방송 제작 환경에서의 ATM을 이용한 고속 전송 알고리듬
Fast transmission algorithm using ATM in broadcasting production environment

김 태 현, 김 경 수
한국방송공사 기술연구소
Kim Taehyun, Kim Kyeongsoo
Korean Broadcasting System Technical Research Institute

요약

본 논문에서는 ATM 네트워크 상에서 방송 제작 품질로 압축된 동영상을 TCP (Transport Control Protocol) 기반으로 전송하는 경우에 대하여 연구하였다.

데이터의 송수신시에는 잡음으로 인한 ATM 셀의 손실이 발생하게 되는데, ATM 셀의 손실로 인한 패킷의 손실은 송신측의 재전송과 타임 아웃을 유발하므로, 전송 성능에 지대한 영향을 미치게 된다. 이 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 재전송 시간을 줄이고 송신측의 타임 아웃을 제거하여 고속으로 손실을 복구하는 알고리듬을 제안하였고, 그 성능을 기존의 알고리듬과 비교하였다.

또한, 본 논문에서는 영상을 전송하는 과정에서 데이터 수신 버퍼의 오버플로우가 발생하지 않도록 충분한 버퍼 크기를 계산하는 방법에 관해서도 고찰하였다. 특히, 방송 제작 품질의 화질을 처리하는 경우에 대한 시스템 모델링을 하였고, 이 모델에 대하여 오버플로우를 일정 수준 이하로 낮추기 위한 수신 버퍼의 크기를 결정하였다.

I. 서론

인터넷으로 대표되는 컴퓨터 통신 기술의 발달은 사회 전반에 걸쳐 점진적인 변혁을 초래하게 되었다. 특히, 개인적으로 필요한 문자 정보를 집에서 찾아볼 수 있을 뿐만 아니라 화상 회의, 원격 진료, 그리고 원격 회의와 같은 멀티미디어 정보도 주고받을 수 있게 되었는데, 이것은 컴퓨터의 고성능화와 네트워크 기술의 발달에 따른 서비스의 질이 향상된 데에 기인한다. 방송 분야에 있어서도 통신망을 이용한 주문형 비디오, 인터넷 방송과 같은 여러 가지 형태의 멀티미디어 시험 서비스가 시행되고 있으며, 방송 제작 분야에 있어서도 초고속 네트워크 기술을 이용하여 넌리니어 편집 시스템과 송출 시스템, 그리고 디지털 라이브러리 등에 존재하는 개별적인 자원을 화질의 열화없이 공유할 수 있도록 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 현재 널리 진행되고 있는 동영상의 전송에 관한 연구는 대부분 MPEG 영상을 전송하는 환경에 기반을 둔 것이기 때문에[4, 5, 10], 방송용 화질의 영상 제작 환경에는 적합하지 않다. 왜냐하면, 일반적인 영상 제작 환경에서는 모션 JPEG 압축을 기반으로 만들어진 시스템이 널리 사용되는데, 모션 JPEG 방식은 프레임간 압축을 사용하지 않으므로, 같은 화질에서 MPEG에 비하여 상대적으로 낮은 압축률과 높은 비트율을 가지기 때문이다. 따라서, 영상 제작 시스템에서 데이터를 공유하기 위해서는 고속의 데이터를 오류없이 전송하는 방법이 중요하다.

본 논문은 초고속 네트워크 기술의 하나인 ATM 네트워크를 이용하여 높은 데이터율을 가지는 방송용 품질의 모션 JPEG 영상을 전송하는 방법에 주안점을 두고 있다. 여기에는 모션 JPEG 영상 데이터를 패킷 단위로 나누어서 ATM 적응 계층으로 직접 매핑시키는 방법과 모션 JPEG 영상 패킷을 수송 계층 프로토콜을 사용하여 ATM 적응 계층으로 매핑시키는 방법이 있다. 그러나 실제 데이터의 전송 과정에서는 많은 종류의 잡음으로 인하여 ATM 셀의 손실이 발생할 여지가 있기 때문에 오류를 복구할 수 있는 수송 계층 프로토콜을 사용하는 것이 필수적이다.

이와 같은 필요성 때문에 본 논문에서는 데이터 통신에 가장 널리 사용되는 TCP를 기반으로 고화질의 동영상을 고속으로 오류없이 전송하고, 고속 전송에 필요한 버퍼의 크기를 결정하는 방법에 관하여

고찰하였다. 특히, ATM 셀의 손실로 인한 TCP 패킷의 손실은 송신측의 재전송과 재전송 타임 아웃(retransmission timeout)을[8] 유발하여 일정한 시간 동안 송신 지연을 유발하기 때문에, 본 논문에서는 패킷의 연속적인 재전송을 통하여, 재전송 시간의 단축과 송신측 재전송 타임 아웃이 제거된 고속의 손실 복구 알고리듬을 제안하였고, 그 성능을 기존의 알고리듬과 비교하였다.

또한, 본 논문에서는 영상을 전송하는 과정에서 데이터 수신 버퍼의 오버플로우가 발생하지 않도록 충분한 버퍼 크기를 계산하는 방법에 관해서도 고찰하였다. 특히, 방송 품질의 영상을 처리하는 경우에 대한 시스템 모델링을 하였고, 이 경우에 대하여 오버플로우를 일정 수준 이하로 낮추기 위한 수신 버퍼의 크기를 결정하였다.

II. 시스템 모델

그림 1에서는 ATM 네트워크로 연결된 영상 제작 시스템의 일반적인 구조를 도시하였다. 본 논문에서 다루는 영상 제작 시스템도 영상 데이터를 보관하는 서버 부분, 영상 데이터를 기록하고 편집하는 단말 부분, 그리고 이들을 연결하는 ATM 교환기의 세 가지 부분으로 구성된다.

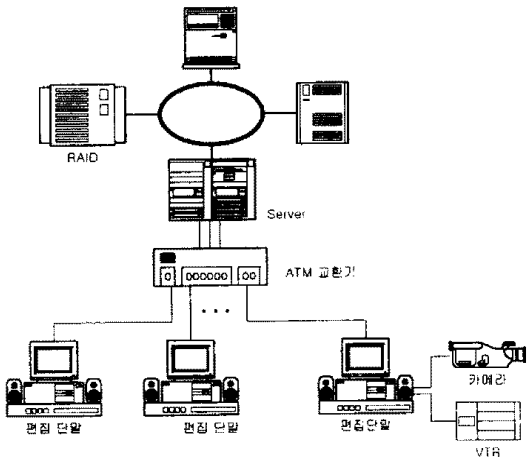

그림 1: ATM 네트워크로 구성된 영상 제작 시스템

그림 1에서 카메라 및 VTR과 연결된 단말에서는 영상 소스를 디지타이징하여 컴퓨터 기반의 디지털 시스템이 인식할 수 있는 형태로 바꾸는 작업을 한다. NTSC급의 영상이 입력되는 경우에 화상의 해상도가 720×480이고, 휘도 신호와 색차 신호에 대하여 각각 1바이트가 필요하고, 1초에 30프레임을 처리해야 하기 때문에 압축하지 않는 경우에는 데이터율이 20MB를 넘는다. 따라서, 디지타이징된 데이터를 압축하여 화질에 약간의 손실이 있더라도 단말 시스템이 충분히 다룰 수 있을 정도의 비트율을 얻는 것이 필요하다. 일반적으로 5:1에서 8:1의 압축비로 압축하는 경우에는 베타캠 SP 정도의 화질이 유지된다고 알려져 있으므로[7], 본 논문에서는 방송에 적합한 화질을 유지하기 위하여 이보다 데이터율이 높은 4:1 압축에 주안점을 두었다.

단말에서 전송되는 데이터를 처리하는 서버는 고속의 데이터를 안정적으로 처리할 수 있어야 하고, 많은 양의 동영상 데이터를 저장해야 하므로 RAID(Redundant Array of Independent Disks)와 같은 디스크 어레이와 함께 사용된다. 또한 다수의 단말을 동시에 처리할 수 있어야 하기 때문에 여러 개의 ATM 포트를 가지는 것이 일반적이다.

단말기와 서버의 연결은 ATM 교환기에 의하여 이루어진다. 하나의 단말기를 처리하기 위하여 40Mbits/s의 대역폭을 필요로 하므로, ATM 교환기는 고속 스위칭과 블록킹없는 처리가 가능해야 한다. 그리고, 방송 제작 환경은 대부분 하나의 스튜디오 이내로 제한되기 때문에 ATM LAN 환경을 구성하여 연결하는 것이 일반적이다.

III. 시스템 성능

3.1. 프로토콜 성능

본 논문에서 사용한 ATM 네트워크는 155Mbits/s OC3이고, AAL5를 기반으로 하고 있다[1]. 그러나 AAL5는 UDP(User Datagram Protocol)와 같이 데이터의 전송은 가능하지만, 신뢰성있는 통신을 보장해주지 못한다는 단점이 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 다양한 노력이 시도되었는데, 가장 널리 사용하는 방법이 TCP와 같은 수송 계층 프로토콜을 ATM 네트워크 위에서 사용하는 것이다. 즉, 그림 2와 같은 프로토콜 스택을 사용한다.

하지만, ATM 네트워크 상에서 TCP를 사용하는 것에는 몇 가지 문제점이 있는데, 그 중의 하나가 전송 과정에서 오류가 발생하는 경우에 재전송을 통하여 오류를 정정한다는 점이다. 특히, 시간 정보가 중요하게 작용하는 동영상의 전송에서는, 이로 인하여 동기를 잃어버리거나 지터가 발생할 수 있으므로, 재전송이 빠르게 이루어지는 알고리듬을 구현

하여 사용하는 것이 필요하다.

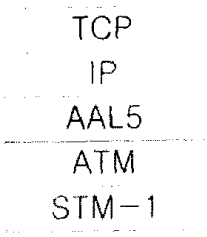

그림 2: 프로토콜 스택

TCP를 사용하여 서버로부터 단말로 동영상 데이터의 송신이 이루어지는 경우, 단말에서 서버로 전송되는 ACK는 낮은 데이터율을 가질 뿐만 아니라 TCP의 특성상 ACK를 잃어버려도 다음번 ACK를 받아들이는 시점에서 손실을 복구할 수 있다[3, 8]. 이에 반하여 서버로부터 단말로 전송되는 동영상 데이터는 40Mbits/s 이상의 고속 데이터이므로 이것을 잃어버리면 성능에 영향을 미치지 않고 복구하기가 굉장히 어렵다. 특히 ATM과 같이 고속 데이터를 전송하는 과정에서는 네트워크 인터럽트로 인한 시스템의 과부하를 줄이기 위하여 소켓 버퍼의 크기를 최대한 크게 설정하게 되는데[9], 버퍼의 크기를 크게 하면 할수록 재전송으로 인한 성능의 저하가 커지게 된다[3].

이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 고속 재전송 (fast retransmit) 알고리듬[3], 수퍼 고속 재전송 (super fast retransmit) 알고리듬이[8] 제안되어 사용되고 있다. 그러나 이 알고리듬들은 하나의 전송 윈도우내에서 연속적인 손실이 발생하는 환경에서는 손실을 복구하기 위한 재전송 과정에서 재전송 타임 아웃을 유발하기 때문에 전송 시간의 지연으로 인한 성능 저하가 발생할 수 있다.

예를 들면, 고속 재전송 알고리듬과 수퍼 고속 재전송 알고리듬을 이용하여 10개의 패킷을 전송할 때, 재전송 타임 아웃이 유발되는 과정을 그림 3과 그림 4에 도시하였다.

고속 재전송 알고리듬을 사용하는 경우에 데이터의 손실 여부를 알아내기 위하여, 서로 다른 경로를 통해서 중복된 데이터가 들어오는 것을 고려하여 동일한 ACK 번호를 가지는 중복된 패킷이 3개 더 들어와야 송신측에서 재전송을 하게 된다. 그러나, 그림 3의 예에서와 같이 연속적인 ACK 번호가 3개 이상 들어오지 않게 되면 송신측 재전송 타임 아웃이 유발된다.

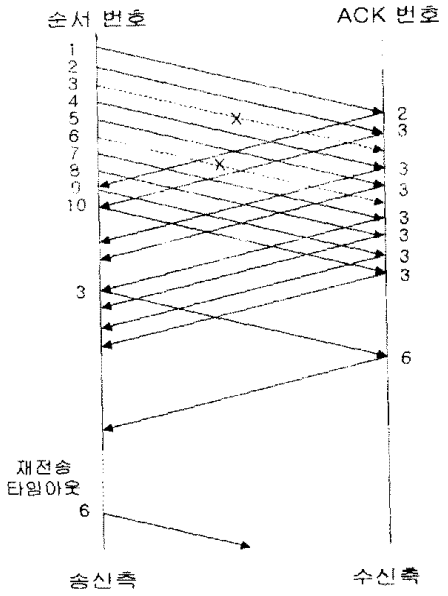

그림 3: 고속 재전송 알고리듬을 사용하는 경우에 재전송 타임 아웃이 유발되는 과정

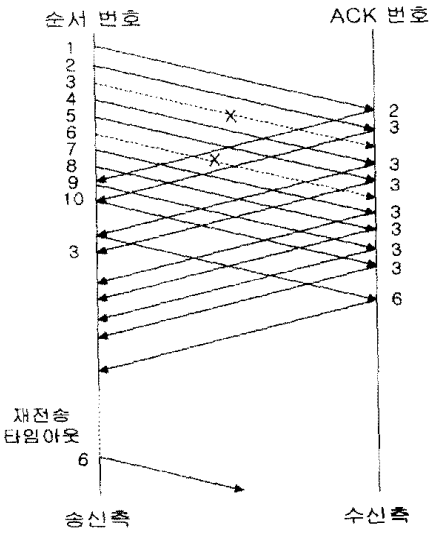

그림 4: 수퍼 고속 재전송 알고리듬을 사용하는 경우에 재전송 타임 아웃이 유발되는 과정

이 문제점을 해결하기 위하여 수퍼 고속 재전송 알고리듬은[3] 중복된 패킷이 1개만 더 들어오더라도 송신측에서 재전송을 하도록 하였다. 하지만, 그림 4에서 알 수 있듯이 수퍼 고속 재전송 알고리듬에서도 여전히 송신측 재전송 타임 아웃을 유발할 수 있기 때문에 성능을 저하시킬 여지가 있다.

본 논문에서는 그림 3과 그림 4의 예에서와 같은 재전송 타임 아웃이 유발되지 않도록 하기 위해서 TCP에 수정을 가하였다. 즉, 수퍼 고속 재전송 알고리듬과 같이 중복된 패킷을 1개만 받더라도 패킷의 손실이 있었던 것으로 간주하여 재전송을 할 뿐만 아니라, 패킷의 재전송이 시작되면 손실이 복구될 때까지 해당 패킷을 연속적으로 송신하는 것이다. 실제적으로, 프로토콜을 구현하는 경우에는 패킷을 재전송하더라도 체증 윈도우(CWND)[5]의 값을 증가시키지 않고, 증가된 ACK 번호를 받을 때까지 손실된 패킷을 연속적으로 전송한다. 그러므로 수퍼 고속 재전송 알고리듬에서는 중복된 패킷이 1개 들어오면 해당 패킷을 1회 재전송하고 끝나버리지만, 본 논문에서 사용한 알고리듬에서는 손실된 패킷을 연속적으로 재전송하므로 재전송 타임 아웃이 발생할 여지가 없다.

그림 3과 그림 4의 예에 대하여 본 논문에서 사용한 알고리듬을 적용시키면, 그림 5와 같은 과정을 거친다.

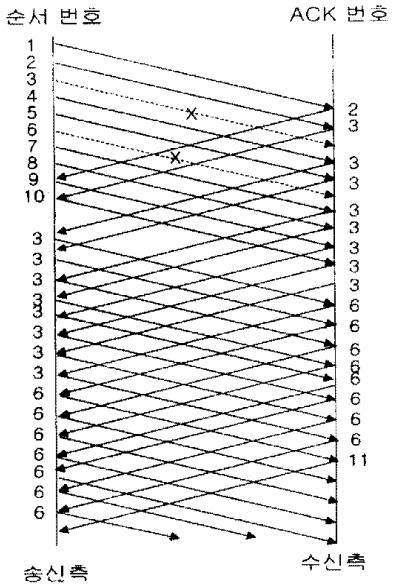

그림 5: 재전송 타임 아웃이 제거된 과정

그림 5에서와 같이 이 논문에서 제안한 알고리듬을 사용하면, 다수의 패킷을 잃어버리더라도 연속적인 패킷 재전송을 통하여 재전송 타임 아웃없이 손실이 복구된다는 것을 알 수 있다. 하지만 이 알고리듬에서는 체증 윈도우를 이용한 송신측 체증 제어가 이루어지지 않게 되므로, 일반적인 매체 공유 네트워크에서는 전체 네트워크에 과부하를 일으킬 가능성이 존재한다.

그러나, 본 논문에서 제안한 알고리듬은 ATM과 같이 대역폭을 동적으로 할당하는 네트워크를 기반으로 하는 경우에는 유용하게 사용될 수 있다. 왜냐하면 ATM에서는 예방적인 체증 제어를 할 뿐만 아니라 가상 경로와 가상 채널별로 대역폭을 할당할 수 있기 때문에, 중복된 데이터를 계속해서 전송하더라도 전체 네트워크에 과부하를 일으키지 않기 때문이다. 즉, 패킷의 손실이 발생하는 경우에 본 논문에서 제안한 알고리듬을 사용하면, 할당받은 대역폭만 이용하여 손실된 데이터를 계속적으로 전송하므로, 전체 네트워크의 과부하없이 손실된 데이터를 빠르게 복구할 수 있다.

또한, 본 논문에서 제안한 알고리듬은 수퍼 고속 재전송 알고리듬에서와 같이 중복된 패킷을 1개만 받고서 패킷의 손실이 있다는 것을 알아내기 때문에 손실된 패킷을 즉시 복구할 수 있다. 이와 같이 중복된 패킷을 1개만 받고서 패킷의 손실을 알아내는 방법은 링크 계층이 접속 기반인 네트워크인 경우에 유용하다. 왜냐하면, ATM과 같은 접속 기반 네트워크에서는 실제적인 데이터를 보내기 전에 가상 경로와 가상 채널을 기반으로 하는 접속 설정 과정이 수반되고, 설정된 경로를 따라서 데이터를 주고 받으므로 데이터 패킷의 순서가 유지되기 때문이다.

그림 6에서는 셀 손실이 발생하는 경우에 대하여 고속 재전송 알고리듬과 본 논문에서 제안한 알고리듬 사이의 성능을 실험적으로 비교한 결과를 도시하였다. 이 실험은 ATM 교환기를 통하여 연결된 두 개의 시스템이 50Mbps로 할당된 채널을 통해 데이터를 주고 받는 경우, 셀 손실이 유효 데이터 전송률에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다. 기존의 고속 재전송 알고리듬을 테스트하기 위하여 서비스팩 3이 설치된 windows NT 시스템을 사용하였고, 셀 손실을 시뮬레이션하기 위하여 HP사의 Broadband Series Test System을 사용하였다.

셀 손실의 확률 분포는 $f(x)=ke^{-kx}$와 같이 지수 분포를 따른다고 가정하였고, 셀 손실의 평균값 $\overline{X}=\frac{1}{k}$를 변화시키면서 두 프로토콜 사이의 성능을 비교하였다. 이 그림으로부터 알 수 있듯이 평균 셀 손실율이 증가할수록 고속 재전송 알고리듬에서는 재전송 타임 아웃이 빈번하게 발생하기 때문에

전송률 감소폭이 크지만, 본 논문에서 제안한 알고리듬에서는 재전송 타임 아웃없이 데이터를 연속적으로 전송하므로 전송률의 감소폭이 작다.

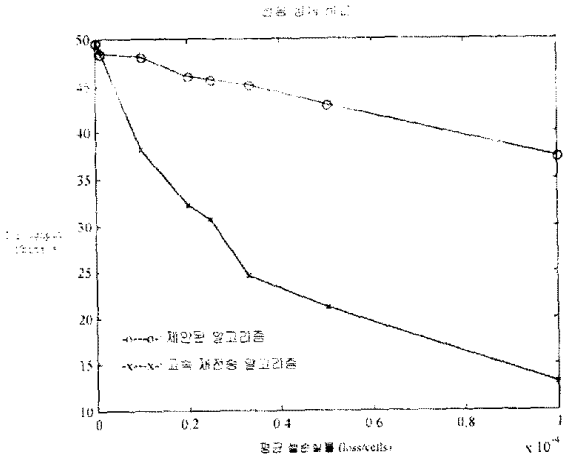

그림 6: 50Mbps 대역폭으로 전송하는 경우의 셀 손실에 따른 성능 변화

3.2. 수신 버퍼 크기 결정

ATM 네트워크를 이용한 방송 장비 사이의 자원 공유에 있어서, 네트워크를 통하여 들어오는 압축된 영상 데이터를 적절히 처리하기 위해서는 영상 압축 장치가 데이터를 사용할 때까지 데이터를 보관하기 위한 충분한 크기의 수신 버퍼가 필요하다.

수신 버퍼의 크기를 결정하기 위하여 본 논문에 사용된 시스템을 블럭도로 표시하면 그림 7과 같다. 여기에서 λ는 단위 시간당 수신 버퍼로 들어오는 데이터의 비율을 의미하고, μ는 단위 시간당 압축 처리 장치가 가져가서 처리하는 데이터의 비율을 의미한다. 물론 λ는 μ보다 작아야 하며, 그렇지 않으면 처리하는 데이터보다 쌓이는 데이터가 많아서 오버플로우가 반드시 발생하게 된다.

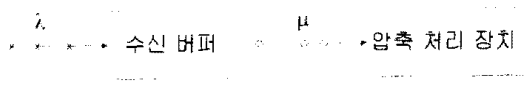

그림 7: 데이터 전송 시스템의 블록도

특정한 시간 t에서 수신 버퍼에 있는 데이터 패킷의 개수를 $N(t)$라고 하면, 초기 상태에서는 다음과 같은 식이 성립한다.

$$
\begin{aligned}
&P\{N(t+\Delta t)=0\} \\
&= P\{N(t+\Delta t)=0 \mid N(t)=0\}\ P\{N(t)=0\} \\
&+ P\{N(t+\Delta t)=0 \mid N(t)=1\}\ P\{N(t)=1\} \\
&= (1-\lambda\Delta t)\ P\{N(t)=0\} + \mu\Delta t\ P\{N(t)=1\},
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\frac{P\{N(t+\Delta t)=0\} - P\{N(t)=0\}}{\Delta t} \\
&= -\lambda P\{N(t)=0\} + \mu P\{N(t)=1\}.
\end{aligned}
$$

시스템이 정상 과정(stationary process)[6]이라고 가정하면,

$$\lambda P\{N(t)=0\} = \mu P\{N(t)=1\} \tag{1}$$

가 된다. 그리고 동작 상태에 대해서는 다음과 같은 식이 성립한다.

$$
\begin{aligned}
&P\{N(t+\Delta t)=n\} \\
&= P\{N(t+\Delta t)=n \mid N(t)=n\}\ P\{N(t)=n\} \\
&+ P\{N(t+\Delta t)=n \mid N(t)=n-1\}\ P\{N(t)=n-1\} \\
&+ P\{N(t+\Delta t)=n \mid N(t)=n+1\}\ P\{N(t)=n+1\} \\
&= (1-\lambda\Delta-\mu\Delta t)\ P\{N(t)=n\} \\
&+ \lambda\Delta t\ P\{N(t)=n-1\} + \mu\Delta t\ P\{N(t)=n+1\},
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\frac{P\{N(t+\Delta t)=n\} - P\{N(t)=n\}}{\Delta t} \\
&= -(\lambda+\mu)P\{N(t)=n\} + \lambda P\{N(t)=n-1\} \\
&+ \mu P\{N(t)=n+1\}.
\end{aligned}
$$

여기에서도 (1)에서와 마찬가지로 정상 과정이라고 생각하면,

$$
\begin{aligned}
&(\lambda+\mu)P\{N(t)=n\} \\
&= \lambda P\{N(t)=n-1\} + \mu P\{N(t)=n+1\},
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\mu P\{N(t)=n+1\} - \lambda P\{N(t)=n\} \\
&= \mu P\{N(t)=n\} - \lambda P\{N(t)=n-1\}.
\end{aligned} \tag{2}
$$

(1)과 (2)에서

$$\mu P\{N(t)=n\} - \lambda P\{N(t)=n-1\} = 0$$

이 성립한다. 따라서

$$P\{N(t)=n\} = (\frac{\lambda}{\mu})^n P\{N(t)=0\}. \quad (3)$$

또한, 확률의 기본 정리에서[6],

$$1 = \sum_{k=0}^{\infty} P\{N(t)=k\} = \frac{P\{N(t)=0\}}{1-\frac{\lambda}{\mu}},$$

$$P\{N(t)=0\} = 1-\frac{\lambda}{\mu}. \quad (4)$$

그러므로, (3)과 (4)에서

$$P\{N(t)=n\} = (1-\frac{\lambda}{\mu})(\frac{\lambda}{\mu})^n \quad (5)$$

이 성립한다. 식 (5)로부터 버퍼에 축적되는 패킷의 개수에 대한 확률 분포를 알 수 있으며, 이를 이용하여 안정적으로 사용할 수 있는 수신 버퍼의 크기를 결정할 수 있다.

예를 들면, 4:1로 압축한 영상을 전송하는 경우에 5MB/s의 데이터율을 갖는 16KB 크기의 패킷을 단위로 전송이 이루어지고, 영상 제작 단말기에서 사용되는 압축 처리 장치가 13MB/s의 무손실 압축 영상 데이터까지 처리할 수 있다고 하면, (5)식은 $\frac{\lambda}{\mu}=\frac{5}{13}$이 된다.

이 값을 바탕으로 적절한 버퍼의 크기는 다음과 같이 계산할 수 있다. 즉, 수신 버퍼가 n개의 패킷을 저장할 수 있다고 할 때, 오버플로우가 발생할 확률은

$$\begin{aligned} P\{N(t)>n\} &= \sum_{k=n+1}^{\infty} P\{N(t)=k\} \\ &= 1-\sum_{k=0}^{n} P\{N(t)=k\} \\ &= 1-\sum_{k=0}^{n}(1-\frac{\lambda}{\mu})(\frac{\lambda}{\mu})^k \\ &= (\frac{\lambda}{\mu})^{n+1} \end{aligned}$$

이므로, 여기에 $\frac{\lambda}{\mu}=\frac{5}{13}$을 대입하면,

$$P\{N(t)>n\} = (\frac{5}{13})^{n+1}$$

가 된다. 이 값과 매초당 전송되는 패킷의 개수가 312.5개라는 사실을 이용하면, 한시간에 오버플로우가 한번 이상 발생할 확률을 가지는 버퍼의 크기는

$$P\{N(t)>n\} = (\frac{5}{13})^{n+1} \geq \frac{1}{60\times60\times312.5},$$

$$n \leq 13.5 .$$

그리고, 오버플로우가 하루에 한번 이상 발생할 확률을 갖는 버퍼 크기는

$$P\{N(t)>n\} = (\frac{5}{13})^{n+1} \geq \frac{1}{24\times60\times60\times312.5},$$

$$n \leq 16.9 .$$

따라서, 수신 버퍼의 크기가 224KB 이상으로서 16KB 패킷을 14개 이상 저장할 수 있으면, 수신 버퍼의 오버플로우가 발생할 확률이 한시간에 한번 이하가 된다. 그리고, 272KB 이상으로서 16KB 패킷을 17개 이상 저장할 수 있으면, 오버플로우가 발생할 확률이 하루에 한번 이하가 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 디지털 방송 제작 장비들을 ATM 네트워크로 연결하는 경우에 고화질의 동영상을 신뢰성있게 전송하는 방법에 대하여 고찰하였다. 특히, TCP를 기반으로 신뢰성있는 전송이 이루어지는 경우, 기존의 알고리듬에 대한 수정을 가하여 오류가 발생하더라도 성능 저하를 최소화하면서 고속으로 손실을 복구하는 알고리듬을 제안하였다. 특히, 본 논문에서는 성능에 큰 영향을 미치는 전송측의 재전송 타임 아웃을 제거할 수 있는 방법을 제시하였고, 기존의 재전송 알고리듬들과 본 논문에서 제안한 알고리듬 사이의 실제적인 성능을 비교하였다. 본 논문에서 제안한 알고리듬은 실험 결과에서 알 수 있듯이 손실이 빈번하게 발생하는 환경에서도 성능의 저하가 두드러지게 발생하지 않는다.

또한, 데이터가 입력되는 비율과 처리되는 비율을 알고 있는 경우에 수신 버퍼의 오버플로우가 발생할 확률을 계산하였고, 이를 바탕으로 신뢰성있는

동영상 데이터의 전송에 필요한 버퍼의 크기를 계산하였다. 이 결과들은 컴퓨터를 기반으로 하는 디지털 방송 장비들을 ATM 네트워크로 연결하여 데이터를 공유하는데 유용하게 사용할 수 있다.

참고문헌

[1] ATM Forum, ATM User-Network Interface Specification, Version 3.1, 1994.

[2] ATM Forum, Multi-Protocol Over ATM Specification, Version 1.0, Jul. 1997.

[3] R. Cohen and S. Ramanathan, "TCP for high performance in hybrid fiber coaxial broadband access network," IEEE Trans. Networking, vol. 6, pp. 15-28, Feb. 1998.

[4] E. Mellancy, L. Orozco-Barbosa, and G. Gagnon, "Study of MPEG-2 video traffic in a multimedia LAN/ATM internetwork system," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 7, pp. 663-674, Aug. 1998.

[5] S. Okubo, S. Dunstan, G. Morrison, M. Nilsson, H. Radha, and G. Thom, "ITU-T standardization of audiovisual communication systems in ATM and LAN environment," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 15, pp. 965-982, Aug. 1997.

[6] A. Papoulis, Probability, random variables, and stochastic Processes, McGraw Hill, 1991.

[7] R. Schaefer, "Video production in transition," Symposium Record, International Television Symposium, pp. 77-89, Jun. 1995.

[8] W. Stevens, TCP/IP illustrated, vol. 1, Addison-Wesley, 1994.

[9] W. Stevens. Unix network programming, Prentice Hall, 1994.

[10] L. Wolf, C. Griwodz, and R. Steinmetz, "Multimedia communication," Proc. IEEE, vol. 85, pp. 1915-1933, Dec. 1997.