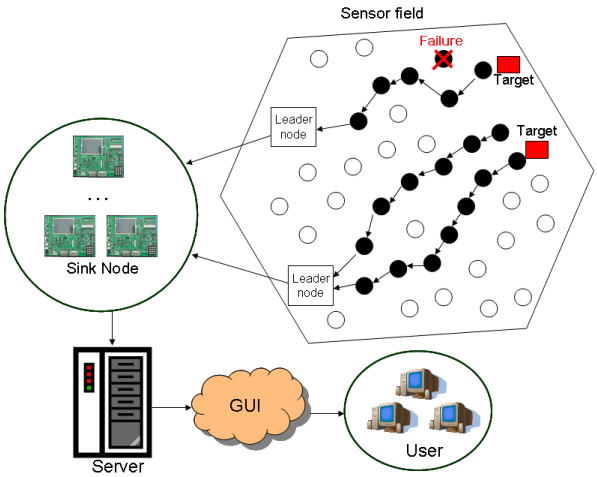
(그림 1) PEGASIS 프로토콜에서의 체인 구성

싱크에서 체인을 구성할 경우는 싱크로부터 가장 먼 거리에 있는 노드부터 체인이 시작된다. (그림 1)은 체인이 형성되는 예를 보여준다. 싱크로부터 가장 거리가 먼 노드 '0'이 체인의 시작점이 되고 노드 '0'은 가장 인접한 노드 '3'을 체인의 다음 노드로 선택한다. 이를 모든 노드가 하나의 체인에 속할 때까지 반복한다. 체인이 형성된 후에는 노드는 자신의 데이터를 체인의 이웃 노드에게 전송하고 이를 수신한 노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 이웃노드에게 전송한다. 싱크 노드로 전송하는 역할을 하는 리더 노드는 체인 중 임의의 노드가 돌아가며 맡는다. 예를 들어 라운드 i에는 i mod N번째 노드가 맡는다(N은 전체 노드의 수). 데이터 전송은 리더 노드가 토큰(token)을 체인의 말단 노드에게 전송하여 시작된다[2].

본 논문에서 적용되는 노드 라우팅은 이와같은 PEGASIS 라우팅 프로토콜이다. PEGASIS에서 기본적으로 제공하는 가정 중 하나인 '모든 노드가 이웃 노드와의 상대적인 거리정보를 알고 있다는 가정'을 이용하여 센서 네트워크 상에서의 노드들의 절대적인 위치를 구할 수 있게 되고 이 절대적 위치 정보를 이용하여 노드가 고장났을 경우 노드들의 재라우팅을 구성하는 알고리즘을 설계하고자 한다.

3. 노드 재라우팅 알고리즘 설계

본 장에서는 앞 장에서 기술한 대표적인 라우팅 알고리즘들 중 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 기반으로 센서 필드에 속해있는 모든 노드들의 절대 위치를 추적하는 방법과 측정된 센서 노드의 위치를 이용하여 라우팅하는 방법을 제시하고자 한다. 특히 일부 노드가 고장이 났을 경우 발생하는 문제점들을 해결하기 위해 위치 정보를 이용한 라우팅 재설정을 통해 최적의 라우팅을 구성하는 노드 재라우팅 알고리즘을 제시하고자 한다.



(그림 2) 노드 위치 정보 관리 구조

본 논문에서 제시하는 센서 노드 관리를 위한 시스템 구조는 (그림 2)와 같다. 센서 필드에 전개된 노드들의 데이터는 싱크 노드를 통해 서버로 전송된다. 서버에는 각 노드의 위치 및 상태를 관리하는 데이터베이스가 존재한다. 사용자들은 인터넷을 통해 서버에 접속하여 센서 노드의 상태 정보를 접근하여 제어할 수 있다. 본 시스템 구조를 위해 필요한 용어들에 대한 정의는 다음과 같다.

[정의 1] 타겟 : 센싱의 대상
[정의 2] 싱크 노드 : 서버 시스템과 센서 필드의 중간 역할을 하는 노드

[정의 3] 리더 노드 : 구성된 센서 네트워크 중 싱크 노드와 직접적인 통신을 하는 노드
[정의 4] 서버 시스템 : 싱크 노드를 통해 들어오는 모든 정보를 제어하는 시스템
[정의 5] GUI 모니터링 프로그램 : 일반 사용자에 의해 통제 및 제어되는 프로그램

노드 위치 정보를 관리하는 과정을 요약하면 다음과 같다.

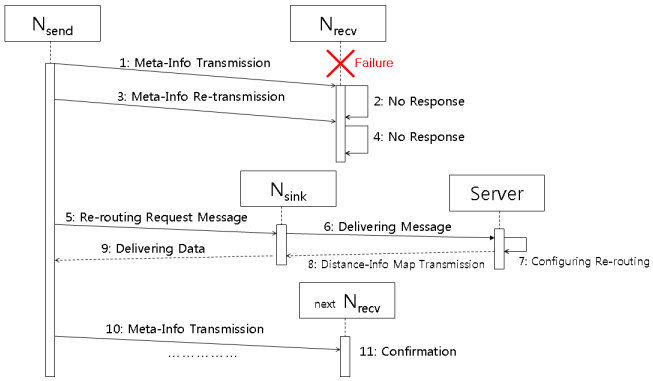
- 측정된 거리 정보는 라우팅 경로를 통해 Sink 노드로 전송한다.
- 정보를 받은 Sink 노드는 이를 서버 시스템으로 전송한다.
- 서버 시스템은 모아진 정보를 GUI 형태의 모니터링 프로그램으로 관리하며 이들 정보를 이용하여 노드 고장이 발생했을 시 노드 재라우팅 알고리즘으로 라우팅을 재설정한다.

위치 추적이 가능한 지역 내의 하나의 센서 필드 내에서는 PEGASIS 라우팅 알고리즘에 의해 싱크 노드로 향하는 이웃 노드들 중 가장 인접한 노드와 연결되는 라우팅 구조가 형성되어 있다. 이 중 싱크노드와 직접적인 연결을 하는 노드를 리더 노드라 하며 자신의 체인에 속한 노드들의 정보를 축적하여 싱크노드로 데이터를 전송하게 된다. 각 리더 노드에서 전달받은 데이터를 수합하여 싱크 노드는 이를 그대로 서버로 전송하게 되고 서버에 저장된 데이터를 응용하여 GUI형태의 프로그램으로 사용자는 모니터링을 하게 된다. 또한 중간의 특정 노드가 고장이 났을 경우 이에 대한 정보를 GUI기반의 모니터링 프로그램에서 제어를 하고 라우팅을 재형성하게 된다. 고장난 특정 노드의 정보를 위치정보 맵에서 삭제하는 것이다.

센서 네트워크를 구성하고 있는 하나의 센서 필드 내에서는 센서 노드들의 고장이 발생하게 된다. 이에 대한 원인으로는 여러 가지가 있는데 이를 정리해보면 다음과 같이 나눌 수 있다.

- 초기에 노드들이 전개(deployment)되는 경우에 고장이 발생할 수 있다.
- 센서 노드의 전력이 소모되는 경우 고장이 발생할 수 있다.
- 분실 또는 자연이나 외부의 압력에 의한 필연적인 고장이 발생할 수 있다.

위와 같은 노드 고장이 발생했을 경우 고장을 우선적으로 탐지해야 하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 센서 노드로의 데이터 전송 후 Acknowledge 메시지가 없는 경우에 재전송을 시도하고 시스템에서 정한 일정한 시간 후에도 Acknowledge 메시지가 없는 경우에는 해당 노드가 고장이 발생한 것으로 가정한다. PEGASIS 가정대로 모든 노드는 거리 정보 맵을 가지고 있으며 이 거리 정보 맵에 기술된 이웃 노드와의 거리 정보를 이용하여 가장 가까운 이웃 노드를 식별할 수 있다. 또한 모든 노드는 싱크 노드와의 직접적인 통신이 가능하다[2,5].



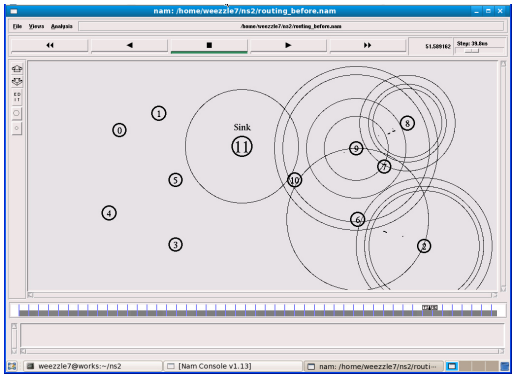
(그림 3) 센서 노드 고장 시 데이터 전송 과정

(그림 3)은 센서 노드 사이에서의 데이터 전송 과정 중 노드가 고장이 났을 경우의 데이터 전송 과정을 도식화 한 것이다. N_{send}는 데이터를 송신하는 노드이고 N_{recv}는 데이터를 수신하는 노드이며 미리 정의된 라우팅에 의해 N_{recv}는 N_{send}의 바로 이웃 노드가 된다. 먼저 N_{send}가 데이터 송신을 위한 메타 정보를 N_{recv}로 보냈을 때 현재 N_{recv}가 고장이 난 상태라면 이 노드는 어떠한 응답 메시지도 보낼 수 없게 된다. 일정 시간이 지난 후 아무 반응이 없으면 N_{send}는 다시 한 번 N_{recv}에게 메타 정보를 보내게 된다. 이번에도 응답 메시지가 없으면 N_{send}는 현재 N_{recv}을 제외한 가장 가까운 노드(next N_{recv})를 찾기 위해 재라우팅 요청 메시지를 싱크 노드인 N_{sink}로 보낸다. N_{sink}는 이 메시지를 그대로 서버로 전송하게 되고 서버에서는 현재 고장난 노드를 위치 정보 데이터베이스에서 삭제한다. 그리고 위치 정보 데이터베이스를 기반으로 삭제된 고장 노드를 제외한 가장 가까운 이웃 노드를 최단 경로 알고리즘을 적용하여 판별하고 이에 대한 정보가 갱신된 거리 정보 맵을 싱크 노드인 N_{sink}로 보내게 된다. N_{sink}는 전달받은 갱신된 거리 정보 맵을 처음에 요청한 N_{send} 노드로 보내게 되고 이를 이용하여 N_{send}는 고장 노드를 제외한 가장 가까운 거리에 있는 노드인 next N_{recv}를 식별하게 된다. 이후 N_{send}는 next N_{recv}로 데이터를 전송하겠다는 메타 정보를 보내게 되고 next N_{recv}가 고장이 나지 않았을 경우 정상적인 센서 노드 간의 데이터 송수신 관계가 이루어지게 된다.

노드의 위치 정보는 라우팅 설정뿐만 아니고 노드의 모니터링에도 사용된다. 정확한 위치를 알고 있기 때문에 노드 고장 발생 시 어떠한 노드가 어느 위치에서 고장이 발생했는지를 정확히 알 수 있으며 특정 지역에 대한 고장 발생 빈도수, 고장 발생 원인 파악 등에 있어 세부적인 결과를 얻을 수 있게 된다.

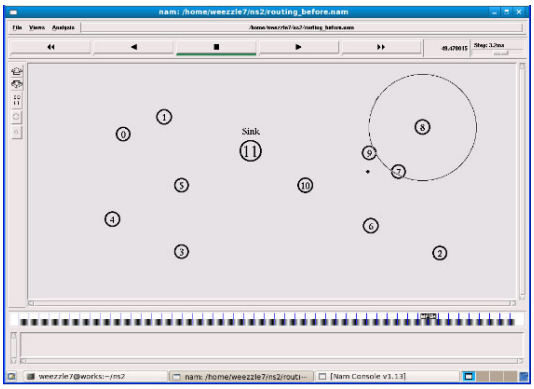
4. 노드 재라우팅 설정 시뮬레이션

본 장에서는 앞 장에서 소개하였던 노드 재라우팅 알고리즘을 기반으로 이를 다루는 시뮬레이션 부분을 기술하고자 한다. 시뮬레이션 툴은 NS-2를 사용하였다.



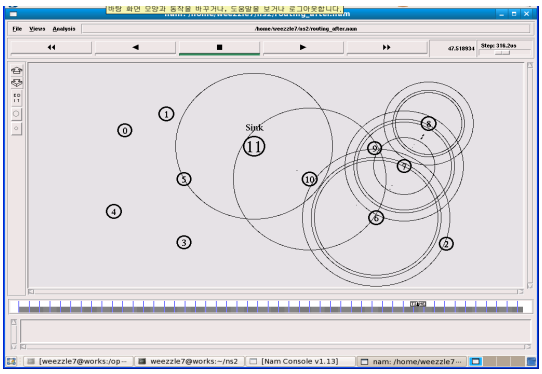
(그림 4) 무선을 이용한 노드들의 일반적 트래픽 발생

(그림 4)는 노드 고장 나기 전, 몇몇의 노드에서 트래픽이 발생하여 싱크 노드를 향하여 패킷이 전달되고 있다.



(그림 5) 노드 9의 고장으로 발생되는 패킷 드롭 현상

이 중 외부의 환경이나, 전력소모 등으로 인하여 고장 난 노드가 있다면, (그림 5)와 같이 패킷 드롭이 발생하게 되고 패킷 손실이 일어난다. 이렇게 고장 난 노드로 인해 패킷 드롭이 발생할 시에는 고장난 노드를 제외하고 현재 노드에서 가장 가까운 위치에 있는 노드를 선택하여 재라우팅을 하게 된다.



(그림 6) 노드 9를 제외한 후 재라우팅

(그림 6)은 고장난 노드를 제외하고 재라우팅을 하여 설정된 경로를 따라 패킷이 전달되는 과정을 나타낸다.

5. 결론

저비용, 자원의 제약을 가지고 있는 센서 네트워크의 특성에 맞춘 센서 노드에 대한 모니터링을 위해 본 연구에서 연구 동기로 삼았던 센서 노드의 위치 추적 기법은 기존의 PEGASIS 라우팅 프로토콜에서 제공하는 기본 가정 및 그 외 추가로 제시된 가정을 기반으로 결과가 얻어진다. 이 기법은 기존 연구에서 제시하는 하드웨어 의존적인 문제점을 해결하고 좀더 센서 네트워크 특성에 적합한 위치 추적에 관한 기법을 제시하고자 하는 연구이다[5].

본 논문에서는 이와 같은 노드 위치 추적 기법이 적용된 센서 네트워크 상에서 어느 특정 노드가 고장이 났을 경우를 고려하여 센서 네트워크 상의 노드들을 재라우팅하기 위한 노드 재라우팅 알고리즘 기법에 대한 설계를 제시하였다. 이는 기존에 미리 정의된 각 노드들의 절대적인 위치 정보를 이용하므로 센서 네트워크 전체가 flooding이 필요없는 부분적인 라우팅 복구를 통해 에너지 효율면 측에서 좀더 높은 효율성을 가져올 수 있으리라 예상된다.

참고문헌

[1] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, “A Survey on Sensor Networks,” IEEE Communications Magazine, vol.40, no.8, pp.102~pp.114, Aug., 2002.

[2] Jamal N.Al-Karaki, Ahmed E.Kamal, “Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey,” IEEE Wireless Communications, ISBN 1536-1284, pp.6~pp.28, Dec., 2004.

[3] 이원희, 이우용, 김민규, 엄두섭, 김진원, “유비쿼터스 환경을 위한 위치 측정 시스템 기술 동향”, 정보과학회지, 제22권, 제12호, pp.41~pp.50, 12월, 2004년.

[4] 채동현, 한규호, 임경수, 안순신, “센서 네트워크의 개요 및 기술동향”, 정보과학회지, 제22권, 제12호, pp.5-pp.12, 12월, 2004년.

[5] 배지혜, 윤남식, 박윤용, 김재명, 임동선, “WSN에서 라우팅 정보를 이용한 센서 노드 위치 추적에 관한 연구”, 한국 IT서비스학회 추계학술대회, pp.262-pp.265, 11월, 2008년.