
무선 센서네트워크에서 네트워크 수명 연장을 위한 클러스터 크기 조정 알고리즘

곽태길* · 진교홍*

Adjusting Cluster Size for Alleviating Network Lifetime in Wireless Sensor Network

Tae-Kil Kwak* · Kyo-Hong Jin*

이 논문은 2006년도 경남공통기술개발과제 연구비를 지원받았음

요 약

본 논문에서는 클러스터링 방식을 사용하는 무선 센서네트워크(WSN)에서 센서노드의 위치정보에 따라 클러스터의 크기를 다르게 설정하여, 네트워크의 수명을 향상시키는 알고리즘을 제안한다. 각 클러스터에서 수집된 정보는 클러스터 간(Inter-cluster) 통신으로 멀티 홉을 통하여 싱크노드에 전달된다. 싱크노드에 가까운 곳에 위치한 클러스터 헤더(CH)일수록 멀리 있는 클러스터 헤더보다 데이터 전달에 많이 관여하게 되어 에너지를 더욱 많이 소모하며 이로 인해서 네트워크의 수명이 줄어든다.

제안된 알고리즘은 싱크노드에 가까이 위치한 클러스터의 크기를 줄여서, 해당 클러스터 헤더에서의 에너지 소모를 최소화하고, 또한 싱크로 향하는 데이터들의 전송 경로를 다양화하여 클러스터 헤더의 통신 부담을 경감시킴으로써 네트워크의 수명을 연장시킨다. 제안된 알고리즘은 수학적 분석 과정을 통해 성능을 검증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an algorithm that improve network lifetime by adjusting cluster size according to location information of sensor node in wireless sensor network (WSN) using clustering algorithm. The collected sensing information by sensor nodes in each cluster are transferred to sink node using inter-cluster communications method. Cluster head (CH) that located nearby sink node spend much more energy than those of far from sink node, because nearer CH forwards more data, so network lifetime has a tendency to decrease. Proposed algorithm minimizes energy consumption in adjacent cluster to sink node by decreasing cluster size, and improve CH lifetime by distributing transmission paths. As a result of mathematical analysis, the proposed algorithm shows longer network lifetime in WSN.

키워드

Cluster Size, Sensor Network, Energy Efficiency, Lifetime, Node Location

I. 서론

무선 센서네트워크는 사람들이 근접하기 어려운 곳

에 배치되는 네트워크로 센서노드가 위치한 곳의 환경 정보를 수집하여 무선으로 싱크노드까지 전달하여 준다. 센서노드는 적은 메모리, 저급의 CPU, 배터리에 의

한 전원공급 등의 하드웨어적인 제약조건을 가지고 있으며, 망 구성 시 멀티 홉 형태를 띠게 된다[1].

센서네트워크는 밀집한 형태로 배치되고, 노드의 위치 인식이 어렵기 때문에 노드의 배터리를 재충전하거나 교환하는 것은 대단히 힘들다. 따라서 이러한 네트워크에서 에너지 효율성은 중요한 설계 목표 중의 하나이다[2].

최근 센서네트워크의 에너지 효율을 높이기 위해 클러스터링 방식에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 클러스터링 방식에서 센서노드들은 클러스터로 구성되며 각 클러스터마다 하나 또는 그 이상의 클러스터 헤드(CH)를 갖는다. 각 센서노드는 자신의 CH로 데이터를 전송하고, CH는 다른 CH들을 통해 멀티 홉으로 데이터를 싱크노드에 전달한다. 이러한 방법은 센서노드의 에너지 소모를 줄일 수 있지만, CH의 부담을 가중시켜 배터리를 더욱 빨리 고갈시키는 결과를 초래하여 네트워크의 수명을 단축시키기도 한다.[3]

한편 클러스터내의 모든 노드가 우선순위에 따라 동적으로 CH가 되게 하는 방법이 있다[4]. 이 방법은 전체 에너지 효율 면에서 상당한 이득을 가져오지만, CH에서의 에너지 소비와 통신 오버헤드가 많아진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 클러스터 구조로 구성된 센서네트워크에서 네트워크의 수명을 향상시키기 위하여 노드의 위치에 따라 클러스터의 크기를 조정하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 데이터가 전송되는 경로를 증가시켜 CH의 데이터 전달에 대한 부담을 줄이며, 알고리즘 적용에 필요한 오버헤드를 최소화하여 추가적인 에너지 소모를 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 클러스터로 구성된 센서네트워크에서 센서노드별 에너지 소모량을 바탕으로 네트워크의 수명이 줄어드는 문제에 대하여 살펴보고, III장에서는 이러한 문제를 해결하여 네트워크의 수명을 연장시키는 알고리즘을 제안하며, IV장에서는 제안된 알고리즘의 성능 분석 결과를 보여준다. V장에서는 결론 및 앞으로의 연구 과제를 제시한다.

II. 문제 정의

2.1 네트워크 모델

본 논문에서는 무선 센서네트워크에서의 노드별 에

너지 소모량을 알아보기 위하여 그림 1과 같은 클러스터 구조의 센서네트워크를 가정하였다.

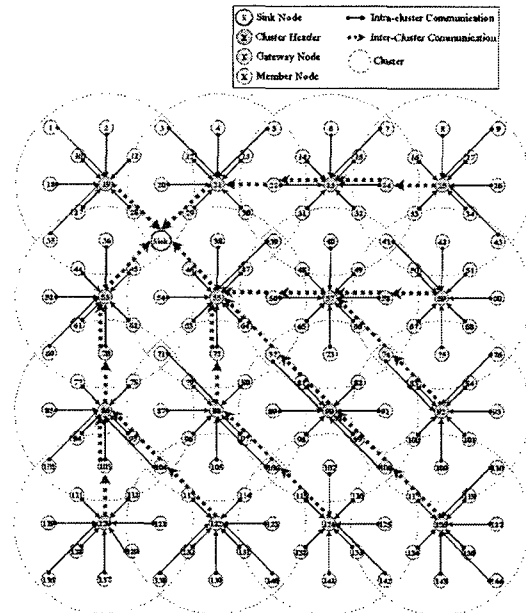


그림 1. 무선센서네트워크 모델
Fig. 1. Wireless Sensor Network Model

각 클러스터는 CH, 게이트웨이 노드, 그리고 멤버 노드로 구성되어 있으며, 모든 노드들은 일정한 주기마다 데이터를 센싱하고, 이 데이터를 CH와 게이트웨이 노드를 거치는 클러스터 간 통신을 통해 싱크노드로 전달한다. 모든 클러스터의 크기(클러스터에 포함된 노드 수)는 같으며, 싱크노드를 제외한 모든 센서노드의 구조 및 무선 전송 범위는 동일하다. 그림 1의 표식 기호는 그림의 우측 상단에 표기된 형식을 따른다.

2.2 에너지 소비 문제

센서 노드는 센싱, 데이터 처리, 그리고 통신에 대부분의 에너지를 소비한다[2]. Ding et al. [5]는 일반적인 센서 노드에서의 에너지 소모량이 그림 2와 같이 나타난다고 말한다.

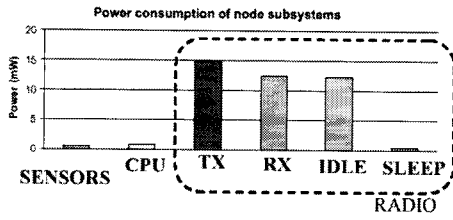


그림 2. 센서노드에서의 에너지 소비량
Fig. 2. Energy Consumption in Sensor Node

그림 2에서 라디오에서 소모되는 에너지에 비해 센서나 CPU에서 사용되는 에너지는 무시할 수 있을 정도로 작고, Sleep 상태에서의 소비 에너지 또한 아주 작다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 센싱이나 데이터 처리에 소모되는 에너지는 거의 0에 가까우며, 데이터를 송수신하지 않을 경우, 노드는 Sleep 상태에서처럼 에너지를 소비하지 않는다고 가정한다. 이러한 가정 하에 그림 1의 센서 네트워크 모델에서, 센싱 주기마다 각 노드에서 데이터 송수신으로 인해 소비되는 에너지를 식 (1) ~ (6)과 같이 데이터 송수신 횟수로 계산하였다.

- Data Aggregation 미 수행 시,

$$E_{ch} = (N_n + N_{xn}) + (N_n + N_{xn} - 1) \quad (1)$$

$$E_{gw} = (N_{xn} + 1) + N_{xn} \quad (2)$$

$$E_m = 1 \quad (3)$$

- Data Aggregation 수행 시,

$$E_{ch} = (N_{xc} + 1) + (N_n + N_{xc} - 1) \quad (4)$$

$$E_{gw} = (N_{xc} + 1) + N_{xc} \quad (5)$$

$$E_m = 1 \quad (6)$$

여기서, E_{ch} , E_{gw} , E_m 은 각각 CH, 게이트웨이 노드, 그리고 멤버 노드에서의 데이터 송수신 횟수이며, N_n , N_{xc} , N_{xn} 은 각각 자신의 클러스터 내에 존재하는 전체 노드 수, 자손 클러스터의 수, 그리고 자손 클러스터에 포함된 전체 노드 수를 나타낸다.

계산 결과를 바탕으로 노드의 초기 에너지를 동일하게 가정해서 구한 CH와 게이트웨이 노드들의 수명은 그림 3과 같다.

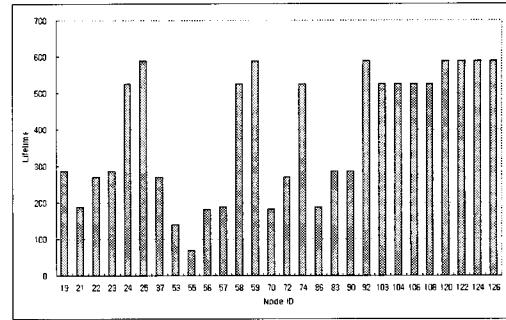


그림 3. CH와 게이트웨이 노드의 수명
Fig. 3. Lifetime of CHs and Gateway Nodes

그림 3의 그래프에서 싱크노드와 거리가 가깝고 자손 노드 수가 많은 센서노드(예를 들면, 노드 ID: 55, 53, ...)의 수명이 그렇지 않은 노드들에 비해 매우 짧다는 것을 알 수 있다.

네트워크의 수명은 경우에 따라 여러 가지로 정의될 수 있는데, 일반적으로 다음의 세 가지 정의를 많이 사용한다.

- ① 동작을 멈추는 노드가 처음으로 발생할 때까지의 시간
- ② 네트워크상의 모든 노드가 동작을 멈출 때까지의 시간
- ③ 네트워크가 분열될 때까지의 시간

이러한 네트워크의 수명에 대한 정의들 중 본 논문에서는 가장 첫 번째 정의를 사용하였다.

그림 3을 바탕으로 네트워크 전체 노드들에 대해 시간 (Iteration)에 따른 생존 노드의 수를 계산한 결과가 그림 4이다.

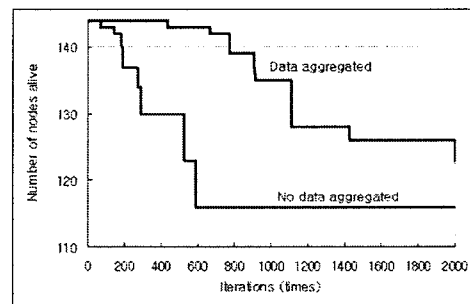


그림 4. 시간에 따른 생존 노드의 수
Fig. 4. Number of Nodes that Remain Alive over Time

그림 4에서 보는 바와 같이 CH에서 Data Aggregation을 수행할 경우 에너지가 고갈된 노드가 처음으로 발생하는 시점이 Data Aggregation 하지 않은 경우에 비해 상당히 지연됨을 알 수 있다. 그러나 두 경우 모두 처음으로 죽는 노드의 수명이 길지 못하여 다른 노드들의 에너지가 많이 남아 있음에도 불구하고 네트워크의 수명이 비교적 짧다.

이와 같은 현상은 CH들이 자신의 멤버 노드들과의 클러스터 내(intra-cluster)의 통신뿐만 아니라 하위 클러스터들로부터 전송된 데이터를 싱크노드로 전달하는 클러스터 간 통신도 수행하기 때문에 발생한다.

III. 알고리즘

본 논문에서는 싱크노드에 가깝게 위치하고, 전달하는 데이터양이 많은 CH의 에너지 소비를 줄이기 위해, 클러스터의 크기를 줄여서 해당 CH의 통신에 대한 부담을 줄이고, 동시에 전송 경로의 다양화를 이용한 분산된 에너지 소모를 통해 CH와 네트워크의 수명을 연장시키는 방법을 제안한다.

클러스터의 크기를 조정하기 위해서는 노드의 위치, 클러스터 내 통신 및 클러스터 간 통신을 통한 데이터 송수신 횟수, 자손 클러스터 및 자손 노드의 수 등을 고려할 필요가 있다. 노드의 위치가 싱크 노드에 가까울수록 CH에서의 에너지 소모는 증가하며, 이것은 싱크 노드까지의 홉 수로 표현된다. 클러스터 내 통신 횟수는 클러스터 내의 노드 수에 비례하고, 클러스터 간 통신 횟수는 자손 클러스터의 수 및 전체 자손 노드의 수와 관련되며, Data Aggregation의 수행 여부에 따라 달라진다. 이 값은 앞에서 설명한 식 (1)~(6)을 이용하여 계산할 수 있다.

그림 5는 네트워크의 수명을 연장시키기 위해서 본 논문에서 제안하는 클러스터의 크기를 조정하는 알고리즘의 동작과정을 보여준다. 초기 클러스터는 CH가 자신의 클러스터 및 하위 클러스터로부터 전송된 데이터를 게이트웨이 노드를 거쳐 싱크로 전송하는 구조를 가지고 있다.

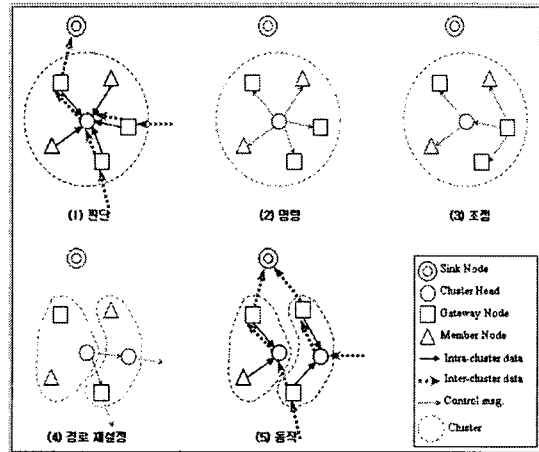


그림 5. 알고리즘 진행 과정
Fig. 5. Process of Algorithm

알고리즘의 전체적인 진행 과정은 판단→명령→조정→경로 재설정으로 이루어진다.

그림 5에서 보는바와 같이 CH가 싱크 노드까지의 자신의 홉 수가 작고 자손 노드 수가 많아서 데이터 중계에 대한 부담이 높다고 판단하면(a), 자신의 클러스터 멤버들에게 클러스터 분할 메시지를 전송한다(b). 이 메시지를 수신한 멤버 노드들은 랜덤한 짧은 시간 동안 대기하고, 타임아웃 될 때까지 CH 메시지를 수신하지 못할 경우 자신의 CH 메시지를 방송해서 또 다른 CH가 된다(c). CH 메시지를 수신한 노드들 중 Join 메시지를 빨리 보낸 일부의 노드들이 새로운 클러스터의 멤버가 된다. 그 결과 클러스터가 분할되고, 크기가 작아진 두 개의 새로운 클러스터로 재구성된다(d). 원래의 CH는 새롭게 구성된 클러스터의 CH 및 게이트웨이 노드 정보를 바탕으로, 데이터 중계 경로를 분산하기 위한 경로 유도 메시지를 직접 또는 기존의 게이트웨이 노드를 통해 바로 다음 홉 CH로 전송한다(d). 다음 홉 CH들은 이 정보를 참고하여 데이터 전송 경로를 재설정한다(e).

알고리즘에서 이용되는 파라미터들 중 싱크노드까지의 홉 수는 초기 클러스터 구성 단계에서 알 수 있으며, 자손 노드 수와 클러스터 내의 노드 수는 중계하는 패킷을 통해 파악할 수 있으므로 알고리즘 실행을 위해 요구되는 추가 오버헤드는 매우 작다.

그림 6은 그림 1의 센서네트워크 모델에 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다.

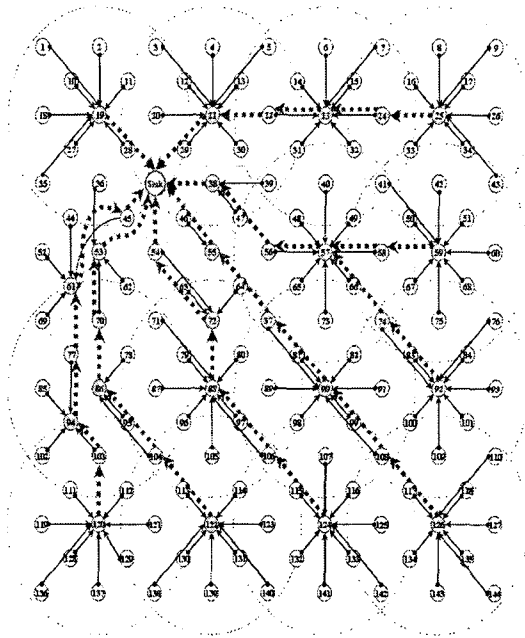


그림 6. 센서네트워크 모델에 알고리즘 적용 후
Fig. 6. Algorithm applied Sensor Network Model

그림 6에서 보는 바와 같이 원래의 네트워크에 비해 클러스터의 수와 CH 수, 그리고 게이트웨이 노드 수는 증가하였다. 그러나 많은 데이터가 집중되어 에너지를 많이 소비하던 CH들의 통신에 대한 부담이 새로 만들어진 인접 클러스터의 CH들로 분산되었음을 알 수 있다. 이것은 싱크노드에 가깝게 위치한 클러스터의 크기를 줄이고 여러 개의 클러스터로 분할함으로써 클러스터 간 데이터를 전송하는 경로가 많아지고 클러스터 내 통신에 대한 부담이 줄어들었기 때문이다.

IV. 성능 분석

제안된 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 앞에서 제시한 식 (1)~(6)을 이용하여 각 노드별 수명을 구한 다음, 본 논문에서 제안한 센서네트워크 모델에 알고리즘을 적용하기 전과 알고리즘을 적용한 후의 계산 결과를 시간(iteration)에 따른 생존 노드의 수로 나타낸 그래프가 그림 7이다.

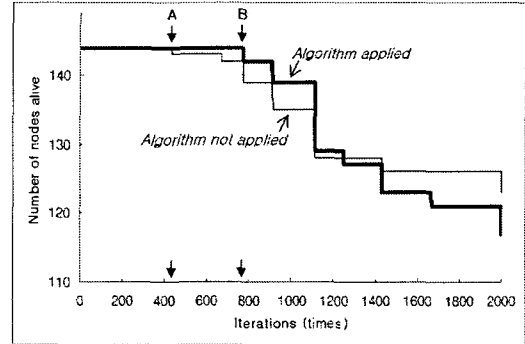


그림 7. 시간에 따른 생존 노드의 수 (알고리즘 적용 전의 결과와 적용 후의 결과 비교)
Fig. 7. Number of Nodes that Remain Alive over Time (Algorithm Applied Results Vs. Not Applied Results)

그림 7에서 A는 네트워크 모델에 알고리즘을 적용하기 전에 첫 번째 노드가 죽는 시점으로 435 번의 주기(iterations) 값을 가지며, B는 알고리즘을 적용한 이후에 첫 번째 노드가 죽는 시점으로 769 번의 주기 값을 갖는다.

따라서 제안된 알고리즘은 센서네트워크에서 에너지가 가장 빨리 고갈되는 노드의 수명을 1.5배 이상 연장 시킴으로써 연장된 시간만큼 네트워크의 수명을 향상시켰다.

알고리즘을 적용한 이후에 시간이 많이 경과하면 정상적으로 동작하는 노드 수가 알고리즘을 적용하기 전보다 오히려 적어지는 현상이 나타나기도 한다. 이러한 현상은 네트워크의 전체 에너지 효율에는 영향을 미칠 수 있지만 네트워크의 수명과는 무관하다.

V. 결론 및 앞으로의 연구

클러스터 구조로 이루어진 센서네트워크에서 클러스터 간 통신과 클러스터 내 통신을 모두 수행하는 CH의 부담이 크고, 특히 싱크노드에 가까운 CH 일수록 에너지 소모량이 많아져서 네트워크의 수명을 단축시킨다.

본 논문에서는 이러한 센서네트워크에서 네트워크의 수명을 향상시키기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 싱크노드에 가까이 위치하고 통신에 많이 관여하는 CH가 속한 클러스터의 크기를 줄이고 다

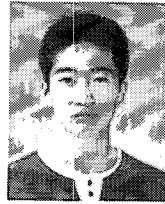
수의 새로운 클러스터를 생성하여 CH의 에너지 소비에 대한 부담을 감소시킴으로써 네트워크의 수명을 1.5 배 이상 향상시키는 결과를 가져왔다. 또한 알고리즘의 진행 과정에서 요구되는 추가적인 오버헤드를 최소화하여 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있었다.

알고리즘을 더욱 보완 및 발전시켜서 불규칙적이고 밀집하게 배치된 센서네트워크에 알고리즘을 적용하여 네트워크의 수명을 더욱 향상시키는 것이 앞으로의 과제이다.

참고문헌

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor network: a survey," Computer Network, 38, 2002, pp. 393-422
- [2] O. Younis, M. Krunz, and S. Ramasubramanian, "Node clustering in wireless sensor networks: recent developments and deployment challenges," IEEE Network, May/June, 2006, pp. 20-25
- [3] T. Shu, M. Krunz, and S. Vruthula, "Power balanced coverage time optimization for clustered wireless sensor networks," Proc. ACM Int'l. Symp. Mobile and Ad Hoc Networking and Comp., May 2005, pp. 111-120
- [4] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application- specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, no.4, Oct. 2002, pp. 660-670
- [5] M. Ding, X. Cheng, and G. Xue, "Aggregation tree construction in Sensor Networks," 2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference, vol.4, no.4, October 2003, pp. 2168-2172

저자소개



곽 태 길(Tae-Kil Kwak)

2006 창원대학교 전자공학과 공학사
2006~현재 창원대학교 전자공학과 석사과정

※관심분야: 유비쿼터스컴퓨팅, 센서네트워크



진 교 흥(Kyo-Hong Jin)

1991 부산대학교 컴퓨터공학과 공학사
1993 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
1997 부산대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1995~1997 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소
전문연구요원

1997~2000 국방과학연구소 선임연구원
2003~2004 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수
2004~현재 창원대학교 전자공학과 부교수

※관심분야 : 데이터통신, 센서네트워크, 유비쿼터스
컴퓨팅, 홈네트워크