

# 무선 에드 혹 네트워크에서 전력, 이동성 및 주변 무선 채널 상태를 고려한 연결형 Dominating Set 구성 방법

조형상, 유상조

인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망연구실

e-mail : [arod76@shinbiro.com](mailto:arod76@shinbiro.com), [sjyoo@inha.ac.kr](mailto:sjyoo@inha.ac.kr)

## Power, mobility and wireless channel condition aware connected dominating set construction algorithm in the wireless ad-hoc networks

Hyoungh-Sang Cho, Sang-Jo Yoo

Graduate School of Information technology and Telecommunication, Inha University

### 요 약

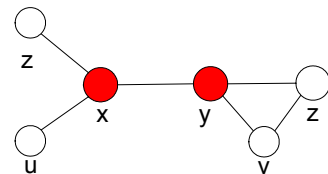
연결형 dominating set 기반의 라우팅 알고리즘에서 잦은 dominating set의 재구성은 루트 손실로 인한 전송 에러를 발생시키기 때문에, 노드의 잔여 전력량과 이동성을 고려하여 게이트웨이 노드를 선택하여야 한다. 또한 같은 지역에 노드가 집중되어 있다면 매체를 공유하는 무선 네트워크의 특성상 병목으로 인한 충돌 및 지연 등이 야기 될 가능성이 크다. 따라서 본 논문에서는 노드의 잔여 전력량 및 이동성, 이웃 노드수의 가중 가산 값에 비례하여 이웃 구성 통보 메시지 (neighbor set advertisement message)의 브로드캐스팅을 지연시키는 방법을 통해 연결형 dominating set의 재구성을 최소화 하여 신뢰성 있고 효율적인 데이터 전송을 보장하는 새로운 연결형 dominating set 구성 방법을 제안하고 다양한 상황에서의 실험을 통해 그 성능을 비교 평가하였다.

### 1. 서론

무선 에드 혹 네트워크를 구성하는 각 이동 단말은 제한된 배터리 용량으로 인하여 노드 수명에 제약을 가진다. 유희 상태에 있는 시간을 최소화 하고 슬립 모드에 있는 시간을 최대화 함으로써 에드 혹 네트워크의 수명을 증가시킬 수 있다. 연결형 dominating set를 무선 에드혹 네트워크 내의 가상 백본망 으로 사용하는 에드 혹 라우팅 방법은 연결형 dominating set에 속하는 노드들 만이 루트 탐색과정에 참여 하므로 연결형 dominating set 기반에서 on-demand 방식의 에드혹 라우팅 프로토콜을 사용할 경우 루트 탐색 공간을 연결형 dominating set에 속한 노드들로 제한함으로써 플러딩(flooding) 되는 루트 탐색 메시지의 수를 줄일 수 있다. 따라서 연결형 dominating set에 속하지 않는 다른 이동 노드들은 루트 탐색에 참여하지 않으므로 송수신할 데이터가 없을 경우 유희상태에서 슬립 모드로 전환함으로써 전력 소모를 절감할 수 있다.

Dominating set이란 그래프 내의 꼭지점의 부분집합으로 이 부분집합에 속하지 않은 다른 꼭지점(vertex)들은 최소한 하나 이상의 부분집합에 속한 꼭지점과

인접하고 있다. 에드혹 라우팅은 dominating set에 속하는 노드들로만 이루어진 전체 그래프에서 유도 된 부분 그래프 내에서 이루어진다. 그러므로 라우팅 동작을 용이하게 하기 위하여 dominating set은 연결된 형태를 취하여야만 한다. Dominating set에 속한 노드들 게이트웨이 (gateway) 노드라 하고 dominating set에 속하지 않는 노드들은 비게이트웨이 (non gateway)노드라 한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 게이트웨이 노드들은 무선 에드혹 네트워크에서 가상 백본망의 역할을 수행한다.



(그림 1) 연결형 dominating set의 예.

본 논문에서는 기본적으로 Wu와 Li가 제안한 단순 분산형 근사 알고리즘 (simple distributed approximation algorithm)[2]과 유사한 방법으로 최소 개수에 근사한 연결형 dominating set을 구성한다. 본 논문에서는 노드의 잔여 전력량과 이동성 주변 무선 채널의 상태를 고려하여 게이트웨이 노드를 선정함으로써 dominating

본 연구는 대학 IT 연구센터(인하 UWB-ITRC) 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

set의 재구성을 최소화 하여 루트 손실로 인한 전송에러를 최소화하고 특정 지역의 트래픽 집중으로 인한 문제를 해결한다.

**2. 제안된 알고리즘**

본 장에서는 제안된 CARCODS (Construction Algorithm for Reliable Connected Dominating set) 프로토콜의 파라미터와 세부 동작 과정을 설명한다.

**2.1 브로드캐스트 지연 시간 계산 방법**

식 1은 노드의 최대 전파 도달거리에서 이웃 노드들과의 거리 중 최대값을 감한 값으로 노드의 이동 임계 영역 (movement limit) 을 의미한다. 노드가 이웃 노드로부터 임계 영역 이상 더 멀어진다면 노드와 이웃 노드와의 링크는 단절되게 된다.

$$ML = R_{trans} - Max_{ndist} \quad (1)$$

식 2는 이웃 노드와의 최소 링크 생존시간(link lifetime) 값을 의미한다. 최소 링크 생존 시간 값이 크면 클수록 이웃 노드와의 링크가 끊어지는 시간이 길어질 확률이 높아진다.

$$MLT(\text{Minimum Link Lifetime}) = \frac{R_{trans} - Max_{ndist}}{V} \quad (2)$$

링크 불안정성(link instability) 은 최소 링크 생존 시간(MLT) 값의 역수로 구해진다.

$$LI(\text{Link Instability}) = \frac{1}{MLT}$$

정규화된 링크 불안정성 값인 NLI(Normalized Link Instability)는 식 3과 같다.

$$NLI(\text{Normalized Link Instability}) = \frac{Max[LI, LI_{max}]}{LI_{max}} \quad (3)$$

노드의 실제 잔여전력은  $E_{res}$  로 표시하고 노드 잔여 전력의 최대 반영치는  $E_{max}$  로 표시한다. 노드의 잔여전력은 식 4로 정규화 된다.

$$RE(\text{Residual energy}) = \frac{Max[E_{res}, E_{max}]}{E_{max}} \quad (4)$$

이웃 노드수는  $N_d$  (node degree)로 표시하고 이웃 노드수의 최대 반영치는  $N_d^{max}$  로 표시한다. 이웃 노드수는 식 5 로 정규화 된다.

$$NND(\text{Normalized Node Degree}) = \frac{Max[N_d, N_d^{max}]}{N_d^{max}} \quad (5)$$

노드 v의 브로드캐스트 지연 시간  $Bd(v)$  는 식 6과 같다.

$$Bd(v) = \{w_1 NLI + w_2 RE + w_3 NND\} \times T_d \quad (6)$$

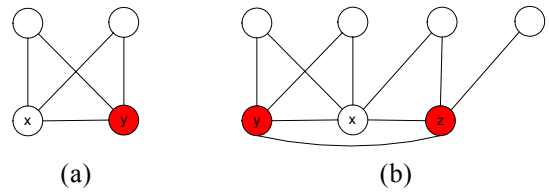
가중치  $w_1, w_2, w_3$  값의 합은 1이며,  $T_d$  는 각 브로드캐스트 주기마다 이웃 구성 통보 메시지의 브로드캐스트를 지연할 수 있는 최대 시간이다.

**2.2 제안된 CARCODS 프로토콜의 동작 과정**

노드는 자신의 이웃 노드 중에 서로 이웃하지 않는 것이 있고 아래의 규칙 1과 규칙2에 해당하지 않으면 자신을 게이트웨이 노드로 설정한다.

규칙 1: 그림 2-a에서 보는 것처럼 노드 x의 이웃 노드인 노드 y가 게이트웨이 노드이고,  $N[x] \subseteq N[y]$  일 때

규칙 2: 그림 2-b처럼 노드 x의 이웃 노드인 노드 y, z가 게이트웨이 노드이고,  $N(x) \subseteq N(y) \cup N(z)$  일 때



(그림 2) 규칙 1 또는 규칙 2를 만족하는 노드의 예.

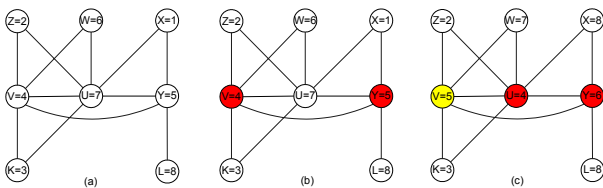
모든 노드는 각 주기마다 식 6에 의하여 브로드캐스트 지연 시간을 계산한다. 각 노드는 브로드캐스트 지연시간만큼 이웃 구성 통보 메시지의 브로드캐스트를 지연한 뒤에 자신이 게이트웨이 노드가 될 것인지를 결정하고, 이웃 구성 통보 메시지를 브로드캐스트한다. 게이트웨이 노드는 각 주기마다 새로 결정된다. 연결형 dominating set 구성 절차는 노드의 브로드캐스트 지연시간에 따라 다음과 같은 절차에 따라 진행된다.

- (1) 그림 3-a 에서 브로드캐스트 지연시간이 가장 짧은 노드 X는 모든 이웃 노드가 이웃하고 있으므로 자신을 게이트웨이 노드로 선정하지 않고 이웃 구성 통보 메시지를 브로드캐스팅한다.
- (2) 노드 Z와 K도 마찬가지로 모든 이웃 노드가 이웃하므로 자신을 게이트웨이 노드로 선정하지 않고 이웃 구성 통보 메시지를 브로드캐스팅한다.
- (3) 노드 V는 서로 이웃하지 않은 이웃 노드가 존재하고 규칙 1또는 2에 해당되지 않으므로 자신을 게이트웨이 노드로 선정하고 이웃 통보 메시지를 브로드캐스팅한다.
- (4) 노드 Y는 서로 이웃하지 않은 이웃 노드가 존재하고 규칙 1또는 규칙 2에 해당되지 않으므로 자신을 게이트웨이 노드로 선정하고 이웃 통보 메시지를 브로드캐스팅한다.
- (5) 노드 W는 모든 이웃 노드가 서로 이웃하므로 자신을 게이트웨이 노드로 선정하지 않고 이웃 통보 메시지를 브로드캐스팅한다.
- (6) 노드 U는 서로 이웃하지 않은 이웃 노드가 존재하지만 노드 V와 Y 가 게이트웨이 노드로 설정되었고  $N(U) \subseteq N(V) \cup N(Y)$  이므로 규칙 2를 만족하게 된다. 그러므로 자신을 게이트웨이 노드로

설정하지 않고 이웃 통보 메시지를 브로드캐스팅 한다.

(7) 노드 L은 이웃 노드가 하나뿐이므로 자신을 게이트웨이 노드로 설정하지 않고 이웃 통보 메시지를 브로드캐스팅 한다.

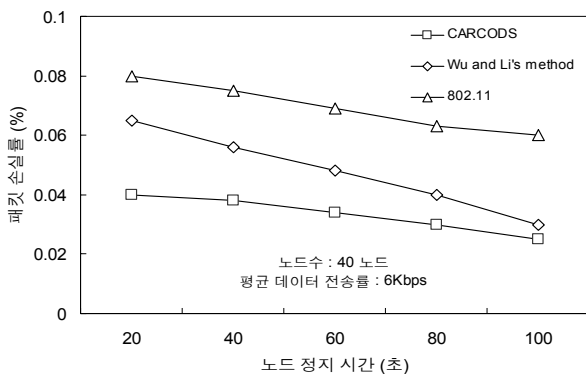
CARCODS 프로토콜은 노드의 잔여 에너지를 비롯한 게이트웨이 노드 결정에 영향을 끼치는 변수 값의 변화로 인하여 짧은 주기로 비게이트웨이 상태와 게이트웨이 상태를 반복하여 발생하는 루트 손실로 인한 데이터 에러를 방지하기 위하여 다음과 같은 메커니즘을 사용한다. 그림 3-c는 다음 주기에 구성된 연결형 dominating set의 예를 보여준다. 노드 V처럼 게이트웨이 노드에서 비게이트웨이 노드로 상태가 변경되었지만 루트 탐색 과정에 의하여 생성된 유효한 라우팅 테이블을 가지고 있는 노드는 게이트웨이 상태 변경 주기의 최소값 (Cm)의 2배수 동안에는 ad-hoc 전력 절감 모드로 동작하지 않고 항상 깨어있는 임시 게이트웨이 상태를 유지하고 이웃 통보 메시지를 통하여 이웃 노드들에게 자신이 게이트웨이 노드에서 해지 되었음을 알린다. 그러나 임시 게이트웨이 노드 동안은 라우팅 기능만 수행할 뿐 수신한 루트 탐색 메시지는 재전송하지 않고 폐기한다.



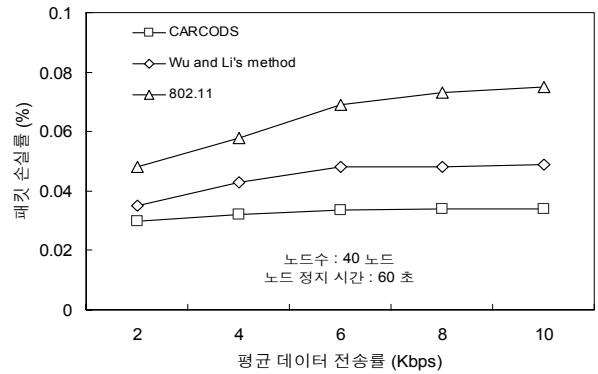
(그림 3) 연결형 dominating set 구성 과정의 예.

### 3. 모의 실험

본 논문에서 제안한 CARCODS 프로토콜의 성능을 패킷 손실률 (loss rate), 노드당 평균 전력 소모율, 그리고 네트워크 수명 (lifetime)을 비교 항목으로 하여 IEEE 802.11[1]과 Wu 와 Li의 단순 분산형 근사 알고리즘 기반[2]의 연결형 dominating set 구성 방법과 비교한다. 네트워크 계층의 프로토콜로는 on-demand 방식의 프로토콜인 AODV 프로토콜을 사용하여 루트 탐색 및 설정, 패킷 포워딩을 수행하였다.



(a)

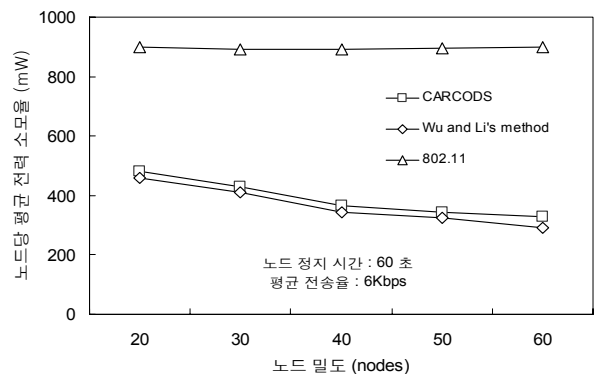


(b)

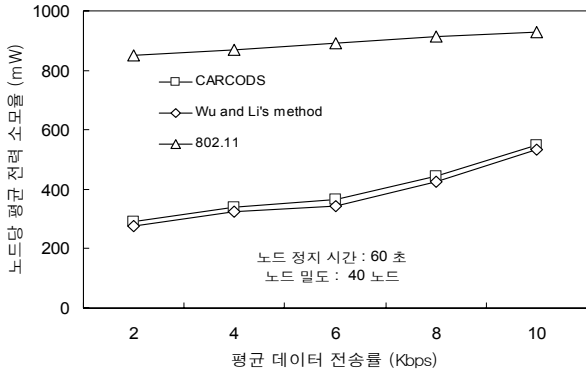
(그림 4) 패킷 손실률.

그림 4-a에서처럼 노드의 정지 시간이 짧을수록, 즉 노드의 이동성이 커질수록 802.11 전력 절감 모드와 Wu와 Li방법에 의해 구성된 연결형 dominating set의 경우 패킷 손실율이 급격히 증가한다. 그러나 CARCODS 프로토콜의 경우 패킷 손실율의 증가는 비교적 작게 나타났다. 본 논문에서 제안된 CARCODS 프로토콜에서 이동성이 높은 노드는 게이트웨이 선정에서 배제될 확률이 높기 때문에 노드의 이동성이 높아져도 패킷 손실률의 증가가 다른 방법보다 상대적으로 작음을 알 수 있다.

그림 4-b의 결과에서 볼 수 있듯이 노드의 평균 데이터 전송률이 높아질수록 패킷 손실률이 커진다. 평균 데이터 전송률이 높아질수록 노드의 전력 소모가 높아지고 이에 따라 노드의 전력 고갈에 의해 발생하는 루트 손실이 발생하기 때문이다. 그러나 CARCODS 프로토콜은 노드의 잔여 전력을 고려하여 게이트웨이를 선정하므로 특정 노드의 전력 소모가 높아지는 것을 막을 수 있다. 따라서 802.11 전력 절감 모드를 기반으로 한 방법과 Wu 와 Li의 단순 분산형 근사 알고리즘으로 구성된 연결형 dominating set 기반의 방법보다는 평균 전송률 증가에 따른 손실률의 증가가 비교적 작았다.



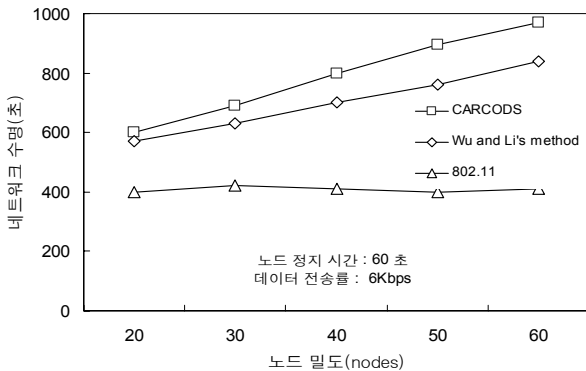
(a)



(b)  
(그림 5) 노드당 평균 전력 소모율

그림 5-a 는 노드 밀도가 높아질수록 dominating set 기반의 방법은 노드당 평균 에너지 소모율이 작아짐을 보여준다. 그러나 802.11 기반의 방법은 노드 밀도가 높아져도 노드당 평균 에너지 소모율은 큰 변화를 보이지 않는다. 노드 밀도가 높아질수록 전체 네트워크에서 게이트웨이 노드의 비율이 작아지기 때문에 전체 네트워크에서 슬립 모드에 있는 노드의 비율이 커진다. Wu 와 Li의 단순 분산형 근사 알고리즘으로 구성된 연결형 dominating set기반 방법이 CARCODS 프로토콜보다 근소하게 노드당 평균 전력 소모율이 작게 나타난다. CARCODS 프로토콜은 노드 상태를 고려하여 dominating set을 구성하므로 Wu 와 Li의 dominating set구성 방법보다는 다소 게이트웨이의 수가 늘어나기 때문이다.

또한 노드의 평균 데이터 전송률이 낮아질수록 802.11 기반과 dominating set 기반의 방법과의 노드당 평균 전력 소모율 차이는 커지고, 전송률이 높아질수록 그 차이는 줄어든다 (그림 5-b). 802.11 기반의 프로토콜은 노드가 송수신할 데이터가 없더라도 유휴상태를 유지하므로 평균 데이터 전송률이 낮아져도 노드당 평균 전력 소모율은 크게 떨어지지 않지만, dominating set 기반의 방법들은 평균 데이터 전송률이 낮아지면 게이트웨이 노드가 아닌 노드들은 모두 슬립상태로 들어가기 때문에 전력 절감 효과가 크게 나타나기 때문이다.



(그림 6) 네트워크 수명.

마지막으로 그림 6의 결과에서 알 수 있듯이 CARCODS 프로토콜이 네트워크 수명 측면에서 가장 좋은 결과를 보인다. CARCODS 프로토콜은 노드당 평균 전력 소모율은 Wu 와 Li의 방법으로 구성된 연결형 dominating set 기반 방법보다 크지만, 잔여 전력을 고려하여 게이트웨이 노드를 선정하므로 특정 노드가 게이트웨이로 장기간 선정되어 전력이 고갈되는 것을 막아주기 때문에 네트워크 수명 측면에서는 더 나은 결과를 보여준다. Dominating set 기반의 프로토콜들은 노드 밀도가 증가할수록 노드 당 평균 전력 소모율이 줄어들므로 네트워크의 수명이 길어지는 결과를 보여준다. 802.11 기반의 방법은 가장 짧은 네트워크 수명을 보여준다.

#### 4. 결론

무선 에드 혹 네트워크의 이동 노드들은 한정된 배터리로 작동되기 때문에 전력 소모의 효율성은 에드 혹 네트워크의 수명을 늘리는데 있어 중요하다. 연결형 dominating set 기반의 라우팅 프로토콜은 유휴상태에 있는 노드 수를 최소화 함으로써 전력 소모를 절감할 수 있으며, 루트 탐색 공간을 게이트웨이 노드로 한정하여 루트 탐색 메시지를 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 반면 연결형 dominating set의 잦은 재구성은 루트 손실로 인한 루트 재 탐색 및 전송 에러를 불러 일으킬 수 있고 무선 매체를 공유하는 무선 네트워크의 특성상 노드 밀도가 높을수록 혼잡으로 인한 지연 및 충돌의 가능성이 높아진다. 따라서 본 논문에서 제안한 CARCODS 프로토콜은 노드의 잔여 전력과 이동성, 이웃 노드의 수를 고려하여 연결형 dominating set 을 구성함으로써 이러한 문제를 해결하였다. 향후 과제로 본 논문에서 제안한 CARCODS 프로토콜에 특화된 네트워크 계층의 에드혹 라우팅 프로토콜의 개발이 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] IEEE, "Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer specifications," IEEE 802.11 Standard, IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee (August 1999)
- [2] J. Wu and H. Li, "On calculating connected dominating set for efficient routing in ad hoc wireless networks, Third International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pp. 7-14, 1999.
- [3] J. Wu and M. Gao, "On calculating power-aware connected dominating sets for efficient routing in ad hoc wireless networks," 30th Annual International Conference on Parallel Processing, pp. 346-354, 2001.
- [4] Chen Benjie, Jamieson Kyle, Balakrishnan H. and Morris Robert, "SPAN: An Energy-Efficient Coordination Algorithm of Topology Maintenance in Ad hoc Wireless Networks", ACM Wireless Networks Journal, Volume 8, Number 5, pp. 481-494, 2002.