

QoS를 보장하는 Multi-Hop Ad Hoc Network용 Single-channel Jamming 신호 기반의 MAC 프로토콜

김영만^o 한왕원
국민대학교 컴퓨터학부
{ymkim^o, wwhan}@kookmin.ac.kr

QoS-aware MAC protocol based on Single-channel Jamming Signal in the Multi-Hop Ad Hoc Network

Young Man Kim^o, Wang Won Han
School. of Computer Science, Kookmin University

요 약

최근의 컴퓨터 네트워킹 환경에서 무선 멀티미디어 응용 서비스에 대한 사용자의 요구는 날로 증가하고 있다. 그러므로 사용자에게 원활한 서비스를 제공위해서 QoS 보장을 위한 무선 네트워크 프로토콜의 설계는 중요하다. 본 논문에서는 무선 인터넷에서 QoS를 보장하기 위한 표준인 IEEE 802.11e[1]의 문제점들을 분석하고, Multi-Hop Ad Hoc Network에서 성능 향상을 위하여 Single-channel Jamming 신호를 기반으로 한 SJMAC(Single-channel Jamming MAC) 프로토콜을 설계하고, NS2 모듈을 구현한 후에 성능 평가를 하였다. 기존 IEEE 802.11e과의 성능 비교를 위하여 NS2 (Network Simulator2)[2]에 SJMAC 모듈을 추가하여 제안된 프로토콜의 성능을 검증한다.

1. 서 론

최근 5년 동안 라이프 및 비즈니스 스타일은 전세계적으로 이동화 추세가 급증하고 있다. 결과적으로 전통적인 통신 방식은 새로운 라이프 스타일에 의해 제기되는 환경에 대응하기에 적합하지 않다. 사용자가 물리적인 케이블에 연결된 상태에서 통신을 해야 한다면, 이동성은 극적으로 제한 받게 된다. 하지만 무선 통신을 이용하면, 이러한 제한 사항을 제거하고 통신을 이용하면서도 어느 정도 자유로운 이동이 가능하다. 컴퓨터 네트워킹 환경에서도 이러한 광범위한 이동화 추세가 급격하게 증가하고 있으며 이러한 추세와 함께 사용자들의 무선 멀티미디어 응용서비스에 대한 요구는 증가하고 있다.

컴퓨터 네트워킹 환경에서 QoS보장을 위한 무선 인터넷 프로토콜 표준인 IEEE 802.11e에는 중앙 집중적인 제어 없이도 다중 스테이션이 상호 작용할 수 있도록 해주는 DCF(Distribution Coordination Function)방식과 무경쟁 서비스가 필요할 때 중앙 집중 접근 제어 방법을 사용하는 PCF(Point Coordination Function)방식이 있다.

하지만 IEEE 802.11e의 DCF방식은 Frame Collision, Transmission Error, Incoming Mobile Node 등의 문제점에 의해서 제대로 된 성능을 낼 수 없었다. 따라서 이러한 DCF방식의 문제점들을 해결할 수 있다면 보다 나은 성능 향상을 가져올 수 있을 것이다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 jamming 신호를 이용한 기존의 JMAC(jamming MAC) 프로토콜[3]은 두개의 채널을 사용하고 각 채널은 RTS, CTS, DATA, ACK와 jamming 신호를 같이 처리한다. 따라서 실제로 구현 시에는 상당한 어려움이 따른다. 하지만 본 논문에서 제안하는 SJMAC(Single-channel Jamming MAC)은 두개의 채널을 사용하는 것에서는 JMAC과 동일하지만 RTS, CTS, DATA, ACK를 전송하는 채널과 jamming 신호만을 전송하는 채널(Single-channel Jamming)로 나눔으로써 JMAC보다 쉽게 구현이 가능하다.

본 논문에서는 802.11e의 성능이 향상될 수 있도록 DCF방식에서 Single-channel Jamming 신호를 기반으로 하는 SJMAC 프로토콜을 설계하고, NS2(Network Simulator2)에 SJMAC 모

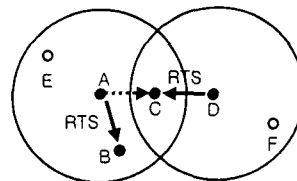
듈을 추가하여 SJMAC과 IEEE 802.11e의 성능을 비교 평가하였다.

2. IEEE 802.11e 의 문제점

802.11e에서 성능 저하의 주요 원인으로서는 Frame Collision, Transmission Error, Incoming Mobile Node 문제 등이 있다. 이 절에서는 이러한 문제점들에 대해 구체적으로 알아보고 다음 절에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위한 새로운 프로토콜을 제안한다.

2.1. Frame Collision 문제

[그림 1]은 Frame Collision을 설명하고 있다. 노드 A와 D는 각각 노드 B와 C에게 데이터를 전송하기를 원한다. 데이터를 전송하기 위해서 노드 D는 C에게 RTS를 보낸다. 하지만 노드 D가 보낸 RTS를 노드 C가 수신 완료 하기 전에 노드 A가 B에게 RTS를 보내면, 노드 C에서 수신중이던 노드 D의 RTS와 노드 A의 RTS는 서로 충돌하여 모두 망가지게 된다. 이로 인해 노드 D의 영역 안에서 RTS를 수신한 노드 F는 일정 시간 동안 아무 일도 할 수 없게 되며 노드 D는 노드 C에게 RTS 메시지를 재전송하여야 하며 만약 노드 B가 노드 A에게 CTS 메시지를 통신하는 중이라면 두번째 충돌이 노드 C에서 일어나 심각한 성능 저하 요인이 된다.

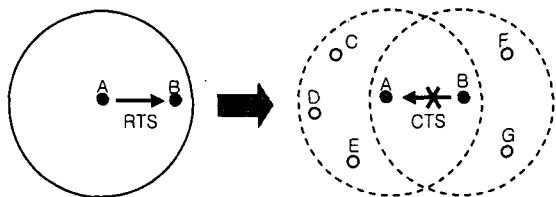


[그림 1] Frame Collision

2.2. Transmission Error 문제

[그림 2]는 Transmission Error의 한 예를 보여주고 있다. 노드 A가 전송한 RTS를 노드 B는 성공적으로 수신하였지만, 노드 B가 A에게 전송한 CTS가 전송 에러에 의해서 망가졌어도, 노드 A가 전송한 RTS를 수신한 노드 C, D, E와 노드 B가 전송한

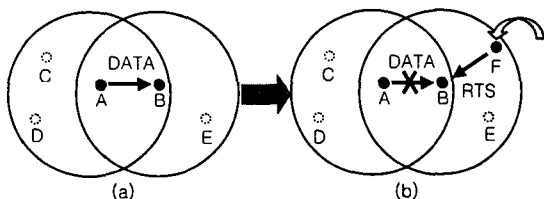
CTS를 수신한 노드 F와 G는 NAV(Network Allocation Vector) 기간동안 대기상태로 들어가 NAV가 완료되기를 기다린다. 하지만 노드 A와 B 사이에는 실제로 데이터 송수신이 일어나고 있지 않으므로 A와 B영역안의 모든 노드들은 NAV상태에 있는 동안 전송 시간을 낭비하게 되는 것이다.



[그림 2] Transmission Error

2.3. Incoming Mobile Node 문제

무선 인터넷 환경에서는 노드의 이동이 자주 발생한다. 하지만 802.11은 이러한 노드의 이동성에 대해 고려하지 않고 있으며 이와 관련된 대표적인 문제점이 Incoming Mobile Node 문제이다. [그림 3]은 Incoming Mobile Node 문제와 관련된 예를 설명하고 있다.



[그림 3] Incoming Mobile Node

[그림 3]의 (a)에서 노드 A와 B는 RTS, CTS를 성공적으로 서로 주고 받아 주변노드들의 방해 받지 않고 데이터를 송수신하고 있는 중이었다. B가 모든 데이터를 수신하기 전에 그림 (b)에서 보이는 바와 같이 새로운 노드 F가 B의 영역에 진입하였을 때 F는 NAV상태가 아니기 때문에 RTS의 전송을 시도한다. 하지만 F가 수신한 RTS는 B가 수신하게 되어 B가 수신중이었던 데이터와 충돌하게 되므로 수신중이던 데이터는 망가지게 된다. 이러한 문제를 Incoming Mobile Node 문제라고 한다.

3. SJMAC(Single-channel Jamming MAC) Protocol

이번 절에서는 앞에서 설명한 802.11e의 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 Single-channel Jamming 신호에 기반한 SJMAC 프로토콜을 제안한다.

3.1. 문제점 해결을 위한 접근방법

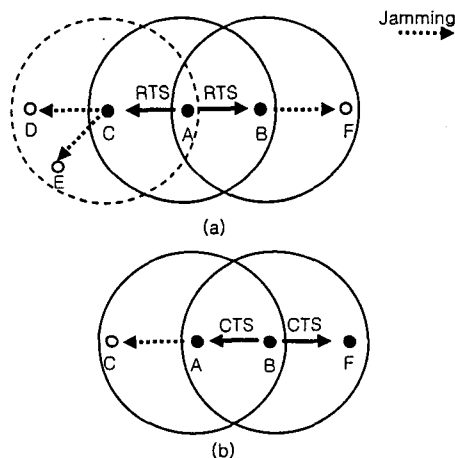
기존의 802.11e은 hidden terminal 문제를 해결하기 위해서 하나의 채널을 사용하여 RTS, CTS, DATA, ACK를 노드들 간에 주고 받는다. 하지만 RTS를 수신하고 있는 동안에 수신노드의 주변 노드들은 수신노드가 RTS를 수신 중인지 알 수 있는 방법이 없으므로 메시지 전송을 시도하게 되고 수신노드의 RTS는 망가지게 된다. 또한 수신중이던 RTS가 망가져어도 주변의 다른 노드들은 망가진 사실을 알 수 없으므로 쓸데없이 NAV상태에 있게 되어 대역폭의 낭비를 가져온다.

본 논문에서 제안하는 SJMAC은 RTS 충돌을 방지하고 메시지가 망가진 사실을 즉시 주변노드들에게 알려주기 위한 방법으로 jamming 신호를 사용한다. 또한 jamming 신호와 기존의 메시지를 간에 충돌이 발생하는 것을 방지하기 위해서 채널을 두개로 나누어 사용하는데 하나의 채널은 RTS, CTS, DATA, ACK를 주고 받기 위해 사용하고 다른 채널은 jamming 신호만을 위해서 사용한다.

2개의 채널을 사용한다는 것은 하나의 채널을 사용했던 프로토콜보다 더 많은 주파수 대역을 사용하는 것이 아니라 같은 주파수 대역을 두 개의 채널로 나누어 사용하지만 jamming 신호를 위한 채널은 매우 좁은 주파수 대역만을 할당하므로 데이터 채널에 미치는 영향은 아주 적다.

3.2. 데이터 전송 과정

SJMAC 프로토콜의 데이터 전송과정을 구체적인 예를 들어 설명해 보도록 하겠다. [그림 4]는 SJMAC 프로토콜의 기본적인 동작과정을 나타내고 있는데 노드 A가 노드 B에게 데이터를 전송하기 원한다고 가정하자. [그림 4]의 (a)에서 보는 바와 같이 데이터를 전송하기 전에 노드 A는 RTS를 노드 B에게 전송하고 RTS의 첫번째 비트를 수신하자마자 노드 B는 RTS와는 다른 채널로 주변 노드들에게 jamming 신호를 내보내 수신중인 RTS가 망가지는 것을 방지한다. 노드 A의 영역안에 있는 노드 C 역시 노드 A의 RTS를 수신하게 되는데 RTS를 모두 전송받기 전까지는 RTS의 수신노드가 누구인지 알 수 없으므로 노드 C는 주변 노드들에게 jamming 신호를 내보내게 된다. jamming 신호를 수신하는 동안에 노드 D, E, F는 다른 노드들에게 메시지를 전송할 수 없게 된다.

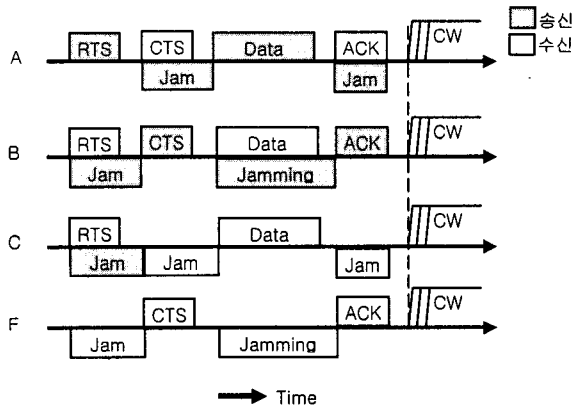


[그림 4] RTS, CTS 전송 과정

[그림 4]의 (b)는 데이터 전송을 위한 다음 단계를 설명해 주고 있다. RTS를 모두 수신한 노드 B는 그에 대한 응답으로서 노드 A에게 CTS를 전송하고, CTS를 수신하는 노드 A는 (a)의 RTS 때와 마찬가지로 주변 노드들에게 jamming 신호를 내보내 CTS가 망가지는 것을 방지한다. 또한 노드 F는 jamming 신호에 이어 CTS를 수신하였기 때문에 jamming 신호를 보내지 않는다.

마지막으로 DATA나 ACK 역시 jamming 신호를 사용해서 메시지가 망가지는 것을 예방하는데 DATA의 경우에 DATA를 수신하게 된 모든 노드가 jamming 신호를 내보내는 것이 아니라 이전에 받은 RTS에 저장된 목적지 주소가 자신의 주소와 일치하는 노드만이 jamming 신호를 내보내게 된다.

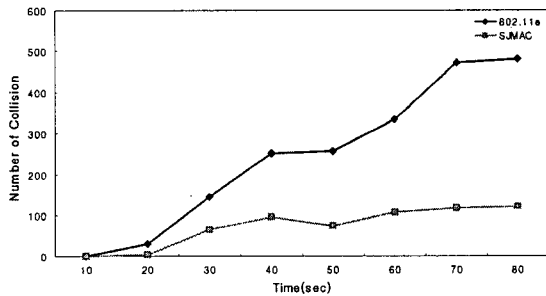
[그림 5]는 [그림 4]에서의 각 노드가 시간이 흐름에 따라 송신하거나 수신중인 메시지의 종류 및 jamming 신호의 송수신 여부를 나타내고 있다.



[그림 5] 시간 흐름에 따른 데이터 전송 과정

4. 성능 평가

SJMAC 프로토콜의 성능을 802.11e와 비교평가하기 위해 NS2 환경에서 SJMAC 프로토콜 모듈을 구현하였다. 멀티홉 환경을 시뮬레이션하기 위해 32개의 노드들을 임의로 배치하고 100Mbps의 대역폭으로 고정하였으며 우선순위가 다른 16개 노드가 2~3홉 떨어진 다른 노드에게 전송하는 트래픽의 양을 10초마다 증가시키며 RTS의 충돌 횟수와 수신한 데이터량의 변화를 관찰하였다.



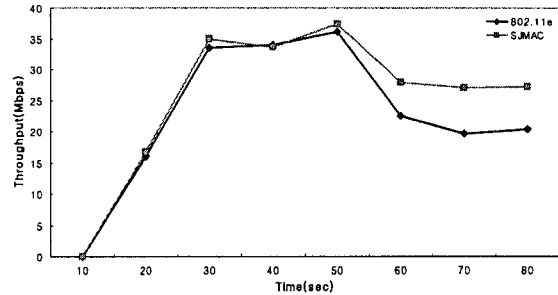
[그림 6] RTS 충돌 횟수

[그림 6]은 트래픽의 변화에 따른 802.11e와 SJMAC의 RTS 충돌 횟수를 나타내고 있는데 802.11e는 SJMAC에 비해서 3배 정도 RTS의 충돌 횟수가 더 많다. RTS를 보내고 일정시간이 지나도록 CTS 응답이 없다면 송신노드는 RTS를 재전송하게 되는데 RTS의 재전송 횟수가 Threshold를 넘어서면 전송하려던 데이터는 버려지게 된다. RTS의 충돌이 많아지면 이렇게 버려지는 데이터의 양이 증가하게 되어 수신 노드에서 처리 되는 데이터의 양은 감소하게 된다.

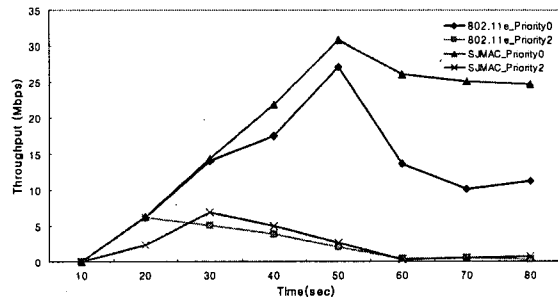
또한 802.11e에서는 RTS, CTS, ACK 프레임 크기보다 상대적으로 큰 데이터 프레임의 충돌이 산재하고 있다. 이렇게 데이터 프레임의 충돌이 일어나면 해당 프레임 시퀀스는 무시되며 대역폭 낭비를 가져온다. 하지만 SJMAC에서는 RTS 충돌이 전체 충돌 횟수의 대다수를 차지하며 RTS 충돌 횟수도 802.11e에 비하여 최대 3배 이상 적은 것을 확인할 수 있다.

네트워크에 가해지는 트래픽이 증가 할수록 RTS의 충돌 횟수가 적은 SJMAC이 802.11e에 비해서 [그림 7]에서 보는 바와 같이 수신 노드에 의해 처리 되는 데이터의 양이 더 많은 것을 알 수 있다. 이는 약 20%의 성능효과를 가져온 것이라 판단할 수 있다.

[그림 8]은 802.11e와 SJMAC의 우선순위에 따른 데이터 수



[그림 7] 802.11e와 SJMAC 총 데이터 수신량 비교



[그림 8] 802.11e와 SJMAC 우선순위별 데이터 수신량 비교

신량을 보여주고 있는데 802.11e은 50초를 경계로 높은 우선순위를 가지는 노드들의 수신량이 급격히 떨어지는 반면 SJMAC은 802.11e에 비해 우선순위가 높은 노드들의 수신량이 유지된다.

5. 결론

10년 전과는 달리 온라인이라는 장거리에서의 서비스 이용 가능성은 무한한 부가가치를 창출하였다. 최근 들어, 은행, 주식, 게임, 음악 등 많은 분야에서 없어서는 안될 온라인서비스 사용은 점점 더 많고 질 높은 서비스를 요구하고 있다. 하지만 이런 서비스 요구에 부응하는 무선 인터넷 프로토콜이 아직 출현하지 못하고 있는 것이 현실이다. 기존 무선랜 대역폭의 20%밖에 이용할 수 없기에 이동 중에 멀티미디어 등의 질 높은 서비스에 제한을 받게 될 뿐만 아니라 시장규모가 매우 큰 무선서비스 사업에 큰 걸림돌이 되고 있다.

본 논문에서는 무선 인터넷 프로토콜 표준인 IEEE 802.11e의 문제점들을 분석하고, 성능향상을 위하여 Single-channel Jamming 신호를 기반으로 한 SJMAC (Single-channel Jamming MAC) 프로토콜을 설계한 후, NS2 모듈 구현 하에 성능 평가를 하였다. 그 결과 IEEE 802.11e에 비해 더 나은 성능을 보임으로써 SJMAC의 유효성을 입증하였다. 이러한 SJMAC을 활용하여 높은 데이터 전송률을 통한 무선 통신을 이용한다면, 이동 중 자유롭고 높은 수준의 서비스를 제공하는 것이 가능하다.

6. 참고 문헌

[1] IEEE 802.11 WG, Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN Specific Requirements - Part 11: Wireless Medium Access Control(MAC) and physical layer(PHY) specifications: Medium Access Control(MAC) Enhancements for Quality of Service(QoS), IEEE 802.11e/D3.3.2, Nov. 2002.
 [2] Ns-2 Document, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
 [3] Shiang-Rung Ye, You-Chiun Wang, and Yu-Chee Tseng, A jamming-Based MAC Protocol to Improve the Performance of Wireless Multihop Ad Hoc Networks