

## 노드 기준과 에너지 기준의 CDS 구성에 따른 성능 비교

### Performance evaluation between node-based CDS and energy-based CDS

하덕규, 송영준\*, 김동우\*\*, 이인성\*\*\*  
충북대학교

Ha Deok-kyu, Song Young-jun\*,  
Kim Dong-woo\*\*, Lee In-sung\*\*\*  
Chungbuk Nat'l Univ.

#### 요약

무선 ad-hoc 네트워크에서 CDS(connected dominating set)을 구성할 때 보다 빠르고 간단하며 효율적인 전력 소모 관리가 가능한 알고리즘이 필요하다. 무선으로 구성되어 있는 네트워크의 특성상 소비전력을 최소화 하는 것이 가장 중요하다. 노드가 집중되어 있거나 잦은 CDS 재구성을 할 경우 데이터를 공유하는 ad-hoc 네트워크의 특성상 충돌 및 지연현상에 의해 병목현상이 나타나 정보를 손실할 우려가 많다. 따라서 지속적인 위치 이동이 이루어지지 않는 무선 ad-hoc 네트워크에서는 가장 효율적인 CDS를 결정하고 망 구성이 이루어진 후 가급적 재구성하지 않아야 한다. 본 논문에서는 연결된 노드 수와 잔여 전력에 대한 가중치를 부여하여 구성된 CDS 기반 네트워크 알고리즘을 기반으로 노드 구성에 따른 각 상황에서의 성능을 비교 평가하였다.

#### Abstract

Constructing CDS in wireless ad-hoc network, it is necessary to make more efficient algorithm that is fast, simple and has low power consumption. It is worried about losing data which brought a bottleneck state from confliction and delay when the nodes are concentrated or CDS is reconstructed. So, after constructing most efficient CDS, It is better not to reconstruct CDS in moveless wireless ad-hoc network. In this paper, we compared and estimated the performance in each situation of a CDS construction algorithm based on Node degree and Energy level.

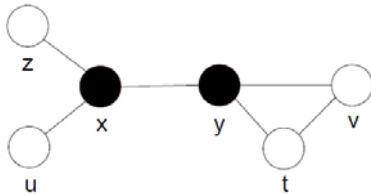
## I. 서론

### 1. 무선 Ad-hoc network와 CDS

무선 ad-hoc network 는 고정된 유선망을 구축하지 않고 무선 네트워크 인터페이스를 장착한 이동식 호스트로만 이루어져 통신되는 망이다. 따라서 유선망 구축이 어렵거나 임시로 망을 구성한 후 단기간에 사용되는 경우에 주로 사용된다. 각 단말들의 이동이 자유롭고 유선망이나 기지국(Base Station)이 필요 없기 때문에 망 구축비용이 적게 들며 빠르고 쉽게 망을 구성하거나 철회할 수 있다.[1] Ad-hoc network에서 각각의 이동 노드는 호스트로서 뿐만 아니라 라우터로 동작하게 되

며 다른 노드들에 대해 다양한 경로 설정이 가능하므로 기반구조가 없는 네트워크이라고도 한다. 무선 ad-hoc 네트워크를 구성하는 각 이동 단말은 배터리를 사용하므로 전력량을 최소화 하고 효율적으로 분배시키는 것이 중요하다. 노드는 일반적으로 송신(transmission), 수신(reception), 유휴상태(idle), 슬립(sleep) 모드의 네 가지 상태를 가질 수 있으며 각 상태에서 소모되는 전력이 유휴 상태에서 상당하다[2]. IEEE 802.11[3]에서는 노드가 자신의 송수신기의 전원을 끄고 슬립 모드에 전환할 수 있는 전력 절감 모드(power saving mode)를 정의하고 있다. 따라서 노드가 유휴 상태에 있는 시간을 최소화하고 슬립 모드에 있는 시간을 최대화함으로써 노드의 전력 소모를 감소시킬 수 있다. CDS를 구성

함으로 여러개의 가상 백본망을 구성할 수 있으며 각각의 백본망의 중심이 되는 노드를 gateway 노드로 선정하여 비 gateway 노드들의 잉여 전력 손실을 막을 수 있다. CDS에 대한 설명은 관련연구를 통하여 자세히 설명하도록 한다.



▶▶ 그림 1. Connected dominating set 의 예

## II. 관련연구

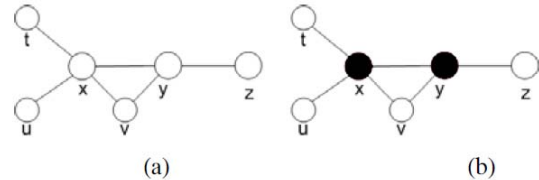
### 2. Connected Dominating Set

#### 2.1 CDS 란 무엇인가

CDS(Connected Dominating Set)는 네트워크를 구성하는 노드들 사이에서 대표되는 gateway 노드들의 집합이다. 하나의 네트워크 내부에 여러개의 가상 백본망이 존재할 때 각각의 백본 망 중심이 되는 노드가 존재하며 이 노드는 다른 gateway 로부터 받은 data를 인접한 노드에 전달하고 또 인접 노드로부터 전달받은 data를 다른 gateway 로 전달하는 기능을 수행하게 된다. CDS에 포함되는 gateway 노드는 유희상태의 인접 노드들보다 전력 소모량이 많으므로 개수가 최소화 되어야 한다. CDS 의 이론상 최소 개수는 NP-Complete 이며 에너지 잔여량이 고려되어야 하는 ad-hoc 망의 특성상 유동적으로 구성이 변경되어야 한다.[4]

CDS(connected dominating set) 기반의 라우팅 방법은 그래프 이론의 dominating 개념[5]에 기반을 둔다. 그래프에서 꼭짓점(vertex)은 노드를 의미하고 꼭짓점 사이의 연결선(edge)은 연결된 노드가 서로의 무선 전송 범위 안에 위치함을 의미한다. Dominating set은 그래프 내의 꼭짓점의 부분집합으로 이 부분 집합에 속하지 않은 다른 꼭짓점(vertex)들은 최소한 하나 이상의

부분집합에 속한 꼭짓점과 인접하고 있다. ad-hoc 라우팅은 dominating set에 속하는 노드들 간에서만 이루어진다. 그러므로 라우팅 동작을 용이하게 하기 위하여 dominating set은 연결된 형태를 취하여야만 한다. Dominating set에 속한 노드를 게이트웨이(gateway) 노드라 하고 dominating set에 속하지 않는 노드들은 비게이트웨이(non gateway) 노드라 한다. 그림 1은 connected dominating set과 나머지 노드들로 구성된 네트워크의 예를 보여준다. 노드 x와 y는 게이트웨이 노드이며 서로 연결되어 있고 나머지 노드 u, v, z, t는 비게이트웨이 노드이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 게이트웨이 노드들은 무선 ad-hoc network에서 가상 백본망의 역할을 수행한다.[2]



▶▶ 그림 2. CDS 구성 과정

#### 2.2 단순분산형 근사 알고리즘

Wu와 Li의 CDS 구성을 위한 단순 분산형 근사 알고리즘(simple distributed approximation algorithm)[6]은  $G(V, E)$  로 정의되는 그래프에서 모든 꼭짓점들(vertices)에 대하여 marking 과정을 수행함으로써 CDS를 구성하며, 그래프 G의 꼭짓점들은 T(marked)과 F(unmarked)의 두가지 중 한가지 상태를 가진다.  $m(v)$ 는 그래프 G의 꼭짓점 v의 모든 이웃 꼭짓점들을 의미하며 닫힌 이웃 구성  $N[v]$ 는 꼭짓점 v 자신을 포함한 꼭짓점 v의 모든 이웃 꼭짓점들을 의미한다. 그래프 marking 과정은 다음과 같은 세 가지로 구성된다.

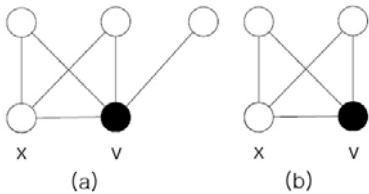
- 1) 초기 그래프 G의 모든 꼭짓점 v는 F로 표시된다.
- 2) 모든 꼭짓점 v는 자신의 열린 이웃 구성 정보  $N(v)$ 를 자신의 모든 이웃들과 교환한다.
- 3) 연결되어 있지 않은 이웃이 존재하는 모든 꼭짓점은 자신의 marker  $m(v)$ 를 T로 marking한다.

그림 2의 예에서 보듯이 첫번째 과정에서선 그래프 G의

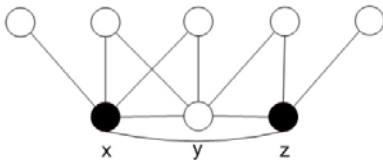
모든 꼭짓점들은 F(unmarked) 상태이고(그림 2-a) 각각의 개방 이웃 구성은  $N(t)=\{x\}$ ,  $N(u)=\{x\}$ ,  $N(x)=\{t, u, v\}$ ,  $N(v)=\{x, y\}$ ,  $N(y)=\{x, v, z\}$ ,  $N(z)=\{y\}$  이다. 두번째 과정에서 자신의 모든 이웃들과 자신의 개방 이웃 구성 정보를 교환한다. 세번째 과정에서 연결되어 있지 않은 이웃노드를 가진 노드 x와 노드 y는 T(marked)로 marking 되고 노드 x와 y는 CDS를 구성하게 된다.(그림 2-b)

2.3 ID 기반 CDS 구성법

단순분산형 근사 알고리즘을 기반으로 구성된 CDS는 여분의 dominating set 개수를 줄일 수 있으며 그 첫 번째가 ID기반 구성법이다.  $N[x] \subseteq N[v]$ ,  $\{id(x) < id(v)\}$  이면 꼭짓점 x는 자신을 F(unmarked)로 마크함으로써 CDS에서 자신을 제거한다. 만약 그림 3-b의 경우처럼  $\{N(x)=N(v)\}$ , 두 꼭짓점 중 id가 작은 꼭짓점인 x가 자신을 F(unmarked)로 마크함으로써 자신을 CDS로부터 제거한다. 그림 4의 경우처럼  $\{N(y) \subseteq N(x) \cup N(z)\}$ ,  $\{id(y) = \min[id(x), id(z)]\}$  이면 꼭짓점 y는 자신을 F(unmarked)로 마크함으로써 CDS로부터 자신을 제거한다.



▶▶ 그림 3. 규칙 1에 해당하는 CDS의 예



▶▶ 그림 4. 규칙 2에 해당하는 CDS의 예

2.4 ND / EL 기반 CDS 구성법

ND 기반 CDS 구성법은 G'에서 T(marked)상태의 꼭

짓점 v와 u가 있다고 가정한다. ID기반에서 v의 닫힌 이웃 구성 수(연결강도)  $nd(v)$ 를 비교하는 조건을 추가한다. ID 기반 구성법에서 모든 조건을 ND(연결 강도)로 대체하고 ND가 낮은 노드를 F로 마킹하고 ND가 같은 경우 ID가 낮은 노드를 제거한다. EL 기반 CDS 구성의 경우 ID 기반 구성법에서 모든 조건을 EL(에너지 잔량)로 대체하고 EL이 낮은 노드를 F로 마킹하고 EL이 같은 경우 ID가 낮은 노드를 제거한다.

2.5 EL + ND 기반 CDS 구성법

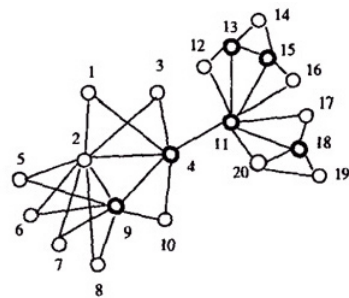
EL + ND 기반 CDS 구성법은 EL기반 구성법을 적용한 후 EL이 동일한 노드일 경우 ND가 낮은 노드를 제거하고 EL과 ND가 모두 동일한 노드의 경우 ID가 낮은 노드를 최종적으로 F로 마킹하고 CDS로부터 자신을 제거하게 된다.

Ⅲ. 실험결과

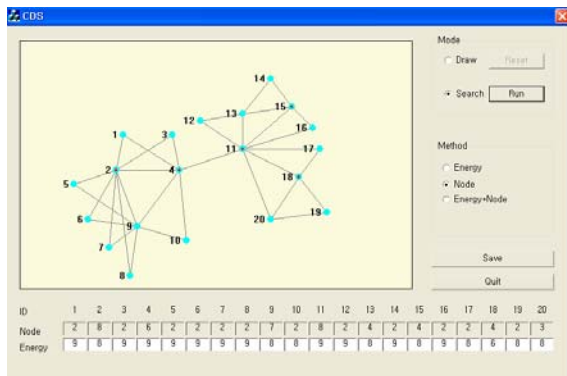
3. 시뮬레이션 결과 및 분석

3.1 시뮬레이션 프로그램

실험에 사용된 프로그램은 MFC로 코딩되어 있으며 본 논문 내용에 해당하는 알고리즘을 개별적으로 선택하여 시뮬레이션이 가능하게 제작되었다. 파란 점은 노드를 숫자는 노드 번호를 그리고 빨간 점은 게이트웨이를 표현한다.



▶▶ 그림 5. ID 기반 CDS 구성 결과



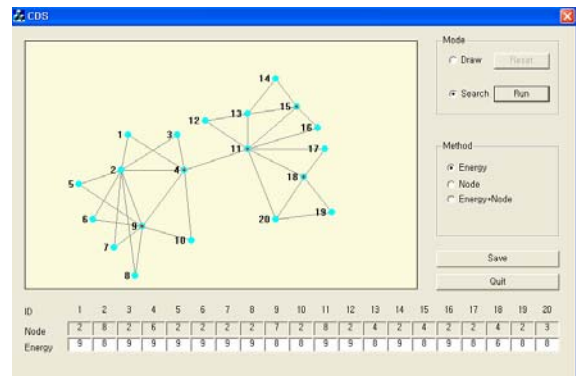
▶▶ 그림 6. ND 기반 CDS 구성 결과

노드별 연결강도가 자동으로 출력되고 각 노드의 에너지 잔여량을 직접 입력 및 수정할 수 있다. 고정된 노드의 연결에서 적용 알고리즘별 CDS 결과값을 확인할 수 있다. 단 ID 기반 구성법은 모든 알고리즘에 포함되어 단독 구성 옵션은 제외되었다.

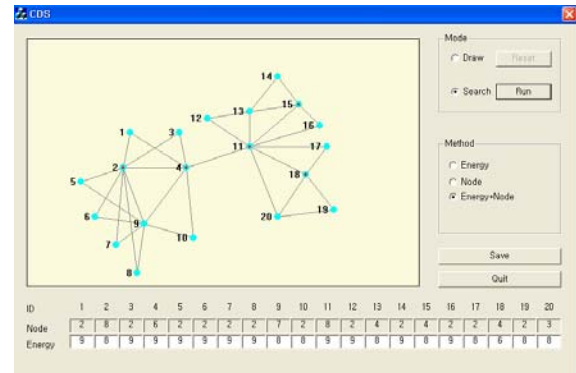
### 3.2 결과 및 분석

ID 기반 구성법의 결과는 시뮬레이터에서 제외된 관계로 그래프 이론을 적용한 그림 5에서 설명한다. 두꺼운 원은 게이트웨이를 의미한다. 노드 2의 경우 인접한 게이트웨이 노드 4, 9가 2의 부분집합을 모두 포함함으로써 제거된 것을 확인할 수 있다. 하지만 ID 기반 구성법에서 13이나 15는 제거될 수 없음을 확인할 수 있다.

ND 기반 구성법의 결과 그림 6에서 보는바와 같이 9, 13, 18이 제거되어 CDS 크기가 최소화 된 것을 확인할 수 있다. 2가 제거된 이유는 9의 부분집합 노드들을 인접한 게이트웨이인 2와 4의 부분집합에 포함되기 때문이다. ND 기반 구성법의 경우 CDS의 크기가 최소화됨에 따라 네트워크 전체의 소비전력을 가장 적게 사용할 수 있다. 하지만 망 구성을 재구성하지 않는 한 동일한 게이트웨이가 지속적으로 설정됨으로 인해 특정 게이트웨이의 에너지 고갈로 인해 네트워크 자체의 수명이 줄어들 수 있다.



▶▶ 그림 7. EL 기반 CDS 구성 결과



▶▶ 그림 8. EL + ND 기반 CDS 구성 결과

EL 기반 구성법의 결과 그림 7에서 보는바와 같이 2, 13, 18이 제거된 것을 확인할 수 있으며 ND 기반과 달리 9가 아닌 2가 제거된 이유는 2의 EL이 9와 동일한 8의 값을 가지고 있지만 EL이 동일한 경우 인접한 이웃 게이트웨이인 4와 9가 2의 부분집합 노드를 포함하고 있으므로 ID가 낮은 노드 2가 제거되기 때문이다. EL 기반 구성법은 ND 구성법보다 게이트웨이 개수는 많아져서 네트워크 전체의 소비전력은 더 클 수 있지만 수시로 CDS를 재구성할 경우 에너지 잔량이 많은 게이트웨이로 전환을 해 줌으로서 네트워크 자체의 수명을 최대화 할 수 있다.

EL + ND 기반 구성법의 결과 그림 8에서 보는바와 같이 EL이 같을 때 ID가 낮은 2가 제거되었던 것과 달리 ND가 낮은 9가 제거된 것을 확인할 수 있다. EL 구성을 기반으로 네트워크 전체 수명을 늘리는 것이 가능하면서 CDS 개수 자체를 최소화할 수 있으므로 가장 효율적인 CDS 구성이 가능하다.

#### IV. 결론

CDS를 결정하고 network을 구성하는 방법은 여러 가지가 있다. 구축 환경에 따라 node degree 기반 구성법이 유리할 수도 energy level 기반 구성법이 유리할 수도 있지만 두 가지 혹은 세 가지 이상의 구성법을 적절히 조합하게 되면 환경에 따라 최적의 결과를 얻을 수 있는 구성법의 새로운 조합이 가능하다는 것이 장점이며 그 방법과 결과를 본 논문을 통해 보여주었다. 무선 ad-hoc network에서의 이동 노드들은 한정된 전송량과 배터리 용량으로 작동되므로 효율적인 전력 관리를 통한 수명 증대가 필수적이다. 하지만 배터리 수명에만 치중한다면 구성의 복잡성을 피할 수는 없으므로 CDS의 크기를 줄이는 것 또한 간과할 수는 없다. Node degree를 우선 조합할 것인가 energy level을 우선 조합할 것인가를 결정하는 것은 상황에 따라 다르다. 결국 가장 효율적인 시스템을 구성하는 것은 설계자의 몫이라고 할 수 있겠다. 그러나 이 외의 어떤 새로운 조합법을 적용할 수 있는가에 따라 보다 효율적인 결과를 기대할 수 있으므로 앞으로의 연구 개발 과제를 통한 성능향상을 기대해 볼 수 있다.

"이 논문 또는 저서는 2008년 교육과학기술부의 지원 받아 수행된 연구임" (지역거점연구단육성사업 / 충북 BIT연구중심대학육성사업단)

#### ■ 참고 문헌 ■

- in Proceedings of the 30th Annual International Conference on Parallel Processing, 2001.
- [5] T. W. Haynes, Hedetniemi S. T., and P. J. Slater, "Fundamentals of Domination in Graphs", Marcel Dekker, Inc., 1998.
- [6] J. Wu and H. Li, "On calculating connected dominating set for efficient routing in ad hoc wireless networks", Proceedings of the Third International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, 1999.
- [1] <http://ccmc.knu.ac.kr/files/research/adhoc.html>
- [2] 조형상, 유상조, 무선 에드 혹 네트워크에서 전력, 이동성 및 주변 무선 채널 상태를 고려한 연결형 Dominating Set 구성방법, 한국 통신학회 논문지, 2005
- [3] IEEE, "Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer specifications", IEEE 802.11 Standard, 1999.
- [4] J. Wu and M. Gao, "On calculating power-aware connected dominating sets for efficient routing in ad hoc wireless networks,"