
무선 센서 네트워크에서 싱크 노드와 인접한 노드의 균등한 에너지 소모를 위한 클러스터링 알고리즘

정진욱* · 진교홍*

Clustering Algorithm to Equalize the Energy Consumption of
Neighboring Node on Sink in Wireless Sensor Networks

Jin-Wook Jung* · Kyo-Hong Jin*

이 논문은 2007년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음

요 약

무선 센서 네트워크의 클러스터링(Clustering) 기법은 센서 노드의 에너지 소모를 최소화하기 위한 목적으로 개발되어 Network Lifetime을 증대시키는 효과를 보인다. 기존의 클러스터링 기법들은 센서 노드들이 CH(Cluster Head) 역할을 교대로 수행함으로써 각 노드의 에너지 소모를 균등하도록 하여 Network Lifetime을 향상시키는 방법을 제안하였지만, 싱크(Sink) 노드와 인접한 노드들의 에너지 소모를 최소화하는 방안은 제시하지 못했다. 본 논문에서는 싱크 노드의 POS(Personal Operating Space) 내에 존재하는 인접 노드들의 일부를 클러스터의 멤버(Member) 노드로 가입시키지 않고, 직접 싱크 노드와 통신하게 함으로써 싱크 노드와 인접한 CH의 에너지 소모를 줄여 Network Lifetime을 연장하는 클러스터링 알고리즘을 제안하였다.

ABSTRACT

Clustering techniques, which are algorithm to increase the network lifetime in wireless sensor networks, is developed to minimize the energy consumption of nodes. Existing clustering techniques try to increase the network lifetime with equalizing each node's the energy consumption by rotating the role of CH(Cluster Head), but these algorithms did not present the solution that minimizes the energy consumption of neighboring nodes with sink. In this paper, we propose the clustering algorithm that prolongs the network lifetime by not including a part of nodes in POS(Personal Operating Space) of the sink in a cluster and communicating with sink directly to reduce the energy consumption of CH closed to sink.

키워드

Wireless Sensor Networks, Clustering, Network Lifetime

I. 서론

무선 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 분야의 핵심 기술 중의 하나로써 사물 및 환경 정보의 수집이 요구되는 지역에 설치된 다수의 센서 노드들이 스스로 네트워크를 구축하여 사용자에게 정보를 전달하는 네트워크로 정의할 수 있으며 그림 1과 같이 물리적인 정보를 감지하는 다수의 센서 노드들과 센서 노드로부터 전송된 데이터를 수집하는 싱크 노드로 구성된다.

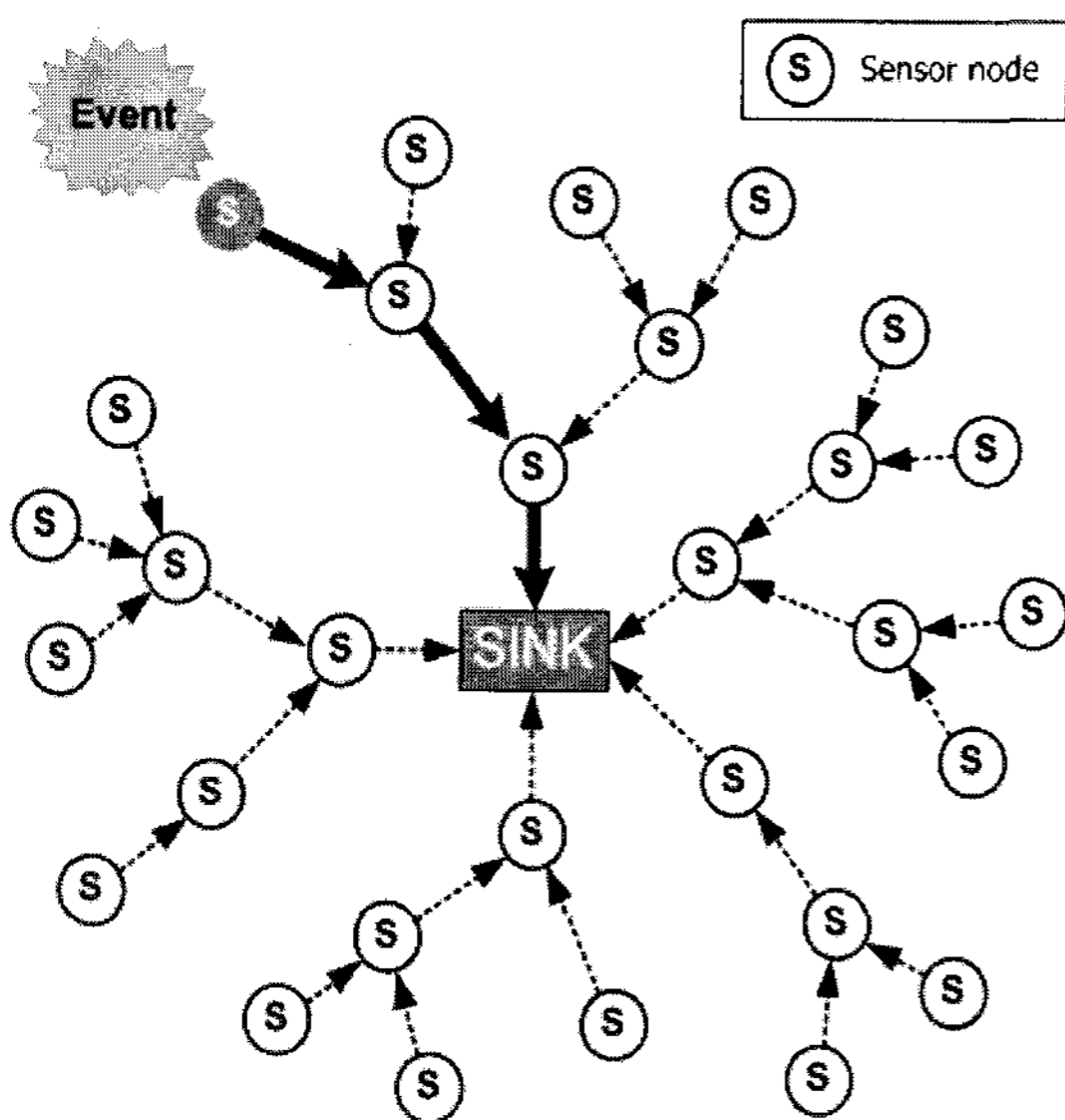


그림 1. 무선 센서 네트워크의 구조
Fig. 1 The structure of wireless sensor networks

센서 노드의 에너지 소모를 유발하는 가장 큰 원인은 패킷의 송·수신이다[1]. 특히, 싱크 노드와 가까운 노드일수록 패킷 중계(Packet Relaying)로 인한 에너지 소모가 훨씬 더 크다. 클러스터링(Clustering) 기법은 네트워크상에 전달되는 패킷의 수를 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라 데이터 병합(Data aggregation) 기법과 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜, 최적화된 MAC 계층의 설계가 용이하다는 장점을 가지고 있다.

클러스터링 기법은 그림 2와 같이 네트워크상의 노드들을 클러스터(Cluster)라 불리는 작은 그룹으로 분리하고 각각의 클러스터는 조정자(Coordinator)로써 하나의 클러스터헤드(Cluster Head : CH)와 다수의 멤버

(Member : M) 노드들을 가지는 구조를 만든다. 각 클러스터의 멤버 노드들은 자신의 CH로 패킷을 전송하고 CH는 수신된 패킷들을 병합하여 게이트웨이(Gateway : G) 다른 CH들을 통해 싱크 노드로 전송할 수 있다[2].

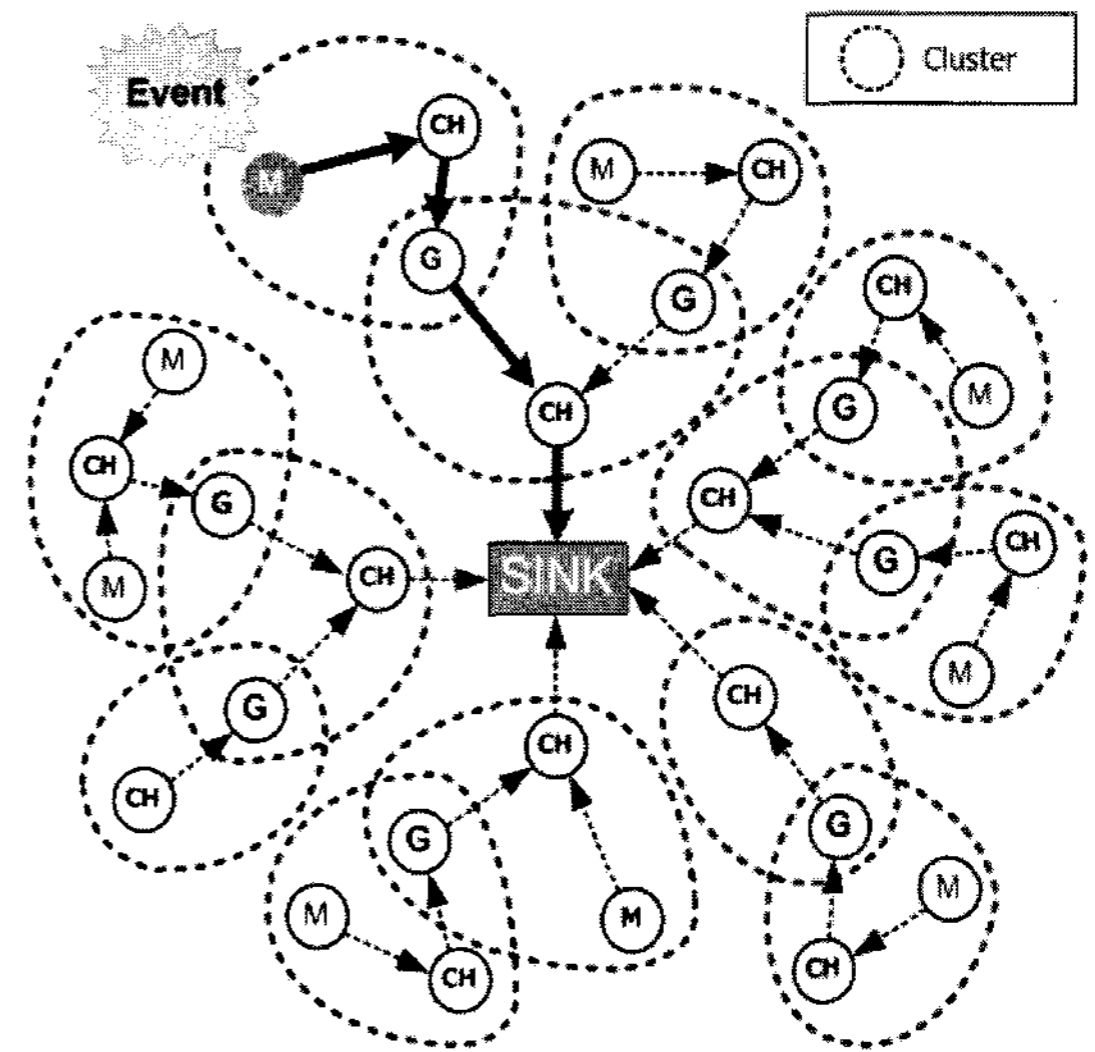


그림 2. 다수의 클러스터들로 구성된 무선 센서 네트워크
Fig. 2 The wireless sensor networks consisted of multiple clusters

이러한 클러스터링 기법의 사용에도 불구하고 싱크 노드와 인접한 노드들의 에너지 소모는 여전히 크기 때문에 본 논문에서는 싱크 노드의 POS(Personal Operating System)내에 존재하는 노드들의 일부를 클러스터에 포함시키지 않고 싱크 노드와 직접 통신하게 함으로써 각 노드의 배터리 소모를 균등하게 하여 Network Lifetime을 향상시키는 클러스터링 알고리즘을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 네트워크에서의 Network Lifetime과 클러스터링 알고리즘의 CH 선정 파라미터의 문제점에 대해 간략히 기술하고, 3장에서는 제안한 클러스터링 알고리즘을 설명한다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 과제를 제시한다.

II. 문제 정의

2.1 Network Lifetime

무선 센서 네트워크의 성능을 평가하는 하나의 측정 기준인 Network Lifetime은 ‘네트워크에 존재하는 모든 노드의 에너지가 고갈될 때까지의 시간, 혹은 어떤 노드와 싱크 노드와의 연결이 끊어질 때까지의 시간’으로 정의된다[2].

그림 3에서 A, B, C, D, E와 같은 중계 노드(Relaying Node or Forwarding Node)들의 배터리가 모두 고갈되는 경우에 싱크 노드와 직접 통신할 수 없는 노드들(숫자로 표기된 노드들)이 전송한 패킷들은 싱크 노드로 전달될 수 없으며 해당 네트워크는 사용이 불가능하게 된다.

따라서 우리는 Network Lifetime을 ‘싱크 노드와 인접한, 즉 싱크 노드의 POS 내에 존재하는 노드들의 배터리가 모두 소모될 때까지의 시간’으로 재정의하였다.

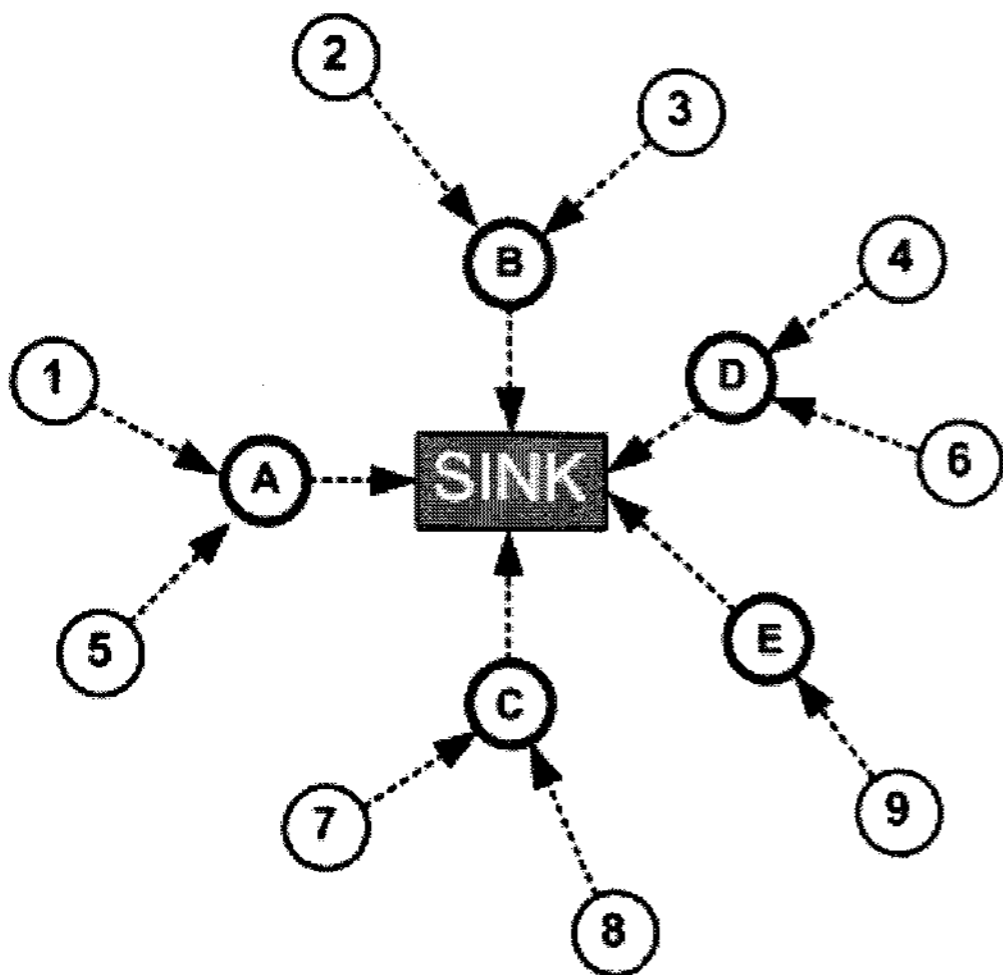


그림 3. 무선 센서 네트워크에서의 패킷 중계
Fig 3. Packet relaying in wireless sensor networks

2.2 CH 선정 파라미터로서의 홉 카운트(Hop Count)와 에너지 잔량(Residual Energy)

무선 센서 네트워크에서 클러스터링 기법은 크게 Centralized 방식과 Distributed 방식으로 구분할 수 있다. Centralized 방식은 싱크 노드로부터 클러스터가 생성되기 시작하여 점점 확산되는 방식이며 Distributed 방식은 로컬 노드들의 협동 작업을 통해서 클러스터가 구성되

는 방식이다.

[2]에서는 Distributed 방식이 무선 센서 네트워크에 적합하다고 하지만, 현재까지 제안된 Distributed 방식의 알고리즘들은 CH를 선정하기 위해 노드 ID(Node ID), 노드 등급(Node Degree), 가중치(Weight), 에너지 잔량(Residual Energy) 등과 같은 파라미터들을 사용하며, 각 노드가 이웃하는 노드들의 파라미터 값들을 알고 있다고 가정하고 있다. 그러나 이 값들은 오직 이웃 노드들 간에 메시지 교환을 통해서만 알 수 있다. 즉, Distributed 방식의 알고리즘들은 클러스터링 관련 제어 메시지 교환 이전에 부가적인 메시지 교환이 요구된다는 단점이 있다[3, 4]. 그리고 싱크 노드와 가까운 노드들의 에너지 소모를 줄이기 위해 싱크 노드와 인접한 클러스터의 크기를 다른 클러스터들에 비해서 작게 유지해야 한다. 그러나 Distributed 방식은 로컬에서 클러스터를 임의로 구성하기 때문에 이 문제를 해결할 수 없다.

반면에 Centralized 방식의 경우에 클러스터 구성과 관련된 메시지가 싱크 노드로부터 전송되어 전체 네트워크에 확산되므로 네트워크로 전달되는 패킷의 수가 많아질 수 있지만, 노드들 간에 부가적인 메시지 교환이 필요 없다는 장점이 있다. 그리고 클러스터의 크기는 멤버 노드들의 개수와 밀접한 관련이 있으므로, 본 논문에서는 홉 카운트를 이용하여 싱크 노드의 POS 내에 존재하는 노드들 중 일부를 클러스터의 멤버 노드로 가입시키지 않고 싱크 노드와 직접 통신하도록 함으로써 싱크 노드와 인접한 클러스터들의 크기를 줄이는 방법을 사용하였다. 그리고 CH 역할 변경을 위한 파라미터로써 에너지 잔량(Residual Energy)을 사용하여 노드들의 에너지가 균등하게 소모되도록 하였다.

III. 제안된 알고리즘

3.1 초기 클러스터 구성 (Initial Clustering)

먼저 싱크 노드가 초기 클러스터 구성을 위해 먼저 HC(Hop Count) 필드를 0으로 설정한 CH 메시지를 브로드캐스트한다. CH 메시지를 수신한 노드들은 CH 메시지 내의 HC 필드 값에 1을 더하여 자신의 홉 카운트로 설정한다. 싱크 노드로부터 1홉 거리에 존재한다는 것을 인지한 노드는 클러스터 구성을 위해서 자신의 홉 카운트가 기록된 CH 메시지(HC=1)를 전송한다. 이 CH 메시

지를 수신한 노드들 중 자신의 홉 카운트를 알지 못하는 노드는 앞에서와 같은 방법으로 자신의 홉 카운트를 설정한 후 CH 메시지를 전송한 노드의 멤버 노드가 되기 위해 JOIN 메시지를 전송한다.

이 때 자신의 홉 카운트를 이미 알고 있는 노드 즉, 싱크 노드와 1홉 거리의 노드들은 JOIN 메시지를 전송하지 않는다. 우리는 이 노드들을 독립 노드(Independent Node : IN)라 부르며 싱크 노드와 직접 통신하게 함으로써 같은 홉의 CH들의 부담을 덜어준다. 그 다음 JOIN 메시지를 수신한 노드들 중에서 자신의 홉 카운트를 모르는 노드들은 자신의 홉 카운트를 설정한 후 CH 메시지를 브로드캐스트한다. 이 CH를 수신한 노드들은 JOIN 메시지를 전송하여 멤버 노드가 된다. CH 메시지를 수신한 노드들 중 이미 다른 클러스터에 포함된 노드는 두 개의 클러스터를 연결하는 게이트웨이 노드가 된다. 그리고 CH 메시지를 전송한 노드가 어떠한 JOIN 메시지도 수신하지 못하다면 이 노드는 CH가 되는 것을 포기하고 자신에게 JOIN 메시지를 전송한 노드에게 센싱한 데이터를 전송한다. 그림 4는 초기 클러스터 구성 이후에 형성된 네트워크 아키텍처를 보여준다.

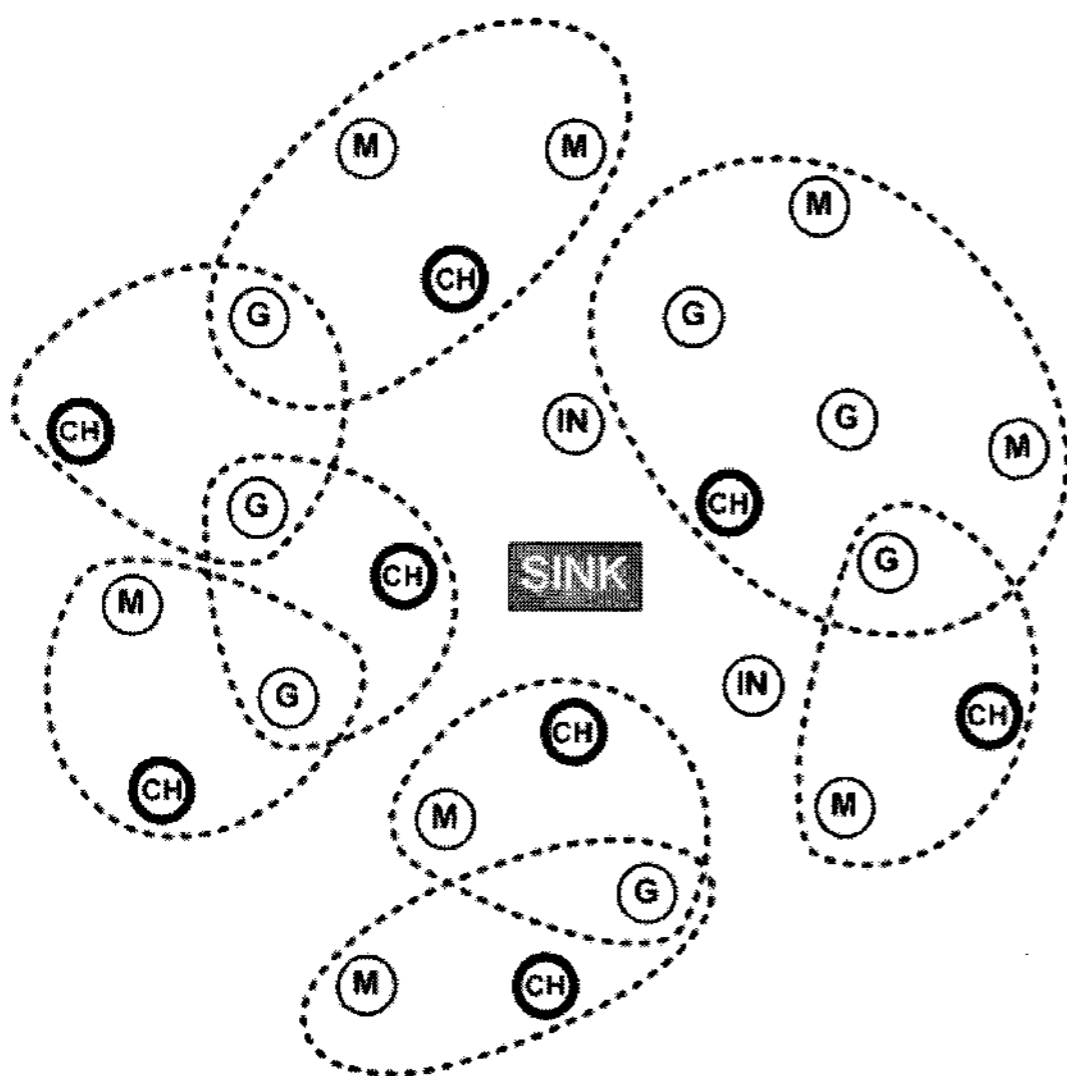


그림 4. 초기 클러스터 구성 이후에 네트워크 아키텍처
Fig 4. Network architecture after initial cluster configuration

3.2 클러스터 재구성(Re-clustering)

싱크 노드는 어떤 이웃하는 CH 노드로부터 전송된 패킷에 기록된 에너지 잔량이 임계치(threshold) 이하로 떨어진 것을 확인하면 클러스터 재구성을 시작한다. 클러스터 재구성의 동작은 위의 초기 클러스터 구성과 동일하다.

단 하나의 차이점은 싱크 노드로부터 CH 메시지를 수신할 때 CH 역할을 수행 중이던 노드들은 CH가 되는 것을 포기하고 독립 노드가 되고 독립 노드였던 노드들은 CH가 되기 위해 CH 메시지를 전송한다는 것이다. 그림 5는 클러스터 재구성 이후에 네트워크 아키텍처를 나타내고 있으며 이전에 CH였던 노드들이 독립 노드가 된 것을 알 수 있다.

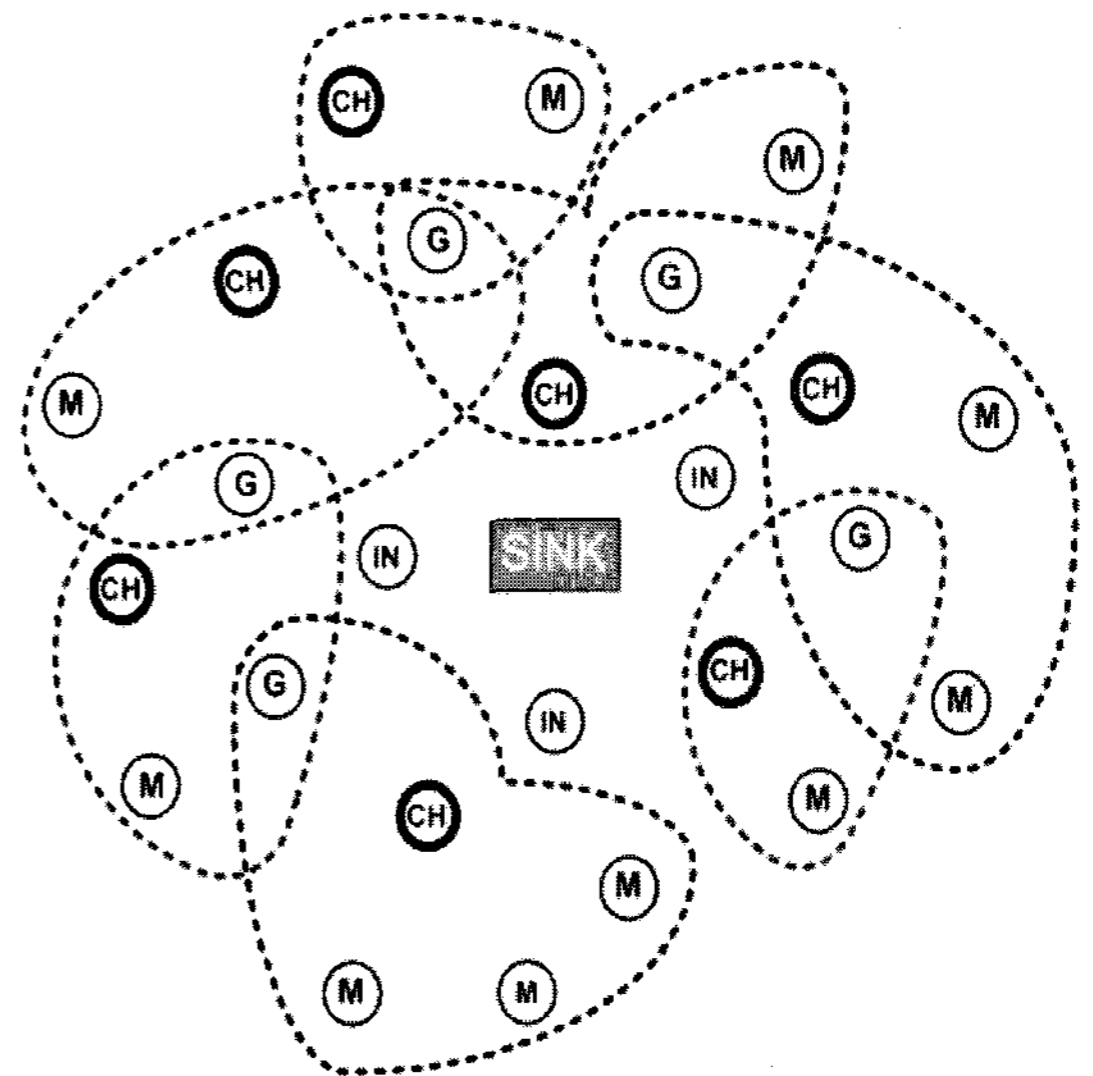


그림 5. 클러스터 재구성 이후에 네트워크 아키텍처
Fig 5. Network architecture after cluster reconfiguration

3.3 경로 설정(Path Establishment)

대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH의 경우에 CH를 거쳐 싱크 노드로 패킷을 중계하는 계층적 라우팅을 제공하고 있다[5]. 본 논문에서 제안한 클러스터링 알고리즘 역시 클러스터가 구성됨과 동시에 싱크 노드의 경로가 자동으로 설정된다. 그림 6과 같이 멤버 노드들은 CH로 메시지를 전송하고 CH는 게이트웨이를 통해 다른 CH로 메시지를 전달하며 결국 싱크 노드로 전

달된다. 그리고 굵은 선으로 표시된 클러스터의 경우와 같이 멀티 홉의 클러스터가 구성될 수 있다. 이러한 형태의 클러스터는 오직 네트워크의 가장자리에만 존재한다.

본 논문에서는 싱크 노드의 POS내에 존재하는 노드들 중 일부를 클러스터에 포함시키지 않고 독립 노드로 만들어 싱크 노드와 직접 통신하게 함으로써 싱크 노드와 인접한 CH들의 에너지 소모를 줄이는 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 클러스터링 알고리즘은 홉 카운트를 이용한 초기 클러스터 구성과 에너지 잔량을 이용한 클러스터 재구성으로 구성되며 클러스터링과 동시에 계층적 라우팅 경로가 설정되는 특징을 가진다. 우리는 이 알고리즘을 사용함으로써 싱크 노드의 POS내에 존재하는 노드들의 에너지 소모가 줄어들며 전체 Network Lifetime이 향상될 것으로 예상하고 있다.

IV. 결론 및 향후 과제

향후 과제로는 제안된 클러스터링 알고리즘을 IEEE 802.15.4의 Duty Cycle과 효율적으로 연동할 수 있는 방법을 추가하고 기존의 Centralized 클러스터링 기법들에 이 알고리즘을 적용하여 Network Lifetime 향상 여부를 확인할 것이다. 그리고 Distributed 클러스터링 알고리즘과 비교하여 제어 메시지 수, 클러스터 구성 시간 및 Network Lifetime을 비교 분석 할 것이다.

참고문헌

- [1] Ilker Demirkol, Cem Ersoy, and Fatih Alagöz, Bogazici University, "MAC Protocols for Wireless Sensor Network: A Survey," IEEE Communication Magazine, April 2006
- [2] Ossma Younis, Marwan Krunz, and Srinivasan Ramasubramanian, University of Arizona, "Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges," IEEE Network, May/June 2006
- [3] Stefano Basagni, "Distributed Clustering for Ad Hoc Networks," Proc. Int'l. Symp. Parallel Architectures, Algorithms, and Networks, 1999, pp. 310-15.
- [4] A. D. Amix, R. Prakash, D. Huynh, and T.Vuong, "Max-Min D-Cluster Formation in Wireless Ad Hoc Networks," INFOCOM, 2000, pp.32-41.
- [5] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATION , VOL. 1, NO.4, OCTOBER 2002

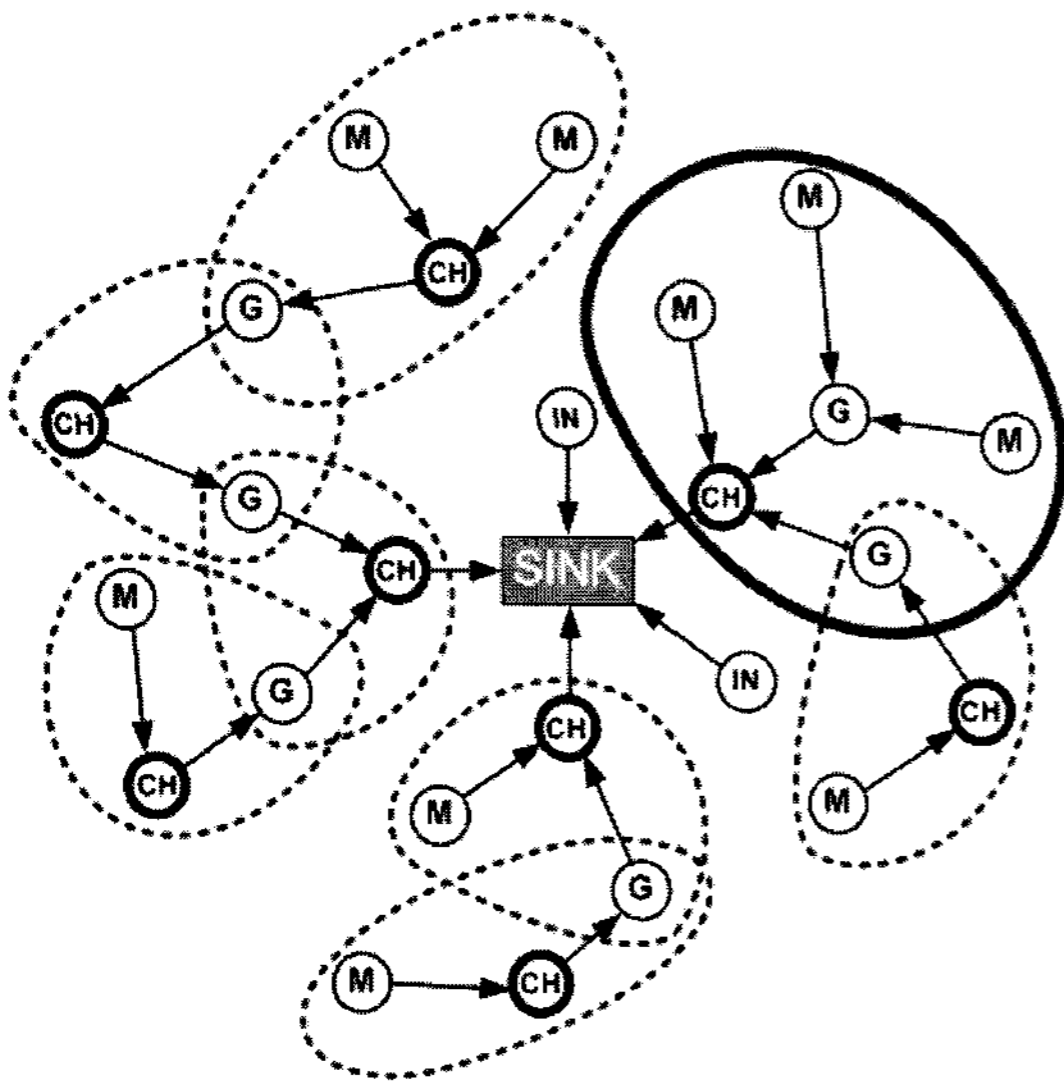


그림 6. 클러스터 구성 알고리즘 이후 경로 설정
Fig 6. Path Establishment after cluster configuration algorithm

저자소개



정진욱(Jin-Wook Jung)

2004 동의대학교 멀티미디어공학과
공학사

2006 동의대학교 디지털미디어공학과
공학석사

2006 ~ 현재 창원대학교 전자공학과박사과정

※ 관심분야: 홈네트워크, 센서 네트워크, 유비쿼터스
컴퓨팅



진교홍(Kyo-Hong Jin)

1991 부산대학교 컴퓨터공학과 공학
사

1993 부산대학교 컴퓨터공학과 공학
석사

1997 부산대학교 컴퓨터공학과공학박사

1995 ~ 1997 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소
전문연구요원

1997 ~ 2000 국방과학연구소 선임연구원

2000 ~ 2004 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수

2004 ~ 현재 창원대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야: 데이터통신, 홈네트워크, 센서 네트워크,
유비쿼터스 컴퓨팅