

무선 센서네트워크의 지연시간을 고려한 라우팅 알고리즘

박재연*, 박명순**

*고려대학교 컴퓨터정보통신대학원

**고려대학교 정보통신대학

e-mail : ppjy@kepco.co.kr

A Routing Algorithm for Low Latency Time in Wireless Sensor Networks

Jae-Yeon Park*, Myong-Soon Park**

*Graduate school of Information Communications, Korea University

**College of Information Communications, Korea University

요 약

무선센서네트워크는 한정된 에너지 자원을 장기간 사용하기 위하여 주로 에너지 절약을 위한 연구에 중점을 두게 됨으로써 상대적으로 지연시간에 대한 고려는 멀어지게 되었다. 그러나 송배전 선로 등과 같이 일렬로 진행되는 설비 감시에 관한 무선센서네트워크를 구축할 경우에는 일정 구간 단위로 클러스터 헤드의 중계가 반드시 거치게 되므로 클러스터링 자체가 어렵거나 지나치게 많은 전송지연을 유발하며, 한개 노드 장애시 전체 노드에 영향을 주게 되었다. 이를 개선하기 위하여 본 논문에서는 일렬로 진행되는 소규모 클러스터의 효과적 클러스터링 방법과 Every Other Hop(EOH) 중계전송 기법을 사용하여 전송지연시간을 줄이고, Single Point of Failure 문제 해결을 가능하게 하였다

1. 서론

무선센서네트워크는 많은 수의 센서노드들을 센싱하고자 하는 지역에 배치하여 해당지역의 각종 감시 및 이벤트 발생을 모니터링하여 싱크노드(Sink Node)로 전송하는 역할을 수행한다. 이 무선센서 노드는 소형이고 제한된 에너지 자원을 가지게 되므로 장기간 사용하기 위한 다양한 기법이 연구되었다.[1]

에너지 절약을 위한 다양한 기법중 하나인 클러스터링 기법은 센서노드를 일정한 지역별로 클러스터링하고 클러스터 헤드를 선출하여 각 센서노드의 데이터를 병합하게 하고, 헤드로 하여금 싱크노드와 싱글 홉[2] 이나 멀티홉[3-6] 으로 통신하게함으로써 에너지를 절감하게 된다. 또한 싱크노드에 가까울수록 클러스터 사이즈를 작게하여 클러스터 헤드가 클러스터 내부에서 처리하는 에너지를 더욱 절약하는 방법도 나타나게 되었다.[6]

그러나 송배전 전선로와 같이 일렬로 진행되는 설비에 관한 감시를 위한 무선센서네트워크를 구축할 경우에는 클러스터 사이즈의 변동을 줄 수가 없고, 일정 구간 단위로 클러스터 헤드의 중계가 반드시 거치게 되므로[3-6] 지나치게 많은 전송지연을 유발하게 된다. 아울러 중계구간 1개 Point 장애시에도 전체 네트워크에 영향을 주는 Single Point of Failure 문제가 발생하게 된다.

이를 개선하기 위하여 본 논문에서는 일렬로 진행되는 소규모 멀티 홉 클러스터의 경우 순차적으로 클러스터를 구성하고, Every Other Hop 중계전송 기법을 이용하여 클러스터 헤드 중계횟수를 반으로 줄이는 방법을 사용함으로써 전송지연시간을 줄이고, Single Point of Failure 해결 알고리즘을 통하여 Fault Tolerance를 구현하였다.

2. 관련연구

무선 센서네트워크의 경우 구조의 특성상 다수의 센서노드로부터 싱크노드로 데이터를 전송하면 싱크에 인접한 노드들은 전송량이 많아져 에너지 소모가 빨리 일어나게 된다. 따라서 네트워크 노드의 에너지 소모를 균등히 하여 네트워크 생존시간을 최대화 하기 위하여 다음과 같은 연구가 이루어 졌다.

2.1 LEACH [2]

클러스터링 기법으로 가장 대표적인 것에는 LEACH가 있는데 핵심 아이디어는 각 센서노드간 수신 강도에 기초를 두어 클러스터링을 형성하고, 클러스터 헤드를 선출하여 헤드가 각 노드로부터 수집된 데이터를 병합하여 싱글 홉으로 싱크노드와 통신하게 하는 것이다. 클러스터 헤드는 에너지를 많이 소모하게 되면 라운드 단위로 다른 노드가 클러스터 헤드가 되어 싱크노드와 통신함으로써 네트워크의 수명 연장이 가능하게 된다. 단점으로는 싱글 홉으로 싱크노드와 통신해야 하므로 전력소모가 많아 대규

모 지역에서의 운용이 불가능하다

2.2 PEGASIS [3]

LEACH 기법의 단점을 연구하여 개선한 것에 PEGASIS 가 있다. PEGASIS 는 각 노드간 체인을 형성하고 번갈아 노드가 순환하면서 멀티 홉으로 싱크노드로 데이터를 전송한다.

2.3 TEEN 과 APTEEN

클러스터링 기법중 TEEN 은 시간을 고려하여 온도와 같은 갑작스런 센서 변화를 감지하여 전송할 수 있는 기법이다. 각 센서노드는 클러스터 형성후 클러스터 헤드는 임계값을 센서노드로 방송하여 임계값을 벗어난 센서에 반응하게 된다.[4] 그러나 이 기법은 일정기간 동안의 데이터 수집에는 적당하지 못하여 감지가 없다면 네트워크가 죽었는지 알 길이 없다. 이를 개선한 것이 APTEEN 으로 이벤트에 반응할 뿐만 아니라 과거, 현재, 미래에 해당하는 특정기간 데이터 수집도 가능하여 네트워크를 관리할수 있다.[5]

2.4 EEUC [6]

싱크노드에 가까울수록 클러스터링 사이즈를 작게 함으로써 클러스터 헤드가 처리하는 에너지를 더욱 절약하는 EEUC 방법이 고안되었다. EEUC는 멀티홉 프로토콜로서 싱크노드에 가까울수록 센싱노드와 클러스터 헤드간 데이터 처리하는 에너지를 줄여 네트워크 수명을 연장하게 된다. 그러나 1열 진행 클러스터로 구성된 센서네트워크는 우회경로가 없어 SOF(Single Point of Failure) 에 대한 해법이 없다.

이러한 모든 클러스터링 기법들은 다수의 센서노드가 일정한 지역에 불규칙하게 분포되어 있을 때에 적절한 해법이나, 송배전선로와 같이 일렬로 진행되는 감시대상 설비가 있을 경우에는 과도한 지연시간과 SOF 에 대한 추가적인 해결방법이 요구된다.

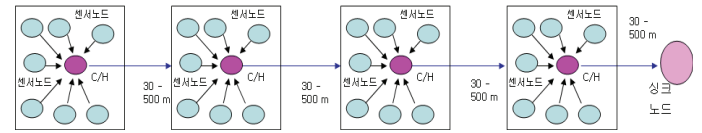
3. 제안하는 알고리즘

3.1 기존 멀티 홉 통신의 문제점

송배전선로의 특징으로는 온도, 풍향, 풍속, 낙뢰 등 감시를 이미 시행하고 있으며 최근 에너지 위기와 관련하여 송배전선로의 출입자 감지 등이 이슈로 떠오르고 있다. 무선센서네트워크를 이용하여 감시할 경우 클러스터간 일정한 거리(30 ~ 500M) 를 유지, 클러스터 내부 센서노드간 5~100M 이내 거리 유지, 클러스터당 센서노드의 수는 수개 ~ 수십 개로 일정, 즉각적인 감지 필요에 의한 지연시간 축소 등의 특성에 맞게 구성되어야 한다.

그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 현재까지의 무선센서네트워크의 연구는 주로 밀집된 일정한 지역에 센서네트

워크가 분포되었을 때 효과적으로 클러스터링을 형성하고 에너지를 절약하여 네트워크의 수명을 연장하는데 초점을 맞추어 왔다. 따라서 전력사업 등에 있어서 기존의 방법으로 송배전선로 감시를 위하여 무선센서네트워크를 적용할 경우에는 클러스터링 자체가 어렵고, 지연이 과도하게 발생하며, Single Point of Failure 문제가 나타난다.



(그림 1) 송배전선로의 1열 클러스터링

3.2 EOH 알고리즘

송배전 선로에 무선센서네트워크를 적용할 경우에 있어서 효과적인 클러스터링 방법과 지연시간 과다를 해소하는 방법, 그리고 중간노드 장애시 해결방안이 추가로 요구된다. 본 논문에서는 소규모 센서네트워크의 효과적인 클러스터링 방법과, 중계구간 과다에 의한 전송지연 개선, 그리고 중간노드 장애시 대처 방법을 제안한다. 제안하는 Every Other Hop(이하 EOH) 중계전송 알고리즘은 다음과 같은 가정하에 동작한다.

- 1) 각 센서노드는 동일 클러스터내 각 센서노드간에는 근접거리의 무선전송을 한다.
- 2) 클러스터 헤드(C/H) 로 선출된 노드는 장거리까지 전송이 가능하다.

3.2.1 클러스터링

1) 최초로 센서노드가 감시지역에 일정하게 설치된후 싱크노드는 가장 가까이 모여 있는 센서노드들에게 브로드캐스팅으로 Interest를 송부한다. 싱크노드에 가장 가깝게 설치된 센서노드들은 근접거리의 무선통신만 가능하므로 낮은 전력을 송출하여 가까운 거리에 있는 주변 센서들을 확인하고 1st 클러스터를 형성하고 헤드를 선출한다.

2) 1st 클러스터 헤드는 다음 클러스터군으로 본인과 싱크노드의 라벨을 포함한 Interest를 중계하며, 두 번째 클러스터 군에 있는 센서들은 이를 받아 2nd 클러스터를 형성하고 헤드를 선출한다. 2nd 클러스터 헤드는 본인과 1st 클러스터 헤드 라벨을 포함하여 Interest를 중계한다.

3) 이러한 순서로 순차적으로 마지막 센서노드까지 클러스터가 구성되며, 결국 N번째 클러스터 헤드에는 싱크노드측으로 N-1번째, N-2번째 클러스터 라벨이 메모리에 저장된다.

3.2.2 데이터 중계 및 전송

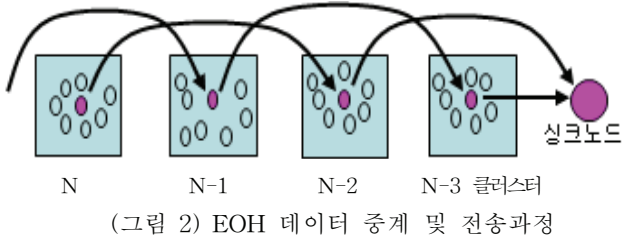
1) 센서노드중 감지가 일어나면 해당 센서노드는 근접거리 전송이 가능한 전력을 사용하여 자신이 속한 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다.

2) 싱크노드로부터 N번째 클러스터 헤드는 센서노드의

데이터를 병합하여 싱크노드측 N-2번째 라벨주소를 가진 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다.

3) 자신의 라벨에 해당하는 데이터가 전송되어 오면 클러스터 헤드는 데이터를 중계하며, 순서 2번을 반복한다.

4) 싱크노드와 제일 가까운 N-3 과 두 번째 가까운 N-2 클러스터 헤드는 이 데이터를 받아서 싱크노드로 직접 데이터를 중계 전송함으로써 데이터 전송이 완료된다.



3.2.3 Fault Tolerance 수행

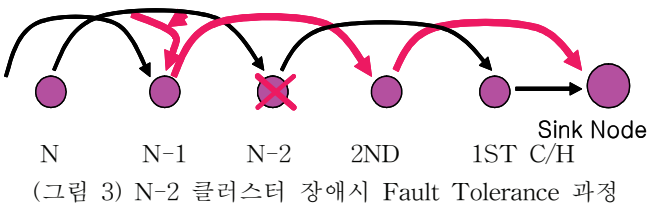
EOH 데이터 중계 및 전송과정중에서 하나의 C/H 장애가 발생한 것을 인지한 경우에는 인지한 클러스터 헤드가 전송되는 이벤트 데이터의 수신 커버리지 안에 있는 싱크노드측으로 인접한 C/H로 데이터를 전송하여 끊김없는 데이터 전송을 가능하게 한다. 순서는 다음과 같다.

1) N 번째 클러스터 헤드는 데이터 전송 혹은 중계 후 수신응답할 N-2 번째 클러스터 헤드로 일정시간 안에 ACK 신호가 오지 않으면 3회까지 재전송을 시도한다.

2) 그래도 N-2 번째 클러스터 헤드로부터 ACK 신호가 수신되지 않으면 인접한 N-1 번째 클러스터 헤드로 데이터를 대신 전송함으로써 이후부터는 N-1번째 클러스터의 데이터 전송경로를 통하여 SINK 노드까지 데이터 전송이 가능하게 한다.

3) 이 과정은 장애가 발생한 클러스터의 센서노드가 차기 C/H를 선출하는 잔여 라운드 기간까지 지속하게 된다.

다음 그림에서는 N-2 클러스터의 C/H가 장애가 발생하여 N 클러스터로 ACK 신호를 주지 못하였을 경우 N 클러스터는 N-1 클러스터로 전송하여 Fault Tolerance 가 가능하게 되는 것을 보여준다.



4. 성능평가

본 논문에서 제안한 순차 클러스터링 및 EOH 전송의 효과를 분석하기 위하여 전력소모량, 전송 지연시간, Fault Tolerance 세 가지를 염두에 두었고, 성능 비교 대

상은 클러스터링 기법중 뛰어난 EEUC 프로토콜과 비교하였다.

4.1 전력소모량 분석

비트당 처리에너지를 E_{elec} , 거리별 비트당 송신에너지를 E_{fs} , 임계거리(d_0) 이상 전송되는 에너지를 E_{mp} , 신호당 비트처리에너지 E_{DA} 라고 하였을 경우 전력소모량 식은 다음과 같다. 성능평가 비교를 위하여 EEUC에서 사용한 전력소모량 산식을 준용하였다 [6]

- l Bits 패킷을 전송거리 d에서 송신에너지 소모량은

$$E_{tx}(l, d) = lE_{elec} + lE_{fs}d^2, \quad d < d_0$$

$$E_{tx}(l, d) = lE_{elec} + lE_{mp}d^4, \quad d > d_0$$

- l Bits 패킷을 전송거리 d에서 수신에너지 소모량은

$$E_{rx}(l) = lE_{elec}$$

(표 1) 전력소모량 측정을 위한 파라미터

파라미터	세팅 값
클러스터수	200
클러스터당 노드수	10
클러스터간 전송거리(d)	40/50/60 M
임계거리(d_0)	75 M
초기 에너지	0.5 J
비트당 처리에너지(E_{elec})	50 nJ/bit
거리별 비트당 송신에너지(E_{fs})	10 pJ/bit/m ²
임계거리이상 전송에너지(E_{mp})	0.0013 pJ/bit/m ⁴
신호당 비트처리에너지(E_{DA})	5 nJ/bit/signal
헤더 패킷길이	200 Bits
총 패킷길이(l)	1,200 Bits

전력소모에너지 및 잔여에너지 평가를 위하여 클러스터 200번과 199번에 이벤트 감지가 발생할 것을 가정하였다. EEUC 노드별 소모에너지는 매번 중계되는 것으로, EOH는 2개 클러스터에 한번 중계되는 것으로 하였다. 클러스터별 총 에너지는 10개 센서노드가 C/H를 번갈아 수행할 것으로 가정하여 $10 * 0.5 J = 5 [J]$ 로 가정하였다. 다음은 이벤트가 발생함에 따른 클러스터 거리 및 알고리즘별 잔여에너지를 분석한 결과이다.

(표 2) 전력소모량 성능 평가결과

이벤트 발생 횟수	잔여에너지(mJ)					
	클러스터간 4M		클러스터간 5M		클러스터간 6M	
	EEUC	EOH	EEUC	EOH	EEUC	EOH
4,000	4,443	4,612	4,400	4,428	4,347	4,093
8,000	3,886	4,224	3,800	3,856	3,694	3,186
12,000	3,330	3,837	3,200	3,284	3,042	2,279
16,000	2,773	3,449	2,600	2,712	2,389	1,372
20,000	2,216	3,061	2,000	2,140	1,736	465
24,000	1,659	2,673	1,400	1,568	1,083	0
28,000	1,102	2,285	800	996	430	0
32,000	546	1,898	200	424	0	0
36,000	0	1,510	0	0	0	0
40,000	0	1,122	0	0	0	0
44,000	0	734	0	0	0	0
48,000	0	346	0	0	0	0
52,000	0	0	0	0	0	0

이벤트 발생에 따른 클러스터별 잔여에너지(mJ)는 클러스터간 거리 50M 이하일 경우에는 EOH가 더 많고, 60M에서는 EEUC가 더 많아 단거리에는 EEUC가, 장거리로 갈수록 EOH의 전력소모량이 많아짐을 알 수 있다.

4.2 전송지연 시간 단축 분석

전송지연 시간 성능분석을 위하여 다음과 같은 파라메타를 사용하였다.

(표 3) 파라메터 세팅 값 지정

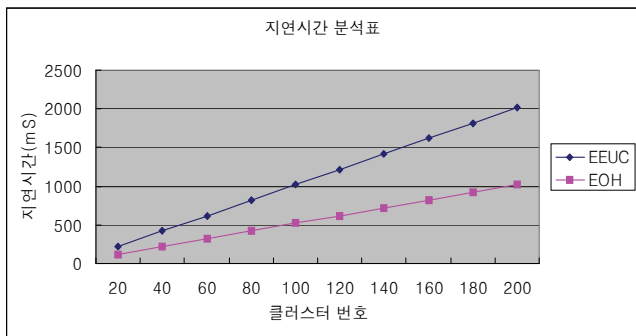
파라메터	세팅 값
클러스터수	200
클러스터당 센서노드수	10
C/H Aggregation 시간	10 mS
C/H 노드 송신시간	5 mS
C/H 노드 수신시간	5 mS
센싱후 C/H로 송신시간	10 mS
데이터 전송길이	1,200 Bits

1열 진행의 무선센서네트워크의 경우 효과적인 클러스터링 구성 및 전송지연 시간 단축에 중점을 둔 본 논문들의 수행결과 싱크노드로부터 가장 멀리 떨어진 200번째 클러스터의 경우 EEUC 및 EOH 프로토콜을 적용하면 전송지연시간은

1) EEUC 지연시간 = 센싱후 C/H로 송신시간 + 최초 C/H 종합시간 + C/H 노드 송신시간 * 클러스터수 + C/H 노드 수신시간 * 클러스터수 = 10 + 10 + 5*200 + 5*200 = 2,020 [mS]

2) 1) EOH 지연시간 = 센싱후 C/H로 송신시간 + 최초 C/H로 종합시간 + C/H 노드 송신시간 * 클러스터수/2 + C/H 노드 수신시간 * 클러스터수/2 = 10 + 10 + 5* 200/2 + 5* 200/2 = 1,020 [mS]

전송지연 시간의 계산결과를 보면 EOH가 EEUC 에 비하여 49.5[%] 단축되었음을 알 수 있다. 다음은 전송 지연시간 분석결과 그래프이다.



(그림 4) 알고리즘별 지연시간

4.3 Fault Tolerance 분석

본 논문에서는 Fault Tolerance 기능이 부가되어 무선센서네트워크에서 발생하기 쉬운 문제 중의 하나인 Single Point of Failure 가 해결되어 더욱 신뢰성 높은 네트워크 구축이 가능하였다. EEUC의 경우 중간의 클러스터 헤드에서 장애발생시 1열 진행 클러스터이므로 네트워크가 끊어지게 되나 EOH의 경우 중계되는 구간의 클러스터 헤드 장애 발생시 Fault Tolerance를 수행하기 위하여 재전송하는 시간의 전송지연 시간만 추가되고 전체 네트워크는 정상적으로 전송이 가능하였다.

5. 결론

본 논문에서는 소규모 클러스터의 장거리 분포관련 효과적인 클러스터링을 수행하는 방법을 제안하였다. 전력소모량은 50M 이하의 간격으로 진행하는 클러스터의 경우에는 EOH 알고리즘의 전력소모량이 EEUC에 비해 더 적었고, 60M에서는 더 많은 전력소모량을 가져왔다. 그러나 전송지연시간은 EOH 중계전송 기법이 49.5[%] 전송지연 시간 개선을 가져왔음을 알 수 있다. 또한 중계 클러스터 중 하나에 장애가 발생하였을 때의 Fault Tolerance 도 가능하게 되었다.

참고문헌

[1] Kemal Akkaya, Mohamed Younis, "A Survey on Routing Protocols For Wireless Sensor Networks ", Proc of the Ad Hoc Networks 3, P325-349, 2005.
 [2] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, " Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor networks," Proc of the 33rd Hawaii International Conference System Sciences, 2000.
 [3] Stephanie Lindsey, Cauligi S. Raghavendra, " PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems" Proc of the IEEE Aerospace Conference, 2002.
 [4] Arati Manjeshwar and Dharma P. Agrawal, " TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks " Proc of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001.
 [5] Arati Manjeshwar and Dharma P. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks" Proc 2nd International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile computing, 2002.
 [6] Chengfa Li, Mao Ye, Guihai Chen, Jie Wu "An Energy-Efficient Unequal Clustering Mechanism for Wireless Sensor Networks" IEEE, 2005.