

IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 이용하는 무선 랜의 전송

성능 향상을 위한 적응적 FEC 기법

김형준⁰ 안종석
동국대학교 컴퓨터 공학과
{stragon⁰, jahn}@dongguk.edu

An Adaptive FEC Mechanism for Wireless LANs using IEEE 802.11 MAC Protocol

Hyung-Jun Kim⁰ Jong-Suk Ahn
Dept. of Computer Engineering, Dongguk University

요약

802.11과 같은 무선 네트워크에서는 전송 오류에 의한 패킷 손실이 많이 발생한다. 802.11 MAC 프로토콜에서는 여러 복구를 위해 ARQ 방식을 통한 재전송을 통하여 에러를 정정하나 채널 에러율이 증가하면 재전송 방식의 효율은 급격히 저하된다. 또한 재전송을 하는데 있어서 다시 RTS와 CTS를 전송하여 데이터를 보낼 수 있는 채널을 확보해야 하므로 상당한 전송 부하가 발생한다. 이에 재전송 없이 효율적인 에러 복구를 위해서는 FEC 방식이 필요하다. 그러나 정적인 FEC 방식은 연속적으로 변화하는 무선 채널의 전송 오류율에 알맞은 정정 코드를 채택하지 못해 과도한 대역폭 낭비로 인하여 효율이 떨어지는 문제가 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해서는 채널의 상태에 따라 정정 코드를 동적으로 변경하는 것이 필요하다. 본 논문은 FEC 방식을 802.11 MAC 프로토콜에 적용할 수 있는 방안에 대해서 기술하고 채널 에러 변화에 따라 능동적으로 정정 코드 양을 조절하여 재전송하는 적응적 FEC 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안한 적응적 FEC 알고리즘을 802.11 MAC 프로토콜에 적용하여 성능을 측정 한 결과 최대 80% 정도 성능이 향상된 것을 확인 할 수 있었다.

1. 서론

최근에 이동성과 향상된 전송속도로 인해 무선 랜의 사용이 활성화되고 있다. 그러나 아직도 무선 환경에서의 과도한 전송 오류로 인해 전송 효율이 떨어지는 단점이 있다. 현재 평균 무선 네트워크의 BER(Bit Error Rate)이 약 10^{-6} ~ 10^{-3} 으로 평가되고 있는 데 이는 무선 네트워크에서 전송 에러 방지나 복구 없이 패킷을 전송하는 경우에 대부분 패킷들이 전송(Propagation) 오류에 의해 손실된다는 것을 의미한다.[1] 현재 무선 랜 환경에서는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜이 널리 사용되고 있는데 데이터를 전송 시 RTS와 CTS 전송을 통해 채널을 확보한 후 데이터를 전송하나 데이터가 전송에러에 의해 손상이 되면 다시 RTS와 CTS를 전송하여 다시 데이터를 보낼 수 있는 채널을 확보하여 재전송을 통해 에러를 정정한다.[2] 이는 재전송을 하는데 있어서 채널을 확보하는데도 상당한 오버헤드가 발생한다. 또한 채널 에러율이 증가하면 재전송 방식의 효율은 급격히 저하되어 ARQ 방식만을 통한 재전송은 효율적인 전송을 할 수가 없다. 즉 노드들의 잦은 이동과 신호 간섭이 빈번한 무선 랜 상에서는 효율적인 에러 복구를 위해서는 재전송 없이 에러를 복구할 수 있는 FEC 방식이 필요하다.

과중한 전송 에러를 극복하기 위해 링크계층에서는 ARQ와 FEC를 같이 채택하여 사용하는 방법 즉, 하이브리드(Hybrid) ARQ 방식을 사용하고 있다. 이는 재전송 시 데이터의 재전송 여부에 따라 타입(TYPE) I과 타입(TYPE) II Hybrid ARQ 방식으로 나뉘어진다. 타입 II는 재전송 시에 정정 코드만을 보내는 반면에 타입 I은 데이터와 함께 정정 코드를 같이 보낸다.[3] 이처럼 802.11 MAC에 FEC 방식을 적용하여 ARQ와 FEC를 같이 사용하는 하이브리드 ARQ 방식으로 동작되도록 하였다. 그러나 여기에서 적용되는 FEC는 정적이므로 FEC 방식의 단점인

네트워크의 자원을 낭비한다는 단점이 있다. 즉, 정적인 FEC 방식은 연속적으로 변화하는 무선 채널의 전송 오류율에 알맞은 정정 코드를 채택하지 못해 과도한 대역폭 낭비로 인하여 효율이 떨어지는 문제가 있다.[1] 이러한 문제를 개선하기 위해서는 채널의 상태에 따라 정정 코드를 동적으로 변경하는 것이 필요하다. 즉, 패킷 손실이 발생하였을 경우 채널 에러 상태에 따라 적응적으로 정정 코드 양을 채택하여 재전송하는 적응적 FEC 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 FEC 방식을 802.11 MAC 프로토콜에 적용하는 방안 즉, 타입-I 방식과 타입-II 방식에서의 적용방안에 대하여 기술한다. 또한 채널 에러 변화에 따라 능동적으로 복구 데이터의 양을 조절하는 적응적 FEC 알고리즘을 제안하고 NS-2[4]를 통해 이 알고리즘의 성능 향상을 실험하여 성능 평가를 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구들, 3절에서는 802.11 MAC 프로토콜의 FEC 적용방안에 대해 기술하고 4절에서는 네트워크 시뮬레이터를 통하여 FEC를 적용한 802.11 MAC 프로토콜의 에러율에 따른 성능 평가를 하고 적응적 FEC 알고리즘을 반영한 후의 성능 향상을 평가한다. 5절에서는 실험결과를 요약하고 향후 연구에 대해서 기술하였다.

2. 관련 연구

802.11 MAC의 성능 향상을 위한 연구로 ROADMAP (A Robust ACK-driven Media Access Protocol)[5]에서는 Hidden terminal과 Exposed terminal 문제를 풀기 위하여 RTS/CTS의 제어패킷을 사용하는데 이는 오버헤드를 유발하므로 처음 RTS/CTS 전송 후 다음 전송부터는 CTS만 전송하여 데이터를 보내는 기법을 제안하였다. 이는 RTS/CTS의 패킷에 의한 오버헤드를 줄여 802.11의 성능 향상을 보여주었다.

링크레벨에서의 전송성능 향상을 위한 연구로는 ARQ와 FEC

를 같이 채택하여 사용하는 방법인 Hybrid ARQ방식이 있는데 데이터를 재 전송하는 여부에 따라, 타입-I 과 타입-II Hybrid ARQ 방식으로 분류된다. 타입-I 방식은 패킷 손실 발생 시 데이터를 포함하여 정정 코드를 재 전송하는 방식이고, 타입-II방식은 재 전송 시에 정정 코드만을 재 전송하는 방식이다. 이 두 방식의 특징은 타입-I방식의 경우 평소 데이터에 정정 코드를 같이 보내기 때문에 전송오류가 많은 네트워크에서는 효율적이나 전송오류가 적을 시에는 정정 코드의 오버헤드로 인해 효율적이지 못하다. 이에 반해 타입-II방식은 전송 오류가 작은 무선 네트워크에서는 효율적인데, 여기서 손상된 데이터 패킷이 수신자에 저장되었다고 가정한다. 그러나, 패킷의 프리앰블이 손상되는 경우에는 데이터 패킷 자체를 수신하지 못하기 때문에, 프리앰블이 빈번히 손상되는 네트워크에서는 타입-II가 비효율적이다. 타입-II가 데이터를 복구하기 위해서는 데이터 패킷을 포함한 이후에 재 전송한 모든 정정 코드 패킷들을 수신해야 하기 때문이다.[3]

무선 채널상태에 맞는 전송성능향상을 위한 링크 계층의 동적 적응성 연구[6][7][8]로는 MTU (Maximum Transmission Unit), 변조 방식, 그리고 전송 속도 등을 측정된 평균 패킷 손실률 또는 신호대 잡음비, SNR (Signal-to-Noise Ratio)에 맞추어 동적으로 변경하는 연구들이 있다. 특히 Holland[8]는 수신자로부터 피드백된 SNR의 값에 따라 송신자가 알맞게 변조 방식을 선택하는 기법을 제안하였다. SNR이 작은 경우에는 잡음에 강한 변조 방식을, SNR이 큰 경우에는 속도가 빠른 변조 방식을 선택한다. 또한 이 논문은 이론적 분석을 통해 무선 채널에서 측정된 BER상태가 적어도 다음 패킷이 재 전송될 때까지 지속되는 것을 보여 주었다. 즉 무선 채널에서 적응적 기법을 사용함으로써, 성능이 향상될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

3. IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 FEC 적용방안

본 절은 에러율의 증가로 인해 802.11상에서의 문제점에 대해서 살펴보고 이의 해결 방안과 FEC방식의 802.11 MAC에 적용방안 즉, Hybrid ARQ방식인 타입 I과 타입 II 그리고 적응적 알고리즘을 802.11상의 적용방안에 대해서 살펴본다.

먼저 에러율 증가로 인해 802.11상에서 발생하는 문제점에 대해 살펴보면, 802.11에서는 RTS, CTS메커니즘을 사용하는데 높은 에러로 인해 수신측이 아닌 주변의 스테이션이 RTS, CTS를 받지 못하였을 경우 히든터미널문제(Hidden Terminal Problem)가 발생하며, 이는 성능저하를 발생시킨다. 데이터를 정상적으로 전송하였다 하더라도 ACK가 에러에 의해 손상이 되었을 경우에도 이는 데이터의 재전송으로 이어지므로 불필요한 재전송을 유발할 수 있다. 이에 대한 방안으로 RTS, CTS, ACK의 경우에도 크기가 일정한 FEC를 덧붙여 전송하여 이의 횟수를 줄여 성능저하를 최소화한다.

그림 1은 각각 FEC를 덧붙인 RTS, CTS, ACK의 헤더를 나타낸 그림이다. 여기에서 FEC의 정정 코드로 RS(Reed-Solomon) 코드를 사용하였다. 참고로 RS코드는 보통 (n,k)형태로 표현하는데, 보내고자하는 비트스트림을 쪼개어 블록을 만들 때, k개 심벌 단위로 일단 블록화하고 거기에 정정 심벌(n-k)를 더하여

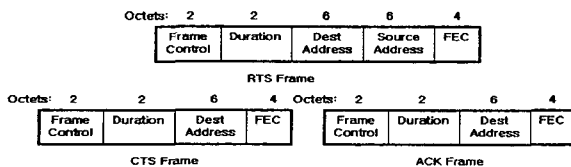


그림 1 RTS, CTS, ACK 프레임구조

총 n개의 심벌을 하나의 블록으로 만들게 된다. 이 정정 심벌을 보내면 수신측에서는 일정한 수의 오류심벌을 검출하거나 그 보다 낮은 수효의 오류 심벌을 정정할 수 있게 되어 전송 품질을 일정수준 이상 유지할 수 있게 된다.[9] 그림1에서 보던 FEC길이가 4바이트를 차지하는데 이는 2바이트 정도의 에러를 정정할 수 있는 정정 능력을 가지고 있다.

3.1 타입-I방식의 802.11 MAC프로토콜 적용방안

802.11 MAC 프로토콜은 데이터 전송 시 Virtual Carrier Sensing을 위해 NAV(Network Allocation Vector)를 사용하는 데 NAV는 채널이 지금 어느 시간동안 사용 중인지 저장할 수 있는 데이터 구조이다. 즉, 송신단과 수신단 사이에 통신이 이루어지면 주변의 노드들은 채널이 사용중인지 직접 감지하지는 못하고 통신을 하게되는데 이는 충돌을 발생시키므로 이를 위해 RTS/CTS를 받으면 그 데이터전송시간만큼 NAV를 세팅하고 대기하여 충돌을 방지하는 메커니즘이다.[2] 802.11 MAC 프로토콜에 타입-I방식을 적용하였을 경우 데이터에 정정 코드를 덧붙여 전송하기 때문에 데이터의 사이즈가 변경된다. 이는 RTS, CTS 헤더의 duration 필드에 전송할 데이터의 NAV값을 세팅하여 전송하게 되는데 타입-I 방식이 적용되면 데이터에 정정 코드를 부여한 사이즈만큼 더하여 RTS의 duration 필드에 NAV값을 세팅해서 보내야한다. 또한 MAC헤더에 데이터의 길이를 알려주는 필드가 추가가 되어야 한다. 이는 데이터프레임내의 원본 데이터와 FEC 데이터를 구분하기 위해서이다. 그리고 FEC Strength 필드를 추가하였는데 이는 FEC의 정정 정도를 나타낸다. 그림 2는 원래의 데이터 프레임 구조를 나타낸 것이고 그림 3은 변경된 프레임 구조를 나타낸 것이다.

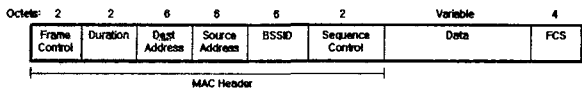


그림 2 IEEE 802.11 MAC 데이터 프레임 구조

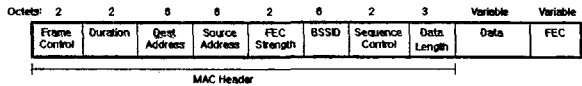


그림 3 FEC적용 802.11 MAC 데이터 프레임 구조

3.2 타입-II방식의 802.11 MAC 프로토콜 적용방안

타입-II방식의 경우 데이터프레임을 보낸 후 에러에 의해 데이터프레임이 손상되었을 때 정정 프레임을 전송하여 이를 정정하는 방식으로 데이터와 정정 프레임이 따로 전송된다. 802.11 MAC 프로토콜에 적용할 때 데이터 프레임인지 정정 프레임인지 구별하기 위해서 Subtype에 MAC_Subtype_FEC을 두어 이를 구분하였고 전송을 따로 하기 때문에 Sequence Control에 같은 번호를 부여하여 데이터프레임과 정정 프레임 간의 연관을 두었다. 송신측은 동작 시 데이터-정정프레임-데이터-정정프레임 순으로 재전송을 하도록 하였다. 처음 데이터를 보낼 때는 평소 802.11 MAC 프로토콜과 같이 동작하나 재전송 시에는 정정 코드만을 전송하기 때문에 RTS의 duration필드의 NAV값이 정정 코드 사이즈에 맞게 변경되어 전송을 하여야 한다. 손상된 프레임은 수신 단에 저장되어 있어야하므로 수신 단에 이를 저장할 수 있는 버퍼를 두어야한다.

3.3 적응적 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 채널의 상태에 따라 동적으로 정정 코드의 크기를 변화시키는 타입-I Hybrid ARQ에 적용될 수 있는 적응적 알고리즘이다. 타입-I 방식의 경우 데이터에 정정 코드를 같이 보내기 때문에 전송오류가 많을 시에 성

능이 뛰어나고 전송오류가 적을 시에는 정정 코드의 오버헤드로 인해 효율적이지 못하나 적응적으로 동작하였을 경우 전송오류가 적을 시에도 정정 코드를 줄여 채널환경에 맞는 정정 코드를 보내므로 효율적으로 동작할 수 있기 때문이다.

본 알고리즘은 패킷 손실의 발생을 타임아웃(timeout)과 같은 암시적인(implicit) 정보로 알 수 있을 때, 여러 개의 적용 가능한 FEC 레벨 중에서 현재 채널 상태에 가장 알맞은 FEC 레벨을 결정하는 알고리즘이다. 패킷 손실이 발견되었을 때에는 바로 다음 상위 단계 FEC 레벨을 채택한다. 패킷 손실에 대한 즉각적인 반응은 RTT보다 빠르게 BER이 변화하는 무선 채널에서 채널의 상태를 잘못 예상하게 되어 과중한 정정 코드를 사용하게 된다. 이러한 오판의 영향을 최소화하기 위해 더 이상의 패킷 손실이 발생하지 않으면 하위 FEC 레벨로 다시 되돌아간다. 각 FEC레벨에 가입하는 빈도 수에 따라 가중치를 두어 패킷 손실이 없는 상황에서는 이 레벨로 안정화된다.

적용적 알고리즘을 802.11 MAC 프로토콜에 적용하였을 경우 RTS, CTS의 헤더의 duration 필드에 전송할 데이터의 NAV값을 세팅하여 전송하는데 데이터 사이즈가 동적으로 변경되기 때문에 이를 동적으로 변경시켜 주어야한다. 이는 에러율이 변화하는 무선채널상태에 따라 능동적으로 복구데이터의 량이 변화하기 때문에 전송할 패킷의 사이즈가 동적으로 변경되기 때문이다.

4. 성능 평가

본 절에서는 전송 효율을 향상하기 위하여 패킷 손실을 복구하는 FEC방식을 802.11 MAC 프로토콜에 적용한 타입-I Hybrid ARQ방식 그리고 타입-II Hybrid ARQ방식을 각 채널 에러율에 따른 성능을 평가하고 분석한다. 그리고 본 논문에서 제안한 적응적 FEC알고리즘을 적용하여 이의 성능향상을 평가한다.

시뮬레이션 실험환경은 크기가 1024바이트인 패킷을 512kbps의 속도로 지속적으로 보내는 무선 랜 망을 구성하였다. 그림 4는 NS-2시뮬레이터를 통해서 가시 영역이 아닌 신호의 전파를 방해하는 방해물이 많은 무선 채널을 나타내는, 지수 값이 6인 섀도잉(Shadowing) 모델에 근거하여 에러율(BER)의 증가에 따른 타입-I Hybrid ARQ방식 과 타입-II Hybrid ARQ방식의 성능변화를 실험한 결과이다. Hybrid 타입-I과 타입-II방식의 경우 정정 코드레벨을 RS(179,124)로 하였다. 실험 결과 802.11에 FEC방식을 적용하지 않았을 때 보다 적용하였을 때 즉, 타입-I방식이나 타입-II방식으로 하였을 때 둘 다 성능이 향상되었음을 알 수 있는데 이는 802.11 MAC프로토콜에 FEC방식을 적용함으로써 성능을 향상할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 에러율이 적을 시에는 타입-I방식의 성능이 저하되는데 이

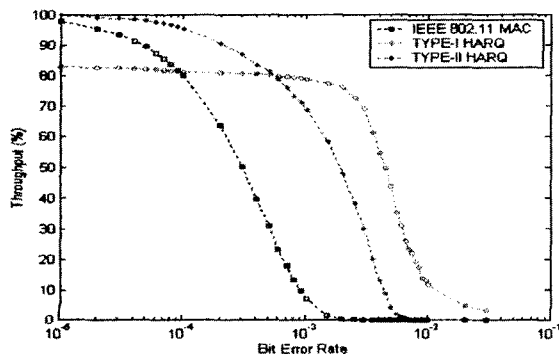


그림 4 FEC 적용 802.11 MAC 프로토콜의 성능평가

는 채널에러환경에 맞지 않는 과중한 정정 코드를 가지고 있기 때문이다. 그림 5는 적응적 FEC알고리즘을 적용하였을 때의 성능 평가를 한 것이다. 각각 코드레벨 (RS(140,124), RS(179,124), RS(218,124))인 정적인 타입-I방식들과 적응적 알고리즘의 에러율에 따른 성능변화를 나타내었다. 정적인 타입-I방식들과는 달리 적응적 알고리즘의 경우 각 채널 에러율별로 제일 좋은 성능을 유지함을 알 수 있다. 이는 각 채널에러환경에 적응하여 알맞은 코드레벨을 채택하기 때문이다.

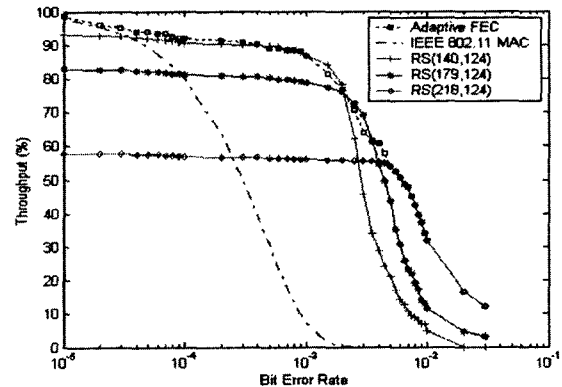


그림 5 802.11 MAC상에서의 적응적 FEC알고리즘 성능평가

5. 결론과 향후 연구

본 논문은 802.11 MAC 프로토콜의 성능향상을 위하여 FEC를 적용하는 방안을 제안하였고, 이의 성능 향상 가능성을 시뮬레이션을 통하여 평가하였다. 시뮬레이션 실험 결과에 의하면 FEC방식을 적용함으로써 성능이 향상됨을 알 수 있었고 적응적 알고리즘을 적용하여 정적인 타입-I방식들에 비하여 연속적으로 변하는 무선채널 상태에 적절하게 적응하여 최대 80% 정도의 성능향상을 보였다. 향후 연구 과제로는 시뮬레이션이 아닌 실제 네트워크 환경에서 제안한 적응적 FEC 알고리즘을 802.11 MAC 프로토콜에 적용하여 성능향상을 측정하는 것이다.

참고문헌

- [1] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, and D. Ganesan. "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming", SOSP01, October 2001
- [2] Matthew S. Gast, "802.11 Wireless Networks: The Definition Guide", O'REILLY, 2002.
- [3] S. Lin and D. J. Costello, "Error Control Coding", Prentice Hall, 1983
- [4] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [5] Dongkyun Kim, C.-K. Toh, and Yanghee Choi, "ROADMAP : A Robust ACK-driven Media Access Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE MILCOM, October, 2001.
- [6] P. Lettieri and M. B. Srivastava. "Adaptive Frame Length Control for Improving Wireless Link Throughput, Range, and Energy Efficiency", Proceedings of Infocom' 98, pp. 564-571, April 1998
- [7] G. Wu, C-W. Chu, K Wine, J. Evans, and R. Frenkiel. "WINMAC: A Novel Transmission Protocol for Infostations" 49th IEEE Vehicular Conference Proceeding, pp. 1340-1344, May 1999
- [8] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks", ACM SigMobile, pp 236-250, July 2001
- [9] Stephen B. Wicker, "Error Control Systems for Digital Communication and Storage", Prentice Hall, 1995.
- [10] Rappaport, "Wireless Communications", Prentice-Hall, 1996
- [11] I. Joe, "An Adaptive Hybrid ARQ scheme with Concatenated FEC Codes for Wireless ATM", MOBICOM '1997