

모바일 에이전트를 가진 센서 네트워크에서 클러스터의 성능 분석

황재용⁰¹, 우희경², 김중권¹

¹서울대학교 전기컴퓨터공학부, ²상명대학교 소프트웨어 학부

¹jrhwang⁰, ckim@poppeye.snu.ac.kr, ²woohk@smu.ac.kr

Analysis of clustering in sensor network with mobile agents

Jaeryong Hwang⁰¹, Heekyoung Woo² Chongkwon Kim¹

¹School of Electrical Engineering & Computer Science, Seoul National University

²College of Computer Software and Media Technology, Sangmyung University

요 약

본 논문에서는 센서 네트워크에서 수명을 늘리기 위한 기존의 통신 프로토콜 중에서 모바일 에이전트가 있는 환경에서 전체 네트워크 트래픽 양을 줄여 더욱더 수명을 늘리기 위해서 클러스터를 도입한다. 고정된 위치에서 싱크가 데이터를 수집할 경우 싱크 한 쪽 내에 있는 노드들이 에너지를 빨리 쓰기 때문에 네트워크 파티션이 일어나기 쉽다. 이를 해결하기 위해 모바일 에이전트를 이용하여 네트워크 수명을 연장하는 방법이 연구되었다. 하지만, 모바일 에이전트가 이동을 하게 되면 전체 네트워크의 트래픽 양이 많아진다. 늘어난 트래픽을 줄이기 위해 모바일 에이전트가 있을 때 클러스터링의 성능을 분석하고 에너지 효율적인 클러스터 방법에 대해서 제안한다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 가격이 싼 무선 노드들이 고밀도로 특정 지역에 뿌려져 네트워크를 형성한다. 이렇게 뿌려진 센서들은 특정 현상(화재, 소리, 표적 추적 등)을 감지한 정보나 혹은 주기적으로 감지한 데이터를 자세히 분석하기 위해서 중앙 스테이션으로 보내진다. 이러한 센서 네트워크는 군사적 목적 뿐만 아니라 비 군사적 목적으로 많이 응용 할 수 있다. 중앙 스테이션으로 데이터를 전송하기 위해서는 케이트웨이 즉, 싱크 혹은 에이전트를 통해서 전달이 되며 각 센서들은 에이전트와 단일 홉 또는 다중 홉을 통해서 통신을 행하게 된다. 이러한 센서 네트워크에서 각 센서는 가격이 싸기 때문에 센서들이 보유한 자원에 제약을 가지고 있는 단순한 구조이다. 즉, 각각의 센서는 배터리에 의해 한정된 파워를 사용하며 처리 능력과 메모리 능력이 제한을 받는다.

위에서 언급한 센서의 제약사항을 극복하기 위해 지금까지 무선 센서 네트워크에서는 에너지 절약용 목적으로 많은 통신 프로토콜들이 제안되어 왔다. 이러한 것들은 에너지 효율적인 매체 접근 제어(MAC), 라우팅(routing), 토폴로지 제어(topology control) 등이 있다. 제안된 프로토콜들이 특정한 조건에서 그들의 목표를 달성했지만, 그들은 항상 센서 노드에 초점을 맞추었다 [1]. 하지만 최근에 에이전트에 초점을 맞추어 네트워크의 수명을 연장하려는 연구들이 진행되고 있다.([1],[2]). 이들의 기본적인 아이디어는 센서 네트워크에서 수명을 늘리기 위해 고정된 위치에서 데이터를 수집하는 것이 아니라 모바일 에이전트를 사용하여 이동을 하면서 데이터를 수집하는 방법이다.

센서 네트워크의 수명을 네트워크 파티션이 일어나는 시점까지라고 정의했을 때 고정된 위치에서 데이터를 수집하게 되면 모든 노드는 생성한 정보를 고정된 한 곳으로만 데이터를 보낸다. 이에 따라 싱크 주위의 노드들이 겪는 부하는 싱크로부터 멀리 떨어진 노드들이 겪는 부하보다 상대적으로 커지게 되고, 수명이 상

대적으로 빨리 단축된다. 이런 문제점을 해결하기 위해서, [1]에서는 에이전트 주위의 노드들의 부하를 줄여 네트워크 수명을 늘리기 위해 이동하는 에이전트를 제안을 하였다. 하지만 여기서 제안한 방법과 같이 모바일 에이전트가 토폴로지의 주변을 따라서 움직이게 되면 네트워크에서 트래픽 양이 많아져 전체 소비량은 에이전트가 센터로부터 멀어짐에 따라 지수승으로 증가를 하게 된다. 본 논문에서는 에너지 소비량을 줄이기 위해 모바일 에이전트를 사용한 센서 네트워크에서 클러스터 기법을 도입하였을 때의 성능을 분석하고자 한다. 이에 따라 에이전트가 주변을 움직이는 환경에서 클러스터를 사용하지 않았을 때와 클러스터를 사용했을 때 네트워크에서 전체 사용된 에너지를 비교한다. 그리고 모바일 에이전트를 사용한 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터 방법을 제안하고자 한다.

본 논문의 나머지는 다음과 같은 구성을 따른다. 2장에서는 관련 연구를 요약하고, 3장에서는 네트워크 모델을 제시한다. 4장에서는 위의 방법으로 분석을 하고 5장에서 이동하는 에이전트가 있을 때 에너지 효율적인 클러스터 방법을 제안한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

[1],[2]에서는 이동하는 에이전트를 기반으로 작성된 논문으로 Pritam Baruah et al.[2]에서는 싱크가 쿼리없이 일정한 이동 경로를 따라 움직이면 이동 경로 인근의 노드(mole)가 각 센서들로부터 받은 데이터를 모바일 에이전트로 전달하는 방법이다. 이때 각 센서 노드들은 자신의 시간 도메인을 가지고 있어 에이전트의 움직임을 추정해서 적절한 노드(mole)에게 데이터를 전달한다. 이 방법에서는 일정한 패턴을 각 센서들이 자신의 국부적 시간에 따라 인식 하기까지 시간이 필요하며 이동경로가 바뀔 경우 다시 이동경로를 인식하기까지 시간이 필요하다.

[3]은 고정된 싱크를 사용한 센서 네트워크에서 클러스터에

대한 논문으로 클러스터링을 하고 한번 데이터를 전송하는데 소모되는 에너지의 합을 계산하여 데이터 전송을 위해 소모되는 에너지를 최소화시키는 매개 변수를 결정한다. 클러스터헤드가 될 확률 값을 계산하여 최적의 클러스터 개수를 정하였고, 클러스터 크기를 클러스터헤드에서부터의 흡 수를 통해 정해주었다. 하지만 클러스터헤드가 될 확률 값과 클러스터의 크기가 모든 노드마다 동일하다고 가정하기 때문에 최적의 에너지 효율을 고려하지는 못하였다.

3. 네트워크 모델 및 문제정의

우리는 그림.1과 같이 반지름이 R인 원에 조밀하게 인텐시티 λ_0 로 푸아송 포인터 프로세서에 따라 분포된 센서 n개의 고정된 노드들과 1개의 모바일 에이전트로 구성된다. 각각 노드는 주기적으로 데이터를 전송하며 한 단위의 데이터를 송·수신하기 위해서 사용하는 에너지는 ϵ 이다. 모든 노드의 전송거리 및 감지 거리는 r로 동일하다. 이때 $r \ll R$ 이다.

모바일 에이전트는 [1]에서와 같이 토폴로지의 주변을 따라 주기적으로 움직이는 패턴을 갖는다. 그리고 각 노드가 에이전트에게 데이터를 전송할 때는 로드는 줄이는 단거리 라우팅을 한다고 가정한다.

이러한 네트워크 모델에서 수명을 늘리기 위해서 토폴로지 주변을 따라 이동하는 모바일 에이전트가 사용된 조건에서 모바일 에이전트가 센터로부터 멀어질수록 전체 네트워크의 트래픽의 양이 많아진다. 결국 전체 트래픽 양이 많아지면 네트워크에서 사용하는 에너지 소비량이 많아진다. 문제 접근 방식은 모바일 에이전트를 사용함에 따라 늘어난 수명을 보장하면서 전체 네트워크 트래픽 양을 줄이기 위해 클러스터 기법을 도입하고 성능을 평가한다. 더불어 모바일 에이전트를 사용할 때 에너지 효율적인 클러스터 방법을 제안한다.

4. 분석

이 장에서는 위에서 제시한 네트워크 모델에 따라 모바일 에이전트의 이동경로가 주어질 때 클러스터를 사용했을 때와 사용하지 않았을 때 네트워크 전체 에너지 소비량을 비교한다.

이동하는 에이전트가 센터 O에서 거리 t만큼 떨어져 있을 때, 임의의 (x,y)에서 에이전트까지 거리는 $d = \sqrt{(x-t)^2 + y^2}$ 이고, 이때 밀도가 높은 네트워크를 가정하기 때문에 에이전트까지의 흡수는 d/r이라 가정한다. 그래서 한 단위(unit)의 데이터를 에이전트까지 전송하기 위해 사용되는 에너지는 $e = \epsilon * d/r$ 이다.

먼저 그림.2. 왼쪽과 같이 클러스터를 사용하지 않았을 때 토폴로지 내의 있는 전체 노드들로부터 데이터를 받기 위해 사용되는 에너지는

$$E = \frac{\epsilon}{r} \int_y \int_x \sqrt{(x-t)^2 + y^2} \lambda dx dy$$

$$= \frac{\epsilon}{r} \int_0^{2\pi} \int_0^R \sqrt{r+t-2tr\cos\theta} \lambda r dr d\theta \text{ 이다.}$$

모바일 에이전트를 사용하고 클러스터를 사용했을 때 에너지 소비량을 계산하기 위해서 먼저 간단한 클러스터 알고리즘을 가정한다. 모든 노드는 확률 p로 클러스터 헤드(CH)가 되며, CH를 중심으로 보로노이 다이어그램이 만들어 진다. 센서 노드 및 CH

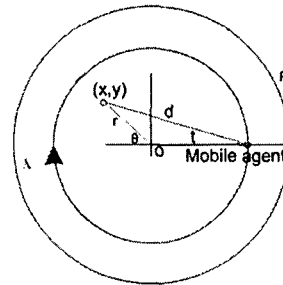


그림.1. 네트워크 모델

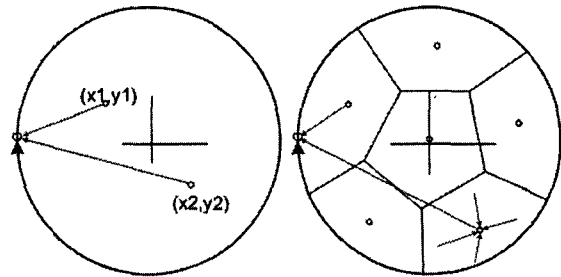


그림.2. 클러스터를 사용하지 않았을 때와 사용했을 때 비교

는 멀티 흡 통신을 하며, CH 노드들은 자신의 셀 내에 있는 노드들로부터 데이터를 받아 한 단위의 데이터로 압축하여 이동하는 에이전트에게 전달한다. CH의 인텐시티는 λ_1 이고 $\lambda_1 = \lambda_0 p$ 이다. 그리고 센서노드들의 인텐시티는 λ_0 이고 $\lambda_0 = (1-p) \lambda$ 이다.

그림.2의 오른쪽에서 볼 수 있듯이 사용되는 전체 에너지는 각 셀들에서 데이터를 모으는데 사용한 에너지와 CH들이 모바일 에이전트에게 압축한 데이터를 전송하는데 소비된 에너지의 합이다. 한 셀에서 CH가

지 데이터를 모으기 위해 사용되는 에너지는 $E_{CH} = \frac{\epsilon}{r} \frac{\lambda_0}{2\lambda_1^{3/2}}$ 이고

[3], CH에서 모바일 에이전트에게 전송하는데 사용되는 에너지는

$$E_{MA} = \frac{\epsilon}{r} \int_0^{2\pi} \int_0^R \sqrt{r+t-2tr\cos\theta} \lambda_1 r dr d\theta \text{ 이 된다.}$$

그러므로 전체 사용한 에너지는 $E = E_{CH} * np + E_{MA}$ 가 되고, 이때 np는 클러스터의 개수가 된다.

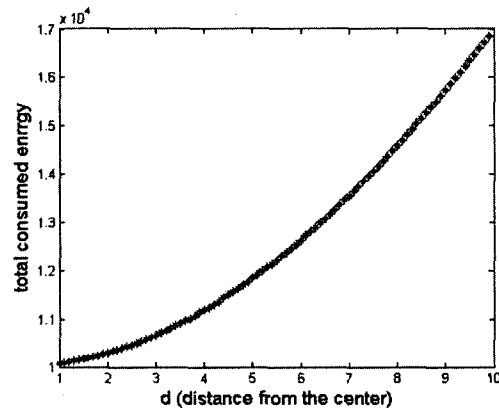


그림.3. 모바일 에이전트가 센터에서 멀어짐에 따른 전체 에너지 사용량 R=10, $\lambda=15/\pi$, $\epsilon=1$, $r=1$, $n=1500$

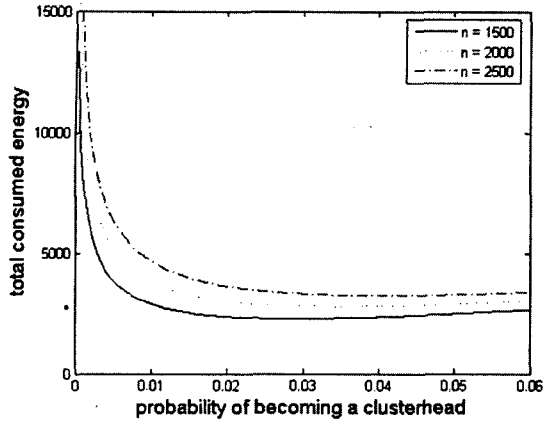


그림.4. 모바일 에이전트가 있고 클러스터를 사용했을 때 전체 에너지 사용량 $R=10$, $\lambda=15/\pi$, $\epsilon=1$, $r=1$

그림.3.은 모바일 에이전트가 센터로부터 거리 t 를 따라 이동할 때, 에이전트가 센터로부터 멀어짐에 따라 전체 사용되는 에너지 양이 증가함을 볼 수 있다. 즉, 모바일 에이전트가 센터에서 멀어질수록 트래픽 양이 증가한다.

그림.4.는 모바일 에이전트가 네트워크 트래픽이 가장 많은 $n=10$ 인 원의 가장 바깥으로 이동을 할 때 클러스터를 사용하였을 경우 전체 사용된 에너지를 보여주고 있다. 클러스터가 될 확률이 커짐에 따라 클러스터의 개수가 많아질 때 전체 사용된 에너지는 클러스터를 사용하지 않았을 경우와 비교해서 최대 약 5배까지 에너지가 감소됨을 볼 수 있다.

이제까지 우리는 모바일 에이전트가 있는 환경에서 클러스터를 사용함으로써 네트워크 수명을 보장하면서 전체 네트워크에서 트래픽 양을 줄여 기존의 방법보다 더욱 증가된 수명을 제공할 수 있음을 확인하였다. 다음 장에서 우리는 에이전트의 이동 경로가 주어졌을 때 전체 에너지 소비를 줄일 수 있는 에너지 효율적인 클러스터를 만드는 방법에 대해서 알아보려고 한다.

5. 모바일 에이전트를 사용할 때 에너지 효율적인 클러스터링 기법

모바일 에이전트가 네트워크 수명을 연장하기 위해서 이동을 할 때 에너지 효율적인 클러스터를 만들기 위해 다음과 같은 가정을 한다.

- 에이전트의 이동 패턴이 주어진다.
- 각 노드의 감지(sensing)정보는 매 T 마다 에이전트에게 전달되어야 한다.

이러한 가정 하에서 모든 노드가 특정한 클러스터를 만드는 전략(LEACH, HEED 등) 가지고 클러스터를 형성하게 되면 CH와 모바일 에이전트 사이의 통신에 있어 효율성이 떨어질 수 있다. 클러스터를 사용함으로써 각 노드들이 데이터를 보낼 때 네트워크 트래픽을 줄일 수는 있었지만, 조밀한 센서 네트워크에서 모든 노드들이 전역적인 시간 싱크를 맞추는 것은 불가능하기 때문에 모바일 에이전트가 이동함에 따라 에이전트의 위치를 알려주어야 하고, CH에서 에이전트까지 멀티 홉으로 전달해야 하는 오

버헤드가 여전히 남아있다.

위의 가정 하에서 모바일 에이전트는 T 마다 데이터를 받으려 되기 때문에 이동을 하면서 모든 CH로부터 데이터를 받을 필요가 없이 각 셀에서 해당 CH로부터만 데이터를 받으면서 이동할 수가 있다. 이러한 조건에서 에너지 효율적인 클러스터링 기법은 에이전트의 이동 경로에서 한홉 내에 있는 노드들이 확률 p 로 CH가 되어 보로노이 셀을 형성하는 것이다. 이동 경로 상에 CH가 있게 되면 CH는 에이전트의 위치를 알 필요가 없이 에이전트가 지나가면서 뿌리는 비콘 메시지를 듣고 에이전트에게 데이터를 전송하면 되기 때문이다. 그리고 에이전트와 CH사이에서 멀티 홉으로 데이터를 전송하는 오버헤드를 줄일 수 있다.

만약 네트워크 모델에서 제시한 원의 토폴로지에서는 에이전트가 이동하는 경로를 중심으로 클러스터가 만들어질 경우 원뿔 모양의 클러스터가 만들어지고 하나의 클러스터의 크기는 T 에 의해 결정이 된다.

6. 결론

우리는 네트워크 수명을 연장하기 위해 모바일 에이전트를 사용할 때 네트워크에서 사용되는 전체 트래픽이 증가되어 전체 에너지 사용량이 증가함을 살펴보고, 본 논문의 주요 기여도인 모바일 에이전트와 클러스터 방법을 같이 사용함으로써 네트워크 수명을 유지하면서 전체 에너지 소비량을 줄일 수 있음을 확인하였다. 이와 함께 모바일 에이전트가 있을 때 에너지 효율적인 클러스터 형성 방법을 제안하여 네트워크에서 사용되는 전체 에너지를 줄일 뿐만 아니라 수명을 더욱더 연장할 수 있었다. 앞으로 우리는 제안한 방법을 실험을 통하여 검증하고자 한다.

7. 참고 문헌

- [1] Jun Luo, Jean-Piere Hubaux "Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks", in Proceedings of IEEE INFOCOM, 2005.
- [2] Pritam Baruah, Rahul Uргаonkar, Bhaskar Krishnamachari, "Learning Enforced Time Domain Routing to Mobile Sinks in Wireless Sensor Fields," EmNetS-I, held in conjunction with IEEE LCN, Tampa, FL, November 2004
- [3] Seema Bandyopadhyay and Edward J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", in Proceedings of IEEE INFOCOM, 2003.