

WSN에서 라우팅 정보를 이용한 센서 노드 위치 추적에 관한 연구

배지혜*, 윤남식*, 박윤용*, 임동선**, 김재명**

*선문대학교, **한국전자통신연구원

A Novel Approach of Sensor Node Location Tracking using Routing Information in Wireless Sensor Network

Ji-Hye Bae*, Nam-Sik Yun*, Yoon-Young Park*,
Jae-Myoung Kim**, Dong-Sun Lim**

SunMoon University*,

ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute)**

E-mail : {jhbae327,windsong,yypark}@sunmoon.ac.kr, {jaemkim,dslim}@etri.re.kr

요 약

수천 개의 센서 노드들 간의 공동 작업을 기반으로 한 무선 센서 네트워크는 대규모 서식지 모니터링, 침입 탐지, 자동화된 실시간 위치 평가, 홈 어플리케이션, 과학적인 탐사 등 수많은 응용에 대한 새로운 플랫폼을 제공하고 있다. 본 논문은 수천 개의 센서노드들이 센서 필드에 전개되어 있는 경우에 센서 노드의 상태를 효율적으로 관리하기 위해 센서 노드의 위치를 탐지하기 위한 방법에 관하여 기술하였다. 기본적으로 PEGASIS 라우팅 알고리즘을 이용하여 노드들 간의 상대 거리 정보를 수집하여 센서 노드의 위치 정보를 탐지하였다.

1. 서론

수천 개의 센서 노드들 간의 공동 작업을 기반으로 한 무선 센서 네트워크는 대규모 서식지 모니터링, 침입 탐지, 자동화된 실시간 위치 평가, 홈 어플리케이션, 과학적인 탐사 등 수많은 응용에 대한 새로운 플랫폼을 제공하고 있다. 센서 노드의 모니터링으로는 센서 OS 커널 모니터링, 센서 데이터 관리, 센서 노드 상태 제어 및 관리, 센서 노드들의 재사용 및 유지보수 등이 있다. 그러나 좀더 명확하고 세부적으로 센서 노드의 상태를 관리하고 센서 데이터를 얻기 위해서는 각 센서 노드들의 정확한 위치가 필요하다[3,4].

특정 지역에서 발생하는 물리적인 현상을 관측하는 무선 센서 네트워크의 경우 센서 노드가 센

싱한 값과 센서 노드의 위치가 매핑되지 않으면 센싱한 값으로부터 얻을 수 있는 정보는 매우 한정된다. 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 지리적 인 라우팅(geographic routing)에 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 기존 위치 측정 시스템을 애드혹을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 많은 문제점들이 존재한다. 우선 무선 센서 네트워크에서는 GPS 인공위성이나 이동 통신망과 혹은 실내 위치 측정 시스템에서 미리 설치되는 비컨들의 네트워크와 같은 위치 측정을 위한 인프라가 없다. 또한 센서 노드에는 비용적인 측면과 자원의 제약으로 말미암아 GPS 수신기와 같은 고가의 위치 측정을 위한 하드웨어를 추가하기 어렵다. 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 네트워크에 맞춰 본 논문에서는 특정 라우팅 프로토콜을 통해 얻어진 센서 노드들간의 무선 연결 상태 정보와 센서 노드들간의 상대적인 거리 측정을 통하여 보다 정확한 센서 노드들의 위치를 결정하는 기법을 제시하고자 한다.

2. 센서 노드 위치 추적을 위한 라우팅 알고리즘

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 네트워크용 라우팅 기법이 요구된다. 본 장에서는 이러한 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜 중 본 연구에서 사용된 PEGASIS 라우팅 프로토콜에 대해 설명한다[1,2].

PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems

PEGASIS의 특징으로는 토큰 패싱 체인 기반(Token-passing chain-based)으로 구성된 프로토

콜로서 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 노드뿐 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.

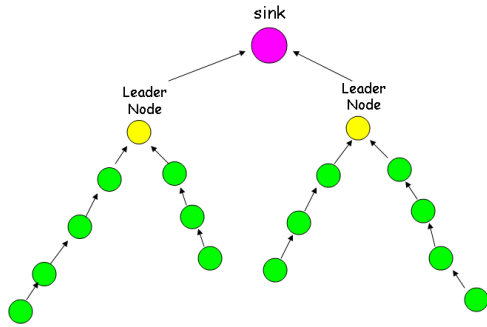
노드는 임의의 노드에서 시작하여 이웃노드와 하나의 체인(chain)을 구성한다. 구성 방식은 그리디(greedy) 알고리즘을 이용하여 노드들이 스스로 구성하거나 싱크에서 만들어 노드에게 브로드캐스트 할 수 있다. 싱크에서 체인을 구성할 경우는 싱크로부터 가장 먼 거리에 있는 노드부터 체인이 시작된다. 체인이 형성된 후에는 노드는 자신의 데이터를 체인의 이웃 노드에게 전송하고 이를 수신한 노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 이웃노드에게 전송한다. 싱크로 전송하는 역할을 하는 헤드 노드는 체인 중 임의의 노드가 돌아가며 맡는다. 예를 들어 라운드 i 에는 $i \bmod N$ 번째 노드가 맡는다(N 은 전체 노드의 수). 데이터 전송은 헤드 노드가 토큰(token)을 체인의 말단 노드에게 전송하여 시작된다[1,2].

3. 센서 노드 위치 추적 기법 설계

센서 노드의 모니터링으로는 센서 OS 커널 모니터링, 센서 데이터 관리, 센서 노드 상태 제어 및 관리, 센서 노드들의 재사용 및 유지보수 등이 있다. 그러나 좀더 명확하고 세부적으로 센서 노드의 상태를 관리하고 센서 데이터를 얻기 위해서는 각 센서 노드들의 정확한 위치가 필요하다. 본 장에서는 이러한 센서 노드의 위치 추적 기법 설계에 대해 기술하고자 한다.

3.1 기본 가정

본 논문에서 제시하고자 하는 센서 노드 위치 추적 설계를 위해서는 기본적으로 제공하여야 하는 라우팅 프로토콜이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 라우팅 프로토콜 중 PEGASIS 프로토콜을 기본 프로토콜로 사용하였으며 이 외에도 몇 가지 가정을 더 제시하였다.



<그림 1> PEGASIS 라우팅 프로토콜 기본 구조

<그림 1>은 PEGASIS 라우팅 프로토콜의 예로 각 노드들은 서로 이웃한 노드들과 연결하여 체인을 형성하고 체인의 상위에는 리더 노드가 있어 싱크 노드와 최종적으로 통신하는 역할을 한다. 이 프로토콜은 다음과 같은 조건 및 특징 하에 라우팅을 구성한다[2].

- 토큰 패싱 체인 기반 (Token-Passing Chain-Based) 프로토콜
- 그리디(Greedy) 알고리즘을 사용한 체인 구성 (Neighbor by neighbor 방식)
- 싱크 노드 및 각 노드들은 고정적임
- 모든 노드는 글로벌 네트워크 맵을 가지고 있음(각 노드는 모든 노드와의 거리를 알고 있음)
- 모든 노드는 싱크 노드와 직접 통신을 할 수 있음
- 토큰을 체인의 마지막 노드로 전달하기 위한 리더 노드가 필요
- 리더 노드는 매 라운드마다 바뀜 (예: 라운드가 i 일 경우 $i \bmod N$ 에 해당하는 노드가 리더로 선출됨. N 은 전체 노드 개수)
- 토큰을 전달하는 과정에서 각 노드마다 데이터 퓨전이 발생함

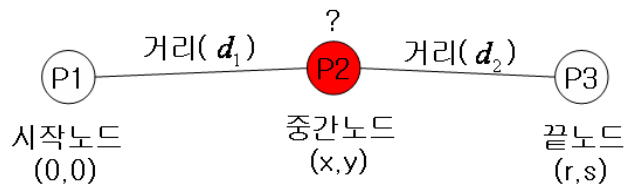
본 논문에서는 이와 같이 PEGASIS 라우팅 프로토콜에서 제공하는 모든 가정을 기본으로 갖추고 있어야 한다. PEGASIS 라우팅 프로토콜의 가정 이외에도 본 논문에서 제공하고자 하는 센서 노드 위치 추적 설계를 위해서는 몇 가지 가정이 더 필요하다. 그 내용은 아래와 같다.

- 사용자는 반드시 세 개의 노드(시작 노드, 중간 노드, 끝 노드)의 위치를 알고 있다. 이들 노드는 GPS와 같은 특수한 하드웨어를 장착한 노드이다.
- 시작 노드는 P_1 으로 지정하며 항상 위치는 $(0, 0)$ 으로 지정되어 있다. 시작 노드는 싱크 노드로 간주한다.
- 끝 노드는 P_n 으로 지정한다. (n = 노드 총 개수)

- 중간 노드는 P_i 으로 지정한다.
- 시작 노드와 끝 노드를 연결한 일직선상에 중간 노드가 존재하여서는 안 된다.
- 시작 노드와 끝 노드, 한 개의 중간 노드를 제외한 모든 노드들은 사용자가 위치를 모르며 PEGASIS 라우팅 프로토콜에 따라 각 노드들 간의 상대 거리만 알고 있다.
- PEGASIS 라우팅 프로토콜에서 제공하는 모든 가정 및 조건을 만족한다.
- 노드 위치를 구하기 전에 이미 PEGASIS 알고리즘에 의해 센서 네트워크 라우팅이 되어 있다. (예: <P1-P2-P3-P4-P5-P6>은 6개의 노드들이 차례대로 구성된 체인 기반의 라우팅이며 <P1-P2>, <P2-P3>, <P3-P4>, <P4-P5>, <P5-P6>은 서로 가장 밀접한 이웃 노드들 간의 연결이다)

3.2 위치 추적 기법 설계

앞 절에서 제시한 기본 가정을 기반으로 본 절에서는 센서 노드들의 위치를 구하는 기법을 기술하고자 한다.



<그림 2> 두 노드 사이의 노드 위치 구하기

<그림 2>는 본 논문에서 제공하고자 하는 센서 노드의 위치를 구하기 위한 기본 구조로 시작 노드와 끝 노드 사이의 노드가 한 개일 경우 이 노드의 위치를 구하는 문제이다. 시작 노드 P_1 은 가정에 따라 항상 위치가 $(0,0)$ 이며 끝 노드 P_n 은 노드 총 개수가 3개이므로 P_3 가 된다. 또한 이미 PEGASIS 라우팅 프로토콜에 의해 <P1-P2-P3>로 체인이 형성되어 있는 상태이며 시작 노드 P_1 을 향한 방향을 기준으로 <P1-P2>, <P2-P3>는 서로 가장 인접하게 이웃한 노드이다. P_3 의 좌표는 (r,s) 로 사용자가 이미 알고 있다고 가정하며 <P1-P2>의 거리는 d_1 , <P2-P3>의 거리는 d_2 로 이 값도 사용자가 이미 알고 있다. 이때 노드 P_2 의 좌표 (x,y) 를 구하기 위한 수식은 <그림 3>과 같다. <그림 3>에서 보면 <그림 2>를 기반으로 두 점 사이의 한 점의 위치를 구하기 위한 수식이 차례로 기술되어 있다. 수식의 결과는 좌표값이 2개가 생성이 된다는 점이다. 실제의 좌표값과 이와 대칭되는 가상의 좌표값이 구해지게 되는 것이다.

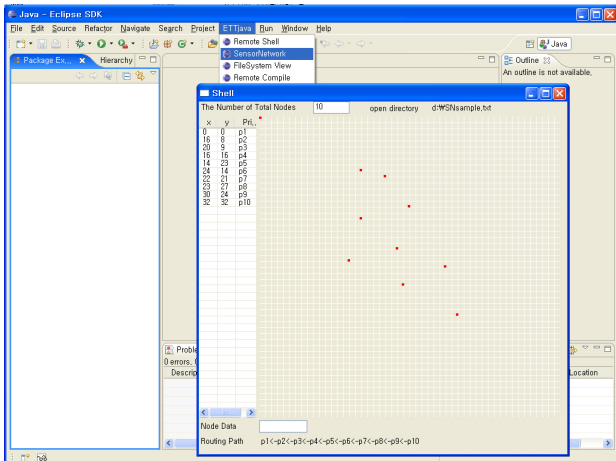
$$\begin{aligned}
& \textcircled{1} \sqrt{(x-0)^2+(y-0)^2}=d_1, \sqrt{(r-x)^2+(s-y)^2}=d_2 \\
& \textcircled{2} A=d_1 \times d_1, B=d_2 \times d_2 \\
& \textcircled{3} ax^2+bx+c=0 \\
& \textcircled{4} a=1+\frac{r^2}{s^2}, b=-\left(\frac{s^2r+r^3+rA-rB}{s^2}\right) \\
& c=\left(\frac{s^4+2s^2r^2+2s^2A-2s^2B+r^4+2r^2A-2r^2B+A^2+B^2-2AB}{4s^2}\right)-A \\
& \textcircled{5} x=\frac{-b+\sqrt{b^2-4ac}}{2a}, x'=\frac{-b-\sqrt{b^2-4ac}}{2a} \\
& \textcircled{6} x^2+y^2=A, x'^2+y'^2=A \\
& \textcircled{7} y=\sqrt{A-x^2}, y'=\sqrt{A-x'^2} \\
& \textcircled{8} \therefore (x, y) \text{ or } (x', y')
\end{aligned}$$

<그림 3> 노드 위치 구하기 수식

이 두 가지 좌표값 중 앞 절의 가정에 따라 사용자가 이미 알고 있는 중간 노드의 좌표 값과 얻어진 두 좌표와의 거리를 각각 비교해 보고 이미 알고 있는 거리 정보 맵과 매칭을 시켜 일치하는 좌표값을 실제 노드로 인정하게 된다.

4. 시뮬레이션

본 장에서는 앞장에서 소개하였던 센서 노드 위치 추적 설계를 기반으로 이를 검증하기 위한 내용을 다루고자 한다.



<그림 4> 센서 노드 위치 추적 시뮬레이션

<그림 4>는 앞에서 검증한 데이터에 따라 좌표를 센서 네트워크 시뮬레이터 도구에서 실행시킨 예이다. 도구 플랫폼은 자바 기반의 이클립스이며 센서 네트워크 시뮬레이션 메뉴를 추가하여 플러그인 하였다. <그림 4>에서 보듯이 각 노드의 점의 위치를 좌표값까지 정확하게 확인할 수 있고

이에 따른 라우팅 정보를 틀에서 제공하고 있다.

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. 노드의 위치는 대칭되는 두 점을 얻을 수 있으며 설정된 라우팅 또한 대칭되는 두개의 라우팅이 생긴다. 이때 사용자가 알고 있는 한 개의 중간 노드를 이용하여 실제 라우팅 패스를 선택하게 된다. 이 기법은 기존 연구에서 제시하는 하드웨어 의존적인 문제점을 해결하고 좀더 센서 네트워크 특성에 적합한 위치 추적에 관한 기법을 제시하고자 하는 연구이다. 센서 노드 위치 추적 기법을 적용한 기대 효과로는 센서 노드들의 명확한 모니터링 효과를 얻을 수 있다. 그리고 사용자는 노드의 위치를 정확하게 알고 있으므로 이를 통해 최적의 센서 네트워크 라우팅 형성이 가능하므로 에너지 효율 면에서 좀더 높은 효과를 가져 올 수 있다. 노드의 정확한 위치를 이용한 최적 라우팅 구성이 본 연구를 통해 앞으로 해결해야 할 과제중 하나로 부각될 수 있으며 본 연구에서 제공한 센서 노드 모니터링 도구를 최적화하여 응용분야 검토 및 실세계 적용에 대한 과제도 앞으로의 과제중 하나라고 말할 수 있다.

[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 추정 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.