무선 센서 망에서 싱크의 위치정보 획득을 위한 제한된 선형 플러딩 방안

박호성 O, 김태희, 진민숙, 이의신, 삼부바트저릭, 김상하

충남 대학교 컴퓨터 공학과

{hspark O, thkim, badamul, eslee, sbat}@cclab.cnu.ac.kr and shkim@cnu.ac.kr

Restricted Linear Flooding Scheme to Obtain Sink Location in Wireless Sensor Networks

Hosung Park O, Taehee Kim, Min-Sook Jin, Euisin Lee, Batzorig Sambuu, Sang-Ha Kim

Department of Computer Engineering, Chungnam National University

요 약

위치 기반 라우팅은 오직 지역적인 위치 정보를 기반으로 데이터를 전송한다. 이 기법은 소스가 목적지의 위치 정보를 알고 있다고 가정하면 에너지 효율적이고 단순하다. 그러나, 무선 센서 망에서 소스는 목적지인 싱크의 위치 정보를 알지 못한다. 따라서 위치 기반 라우팅의 장점을 살리기 위해서는 소스가 효율적으로 싱크의 위치 정보를 미리 획득하는 과정이 필요하다. 본 논문은 무선 망에서 싱크의 위치정보 획득을 위한 제한적인 선형 플러딩 방안을 제안한다. 제안 방안에서 싱크와 소스는 각각 싱크 위치 획득을 위한 메시지를 정해진 방향으로 전송하며, 두 메시지의 교차 지점에 위치한 노드는 소스에게 싱크의 위치 정보를 전송한다. 싱크의 위치 정보를 획득한 소스는 위치 기반 라우팅을 통해 싱크에게 데이터를 전송할 수 있다. 또한 망 내부에 가상 제한 플러딩 지역 구성이라는 추가 방안을 통해 두 메시지의 교차 지점 생성을 보장한다. 우리는 시뮬레이션을 통해 제안 방안이 지금까지의 방안보다 에너지 면에서 효율적이며 신뢰성 있다는 것을 증명한다.

1. 서 론

위치 기반 라우팅 [1] 은 무선 센서 네트워크에서 널리 사용되는 라우팅 기법 중의 하나로써, 에너지 효율적이며 단순하다. 각각의 노드들은 라우팅 테이블 혹은 전역적인 토폴로지에 대한 정보를 가지고 있지 않으며 이웃 노드들의 위치 정보만을 유지한다. 위치 기반 라우팅은 데이터 전송을 위해 플러딩이나 구조체 (structure) 구성과 같이 많은 에너지를 소모하는 방식을 사용하지 않는다. 오직 지역적인 위치 정보만을 기반으로 하여 소스에서 목적지까지 가장 적은 홉 수로 데이터를 전송하기 때문에 네트워크의 자원을 절약할 수 있다.

위치 기반 라우팅에서 소스는 데이터 전송을 위해서 목적지의 위치 정보를 알아야 하며, 일반적인 무선 센서 망에서 소스의 목적지는 싱크라고 할 수 있다. 다시 말해 소스는 싱크의 위치 정보를 알아야 한다. 위치 기반 라우팅에 관련된 많은 연구들은 [1][2][3] 단순히 소스가 싱크의 위치 정보를 이미 알고 있다고 가정한다. 지금까지의 연구에서 소스에게 싱크의 위치를 알려주기 위한 방법들은 플러딩 기반, 구조체 기반 그리고 이를 변형시킨 방안들로 구분할 수 있다. 플러딩 방식에서 [6] 싱크는 네트워크 상의 모든 노드들에게 자신의 위치 정보를 전송한다. 따라서 모든 소스들은 싱크의 위치 정보를 획득할 수 있다. 구조체 기반 방식은 [7][8] 싱크마다 혹은 소스마다 혹은 공용의 구조체를 구성하고 유지해야 한다. 두 방식 모두 노드들의 전력을 상당히 소모한다. 변형된 방식들 [9] 또한 각각의 오버헤드를 가진다. 따라서 위치 기반 라우팅의 장점을 살리기 위해서는 소스가 효율적으로 싱크의 위치 정보를 미리 획득하는 방안이 필요하다.

이 논문에서는 네트워크의 자원 소모를 최소화하며 소스에게 싱크의 위치 정보를 전달하기 위한 교차 지점 생성 방안을 제시한다. 제안 방안에서 소스는 상하 두 방향으로 *Sink_Location_Solicitation(SLS)* 메시지를 전송하며, 싱크는 좌우 두 방향으로 *Sink_Location_advertisement (SLA)* 메시지를 전송한다. 두 메시지의 교차 지점에 있는 센서 노드는 싱크의 위치 정보를 소스에게 전송한다. 이후 소스는 위치 기반 라우팅을 사용하여 싱크에게 데이터를 전송할 수 있다. 이 방안은 (교차 지점의 생성을 보장할 수만 있다면) 앞서 언급한 다른 방안들에 비해 매우 간단하며 에너지 효율적이다.

특성이 파악되지 않은 센서 네트워크에서 단지 SLQ 메시지와 SLA 메시지를 네 방향으로 전송하는 방안은 교차 지점의 생성을 보장할 수 없다. 그 대표적인 예가 오목한(concave) 경계선을 가진 네트워크 혹은 내부에 홀이 있는 네트워크이다. 만약 SLQ 메시지나 SLA 메시지가 홀의 경계 혹은 네트워크의 오목한 경계선을 만나 전송이 중단된다면, 두 메시지의 교차 지점이 생성

되지 않을 가능성이 있다.

이 문제점을 해결하기 위해서 우리는 네트워크 내부 가상 제한 플러딩 지역(*Virtual Restricted Linear Flooding Zone, VRLF-Zone*) 구성이라는 방안을 추가로 제시한다. VRLF-Zone은 네트워크 내부에 최대한의 넓이로 구성되는 사각형 형태의 지역이다. 초기화 단계에서 네트워크는 VRLF-Zone을 구성하고 그 범위를 각각의 노드에게 알려준다. 소스와 싱크는 각각 SLQ 메시지와 SLA 메시지를 VRLF-Zone의 네 변이라는 정확한 목적지로 전송한다. 위치 기반 라우팅에서 정확한 목적지를 가진 메시지는 [4][5] 에서 제시한 방안으로 홀을 피해갈 수 있다. 또한 각 메시지는 네트워크의 경계와 만나지 않으므로 오목한 경계에서의 전송 중단을 해결할 수 있다. 만약 소스나 싱크가 VRLF-Zone의 외부에 위치한다면 SLQ 메시지 혹은 SLA 메시지를 VRLF-Zone 내부로 전달한 뒤 교차 지점 생성 방안을 따른다. 이와 같은 방법으로 교차 지점 생성을 보장할 수 있다. 제안 방안은 복잡한 구조체 없이 위치 정보에 따라 직접적으로 데이터를 전송한다는 위치 기반 라우팅의 원칙에 잘 부합한다.

논문의 이후 구성은 다음과 같다: 섹션 2에서는 우리의 방안과 관련된 연구들을 소개한다. 섹션 3에서는 우리가 제안하는 무선 센서 망에서 싱크의 위치정보 획득을 위한 제한된 선형 플러딩 방안을 자세하게 설명한다. 섹션 4에서는 시뮬레이션을 통해 제안 프로토콜의 성능을 분석하고, 섹션 5에서는 이 논문을 결론짓는다.

2. 관련 연구

플러딩 [6] 방식은 소스에게 싱크의 위치정보를 알려주는 가장 단순한 방법이다. 싱크는 자신의 위치정보를 모든 센서 네트워크에 전송한다. 따라서 네트워크의 모든 노드들은 싱크의 위치정보를 획득할 수 있다. 센서 네트워크에 다수의 이동 싱크가 존재한다면 이 방식은 에너지 혹은 대역폭과 같은 네트워크의 자원을 심각하게 낭비한다.

플러딩 방식의 오버헤드를 줄이기 위해 TTDD [7], ALS [8] 와 같은 프로토콜은 소스에게 싱크의 위치를 알려줄 때 격자 구조체(grid structure)를 사용한다.

TTDD는 각각의 소스를 기준으로 네트워크 전역에 격자 구조체를 형성한다. 싱크가 생성한 쿼리는 하나의 셀 크기만큼만 지역 플러딩 된 후 격자 구조체를 따라 소스에게 전송된다. 소스는 수신한 쿼리를 통해 싱크의 위치를 얻을 수 있다. TTDD는 전역 플러딩 방식에 비해 플러딩의 오버헤드는 상당히 줄일 수 있지만, 전역 격자 구조체 구성에 따른 오버헤드를 가진다. 소스마다 전역 격자 구조체가 생성되기 때문에 네트워크에 소스가 많이 존재할수록 네트워크의 자원을 심각하게 낭비한다.

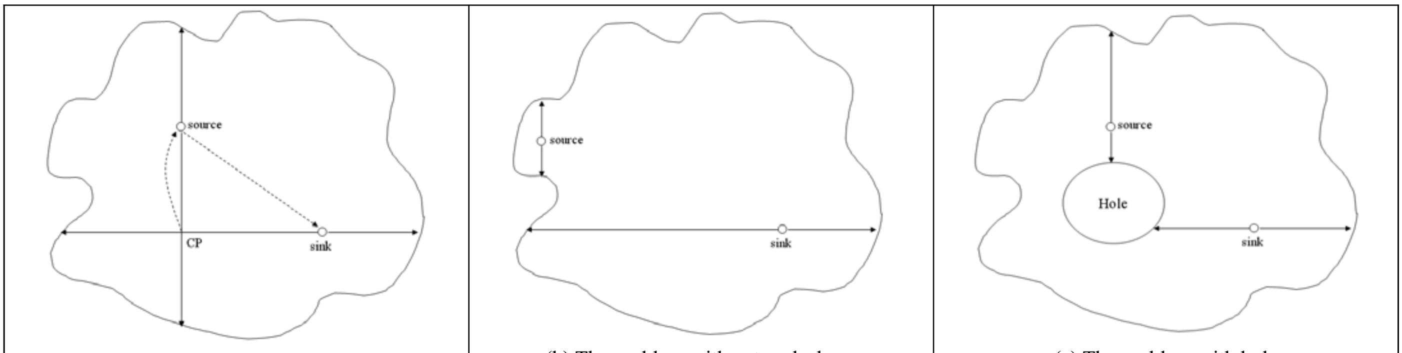
ALS는 하나의 공용 격자 구조체를 생성한다. 싱크는 가까운 격자 노드를 싱크 대리자(agent)로 선택하고 격자 구조체를 따라 동, 서, 남, 북 네 방향으로 Anchor Setup Message를 보낸다. Anchor Setup Message는 홀이나 네트워크의 가장자리를 만나면 양 방향으로 나뉘어 계속 전송되며 이 과정은 같은 Anchor Setup Message를 만날 때까지 진행된다. 메시지를 받은 모든 격자 노드는 앵커(anchor)가 되어 싱크의 위치를 저장한다. 소스 역시 소스 에이전트를 선택하여 네 방향으로 싱크의 위치를 찾기 위한 쿼리 메시지를 보낸다. 앵커 노드는 쿼리 메시지를 받으면 소스에게 Location Message를 전송하여 싱크의 위치를 알려준다. ALS는 하나의 공용 격자 구조체를 사용하기 때문에 TTDD에 비해 구조체 생성 오버헤드는 적지만, 항상 네트워크 가장자리와 홀 주위를 따라 전송되는 Anchor Setup Message 전송 오버헤드가 크다. 소스가 싱크의 위치를 얻는 과정에서 전송되는 메시지들이 모두 하나의 격자 구조체를 따라 전송되므로 structure 상의 노드들의 에너지가 집중적으로 소모된다.

F.C. Yu *et al.* [9] 는 초기화 과정을 제외하고 플러딩을 하거나 structure를 구성하지 않고 소스에게 싱크의 위치를 알려주는 방안을 제안했다. 본 논문에서 우리는 이 방안을 Sink Location Service by Dividing Border (SLSDB) 라고 부른다. SLSDB는 네트워크의 가장자리를 4구역(A, B, C, D)으로 나눈 다음, 소스는 A 구역과 C구역의 한 노드를 목적지로 각각 싱크 위치 쿼리를 보내고 싱크 또한 B와 D구역의 한 노드에게 각각 싱크의 위치를 전송한다. 전송 과정에서 두 메시지를 모두 받은 노드는 소스에게 싱크의 위치를 전송한다. 이 방안은 적은 오버헤드로 소스에게 싱크의 위치를 알려줄 수 있지만 초기화 오버헤드가 매우 크다. 네트워크 가장자리를 4구역으로 나누기 위해 가장자리에 있는 노드들을 선별하여 앵커 노드로 선택하고, 모든 앵커 노드들의 위치 정보를 하나의 노드에 모아야 한다. 또한 이 정보를 전체 네트워크에 한 번 플러딩 해야 한다. 네트워크의 크기가 클수록 앵커들의 위치 정보량이 많아지기 때문에 위치 정보를 단편화하여 여러 번 전송해야 한다.

플러딩 방식은 싱크가 매우 적고 소스가 매우 많은 특별한 케이스에 효과적이며 TTDD의 경우 소스가 매우 적고 싱크가 많은 경우에 효과적이다. 플러딩은 싱크의 이동성을 지원하기 어렵고, TTDD와 ALS은 싱크의 이동성을 지원할 수 있다. SLSDB의 경우 적은 소스와 싱크가 존재하는 환경에 효과적이며 더 적은 오버헤드로 싱크의 이동성을 지원할 수 있다. 제안 방안은 적은 소스와 싱크가 존재하며 적은 오버헤드로 싱크의 이동성을 지원할 수 있다.

3. 제한된 선형 플러딩 방안

이 섹션에서 우리는 싱크 위치정보 획득을 위한 제한된 선형 플러딩 방안에 대해 자세히 설명한다. 서브섹션 A에서는 제시하는 프로토콜을 위한 가정을 설명하



(a) Crossing point scheme | (b) The problem with network shape | (c) The problem with hole

Figure 1. Crossing point scheme and problems

고, 서브섹션 B에서는 교차 지점 생성이라는 기본 아이디어와 그에 따른 문제점에 대해 설명한다. 서브섹션 C와 서브섹션 D는 서브섹션 B에서 제시한 문제점을 해결하기 위한 추가적인 방안에 대해 설명한다. 서브섹션 C에서는 네트워크의 내부에 VRLF-Zone을 형성하는 방법을 설명하고, 서브섹션 D에서는 VRLF-Zone을 이용하여 소스가 싱크의 위치를 획득하는 과정을 설명한다.

3.1. 가정

우리는 각각의 노드들이 GPS 혹은 다른 위치 정보 서비스 [4] 를 통해 자신의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 또한 각각의 노드들이 비콘 신호를 통해 이웃 노드들의 위치 정보를 알고 있다 [1]. 위치 정보는 이차원 평면의 (x, y) 형식으로 나타낸다고 가정한다. 초기화 과정을 시작해야 하는 하나의 노드는 네트워크 배치 과정에서 인위적으로 정해지거나 다른 자동 선택 방안 [10][11] 을 통해 정해진다.

3.2. 교차 지점 생성

그림 1(a)는 싱크의 위치 정보를 획득하기 위한 기본 아이디어인 교차 지점 생성 방안을 보여준다. 소스는 위치 기반 라우팅을 통해 y축을 따라 두 방향으로 SLS 메시지를 전송한다. SLS 메시지는 이벤트 타입과 소스의 위치정보를 포함하며, 네트워크의 가장자리에 도착할 때까지 전달된다. SLS 메시지를 수신한 노드들은 이벤트 타입과 소스의 위치정보를 저장한다.

싱크는 네트워크 상에 원하는 정보가 있을 경우, 위치 기반 라우팅을 통해 x축을 따라 두 방향으로 SLA 메시지를 전송한다. SLA 메시지는 싱크가 원하는 정보와 싱크의 위치정보를 포함한다. SLA 메시지를 수신한 노드들은 이벤트 타입과 싱크의 위치정보를 저장한다.

앞의 두 과정에서 생긴 두 전송 진로는 교차 지점을 생성한다. 교차 지점에 위치하는 노드들 중 적어도 하나 이상은 SLQ 메시지와 DQ 메시지를 수신(overhearing)하여 두 메시지의 정보를 모두 저장하고 있다. 만약 두 메시지의 이벤트 타입이 같다면, 해당 노드는 소스에게 싱크의 위치정보를 전송한다. 소스는 싱크의 위치정보를 획득한 후에 위치 기반 라우팅을 통해 싱크에게 데이터를 전송할 수 있다.

그림 1(b)와 그림 1(c)는 교차 지점 생성 방안의 문제점을 보여준다. 위치 기반 라우팅에서 단지 방향성만을 가지고 전송된 메시지는 오목한 경계선을 가진 네트워크 혹은 내부에 홀이 존재하는 네트워크와 같이 특별한 경우 문제점을 가질 수 있다. 만약 SLQ 메시지나 SLA 메시지가 홀의 경계 혹은 네트워크의 오목한 경계선을 만나 전송이 중단된다면, 두 메시지의 교차 지점이 생성되지 않을 가능성이 있다. 그림 1(b)에서 SLQ 메시지는 네트워크의 오목한 경계를 만났을 때 전송을 멈췄기 때문에 싱크가 전송한 SLA 메시지와 만나지 못했다. 그림 1(c)에서 SLS 메시지와 SLA 메시지는 홀의 경계에서 전송을 멈췄기 때문에 서로 만나지 못했다. 이런 문제를 해결하고자 우리는 SLS 메시지와 SLA 메시지의 교차 지점 생성 보장 방안을 추가로 제안한다.

3.3. VRLF-Zone 생성

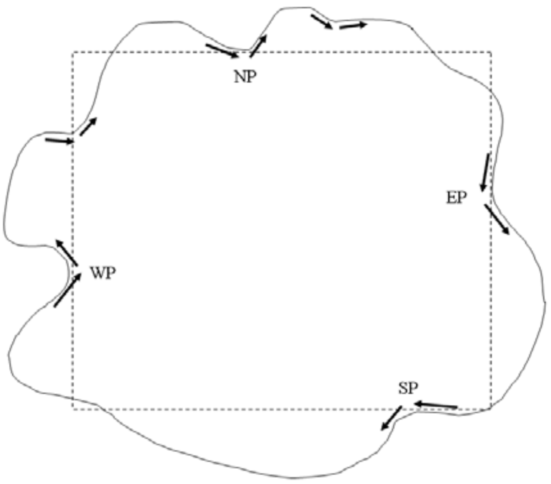


Figure 2. Inner rectangular construction

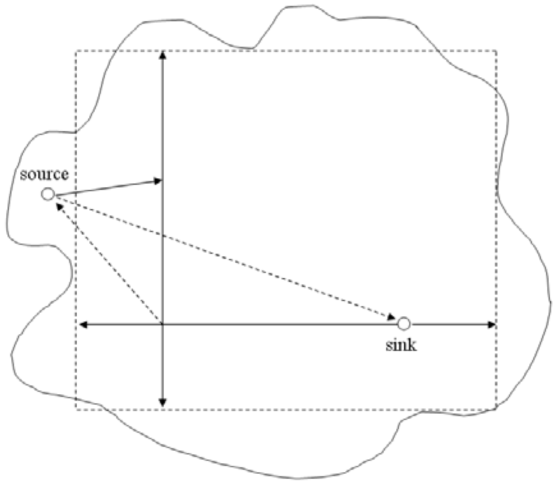


Figure 3. Sink location obtainment using inner rectangular

VRLF-Zone은 교차 지점의 생성을 보장하기 위해 네트워크 내부에 가상으로 구성하는 사각 형태의 지역이다. VRLF-Zone을 구성하기 위해 제안 방안은 네트워크 형태 정보를 모으는 과정이 필요하다. 네트워크의 가장자리에 위치한 노드들 중 하나가 이 과정을 시작한다. 이 초기화 노드는 네트워크 배치 과정에서 인위적으로 정해지거나 다른 자동 선택 방안 [10][11] 을 통해 정해진다. 초기화 노드는 NETWORK_SHAPE_DISCOVERY (NSD) 메시지를 오른손 법칙(right hand rule) [] 에 의해 네트워크의 가장자리를 따라 전송되는 메시지를 보낸다.

그림 2는 VRLF-Zone의 생성 과정을 보여준다. NSD 메시지의 임무는 네트워크의 경계선에서 NP, EP, SP, WP 이렇게 네 개의 가장 오목한 부분을 찾는 것이다. 이들 지점을 찾는 법칙은 다음과 같다.

$$\begin{array}{llll} V_x(+), V_y(-) \rightarrow V_y(+) & => & NP \\ V_y(-), V_x(-) \rightarrow V_x(+) & => & EP \\ V_x(-), V_y(+) \rightarrow V_y(-) & => & SP \\ V_y(+), V_x(+) \rightarrow V_x(-) & => & WP \end{array} \quad (1)$$

V_x는 NSD 메시지의 현재 노드와 이전 노드의 x좌표 값 차를 의미한다. NP는 V_x가 양수인 상태에서 V_y가 음수에서 양수로 바뀌는 지점이다. 다시 말해서 NP는 NSD 메시지가 x축 양의 방향으로 움직일 때, 아래로 볼록한 지점을 의미한다. 다른 지점들도 같은 방법으로 찾을 수 있으며, 이들 지점들은 하나 이상일 수 있다. 이 과정이 끝나면 초기화 노드는 NP, EP, SP, WP들 중에서 각각 하나의 지점을 선택한다. 그 법칙은 다음과 같다.

가) NP들 중 y축 값이 가장 작은 지점을 선택한다.
나) EP들 중 x축 값이 가장 작은 지점을 선택한다.
다) SP들 중 y축 값이 가장 큰 지점을 선택한다.
라) WP들 중 x축 값이 가장 큰 지점을 선택한다.
마) VRLF-Zone의 범위에서 벗어난 지점은 무시한다.

네 개의 지점들이 선택되면 제안 방안은 VRLF-Zone을 구성한다. VRLF-Zone은 사각형 윗변과 아랫변의 y축 값, 사각형 왼쪽과 오른쪽 변의 x축 값 이렇게 네 개의 값으로 나타낸다. 이 정보는 네트워크 전체에 단 한번 플러딩 되며, 모든 노드들은 VRLF-Zone에 대해 알 수 있다.

3.4. 싱크 위치정보 획득

소스와 싱크가 VRLF-Zone 내부에 위치한다면 바로 교차 지점 생성 방안을 사용할 수 있다. 이 경우 SLS 메시지와 SLA 메시지의 목적지는 방향이 아닌 정확한 위치이다. 소스의 위치가 (x0, y0)라고 하면 y축 상에서 내부 사각형과 만나는 두 점 (x0, y1), (x0, y2)가 SLS 메시지의 목적지 주소가 된다. 싱크의 위치가 (x0, y0) 라고 하면 x축 상에서 내부 사각형과 만나는 두 점 (x1, y0), (x2, y0)가 SLA 메시지의 목적지 주소가 된다. 전송하는 메시지가 정확한 목적지 주소를 갖는다면 네트워크 내부에 홀 또는 과 같은 장애물이 있어도 홀 문제를 해결하는 방안들 [4][5] 을 사용하여 목적지까지 전송할 수 있다. 따라서 두 메시지의 교차 지점을 보장할 수 있고, 소스는 싱크의 위치 정보를 획득할 수 있다.

4. 성능 분석

이 섹션에서는 시뮬레이션을 통해 제안 방안의 성능을 분석한다. 시뮬레이션 환경과 고려한 요인들을 설명하고, 제안 방안과 다른 방안들의 성능 비교를 보인다.

시뮬레이션은 Qualnet ver 3.8에서 실시했으며, 센서 노드들의 모델은 MICA 2 성능 [12] 을 따랐다. 각 노

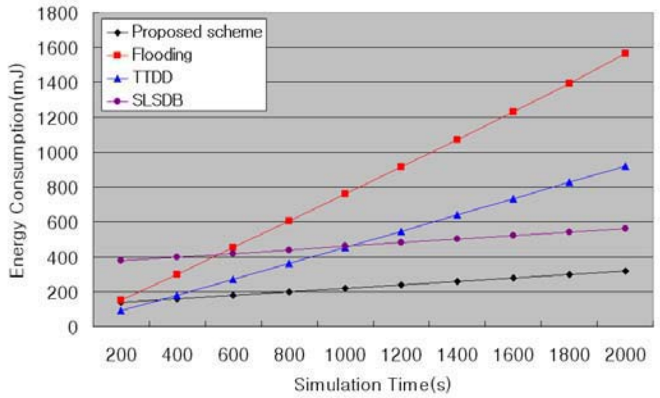


Figure 4. Energy consumption with different simulation times

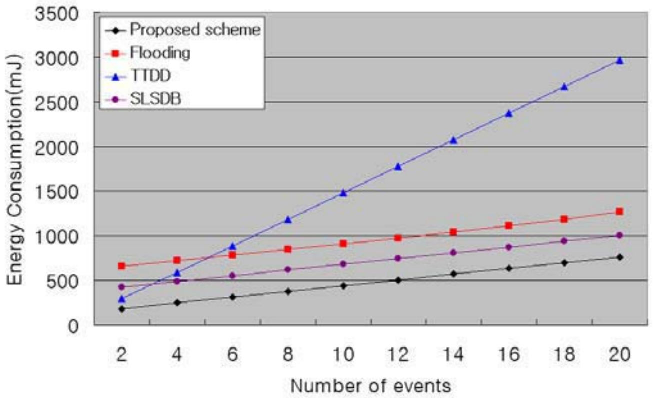


Figure 5. Energy consumption with different number of events

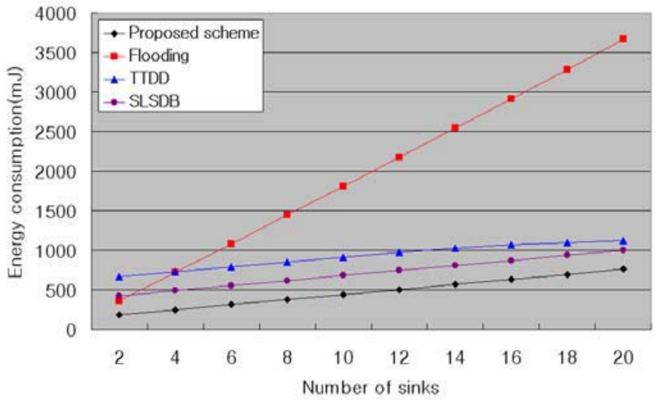


Figure 6. Energy consumption with different number of sinks

드의 전송 범위는 100m로 설정했으며, 300개의 노드들이 1000m * 1000m 의 필드에 고르게 뿌려졌다. 소스는 데이터 패킷을 2초마다 한번씩 싱크에게 전송한다. Mac/phy는 802.11b 표준을 따랐다. 각각의 방안들이 싱크의 위치 정보를 얻는 간격은 100초이며, TTDD의 격자 크기는 300m이다.

그림 4는 시뮬레이션 시간에 따른 에너지 소비량을 나타낸다. 소스와 싱크의 개수는 각각 2개이다. 플러딩은 가장 많은 에너지를 소모한다. TTDD는 전역 플러딩 대신 격자 크기만큼의 지역 플러딩을 사용하기 때문에 플러딩보다 오버헤드가 적다. TTDD는 또한 전역 격자 구조체를 구성하기 위해 모든 노드들이 필요하지 않다. SLSDB의 에너지 소비량은 시간이 지남에 따라 천천히 증가한다. 그러나 SLSDB는 높은 초기화 오버헤드를 가진다. 제안 방안의 에너지 소비량 증가 비율은 SLSDB와 비슷하다. 하지만 초기화 오버헤드가 SLSDB에 비해 매우 적다.

그림 5는 이벤트 개수에 따른 에너지 소비량을 보여준다. 시뮬레이션 시간은 500초이며, 싱크의 개수는 4개이다. TTDD는 각각의 소스마다 격자 구조체를 구성한다. 이벤트의 개수가 증가할수록 TTDD의 에너지 소모량은 급격히 증가한다. 그림 6은 싱크 개수에 따른 에너지 소비량을 보여준다. 시뮬레이션 시간은 500초이며, 이벤트의 개수는 4개이다. 플러딩 방안은 각각의 싱크마다 쿼리 메시지를 플러딩한다. 플러딩의 오버헤드가 TTDD의 격자 구조체 구성의 오버헤드보다 크므로 그림 5의 TTDD보다 그림 6의 플러딩 방안이 더 많은 증가 폭을 보인다. TTDD는 싱크의 개수가 증가할수록 데이터 패킷을 중집(aggregation)할 수 있으므로 그림 6에서 싱크의 개수가 증가할수록 에너지 소모량의 증가율이 조금씩 낮아지는 것을 볼 수 있다. 제안 방안의 에너지 소비량은 이벤트의 개수가 증가하거나 혹은 싱크의 개수가 증가할 경우 비슷하게 늘어나는 것을 볼 수 있다. SLSDB는 제안 방안과 비슷한 그래프가 나오지만 초기화 오버헤드가 크기 때문에 더 많은 에너지를 소모한다.

5. 결론

위치 기반 라우팅의 장점을 살리기 위해서는 효과적으로 싱크의 위치 정보를 얻는 방안이 필요하다. 본 논문에서, 우리는 무선 망에서 싱크의 위치정보 획득을

위한 제한적인 선형 플러딩 방안을 제안했다. 소스는 SLS 메시지를 x축을 따라 전송하고, 싱크는 SLA 메시지를 y축을 따라 전송한다. 두 메시지의 교차 지점에 위치한 노드는 소스에게 싱크의 위치정보를 전송한다. 싱크의 위치 정보를 획득한 소스는 위치 정보 라우팅을 통해 싱크에게 데이터를 전송한다. 그러나 네트워크 모양 혹은 홀로 인해 교차 지점이 생기지 않을 가능성이 있다. 교차 지점의 생성을 보장하기 위해 제안 방안에 VRLF-Zone의 구성 방안이 포함되었다. 제안 방안은 에너지 소비 면에서 효율적이며 신뢰성이 있다.

REFERENCES

[1] B. Karp, H.T. Kung. “GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks,” In Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM Press, 2000. pp.243-254.

[2] T. He, J.A. Stankovic, C. Lu and T.F. Abdelzaher, “A Spatiotemporal Communication Protocol for Wireless Sensor Networks,” IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, VOL. 16, NO. 10, October 2005, pp.995-1006.

[3] Y. Yu, R. Govindan, D. Estrin, “Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks,” UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023,May 2001.

[4] J.A. Bondy and U.S.R. Murty, “Graph Theory with Applications,” (Elsevier North-Holland, 1976).

[5] Q. Fang, J. Gao, und L. J. Guibas, “Locating and bypassing routing holes in sensor networks”. In INFOCOM 2004, vol.4, March 2004 pp.2458-2468

[6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, “Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks,” In Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM Press, 2000, pp: 56-67.

[7] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, L. Zhang, “TTDD: A Two-tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks,” In Proc. of ACM/IEEE MOBICOM, Sep, 2002. pp: 148-159.

[8] R. Zhang, H. Zhao, and M. A. Labrador, “A Grid-based Sink Location Service for Large-scale Wireless Sensor Networks”, In Proc. of ACM International Wireless Communications and Mobile Computing Conference(IWCMC 2006), July, 2006, pp: 689-694.

[9] F.C. Yu, Y.H. Choi, S.H. Park, E.S. Lee, M.S. Jin, and S.H. Kim, “Sink Location Service for Geographic Routing in Wireless Sensor Networks,” To be presented in proceeding of IEEE Wireless Communications & Networking Conference(WCNC 2008), March, 2008, Las Vegas, USA.

[10] S. P. Fekete, A. Kroeller, D. Pfisterer, S. Fischer, and C. Buschmann, “Neighborhood-based topology recognition in sensor networks,” In Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks: First International Workshop (ALGOSENSOR), 2004, pp: 123-136.

[11] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, “GPS-less Low Cost Out Door Localization for Very Small Devices,” Tech. rep. 00729, Comp. Sci. Dept., USC, Apr. 2000

[12] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, “Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research,” IEEE IPSN 2005, 15 April 2005, pp. 364-369.