실내 무선 센서 네트워크에서 위치 기반 라우팅을 위한 위치 에러 감지 프로토콜

Robust Location Error Detection Protocol for Geographic Routing in indoor Wireless Sensor Networks

공영배, 박귀태
Youngbae Kong, Gwitae Park

Abstract - In wireless sensor networks (WSNs), geographic routing algorithms can enhance the network capacity. However, in the real WSNs, it is difficult for each node to know its accurate physical location. Geographic routing with location error may have serious problems such as disconnected links and delayed data transmission. In this letter, we present an efficient location error detection scheme for geographic routing. The proposed algorithm can efficiently update its incorrect location without additional procedure and finally enhance the performance on the geographic routing with the location errors.

Key Words : Wireless Sensor Network, Geographic routing algorithm, Location error detection

1. 서 론

무선 센서 네트워크에서 위치 기반의 라우팅 알고리즘은 센서 노드의 위치 정보를 이용하여 데이터를 전송하는 방식이라 [1]. 기존의 위치 기반의 라우팅 알고리즘은 GPS를 통하여 노드의 위치를 정확히 알고 있다고 가정하였다. 하지만 실내 환경에서는 GPS를 사용하여 노드의 위치 인식이 가능하지 않다. 따라서 실내의 무선 센서 네트워크 시스템에서는 위치 인식 기술을 이용하여 위치 기반의 라우팅을 수행하여야 한다.

이러한 무선 센서네트워크의 위치 인식 기술은 기본적으로 노드의 위치를 알고 있는 레퍼런스 노드와 위치 정보를 필요로 하는 노드 간의 거리를 통하여 이루어진다. 하지만, 실제 환경에서 각종 물체 및 레퍼런스 노드의 배치 등 다양한 요인에 의하여 노드의 위치는 큰 측정오차를 갖게 된다. 또한 네트워크에 새로 추가되는 노드 및 위치가 변경된 노드의 경우에도 노드의 위치 에러 문제가 발생하게 된다. 결과적으로 노드의 위치 에러는 위치 기반의 라우팅 알고리즘에 심각한 영향을 미친다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 mutual witness algorithm [2] 및 cross-link detection protocol (CLDP) [3] 와 같은 방식이 제안되어 왔다. 하지만, mutual witness algorithm의 경우에는 cross-link를 발생시키며, CLDP의 경우에는 probe packet에 의한 communication 오버헤드가 증가되게 된다.

저자 소개
* 공 영 배 : 고려대학교 전기공학과 박사과정
** 박 귀 태 : 고려대학교 전기공학과 정교수

본 논문에서는 위치 기반 라우팅을 위한 효율적인 위치 에러 보상 알고리즘을 제안한다. 기본적인 방식은 Relative Neighborhood Graph (RNG) 토폴로지 구성을 상이한 두가지 방식으로 수행함으로써 이 때 발생되는 토폴로지의 차이를 통하여 위치의 에러를 감지하는 것이다. 센서 노드의 위치 에러가 감지되면 주변 노드로부터 받은 수신 신호세기를 통하여 자신의 위치를 다시 업데이트하게 된다. 제안된 알고리즘을 통하여 각각의 노드는 자신의 위치를 효율적으로 개선시킬 수 있으며, 결과적으로 무선 센서 네트워크의 성능 향상을 가져온다. 실험 및 시뮬레이션 결과 위치 에러를 갖는 무선 노드는 효율적으로 자신의 위치를 보상하여 결과적으로는 라우팅 알고리즘을 성능을 향상시킴을 알 수 있다.

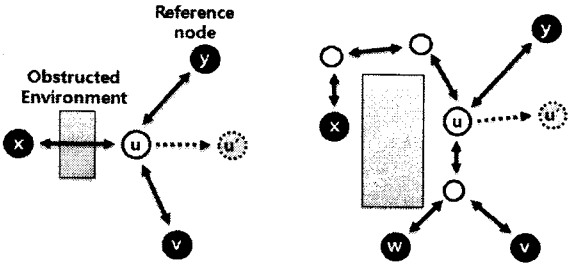
본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 문제에 대해 설명하고 제안하는 알고리즘에 대하여 설명한다. 3장에서는 제안하는 알고리즘을 통한 실험 및 성능 개선을 설명한다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구계획에 대하여 설명한다.

2. 문제점 및 제안한 알고리즘

2.1 실내 위치 측정 문제점

무선 센서 네트워크기반의 위치 인식 시스템은 기본적으로 다음과 같은 방식으로 이루어진다. 먼저 자신의 위치를 알고 있는 레퍼런스 노드가 자신의 노드 ID와 위치 정보를 브로드캐스팅한다. 위치 정보를 필요로 하는 센서 노드는 레퍼런스 노드로부터 패킷을 받은 후 레퍼런스 노드와 자신의 거리를 측정한다. 이 때 노드 간 거리 측정은 Time of Arrival (TOA), Received Signal Strength (RSS), Time difference of arrival (TDOA), 그리고 time of flight (TOF)와 같은 다양한 방식으로 이루어진다 [4]. 이러한 정보를 수집한 후에 노드는 자신의 위치를 측정한다. 이 때 다양한 물체를 포함

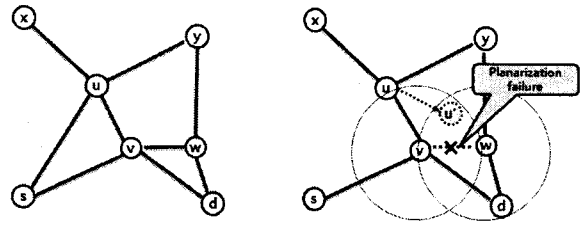
하는 실내 환경에서는 노드의 측정된 위치가 실제 위치와는 매우 많은 차이를 발생시킨다. 예를 들어서, 그림 1과 같이 레퍼런스 노드와 위치를 알고자 하는 블라인드 노드 u 사이의 신호가 물체에 의하여 가로막혀 있다면 측정된 거리는 커다란 위치 에러를 갖게 된다. 또 다른 예로 멀티 홉 기반의 위치 측정 예를 들 수 있다 [6].



(a) 단일 홉 위치 측정 에러 (b) 멀티 홉 위치 측정 에러

그림 1. 실내 위치 측정 에러

그림 1(b)와 같이 멀티 홉 기반의 위치 인식 기술은 레퍼런스 노드로부터 노드 자신까지의 최단 경로의 길이를 사용하여 위치를 인식하는 방법이다. 복잡한 실내의 경우이거나 레퍼런스 노드의 배치에 의해서 최단 경로는 우회하게 되고 결과적으로 측정된 위치는 실제 위치와 매우 많은 차이를 갖게 된다. 이러한 위치 오차는 결과적으로 무선 센서 네트워크에서 위치 기반의 라우팅에서 네트워크 간 연결성 실패나 데이터 전송 지연 등과 같은 영향을 미치게 된다.



(a) RNG topology with accurate locations (b) RNG topology with large location error

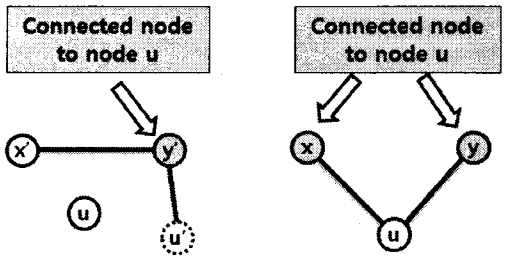
그림 2. 위치 측정 에러에 의한 토폴로지 단절 현상

그림 2는 이러한 예를 나타낸다. 모든 노드가 자신의 위치를 정확히 알고 있다면, 위치 기반의 라우팅을 위한 토폴로지 구성은 그림 2(a)와 같게 된다. 하지만 노드 u가 위치 오차를 갖는 경우에는 그림 2(b)와 같은 노드 v와 노드 w간의 연결이 단절되게 되고, 결과적으로 위치 기반 라우팅 시 라우팅 실패나 경로 경유에 의한 네트워크의 성능 하락을 가져온다.

2.2 제안하는 알고리즘

위치 오차에 의한 위치 기반 라우팅의 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 알고리즘을 제안한다. 먼저, 각각의 노드는 주변 노드의 거리 정보에 대한 테이블을 구성한다. 거리 정보는 다음과 같은 순서로 구성된다. 각각의 노드는 자신의 ID와 측정된 위치 정보를 포함하는 패킷을 브로드캐스팅한다. 패킷을 수신한 노드는 노드로부터 보내진 수신 신호 세기를 통하여 거리를 측정한다. 거리 정보에 대한 테이블을 구성한 후에 각각의 노드는 자신의 주변 노드에 대해 측정된 거리를 포함하는 메시지를 다시 전송한다. 이러한 메시지 교환을 통하여 노드는 거리에 의한 토폴로지 구성이 가능하게 된다.

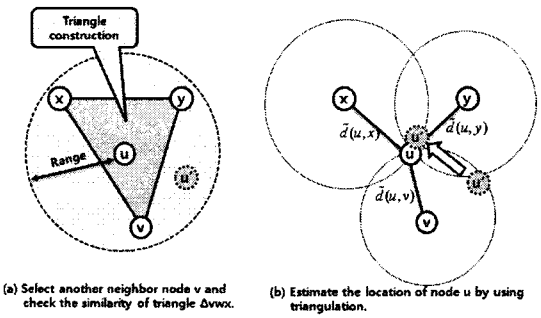
먼저, 각각의 노드 u는 위치에 의한 RNG 토폴로지와 거리에 의한 RNG 토폴로지를 구성한다. 노드 u가 위치 에러를 갖는 경우에는 위치 기반의 RNG 토폴로지 및 측정된 거리 기반의 RNG 토폴로지는 각각 그림 3(a) 및 그림 3(b)와 같게 된다. 결과적으로 노드 u의 토폴로지는 서로 다르게 구성되게 되며 따라서 이러한 토폴로지의 불일치를 통하여 노드 u는 자신의 위치 에러를 감지할 수 있다.



(a) RNG based on location (b) RNG based on distance

그림 3. 위치 에러에 의한 RNG 토폴로지의 불일치

만약 노드 u가 위치 에러를 갖게 되는 경우에 노드 u는 자신의 위치 에러를 효과적으로 보상하여야 한다. 이를 위하여 우리는 다음과 같은 위치 에러 보상 알고리즘을 제안한다. 먼저 노드는 자신의 위치 에러가 있는지를 체크하여야 한다. 그림 4는 이러한 위치 에러 보상방안을 나타낸다.



(a) Select another neighbor node v and check the similarity of triangle Δvwx. (b) Estimate the location of node u by using triangulation.

그림 4. 위치 에러 보상 방법

먼저 노드 u는 또 다른 이웃 노드인 v를 하나 선택한다. 노드 v, x, 그리고 y를 이용하여 노드는 삼각형을 구성하게 된다. 이러한 삼각형 구성을 통하여 노드 u는 이웃 노드로부터 측정된 거리 및 위치를 이용하여 자신의 위치를 보상할 수 있다.

3. 실험 결과

제안된 알고리즘의 성능 분석을 위하여 우리는 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 측정 위치는 실제 위치와 다음과 같은 차이를 갖도록 모델링하였다.

$$X_{est} = X_{real} + X_{\sigma} \qquad (1)$$

두 노드 사이에 측정된 거리는 log-normal shadowing모델

을 통하여 다음과 같이 이루어진다.

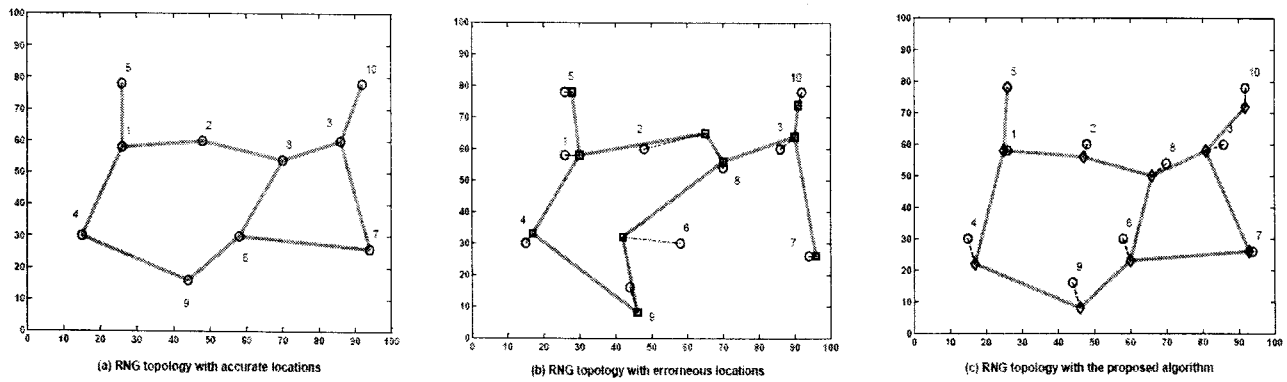


그림 5. 시뮬레이션 결과

$$\tilde{d}_{uv} = d_0 10^{-\frac{RSS_{uv} - P_0 - X_\sigma}{10\eta}} \quad (2)$$

위치 에러에 의한 영향을 분석하기 위하여 우리는 노드 2번과 노드 6번에 큰 위치 오차를 부여하였다. 그림 5는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 노드 2번과 6번에 대한 위치가 제안된 알고리즘을 통하여 효율적으로 보상됨을 알 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameters	Description	Value
X	Network diameter	100m
R	Radio range	40m
d_0	Reference distance	1m
P_0	Path loss for d_0	-40dBm
η	Path loss exponent	3.0
σ	Standard deviation of RSS	1dBm

제안된 알고리즘의 네트워크 성능을 분석하기 위하여 우리는 ns-2를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위하여 노드 5번과 노드 1번은 패킷을 6번 노드로 보내고, 노드 4번과 2번은 패킷을 노드 7번으로 보낸다. 시뮬레이션 결과는 표 2와 같다. Average path length 및 average delay는 소스 노드에서 목적지 노드까지의 패킷의 평균 홉 수 및 평균 전송 시간이다.

표 2. NS2 성능 분석 결과

Performance results	Erroneous locations	Proposed algorithm
Path length	3.291	2.282
Average delay	7.367	5.816 ms
Packet success rate	99.49	99.51 %

위 결과에서 알 수 있듯이 두 가지 경우 모두 패킷 성공률(PSR)은 비슷하게 나오는 것을 알 수 있다. 하지만, Path length는 약 1 그리고 average delay는 약 2ms 정도 감소됨을 알 수 있다. 이러한 시뮬레이션 결과는 제안된 알고리즘이 효율적으로 위치 에러를 보상함으로써 네트워크의 성능을 향상키는 것을 보인다.

4. 결론 및 향후 전망

무선 센서 네트워크의 위치 기반 라우팅에서 노드 위치의 에러는 심각한 성능저하를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 효율적인 위치 에러를 보상해주는 알고리즘을 제안하였다. 기본적인 방식은 각각의 노드가 두 가지 방식의 RNG 구성을 통하여 위치 에러를 검출하고 이를 바탕으로 노드의 위치를 보상해주는 방식이다. 위치 에러 보상 방식은 주변 노드 간 측정 거리를 통하여 삼각 측량을 수행한다. 시뮬레이션 결과를 통하여 우리는 위치 에러가 무선 센서 네트워크의 위치 기반 라우팅에 미치는 영향을 분석하였다. 제안된 알고리즘은 무선 센서 네트워크에서 위치 에러를 효율적으로 보상해주고 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] B. Karp, and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks", Proc. MOBICOM, pp.243-254,Boston, USA, Aug 2000.

[2] K. Seada, A. Helmy, and R. Govindan, "On the effect of localization errors on geographic face routing in sensor networks", Proc. IPSN, pp.71-80, Berkely, USA, April 2004.

[3] Y. Kim, R. Govindan, B. Karp and S. Shenker, "Geographic routing made practical", Proc. NSDI, pp.217-230, Boston, USA, April 2005.

[4] G. Mao, B. Fidan, B. D. O. Anderson, "Wireless sensor network localizationo techniques", Computer Networks, vol.51, no.10, pp.2529-2553, 2007.

[5] J. Cartigny, D. Simplot, I. Stojmenovic, "Localizedminimum-energy broadcasting in ad-hoc networks", Proc. INFOCOM, pp.2210-2217, San Francisco, USA, April 2003.

[6] X. Ji, H. Zha, "Sensor positioning in wireless ad-hoc sensor networks using multidimensional scaling", Proc. INFOCOM, pp.2652-2661, Hong Kong, China, March, 2004.