

무선 센서 네트워크에서 위치 기반 라우팅을 위한 원형 경로 기반 싱크 위치 서비스

정회원 박 호 성*, 준회원 이 정 철*, 오 승 민*, 임 용 빈*, 종신회원 김 상 하*^o

Sink Location Service via Circle Path for Geographic Routing in Wireless Sensor Networks

Hosung Park* *Regular Member*, Jeongcheol Lee*, Seungmin Oh*,
Youngbin Yim* *Associate Members*, Sang-Ha Kim*^o *Lifelong Member*

요 약

위치 기반 라우팅은 데이터 패킷을 전송하기 위해 네트워크 전역의 토폴로지 정보 대신 순수하게 위치 정보만을 사용하기 때문에 무선 센서 네트워크에서 효과적이고 간단하며 확장성 있는 라우팅 프로토콜로 인식되어 왔다. 위치 기반 라우팅에서 소스 노드는 싱크의 위치 정보를 알고 있어야 한다. 대부분의 기존 위치 기반 라우팅 프로토콜들은 단순히 소스 노드가 싱크의 위치를 알고 있다고 가정하여 싱크 위치 획득 과정을 자세히 다루지 않았다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 위치 기반 라우팅을 위한 원형 경로 기반 싱크 위치 서비스를 제안한다. 이 방안에서, 싱크는 원형 경로를 따라 싱크 위치 알람 메시지를 전송하고 소스는 그 원형 경로를 반드시 지나서 직선 경로를 따라 싱크 위치 질의 메시지를 전송함으로써 두 메시지의 교차점을 보장한다. 교차점에 위치한 노드는 소스 노드에게 싱크의 위치를 알린다. 제안 방안은 간단한 규칙을 통해 일정하지 않은 외곽 혹은 홀과 같은 불규칙성을 갖는 센서 네트워크에서도 문제없이 동작할 수 있다. 시뮬레이션 결과는 제안 방안이 에너지 소비와 제어 부하 측면에서 다른 방안들에 비해 우수함을 보여준다.

Key Words : Sink Location Service, Geographic Routing, Wireless Sensor Networks, Irregular Networks

ABSTRACT

Geographic routing has been considered as an efficient, simple, and scalable routing protocol for wireless sensor networks since it exploits pure local location information instead of global topology information to route data packets. Geographic routing requires the sources nodes to be aware of the location of sinks. Most existing geographic routing protocols merely assume that source nodes are aware of the locations of sinks. How can source nodes get the locations of sinks was not addressed in detail. In this paper, we propose a sink location service via circle path for geographic routing in wireless sensor networks. In this scheme, a sink sends a Sink Location Announcement (SLA) message along a circle path, and a source node sends a Sink Location Query (SLQ) message along a straight path that certainly passes through the circle path. By this way we can guarantee the SLQ path and SLA path have at least one crossing point. The node located on the crossing point of the two paths informs the source node the sink location. This procedure can correctly work in any irregular profile sensor networks such as network that has holes or irregular shape by some rules. Simulation results show that our protocol is superior to other protocols in terms of energy consumption and control overhead.

* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실({hspark, jlee, smoh, ybyim}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr) (^o: 교신저자)
논문번호: KICS2010-03-119, 접수일자: 2010년 3월 26일, 최종논문접수일자: 2010년 6월 7일

I. 서 론

위치 기반 라우팅^[1]은 데이터 패킷을 전송하기 위해 네트워크 전역의 정보를 사용하는 대신 순수하게 위치 정보를 사용하기 때문에 매력적인 접근법으로 인식되어 왔다. 위치 기반 라우팅 방안은 무선 센서 네트워크에서 라우팅 프로토콜이 더 효율적이고, 단순하며, 확장성을 갖게 만든다. 위치 기반 라우팅 방안에서 소스 노드는 각 데이터 패킷에 싱크의 위치 정보를 넣는다. 데이터 패킷을 수신한 노드는 한 홉 내의 이웃 노드들 중에 위치적으로 싱크와 가장 가까운 노드를 선택하여 데이터 패킷을 전송한다. 이 과정은 데이터 패킷이 결과적으로 목적지 노드, 즉 싱크에 도착할 때까지 반복된다. 이러한 메커니즘은 소스 노드로부터 싱크까지의 라우팅 홉 수를 최소화 할 수 있다.

위치 기반 라우팅은 세 가지 조건이 요구된다. 첫째로, 각 노드는 자신의 위치 정보를 알고 있어야 한다. 이 조건은 GPS 신호 혹은 다른 위치 서비스^[7,8]를 통해 충족될 수 있다. 둘째로, 각 노드는 한 홉 내 이웃 노드의 위치 정보를 알고 있어야 한다. 이웃 노드의 위치 정보는 비콘 메시지^[1]를 통해 수신할 수 있다. 셋째로, 소스 노드는 싱크의 위치를 알고 있어야 한다. 무선 센서 네트워크에서 소스 노드와 싱크는 네트워크 안의 어느 위치여라도 존재할 수 있고 심지어 싱크는 이동성을 가질 수도 있다. 일반적으로 GPS 서비스는 싱크의 위치를 소스 노드에게 제공할 수 없다. 몇몇 잘 알려진 위치 기반 라우팅 방안들^[1-4]은 소스 노드가 별도의 서비스들을 통해 싱크의 위치를 인식하고 있다고 단순히 가정할 뿐, 어떻게 소스 노드가 싱크의 위치를 얻을 수 있는지에 대해서는 자세히 언급하고 있지 않다. 본 논문은 효율적으로 소스 노드에게 싱크의 위치를 알려주기 위한 방안을 제시하는 것이 그 목적이 있다.

플러딩^[5]은 싱크 위치 정보를 소스 노드에게 제공하기 위한 가장 단순한 방법이다. 싱크는 자신의 위치 정보를 포함하는 메시지를 주위의 센서 노드에게 브로드캐스팅 한다. 메시지를 수신한 센서 노드는 자신의 이웃 노드들에게 같은 메시지를 다시 브로드캐스팅 하며, 이 과정이 반복됨으로써 메시지가 네트워크 전역에 퍼져나간다. 센서 노드들은 해당 메시지를 중복 수신할 경우 첫 번째 수신한 메시지를 제외하고 이후의 메시지는 폐기한다. 따라서 센서 네트워크에 존재하는 모든 노드들이 싱크의 플러딩 메시지를 수신하게 되며, 모든 소스 노드들이 싱크의 위치 정보를 수신할 수 있다. 그러나 플러딩은 하나의 싱크 위치를

소스 노드들에게 전달하기 위해 모든 센서 노드들이 한 번의 메시지 전송과 다수의 메시지 수신을 해야 하기 때문에, 에너지를 포함한 네트워크 자원의 낭비가 극심한 방안이다. 만약 센서 네트워크 내에 다수의 싱크가 존재한다면 각각의 싱크들은 저마다 플러딩을 실행해야 하므로, 싱크의 수가 많아질수록 네트워크 자원의 소모는 더욱 심각해진다.

플러딩의 자원 낭비를 피하기 위해, TTDD^[6]는 격자 구조체를 통해 플러딩의 범위를 셀 내부로 제한하는 방안을 제안했다. TTDD는 주기적으로 소스 노드 기반 광역 격자 구조체를 구성한다. 다시 말해 하나의 소스 노드는 자신의 위치와 격자 한 변의 길이를 포함하는 구조체 구성 메시지를 네트워크에 전송함으로써 자신을 기준으로 하는 광역 격자 구조체를 구성한다. 각 격자점마다 전달 노드가 선출되며, 각 전달 노드는 격자 구조체 상에서 소스 노드로 향하는 상위 전달 노드를 알고 있다. 싱크는 소스 노드에게 자신의 위치를 전달하기 위해서 광역 플러딩을 하지 않고 이 격자 구조체를 이용한다. 하나의 격자 셀 크기만큼으로 제한된 플러딩을 실행하면 가장 가까운 전달 노드를 찾을 수 있으며, 해당 전달 노드는 격자 구조체를 따라 싱크의 위치를 소스 노드에게 전달할 수 있기 때문이다. 격자 셀 크기로 제한된 플러딩은 광역 플러딩에 비해 네트워크 자원의 소모를 상당 부분 줄일 수 있다. 그러나 싱크가 제한된 플러딩을 실행하기 위해 생성하는 광역 격자 구조체는 여전히 네트워크 자원의 소모가 큰 방안이다. 하나의 소스 노드는 주기적으로 광역 격자 구조체를 생성하기 때문에 구조체의 생성 및 유지비용이 크다. 또한 각각의 소스 노드들은 저마다 광역 격자 구조체를 생성하기 때문에 소스 노드의 수가 많아질수록 네트워크 자원의 소모는 더욱 심각해진다. 구조체의 생성 비용을 줄이기 위해 셀의 크기를 키우면 제한된 플러딩의 영역이 커지므로 플러딩 부하가 커지게 된다. 반면 격자 셀의 크기를 줄이면 플러딩의 부하는 줄어들지만 구조체 생성의 부하가 커진다.

본 논문에서는 싱크의 위치를 소스 노드에게 제공하는 과정에서 발생하는 부하를 최소화하기 위해, 무선 센서 네트워크에서 위치 기반 라우팅을 위한 원형 경로 기반 싱크 위치 서비스를 제안한다. 이 방안에서, 소스 노드는 싱크 위치 질의 (Sink Location Query (SLQ)) 메시지를 미리 지정된 베이스 노드와 센서 네트워크의 경계에 위치하는 노드에게 동시에 전송함으로써 하나의 SLA 직선 경로를 만든다. 싱크는 싱크 위치 알림 (Sink Location Announcement (SLA)) 메시지를 베이스 노드가 중심이 되는 원형 경로를 따라

전송한다. 이러한 방법으로 SLQ 직선 경로와 SLA 원형 경로가 최소 하나 이상의 교차점을 갖도록 보장할 수 있다. 두 경로의 교차점에 위치한 노드는 소스 노드에게 싱크의 위치를 알려준다. 이후, 소스 노드는 위치 기반 라우팅으로 데이터 패킷을 싱크에게 전송할 수 있다. 제안 방안은 싱크 위치 질의 / 알림 단계 동안에 플러딩 혹은 중복된 신호로 인한 네트워크 자원 낭비가 없다. 또한 일정한 법칙에 의하여 일정하지 않은 외곽 혹은 홀과 같은 불규칙성을 갖는 센서 네트워크에서도 문제없이 동작한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 제안 방안인 무선 센서 네트워크에서 위치 기반 라우팅을 위한 원형 경로 기반 싱크 위치 서비스를 자세히 설명한다. 3장에서는 제안 방안을 다양한 측면에서 분석하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안 방안의 성능을 평가한다. 그리고 5장에서 본 논문의 결론을 짓는다.

II. 제안 방안

앞서 언급했듯이, 우리는 위치 기반 라우팅에 필요한 세가지 조건 중 둘을 만족하고 있다고 가정한다. 다시 말해, 각 노드는 GPS 신호나 기타 위치 서비스들^{[7][8]}을 통해 자신의 위치 정보를 얻을 수 있으며, 비콘 메시지를 통해 한 홉 이웃 노드들의 위치 리스트를 얻을 수 있다^[11]고 가정한다. 또한 각 노드는 네트워크 전개 시에 수동 설정 혹은 네트워크 전개 후에 자동 감지 방안들^{[9][10]}을 통해 자신이 네트워크 경계에 위치하는지 여부를 알 수 있다. 제안 방안에서 소스 노드는 싱크 위치 질의 / 알림 단계 후에 싱크에게 데이터를 전송할 수 있다. 따라서 SLA와 SLQ 메시지의 전달을 위해, 모든 센서 노드는 네트워크 전개 후 어느 정도의 시간 동안 네트워크 정보를 얻을 필요가 있다.

2.1 네트워크 초기화

이 단원에서는 싱크 위치 서비스를 시작하기 위한 네트워크 초기화 단계를 순차적으로 설명한다. 네트워크 전개 후, 네트워크를 구성하는 센서 노드들 중 한 노드가 베이스 노드로 선택된다. 센서 네트워크는 특정한 목적을 가지고 특정한 위치에 전개되기 때문에 그 중심점의 위치에서 가장 가까운 노드를 베이스 노드로 선택할 수 있다. 베이스 노드는 네트워크 초기화 (Network Initialization (NI)) 메시지를 생성하여 네트워크 전체로 플러딩 한다. NI 메시지는 베이스 노드의 위치를 나타내는 B_N_Location 필드를 포함한다. NI 메시지를 수신한 각 센서 노드는 베이스 노드의 위치

를 통해 자신이 속한 레벨 값을 계산하고 유지 한다. l 은 베이스 노드까지의 거리이며, r 은 센서 노드의 전과 범위라고 할 때, 각 노드의 레벨은 다음과 같이 계산된다.

$$Level = \left\lceil \frac{l}{r} \right\rceil \quad (1)$$

그림 1은 일반적인 센서 네트워크를 보여주며, 그림 2는 앞서 설명한 네트워크 초기화 과정 후의 결과를 보여준다. 그림 1에서, 노드 B는 네트워크 중심점에서 가장 가까운 노드이다. 따라서 노드 B가 베이스 노드가 되어 네트워크 초기화를 시작한다. 네트워크 초기화 단계가 끝나면 각 센서 노드들은 자신이 속한 레벨 값을 계산하게 되며, 그림 2는 그 이상적 결과를 보여준다. 두꺼운 점으로 그려진 곡선은 센서 네트

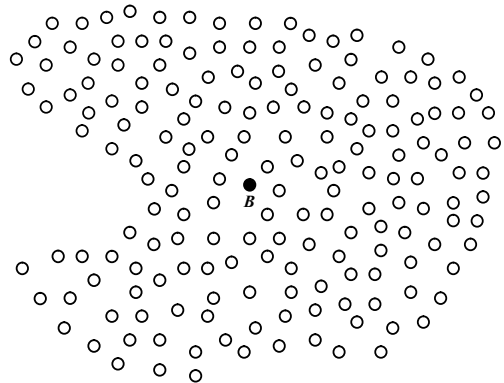


그림 1. 일반적인 센서 네트워크

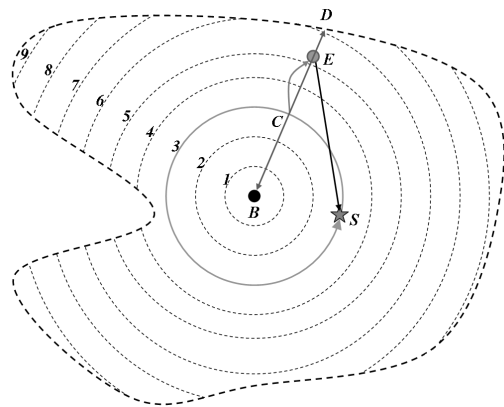


그림 2. 네트워크 초기화와 싱크 위치 서비스

크의 외곽 경계를 나타내며, 얇은 점으로 그려진 원은 같은 레벨 값을 갖는 센서 노드들의 경계를 나타낸다. 네트워크 초기화 단계 후, 모든 센서 노드는 그들의 레벨 값과 베이스 노드의 위치를 알게 된다. 또한, 모든 노드들은 비콘 메시지를 통해 이웃 센서 노드의 레벨 값을 얻을 수 있다.

2.2 싱크 위치 서비스

네트워크 초기화 이후, 소스 노드와 싱크는 싱크 위치 서비스를 시작한다. 그림 2는 싱크 위치 서비스의 과정을 보여주며, 이 단원에서는 싱크와 소스 노드의 동작과정을 각각 순차적으로 설명한다. 싱크와 소스 노드는 동작은 동시성이 요구되지 않는다. 다시 말해, 싱크와 소스 노드는 싱크 위치 서비스를 시작하는 순서의 제약이 없으며, 소스 노드는 싱크가 존재할 경우 바로 싱크의 위치 정보를 획득할 수 있다.

이 문단에서는 싱크의 동작과정을 순차적으로 설명한다. 싱크는 Sink_Location, Sink_Interest, Level, Direction 이렇게 네 가지 필드를 포함하는 싱크 위치 알림 (SLA) 메시지를 생성한다. Sink_Location 필드는 싱크 S의 위치로 설정되고, Sink_Interest 필드는 싱크 S의 관심 사항 즉 데이터 쿼리 (data query)로 설정되며, Level 필드는 이웃 노드들로부터 얻은 레벨 값, Direction 필드는 우측 (right)으로 설정된다. 이후 싱크 S는 베이스 노드를 바라보았을 때 자신의 우측에 있는 한 홉 이웃 노드들 중에 같은 레벨 값을 갖는 가장 먼 노드에게 SLA 메시지를 전송한다. SLA 메시지를 수신한 노드는 싱크 S의 위치와 쿼리를 싱크 정보 테이블에 저장하고, SLA 메시지를 같은 규칙에 따라 다음 노드에게 전송한다. 이 과정은 처음 SLA 메시지를 수신했던 노드가 다시 SLA 메시지를 수신할 때까지 반복된다. 결과적으로 그림 2에서 볼 수 있듯이, SLA 메시지의 자취가 굵은 선으로 표현된 닫힌 원을 형성한다. 몇몇 특별한 경우는 3장에서 논의한다.

이 문단에서는 소스 노드의 동작과정을 순차적으로 설명한다. 이벤트를 감지한 센서 노드 즉, 소스 노드는 자신의 위치와 감지된 이벤트 타입을 포함하는 싱크 위치 질의 (SLQ) 메시지를 생성한다. 소스 노드는 그림 2에서 볼 수 있듯이 SLQ 메시지를 복사하여 두 방향으로 각각 전송한다. 하나는 경로 \overline{EB} 를 통해 베이스 노드 B에게 전송된다. 모든 센서 노드는 2.1장에서 서술한 바와 같이 네트워크 초기화 단계를 통해 베이스 노드의 위치를 알고 있기 때문에 위치 기반 라우팅을 통해 메시지를 전송할 수 있다. 다른 하나의 SLQ 메시지는 경로 \overline{ED} 를 통해 베이스 노드로 향한

SLQ 메시지의 반대 방향으로 네트워크 외곽까지 전송된다. 소스 노드는 자신을 기준으로 베이스 노드 반대 방향의 충분히 먼 임의의 점을 목적으로 설정하고 위치 기반 라우팅을 통해 메시지를 전송한다. 네트워크 경계 노드는 SLQ 메시지를 수신하면 더 이상 메시지를 전달하지 않는다. 따라서 임의의 점으로 전송되던 SLQ 메시지는 네트워크 경계에서 멈추게 된다. 결과적으로 두 SLQ 메시지의 자취는 그림 2에서 볼 수 있듯이 굵은 직선 \overline{BD} 를 형성한다. SLQ 메시지를 전달한 모든 센서 노드는 소스 노드의 위치와 이벤트 타입을 소스 정보 테이블에 저장한다.

원리: 원과 선이 주어졌을 때, 선의 한쪽 끝이 원 안에 있고 다른 쪽 끝이 원 밖에 있으면 그때 원과 선은 최소 하나의 교차점을 가진다.

그림 2에서 볼 수 있듯이, SLQ 메시지 전달 경로 \overline{BD} 의 한쪽 끝은 베이스 노드 B이고 SLA 메시지 전달 원 안에 있다. SLQ 메시지 전달 경로의 다른 쪽 끝은 노드 D이고 SLA 메시지 전달 원 밖에 있다. 다시 말해서, 항상 두 메시지의 교차점이 존재한다. 교차점 C에 위치한 노드는 SLQ와 SLA 메시지를 모두 수신하며, 소스 노드의 위치, 이벤트 타입, 싱크의 위치, 싱크의 쿼리를 알 수 있다. 이 노드는 SLQ 메시지의 이벤트 타입이 SLA 메시지의 싱크 쿼리와 일치하면 그림 2의 굵은 곡선 \overline{CE} 처럼 소스 노드에게 싱크의 위치 정보를 알려준다. 싱크 위치 정보를 수신한 소스 노드는 위치 기반 라우팅을 사용하여 싱크 S에게 데이터 패킷을 전송 한다.

III. 분 석

3.1 센서 네트워크의 불규칙성

센서 네트워크는 불규칙한 외곽 혹은 네트워크 내부의 홀과 같이 불규칙성을 가질 수 있다. 이 단원은 센서 네트워크가 불규칙성을 가질 경우, 제안 방안이 올바르게 동작하기 위한 추가 방안을 설명한다. 그림 3은 내부에 홀 (Hole)을 가지고 있는 불규칙한 외곽의 센서 네트워크를 나타낸다. 이 센서 네트워크에는 두 개의 소스 노드와 한 개의 싱크가 있다.

싱크는 2.2장에서 설명했던 메커니즘에 의해 자신의 위치와 쿼리를 알리기 위해 SLA 메시지를 전송한다. 싱크 S2는 문제없이 원형 경로를 따라 메시지를 전송할 수 있지만 S1의 SLA 메시지는 홀과 네트워크

의 경계에 부딪히게 된다. 홀의 경계 부분에 위치한 센서 노드 M은 SLA 메시지를 받았을 때, 법칙에 따라 메시지를 전송할 이웃 노드가 없다는 것으로 홀을 인지한다. 따라서 자신보다 레벨이 1 작은 이웃 노드에게 메시지를 전송한다. 이후 SLA 메시지를 전송 받는 노드들은 자신의 우측에 있는 이웃 노드들 중 메시지 안의 Level 필드 값에 가장 가까운 레벨 값을 가진 노드에게 SLA 메시지를 전송하려고 시도한다. 하지만 상위 레벨의 이웃 노드가 존재하지 않을 경우 같은 레벨의 노드에게 메시지를 전송하며, 같은 레벨의 이웃 노드도 존재하지 않을 경우 다시 레벨이 1 적은 이웃 노드에게 전송한다. 이 과정은 메시지가 다시 원래의 레벨을 갖는 노드에게 전송될 때까지 반복된다. 따라서 SLA 메시지는 그림 3에서 볼 수 있듯이 노드 N을 만날 때까지 원의 중심 방향으로 홀을 우회한다. 이 과정은 SLA 메시지가 네트워크 경계에 위치하는 노드 P에 전송됐을 경우에도 똑같이 실행된다. 따라서 SLA 메시지는 네트워크의 경계를 따라 원의 안쪽으로 우회할 수 있다.

소스 노드가 생성한 SLQ 메시지는 위치 기반 라우팅 방안의 경계 (perimeter) 모드^[1]를 사용하여 홀을 우회할 수 있다. 그러나 SLA 메시지와는 다르게 네트워크의 경계 노드를 만났을 경우 메시지 전송이 중단되므로 네트워크 경계를 우회할 필요는 없다.

그림 3에서, 불규칙성을 갖는 센서 네트워크에서 SLA 전달 경로가 온전한 원이 아니더라도 닫혀있는 (closed) 도형을 형성하기 때문에, 반드시 교차점이 생성된다는 것을 알 수 있다. 따라서 추가 방안을 통해 제안 방안은 불규칙성을 갖는 센서 네트워크에서도 올바르게 동작한다.

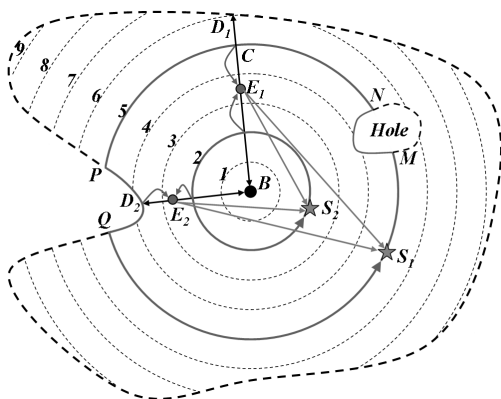


그림 3. 불규칙성을 갖는 센서 네트워크에서의 싱크 위치 서비스

3.2 베이스 노드의 효과

베이스 노드는 두 가지 목적을 가진다. 하나는 센서 네트워크를 초기화하는 것이고, 다른 하나는 SLQ 메시지와 SLA 메시지의 모든 전송에서 기준이 되는 것이다. 장기간 동작하는 센서 네트워크를 위해, 베이스 노드가 많은 수의 SLQ 메시지를 받아 에너지 고갈로 인해 기능을 상실하는 경우가 생길 수 있다. 이 경우, SLQ 메시지 전달은 베이스 노드의 위치에서 제일 가까운 노드에서 멈출 것이다. 따라서 베이스 노드가 기능을 상실하더라도 제안 방안의 신뢰성은 보장될 수 있다.

베이스 노드에 관한 다른 문제는 베이스 노드가 어디에 위치하는 것이 제안 방안에 가장 효과적인가이다. 이 효과를 분석하기 위해 우리는 SLA 원형 경로의 둘레를 고려해야 한다. 싱크로부터 베이스 노드까지의 거리를 r 이라 가정하면, SLA 원형 경로의 둘레는 $2\pi r$ 에 근사하게 계산될 수 있다. 이 값을 줄이기 위해, 베이스 노드는 싱크에 가능한 한 가깝게 선택되어야 한다. 네트워크 초기화 단계 이전에, 싱크가 빈번하게 존재하는 위치가 예측될 수 있다면 베이스 노드는 이 위치 근처에서 선택되어야 한다. 그렇지 않으면, 베이스 노드는 센서 네트워크의 중심에 선택되는 것이 좋다.

3.3 부 하

제안 방안은 싱크 위치 알림 / 질의 단계에서 플러딩 혹은 광역 구조체를 사용하지 않는다. 다만, 네트워크 초기화 단계에서 베이스 노드의 위치를 알리기 위한 단 한 번의 광역 플러딩만이 요구된다. 장기간 모니터링을 하는 경향이 있는 센서 네트워크에서 한 번의 광역 플러딩은 큰 부하를 생성하지 않는다.

센서 네트워크에는 다수의 소스 노드와 다수의 싱크가 동시에 존재할 수 있다. 물론 이러한 경우, 어떤 싱크의 SLA 원형 경로도 어떤 소스 노드의 SLQ 직선 경로와 최소 하나 이상의 교차점을 갖는 것을 보장할 수 있다. 하나의 싱크가 SLA 메시지를 전송하면, 모든 소스 노드는 각각 자신의 SLA 메시지와 교차점에 있는 노드로부터 싱크의 위치를 얻을 수 있다. 또한, 하나의 소스 노드가 SLQ 메시지를 전송하면, 교차점들로부터 모든 싱크의 위치를 얻을 수 있다.

IV. 성능 평가

이 장에서는, 시뮬레이션을 통해 싱크 위치 서비스의 성능을 평가한다. 먼저 시뮬레이션 환경과 성능 평

가 항목을 서술한다. 이후 플러딩^[5], TTDD^[6]와 비교를 통해 제안 방안의 성능을 평가한다.

4.1 시뮬레이션 환경과 성능 평가 항목

우리는 제안한 싱크 위치 서비스를 네트워크 시뮬레이터 Qualnet 3.8^[11]로 구현하였다. 센서 노드들은 MICA2^[12]의 표준을 따른다. 센서 노드의 전송 범위는 100m이다. 센서 네트워크의 크기는 400개의 노드가 임의적으로 분산된 1000 x 1000m²로 설정하였다. 각 프로토콜의 주기는 100초로 설정하였다. 즉, 우리의 방안에서는 소스 노드와 싱크가 싱크 위치 질의와 알람 메시지를 매 100초마다 보내고, 플러딩에서는 싱크가 자신의 위치를 매 100초마다 전송한다. 그리고 TTDD에서는 소스 노드가 광역 격자 구성과 격자 크기 구역 내 싱크 플러딩을 매 100초마다 수행한다. TTDD의 격자 크기는 300m로 설정하였다.

우리는 제안한 싱크 위치 서비스의 성능을 분석하고 비교하기 위해 다음과 같은 세가지 성능 평가 항목을 사용한다.

제어 부하는 시뮬레이션 시간 동안 싱크 위치 서비스를 위해 전송되는 제어 메시지의 총 개수로 정의된다.

에너지 소비량은 제어 메시지의 송수신을 위해 센서 노드들이 소비하는 에너지의 총합으로 정의한다. 에너지 소비량은 제어 메시지를 송수신하는 횟수뿐만 아니라 각 메시지의 바이트 수에도 영향을 받는다.

싱크 탐지 지연 시간은 소스 노드가 싱크의 위치를 획득하는데 필요한 시간으로 정의한다. 이 지연 시간이 작을수록 데이터 전송 시간 역시 빨라진다.

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 시뮬레이션 시간에 따른 성능 평가

이 시나리오에서는 하나의 소스 노드와 하나의 싱크가 네트워크에 임의적으로 위치해 있다. 시뮬레이션 시간은 200초에서 2000초까지 측정했다. 그림 4는 세가지 싱크 위치 서비스 방안의 제어 부하를 보여준다. 플러딩의 제어 부하는 다른 두 방안에 비해 월등히 높다. 이는 싱크 위치 서비스를 실행하는 매 주기마다 네트워크 내의 모든 센서 노드가 플러딩에 참여해야 하기 때문이다. 시간이 지날수록 플러딩의 제어 부하는 급격히 증가하여 다른 두 방안과 더 많은 차이를 보인다. TTDD의 제어 부하는 광역 격자 구조체의 구성에 필요한 제어 메시지와 싱크의 셀 범위 제한 플러딩에 의해 발생한다. 광역 격자 구조체는 격자의 경계

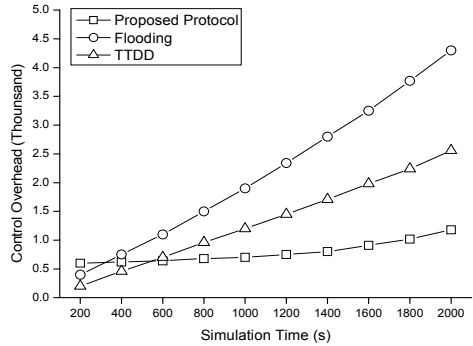


그림 4. 시뮬레이션 시간에 따른 제어 부하

에 위치한 노드들이 참여하여 구성되며, 제한 플러딩은 하나의 셀 내부에 있는 노드들이 참여하여 이루어지므로, 네트워크의 모든 노드가 제어 메시지 전송에 참여하는 플러딩 방안에 비해 더 적은 개수의 제어 메시지가 발생한다. 따라서 TTDD의 제어 부하는 플러딩보다 낮은 값을 갖는다. 제안 방안에서는 SLQ 메시지와 SLA 메시지가 전송되는 두 경로 상의 노드들만이 제어 메시지 전송에 참여하므로 다른 두 방안에 비해 제어 부하가 더 적으며, 시뮬레이션 시간이 증가에 따른 제어 부하 증가량이 미미하다. 제안 방안의 제어 부하가 200초에서 다른 방안들보다 높은 이유는 초기화 단계에서 전체 네트워크에 NI 메시지를 플러딩하기 때문이다. 이 네트워크 초기화 부하는 전체 과정에서 단 한 번 발생하며, 소스 노드 또는 싱크의 수에 영향을 받지 않는다.

그림 5는 세 방안의 에너지 소비량을 나타낸다. 우리는 이 그래프가 그림 4와 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. 이것은 에너지 소비량이 제어 메시지의 수와

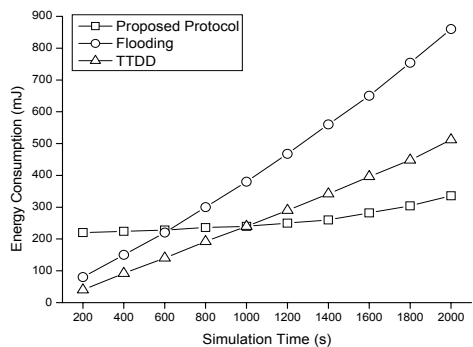


그림 5. 시뮬레이션 시간에 따른 에너지 소비량

밀접하게 관련되어 있기 때문이다. 600초 이전까지 제안 방안의 에너지 소비량은 TTDD와 플러딩보다 높다. 이는 에너지 소비가 제어 메시지의 크기와 관련되어 있기 때문이다. 제안 방안의 초기화 단계에서 플러딩 되는 NI 메시지는 추가적으로 레벨 필드를 포함하고 있기 때문에 다른 방안에 비해 메시지의 크기가 크다. 이 단원의 시나리오에서, 우리는 제어 부하와 에너지 소비량을 평가하기 위해 하나의 소스 노드와 하나의 싱크가 존재하는 상황을 가정하였고, 시뮬레이션 시간은 단지 2000초로 설정하였다. 실제 센서 네트워크에서 소스 노드와 싱크의 수, 그리고 수행 시간은 이 시나리오보다 훨씬 크다. 따라서 다수의 소스 노드들과 싱크들이 존재하는 센서 네트워크가 장기간 동작할 경우, 제안 방안의 초기화를 위한 부하는 주목할 만한 것은 아니다.

4.2.2 싱크 탐지 지연 시간 평가

이 시나리오에 세 방안의 평균 싱크 탐지 지연 시간을 평가하기 위해 센서 노드의 밀집도를 일정하게 유지하며 전체 네트워크 크기를 $500 \times 500m^2$ 에서 $5000 \times 5000m^2$ 로 변화시킨다. 그림 6에서 세 방안 중 플러딩의 평균 싱크 탐지 지연 시간이 가장 짧은 것을 볼 수 있다. 이는 싱크가 광역 플러딩을 통해 자신의 위치 정보를 소스 노드에게 직접적으로 전송하므로 위치 정보 전달 경로가 직선에 가깝기 때문이다. 따라서 플러딩의 싱크 탐지 지연 시간은 싱크와 소스 노드의 거리에만 관련되어 있다. 우리 방안의 평균 싱크 탐지 지연 시간은 플러딩보다 약간 크다. 이것은 제안 방안에서 싱크가 직접 소스 노드에게 자신의 위치를 전송하지 않고, SLQ 메시지 경로와 SLA 메시지 경로의 교차점에 의해 중계 되기 때문이다. TTDD의 평균 싱크 탐지 지연 시간은 제안 방안과 플러딩보다 상당

히 같다. 싱크는 소스 노드로부터 구성되는 광역 격자 구조체가 구성된 후에야 구조체를 통해 자신의 위치를 소스에게 알릴 수 있기 때문이다. 반면 제안 방안은 SLQ 메시지와 SLA 메시지의 전송 경로 상의 노드들이 각각 소스의 위치와 싱크의 위치를 저장하기 때문에, 두 메시지의 전송 순서의 제약이 없다. 다시 말해, 소스 노드와 싱크의 동시성이 요구되지 않으므로 소스 노드는 싱크가 네트워크에 존재할 때 즉시 싱크의 위치를 획득할 수 있다.

4.2.3 적용성 평가

지금까지의 시뮬레이션 결과는 에너지 소비와 제어 부하 측면에서 제안 방안이 다른 방안들에 비해 효율적임을 보여준다. 그러나 이 결과가 어느 조건에서나 적용되는 것은 아니다. 예를 들어, 네트워크에 하나의 싱크가 존재하고 모든 센서 노드가 소스 노드라는 극단적인 상황에서는 플러딩 방안이 싱크 위치 서비스의 가장 좋은 선택이 될 수 있다. 모든 센서 노드가 싱크의 위치를 획득해야 하기 때문이다. 반면에 제안 방안은 교차점을 찾기 위해 모든 노드가 SLQ 메시지를 전송하고, 각 교차 노드로부터 유니캐스트를 통해 싱크 위치 정보를 수신해야 한다. 이 경우 제안 방안은 플러딩에 비해 더 높은 제어 부하를 갖고, 더 많은 에너지를 소비한다. 이 단원에서는 제안 방안이 더 좋은 성능을 유지할 수 있는 조건을 찾으려 시도한다.

시뮬레이션은 세 가지 시나리오에 따라 수행된다. 시나리오 마다 센서 노드의 수는 각각 100, 400, 900이다. 네트워크에는 하나의 싱크가 존재하며, 소스 노드의 수는 0에서 40개까지 변화한다. 각 시뮬레이션 시간은 200초이다. 그림 7은 세 가지 시나리오의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 각 시나리오에서 플러딩의 제어 부하는 거의 수평선이다. 플러딩 방안에서는 싱

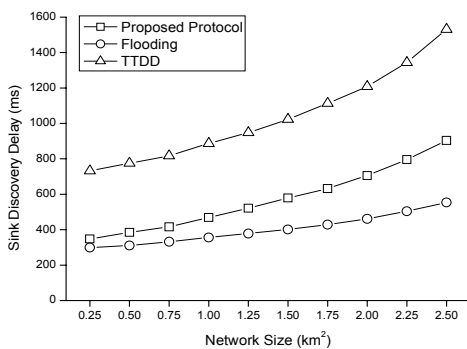


그림 6. 네트워크 크기에 따른 싱크 탐지 지연 시간

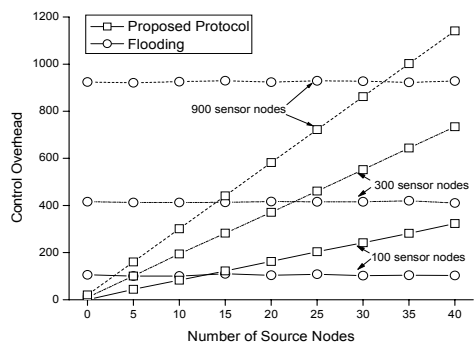


그림 7. 소스 노드와 센서 노드의 수에 대한 제어 부하

크가 전송하는 메시지를 모든 노드가 전달해야 하므로 제어 부하는 소스 노드의 수와 관계가 없기 때문이다. 이와 달리 제안 방안에서는 소스 노드의 수가 증가함에 따라 제어 부하도 같이 증가한다. 모든 소스 노드가 SLQ 메시지를 전송하고 교차점의 노드로부터 싱크의 위치 정보를 수신해야 하기 때문이다. 그림 7로부터 다음의 결과들을 볼 수 있다. 센서 노드의 수가 100개인 시나리오에서 소스 노드의 수가 12보다 적은 경우, 400개 센서 노드의 시나리오에서 소스 노드의 수가 22보다 적은 경우, 900개 센서 노드의 시나리오에서 소스 노드의 수가 33보다 적은 경우 제안 방안의 제어 부하가 플러딩보다 적다.

이 결과에서 우리는 총 센서 노드 수에서 소스 노드의 수가 차지하는 비율이 높은 경우 플러딩 방안이 제어 부하 측면에서 제안 방안보다 효율적임을 알 수 있다. 하지만 일반적인 무선 센서 네트워크의 시나리오에서는 총 센서 노드 수에 비해 소스 노드의 수가 극히 적다. 이는 무선 센서 네트워크가 수많은 센서 노드가 목표 지역에 뿌려져 구성되는 네트워크이기 때문이다. 그에 비해 이벤트가 발생하여 소스 노드가 되는 센서 노드의 수는 매우 적다. 또한 이 시뮬레이션 결과는 네트워크상에 오직 하나의 싱크만 존재한다는 조건이라는 것을 주목해야 한다. 플러딩 방안은 각각의 싱크마다 네트워크 전역에 플러딩을 실행하므로 싱크의 수가 늘어날수록 제어 부하가 급격하게 늘어나게 된다. 따라서 네트워크에 적정수의 소스 노드들과 싱크들이 존재하는 일반적인 센서 네트워크 시나리오에서는 제안 방안이 대부분의 경우 플러딩보다 우수하다.

V. 결 론

본 논문에서 우리는 무선 센서 네트워크에서 위치 기반 라우팅을 위한 원형 경로 기반 싱크 위치 서비스를 제안하였다. 각 센서 노드는 초기화 단계에서 자신의 레벨 값과 베이스 노드의 위치를 얻는다. 이 방안에서 소스 노드는 싱크 위치 질의 (SLQ) 메시지를 복사하여 베이스 노드와 그 반대 방향으로 전송한다. 싱크는 싱크 위치 알림 (SLA) 메시지를 베이스 노드가 중심이 되는 원형 경로를 따라 전송한다. 두 메시지의 전송 경로는 최소 하나 이상의 교차점을 가지며, 교차점에 위치한 노드는 소스 노드에게 싱크의 위치 정보를 전달한다. 따라서 소스 노드는 싱크의 위치 정보를 획득할 수 있다. 제안 방안은 싱크 위치 서비스를 위해 플러딩 혹은 광역 격자 구조가 필요하지 않으며,

네트워크에 적정수의 소스 노드들과 싱크들이 존재하는 일반적인 센서 네트워크의 시나리오의 경우, 에너지 소비와 제어 부하 측면에서 다른 싱크 위치 서비스에 비해 우수하다.

참 고 문 헌

- [1] B. Karp and 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] H.S. Kim, T.F. Abdelzaher, and W.H. Kwon, "Minimum-energy asynchronous dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks", In *Proc. of the 1st ACM international conference on Embedded networked sensor systems*, November 2003, pp.193-204.
- [4] Y. Yu, R. Govindan, and 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.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and 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.
- [6] 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.
- [7] J. Hightower and G. Borriello, "Location

Systems for Ubiquitous Computing,” *IEEE Computer*, vol. 34, no. 8, August 2001, pp. 57-66.

- [8] A. Savvides and M. B. Strivastava, “Distributed Fine-grained localization in ad-hoc networks,” *IEEE Transactions of Mobile Computing*, 2003.
- [9] 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*, 2004, pp.123-136.
- [10] J.A. Bondy and U.S.R. Murty, “Graph Theory with Applications,” (Elsevier North-Holland, 1976).
- [11] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.
- [12] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, “Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Research,” in *Proc. IEEE IPSN*, Apr. 2005.

박 호 성 (Hosung Park)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정
보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 2월 충남대학교 컴퓨터
공학과 석사
2010년 3월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks, MANET 등

이 정 철 (Jeongcheol Lee)

준회원



2008년 2월 충남대학교 전기정
보통신공학부 컴퓨터전공
2008년 9월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing,
Wireless Sensor Networks,
MANET, Multicast 등

오 승 민 (Seungmin Oh)

준회원



2009년 2월 충남대학교 전기정
보통신공학부 컴퓨터전공
2009년 3월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing,
Wireless Sensor Networks 등

임 용 빈 (Yongbin Yim)

준회원



2010년 2월 충남대학교 전기정
보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 3월~현재 충남대학교
컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Internet Routing,
Wireless Sensor Networks 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

종신회원



1980년 서울대학교 학사
1984년 University of Houston
석사
1989년 University of Houston
박사
1992년~현재 충남대학교 전기
정보통신공학부 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등