

무선 센서네트워크에서 클러스터 기반의 분산형 토폴로지 제어

공영배, 심일주, 장경배, 박귀태  
고려대학교 전자전기공학부

Cluster-based Distributed Topology Control for Wireless Sensor Networks

Young-Bae Kong, Il-Joo Shim, Kyung-Bae Chang, Gwi-Tae Park  
Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - 무선 센서네트워크는 환경 모니터링과 같은 다양한 어플리케이션을 갖고 있는 향상된 기술이다. 이를 구성하는 각각의 노드들은 특정지역에 분산되어 네트워크를 구성해서 해당 지역의 이벤트나 정보를 주기적으로 사용자에게 전달한다. 이때 토폴로지 제어는 네트워크의 수명과 통신에 중요한 영향을 미치는 요인이다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반의 분산형 토폴로지 제어기법을 제안한다. 이 기법은 먼저 네트워크를 클러스터 기반의 계층적인 구조로 구성한 후, 각각의 클러스터 내에서 최소 신장트리 (Minimum Spanning Tree)를 이용하여 토폴로지 제어를 수행한다. 이를 통해 무선센서 네트워크는 에너지 효율적이며 분산된 토폴로지 제어를 수행할 수 있고, 결과적으로 네트워크의 수명을 연장할 수 있다.

1. 서 론

최근 무선 통신 및 전자 기술의 진보는 저전력이며 소형인 무선 센서의 발전을 가능하게 하였다. 이러한 센서들은 대규모의 무선 네트워크 구축시 열악한 외부환경에도 불구하고 사용자에게 신뢰성 있는 데이터를 제공해 준다. 무선 센서 네트워크는 특정지역, 특히 사용자의 접근이 어려워 센서가 배치될 수 없는 지역에 유용한 정보를 수집하는데 사용되며, 환경 모니터링, 헬스케어, 홈 네트워크, 재난 방재와 같은 다양한 어플리케이션을 갖는다 [1, 2].

토폴로지란 센서 노드간의 라우팅 통신 링크들의 집합을 말한다. 이러한 토폴로지는 노드의 이동성, 외부환경, 소음과 같은 제어할 수 없는 요인들 및 전송 전력 및 안테나 방향과 같은 제어 가능한 요인들에 의존한다. 또한 네트워크 토폴로지는 네트워크의 수명 및 성능에 커다란 영향을 미친다. 밀집된 토폴로지 (dense topology)는 높은 간섭 (interference)에 의해 네트워크의 성능을 저하시키며 불필요하게 높은 에너지 소모를 발생시킨다. 반면에, 빈약한 토폴로지 (sparse topology)는 노드나 링크의 실패로 인하여 네트워크 분할 (partition)을 발생하기 쉽다. 따라서 토폴로지 제어는 간섭 (interference)을 줄이고, 에너지 소모를 감소시키며, 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있도록 네트워크에 포함된 링크들을 제어함으로써 특정 토폴로지를 유지하는 것을 뜻한다. 이러한 토폴로지 제어는 주로 센서 노드의 전송 전력 (transmission power)를 조절함으로써 이루어진다 [3].

지금까지 전송전력 조절에 기반한 다양한 토폴로지 제어 알고리즘이 제안되었으며, 이때 토폴로지 제어는 노드들에 전송전력을 인가함으로써 발생된 토폴로지가 어떠한 연결성을 갖는지, 그리고 전송전력은 최적화가 되었는지에 대한 문제에 관해 논의되어 왔다 [3, 4]. 집중형 (centralized) 알고리즘은 싱크(sink) 혹은 사용자가 노드의 전송전력을 계산할 수 있도록 모든 노드의 위치 정보를 알고 있다고 가정하며, 결과적으로 강한 연결성을 갖는 토폴로지를 구성할 수 있다. 그러나 이러한 알고리즘은 중앙 노드에서 수집해야 하는 정보들의 수가 네트워크의 규모에 비례하기 때문에 확장성 (scalability)에 제약을 받으며 따라서 대규모의 네트워크에 적용하는 데는 문제가 있다. 반면, 분산형 (distributed) 알고리즘은 각각의 노드들은 단지 주변노드들로부터 수집된 위치 정보들로 최적의 전송 전력을 계산할 수 있기 때문에 대규모의 네트워크에도 확장성 (scalability)이 가능하다. 노드의 이동성 (mobility)도 고려가 가능하다. 하지만 각각의 노드가 수집하는 위치 정보의 제약으로 인하여 집중형 방식에 비해서 강한 연결성이 보장될 수 없다 [4].

위에서 언급한 것처럼, 토폴로지 제어 알고리즘은 에너지 소모를 최소화하고, 네트워크의 기능을 최적화하면서 원하는 토폴로지를 구성하는 것을 목적으로 한다. 이 때 클러스터 기반의 계층적 접근은 먼저 해당 데이터를 싱크 (sink)에 빠르게 전송해 줄 수 있기 때문에 네트워크의 성능 향상을 가능하게 하며, 네트워크에 확장성 (scalability)을 가능하게 해준다. 따라서 클러스터 기법은 무선 센서 네트워크의 토폴로지 제어에 효과적이다.

본 논문에서는 이러한 집중형 방식과 분산형 방식을 혼합한 클러스터 기반의 분산형 토폴로지 제어기법을 제안하였다. 이 기법은 대규모의 무선센서 네트워크에 적용될 수 있는 확장성 (scalability)을 갖으며, 각각의 클러스터는 최소 신장 트리 (minimum spanning tree)로 구성되기 때문에 강한 연결성을 갖는다. 클러스터 기반의 본 알고리즘은 다음의 순서로 구성된다.

- I. 각각의 노드들은 현재 라운드에서 클러스터 헤드가 될지 멤버 노드가 될지를 결정하여 클러스터를 구성한다.
- II. 해당 클러스터들은 거리를 비용으로 하는 최소 신장 트리 (minimum

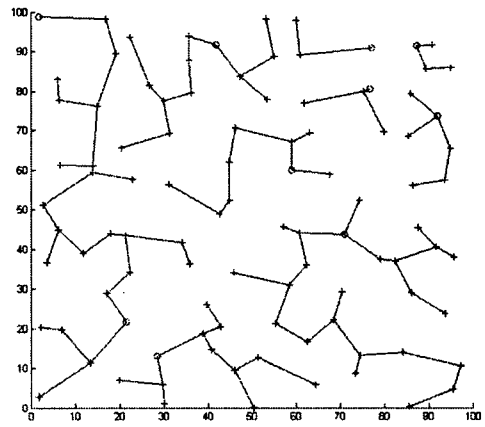
spanning tree)를 구성한다.

III. 각각의 클러스터들은 데이터를 수집하여 싱크(sink)에 전송한다.

본 알고리즘에서 클러스터 내부의 노드는 인접 노드들과 강한 연결성을 갖기 때문에 분산형 알고리즘에서 발생한 연결성을 해결할 수 있으며, 또한 계층적인 구조를 갖기 때문에 데이터를 효율적으로 싱크에 전송할 수 있다.

본문에서는 클러스터 기반의 분산형 토폴로지 제어 알고리즘에 대해 자세히 살펴보고, 기존의 통신 방식과 제안한 방식의 실험 결과를 분석한다. 마지막으로 결론에서는 본 논문의 의미 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

2. 본 론



<그림 1> 클러스터 기반의 분산형 토폴로지 제어

2.1 클러스터 기반의 분산형 토폴로지 제어 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 집중형 (centralized) 과 분산형 (distributed)의 기법의 합성을 통하여 확장성 (scalability)을 가지면서도 강한 연결성 (strong connectivity)를 갖는 기법이다. 또한 싱크 (sink)나 사용자가 모든 센서 노드들의 위치 정보를 가져야 하는 전역 토폴로지 (global topology)를 필요로 하지 않는다. 다만, 본 기법은 노드들이 자동으로 클러스터를 형성하고 각각의 클러스터에 대한 클러스터 헤드를 선택하는 클러스터링 기법이 적용되었다. 또한 각각의 클러스터는 집중형 (centralized) 토폴로지 제어 알고리즘이 적용되어 클러스터 내에서 강한 연결성을 갖게 된다.

본 알고리즘은 1) 클러스터 형성 2) 클러스터 내부의 토폴로지 제어 (topology control) 3) 데이터 전송 의 3단계로 구성된다. 각각의 단계를 살펴보면 다음과 같다.

2.1.1 클러스터 형성

본 논문에서는 클러스터링 기법으로 LEACH [5]를 선택하였다. LEACH는 에너지 소모가 균등하게 이루어지도록 일정 시간마다 클러스터를 재구성하게 함으로써, 네트워크 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크의 수명을 최대화할 수 있도록 분산된 환경의 클러스터 구조로 데이터 전송을 수행한다. LEACH에서 네트워크는 임의의 개수의 클러스터를 구성하고 클러스터마다 하나의 클러스터 헤드를 결정한다. 클러스터 헤드가 된 노드는 주변 노드들에게 자신이 클러스터 헤드임을 브로드 캐스팅한다. 이를 수신한 주변 노드들은 수신 신호의 세기를 통해서 가장 수신 신호가 강한 클러스터 헤드를 자신의 헤드로 선택하고 다시 자신이 클러스터 헤드의 멤버임을 알린다. 이를 통해서 네트워크는 클러스터 헤드와 멤버들로 구성되는 분산형 클러스터를 형성하게 된다.

2.1.2 클러스터 내부의 토폴로지 제어

클러스터가 형성된 다음, 각각의 클러스터는 토폴로지 제어 (topology control)를 수행하게 된다. 토폴로지 제어는 거리를 비용으로 하는 Prim's의

최소 신장 트리 (minimum spanning tree) 알고리즘을 통해서 이루어진다. 먼저 각각의 클러스터에서 해당 클러스터 내 임의의 노드가 선택되고, 선택된 노드에서 가장 가까운 거리에 있는 노드를 자신의 주변 정점으로 만들고 나무 간선 (tree edge)을 연결한다. 이러한 과정이 클러스터 내의 모든 정점이 선택될 때까지 반복된다.

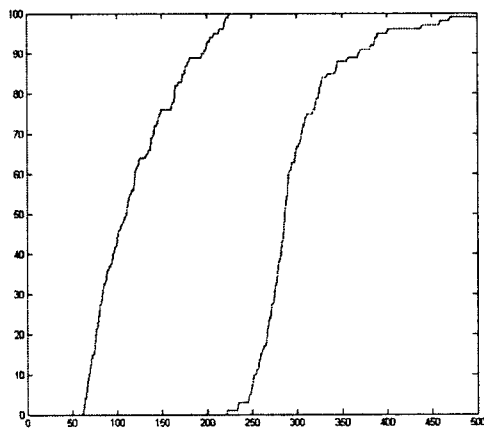
### 2.1.3 데이터 전송

마지막으로 데이터 전송단계에서는 각각의 클러스터 헤드가 자신에게 할당된 시간동안 데이터를 전송하게 된다. 클러스터 헤드가 해당 멤버들로부터 데이터를 수신 받게 되면, 수신된 데이터들은 데이터를 압축하여 싱크 (sink)로 송신한다.

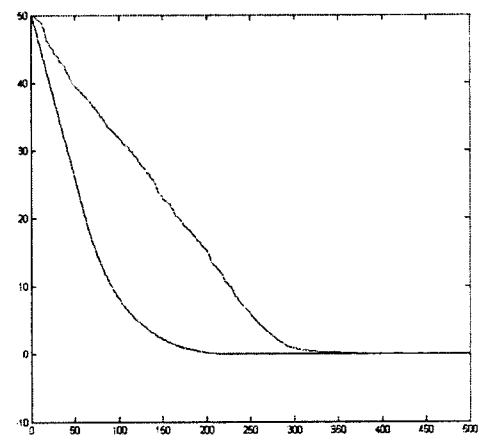
### 2.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 기법의 성능평가를 위하여 우리는 직접 전송 (direct transmission)과 본 논문의 알고리즘을 Matlab을 통해 구현하였다. 그림 1은 본 알고리즘을 적용하여 만들어진 네트워크 토폴로지 구성도이다.

해당 네트워크는 100개의 노드들로 구성되며, 각각의 노드는 임의로 분포되어 있다고 가정하였으며, 네트워크 반경은 각각 50m x 50m, 100m x 100m라고 가정하였다. 싱크는 x좌표=100m, y좌표=200m의 위치에 있다고 가정하였다. 노드들은 정적이라고 가정하였고, 네트워크 반경은 100m x 100m라고 가정하였다. 또한 모든 노드들은 정적이라고 가정하였다.



<그림 2> 시간에 따른 총 dead 노드 수



<그림 3> 시간에 따른 총 네트워크 에너지

그림 2와 그림3은 각각 시간의 변화에 대한 죽은 노드의 수와 네트워크 총 에너지를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 알고리즘의 죽은 노드 수는 직접 전송에 비해 약 2~3배 정도 적음을 알 수 있다. 또한 네트워크의 총 에너지 역시 직접 전송에 비해 마찬가지로 2~3배 정도 많음을 알 수 있다.

표 1과 표 2는 각각 네트워크의 반경이 각각 50m x 50m, 100m x 100m인 경우에 죽은 노드가 죽는 라운드를 측정한 결과이다. 마찬가지로 직접 전송보다 본 논문이 제안한 기법에서 죽은 노드의 라운드가 더 증가되었음을 알 수 있다.

<표 1> 반경 50m x 50m에서 네트워크의 수명 - 싱크: x=25,y=100

에너지 (J/노드)	알고리즘	1개	2개	50개	100개
0.25J	Direct	34	36	43	56
	Our Method	154	175	183	322
0.5J	Direct	64	71	82	109
	Our Method	280	307	324	460
1.0J	Direct	126	137	162	218
	Our Method	603	652	673	982

<표 2> 반경 100m x 100m에서 네트워크의 수명 - 싱크: x=50,y=200

에너지 (J/노드)	알고리즘	1개	2개	50개	100개
0.25J	Direct	33	39	55	117
	Our Method	117	145	154	278
0.5J	Direct	63	77	106	231
	Our Method	284	291	314	608
1.0J	Direct	125	147	214	429
	Our Method	505	545	585	764

## 3. 결 론

지금까지 우리는 클러스터링 기반의 토폴로지 제어기법에 대해 살펴보았다. 본 기법은 노드들이 자동적으로 클러스터를 형성하고 각각의 클러스터에 대한 클러스터 헤드를 선택하는 클러스터링 기법이 적용되었다. 이러한 기법은 에너지 소모를 균등하게 분산시키기 때문에 네트워크의 수명을 연장하고 효율적인 데이터 전송을 가능하게 한다. 또한 각각의 클러스터는 집중형 (centralized) 토폴로지 제어 알고리즘이 적용되어 클러스터 내에서 강한 연결성을 갖게 되므로 분산형 토폴로지 제어가 갖는 문제점을 해결할 수 있다.

시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 기법이 직접 전송에 비해 약 1.5~3.5배 정도 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있다. 또한 네트워크의 반경에 커져도 직접 전송에 비해 네트워크의 수명이 더욱 연장됨을 알 수 있다. 따라서 본 기법은 확장성 (scalability)을 가지면서, 네트워크의 수명을 효율적으로 연장시킬 수 있고, 사용자에게 효율적인 데이터 전송을 가능하게 한다.

향후 우리는 본 논문에서 제안한 기법을 네트워크 시뮬레이터인 ns2로 확장하고, 직접 전송 (direct transmission)이외에 다중 홉 (multi-hop), 집중형 토폴로지 (centralized topology), 분산형 토폴로지 (distributed topology) 등의 다양한 비교를 통해서 더욱 신뢰성 있는 실험 결과를 도출할 예정이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey", Computer Networks, Vol. 38, pp.393-422, 2002
- [2] S. Tilkak, N.B. Abu-ghazaleh, and W. Heinzelman, "A taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Model," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 6, 2, 28-36, April 2002.
- [3] R. Ramanathan and R. Rosales-Hain, "Topology control of multihop wireless networks using transmit power adjustment," in Proc. IEEE INFOCOM, pp. 404-413, 2000.
- [4] C.-C. Shen, C. Srisathapornphat, R. Liu, Z. Huang, C. Jaikao and EL Lloyd, "CLTC: A Cluster-Based Topology Control Framework for Ad Hoc Networks," IEEE Trans. Mobile Computing, Vol. 3, no. 1, 2004.
- [5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient Communication protocol for wireless microsensor networks", Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.