

무선 센서망에서 2-계층 가상구조를 통한 이동 싱크 실시간 데이터 전달 방안

오승민^o 임용빈 이정철 박호성 김상하

충남대학교 컴퓨터공학과

{smoh, ybyim, jcleee, hspark}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr

Real-time Data Dissemination for Mobile Sink via 2-Level Virtual Infrastructure in Wireless Sensor Networks

Seungmin Oh, Yongbin Yim, Jeongcheol Lee, Hosung Park, and Sang-Ha Kim
Dept. Of Computer Engineering, Chungnam National University

1. 서 론

무선 센서 망에서 고정 싱크에 대한 실시간 데이터 전달 방안들은 전송 경로 상의 매 홉마다 초기에 계산된 일정한 전송 속도를 만족함으로써 실시간 데이터 전달을 달성한다. 이동 싱크의 경우에는 소스와 싱크 간의 거리가 시간에 따라 가변적이기 때문에 일정한 전송 속도로는 실시간 전송을 보장할 수 없다. 본 연구에서는 이동 싱크의 실시간 전송에 대한 요구사항을 정의하고 이를 기준으로 실시간성을 보장하는 프로토콜을 제시한다. 이 프로토콜은 2-계층의 구조로 구성된다: 상위 계층, 하위 계층. 상위 계층에서는, 소스와 싱크가 존재하는 지역까지의 실시간성과 이동을 위한 위치 업데이트를 관리하고, 하위 계층에서는 싱크가 존재하고 있는 지역에서 이동 싱크까지의 지역 단위의 실시간 전송을 보장한다. 전체 실시간성은 상위, 하위 계층의 실시간성을 각각을 만족함으로써 달성된다.

2. 제안 방안

기존 연구 [1]에서 소스 노드로부터 고정된 싱크까지 주어진 시간 $T_{setdeadline}$ 내에 데이터를 전달하기 위해서 소스 노드와 싱크 간의 거리 $d(source, sink)$ 를 통해서 다음과 같이 계산된 S_{speed} 를 사용한다: $S_{speed} = d(source, sink) / T_{setdeadline}$. 이런 연구들에서 데이터를 소스 노드로부터 싱크까지 전달할 때, 모든 중계 노드들은 다음 중계 노드 선정할 때 1-홉 이내의 노드 중 자신보다 목적지에 가깝고, 처리 중계 속도 가 S_{speed} 보다 높은 노드를 선정한다. 하지만, 싱크가 움직인다면, 소스와 싱크간의 거리 d 는 계속해서 변화한다. 그렇게 때문에 S_{speed} 도 역시 변화된다. 이를 위해서 싱크의 위치가 계속해서 반영 되어야 한다.

우리는 2-계층의 그리드 기반의 실시간 데이터 전송 방안 (Grid-based Real-time Data Dissemination, GRDD)을 제안한다. GRDD에서는 싱크는 미리 생성된 상위 계층 그리드의 한 교차점에 위치 등록을 한다. 그리고, 교차점의 셀을 고려해서, 싱크는 셀 내부에 있기 때문에, 소스 노드는 $T_{setdeadline}$ 에서 셀 이내에서 데이터가 퍼지는 최대의 거리와 소스와 그 교차점까지의 거리의 합과 주어진 시간 $T_{setdeadline}$ 을 가지고 S_{speed} 를 계산한다. 제안된 방안에서는 이를 계산할 때, 교차점까지 전송되는 시간과, 셀 내부에 데이터가 퍼지는 시간의 합이 주어진 시간 $T_{setdeadline}$ 보다 적은 것을 보장한다. 싱크에게로 데이터를 전달하기 위해 셀 이내에 모든 센서가 전송에 참여하는 것은 에너지 소모가 많아지기 때문에, GRDD는 한 셀도 그리드 기반으로 하위 레벨의 셀을 나누어서 에너지 소모를 줄인다. 하지만, 셀의 크기에 따라서 싱크가 셀의 범위를 벗어날 수 있는 단점을 가지고 있기 때문에, 우리는 그 인접한 셀에도 동시에 데이터를 전달하여, 싱크가 어디로 이동하던지 시간 내에 도착할 수 있도록 한다.

제안된 알고리즘을 적용하기 위해서 우리는 몇몇의 사항을 가정한다. 모든 센서 노드와 싱크 노드는 GPS[2] 나, Localization 알고리즘을 통해서 자신의 광역적 위치를 알 수 있다. 모든 센서 노드와 싱크는 센서 필드의 크기와 중심점 (x_c, y_c) 을 알고 있다. 싱크는 모든 소스의 위치를 알고 있다. 센서 필드에 센서 노드는 충분히 높은 밀도로 뿌려져 있다.

간단히 설명하기 위해서, 우리는 센서 필드를 2-차원의 평면으로 확장한다. 상위 계층 의 그리드의 교차점은 레퍼런스 포인트 (reference point)와 셀 크기 α 에 의해서 간단하게 계산할 수 있다. 이 두 가지 변수는 네트워크 최초 구성할 때에 바꿀 수 있다. 모든 상위 계층의 교차점은 각각 자신의 그리드 상의 좌표 $C_{cp}(a, b)$ 를 계산할 수 있다. 이 논문에서는 센서 필드의 중심점 (x_c, y_c) 을 레퍼런스 포인트라 가정하면, 자신의 위치 (x, y) 를 가지고 a, b를 계산이 가능하다: $x = x_c + \alpha \times a, y = y_c + \alpha \times b (a, b = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$. 물론, 교차점에 있는 노드가 그리드 노드가 되어야 한다. 하지만, 이렇게 계산된 좌표에 센서 노드가

없을 수도 있다. 이럴 경우에는 그 좌표에서 가장 가까이에 있는 노드가 그리드 노드가 된다.

싱크로 데이터를 전달할 때, 위치 기반의 라우팅을 위해서는 싱크의 위치 정보는 계속해서 소스노드, 또는 위치를 저장하고 있는 노드로 알려져야 한다. 우리는 이를 위해서 여러 가지 싱크 위치 정보 서비스[3]를 사용할 수 있다. 하지만 이 논문에서 싱크는 모든 소스의 위치를 알고 있다고 가정하기 때문에, 싱크의 위치 정보 등록은 소스 노드로 직접 한다. 우선 싱크 노드는 자신의 좌표를 통해 자신이 속한 그리드 번호를 계산할 수 있다. 계산식은 다음과 같다. 이 그리드 내부의 한 셀에는 최대 4개의 교차점이 있을 수 있다. 싱크로의 실시간 데이터 전송을 위해서는 싱크와 소스 사이에 있는 교차점에 싱크의 위치 정보는 등록이 되고, 업데이트 되어야만 한다. 소스 노드 (x_{src}, y_{src}) 에서 가장 가까운 교차점을 찾기 위해서, 싱크는 자신의 위치 좌표 (x_s, y_s) 를 사용한다. 이를 찾기 위해서, 다음 두 가지 식을 만족하는 교차점 (x_c, y_c) 를 선택한다: $(x_s - x_c) \times (x_c - x_{src}) \geq 0, (y_s - y_c) \times (y_c - y_{src}) \geq 0$. 싱크는 이렇게 선택된 교차점에 가장 가까이 있는 노드에게 자신의 위치를 등록한다. 싱크가 등록할 때에는 자신의 위치를 담은 메시지를 그 교차점에 가장 가까운 노드에게로 위치 기반 라우팅 방법으로 전달한다. 이 등록 메시지를 받은 노드는 해당 셀을 하위 계층의 여러 개의 그리드 기반의 셀로 다시 나눈다. 이는 싱크가 움직일 수 있을 것으로 예상되는 지역을 나누는 것인데, 이를 기반으로 차후에 데이터가 전달된다. 이 식은 다음과 같다: $n = \lceil \alpha / V_s \times T_{setdeadline} \rceil$. 이 식에 의해서 한 상위 계층의 그리드 셀은 $n \times n$ 의 하위 계층의 그리드 셀로 나누어진다. 상위 계층의 그리드와는 달리 하위 계층의 그리드 셀의 리더는 해당 셀의 중심점이 된다.

제안 방안에서 데이터 전달은 두 개의 과정으로 나눌 수 있다: 1) 소스로부터 교차점까지, 2) 교차점에서 싱크까지. 데이터가 전달되어야 할 시간 $T_{setdeadline}$ 은 어플리케이션에 의해서 정해진다. 우선, 소스로부터 해당 셀의 리더(교차점)까지 걸리는 시간을 T_{f1} , 리더로부터 싱크까지 걸리는 시간을 T_{f2} 라고 한다. 그러면 $T_{setdeadline} \geq T_{f1} + T_{f2}$ 이어야 한다. 데이터가 이동하는 거리는 소스 노드에서 교차점까지의 거리와 교차점으로부터 이동하고 있는 싱크까지 거리의 합이다. 하지만, 싱크는 계속해서 움직이기 때문에 교차점 싱크까지의 거리는 정확히 측정할 수 없다. 한 교차점으로부터 셀 내에서 최대로 갈 수 있는 직선의 길이는 $\sqrt{2}\alpha$ 이다. 우선 센서 망의 특성상, 데이터가 전달되는 시간은 거리에 비례하기 때문에 [7], T_{f1} 과 T_{f2} 는 소스 노드로부터 교차점 (cp)까지의 거리 $d(source, cp)$: $\sqrt{2}\alpha$ 의 비율로 나누어질 수 있다. 이를 이용해서 T_{f1} 은 다음과 같이 계산될 수 있다: $T_{F1} = T_{setdeadline} \times d(src, cp) / \sqrt{2}\alpha + d(src, cp)$. 소스는 $T_{setdeadline}$ 중에 소스 노드로부터 교차점까지 가는데 사용할 수 있는 시간 T_{f1} 을 계산하고, 이 값과 거리 $d(src, cp)$ 를 이용해서 교차점까지 필요한 데이터 전달 속도 $S_{setspeed}$ 를 다음과 같이 계산할 수 있다: $S_{setspeed} = d(src, cp) / T_{F1}$.

데이터를 전달 받은 교차점에 가장 가까이 있는 노드는 싱크에게 데이터를 전달하기 위해서, 싱크가 등록되어 있는 하위 계층의 셀에 대한 정보를 가지고 있다. 하지만, 이 셀에 대한 정보를 등록 받은 시점부터 일정 시간이 지났기 때문에, 해당 셀 내부에 싱크가 존재하지 않을 수도 있다. 그렇기 때문에, 새롭게 싱크 위치 정보 업데이트하기 전까지는 데이터는 싱크가 존재할 만한 위치로 보내져야 한다. 이를 위해서 상위 계층의 셀 전체에 플래딩을 통해서 데이터를 전달할 수 있다. 하지만 이것은 셀 전체의 노드가 전부 참여해야 하기 때문에 많은 에너지가 소모된다. 하위 계층의 한 셀의 가로 길이는 싱크의 평균 속도 V_s 와 주어진 시간 $T_{setdeadline}$ 의 곱한 값이다. 그렇기 때문에, 싱크가 주어진 시간 동안 움직이는 범위는 최초 등록한 하위 계층의 셀과 그와 바로 인접한 셀이다. 이를 위해서 데이터를 전달받은 교차점 노드는 9개의 셀의 리더에게 데이터를 전달한다. 만약, 인접한 하위 레벨의 셀이 인접한 상위 레벨의 셀에 속하는 경우에는, 이것을 상위 레벨의 교차점에 알리고, 소스에게 등록해서, 인접한 상위 레벨의 셀도 데이터를 동시에 받도록 한다. 이렇게 함으로써, 싱크가 상위 레벨에서의 이동에도 데이터가 끊이지 않고 실시간으로 전달이 가능하게 한다. 하위 레벨의 셀 리더까지 전달된 데이터는 싱크에게로 플래딩 방식으로 전달하게 된다. 상위 레벨의 교차점에서 하위 레벨의 리더까지의 거리와 한 하위 레벨의 셀에서 플래딩으로 퍼질 수 있는 거리의 합은 항상 $\sqrt{2}\alpha$ 보다 작거나 같다. 이로써 하위 레벨에서도 실시간 데이터 전송을 보장할 수 있다.

3. 참고문헌

- [1] T. He, J. A. Stankovic, T. F. Abdelzaher, and C. Lu, "A Spatiotemporal communication protocol for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Parallel and Distrib. Syst.*, Vol. 16, No. 10, pp. 995-1006, Oct. 2005.
- [2] 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, ACM Press, 2000.
- [3] H. Park, et al, "Sink location via Inner Rectangular in Wireless Sensor Networks," in Proc. IEEE International Conferences on Advanced Information Networking and Applications (AINA), May 2009.