

무선 메쉬 네트워크 환경에서 트래픽 가중치에 따른 분산 채널 할당 알고리즘에 관한 연구*

김재완** · 윤준용** · 양창모** · 이승범*** · 엄두섭****

A Study of Distributed Channel Assignment Algorithm Based on Traffic-Awareness in the Wireless Mesh Network*

Jae-Wan Kim** · Jun-Yong Yoon** · Chang-Mo Yang**
Seung-Beom Lee*** · Doo-Seop Eom****

■ Abstract ■

Recently, Wireless Mesh Network (WMN) technology recently has been used in various industries. Especially, a number of multi-channel assignment schemes have been presented to improve the throughput of IEEE 802.11-based multi-hop WMN. However, performance of the conventional multi-channel assignment schemes is not enough to satisfy the industry requirements. We, thus, should study more about the multi-channel assignment scheme in order to enhance the performance. This paper proposes a novel channel assignment scheme that employs Multi-channel and Multi-Interface in the WMN. The proposed scheme can obtain the traffic information of the network and the efficient channel assignment result without any message exchanges. We verify the efficiency of the proposed scheme through the mathematical modeling and the real-world experiments. The results show that the proposed scheme improves the throughput of the network compared with the conventional schemes.

Keyword : WMN(Wireless Mesh Network), Multi-hop, Channel Assignment, Multi-channel, Multi-interface

논문투고일 : 2012년 04월 27일 논문수정완료일 : 2012년 06월 12일 논문게재확정일 : 2012년 06월 18일
* 본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업 연구과제 “첨단센서 기반의 대형 건설현장 실시간 시공관리기술 개발” (09건설혁신-E05) 결과의 일부임.
** 고려대학교 전자컴퓨터공학과
*** 경인교육대학교 컴퓨터교육학과 강사
**** 고려대학교 전자컴퓨터공학과 교수

1. 서 론

IT와 다른 산업과의 융합기술[1]은 다른 분야의 산업간 시너지 효과를 창출할 뿐만 아니라 생산성 및 효율성 증가를 바탕으로 국가 경쟁력 강화에 기여할 것으로 전망되고 있다. 이에 선진국들은 IT 융합 기술의 글로벌 주도를 위해 연구 개발에 투자와 역량을 집중하고 있다. 국내에서도 IT건축, IT조선, IT국방, IT건설, IT의료 등과 같은 융합 기술을 핵심 융합 분야로 지정하여 활발히 연구되고 있다[2, 3].

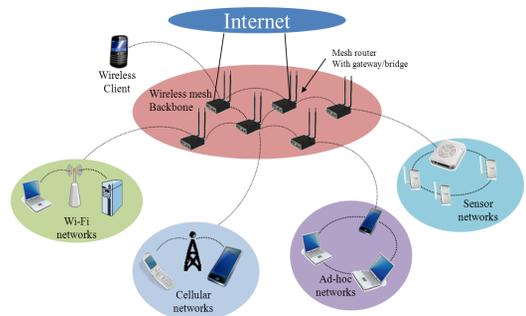
무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network)기술[4]은 IT를 다른 산업 분야에 적용시키기 위한 네트워크 인프라로서 그동안 많은 설치 및 유지 비용이 들었던 유선 네트워크의 의존도를 줄이고 저렴하게 인터넷 네트워크를 제공할 수 있는 유망한 기술로 각광받고 있다. 무선 메쉬 네트워크는 네트워크 상의 각 노드가 독립적인 라우터로서 기능을 할 수 있으며 각 노드들은 일반적으로 서로 그물처럼 연결되어 있어 한 노드의 연결이 끊어지더라도 다른 노드와의 연결을 통하여 통신을 할 수 있다. 무선 메쉬 네트워크는 유동적으로 망의 구성 및 설정을 수행하고 네트워크 망을 유지하기 때문에 저렴한 설치비용, 간편한 네트워크 유지 보수, 안정적인 서비스 범위와 같은 많은 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크의 효과적인 네트워크 인프라 제공을 위해 무선 메쉬 네트워크의 성능 향상을 목표로 한다. 그 중 최근 무선 메쉬 네트워크의 성능향상에 이슈화 되고 있는 다중 채널, 다중 인터페이스를 이용한 무선 메쉬 네트워크의 연구에 중점을 둔다. 본 논문은 다양한 네트워크 형태와 사이즈에 관계없이 무선 메쉬 네트워크의 다중채널, 다중 인터페이스에 적용 가능한 분산형(Distributed)의 단말 지향적(Peer-oriented) 채널 할당 알고리즘 제안한다. 제안된 알고리즘은 기존 중앙집중형(Centralized) 방식과 트래픽 인식(Traffic-aware) 방식을 사용했을 때 가지는 트래

픽 상황에 따라 채널 할당을 함으로써 네트워크 성능을 향상 시키는 장점을 그대로 사용할 수 있지만 제안된 알고리즘은 기존의 방법에서 발생되었던 컨트롤 메시지 전달로 인한 오버헤드가 발생하는 문제점을 최소화 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

2. 연구 배경

IEEE 802.11은 지역 무선 네트워크를 위해 폭넓게 사용되는 기술이다. IEEE 802.11은 겹치지 않는 채널을 제공한다. IEEE 802.11b/g에서는 3개의 겹치지 않는 채널과, IEEE802.11a에서는 12개의 겹치지 않는 채널을 제공한다. 다 수의 채널은 네트워크 인프라에서 주변의 AP(Access Point)들 사이의 간섭이 가장 작은 다른 채널을 사용하는 것에 이용된다[4]. 하지만, 무선 메쉬 네트워크와 같은 멀티 홉 무선 네트워크 환경에서는 모든 노드들의 연결성을 보장하기 위해 모든 노드가 동일한 한 개의 채널을 사용하게 된다. 이러한 이유로 단일 인터페이스 무선 메쉬 네트워크에서는 멀티채널을 사용할 수 없게 되고 충분한 여분의 채널이 있음에도 불구하고 채널을 사용하지 못하게 되어 채널 낭비가 된다.



[그림 1] 무선 메쉬 네트워크 구성도

2.1 단일 채널, 단일 인터페이스

기존의 무선 메쉬 네트워크의 경우 오직 하나의

인터페이스 카드를 장착해서 사용할 경우 하나의 공통 채널을 사용하여 노드들 간의 통신이 이루어진다. 기존의 연구된 결과에 따르면 네트워크의 크기가 커지게 되면 상당한 수용용량(Capacity)이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 기존 연구에서 n 개의 노드가 무작위로 배치되어 동작될 때 단일 채널 네트워크 경우 $\Theta(W/\sqrt{(n \log f(n))})$ 의 처리량(Throughput)을 얻을 수 있다는 것을 증명했다[5]. 멀티홉 네트워크에서 모든 링크가 같은 IEEE 802.11 프로토콜이 사용될 때, 출발노드에서 종착노드까지의(End-to-End) 성능인 처리량이 상당히 저하되는 것과 불형평성(unfairness) 문제가 발생된다. 이 같은 문제는 네트워크 성능에 상당히 좋지 않은 영향을 미친다.

2.2 다중 채널, 단일 인터페이스

단일 채널, 단일 인터페이스의 무선 메쉬 네트워크 환경에서 네트워크 크기가 증가함에 따라 심각한 성능 저하가 발생하는 것을 해결하기 위해 다중채널, 단일 인터페이스를 사용하는 방법이 제안되었다[6]. 멀티 홉 환경에서 인접 홉 간 동시에 다른 채널을 사용하므로 인해서 기존에 동일 채널 사용 시 발생되었던 인접 노드 및 인접 홉의 채널 간섭을 줄이기 위한 방법이다. 이와 같은 방법으로 단일 채널, 단일 인터페이스의 문제점들을 해결하고자 제안되었다. 하지만, 이러한 다중 채널 단일 인터페이스의 방법은 두 가지 이유 때문에 무선 메쉬 네트워크에 적용하는 것은 바람직하지 않다[7]. 첫 번째는 NIC(Network Interface Card)를 하나만 사용하기 때문에 각 노드가 멀티채널의 이점을 얻기 위해 트래픽 상황에 따라 유동적으로 채널을 자주 변경해야 한다. 이러한 채널 알고리즘을 수행하기 위해서는 기존의 802.11의 MAC을 수정해야 하는 추가적인 메커니즘을 요구한다. 두 번째는 단일 인터페이스에 다른 채널을 할당함으로써 인접 홉 간 간섭을 줄일 수 있는 반면 기존의 동일 채널을 사용하면서 문제되지 않았던 노

드 간의 연결성을 보장할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 이웃 노드와의 연결을 위해서는 두 노드 간 동기가 이루어져야 하며 두 노드가 통신을 하기 위해서는 동일 시간에 같은 채널을 할당해야 하기 때문에 두 노드 간 동기가 이루어져야 한다는 문제점을 가지고 있다. 결과적으로, 허용 오차를 제공할 수 없게 된다.

2.3 다중 채널, 다중 인터페이스

기존에 문제가 되어왔던 NIC(Network Interface Card)의 가격이 기술발달과 부품단가의 가격 경쟁력으로 저렴해짐에 따라 두 개의 인터페이스 카드를 장착하는데 많은 비용이 들지 않기 때문에 네트워크 성능 향상의 목적으로 다중 채널, 다중 인터페이스 구조를 사용하는 연구가 이루어지고 있다 [9, 10]. 다중 채널, 다중 인터페이스를 사용하므로 인해서 기존의 802.11의 멀티 겹치지 않는 채널을 활용 할 수 있게 되었다. 또한 다중 채널, 단일 인터페이스는 기존의 802.11의 MAC을 수정해야 되는 문제점이 있었지만 다중 채널, 다중 인터페이스의 경우 기존의 802.11을 그대로 사용하여 동작할 수 있기 때문에 기존의 모든 장비에 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 다중 채널, 다중 인터페이스를 사용하여 멀티 홉 통신을 할 경우 노드들이 두 개의 NIC카드를 장착하고 있기 때문에 서로 다른 채널을 이용하여 동시에 송신과 수신을 할 수 있기 때문에 링크 단 지연을 효과적으로 줄일 수 있어 네트워크 성능을 향상 시키는 결과를 가져온다. 또한, 주변의 이웃 노드와 데이터 전송 시 서로 다른 채널을 사용하여 인접 노드의 전파 간섭을 최소화 할 수 있다.

2.4 채널 할당 알고리즘

다중 채널, 다중 인터페이스를 사용한 무선 메쉬 네트워크를 구축하기 위해서는 네트워크의 노드 배치, 채널 할당, 링크 스케줄 그리고 라우팅 등과 같은 여러 가지 요소들의 설정이 적절히 이

루어져야 한다. 현재 많은 무선 메쉬 네트워크의 각각의 설정 요소들의 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크의 효과적인 동작과 네트워크 성능 향상을 목적으로 각 노드의 NIC에 어떠한 방법을 이용하여 채널을 할당할 것인가에 대한 채널 할당 알고리즘을 연구할 것이다. 무선 메쉬 네트워크의 채널 할당 알고리즘은 다중 채널, 다중 인터페이스에 대한 연구가 시작된 2004년 이래 지속적으로 연구가 되고 있는 분야이며, 다중 채널, 다중 인터페이스를 사용하기 위해 꼭 필요로 하는 연구 분야이다. 현재 많은 연구가 이루어지고 있지만 아직 해결되지 않은 문제점을 가지고 있으며, 네트워크 성능 향상에 많은 영향을 미치기 때문에 그 중요성 또한 상당히 크다고 할 수 있다[8].

2.4.1 분산형과 중앙집중형 채널 할당

채널 할당 방식은 크게 중앙집중형 채널 할당과 분산형 채널 할당으로 나눌 수 있다. 중앙집중형 방식은 메쉬 네트워크에 대한 모든 정보를 중앙에서 알고 있어야 하며, 그 정보를 바탕으로 정해진 계산 방식에 따라 다시 각 노드에 채널을 할당하는 방법을 말한다. 이러한 방법의 장점은 MR-MC의 메쉬 네트워크의 전체 정보를 알고 활용하기 때문에 채널 할당에 있어서 최적화 또는 가장 근접하게 최적화 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 반면 이러한 전체적인 네트워크의 정보를 취득하기 위해서는 많은 양의 데이터를 전송하고 전송 받아야 하기 때문에 즉각적인 네트워크 정보를 취득하기에는 어려움이 있다는 단점을 가지고 있다. 또한, 네트워크의 크기가 커질 경우 전체 네트워크의 정보를 취득하는 것은 더더욱 어려워진다. 두 번째 방법인 분산형 방식은 채널 할당을 중앙에서 제어하지 않는다. 채널 할당하기 위한 정보는 노드의 지역 정보만을 가지고 수행하는 방식이다. 이 것은 앞서 언급한 중앙집중형 방식과 같은 전체 네트워크 정보를 취득할 필요가 없어지는 장점을 가지고 있지만 그만큼 전체 네트워크의 상태

에 맞는 최적화된 채널할당이 이루어 질 수 없다는 얘기이다. 분산형 방식은 게이트웨이 지향적(Gateway-oriented) 방식과 단말 지향적(Peer-oriented) 방식으로 분류 된다. 게이트웨이 지향적 방식은 네트워크 트래픽을 게이트웨이에서 정보를 수집하고 수집한 정보에 따라 채널 할당을 하게 된다. 그래서 게이트웨이의 주변 링크의 상황에 맞게 경험적인 수치를 바탕으로 채널 할당을 함으로써 게이트웨이 주변 노드에게 많은 대역폭을 갖는 채널 할당이 이루어진다. 반면 이러한 네트워크의 지역정보를 주고받아야 하기 때문에 그만큼의 정보 전송에 따른 오버헤드가 발생되기 때문에 네트워크의 상태를 나쁘게 하는 원인이 된다. 단말 지향적 방식은 네트워크 트래픽 정보를 통신이 이루어지는 두 노드 간의 정보를 이용하게 된다. 각 노드의 채널 설정에 있어서 가능하면 가장 일반적인 채널 할당 방법을 사용하게 된다. 이와 같은 방법을 이용할 경우 어떠한 복잡한 네트워크에도 쉽게 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있는 반면, 네트워크의 전체 상황에 맞는 최적화 된 채널 할당이 이루어 질 수 없다는 것과 같다.

2.4.2 트래픽 인식과 비인식 채널 할당

다중채널, 다중 인터페이스 환경에서의 채널 할당 방법을 트래픽 인식(Traffic-aware)과 트래픽 비인식(Traffic-independent)으로 나눌 수 있다. 트래픽 인식 방식은 이름과 같이 네트워크 트래픽로드를 고려하지 않고 대신에 네트워크의 연결성과 전송에 의한 경험적인 간섭 측정 값 만으로 채널 할당을 할 수 있다. 이와 같은 방법은 라우팅과 채널할당의 기능을 수행하는데 있어서 각각 분리되어 수행할 수 있다. 트래픽 인식 방식은 실질적인 네트워크의 간섭을 기반으로 한다. 네트워크의 상태의 정보를 활용하여 채널 할당을 하기 때문이다. 이와 같은 방식은 채널할당과 라우팅을 분리해서 할 수 있지만 최적의 상태를 유지하기 위해서는 반복적인 상태 체크 및 알고리즘이 이루어져야 한다. 트래픽 인식 채널 할당은 최적화 관점에서는

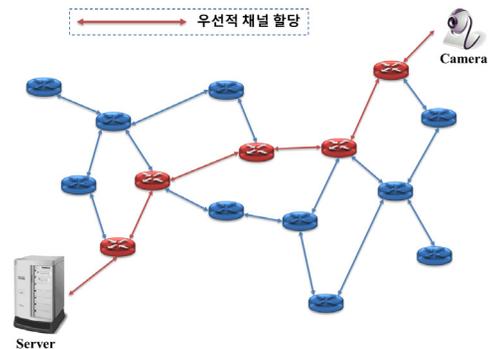
반드시 필요한 부분임에 틀림없다. 하지만 트래픽 비인식 방식은 확실히 광범위한 네트워크를 구축하는데 있어서 현실적으로 장점을 가지고 있다. 첫째는 정적인 동작과 허가된 모듈 동작일 때 기존의 어떤 라우팅 프로토콜을 사용하는 것과 같은 프로토콜 구조가 유지된다. 둘째는 자주 채널이 변경을 가져 오지 않음으로써 오버헤드가 적다. 셋째는 현재의 IEEE 802.11 하드웨어의 채널 변경 속도는 무시할 만한 속도가 되지 못한다. 그렇기 때문에 채널 변경에 따른 지연이 발생하게 되는데 이러한 채널변경이 자주 일어나지 않게 한다는 장점을 가진다. 위와 같은 장점 때문에 트래픽 비인식 채널 할당 알고리즘이 제안되었다. 하지만 트래픽 비인식 방식을 사용할 경우 현재의 트래픽을 전혀 고려하지 않기 때문에 네트워크의 채널 변경이 거의 일어나지 않게 된다. 본 논문에서는 트래픽 인식 채널 할당 알고리즘을 제안할 것이다. 하지만 기존의 트래픽 인식 방식의 문제점을 최소화하기 위한 것과 트래픽 비인식 방법의 장점을 갖도록 하는 것을 고려한 채널 할당 알고리즘을 연구 제안할 것이다.

3. 개선된 채널 할당 알고리즘

본 논문에서는 완전한 분산형(Distributed) 방법의 단말 지향적인(Peer-oriented) 알고리즘을 제안한다. 또한 트래픽 인식(Traffic-aware) 방식을 사용할 것이다. 하지만 트래픽 정보를 얻기 위한 오버헤드 발생을 없애기 위해 트래픽 정보를 얻기 위한 어떠한 정보교환도 이루어 지지 않을 것이며, 채널 변경이 자주 발생하여 생기는 문제점을 해결하기 위한 제한 장치를 둘 것이며, 네트워크 성능 향상에 초점을 둔 다중 채널, 다중 인터페이스 환경에서의 분산형 단말 지향적 채널 할당 알고리즘을 제안한다.

기존의 제안된 분산형 채널 할당 알고리즘 SS-CA[11]에서 단말 지향적인 채널 할당 알고리즘을 제안하였다. 채널할당 알고리즘은 채널간의 간섭

정도를 계산하고 그 계산 된 값을 이용하여 노드 A가 기존의 사용하는 채널과 새로운 채널 사이의 간섭이 적은 채널을 선택하고 이를 다른 주변 노드들에게 전송하여 채널 변경 유무를 허가 받는다. 이러한 경우 주변 노드들은 노드 A가 새로운 채널로 변경할 경우 자신의 채널 간섭에 영향이 없을 시에만 채널 변경을 허락하게 된다. 이러한 방법을 통해 각각의 노드들은 가장 낮은 간섭을 가진 채널로 할당하게 된다. 하지만 이러한 방법은 링크의 트래픽이나 네트워크 상태는 전혀 무시하고 노드 간의 채널 간섭 값만을 가지고 채널할당이 이루어지게 된다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존의 채널 할당 알고리즘에 네트워크 트래픽 상태에 대한 정보를 확인하고 그 정보를 토대로 링크간 트래픽 가중치에 따른 차등적 채널 할당 알고리즘을 제안한다.



[그림 2] 다중 채널, 다중 인터페이스 채널 할당

[그림 2]와 같은 무선 메쉬 네트워크에서 VoIP와 비디오전송과 같은 일정 데이터를 지속적으로 전송하는 경우 전송되는 링크에 대해 채널 간섭으로부터 보호하기 위해 우선적 채널할당을 한다. 우선적 채널할당은 서로 최적의 채널 할당을 받는 것이 아니라 데이터 전송이 많은 링크에 한해서 좋은 채널을 할당함으로써 트래픽 전송을 보장 해주게 된다. 반면, 트래픽 전송이 없는 주변 링크의 채널은 더 많은 간섭을 받게 되지만 현재 링크에 전송되고 있는 데이터가 거의 없기 때문에 네트워

크 성능에 미치는 영향은 미비할 것이다. 따라서 차등적 채널 할당 방법을 적절히 적용한다면 네트워크의 성능 향상이 이루어질 것이다.

3.1 채널 간섭

다중 채널, 다중 인터페이스의 메쉬 네트워크의 노드에 적절한 채널을 할당하기 위해서는 채널간의 간섭에 대한 간섭 수치를 알아야 한다. 여기서는 채널간의 간섭 값을 계산해야 한다. <표 1>에서 보는 것은 시험을 통한 채널 간섭 수치를 나타낸 것이다[12]. 채널 6을 기준으로 다른 채널을 사용했을 경우의 SNR(Signal-to-Noise Ratio)의 값을 나타낸 것이다. 채널0, 채널6, 채널11은 802.11b에서 겹치지 않는 채널이다. 또한 채널간의 간섭은 가까운 채널과 먼 채널간의 비교적 일정한 수치의 값을 나타낸다. 본 논문에서는 채널간의 복잡한 계산을 하지 않고 채널간의 간격을 기준으로 채널 간섭 정도를 계산한다.

<표 1> 채널 6을 기준으로 1~11채널까지의 SNR 값 측정[범위0~1]

Channel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Normalized SNR	0	0.22	0.60	0.72	0.77	1.0	0.96	0.77	0.66	0.39	0

$$f(a, b) = \max(0, (2 + \beta) - |a - b|) \quad (1)$$

노드 A의 채널 a와 노드 B의 채널 b간의 채널 간섭 값을 계산하기 위해서는 식 (1)과 같은 계산식을 이용한다. |a-b|는 채널 a, b의 채널의 간격을 측정한다. (2+β)는 채널 간의 겹치지 않는 구간은 채널 1, 6, 11이기 때문에 5채널이 간격일 경우 채널의 간섭이 없기 때문에 최고 5를 설정할 수 있지만 링크 별 가중치 β에 따라서 채널 간격 값을 최저 1부터 최고 5까지 설정하게 된다. 즉, 가중치 β의 값에 의해 채널의 간격을 결정할 수 있도록 하는 채널 간섭 정도를 나타내는 것이다. β에 대한 자세한 수치 정보는 다음 제 4.2.2절의 링크 트래픽

측정을 통해 링크 별 가중치 β를 계산할 수 있다.

3.2 트래픽

무선 메쉬 네트워크 환경에서 VoIP와 비디오 전송과 같은 데이터의 전송 링크에 우선적으로 좋은 채널을 할당하기 위해서 어느 링크가 지속적인 데이터를 전송하는가에 대한 정보를 필요로 한다. 본 논문에서는 이러한 링크의 지속 사용 여부를 측정하기 위해서 각각의 링크간 패킷 전송량을 측정한다. LDT(Link Delivery Traffic)측정은 각각의 노드 자체에서 이루어지기 때문에 다른 노드들간의 정보 교환이 이루어지지 않는다. 즉 링크의 트래픽 측정에 따른 오버헤드는 발생하지 않는다. LDT는 [그림 3]과 같은 노드 2에서 링크 A와 링크B에 대한 LDT를 측정할 수 있다. 측정된 LDT를 Moving Average를 통해 주기적인지 단발적인지를 확인 할 수 있다.



[그림 3] 링크 트래픽 측정 LDP

$$LDT_{curr} = \frac{\sum_0^{t_{curr}} - \sum_0^{t_{curr}-\tau} TDC}{\tau} \quad (2)$$

$$LDT_k = \alpha(LDT_{k-1}) + (1 - \alpha)LDT_k [EWMA] \quad (3)$$

식 (2)와 같이 일정 간격의 LDT를 측정한다. 단위 시간 τ동안의 TDC(Traffic Delivery Count)를 측정하면 현재의 LDTcurr를 구할 수 있다. 이렇게 측정된 LDT는 식 (3)와 같이 지수 가중 이동 평균(Exponentially Weighted Moving Average)를 사용하여 과거 데이터 보다 현재 데이터에 가중치를 두어 평균을 내는 방식이다. α의 값이 작을 때는 과거 데이터의 비중이 낮아지며, 따라서 잡음 제거 능력이 줄어들고 시간 지연이 적어진다. 반면, α의 값이 커질 때는 과거의 데이터 비중이 커지며, 따

라서 잡음 제거 능력이 좋아지고 시간 지연이 커진다. 이렇게 측정된 LDTk 값은 링크의 우선순위를 결정하는데 사용된다.

3.3 초기 채널 할당 알고리즘

무선 메쉬 네트워크의 초기 채널 할당 방법은 기존의 제안된 분산형 단말 지향적인 방법을 따른다 [11]. 초기 채널은 각 링크 별 트래픽이 존재하지 않기 때문에 각각의 노드가 각각의 링크에 공평하게 채널을 할당해야 한다. 본 논문에서는 초기 채널 설정 방법은 기존에 제안된 SS-CA(Self Stabilizing Channel Assignment)[11] 방법의 초기 설정 방법을 따른다. 알고리즘은 다음과 같다.

초기 채널 선택 알고리즘(노드 i)

Input

S_i : 노드 i의 간섭 범위에 있는 노드들
 C_j : 각각의 노드 j의 채널($j \in S_i$)
 C_i : 노드 i의 현재 채널

Begin procedure

For all $k = 1, \dots, K$,

$$F(k) \leftarrow \sum_{j \in S_i} f(k, C_j)$$

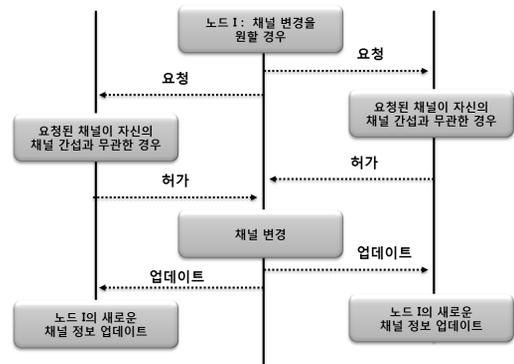
if $F(C_j) > F(k)$ for any $k = 1, \dots, K$, then
 $C_i \leftarrow k_{\min}$ where $k_{\min} = k$:
 $F(k) \leq F(k') \forall k' = 1, \dots, K$
 end if

end procedure

노드 i의 초기 채널 선택 과정은 노드 i는 초기에 랜덤 하게 채널을 선택한다. 주변의 모든 노드들도 노드 i의 동일한 과정을 거치게 된다. 노드 i의 채널 간섭이 되는 주변 인접 노드들의 집합 S_i 라고 하고, 집합 S_i 노드들의 각각의 채널을 C_j 라고 하며, C_i 는 현재 노드 i가 사용하고 있는 채널을 의미한다. SS-CA의 초기 안정화 단계는 노드 i가 가장 간섭이 적은 채널을 찾는 과정을 거친다. 노드 i는 채널 1~K까지의 채널을 각각 인접노드의 채널 C_j 의 채널과의 간섭 값을 계산하게 된다.

노드 i의 간섭이 되는 주변노드들이 사용하고 있는 모든 채널과 채널 1~K까지의 값을 계산하고 그중 인접노드들과 가장 간섭이 작은 채널을 선택하게 되는 방식이다. 이럴 경우 노드 i는 가장 간섭이 작은 채널을 선택할 수 있다.

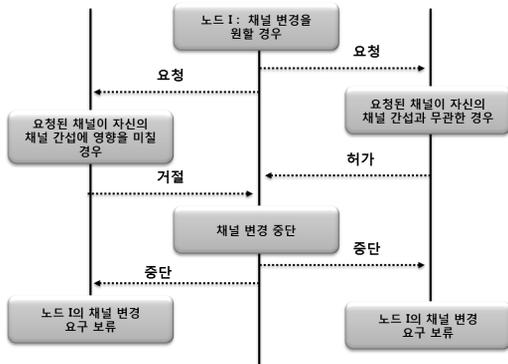
초기 채널 선택 알고리즘은 노드 i가 자신의 채널 간섭을 줄이기 위해 자신의 채널을 변경 했을 경우 간섭이 줄어드는 채널을 선택하여 간섭이 적은 새로운 채널로 변경하려고 하는 알고리즘이다. 하지만 이때 노드 i는 자신의 간섭만을 줄이려고 채널을 변경할 경우 노드 i의 채널 변경으로 인하여 인접 노드들의 채널 간섭 정도가 나빠질 수 있는 상황이 발생하게 된다. 즉 다른 노드들의 채널 상태에 관계없이 채널을 변경할 경우 심각한 문제를 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 여기서는 three-way handshaking 방법을 사용하였다[11].



[그림 4] 노드 I가 채널 변경을 원할 때 다른 노드들이 허가 해서 채널 변경이 성공

Three-way handshaking 방법은 [그림 4]와 같이 노드 I가 현재 사용하고 있는 채널보다 간섭이 적은 채널로 채널 변경을 하고자 할 경우 노드 I의 인접 노드들에게 채널 변경 요청 메시지를 보내게 된다. 노드 I로부터 채널변경 요청 메시지를 받은 주변 노드들은 노드 I가 새로운 채널로 변경 했을 경우 자신의 채널 간섭에 영향을 미치지지에 대한 계산을 한 후 노드 I가 채널을 변경하더라도 자신의 채널간섭에 영향을 미치지 않을 경우 허가 메

시지를 보내게 된다. 노드 I는 인접 노드들로 부터 허가 메시지를 받고 자신의 채널을 새로운 채널로 변경한 후 채널 변경에 대한 업데이트 정보를 인접 노드에게 전송하고 이를 받은 주변 노드들은 노드 I의 채널 변경 정보를 업데이트 하게 된다. [그림 5]의 경우에는 노드 I가 새로운 채널을 변경하고자 인접 노드에게 요청메시지를 보냈지만 인접노드 중 하나라도 노드 I가 새로운 채널로 변경할 시 자신의 채널 간섭이 나빠지는 경우 노드 I에게 채널 변경 거절 메시지를 보내게 된다. 이럴 경우 노드 I는 자신의 채널을 유지하고 인접노드들에게 채널 변경 사항 보류 메시지를 보내게 된다. 이와 같은 방법으로 노드 I가 자신의 채널 간섭만을 줄이고자 채널 변경하는 이기적인 채널 변경을 막을 수 있으며, 이러한 방법을 통해 결국 노드들은 주변 노드와 함께 가장 이상적인 채널을 선택하여 안정화 할 수 있다는 것이다.



[그림 5] 노드 I가 채널 변경을 원할 때 다른 노드들 중 거절 한 노드가 있을 경우

3.4 채널 할당 알고리즘

초기 채널 선택이 끝난 후 무선 메쉬 네트워크에 어플리케이션 및 클라이언트로 인한 데이터 트래픽 전송이 이루어진다. 전송되는 데이터에 따라 채널 선택 시 가중치를 부여하게 된다.

<표 2>와 같이 각각의 노드는 자신의 링크 별 LDT를 측정하고 측정량 θ 값에 의해 LDT에 의

한 링크 가중치를 갖게 된다. 각각의 노드는 링크 별 LDT 가중치에 의해 채널 선택 가중치 β 값을 얻게 되며 β 값은 지속적으로 데이터 전송 양이 많은 링크에 우선적으로 좋은 채널을 할당하기 위한 알고리즘에 활용한다. β 값에 의한 가중치 값을 three-way handshaking시 채널 정보와 함께 추가적으로 β 값을 전송하게 된다. β 값은 가중치에 의한 채널변경 허가와 거절을 결정하는 역할을 하게 된다.

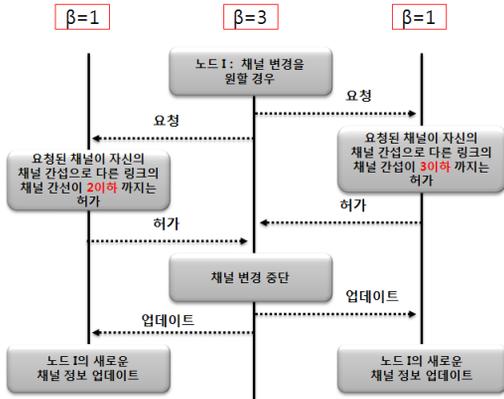
<표 2> LDP에 의한 채널 선택 가중치 β

어플리케이션	LDT 측정량(최대 수용치 100%)	LDT에 의한 가중치	채널 선택 가중치
고용량 IPCam	$50\% \leq \theta$	3	3
저용량 IPCam	$30\% \leq \theta < 50\%$	2	2
VoIP, 인터넷	$10\% \leq \theta < 30\%$	1	1
단발성 Data	$0\% \leq \theta < 10\%$	-1	-1
초기설정	default	0	0

<표 3> 가중치 β 에 따른 Three-Way Handshaking 시 채널 간섭도 증가 허용치

가중치	3	2	1	-1
허용치	0	-1	-2	-3

[그림 6]과 같이 기존의 three-way handshaking과는 달리 링크의 사용량을 측정된 가중치 값에 의해 값 3인 노드 I가 채널을 변경하고자 인접 노드에 채널 변경 요청을 보낼 경우 인접 노드들은 자신의 값과 노드 I의 값을 비교한다. 노드 I가 채널 변경 시 자신의 링크의 채널 간섭치가 값 차만큼 증가 하더라도 노드 I의 가중치가 높기 때문에 허가를 하게 된다. 이러한 과정을 거치게 되면 가중치가 높은 링크의 채널은 자연적으로 좋은 채널을 할당 받게 되고 반면, 가중치가 낮은 채널들은 비교적 채널 간섭이 높은 채널을 할당 받게 된다. 즉 데이터의 이동이 많은 링크에 좋은 채널을 할당함으로써 네트워크 성능을 높이는 반면 단발적으로 발생하는 데이터 즉 적은 데이터를 전송하



[그림 6] β 가중치에 의한 three-way handshaking

는 링크에 한해서는 채널간섭이 많은 채널을 할당하여 그러한 링크의 성능이 떨어지더라도 많은 데이터를 전송하는 링크의 성능을 향상시키게 된다.

3.5 채널 할당 알고리즘을 적용한 모델링

제안하는 채널 할당 알고리즘은 CSMA/CA 기법으로 802.11s[14]의 MAC 절차를 따라서 수행된다. IEEE 802.11s는 IEEE 802.11, a, b, g 시스템을 물리계층으로 이용하여 WMN을 구현하기 위해 필요한 MAC 계층의 요구사항을 정의한 규격이다. 실제 데이터 전송이 이루어지기 전에 송신하고자 하는 장치들은 정해진 CW 범위(0, CW-1)내에서 임의로 한 슬롯을 선택한다. 한 슬롯의 크기는 스펙에서 규정하는 것처럼 식 (4)와 같이 송수신 전환 시간, 지연 시간을 포함하는 CCA mode와 관련된 신호 검파(energy detection) 시간으로 결정된다.

그리고 한계 상황(saturation condition)을 고려하여 네트워크를 구성하는 n개의 노드들이 계속해서 전송을 시도하는 환경을 가정한다. 여기서 무선 링크에서의 에러는 앞에서 설명한 채널 간섭 영향을 고려하였으며 또한 채널 할당 알고리즘을 적용하기 위해서 트래픽 별 가중치를 적용하였다. 이는 아래 식 (10)에서 표현된 α 값이다. 그리고 채널 시간은 고정된 슬롯크기 단위로 나누어져 사용된다. 식 (5)의 $P\{(t+1) = k\}$ 는 하나의 노드가 t+1

번째 슬롯에서 백오프(backoff) 값이 k일 확률을 말하는 것이며 stochastic process를 통해서 한 슬롯에서 한 노드가 백오프 값이 k일 확률 p_k 를 식 (8)과 같이 도출한 것이다. 여기서 p_0 는 한 슬롯에서 한 노드의 k값이 0일 확률인 즉, 한 노드가 데이터를 전송할 확률을 의미하는 것이다. 식 (9)의 P_{tr} 은 임의의 한 슬롯이 사용중(busy)일 확률을 나타내며, 식 (10)의 P_s 는 n개의 노드로 구성된 네트워크상의 한 슬롯에서 성공적으로 데이터가 전송될 확률을 나타내는 것이다. 마지막으로 S는 시스템 수율, T는 한 노드가 경쟁을 통해 성공적으로 매체에 접근한 이후 성공적인 데이터 통신에 소요되는 전체 시간을 슬롯개수로 나타내는 것이다. WMN의 수율 용량분석을 위해 IEEE 802.11s에서 정의하고 있는 MAC 규격대로 파라미터를 설정하였다. 설정한 고정 파라미터 및 변경 파라미터는 <표 4>와 <표 5>에서 보여준다. [그림 7]은 본 모델링을 적용하여 나온 수율에 대한 그래프이다. 변경 파라미터 중 CW는 시뮬레이션을 통해서 최적의 값인 $n = 10$ 을 도출하여 결과 그래프에 적용을 하였으며 α 값은 간섭 영향 및 트래픽 가중치를 앞에서 적용한 수식을 바탕으로 분석하여 기대값인 0.9893을 반영하였다.

$$Slot_{time} = \frac{RX}{TX} switchingtime + energydetectiontime \approx 20\mu s \quad (4)$$

$$\begin{cases} P\{(t+1) = k\} = P\{b(t) = k + 1\} \\ + \frac{P\{b(t) = 0\}}{W}, 0 < k < W - 1 \\ P\{(t+1) = W - 1\} = \frac{P\{b(t) = 0\}}{W} \end{cases} \quad (5)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P\{b(t) = k\} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{b(t+1) = k\} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{b(t+2) = k\} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{b(t+n) = k\} = p_k \quad (6)$$

$$\sum_{k=0}^{W-1} p_k = 1 \quad (7)$$

$$p_k = \frac{2(W-k)}{W(W+1)} \quad (8)$$

$$P_{tr} = 1 - (1 - p_0)^n \quad (9)$$

$$P_s = \frac{\#ofdevice \times P\{onlyone\ node\ tries\ transmit\}}{\frac{1}{\alpha} P\{channel\ is\ busy\ in\ a\ slot\}}$$

$$= \frac{\alpha n p_0 (1 - p_0)^{n-1}}{1 - (1 - p_0)^n} \quad (10)$$

$$S = data_rate \times P_s \frac{\gamma T}{T + E[m]} \quad (11)$$

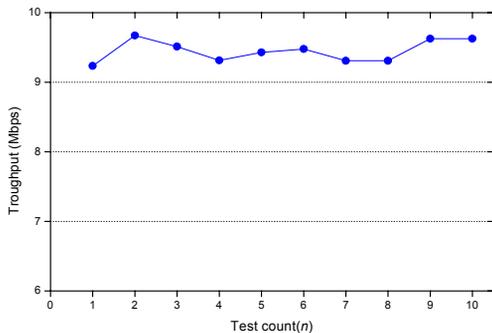
$$T = \frac{\left[3 \times SIFS + IFS + \frac{(RTS + CTS + ACK + DATA)}{data_rate} \right]}{slot_time} \quad (12)$$

〈표 4〉 고정 파라미터 설정

파라미터	설정 값
Slot time	20us
노드 개수	6개
전송 속도	54Mbps
SIFS	10us
IFS	20us
RTS	20bytes
CTS	14bytes
ACK	14bytes
MAC Header	36bytes
Payload 크기	1,500bytes

〈표 5〉 변경 파라미터 설정

파라미터	설정 값 범위
CW 크기	2n, 4 <= n <= 12
a	0 <= a <= 1



[그림 7] 모델링을 통한 수율

4. 성능평가

제안된 알고리즘에 대한 성능 평가를 하기 위해 네트워크 시뮬레이션 또는 직접 테스트 베드를 구축하여 테스트 할 필요가 있었다. 본 논문의 성능 평가를 위해 무선 메쉬 네트워크를 구축하기 위한 무선 메쉬 노드에 직접 알고리즘을 적용시켜 무선 메쉬 네트워크를 구축하였다. 또한 인접 채널 간 간섭 정도에 따른 네트워크 성능 변화를 확인하기 위한 테스트를 진행하였다.

무선 메쉬 네트워크를 구성하는 WMN 노드는 Ubiquiti 사의 RouterStation Pro 장비를 사용하였다. RouterStation Pro는 680MHz의 CPU와 128MB의 메모리로 구성되어 있다. 무선 통신을 위한 NIC (Network Interface Card)는 IEEE 802.11b/g를 지원하는 Atheros AR5213 칩셋을 사용하는 mini-PCI 타입의 무선 랜카드를 사용하였다. 안테나는 9dBi 이득을 가지는 2.4GHz용 무지향성 안테나를 사용하였다. 네트워크 간 성능을 측정하기 위해서 Window XP OS의 노트북을 사용하였다.

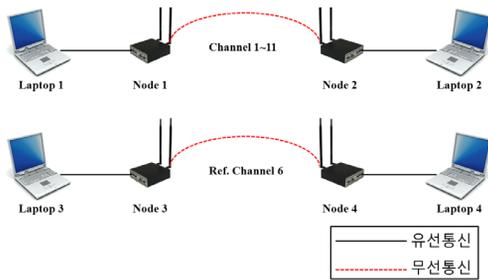
Ubiquiti사의 RouterStation Pro를 구동시키기 위해 리눅스 기반의 OpenWRT OS를 사용하였다[13]. 처리율(throughput) 및 네트워크 성능을 측정하기 위한 환경은 <표 6>과 같이 구성하였으며, 성능 측정에는 Ixia사의 IxChariot을 사용하여 네트워크 성능을 측정하였다.

〈표 6〉 환경 설정값

노드거리	20m
전송파워	5dBm
안테나	9dBi 무지향성
채널환경	다중인터페이스, 다중채널, 2.4GHz
대역폭	20MHz
토폴로지	Linear, Mesh
노드 수	6개
전송률	54Mbps
트래픽	TCP/UDP, 100kbyte
실험시간	2분

4.1 채널 간섭에 따른 성능평가

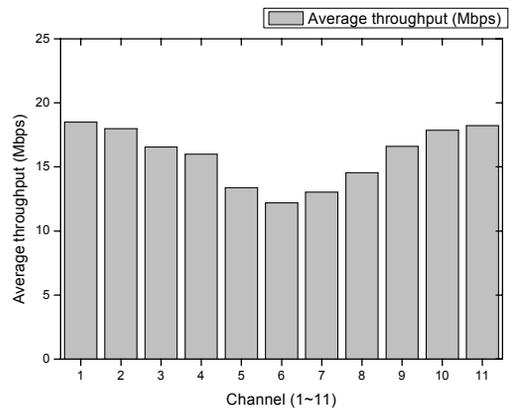
본 논문에서 제안된 채널 할당 알고리즘을 통한 네트워크 성능 평가에 앞서 채널 간섭에 따른 네트워크 성능의 변화를 알아보기 위한 실험을 하였다. [그림 8]과 같이 IEEE 802.11g의 채널 1~11번 채널 간의 간섭에 따른 네트워크 성능을 측정하기 위한 환경을 구축 하였다. 노드 3과 노드 4는 기준 채널 6번 채널을 사용하여 데이터 통신이 이루어지고 있는 상태에서 노드 1과 노드 2가 1번부터 11번 채널 각각의 네트워크의 성능 측정을 통해 채널 간 간섭에 따라 네트워크 성능에 미치는 영향이 어느 정도 인지를 측정해 보았다.



[그림 8] 채널 간섭에 따른 처리량 테스트

IEEE 802.11g의 최대 전송률은 54Mbps이지만 MAC 헤더, ACK, 패킷 에러와 같은 이유로 실질적인 유효한 처리율(goodput)은 절반 밖에 되지 않기 때문에 일반적인 상황에서의 최대 처리량은 20Mbps 정도의 처리량을 나타내게 된다. 채널 간섭에 따른 처리량의 변화는 6번 채널을 기준채널로 설정하고 각각의 채널의 네트워크 성능을 측정한 결과 동일 채널을 사용하는 6번 채널의 경우 일반적인 처리량의 절반밖에 측정되지 않았다. 이것은 6번 채널 사용 시 두 개의 통신이 서로 6번 채널에 대한 점유를 나눠 사용하기 때문에 동일한 채널 사용 시 기존 처리량의 1/2의 처리량을 나타내게 된다. 또한 채널의 간격이 커질수록 채널 간의 간섭 정도가 낮아지기 때문에 채널 간격이 멀리 떨어질수록 처리량의 수치는 상승하게 된다. 네트

워크 성능 테스트 시 주변의 다른 네트워크 사용이 있을 수 있었음에도 불구하고 비교적 채널 간섭에 따라 네트워크 성능을 나타내는 처리량의 수치의 변화를 눈으로 확인할 정도의 결과를 나타내었다. 즉, 중첩되지 않는 채널 1번, 6번, 11번 채널을 사용할 경우 기존의 일반적인 상황에서의 네트워크 성능의 처리량을 측정할 수 있었다. 이 결과를 토대로 채널 간섭을 줄여줄 경우 전체 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다는 근거가 될 수 있다.



[그림 9] 기준채널 6에 대한 채널 간섭에 따른 처리량 평균

4.2 분산형 채널할당 알고리즘 성능평가

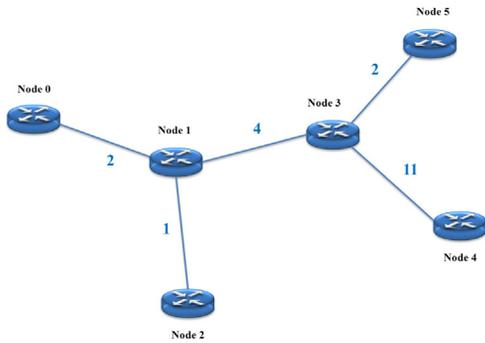
본 논문에서는 다중인터페이스, 다중채널 환경의 무선 메쉬 네트워크 환경에서 네트워크의 트래픽 가중치에 따른 차등적 분산형 채널할당 알고리즘을 제안 하였다. 본 장에서는 제안된 알고리즘을 통해 무선 메쉬 네트워크의 노드들에 채널을 할당하는 것을 확인하고 기존의 제안된 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘간의 실험을 통한 성능평가를 한다.

4.2.1 트래픽 가중치에 따른 채널 할당

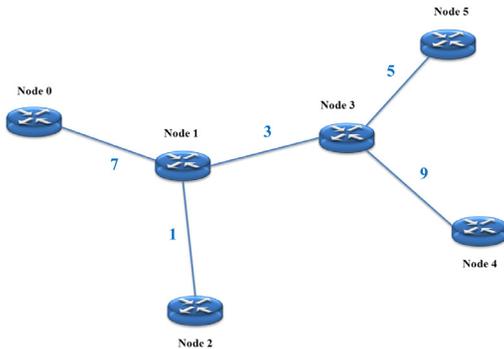
이 장에서는 앞서 언급한 제안 알고리즘에 따라 무선 메쉬 네트워크를 구축하기 위한 메쉬 노드에 직접 채널할당 알고리즘을 적용하고 그에 따른 각

각의 노드의 링크 별 채널 변화를 관찰한다.

[그림 10]는 최초 무선 메시 노드의 채널 할당을 한 모습이다. 초기 채널 할당을 위해서 랜덤함수를 이용하여 각각의 링크 별 채널 할당이 이뤄지며, 각각의 링크 별 최초 채널을 할당한 노드에 우선순위를 부여하여 링크 간 채널 할당이 이뤄진다. 랜덤 채널 할당인 만큼 초기 채널 할당 정보는 아무런 알고리즘이 적용되지 않은 단순 랜덤 할당이다.



[그림 10] 초기 랜덤 채널 할당

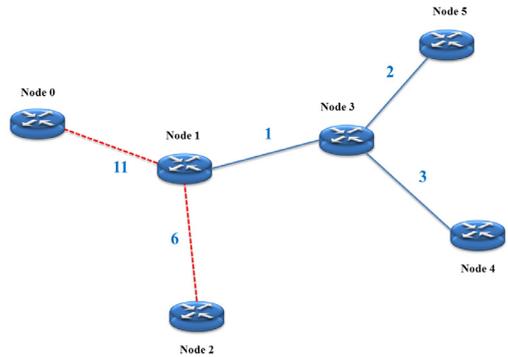


[그림 11] 채널 간섭 값을 이용한 공통 분배

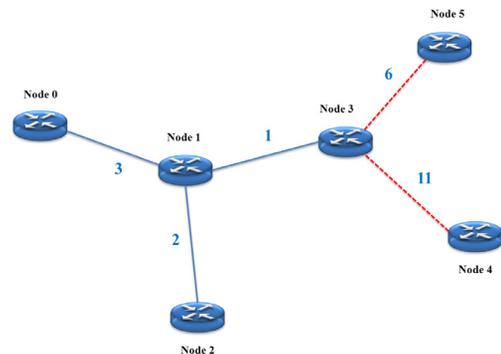
[그림 11]은 앞서 언급한 [그림 10]의 초기 랜덤 채널 할당이 이뤄진 후 네트워크의 노드에 각각의 채널을 할당하게 된다. [그림 11]은 트래픽 정보와 같은 네트워크 정보를 완전히 배제한 채 채널을 단순한 채널 간 간섭 값에 의해 공통적으로 분배하게 된다. 즉 네트워크에 트래픽이 발생되기 전에 채널을 할당하기 위한 알고리즘으로써 채널 설정

을 하게 되면 링크 별 트래픽 가중치를 고려하지 않기 때문에 채널 간섭 범위내의 노드들에게 균등한 채널을 할당하게 된다. 즉 링크 간 1, 3, 5, 7, 9 와 같은 동일한 채널 간격의 채널을 할당하게 된다.

반면, 무선 메시 네트워크 환경에서 트래픽이 발생하게 되면 본 논문에서 제안한 트래픽 가중치에 따른 채널 할당 알고리즘이 적용되게 된다. [그림 12]과 같이 노드 0번에서 노드 2번으로의 데이터 전송이 발생하게 되고 이에 따라 데이터 전송이 발생하는 링크(노드 0에서 노드 1, 노드 1에서 노드 2)에 가중치의 값이 증가하게 되고, 이와 대조적으로 다른 링크의 가중치는 작아지게 된다. 즉 가중치가 높은 링크에 채널 간섭이 적은 채널을 할당함으로써 네트워크의 전체 성능을 향상시키게 된다.

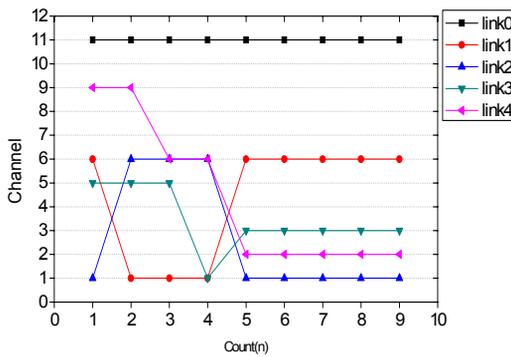


[그림 12] 트래픽 발생 후 트래픽 가중치에 따른 채널할당(노드 0에서 노드 2)



[그림 13] 트래픽 발생 후 트래픽 가중치에 따른 채널할당(노드 4에서 노드 5)

[그림 12]과 [그림 13]에서 볼 수 있듯이 트래픽이 발생하여 가중치가 높은 링크에 한해서 채널 간섭이 가장 적은 중복되지 않은 채널을 할당하게 되고 이와 대조적인 링크에는 채널 간섭이 많은 채널 간격이 작은 채널을 할당하게 된다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통해 일정 토폴로지를 생성하고 링크간 채널의 가중치를 변경하여 적용하였고, [그림 12]과 [그림 13]와 같은 채널할당을 하는 결과를 얻을 수 있었으며, 이와 함께 채널의 ripple effect와 같은 현상이 발생하지 않았으며, 일정 시간 후에 [그림 14]과 같이 링크 간 채널이 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

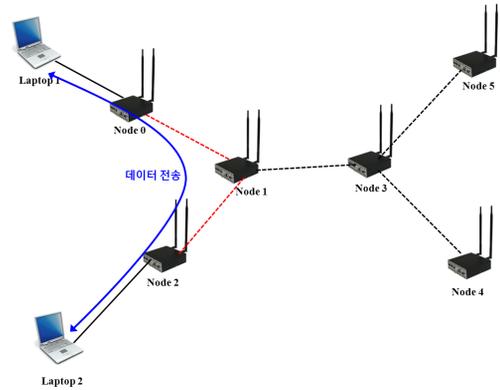


[그림 14] 채널 할당 알고리즘을 통한 링크 별 채널 변화

4.2.2 제안 알고리즘 성능평가

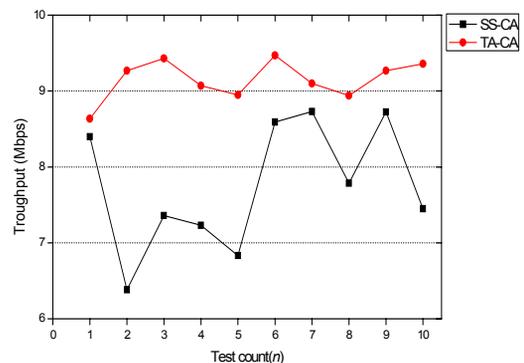
성능평가를 위해 기존에 제안된 트래픽과 같은 네트워크 정보를 완전히 배제한 채널할당 알고리즘과 본 논문에서 제안한 트래픽 가중치에 따른 차등적 채널 할당 알고리즘을 각각 적용하여 네트워크 성능을 시험을 통해 측정 평가 하였다. [그림 15]와 같이 노트북 1에서 노트북 2로의 데이터 전송에 있어 주변 메시 노드의 채널할당에 따라 네트워크 성능인 처리량을 측정하였다.

제안 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 테스트 베드 구축을 통한 실험을 통해 [그림 16]과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 네트워크의 트래픽 전송에 따른 차등적 채널 할당 알고리즘을 통해 트래픽이 많



[그림 15] 제안 알고리즘의 성능평가를 위한 테스트베드 구축

이 전송되는 링크에 우선적으로 좋은 채널을 할당함으로써 네트워크 성능이 향상 되는 것을 확인할 수 있다. 기존의 SS-CA의 경우 네트워크의 정보인 트래픽 상황을 완전히 배제하였기 때문에 그에 따른 데이터 전송에 있어서 채널 간 간섭 정도에 따라 패킷 전송에러와 채널 간섭으로 인한 성능 저하가 발생하게 되는 반면 제안한 알고리즘의 경우 많은 트래픽 전송이 이루어지고 있는 링크에 한해서 채널 간섭에서 비교적 자유로운 채널을 할당함으로써 채널 간섭에 따른 네트워크 성능 저하 현상이 많이 발생하지 않음을 확인할 수 있다. 즉 [그림 16]와 같이 제안된 알고리즘 TA-CA는 SS-CA에 비해 비교적 균일한 네트워크 성능을 확인



[그림 16] 제안 알고리즘 네트워크 성능 평가

할 수 있었다. 다른 링크에서의 단발적인 데이터 전송에 따른 간섭이 발생되지 않아서 가능한 결과였다. 시험결과 무선 메쉬 네트워크의 성능을 1Mbps ~ 1.5Mbps 정도의 처리량을 항상 시킬 수 있다는 것을 확인 할 수 있다.

6. 결 론

제안 알고리즘은 기존의 중앙집중형 방식의 채널 할당 알고리즘에서의 트래픽 인식 채널 할당 알고리즘의 장점을 가지고 있지만 완전한 분산형 채널할당 알고리즘으로써 네트워크의 트래픽 정보를 알기 위한 어떠한 데이터 전송도 발생하지 않기 때문에 중앙집중형에서 발생되었던 심각한 오버헤드가 발생하지 않는다는 장점이 있다. 또한, 무선 메쉬 네트워크의 성능을 향상시키기 위한 네트워크 정보를 노드 스스로 확인하고 그에 따라 제안한 알고리즘을 통해 최적에 가까운 채널 할당을 함으로써 네트워크 성능을 향상 시켰다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 분산형 단말 지향적 알고리즘으로써 기존의 트리형 무선 메쉬 네트워크 이외에도 다양한 네트워크 종류와 크기에 관계없이 사용이 가능하다는 장점을 가졌다. 따라서 본 논문에서 제안한 링크 별 트래픽 가중치에 따른 차등적 채널 할당 알고리즘을 통해 사용 어플리케이션이 필요로 하는 네트워크 성능을 향상을 시킬 수 있으며 이를 통해 원활한 서비스를 제공할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김동관, 백동현, 진희채, "IT 융합 서비스 및 활용기술의 기술속성에 관한 연구 : 산업간 융합을 중심으로", 『한국IT서비스학회지』, 제9권, 제2호(2010), pp.1-19.
- [2] 최재현, 박제원, 신용우, 이남용, "무선랜 AP를 기반으로 한 실시간 위치추적 시스템에 관한 연구", 『한국IT서비스학회지』, 제9권, 제3호(2010), pp.141-161.
- [3] 양창모, 이승범, 최수환, 엄두섭, "건설-IT융합 기술을 위한 터널 환경에서 무선 메쉬 네트워크를 이용한 실험적 성능 검증", 『한국IT서비스학회지』, 제10권, 제2호(2011), pp.271-279.
- [4] Akyildiz, L. F., X. Wang, and W. Wang, "Wireless Mesh Network : survey", *Computer Networks Journal*, Vol.47(2005), pp.445-487.
- [5] Xu, S. and T. Saadawi, "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multi hop wireless ad hoc networks?", *IEEE Communications Magazine*, Vol.39, 2001, pp.130-137.
- [6] Vedantham, R., S. Kakumanu, S. Lakshmanan, and R. Sivakumar, "Component based channel assignment in single radio, multi-channel ad hoc networks", *MobiCom*, Los Angeles, CA, 2006.
- [7] Si, W., S. Selvakennedy, and A. Y. Zomaya, "An overview of Channel Assignment methods for multi-radio multi-channel wireless mesh networks", *J. Parallel Distrib. Comput.*, Vol.70(2010), pp.505-524.
- [8] Marina, M. K., S. R. Das, and A. P. Subramanian, "A topology control approach for utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks", *Computer Networks*, Vol.54(2010), pp.241-256.
- [9] Kyasanur, P. and N. H. Vaidya, "Routing and link-layer protocols for multi-channel multi-interface ad hoc wireless networks", *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.10(2006), pp. 31-43.
- [10] Raniwala, A. and T.-C. Chiueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11 based multi-channel wireless mesh network", *IEEE INFOCOM*, (2005), pp.2223-2234.

- [11] Ko, B.-J., V. Misra, J. Padhye, D. Rubenstein, "Distributed Channel Assignment in Multi-Radio 802.11 Mesh Networks", *IEEE WCNC*, (2007), pp.3978-3983.
- [12] Mishra, A. E. Rozner, S. Banerjee, and W. Arbaugh, "Exploiting Partially Overlapping Channels in Wireless Networks : Turning a Peril into an Advantage", *ACM SIGCOMM conference on Internet Measurement*, (2005), pp.311-316.
- [13] OpenWrt, Available : <http://openwrt.org/>.
- [14] "Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications", 802.11 Working Group of the LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society.

◆ 저 자 소 개 ◆

**김 재 완** (jaewan.kim78@gmail.com)

고려대학교 전기전자전파공학부에서 학사, 고려대학교 전자컴퓨터공학과에서 석사 학위를 취득하고 현재 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정에 있다. 현재 VANET, WBAN, WUSB 등을 연구 중이며, 관심분야는 임베디드 시스템, 디지털 신호처리, 센서네트워크 등이다.

**윤 준 용** (maxwelleq@korea.ac.kr)

경희대학교 전기전자전파공학부에서 학사, 현재 고려대학교 전기전자컴퓨터공학과에서 석사 과정 진행중이다. LBS, WBAN, DBF 등을 연구 중이며, 관심분야는 위치 기반 시스템, 디지털 신호처리, Mobile IP 등이다.

**양 창 모** (cmyang@korea.ac.kr)

환경대학교 정보제어공학과에서 학사학위를 취득하고, 현재 고려대학교 전자전자전파공학과에서 석사 과정에 있다. 현재 센서 네트워크, Wireless Mesh Network 등을 연구 중이며, 관심분야는 임베디드 시스템, 유비쿼터스 센서 네트워크(USN), Wireless Mesh Network 등이다.

**이 승 범** (rikioh@korea.ac.kr)

고려대학교 전기공학과에서 학사, 고려대학교 전자컴퓨터공학과에서 석사와 박사학위를 취득하고 현재 경인교육대학교 컴퓨터교육학과에서 강사로 재직중이다. 현재 Wireless TCP, Wireless Mesh Network 등을 연구 중이다. 관심분야는 Mobile IP, Wireless TCP, Wireless Mesh Network 등이다.

**엄 두 섭** (eomds@korea.ac.kr)

고려대학교 전자공학과에서 학사, 고려대학교 전자공학과에서 석사, 일본 오사카대학 정보통신공학과에서 박사학위를 취득하고, 현재 고려대학교 전기전자전파공학과 정교수로 재직 중이다. 관심분야는 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, 센서네트워크 등이다.