무선 센서 네트워크에서의 동적 FEC 기법 구현

한상섭° 안종석
동국대학교 컴퓨터공학과
{dboy1°, jahn}@dgu.ac.kr

Implementation of a Dynamic FEC Scheme for Wireless Sensor Networks

Sang-Seob Han° Jong-Suk Ahn
Dept. of Computer Engineering Dongguk University

요 약

무선 네트워크에서는 전송오류에 의한 패킷손실이 많이 발생한다. 이러한 전송오류를 복구하기 위해 ARQ방식이나 FEC방식이 사용된다. 그러나 채널의 에러율이 증가하면 ARQ와 같은 재전송 방식의 효율은 급격히 저하된다. 이와는 달리 정정코드를 덧붙이는 FEC방식은 ARQ 방식에 비해서 채널의 에러율이 높은 환경에서 효율적인 에러 복구가 가능하다. 그러나 이러한 FEC방식도 항상 일정한 크기를 가지는 정적인 FEC방식일 경우 변화하는 무선 채널의 상태에 알맞은 정정 코드를 채택하지 못해 FEC방식의 단점인 대역폭 낭비를 초래하게 된다. 본 논문에서는 이러한 정적인 FEC방식의 단점을 개선하기 위해, 무선 채널의 전송 오류율에 따라 FEC의 정정도를 동적으로 변화시키는 동적 FEC(dynamic FEC) 알고리즘을 Mote라고 불리는 노드로 구성된 실제 센서 네트워크에 구현했다. 동적 FEC 알고리즘은 무선 채널을 모델링해서 시뮬레이션 결과에서는 성능이 향상되었고, 실제 센서 네트워크에서 실험한 결과 에러율이 낮은 환경에서는 비슷한 성능을 가지게 된다.

1. 서 론

최근에 이르러 이동 편이성과 향상된 전송 속도로 인해 무선 네트워크가 급속도로 보급되고 있다. 그 중에서도 무선 센서 네트워크는 의학용 시스템, 기상 측정, 환경 탐사와 같은 여러 분야에 사용될 수 있다. 그러나 과도한 전송 오류, 즉 높은 BER (Bit Error Rate) 수치 때문에 전송 효율이 아직도 무선 네트워크는 유선 네트워크에 비해서 현저히 낮다. 무선의 평균 BER은 약 10^{-6} ~ 10^{-3}으로 평가되고 있어, 전송 오류 방지나 복구 방법을 채택하지 않는 경우에는 대부분 패킷들이 전송 오류에 의해 손실되고 있다. 실제로 이러한 과도한 전송 오류에 대비 없이 저 출력 센서 네트워크에서는 50%이상의 패킷 손실률이 관찰되었다[1].

현재 무선 네트워크에서 사용되고 있는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은[2] 데이터 오류 발생시 재전송에 의한 지연 때문에 불필요한 오버헤드가 발생한다. 또한 채널 오류율이 증가하면 재전송 방식의 효율은 급격히 저하되어 ARQ방식만을 통한 재전송은 효율적인 전송을 할 수가 없다. 즉 노드들의 잦은 이동과 신호 간섭이 빈번한 무선 네트워크 환경 하에서는 효율적인 에러 복구를 위해서 재전송 없이 에러를 복구할 수 있는 FEC방식이 필요하다. 그러나 일반적으로 사용되는 정적인 FEC 방식은 연속적으로 변화하는 무선 채널의 오류에 알맞은 정정 코드를 채택하지 못해 불필요한 대역폭 낭비로 인하여 효율이 떨어지는 문제가 있다.

이러한 문제를 개선하기 위해서는 채널의 상태에 따라 정정 코드의 크기를 동적으로 변경하는 것이 필요하다. 즉, 패킷손실이 발생하였을 경우 채널 오류율 변화에 따라 정정코드 크기를 채택하여 재전송하는 동적 FEC 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 FEC방식을 802.11 MAC 프로토콜에 적용하는 방안에 대하여 기술한다. 또한 채널 오류율 변화에 따라 동적으로 복구 데이터의 크기를 조절하는 동적 FEC 알고리즘을 제안하고 802.11 MAC 프로토콜과 유사한 S-MAC[3]을 수정해서 실제 센서 네트워크를 통해 알고리즘의 성능향상을 실험하고 성능평가를 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구를, 3절에서는 동적 FEC 알고리즘 설계와 MAC 프로토콜에서의 적용방안, 실제적인 구현에 대해 기술하고 4절에서는 802.11 상에서의 여러 에러 정정 알고리즘의 성능을 시뮬레이션한 후 실제 센서 네트워크에서 구현한 정적 FEC 알고리즘의 성능 향상을 평가한다. 5절에서는 실험결과를 요약하고 향후 연구에 대해서 기술하였다.

2. 관련 연구

링크레벨에서의 전송성능향상을 위한 연구로는 ARQ와 FEC를 같이 채택하여 사용하는 방법인 Hybrid ARQ방식이 있는데 데이터를 재 전송하는 여부에 따라, 타입-I 과 타입-II Hybrid ARQ 방식이 있다. 위와 같은 두 방식에서 기본적으로 적용되는 FEC는 중복 데이터의 양이 일정한 정적 FEC 방식이 사용되고 있다. 이와는 다르게 정적 FEC 단점을 보완하기 위해 수신자 측에서 보고 되는 평균 손실률에 따라 현재 패킷에 덧붙여 전송하는 중복 데이터의 양을 조절하는 적응적 FEC기법도 제안되었다.[4] 이외에도 오류를 방지하기 위해 전송 방식을 무선 채널의 변화에 따라 동적으로 조절하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. [5] [6] [7]

3. 동적 FEC 기법

본 절에서는 동적 FEC 알고리즘의 설계 방식에 대해 기술하고, 802.11 MAC 프로토콜에 어떻게 적용할 것인지 적용 방안에 대해 기술하고, 마지막으로 실제적으로 구현한 방법에 대해서 살펴본다.

3.1 동적 FEC 알고리즘 설계

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 채널의 상태에 따라 동적으로 정정 코드의 크기를 변화시키는 타입-I Hybrid ARQ에 적용될 수 있는 동적 알고리즘이다. 타입-I 방식의 경우 데이터에 정정 코드를 덧붙여서 보내기 때문에 전송오류가 많을 시에 성능이 뛰어나고 전송오류가 적을 시에는 정정 코드의 오버헤드로 인해 효율적이지 못하다. 그러나 동적으로 정정코드의 크기가 변화할 경우 전송오류가 적을 시에도 정정 코드를 줄여 채널환경에 맞는 정정 코드를 보내므로 효율적으로 동작할 수 있게 된다.

본 알고리즘은 패킷 손실의 발생을 타임아웃(timeout)과 같은 암시적인(implict) 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 빈도수에 따라 가중치를 두어 패킷 손실이 없는 상황에서는 이 레벨로 안정화된다.

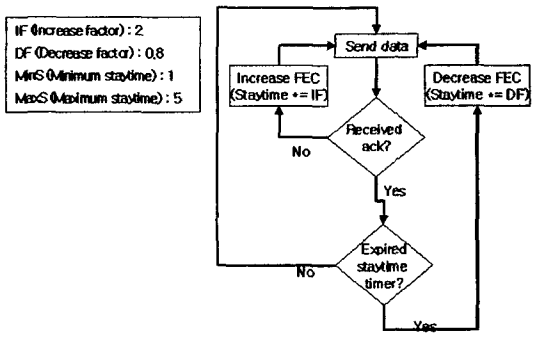

그림 1 MAC 프로토콜에 구현된 FEC 알고리즘

3.2 802.11 MAC프로토콜 적용

먼저 802.11에 구현된 동적 FEC 방식은 데이터 프레임뿐 아니라 RTS, CTS, ACK와 같은 제어 프레임에도 일정한 크기의 정정코드 덧붙이는 것이 필요하다. 이는 데이터를 성공적으로 전송하였다 하더라도, ACK가 신호 간섭에 의한 에러로 인해 손상될 경우 불필요한 재전송을 유발할 수도 있다. FEC의 정정 코드로는 RS(Reed- solomon)코드를 사용하였다. RS코드는 보통 (n, k)형태로 표현하는데, 보내고자 하는 비트스트림을 쪼개어 블록을 만들 때 ,k개 심벌 단위로 일단 블록화하고 거기에 정정 심벌(n-k)을 더하여 총 n개의 심벌을 하나의 블록으로 만들게 된다. 이 정정 심벌을 보내면 수신 측에서는 일정한 수의 오류심벌을 검출하거나 그 보다 낮은 수효의 오류 심벌을 정정할 수 있게 되어 전송품질을 일정수준 이상 유지할 수 있게 된다.[5] FEC길이가 4바이트가 되면 이는 2바이트 정도의 에러를 정정할 수 있는 정정 능력을 가지고 있다.

802.11 MAC 프로토콜에 타입-I방식을 적용하였을 경우 데이터 프레임에 정정 코드를 덧붙어 전송하기 때문에 데이터의 크기가 변경된다. 이는 RTS, CTS 헤더의 duration 필드에 전송할 데이터의 NAV값을 세팅하여 전송하게 되는데, 데이터에 정정 코드를 부여한 사이즈만큼 더하여 RTS의 duration 필드에 NAV값을 세팅해서 보내야 한다. 또한 MAC헤더에 데이터의 길이를 알려주는 필드가 추가가 되어야 한다. 이는 데이터프레임내의 원본 데이터와 FEC 데이터를 구분하기 위한 것이다. 그리고 FEC Strength 필드를 추가하였는데 이는 FEC의 정정 정도를 나타낸다. 또한 제어 패킷도 데이터 패킷과 마찬가지로 수정되어야 한다. 그림 2는 수정된 데이터 프레임과 제어 프레임의 구조를 나타내고 있다.

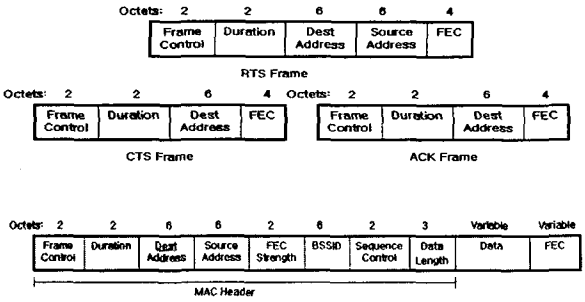

그림 2 FEC 적용 802.11 데이터 프레임과 제어 프레임

3.3 동적 FEC 알고리즘 구현

본 논문에서는 U.C. Berkeley에서 개발된 Mica Mote를 사용해서 구현하였다. Mica Mote는 Atmel ATMEGA128L 마이크로 컨트롤러와 128K bytes flash memory, 4K bytes의 SRAM등으로 구성되고, 송수신은 916Mhz대역의 라디오파를 통해서 이뤄진다. 그리고 최대전송속도는 19.2Kbps이다. Mote는 event-driven 운영체제인 TinyOs[6]을 통해 구동시킬 수 있다. TinyOs는 무선 센서 네트워크에 최적화된 운영체제로써 Mote와 함께 시스템에 구애받지 않고 여러 가지 분야에 응용될 수 있는 임베디드 시스템이다.

동적 FEC 알고리즘의 구현을 위해서 802.11과 유사한 S-MAC을 사용하였다. S-MAC은 전원을 줄이기 위해 송수신을 하지 않을 때는 주기적으로 청취(listen)모드과 절전(sleep)모드로 동작한다. 802.11b를 기본으로 Periodic listen and sleep, Collision and Overhearing avoidance, Message Passing등의 세 가지 기능이 추가되었다. FEC의 구현은 S-MAC과 물리 계층(physical layer) 사이에 PHY_RADIO 모듈에 구현되었고, ACK패킷과 제어 패킷 관

련 정보를 상위 계층과 유기적으로 동작하도록 구현하였다.

MAC 모듈에서 채널을 확보한 후, 데이터를 PHY_RADIO 모듈로 내려 보내면 FEC 레벨을 적용해서 데이터를 전송한다. MAC 모듈에서 ACK를 받지 못하면, 에러로 인한 손실로 결정하고, PHY_RADIO 모듈에 FEC 레벨을 증가시킨다. FEC 레벨은 0, 1, 2, 3과 같이 4단계로 구성된다. 레벨 0은 처음 전송할 때나 중복 데이터가 없는 원본 데이터만 전송하는 단계이다. 나머지 레벨은 정정코드가 덧붙여지는 단계이다. 데이터의 크기는 100바이트로 고정되었으며, 정정코드의 크기는 4, 12, 20로 레벨이 증가할 때마다 커진다. 각각의 레벨은 현재의 레벨을 유지할 수 있는 지속시간(Staytime)을 가지게 되며 레벨이 증가할 때마다 IF(Increase Factor)를 곱해 최대값 (MaxS, Maximum Staytime)까지 증가하게 된다. 반면 지속시간이 초과하면 타이머에 의해 현재 사용 중인 FEC 레벨을 제외한 다른 FEC 레벨에 DF(Decrease Factor)를 곱한다. 타이머에 의해 FEC 레벨이 계속해서 감소할 경우 레벨 유지 시간은 최소값(MinS, minimum Staytime)까지 감소하게 된다. 즉, 하나의 FEC 레벨을 오랫동안 빈번하게 발생하게 되면 다른 레벨에서 저장하고 있는 지속시간은 현재 채널의 상태를 반영하지 못하게 된다. 그러므로 위와 같은 동적 FEC 알고리즘은 현재 채널의 상태에 맞게 적당한 FEC 레벨을 반영할 수 있게 된다.

4. 성능 평가

본 절에서는 먼저 시뮬레이션을 통해 동적 FEC 알고리즘의 성능을 평가한 후, 실제적으로 S-MAC (Sensor-MAC)에 구현된 FEC 알고리즘을 Mote에 탑재시켜 비교를 통해 성능을 평가하고 분석한다.

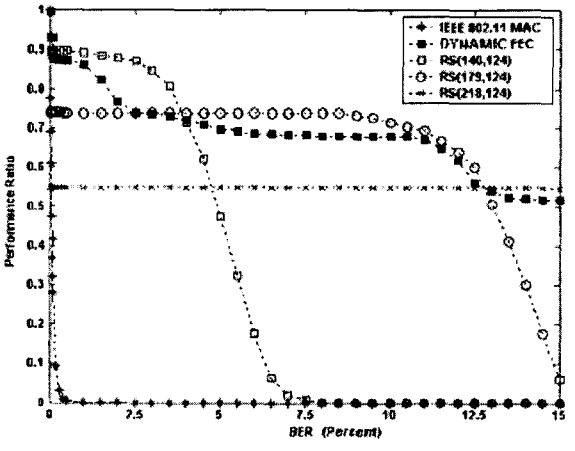

그림 3 IEEE 802.11 MAC상에서의 알고리즘의 성능 평가

그림 4는 NS-2 시뮬레이터를 통해서 802.11에 각각 동적 FEC, ARQ, 그리고 세 개의 정적 FEC 알고리즘들을 적용했을 때의 성능을 보여준다. BER(Bit Error Rate)이 증가함에 따라 802.11의 성능이 급격하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이에 반해 세 정적 FEC 알고리즘들은 정정 코드의 부하로 인해서 BER이 0.1%미만일 때는 ARQ에 비해 성능이 떨어진다. 그러나 에러율이 0.1%이상일 때는 RS(140,124)와 RS(179,124)의 성능은 각각 3%와 10%의 하락(cutoff)지점 전까지는 일정하다. 마지막으로 RS(218, 124)는 다른 코드에 비해 에러율이 낮을 때는 성능이 저하되나, 오류율이 증가될 때는 성능이 일정하다. 마지막으로 동적 FEC 알고리즘은 짧은 기간 동안 지속되는 높은 BER에도 불구하고 무선 채널에 변화에 적절하게 변화되는 것을 알 수 있다.

실제적인 실험에서는 송신자와 수신자가 가시거리 내에 있지 않은, 즉 벽을 사이에 두고 떨어져 있는 환경에서 10분마다 이동하는 측정하였다. 동적 FEC 알고리즘을 적용했을 때와 에러 검사를 위한 CRC (Cychic Redundancy Check)만을 가지고 있는 S-MAC과 성능을 비교했다. 시뮬레이션 환경과는 다르게 실제 환경에서는 에러율이 높지 않았기 때문에 비슷한 성능을 가지게 되었다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 무선 센서 네트워크의 성능향상을 위한 동적 FEC방식을 적용하는 방안을 제안하였다. FEC 알고리즘은 네트워크의 대역폭을 낭비하는 단점이 있지만, 에러율이 높은 환경에서는 재전송에 비해 높은 효율을 가질 수 있다. 이러한 성능 향상 가능성을 시뮬레이션을 통해 정적 FEC 알고리즘이나 ARQ방식을 사용하는 것 보다는 훨씬 안정적이고 성능이 높다. 그러나 실제 네트워크에서의 실험 결과는 채널의 에러율이 낮기 때문에 비슷한 성능을 가지게 된다. 향후 연구 과제로는 채널의 에러율이 높은 환경에서 동적 FEC 알고리즘의 성능을 평가하는 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] S. Lin and D. J. Costello, "Error Control Coding", Prentic Hall, 1983

[3] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin. *An* Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the IEEE Infocom, pp. 1567-1576. New York, NY, USA, USC/Information Sciences Institute, IEEE. June, 2002.

[4] J. C. Bolot, S. Fosse-Parisis, and D. Towsley , Adaptive FEC-Based Error Control for Internet Telephony, Infocom'99, pp.1453-1460, April 1999

[5] 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

[6] 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

[7] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks, ACM SigMobile, pp 236-250, July 2001

[8] Stephen B. Wicker, "Error Control Systems for Digital Communication and Storage", Prentice Hall, 1995.

[9] http://today.cs.berkeley.edu/tos/