일반논문-09-14-1-05

새로운 전송률 적응기법을 통한 효율적인 비디오 스트림 전송 메커니즘

이 선 헌[a], 정 광 수[a]‡

Efficient Video Streaming Mechanism through a New Rate Adaptation Scheme

Sunhun Lee[a], and Kwangsue Chung[a]‡

요 약

무선랜 환경에서 효율적인 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서, 네트워크 하위 계층은 무선 채널의 상태 변화에 적응적으로 전송모드를 조절할 수 있어야 하며, 상위 계층의 비디오 스트리밍 응용은 선택된 전송모드에 따라 적절히 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절할 수 있어야 한다. 상대적으로 높은 대역폭을 요구하는 비디오 스트리밍 응용을 위해서 본 논문에서는 새로운 전송률 적응기법을 포함하는 크로스레이어 디자인을 제안한다. 제안하는 새로운 전송률 적응기법은 연속적인 프레임 전송을 통해 무선 채널의 대역폭을 보다 효율적으로 사용하며, 전송모드별 Goodput 계산을 통해 최적의 성능을 보이는 전송모드를 선택하게 된다. 선택된 전송모드를 기반으로 무선 채널의 한계 대역폭을 계산하며, 이를 상위 계층의 비디오 스트리밍 응용에 알려줌으로써 전송되는 비디오 스트림의 품질을 조절하게 된다. 즉, 네트워크 하위 계층과 상위 계층과의 연동을 통해 무선랜 환경에서 보다 효율적인 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 수 있게 된다. 시뮬레이션을 이용한 성능 검증을 통해 제안하는 새로운 전송률 적응기법의 성능 향상을 검증하였으며 크로스레이어 디자인을 통해 비디오 스트리밍 서비스의 품질을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

To provide efficient video streaming service over a wireless networks, the rate adaptation scheme should be applied at the low layer and the quality adaptation scheme should be considered at the high layer. In this paper, we propose a new cross-layer design which includes rate adaptation scheme at the MAC/PHY layers and quality control at the application layer. Proposed rate adaptation scheme improves the wireless channel utilization by transmitting the consecutive frames and selects optimal transmission mode by calculating the goodputs for each transmission mode. Based on selected transmission mode, the rate adaptation scheme calculates the rate limits and informs that to the application layer. Then the video streaming application utilizes this rate limits to adjust the quality of the video stream. Through performance evaluations, we prove that our cross-layer design improves the quality of the wireless video streaming service by means of the proposed rate adaptation scheme.

Key words : Wireless video streaming, Rate adaptation scheme, Cross-layer

Ⅰ. 서 론

오늘날 가정이나 사무실, 공공장소에서의 무선랜(WLAN, Wireless Local Area Network)에 대한 사용이 활발하게 이루어지고 있다. 무선랜 기술의 발전으로 인한 서비스 속도 향상과 케이블의 제약 없이 무선으로 서비스를 받을 수 있다는 편리성으로 인해 기존 인터넷 서비스뿐만 아니라 VoIP(Voice over IP)나 화상회의와 같은 멀티미디어 서비스를 위한 무선랜의 사용은 더욱 확대될 것으로 기대된다. 이러한 무선랜 기술에 대한 표준은 IEEE(Institute of Elec-

a) 광운대학교 전자공학부
Department of Electronics Engineering, Kwangwoon University
‡ 교신저자 : 정광수(kchung@kw.ac.kr)
본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임

trical and Electronics Engineers) 802.11의 여러 워킹그룹에서 진행되었으며 Wi-Fi(Wireless Fidelity) 연합에 가입된 여러 제조회사들에 의해 상품화 및 서비스가 제공되었다[1].

무선랜 표준에서는 네트워크 각 계층 중에서 MAC (Medium Access Control) 계층과 PHY(Physical) 계층의 규격을 정의하고 있다. MAC 계층에서는 개방된 형태의 무선 채널에 대한 경쟁 방식의 매체 접근을 제어하기 위해 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 기반의 DCF(Distributed Coordination Function)를 필수 기능으로 정의하고 있으며, 부가적으로 비경쟁 방식의 매체 접근인 PCF(Point Coordination Function)를 명시하고 있지만 실제 무선랜 디바이스에서는 대부분 DCF만을 구현하고 있다. 무선랜의 PHY 계층에서는 서로 다른 변조(modulation) 및 채널 코딩 기법을 사용하여 여러 전송모드를 지원하고 있다[2-4].

무선 채널의 상태는 채널 에러나, 간섭(interference), 페이딩(fading), 그리고 노드의 이동성(mobility) 등으로 인해 지속적으로 변화하는 특성을 갖는다. 이러한 특징은 무선 채널의 대역폭을 제한시키게 되며 상대적으로 높은 대역폭을 요구하는 비디오 스트리밍과 같은 멀티미디어 서비스의 품질을 저하시키게 된다. 무선랜 환경에서 효율적인 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서, 네트워크 하위 계층에서는 무선 채널의 상태 변화에 대해서 최적의 성능을 보일 수 있는 전송모드를 선택해야 하며, 상위 계층의 스트리밍 응용은 하위 계층에서 선택된 전송모드를 기반으로 비디오 스트리밍 서비스의 품질을 조절할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 무선랜 환경에서 효율적인 비디오 스트리밍 서비스 제공을 위한 네트워크 상위 계층과 하위 계층 간의 크로스레이어 디자인을 제시한다. 네트워크 하위 계층에서는 무선 채널의 상태 변화에 따라 최적의 성능을 나타낼 것으로 기대되는 전송모드를 선택하는 새로운 전송률 적응기법(rate adaptation scheme)을 제안한다. 또한 상위 계층의 스트리밍 서비스 응용은 하위 계층의 전송률 적응기법을 통해 결정된 전송모드를 기반으로 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절하게 된다. 즉, 상위 응용 계층과 하위 MAC/PHY 계층 간의 크로스레이어(cross-layer) 디자인을 통해서 상위 계층의 스트리밍 응용은 하위 계층에서 제공하는 채널 대역폭 정보를 활용하여 무선랜 환경에서 제공되는 비디오 스트리밍 서비스의 품질을 향상시키게 된다. 이를 위해 무선 채널의 대역폭을 보다 효율적으로 사용할 수 있는 새로운 전송률 적응기법을 제안하며 크로스레이어 디자인을 이용한 네트워크 하위 계층과 상위 응용 계층 간의 연동을 통해 무선 환경에서의 비디오 스트리밍 서비스의 품질을 향상시킬 수 있음을 확인할 것이다.

본 논문의 2장에서는 제안하는 기법과 관련하여 기존 연구들에 대해서 기술하였으며, 본 논문에서 제안하는 전송률 적응기법과 간단한 품질 적응기법, 그리고 두 계층 간의 크로스레이어 디자인에 대해서 3장에 상세히 기술하였다. 4장에서는 성능 검증을 위한 실험 환경 및 성능 검증 결과를 기술하였으며, 끝으로 5장에서 결론을 맺었다.

II. 관련 연구

1. 무선랜의 매체 접근 기법

DCF는 IEEE 802.11 무선랜 시스템의 필수적인 무선 매체 접근 기법으로서 여러 노드들이 무선 매체를 동시에 사용하고자 할 경우에 발생할 수 있는 충돌(collision)을 줄이기 위해 CSMA/CA 방식으로 동작한다. 그림 1에서는 IEEE 802.11 DCF의 매체 접근 제어 방식인 CSMA/CA의 동작을 나타내었다. 각 DCF 노드는 전송할 데이터가 있으면 반송파 감지(carrier sensing)를 수행하여 무선 매체의 휴지상태(idle) 여부를 확인한다. 만약 매체가 DIFS(DCF Inter-Frame Space) 동안 휴지상태일 경우, 데이터 프레임의 전송이 가능하지만 다른 노드에 의해 사용 중인 상태(busy)일 경우에는 프레임 전송을 다음으로 미루게 된다. 또한 데이터 프레임을 전송할 경우에도 바로 프레임을 전송할 경우에 충돌이 발생할 가능성이 있으므로 백오프(backoff) 절차를 수행하여 충돌이 발생할 가능성을 최소화시킨다[3~5].

백오프 타이머는 0부터 경쟁윈도우(CW, Contention Window)라고 불리는 구간사이에서 랜덤하게 선택된 값으로 결정된다. 경쟁윈도우는 최소 경쟁윈도우인 CWmin과

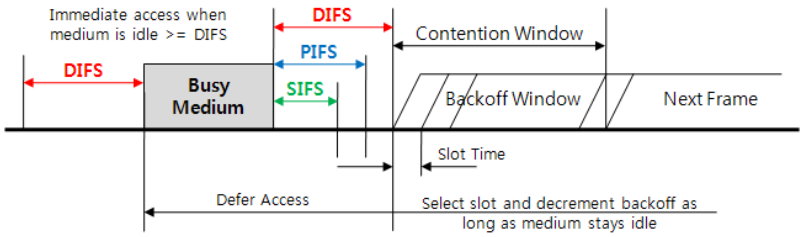

그림 1. IEEE 802.11 CSMA/CA
Fig 1. IEEE 802.11 CSMA/CA

최대 경쟁윈도우인 CWmax 사이에서 변하는 값으로 처음으로 전송을 시도하는 데이터 프레임의 경우에는 경쟁윈도우의 값이 CWmin 값과 같다. 그러나 전송한 데이터 프레임에 대해 성공적으로 ACK(Acknowledgment) 프레임을 수신하지 못하여 데이터 프레임을 재전송해야 하는 경우에는 경쟁윈도우의 값을 두 배로 늘려서 백오프 타이머를 결정한다. 즉, 데이터 프레임 전송의 성공 여부를 기준으로 경쟁윈도우의 크기를 조절함으로써 무분별한 채널 경쟁으로 인한 프레임의 충돌 가능성을 줄이는 효과가 있다[4, 6].

IEEE 802.11 DCF는 기본적으로 경쟁 기반의 무선 매체 접근 기법으로 데이터 전송 도중에 충돌이나 채널 에러에 의한 손실이 발생할 수 있다. IEEE 802.11 MAC 계층에서는 전송한 데이터 프레임에 대한 ACK 프레임을 통하여 손실 여부를 확인한다. 그리고 이러한 충돌의 가능성을 줄이기 위해 4-way 핸드쉐이크 과정을 통한 채널 예약 메커니즘을 정의하고 있다. 충돌 없이 데이터를 전송하기 위해 각 DCF 기반의 무선 노드는 프레임을 전송하기 전에 무선 채널의 상태를 감지한다. 무선 채널이 DIFS 동안 휴지상태로 존재하면 데이터 프레임 전송을 위해 RTS(Request To Send) 프레임을 전송한다. RTS 프레임을 수신한 노드는 RTS에 대한 응답으로써 SIFS(Short IFS) 후에, CTS(Clear To Send) 프레임을 송신측 노드로 전송하게 된다.

전송 범위안의 모든 DCF 기반의 다른 무선 노드들은 오버히어링(overhearing)을 통해 RTS와 CTS 프레임의 “Duration” 필드로부터 NAV(Network Allocation Vector) 값을 설정한다. NAV를 설정한 다른 무선 노드들은 현재 매체를 점유한 무선 노드의 데이터 프레임 전송이 성공적으로 수행될 수 있도록 자신의 데이터 전송을 미루게 된다. RTS에 대한 응답으로 CTS를 수신한 노드는 SIFS 만큼 대기한 후에 데이터 프레임을 충돌 없이 성공적으로 전송할 수 있게 된다. 데이터 프레임을 수신한 노드는 응답으로서 ACK 프레임을 SIFS 이후에 전송하게 된다. 송신노드가 데이터 전송에 대한 ACK 프레임을 수신하지 못할 경우, 프레임 전송 도중의 충돌 발생 또는 채널 에러에 의한 손실로 판단하고 데이터 프레임에 대한 재전송을 시도하게 된다[3~5].

표준 MAC 프로토콜에서 정의하고 있는, RTS/CTS 교환은 여러 무선 노드들이 하나의 매체를 공유하는 무선랜 환경에서 채널 예약을 통해 프레임 충돌 발생을 줄일 수 있다는 장점을 가진다. 하지만 표준에서는 AP(Access Point) 기반의 무선랜 환경에서 RTS_threshold(일반적으로 2,347 바이트)보다 큰 프레임을 전송할 경우에만 이를 사용하도록 정의하고 있다. 따라서 무선랜이 사용되는 대부분의 AP 기반 무선랜 환경에서는 이러한 RTS/CTS 교환이 거의 사용되지 않는다.

2. 전송률 적응기법

IEEE 802.11 PHY 계층에서는 서로 다른 변조 방식과 채널 코딩 방식을 조합하여 다중 전송모드를 지원한다. 하지만 현재의 무선랜 표준에서는 이러한 다중 전송모드를 무선 채널의 상태에 따라 적절하게 선택하는 전송률 적응기법에 대한 표준 메커니즘을 정의하고 있지 않다. 이를 보완하기 위해 무선 노드의 성능을 향상시키기 위한 목적으로 전송률 적응기법에 대한 연구가 활발하게 진행되었다[7~12].

전송률 적응기법은 기능상으로 무선 채널의 상태를 예측

하는 부분과 채널 상태를 기반으로 적합한 전송모드를 선택하는 부분으로 구성된다. 채널 상태 예측 부분에서는 평균 처리율(Throughput)이나 패킷 손실 정보(BER, PER), 또는 SNR(Signal to Noise Ratio)이나 수신되는 신호의 감도(RSSI, Received Signal Strength Indicator)를 통해 채널 상태를 예측하게 되며, 일반적으로 무선 채널의 특성상 수신노드에서 좀 더 정확한 정보를 얻을 수 있다. 전송모드를 결정하는 부분에서는 무선 채널 상태 정보를 기반으로 최적의 성능을 나타낼 것이라 기대되는 전송모드를 결정하며, 일반적으로 미리 정의된 범위(threshold)를 이용하여 적절한 전송모드를 선택하게 된다.

무선랜에서의 전송률 적응기법에 관한 연구들은 크게 두 가지 접근방법으로 구분할 수 있다. 첫 번째는 통계적 수치기반의 방법(statistics-based approach)으로 평균 처리율이나, 데이터 손실율, 그리고 재전송률과 같은 통계적인 수치를 기반으로 채널 상태를 예측하게 된다. 통계적인 수치를 이용하여 채널 상태를 단순히 좋거나 나쁘다는 것으로 판단하게 되며 따라서 전송모드 조절이 인접한 모드로 단계적으로 이루어지게 된다. 두 번째는 채널 품질기반의 방법(channel quality-based approach)으로 PHY에서 제공하는 신호감도나 SNR 정보를 기반으로 무선 채널의 상태를 정량적으로 측정하고 이를 이용하여 적절한 전송모드를 선택하는 방법이다.

통계적 수치기반의 방법으로 대표적으로 ARF(Automatic Rate Fallback) 기법이 있다[7]. ARF는 Lucent의 WaveLAN-II 제품군에 구현되어 현재 가장 널리 사용되고 있는 기법으로 프레임의 전송 성공 여부와 타이머를 이용하여 전송모드를 순차적으로 조절하게 된다. 현재의 전송모드에서 2개의 연속적인 프레임전송이 실패할 경우, 한 단계 낮은 전송모드로 전송률을 감소시키게 되며, 10개의 연속적인 프레임전송이 성공할 경우, 한 단계 높은 전송모드로 전송률을 증가시키게 된다. 또한 전송률 감소 이후에, 일정 시간이 경과하면 자동으로 전송모드를 한 단계 높임으로써 높은 모드에서의 전송을 시도하게 된다. ARF의 발전된 형태로 ARF가 가지는 전송모드 조절주기를 적응적으로 조절하는 기법으로 Adaptive ARF가 제안되기도 하였다[8]. ARF로 대표되는 통계적 수치기반 방법은 근본적인 한계를 갖는다. 채널 상태를 단순히 “좋다” 혹은 “나쁘다”로 예측하므로 정량적인 상태 정보를 제공할 수 없으며 이러한 특성으로 인해 전송모드의 조절이 인접한 단계로 한 단계씩, 순차적으로 이루어지게 된다. 따라서 채널 상태 변화가 클 경우, 적절한 전송모드로 조절하는 시간이 오래 걸린다는 근본적인 한계를 가지며 이로 인해 무선 채널 사용의 효율성을 저하시킨다는 문제점을 갖는다. 하지만 무선랜 디바이스의 구현 측면에 있어서, 비교적 쉽게 구현할 수 있다는 장점으로 인해 현재의 대부분의 무선랜 디바이스에서 ARF와 같은 통계적 수치기반의 전송률 적응기법을 사용하고 있다.

채널 품질기반의 방법으로 대표적으로 RBAR(Receiver-Based Auto-Rate) 기법이 있다[10]. RBAR는 프레임을 전송하는 시점에서 현재 무선 채널의 상태를 SNR로 측정하고 측정된 SNR에서 가장 높은 성능을 가질 것으로 기대되는 전송모드를 결정해서 전송하게 된다. RBAR에서는 실질적인 데이터 프레임을 전송하기 전에 채널 상태를 측정하기 위해 무선랜 표준에서 정의하고 있는 RTS/CTS 교환을 이용한다. 수신노드에서는 RTS 프레임을 수신할 때, 현재 무선 채널의 상태를 SNR 형태로 측정하게 되며 측정된 SNR 정보를 기반으로 최적의 전송모드를 결정하게 된다. 전송모드의 결정은 미리 정의된 SNR과 전송모드와의 맵핑 정보를 기반으로 이루어진다. 이렇게 결정된 전송모드는 CTS를 통해 송신노드에 제공되며 송신노드에서는 해당 전송모드로 프레임을 전송함으로써 프레임 단위의 전송모드 적용이 가능하게 된다. 전송범위안의 다른 노드들의 NAV 설정을 통한 충돌 예방을 위해 RBAR에서 사용하는 RTS, CTS 프레임 포맷은 표준에서 정의하는 포맷과는 달라진다. RBAR에서의 데이터 프레임에 대한 전송모드는 RTS/CTS 교환이 이루어진 이후에 결정되므로 충돌 회피를 위한 채널 예약 시간도 바뀌게 된다. 수정된 현재 데이터 프레임의 전송모드 기반 채널 예약 시간은 MAC 헤더를 확장한 RSH (Reservation Sub-Header)에 실려서 전송되며 전송범위 안의 다른 노드들은 이를 감지하여 자신의 NAV를 갱신하여 데이터 전송을 연기함으로써 표준과 마찬가지로 충돌이 발생하는 것을 예방하게 된다. RBAR로 대표되는 신호 품질기반의 전송률 적응기법은 무선 채널의 상태를 정량적으로

측정하고 적합한 전송모드를 빠르게 결정할 수 있으므로 무선 채널 상태 변화에 빠르게 반응한다는 확실한 장점을 갖는다. 하지만 채널 상태 판단의 기준이 되는 SNR 값의 신뢰성에 대한 불확실성으로 인해 대부분의 무선랜 디바이스에서는 앞서 기술한 통계적 수치기반의 전송률 적응기법을 사용한다. 또한 기존의 IEEE 802.11 표준 프레임 포맷과의 불일치로 인한 호환성 측면에서의 문제점을 갖는다.

전송률 적응기법에 관한 연구는 무선랜 시스템이 다양한 변조 방식과 채널 코딩 방식을 조합하여 복수의 전송모드를 지원하지만, 현재 무선랜 표준인 IEEE 802.11 표준의 MAC 계층과 PHY 계층 규격에서 다중 전송모드의 특징을 효율적으로 사용하는 방법론에 대한 정의가 없다는 문제를 개선하기 위한 노력이라 볼 수 있다. 이러한 전송률 적응기법에 관한 연구는 결과적으로 현재 무선 채널의 상태를 기반으로 적절한 전송모드를 선택함으로써 개별 무선 노드의 전송 성능을 높이는데 기여하였다.

최근 들어 전송률 적응기법을 통한 개별 무선 노드의 전송 성능을 높이는 것뿐만 아니라 무선 매체를 공유하는 무선 노드들로 구성된 전체 무선랜 시스템 관점에서의 성능 향상을 위한 연구가 시작되었다. 이러한 연구는 현재의 무선랜 표준 규격과 기존에 수행된 전송률 적응기법에 관한 연구들이 여러 무선 노드가 경쟁하는 일반적인 무선랜 환경에서 최적의 성능을 가질 수 있는지에 대한 의문으로부터 시작되었다[13, 14].

M. Heusse는 무선랜 시스템의 표준 MAC 프로토콜과 전송률 적응기법에서 발생할 수 있는 문제점을 확인하였으며 이를 performance anomaly 문제로 정의하였다. performance anomaly 문제는 빠른 전송모드로 동작하는 무선 노드와 느린 전송모드로 동작하는 무선 노드가 하나의 무선랜 시스템 안에서 제한된 채널 대역폭을 두고 경쟁하는 상황에서 발생하게 되며, 무선 채널 대역폭의 비효율적인 사용으로 인해 전체 무선랜 시스템의 성능을 저하시키는 원인이 된다[13].

무선 채널 경쟁 상황에서 느린 전송모드로 동작하는 노드가 무선 채널을 점유했을 경우, 노드는 데이터 프레임을 전송하는데 상대적으로 긴 오랜 시간을 소비하게 된다. 느린 전송모드로 동작하는 무선 노드의 채널 대역폭의 비효율적인 사용은 결과적으로 전체 무선랜 시스템의 성능을 저하시키는 문제가 발생시킨다. 즉, 느린 전송모드의 노드가 채널을 점유할 경우, 상대적으로 빠른 전송모드의 노드는 채널을 사용할 수 있는 시간이 줄어들게 되므로 해당 무선 노드의 성능이 제한받게 되며, 빠른 전송모드를 가지는 노드의 성능 저하로 인하여 전체 무선랜 시스템의 대역폭 활용도는 저하된다.

Performance anomaly 문제가 발생하는 이유는 무선랜의 표준 MAC 프로토콜의 매체 접근 기법이 전송모드에 상관없이 채널 사용 기회의 균등한 할당에 의한 전송률 기반의 형평성(throughput-based fairness)을 제공하기 때문이다. 이러한 performance anomaly 문제를 해결하기 위한 연구가 최근 들어 활발히 진행되고 있으며 이와 같은 연구들은 채널 사용 기회의 균등한 할당에 의한 전송률 기반의 형평성 제공 기법을 대신하여, 각각의 무선 노드에게 균등한 채널 사용 시간을 할당하도록 하는 채널사용시간 기반의 형평성(time-based fairness)을 제공함으로써 무선 채널 대역폭의 효율적인 사용에 의한 무선랜 시스템의 성능 향상을 추구한다[15-17]. 채널사용시간 기반의 형평성을 제공하는 기법으로서 대표적으로 AP에서 각 무선 노드에게 적절한 전송 시간을 할당해주는 스케쥴러를 이용한 방식과 전송모드를 기반으로 전송되는 데이터 프레임의 크기를 조절하는 방식, 그리고 MAC 프로토콜에서 최소 경쟁윈도우를 조절하는 방식이 있다.

AP 기반의 스케쥴러를 이용한 기법은 각 노드에게 할당되는 채널 사용 시간을 전송모드에 상관없이 균등하게 할당한다. 즉, 분산되어 위치하는 각각의 무선 노드에서 독립적으로 수행되는 전송률 적응기법의 개념과는 근본적인 차이가 존재한다. 따라서 AP 기반의 스케쥴링 기법을 기존의 전송률 적응기법과 같이 각각의 무선 노드에서 독립적으로 적용하기 힘들다는 한계를 갖는다[15].

프레임 MTU 크기를 조절하는 기법은 전송모드에 비례하게 전송하는 데이터 프레임의 크기를 조절하는 방식으로, MAC 프로토콜의 변화 없이 무선 채널의 점유 시간에 대한 채널사용시간 기반의 형평성을 제공할 수 있는 간단한 기법이다. 하지만 프레임 MTU 조절 기법은 일반적인 무선 환경에서 MTU 크기가 클수록 에러율이 높아지는 무선 채

널의 특성을 고려하지 않는다는 한계를 갖는다[16].

Performance anomaly 문제를 해결하기 위한 기존 연구에서 가장 최근에 제안된 기법은 무선 MAC 프로토콜의 파라미터인 최소 경쟁윈도우, CWmin을 조절하는 기법이다. CWmin을 조절하는 기법은 빠른 전송모드로 동작하는 노드에게 작은 CWmin을 설정함으로써 채널 점유 우선순위를 높이고, 이를 통해 채널사용시간 기반의 형평성을 제공하고자 한다. 하지만 CWmin을 조절하는 기법도 여전히 문제점을 갖는다. CWmin 조절을 통해 무선 매체 점유에 대한 차별화를 제공할 수는 있지만, 백오프 메커니즘에서 선택되는 경쟁윈도우는 CWmin과 CWmax 사이의 임의의 값으로 선택되므로 각 무선 노드별 채널의 사용 시간이 전송모드에 비례적으로 할당되는 것을 보장할 수는 없다. 또한 CWmin 조절을 통해 높은 우선순위로 무선 채널 점유하더라도 프레임 전송에 대한 오버헤드인 DIFS와 백오프 시간으로 인해 여전히 무선 채널의 리소스를 소비한다는 문제점을 갖는다[17].

III. 제안 기법

1. 제안 기법의 구조

본 논문에서 제안하는 크로스레이어 구조를 그림 2에 나타내었다. 전체 구조는 네트워크 하위 계층에 존재하는 전송률 적응기법과 상위 응용 계층에서의 품질 조절을 포함한다. 하위 계층의 전송률 적응기법에서는 무선 채널의 상태를 기반으로 무선 노드와 무선 채널의 대역폭 활용도를 최대화할 수 있는 전송모드를 선택한다. 또한 선택된 전송모드를 기반으로 현재 무선 채널이 제공할 수 있는 한계 대역폭(RateLimits)을 식 (1)과 같이 계산하며 이를 상위 계층에 주기적으로 알려주게 된다. 상위 계층의 스트리밍 응용은 이를 통보받아 전송할 비디오 스트림의 품질을 조절하게 된다.

$$RateLimits = \frac{Transmitted\ Data(bytes) \times 8bits/byte}{1\,sec} \quad (1)$$

전송률 적응기법에서는 기존의 전송률 적응기법의 한계를 극복함과 동시에 performance anomaly 문제를 해결할 수 있는 새로운 전송률 적응기법인 GeRA(Goodput-enhanced Rate Adaptation) 기법을 제안한다. 제안하는 GeRA 기법은 연속적인 프레임 전송을 통하여 채널사용시간 기반의 형평성을 제공함으로써 performance anomaly 문제를 해결한다. 또한 각각의 전송모드에서 한 번에 전송할 수 있는 연속적인 프레임의 수를 고려하여 예상 처리율을 계산하며, 최대 성능을 갖는 전송모드를 선택함으로써 개별 무선 노드의 성능뿐만 아니라 전체 무선랜 시스템의 성능을 최대화할 수 있는 전송모드를 선택하게 된다. 선택된 전송모드를 기반으로 GeRA 기법은 현재 무선 채널이 수용할 수 있는 한계 대역폭을 계산하며 이를 상위 응용 계층에 주기적으로 통보하여 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절할 수 있도록 한다.

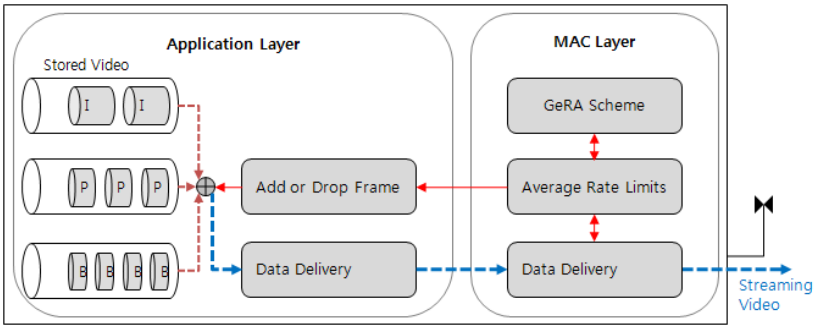

그림 2. 크로스레이어 구조
Fig 2. Cross-layer architecture

상위 계층의 비디오 스트리밍 응용은 하위 계층의 전송률 적응기법이 통보하는 한계 대역폭 정보를 활용하여 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절한다. 현재의 무선 채널이 전송할 수 있는 데이터만을 전송함으로써 무분별한 에러가 발생하는 것을 예방함으로써 서비스 품질을 향상시킬 수 있다. 서비스되는 비디오 스트림의 품질 조절은 비디오 프레임의 우선순위 (I > P > B)를 기반으로 프레임률 조절 기법을 통해 수행된다. 프레임률 조절 기법을 통해 무선 채널로 전송되는 데이터의 양을 조절함으로써 비디오 스트리밍 응용은 무선 네트워크의 상태에 적응적인 형태로 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절할 수 있으며, 결과적으로 서비스 사용자에게 향상된 품질의 스트리밍 서비스를 제공할 수 있다.

2. 새로운 전송률 적응기법

기존 전송률 적응기법은 개별 무선 노드의 성능 향상을 위해 무선 채널의 상태를 기반으로 적절한 전송모드를 선택하는 것만을 고려하여 설계되었다. 본 논문에서 제안하는 GeRA 기법은 개별 무선 노드의 성능 향상뿐만 아니라 무선 채널 대역폭의 효율적인 사용에 따른 전체 무선랜 시스템의 성능 향상을 추구하며, 이를 위해 새로운 채널사용시간 기반의 형평성 제공 기법을 포함하도록 설계되었다.

GeRA 기법이 포함하는 새로운 채널사용시간 기반의 형평성 제공 기법은 무선 노드에서 선택된 전송모드를 기반으로 연속적인 프레임 전송(TCF, Transmission of Consecutive Frames)을 통해 균등한 채널 사용 시간을 할당하는 기법으로서 performance anomaly 문제를 보다 효율적으로 극복할 수 있다. 연속적으로 전송할 프레임의 개수는 선택된 전송모드와 기본 전송모드의 비율로서 결정된다. 그림 3에서 무선 노드의 선택된 전송모드가 기본 전송모드인 BasicRate의 2배일 경우, 무선 노드는 채널 경쟁을 통해 매체를 점유하면 전송모드의 비율인 두 개의 프레임을 연속적으로 전송하게 된다. 전송모드에 비례하는 연속적인 프레임 전송을 통해 각각의 무선 노드는 균등한 시간동안 무선 채널을 사용함으로써 채널사용시간 기반의 형평성을 보장받을 수 있게 된다. 그림 3을 통해 두 개의 프레임을 전송하는데 걸리는 시간을 표준 MAC 프로토콜인 DCF 방식과 기존 CWmin 조절 기법, 그리고 본 논문에서 제안하는 TCF 기법을 사용했을 경우로 비교할 수 있으며 GeRa 기법이 포함하는 TCF 기법의 성능 향상을 확인할 수 있다. CWmin 조절 기법은 전송모드에 반비례하게 최소 경쟁윈도우의 크기를 줄이므로 표준 DCF 방식에 비해 빠르게 무선 채널을 점유하게 된다. 하지만 여전히 무선 채널 점유를 위한 DIFS와 백오프 시간과 같은 오버헤드 성분을 포함하므로 무선 채널의 대역폭 리소스를 낭비하게 된다. 제안하는 TCF 기법은 무선 채널 점유 시, 전송모드에 비례하여 연속적인 프레임 전송을 시도함으로써 무선 채널의 대역폭 활용도 및 전체 무선랜 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

GeRA 기법에 포함되어 있는 TCF 기법을 통한 채널사용시간 기반의 형평성 제공 기법은 무선 노드의 최적의 전송모드 선택에 있어서 중요한 파라미터로서 활용된다. GeRA 기법에서 최적의 전송모드 선택은 해당 무선 노드가 지원하는 복수의 전송모드에서 현재 채널 상태를 기반으로 가장 높은 goodput을 보이는 전송모드로 결정된다. 이를 위해서 각각의 전송모드에서 예상되는 goodput을 계산하고, 최

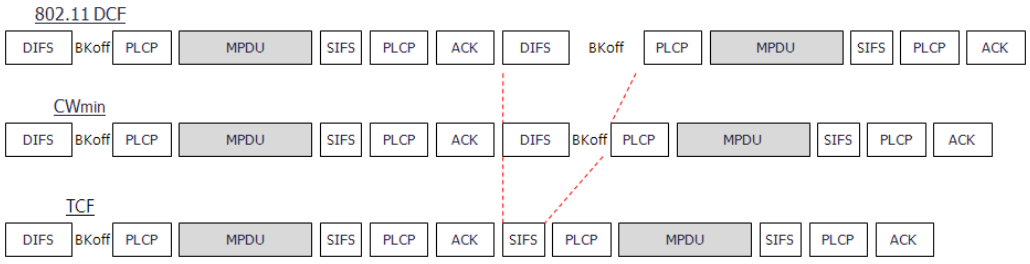

그림 3. TCF 기법의 연속적인 프레임 전송
Fig 3. Consecutive frame transmission of the TCF scheme

대 goodput을 가지는 전송모드를 선택함으로써 개별 무선 노드의 성능뿐만 아니라 무선랜 시스템의 성능까지 향상시킬 수 있는 최적의 전송모드를 선택하게 된다.

TCF 기법을 고려한 각각의 전송모드에서의 예상 goodput을 식 (2)와 같이 계산할 수 있다. TCF 기법에서 전송할 연속적인 프레임의 개수, NCF(Number of Consecutive Frames)는 기본 전송모드에 대한 비율로서 계산될 수 있다. TCF 기법을 포함하는 GeRA 기법에서 각각의 전송모드에 대한 goodput은 NCF 만큼의 연속적인 프레임을 전송하는데 필요한 시간과 해당 프레임들의 크기를 합한 전체 데이터 크기를 이용하여 계산된다. 연속적인 프레임을 전송하는데 필요한 시간은 식 (4)와 같이 데이터 프레임을 전송하는데 필요한 시간과 오버헤드 시간 성분들로 구성된다. 오버헤드에는 매체 접근에 소비되는 시간, ACK 프레임 전송 시간, 프레임 전송 간격인 SIFS 등이 포함된다. 데이터 프레임을 전송하는데 필요한 시간과 ACK 프레임을 전송하는데 걸리는 시간은 식 (5)와 식 (6)과 같이 정리될 수 있다. 또한 무선 채널의 특성으로 인해 프레임 전송과정에서 채널 에러에 의한 재전송이 발생할 수 있으므로 해당 전송모드에서의 프레임 전송 성공률($P_{Success}^{Mode}$)을 고려하여 해당 전송모드의 goodput을 계산해야 한다.

$$G_{Mode} = \frac{L_{DATA} \times 8bits}{T_{TCF}^{Mode}} \times NCF \times P_{Success}^{Mode} \quad (2)$$

$$NCF = \frac{Mode}{BasicRate} \quad (3)$$

$$T_{TCF}^{Mode} = DIFS + Backoff + T_{DATA}^{Mode} + T_{ACK}^{BasicRate} + SIFS \times (1 + NCF) \quad (4)$$

$$T_{DATA}^{Mode} = \left(T_{PLCP}^{BasicRate} + \frac{L_{MPDU} \times 8bits}{Mode} \right) \times NCF \quad (5)$$

$$T_{ACK}^{BasicRate} = \left(T_{PLCP}^{BasicRate} + \frac{L_{ACK} \times 8bits}{BasicRate} \right) \times NCF \quad (6)$$

IEEE 802.11 표준에서 DIFS는 $50\mu s$, SIFS는 $10\mu s$, 하나의 슬롯타임 (aSlotTime)은 $20\mu s$로 정의되어 있으며, ACK 프레임의 크기(L_{ACK})는 14 바이트이다. 백오프 시간은 표준 MAC 프로토콜에서 정의에 따라 전송 실패 회수에 따라 식 (7) 혹은 식 (8)과 같이 계산된다[3, 4].

$$Backoff(i) = 2^i \times (CW_{\min} + 1) - 1 \times aSlotTime \quad (0 \le i \le 6) \quad (7)$$

$$Backoff(i) = \frac{CW_{\max}}{2} \times aSlotTime \quad (i \ge 6) \quad (8)$$

각각의 전송모드에 대한 goodput을 계산하는 식 (2)에서 프레임에 대한 전송 성공률은 식 (9)와 같이 계산될 수 있다. MAC 계층에서는 데이터 프레임이 성공적으로 전달되었다 하더라도 해당 데이터 프레임에 대한 ACK 프레임이 손실되었을 경우, 데이터 프레임의 손실로 간주하고 재전송을 시도하므로 전송 성공률에 대한 식은 데이터 프레임의 전송 성공률과 ACK 프레임의 전송 성공률의 곱으로 계산된다. 하지만 ACK 프레임의 길이는 14 바이트의 작은 크기로 채널 에러에 의해 손실될 가능성이 높지 않으므로 식 (9)는 식 (10)과 같이 간단하게 정리될 수 있다.

$$P_{Success}^{Mode} = \left\{ \left(1 - P_{Error_DATA}^{Mode}(L_{DATA})\right) \times \left(1 - P_{Error_ACK}^{BasicRate}(L_{ACK})\right) \right\} \quad (9)$$

$$P_{Success}^{Mode} \cong \left\{ \left(1 - P_{Error_DATA}^{Mode}(L_{DATA})\right) \right\} \quad (10)$$

TCF 기법을 포함하는 GeRA 기법에서 각각의 전송모드에 대한 goodput은 식 (3)부터 식 (10)을 통해 계산될 수 있음을 보였다. 제안하는 GeRA 기법에서는 TCF 기법을 적용하여 전송모드별 goodput 계산을 수행한 이후에 무선 노드는 최대 goodput을 보이는 전송모드를 선택하게 된다. 식 (11)은 계산된 전송모드별 goodput을 기반으로 최적의 전송모드를 선택하는 것을 보여준다.

$$Optimal\ Transmission\ Mode = MAX(G_{BasicRate}, \cdots, G_{Mode}) \quad (11)$$

제안하는 GeRA 기법에서는 performance anomaly 문제를 해결할 수 있는 채널사용시간 기반의 형평성 제공 기법인 TCF 기법을 포함한다. TCF 기법을 기반으로 전송모드 비율에 따른 연속적으로 전송할 프레임 개수인 NCF를 산

출하고, 이를 적용하여 각각의 전송모드에 대한 예상 성능인 goodput을 계산한다. 최대 goodput을 보이는 전송모드 선택을 통해 제안하는 GeRA 기법은 개별 무선 노드의 성능 향상과 함께 전체 무선랜 시스템의 성능 향상을 동시에 이루게 된다.

전송률 적응기법은 시간에 따라 불규칙적으로 변화하는 무선 채널의 상태에 최적화된 전송모드를 선택하는 것을 목적으로 한다. TCF 기법에 의해서 연속적인 프레임 전송을 시도하는 GeRA 기법에서 연속적인 프레임 전송 도중에 무선 채널의 상태가 바뀔 가능성은 항상 존재한다. 이와 같은 무선 채널의 상태 변화에 대처하기 위해서는 연속적인 프레임을 전송하는 도중에 채널 상태 변화를 인지하고 전송모드 및 NCF를 갱신해주는 알고리즘이 반드시 수반되어야 한다.

연속적인 프레임 전송 도중에 2개의 연속된 프레임 전송 에러가 발생할 경우, GeRA 기법에서는 무선 채널의 상태가 변화한 것으로 간주하고 전송모드 재조정을 수행한다. 전송모드의 갱신은 현재의 전송모드보다 낮은 전송모드들에 대하여 각 전송모드별 goodput 계산을 다시 수행하며, 본래의 전송모드 선택 방식과 마찬가지로 가장 높은 goodput을 가지는 전송모드를 선택하게 된다. 무선 채널의 상태 변화에 따른 전송모드를 갱신한 이후에는 남은 채널 사용 시간동안 새로운 전송모드로 몇 개의 데이터 프레임을 더 전송해야 할 것인지를 결정해야 한다. 전송모드 갱신 이후에 새로운 전송모드로 전송할 프레임의 개수는 식 (12)와 같이 계산될 수 있다. 이전의 전송모드(P_Mode)와 갱신된 새로운 전송모드(C_Mode)의 비율, 그리고 이전의 전송모드로 전송했던 프레임의 개수(m)를 기반으로 남아있는 채널 점유 시간동안에 새로운 전송모드로 전송할 수 있는 연속적인 프레임의 개수를 계산할 수 있다.

$$NCF_{C_Mode} = \left(\frac{P_Mode}{BasicRate} - m \right) \times \frac{C_Mode}{P_Mode} \qquad (12)$$

3. 크로스레이어 기반의 비디오 스트림 품질 조절

MPEG(Moving Picture Expert Group) 표준으로 대표되는 비디오 인코딩 기술에서 비디오 스트림은 프레임이라는 기본 구성단위를 가지며, 이러한 프레임은 우선순위에 따라 I, P, B 프레임의 3가지 타입으로 구분된다. I 프레임 사이에 존재하는 프레임들은 하나의 GOP(Group of Picture)를 구성하며, 이러한 GOP는 두 개의 I 프레임 사이에 존재하는 P 프레임의 개수와 두 개의 P 프레임 사이에 존재하는 B 프레임의 개수를 파라미터로 갖는다[50]. 각 프레임들은 각각 서로 다른 데이터 크기를 가지지만 본 논문에서는 알고리즘 전개를 단순화하기 위해 같은 크기를 가지는 것으로 가정하였다.

스트리밍 서비스 도중, 네트워크 상태 변화에 따른 비디오 스트림의 품질 조절에 관한 연구들은 계층적인 인코딩(hierarchical encoding 또는 scalable encoding) 방식이나 MPEG-4에 정의되어 있는 FGS(Fine Granularity Scheme) 방식을 기반으로 한다[18,19]. 이러한 방법은 이미 인코딩된 비디오 스트림의 재인코딩 과정 없이, 네트워크 상태 변화에 적응적으로 비디오 스트림의 품질을 조절할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만, 현실에서 이러한 계층적인 인코딩 기능을 갖춘 인코더가 거의 없기 때문에, 실질적으로 계층적인 인코딩 방식은 스트리밍 응용에 적용되지 않고 있다. 따라서 보다 현실적인 접근 방법으로서, 기존의 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림을 기반으로 하는 품질 적응 기법이 아닌, MPEG 압축 기술에서 일반적으로 소개되어 있는 압축된 비디오 스트림의 시간적 확장성(temporal scalability)을 사용한 품질 조절 방법을 사용한다.

하위 계층에서의 GeRA 기법을 통해 선택된 전송모드의 한계 대역폭이 인코딩된 비디오 스트림의 데이터율보다 클 경우, 비디오 스트림은 원래의 품질대로 사용자에게 제공될 수 있다. 하지만 반대의 경우, 현재 무선랜의 채널 환경이 전송 가능한 양의 데이터만을 전송할 수 있다. 따라서 비디오 스트리밍 응용은 하위계층에서 알려주는 한계 대역폭에 대한 정보를 기반으로 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절하게 된다.

서비스되는 스트리밍 비디오의 품질 조절은 비디오 프레임의 우선순위 (I > P > B)를 기반으로 시간적 확장성, 즉 프레임률 조절 기법을 통해 수행된다. 프레임률 조절 기법을 통해 무선 채널로 전송되는 데이터의 양을 조절함으로

써 비디오 스트리밍 응용은 무선 네트워크의 상태에 적응적인 형태로 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절할 수 있으며, 결과적으로 서비스 사용자에게 향상된 품질의 스트리밍 서비스를 제공할 수 있다.

Ⅳ. 실험 및 성능 평가

1. 실험 환경

본 논문에서 제안하는 크로스레이어 디자인의 성능을 측정하기 위해 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 그림 4와 같은 시뮬레이션 환경을 구축하였다[20]. 일반적인 무선랜 시스템의 사용 환경인 AP 기반의 인프라 구조로 시뮬레이션 환경을 설정하였으며 IEEE 802.11b 모드에서 전송모드는 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 그리고 11Mbps의 4개의 전송모드를 지원하게 된다. 무선 노드의 전송 파워는 15dBm으로 설정하였고, 채널 모델은 ns-2 시뮬레이터에서 지원하는 two-ray ground 모델을 사용하였다.

성능 평가는 두 부분으로 구분하여 실험하였다. 첫 번째는 본 논문에서 제안하는 새로운 전송률 적응기법인 GeRA 기법의 성능을 검증하였으며, 이를 기반으로 상위 응용 계층과의 크로스레이어 디자인을 통한 비디오 스트리밍 서비스의 품질 측정을 수행하였다. GeRA 기법의 성능 분석을 위한 트래픽은 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 4Mbps에서 8Mbps까지 변화시키며 발생시켰으며, 전체 시뮬레이션은 50초 동안 수행하였다. 구축된 시뮬레이션 환경에서 기본적인 성능 분석은 하나의 무선 노드에서 측정하였으며, 채널을 경쟁하는 환경에서의 성능 분석은 무선 노드의 수를 늘려서 시뮬레이션을 수행하였다.

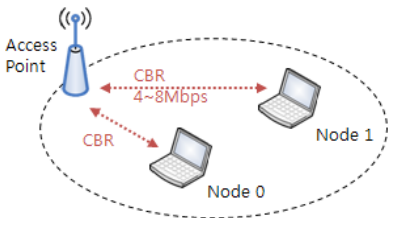

그림 4. 성능 분석을 위한 시뮬레이션 환경
Fig 4. Simulation environment for performance evaluation

전송률 적응기법에서 무선 채널의 상태 변화에 따라 적절히 전송모드를 조절하는가를 분석하기 위해서 무선 노드에 이동성을 부여하여 무선 채널의 상태를 인위적으로 변화시켰다. 처음 0초부터 20초까지는 무선 노드를 고정시킨 상황에서, 20초부터 30초까지는 1m/s의 이동속도로 AP로부터 멀어지는 상황, 30초부터 40초까지는 1m/s의 이동속도로 AP에 가까워지는 상황을 설정하였으며, 40초부터 50초까지는 2m/s의 이동속도로 AP로부터 멀어지는 상황을 설정하여 전송률 적응기법의 성능을 분석하였다.

2. GeRA 기법의 성능 평가

GeRA 기법의 성능 검증을 위해 먼저 GeRA 기법이 포함하는 새로운 채널사용시간 기반의 형평성 제공 기법인 TCF 기법의 성능 검증을 수행하였다. 각각의 시뮬레이션에서 노드 0은 11Mbps 전송모드, 노드 1은 5.5Mbps 전송모드로 고정하여 성능 분석을 수행하였다. 그림 5에서는 TCF 기법과 CWmin 조절 기법과의 성능 비교 결과를 보여준다. 본 논문에서 제안한 TCF 기법은 비교대상인 기존 CWmin 조절 기법과 다르게 채널 점유 시, 연속적인 프레임을 전송함으로써 채널사용시간 기반의 형평성을 제공하

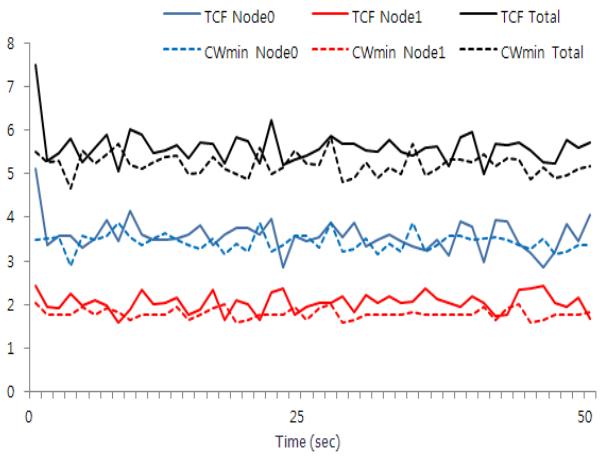

그림 5. TCF 기법과 CWmin 조절 기법과의 성능 비교
Fig 5. Performance comparison between TCF scheme and CWmin-based scheme

게 된다. 따라서 매 데이터 프레임을 전송할 때마다 소비되는 채널 매체 경쟁 오버헤드를 줄임으로써 기존 기법에 비해 무선 채널의 대역폭을 보다 효율적으로 사용하게 되며, 결과적으로 전체 무선랜 시스템의 성능을 향상시키는 것을 결과를 통해 확인할 수 있다. 전체 무선랜 시스템의 평균 처리율은 논문에서 제안하는 TCF 기법의 경우, 평균 5.63Mbps, 기존 CWmin 조절 기법의 경우, 평균 5.21Mbps로 측정되었다.

시뮬레이션 결과를 통해 GeRA 기법이 포함하고 있는 TCF 기반의 새로운 채널사용시간 기반 형평성 제공 기법이 Performance anomaly 문제를 효율적으로 극복할 수 있음을 확인하였다. TCF 기법은 전송모드에 비례하는 연속적인 프레임 전송을 통해 무선 노드간의 채널 사용 시간을 균등하게 배분함으로써 빠른 전송모드로 동작하는 무선 노드의 성능 향상과 함께 전체 무선랜 시스템의 성능을 향상시키게 된다. 또한 기존 채널사용시간 기반의 형평성 제공 기법들과 달리 무선 채널의 대역폭 리소스를 보다 효율적으로 사용함으로써 기존 연구들에 비해 성능이 향상될 수 있음을 확인할 수 있었다.

TCF 기법을 포함하는 GeRA 기법이 동작하는 하나의 무선 노드에서 각각의 전송모드별 goodput 산출 값을 분석한 결과를 그림 6에 나타내었다. 채널 상태 변화에 대해 지속적으로 goodput의 변화가 발생하지만, 일반적으로 높은 전송률의 전송모드가 채널 상태 변화에 대한 goodput 변화가 심하게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 미세한 차이를 보이지만 무선 노드가 AP로부터 멀어짐으로써 채널 상태가 점차 악화되는 30초로 갈수록 높은 전송모드의 goodput이 점차 저하되어 낮은 전송모드의 goodput이 높아지는 지점이 많아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 AP에 무선 노드가 가까워짐으로써 채널 상태가 점차 좋아지는 40초로 갈수록 11Mbps 전송모드의 goodput이 다시 가장 높은 값을 가지는 분포가 커지는 것을 확인할 수 있다.

각각의 전송모드에 대한 goodput 산출을 분석한 그림 6의 결과를 바탕으로 GeRA 기법에서 선택하는 전송모드의 변화 결과를 그림 7에 나타내었다. 무선 노드가 고정된 처음 20초 동안은 일시적인 채널 상태 변화에 대해 낮은 전송모드로 선택되는 경우가 있지만, 대부분의 경우 가장 높은 11Mbps 전송모드로 데이터 프레임을 전송한다. 무선 노드가 AP로부터 멀리 떨어진 30초부터 점차 AP로 가까워지는 40초까지의 구간에서는 40초로 갈수록 높은 전송모드로 선택하는 회수가 많아지는 것을 확인할 수 있다. 40초부터 무선 노드는 2m/s로 AP로부터 멀어지는 이동성을 가지며 채널 상태가 점차 악화되므로 5.5Mbps나 2Mbps의 전송모드, 그리고 가장 낮은 전송모드인 1Mbps까지 낮은 전송모드를 선택하는 회수가 많아지는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있다. 그림 6과 그림 7의 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 TCF 기법을 포함하는 GeRA 기법이 무선 채널의 상태 변화에 대해서 적절히 전송모드를

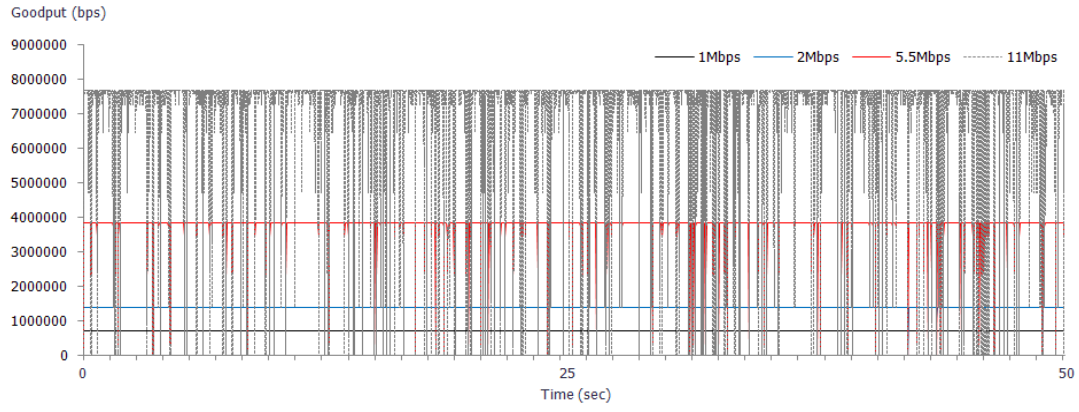

그림 6. 전송모드별 goodput 변화
Fig 6. Goodput changes for each transmission mode

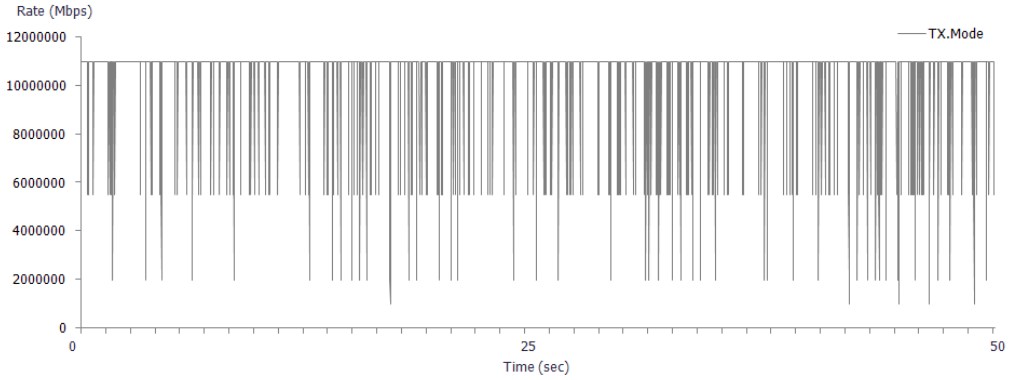

그림 7. 최적의 전송모드 선택
Fig 7. Selection of optimal transmission mode

조절하는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 새로운 전송률 적응기법인 GeRA 기법의 성능 향상을 검증하기 위해 기존 전송률 적응기법인 ARF 기법, RBAR 기법과의 성능 비교를 수행하였으며 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 8 (a)의 ARF 기법은 통계적 수치 기반의 전송률 적응기법으로 채널 상태 변화에 대해 빠르게 반응하지 못한다는 문제점을 드러낸다. 이러한 문제점으로 인해 비교적 낮은 전송모드를 유지하며, 결과적으로 평균 처리율 측면에서도 좋은 성능을 보이지 못한다. 그림 8 (b)의 RBAR 기법은 채널 품질 기반의 전송률 적응기법으로 정량적으로 측정된 채널 상태를 기반으로 전송모드를 조절하므로 ARF 기법과 다르게 채널 상태 변화에 빠르게 반응하는 장점을 보인다. 하지만 매 프레임마다 RTS/CTS 교환을 필수적으로 사용하므로 평균 처리율 측면에서는 ARF 기법보다는 나은 성능을 보이지만 여전히 채널 대역폭 리소스를 충분히 활용하지 못한다는 한계를 갖는다.

본 논문에서 제안하는 GeRA 기법은 그림 8 (c)의 결과에서 확인할 수 있듯이 채널 상태에 대한 빠른 반응성을 가지는 RBAR 기법과 거의 유사한 채널 상태 변화에 대한 반응성을 보인다. 또한 선택된 전송모드에 따라 연속적인 프레임 전송을 통해 performance anomaly 문제를 효율적으로 극복함으로써 평균 처리율 측면에서도 기존의 ARF 기법이나 RBAR 기법에 비해 성능이 크게 향상되었음을 확인할 수 있다. 이는 연속적인 프레임 전송을 통해 무선 채널의 대역폭 리소스를 보다 효율적으로 사용하며, 연속적인 프레임 전송 도중에도 채널 상태 변화에 대해 반응할 수 있는 알고리즘을 포함하는 GeRA 기법의 성능 향상 요인에 의한

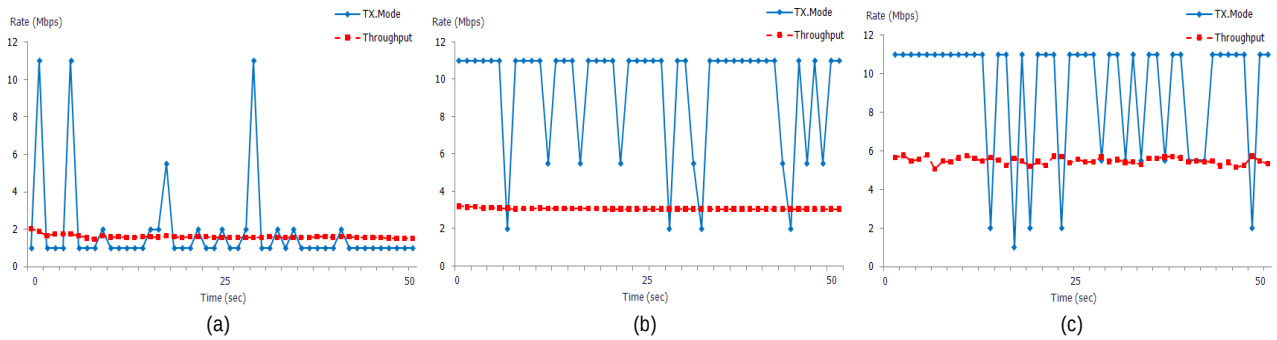

그림 8. 단일 노드 환경에서의 성능 비교 (a) ARF 기법, (b) RBAR 기법, (c) GeRA 기법
Fig 8. Performance comparison in single node environment (a) ARF scheme, (b) RBAR scheme, (c) GeRA scheme

것임을 분석 결과를 통해 확인할 수 있다.

실험 환경을 확장하여 두 개의 무선 노드가 채널을 경쟁하는 환경에서의 시뮬레이션 결과를 표 1에 정리하였다. 각각의 전송률 적응기법에서 상대적으로 채널 상태가 좋은 노드 1의 전송된 프레임의 개수나 평균 처리율이 보다 높은 것을 볼 수 있다. ARF 기법의 경우, 채널 에러와 함께 채널 경쟁 상황에서 발생하는 프레임 전송 에러로 인해 느린 전송모드의 노드가 빠른 전송모드로 조정하는데 어려움이 있다. 이러한 이유로 다른 기법들에 비해 노드간의 성능 차이가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 GeRA 기법은 채널 경쟁 상황에서도 최적의 성능을 기대할 수 있는 전송모드를 적절하게 선택함으로써 기존의 전송률 적응기법에 비해 개별 무선 노드의 성능뿐만 아니라 전체 무선랜 시스템의 성능에서도 큰 성능 향상을 보인다.

표 1. 채널 경쟁 환경에서의 성능 분석
Table 1. Performance evaluation in channel contention

전송률 적응기법	Node	전송된 프레임 개수	평균 처리율 (Mbps)	전체 전송된 프레임 개수	시스템 처리율 (Mbps)
ARF	Node 0	3,655	0.61	15,508	2.48
	Node 1	11,853	2.06		
RBAR	Node 0	9,408	1.66	20,447	3.27
	Node 1	11,039	1.88		
GeRA	Node 0	15,282	2.49	37,290	5.97
	Node 1	22,008	3.65		

3. 비디오 스트림 품질 조절 성능 평가

GeRA 기법 기반의 비디오 스트리밍 메커니즘의 성능을 분석하기 위해 그림 5의 시뮬레이션 환경에서 두 개의 무선 노드가 경쟁하도록 실험 환경을 설정하였다. 무선 노드는 CBR 트래픽 대신 비디오 트래픽을 전송하도록 설정하였으며, 사용된 비디오 스트림의 속성은 표 2에 정리하였다.

표 2. 비디오 스트림의 속성
Table 2. Characteristics of video sample

GOP Sequence	I-B-B-P-B-B-P-B-B-P-B-B		
Frame Rate	24 frame/sec		
Encoding Rate	3.2 Mbps		
Frame Types	I	P	B
Number of Frames in a GOP	1	3	8
Size of Each Frame (bytes)	60 K	20 K	10 K

제안하는 GeRA 기법으로부터 선택된 전송모드 기반의 한계 대역폭을 보고받은 비디오 스트리밍 응용은 이를 기반으로 프레임을 제거 혹은 추가함으로써 프레임률 조절을 통한 비디오 스트림의 품질을 조절하게 된다. 한계 대역폭이 현재 비디오 스트림의 모든 프레임을 전송할 수 없을 경우, 비디오 프레임의 우선순위에 따라 B 프레임은 I, P 프레임에 비해 먼저 제거된다. 한계 대역폭이 커질 경우, B 프레임은 낮은 우선순위로 인해 I, P 프레임에 비해 나중에 추가된다.

각 노드에서 프레임의 제거 혹은 추가를 통한 비디오 스트림의 품질 조절 시뮬레이션 결과를 그림 9에 나타내었다. 결과는 두 개의 무선 노드가 채널을 경쟁하는 환경에서 노드 0의 서비스 품질을 나타낸 것으로, 하나의 GOP 안에서 한계 대역폭이 허용하는, 즉 현재 무선 채널이 전송 가능한 프레임의 조절을 나타낸 것이다. ARF 기법의 경우, 비디오 스트림의 최소 품질을 제공하기 위한 I 프레임만을 전송하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 ARF 기법과 RBAR 기법에 비해 제안하는 GeRA 기법은 가장 높은 goodput을 가지는 최적의 전송모드를 사용하면서 무선 채널의 대역폭을 효율적으로 사용하므로 높은 한계 대역폭을 가지며, 결과적으로 기존 기법들에 비해 높은 품질의 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 수 있다.

시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제안하는 GeRA 기법이 최적의 전송모드 선택과 무선 채널 대역폭 리소스의 효율적인 사용을 통해 기존 기법들에 비교하여 큰 대역폭을 제공할 수 있으며, 이러한 성능 향상 요인으로 인해서 GeRA 기법을 기반으로 제공되는 비디오 스트리밍 서비스의 품질을 개선할 수 있음을 검증하였다.

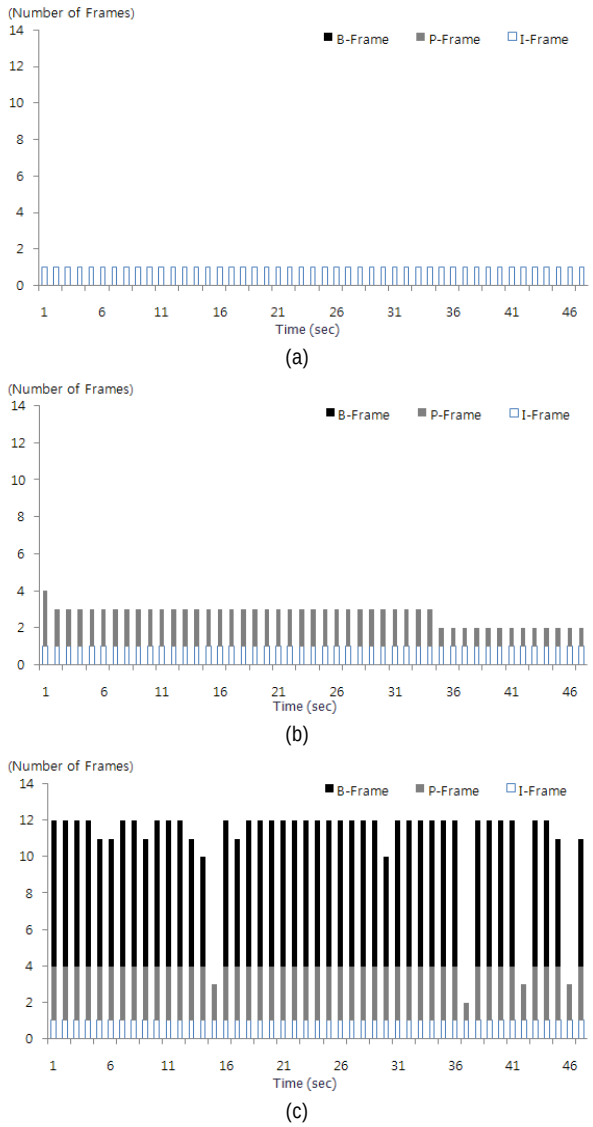

그림 9. 노드 0에서의 프레임 조절 (a) ARF 기법, (b) RBAR 기법, (c) GeRA 기법

Fig 9. Frame control in node 0 (a) ARF scheme, (b) RBAR scheme, (c) GeRA scheme

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 무선랜 환경에서 효율적인 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위한 크로스레이어 디자인을 제안하였다. 채널 상태가 지속적으로 변화하는 무선랜 환경에서 상대적으로 높은 대역폭을 요구하는 비디오 스트리밍 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서 네트워크 하위 계층에서는 무선 채널의 상태 변화를 기반으로 최적의 전송 성능을 보이는 전송모드를 선택할 수 있어야 한다. 또한 상위 계층의 스트리밍 응용은 선택된 전송모드를 기반으로 현재의 무선 채널이 전송할 수 있는 품질의 비디오 스트림을 전송함으로써 무분별한 전송 에러가 발생하는 것을 예방할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 네트워크 하위 계층과 상위 응용 계층 간의 크로스레이어 기법 적용이 필요하다.

무선랜 환경에서 향상된 품질의 비디오 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 개별 무선 노드의 전송 성능뿐만 아니라 채널 대역폭의 효율적인 사용을 통한 전체 무선랜 시스템의 성능 향상을 추구해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 새로운 전송률 적응기법인 GeRA 기법을 제안하였다. 제안하는 GeRA 기법은 연속적인 프레임 전송을 통해 다중 전송모드를 지원하는 무선랜 시스템에서 발생할 수 있는 performance anomaly 문제를 개선하였다. 또한 연속적인 프레임 전송을 고려하여 각각의 전송모드의 예상 성능을 goodput 계산을 통해서 예측하고, 최대값을 가지는 최적의 전송모드를 선택하게 된다. 선택된 전송모드를 기반으로 무선 채널이 전송 가능한 한계 대역폭을 계산하며 이를 상위 응용 계층에 주기적으로 통보한다. 상위 계층의 비디오 스트리밍 응용은 제공된 한계 대역폭을 통해 현재 무선 채널의 전송 성능을 평가하고 이를 기준으로 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 조절할 수 있게 된다. 시뮬레이션을 통해 새로운 전송률 적응기법이 개별 무선 노드의 성능뿐만 아니라 채널 대역폭의 효율적인 사용을 통해 무선랜 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 크로스레이어 디자인을 통한 비디오 스트리밍 응용과의 연동을 통해 제안한 GeRA 기법의 성능 향상을 기반으로 무선랜 환경에서 제공되는 비디오 스트리밍 서비스의 품질이 향상될 수 있음을 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] M. Gast, "802.11 Wireless Networks: The Definition Guide," O'REILLY, April 2002.

[2] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LANs," Proceedings of ACM SIGCOMM, September 1994.
[3] IEEE 802.11, part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY) Layer Specifications, IEEE Standard 802.11-1999, August 1999.
[4] IEEE 802.11b, part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY) Layer Specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, Supplement to IEEE 802.11 Standard, September 1999.
[5] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE JSAC, Vol. 18, No. 3, March 2000.
[6] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori, "IEEE 802.11 Protocol: Design and Performance Evaluation of An Adaptive Backoff Mechanism," IEEE JSAC, Vol. 18, No. 9, September 2000.
[7] A. Kamerman and L. Monteban, "WaveLAN-II: A High-performance Wireless LAN for the Unlicensed Band," Bell Labs Technical Journal, Vol. 2, No. 3, August 1997.
[8] M. Lacage, M. Manshaei, and T. Turletti, "IEEE 802.11 Rate Adaptation: A Practical Approach," Proceedings of IEEE MSWiM, October 2004.
[9] J. Kim, S. Kim, S. Choi, and D. Qiao, "CARA: Collision-aware Rate Adaptation for IEEE 802.11 WLANs," Proceedings of IEEE INFOCOM, 2006.
[10] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A Rate-adaptive MAC Protocol for Multi-hop Wireless Networks," Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM, July 2001.
[11] I. Haratcherev, J. Taal, K. Langendoen, R. Lagendijk, and H. Sips, "Automatic IEEE 802.11 Rate Control for Streaming Applications," Wireless Communications and Mobile Computing, Vol. 5, June 2005.
[12] S. Lee and K. Chung, "Joint Quality and Rate Adaptation Scheme for Wireless Video Streaming," Proceedings of IEEE AINA, March 2008.
[13] M. Heusse, F. Rousseau, G. Sabbatel, and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b," Proceedings of IEEE INFOCOM, April 2003.
[14] G. Tan and J. Guttag, "The 802.11 MAC Protocol Leads to Inefficient Equilibria," Proceedings of IEEE INFOCOM, March 2005.
[15] G. Tan and J. Guttag, "Time-based Fairness Improves Performance in Multi-rate WLANs," Proceedings of Usenix Annual Technical Conference, June 2004.
[16] S. Yoo, J. Choi, J. Hwang, and C. Yoo, "Eliminating the Performance Anomaly of 802.11b," Proceedings of ICN, April 2005.
[17] H. Kim, S. Yun, I. Kang, and S. Bahk, "Resolving 802.11 Performance Anomalies through QoS Differentiation," IEEE Communications Letters, July 2005.
[18] R. Rejaie, M. Handley, and D. Estrin, “Layered quality adaptation for Internet video streaming. IEEE Journal on Selected Areas of Communications, 2000.
[19] N. Feamster, D. Bansal, and H. Balakrishnan, "On the interactions between layered quality adaptation and congestion control for streaming video," Packet Video Workshop, 2001.
[20] The Network Simulator ns-2, http://www.isi.edu/nsnam/ns/

저 자 소 개

이 선 헌

- 2003년 광운대학교 전자공학부 학사
- 2005년 광운대학교 전자통신공학과 석사
- 2008년 광운대학교 전자통신공학과 박사
- 2008년 ~ 현재, 한국정보통신기술협회 표준화본부 전파방송팀
- 주관심분야 : 인터넷 QoS, 무선 MAC 프로토콜, 멀티미디어 스트리밍

정 광 수

- 1981년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1983년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 : 미국 University of Florida 전기공학과 박사(컴퓨터공학전공)
- 1983년 ~ 1993년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1991년 ~ 1992년 : 한국과학기술원 대우 교수
- 1993년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학부 교수
- 주관심분야 : 인터넷 QoS, 멀티미디어 스트리밍, 센서네트워크