

높은 BER 환경하에서 ATM 헤더 오류 제어 모드의 성능 분석

정회원 한 덕 찬*, 안 동 명*

Performance Analysis of ATM Header Error Control Mode over High BER Environments

Duck Chan Han*, Dong Myung Ahn* *Regular Members*

요 약

상용 ATM 기술은 전송로 상태가 극히 양호한 광섬유의 사용을 전제로 한 전송 방식이기 때문에 군 통신과 같이 전송로의 특성이 나쁜 무선 환경에 적용하기에는 문제가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 먼저 상용 ATM 프로토콜을 높은 BER 환경에 적용할 때 나타나는 ATM 셀 전달 특성을 정량적으로 파악하였다. 시뮬레이션을 통하여 무선 환경에 상용 HEC 알고리즘과 에러 제어 방식을 적용할 수 있는지 여부를 분석하였다. 그리고, 이러한 결과를 토대로 상용 ATM 프로토콜을 무선 환경에 적용하기 위해 필요한 개선 방향을 제시하였다.

ABSTRACT

ATM techniques are widely accepted as a key transport mechanism in fiber-based broadband network. However, to keep pace with the rapid emerging wireless high speed market, it is desirable to verify the reliability & adaptability of ATM protocol on high error environment.

This paper investigates the various ATM cell transfer characteristics over air interface. Through simulation, we analyze their usabilitys of HEC mechanism and single-bit error correction algorithm based on ITU-T recommendation.

We propose some methods for cell transport improvement over errored environment and investigate their performance for suggested schemes.

I. 서 론

기술의 급속한 발전과 다양한 서비스 제공에 대한

요구는 통신망의 광대역화와 기존의 통신망을 효율적으로 통합할 수 있는 새로운 통신 방식을 요구하게 되었다. 이러한 요구에 따라 통신 관련 국제 표준화 기구인 ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)는 비동기 전송 방식(ATM: Asynchronous Transfer Mode)으로 통

* 국방과학연구소

論文番號 : 97461-1218

接受日字 : 1997年 12月 18日

신 방식을 표준화하였고, 이를 기반으로 하는 광대역 종합 정보 통신망(BISDN: Broadband Integrated Services Digital Network) 실현을 눈앞에 두고 있다.

군 통신망도 이러한 종합 정보 통신망으로 발전해야 한다는 판단에 따라, ATM을 기반으로 하는 차세대 군 전송 체계를 계획하고 있다. 미국의 경우 21세기 정보전을 대비하여 차기 전송 정보 전송 체계(BITS: Battlefield Information Transmission System)를 계획하고 있는데, 이것은 ATM을 기반으로 각종 전장 정보의 실시간 지원을 위한 전송 체계이다. NATO도 21세기 군 통신을 대비한 전송 통신 체계인 TCP-2000을 계획하고 있으며, 현재 국가간의 상호 연동성을 보장하기 위한 공동 규격을 제정중이다[1][2][3].

무선 위주의 군 통신망이나 이동통신망에 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 ATM 프로토콜을 적용할 때 가장 큰 문제는 무선 링크에서 일어나는 높은 에러율이다. 본래 상용 ATM 기술은 전송로 상태가 극히 양호한 광섬유의 사용을 전제로 하기 때문에 전송로의 특성이 나쁜 무선 환경에 그대로 적용하기에는 문제가 있다. 그래서 상용의 ATM 기술을 군의 전송 환경에 적용할 수 있는가에 대한 해답을 찾으려고 상용 ATM 스위치를 위성을 통해 연결하여 위성 링크하에서 상용 ATM 셀의 전달 특성을 측정하는 실험이 진행되었다[4][5]. 또한, 상용 ATM 프로토콜을 무선 환경에 그대로 적용할 수 없다는 전제하에 전송 에러가 많은 링크에서 헤더를 보호하기 위한 연구들이 이루어졌다[6][7].

지금까지의 연구는 무선 환경에 상용 ATM 기술을 적용할 수 없다는 전제하에 무선 전송로상에 전송되는 셀의 헤더와 정보를 보호하기 위한 여러가지 기법을 제시하였으나, 무선 전송로에 적용할 군용 ATM 기술의 접근 방향을 모색하기 위해서는 전송되는 셀의 전달 특성에 대한 정량적인 분석이 선행되어야 한다. 무선 전송로로 전달되는 셀의 전달 특성을 정확히 파악한 후에야 그 환경에 ATM 기술을 적용하기 위해 필요한 기능과 요구되는 에러 정정 능력의 정도를 알 수 있기 때문이다. 일반적으로 10^{-3} 에서 10^{-5} 정도로 가정하는 무선 전송로에서 전달되는 셀의 손실은 얼마나 되며, 이러한 셀손실률을 개선하기 위해서는 어떠한 기능을 추가해야 하는가? 상용에서 제안한 에러 제어 방식이 과연 무선 환경에 적용 가능한 기법인가? 또한 에러가 버스트하게 발생하는 링크로 전달되는 셀

의 동기는 유지될 수 있는가? 동기가 유지되지 않는다면 어떠한 동기 기법이 무선 환경에 적합한 방식인가? 전달된 셀의 정보에는 얼마만한 에러가 존재하는가? 에러가 포함되어 있는 셀의 정보는 어떻게 할 것인가? 셀 정보의 에러를 상위 계층에서 처리하는 것이 좋은가 아니면 물리 계층에서 이 기능을 수행하게 하는 것이 좋은가? 등의 문제를 해결해야 한다. 다시 말하면, 상용 ATM 프로토콜을 무선 환경에 적용할 수 있는지의 여부뿐만 아니라 상용 프로토콜을 수정해야 한다면 어느 계층을 어느 수준까지 수정하여야 하는가? 등에 대한 방향을 제시해야 한다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제들을 해결하기 위한 접근 방향을 제시하기 위해 상용 ATM 프로토콜을 높은 BER 환경에 적용하였을 때 나타나는 ATM 셀 전달 특성을 정량적으로 파악하려고 한다. 무선 전송로의 셀 전달 특성을 파악하기 위해 링크의 BER과 셀손실률, 무선 환경하에서 자주 발생하는 버스트 에러와 셀손실률, 셀에러율과의 관계를 시뮬레이션하였다. 또한 상용 ATM 프로토콜에서 사용하는 에러 제어 방식과 에러 정정 알고리즘이 무선 환경에 적용되었을 경우에 나타나는 현상을 시뮬레이션하고 분석하였다.

본 논문의 2장에서는 시뮬레이션에 사용된 모델을 설명하였으며, 3장에서는 시뮬레이션 데이터를 정리하고, 상용 ATM 프로토콜을 무선 환경에 적용할 때 나타나는 셀의 전달 특성을 분석하였다. 결론에서 분석 결과를 토대로 무선 환경에 적합한 방식들을 제안하고, 향후 연구 과제들을 도출하였다.

II. 시뮬레이션 모델

본 장에서는 무선 환경에서 전달되는 셀의 전달 특성을 정량적으로 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 기술한다. 여기서 무선 환경은 전송로에서 발생하는 에러 즉 BER로 표현하며, 에러의 발생 형태는 랜덤하게 발생하는 경우와 버스트하게 발생하는 경우로 구분한다. 링크의 에러 발생은 IBP(Interrupted Bernoulli Process) 모델을 사용하였고, 시뮬레이션 틀은 OPNET을 사용하였다.

2.1 시뮬레이션 모델

본 시뮬레이션에서는 무선 링크로 전송되는 ATM 셀의 전달 특성에 주로 관심이 있으므로 망 모델을

단대단으로 구성하였다. 망 모델은 송신 노드, 중계 노드, 수신 노드로 구성된다. 송신 노드는 셀을 발생시키는 기능을 하며, 중계 노드는 수신된 셀의 헤더를 읽어 입력 변수에 따라 에러 수정과 검출을 하고 다시 수신 노드로 전달한다. 수신 노드는 들어온 셀의 헤더를 읽어 에러 수정과 검출을 하고, 시물레이션 데이터를 수집한다. 또한 링크의 특성(BER)에 따른 셀손실을 측정하기 위해 각 링크에 에러를 삽입하기 위한 모델을 개발하였다. 전송로상에서 발생하는 에러는 랜덤하게 발생하는 경우와 버스트하게 발생하는 경우로 나눌 수 있다. 랜덤 에러의 전달 특성은 수학적 해석이 가능하지만 버스트 에러의 경우는 해석하기가 어려우므로 시물레이션을 사용한다. 본 시물레이션 모델에서 링크 에러는 그림 1과 같은 IBP 모델을 이용하였다. 일반적으로 버스트 에러를 말할 때, 에러 발생 형태가 버스트 에러 기간 동안 에러가 연속적으로 발생하고, 어떤 기간 동안은 에러가 발생하지 않는 형태가 반복되는 경우를 말한다. 따라서 버스트 에러 구간(ON)에는 높은 확률을 갖는 베르누리 시퀀스 발생기를 동작시키고, 에러가 없는 구간(OFF) 동안은 발생기를 동작시키지 않는 경우와 같다. 그림 1의 에러 발생 천이도에서 p 는 ON 상태에서 에러가 발생할 확률이다. 그리고, α 는 ON 상태에서 OFF 상태로 천이할 확률을 의미하며, $1-\alpha$ 는 ON 상태에 머무를 확률을 나타낸다. β 는 OFF 상태에서 ON 상태로 천이할 확률을 의미한다. 이와 같은 모델에서 랜덤 에러를 발생시킬 경우에는 $\alpha = 0$ 로 하여 항상 ON 상태에 머무르게 하면 된다.

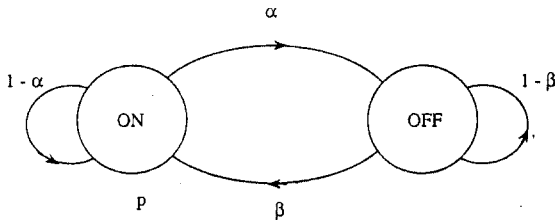


그림 1. 에러 발생 상태 천이도
Fig. 1 Transition diagram of error generation

2.2 헤더 에러 제어 방식

무선 환경하에서 상용 ATM 프로토콜의 취약성은

주로 전송 매체를 규정하고 있는 물리 계층에 있으며, 그 중에서 헤더 에러 제어 기능과 셀 경계점 검출 기능은 무선 환경에 그대로 적용하기에는 문제가 발생 하리라 예상된다.

헤더 에러 제어(HEC)는 헤더의 첫 4 바이트에 대해서 순환 중복 검사(CRC:Cyclic Redundancy Check)를 행해서 그 결과를 5번째 바이트에 기록해 두었다가, 수신측에서 이 과정을 반복한 후 그 결과를 검사하여 에러를 검출한다[8]. 표준 ATM 프로토콜은 이러한 에러 제어를 위해 그림 2에 나타낸 것과 같이 정정 모드와 검출 모드의 두 가지 모드를 설정해서 운용한다. 평상시 운용 모드는 정정 모드인데, 정정 모드에서는 단일 비트 에러 정정 기능을 제공한다. 정정 모드에서 에러가 검출되면, 단일 비트 에러인 경우에는 이를 정정 처리한 후 검출 모드로 넘어가고, 다중 비트 에러인 경우에는 해당 셀을 폐기 처리한 후 검출 모드로 넘어간다. 검출 모드에서 에러가 검출되면, 그 셀을 폐기 처리하고, 에러가 검출되지 않으면 다시 정정 모드로 환원한다. 이 방식은 검출 모드에서 1비트 에러만 나도 셀을 폐기하기 때문에 사용하지 않을 경우보다 셀손실이 커진다. 이것은 에러 제어 방식을 사용하여 셀손실이 조금 높아진다 하더라도 에러가 있는 셀을 상위 계층으로 전달하는 것 보다는 폐기하는 것이 바람직하다고 보기 때문이다. 그러나, 무선 환경과 같이 에러가 버스트하게 발생하는 경우에는 검출 모드에서의 셀손실이 더욱 커질 가능성이 있다. 이러한 경우 상용 ATM 프로토콜의 헤더 에러 제어 방식이 무선 환경에서도 적합한 에러 제어 방식인지는 의문의 여지가 있다. 이러한 에러 제어 방식이 셀 전달 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 시물레이션을 수행하였다.

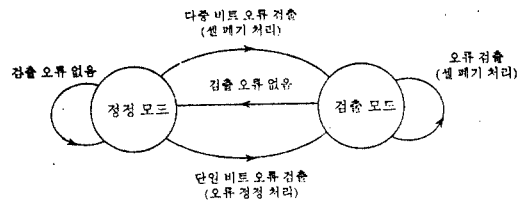


그림 2. 헤더 에러 제어 방식
Fig. 2 Header error control mode

III. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 얻고자 하는 ATM 셀 전달 특성 파라미터는 셀손실률(CLR: Cell Loss Ratio)과 셀에러율(CER: Cell Errored Ratio)이다. 셀손실률은 ATM 품질 중에서 가장 중요한 변수이며 전송된 셀의 총 개수에 대해 수신측의 HEC 알고리즘에 의해 폐기된 셀의 비율이다. 셀에러율은 성공적으로 도착한 셀 중에서 정보 영역에 한 비트 이상의 에러가 존재하는 셀의 비율이다.

3.1 랜덤 에러하에서의 셀손실률

그림 3은 랜덤 에러 환경에서 에러 정정 능력 강화에 따른 셀손실률의 변화를 보여준다. 그림에서 BER이 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 일 때 셀손실률은 $10^{-3} \sim 10^{-7}$ 이다. 만일 무선환경의 BER을 10^{-4} 으로 가정하면 셀손실률은 5×10^{-5} 이고, 이 경우 무선 ATM 망 설계에 제안된 서비스 요구 품질에 따르면 화상 전화나 화상 회의는 가능하지만 데이터 전송에는 문제가 있다[9][10][11]. 따라서 현재의 상용 ATM 프로토콜을 무선 환경에 그대로 사용할 수는 없고, 셀손실률을 개선할 수 있는 방법을 연구해야 한다. 무선 상용 ATM 프로토콜의 헤더 에러 정정 능력을 강화하는 방법을 고려할 수 있으나, 그림 3에서 보는 바와 같이 랜덤 에러 환경에서는 에러 정정 능력의 강화만으로는 셀손실률이 크게 개선되지 않는다. 이것은 그림 4와 같이 랜덤 에러 환경하에서의 셀손실률은 주로 검출 모드의 영향을 받으므로 에러 정정 능력만의 강화는 의미가 없기 때문이다.

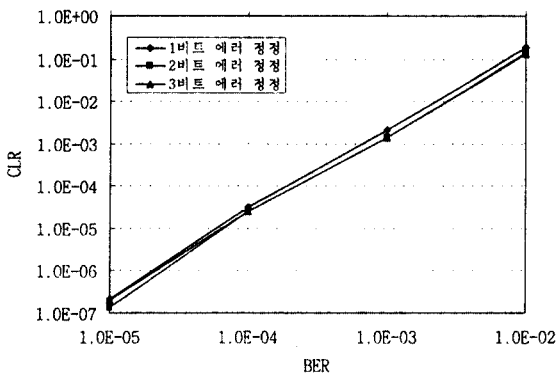


그림 3. 랜덤 에러하에서 에러 정정 능력과 셀손실률
Fig. 3 Error correction capabilities and CLR over random error

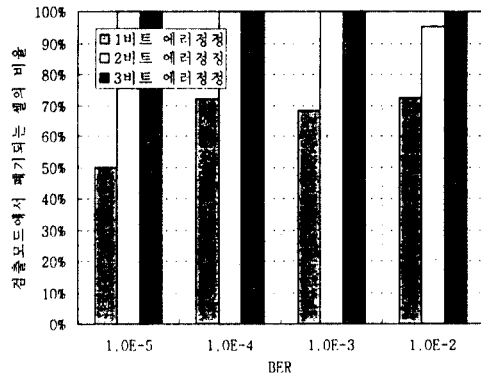


그림 4. 검출모드에서 폐기되는 셀의 비율(랜덤 에러)
Fig. 4 Ratio of discard cells in detection mode (random error)

검출 모드가 셀손실률에 미치는 영향이 크므로 검출 모드를 제거하면 셀손실률이 개선될 것으로 예상되어 검출 모드를 적용하지 않고 시뮬레이션 하였다. 그림 5의 결과를 보면 에러 정정을 하고 검출 모드를 적용하지 않을 경우에는 상용 ATM 프로토콜에 비해 셀손실률이 개선된다. 또한 에러 정정 능력을 2 비트 이상으로 강화함에 따라 셀손실률이 상당히 개선된다. 따라서 무선 환경에서 에러가 랜덤하게 발생하는 경우에는 정정 모드만을 사용하고 에러 정정 능력을 2비트 이상 강화해야 한다.

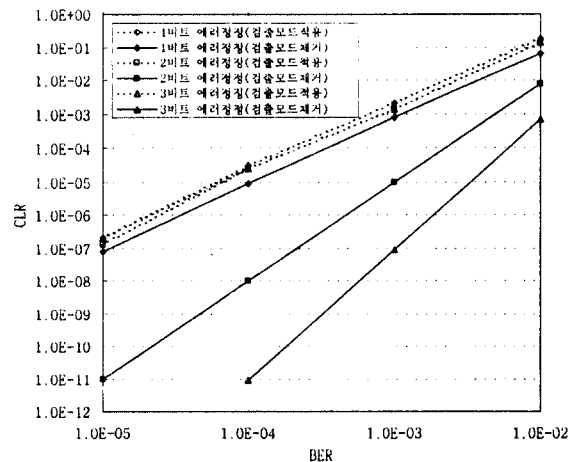


그림 5. 랜덤 에러하에서 검출 모드와 셀손실률
Fig. 5 Error detection mode and CLR over random error

3.2 버스트 에러하에서의 셀손실률

버스트 에러하에서의 셀손실률은 랜덤 에러의 경우보다 심각하다. 셀손실률을 개선하기 위해 랜덤 에러의 경우와 같이 상용 ATM 프로토콜의 헤더 에러 정정 능력만을 강화하는 방법을 고려할 수 있다. 버스트 에러 환경에서 에러 정정 능력을 2 비트 이상으로 강화하면 그림 6과 같은 결과를 보인다. 그림에서 에러 정정 기능이 강화되면 랜덤 에러의 경우와는 달리 셀손실률이 개선됨을 알 수 있다. 그러나, 그림 7과 같이 검출 모드를 적용하지 않은 경우에는 거의 같은 셀손실률을 유지한다. 이것은 그림 8에서 알 수 있듯이 버스트 에러로 인해 폐기되는 셀의 대부분은 정정 모드에서 폐기되므로 검출 모드를 제거한 효과가 거의 나타나지 않기 때문이다. 버스트 에러 환경하에서는 검출 모드를 제거해도 랜덤 에러의 경우와는 달리 셀손실이 개선되지 않는다. 또한 헤더 에러 정정 능력을 강화시키는 방법은 늘어나는 오버 헤드에 비해 랜덤 에러만큼 셀손실률의 개선을 기대하기 어렵다. 이상의 결과로 볼 때, 주로 버스트 에러가 발생하는 무선 링크에서는 인터리빙[12] 등을 통하여 버스트 에러를 랜덤하게 분산시킨 후에 검출 모드를 적용하지 않고 에러 정정 능력을 강화시켜야 한다.

3.3 인터리빙과 에러 정정 능력

앞절에서 제안한 인터리빙을 이용하여 에러를 분산시킨 후 검출모드를 적용하지 않고 2비트 에러를 정

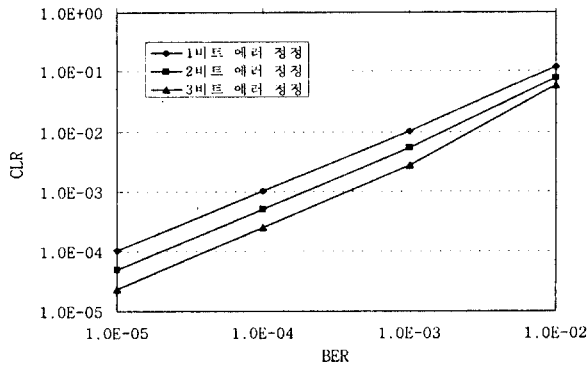


그림 6. 버스트 에러하에서 에러 정정 능력과 셀손실률(버스트 길이 = 2)
Fig. 6 Error correction capabilities and CLR over burst error(burst length = 2)

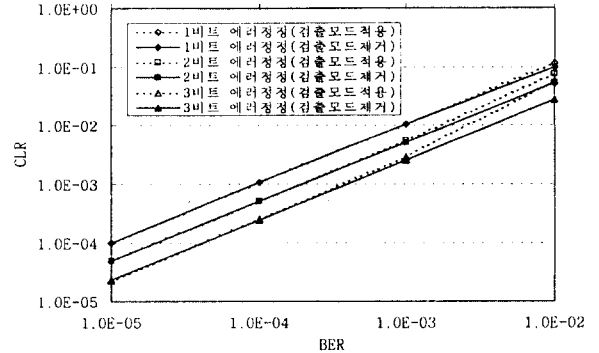


그림 7. 버스트 에러하에서 검출 모드와 셀손실률(버스트 길이 = 2)
Fig. 7 Detection mode and CLR over burst error(burst length = 2)

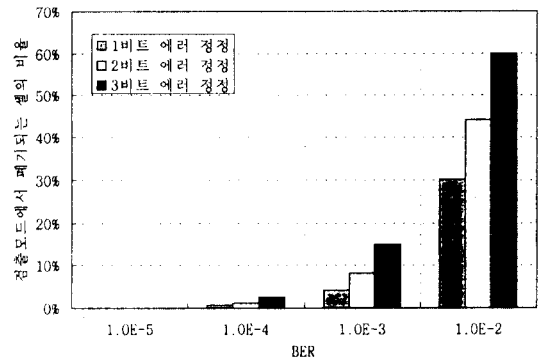


그림 8. 검출모드에서 폐기되는 셀의 비율(버스트 에러)
Fig. 8 Ratio of discard cells in detection mode(burst error)

정하는 경우를 시뮬레이션 하였다. 그림 9는 버스트 에러 환경하에서 상용 ATM 프로토콜을 적용한 경우와 헤더 40비트를 1셀내에서 인터리빙하여 에러를 분산시킨 후 검출모드를 적용하지 않고 에러 정정 능력을 2 비트로 강화한 경우를 비교한 결과이다. 그림에서 셀에러율이 상당히 개선됨을 알 수 있다.

3.4 버스트 에러하에서의 셀에러율

헤더에 에러가 없다고 판명되어 셀이 수신되었어도 셀에 포함된 정보가 에러에 의해 손상될 수 있다. 현재 물리 계층에서 정보 구간에 대한 에러 보호 대책이 없기 때문에 에러에 더 취약할 것이다. 그림 10은 랜덤 에러 환경에서의 CER과 버스트 에러 환경에서의

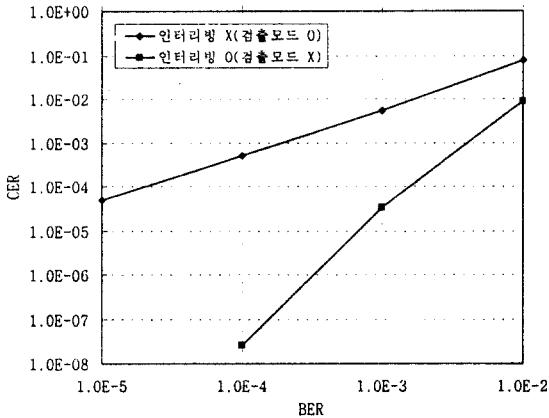


그림 9. 버스트 에러하에서 인터리빙과 셀손실률
Fig. 9 Interleaving and CLR over burst error

CER을 비교한 결과이다. 그림에서 랜덤 에러의 경우보다 버스트 에러가 발생할 때 CER이 낮음을 알 수 있다. 이것은 버스트 에러 환경에서는 한 셀에 에러가 집중적으로 발생하게 되고, 그 셀의 대부분은 에러 정정 방식에 의해 폐기되기 때문이다. 셀 헤더 뿐만 아니라 셀 정보에 대한 보호 대책이 필요하다.

그림 11은 버스트 에러 환경하에서 상용 ATM 프로토콜을 적용한 경우와 헤더 40비트를 1셀내에서 인터리빙하여 에러를 분산시킨 후 에러 정정 능력을 2비트로 강화한 경우의 CER이다. CER의 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 이것은 높은 BER 환경하에서 상용 ATM 프로토콜이 제안하는 검출 모드를 제거해도 CER에는 영향을 끼치지 않음을 말해 준다.

지금까지는 주로 셀의 헤더를 보호하는 것에 관심을 두었으나, 시뮬레이션 결과에 따르면 전달되는 정보에 대한 에러 보호 대책이 필요하다. 일반적으로 음성 경우에는 BER이 10^{-3} 정도에서도 아무런 지장 없이 통화할 수 있으며, 영상인 경우에는 BER 10^{-6} , 데이터의 경우에는 BER이 10^{-9} 이하에서 가능하다. 이와 같이 제공하려는 서비스에 따라 요구되는 서비스 품질이 다르므로 물리 계층에서 모든 서비스 품질을 만족시키는 수준까지 에러를 처리하게 하는 것은 무리가 있고, 요구되는 서비스 품질에 따라 물리 계층에서 FEC 등을 통해 10^{-6} 정도까지 개선하고, 상위 계층에서도 에러 제거 기능을 수행하는 것이 타당할 것으로 보인다.

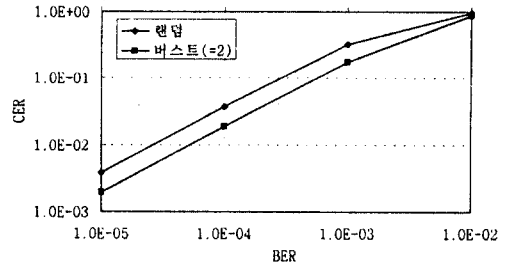


그림 10. 랜덤, 버스트 에러하에서 셀에러율
Fig. 10 CER over random and burst error

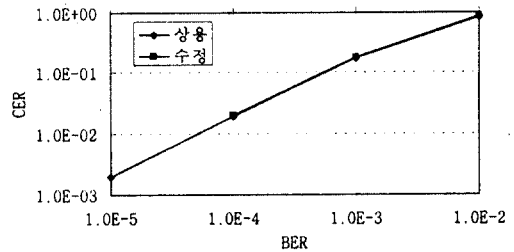


그림 11. 버스트 에러하에서 셀에러율
Fig. 11 CER over burst error

IV. 결론

본 논문에서는 광케이블을 전송 매체로 개발한 상용 ATM 기술을 높은 BER 환경에 적용하였을 때 나타나는 ATM 셀의 전달 특성을 연구하였다. 무선 전송로의 셀 전달 특성을 파악하기 위해 링크의 BER과 셀 손실률, 무선 환경하에서 자주 발생하는 버스트 에러와 셀손실률, 셀에러율과의 관계를 시뮬레이션하였다. 또한 상용 ATM 프로토콜에서 사용하는 에러 제어 방식과 에러 정정 알고리즘이 무선 환경에 적용되었을 경우에 나타나는 현상을 시뮬레이션하고 분석하였다.

랜덤 에러 환경하에서는 상용 ATM 프로토콜의 에러 정정 능력을 강화해도 셀손실률이 개선되지 않았다. 그러나, 검출 모드를 사용하지 않을 경우에는 에러 정정 능력에 따라 셀손실률이 개선된다. 그러므로, 무선 환경에서 에러가 랜덤하게 발생하는 경우에는 검출 모드는 사용하지 말고, 정정 모드만을 사용하며, 에러 정정 능력을 2비트 이상 강화해야 한다.

버스트 에러 환경하에서는 상용 ATM 프로토콜의 에러 정정 능력을 강화하면 랜덤 에러의 경우와는 달리 셀손실률이 개선된다. 그러나, 이로 인해 늘어나는 오버헤드에 비해 셀손실률의 개선에는 효과가 적다. 또한 검출 모드를 사용하지 않을 경우에도 랜덤 에러의 경우와는 달리 셀손실이 개선되지 않는다. 따라서 주로 버스트 에러가 발생하는 무선 링크에서는 인터리빙 등을 통하여 버스트 에러를 랜덤하게 분산시킨 후에 검출 모드를 적용하지 않고 에러 정정 능력을 강화시켜야 한다.

지금까지는 올바른 정보 전달을 위해 셀의 헤더를 보호하는 기능에만 관심을 두었는데, 시뮬레이션 결과를 보면 제대로 전달되었다고 판단된 셀의 정보 영역에 발생하는 에러가 크기 때문에 이 정보 영역을 보호하기 위한 대책이 필요하다. 제공하려는 서비스에 따라 요구되는 서비스 품질이 다르므로 물리 계층에서 모든 서비스 품질을 만족시키는 수준까지 에러를 처리하게 하는 것은 무리가 있고, 요구되는 서비스 품질에 따라 물리 계층에서 FEC 등을 통해 10^{-6} 정도까지 개선하고, 상위 계층에서도 에러 제어 기능을 수행하는 것이 타당할 것으로 보인다.

앞으로 셀을 프레임화해서 전송했을 경우에 나타나는 링크 특성, FEC 기법, 무선 환경에서 셀 동기 분석을 위한 시뮬레이션 등이 요구된다. 그리고, 이러한 데이터를 통해 무선 환경에 적용될 무선 ATM 프로토콜을 계속해서 정립해 나가야 한다.

참 고 문 헌

1. Paul F. Sass and Lanny Gorr, "Communications for the Digitized Battlefield of the 21st Century," IEEE Commun. Mag., pp.86-95, Oct. 1995.
2. Wing C. Quan and E. Robert Sive, "POST-2000 Tactical Communications Systems for NATO," IEEE Commun. Mag., pp. 113-118, Oct. 1995.
3. Leigh Ann Klaus, "ATM-The Future of Battlefield Communications," Defense Electronics, pp. 25-27, Jan. 1994.
4. Stefano Agnelli and Paolo Mosca, "Transmission of Framed ATM Cell Streams over Satellite: A Field Experiment," ICC '95, pp. 1567-1571.
5. Charles Graff and Frank Halloran, "Tactical Bat-

- tlefield ATM," MILCOM '94, pp. 473-478.
6. Stefan Ramseier and Thomas Kaltenschnee, "ATM Over Satellite: Analysis of ATM QOS Parameters," ICC '95, pp. 1562-1566.
7. C. Apostolas, R. Tafazolli and B. G. Evans, "Wireless ATM LAN," PIMRC '95," pp. 773-777.
8. 이병기, 강민호, 이종희, "광대역 통신 시스템," 교학사, 1993년.
9. Melbourne Barton and T. Russell Hsing, "Architecture for Wireless ATM Networks," PIMRC '95, pp. 778-782.
10. P.F.M. Smulders, "Error Control in ATM-Based Indoor Radio LANs," PIMRC '94, pp. 237-241.
11. 이경준 역, "초고속 정보통신망의 핵심 B-ISDN," Ohm사, 1995년.
12. Sung Ho Lim, Dong Myung Ahn, Duk Whan Kim and Dae Young Kim, "Cell Loss Reduction by Cell Unit Interleaving in Wireless ATM Networks," ICC '95, pp. 449-453.



한 덕 찬(Duckchan Han) 정회원
 1989년 2월:충남대학교 전자공학과(학사)
 1991년 2월:충남대학교 전자공학과(석사)
 1991년 2월~현재:국방과학연구소 근무
 ※주관심분야:Wireless ATM, 위성통신



안 동 명(Dongmyung Ahn) 정회원
 1977년 2월:서강대학교 전자공학과(학사)
 1979년 2월:서울대학교 전자공학과(석사)
 1993년 5월:Brooklyn Polytech 전자공학과(박사)
 1979년 3월~현재:국방과학연구소 근무
 ※주관심분야:Wireless ATM, 위성통신