

http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.5.239

JIIBC 2013-5-30

다중-인터페이스를 갖는 애드 혹 무선 네트워크에서 채널 혼잡도를 이용한 다중-채널 스위칭 프로토콜

Multi-Channel Switching Protocol Using Channel Busy Degree in Ad Hoc Wireless Networks with Multi-Interfaces

임헌주*, 정수경**, 이성화***, 박인갑****

Hunju Lim, Sookyong Joung, Sungwha Lee, Inkap Park

요 약 다중-인터페이스 기반 네트워크에서 각 노드에 장착된 다수의 무선 인터페이스들을 효율적으로 활용하기 위해서는 각 인터페이스에 이용 가능한 채널들을 적절하게 할당하여 간섭을 감소시키고 대역폭 효율을 높이는 채널 할당 기법이 필요하다. 혼합 할당 방식을 사용하여 네트워크 용량과 처리량을 개선하는 MCS 프로토콜이 제안되었다. MCS는 경쟁 영역 내에서 동일한 채널을 사용하는 노드들의 수를 고정 인터페이스의 채널을 할당하기 위한 기준으로 사용한다. 그러나 이 정보는 실질적으로 채널에 부과되는 부하를 정확히 반영할 수 없는 문제점이 있다. 본 논문에서는 간섭 영역 내에서 동일한 채널을 사용하는 노드들의 수뿐만 아니라 노드들에 의해서 채널이 점유되어 있는 비율을 나타내는 채널 혼잡도를 채널의 부하를 평가하기 위한 기준으로 사용하여 채널을 할당하는 CAMCS 프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통해서 성능 개선 효과를 확인한다.

Abstract In network based on multi-interface, there are needed channel assignment strategy that reduce interference and improve bandwidth efficiency by assigning each interface to available channels in order to utilize effectively multiple wireless interfaces on each node. MCS protocol had been proposed, which improve capacity and throughput of network by using hybrid assignment. MCS uses as the criterion to assign channel the number of node that use the same channel in contention area. but there have an problem that this information exactly does not reflect actually offered channel load. in this paper, we proposes CAMCS protocol to assign channel by that the channel busy degree to indicate the occupancy rate of channel by nodes as well as the number of nodes that use the same channel in inference area is used as criterion for estimation channel load, and conform performance improvement effect by simulation.

Key Words : multi-interface, channe assignment, hybrid assignment, channel load, channel busy degree

1. 서 론

대부분의 다중-홉 애드 혹 네트워크(multi-hop ad

hoc network)에서는 홉 간의 연결성(connectivity)을 확보하기 위해서 단일-인터페이스(single-interface)와 단일-채널(singel-channel)을 사용해 왔다. 그러나 단일-

*정회원, 대은전자(주) 통신기술개발팀

**정회원, 건국대학교 전자공학부

***중신회원, 한라대학교 정보통신과

****정회원, 건국대학교 전자공학부

접수일자 : 2013년 9월 12일, 수정완료 2013년 10월 9일

게재확정일자 : 2013년 10월 11일

Received: 12 September, 2013/ Revised: 9 October, 2013

Accepted: 11 October, 2013

*Corresponding Author: hylim12@hanafos.com

Dept.of.Telecommunication Technology R&D Team,

Daceun Eletronic Inc

인터페이스와 단일-채널을 사용하는 다중-홉 네트워크에서 중간 노드들은 동시에 데이터를 수신하고 송신할 수 없으므로 처리량(throughput)은 반으로 감축되며, 하나의 홉 상에서 전송이 이루어지고 있을 때 반송과 감지 범위 안에 있는 다른 홉 상에서의 전송은 금지되므로 처리량은 더 저하된다. 단일-인터페이스를 사용하는 다중-홉 애드 홉 네트워크에서 처리량 개선을 위해서 다수의 채널을 활용하기 위한 연구가 수행되었다. 대부분의 연구가 하나의 이웃에서 간섭을 회피하고 다수의 동시 전송이 가능한 최적의 채널을 찾는 것에 집중되었는데, 빠른 인터페이스 전환(switching)을 요구하거나 IEEE 802.11과 같은 기존 표준의 변경이 요구되어 상용 하드웨어로 구현될 수 없으며, 송수신 노드 간에 채널을 조정(coordination) 하기 위한 복잡한 동기화 과정으로 인하여 네트워크의 연결성에 영향을 줄 수 있는 문제점이 있다^[1-3]. 단일-인터페이스와 다중-채널(multi-channel)을 사용하는 다중-홉 네트워크에서는 여전히 각 홉에서 동시에 송수신이 불가능 하며, 패킷들이 통과하는 홉들이 다른 채널 상에 있다면 채널을 일치시키기 위한 동기화 오버헤드로 인하여 단-대-단 지연(end-to-end delay)이 증가하고, 반대로 대부분의 홉들이 동일한 채널 상에 있다면 연속되는 홉 간의 전송은 서로 간섭하므로 단-대-단 처리량이 감소한다.

기술의 발전으로 인하여 상용 IEEE 802.11 인터페이스 카드에서 전송 속도와 간섭 없이 사용할 수 있는 채널들의 수가 증가하고 있고, 인터페이스 전환 지연은 감소하고 있다. 또한, 무선 인터페이스 하드웨어 가격의 하락으로 각 노드에 다수의 인터페이스를 장착할 수 있는 여건이 조성되고 있다. 다중-인터페이스(multi-interface)와 다중-채널을 사용하는 다중-홉 네트워크에서는 연속되는 노드들의 인터페이스들에 다른 채널들을 할당하므로 하나의 중간 노드는 하나의 인터페이스 상에서 데이터를 수신하면서 동시에 다른 인터페이스를 사용하여 다음 노드로 데이터를 송신할 수 있다. 또한, 연속되는 홉 상에서 반송과 감지 범위 안에 있는 홉들도 다른 채널들을 사용하고 있으면 동시에 데이터를 전송할 수 있기 때문에 단일 인터페이스를 사용하는 다중-홉 네트워크보다 훨씬 더 높은 처리량을 제공한다. 따라서 다중-인터페이스 기반 네트워크에서 각 노드에 장착된 다수의 무선 인터페이스들을 효율적으로 활용하기 위해서는 각 인터페이스에 이용 가능한 채널들을 적절하게 할당하여 간섭

을 감소시키고 대역폭(bandwidth) 효율을 높이는 채널 할당(assignment) 기법이 필요하다. 채널 할당 기법은 정적(static), 동적(dynamic), 혼합(hybrid) 기법으로 분류될 수 있다. 정적 할당 기법은 각 인터페이스에 영구적으로 또는 오랜 시간 간격 동안 하나의 채널을 할당한다. 정적 할당 기법은 인터페이스 전환 지연이 클 때 사용하기 적당하며, 노드들 간에 데이터 통신을 위한 채널 조정 메커니즘(mechanism)이 요구되지 않거나 간단하다는 장점이 있다. 동적 할당 기법은 각 인터페이스에 어떤 채널이라도 할당하도록 허용하며, 각 인터페이스는 하나의 채널에서 또 다른 채널로 빈번하게 전환될 수 있다. 동적 할당 기법은 서로 통신이 필요한 노드들 간에 어떤 시점에서 공통 채널 상에 있도록 보장하기 위한 복잡한 채널 조정 메커니즘이 필요한 단점이 있으며, 적은 인터페이스들로 많은 채널들을 활용할 수 있는 장점이 있다. 혼합 할당 기법은 일부 인터페이스들에 대해서는 정적 할당 기법을 적용하고, 나머지 인터페이스들에 대해서는 동적 할당 기법을 적용함으로써 정적 할당과 동적 할당을 결합한 기법이다. 혼합 할당 기법은 동적 할당의 유연성을 유지하면서 정적 할당에 의해서 지원되는 단순한 조정 알고리즘을 허용하는 장점이 있다^[4]. 따라서 혼합 할당 방식을 사용하여 노드 당 인터페이스들의 수가 채널들의 수보다 작은 조건에서 이용 가능한 채널들 모두를 완전히 활용함으로써, 네트워크 용량과 처리량을 개선하는 다중-인터페이스 다중-채널 기법들이 제안되었다.

혼합 인터페이스 할당 방식을 사용하는 대표적인 프로토콜인 MCS(Multi-Channel Switching)에서 전환가능 인터페이스는 데이터 전송이 필요할 때는 언제나 수신 노드의 고정 채널로 전환하여 네트워크의 연결성을 유지하는 역할을 한다. 반면에 고정 인터페이스는 이용 가능한 모든 채널들이 활용되어 질 수 있도록 주어진 기준에 부합할 때만 전환하여 네트워크의 채널 다양성(channel diversity)을 확보하는 역할을 한다^[5-6]. 따라서 네트워크의 성능 개선을 위해서는 고정 인터페이스의 채널 할당을 위한 기준의 선택이 중요하다. MCS는 경쟁 영역 내에서 동일한 채널을 사용하는 노드들의 수를 계산하여 이웃 노드들과 교환함으로써 채널의 부하(load) 정도를 판단하고 고정 인터페이스의 채널을 할당하기 위한 기준으로 사용한다. 그러나 이 정보는 서로 간섭할 수 있는 이웃 노드들의 집합으로 네트워크 토폴로지에 의존하므로 실질적인 채널 부하를 정확히 반영할 수 없는 문제점

이 있다. 본 논문에서는 간섭 영역 내에서 동일한 채널을 사용하는 노드들의 수뿐만 아니라 노드들에 의해서 채널이 점유되어 있는 비율을 나타내는 채널 혼잡도(channel busy degree)를 채널 부하를 평가하기 위한 기준으로 사용하여 채널을 할당하는 CAMCS(Channel busy degree Aware Multi-Channel Switching) 프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통해서 성능 개선 효과를 확인한다.

논문의 II 장에서는 CAMCS 프로토콜의 기반이 되는 MCS 프로토콜의 기본 구조와 동작 원리, 그리고 문제점을 기술한다. III 장에서는 제안된 CAMCS 프로토콜의 채널 혼잡도 측정 방법과 고정 채널 할당 알고리즘을 기술한다. IV 장에서는 시뮬레이션을 통해서 MCS와 제안된 CAMCS 프로토콜의 성능을 비교하고 결과를 분석한다. V 장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대해서 기술한다.

II. 관련 연구

다중-인터페이스와 다중-채널을 사용하여 네트워크의 성능을 향상시키려는 연구가 이루어 졌다.^[7]에서 제안된 MR-LQSR(Multi-Radio Link Quality source Routing)은 네트워크 내의 모든 노드들의 인터페이스들이 지정된 채널들로 고정되는 정적 할당 방식을 사용한다. 그러나 이용 가능한 채널 각각에 대해서 하나의 인터페이스를 할당하는 것은 비용 대비 성능 측면에서 비효율적이기 때문에 노드 당 이용 가능한 인터페이스들의 수가 이용 가능한 채널들의 수보다 작은 조건에서 인터페이스 전환에 의해서 모든 채널들을 활용할 수 있는 혼합 인터페이스 할당 방식에 대한 연구도 이루어 졌다.^[8]에서 제안된 Hyacinth는 분산 채널 할당 알고리즘의 핵심 문제인 노드들 간의 채널 의존성(channel dependency) 문제를 방지하기 위하여 각 노드에 장착된 네트워크 인터페이스 카드(NIC : Network Interface cards)들을 UP-NIC와 DOWN-NIC의 집합으로 분리하여 채널을 할당하는 방식을 사용하는데, UP-NIC와 DOWN-NIC는 모두 송수신이 가능한 인터페이스로 사용된다. Hyacinth는 모든 트래픽이 지정된 게이트웨이 노드들로 향하는 특별한 애드 혹 네트워크에서 사용하기 위해서 설계되었다.^[5-6]에서 제안된 MCS(Multi-Channel Switching) 프로토콜은 채널 의존성 문제를 방

지하기 위해서 이용 가능한 인터페이스들을 고정 인터페이스(FI: Fixed Interface)와 전환가능 인터페이스(SI: Switchable Interface)로 분류하여 채널을 할당하는 방식을 사용하는데, FI와 SI는 각각 수신전용과 송신전용 인터페이스로 사용된다. MCS는 네트워크 내에 위치하는 노드들 간에 자유롭게 통신할 수 있는 더 일반적인 애드 혹 무선 네트워크를 위해서 설계되었기 때문에 이더넷 애드 혹 무선 네트워크뿐만 아니라 메쉬 네트워크에서도 동작할 수 있다.

III. 다중-채널 전환 프로토콜

본 장에서는 제안하는 채널 전환 프로토콜의 이해를 돕기 위해 기존의 다중-채널 전환 프로토콜의 구조와 동작 원리에 대해서 소개한다. 다중-채널 전환 프로토콜은 반송파 감지 범위 안에 있는 노드들의 고정 인터페이스에 이용 가능한 채널 집합 내의 각각의 채널들이 고르게 사용될 수 있도록 할당함으로써, 이용 가능한 채널들 모두를 활용할 수 있도록 하는 기능을 수행한다. MCS 프로토콜은 고정 채널 정보의 유지 및 교환, 고정 인터페이스의 채널 할당, 전환가능 인터페이스의 채널 전환 등의 기능을 수행하는 요소로 구성된다. MCS 프로토콜은 각 노드에서 이용 가능한 인터페이스들의 일부는 고정 인터페이스로 할당하고, 나머지는 전환가능 인터페이스로 할당하는 혼합 할당 방식을 구현한다.

1. 인터페이스의 채널 할당

각 노드에서 수신전용 인터페이스로 사용되는 고정 인터페이스에는 할당된 채널이 변경되지 않고 오랜 시간 동안 유지되는 정적 할당 방식이 적용되며, 고정 채널들(fixed channels)로 지정된 채널들이 할당된다. 각 노드에서 송신전용 인터페이스로 사용되는 전환가능 인터페이스에는 필요할 때는 언제든지 채널 전환이 가능한 동적 할당 방식이 적용되며, 전환가능 채널(switchable channels)로 지정된 채널들이 할당된다. 초기화시 각 노드는 하나의 인터페이스를 고정 인터페이스로, 두 번째 인터페이스를 전환가능 인터페이스로 지정하며, 고정 인터페이스에 임의의 채널을 할당한다.

2. 동작 원리

그림 2는 노드 A가 노드 B를 경유하여 노드 C로 패킷들을 송신할 경우의 프로토콜 동작의 예를 보여준다. 노드 A, B, C의 고정 인터페이스들에는 초기에 각각 임의의 채널 3, 1, 2가 할당되어 있고, 전환가능 인터페이스들은 각각 채널 2, 3, 1로 설정되어 있다고 가정한다. 첫 번째 단계에서, 노드 A는 패킷을 전송하기 전에 채널 2로 설정되어 있는 전환가능 인터페이스의 채널을 노드 B의 고정 인터페이스의 채널인 1로 전환한 다음 노드 B로 패킷을 송신하고, 노드 B는 채널 1로 설정되어 있는 고정 인터페이스를 통해서 패킷을 수신한다. 두 번째 단계에서, 노드 B는 패킷을 전송하기 전에 채널 3으로 설정되어 있는 전환가능 인터페이스의 채널을 노드 C의 고정 인터페이스의 채널인 2로 전환한 다음 패킷을 송신하고, 노드 C는 채널 2로 설정되어 있는 고정 인터페이스를 통해서 패킷을 수신한다.

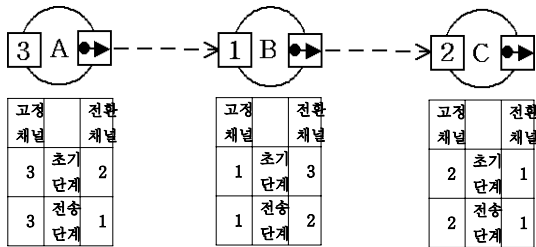


그림 1. 동작의 예

Fig. 1. Example of switching protocol operation

3. 고정 채널 정보의 유지 및 교환

각 노드는 이웃 노드들에 의해서 사용되는 고정 채널들을 포함하는 NeighborTable과 고정 채널로서 각 채널을 사용하는 2-홉 이웃에 있는 노드들의 수를 포함하는 하나의 ChannelUsageList를 유지한다. 각 노드는 주기적으로 자신이 사용하고 있는 고정 채널과 현재 NeighborTable을 포함하는 헬로우 패킷을 채널마다 방송한다. 이웃으로부터 헬로우 패킷을 수신한 노드는 이웃의 고정 채널 정보를 사용하여 NeighborTable을 갱신한다. 또한, 2-홉 채널 사용량 정보를 포함하도록 보장하기 위하여 이웃의 NeighborTable를 사용하여 ChannelUsageList를 갱신한다.

4. 고정 채널의 할당

각 노드는 새로운 헬로우 패킷을 전송하기 전에 ChannelUsageList를 참조한다. 만일 자신과 동일한 고정 채널을 사용하는 다른 노드들의 수가 크면, 노드는 고정 채널들의 빈번한 변경을 회피하기 위하여 임의의 확률 $p(0.4$ 로 설정)에 의해서 고정 채널을 더 적게 사용되는 채널로 변경한다. 이후에, 노드는 이웃들의 고정 채널을 알리는 하나의 헬로우 패킷을 전송한다.

5. MCS의 문제점

다중 인터페이스와 다중 채널의 사용하는 MCS 프로토콜에서는 패킷 전송 전에 송신 노드가 각 노드에 의해서 지역적으로 관리되는 고정 채널 정보 테이블을 참조하여 송신 노드의 전환가능 인터페이스의 채널을 수신 노드의 고정 채널로 전환하므로 송신노드와 수신노드 간의 동기화가 필요하지 않다. 또한, 각 노드는 고정 인터페이스의 채널을 이용 가능한 채널들 전체에 걸쳐서 균형 있게 할당하므로 모든 채널들이 활용될 수 있고, 하나의 이웃에서 경쟁하는 노드들의 수를 의미 있게 감소시킬 수 있다. 하지만, MCS에서는 간섭 영역 내에서 동일한 채널을 사용하는 노드들의 수만을 근거로 고정 채널을 변경한다. 그러나 이러한 경우, 잠재적으로 채널에 트래픽을 부과할 가능성이 있는 대상의 수를 계산하여 네트워크 전체에 걸쳐 채널을 균형 있게 분산시키는 효과를 얻을 수 있지만, 특정 채널 상에서 데이터를 전송하고 있지 않은 노드들까지 채널에 트래픽을 부과하는 대상으로 포함하기 때문에 현재 채널의 부하 상태를 정확히 파악할 수 없고 고정 채널의 변경을 통하여 네트워크 전체에 걸쳐 고정 채널의 부하를 균형 있게 분산시키는 효과를 얻을 수 없는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 MCS의 고정 채널 할당 알고리즘에 채널에 부과되는 트래픽 부하를 반영하는 채널 혼잡도를 결합하여 성능을 개선한다.

IV. 제안된 CAMCS 프로토콜

1. 채널 혼잡도의 측정 및 교환

IEEE 802.11 표준의 기본적인 매체 접근 제어 (medium access control) 방식인 DCF(Distributed Coordination Function)의 경우, CSMA/CA(Carrier

Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 기반으로 RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send) 기법을 사용한다. DCF에서는 0에서 최소 경쟁 윈도우(minimum contention window) 사이의 임의(random)의 값과 슬롯 타임(slot time)이 곱해진 값으로 설정된 백오프 타이머(backoff timer)를 매체가 점유되지 않은 유휴 시간(idle time)만큼씩 감소시켜 나가다 가장 먼저 0 값에 도달한 노드가 매체 사용권을 획득하게 된다. 백오프 타이머가 0값에 도달하기 전에 다른 노드가 매체 사용권을 획득하게 되면, 백오프 타이머의 카운트를 중단시키고 RTS/CTS 프레임에 포함된 구간 필드(duration field)의 값으로 자신의 NAV(Network Allocation Vector) 타이머를 설정한 후 카운트를 시작한다. NAV 타이머가 0값이 될 때까지 매체 접근을 연기한 노드는 다시 백오프 타이머를 계속 동작시켜 매체 접근을 시도하게 된다.^[9] 이러한 DCF의 동작 절차로부터 각 노드의 채널 혼잡도(CBD: Channel Busy Degree)가 백오프 타이머의 시간 단편(time fraction) 값에 의존한다는 것을 알 수 있다. 백오프 타이머는 임의의 백오프 시간, 경쟁 영역(contending Area)안의 다른 노드의 전송으로 채널이 점유된 시간, 경쟁 영역 안의 다른 노드간의 전송 충돌로 채널이 점유된 시간, 제어 프레임(control frame)의 전송으로 채널이 점유된 시간(RTS/CTS 기법 적용시)과 같은 채널 혼잡도를 유발하는 시간 요소들을 반영한다.

본 논문에서는 경쟁 영역안의 노드들 간의 채널 사용권을 획득하기 위한 경쟁, 매체에 부과된 트래픽 부하(traffic load)등을 반영하는 성분인 채널 혼잡도를 평가하기 위하여 백오프 타이머의 사용을 제안한다. 각 노드들에 의해서 지역적으로 측정된 백오프 타이머의 시간 단편(time fraction)을 기반으로 채널 혼잡도를 평가하고 이웃 노드들 간에 교환하는 절차는 다음과 같이 수행된다.

각 노드에서는 백오프 타이머가 작동중(pending)이기 때문에 노드의 활동이 일시 중단되어 있는 시간의 단편인 FBTi(Fraction of Backoff Timer)를 채널별로 측정(자신의 고정 채널은 제외)한 후, 자신의 고정 채널, NeighborTable, 고정 채널 혼잡도와 함께 헬로우 패킷에 포함하여 송신한다. 이웃 노드들로부터 헬로우 패킷을 수신한 노드는 이웃 노드들의 채널별 FBTi 정보를 참조하여 자신의 고정 채널에 해당하는 FBTi 값들만을 합산한 후 평균하여 자신의 고정 채널 혼잡도 CBDj를 계산한

후 다음 주기에 전송되는 헬로우 패킷에 포함하여 송신한다. 여기서 N_n 이웃 노드들의 수이다.

$$CBD_j = \frac{\sum_{\forall i=j} FBT_i}{N_n} \quad (1)$$

이웃 노드들로부터 헬로우 패킷을 수신한 노드는 이웃 노드들의 고정 채널 정보, CBDj 정보를 사용하여 NeighborTable을 갱신한다.

표 1. 이웃 테이블의 구조

Table 1. Structure of neighbor table

Node	FC	CBD
A	3	0
B	1	0.3
C	2	0.3

표 2. 채널 사용량 리스트의 구조

Table 2. Structure of channel usage list

FC	NNC	CBD
1	3	0.2
2	5	0.1
3	1	0.6
4	2	0.4
5	4	0.3

또한, 2-홉 이웃의 채널 사용 노드 수 정보와 채널 혼잡도 정보를 포함하도록 보장하기 위하여 이웃 노드들의 NeighborTable과 고정 채널 정보, 그리고 CBDj 정보를 사용하여 ChannelUsageList를 갱신한다. 헬로우 패킷은 채널별 FBTi 정보와 CBDj 정보가 추가되도록 수정되며, NeighborTable과 ChannelUsageList은 CBDj 정보가 추가되도록 수정된다.

2. 고정 채널의 할당

CAMCS Algorithm

```

consults the node's ChannelUsageList
NNCNode = Lookup_ChannelUsageList(FCNode);
C = {c1,c2,...,cn};
while C is not empty do
  NNCAverage = Compute_AverageNumber_of_Nodes_usingChannel(C);
  CBDAverage = Compute_AverageChannelBusyDegree(C);
  FCLeastNNC = Extract_FC_LeastNNC(C);
  FCLeastCBD = Extract_FC_LeastCBD_of_FCs_LessNNC(C);
end while
CBDFC_LeastNNC = Lookup_ChannelUsageList(FCLeastNNC);
if NNCNode > NNCAverage then
  p = Estimate_probability(Node);
  if p > 0.4 then
    if CBDFC_LeastNNC < CBDAverage then
      changes FCNode to FCLeastNNC
    end if
    if CBDFC_LeastNNC > CBDAverage then
      changes FCNode to FCLeastCBD
    end if
  end if
end if
transmits a hellow packet

```

그림 2. CAMCS 알고리즘
Fig. 2. CAMCS algorithm

C: 네트워크에서 이용 가능한 채널들의 수
 FC_{Node}: 특정 노드가 사용하고 있는 고정 채널
 FC_{LeastNNC}: 가장 적은 수의 노드들이 사용하고 있는 고정 채널
 FC_{LessNNC}: 특정노드의 고정 채널보다 적은 수의 노드들이 사용하고 있는 고정 채널
 NNC_{Node}: 특정 노드와 동일한 고정 채널을 사용하고 있는 노드들의 수
 NNC_{Average}: 고정 채널들을 사용하고 있는 평균 노드들의 수
 CBD_{FC_LeastNNC}: 가장 적은수의 노드들이 사용하고 있는 고정 채널의 혼잡도
 CBD_{Average}: 노드들이 사용하고 있는 고정 채널들의 평균 혼잡도

CAMCS 프로토콜은 고정 채널을 선택하기 위해서 경쟁 그룹 크기(contention group size)와 채널 혼잡도 양쪽

을 결합한 기준을 사용한다. 첫 번째 기준은 하나의 경쟁 영역 안에서 하나의 채널을 공유하는 노드들의 수로 정의되며, 채널에 부과될 것으로 예상되는 잠재적인 부하를 평가한다. 두 번째 기준은 전체 매체 시간(air time) 중에서 반송과 감지 범위 안에 있는 다른 노드들의 활동에 의해서 매체가 점유되어 있는 시간의 비율로 정의되며, 현재 채널에 부과되고 있는 부하를 평가한다. 따라서 CAMCS 알고리즘은 현재와 미래의 부하 양쪽을 모두 고려하여 채널을 할당함으로써 부하 분산과 채널 분산을 동시에 이룰 수 있다.

V. 실험 및 결과

1. 시뮬레이션 조건

제안된 CAMCS 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서는 각 노드에서 다중-채널과 다중-인터페이스를 지원해야만 한다. 그러나 ns-2에서는 이러한 특징들을 지원하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 [10]을 참조하여 다중-채널과 다중-인터페이스를 지원하도록 ns-2를 확장했다. IEEE 802.11 표준의 기능들이 변경 없이 수행될 수 있도록 제안된 인터페이스 스위칭 프로토콜은 ns-2에 있는 기존의 DSR 에이전트(agent)에 통합 구현되었다. CAMCS 프로토콜의 성능은 처리량, 단대단 지연, 패킷 전달률의 관점에서 MCS 프로토콜과 비교되었다. 모든 시뮬레이션에서 네트워크를 구성하는 각 노드들에는 2개의 IEEE 802.11a 인터페이스들이 장착되었고, 각 인터페이스에서는 5개의 비-간섭(non-interfering) 채널들이 사용되었으며, 인터페이스 스위칭 지연은 1ms로 가정되었다. 각 시뮬레이션의 구간은 100초로 설정되었다.

2. 성능 평가

트래픽 부하에 따른 CAMCS 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 500m x 500m 크기의 영역 안에 랜덤하게 위치하고 있는 50개의 정지된 노드들로 구성된 10개의 네트워크 토폴로지를 생성하였다. 각각의 토폴로지에서 1에서 10까지의 노드 쌍들을 랜덤하게 선택하여 CBR 트래픽 플로우들을 발생시키고 10개 토폴로지에 대한 결과값을 평균하여 플로우 수의 변화에 따른 처리량, 단대단 지연, 패킷 전달률의 변화를 MCS를 사용했을 때 얻어진 결과들을 기준으로 정규화하여 표시하였다. 각 플로

우의 속도는 0에서 9 Mbps 사이에서 랜덤하게 선택되었다.

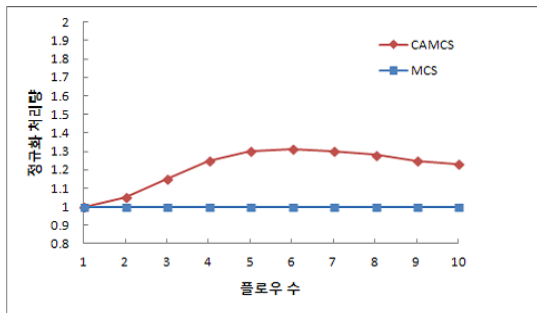


그림 3. 처리량
Fig. 3. Throughput

그림 3은 MCR에 대한 CAMCS 프로토콜의 트래픽 부하의 변화에 따른 정규화 처리량 (normalized throughput)의 개선 효과를 보여준다. 앞에서 언급한 것처럼 MCS와 CAMCS 프로토콜에서는 이용 가능한 특정 채널 집합을 네트워크 내에서 공동으로 사용한다. 따라서 각 경로 상의 홉 간에는 서로 다른 고정채널을 사용할 가능성이 높지만, 서로 다른 경로 상의 홉 간에는 동일한 고정 채널을 사용할 가능성이 높아진다. 플로우들의 수가 작을 때는 플로우들이 네트워크 전체에 걸쳐 넓게 분산될 가능성이 커지므로 네트워크 내에서 플로우들이 서로 채널을 공유할 가능성이 적어진다. 이러한 경우 각 홉에서 사용되는 고정채널의 트래픽 부하는 아주 작거나 거의 없기 때문에 CAMCS의 처리량은 MCS와 같거나 약간 개선되는 결과를 보인다. 그러나 플로우들의 수가 어느 정도 커지게 되면 네트워크 내에서 트래픽을 발생하는 노드들의 밀집도가 증가하게 되어 네트워크 내에서 플로우들 간에 서로 채널을 공유하게 되는 비율도 커지게 되고 각 홉에서 사용되는 고정채널의 트래픽 부하 역시 어느 정도 증가하게 된다. 이러한 경우에는 CAMCS가 MCS보다 최대 31% 정도 개선된 처리량을 보이는데, 이는 간섭 영역 내에서 채널을 공유하는 노드들의 수뿐만 아니라 트래픽으로 인하여 실제로 채널이 점유되는 양을 표시하는 채널혼잡도를 기준으로 고정 채널을 변경하는 CAMCS 프로토콜이 채널을 공유하는 노드들의 수만을 기준으로 고정 채널을 변경하는 MCS 프로토콜보다 고정 채널의 트래픽 부하 정도를 더 정확히 평가할 수 있기 때문이다. 또한, 플로우들의 수가 계속 증가하여 네

트워크 내에서 트래픽을 발생하는 노드들의 밀집도가 아주 커지게 되면 특정 플로우가 통과하는 홉 상의 채널들 모두가 다른 플로우들이 통과하는 홉과 완전히 공유되는 상태가 되어 경로를 구성하는 각 홉 상의 고정채널에 부과되는 트래픽 부하는 아주 높아지게 된다. 이러한 경우 채널 부하 분산 효과에 의한 CAMCS 프로토콜의 처리량 개선은 약간 감소하게 된다.

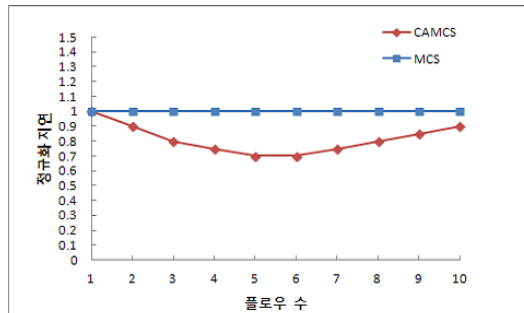


그림 4. 단-대-단 지연
Fig. 4. End-to-end delay

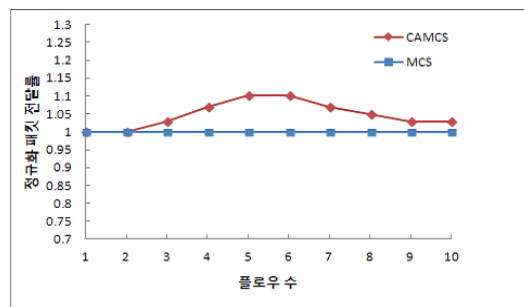


그림 5. 패킷 전달률
Fig. 5. Packet Delivery Ratio

그림 4와 5는 MCR에 대한 CAMCS 프로토콜의 트래픽 부하의 변화에 따른 정규화 단-대-단 지연 (normalized end-to-end delay)과 정규화 패킷 전달률 (normalized packet delivery ratio)의 개선 효과를 보여준다. 네트워크 내에서 동시에 전송되는 플로우들의 수가 작을 때는 각 홉에서 사용하는 고정 채널 상에서의 간섭과 경쟁이 거의 없기 때문에 CAMCS의 단-대-단 지연과 패킷 전달률의 개선 효과는 미미하다. 그러나 동시에 전송되는 플로우들의 수가 증가함에 따라 각 채널 상에서의 경쟁과 충돌로 인하여 패킷 손실률(packet loss rate)과 패킷 폐기률(packet drop rate)이 증가하게 되는

데, 이러한 경우 각 고정 채널에 부과되는 트래픽 부하를 분산시켜 각 채널에서의 경쟁과 충돌을 감소시키는 CAMCS의 단-대-단 지연과 패킷 전달률에 대한 개선 효과는 커지게 된다.

VI. 결론

분산 채널 할당 방식을 사용하는 무선 애드 hoc 네트워크에서는 이용 가능한 채널 집합 전체에 걸쳐서 고르게 채널을 할당함으로써 간섭 영역 내의 데이터 전송 간에 경쟁을 감소시켜 네트워크 전체의 성능을 개선한다. 따라서 채널의 변경을 결정하는 기준의 선택은 중요하다. 본 논문에서는 기존의 MCS에서 고정 채널 변경의 기준으로 사용하는 간섭 영역 내의 노드들의 수에 실제 전송을 위해서 채널이 점유되는 시간을 나타내는 채널 혼잡도를 결합하여 사용함으로써 실제 채널의 부하 상태를 정확히 파악하여 채널을 변경하고 네트워크 전체의 채널 분산뿐만 아니라 채널 부하 분산까지 이룰 수 있는 CAMCS 프로토콜을 제안했다. 또한, 트래픽 부하에 변화에 따른 CAMCS 프로토콜의 성능을 MCS 프로토콜의 성능과 비교하여 평가함으로써 처리량, 단-대-단 지연, 패킷 전달률 측면에서 의미 있는 개선효과가 있음을 보였다. 또한, 링크 계층의 채널 부하 분산 효과를 증대시키기 위해서는 라우팅 계층에서 경로를 선택할 때 링크의 부하 상태를 반영하는 메커니즘이 필요할 것으로 생각된다. 따라서 추후 이 부분에 대한 연구를 수행할 계획이다.

References

[1] 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.

[2] J. So and N. H. Vaidya, "Multi-channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals using a Single Transceiver", in ACM Mobihoc, 2004.

[3] N. Shacham and P. King, "Architectures and Performance of Multichannel Multihop Packet

Radio Networks", IEEE Journal on Selected Area in Communication", 1987.

[4] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Interface Assignment in Multi-Channel Multi-Interface Wireless Networks", in IEEE WCNC, 2005.

[5] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing in Multi-Channel Multi-Interface Ad Hoc Wireless Networks", in Technical Report of UIUC, December 2004.

[6] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and link-layer protocols for mul-channel multi-interface ad hoc wireless networks" Mobile Computing and Communications Review, 2006.

[7] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks", In ACM MobiCom, 2004.

[8] A. Raniwala and T. Chiueh, "Architecture and Algorithms for an IEEE 802.11 Based Multi-Channel Wireless Mesh Networks", in IEEE Infocom, 2005.

[9] IEEE 802.11 Working Group, IEEE 802.11-2007: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, 2007.

[10] R. A. Calvo and J. P. Campo, "Adding Multiple Interface Support in NS-2", University of Cantabria, 2007

저자 소개

임 현 주(정회원)



- 1987년 : 명지대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1990년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2001년 : 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 수료
- 2013년 : 대은전자(주) 통신기술개발팀

<주관심분야 : 에드 혹 네트워크, 센서 네트워크>

정 수 경(정회원)



- 1996년 : 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
- 1998년 : 부경대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2010년 : 건국대학교 대학원 전자정보통신공학과 졸업(공학박사)

<주관심분야 : 무선데이터통신, IEEE 802.11e, 멀티미디어>

이 성 화(중신회원)



- 1989년 : 건국대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)
- 1991년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1998년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1991~1993년 : 롯데전자(주) 연구원

• 1999~현재 : 제주한라대학교 정보통신과 교수, 창업보육센터 소장
<주관심분야 : 정보통신, 스마트 컴퓨팅 시스템, 정보보안>

박 인 갑(정회원)



- 1973년 : 고려대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1975년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2006년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1980년~현재 : 건국대학교 전자공학부 교수

<주관심분야 : 컴퓨터네트워크, parallel processing>