

무선 메쉬 네트워크에서 인터페이스 수와 성능에 관한 연구

오치문¹ · 김화중¹ · 이구연^{1*} · 정충교¹

A Study on the Optimal Number of Interfaces in Wireless Mesh Network

Chi Moon Oh · Hwa Jong Kim · Goo Yeon Lee · Choong Kyo Jeong

ABSTRACT

In this paper, we obtain the optimal number of interfaces/channels in wireless mesh networks by simulation. The simulation study is done in static multi-channel multi-interface environment. When many nodes use a single interface and channel and contend for the channel, collisions of RTS/CTS results in network performance degradation. To avoid such degradation and reduce interferences between the adjacent nodes, use of multi-interface/channel is considered. 802.11a and 802.11b systems offer 12 and 3 orthogonal channels respectively and multi-interface/channel scheme could be applied. But rare research about the optimal number of interfaces/channels has been studied. Therefore, in this paper, simulation study for the optimal number of interfaces/channels in wireless mesh network is made.

Key words : Wireless Mesh Network, Optimal number of interfaces, Multi-channel, Multi-interface

요 약

본 논문에서는 고정된 멀티 채널 멀티 인터페이스 무선 메쉬 네트워크 환경에서의 최적의 인터페이스 수를 시뮬레이션을 통해 알아본다. 채널 경쟁기반의 무선통신망에서 하나의 인터페이스 및 채널을 사용하는 경우 임의노드 주변에 동일 채널에 경쟁하는 노드가 많으면 경쟁 및 전송 충돌로 인한 지연이 발생하며, 이는 통신망의 성능을 저하시키는 결과를 낳는다. 이에 대한 해결책으로 다수의 인터페이스를 장착하고 인터페이스마다 한 개의 채널을 사용하게 되면 채널 간섭을 피할 수 있고 또한 전송 충돌을 줄일 수 있기 때문에 통신망의 성능을 향상시킬 수 있다. 현재 802.11a 및 802.11b에서는 각각 12개와 3개의 서로 다른 직교 채널을 제공하고 있으므로 채널수에 맞는 다수의 인터페이스를 장착한다면 무선 통신망의 성능을 향상시킬 수 있게 된다. 그러나 환경에 따라 몇 개의 인터페이스/채널을 사용해야 성능이 최적이 되는지에 대한 연구는 아직 많지 않다. 인터페이스/채널 수를 늘리면 어느 정도 성능이 향상될 것으로 추론할 수 있으나, 인터페이스/채널 수를 한없이 늘리는 것은 오히려 성능 저하를 가져올 수도 있다. 이에 본 논문에서는 이러한 점에 기반하여 다양한 환경에서 성능 향상에 필요한 최적의 인터페이스/채널 수를 시뮬레이션을 통해 알아본다.

주요어 : 무선 메쉬 네트워크, 최적의 인터페이스 수, 멀티 채널, 멀티 인터페이스

1. 서 론

무선통신망에서 무선구간의 링크는 무선 환경으로 인

한 전송 대역폭의 내재적 한계가 있으며, 또한 802.11 방식의 무선 LAN(Local Area Network)과 같은 경쟁방식의 MAC(Medium Access Control)을 사용함으로써 유선 망과는 달리 무선구간의 대역폭을 확정적으로 사용할 수 없다¹⁾. 단일 인터페이스와 단일채널을 사용하는 환경의 IEEE 802.11 방식의 무선 접속방법을 사용한 메쉬 네트워크는 다중 홉 환경에서 동일한 플로우 내의 홉(hop)간 간섭뿐만 아니라 다른 인접 플로우와의 홉간 간섭으로 인하여 거쳐 가는 홉 수가 증가할수록 플로우의 종단간 수율이 크게 저하되는 문제점을 가진다. 따라서 이와 같은 동일 플로우내의 홉간 간섭 및 인접한 다른 플로우와의

* 이 논문은 강원도-엘버타주 공동연구의 결과이며, 또한 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-(C1090-0801-0036))

2008년 11월 3일 접수, 2008년 11월 30일 채택

¹⁾ 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과

주 저 자 : 오치문

교신저자 : 이구연

E-mail: leegyeon@kangwon.ac.kr

휴간 간섭을 피하고, 높은 수율을 달성하기 위해서는 무선 메시 네트워크에서의 다중 인터페이스 및 다중 채널의 사용이 고려되어진다.

현재 IEEE 802.11a 및 802.11b 에서는 서로 다른 직교 채널을 각각 최대 12개 및 3개 까지 제공하고 있으므로, 다중 홉 방식의 무선 메시 네트워크에서 노드들이 사용가능한 다수의 채널을 서로 다르게 사용하여 데이터를 전송하면 동일한 플로우내의 또는 인접 플로우와의 간섭을 최소화하므로 성능을 향상시킬 수 있다^[1].

하지만 하나의 인터페이스에 여러 개의 채널을 사용하는 경우 노드마다 되도록 겹치지 않는 채널을 사용함으로써 성능을 향상시킬 수는 있지만 송수신을 동시에 처리할 수 없다는 한계 및 채널 전환에 따른 지연때문에 성능향상에는 한계가 있다.

이에 대한 해결책으로 다수의 인터페이스 사용을 고려해 볼 수 있다. 최근 전자기술의 발전으로 무선노드는 저렴한 다수의 인터페이스를 장착하여 송수신이 동시에 가능한 전이중(Full-Duplex) 전송이 가능하게 되어 성능을 높일 수 있다^[1].

위와 같이 다수의 인터페이스와 채널을 사용하는 방식은 크게 두 가지 방식으로 나누어볼 수 있다. 첫 번째 방식은 채널의 수가 인터페이스의 수보다 많은 경우이고 두 번째 방식은 채널의 수가 인터페이스 수와 같은 경우이다. 채널의 수가 인터페이스의 수보다 많은 경우 그렇지 않은 경우에 비해 유연하게 채널을 사용할 수 있지만 통신에 사용하려는 채널을 바꾸기 위한 채널 교환 기술이 필요하게 된다. 채널 교환 기술은 채널의 활용도는 높일 수 있으나 채널 교환이 이루어질 때 지연이 발생하게 되므로 결국 네트워크의 성능을 저하시킨다^[2].

채널의 수가 인터페이스의 수와 같은 경우에는 각 인터페이스마다 하나의 채널이 할당 되므로 송수신이 동시에 가능할 뿐만 아니라 채널을 바꾸기 위한 지연도 필요하지 않으므로 반대의 경우보다 높은 성능을 보장한다. 따라서 무선 노드들이 다수의 인터페이스와 각 인터페이스마다 하나의 채널을 사용하게 된다면 성능을 크게 향상시킬 것으로 기대된다. 하지만 과연 몇 개의 인터페이스를 장착시키는 것이 최적의 성능을 보장하는지에 대한 연구는 거의 되어 있지 않다. 노드들에 장착할 인터페이스의 수는 통신망을 구축하는데 비용과 밀접한 관련이 있다. 만약 인터페이스를 특정 개수 이상 사용할 때 통신망의 성능을 오히려 저하시킨다면 인터페이스의 수를 한없이 늘리는 것은 비용만 낭비하게 되므로 무의미하다.

본 논문에서는 이점에 기반하여 인터페이스의 수가 채

널의 수와 같은 경우에 대하여, 고정된 메시 네트워크에서의 무선망 성능 향상을 위한 최적의 인터페이스의 수를 찾는데 초점을 맞춘다. 그리고 환경 변화에 따른 최적의 인터페이스 수를 시뮬레이션을 통해 알아본다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 분석하고 3장에서는 실험에서 활용한 멀티 인터페이스/채널 모형에 대해 다루며 4장에서는 채널 할당 및 라우팅에 관한 내용을 다룬다. 5장에서는 제안한 모형에서 다양한 환경에 따른 시뮬레이션 내용과 결과분석을 다루며 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

멀티채널을 사용하는 환경에서 성능 향상을 위한 채널 할당 방안이나 채널수와 성능의 관계에 대해 많은 연구가 이루어졌다. [3]에서는 ad-hoc 망에서 노드의 위치 및 통신노드를 직접 설정한 경우와 임의로 설정한 경우로 나누고 각 환경에 따른 성능을 분석 하여 각 환경에 따른 결과가 다르다는 사실과 채널을 나누어 사용하는 경우에 성능향상에 큰 영향을 미치지 못한다는 사실을 밝히고 있다. 이에 대한 확장으로 [2]에서는 인터페이스의 수와 채널의 수에 따른 성능을 분석하였는데 인터페이스당 사용하는 채널의 수에 따라서 성능이 달라진다는 것을 밝히면서 노드의 위치 및 통신 노드가 임의로 정해지는 네트워크 환경에서는 반대의 경우에 비해 성능 감소가 덜 하다는 사실을 밝히고 있다.

[4]에서는 멀티 채널 메시 네트워크에서의 라우팅과 채널 할당 및 채널 사용에 대한 성능향상에 관한 내용을 다루고 있다. 각 메시 라우터에서 사용하는 인터페이스와 채널의 수에 따른 성능을 보여주는데 하나의 인터페이스에 채널을 여러 개 사용하는 경우 성능향상에 한계가 있음을 보여주고 있다.

또한 [5]-[9]에서는 멀티 채널을 사용하는 네트워크에서의 새로운 프로토콜을 제안하였는데 인터페이스에 할당되는 채널의 수에 따라 두 가지로 나누어볼 수 있다. 첫째로 [5]-[7]에서는 각 노드들이 하나의 인터페이스를 사용하고 멀티 채널을 사용하는 환경에서 성능 향상을 위한 방안을 제시하는 연구가 이루어졌는데 노드간 통신 채널과 시간을 효율적으로 정하는 것이 주된 내용이다. 다음으로 [8],[9]에서는 단일 인터페이스에 하나의 채널만을 할당하는 경우에 대해 성능 개선을 위한 방안들을 제시하고 있는데 각 인터페이스에 효율적으로 채널을 할당하는 방안을 다루고 있다.

최근에는 하나의 인터페이스 뿐만 아니라 다수의 인터페이스를 사용하는 환경에서 채널의 수보다 적은 인터페이스를 사용하면서 채널을 효율적으로 사용하기 위한 방법들도 제안 되고 있다^{4,10-11)}.

그러나 위의 연구들은 네트워크 성능 향상을 위한 채널할당 기법 또는 채널의 효율적인 사용에 대해 다루고 있으나 성능향상을 위해 필요한 최적의 인터페이스 수에 대해서는 구체적으로 다루고 있지 않다.

3. 무선 멀티 인터페이스/채널 모형

본 연구에서는 여러 노드로 구성되는 정적인 무선 메시 네트워크 환경을 가정한다. 무선노드는 다수개의 인터페이스와 인터페이스 수와 같은 수의 채널을 사용하는 임의의 무선 메시 라우터로 구성된다.

즉, c 개의 채널을 사용하는 경우 각 노드들은 c 개의 인터페이스를 장착시키고 각 인터페이스는 특정 채널로 송신 또는 수신이 가능하다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 멀티 인터페이스 멀티 채널 시스템의 한 예이다. 그림 1은 두 개의 인터페이스를 사용하는 경우를 나타내며 메시 라우터 위의 숫자는 각 인터페이스에서 사용하고 있는 채널을 나타낸다.

채널 모델은 [2]에서 언급한 모델 중, 이용 가능한 대역폭이 고정된 환경을 모델로 사용한다. 즉 모든 채널에 의해 사용되는 전체 대역폭이 W 일 때, 각 채널은 동일하게 대역폭을 나누어 쓴다. 즉 채널의 개수를 c 라고 할 때 각 채널은 W/c 의 대역폭으로 통신을 하게 된다. 따라서

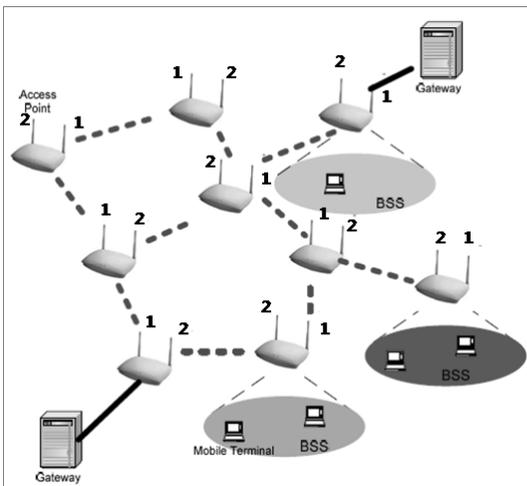


그림 1. 멀티 인터페이스/채널 시스템의 예

채널의 개수가 늘어남에 따라 각 채널들은 더 작은 대역폭을 갖게 된다. 본 연구에서는 전체 대역폭을 11Mbps로 하여 시뮬레이션을 수행한다. 본 시뮬레이션 연구에서 다른 크기의 전체 대역폭을 이용하는 것도 가능하나, 결과는 크게 다르지 않을 것으로 판단된다.

4. 채널할당 및 라우팅

최적의 채널할당 문제는 NP-hard 문제로 잘 알려져 있다. 또한 CSMA/CA환경에서 모든 노드간에 통신 플로우에 대해 서로 다른 채널을 할당하는 것은 불가능하다고 연구되어졌다⁵⁾. 또한 효율적인 채널할당에 대해서는 많은 방법들이 연구 되었지만 이러한 방법들을 지원하기 위해서는 추가적인 연산이 필요하고 할당 과정은 매우 복잡해진다.

본 연구에서는 최적의 인터페이스 수를 찾는 것에 초점을 맞추었기 때문에 채널할당에 특별한 기법을 사용하지 않고 랜덤으로 채널할당을 한다. c 개의 인터페이스를 사용하는 경우에 가용 채널을 c 개 할당하고 라우팅 경로가 정해질 때 임의로 c 개의 채널 중 하나의 채널을 노드 간 통신 채널로 할당한다.

채널할당 및 라우팅은 통신 시작 전에 정적으로 이루어진다. 따라서 통신 중에는 경로 설정 시간 및 채널할당 시간이 배제된다. 본 논문의 시뮬레이션 연구에서의 채널 할당 및 라우팅 과정은 아래와 같다.

- (1) 출발지 노드와 목적지 노드를 랜덤으로 선택한다.
- (2) 출발지 노드에서 목적지 노드까지 가로, 세로 방향으로 번갈아가며 경로를 구성한다. 만약 목적지까지 가는 중에 가로 또는 세로 방향이 끝에 도달한 경우에는 마지막 선택한 방향으로 목적지까지 경로를 구성한다.
- (3) 중계 노드가 정해질 때마다 선택된 노드에 랜덤으로 채널을 할당한다.
위 과정을 목적지에 도달할 때까지 반복한다.

위의 과정을 실험에서 사용할 플로우 수만큼 반복한다. 그림 2는 위의 과정이 적용된 하나의 예를 보여주고 있다. 화살표 옆에 숫자는 채널의 번호를 나타낸다.

그림 2의 예에서 플로우는 출발지인 A부터 시작한다. 가로, 세로 순서로 경로가 선택 되므로 다음 노드로 B가 선택되었다. 중계노드 B가 선택된 이후 A와 B가 통신할 채널을 할당한다. 총 c 개의 채널이 사용된다면 A와 B사

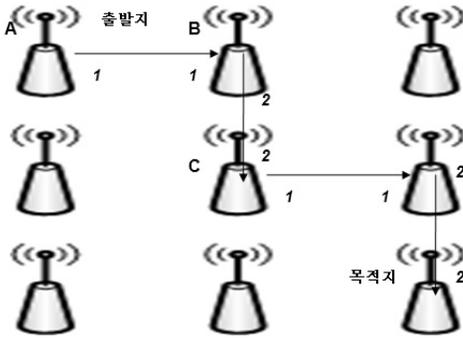


그림 2. 채널할당 및 라우팅의 예

이에는 1부터 c까지의 채널 중 하나가 선택된다. 그림에서는 채널 1이 선택되었다. A에서 중계 노드 선택과 채널 할당이 이루어졌으므로 이제 B에서도 다음 중계노드를 결정하게 된다. A에서 가로 방향의 노드가 선택 되었으므로 B에서는 세로 방향의 노드 C를 선택하게 된다. B와 C 사이에서도 역시 임의로 채널이 할당되고 다음은 C에서의 설정이 이루어진다. 위의 과정을 목적지에 도달할 때까지 반복하게 된다.

5. 시뮬레이션

본 연구에서 사용한 시뮬레이션 툴은 ns2-2.30이며 다수 인터페이스와 채널사용을 지원하기 위한 일부 수정을 하였다⁶⁾. 각 노드는 1개부터 7개까지의 인터페이스 카드 및 또한 같은 수의 간섭 없는 채널을 사용한다. 무선 링크의 전체 전송률은 11Mbps로 가정하였으며, 개별 채널의 전송률은 전체 전송률을 채널수로 나눈 값을 갖게 된다. 즉 채널의 수가 c개 일 때 채널 하나의 전송률은 11/c Mbps가 된다.

무선 노드들은 정사각형 형태로 일정 간격을 가지고 배치된다고 가정하였으며, 노드간의 거리 및 전송 범위는 모두 250m로 설정 하였다. 즉 n×n 개의 노드가 있다고 가정할 경우, 가로 세로 각각 250m×(n-1)의 영역에 n×n 개의 무선 노드가 배치된다. 트래픽 발생은 n×n개의 CBR (Constant Bit Rate) 플로우를 생성하였으며, 이때 CBR의 패킷크기는 1000바이트로 가정하였다. 플로우는 임의 노드가 발생시키고 다른 임의의 노드를 목적 노드로 선정하였다. 시뮬레이션 결과로서 네트워크의 처리율을 구하였으며, 처리율은 전체 망의 처리율로서 모든 수신 노드들이 받은 초당 평균 데이터의 양으로 정의하였다.

본 연구에서는 기본 실험으로서 5×5 크기의 망에서 시

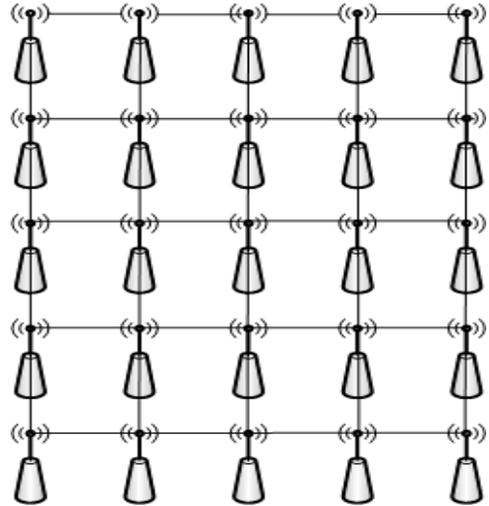


그림 3. 5×5 크기의 망구조

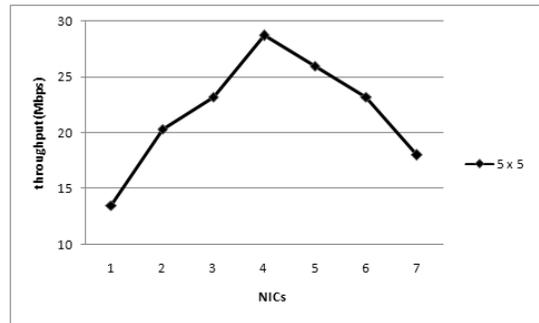


그림 4. 5×5 크기의 망구조에서 인터페이스 수와 처리율과의 관계(플로우 수=25, 패킷발생간격=0.001초)

뮬레이션을 수행하였고, 이어 환경의 변화에 따른 최적의 인터페이스 수를 찾아내기 위해 망의 크기, 패킷 발생간격, 플로우 수를 다르게 하면서 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 각 시뮬레이션은 각각 100회 반복한 후 각 결과 값을 평균한 값으로 결과를 나타내었다.

5.1 기본실험

본 연구에서 기본 실험으로서 5×5의 고정된 메쉬 네트워크 환경을 가정하였다. 그림 3은 실험에서 사용된 5×5 크기의 망구조를 나타내며 각 노드들은 메쉬 라우터를 나타낸다.

그림 4는 5×5 크기의 고정된 메쉬 네트워크 환경에서 25개의 CBR 플로우를 생성하고 패킷발생간격을 0.001초로 설정한 후 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이다.

그림 4에서 나타나듯이 5×5 크기의 네트워크 환경에

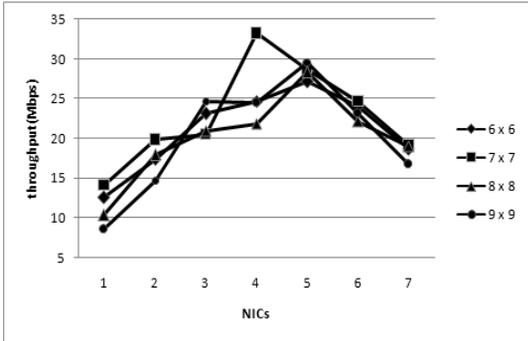


그림 5. 망의 크기에 따른 인터페이스수와 처리율과의 관계 (망크기=N×N(6≤N≤9), 플로우 수=N×N, 패킷 발생간격=0.001초)

서의 실험 결과, 인터페이스의 수가 4개까지 증가할 때 처리율도 따라 증가하지만 그 이후에는 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 인터페이스를 4개까지 늘리는 것은 성능 향상에 도움이 되지만 그 이상 늘리는 것은 무의미하다는 것을 나타낸다.

5.2 망의 크기에 따른 실험

망의 크기가 커지게 되면 출발지 노드와 목적지 노드의 거리가 상대적으로 멀어진다고 볼 수 있다. 그림 5는 망의 크기를 6×6 부터 9×9 까지 늘려가며 실험한 결과를 나타낸다.

시뮬레이션 실험에서, 망 크기가 N×N(6≤N≤9)의 경우 N×N개의 CBR 플로우를 생성하였고 패킷발생간격을 0.001초로 하였다.

그림 5에서 나타나듯이 네트워크 규모에 따른 실험에서는 인터페이스의 수가 4개 또는 5개일 때 가장 좋은 처리율을 보였다. 이것은 네트워크의 규모에 따라서 최적의 인터페이스의 수가 4개 또는 5개로 가변적일 수는 있으나 그 수가 5개 보다 많을 때는 의미가 없다는 것을 나타낸다.

5.3 패킷 발생간격에 따른 실험

패킷 발생 간격을 작게 하면 할수록 트래픽이 더 많이 발생하게 되고, 네트워크는 더욱 혼잡한 환경이 된다. 본 실험에서는 5×5 네트워크 구조에서 패킷 발생 간격을 0.1, 0.01, 0.001 초 간격으로 바꾸어가며 결과를 확인해 보았다. 그림 6은 패킷 발생 간격을 다르게 하면서 실험한 결과를 나타낸다.

패킷 발생 간격을 달리하는 경우에도 이전 실험과 같은 결과가 도출되었다. 패킷 발생간격이 0.1초, 0.01초 인

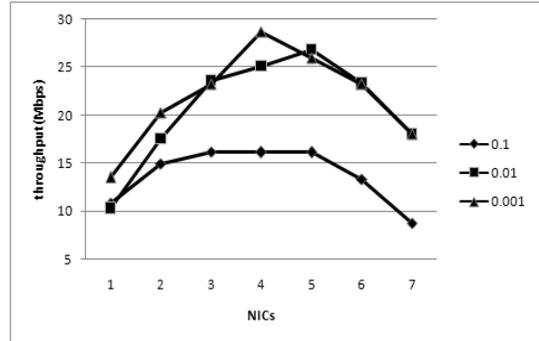


그림 6. 패킷발생간격에 따른 인터페이스수와 처리율과의 관계 (망크기=5x5, 플로우 수=25, 패킷발생간격=0.001초, 0.01초, 0.1초)

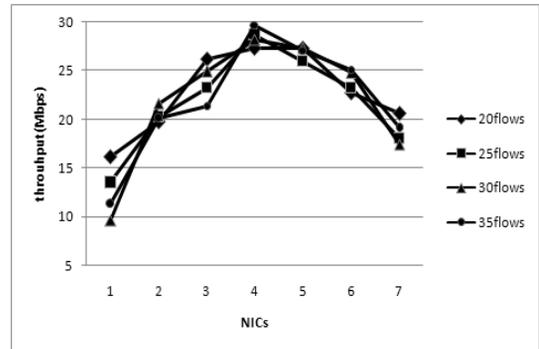


그림 7. 플로우 수에 따른 인터페이스 수와 처리율과의 관계(망크기=5x5, 패킷발생간격=0.001초)

경우에는 5개를 기준으로 처리율이 감소하기 시작했고 0.001초인 경우에는 4개를 기준으로 감소하기 시작했다. 패킷 발생간격 변화에 대해서도 5개를 넘어서는 수의 인터페이스는 의미가 없다는 결론을 얻을 수 있다.

5.4 플로우 수에 따른 실험

플로우 수가 많아지는 것은 전체 네트워크의 혼잡도를 높이는 것이다. 혼잡한 환경일수록 간섭을 피하는 것과 송수신의 동시 처리필요성이 요구되기 때문에 인터페이스의 수가 많아질수록 성능향상을 기대할 수 있다. 본 실험에서는 플로우 수를 20개부터 35개 까지 증가시키면서 최적의 인터페이스 수를 알아보았다. 그림 7은 플로우 수를 다르게 하면서 구하여진 실험 결과를 나타낸다.

그림 7에서 우리는 플로우 수가 변화하는 경우에도 최대의 처리율은 인터페이스가 4개일 때 얻어진다는 것을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서 우리는 격자형의 고정된 무선 메쉬 네트워크 환경에서 최적의 인터페이스의 수를 시뮬레이션 연구를 통하여 알아보았다. 시뮬레이션에서, 채널 할당 방법으로 혼잡을 피하기 위한 특별한 방법을 사용하지 않는 대신 랜덤으로 할당하는 방법을 선택하였는데 이것은 최적의 인터페이스 개수를 찾는 데 초점을 맞추었기 때문이다. 또한 인터페이스의 개수에 영향을 줄 수 있는 환경으로 네트워크 규모, 패킷 발생 간격, 플로우 수를 고려하였고 각 경우에 대하여 시뮬레이션으로 결과를 확인하였다.

실험결과 메쉬 라우터가 격자형 모형에 정적으로 배치된 환경에서는 최적의 인터페이스의 수는 시뮬레이션 환경 변화에 상관없이 4개 또는 5개인 경우 최적인 것을 확인하였고 6개 이상 사용하는 것은 의미가 없다는 것을 확인하였다. 이것은 인터페이스를 4개 또는 5개로 사용하는 경우 대역폭을 나누어 사용하더라도 다수의 인터페이스와 채널을 사용함으로써 네트워크의 성능을 최대한 높일 수 있다는 것을 나타낸다.

향후에는 격자형 외에 다양한 형태의 네트워크 모형과 노드들이 동적으로 배치되는 환경에서의 연구를 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- 고성원, 강민수, 강남희, 김영한, “다수 라디오와 채널을 갖는 무선통신망에서 채널경쟁을 고려한 라우팅”, 전자공학회 논문지, 제 44권, TC편 제 5호, pp. 464-472, 2007. 5.
- P. Kyasanur and N. Vaidya, “Capacity of Multi-Channel Wireless Networks: Impact of Number of Channels and Interfaces”, ACM Mobicom, August 2005.
- Piyush Gupta and P. R. Kumar, “The Capacity of Wireless Networks,” IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 46, No. 2, pp. 388-404, March 2000.
- A. Raniwala and T. Chiu, “Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11-Based Multi-Channel Wireless Mesh Networks”, in Infocom, 2005.
- Jungmin So and Nitin H. Vaidya, “Multi-channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals using a Single Transceiver,” in Mobihoc, 2004.
- P. Bahl, R. Chandra, and J. Dunagan, “SSCH: Slotted Seeded Channel Hopping for Capacity Improvement in IEEE 802.11 Ad-Hoc Wireless Networks,” in ACM Mobicom, 2004.
- Jungmin So and Nitin H. Vaidya, “Routing and Channel Assignment in Multi-Channel Multi-Hop Wireless Networks with Single-NIC Devices”, Tech. Rep., University of Illinois at Urbana-Champaign, December 2004.
- A. Nasipuri, J. Zhuang, and S.R. Das, “A Multichannel CSMA MAC Protocol for Multihop Wireless Networks,” in WCNC, pp. 1402-1406, September 1999.
- Richard Draves, Jitendra Padhye, and Brian Zill, “Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks,” in ACM Mobicom, 2004.
- Pradeep Kyasanur and Nitin H. Vaidya, “Routing and Interface Assignment in Multi-Channel Multi-Interface Wireless Networks”, in WCNC, 2005.
- Pradeep Kyasanur and Nitin H. Vaidya, “Routing in Multi-Channel Multi-Interface Ad Hoc Wireless Networks”, Tech. Rep., University of Illinois at Urbana-Champaign, December 2004.
- S. Roy, A. Das, R. Vijayakumar, H.M.H. Alazemi, E. Alotaibi, “Capacity scaling with multiple radios and multiple channels in wireless mesh networks”, The First IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh), 2005.
- Murali Kodialam and Thyaga Nandagopal, “On the Capacity Region of Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Networks”, WiMesh, 2005.
- Multi-channel Multi-interface Simulation in NS2, <http://www.cse.msu.edu/%7Ewangbo1/ns2/nshowto8.html>, Online Link.
- 김동원, 최재인, 이성협, 조유제, “무선 메쉬 네트워크를 위한 홉 기반 분산형 다중 채널 할당 방안”, 전자공학회 논문지, 제 44권, TC편 제 5호, pp. 458-463, 2007. 5.
- Jing Zhu and Sumit Roy, “802.11 Mesh Networks with Two-Radio Access Points”, ICC, 2005.
- Yan Zhang, Jijun Luo, Honglin Hu, “Wireless Mesh Networking”, Auerbach Publications, 2007.
- 배성수, 한중수, “네트워크 시뮬레이터: NS2 기초와 활용”, 세화, 2006.



오 치 문 (57gate@kangwon.ac.kr)

2008 강원대학교 컴퓨터학부 컴퓨터정보통신공학 전공 학사
2008~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

관심분야 : ad-hoc network, wireless mesh network, 통신망성능분석



김 화 중 (hjkim@kangwon.ac.kr)

1984 KAIST 전기및전자공학과 석사
1988 KAIST 전기및전자공학과 박사
1988~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 데이터 통신, 컴퓨터네트워크, 네트워크 프로그래밍



이 구 연 (leegyeon@kangwon.ac.kr)

1988 KAIST 전기및전자공학과 석사
1993 KAIST 전기및전자공학과 박사
1993~1996 디지콤정보통신연구소
1996 삼성전자
1997~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 이동통신, 네트워크보안, 초고속통신망, ad-hoc 네트워크



정 충 교 (ckjeong@kangwon.ac.kr)

1984 KAIST 전기및전자공학과 석사
1989 KAIST 전기및전자공학과 박사
1989~1995 LG정보통신(주) 책임연구원
1995~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 인터넷, 통신프로토콜, 통신망성능분석