

무선 멀티홉 네트워크의 경로 탐색을 위한 트래픽에 기반한 플러딩 기법

김택수⁰ 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
(tskim⁰, hjcha)⁰@cs.yonsei.ac.kr

Traffic Assisted Flooding for Route Discovery in Wireless Multi-Hop Networks

Taek-Soo Kim⁰ Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

무선 멀티 홉 네트워크는 기지국 없이 중간의 무선 단말기를 경유해서 메시지를 전송하므로 무선 단말기의 전력 상태나 이동에 따라 그 토폴로지가 자주 변한다. 따라서 목적지까지 경로를 탐색하고 유지하기 위해 효율적인 경로 탐색 기법에 대한 연구가 필요하다. 그러나 경로 탐색 과정은 경로 탐색 메시지를 네트워크 전체로 전파하는 플러딩으로 인해 네트워크의 처리율을 크게 감소시킨다. 플러딩으로 발생하는 트래픽을 억제하기 위해 제안된 선별적인 플러딩 기법 중 이웃 노드 정보에 기반 한 접근 방식은 비교적 정확하게 재전송에 필요한 노드를 선별할 수 있으나 HELLO 패킷을 주기적으로 발생시켜야 한다. 본 논문은 이웃 노드의 맥(MAC) 계층에서 발생하는 제어 메시지를 청취해서 이웃 노드의 트래픽 정보를 수집하고 이것을 이용해서 재전송에 필요한 노드를 선별하는 기법을 제안 한다

1. 서론

무선 멀티 홉 네트워크는 하나의 무선 구간으로 직접 통신이 불가능한 경우 여러 개의 노드를 경유해서 통신하는 형태의 네트워크다. 근래 주목받고 있는 이동 애드 혹 네트워크나 센서 네트워크는 모두 무선 멀티 홉 네트워크 방식을 가정하고 있다. 멀티 홉 네트워크의 라우팅 프로토콜은 위치 정보를 알려주는 장치를 사용하거나 고정적인 라우팅을 사용하는 경우가 아니라면 일반적으로 노드별로 경로 탐색 과정을 통해서 토폴로지 정보를 획득하는 선행 작업을 필요로 한다. 따라서 경로를 탐색하는 과정은 네트워크의 토폴로지를 결정하는 중요한 역할을 한다.

MANET 또는 센서네트워크를 포함한 무선 멀티 홉 네트워크에서 경로 탐색 모델이 갖는 공통적인 문제점은 경로 탐색 메시지를 전체 네트워크로 플러딩해야 한다는 점에 있다. 플러딩은 하나의 메시지를 전체 네트워크로 전파하기 위해 메시지를 수신한 노드가 그 메시지를 다시 재전송하는 과정을 반복하는 과정이다. 그러나 이런 단순 플러딩 방식은 [1]에서 지적하듯이 브로드캐스트 스톱 문제를 야기한다. 이 문제는 네트워크의 혼잡을 야기해서 네트워크 처리율을 떨어뜨리고 저전력 무선 장치의 경우 무선 장치의 절전 시간(Sleep Time)을 감소시켜 노드의 에너지 소비율을 증가시킨다.

이런 문제에 대해 선별적 플러딩 기법은 메시지를 재전송 하는 노드의 숫자를 줄여서 중복된 메시지 송신을 억제한다. 그 중 이웃 노드 정보를 이용한 선별적 플러딩 기법은 재전송할 노드를 비교적 정확하게 선별하는 장점이 있다. 이웃 노드 정보를 이용한 선별적 플러딩 기법은 재전송에 필요한 노드의 선별을 전체 네트워크의 작은 부분 집합이면서 서로 연결되어 있고 여집합에 속한 다른 노드를 연결시킬 수 있는 Minimum Connected Dominating Set(MCDS)[2]을 찾는 문제로 파악한다. [2]는 MCDS를 찾는 문제가 NP-hard 이므로 분산 환경에서 근사적으로 MCDS에 가까운 Connected Dominating Set(CDS)을 구하는 알고리즘을 제시하고 있다. 이런 근사적인 해결책은 일반적으로 전체 노드 집합에서 CDS가 아닌 노드를 제거하는 방

식으로 이루어지는데 제거 방식에 따라 Self-Pruning 과 Dominant-Pruning, 두가지로 분류 할 수 있다. Self-Pruning은 수신 노드가 스스로를 CDS에서 제외시키는 방법이다. [3]은 Self-pruning 기법을 애드 혹 네트워크의 브로드캐스트에 적용한 예이다. Dominant-Pruning은 송신 노드가 메시지를 수신할 이웃 노드 중에서 CDS에 속하는 것을 골라낸다. 이 방법은 선별될 노드들의 우선순위를 결정하는데 있어 중앙 집중적인 알고리즘을 적용할 수 있기 때문에 보다 정확하게 CDS를 구할 수 있다. 이 접근 방식에서는 Multi Point Relay(MPR)[4]가 대표적인 Dominant-Pruning 에 속한다고 할 수 있다. 그러나 이웃 노드 정보를 이용한 선별적 플러딩 기법은 2-hop 이내의 이웃 노드에 대한 정보 수집을 위해 주기적으로 HELLO 메시지를 송신해야 하고 노드 선별을 위한 계산이 복잡한 단점이 있다.

본 논문은 선별적 플러딩 과정에서 발생하는 HELLO 메시지를 최소화하기 위해 이웃 노드의 패킷에 대한 부분적인 감청을 통해 이웃 노드 정보를 수집하는 기법과 이를 이용해서 구현한 복잡하지 않은 선별적 플러딩 기법을 제안한다.

2. Traffic Assisted Flooding 기법

제안하는 선별적 플러딩 기법인 Traffic Assisted Flooding (TAF)은 노드의 맥 계층과 라우팅 계층에 걸친 3개 모듈의 조합으로 구성된다. 첫 모듈은 노드가 저전력 채널 접근 기법을 사용할 경우에도 무선 장치의 절전 시간을 감소시키지 않고 이웃 노드의 트래픽 정보를 청취하는 Overhearing Traffic Direction(OTD) 모듈이다. 두 번째 모듈은 수집된 트래픽 정보를 바탕으로 2-hop 거리의 지역적 토폴로지 정보를 분석하는 Implicit HELLO(IH) 모듈이다. 마지막, 세 번째 모듈은 경로 탐색 메시지를 받았을 경우 IH 모듈의 결과 값을 이용해서 재전송 여부를 결정하는 모듈이다.

2.1 Overhearing Traffic Direction

MANET이나 센서 네트워크에서 노드의 전원은 대부분 배터리한 경우가 많으므로 노드의 동작 시간을 늘리기 위하여 네트워크의 하부 구조인 맥 계층에서 저전력 채널 접근 방식을 실

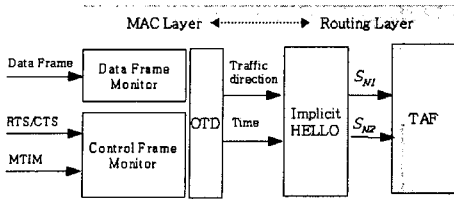


그림 1. TAF의 구조

현하고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다. 대부분 IEEE 802.11[5] 애드 후크 모드의 PSM처럼 CSMA/CA 방식을 변형한 경우가 많은데 IEEE 802.11 ATIM 메시지를 멀티 홉 네트워크에서 사용 가능하게 변형시킨 MTIM[6]이나 센서 네트워크에서 SMAC[7]등이 대표적인 예이다. 그러나 이러한 기법의 경우 [7]에서 언급한 것처럼 Overhearing Avoidance를 목적으로 하는 경우가 많다. 이런 경우 전력의 손해 없이 Overhearing을 적용하기 위해서는 트래픽 정보를 담고 있는 제어 프레임이 모든 이웃 노드로 브로드캐스트 된다는 점을 이용해야 한다. 이런 제어 프레임의 예로는 [6]의 MTIM이나 [7]의 RTS, CTS 같은 제어 프레임이 존재한다. 가령 SMAC에서 OTD를 적용할 경우의 예를 들어보면 그림 2에서 노드 s 가 노드 $n2$ 로 메시지를 전송할 때 데이터 송수신에 관여하지 않는 노드 m 은 데이터 전송 구간에서 무선 장치를 절전 상태로 전이시킨다. 노드 m 은 데이터 프레임 수신 이전에 트래픽정보가 담겨있는 RTS를 수신 받는데 이 때 m 은 s 가 자신의 이웃이고 $n2$ 는 s 의 이웃임을 알 수 있다. 이와 같이 OTD는 Overhearing Avoidance를 목적으로 하는 맥 프로토콜에서도 과도한 전력을 소비하는 수신 대기 시간의 증가 없이 이웃 정보 관리에 필요한 트래픽 정보 수집 기능을 만족시킨다.

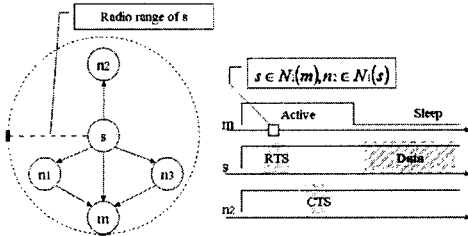


그림 2. 이웃 노드 트래픽 청취

2.2 Implicit HELLO

HELLO를 사용하지 않고 HELLO의 목적을 성취하기 위해 먼저 이웃 노드 정보에 기반 한 선별적 플러딩 기법에서 HELLO 메시지가 하는 두 가지 핵심 역할을 살펴보자.

- f1) HELLO 메시지를 수신한 노드가 자신을 이웃으로 인식하게 한다.
- f2) 송신 노드의 이웃 노드 정보 즉 수신 노드의 2-hop 거리의 이웃 노드 정보를 인식시킨다.

Implicit HELLO는 이웃 노드에서 발생하는 트래픽의 방향을 분석하는 방식으로 위의 두 가지 역할을 수행한다. 한 패킷에서 맥 계층의 발신 주소는 패킷을 청취한 노드가 송신 노드의 라디오 송신 범위 안에 있다는 것을 의미하므로 f1)의 기능을 만족시킨다. 또 청취한 패킷의 수신 주소는 송신 노드의 이웃 노드가 되므로 이 패킷을 감청한 노드와 2-hop 길이의 경로로 연결되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 일반적인 유니캐스트 패킷의 감청으로 f1, f2)의 기능을 구현할 수 있다.

그러나 Overhearing만 사용하면 트래픽이 적을 경우 이웃 정보 수집이 어렵게 된다. 이것은 일정 기간 동안 아무런 메시지를

발생시키지 않을 경우 이웃 노드에 자신의 존재를 알려주는 Explicit HELLO 메시지 기능을 통해 보완할 수 있다. Explicit HELLO 메시지는 f2)의 기능을 보다 원활하게 작동시키기 위해 유니캐스트 방식으로 전송되며 패킷의 수신 주소는 이웃 노드 중 하나를 임의로 선택해서 기록한다.

주기적인 HELLO 메시지는 대부분 일정한 유효 시간을 두고 이 기간 동안 수신한 HELLO 메시지가 없을 경우 해당 노드를 이웃 정보 테이블에서 삭제하는 방식으로 동작한다. 그러나 유효 시간 동안 이웃 노드가 이동하거나 전원이 꺼져서 무선 링크가 사라질 수 있으므로 단순히 HELLO의 정보만 이용해서 이웃 노드의 상태를 유 아니면 무로 정확하게 판단하는 것은 불가능하다. 따라서 오차를 고려한 이웃 정보 관리 기법이 필요하다. 본 논문은 이웃 노드의 관측 시점으로 부터 경로 탐색 메시지의 재전송 여부를 검사하는 시점까지 지나간 시간에 따라 이웃 노드가 있을 확률이 낮아진다고 가정하고 임의의 시점에 이웃 노드가 있거나 없을 확률이 특별히 다르지 않다고 한다고 가정한다. 이런 두 가지 가정으로 부터 본 논문은 이웃 노드가 있을 확률에 비례하는 이웃 노드 함수를 다음과 같이 정의한다.

$$F_M(s, t) = \max(0, t_o - t_c + t) \\ F_N(d, t) = \max(0, (t_o - t_c + t) \times Ar(F_M(d, t))) \quad (1)$$

식 1에서 F_{N1} 은 트래픽이 발생했을 때 송신 주소인 s 와 현재 시간인 t_c 값을 입력으로 받아서 노드 s 가 이웃할 확률에 비례하는 정수 값을 출력한다. 이 값은 현재 시점과 발건 시점의 차이를 그 최대치에서 뺀 값으로서 최소 값은 0이 된다. t_o 는 이웃 노드 관측 정보가 유효한 최대 시간을 의미하고 t_c 는 트래픽 정보를 청취한 시간을 의미한다. 한편 F_{N2} 는 이 노드와 트래픽의 수신 주소인 d 가 s 를 경유하는 2-hop 경로로 연결되어 있을 확률에 비례하는 정수 값을 반환한다. 여기서 Ar 은 $F_M(d, t_c)$ 값이 0보다 크면 1, 0이면 0을 반환한다. 즉 d 가 s 의 이웃이면서 d 가 이 노드의 이웃 노드일 경우에만 양의 정수 값을 반환하게 한다. 이렇게 s 에서 d 로 가는 트래픽으로부터 추출한 F_{N1} 과 F_{N2} 값은 경로 탐색 메시지를 수신한 노드의 이웃 노드 집합과 그것을 송신한 노드의 이웃 노드 집합의 중복성을 검사 하는데 사용된다.

2.3 재전송 노드의 결정

그림 2의 왼쪽 그림처럼 경로 탐색 메시지를 수신한 노드 m 의 이웃 노드 집합이 송신 노드 s 의 라디오 송신 범위 안에 포함될 때는 경로 탐색 메시지의 재전송을 생략할 수 있다. 식 1에서 F_{N1} 과 F_{N2} 값은 이웃 노드가 존재할 확률을 반영하고 있으므로 이 두 값을 이용하면 이런 조건을 반영하는 값을 구할 수 있다.

$$S_N(s, t) = \sum F_N(n_1(s), t) \quad (2)$$

$$S_M(m, t) = \sum F_M(n_1(m), t)$$

식(2)에서 S_{N2} 는 송신 노드가 수신 노드의 이웃 노드를 이웃으로 하는 경우 F_{N2} 값의 합을 반환한다. 즉 S_{N2} 는 송신 노드와 수신 노드 각각의 라디오 송신 범위가 교차하는 지점에 있는, 즉 교집합에 속하는 노드의 숫자를 반영한다. 여기서 s 는 경로 탐색 메시지를 송신한 노드고 m 은 수신한 노드이다. $n_1(s)$ 는 s 의 이웃 노드를 의미하며 동시에 s 를 경유하는 m 의 2-hop 거리 이웃 노드이다. 한편 S_{N1} 은 m 의 이웃 노드에 대해 F_{N1} 의 합을 반환한다. 이렇게 S_{N1} 은 수신 노드 전체 집합의 크기를 표현하고 S_{N2} 는 송신 노드의 수신 노드의 교집합의 크기를 표현한다면 S_{N2}/S_{N1} 값은 m 의 전체 집합에 대해 s 와 m 의 교집합의 비중을 표현한다는 가설을 세울 수 있다. 따라서 두개의 값을 비교하면 송신 노드와 수신 노드 사이의 중복성을 검사할 수 있다는 것이 TAF의 기본 가설이다. 수신 노드가 재전송 노드의 집합에서 제거되는 조건은 다음과 같다.

$$S_{N1} \leq S_{N2} \times C_r \quad [C_{min} \leq C_r \leq C_{max}] \quad (3)$$

식(3)에서 C_r 은 경로 탐색을 시작한 노드에서 지정하는 값으로 재전송할 노드 집합의 규모를 결정한다. 한편 재전송 노드의 숫자가 많을 때 메시지가 목적지 노드까지 도착할 확률이 높으므로 경로 탐색을 시도하는 노드는 C_r 을 경로 탐색의 실패율에 따라 적용시킨다. 여기서 초기값은 C_{min} 으로 시작하고 경로 탐색이 성공할 때마다 C_{step} 만큼 C_{max} 까지 증가시킨다. 반면 경로 탐색에 실패할 경우 다시 C_{min} 으로 초기화한다. 이것은 경로 탐색이 한 번 실패했을 때 재전송할 노드의 규모를 조금씩 늘여 갈 경우 지연 시간이 늘어나게 되는 문제점을 예방하기 위한 대책이다.

3. 성능 분석

실험은 TAF를 적용했을 경우와 단순 플러딩을 사용했을 경우 각각의 라우팅 프로토콜 메시지의 총 송신 횟수와 실제 데이터 패킷의 수신 성공률을 비교했다. 이 실험의 목적은 TAF를 적용했을 때 네트워크 품질의 저하 없이 라우팅 프로토콜에서 발생하는 메시지가 감소해서 노드의 효율적인 동작에 기여하는지 검증하기 위한 것이다.

실험을 위해 네트워크 시뮬레이터인 버전 2.28의 NS-2를 사용했으며 노드의 맥 프로토콜은 SMAC을 채택했다. SMAC의 저전력 동작에 있어서는 Duty Cycle을 10%로 설정하였고 기존의 소스 코드에서 RTS를 수신 받은 부분을 수정해 OTD의 기능을 구현했다. 라우팅 프로토콜은 기존의 AODV[8]를 변형한 단순한 Distance Vector 기반의 라우팅 프로토콜을 구현했다. C_{min} 값은 2, C_{max} 값은 10으로 설정했으며 재전송 노드의 선별은 경로 탐색 메시지(RREQ)를 수신 받았을 때 S_{N1} 과 S_{N2} 값을 계산해서 결정한다. 실험 환경은 100mX100m의 평지에서 약 20m의 라디오 송신 범위를 갖는 15~30개의 노드가 랜덤하게 분포된 상황을 설정했다. 트래픽 모델로는 센서 네트워크에서 필드에 배치된 센서들이 하나의 싱크 노드로 자신의 데이터를 주기적으로 전송하는 Push Model과 유사하게 모든 노드가 구석에 위치한 0번 노드로 평균 10초 간격으로 3분 동안 데이터를 발생시키는 상황을 설정했다.

그림 3은 분포된 노드의 수에 따라 3분 동안 송신된 라우팅 메시지의 총합을 비교하고 있다. 이 그래프는 노드 밀도의 변화에 관계없이 TAF를 사용했을 경우 라우팅 메시지의 발생이 완화되는 현상을 보여주고 있다. 실험 전체적으로는 라우팅 메시지가 평균 56.4% 감소하는 효과가 나타났다. 그림 4의 그래프는 이 실험에서 발생한 라우팅 메시지 중 HELLO 메시지와 RREQ의 발생 횟수를 평균해서 나타난 그래프이다. TAF를 적용했을 때 각각 RREQ는 62.7%, HELLO는 89.5%의 메시지가 감소했다. 특히 HELLO의 감소율이 주목할 만한데 이는 TAF에서는 노드의 트래픽이 저조할 경우에만 HELLO가 발생하기 때문이다.

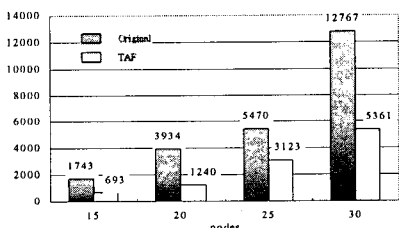


그림 3. 라우팅 메시지 발생 횟수

그림 5는 송신된 데이터의 수신 비율을 나타내고 있는데 TAF

를 사용하지 않았을 때 노드의 밀도가 비교적 낮은 경우 성공률이 높아지는 반면 TAF에서는 비교적 밀도가 높은 경우 성공률이 향상되는 결과를 나타냈다. 노드의 밀도가 높은 경우 노드간 라디오 송신 범위가 겹쳐서 이웃 노드의 교집합의 크기가 커지므로 플러딩이 억제되는 효과가 두드러지는 결과로 볼 수 있다. 노드 숫자별 실험의 각 성공률을 평균한 결과에서는 TAF의 성공률이 20.7% 높게 나타났다.

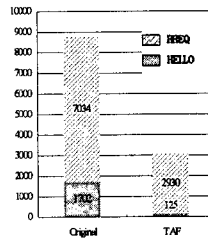


그림 4. 메시지 종류별 송신량

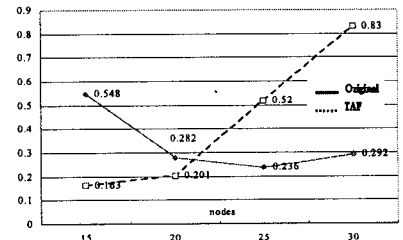


그림 5. 데이터 전송 성공률

4. 결론

본 논문은 무선 멀티 홉 네트워크에서 이웃 노드 정보 관리와 경로 탐색 과정으로 인해 발생하는 과도한 HELLO 메시지와 경로 탐색 메시지를 완화할 수 있는 기법을 제안 하였다. 먼저 OTD는 저전력 무선 채널 접근 기법이 적용된 맥 계층에서 수신 대기 시간의 증가 없이 트래픽의 방향 정보를 청취할 수 있는 방법을 제안하였고 IH는 OTD를 적용해서 2-hop 이내의 이웃 노드 정보를 수집하는 기법을 제안하였다. 마지막으로 TAF에서는 IH를 이용해서 단순하고 효율적인 선별적 플러딩을 구현할 수 있는 기법을 제안하였다. 성능 분석에서는 TAF를 기존의 라우팅에 적용했을 때 기존의 플러딩 기법에 비해 적은 비교 연산으로도 성능의 저하 없이 효과적인 경로 탐색을 할 수 있다는 사실을 증명 하였다.

5. 참고 문헌

- [1] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen and J. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," In Proc. ACM/IEEE MobiCom, Seattle, Washington, USA, pp. 151-162, August. 1999.
- [2] S. Guha and S. Khuller, "Approximation algorithms for connected dominating sets," Algorithmica, vol. 20, no. 4, pp. 374-387, Apr. 1998.
- [3] J. Wu and F. Dai, "Broadcasting in ad hoc networks based on self-pruning," in Proc. IEEE Infocom, San Francisco, USA, pp. 2240-2250, March. 2003.
- [4] A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, "Multipoint relaying: An efficient technique for flooding in mobile wireless networks," Technical Report 3898, INRIA- Rapport de recherche, 2000.
- [5] IEEE. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer specifications. ANSI/IEEE Standard 802.11, 1999 Edition, 1999.
- [6] Yu-Chee Tseng, Chih-Shun Hsu, Ten-Yueng Hsie, "Power-saving protocols for IEEE 802.11-based multi-hop ad hoc networks," The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, vol. 43, no. 3, pp 317-337, October. 2003.
- [7] Wei Ye, John Heidemann and Deborah Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 12, no. 3, pp. 493-506, June. 2004.
- [8] C. E. Perkins, Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-aodv-12.txt, 2002.