

# 무선 센서 망에서 에너지 효율적인 이동 싱크 그룹 지원 방안

신용제, 윤민, 장재영, 이의신

충북대학교 정보통신공학부

e-mail : {Yjshin, Min, Jaeyoung, Eslee }@cbnu.ac.kr

## Energy-Efficient Routing Protocol for Supporting Mobile Sink Group in Wireless Sensor Networks

Yongje-Shin, Min-Yoon, Jaeyoung-Jang, Euisin-Lee

Dept. of Information and Communication Engineering Chungbuk National University

### 요약

무선 센서 망에서 모바일 싱크 그룹에게 데이터를 전송하기 위한 Mobile Geocasting에 관한 연구가 진행되었다. Mobile Geocasting에서, 싱크 그룹의 지역에 싱크들에게 데이터를 전송하기 위해 유니캐스팅과 플러딩의 두 가지 접근 방식이 있다. 에너지 효율성의 관점에서, 유니캐스팅은 분산된 적은 수의 분산된 싱크들에게 효율적인 전송 방식이고, 반면에 플러딩은 다수의 밀집된 싱크들에게 효율적인 전송 방식이다. 하지만, 이 두 가지 방식은 모두 너무 극단적으로 보수적인 방법이기 때문에, 그룹 지역 내에 싱크들이 전체적으로는 분산적이지만 부분적으로는 밀집하게 분포된 일반적인 상황들을 지원하기는 어렵다. 그러므로, 본 논문은 일반적인 분포를 가지는 이동 싱크 그룹을 효율적으로 지원하기 위한 유니캐스팅과 플러딩을 통합하는 하이브리드 방안을 제안한다. 제안 방안은 그룹 지역내에 분산된 싱크들을 위해서는 개별적 유니캐스팅과 밀집된 싱크들에게는 부분적 플러딩을 이용한다. 부분적 플러딩 지역을 도출하기 위해, 제안 방안은 하나의 수학적 모델을 제시한다. 시뮬레이션 결과는 제안 방안이 기존의 방안들보다 에너지 소비 관점에서 더 효율적임을 증명한다.

### 1. 서론

다수의 이동 싱크들로 이루어진 그룹들 위한 데이터 전송과 관련한 연구는 무선 센서 망에서 이동성을 지원하기 위한 새로운 연구 이슈를 제시한다 [1]. 일반적으로, 이동 싱크 그룹에서 싱크들은 센서 필드 내에서 자신들의 임무를 수행하기 위해 함께 이동하며 센서들로부터 데이터를 수집한다 [2]. 재난 지역에 구조팀과 전재 지역에 소대가 이동 싱크 그룹의 예일 것이다. [3]에 명시된 그룹 이동성 모델처럼, 하나의 이동 싱크 그룹에서 전체 싱크들이 센서 필드를 주위를 함께 이동하지만, 각각의 싱크들은 그룹 지역이라 불리는 하나의 제한된 지역 내에서는 자유롭게 이동한다. 그러므로, 이러한 이동 싱크 그룹의 이동성을 고려하여 이동 싱크 그룹에게 데이터 전송을 지원하는 것이 매우 중요하다.

최근, Mobile Geocasting Protocols은 과거의 Ggeocasting이 주기적으로 지리적 데이터 소스의 지속적인 업데이트를 통해 데이터 Flooding 면적에 대한 집단을 좀더 역동적으로 만들기 위한 개선점을 제안해 왔다. 이러한 방법은 과거의 전송실패에 대한 것을 해결할 수 있지만 여러 가지 개선해야 할 문제점들이 여전히 남아있다.

에너지 소비 측면에서는 unicasting-based 제안들은 성기게 배치되어 있는 적은 수의 싱크들에게 효과적인 반면에 flooding-based 제안들은 밀집되어 배치되어 있는 싱크들에게 효과적이다. 이러한 이상적인 방안들을 제외하고는 모바일 싱크들은 전반적으로 성기게 배치되는 것에 더하여 부분적으로 밀집되는 경향이 있다. 이 말은 unicasting과 flooding 두 가지 방안 모두 센서노드의 에너지 낭비를 초래 할 수도 있기 때문에 앞서 언급한 포괄적인 방안으로 도움을 받기 어려울 수 있다. 예를 들어 Fig. 1.(a)를 보면 Unicasting-based 제안은 밀집하게 배치되어 있는 싱크들의 전송 방향을 복사하기 때문에 에너지의 낭비를 초래할 수도 있다. 반면에 Fig. 1.(b)를 보면 Flooding-based 제안 방안은 적은 수의 성기게 배치되어 있는 싱크들로 만들어진 불필요한 flooding 영역으로 인하여 에너지적 문제를 야기할 수 있다.

본 논문에서는, 밀집되어 있는 싱크를 위한 부분적인 flooding과 성기게 배치되어 있는 싱크들을 위한 unicasting이 두 가지 방법 안에서 모바일 싱크 그룹을 개선하기 위하여 데이터 전송간 에너지 효율개선 점에 대해 각각 제시한다. 그룹 면적 안에서 성기게 배치되어 있는 소수의 싱크들로 인해 만들어진 불필요한 flooding 면적을 제거함으로써 제시되어진 방법을 통

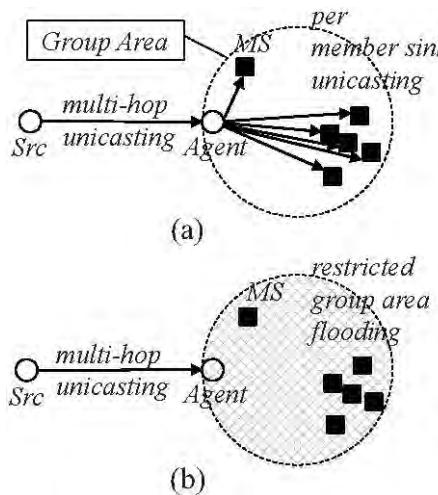


Fig. 1. (a) 유니캐스팅 기반의 이동 그룹캐스팅과 (b) 플러딩 기반의 이동 그룹캐스팅. 두 방안 모두 전체적으로 분산적이며 부분적으로 밀집하게 싱크들이 분포하는 일반적인 경우를 지원할 때 비 효율적인 데이터 전송을 보인다.

해 통신 traffic 을 줄일 수 있다. Partial flooding 을 위해 최상의 가장 적절한 수의 subgroups 을 찾는 것을 아는 것은 컴퓨터를 사용한 복잡성으로 인하여 거의 불가능에 가깝다. 이 요건이 실행되어지기 위해서는 모바일 싱크 그룹 안에서 하나의 partial flooding 그룹과 다른 unicasting 그룹을 찾으려 노력해야 한다. 왜냐하면 불필요한 데이터 전송은 다양한 시나리오 속에서 주로 밀집된 그룹으로부터 떨어져나온 소수의 노드로 인해 발생된다는 것을 알기 때문이다. 이 합의점은 우리의 계획이 과거의 비교적으로 낮았던에너지 효율에 대비하여 평균적으로 성능 향상을 보여줄 수 있다는 것을 증명한다.

## 2. 제안 방안

### 2.1 시스템 모델 및 네트워크 초기화

우리는 정보를 얻고자 하는 곳에 배치되어진 많은 수의 노드들을 고려한다. 각자의 mobile 싱크들은 인접한 노드들로부터 데이터를 수집하고 3G/LTE 또는 인터넷과 같은 도움 없이 센서 노드들만을 통한 Multi-hop communication 으로 통신 할 수 있다. Mobile 싱크들에 대한 그룹은 집합적으로 목적지를 향하여 이동한다는 것을 인지하여야 한다 하지만 각각의 구성원은 특정 거리 안에서 임의로 움직일 수 있다. 그 거리는 applications 로 인하여 사전정의 되었을 수도 있기 때문에 우리는 처음으로 조짐을 나타내는 AR 을 그 그룹의 반지름으로 한다. 각각의 mobile 싱크는 각자의 그룹(ID and Sink)을 갖고 있다. 각각의 그룹은 미리 결정되어진 리더싱크와 멤버싱크로 구성되어 있다. 리더싱크는 현재 그룹의 위치를 정보를 얻기 위하여 멤버싱크의 위치정보를 수집할 책임이 있다. 우리는 모든 노드들과 싱크들이 GPS 장치 혹은 다른 지역화 장치를 통해 자신의 위치 정보를 알고 있을 것이라고 추정한다. 그리하여 GPSR 과 같은 지리학적 routing 이 근본적인 전송 protocol 로 이용 되어 질

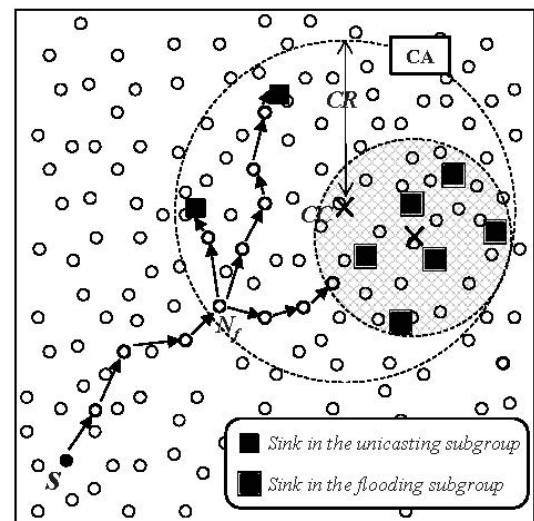


Fig. 2. 제안 방안에서 데이터 전송의 예제  
수 있다.

### 2.2 그룹의 위치 정보 획득

리더싱크는 인접노드를 중개 노드로써 선택하고 그 노드는 검색 지역 안에서 멤버 검색 메시지를 전송한다. 이 검색 지역은 리더싱크의 현재 위치인 중심점이 SC 인 원으로 대체할 수 있으며 반지름 SR 은 2AR 로 나타낼 수 있다. MS 가 검색 메시지를 받았을 때 중개노드에게 현재의 자신의 위치를 포함한 ACK 메시지를 응답하게 된다. 그리고 나서 중개 노드는 수집된 위치 정보를 LS 에게 전달하게 된다. 그 후 LS 는 어디에 모든 싱크들이 존재할 수 있는지 알기 위하여 CA 를 계산하게 된다. 우리는 LS 가 멤버 싱크들의 수의 연역적인 관계를 인지하고 있다고 추정한다. 그리하여 LS 가 모든 멤버싱크의 위치 정보들을 찾는 것을 실패 하였을 때 LS 가 SA 와 AR 의 수치를 증가 할 수 있다. CA 는 모든 멤버 싱크들의 평균적인 x-y 축인 중심점 (CC)를 가진 원이며 반지름 CR 은 AR 과 같다. 느슨하게 맞추어진 그룹 지역은 데이터를 가장자리까지 전달하는데 빠빠하게 맞춰진 그룹 지역보다 좀더 확실한 방법이 될 수 있다는 것을 과거의 연구를 통해 알려 졌기 때문에. LS 는 계산되어진 CA 를 소스에게 전달 할 것이다. [6]과 같은 exploiting location service schemes 으로 인해 LS 는 소스의 위치를 얻을 수 있다. 이러한 메커니즘은 주기적으로 수행할 수 있다. 그리하여 소스들은 그들이 필요로 할 때 데이터를 전송 할 수 있다.

### 2.3 서브 그룹 형성

소스가 CA 를 알고 있을 때, 그 그룹을 서브그룹:Unicasting 그룹과 partial flooding 그룹 으로 나누는 책임을 맡고 있다. Alg.1 에서 보여지듯이 소스는 싱크 그룹에게 CC 와 CR 을 포함한 데이터 패킷을 전송한다 그리고 실현 가능한 서브그룹에 둘러쌓인 기대 통신 비용과 비교한 서브그룹의 대부분의 비용 효율들도 전송한다. 이러한 경우에는 데이터 패킷이 CA 안에 위치한 센서 노드를 패킷이 만나기 전 CC 방향

으로 데이터 패킷이 전송 되어진다. 그리고나서 YY는 CC 방향으로의 데이터 포워딩을 멈추고 데이터 패킷 안에 헤더에 존재하는 서브그룹 정보에 따라서 partial flooding 과 unicasting 두가지 기능을 수행하게 된다. 계산을 조금더 간략화 하면, N 센서 노드들이 4 각의 센서 영역에서 꾸준히 분배되어지는 것을 고려하게 된다. 그러므로 거의 정확히 루트 N의 센서 노드들이 각각 존재하게 되어진다. 그리하여 우리는 정 flooding 을 하기위한 정확한 비용값을 아래의 수식으로부터 얻을 수 있다. (Cost F flooding)

M 은 데이터 패킷의 길이를 나타내고 R 은 Flooding 영역의 반지름을 나타낸다 또한 아래의 수식은 노드 A 와 B 사이에서의 거의 정확한 unicasting 비용을 나타낸다

(수식 2)

$Dist()$ 는 노드들과 센서 노드들의 전파전송 범위를 나타내는 TTR 사이의 Euclidean Distance 이다. 정의 (1)과 (2)에 따르면 후보자 그룹이 주어졌을 때 partial flooding 비용을 얻을 수 있다. 예를들어 그룹 G 가 n 개의 멤버싱크들을 포함했을 때 서브그룹[m1 m2]는 partial flooding 을 위한것이도 나머지 서브그룹은 unicasting 을 위한 것으로 선택 되어질 수 있다. 이 경우에 총 소모비용에 가장 근접하는 것은 cost flooding [m1m2]와 cost unicasting[m3 부터 나머지] 소모량의 합으로 나타낼 수 있다. 모든 멤버싱크의 조합에 따르면 최소한의 비용소모의 방법을 얻을 수 있다. 이러한 모든 방법의 시작점은 첫번째 노드인 Nf 라는 것을 인지하면 정확한 총 비용소모 계산공식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

(3)

Csf 와 Rsf 는 x-y 축의 평균을 나타내고 제각기 partial flooding 서브그룹의 반지름을 나타낸다. Rsf 는 Csf 와 partial flooding 그룹안의 가장 먼 멤버 싱크 사이의 거리로써 정의 되어질 수 있다. Unicasting 서브그룹은 MSi 와 MSj 에서 빠져 나오게 된다. 소스는 Nf 의 위치를 알수 없기에 NF 대신에 Cc 를 평균적인 fair comparison 을 위한 프로토콜로 사용하게 된다.

## 2.4 데이터 전송

위에 정해진 것 처럼 소스에서 가장 가까울 수 있는 첫번째 노드가 데이터 패킷을 각각 복사하여 partial flooding 그룹과 unicasting 그룹 두 그룹으로 전송하게 될 것이다. 그 말은, 제안된 프로토콜은 다른 두가지의 routing 모드: flooding mode 와 unicasting 모드에서 동작 해야만 한다는 것을 의미한다. Flooding 모드에서는 Geographic routing 을 위한 목적지 Field 가 CP 영역으로 채워 쪘어야 한다. 이는 중첩 되어 질 수 있다. 그러나 최대 깊이는 센서네트워크의 강요되어 진 제한된 패킷 사이즈로 인하여 Two 일 수밖에 없다.

패킷이 지역 정보수집을 완료한 노드를 만났을 때 그 노드는 포워딩을 멈추고 수정된 해더의 정보를 포함하고있는 패킷의 복사본을 생성하게 된다. 그리고 나서 각각 개별적으로 전송하게 된다. 다행스럽게도

unicasting 모드는 [7]과 같은 과거의 geographic routing 의 방법과 정확히 같다. LS 현재의 지역정보를 주기적 으로 소스에게 갱신하여주고 그리하여 소스들이 필요로 할 때면 언제든지 모바일 싱크 그룹에게 데이터를 전송 할 수 있다.

## 3. 시뮬레이션 결과

이 부분에서는, METLAB 을 이용하여 데이터 전송 방법들에 따른 에너지 소비를 분석하고, 제시되어진 방안과 모바일 싱크 그룹을 위한 unicast-based 데이터 전송의 대표적인 방법인 VLDD 그리고 Flooding based 의 대표적인 방법인 M-Geocasting 과의 성능을 비교한다. 이 프로토콜들은 QualNet 4.0 네트워크 시뮬레이터로 실행되어진다[10]. 1000m x 1000m 의 센서들의 영역에 2000 개의 센서들이 무분별하게 분산되어져 있는 좀 더 큰 규모의 시나리오는 MICA2 를 사용하게 된다. 센서의 전송반경은 25m 이다. 전송과 수신에서의 전력 소모율은 각각 21mW , 15mW 이다. 소스 노드는 센서노드로부터 무작위로 선택되어지며 모바일 싱크 그룹에게 128bytes 데이터로 전송된다. 모바일 싱크 그룹은 평균 10m/s 의 속도를 가진 10 개의 멤버싱크로 구성 되어져있으며 그룹의 반지금은 100m 이다.

Fig.6 은 센서 노드들의 에너지 소비율을 나타내고 있다. 센서노드들의 숫자가 증가하면 M-getcasting 소모 비용은 flooding-based 데이터 전송 방법의 노드 수를 넘어서면 다른 프로토콜보다 소모율이 높다. VLDD 의 소모율은 낮은 밀도에서 M-Geocasting 보다 에너지 소모율이 높다 그러나 흡 카운트를 줄일 수 있는 전송방법을 선택하게 되면서부터 그래프 선이 약간씩 감감소하는 것 볼 수 있다. 제안된 방법이 그 두가지 사이에서 최선의 방안을 찾기 때문에 낮은 밀도에서의 M-Geocastinf 과 높은 밀도에서의 VLDD 의 에너지 소모율이 비슷한 것을 볼 수 있다.

Fig7 은 모바일 싱크 그룹안에서 싱크들의 수에 따른 에너지 소모율을 나타내고 있다. 독립된 각각의 싱크의 수에서의 M-Geocasting 은 자연적인 Flooding-based 데이터 전송으로 인하여 일정한 모습을 보여주고 있다. 반면에 VLDD 는 추가적인 전송 루트들의 필요성으로 인하여 에너지 소모율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 제시되어진 제안은 불필요한 flooding 영역을 모든 방안에서 제거할 수 있기 때문에 기본적으로 낮은 에너지 소모율을 나타낸다.

Fig.8 은 그룹 영역 안에서의 에너지 소모율에 따른 반지름의 크기를 나타내고 있다. 반지름의 크기가 증가하면 M-Geocasting 은 지수곡선 형태로 증가하는 것을 볼 수 있다 반면에 VLDD 는 일정하게 직선의 형태로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 VLDD 의 데이터 전송 방법은 그룹의 반지름에 비례하고 M-Geocasting 의 Flooding 비용은 센서 노드들의 관여하는 수에 따라 비례하게 된다. 그러나 VLDD 가 인접한 싱크들을 고려할 수 없기 때문에 독립적인 데이터 전송방법과 다수의 데이터 전송 방법들이 비록 합쳐질수 있을 지라도 에너지 낭비를 막을 수는 없다. 제안된 방법은 VLDD 에서 해결 하지 못하는 부분을

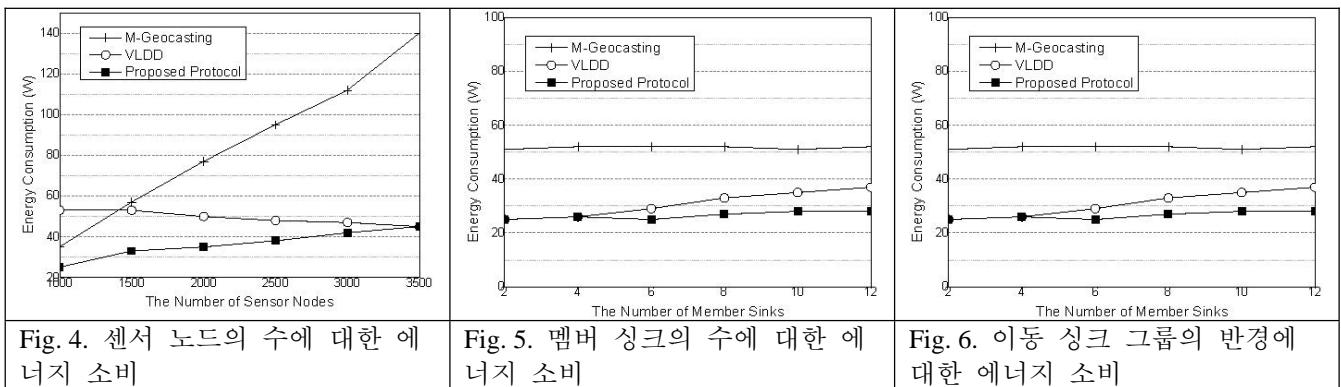


Fig. 4. 센서 노드의 수에 대한 에너지 소비

Fig. 5. 멤버 싱크의 수에 대한 에너지 소비

Fig. 6. 이동 싱크 그룹의 반경에 대한 에너지 소비

해결하기 때문에 좀더 나은 성능 향상을 나타내고 있다.

#### 4. 결론

이 letter에서, 무선 센서 네트워크 안에서의 모바일 싱크 그룹을 위한 에너지 효율의 향상 방안에 대해 제안하였다. 대부분의 모바일 싱크 그룹들은 포괄적으로 드문드문 배치되어 있으며 부분적으로 밀집되어 있다. 제안된 방안은 성기게 배치되어 있는 싱크들을 위한 unicasting 방안과 밀집되어 있는 싱크들을 위한 partial flooding 두 가지 방안을 모두 활용한다. 우리의 분석결과와 실험 결과는 에너지 효율적인 방면에 있어서 과거의 언급된 VLDD 와 M-Geocastig 의 해결방안 보다 더 나은 성능 향상을 보여주고 있다.

#### 참고문헌

- [1] 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 Int'l Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'03), pp. 193-204, Nov. 2003.
- [2] I. Stojmenovic, "Geocasting with guaranteed delivery in sensor networks," IEEE Wireless Communications, Vol. 11, No. 6, pp. 29-37, Dec. 2004.
- [3] H. Cheng, J. Cao, H. Chem, and H. Zhang, "GrLS: Group-Based Location Service in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 57, No. 6, Nov. 2008.
- [4] H. Mo, E. Lee, S. Park, and S. Kim, "Virtual Line-Based Data Dissemination for Mobile Sink Groups in Wireless Sensor Networks," IEEE Communications Letters, Vol. 17, No. 9, Sep. 2013.
- [5] S. Park, E. Lee, H. Park, H. Lee, and S.-Ha Kim, "Mobile Geocasting to Support Mobile Sink Groups in Wireless Sensor Networks," IEEE Communications Letters, Vol. 14, No. 10, pp. 939-941, Oct. 2010.
- [6] E. Lee, F. Yu, S. Park, and S. Kim, "Sink location service based on circle and line paths in wireless sensor networks," IEEE Communications Letters, Vol. 14, No. 8, Aug. 2010.
- [7] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in Proc. of ACM Mobicom, Aug. 2000.
- [8] J. Hill and D. Culler, "Mica: a wireless platform for deeply embedded networks," IEEE Micro, Vol. 22, Iss. 6, pp. 12-24, Nov./Dec. 2002.
- [9] The MathWorks, "MATLAB 7 - The Language of Technical Computing," Product Information. Available: [https://tagteamdbserver.mathworks.com/ttservroot/Download/18842\\_ML\\_91199v00.pdf](https://tagteamdbserver.mathworks.com/ttservroot/Download/18842_ML_91199v00.pdf)
- [10] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.