

무선 센서 망에서 위치 정보를 이용한 에너지 효율적인 통신 프로토콜

(An Energy Efficient Communication Protocol using Location Information in Wireless Sensor Networks)

진민숙 [†] (Min-Sook Jin)	박호성 [†] (Hosung Park)	이의신 [†] (Euisin Lee)
김태희 ^{**} (Taehee Kim)	이정철 [†] (Jeongcheol Lee)	김상하 ^{***} (Sang-Ha Kim)

요약 많은 연구자들은 무선 센서 망에서 싱크들과 소스들간의 효율적인 데이터 전송을 위한 지리정보라우팅을 설명해왔다. 지리 정보를 알기 위해, 지리정보라우팅은 두 가지 방법을 제공해왔다. 싱크가 자신의 위치 정보를 주변에 뿌려 위치 정보 플러딩을 하는 sink-initiated와 소스가 자신의 위치 정보를 주변에 뿌려 위치 정보를 플러딩하는 source-initiated가 있다. 그러나, 그 방법들은 두 가지 문제를 가지고 있다. 첫 번째는 싱크와 소스가 움직일 때마다, 그들의 위치 정보를 플러딩한다. 두 번째는 그들 위치 정보는 실제적으로 데이터를 보내고 받는 노드 이외에 불필요한 노드들까지 전달된다. 그래서, 망 전체에 불필요한 에너지 소비문제가 있다. 그러므로, 이 논문은 소수의 싱크들과 소수 소스들 사이에 데이터를 효율적으로 전달하여 에너지 소비문제를 해결할 수 있는 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 싱크들과 소스들의 이동에 대하여 위치 정보를 관리하는 위치 정보 매니저를 이용한다. 실험은 기존에 제안된 프로토콜들과 성능 분석하였다.

키워드 : 브로커, 그리드, 이동 싱크, 라우팅 프로토콜, 센서망

Abstract Many researches in wireless sensor networks have used a geographic routing to effectively disseminate data between sinks and sources. To know the location information, the geographic routing has proposed two manners. A sink-initiated and a source-initiated are flooding to disseminate its location information in WSN. However, these two manners have two problems. Firstly, whenever they move, they flood their location information. Secondly, their location information is disseminated unnecessary nodes besides nodes which send and receive data in actually. Therefore, this paper proposes a protocol that can solve the two problems and disseminate effectively data between few sinks and few sources. The proposed protocol exploits a location information manager that manages location information of the sinks and the sources. We also compare the performance of the proposed protocol with the existing protocols through a simulation.

Key words : broker, grid, mobile sink, routing protocol, sensor network

· 본 연구는 충남대학교 컴퓨터공학과 BK21 차세대정보기술SW인력양성사업단 지원으로 수행하였습니다.

· 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '무선 센서 망에서 위치 정보를 이용한 에너지 효율적인 통신 프로토콜'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과
badamui@cclab.cnu.ac.kr
hspark@cclab.cnu.ac.kr
eslee@cclab.cnu.ac.kr
jcllee@cclab.cnu.ac.kr

** 비회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과
thkim@cclab.cnu.ac.kr

*** 종신회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수
shkim@cnu.ac.kr
(Corresponding author)
논문접수 : 2008년 8월 25일
심사완료 : 2009년 4월 17일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제4호(2009.8)

1. 서론

무선통신과 전자기술의 발전으로 센서 노드를 개발했다. 그 센서 노드는 작은 크기이고, 계산능력이 있으며, 한정된 에너지를 가지고 있다. 이런 조건을 가진 센서 노드를 이용하여 무선 센서 망에서 필요한 정보를 얻을 수 있는 방법에 대한 다양한 연구가 이루어져왔다. 이런 연구들은 다수의 센서 노드들을 무작위로 넓은 무선 센서 망에 뿌려진 환경에서 시작한다.

일반적으로, 무선 센서 망은 이벤트, 소스, 에이전트 그리고 싱크로 구성된다. 이벤트는 무선 센서 망에서 얻고자 하는 정보를 가지고 있는 하나의 개체이다. 소스는 이벤트를 감지하고 이벤트의 정보를 구하는 에이전트에게 데이터를 전달하는 역할이다. 에이전트는 싱크에서 가까운 한 노드로서, 싱크의 요구사항을 무선 센서 망에 알리고, 획득한 데이터를 싱크에게 전달한다. 싱크는 사용자라고도 하며, 무선 센서 망에서 원하는 정보를 구하기 위해 지시하고 받는다. 일반적으로 데이터 전송은 다음과 같이 이루어진다. 싱크는 원하는 정보를 에이전트를 통해 쿼리 패킷(Query-packet)을 무선 센서 망에 플러딩한다. 원하는 정보를 가진 이벤트를 감지한 소스는 쿼리 패킷을 보낸 에이전트에게 데이터를 전송한다. 에이전트는 싱크에게 데이터를 전달한다.

이런 연구는 사람이 수시로 직접 임무를 수행하기 어려운 전투 지역이나 자연재해지역에서 응용한다. 예를 들어, 전투 지역에서 어디에 적군의 탱크가 있는지에 대한 정보를 찾는다. 이때 군인인 싱크와 탱크인 이벤트는 이동하므로 이동성을 지원해야 한다. 실제적으로, 센서 노드들을 응용에 적용시켰을 때, 이동하는 이벤트 또는 싱크를 찾고 데이터를 전송하기 위해 라우팅이 진행되면서 에너지를 많이 소모하게 된다. 왜냐면, 각각의 센서 노드들은 한정된 에너지를 가지고 있기 때문이다. 그러므로, 센서 노드들의 에너지 소비를 줄이기 위해, GPS(Global Positioning System) 또는 위치정보를 알 수 있는 알고리즘으로 이벤트와 싱크의 위치정보를 알아야 한다.

위치정보를 알기 위한 연구는 다음과 같다. 싱크가 자신의 위치 정보를 무선 센서 망에 뿌려 위치 정보 플러딩을 하는 sink-initiated 방법이 있다[1]. 그리고, 이벤트가 자신의 위치 정보를 무선 센서 망에 뿌려 위치 정보를 플러딩하는 source-initiated 방법이 있다[2]. 그러나, 이 방법들은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 하나는 싱크와 이벤트가 움직일 때마다, 그들의 위치 정보를 무선 센서 망 전체에 플러딩해야 하는 문제점이 있다. 나머지 하나는 플러딩한 위치 정보가 실제적으로 데이터를 보내고 받는 노드 이외에 불필요한 센서 노드들까지

전달된다. 이런 문제점들은 에너지가 한정된 센서 노드들에게 매우 비효율적인 방법일 뿐만 아니라, 데이터 전송 지연도 초래한다. 그것은 망 수명을 줄게 하는 주요 요인이 된다. 따라서, 무선 센서 망에서 불필요한 플러딩 문제를 해결하여 에너지를 절약하는 방법을 연구해야 한다.

그래서, 본 논문은 소수의 싱크들과 소수의 이벤트들 사이에 데이터를 효율적으로 전달하여 에너지 소비 문제점들을 해결할 수 있는 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 에이전트들과 소스들의 위치 정보를 관리하는 위치 정보 매니저인 브로커(Broker)를 이용한다. 브로커는 다른 센서 노드들에 비해서 충족한 에너지를 가지고 있으며, 각각의 소스와 싱크의 위치정보를 저장할 수 있는 저장공간을 가지고 있다. 이러한 기능을 가진 브로커는 대상지역에 한번의 설치로 제안한 프로토콜을 수행할 수 있다. 브로커는 주기적으로 갱신된 에이전트와 소스의 위치 정보를 가지고 있고, 브로커는 요청된 위치 정보를 에이전트 또는 소스에게 제공하여 그들 사이에 데이터를 직접 전송할 수 있다. 그래서, 본 논문은 센서 노드들의 전송지연을 줄이고 에너지 소비를 절약하여 망 수명을 연장 시킨다.

본 논문은 다음과 같이 구성한다. 2장은 무선 센서 망에서 sink-initiated 라우팅 프로토콜과 source-initiated 라우팅 프로토콜을 설명한다. 3장은 본 논문에서 제안하는 이동성을 보장하는 소수-대-소수의 싱크와 이벤트 간에 에너지 효율적인 데이터 전송 프로토콜을 설명한다. 4장은 실험으로 기존 라우팅 프로토콜과 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜을 비교하여 성능 평가 결과를 기술한다. 마지막으로 5장은 결론과 향후 연구 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

에너지 소비 문제는 무선 센서 망에서 매우 중요한 이슈이다. 특히, 이벤트와 싱크가 이동성을 가지고 있을 때, 데이터 전송을 위하여 센서 노드들의 에너지 소모가 증가한다. 그래서, 망 수명에 영향을 주는 에너지 보존 문제가 연구되고 있다. 그 연구들 중에서 그리드(Grid)를 이용하여 이벤트와 싱크의 이동을 감지하여 데이터를 전송하는 연구가 있다[1,2]. 또한, [3]은 클러스터 헤드(Cluster head)를 이용하여 이동하는 개체의 위치 정보를 보관하여 데이터 전송하는 연구이다. 그러나, 이 논문은 클러스터 헤드를 사용하지 않는 본 논문의 제안 메커니즘과 접근 방식이 다르므로 향후 연구 논문으로서 성능분석을 비교하겠다.

Sink-initiated 라우팅 프로토콜에 대한 관련연구로 EEDD(Energy-Efficient Data-Dissemination)가 있다

[1]. EEDD는 무선 센서 망에 가상으로 그리드를 만들고, 싱크는 그리드를 이용하여 자신의 정보를 불러당한다. 각 셀(Cell)의 그리드 헤드(Grid head)는 싱크의 전송 정보를 가지고 있다. 이벤트를 감지한 소스는 가까운 거리에 있는 그리드 헤드로부터 싱크의 전송 정보를 받는다. 소스는 에이전트에게 사선경로(Diagonal path)로 직접 데이터를 전송한다. 이 프로토콜은 싱크가 쿼리 패킷을 불러당 하기 때문에 적은 수의 싱크일 때 유리하다. 그러나, 싱크가 많고 빈번히 이동 할 때, 쿼리 패킷의 불러당을 자주해야 한다. 이런 프로토콜은 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜이라고 볼 수 없다.

Source-initiated 라우팅 프로토콜의 관련연구로는 TTDD(Two-Tier Data Dissemination)가 있다[2]. 소스가 이벤트를 감지했을 때, 데이터를 싱크에게 전송하기 위해서 무선 센서 망에 그리드를 만든다. 그리드의 각 교차점에서 가장 가깝게 위치한 센서 노드는 전송 노드(Dissemination node)가 되고 데이터 전송 정보를 가진다. 싱크는 가장 가깝게 있는 전송 노드를 찾기 위해 셀 크기 정도로 지역 불러당한다. 데이터 요구 쿼리 패킷을 받은 전송 노드는 자신이 가지고 있는 데이터 전송 정보를 이용하여 쿼리 패킷을 소스까지 전송한다. 이런 전송으로 데이터는 쿼리 패킷이 전송 노드에서 소스까지 간 경로를 역으로 하여 싱크까지 도달하는 방식이다. 이 프로토콜은 센서가 이벤트를 발견 할 때마다 그리드 구조를 만들기 때문에, 적은 수의 소스일 때 유리한 프로토콜이다. 만약 이벤트가 여러 곳에서 빈번히 발생하고 이동한다면, TTDD는 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜로는 적합하지 않다.

그래서, 본 연구는 기존 프로토콜의 문제점에 대하여, 싱크와 소스가 소수-대-소수이면서 이동할 때, 에너지 소비를 줄여서 에너지 효율적인 통신 프로토콜을 제안한다.

3. 제안 메커니즘

본 장에서는 서론에서 언급한 바와 같이 위치정보를 관리하는 매체를 이용하여 불필요한 불러당 없이 소스와 에이전트간의 직접적인 데이터 전송을 하도록 하는 프로토콜에 대해서 자세히 설명한다.

3.1 네트워크 환경

본 논문에서 제안하는 프로토콜의 무선 센서 망은 다음과 같이 이루어져 있다. 많은 수의 센서 노드들이 무선 센서 망에 무작위로 분포한다. 센서 노드들은 고정되어 있으며, 자신의 위치를 GPS와 같은 위치정보를 알 수 있는 알고리즘으로 알고 있다. 무선 센서 망에는 데이터를 가지고 있는 이벤트와 데이터를 수집하는 싱크로 구성된다. 그리고 이벤트를 감지하여 데이터와 자신

의 위치 정보를 전달하는 인근의 센서 노드인 소스가 있고, 싱크 인근에 있으면서 싱크의 정보를 알려주면서 데이터를 받는 에이전트가 있다. 또한, 소스와 에이전트 사이에 데이터 전송을 효율적으로 전송하기 위해 중간 매체인 브로커도 구성된다. 센서 노드들은 자신의 위치를 알고 있듯이, 브로커의 위치도 알고 있다. 브로커는 기존의 센서 노드들과 비교해보면 에너지가 더 많고, 계산능력과 저장공간을 확보한 base-station으로서 무선 센서 망의 중간 지점에 존재한다. 브로커는 이벤트와 싱크가 이동할 때마다 소스와 에이전트의 위치 정보를 확보하여 필요할 때마다 그들 위치 정보를 제공할 수 있다. 또한, 데이터 전송에 실패했을 때 재전송할 수 있도록 도와주는 중간 매체이다. 우리는 브로커를 이용해서 에너지 소모를 줄이고, 안전하고 빠르게 데이터 전송을 할 수 있는 메커니즘을 제안했다.

브로커와 소스 그리고 에이전트의 메모리에 저장하고 있는 항목은 다음과 같이 구성된다. Event type은 데이터를 구별하기 위한 것으로서 전쟁지역에서 탱크인지, 트럭인지 등을 구별할 수 있는 것이다. 이 항목을 보고 찾으려는 정보가 일치하는지를 알 수 있다. Present location은 이벤트나 싱크가 이동하였을 때, 이전에 그들이 이동하기 전의 소스나 에이전트의 위치를 저장하는 공간이다. 이 위치 정보를 이용해서 이벤트나 싱크가 이동 전에 데이터 전송을 했던 상대의 위치 정보를 알아오기 위한 항목이다. New location은 이벤트나 싱크가 이동하였을 때, 새로운 소스나 에이전트의 위치 정보로서 기존에 전송되는 데이터를 받는 새로운 위치이다. 이 위치 정보 역시, 이벤트나 싱크가 이동하였을 때 새로운 또 다른 소스나 에이전트에게 가게 되면 present location이 된다.

3.2 가정

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 다음과 같은 사항들을 가정한다.

- 넓은 지역의 무선 센서 망에 짧은 전송 범위를 가지는 센서 노드들이 대량으로 그리고 무작위로 분포되어 있다. 먼 거리의 데이터 전달은 멀티 홉 전송으로 이루어진다.
- 각각의 센서 노드들은 처음부터 특수한 목적을 가지고 배치되므로, 자신의 임무를 알고 있다.
- 각각의 센서 노드들과 싱크들은 브로커의 위치를 알고 있다.
- 이벤트가 발생하면, 이를 감지한 주위의 센서 노드들 중 하나가 소스가 되어 데이터를 생성한다.
- 데이터를 요청하는 싱크는 주위의 센서 노드들 중 하나가 에이전트가 되어 쿼리 패킷을 생성한다.
- 각각의 센서 노드는 GPS와 같은 시스템을 통해 자신

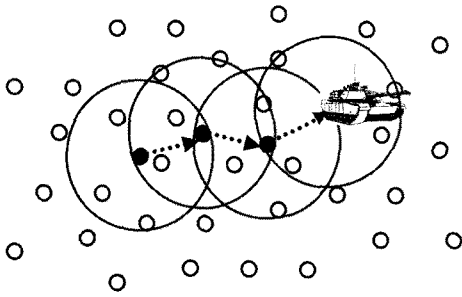


그림 1 이벤트 이동반경

의 위치 정보와 브로커의 위치 정보를 알고 있다.

- 이벤트와 싱크의 이동은 그림 1과 같이 라디오 반경 내에서 이루어진다.

이상은 효율적인 에너지 소모와 데이터 전송을 하기 위해 고려한 가정이다.

3.3 제안 프로토콜

본 논문에서 데이터 전송의 시작은 브로커를 통해서 이루어진다. 각각의 소스와 에이전트는 통신을 원하는 시점에 브로커에게 자신의 정보를 등록한다. 브로커는 등록된 정보를 관리한다. 소스는 이벤트를 찾는 정보가 있는지 브로커의 캐시 테이블에서 찾아보고, 적합한 정보가 있으면 해당 에이전트의 위치 정보를 받는다. 에이전트는 적합한 정보가 있는지 브로커의 캐시 테이블을 찾아보고, 찾는 소스의 정보가 있으면 그 위치 정보를 받아온다. 그리고 상대의 위치 정보를 이용해서 소스와 에이전트 간에 직접통신을 수행한다. 이때, 이벤트가 먼저 발생하든지, 싱크의 쿼리가 먼저 발생하든지 상관없다. 소스와 에이전트가 연결되면 이벤트나 싱크가 이동하더라도 이후의 통신은 지속할 수 있다.

3.3.1 브로커에 소스 및 에이전트 등록

브로커에 소스 등록은 다음과 같다. 이벤트가 감지되었을 때, 소스는 브로커에게 자신의 정보를 등록하기 위해 Source Registration Message(SRM)를 만들어 전송한다. SRM에는 Event type, Present location, 그리고 New location의 항목들을 포함한다.

이 항목들은 브로커가 소스들을 관리하는데 필요한 정보들이다. 이벤트를 처음 감지한 소스는 SRM의 event type에 자신의 이벤트 타입을 넣고, present location은 빈 상태로 두고, new location에 자신의 위치 정보를 넣는다. present location은 이후 이벤트가 이동할 경우에 사용되는 항목이다. 소스는 브로커의 위치 정보를 알고 있기 때문에 위치 기반 라우팅을 통해 SRM을 브로커에게 전송할 수 있다. 브로커는 소스가 전송한 SRM을 통해 소스의 정보를 저장하고 관리한다. 즉, 브로커가 SRM을 받았을 때, SRM의 present location 항

목이 비어있다면 처음 이벤트를 감지했다는 것으로 의미하므로 브로커는 캐시에 새로운 소스 entry를 추가한다. SRM에 present location 항목이 있다면, SRM의 event type 항목과 브로커의 소스 캐시의 event type 항목과 비교한다. 이 두 항목이 일치하면 같은 이벤트에 대한 정보라는 것을 의미하므로 브로커는 소스 캐시의 present location과 new location을 갱신한다. 만약, present location이 같고, event type이 일치하지 않는다면, 그것은 에이전트에서 요구하는 이벤트 타입이 다른 것이므로 새로운 소스 항목을 만든다.

브로커에 에이전트 등록은 다음과 같다. 에이전트는 이벤트의 데이터 정보를 수신하기 위해 쿼리 패킷을 만들어 브로커에게 전송한다. 쿼리 패킷은 소스와 브로커와 동일한 항목들을 포함한다.

이 항목들은 브로커가 에이전트들을 관리하는데 필요한 정보들이다. 에이전트는 event type에 찾는 이벤트 타입을 넣고, present location은 빈 상태로 두고 new location에 자신의 위치 정보를 넣는다. present location은 이후 싱크가 이동할 경우에 사용되는 항목이다. 에이전트는 브로커의 위치 정보를 알고 있기 때문에 위치 기반 라우팅을 통해 쿼리 패킷을 브로커에게 전송할 수 있다. 브로커는 에이전트가 전송한 쿼리 패킷을 통해 에이전트의 정보를 관리한다. 브로커는 쿼리 패킷을 수신하면 캐시에 존재하는 정보인지 확인한다. 즉, 쿼리 패킷의 present location 항목이 비어있다면 쿼리 패킷을 처음 보내는 에이전트를 의미하므로 브로커는 캐시에 새로운 에이전트 entry를 추가한다. 쿼리 패킷의 Present location 항목이 있다면, 쿼리 패킷의 event type 항목을 브로커의 에이전트 캐시의 event type 항목과 비교한다. 이 두 항목이 일치하면 같은 에이전트에 대한 정보라는 것을 의미하므로 브로커는 에이전트 위치 캐시의 present location과 new location을 갱신한다. 만약 present location은 같으나, event type이 일치하지 않는다면 찾는 이벤트가 다르므로 에이전트의 다른 개체를 만든다.

이벤트와 싱크의 이동으로 브로커를 포함한 각 항목의 정보수정은 표 1과 같다.

3.3.2 소스와 에이전트의 연결

브로커는 SRM이나 쿼리 패킷을 수신했을 때, 등록된 소스나 에이전트 정보를 이용하여 매치되는 event type이 있는지를 알려준다. 따라서, 브로커에서 event type에 대해 다음과 같이 4가지 상황이 생길 수 있다.

- case1: SRM 메시지 수신, 해당 싱크 없음
- case2: SRM 메시지 수신, 해당 싱크 있음
- case3: 쿼리 패킷 수신, 해당 소스 없음
- case4: 쿼리 패킷 수신, 해당 소스 있음

표 1 이벤트와 싱크의 이동에 따른 저장 정보 흐름

시작점	정보이동	이동1	정보이동	이동2
Event type	→	Event type	→	Event type
Present location	→	Present location	→	Present location
New location	→	New location	→	New location

Case1은 이벤트가 발생했지만, 어떤 싱크도 이벤트의 정보를 원하지 않는 경우다. 그러므로 브로커는 앞에서 언급했던 등록 과정 외에 아무런 일도 하지 않는다. case2는 이벤트가 발생했을 때 이미 그 이벤트 정보를 기다리고 있는 에이전트가 존재하는 경우다. 브로커는 매치되는 event type를 찾아 소스에게 전송한다. 그러면, 소스는 에이전트의 위치 정보를 알기 때문에 직접 통신 할 수 있다. case3는 에이전트가 이벤트 정보를 원하지만 아직 이벤트가 발생하지 않은 경우다. 브로커는 에이전트에게 찾는 이벤트가 존재하지 않는다는 메시지를 전송한다. case4는 에이전트가 이벤트 정보를 원할 때 이미 발생한 이벤트가 존재하는 경우다. 브로커는 수신한 쿼리 패킷에 매치되는 event type을 찾아 소스에게 전송한다. 브로커로부터 에이전트의 위치 정보를 얻은 소스는 에이전트에게 데이터 전송을 시작한다. 앞에서 언급한 상황에서 case2와 case4의 경우 브로커로부터 소스가 에이전트의 위치 정보를 수신한다. 따라서 소스는 위치 정보 기반 라우팅을 통해서 데이터를 멀티 홉으로 전송할 수 있다. 또한, 소스는 에이전트의 위치 정보를 수신하면 브로커가 에이전트 캐시를 갱신하는 방법과 동일하게 에이전트 캐시를 갱신한다. 에이전트 또한 소스의 위치 정보를 수신하면 소스 캐시를 갱신한다. 그래서, 이벤트나 싱크가 이동하여도 서로의 정보를 가지고 데이터 전송이 가능하다.

3.3.3 이벤트와 싱크의 이동

한 번 브로커에 의해 통신이 시작되면, 해당 이벤트와 싱크가 이동을 하더라도 브로커를 거치지 않고 계속해서 데이터 전송할 수 있다. 단지 새로운 소스와 에이전트가 선정될 때마다 브로커에 등록해야 한다. 이 과정은 데이터 전송을 시작하기 전에 필요하고, 뜻하지 않은 장애로 통신이 끊기게 됐을 때 혹은 새로운 이벤트나 싱크가 등장했을 때를 위해서 필요하다.

이벤트가 발생했을 때, 소스는 자신의 위치 정보를 new location에 저장하고 라디오 환경 내의 다른 센서 노드들에게 알린다. 표 1에서 보듯이, 이동한 이벤트를 감지한 새로운 소스에게 이전 소스의 위치 정보를 new location에서 present location으로 저장한다. 즉, 이벤트의 이동으로 이전 소스가 더 이상 이벤트를 감지할 수 없게 되면, 라디오 환경 내에 있는 새로운 센서 노드

가 이벤트 감지하여 새로운 소스가 된다. 이때 이전 소스는 새로운 소스에게 자신과 연결된 에이전트의 정보를 전송한다. 새로 선정된 소스는 이 정보를 이용하여 에이전트에게 데이터 전송을 시작하는 동시에 브로커에게 SRM메시지를 전송하여 자신을 위치 정보를 등록한다. 새로운 소스의 에이전트 정보를 저장하는 것과 같이 브로커도 소스 캐시수정이 이루어진다. SRM의 present location에는 이전 소스의 주소를 넣는다. new location에는 자신의 주소를 넣는다. 브로커는 SRM을 수신하여 소스 위치 캐시를 갱신한다.

싱크가 이동하면 새로운 에이전트 노드가 선정되어 동작한다. 에이전트는 앞에서 설명한 이벤트 이동에 따른 소스 변경과 같은 과정을 한다. 싱크가 이동전의 에이전트는 새로운 에이전트에게 데이터를 수신하고 있는 소스들의 위치 정보를 전송한다. 새로운 에이전트는 새로운 쿼리 패킷을 만들어서 브로커에 등록하는 동시에 에이전트의 위치 정보를 데이터를 보내는 소스에게도 전송한다. 그 소스는 새로운 에이전트의 위치 정보를 수신하여 에이전트 위치 캐시를 갱신한다.

4. 성능 분석

이번 장은 각 연구에 대하여 그림을 사용한 비교분석과 실험을 통한 제안 메커니즘의 성능을 평가하여 기존의 프로토콜보다 에너지 효율적인 통신 프로토콜임을 입증한다.

4.1 도식화 분석

시뮬레이터를 이용한 성능 분석을 하기에 앞서, 이번 장은 기존의 연구들과 제안방안이 워스트 케이스에서 어떻게 영향을 끼치는지를 그림으로 본다.

그림 2에서 보듯이, (a)는 소스의 정보를 망 내의 전달 노드들이 모두 알고 있어야 할 뿐만 아니라, 데이터 전달에 필요한 싱크의 정보 역시 싱크로부터 소스 노드의 경로까지 전달 노드들이 알고 있어야 한다. (b)는 싱크의 정보를 그리드 헤더들이 알고 있어야 할 뿐만 아니라, 소스에서 싱크에게 데이터를 전달하기 위해 그리드 내에 플러딩을 해야 한다. 이에, 제안방안인 (c)는 싱크와 소스가 이동할 때마다, 그들의 정보를 플러딩하지 않고, 데이터를 보내고 받는 노드 이외에 불필요한 노드들은 정보를 가지고 있지 않는다. 그러므로 워스트 케이스

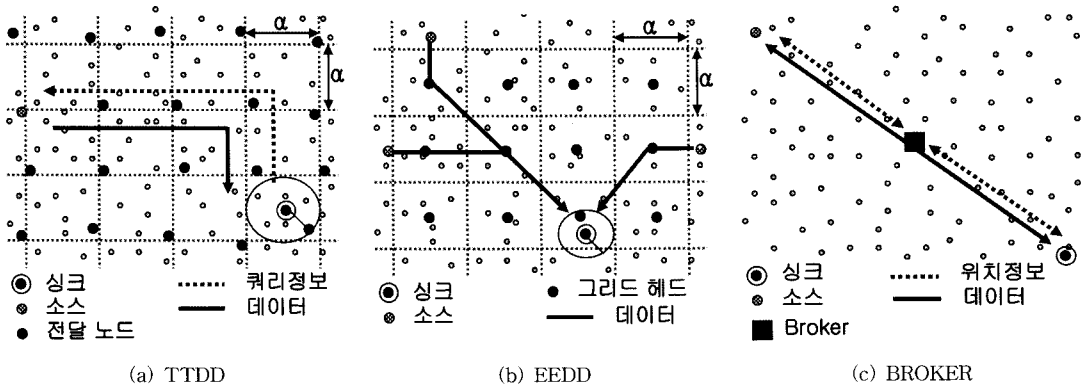


그림 2 각 연구의 데이터전송에 대한 위치 정보 비교

의 라우팅이 이루어지더라도 싱크와 소스는 직접 데이터통신이 이루어지므로, 기존의 연구들보다 이동성에 대한 고려를 할 수 있으며 망 수명이 길어지는 것을 볼 수 있다.

4.2 실험 분석

실험 모델과 성능 평가 환경은 다음과 같다. 시뮬레이터는 Qualnet ver.3.8에서 제안 메커니즘을 구현하였다 [4]. 센서 노드의 모델은 MICA 2의 에너지 모델을 따르고, 802.11b 라디오 환경을 사용하였다[5].

무선 센서 망은 1500(m)×1500(m)의 필드 내에 400개의 센서 노드가 균등하게 분포하도록 구성한다. 실험 시간은 200초이고, 각 노드의 전송 반경은 100m이다. 소스에서 에이전트로 데이터 패킷을 전달하는 주기는 2초에 한번씩 전송한다. 기본적으로 이벤트와 싱크의 개수는 4개씩이다. TTDD의 그리드 크기는 500m이고, EEDD의 그리드 사이즈는 30m이다. 또한, 이벤트와 싱크의 이동성은 random Way-point 모델을 따른다. 그리고, 이벤트와 싱크의 이동 속도는 자전거나 자동차의 이동속도 같은 10m/s이다.

그림 3에서 보듯이, 싱크의 수가 많아질수록 TTDD의 에너지 증가 비율이 조금씩 줄어드는 것은 데이터 전송 시에 데이터가 모이지기 때문이다. 또한, sink-initiated 방식인 EEDD는 싱크의 위치 정보를 소스에게 알리기 위해 싱크마다 그리드 헤드를 통한 플러딩을 하기 때문에 싱크의 개수가 증가할수록 에너지 소비가 급증했다. 그리고, 소스의 수가 증가할수록 source-initiated 방식인 TTDD는 소스마다 그리드 구조를 만들기 때문에 이벤트 개수가 늘어날수록 에너지 소모가 급증했다. 이에 반해, 제안 메커니즘은 기존 프로토콜보다 싱크나 소스가 증가하여도 에너지 소모가 적다는 것을 증명했다.

그림 4는 싱크와 이벤트의 이동 속도에 따른 에너지 소모를 비교하였다. 싱크와 이벤트의 속도를 동일하게 증가시켰을 때, 이동속도가 빠를수록 TTDD는 그리드를 재구성하는 횟수와 EEDD는 싱크의 정보를 플러딩하는 횟수가 많아지므로 에너지 소모가 급격히 증가한다. 이에, 제안 메커니즘은 같은 환경에서도 위치정보를 관리하는 브로커가 있기 때문에 에너지 소모가 적음을 입증했다.

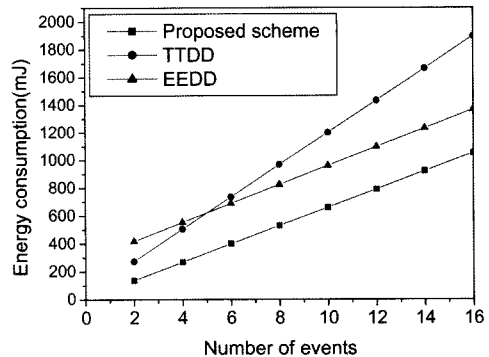
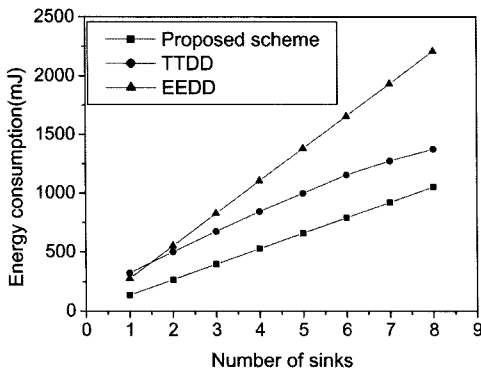


그림 3 싱크와 이벤트 수에 따른 에너지 소비

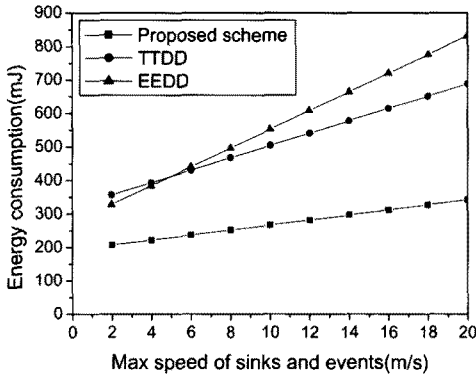


그림 4 싱크와 이벤트의 이동 속도에 따른 에너지 소모

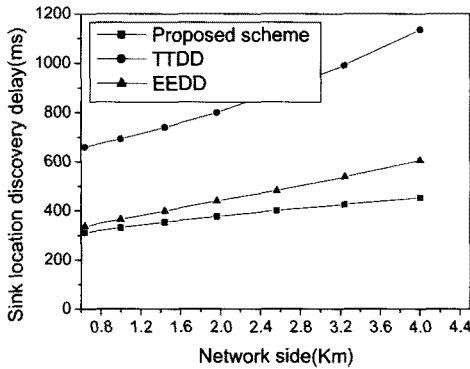


그림 5 망 크기에 따른 지연시간

그림 5는 정사각형의 망으로서 한쪽 면이 증가함에 따라서 지연시간을 측정하였다. 지연시간을 비교하는 요소는 소스가 싱크의 위치를 발견해서 데이터를 전송하기 때문에, 싱크의 위치를 발견하는 지연시간으로 하였다. 이동속도에 대한 실험환경은 다음과 같다. 망의 한 면이 600(m)에서부터 400(m)씩 늘어서 4,500(m)까지 늘어난다. 망에 노드들의 개수는 1,000(m) × 1,000(m)에서 400개의 밀도에 비례하여 존재한다. TTDD는 소스가 싱크의 위치정보를 얻기 위해 그리드 구조를 만들기 위한 시간까지 소모되므로 지연시간이 가장 크게 나왔으며, 싱크 플래딩을 하지만 그리드 구조를 재생성 하지 않는 EEDD는 이동 속에 따라 크게 영향을 받지 않았다. 또한, 제안 메커니즘은 플래딩을 하지 않을 뿐만 아니라, 그리드 구조도 생성하지 않기 때문에, 이동 속에 대하여 다른 프로토콜에 비해 우수함을 입증하였다.

이와 같이 기존의 프로토콜과 비교하였을 때 에너지 효율 측면에서 우수함을 증명하였고, 지연시간이 적음을 입증하였다. 그러나, 현재 브로커의 위치가 고정되어서 핫스팟(hot-spot) 문제가 발생할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서 제안된 방안은 소수-대-소수의 이벤트와 싱크 간에 에너지를 효율적으로 통신하기 위한 프로토콜로서 이벤트와 싱크의 위치 정보를 관리하는 브로커를 이용하여 망의 수명이 연장됨을 알았다. 또한, 실험을 통해 에너지 효율과 지연시간이 기존 연구된 프로토콜에 비해 성능이 우수함을 입증하였다.

본 논문은 다른 연구들과는 다르게 브로커를 설치해야 하는 비용적 오버헤드가 발생한다. 그러나, 4장의 성능분석 결과를 봤을 때, 설치 이후의 라우팅 프로토콜이 기존 연구보다 좋은 성능을 보였다. 또한 각각의 이벤트와 소스의 이동성을 고려할 수 있다는 면에서 가능성을 보였다.

현 제안 방안은 브로커 하나를 고정된 위치에서 사용한 프로토콜이다. 따라서, 브로커가 하나인 경우, 브로커 주변의 에너지 소비율이 높아지는 문제, 브로커가 고장났을 때에 대한 방안에 대하여 여러 개의 브로커를 도입하여 이러한 문제점을 해결하는 연구를 향후 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Fan Ye, Haiyun Luo, et al., "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," ACM/IEEE MobiCOM 2002, Sept. 2002.
- [2] Zehua Zhou, Xiaojing Xiang, and Xin Wang, "An Energy-Efficient Data-Dissemination Protocol in-Wireless Sensor Networks," IEEE WoWMoM 2006, Jun. 2006.
- [3] J. Xu, X. Tang, and W.-C. Lee, "Ease: An energy-efficient in-network storage scheme for object tracking in sensor networks," In IEEE SECON'05, Santa Clara, CA, USA Sept. 2005.
- [4] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.
- [5] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, "Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research," IEEE IPSN 2005, 15 April 2005, pp.364-369.



진 민 속

2001년 배재대학교 컴퓨터과학과(학사)
 2005년 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사). 2006년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 이동통신망, 무선센서망, 인터넷 프로토콜



박 호 성

2008년 충남대학교 정보통신공학부 컴퓨터전공(학사). 2008년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정. 관심분야는 Internet Routing, WSN, MIP 등



이 의 신

2005년 충남대학교 정보통신공학부 컴퓨터전공(학사). 2007년 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사). 2008년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 이동통신망, 무선센서망, 인터넷 프로토콜



김 태 회

2004년 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사). 2008년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정. 관심분야는 이동통신망, 무선센서망, 인터넷 프로토콜



이 정 철

2008년 충남대학교 정보통신공학부 컴퓨터전공(학사). 2009년~현재 충남대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정. 관심분야는 Internet Routing, WSN, 4G 등

김 상 하

정보과학회논문지 : 정보통신
제 36 권 제 1 호 참조