

이동 센서 네트워크를 위한 통신 프로토콜

김형진^o 김래영 송주석
연세대학교 컴퓨터과학과

{hyoung^o, leon, jssong}@emerald.yonsei.ac.kr

Communication Protocol for Mobile Sensor Networks

Hyoungjin Kim^o Laeyoung Kim Jooseok Song
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

최근 Robomote, Robotic Sensor Agents(RSA)와 같은 이동 센서의 등장으로 인해 이동 센서네트워크(MSN: Mobile Sensor Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 기존의 이동 센서네트워크에 대한 연구는 주로 기존의 고정 센서네트워크(SSN: Stationary Sensor Network)에서 발생하는 문제점인 coverage hole을 해결하는데 초점을 맞추고 있다. 이러한 연구들에서는 이동 센서들에게 부여된 이동 능력을 최대한 활용하지 못하는 단점을 안고 있다. 이를 해결하기 위해 이동 센서에게 지속적인 이동성을 부여함으로써 고정 센서네트워크에 비해 더 넓은 영역을 센싱하도록 제안한 연구가 있으나, 그 연구가 아직 초기 단계로써 이동 센서의 지속적인 이동으로 인한 싱크 노드로의 통신 경로 설정 및 데이터 전송 문제에 대해서는 논하고 있지 않다. 이에 본 논문에서는 지속적인 이동성을 갖는 이동 센서로 구성된 이동 센서네트워크 환경에서 효율적으로 경로 설정 및 데이터 전송을 가능하게 하는 통신 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜에서는 이동 센서와 함께 고정 센서를 배치함으로써 고정 센서가 이동 센서를 대신하여 싱크 노드로 센싱 데이터를 전송하도록 한다. 시뮬레이션을 이용한 성능 평가를 통해 제안한 통신 프로토콜이 기존의 고정 센서네트워크에 비해 센싱 영역 성능에서 우수함을 보여준다.

1. 서 론

최근 Robomote[1], Robotic Sensor Agents(RSA)[2]와 같이 이동성을 갖는 이동 센서(MS: Mobile Sensor)의 등장으로 인해 이동 센서네트워크(MSN: Mobile Sensor Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이동 센서네트워크 환경에서는 이동 센서의 위치 이동 능력으로, 고정 센서(SS: Stationary Sensor)로만 구성된 고정 센서네트워크(SSN: Stationary Sensor Network)에 비해 센싱 영역(coverage)을 확장할 수 있다는 장점을 갖고 있다[3-7]. 또한 이동 센서네트워크를 사람이 직접 탐지하기 어려운 화산, 지진 등의 자연재해 현장과 군사 목적에도 효과적으로 사용할 수 있다[4].

센서네트워크의 경우 보통 센서를 배치할 때 비행기 등을 이용하여 센서를 랜덤하게 뿌리기 때문에 센서가 닿을 수 없는 coverage hole이 존재할 가능성이 높다. 따라서 대부분 이동 센서네트워크와 관련된 기존 연구는 coverage hole 문제를 해결하기 위하여 이동 센서를 이용하는 방안을 연구하고 있다[4-6]. 이러한 기존의 연구들은 이동 센서들이 coverage hole을 채우기 위해 움직일 때를 제외하고는 고정 센서와 마찬가지로 대부분의 시간을 정지해 있다. 더욱이 대부분의 이동 센서들은 초기에 뿌려진 후 한 번도 이동하지 않기 때문에 이동 센서의 장점을 최대한 살리지 못하는 단점을 안고 있다[7].

이러한 단점을 보완하기 위해, 즉 이동 센서의 이동성을 최대한 활용하기 위해 [7]에서는 모든 이동 센서를 랜덤한 방향과 지속적인 속도로 움직이게 하는 방안을

제안하였다. 이 연구에서는 모든 센서들이 지속적으로 움직일 경우 고정 센서네트워크에 비해 더 넓은 영역을 센싱할 수 있음을 수학적으로 증명하였다. 또한 침입자 탐지 시스템에 대한 방안으로, 이동 센서들이 일정한 주기로 균등하게 방향을 바꿔 움직이게 되면 짧은 시간 안에 침입자를 탐지할 수 있음을 증명하였다. 하지만 이 연구에서는 센서들의 지속적인 이동에 따른 싱크 노드(sink node)로의 통신 경로 설정 및 수집한 데이터에 대한 전송 방안에 대해서는 논하고 있지 않다.

본 논문에서는 이처럼 이동 센서가 지속적으로 이동함으로써 발생하는 경로 설정 및 데이터 전송의 문제점을 해결하기 위하여 지속적인 이동성을 갖는 이동 센서네트워크를 위한 통신 프로토콜을 제안하고자 한다. 제안하는 방안에서는 이동 센서와 함께 고정 센서를 배치함으로써 고정 센서가 이동 센서를 대신하여 싱크 노드로 센싱 데이터를 전송하도록 한다. 이동 센서는 센싱한 데이터를 가장 가까운 위치에 있는 고정 센서에게만 전송하면 되고 싱크 노드로의 라우팅에는 참여하지 않는다. 고정 센서가 이동 센서로부터 받은 데이터를 고정 센서들 간에 설정된 경로를 이용하여 싱크 노드로 전달함으로써 이동 센서의 지속적인 이동에 따른 경로 설정 및 데이터 전송 문제를 해결할 수 있다. 지속적으로 움직이는 이동 센서의 경우 고정 센서에 비해 에너지가 더 빨리 소모되는 단점을 갖고 있으나 이는 태양열을 이용한 배터리 충전[8], 이동 센서가 직접 센서들에게 에너지를 전달해주는 배터리 충전[9], 진동을 이용한 배터리 충전[10] 등의 방식으로 해결이 가능하기 때문에 더 이상 큰 문제가 되지 않는다.

2장에서는 본 논문에서 제안하는 지속적인 이동성을 갖는 이동 센서네트워크를 위한 통신 프로토콜에 대해서

자세히 살펴보면, 3장에서는 제안한 방식의 성능을 센싱 영역 측면에서 평가한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 이동 센서네트워크를 위한 통신 프로토콜

2.1 이동 센서네트워크의 배치

본 논문에서 제안하는 이동 센서네트워크는 일정한 속도로 랜덤한 방향으로 움직일 수 있는 이동 센서와 이동 능력이 없는 고정 센서로 구성된다. 이동 센서는 센싱과 통신 기능을 수행하며, 고정 센서는 센싱과 통신 기능에 더해 싱크 노드로의 라우팅 기능도 수행한다. 따라서, 이동 센서의 지속적인 위치 이동으로 인하여 발생하는 싱크 노드로의 경로 설정의 어려움을 고정 센서가 해결하여 준다. 본 논문에서는 모든 고정 센서가 하나 이상의 이웃 고정 센서와 통신이 가능한 범위에 있다고 가정한다. 그림 1은 제안하는 이동 센서네트워크의 배치(deployment)를 보여준다.

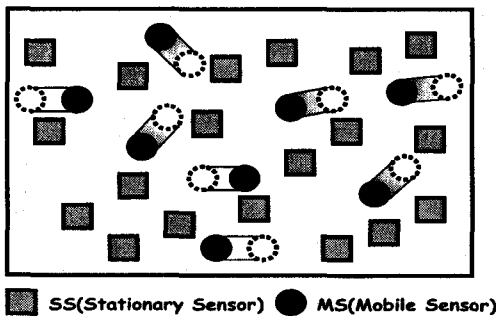


그림 1. 제안하는 이동 센서네트워크의 배치

2.2 경로 설정

센서네트워크를 구성하기 위해 센서들이 배치된 후, 고정 센서들 간의 경로 설정 과정이 수행된다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 지속적인 이동성을 갖는 이동 센서네트워크를 위한 통신 프로토콜(CPMSN: Communication Protocol for Mobile Sensor Networks)의 경로 설정 과정을 보여주며, 이를 자세히 살펴보면 다음과 같다.

단계 1. 통신 경로를 만들기 위해 싱크 노드는 RTMR(Request To Make Routing) 메시지를 만들어 모든 고정 센서들에게 브로드캐스트한다. 여기에서 RTMR 메시지는 해당 RTMR 메시지를 전송한 이전 센서(또는 싱크 노드)를 나타내는 Source 필드, 싱크 노드로부터 RTMR 메시지를 수신한 센서까지의 홉 수를 나타내는 Hop Count 필드로 구성된다. 싱크 노드는 RTMR 메시지의 Source, Hop Count 필드를 각각 0, 1로 초기화하여 보낸다.

단계 2. RTMR 메시지를 받은 고정 센서는 RTMR 메시지에 있는 Hop Count 필드 값과 그림 3과 같은 자신의

경로 정보 테이블에 저장되어 있는 Hop Count 필드 값을 비교한다. 이때 RTMR 메시지의 Hop Count 필드 값이 더 작으면 단계 2-1을 수행하고, 그렇지 않으면 단계 2-2를 수행한다. 고정 센서가 가지고 있는 경로 정보 테이블의 Previous Sensor, Next Sensor, Hop Count 필드의 초기 값은 각각 -1, -1, ∞이다.

단계 2-1. 고정 센서는 수신한 RTMR 메시지의 Hop Count 필드 값과 Source 필드 값을 자신의 경로 정보 테이블의 Hop Count와 Previous Sensor 필드에 저장한다.

RTMR 메시지에 대한 응답으로 CRR(Cover Routing Reply) 메시지를 생성하여 RTMR 메시지를 보낸 고정 센서에게 전송한다. CRR 메시지는 해당 CRR 메시지를 전송한 센서를 나타내는 Source 필드, RTMR 메시지를 전송한 이전 센서(또는 싱크 노드)를 나타내는 Destination 필드로 구성된다. 단계 3을 수행한다.

단계 2-2. 고정 센서 자신의 경로 정보 테이블을 변경 없이 그대로 유지한다. 단계 4를 수행한다.

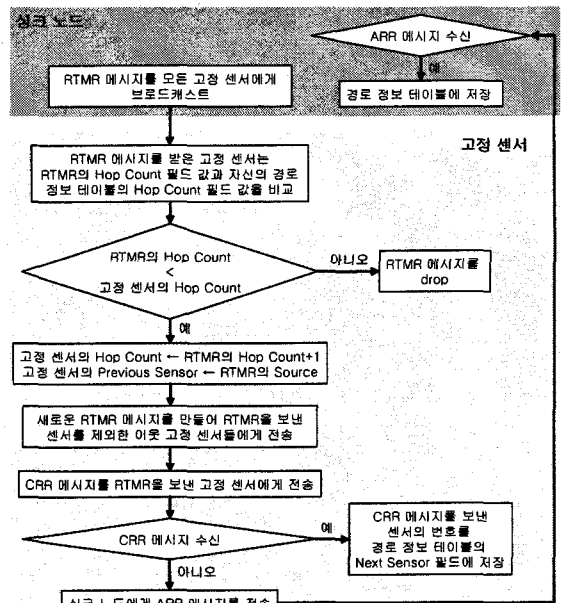


그림 2. CPMSN의 경로 설정 과정

Previous Sensor	Next Sensor	Hop Count
S_0	S_1, \dots, S_k	1

그림 3. 고정 센서의 경로 정보 테이블

단계 3. 고정 센서는 Source, Hop Count 필드 값이 각각 자신의 노드 번호, 자신의 경로 정보 테이블의 Hop Count 필드 값에 1을 더한 값으로 설정된 RTMR 메시지를 만들어 자신에게 RTMR 메시지를 보낸 고정 센서를 제외한 이웃 고정 센서들에게 전송한다.

단계 4. 새로운 RTM 메시지를 보낸 고정 센서는 일정 시간 동안 CRR 메시지를 기다린다. CRR 메시지를 받은 고정 센서는 CRR 메시지의 Destination 필드 값이 자신과 일치할 경우, CRR 메시지를 보낸 고정 센서의 번호를 자신의 경로 정보 테이블에 있는 Next Sensor 필드에 저장한다. 여러 개의 센서들로부터 CRR 메시지를 받은 경우에는 CRR 메시지의 Destination 필드 값이 자신과 일치하면 이를 보낸 센서들의 번호를 모두 Next Sensor 필드에 저장한다.

만약, 일정시간 안에 CRR 메시지를 받지 못하면 고정 센서는 자신의 위치가 통신 경로의 끝이라고 간주하고 싱크 노드에게 ARR(Assure Routing Reply) 메시지를 전송한다. 이때 ARR 메시지는 해당 ARR 메시지를 전송한 센서를 나타내는 Source 필드와 해당 ARR 메시지를 전송한 센서의 Hop 수를 나타내는 Hop Count 필드로 구성되며, 이미 완성된 최적의 통신 경로를 따라 싱크 노드까지 전송된다.

단계 5. 싱크 노드가 ARR 메시지를 받으면 ARR 메시지에 담겨진 경로 정보를 싱크 노드 자신의 경로 정보 테이블에 저장한다. 싱크 노드의 경로 정보 테이블은 통신 경로의 마지막 센서를 나타내는 Destination 필드, 해당 경로의 최대 Hop 수를 나타내는 Hop Count 필드로 구성된다.

전송하며, 이를 받은 고정 센서가 최적의 통신 경로를 이용하여 데이터를 싱크 노드로 전송한다. 그림 4는 앞에서 설명한 CPMSN의 데이터 전송 과정을 보여주며, 그림 5는 이동 센서가 고정 센서에게 센싱 데이터를 전송하는 예를 보여준다.

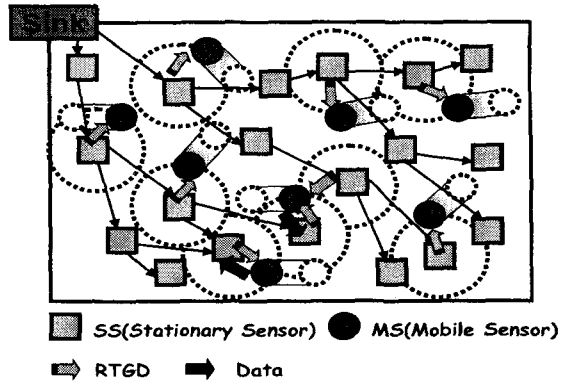


그림 5. 이동 센서가 고정 센서에게 센싱 데이터를 전송하는 예

2.3 데이터 전송

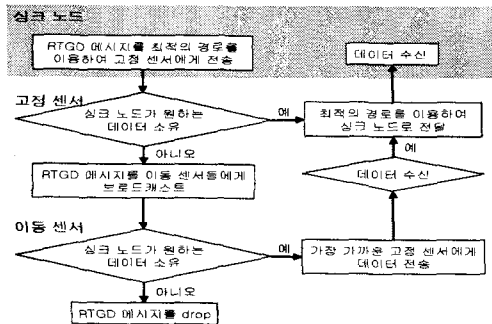


그림 4. CPMSN의 데이터 전송 과정

고정 센서 또는 이동 센서들이 센싱한 데이터를 수집하기 위해 싱크 노드는 RTGD(Request to Get Data) 메시지를 통해 센서들에게 데이터를 요청한다. 여기서 데이터는 싱크 노드가 얻고자 하는 정보로 특정 지역의 온도, 습도 등을 예로 들 수 있다. RTGD 메시지는 경로 설정 과정을 통해 이미 정해져 있는 최적의 통신 경로를 따라 고정 센서들에게 전송된다. 고정 센서가 싱크 노드가 원하는 데이터를 소유한 경우에는 자신이 수집한 데이터를 최적의 통신 경로를 이용하여 싱크 노드로 전송한다. 그렇지 않은 경우에는, 고정 센서가 RTGD 메시지를 자신의 통신 범위 내에 있는 이동 센서들에게 브로드캐스트한다. RTGD 메시지를 받은 이동 센서들 중 싱크 노드가 원하는 센싱 데이터를 가지고 있는 이동 센서는 자신이 갖고 있는 데이터를 가장 가까운 고정 센서에게

3. 성능 평가

본 장에서는 제안한 프로토콜인 CPMSN의 센싱 영역 성능을 NS2를 이용하여 이동 센서가 없이 고정 센서로만 구성된 고정 센서네트워크(SSN)와 비교하였다.

제안한 CPMSN의 센싱 영역에 대한 성능을 측정하기 위한 시뮬레이션 토폴로지 구성은 30×30m²의 면적에 이동 센서와 고정 센서의 수가 전체 센서에서 각각 25%와 75%를 차지하도록 하였으며 랜덤하게 위치하도록 하였다. 또한, 이동 센서의 움직임을 효율적으로 시뮬레이션하기 위해 이동 센서는 일정한 속도(0.5m/s)로 움직이게 하였고 동일한 방향으로 5m를 이동한 뒤에는 그 방향이 랜덤하게 바뀌도록 설정하였다. SSN의 경우에도 30×30m² 면적의 시뮬레이션 토폴로지를 사용하였다.

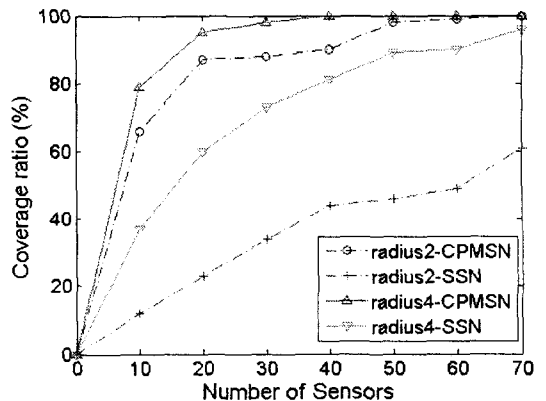


그림 6. 센서의 개수에 따른 센싱 영역 (%)

그림 6은 네트워크를 구성하는 센서의 개수에 따라 CPMSN과 SSN이 네트워크의 전체 면적에서 몇 퍼센트의 영역을 센싱할 수 있는지를 나타내는 그림이다. SSN과 제안하는 CPMSN에 대하여 센서의 센싱 반경을 2m와 4m로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 고정 센서로만 구성된 SSN의 경우, 센서의 수가 늘어날수록 센싱 영역의 비율은 커진다. 또한, SSN에서 동일한 수의 센서를 사용하면, 센서의 센싱 반경이 더 큰 경우에 더 넓은 영역을 센싱할 수 있음을 볼 수 있다. 하지만 SSN은 센싱 반경이 4m인 센서 50개를 사용하면 89%의 영역만을 센싱할 수 있지만 본 논문에서 제안하는 CPMSN은 센서의 센싱 반경이 2m와 4m일 때 50개의 센서로 각각 전체 네트워크의 98%와 100%를 센싱할 수 있음을 보여준다. 이는 제안한 CPMSN이 SSN과 비교하여 더 작은 개수의 센서를 가지고도 이동 센서의 이동성으로 인해 더 넓은 영역을 센싱할 수 있음을 보여준다.

4. 결론

본 논문에서는 지속적인 이동성을 갖는 이동 센서로 구성된 이동 센서네트워크 환경에서 효율적으로 경로 설정 및 데이터 전송을 가능하게 하는 통신 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 프로토콜에서는 이동 센서와 함께 고정 센서를 배치함으로써 고정 센서가 이동 센서를 대신하여 싱크 노드로 센싱 데이터를 전송하도록 한다. 이동 센서로부터 데이터를 전달받은 고정 센서는 고정 센서들 간에 설정된 경로를 이용하여 싱크 노드로 전달함으로써 이동 센서의 지속적인 이동에 따른 경로 설정 및 데이터 전송 문제를 해결할 수 있다. 시뮬레이션을 이용한 성능 평가를 통해 제안한 CPMSN이 기존의 고정 센서네트워크에 비해 센싱 영역 성능에서 우수함을 보여주었다.

향후 연구 과제로, 제안한 프로토콜의 트래픽 오버헤드 성능을 고정 센서네트워크에서 대표적으로 사용되는 통신 프로토콜들과 비교하고자 한다.

5. 참고 문헌

- [1] K. Dantu, M. Rahimi, H. Shah, S. Babel, A. Dhariwal and G. S. Sukhatme, "Robomote: Enabling Mobility in Sensor Networks," IPSN 2005, pp. 404-409, April 2005.
- [2] E. M. Petriu, T. E. Whalen, R. Abielmona and A. Stewart, "Robotic Sensor Agents: a New Generation of Intelligent Agents for Complex Environment Monitoring," IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, Vol. 7, No. 3, pp. 46-51, Sept. 2004.
- [3] T. L. Chin, P. Ramanathan, K. K. Saluja and K. C. Wang, "Exposure for Collaborative Detection using Mobile Sensor Networks," IEEE International Conference Mobile Adhoc and Sensor Systems

Conference 2005, pp. 743-750, Nov. 2005.

- [4] Y. Zou and K. Chakrabarty, "Sensor Deployment and Target Localization based on Virtual Forces," IEEE INFOCOM 2003, Vol. 2, pp. 1293-1303, March 2003.
- [5] G. Wang, G. Cao and T. L. Porta, "Movement-assisted Sensor Deployment", IEEE INFOCOM 2004, Vol. 4, pp. 2469-2479, March 2004.
- [6] G. Wang, G. Cao, T. L. Porta and W. Zhang, "Sensor Relocation in Mobile Sensor Networks," IEEE INFOCOM 2005, Vol. 4, pp. 2302-2312, March 2005.
- [7] B. Liu, P. Brass, O. Dousse, P. Nain and D. Towsley, "Mobility Improves Coverage of Sensor Networks," ACM MobiHoc 2005, pp. 300-308, May 2005.
- [8] K. Lin, J. Yu, J. Hsu, S. Zahedi, D. Lee, J. Friedman, A. Kansal, V. Raghunathan and M. Srivastava, "Heliomote: Enabling Long-Lived Sensor Networks Through Solar Energy Harvesting," ACM SenSys 2005, pp. 309-309, Nov. 2005.
- [9] M. Rahimi, H. Shah, G. S. Sukhatme, J. Heideman and D. Estrin, "Studying the Feasibility of Energy Harvesting in a Mobile Sensor Network," IEEE ICRA 2003, Vol. 1, pp. 19-24, Sept. 2003.
- [10] Y. Ammar, A. Buhrig, M. Marzencki, B. Charlot, S. Basrou, K. Matou and M. Renaudin, "Wireless Sensor Network Node with Asynchronous Architecture and Vibration Harvesting Micro Power Generator," ACM Joint sOc-EUSAI 2005, pp. 287-292, Oct. 2005.