무선 센서 네트워크에서 예측 가능한 싱크 이동성을 기반으로 한 데이타 전달 프로토콜 (Data Dissemination Protocol based on Predictable Mobility of Sinks in Wireless Sensor Networks)

박 수 창 † 이 의 신 †
(Soochang Park) (Euisin Lee)

진 민 숙 † 최 영 환 †
(Min-Sook Jin) (Younghwan Choi)

김 상 하 ††
(Sang-Ha Kim)

요 약 무선 센서 망에서 이동성 지원을 위한 많은 데이타 전달 프로토콜들이 군인들이나 구조원과 같은 싱크의 이동 궤적이 랜덤하다는 가정 아래서 디자인되어왔다. 하지만, 많은 응용에서, 예를 들면 전쟁 지역에서 작전 상황 중의 군인의 이동 궤적과 같은, 싱크의 이동성은 미리 결정될 수 있다. 본 논문에서, 우리는 싱크들의 예측 가능한 이동성을 고려하여 소스 노드로부터 이동하는 싱크까지 데이타를 우회 없이 직행으로 전달할 수 있는 싱크의 예측 가능한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜을 제안한다. 또한, 우리는 기존의 랜덤한 이동성 기반의 데이타 전달 프로토콜들과의 성능 비교를 통해 예측 가능한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜의 향상성을 증명한다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 이동 싱크, 예측 가능한 이동성, 데이타 수집 장소

Abstract Many dissemination protocols on the mobility support in wireless sensor networks have been designed based on the assumption that the movement trace of sinks, such as soldiers and fire fighters, is random. However, the mobility of the sinks in many applications, for example, the movement trace of a soldier on operation in a battle field, can be determined in advance. In this paper, we propose a Predictable Mobility-based Data Dissemination protocol that enables data to directly route from source nodes to moving sinks by taking into consideration predictable movement behavior of the sinks. We also show the superiority of the predictable mobility-based data dissemination protocol through the performance comparison with the random mobility-based data dissemination protocols.

Key words : Wireless sensor networks, Mobile sink, Predictable mobility, Data collection place

1. 서 론

마이크로프로세서와 무선 통신 기술에 최근의 발전은 아주 작고 값싼 수백 개 또는 수천 개의 무선 장비(센서 노드)들로 이루어진 거대 규모의 센서 네트워크를 가능하게 하였다. 이러한 센서 노드들은 질의에 대한 자신들의 센싱 데이타를 수집하고 정보를 획득하기 원하는 사용자(싱크)들에게 그 데이타를 무선 멀티 홉 통신 방법을 통해 전달한다. 하지만, 전형적인 센서 네트워크에서 센서 노드는 제한된 에너지를 가지고 있고 재충전이 어렵다. 따라서 센서 노드들의 에너지 소비를 최소화하여 센서 네트워크의 수명을 연장하는 것이 센서 네트워크의 가장 큰 연구 과제 중의 하나이다[1].

이러한 센서 네트워크의 환경에서, 데이타 수집자인 싱크의 이동성은 무선 센서 네트워크에서 새로운 연구 분야로 대두되고 있다. 왜냐하면 많은 실제적인 응용들에서 싱크들은 센서 필드 내부를 이동하며 그들의 임무에 해당하는 정보를 수집하고자 하기 때문이다. 이러한 연구와 관련된 응용들에는 재난 지역에서 조난자의 구조와 전쟁 지역에서 작전 수행 등이 있다. 지금까지, 이러한 응용들에 관한 많은 연구 결과들이 이동 싱크[2-3]라는 이름 아래 제시되었다. 하지만, 그러한 연구들은 소방관들과 군인들의 이동성이 랜덤하다는 가정 아래에서 프로토콜들을 디자인하였기 때문에 랜덤한 이동성

· 본 연구는 충남대학교 컴퓨터공학과 BK21 차세대정보기술SW인력양성사업단 지원으로 수행하였습니다.
· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '무선 센서 망에서 싱크의 예측 가능한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 정 회 원 : 충남대학교 컴퓨터공학과
winter@cclab.cnu.ac.kr
eslee@cclab.cnu.ac.kr
badamul@cclab.cnu.ac.kr
yhchoi@cclab.cnu.ac.kr
†† 종신회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수
shkim@cnu.ac.kr
(Corresponding author임)

논문접수 : 2007년 12월 6일
심사완료 : 2008년 3월 5일

Copyright@2008 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: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제3호(2008.5)

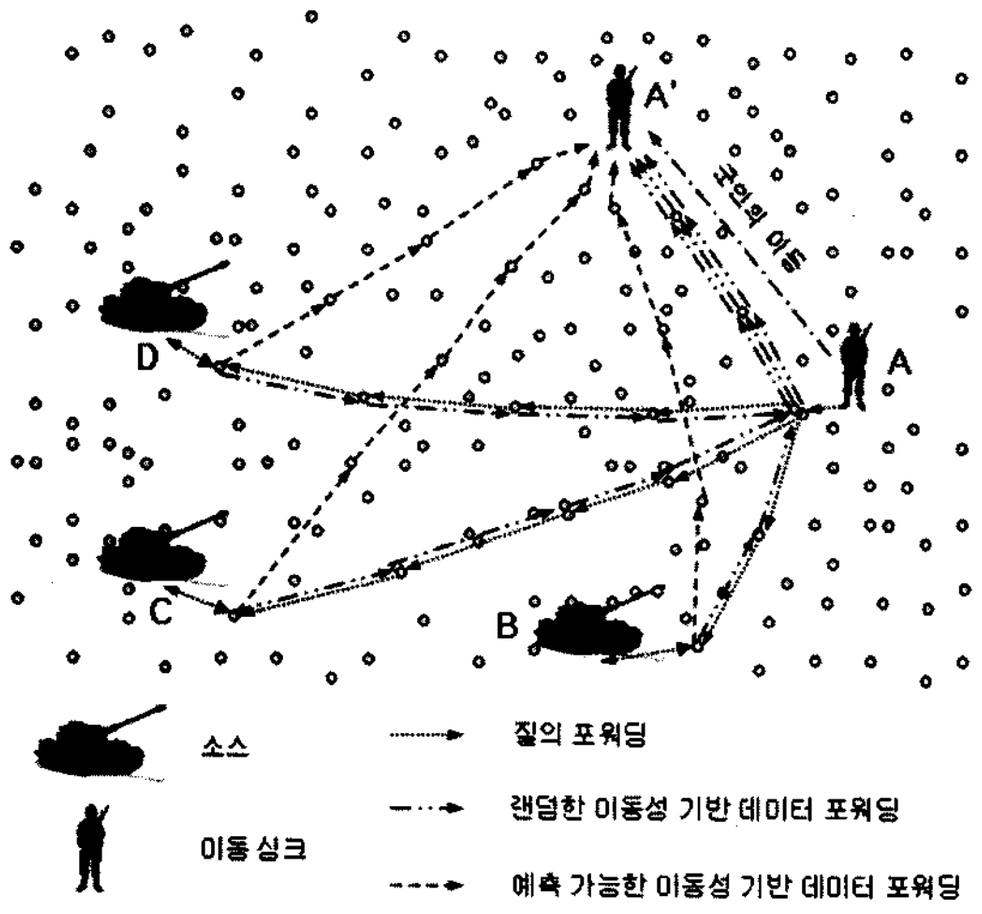


그림 1 랜덤한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜들 대 예측 가능한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜

기반 데이타 전달 프로토콜들을 제안하였다.

랜덤한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜들에서 이동 싱크는 센서 노드들로부터 데이타를 수집하기 위해 자신을 대신할 데이타 수집 장소로써 그림 1과 같이 자신의 현재 위치에서 가장 가까운 센서 노드를 선택한다. 왜냐하면, 그 프로토콜들은 싱크의 미래 이동 위치를 전혀 고려하지 않는 랜덤한 이동성만을 고려하기 때문이다. 그리고 싱크가 현재 위치에서 이동하면 그 싱크는 데이타 수집 장소로부터 데이타를 전달받기 위해 그림 1과 같이 자신의 이동에 따른 추가적인 경로를 설정하고 그 경로를 통해서 데이타를 받기 위해 추가적인 통신을 한다. 그러나 이러한 랜덤한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜들은 다음과 같은 4가지 문제가 있다:

- 경로 설정 문제: 이동 싱크가 새로운 위치(A′)로 이동할 때, 그 싱크는 데이타 수집 장소(A)로부터 새로운 위치(A′)까지 통신 경로를 설정해야만 한다. 이것은 추가적인 센서 노드들의 에너지 소비를 야기한다.
- 데이타 우회 문제: 소스들(B, C, D)의 데이타가 이동 싱크(A′)까지 직접 전달되는 것이 아니라 데이타 수집 장소(A)를 통해 이동 싱크(A′)까지 전달된다. 이것은 무선 통신 홉 수의 증가로 인해 센서 노드들의 에너지 소비를 증가시키고, 데이타 전송률을 감소시키고, 전송 지연을 증가시킨다.
- 핫 스팟(Hot-spot) 문제: 많은 소스들(B, C, D)로부터의 많은 양의 데이타가 데이타 수집 장소(A)에 집중된다. 이것은 데이타 수집 장소(A) 노드와 주위의 센서 노드들의 많은 양의 데이타 처리로 인한 에너지 소비를 급증시킨다.
- 데이타 혼잡 문제: 많은 소스들(B, C, D)로부터의 많은 양의 데이타가 데이타 수집 장소(A)와 이동 싱크(A′)사이에 연결된 하나의 경로 상에서 혼잡하게 된다. 이것은 그 경로 상에 센서 노드들의 에너지 소비를 급격하게 증가시킨다.

본 논문에서 우리는 싱크의 예측 가능한 이동성을 고려하여 센서 노드들로부터 이동하는 싱크에게 데이타를 직행으로 전달할 수 있는 예측 가능한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜을 제안한다. 많은 응용에서 예를 들면, 전쟁 지역에서 작전 중에 군인과 재난 지역에서 조난자 구조 중에 소방관들과 같은 싱크들의 이동성은 미리 결정될 수 있다. 왜냐하면, 그러한 싱크들은 그들의 임무를 수행하기 위해 약속된 작전과 훈련 매뉴얼에 따라 이동하기 때문이다. 그림 1과 같이, 싱크인 군인은 약속된 작전에 따른 미래 이동 위치를 포함하는 질의를 센서 필드에 뿌린다. 적 탱크를 탐지한 각각의 센서 노드들은 소스 노드가 되고 군인의 미래 이동 위치로 자신의 데이타를 직행으로 전달한다. 이것은 예측 가능한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜이 이전에 제안된 랜덤한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜들과 다르게 예측 가능한 이동성을 이용하여 데이타 수집 장소로써 싱크의 예측 가능한 미래 위치로 선택하였기 때문이다. 그래서 싱크는 그 위치로 이동하여 그 데이타 수집 장소에서 수집된 데이타를 직접 통신을 통해 획득하게 된다.

제안 프로토콜은 싱크의 예측 가능한 이동성을 고려하여 랜덤한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜들의 4가지 문제를 해결할 수 있다. 첫 번째로, 경로 설정 문제를 해결할 수 있다. 왜냐하면, 데이타 수집 장소가 싱크가 이동할 미래 위치이기 때문에 제안 프로토콜은 싱크의 이동에 따른 추가적인 경로 설정과 그 경로를 통해 데이타를 받기 위한 추가적인 통신을 할 필요가 없기 때문이다. 두 번째로, 데이타 우회 문제를 해결할 수 있다. 제안 프로토콜에서 센서 노드들은 싱크가 이동할 미래 위치를 알기 때문에 이동 싱크까지 그들의 데이타를 직행으로 전달할 수 있다. 세 번째로, 핫 스팟 문제를 해결할 수 있다. 예측 가능한 이동성을 갖는 싱크가 최종 목적지까지 이동 경로 상에 하나 이상의 미래 이동 위치를 센서 노드들에게 제시하면 데이타 수집 장소는 다수가 된다. 이것은 하나의 데이타 수집 장소에 집중되는 많은 양의 트래픽을 분산시킬 수 있다. 마지막으로, 데이타 혼잡 문제를 해결할 수 있다. 왜냐하면, 싱크가 이동할 미래 위치가 데이타 수집 장소가 데이타의 최종 목적지가 되기 때문에 데이타 수집 장소에 수집된 데이타는 더 이상 전달될 필요가 없기 때문이다. 이러한 4가지 문제의 해결은 센서 노드들의 에너지 소비를 증가시켜 센서 망의 수명을 증가시킨다. 또한, 그것은 데이타 전송률을 증가시키고 전송 지연을 감소시킨다.

2. 예측 가능한 이동성 기반 데이타 전달 프로토콜

본 논문은 싱크의 예측 가능한 이동성 기반 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문에 가정은 다음과 같다:

- 각각의 센서 노드는 자신의 위치를 안다. 위치 인식은 GPS나 다른 기술들[4]를 통해 가능하다.
- 싱크는 메모리, 처리 능력, 그리고 에너지에 제한이 없다.
- 소스 노드가 발생한 데이타는 데이타 수집 장소에 싱크 노드보다 먼저 도착한다. 그러므로 싱크는 소스가 발생한 모든 데이타를 획득할 수 있다.

2.1 가상 그리드

우리는 위치 인식에 기반의 효율적인 라우팅을 위해 가상 그리드 구조를 사용한다. 센서 네트워크의 초기에 센서 필드 내에 센서 노드가 뿌려지면 가상 그리드가 형성되고 각각의 그리드에 하나의 센서 노드만 그리드 헤드 노드로 활동하고 나머지 센서 노드는 슬립(sleep)한다. 그래서 그리드 헤드들만의 통신으로 싱크의 질의와 소스의 데이타가 포워딩된다.

2.1.1 가상 그리드 형성

제안 프로토콜의 센서 네트워크는 지역적인 위치에 기반한 가상 그리드로 나뉘고 모든 그리드는 하나의 그리드 ID를 가진다. 센서 노드들은 식(1)에 의해 자신의 그리드 ID (a, b)를 자신의 위치(x, y)로부터 계산한다.

$$a = \left\lfloor \frac{x - x_0}{gridsize} \right\rfloor, b = \left\lfloor \frac{y - y_0}{gridsize} \right\rfloor \quad (1)$$

식 (1)에서, gridsize는 그리드의 크기를 말하며, (x_0, y_0)은 네트워크의 초기 단계에 시스템 파라미터로 주어지는 가상 그리드의 근원 위치이다. 이웃 그리드 안에 센서 노드들과 직접 통신을 보장하기 위해 그리드 크기는, R이 전송 범위일 때, $1/\sqrt{2} * R$ 보다 작게 설정된다.

2.1.2 그리드 헤드 노드 선정과 관리

무센 센서 네트워크는 관심되는 지역에 수많은 노드가 밀집하여 뿌려진다. 그러므로 하나의 그리드 안에도 많은 센서 노드들이 밀집해 있을 것이다. 따라서, 우리는 PEAS [5]알고리즘을 바탕으로 그리드 안에 센서 노드들 중에 그리드 헤드 노드로 활동할 하나의 노드를 선정하고 나머지 노드들은 슬립 상태가 된다. 하지만 제안 프로토콜은, PEAS와는 다르게, 그리드 안의 노드들만을 통해서 그리드 헤드 노드 선정과 관리를 위한 시그널 과정이 이루어진다.

2.2 프로토콜 동작 방법

제안 프로토콜의 동작 방법은 그림 2와 같이 질의 포워딩, 데이타 수집 그리드 선정 및 데이타 포워딩, 그리고 데이타 획득의 3가지 단계를 가진다.

2.2.1 질의 포워딩

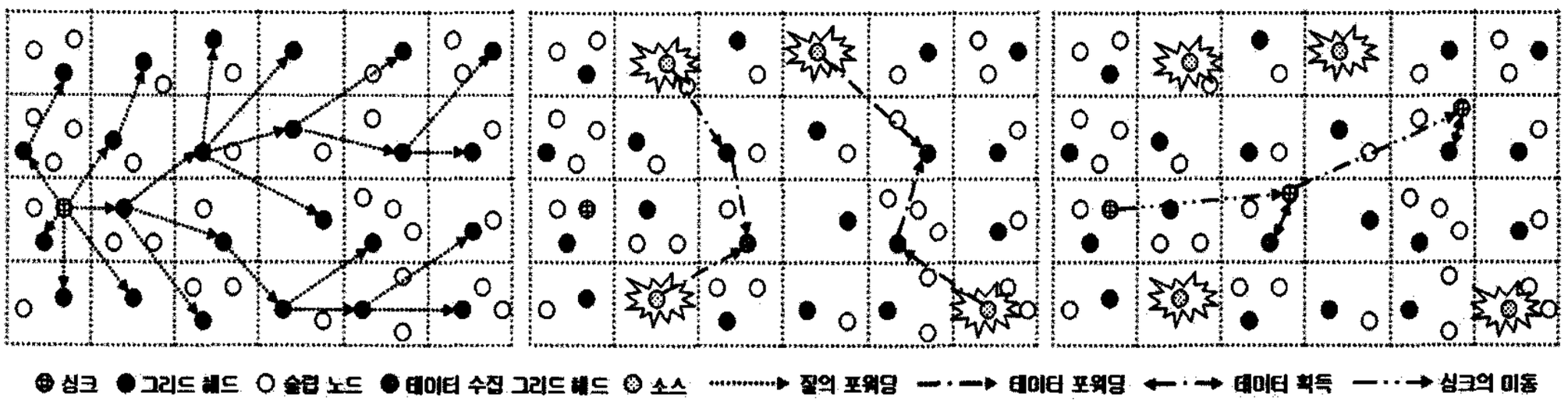
싱크는 자신이 원하는 정보를 얻기 위해 그림 2의 (a)와 같이 질의 패킷을 구성하여 센서 필드 안으로 전달한다. 싱크의 질의 패킷은 3가지 타입, <질의 내용, 목적지, 데이타 수집 장소>,로 구성되어 있다. 첫째로, 질의 내용은 싱크가 센서 필드 안으로 수집하고자 하는 정보를 포함한다. 둘째로, 목적지는 싱크가 정보를 얻기 위해 관심되는 지역을 포함한다. 마지막으로 데이타 수집 장소는 싱크의 예측 가능한 이동성을 기반으로 하여 질의에 대한 응답 데이타가 수집되는 장소이다.

2.2.2 데이타 수집 그리드 선정 및 데이타 포워딩

싱크가 질의를 포워딩하면 목적지 주소 그리드에 해당하는 모든 그리드 헤드 노드는 그 질의를 받게 된다. 질의를 받은 모든 그리드 헤드 노드는 그림 2의 (b)와 같이 질의 패킷 안에 데이타 수집 그리드 ID 필드 안에 그리드 ID를 통해서 자신이 데이타 수집 그리드인지 아닌지를 판단할 수 있다. 데이타 수집 그리드로 선정된 그리드 헤드는 자신이 데이타 수집 그리드이므로 다른 그리드 헤드 노드로부터 전송된 데이타와 자신의 데이타를 수집하여 저장한다. 반면에, 데이타 수집 그리드가 아닌 그리드 헤드 노드는 자신의 데이타를 자신의 위치에서가장 가까운 데이타 수집 그리드로 전송한다.

2.2.3 데이타 획득

싱크는 자신의 이동성의 예측 정도에 따라 크게 3가



(a) 질의 포워딩 (b) 데이타 수집 그리드 선정 및 데이타 포워딩 (c) 데이타 획득

그림 2 제안 프로토콜 과정

지 타입으로 데이타를 수집할 수 있다.

(1) 싱크가 이동하지 않거나 자신의 이동성을 예측할 수 없는 경우: 이것은 싱크가 센서 필드를 통해 질의를 포워딩하고 데이타 수집을 자신의 위치에서 이동하지 않고 하는 경우이다. 이 경우에, 싱크는 질의 패킷 안에 데이타 수집 그리드 필드를 자신이 속해 있는 그리드 ID를 넣어서 포워딩한다. 그러므로 자신의 위치와 같은 데이타 수집 그리드 헤드 노드를 통해서 수집된 데이타를 직접 전달 받는다.

(2) 데이타 수집 그리드까지 이동하는 경우: 이것은 싱크가 자신의 예측 가능한 이동성에 따라 데이타 수집 그리드를 선정하여 질의 패킷의 데이타 수집 그리드 필드에 넣어 질의를 포워딩한다. 그리고 싱크가 자신의 예측 가능한 이동성에 따라 데이타 수집 그리드로 이동하여 직접 데이타를 전달 받는다. 그림 2의 (c)가 이 경우에 해당한다.

(3) 데이타 수집 그리드까지 이동할 수 없는 경우: 이것은 싱크가 자신의 예측 가능한 이동성에 따라 데이타 수집 그리드를 선정하여 질의 패킷의 데이타 수집 그리드 필드에 넣어 질의를 포워딩하였지만, 싱크가 데이타 수집 그리드로 이동하던 중 여러 가지 상황에 의해 데이타 수집 그리드로 더 이상 이동할 수 없는 경우이다. 이 경우에, 이동 싱크는 더 이상 데이타 수집 그리드까지 이동할 수 없으므로 그 위치에서 데이타 수집 그리드 헤드 노드에게 멀티 홉 통신을 통해서 데이타를 요구하여 전달 받는다.

2.3 다중 데이타 수집 장소

우리의 제안 프로토콜은 사용자의 예측 가능한 이동이 여러 장소이면 여러 개의 데이타 수집 그리드를 설정할 수 있다. 그러므로, 이렇게 데이타 수집 장소가 여러 장소가 되면 데이타 수집 장소가 하나일 때 그 장소로 데이타가 집중되는 현상인 핫스팟 문제(hotspot problem)를 해결할 수 있다.

3. 성능 평가

3.1 시뮬레이션 모델 및 성능 평가 기준

우리는 Qualnet ver.3.8[6]에서 제안 프로토콜을 구현하였다. 센서 노드의 에너지 모델은 MICA2[7]를 참조하여 전송과 수신 파워는 각각 42mW와 29mW로 하였다. 시뮬레이션에서 송수신기의 범위는 100m로 하였다. 센서 네트워크는 1000m × 1000m 필드에 균등하게 뿌려진 200개의 센서 노드들과 하나의 싱크로 구성된다. 그리고 기본적인 싱크의 이동 속도는 10 m/sec이다. 싱크는 20초의 간격으로 질의를 퍼트린다. 그리고 모든 센서 노드들은 질의를 받고 그 질의에 대한 하나의 센싱 데이타만 발생한다. 시뮬레이션은 500초 동안 지속된다.

우리는 제안 방안의 성능을 평가하기 위해 3가지 성능 평가 기준을 사용한다. 첫째로, **살아있는 센서 노드의 수**는 에너지가 남아서 활동하고 있는 센서 노드의 수로써 정의한다. 둘째로, **데이타 전송률**은 모든 센서 노드들에 의해 발생된 전체 데이타의 개수 중에 싱크에게 성공적으로 전달된 데이타의 수로써 정의한다. 마지막으로, **전송 지연**은 하나의 센서 노드가 데이타를 전송한 시간과 싱크가 그 데이타를 받은 시간 사이의 평균 시간으로써 정의한다.

3.2 시뮬레이션 시간에 따른 성능 평가

그림 3은 시뮬레이션 시간에 따른 살아있는 센서 노드의 수를 나타낸다. 싱크의 랜덤한 이동성 모델은 싱크의 이동에 따라 경로를 추가적으로 설정하여야 하므로 센서 노드들의 에너지 소모가 더 크다. 그러므로 에너지 고갈로 인한 죽은 노드의 발생 시기가 빠르고 죽는 노드의 수가 시간에 지남에 따라 급증한다. 하지만 싱크의 예측 가능한 이동성 모델은 싱크의 데이타 수집 장소가 싱크의 예측 가능한 이동 위치이므로 싱크의 이동에 따른 경로 설정에 드는 에너지 비용이 없으므로 에너지를 소모하여 죽는 노드의 수가 발생하는 시기가 더 늦고 죽는 노드의 수 역시 시간에 지남에 따라 적게 발생한다.

그림 4와 5는 시뮬레이션 시간에 따른 데이타 전송율과 전송 지연을 나타낸다. 싱크의 랜덤한 이동성 모델은 싱크의 이동에 따라 경로가 추가되어 소스로부터 전송된 데이타가 싱크의 최종 이동 목적지로 전달되지 못하고 이전 싱크의 위치를 거쳐서 전달된다. 그러므로 당연히 데이타가 우회하여 더 많은 센서 노드들을 거쳐서 통신하여 전달되므로 전송 지연이 증가할 수밖에 없다. 또한 데이타의 실패율이 많이 일어나는 센서 네트워크에서 많은 센서 노드들을 거쳐서 통신하는 것은 데이타의 전송률을 감소시킨다. 하지만 싱크의 예측 가능한 이동성 모델은 싱크의 최종 이동 목적지가 데이타의 수집 장소이므로 우회하지 않고 직선에 가깝게 전달된다. 그러므로 적은 수의 센서 노드들을 통해서 데이타가 전달되므로 데이타의 전송률은 증가하고 전송지연은 감소한다.

3.3 싱크와 데이타 수집 장소의 수에 따른 성능 평가

그림 6은 소스와 데이타 수집 장소의 수에 따른 살아있는 센서 노드의 수를 나타낸다. 소스의 수가 증가하면 랜덤한 이동성 모델과 예측 가능한 이동성 모델 모두 살아있는 센서 노드의 수가 감소한다. 그러나 예측 가능한 이동성 모델은 데이타 수집 장소의 수가 증가하면 살아있는 센서 노드의 수가 느리게 감소한다. 왜냐하면, 소스들은 자신의 데이타를 자신의 위치로부터 가장 가까운 데이타 수집 장소로 짧은 홉 통신을 통해 전달하기 때문이다. 또한, 예측 가능한 이동성 모델은 데이타 수집 장소의 추가로 인해 핫스팟 문제를 해결하였

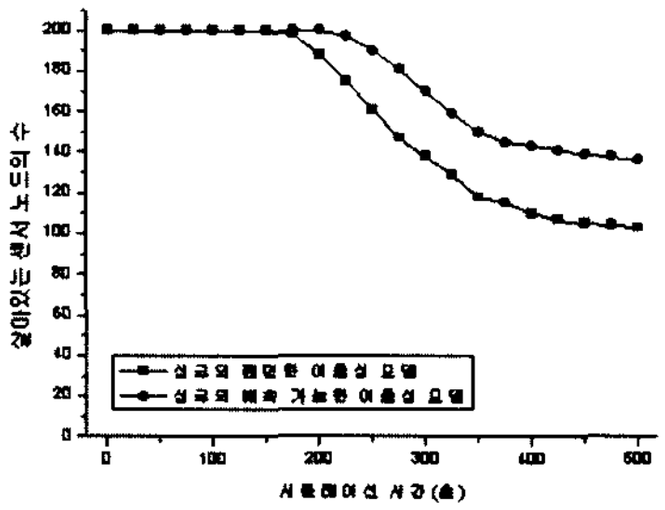


그림 3 시뮬레이션 시간에 따른 살아있는 센서 노드의 수

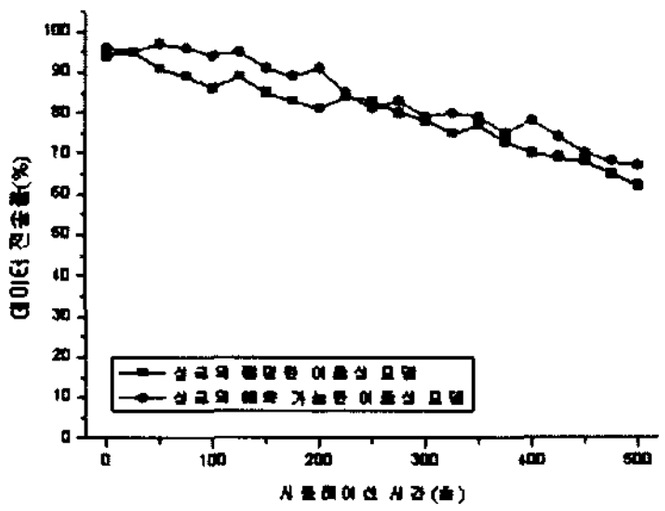


그림 4 시뮬레이션 시간에 따른 데이타 전송률

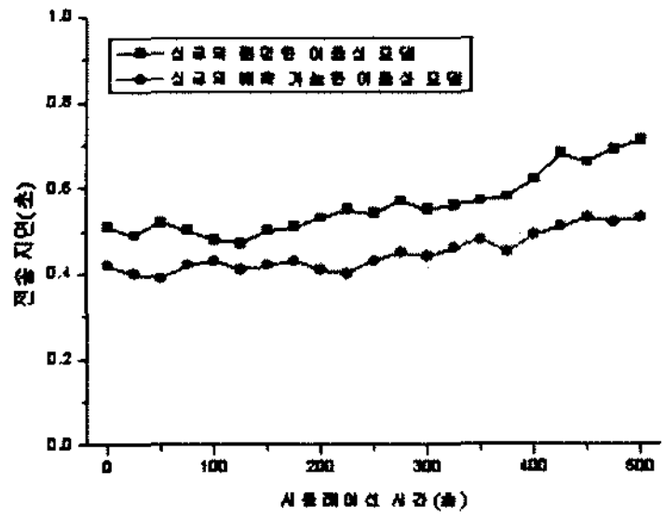


그림 5 시뮬레이션 시간에 따른 전송 지연

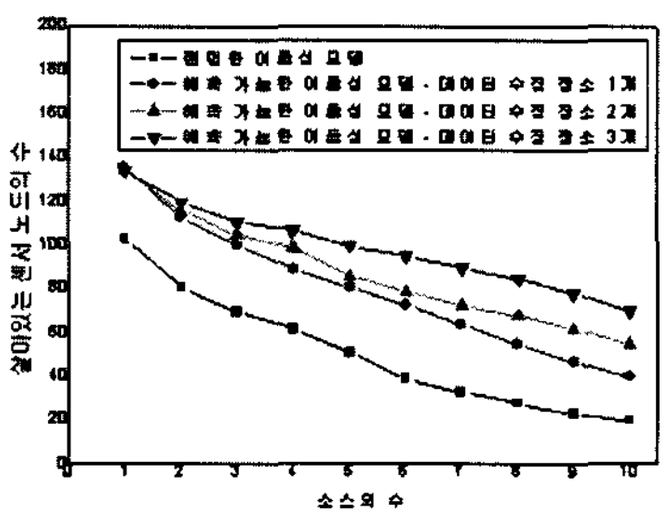


그림 6 소스와 데이타 수집 장소의 수에 따른 살아있는 센서 노드의 수

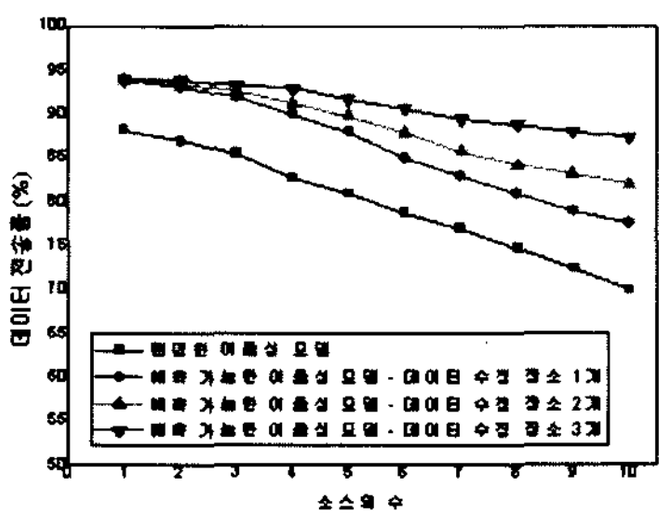


그림 7 소스와 데이타 수집 장소의 수에 따른 데이타 전송율

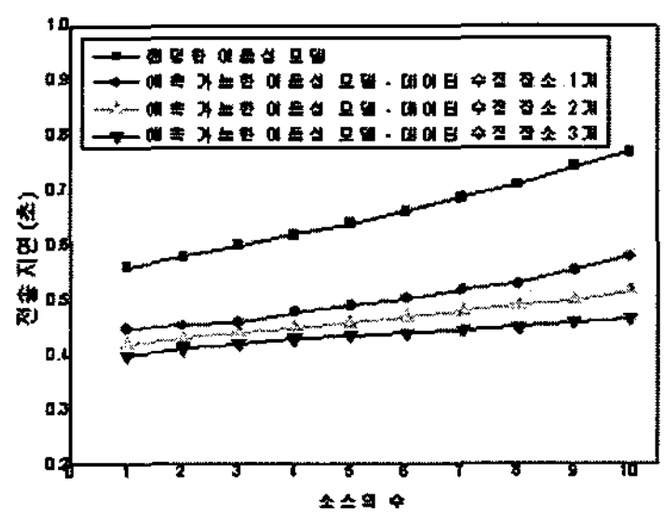


그림 8 소스와 데이타 수집 장소의 수에 따른 전송 지연

기 때문에 센서 노드들의 에너지 소비가 더 균등하게 되었다.

그림 7과 그림 8은 소스와 데이타 수집 장소의 수에 따른 데이타 전송률과 전송 지연을 나타낸다. 소스의 수가 증가하면 랜덤한 이동성 모델과 예측 가능한 이동성 모델 모두 데이타 전송률은 감소하고 전송 지연을 증가한다. 왜냐하면, 소스의 수의 증가는 데이타 수집 장소 근처로 막대한 양의 데이타를 전달해야 하는 핫스팟 문제를 야기하기 때문이다. 그러나 예측 가능한 이동성 모델은 데이타 수집 장소의 수가 증가하면 데이타 전송률은 천천히 감소하고 전송 지연 역시 천천히 증가한다. 왜냐하면, 데이타 수집 장소의 수가 증가하면 소스들은 자신의 위치로부터 가장 가까운 데이타 수집 장소로 자신의 데이타를 짧은 홉 통신으로 전달하기 때문이다. 또한, 예측 가능한 이동성 모델은 데이타 수집 장소가 분산되어지기 때문에 핫스팟 문제를 해결하기 때문이다.

4. 결 론

우리는 싱크의 예측 가능한 이동성 기반 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안 프로토콜은 싱크의 예측 가능한 이동 위치를 데이타의 수집 장소로 이용함으로써 싱크의 이동에 따른 경로 설정으로 인한 센서 노드의 에너지 소모의 오버헤드가 없으므로 센서 네트워크의 수명을 연장시킨다. 또한 데이타 수집 장소에서 직접 통신을 통해 수집된 데이타를 획득할 수 있으므로 데이타 전송률은 증가하고 전송지연은 감소한다.

참 고 문 헌

[1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine, Aug. 2002.

[2] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks," ACM MobiCom, Sep. 2002.

[3] H. KIM, T. Abdelzaher, and W. Kwon, "Minimum-Energy Asynchronous Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," ACM SenSys, Nov. 2003.

[4] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Gps-less low cost outdoor localization for very small devices," IEEE Personal Communications Magazine, Oct. 2000.

[5] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "PEAS: A Robust Energy Conserving Protocol for Long-lived Sensor Networks," IEEE ICDCS, May 2003.

[6] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] ale: http://www.scalable-networks.com.

[7] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, "Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research," IEEE IPSN, Apr. 2005.