

무선센서 네트워크 환경에서 지연 및 신뢰성을 고려한 클러스터 기반의 라우팅 알고리즘

심명숙*, 박명순**

*고려대학교 컴퓨터정보통신대학원 컴퓨터정보통신공학과

**고려대학교 정보통신대학

e-mail : mjms98@naver.com

A Cluster-based Routing Algorithm for Wireless Sensor Network Considering Delay and Reliability

Myung-Sook Shim*, Myong-Soon Park**

*Dept. of Computer & Communication Engineering, Graduate School of Computer & Information Technology, Korea University

**College of Information and Communications, Korea University

요 약

본 논문에서는 선형적인 무선 센서 네트워크에서 지연 및 신뢰성을 고려한 클러스터 기반의 멀티홉 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 선형적인 네트워크 환경에서 전송 지연시간 및 Single Point Of Failure 를 해결하기 위해 짝수 ID 노드일 경우 다음 짝수 ID 노드로 전송하고, 홀수 ID 노드일 경우 다음 ID 노드로 데이터를 전송하는 방법을 사용한다.

1. 서론

최근 유비쿼터스 컴퓨팅의 발전으로 무선센서 네트워크는 재난방재, 환경감시, 보안 등 여러 분야에 적용되고 있으며 그에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이와 같이 무선 센서 노드를 이용하는 분야가 광범위해지고 관련 기술의 발달로 센서의 가격은 낮아지고, 크기는 작아지고 있다. 이러한 센서 노드는 제한된 배터리를 사용하고 배치된 후에는 재충전할 수 없으므로 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 중요하다.

효율적인 에너지 소비를 위하여 센서 노드들을 클러스터로 나누는데, 이는 BS(Base Station)로 데이터를 보내기 전에 CH(Cluster Head)에서 클러스터 내에 센서 노드들로부터 수집된 데이터를 처리하고 결합(aggregation)한다. 결합된 데이터는 CH 에 의해 BS 까지 싱글홉 혹은 멀티홉 통신을 통해 전송한다. 싱글홉 통신은 BS 까지 각 CH 에서 결합된 데이터를 직접 전송하고, 멀티홉 통신은 자신보다 BS 에 근접한 CH 를 통해 전송한다. 싱글홉 통신의 경우 전송거리에 따라 에너지 소모량이 증가하기 때문에 에너지 효율적인 측면에서 떨어지지만 지연시간은 줄어들고, 멀티홉 통신의 경우 반대의 상황이 발생한다[1]. 에너지와 지연시간은 trade-off 관계에 있기 때문에 어플리케이션의 특성에 따라 적합한 라우팅 방법을 사용하면 된다[2-4].

본 논문에서는 고지대의 등산로의 환경을 모니터링하거나 도로상에 일렬로 놓여있는 가로등 시설물 모니터링, 지하 하수구 수질 모니터링 등 일렬로 이어

지는 트리 형태의 네트워크에 알맞은 라우팅 알고리즘을 제안한다. 에너지 효율성 및 네트워크의 수명을 고려하여 앞서 언급했듯이 센서 노드들을 클러스터로 나누고 BS 까지 멀티홉 통신을 이용한다. 하지만 이러한 제한된 환경에서는 Single Point Of Failure 가 발생 시 전송을 보장할 수 없고, 지연시간이 제한되어 있을 경우 지연시간 또한 고려되어야 하기 때문에 적합하지 않다. 따라서 우리는 이러한 특성을 고려하여 지연 및 신뢰성을 보장하는 에너지 효율적인 Odd-Even 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 관련 연구를 살펴보고, 3 장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 자세히 설명한다. 4 장에서는 성능평가 결과에 대해 논의하며, 5 장의 결론으로 본 논문을 마친다.

2. 관련연구

무선센서 네트워크는 여러 제약 사항을 가지고 있기 때문에 고려되어야 할 부분이 많다. 그 중 가장 큰 이슈가 에너지인데, 에너지를 얼마나 효율적으로 균형 있게 사용하느냐에 따라 네트워크 수명이 늘어난다[5].

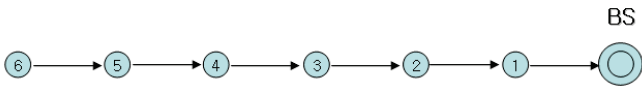
일반적으로 다수의 노드들이 주기적으로 BS 로 데이터를 전송하게 되면 데이터 전송량이 늘어나기 때문에 네트워크 수명이 짧아진다. 이를 보완하기 위해 클러스터 기반의 라우팅 방법이 연구되었다. 클러스터 기반의 라우팅은 네트워크를 다수의 클러스터로 나누어 그룹을 형성한 후 이 그룹 내에서 감지한 데이터를 클러스터 내에 CH 로 보내면 CH 가 데이터를

병합하여 전송량을 줄인 후 BS 로 전송하는 방식이다. 대표적인 방법으로 LEACH 가 있다.

LEACH 는 최초의 계층구조를 갖는 라우팅 알고리즘으로 네트워크를 여러 개의 클러스터로 나누고 각 클러스터마다 CH 를 선정한다. 선정된 CH 는 해당 클러스터 내에 센서 노드들로부터 센싱 정보를 전송 받아 병합(Aggregation)하여 BS 로 전송한다. 따라서, 멀리 떨어져 있는 BS 와 직접 통신하는 노드의 수를 줄이고 클러스터 내에 데이터를 병합하여 에너지 사용이 감소하였다. 하지만 LEACH 는 BS 와 직접 통신하기 때문에 BS 와 멀리 떨어져 있는 CH 일 경우 에너지 소모가 크고, 네트워크가 확장 되었을 때 현실적으로 노드 간의 전송거리가 미치지 못할 수 있기 때문에 이에 대한 개선이 필요하다[3].

PEGASIS 라우팅 방법은 LEACH 기법의 클러스터 구성과 데이터 전송방법을 개선하여 에너지 소모를 줄인다. 각 노드는 가장 근접한 노드로 데이터를 전송하고 이들 중 하나의 노드가 BS 로 데이터를 전송하는 역할을 돌아가면서 수행하게 된다[6]. 하지만 CH 를 선택할 때 BS 의 위치에 대한 고려가 없다.

그림 1 과 같이 클러스터 기반의 일반적인 멀티홉 라우팅 방법은 방향성이 있는 선형적인 네트워크 환경에서 적용하면 Single Point Of Failure 가 발생했을 때 해결하지 못하며, 지연시간이 길어지기 때문에 지연시간이 제한적인 어플리케이션의 경우에는 사용할 수 없다.



(그림 1) 방향성을 가진 선형적인 네트워크에서 일반적인 멀티홉 라우팅

따라서, 방향성이 있는 선형적인 네트워크 환경에서 지연시간 및 Single Point Of Failure 를 고려한 라우팅 방법을 제안한다.

3. 제안알고리즘

전통적인 멀티홉 라우팅 방법은 소스 노드에서 목적 노드인 BS 까지 패킷을 전송하기 위해서 자신보다 BS 에 가까운 노드를 선택하여 그 노드를 통해 패킷을 전송한다. 이때 너무 많은 중계(Relay) 노드를 통해서 전송하다 보면 에너지 효율성 면에서는 좀 더 효과적이지만 제한된 지연시간을 갖는 어플리케이션에서는 적합하지 못하다. 또한 본 논문에서 제시한 방향성을 가진 선형적 네트워크 구조에서는 일반적인 멀티홉 방식의 라우팅을 적용하면 단일 경로를 갖기 때문에 Single Point Of Failure 발생시 해결할 수 없다.

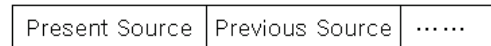
따라서 본 논문은 네트워크의 특성상 선형적으로 연결된 단일 경로 라우팅을 사용할 때 발생하는 지연(delay)문제와 Single Point Of Failure 발생시 대체경로를 사용하여 네트워크 단절 문제를 해결하기 위해 클러스터 기반의 Odd-Even 라우팅 알고리즘을 제안한다.

(조건)

클러스터 안에서의 멤버들은 센싱한 데이터를 클러스터 헤드에 원홉(one hop)으로 보내며 BS 까지 Relay 는 클러스터 헤드를 통한 멀티홉(multi hop)통신에 의존한다.

3.1 경로설정방법

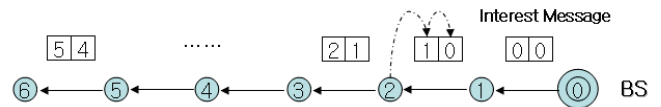
BS 는 그림 2 와 같은 형식의 Interest Message 에 Present Source 필드와 Previous Source 필드에 BS 자신의 ID 즉, '0'을 각각 채우고 송신한다.



(그림 2) Interest Message 패킷 형식

첫 번째 Interest Message 를 수신하면 하나의 클러스터를 구성하고 CH 를 선출한다. 선출된 CH 는 그림 3 과 같이 수신한 Interest Message 의 Present Source 필드의 ID 를 Previous Source 필드로 옮기고 Present source 필드에는 기존 ID 에다 1 을 더한 값 즉 자신의 ID 를 넣은 후 재송신한다. 한편 CH 는 수신한 Interest Message 의 Present Source 필드의 ID 와 Previous Source 필드의 ID 를 메모리에 저장한다. 같은 방법으로 두 번째 클러스터가 구성되고 클러스터 헤드가 선출된다.

이와 같은 방법으로 클러스터 구성과 헤드 선출이 진행되며 이것이 끝나면 각 클러스터 헤드에서 BS 까지 경로설정이 완료된다.



(그림 3) 경로설정방법 (그림에서 원은 클러스터 헤드를 의미하며 편의상 클러스터 멤버는 표시하지 않았다)

(조건)

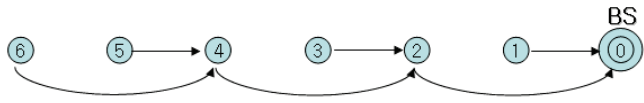
본 논문에서는 클러스터 멤버들은 고려하지 않고 클러스터 헤드만 가지고 논의한다. 또한 Data Relay 를 CH 가 담당하기 때문에 CH 의 에너지 소모가 많아져 빨리 죽을 가능성이 있기 때문에 일정시간이 지나면 CH 를 교체해주어야 한다. CH 의 교체 알고리즘은 많은 연구가 있으므로 본 논문에서는 논외로 한다.

3.2 제안하는 전송알고리즘(Odd-Even 알고리즘)

모든 클러스터들은 고유한 아이디를 갖는다. 본 연구에서는 이러한 클러스터 아이디를 기반으로 아이디가 짝수이면 Destination 필드에 자신의 ID 보다 2 만큼 작은 CH ID 를 넣고, 홀수이면 자신의 ID 보다 1 만큼 작은 CH ID 를 넣은 후 전송한다.

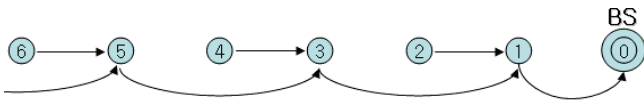
그림 4 와 같이, CH ID '6'은 짝수이기 때문에 2 만큼 작은 CH ID 인 '4'로 데이터를 전송하고, '4'는 '2'로 '2'는 BS 로 전송한다. CH ID '5'는 홀수이기 때문에 1

만큼 작은 CH ID 인 ‘4’로 전송하고, ‘4’는 ‘2’로, ‘2’는 ‘0’인 BS 로 전송한다.



(그림 4) Odd-Even 알고리즘

이 때, CH ID 가 짝수일 경우 홀수인 경우보다 에너지 소비가 많아지므로 에너지 소비 불균형으로 네트워크 수명이 줄어든다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 일정한 운영시간 즉, OP_TIME 이라 하고 OP_TIME 이 지나면 역할을 바꾼다. 다시 말해서, 그림 5 와 같이 CH ID 가 홀수일 때 1 만큼 작은 CH ID 로 패킷을 전송하던 것을 2 만큼 작은 CH ID 로 전송하고 CH ID 가 짝수 일 때 2 만큼 작은 CH ID 로 전송하던 것을 1 만큼 작은 CH ID 로 전송한다.



(그림 5) OP_TIME 후에 경로변경

3.3 Single Point Of Failure

3.3.1 Detection

본 논문에서는 Single Point Of Failure 발생을 Detection 하기 위해서 일반적인 TCP/IP 통신에서 사용하는 Hand Shaking 방법을 사용한다. CH 가 라우팅 테이블에서 전송할 CH ID 를 선택하여 패킷을 전송하면, 패킷을 수신한 노드는 송신 노드에게 Ack 메시지를 전송한다. 만약 T_WAIT 시간 동안 메시지를 받지 못하면 송신 노드는 패킷을 재전송한다. T_SND_MAX 는 최대 전송 시도 횟수이다. T_SND_MAX 동안 전송을 시도해도 응답이 없을 경우 노드를 Failure 로 간주한다.

3.3.2 해결방안

Single Point Of Failure 를 해결하기 위해 두 가지 방법이 있는데, 하나는 임시적인 경로를 변경하는 방법과 다른 하나는 전송경로를 완전히 바꾸는 방법이 있다.

예를 들어, 그림 7-a 와 같이 CH ID ‘4’가 Failure 일 경우 CH ID ‘6’, CH ID ‘5’, CH ID ‘4’의 라우팅 경로는 패킷을 전송할 수 없다.

- 임시적인 경로 변경

CH ID ‘6’이 2 만큼 작은 CH ID ‘4’로 패킷을 T_SND_MAX 동안 전송을 시도했지만, Ack 메시지를 받지 못하면 그림 7-b 와 같이 CH ID ‘6’은 다른 라우팅 경로인 1 만큼 작은 CH ID 를 사용하여 CH ID ‘5’로 패킷을 전송한다. 이때, 정상적인 라우팅 경로가 아니기 때문에 그림 6 의 데이터 패킷의 Flag 필드에 값을 ‘1’로 셋팅하여 전송한다.

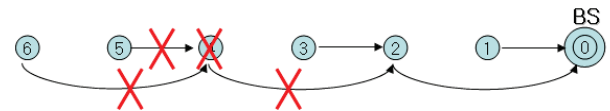
패킷을 받은 CH ID ‘5’는 CH ID ‘6’에게 Ack 메시지를 보낸다. 수신된 패킷의 Flag 가 1 이면 정상적인 라우팅 경로가 아니므로 Flag 필드의 값을 0 으로 변경하여 1 만큼 작은 CH ID 가 아닌 2 만큼 작은 CH ID 인 ‘3’으로 패킷을 전송한다.

Destination CH ID	Flag	Source CH ID	Data
-------------------	------	--------------	------

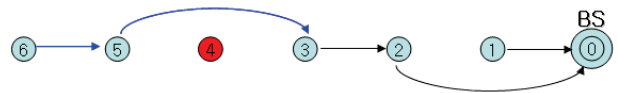
(그림 6) 데이터 패킷 형식

- 완전한 경로 변경

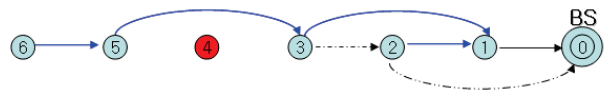
CH ID ‘6’이 2 만큼 작은 CH ID 인 ‘4’로 패킷을 T_SND_MAX 동안 전송을 시도했지만, Ack 메시지를 받지 못하면 그림 7-c 와 같이 앞에서 언급한 OP_TIME 를 강제로 변경하여 라우팅 경로를 변경한다. 짝수일 경우에 2 만큼 작은 CH ID 로 전송하던 것을 1 만큼 작은 CH ID 로 전송하고, 홀수일 경우에 1 만큼 작은 CH ID 로 전송하던 것을 2 만큼 작은 CH ID 로 전송한다.



a. Single Point Of Failure Detection



b. 임시적인 경로 변경



c. 완전한 경로 변경

(그림 7) Single Point Of Failure 발생시 복구과정

4. 성능평가

본 절에서는 제안 알고리즘과 일반적인 멀티홉 라우팅 방법의 성능을 평가한다.

4.1 Energy Efficiency

총 홉수가 6 이라고 가정하고, 패킷 전송 시 사용되는 에너지는 전송거리의 제곱에 비례하므로 한 홉간 송/수신시 에너지 소비를 각각 1nJ/bit 라고 했을 때, 일반적인 멀티홉 라우팅 방식을 사용하면 송신 시 6nJ/bit 를 사용하여 총 12nJ/bit 를 사용한다. 하지만 제안하는 알고리즘 사용 시 데이터 전송 시 2² * 3 + 1 * 3 = 15nJ/bit 을 수신 시 6nJ/bit 를 사용하므로 총 21nJ/bit 를 사용한다. 두 라우팅 알고리즘은 데이터 병합 방법을 사용하므로 병합하는데 사용되는 에너지를 배제하고, 데이터 송수신시 사용되는 에너지만 봤

을 때, 멀티홉 라우팅 방법이 좀 더 낫다.

4.2 Data Transmission Delay

데이터 전송 시 Delay 는 거쳐가는 경로의 홉 수로 측정한다. 그림 1 과 같이 일반적인 멀티홉 라우팅에서 CH ID '6'이 BS 까지 도착하려면 6 번을 거치지만, 제안된 알고리즘을 적용하면 그림 3 과 같이 CH ID '6'이 BS 까지 도착하려면 3 번의 홉을 거치기 때문에 Delay 면에서는 제안된 알고리즘이 낫다.

4.3 Reliability

우리가 고려하는 선형 네트워크에서 일반적인 멀티홉 라우팅을 적용했을 때, Single Point Of Failure 가 발생 시 대체 경로를 찾을 수 없기 때문에 해결할 수 없지만 제안된 알고리즘은 대체 경로를 사용하여 Single Point Of Failure 를 해결한다.

5. 결론

제한된 지연시간을 갖는 어플리케이션의 경우 지연 시간 및 신뢰성이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 방향성을 갖는 선형적 네트워크에서 지연 및 신뢰성을 고려한 클러스터 기반의 Odd-Even 알고리즘을 제안하였다. 일반적인 멀티홉 방식과 달리 짝수의 CH ID 를 갖는 노드는 2 만큼 작은 CH ID 로, 홀수의 CH ID 를 갖는 노드는 1 만큼 작은 CH ID 로 라우팅 하기 때문에 지연시간이 개선되었다. 따라서 제안하는 알고리즘의 지연시간을 허용하는 어플리케이션에 적용 가능하며 좀 더 짧은 시간을 요구하는 어플리케이션의 경우에 3 배수, 4 배수 CH ID 로 라우팅 하는 방법을 적용하여 해결할 수 있다.

Single Point Of Failure 발생시에도 대체 경로를 사용할 수 있기 때문에 해결할 수 있다.

참고문헌

- [1] J. Ibric and I. Mahgoub, "Cluster-based routing in wireless sensor networks: Issues and challenges," in International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS'04), San Jose, California, USA, pp. 759-766. , July 2004.
- [2] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," IEEE Wireless Commun. Mag., Vol. 11, no. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [3] Wendi Rabiner Heinzelman , Anantha Chandrakasan , Hari Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences-Volume 8, p.8020, January 04-07, 2000.
- [4] H. O. Tan and I. Korpeoglu, " Power efficient data gathering and aggregation in wireless networks," SIGMOD Record, Vol. 32, no. 4, pp. 66-71, December 2003.
- [5] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", Computer

Networks Vol. 38, pp. 393-422, 2002.

- [6] S. Lindsey, C. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems", IEEE Aerospace Conference Proceedings, Vol. 3, 9-16 pp. 1125-1130, 2002.