

계층적 센서 네트워크에서 트래픽 부하와 에너지를 고려한 클러스터 헤드 선정 알고리즘

김대영, 조진성

경희대학교 컴퓨터공학과

potech@melab.khu.ac.kr, chojs@khu.ac.kr

A Cluster-head Selection Algorithm in Hierarchical Sensor Network Considering Traffic load and Energy

Dae-Young Kim and Jinsung Cho

Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University

요 약

현재 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 라우팅을 위해 많은 알고리즘들이 발표 되고 있다. 그 중 클러스터링을 기반으로 하는 라우팅 알고리즘들은 싱크노드가 클러스터 내의 클러스터 헤드와 통신함으로써 센서노드들과 싱크노드 사이의 통신 횟수를 줄여 에너지 효율을 얻을 수 있다. 클러스터링 기반의 라우팅 알고리즘에서는 클러스터 내의 클러스터 헤드 선정이 무엇보다 중요하다. 그래서 본 논문에서는 효율적인 클러스터 헤드 선정 방안을 제안한다. 제안된 방안은 클러스터 내에서 노드의 잔존 에너지와 트래픽 로드를 가지고 클러스터 헤드를 효율적으로 결정함으로써 센서 네트워크의 생존시간을 최대화 한다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 수많은 센서 노드들이 밀집된 형태로 구성되어 있으며 이들 노드 간에 무선 ad-hoc 네트워킹 능력을 필요로 한다. 그러나 센서 네트워크에 ad-hoc 네트워킹을 그대로 적용할 때 몇 가지 문제점이 발생한다. 센서 네트워크는 많은 노드들로 구성되어 있으며, 이들은 브로드캐스트로 데이터를 전송한다. 또한 제한된 자원을 가지고 있으며 데이터 중심의 특성을 가진다[1].

센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 평면 라우팅 프로토콜과 계층적 라우팅 프로토콜로 나뉘어진다. 센서 노드는 유사한 데이터의 중복 전달을 방지하기 위해 data aggregation을 수행하는데, 노드의 data aggregation 특성을 고려할 때 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜이 많은 장점을 가진다[2]. 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜에서는 클러스터의 헤드 선정이 아주 중요하다. 클러스터 헤드를 효율적으로 선정함으로써 통신하는데 필요한 전력 사용을 줄이고 네트워크의 생존시간을 최대화 할 수 있다.

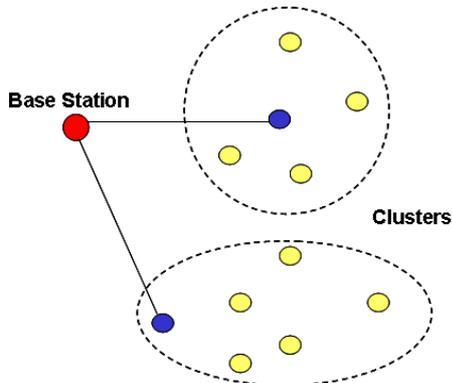


그림 1 : 클러스터 기반의 계층적 라우팅

기존의 클러스터 헤드 선정 알고리즘에는 노드의 식별자 기반, 노드의 연결도 기반, 노드의 잔여 에너지 및 확률 기반 등의 방법들이 있다[3]. 클러스터 헤드의 선정은 기지국 위치 지정과 유사한 문제로 생각할 수 있으며 이 문제들은 NP-complete 이다[4]. 따라서 대부분의 알고리즘들이 확률이나 휴리스틱에 바탕을 두고 이루어진다.

본 논문에서는 노드의 잔존 에너지와 노드의 트래픽 부하를 고려하여 클러스터 헤드를 결정하는 방안을 제안한다. 제안된 방안은 자원이 충분한 노드가 클러스터 헤드를 결정하는 중앙 집중식 클러스터링 모델과 노드 스스로 클러스터 헤드가 되는 분산 클러스터링 모델로 나누어 설명한다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구로서 기지국 위치 지정 방안을 소개하고, 3절에서는 효율적인 클러스터 헤드 선정을 위한 분산 클러스터링 기법과 관련하여 노드의 처리율, 트래픽 부하에 대해 기술하며 4절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH [5]에서는 확률적으로 클러스터 헤드를 선정하는데 클러스터 내의 모든 노드에게 클러스터 헤드가 될 기회를 부여한다. 이런 경우 클러스터 내의 노드들은 단지 확률적으로 헤드로 선정되기 때문에 에너지 효율적이지 못할 수 있다. 그래서 M.J.Handy는 [6]에서 클러스터 헤드를 결정할 때, LEACH 알고리즘에 노드의 잔존 에너지를 고려했다. 지금까지 제안된 클러스터 헤드 선정 알고리즘들이 [3]에서 소개된다. [3]은 노드의 식별자, 노드의 연결도, 노드의 가중치, 노드의 잔여 에너지를 기반으로 하는 몇 가지 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 분류한다. [8]은 최상 식별자를 기반으로 클러스터 헤드를 선정하고, [9]은 최저 식별자를 기반으로 클러스터 헤드를 결정하며, [10]은

노드의 가중치를 기반으로 하며, [11]은 잔존 에너지를 기반으로 하여 클러스터 헤드를 선택한다.

노드의 연결도를 기반으로 하여 클러스터 헤드를 선정하는 문제는 센서 네트워크 내에서 기지국의 위치를 지정하는 문제와 함께 생각해 볼 수 있다. Andrej Bogdanov [4]는 센서 네트워크에서 기지국의 위치 지정 문제를 최대 전송률을 가지는 노드로 기지국을 선택하는 알고리즘을 제안했다. [4]에서는 separator라고 부르는 중계노드의 데이터 전송률을 계산한다. 데이터의 전송률은 노드의 capacity를 노드에서 데이터가 발생한 비율로 나눈 값이 된다. 이렇게 모든 separator는 각자 계산된 전송률을 가지게 되고 지역적 탐색 알고리즘을 통해서 최대 전송률을 갖는 separator가 기지국으로 선택되게 된다. 또한 Mohamed Younis [7]는 노드에 트래픽이 많이 발생하는 지점에 기지국을 위치시키는 것을 고려했다. [7]은 데이터를 가장 많이 수집하는 노드 가까이 기지국(게이트웨이)을 위치 시킴으로써 통신과 관련된 에너지의 소비를 줄일 수 있고, 또한 데이터 수집을 위한 전체 latency를 낮출 수 있다고 설명한다.

3. 제안하는 알고리즘

본 절에서는 노드의 잔존 에너지와 노드에서 발생하는 트래픽 부하를 기반으로 하여 클러스터 헤드를 선정하는 방안을 분산 알고리즘을 바탕으로 설명한다.

각 노드는 전파 도달 반경 내에 있는 모든 노드로부터 메시지를 받을 수 있기 때문에 전파 도달 반경 내에 이웃 노드의 수가 많을수록 그 노드의 트래픽 부하는 많아진다. 따라서 각 노드들은 자신의 잔존 에너지와 함께 이웃 노드의 수를 가지고 계산된 트래픽 부하의 값을 사용하여 클러스터 헤드를 선택할 수 있다.

표 1은 본 논문에서 사용할 표기법을 명시한다.

Notation	
K	트래픽 상수 (Traffic Constant)
s	스케일 팩터 (Scale Factor)
S_{recv}	이웃 노드로부터 받은 s
C	조정 상수 (Adjustability Constant)
TL	트래픽 부하 (Traffic Load)
MTL	수정된 트래픽 부하 (Modified TL)
ρ	처리율 (Throughput)
n	이웃 노드의 수 (number of neighbors)
E_{INIT}	노드의 초기 에너지

표1. 제안된 방안에 사용되는 표기법

노드의 잔존 에너지와 트래픽 부하를 고려한 휴리스틱은 개념적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$H = \text{Energy} + \text{Traffic Load} \quad (1)$$

식(1)에서 에너지는 초기 에너지와 현재 노드에 남아있는 잔존 에너지의 비율로 나타나며, 트래픽 부하는 노드의 처리율을 통해서 계산해 낸다. 노드의 처리율은 각 노드에서 입력된 메시지와 출력된 메시지의 비율을 의미하며 다음과 같이 나타낸다.

$$\rho_i = \frac{\text{OutputMsg}}{\text{InputMsgs}} \quad (2)$$

이 때, 노드의 처리율은 클러스터 헤드가 되었을 때의 처리율을 뜻하며, 클러스터 헤드에서는 싱크 노드 또는 다른 하나의 클러스터 헤드로만 데이터를 전송할 수 있기 때문에 출력되는 메시지의 수는 1이 된다. 그래서 처리율 (ρ)의 범위는 $0 < \rho \leq 1$ 이 된다.

노드의 처리율이 높아질수록 노드에서 발생하는 트래픽 부하는 점점 줄어든다. 이것은 식(3)로 표현되며, 식(3)에서 트래픽 부하에 대한 식(4)을 유도해 낼 수 있다. 또한 각각의 노드가 전파 도달 반경 내에 있는 모든 노드로부터 메시지를 받을 수 있기 때문에 노드에 입력되는 메시지들은 이웃 노드의 숫자만큼 발생한다. 그래서 식(4)는 다시 식(5)로 고쳐 쓸 수 있다.

$$TL_i \propto \frac{1}{\rho_i} \quad (3)$$

$$TL_i = K \frac{1}{\rho_i} \quad (4)$$

$$TL_i = Kn_i \quad (5)$$

처리율의 범위를 고려하면 노드에서 트래픽 부하 (TL)의 범위는 $TL \geq K$ 이 된다.

앞에서 설명한 것과 같이, 식(1)의 휴리스틱은 잔존 에너지의 비율과 트래픽 부하에 대한 값을 사용한다. 여기서 트래픽 부하는 0과 1사이의 값으로 표현되어야 하며, TL의 범위가 K 이상이기 때문에 TL을 변형한 MTL을 사용한다. MTL은 TL과 비례 관계에 있으며 범위는 0과 1사이 이다.

$$MTL_i = f(TL_i) \propto TL_i \quad (6)$$

위의 식(6)은 스케일 팩터 (s)를 사용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$MTL_i = \frac{1}{s} TL_i \quad (7)$$

$$MTL_i = \frac{K}{s} \frac{1}{\rho_i} = \frac{K}{s} n_i \quad (8)$$

스케일 팩터는 MTL의 범위를 0과 1사이에 있도록 TL의 값을 조정한다. 표준 스케일 팩터의 값은 100K 이다. 그리고 노드의 전파 도달 거리 안에서 존재하는 이웃 노드의 수에 따라 유동적으로 변한다. 어떤 노드에서 스케일 팩터의 값이 변경되었다면 이 노드는 다른 노드에게 스케일 팩터가 변경되었음을 알려야 한다.

표 2는 스케일 팩터를 결정하는 알고리즘이다.

식(1)의 휴리스틱은 MTL을 사용하여 다음과 같이 표현된다.

$$H_i = \frac{E_i}{E_{INIT}} + MTL_i \quad (9)$$

그런데, MTL의 범위는 s 에 의해서 0과 0.5 사이가 된다. 그래서 H의 범위는 0과 1.5 사이가 된다. 여기서 조정 상수 C를 사용하여 H의 범위를 0과 1사이로 조정하여 클러스터 헤드를 분산적으로 선택할 수 있는 임계값을 만든다. 임계값은 식(10)으로 표현할 수 있다. 이 때, 조정 상수 C의 값은 2/3 이다.

```

Standard Scale Factor, s = 100K

If s > Srecv then
  If TL > 1/2 s then
    s = 10s
    broadcast s
  Else
    If TL < 1/20 s && s > 100K then
      s = 1/10 s
      broadcast s
  Else
    S = Srecv
    If TL > 1/2 s then
      s = 10s
      broadcast s

```

표 2. 스케일 팩터 결정 알고리즘

$$T_i = H_i C \quad (10)$$

$$T_i = \left(\frac{E_i}{E_{INT}} + \frac{K}{s} \frac{1}{\rho_i} \right) C = \left(\frac{E_i}{E_{INT}} + \frac{K}{s} n_i \right) C \quad (11)$$

식(9)와 식(10)을 이용해서 식(11)을 유도할 수 있으며 식(11)을 통해서 계산된 임계값의 범위는 0과 1사이가 된다. 각 노드는 위의 식(11)의 임계값(T)을 계산한 후, 0과 1사이의 난수(R)을 생성하여 임계값과 비교한다. 이 때, 임계값이 생성한 난수보다 크면 이 노드는 스스로 클러스터 헤드로 결정된다. 그리고 이웃 노드들에게 자신이 클러스터 헤드라는 것을 알린다.

분산 알고리즘과 비교를 위해 중앙집중식 알고리즘을 살펴볼 필요가 있다. 중앙집중식 알고리즘 또한 개념적으로는 식(1)을 따른다. 그러나 분산 알고리즘과의 차이점은, 에너지는 노드의 잔존 에너지만을 의미하며 트래픽 부하는 가중치 형태로 노드의 잔존 에너지에 곱해지는 것으로 나타난다. 여기서 트래픽 부하의 가중치는 MTL로 표현된다. 식(12)는 중앙집중식 알고리즘을 위한 휴리스틱이다.

$$H_i = (1 + MTL_i) E_i \quad (12)$$

식(12)는 식(8)을 사용하여 다시 식(13)으로 고쳐 쓸 수 있다.

$$H_i = \left(1 + \frac{K}{s} \frac{1}{\rho_i} \right) E_i = \left(1 + \frac{K}{s} n_i \right) E_i \quad (13)$$

각 노드에서 식(13)을 이용하여 계산된 H값이 가장 높은 노드가 클러스터 헤드가 된다. H값이 싱크 노드와 같이 자원이 풍부한 노드에 의해 관리되기 때문에 중앙집중식 알고리즘이 된다.

분산 알고리즘과 비교할 때, 중앙집중식 알고리즘이 더 좋은 효율을 가지지만 하나의 노드가 클러스터 내의 전체 노드를 관리해야 하는 측면에서 센서 네트워크에서는 적합하지 못하다. 수많은 센서 노드로 구성된 센서 네트워크에서는 개별 노드가 클러스터 헤드가 되도록 결정할 수 있는 분산 알고리즘이 더

적합하다.

4. 결론

무선 센서 네트워크에는 평면 라우팅 알고리즘과 클러스터 기반의 계층적 라우팅 알고리즘이 존재한다. 노드의 data aggregation 특성을 고려한다면 클러스터 기반의 계층적 라우팅 알고리즘이 더 많은 장점을 가진다. 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH [5]에서는 클러스터 내의 모든 노드에게 헤드가 될 수 있는 동일한 기회를 부여한다. 모든 노드가 동일하게 헤드로 선택될 수 있다는 것은 효율적이지 못하다. 그래서 본 논문에서는 노드의 트래픽 부하와 노드의 잔존 에너지를 기반으로 한 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 제안하였다. 트래픽 부하와 잔존 에너지가 많은 노드가 클러스터 헤드로 선정됨으로써 노드 사이의 통신 횟수를 줄여 통신으로 인해 발생하는 에너지 소비를 줄일 수 있으며 헤드가 클러스터 내의 전체 데이터를 수집하기 위한 latency도 줄일 수 있다. 이러한 방법을 통해서 우리는 네트워크의 생존 시간을 최대화 할 수 있다. 우리는 향후 시뮬레이션을 통해서 제안된 방안의 성능이 우수하다는 것을 보일 것이다.

참고문헌

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8, pp.102-114, August 2002

[2] 배정숙, 김성희, "무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜," ITFIND Mailzine, 제132호

[3] 이상학, "무선 센서네트워크의 에너지 효율적인 분산 클러스터링에 관한 연구," 경희대학교 박사학위 논문, 2005

[4] A. Bogdanov, E. Maneva, and S. Riesenfeld, "Power-aware Base Station Positioning for Sensor Networks," INFOCOM, Vol.1, pp575-585, March 2004

[5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," HICSS, vol.8, pp.1-10, Jan 2000

[6] M. J. Handy, M. Haase, and D. Timmermann, "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-Head Selection," International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network, pp.368-372, Sept. 2002

[7] Mohamed Younis, Meenakshi Bangad, and Kemal Akkaya, "Base-Station Repositioning For Optimized Performance of Sensor Networks," IEEE 58th VTC, vol.5, pp.2956-2960, Fall 2003

[8] 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

[9] M. Gerla and J. T. Tsai, "Multiclustet, mobile, multimedia radio network," Wireless Networks, Vol.1, No.3, pp.255-265, 1995

[10] S. Basagni, "Distributed Clustering for Ad Hoc Networks," Proc. of International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks, pp.310-315, 1999

[11] O. Younis, S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," Proc. of IEEE INFOCOM 2004, 2004

[12] 박노성, 김대영, "에너지 효율적인 데이터 기반 센서 네트워크 라우팅 프로토콜," 정보과학회논문지:정보통신 32권 2호 261~277 페이지, 2005년 4월