

무선 센서 네트워크를 위한 계층적 라우팅 알고리즘*

김대영, 조진성

경희대학교 컴퓨터공학과

{kimdy, chojs}@khu.ac.kr

A Hierarchical Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks

Dae-Young Kim and Jinsung Cho

Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University

요약

무선 센서 네트워크에는 효율적인 라우팅 알고리즘이 많이 존재한다. 그 중 클러스터링을 기반으로 하는 계층적 라우팅 알고리즘들은 클러스터 헤드만이 싱크 노드와의 통신에 참여하게 함으로써 에너지 효율을 얻는다. 그러나 이전의 계층적 라우팅 알고리즘들은 센서 노드의 전파 도달 반경을 비현실적으로 가정하여 실제 환경에서 적용할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 센서 노드의 현실적인 전파 도달 반경을 고려한 클러스터링 및 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 클러스터링 방안에서는 클러스터 헤드 선택을 위해 노드의 잔존 에너지와 연결도를 이용하고, d-hop 클러스터링을 통해 클러스터의 범위를 확장한다. 또한 라우팅 방안에서는 홉수를 기반으로 한 멀티홉 라우팅 기법을 사용한다. 제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 제안된 방안의 네트워크 생존 시간이 가장 오래 지속됨으로써 효율적인 알고리즘임을 검증하였다.

1. 서론

특정 공간이나 사물을 감시하는 용도로 사용되는 무선 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 기반 기술로 인식되고 있다. 최근 무선 센서 네트워크에서 사용되는 센서 노드는 반도체 제조 기법의 발달로 소형화, 저가격, 저전력이 가능하게 되었고, 현장(physical space)에 설치되어 현상(physical phenomena)에 대한 감시, 정보의 전달, 그리고 이웃 노드와 협동 작업등을 수행할 수 있게 되었다[1]. 이러한 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 평면 라우팅 프로토콜과 계층적 라우팅 프로토콜로 나눌 수 있다. 클러스터 헤드에서 데이터의 병합이나 압축이 가능한 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜이 평면 라우팅 프로토콜보다 에너지 측면에서 장점을 가진다[2].

현재까지 연구되고 있는 무선 센서 네트워크의 계층적 라우팅 프로토콜들은 클러스터링 기법과 클러스터 내부에서의 라우팅 방법을 다루고 있다. 클러스터 헤드에서 싱크 노드까지의 데이터 전송 방법으로 직접 통신 방식을 사용하는데, 무선 센서 네트워크의 전송 표준이라고 할 수 있는 IEEE

802.15.4(LR-WPAN)에서는 전방향(all-direction)으로 10m 까지 확장되는 POS(Personal Operating Space)에 초점을 맞추고 있다[3, 4]. POS는 사람이나 사물 주변의 공간을 의미한다. 따라서 LR-WPAN을 이용하는 무선 센서 네트워크에서 클러스터 헤드와 싱크 노드 사이의 원거리를 직접 통신하는 방법은 현실적이지 못하다. 또한 IEEE 802.15.4 표준을 따르게 되면 클러스터의 범위는 10m 정도가 되는데, 이렇게 될 경우 전체 네트워크에서 적절한 수의 클러스터를 유지할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 [5]의 d-hop에 의거한 클러스터링 방안과 홉수(hop-count)에 기반을 둔 Intra/Inter 클러스터 라우팅 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서 관련연구를 소개하고, 3절에서 제안하는 클러스터링 방안과 Intra/Inter 클러스터 라우팅 알고리즘을 제시한다. 4절에서는 성능 분석 모델과 성능 분석 결과를 보이고, 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

클러스터 기반의 라우팅 알고리즘은 에너지 제약적인 무선 센서 네트워크에서 효율적으로 사용될 수 있지만, 클러스터를

*본 연구는 과학기술부 과학재단 목적기초연구(R01-2005-000-10267-0) 지원으로 수행되었음.

연결하는 경로와 클러스터의 수에 따라 통신비용이 발생한다 [6]. 따라서 클러스터 기반의 알고리즘에서는 효율적으로 클러스터를 구성하는 것과 적절한 클러스터의 수를 유지하는 것이 중요하다.

Ad-hoc 네트워크에서의 클러스터링 기법에는 최상위 식별자를 중심으로 클러스터링 하는 방법, 최하위 식별자를 중심으로 클러스터링 하는 방법, 최상위 연결도를 가진 노드를 중심으로 클러스터링 하는 방법, 그리고 노드마다 부여된 가중치가 가장 높은 노드를 중심으로 클러스터링 하는 방법이 있다[7, 8, 9]. 그리고 센서 네트워크에서의 클러스터링 기법에는 확실적인 방법을 사용하여 클러스터 헤드를 선정한 후 클러스터링 하는 방법과 비교적 에너지가 많이 남아있는 노드를 중심으로 클러스터링 하는 방법 등이 있다[10, 11].

3. 제안하는 클러스터링 및 라우팅 알고리즘

일반적인 클러스터 기반의 라우팅 알고리즘 동작은 클러스터의 구성, 데이터 전송을 위한 스케줄 생성, 데이터 전송의 순서를 가진다.

<p>Repeat</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cluster construction phase 2. cluster-heads selection 3. cluster-heads advertisement 4. cluster set-up 5. Schedule creation phase 6. Data transmission phase <p style="text-align: center;">Repeat</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Intra cluster data transmission 8. Inter cluster data transmission <p style="text-align: center;">Until number of TDMA frames</p> <p>Until Network lifetime</p>
--

그림 1. 제안된 알고리즘의 전체 동작 절차

그림 1은 제안된 알고리즘의 전체 동작 절차이며 일반적인 계층적 라우팅 알고리즘의 절차이다. 그림 1의 절차에 따라 3.1절에서 [5]에서 제안된 d-hop 접근방식을 이용하여 현실 모델에서 클러스터링이 이루어지는 과정을 다루며, 3.2절에서 노드의 잔존 에너지와 연결도를 고려한 클러스터 헤드 선정 방안을 다룬다. 그리고 3.3절에서 클러스터 내부에서 멤버 노드와 클러스터 헤드 사이의 통신 방법과 클러스터 헤드와 싱크 노드 사이의 통신 방법으로 흡수를 기반으로 한 멀티홉(multi-hop)에 의한 라우팅 알고리즘을 기술한다.

3.1 d-hop 클러스터링

실제 센서 노드의 전파 도달 거리가 POS에 맞춰져있기 때문에 현실 모델에서 1-hop 노드에 대해 클러스터링을 하게 되면 전체 노드가 클러스터에 포함되지 못한다. 전체 노드를 포

함하기 위해 더 많은 클러스터가 만들어지게 되고 처음 설정했던 클러스터 헤드의 비율을 유지할 수 없게 된다. 따라서 적절한 수의 클러스터를 유지하기 위해서는 클러스터의 범위를 확장할 필요가 있다. 그림 2는 제안하는 클러스터링 알고리즘에 대한 의사코드를 나타낸다.

<p>I. Neighbor Nodes Scan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. send Query message 2. <i>If</i> (receive Query message) 3. reply to sender 4. write neighbor's information to the Neighbor Node Table <p>II. Making Cluster</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. compute <i>threshold</i> to select cluster head 2. generate random number $R(0,1)$ 3. <i>If</i> ($threshold > R$) 4. become a cluster head 5. send CH_STAT message to the members (until the d-hop boundary) 6. receive JOIN messages 7. <i>Else</i> 8. not a cluster head 9. <i>If</i> (receive CH_STAT message) 10. send JOIN message 11. <i>Else</i> 12. become a cluster head 13. send CH_STAT message to the members (until the d-hop boundary) 14. receive JOIN message
--

그림 2. 제안된 클러스터링 알고리즘

본 논문에서 제안하는 클러스터링 알고리즘에서는 클러스터가 구성되기 전에 각 노드는 자신의 이웃 노드에 대한 정보(노드의 식별자, 최소 파워 세기)를 획득한다. 이 과정은 [12]의 이웃 노드까지의 최소 전력 측정 방법과 같으며, 본 논문에서는 클러스터를 구성하기 위한 클러스터 헤드 노드의 선택과 클러스터가 구성된 이후 클러스터 내부와 외부에서 데이터를 라우팅하기 위해 필요하다. 이웃 노드 탐색을 통해서 이웃 노드 정보를 수집한 후 각 노드는 클러스터 헤드가 되기 위한 임계값을 계산하고 0과 1 사이의 난수를 생성하여 계산된 임계값과 비교한다. 이때 임계값이 난수보다 더 크게 되면 이 노드는 클러스터 헤드로 선정이 되며 클러스터 헤드로 선정된 노드는 자신에 대한 정보 메시지를 이웃 노드에 전달한다. 이 메시지는 d-hop 반경까지 전달되며 이로 인해서 클러스터의 범위는 확장되게 된다.

모든 노드는 클러스터 헤드 노드의 선정에 필요한 정보를 중심이 되는 특정 노드로부터 받아들일 필요가 없다. 즉, 모든 정보는 이웃 노드 검색 과정과 자신의 상태를 확인하는 것으로 수집된다. 또한 클러스터 헤드 선정 이후 클러스터 헤드로 선택된 노드가 클러스터를 구성하는 역할을 담당하게

된다. 즉, 클러스터링의 모든 과정은 개별 노드에서 분산적으로 실행되며 이는 계층적 라우팅 알고리즘에서 매우 필요한 요구사항이다.

3.2 클러스터 헤드 선정

센서 노드는 제한된 자원을 가지고 있으며 분산된 방법으로 자신이 클러스터 헤드가 됨을 결정하여야 한다. 그래서 무선 센서 네트워크의 계층적 라우팅 알고리즘에서는 클러스터 헤드 선정에 대해 확률적인 방법과 이를 개선한 노드의 잔존 에너지를 고려한 방법이 사용되었다. 본 논문에서는 노드의 잔존 에너지와 연결도를 함께 고려함으로써 기존의 클러스터 헤드 선정 방안 보다 효율적인 방안을 제안한다.

노드 j 에서 클러스터 헤드 노드 선정을 위한 임계값(T)은 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서 P_b 는 클러스터 헤드의 비율을 나타내고, 에너지에 대한 요소는 노드의 잔존 에너지(E)와 초기 에너지(E_{INIT})의 비율로, 연결도에 대한 요소는 평균 통신비용(ACC)과 최대 신호 세기(P_{max})의 비율을 이용하여 식 (1)처럼 나타낸다.

$$T_j = \frac{1}{2} \left(\frac{E_j}{E_{INIT}} + \frac{ACC_j}{P_{max}} \right) P_b \quad (1)$$

각 노드는 위의 식으로 임계값을 계산한 후, 0 과 1 사이의 난수를 생성하여 임계값과 비교한다. 이때 임계값이 생성한 난수 보다 크면 이 노드는 스스로 클러스터 헤드로 결정된다. 클러스터 헤드는 그림 2에서처럼 CH_STAT 메시지를 이웃 노드들에게 보냄으로써 자신이 클러스터 헤드라는 사실을 알린다.

3.3 Intra/Inter 클러스터 라우팅

본 논문에서 제안하는 알고리즘에서는 네트워크의 모든 노드가 클러스터링과 Intra/Inter 클러스터 라우팅을 위해서 그림 5와 같은 이웃 노드 테이블(NNT: Neighbor Nodes Table)을 가진다. 이웃 노드 테이블에서 NID는 이웃 노드의 식별자이며, PS는 NID가 나타내는 노드까지 데이터 전송에 필요한 신호 세기를 의미한다. CHID는 노드의 클러스터 헤드에 대한 식별자이고, HC는 클러스터 헤드까지의 홉수를 나타낸다. D_ID는 최종 목적지에 대한 식별자이며 D_HC는 목적지까지의 홉수를 나타낸다.

NID	PS	CHID	HC	D_ID	D_HC
-----	----	------	----	------	------

그림 3. 이웃 노드 테이블

3.3.1 Intra 클러스터 라우팅

클러스터 헤드가 보낸 CH_STAT 메시지를 수신한 노드는 이

웃 노드 테이블에서 자신의 클러스터 헤드 식별자(CHID)와 클러스터 헤드까지의 홉수(HC)를 기록한다. 이후 클러스터 내부에서 데이터 통신이 일어날 때, 노드는 자신의 이웃 노드 테이블을 참조한다. 각 노드들은 가장 작은 HC 값을 가지고 있는 이웃 노드로 데이터를 전달하며 동일한 HC 값을 가진 이웃 노드들만 존재한다면 PS 필드의 값을 보고 거리가 가장 짧은 이웃 노드로 데이터를 전달한다.

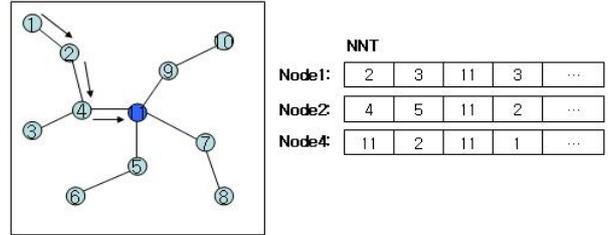


그림 4. Intra 클러스터 라우팅

3.3.2 Inter 클러스터 라우팅

클러스터 헤드가 싱크 노드와 통신이 이루어지기 위해서 싱크 노드는 주기적으로 interest 메시지를 네트워크에 전달해야 한다. 이때 interest 메시지는 싱크 노드로부터 전체 네트워크로 전달되며 네트워크 내에 존재하는 클러스터 헤드는 이 메시지를 사용하여 자신이 가지고 있는 이웃 노드 테이블의 D_ID 필드와 D_HC 필드를 기록한다. 클러스터 헤드가 싱크 노드로 데이터를 전달할 때는 이웃 노드 테이블에서 D_HC가 가장 작은 이웃 노드를 경유하여 D_ID 노드까지 라우팅을 한다. D_ID 노드까지의 홉수가 동일할 경우에는 PS 필드의 값을 보고 거리가 가장 짧은 이웃 노드로 데이터를 전달한다.

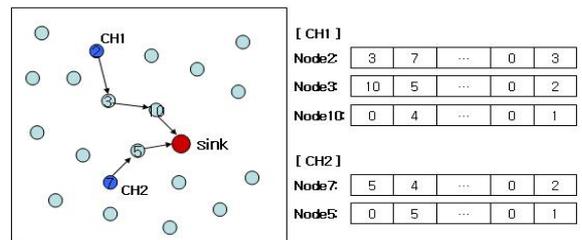


그림 5. Inter 클러스터 라우팅

4. 성능분석

현실적인 모델에서 데이터는 멀티홉에 의하여 싱크 노드까지 전달되며 싱크 노드 주변의 중계 노드가 모두 생존하지 못하는 경우 데이터는 더 이상 싱크 노드로 전달되지 못한다. 따라서 본 논문에서는 네트워크의 성능 분석을 위해 FND(First Node Dies)와 모든 클러스터 헤드가 싱크 노드로 데이터를 전달할 수 있을 때 까지를 측정하는 CND(Connection Nodes Die)를 새로이 정의하여 사용한다. 그리고 성능 분석을 위한

기본적인 환경변수는 [11]과 동일하게 사용한다.

네트워크의 생존 시간에 대한 시뮬레이션을 수행하여 그림 6과 그림 7의 결과를 얻었다.

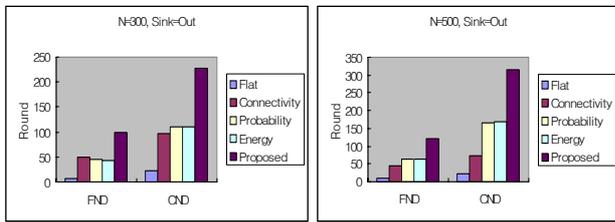


그림 6. Sink가 네트워크 외부에 위치할 때, 네트워크의 생존시간

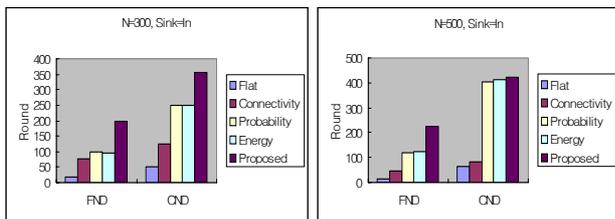


그림 7. Sink가 네트워크 내부에 위치할 때, 네트워크의 생존시간

위 시뮬레이션 결과처럼 제안된 계층적 라우팅 알고리즘은 FND와 OND에서 기존의 알고리즘 보다 우수한 성능을 보인다. 그 이유는 노드의 연결도와 잔존 에너지를 고려하여 클러스터링을 수행하는 제안된 알고리즘이 다른 알고리즘 보다 뛰어난 부하 분산의 기능을 가지고 있고 d-hop 클러스터링을 통해서 기존의 계층적 라우팅 알고리즘 보다 비교적 적절한 개수의 클러스터를 유지하기 때문이다. 클러스터의 수가 많아지면 클러스터 헤드와 싱크 노드 사이의 통신 횟수가 많아져서 데이터를 전송하는 데 소비되는 비용이 증가하게 된다.

표 1. 노드의 개수에 따른 평균 클러스터 헤드의 개수

	300	500	300	500
	Sink-In	Sink-In	Sink-Out	Sink-Out
Connectivity	41	40	40	40
Probability	56	64	51	64
Energy	56	63	56	64
Proposed	22	26	23	27

표 1은 계층적 라우팅 알고리즘에서 발생하는 평균 클러스터 헤드의 개수를 보여준다. 클러스터 헤드의 비율이 5%일 경우, 노드의 수가 300개 이면 클러스터 헤드는 15개가 되어야 하고 노드의 수가 500개 이면 클러스터 헤드는 25개가 되어야 한다. 표 1에서 보는 것처럼 제안된 알고리즘이 5% 비율에 가장 근접한 결과를 가진다.

5. 결론

본 논문에서는 d-hop 접근 방법을 사용하여 제약적이며 현실적인 데이터 전달 환경을 가진 노드로 구성된 무선 센서 네트워크에서 적절한 수의 클러스터를 유지할 수 있도록 하였으며, 클러스터링 과정에서 노드의 연결도와 잔존 에너지를 고려하였다. 또한 노드 사이의 통신 방법으로 홉수를 기반으로 한 멀티홉 전송 기법을 사용함으로써 제한된 전파 도달 환경 안에서도 클러스터 헤드 또는 싱크 노드로의 데이터 전송이 가능하도록 제안하였다. 따라서 제안된 알고리즘은 센서 필드에서 모든 노드들이 생존해야하는 응용분야에서 기존의 알고리즘들 보다 더 유용하게 사용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] David Culler, Deborah Estrin, Mani Srivastava, "Guest editors' introduction: Overview of sensor networks," IEEE Computer, vol.37, Issue8, pp.41-49, August 2004
- [2] Holger Karl, "Protocols and architectures for wireless sensor networks," John Wiley & Sons, 2005
- [3] J. A. Gutierrez, M. Naeve, E. Callaway, M. Bourgeois, V. Mitter and B. Heile, "IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Power Low-Cost Wireless Personal Area Networks," IEEE Network Magazine, volume 15, Issue 5, pp.12-19, September/October 2001
- [4] Edgar H. Callaway, "Wireless Sensor Networks Architectures and Protocols," Auerbach Publications, 2004
- [5] A. D. Amis, R. Prakash, T. H. P. Vuong and D. T. Huynh, "Max-Min D-Cluster Formation in Wireless Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE INFOCOM, vol.1, pp.32-41, March 2000
- [6] Anna Hac, "Wireless Sensor Network Designs," John Wiley & Sons, 2003
- [7] D. J. Baker and A. Ephremides, "The Architectural Organization of a Mobile Radio Network via a Distributed Algorithm," Comm. IEEE, Vol.29, No.11, pp.1694-1701, 1981
- [8] M. Gerla and J. T. Tsai, "Multicluster, mobile, multimedia radio network," Wireless Networks, Vol.1, No.3, pp.255-265, 1995
- [9] S. Basagni, "Distributed Clustering for Ad Hoc Networks," Proc. of International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks, pp.310-315, 1999
- [10] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," HICSS, vol.8, pp.1-10, Jan. 2000
- [11] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," Proc. of IEEE INFOCOM, vol.1, pp.629-640, March 2004
- [12] Noseong Park, Daeyoung Kim, Yoonmee Doh, Sangsoo Lee and Ji-tae Kim, "An Optimal and Lightweight Routing for Minimum Energy Consumption in Wireless Sensor Networks," IEEE RTCSA 2005, August 2005