

다중 전송률을 지원하는 무선 메쉬 네트워크에서 지연시간 최소화를 위한 브로드캐스트트리 생성 알고리즘

(A Broadcast Tree Construction Algorithm for Minimizing Latency in Multi-Rate Wireless Mesh Networks)

김 남 희 [†] 박 속 영 [†] 이 상 규 ^{††}
(Nam-Hee Kim) (Sook-Young Park) (Sang-Kyu Lee)

요 약 다중 전송률을 지원하는 무선 메쉬 네트워크에서 송신 노드는 통신 채널의 적절한 전송률 선택을 통해 통신의 전송범위를 동적으로 조절할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 다중 전송률 무선 메쉬 네트워크에서의 브로드캐스트 알고리즘인 WCDS에서는 적은 지연시간을 위한 브로드캐스트 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 WCDS를 보완하여 트리 생성시 고려하는 노드가 같은 비교값을 가졌을 때 임의의 노드 선택이 아닌 소스노드로부터의 지연시간을 고려하여 전체 지연시간 최소화를 위한 브로드캐스트 알고리즘인 MinLink_WCDS 알고리즘을 제안한다. 제안하는 MinLink_WCDS 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 802.11 파라미터를 기본으로 한 다중 전송률 무선 메쉬 네트워크에서 시뮬레이션을 통해서 기존의 기법들과 비교하였다.

키워드 : 무선 메쉬 네트워크, 다중 전송률, 지연시간, 브로드캐스트 알고리즘

Abstract This paper considers the problem of minimizing network-wide broadcast latency in multi-rate wireless mesh networks where a node can dynamically adjust its link layer transmission rates to its neighbors. We propose a broadcast algorithm that complements existing broadcast construct algorithm which chooses a multicast node randomly when each candidate node has same metric. We consider the currently accumulated broadcast latency from source node to the each candidate node so far to choose the next broadcast node. The proposed broadcast algorithm for minimizing latency in a multi-rate mesh networks which exploit wireless advantage and the multi-rate nature of the network. Simulation based on current 802.11 parameters shows that proposed MinLink_WCDS algorithm improves overall latency than the previous existing broadcast algorithm.

Key words : Wireless Mesh Networks, Multi-rate, latency, broadcast algorithm

1. 서 론

무선 메쉬 네트워크의 출발은 미국 군사기술을 민간 용으로 전환한 것으로 무선 메쉬 네트워크 기능을 탑재한 무선 LAN AP(Access Point)는 전원만 연결이 되면 네트워크가 가능하므로 설치가 편리하고, 유선망과의 연결 없이 망 확장이 용이하다. 무선 메쉬 네트워크 기술은 IEEE 802.11b/a/g/n 등 다양한 물리 계층을 수용하며 QoS 및 IEEE 802.11n을 지원하기 위한 적정 MAC 계층이 물리 계층 위에 요구된다. 또 메쉬 기능을 위한 경로 설정 알고리즘, 보안, 메쉬 네트워크 측정 등의 기능이 MAC 계층 위에서 구현되며, 상위 계층에서 다른 메쉬 네트워크 간에 연동을 위한 기능과 메쉬 설

· 이 논문은 서울시 산학연 협력사업(10544)의 지원에 의하여 연구되었음

[†] 학생회원 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과
narcislike@nate.com

blue@sookmyung.ac.kr

^{††} 종신회원 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과
sanglee@sookmyung.ac.kr

논문접수 : 2007년 11월 27일

심사완료 : 2008년 6월 9일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제35권 제5호(2008.10)

정 및 관리를 하는 기능이 요구되는 것으로 구분하고 있다[1].

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks)에서 노드들은 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트로 구성된다(그림 1). 각 노드는 호스트 역할뿐 아니라 무선 전송 범위에 있지 않은 다른 노드들에게 패킷을 포워딩 해주는 라우터의 역할도 한다. 무선 메쉬 네트워크는 네트워크에 있는 단말 노드들을 메쉬 형태의 무선망으로 연결하고 유지하는 역할을 하는 메쉬 라우터들을 동적으로 구성한다. 또한, 유선 인터넷 망에 연결된 특정 메쉬 라우터를 두어 게이트웨이의 역할을 수행한다. 이러한 특징은 무선 메쉬 네트워크에서 낮은 선비용(up-front cost)과 쉬운 네트워크 유지보수, 네트워크 견고성(robustness)을 보장하며, 신뢰할 수 있는(reliable) 서비스 제공 등에 많은 이점을 준다[2].

다중 홉 무선 네트워크와 무선 애드혹 네트워크에서 네트워크 계층의 효율적인 브로드캐스트와 멀티캐스트를 위해 많은 연구가 진행되어왔다. 그 중에서도 단일 전송률 무선 네트워크를 기반으로 에너지 소비, 전송 수, 라우트 발견과 관리에서의 오버헤드가 중요한 연구 대상이었다[3-5].

Chou의 논문[6]에서는 다중 전송률을 지원하는 무선 메쉬 네트워크에서 브로드캐스트 문제를 논의하였다. 본 논문에서는 다중 전송률을 지원하는 무선 메쉬 네트워크에서 브로드캐스트 트래픽 흐름을 위한 효율적인 라우팅의 문제로써 WCDS 알고리즘을 보완하여 브로드캐스트 지연시간을 향상시킨 MinLink_WCDS를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 네트워크 모델을 기술하고, 3장에서는 관련 연구를 기술한다. 그

리고 4장에서는 본 논문에서 제안하는 MinLink_WCDS 알고리즘을 기술하고, 5장에서는 제안 모델에 대한 실험 결과를 비교 설명한다. 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구에 대해 기술한다.

2. 네트워크 모델

다중 전송률을 지원하는 무선 메쉬 네트워크에서 송신 노드는 통신채널의 적절한 전송률 선택을 통해 통신의 전송범위를 동적으로 조절할 수 있다. 그림 2는 소스노드가 브로드캐스트 하는데 있어 같은 네트워크 상에서 높은 전송률(11Mbps)과 낮은 전송률(1Mbps)을 사용하여 패킷을 전송하는 예를 보여준다.

그림 2(a)는 소스노드가 1Mbps의 낮은 전송률을 사용하여 모든 이웃 노드에게 패킷을 전송하는 것을 보여준다. 그림 2(b)는 소스노드가 11Mbps의 높은 전송률을 사용하는 경우 전송 범위가 줄어들게 되어 다른 전송률의 중계를 통해 브로드캐스트가 이루어지는 예를 보여준다.

본 논문에서 사용한 전송률에 따른 전송 범위는 표 1

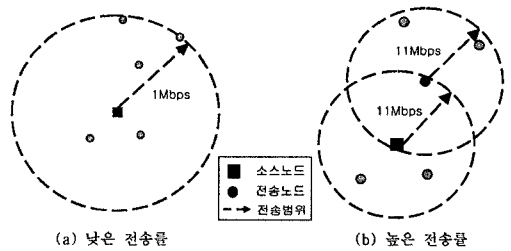


그림 2 링크 전송률에 따른 전송범위 관계

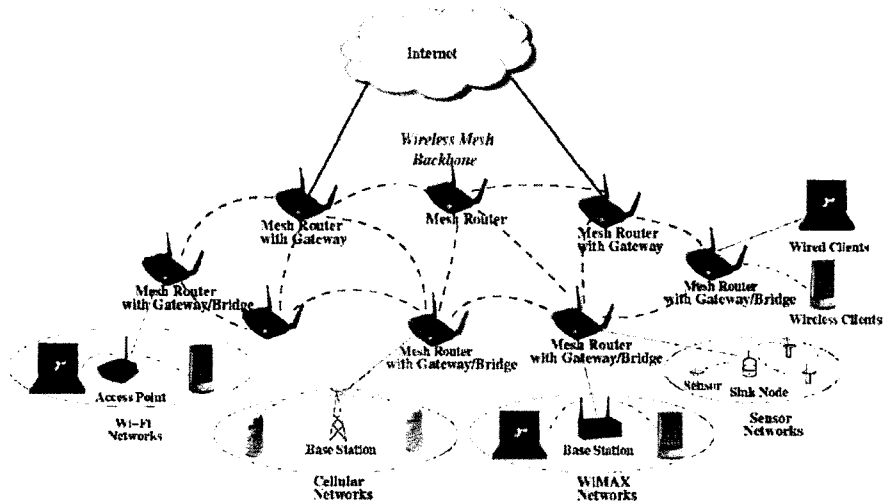


그림 1 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Networks)

표 1 퀵넷(Qualnet)을 통한 IEEE 802.11b의 전송률에 따른 최대 전송범위

전송률(Mbps)	1	2	5.5	11
전송범위(m)	483	370	351	283

에서 보이는 것과 같이 퀵넷(Qualnet) 시뮬레이터를 통한 IEEE 802.11b에서의 전송률에 따른 최대 전송범위를 사용했다. 이 때 퀵넷에서의 간섭범위는 520m이다.

표 1에 의하면 전송률이 높을수록 전송범위가 짧고, 전송률이 낮을수록 전송범위가 길어지는 특성을 볼 수 있다. 낮은 전송률은 더 먼거리의 노드까지 포함하여 전송할 수는 있지만 높은 전송률에 비해 더 큰 전송시간을 가지게 된다. 이러한 특성을 사용하여 각 노드에서의 전송률을 조절하면 브로드캐스트를 할 때 전체 지연시간을 줄이는 것이 가능 할 수 있다. 각 링크의 지연시간은 최대전송률/전송률의 상대적인 시간으로 나타낸다. 이 때 최대전송률은 사용가능한 전송률 집합에서의 최대값을 의미하며, 전송률은 브로드캐스트 트리 생성 시 각 전송노드가 선택한 전송률을 의미한다.

그림 3은 다중 전송률을 지원하는 5개의 노드로 구성된 네트워크에서, 하나의 패킷을 브로드캐스트하는 두가지 예를 보여주고 있다. 다중 전송률을 지원하는 노드의 전송에 있어서 두가지 다른 모델로, 패킷을 한번씩만 전송하도록 제한하는 경우와 패킷을 한번 이상 전송할 수 있는 경우를 고려할 수 있다. 그림 3(a)에 나타난 d는 각 노드 사이의 거리이고, t는 표 1의 거리에 따른 전송률로 전송할 때 걸리는 지연시간이다.

각 노드가 패킷을 한번씩만 전송 가능하도록 전송률을 설정하여 브로드캐스트 트리를 생성했을 때의 스케줄링 결과는 그림 3(b)와 같다. 노드 1이 노드 2와 노드

5에게 1Mbps($t=11$)의 전송률로 전송을 하고, 노드 2는 이어서 1Mbps의 전송률로 노드 3에게 전송을 하고, 노드 3은 노드 4에게 이어서 1Mbps의 전송률로 전송을 한다. 이 때 브로드캐스트에 걸리는 총 지연시간은 33 단위시간이 된다.

반면에 그림 3(c)는 각 노드가 하나의 패킷을 한번 이상 전송 가능할 때의 스케줄링 결과를 보여준다. 노드 1이 노드 2에게 11Mbps($t=1$)의 전송률로 전송을 하고 노드 2는 노드 3에게 1Mbps($t=11$)의 전송률로, 이어서 노드 1과 노드 3이 동시에 각각 노드 5와 노드 4에게 1Mbps의 전송률로 전송을 한다. 이 때 수신 노드 4와 노드 5는 서로 간섭범위($=520m$) 안에 있지 않으므로 동시에 패킷을 받을 수 있다. 이렇게 노드가 하나의 패킷을 한 번 이상 전송한다고 가정하면, 총 지연시간은 23 단위시간으로 노드가 한번씩만 전송할 때 보다 전체 브로드캐스트 지연시간을 줄일 수 있게 된다. 이러한 전송 스케줄링에 따라 하나의 패킷을 전송할 때 뿐만 아니라 다량의 패킷을 전송할 때에도 간섭범위를 고려한 전송 스케줄링에 따라 다른 전송률로 하나의 패킷을 두 번 이상 다른 이웃 노드에게 전달함으로써 전체 지연시간을 최소화하는 더 좋은 결과를 기대할 수 있다. 이와 같은 다중 전송률을 지원하는 노드의 특성을 고려한 관련 연구들을 다음 장에서 소개한다.

3. 관련 연구

본 장에서는 다중 전송률을 지원하는 무선 메시 네트워크에서의 지연시간 최소화를 위한 브로드캐스트 알고리즘으로 BIB과 WCDS 알고리즘을 소개한다.

3.1 BIB 알고리즘

BIB 알고리즘은 Prim's 알고리즘을 변형한 것으로, 그리디(greedy)한 방법으로 증가 비용(Incremental cost)을 최소화하는 링크를 현재의 트리에 추가한다[6]. 이 알고리즘은 브로드캐스트 지연시간을 최소화하는 트리를 생성하는 것에 초점을 두고 있다. 전송자로부터 모든 이웃 노드들의 통신에 사용되는 전송률은 전송자와 이웃 노드간의 링크 중에서 가장 먼 거리에 위치한 노드를 포함할 수 있는 낮은 전송률이 요구되지만, BIB은 높은 전송률의 링크를 선택한다.

BIB 알고리즘에는 무선 네트워크에서는 전송범위 안에 있는 여러 이웃들이 메시지를 동시에 수신할 수 있다는 무선 멀티캐스트 이점(Wireless Multicast Advantage)이 적용된다. 그리고 다중 전송률로 전송 시 수신자는 낮은 전송률로 1-홉으로 받거나 높은 전송률로 2-홉으로 받는다는 무선 네트워크에서의 다중전송률 특성(Multi-rate Nature of the wireless networks)도 적용된다[7].

노드 i 의 전송률을 r 이라고 했을 때 노드 i 의 전송비

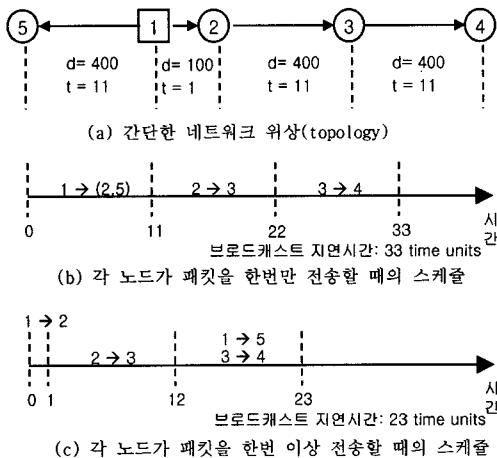


그림 3 브로드캐스트 지연시간에서 다중 전송률의 역할

용(communication cost)은 $1/r$ 로 나타낸다. 모든 노드는 초기 값으로 소스노드로부터의 전송비용을 갖고 있다. 노드가 소스 노드로부터 전송 범위 안에 들지 않으면 전송비용은 무한대(∞)값을 갖는다. 초기에 브로드캐스트 트리 노드의 집합 $V(T)$ 에는 소스 노드 s 만 포함 되어있다. 집합 $V(T)$ 에 속하지 않은 노드의 집합을 U 라 할 때, U 의 노드 중에서 가장 작은 전송 비용을 가지는 노드 x 를 선택하고 선택된 노드 x 를 트리 T 에 추가한다($V(T) = V(T) \cup x$). 이 때 노드 x 와 x 의 부모 노드 $P(x)$ 의 이웃 비용을 업데이트 하는데, 다음 두 가지 경우가 있다.

- x 의 이웃노드를 $N(x)$ 라 할 때, $N(x)$ 중에서 트리 T 에 포함되지 않은 노드들 중 노드의 현재 비용보다 x 로부터 전송 받는 비용이 더 작으면, 노드 x 에서의 전송 비용으로 이웃 노드의 비용을 업데이트 한다.
- 노드 x 의 부모 $P(x)$ 의 이웃노드 $N(P_x)$ 중에서 트리 T 에 포함되지 않은 노드를 y 라 할 때 $P(x)$ 로부터 x 까지의 비용과 $P(x)$ 에서 y 까지의 전송 비용 차이 값이 노드 y 의 현재 전송비용보다 작으면 (즉, $P(x)$ 의 전송거리를 증가시켜 y 로 패킷을 보내는 것이 유리하면) $P(x)$ 의 증가비용으로 노드 y 의 전송 비용을 업데이트한다.

3.2 WCDS(Weighted Connected Dominating Set)

WCDS[6]에서는 k 개의 전송률을 갖는 환경에서 고려

한다. 트리 집합 T 는 공집합으로 초기화 되어 있고 집합 C 는 소스노드 s 를 갖고 있다.

V 의 노드 중 C 에 포함되지 않은 각각의 노드 c 와 전송률 r 에 대한 $f(c,r)$ 값을 구한다. $f(c,r)$ 값은 노드 c 에서 전송률 r 로 전송 가능한 이웃 노드의 집합 $N(c,r)$ 중에서 C 에 포함되지 않은 노드의 개수와 전송률 r 의 곱으로 이루어진 것으로 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$f(c,r) = |N(c,r) \setminus C| \times r \quad (1)$$

반복적으로 $f(c,r)$ 값이 최대인 노드 c' 과 전송률 r' 을 찾아서 노드 c' 으로 전송 가능한 노드들을 집합 C 에 넣는다. 그리고 새로 추가된 노드들과 연결 링크들을 트리 집합 T 에 넣는다.

그림 4는 WCDS 알고리즘을 사용하여 브로드캐스트 트리를 생성하는 과정을 보여주고 있다. 그림 5(a)를 보면 노드 1에서 각각의 전송률에 대해 $f(c,r)$ 값을 구하면, 최대값이 11로 $c'=1, r'=11$ 이 선택된다. 그림 4(b)를 보면 다음 $f(c,r)$ 의 최대값은 6으로 $c'=7, r'=2$ 일 때 이다. 차례대로 $f(c,r)$ 의 최대값이 2, 1이 선택되어 노드 1, 노드 3이 차례대로 c' 에 선택된다(그림 4(c)-(d)).

4. MinLink_WCDS 알고리즘

이 장에서는 먼저 WCDS 알고리즘의 문제점을 분석하고 다중 전송률을 갖는 메시 네트워크에서 브로드캐

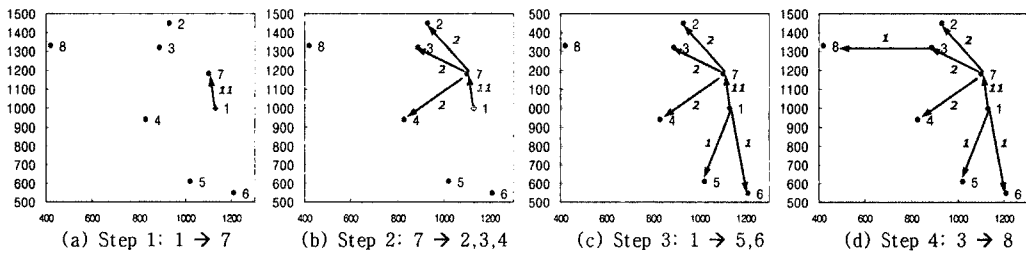


그림 4 WCDS 알고리즘으로 브로드캐스트 트리를 생성하는 예제

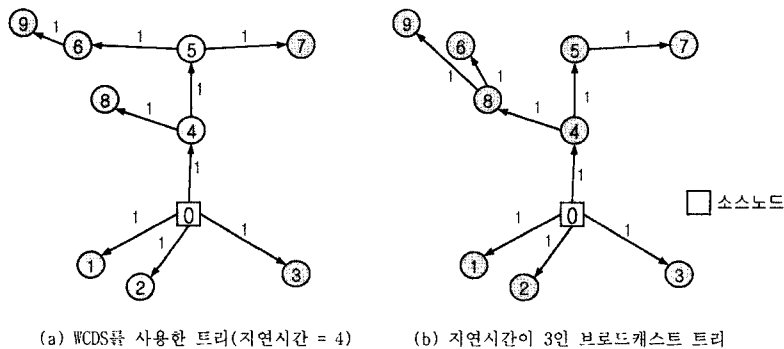


그림 5 WCDS 알고리즘을 사용한 브로드캐스트 트리

스트 패킷을 효율적으로 전송하는 MinLink_WCDs 알고리즘을 제안한다.

4.1 WCDS 알고리즘의 문제점

그림 6(a)는 10개의 노드를 가지고 있는 무선 네트워크 토폴로지에서 소스노드가 0일 때 WCDS 알고리즘을 사용하여 브로드캐스트 트리를 생성한 결과를 보여 주고 있다.

소스노드 0에서 전송률 11Mbps(지연시간=1)로 브로드캐스트 하면 노드 1, 2, 3, 4가 메시지를 수신한다. 차례로 노드 4가 노드 5와 8에게, 노드 5가 노드 6과 7에게, 노드 6이 노드 9에게 메시지를 전송하면 소스 노드 0에서부터 전체노드가 메시지를 받을 때까지 총 브로드캐스트 지연시간은 4가 된다. 하지만 그림 5(b)를 보면 그림 5(a)와 동일한 토폴로지상에서 더 작은 지연시간 3을 갖는 트리를 구성 하는 것을 볼 수 있다.

그림 5에서 WCDS 알고리즘을 사용하여 브로드캐스트 트리를 생성하는 과정을 자세히 살펴보면, 집합 $C = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 8\}$ 를 가지고 있을 때 $f(c, r)$ 값을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (\text{노드 } 5) \Rightarrow f(5, 1) &= 3 \times 1 = 3 & f(5, 2) &= 3 \times 2 = 6 \\ f(5, 5, 5) &= 3 \times 5.5 = 16.5 & f(5, 11) &= 2 \times 11 = 22 \\ (\text{노드 } 8) \Rightarrow f(8, 1) &= 3 \times 1 = 3 & f(8, 2) &= 3 \times 2 = 6 \\ f(8, 5, 5) &= 2 \times 5.5 = 11 & f(8, 11) &= 2 \times 11 = 22 \end{aligned}$$

위와 같이 노드 5와 노드 8은 전송률 11Mbps에서 22라는 동일한 $f(c, r)$ 의 최대값을 가진다. 이 경우 WCDS 알고리즘에서는 노드의 번호 순으로 전송할 노드를 선택하여 노드 5가 선택이 된다. 하지만 이 상황에서 동일한 $f(c, r)$ 값을 갖는 노드 8이 선택되었다면 그림 5(b)에서와 같이 지연시간이 3인 브로드캐스트 트리를 생성하므로 더 좋은 결과를 보이게 될 것이다. 이러한 특성을 고려하여 본 논문에서는 다중 전송률의 무선 메쉬 네트워크에서 브로드캐스트 트리를 생성할 때 기존의 연구보다 더 향상된 결과를 보이는 알고리즘을 제안하고자 한다.

4.2 MinLink_WCDs 알고리즘

트리 생성 알고리즘의 네트워크 환경은 논문 [6]에서와 같이 다음과 같은 가정을 한다.

1. 네트워크에 있는 각 노드는 하나의 송수신기를 가지고 있고, 두 개 이상의 노드가 서로 통신을 하기 위해서는 동일한 채널을 사용해야 한다.
2. 노드는 데이터 전송률을 변환하여 멀티캐스트 할 수 있다. 전송률은 전송 범위가 멀어질수록 데이터 전송률이 감소하는 함수를 갖고 있다.
3. 노드의 이웃은 최소 전송률로 데이터를 받을 수 있는 모든 노드들이다.

4. i_1, \dots, i_m 이 노드 x 의 이웃노드일 때, 노드 x 로부터 각 이웃노드에게 도달할 수 있는 최대 전송률을 각각 r_{x1}, \dots, r_{xm} 이라 하자. 이 때 노드 x 가 이웃 노드 i_1, \dots, i_m 에게 동시에 멀티캐스트 하려고 하면 $\min(r_{x1}, \dots, r_{xm})$ 또는 더 낮은 전송률로 전송할 수 있다.

5. 이진 간섭(binary interference) 모델을 사용한다. 노드 x 가 전송 받고 있을 때, x 의 반경 $\kappa_{s_{\max}}$ 안에 있는 노드 j 가 전송하고 있으면, 노드 x 는 오류가 있는 데이터를 받거나 데이터를 잃는다. 간섭의 범위 $\kappa_{s_{\max}}$ 는 상수로 가정한다.

6. 멀티캐스트에 참여하는 임의의 두 노드가 서로 통신의 간섭 범위 안에 없으면 동시에 통신이 가능하다.

7. 각 노드는 같은 패킷을 최대 m_{\max} 번 멀티캐스트 할 수 있다. 이 때 각 멀티캐스트의 대상 노드들은 다를 수 있다.

다중 전송률을 지원하는 브로드캐스트 휴리스틱 알고리즘은 다음의 2단계로 표현할 수 있다.

- 1 단계: 트리 구성 및 멀티캐스트 수신자 그룹화

이 단계에서는 브로드캐스트 트리를 만든다. 모든 노드가 전송을 하지 않고, 알고리즘에 따라 가장 효율적인 전송을 하는 노드를 선택하므로 전송 노드를 결정한다. 이때 본 논문에서 제안하는 MinLink_WCDs 알고리즘을 사용하여 트리를 구성한다. 이렇게 완성된 트리 안에서 수신노드의 입장에서 볼 때 어떤 노드로부터 얼마만큼의 전송률로 받는 것이 좋은지 방향(bottom-up) 방식으로 결정한다.

- 2 단계: 전송 스케줄링

1단계에서 완성된 전송 노드, 전송률과 그에 따라 수신하는 노드에 대해서 간섭을 고려하여 노드들이 언제 전송을 할지 정하는 전송 스케줄을 구성한다. 이 방법은 논문 [6]에서의 스케줄링 방법을 그대로 적용한다.

그림 6에 설명된 방법을 적용하여 WCDS 알고리즘을 개선하였다.

그림 6을 보면 노드 1에서 전송률 11Mbps로 전송할 때 $f(1, 11)$ 값과 노드 4에서 전송률 5.5Mbps로 전송할 때 $f(4, 5.5)$ 값은 22로 같다. 이 때 기존의 WCDS 알고리즘은 노드 번호의 순서대로 노드 1을 선택하게 된다. 본 논문에서 제안하는 MinLink_WCDs 알고리즘(표 2)에서는 $f(c, r)$ 값이 같은 경우 각 노드까지의 현재 브로드캐스트 지연시간과 예상 전송시간을 계산하여 더 작은 값인 16을 갖는 노드 4를 선택한다.

무선 메쉬 네트워크는 그래프 $G = (V, E)$ 로 나타낸다. V 는 메쉬 노드들의 집합을 나타내고 E 는 두 노드 사이의 에지(edge) 집합을 나타낸다. $(i, j) \in E$ 는 i 와 j 사이

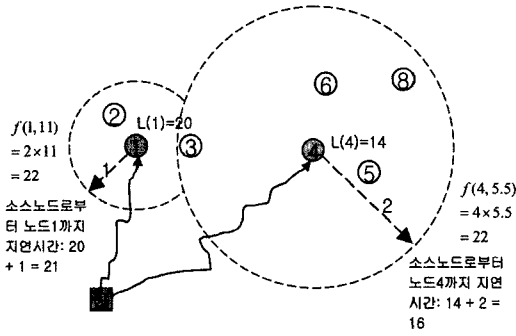


그림 6 WCDS알고리즘의 개선방안

표 2 지연시간을 고려하는 MinLink_WCDS 알고리즘

```

Input: G // G=(V,E)
      s // source node
      R={r1,...,rk} // rate(r1 < r2 < ... < rk)
C={s}, T=∅
F=∅ // F는 (c,r)쌍을 갖는 집합
for(v ∈ V) do
    L(v)=0
end for
while(V \ C = ∅) do
    for(c ∈ C) do
        for(r ∈ R) do
            f(c,r)=|N(c,r) \ C| × r
        end for
    end for
    F ← F ∪ arg{max_{c ∈ C, r ∈ R} f(c,r)}
    (ĉ, r̂) ← arg{min_{(c,r) ∈ F} (L(c) + r/r_k)}
    A ← N(ĉ, r̂) \ C
    C ← C ∪ A
    T ← T ∪ (∪_{a ∈ A} {(ĉ, a)})
    for(a ∈ A) do
        L(a) ← L(ĉ) + r̂/r_k
    end for
end while
    
```

의 링크를 나타낸다. i 와 j 의 거리를 기준으로 하여 링크 (i,j) 의 전송률은 r_{ij} 라고 한다. 노드 i 와 노드 j 가 이웃이 아니면 전송률 $r_{ij} = 0$ 이다. 예를 들어 i 가 가장 낮은 전송률과 가장 높은 전송률을 가지고 전송을 하여도 j 가 패킷을 받을 수 없다면 r_{ij} 는 0이다. 네트워크에서 사용할 수 있는 전송률의 집합 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$ ($r_1 < r_2 < \dots < r_k$)은 k 개의 전송률을 가지고 있는 집합이며, 집합 $N(x, r_i)$ 는 집합 V 에 있는 노드 x 가 r_i 의 전송률을 사용하여 통신할 수 있는 노드들의 집합을 의미한다. 초기값으로 트리 구성을 위한 집합 C 는 소스노드 s 를 가지며, 브로드캐스트 트리 집합 T 는 공집합이다. 집합 C 에 V 의 모든 노드가 들어갈 때까지 다음

과정을 반복한다.

- C 에 있는 모든 노드 c 와 R 에 있는 모든 전송률 r 에 대해 $f(c,r)$ 값을 구한 후 $f(c,r)$ 값이 최대값이 되는 노드와 전송률의 쌍을 집합 F 에 넣는다.

$$F \leftarrow F \cup \arg\{\max_{c \in C, r \in R} f(c,r)\} \quad (2)$$

- 집합 F 에 있는 c,r 쌍 중에서 소스노드로부터 노드 c 까지의 지연시간 $L(c)$ 와 전송률 r 로 보내는 지연시간 r/r_k 의 합이 최소가 되는 c,r 쌍인 (\hat{c}, \hat{r}) 을 구한다. \hat{c}, \hat{r} 을 식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$(\hat{c}, \hat{r}) \leftarrow \arg\{\min_{(c,r) \in F} (L(c) + r/r_k)\} \quad (3)$$

- \hat{c}, \hat{r} 값이 구해지면 \hat{c}, \hat{r} 의 전송으로 수신 받는 이웃 노드들을 집합 C 에 추가한다. 새로 추가된 노드 a 의 연결 링크 (\hat{c}, a) 도 브로드캐스트 트리 T 에 추가한다. 새로 추가된 노드 a 에 대해 $L(a)$ 를 $L(\hat{c}) + \hat{r}/r_k$ 로 업데이트한다.

5. 실험 결과

본 장에서는 4장에서 제안한 다중 전송률을 지원하는 무선 메시 네트워크에서 지연시간을 고려한 브로드캐스트 알고리즘의 성능 비교를 위해서 기존의 연구인 BIB, WCDS를 계산하였다. 실험은 논문 [6]과 같이 트리의 생성, 멀티캐스트 그룹핑, 스케줄링의 순서로 진행하며, 스케줄링의 결과인 지연시간을 고려한다.

알고리즘의 검증을 위해 실험에 사용된 네트워크 모델은 논문 [6]에서와 같이 1000m×1000m의 정사각형 범위 안에서 소스 노드는 정사각형의 정 가운데 위치하고, 노드의 개수는 10~90개의 임의의 노드로 구성된 작은 네트워크를 고려하였다. 각각의 경우에 대하여 BIB, WCDS, MinLink_WCDS 알고리즘을 적용하여 시스템의 전체 지연시간을 측정하였다. 각 노드의 통신범위는 브로드캐스트 트리 생성시 선택된 전송률에 따라 결정되며, 표 1에 나타난 전송률에 따른 최대 전송범위 관계를 사용하였다. 이 때 각 링크의 지연시간은 최대전송률 / 전송률의 상대적인 시간으로 나타내었고 간섭범위는 520m로 하였다.

세 가지 알고리즘에 대한 결과의 비교를 위하여 논문 [4]에서의 정규화 방법을 브로드캐스트 지연시간의 정규화에 적용하였다. 그림 7은 노드 수를 변화해 가면서 100번의 시뮬레이션을 통하여 평균을 낸 결과이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 MinLink_WCDS가 노드의 개수에 상관없이 가장 좋은 성능을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 노드의 개수가 20~30개일 때 WCDS에 비해 가장 좋은 성능 향상을 보이고, 노드의 개수가 증가할수록 성능 차이가 줄어드는 결과를 볼 수 있다.

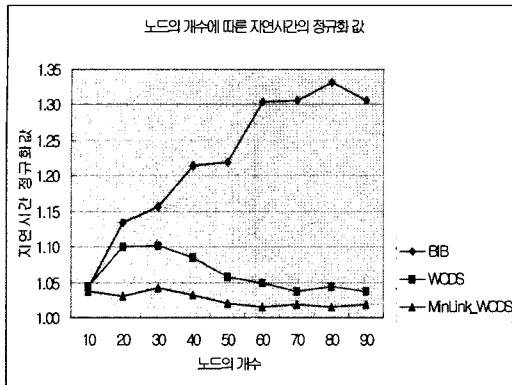


그림 7 노드의 개수에 따른 BIB, WCDS, MiniLink_WCDS 알고리즘에 따른 지연시간의 정규화

6. 결론 및 향후 연구 과제

IEEE 802.11을 기반으로 한 기술은 이미 우리 일상 생활에 스며들고 있다. 하나의 AP(Access Point)에 의한 통신 개념에서 벗어나 하나의 휴대폰이나 휴대 디바이스(PDA, 노트북 등) 각각이 통신의 주체가 되어 중계, 라우팅 역할을 함으로써 기지국이나 새로운 통신망 구성 없이 통신망 확장을 가능케 하는 메쉬 네트워크와 같은 진보된 무선 LAN 기술을 통한 다양한 확장이 계속 시도될 것이다.

메쉬기능을 위한 브로드캐스트 경로 설정 알고리즘의 기능은 네트워크 계층에서 구현되며 이 연구는 전원에 대한 제약이 없다는 메쉬의 특성상, 무선 애드혹 네트워크에서 전원에 대한 제약이 없는 경우의 경로 설정 알고리즘에 대한 연구로 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크에서의 브로드캐스트 방법에서 기존의 단일채널이나 단일전송과는 달리 무선 메쉬 네트워크에서 다중 전송을 링크 계층 멀티캐스트를 바탕으로 한 기존의 WCDS 알고리즘에서 지역적인(local) 데이터뿐 아니라 전역적인(global) 데이터를 고려하는 MinLink_WCDS 알고리즘을 제안하였다. 그리고 IEEE 802.11을 기반으로 한 시뮬레이션을 통해서 기존의 BIB이나 WCDS 알고리즘보다 브로드캐스트 지연시간을 줄이는 성능 향상을 보였다.

본 논문에서는 브로드캐스트 트리 생성 후 브로드캐스트 통신을 위한 스케줄링 방법을 WCDS 알고리즘의 스케줄링 방법을 그대로 사용하였는데, 향후 보다 효율적인 스케줄링 방법을 연구해야 한다. 또한 다중 채널에서의 네트워크 모델을 고려한 연구도 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 이민호, "Mesh Network 기술동향 및 Applications",

2004.
 [2] I. F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," Computer Networks, 2005.
 [3] C. T. Chou, A. Misra, "Low Latency Multimedia Broadcast in Multirate Wireless Meshs," SECON, Nov 2006.
 [4] J. E. Wieselthier, G. D. Nuyen and A. Ephremides, "On the construction of energy-efficient broadcast and multicast trees in wireless networks," In INFOCOM, 2000.
 [5] M. Cagalj, J. Hubaux and C. Enz, "Minimum-energy broadcast in all-wireless networks: NP-completeness and distribution issues," In MobiCom, pp.172-182, 2002.
 [6] C. T. Chou, A. Misra, J. Qudir, "Low Latency Broadcast in Multirate Wireless Mesh Networks," IEEE Journal on selected areas in Communications Vol.24, No.11, Nov 2006.
 [7] J. Cartigny, D. Simplot and I. Stojmenovic, "Localized minimum-energy broadcasting in ad-hoc networks," In INFOCOM, pp. 2210, 2003.



김 남 희
 2005년 숙명여자대학교 컴퓨터과학과(학사). 2007년 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과(석사). 관심분야는 Wireless Network, Mobile Computing



박 속 영
 2000년 숙명여자대학교 컴퓨터과학과(학사). 2003년 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과(석사). 2004년~현재 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과(박사과정) 관심분야는 Wireless Network, Mobile Computing



이 상 규
 1989년 University of Southern California 컴퓨터과학과 졸업(학사). 1991년 George Washington University 컴퓨터과학과 졸업(석사). 1995년 George Washington University 컴퓨터과학과 졸업(박사). 1995년~1996년 AC Technologies Inc. Virginia U.S.A. Software Engineer. George Washington University 컴퓨터과학과 박사후 과정. 1997년~현재 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 교수. 관심분야는 Wireless Network, Mobile Computing, Internet Technologies