

무선 센서 네트워크를 위한 위치 기반 라우팅에서 로컬 싱크 운영 기법

(An Operation Scheme of Local Sink in Geographic Routing for Wireless Sensor Networks)

이 의 신^{*} 박 수 창^{*}
(Euisin Lee) (Soochang Park)

진 민 숙^{*} 박 호 성^{*}
(Min-Sook Jin) (Hosung Park)

김 태 희^{*} 김 상 하^{**}
(Taehee Kim) (Sang-Ha Kim)

요약 본 논문은 무선 센서 네트워크를 위한 위치 기반 라우팅에서 지역적이고 근접한 지역에 소스 노드들의 데이터를 효율적으로 수집하고 융합하기 위한 이슈를 다룬다. 우리는 우선 그러한 지역에서 소스 노드들로부터 데이터를 수집하고 융합하여 글로벌 싱크에게 융합된 데이터로 전달하는 로컬 싱크의 개념을 소개한다. 우리는 또한 로컬 싱크의 최적의 위치를 결정하기 위한 모델을 디자인하고 로컬 싱크를 통해서 데이터를 수집하기 위한 방안을 제안

한다. 시뮬레이션 결과는 위치 기반 라우팅에서 로컬 싱크를 운영하는 제안 방안이 로컬 싱크를 운영하지 않는 기존의 방안보다 에너지와 데이터 전송률 면에서 더 효율적임을 보여준다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 위치 기반 라우팅, 데이터 수집 및 융합, 로컬 싱크

Abstract This paper addresses issues to efficiently collect and aggregate data of sources within a local and adjacent region in geographic routing for wireless sensor networks. We first introduce the concept of a local sink which collects and aggregates data from source nodes in the region and delivers the aggregated data to a global sink. We also design a model to determine an optimal location of the local sink and propose a mechanism to collect data through the local sink. Simulation results show that the proposed mechanism with the local sink is more efficient in terms of the energy and the data delivery ratio than the existing mechanism without the local sink in a geographic routing.

Key words : Wireless sensor networks, Geographic routing, Data collection and aggregation, Local sink

1. 서론

위치 기반 라우팅은 전체 망에 대한 라우팅 정보 없이 위치 정보만으로 데이터를 전달할 수 비상대 방식이기 때문에 무선 센서 망에서 많이 연구되었다[1-2]. 그러나, 무선 센서 망에서 대부분의 위치 기반 라우팅 프로토콜들은 소스 노드(Source node)로부터 목적지 노드(Destination node)까지 데이터 전달을 보장하기 위한 방법을 찾는 것에 집중한 반면 지역적이며 근접한 지역(Target region)에 소스 노드들의 데이터를 수집하고 융합하는 방법에 대해서는 거의 다루고 있지 않다.

하지만, 무선 센서 망에서 동일한 데이터의 융합(Aggregation)은 에너지 효율을 위해 중요하고 필요하다[3-4]. 왜냐하면, 무선 센서 망은 무수히 많은 노드들이 밀집되어 뿌러지기 때문에 근접한 다수의 센서 노드들에 의해 이벤트가 감지되고 그들의 센싱 데이터는 중복되거나 연관성이 매우 높다[4]. 그러나, 그림 1(a)와 같이, 지역적이며 근접하게 폭주하여 발생하는 각각의 소스 노드들의 센싱 데이터를 글로벌 싱크(Global sink)에서 수집하고 융합하는 것은 여러 가지 문제점을 발생한다. 첫 번째로, 모든 소스 노드의 데이터가 융합없이 글로벌 싱크에게 전달되는 것은 소스 노드의 수에 비례하여 에너지 소비를 증가시킨다. 두 번째로, 지역적이고 근접한 지역에 대부분의 데이터 패킷들은 위치 기반 라우팅에서 비슷한 경로를 이용하기 때문에 그 경로 상에

* 본 연구는 충남대학교 컴퓨터공학과 BK21 차세대정보기술SW인력양성 사업단 지원으로 수행하였습니다.

· 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '무선 센서 네트워크를 위한 위치 기반 라우팅에서 로컬 싱크의 운영'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

* 학생회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과
eslee@cclab.cnu.ac.kr
winter@cclab.cnu.ac.kr
badamul@cclab.cnu.ac.kr
hspark@cclab.cnu.ac.kr
thkim@cclab.cnu.ac.kr

** 종신회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수
shkim@cnu.ac.kr
(Corresponding author임)

논문접수 : 2008년 8월 27일

심사완료 : 2009년 2월 9일

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: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제15권 제3호(2009.3)

센서 노드들은 많은 에너지를 소비하고 데이터 혼잡이 발생한다. 세 번째로, 다른 지역에 데이터 패킷들이 비슷한 경로를 통해 전달된다면 역시 데이터 혼잡으로 인해 데이터 전달에 많은 어려움을 겪을 것이다[2]. 따라서, 그림 1(b)와 같이, 그러한 지역적이며 근접한 지역에 폭주하여 발생하는 데이터는 그 지역에서 수집되고 융합되어 글로벌 싱크에게 전달되는 것이 에너지 소비와 데이터 혼잡을 줄일 수 있다.

그러므로, 우리는 본 논문에서 위치 기반 라우팅에서 이러한 이슈를 다루기 위한 로컬 싱크(Local Sink)의 개념을 소개한다. 그 로컬 싱크는 위치 기반 라우팅에서 지역적이며 근접하게 폭주하며 발생하는 지역의 데이터를 수집하고 통합하여 글로벌 싱크에게 전달할 데이터를 발생하는 그 지역에 임시로 선정된 센서 노드이다. 그림 1은 위치 기반 라우팅에서 지역적이며 근접하게 폭주하여 발생하는 데이터가 글로벌 싱크에서 수집되고 융합되는 것(a)과 로컬 싱크에서 수집되고 융합되어 글로벌 싱크에게 전달되는 것(b)을 나타낸다.

우리는 또한 로컬 싱크의 최적의 위치를 선정하기 위한 방법을 위해 수학 모델을 디자인한다. 글로벌 싱크는 데이터가 폭주하여 발생하는 특정 지역에 센서 노드들의 위치 정보를 통해 그 지역에 모든 센서 노드들로부터 데이터를 수집하고 그 데이터를 융합하여 글로벌 싱크에게 전달할 데이터를 발생하여 글로벌 싱크에게 데이터를 전달하는 비용이 최소가 되는 그 지역에 최적의 위치에 센서 노드를 로컬 싱크로 선정한다. 우리는 또한 제안 모델링을 통해 선정된 로컬 싱크를 통해서 데이터를 효율적으로 수집하기 위한 방안을 제시한다.

본 논문의 나머지는 다음과 같이 구성되었다. 우리는 2장에서 로컬 싱크 선정을 위한 모델을 제안하고 3장에

서는 제안 모델을 통해 선정된 로컬 싱크를 통한 데이터 수집 방안을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 제안 모델과 제안 방안을 평가하고 마지막으로, 5장에서 결론으로 논문을 마무리한다.

2. 로컬 싱크 모델

2.1 가정

- 모든 센서 노드들은 GPS 시그널이나 위치 측정 기술[5]을 통해 각자 자신의 위치를 안다.
- 모든 노드들은 위치 기반 라우팅 [1-2]을 통해 데이터를 목적지 노드까지 전달한다.
- 소스 노드들은 그들의 데이터에 그들 자신의 위치 정보를 포함시킨다.
- 일반 센서 노드는 글로벌 싱크의 선택에 의해 로컬 싱크로서 작동할 수 있다.

2.2 용어 및 정의

목표 지역(Target Region)은 이벤트들의 발생에 의해 많은 소스 노드들로부터 데이터가 집중적으로 발생하거나 사용자에게 의해 관심되는 특별한 지역으로써 정의한다. 글로벌 싱크(Global Sink)는 일반적인 무선 센서 망에서 전체 센서 노드들로부터 데이터를 수집하고 그 데이터를 사용자들에게 전달하는 싱크(Sink)나 베이스스테이션(Base station)이다[3]. 로컬 싱크(Local sink)는 목표 지역에 데이터를 지역적으로 수집하고 그 데이터를 융합하여 글로벌 싱크에게 전달하는 개체이다. 이 로컬 싱크는 글로벌 싱크에 의해 목표 지역에 센서 노드들 중에 위치 정보에 기반하여 임시로 선택된 하나의 센서 노드이다.

2.3 로컬 싱크의 결정

우리는 로컬 싱크의 최적화된 위치를 결정하기 위해

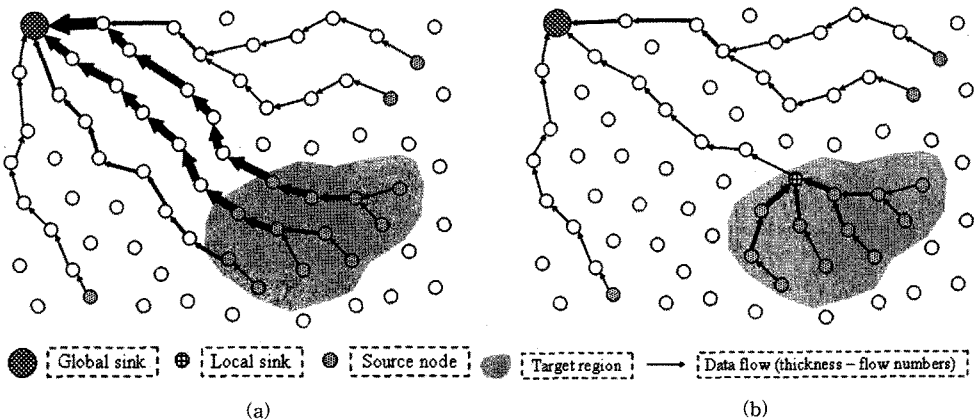


그림 1 위치 기반 라우팅에서 데이터 수집의 두 가지 방법: (a) 로컬 싱크를 운영하지 않는 데이터 수집과 (b) 로컬 싱크를 운영하는 데이터 수집

수학적 모델을 개발한다. 그 모델은 (1) 데이터 수집과 (2) 융합된 데이터 전달에 관한 총 에너지 비용 함수 E_t 가 위치 기반 라우팅에서 최소가 되는 목표 지역에 하나의 센서 노드를 로컬 싱크로서 결정한다. 제안 모델은 위치 기반 라우팅에서 에너지 소비는 홉 수 (hop-counts)에 비례하고 홉 수는 거리에 비례한다는 사실에 근거하여 위치 정보와 에너지 모델에 기반하여 수학적으로 계산된다. 왜냐하면, 더 먼 거리는 센서 노드들이 밀집하고 균등하게 뿌려진 무선 센서 망에서 데이터를 전달하기 위해 더 많은 네트워크 레벨 홉 수를 요구하기 때문이다.

그림 2와 같이, 데이터를 집중적으로 발생하는 목표 지역에 소스 노드들의 집합 $S = \{n_1, n_2, \dots, n_N\}$ 이라고 하자. 우리는 집합 S 중에 노드 n_i 에 (1) 데이터 수집을 위한 에너지 비용 함수 E_c 를 아래 식 (1)과 같이 정의한다.

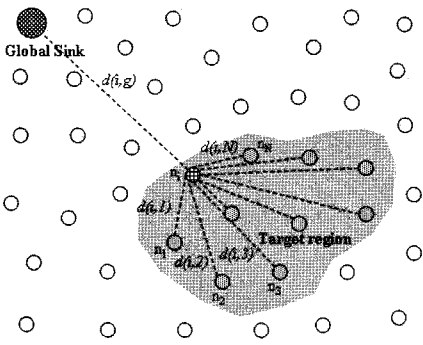


그림 2 최적의 로컬 싱크의 위치를 선정하기 위한 예

$$E_c(i) = \sum_{j=1, j \neq i}^N d(i, j) \times e_t \times e_r \times packet_size \quad (1)$$

여기서, $d(i, j)$ 는 두 센서 노드 i 와 j 사이에 거리로써 정의하고 그 $packet_size$ 는 하나의 센서 노드에서 센싱 데이터의 패킷 사이즈를 말한다. 그리고, e_t 와 e_r 를

각각 1 비트 패킷을 보내고 받기 위해 소비되는 에너지를 의미한다.

우리는 또한 그 센서 노드 n_i 에서 (2) 융합된 데이터 전달을 위한 에너지 비용 함수 E_d 를 아래 식 (2)와 같이 정의한다.

$$E_d(i) = d(i, g) \times e_t \times e_r \times aggregated_packet_size \quad (2)$$

여기서, $d(i, g)$ 는 그 노드 n_i 와 글로벌 싱크 사이를 말하고 그 $aggregated_packet_size$ 는 센서 노드 n_i 가 집합 S 에 모든 다른 소스들로부터 수집된 데이터를 융합한 융합 데이터의 패킷 사이즈이다.

따라서, 총 에너지 비용 함수 E_t 는 식 (3)과 같이 정의된다.

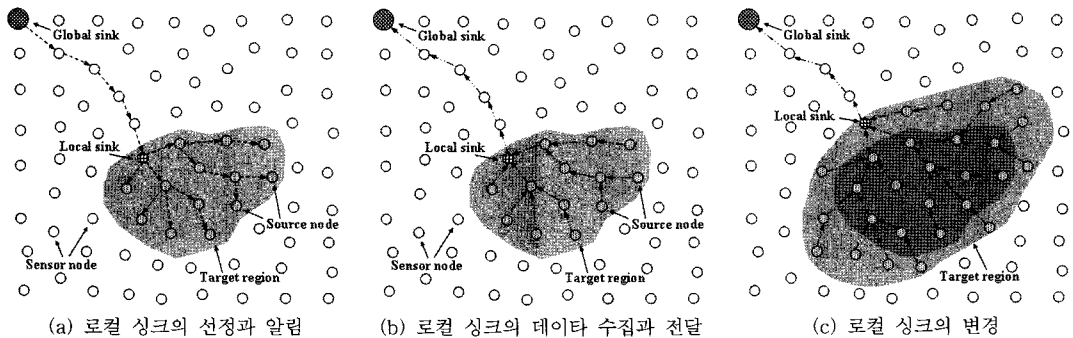
$$E_t(i) = E_c(i) + E_d(i) \quad (3)$$

글로벌 싱크는 총 에너지 비용 함수 E_t 가 최소가 되는 집합 S 중에 센서 노드 n_i 를 로컬 싱크로서 결정한다.

3. 로컬 싱크를 통한 데이터 전달 방안

3.1 로컬 싱크의 선정과 알림

글로벌 싱크가 센싱 데이터에 포함된 위치 정보를 통해 어떠한 지역적이고 인접한 지역 즉, 목표 지역에서 데이터의 집중 현상을 인지하면 글로벌 싱크는 2장에서 제안된 로컬 싱크 모델을 통해서 로컬 싱크로서의 기능을 수행할 하나의 센서 노드를 선정한다. 글로벌 싱크는 로컬 싱크로서 선정된 센서 노드에게 목표 지역에 대한 위치 정보를 담은 로컬 싱크 선정 메시지를 보내고 그 메시지를 받은 센서 노드는 목표 지역에 센서 노드들로부터 데이터를 수집하기 위한 로컬 싱크로서 활동하게 된다. 그 로컬 싱크는 잘 알려진 Geocasting 프로토콜들[6]을 통해 목표 지역 내로 로컬 싱크 알림 메시지를 전송한다. 로컬 싱크 알림 메시지의 전달을 통해, 목표 지역에 나머지 센서 노드들은 자신들의 데이터를 수집하는 로컬 싱크의 위치 정보를 알게 된다. 그림 3(a)는 로컬 싱크의 선정과 알림의 단계를 보여준다.



(a) 로컬 싱크의 선정과 알림

(b) 로컬 싱크의 데이터 수집과 전달

(c) 로컬 싱크의 변경

그림 3 로컬 싱크를 통한 데이터 전달 방안의 3 가지 단계

3.2 로컬 싱크의 데이터 수집과 전달

데이터 폭주가 일어나는 지역, 즉 목표 지역에 센서 노드들은 글로벌 싱크로부터 로컬 싱크 알림 메시지를 받은 후에, 그들은 자신의 데이터를 더 이상 글로벌 싱크에게 직접 전달하지 않고 로컬 싱크에게 전달한다. 로컬 싱크로 선정된 센서 노드는 자신이 로컬 싱크로의 선정을 알게 된 후, 자신의 데이터뿐만 아니라 그 지역 안에 센서 노드들의 데이터를 수집하고 데이터 융합 방안[7]을 이용하여 융합하여 글로벌 싱크에게 전달한다. 그림 3(b)는 로컬 싱크의 데이터 수집과 전달 과정을 보여준다.

3.3 로컬 싱크의 변경

우리는 목표 지역에 인접한 센서 노드들이 새롭게 소스 노드들이 되어 추가되는 상황을 고려한다. 왜냐하면, 센서 네트워크의 응용에 따라 어떠한 이벤트는 자신의 특성에 따라 이동하거나 확장할 수 있기 때문이다. 따라서, 이러한 새로운 센서 노드들로부터의 데이터 또한 글로벌 싱크에서 직접 수집하는 것 보다 로컬 싱크에 의해서 수집되어 목표 지역에 데이터들과 융합되어 글로벌 싱크에게 전달되는 것이 더 효율적이다. 하지만, 이러한 새로운 소스 노드들은 로컬 싱크의 존재와 위치를 알지 못한다. 그러므로, 우리는 목표 지역에 근접한 새로운 소스 노드들이 로컬 싱크의 존재와 위치를 인식하여 그들의 데이터를 로컬 싱크에게 전달하기 위한 간단한 방법을 제시한다. 이 방법을 지원하기 위해, 우리는 센서 노드들은 Promiscuous mode로 작동할 수 있어서 모든 원 흡 이웃 센서 노드들은 전송 노드의 데이터 패킷을 엿들음(overhear) 수 있다고 가정한다. 따라서, 목표 지역의 경계에 소스 노드가 로컬 싱크를 향하여 다음 흡 노드에게 무선으로 데이터를 전달했을 경우, 무선 범위 내의 모든 센서 노드들은 그 데이터 패킷을 엿들어 쿼리의 정보와 로컬 싱크의 위치 정보를 알게 된다. 그러므로, 목표 지역에 근접한 센서 노드가 그 쿼리에 관련된 이벤트를 감지하면 로컬 싱크에게 자신의 데이터를 전달할 수 있다.

위와 같이 새로운 소스 노드들이 목표 지역에 추가되어 데이터를 로컬 싱크에게 전달하게 되면 그 목표 지역은 새로운 크기의 목표 지역으로 재형성 된다. 이런 경우에는 로컬 싱크의 위치를 최적의 위치로 변경하여야 한다. 따라서, 로컬 싱크는 특정한 기간마다 이벤트에 대한 센싱 데이터를 전달한 센서 노드들의 위치 정보를 가지고 현재 시점에서 자신이 로컬 싱크로서의 최적의 위치인지 아닌지를 판별한다. 그 판별 방법은 2장에 로컬 싱크 모델 방법을 그대로 사용하면 된다. 그 모델을 통해서 로컬 싱크가 현재 시점에서 자신의 위치가 로컬 싱크로서 최적이 아니고 목표 지역에 다른 센서

노드가 최적의 위치임을 알게 되면 로컬 싱크는 새로운 로컬 싱크에게 새로운 목표 지역의 위치 정보를 포함하는 로컬 싱크 알림 메시지를 전달하고 이 메시지를 받은 새로운 로컬 싱크는 로컬 싱크 알림 메시지를 잘 알려진 geocasting 프로토콜들[6]을 통해 그 목표 지역에 전파한다. 이 메시지들의 전달을 통해, 새로운 목표 지역은 그림 3(c)와 같이 새로운 로컬 싱크가 데이터를 수집하고 융합하여 글로벌 싱크에게 전달한다.

4. 시뮬레이션 결과

우리는 802.11 MAC이 탑재된 Qualnet ver.4.0을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 센서 노드들의 에너지 모델은 전송 에너지 소비와 수신 에너지 소비가 각각 42mW와 29mW인 MICA 모드의 재원을 채택하였고 센서 노드의 전송 범위는 100m로 하였다. 센서 망은 2500m × 2500m의 센서 필드에 망의 외곽에 위치한 1 글로벌 싱크와 필드 내에 균일하게 뿌려진 200 센서 노드들로 이루어졌다. 우리는 위치 기반 라우팅 프로토콜로는 잘 알려진 GSPR[1]을 사용하였다. 우리는 성능 분석 인자로 에너지 소비(The energy consumption)와 데이터 전송률(The data delivery ratio)을 사용하였고 성능 분석 비교는 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안(with local sink)과 로컬 싱크를 운영하지 않는 데이터 전달 방안(without local sink)을 비교하였다.

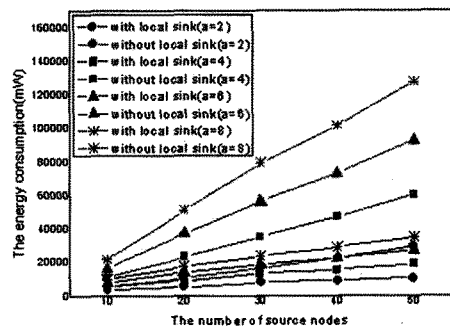


그림 4 소스 노드의 수와 데이터 발생 수에 대한 에너지 소비

그림 4는 소스 노드의 수와 데이터 발생의 수에 대한 에너지 소비를 나타낸다. 그림에 괄호 안의 기호 a는 데이터 발생을 의미하고 그 값은 그 수를 나타낸다. 소스 노드의 수와 데이터 발생 수가 각각 10과 2일 때, 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안은 로컬 싱크를 운영하지 않는 데이터 전달 방안보다 에너지 소비를 35% 줄였다. 소스 노드의 수와 데이터 발생의 수가 증가할 때, 로컬 싱크를 운영하지 않는 데이터 전달 방안의 에

너지 소비는 그것들의 수에 비례하여 증가한다. 반면에, 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안은 로컬 싱크가 데이터를 수집하고 융합하여 글로벌 싱크에게 전달하기 때문에 소스의 수가 증가하여도 로컬 싱크로부터 글로벌 싱크까지의 전송의 수는 증가하지 않으므로 에너지 소비가 크게 증가하지 않는다.

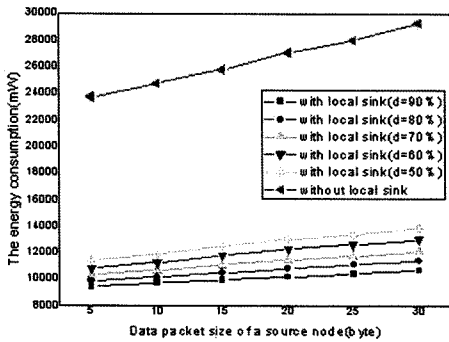


그림 5 소스 노드의 데이터 패킷의 크기와 로컬 싱크의 데이터 융합 비율에 대한 에너지 소비

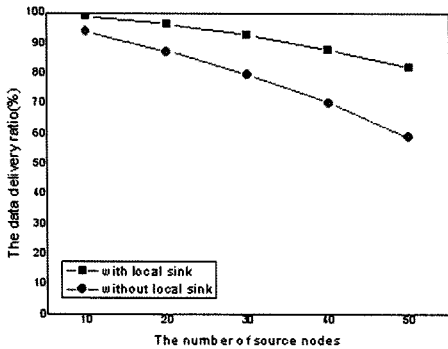


그림 6 소스 노드들의 수에 대한 데이터 전송률

그림 5는 소스 노드의 데이터 패킷의 크기와 로컬 싱크의 데이터 융합 비율에 대한 에너지 소비를 나타낸다. 그림에 괄호 안의 기호 d는 데이터 융합 비율을 의미하고 그것의 값은 그 비율을 나타낸다. 데이터 융합 비율이 크면 클수록 융합된 데이터 패킷의 크기는 더욱더 작아진다. 데이터 패킷의 크기가 증가하면, 로컬 싱크를 운영하지 않는 데이터 전달 방안은 에너지 비용 함수식 (1)에 기반하여 더 많은 에너지를 소비한다. 반면에, 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안의 에너지 소비는 데이터 패킷의 크기의 증가에 비해 작다. 왜냐하면, 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안은 로컬 싱크를 통해서 모든 데이터 패킷들을 수집하고 융합된 데이터 패킷을 글로벌 싱크에게 전달하기 때문이다. 게다가, 데

이타 융합 비율이 증가하면, 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안은 로컬 싱크로부터 글로벌 싱크까지 전달하기 위한 융합된 데이터 패킷의 크기가 더 작아지기 때문에 더 적은 에너지를 소비한다.

그림 6은 목표 지역에 소스 노드들의 수에 대한 데이터 전송률을 나타낸다. 소스 노드의 수가 10일 때, 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안은 로컬 싱크를 운영하지 않은 데이터 전달 방안보다 5.2 %의 성능 향상을 보인다. 게다가, 소스 노드의 수가 증가할수록 두 방안의 성능 차이는 점점 더 커진다. 그 이유는 로컬 싱크를 운영하지 않는 데이터 전달 방안에서 모든 소스 노드들의 데이터 패킷이 유사한 경로를 통해서 글로벌 싱크에게 전달되기 때문에 데이터 손실 확률이 증가하기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서, 우리는 인접한 지역에 위치한 소스 노드들의 데이터를 지역적으로 수집하고 글로벌 싱크에게 전달하는 로컬 싱크의 개념을 소개하였다. 우리는 또한 로컬 싱크의 최적의 위치를 결정하기 위한 수학적 모델과 그 로컬 싱크를 통해서 데이터를 효율적으로 전달하기 위한 방안을 제안하였다. 우리는 또한 시뮬레이션을 통해 로컬 싱크를 운영하는 데이터 전달 방안이 에너지와 데이터 전송률 면에서 효율적임을 증명하였다.

참고 문헌

- [1] B. Karp and H. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," ACM MobiCom, Aug. 2000.
- [2] T. He, *et al.*, "A Spatiotemporal Communication Protocol for Wireless Sensor Networks," IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, Vol.16, No.10, pp. 995-1006, Oct. 2005.
- [3] I. F. Akyildiz *et al.*, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine, Aug. 2002.
- [4] K. Yuen, *et al.*, "A Distributed Framework for Correlated Data Gathering in Sensor Networks," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.57, No.1, pp. 578-593, Jan. 2008.
- [5] N. Bulusu, *et al.*, "Gps-less low cost outdoor localization for very small devices," IEEE Personal Communications Magazine, Oct. 2000.
- [6] I. Stojmenovic, "Geocasting with Guaranteed Delivery in Sensor Networks," IEEE Wireless Communications, Vol.11, No.6, pp. 29-37, Dec. 2004.
- [7] R. Rajagopalan and P. Varshney, "Data-Aggregation Techniques in Sensor Networks: A Survey," IEEE Communications Surveys, Vol.8, No.4, pp. 48-63, 4th Qua. 2006.