

## 무선 센서 네트워크에서의 Max k-Cut 기반의 클러스터링 알고리즘

김재환<sup>○</sup> 장형수

서강대학교 컴퓨터공학과

[\[greensun00,hschang}@sogang.ac.kr](mailto:{greensun00,hschang}@sogang.ac.kr)

## Max k-Cut based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks

Jaehwan Kim<sup>○</sup>, Hyeongssoo Chang

Department of Computer Science and Engineering, Sogang University

## 1. 서론

일반적으로 Wireless Sensor Networks(이하 WSNs)에서의 각 sensor 노드의 에너지는 제한되기 때문에 효율적인 에너지의 사용은 매우 중요하다 WSNs에서의 통신 에너지를 줄이기 위하여 clustering을 주로 사용하는데 그 중 대표적인 방법으로는 모든 노드들이 random한 방식으로 돌아가면서 cluster-head로 선출되는 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[1] 알고리즘이 있다. LEACH는 WSNs에서 고정된 cluster-head를 사용할 경우 cluster-head로 선출된 노드만 많은 에너지를 소비하므로 전체적인 lifetime이 줄어드는 문제를 해결하였지만 확률적으로 cluster-head를 선출하는 방식이기 때문에 cluster-head들의 위치가 균일하게 분포되지 않거나 선출되는 cluster-head의 수가 일정하지 않을 가능성이 있다 이렇게 비효율적으로 cluster를 구성할 수 있는 문제점을 해결하기 위하여 각 노드의 위치를 알고 있는 base station에서 매 round마다 에너지 효율성을 높일 수 있는 cluster-head를 지정해 주는 방식을 사용한 LEACH-C[2]가 고안되었지만 이는 GPS를 사용해야하기 때문에 추가비용이 발생한다 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 WSNs에서 Max k-Cut Problem을 기반으로 위치 정보를 사용하지 않고 cluster-head를 적절히 분산하여 선출함으로써 에너지 효율적인 clustering을 하는 중앙처리 방식의 새로운 알고리즘 "MCCA : Max k-Cut based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks" 을 제안한다. MCCA는 이웃 노드와의 상대적이고 근사적인 거리 정보만을 사용하여 효율적으로 clustering을 하고 에너지가 적은 노드는 cluster-head에서 일정 기간 제외되는 방법을 사용함으로써 LEACH보다 에너지 효율이 증대됨을 실험을 통하여 보인다

## 2. 본론

본 논문의 목적은 cluster-head가 WSNs의 공간 전체에 골고루 배치되도록 선출되어 cluster-head와 cluster-head가 아닌 노드간의 거리를 줄여주는 것과 에너지가 적은 노드는 cluster-head 선출에서 제외시켜 에너지를 모두 소비하여 죽는 노드가 첫 번째로 발생하는 시기를 늦추는 것이다 본 논문에서는 전자를 위하여 Max k-Cut Problem을 사용하여 cluster-head를 선출하고 후자를 위하여 에너지가 상대적으로 적은 노드는 일정 기간 cluster-head에서 제외되는 방법을 사용하여 전체 노드의 에너지 사용에 균형을 맞춘다

Max k-Cut Problem이란 그래프  $G=(V,E)$ 에서  $V$ 에 대하여 가능한 모든 partition의 집합을  $\Pi$ 라고 할 때 식(1)을 만족하는  $k$ 개의  $V$ 의 부분집합으로 구성된 partition  $P=P_0, P_1, \dots, P_{k-1} (P \in \Pi)$ 을 만드는 것이다 [3].

$$\max_{P \in \Pi} \sum_{0 \leq r < s \leq k-1} \sum_{i \in P_r, j \in P_s} w_{ij}$$

where  $w_{ij}$  = nonnegative weight for  $i, j \in V$  (1)

모든 노드가 전파의 세기 조절을 통하여 자신의 이웃 노드와의 대략적인 거리를 측정 한 뒤 거리가 멀다 weight가 낮고 거리가 가깝다면 weight가 높게 설정을 하여 이 정보를 base station으로 보낸다. Base station에서는 모든 노드에서 받은 이웃 노드와의 weight값을 이용하여 방향성이 없는 가중 그래프를 만들 수 있다 이렇게 구성된 그래프를 사용하여 Max k-Cut Problem을 적용한다면 같은 집합  $P_i (i = \{0, 1, \dots, k-1\})$ 에 속하는 vertex들은 일정한

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-10511-0).

거리를 유지할 수 있게 된다. 따라서 하나의 집합  $P_i (i = \{0, 1, \dots, k-1\})$ 에 속하는 sensor 노드들을 같은 round (cluster의 구성을 바꾸지 않고 통신하는 시간에 cluster-head로 선출하면 매 round마다 돌아가면서 선출되는 cluster-head의 위치는 고르게 분포된다 또한 매 round 선출되는 cluster-head의 수가 일정해야 효율적으로 cluster를 구성할 수 있으므로 Max k-Cut Problem에서 다음의 조건을 고려하여 partition을 해야 한다.

$$\max_{P \in \Pi} \prod_{s=0}^{k-1} |P_s| \quad (2)$$

Max k-Cut Problem을 통하여 나누어진 partition  $P$ 는 cluster-head를 선출하는데 사용된다 Max k-Cut Problem을 통해 얻어진  $k$ 개의 집합  $P_0, P_1, \dots, P_{k-1} \subset V$  은  $P_0 \cup P_1 \cup \dots \cup P_{k-1} = V$  이고  $P_i \neq \emptyset, P_i \cap P_j = \emptyset, \forall i, j \in \{0, \dots, k-1\}, i \neq j$  이다.  $t$ 번째 round에 집합  $P_x$ 에 속하는 노드들이 cluster-head로 선출되었다면  $t+1$ 번째 round에는 집합  $P_{(x+1) \bmod k}$ 에 속하는 노드들이 cluster-head로 선출되게 된다. 같은 집합  $P_x$ 에 속하는 노드들끼리의 weight가 최소가 되도록 하였으므로 이 노드들의 거리는 최대한 멀리 떨어지게 되고 partition  $P$ 의 집합들에 속하는 노드들의 개수는 일정하기 때문에 전체적으로 cluster-head의 고른 분포를 얻을 수 있다.

다른 노드보다 먼저 에너지를 전부 소비해 통신이 불가능한 노드가 발생하는 시기를 늦추기 위해서는 각 노드의 에너지를 비슷하게 소비하도록 해야 한다 이를 위해 다른 노드에 비하여 에너지를 많이 소모한 노드는 cluster-head 선출에서 제외시킬 필요가 있다  $N$ 을 전체 노드의 집합  $R(X)$ 를 집합  $X$ 의 노드들이 가진 평균 에너지라고 하고  $r(x)$ 를 노드  $x$ 의 현재 에너지라고 하자 Cluster-head 선출에서 제외되는 노드의 집합  $\bar{N} = \{r(x) < c \times R(N) | x \in N\}$ 으로 나타낼 수 있다.  $c$ 는 전체노드의 평균 에너지와 제외될 노드의 에너지의 비율을 나타낸 값으로 1이하의 상수이다 Cluster-head선출에 참여하는 노드의 집합  $N'$ 는  $N' = N - \bar{N}$ 이고  $N'$ 에 속하는 노드를 가지고 Max k-Cut Problem을 사용하여 cluster-head를 선출한다. 이때  $k$ 는 clustering을 하였을 때 통신 에너지를 가장 적게 사용하는 cluster-head의 수  $CH_{opt}$ 로  $|N'|$ 를 나눈  $|N'| / CH_{opt}$ 로 정해진다.

Max k-Cut Problem은 NP-hard problem이기 때문에 최적해를 찾기 위해서는 많은 시간이 필요하다 하지만 WSNs에서는 계산 시간이 오래 걸린다면 delay가 길어져서 사용하기 힘들다 따라서 본 논문에서는 approximation algorithm을 사용하여 polynomial time에 Max k-Cut Problem을 해결할 수 있도록 하였다.

### 3. 결론

본 논문에서는 실험을 통하여 MCCA가 LEACH보다 우수함을 보인다. 실험은 normal size area와 large size area 두 부분으로 나누어서 하였다. 모든 노드가 작업을 시작한 후 첫 번째로 에너지를 전부 소진하여 죽는 노드가 발생하는 때까지의 시간을 lifetime이라고 한다면 그림과 같이 MCCA는 LEACH보다 lifetime을 연장하였음을 알 수 있다. Normal size area에서는 약 50% 정도, large size area에서는 2배가 넘는 성능 향상을 보였다

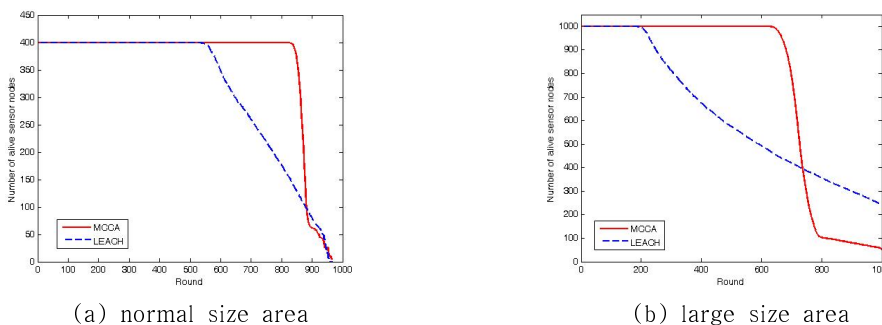


그림1. Round에 따른 살아있는 노드의 수

### 참고문헌

[1] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks", in *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, vol. 8, pp. 3005-3014, Jan. 2000.

[2] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.

[3] A. Frieze, M. Jerrum, "Improved Approximation Algorithms for MAX k-CUT and MAX BISECTION", in *Proceedings of the 4th International IPCO Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization*, pp. 1-13, 1995.