
위성 TDMA/ATM 망에서의 셀 지연 변이 보상기법

정 하 재*, 오 창 석**

A Compensation Mechanism of Cell Delay Variation for the Satellite TDMA/ATM Network

Ha-Jae Chung*, Chang-Suk Oh**

요약

단기간에 B-ISDN 서비스를 제공하기 위하여 광대역 종합 통신망은 지상 ATM과 넓은 서비스 지역을 커버할 수 있는 위성망의 결합을 요구하고 있다. 본 논문에서는 위성 B-ISDN을 실현하려 할 때 위성 TDMA와 지상 ATM 망의 접속시에 발생하는 셀 지연 변이를 보상하는 기존 방식들을 분석하고 그중 타임 스탬프 방식과 셀 간격정보 방식의 단점을 보완하는 부분 타임 스탬프 방식을 제시한다. 제안한 방법을 분석하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가하여 제안 방식이 기존의 방식보다 우수하며 많은 장점을 가지고 있음을 보인다.

Abstract

In order to achieve the deployment of B-ISDN services in a short time, B-ISDN is being combined with terrestrial ATM network and satellite network which covers a widespread service range. This paper analyzes and investigates several previously existent CDV compensation methods in order to compensate CDV arising from interfacing satellite TDMA and ATM. Specifically to supplement the problems of timestamp and cell number counting methods, new Partial Timestamp mechanism for CDV compensation is proposed. The CDV compensating efficiency of the proposed mechanism is analyzed and evaluated by simulations. It goes to show that Partial timestamps mechanism has many advantages in the aspect of the CDV compensation.

* 한국전자통신연구원 책임연구원

** 충북대학교 컴퓨터공학과 교수

접수일자 : 2000년 4월 22일

I. 서론

전세계적으로 차세대 초고속 정보통신망 구축을 위한 세부적인 사업계획이 수립되었으며 각 정부 주관하에 체계적으로 진행되고 있다. 초고속 정보통신망 구축의 초기 단계에는 전적으로 지상 광케이블을 이용할 계획이었지만, 지상망 단독에 의한 초고속 정보통신망의 구축에는 한계가 있음을 인식하고 위성망과의 연동을 고려한 지상/위성 혼합망이 제안되었다. 혼합망에서 위성은 주로 지상망의 보완 및 대체망으로서의 역할을 수행하게 될 것으로 전망되며, 특히 장거리 국제 통신망의 구축 및 초고속 정보통신망 구축의 초기 단계에 광케이블 설치가 어려운 지역을 서비스하기 위해 위성망이 적극적으로 활용될 것이다[1,2].

초고속 정보통신망이 지상/위성 혼합망을 지향함에 따라 차세대 위성 B-ISDN/ATM 망을 구축하기 위한 다양한 위성망 구축사업이 추진되고 있다. 지상 B-ISDN은 다수의 사용자에게 다양한 유형의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위하여 통계적 다중화 측면에서 매우 우수한 성능을 가지는 ATM 전송방식을 기반으로 발전되어 왔다. 지상 네트워크인 ATM은 고정된 길이의 패킷인 셀을 이용하여 수Kbps의 저속 데이터 통신에서부터 수백 Mbps 이상까지의 다양한 전송 속도와 품질로 서비스들을 효과적으로 지원하기 때문에 B-ISDN 서비스를 위한 가장 적절한 방식으로 채택되었다. ATM 시스템에서 셀 전송 주기는 미리 할당되는 것이 아닐 뿐만 아니라 셀 간격도 자유로이 바뀌기 때문에, ATM 시스템은 고정 비트율(CBR: constant bit rate) 서비스 뿐만 아니라 가변 비트율(VBR: variable bit rate) 서비스의 지원도 가능하게 한다.

한편 위성 B-ISDN 망에서는 제한적인 주파수 자원을 효율적으로 이용할 수 있고, 다양한 전송속도의 서비스를 잘 수용할 수 있으며, 위성 채널의 처리율을 증가시키는 TDMA 시스템이 최선의 다원 접속 방법으로 인식되고 있다. 위성 TDMA 링크에서 TDMA 시스템은 결정적인 멀티플렉싱만을 수행하기 때문에 ATM에서 문제가 되는 셀 충돌은 발생하지 않는 장점이 있다. 그러나 위성 회선은 주파수 자원이 상대적으로 제한적이고 채널 운용

환경이 열악하므로, 대역폭이 넓고 채널 신뢰성이 우수한 광케이블을 기반으로 개발된 ATM 전송방식을 수용하기 위해서는 해결되어야 하는 많은 문제점이 있다[3].

TDMA 시스템은 미리 할당된 타임 슬롯인 TDMA 버스트로 셀이 전송되기 때문에 ATM/TDMA 변환시에 셀 지연 변이(CDV: cell delay variation)를 발생하게 되는데, 이는 지상망의 교환노드 및 수신단 말에서 버퍼의 오버플로우, 언더플로우의 원인이 되며 셀 손실율의 열화로 이어질 수도 있다. 따라서 위성 수신국에서는 CDV 보상이 필수적으로 요구된다. 더욱이 B-ISDN은 고정 비트율 서비스 뿐만 아니라 가변 비트율 서비스와 같은 다양한 서비스를 지원하기 때문에 CDV 문제는 혼합망의 구축에 있어 매우 중요한 주제이며, 전체 링크에 매우 심각한 ATM QoS의 성능 저하의 원인이 된다[4].

이와 같은 CDV에 의한 성능 열화를 방지하기 위한 다양한 보상 알고리즘들이 이미 제안된 바 있다. Leaky bucket, 타임 스탬프, 셀-비트 표현, 의사 STM(synchronous transfer module), 셀 간격정보 방법 등이 개발되었다. 이외에도 부가정보 비트수, 채널 에러에 대한 신뢰성, 수신 시스템의 복잡성 등의 측면에서 더욱 개선된 CDV 보상 성능을 추구하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다[4-7].

본 논문에서는 기존 방식의 단점을 보완하여 VBR 서비스가 요구하는 서비스 품질에 따라 동적으로 대처할 수 있는 부분 타임 스탬프 방식의 CDV 보상 기법을 제안한다. 부분 타임 스탬프 방식의 목적은 기존 타임 스탬프 방식에서 문제가 되는 부가 타이밍 정보를 줄여 위성회선 효율을 높이면서, 셀 간격정보 방식보다는 아주 우수한 CDV 보상 성능을 나타나게 하고자 하는 것이다.

II. CDV 정의 및 평가기준

1. ATM/TDMA 변환과 CDV

높은 전송이득을 보장하면서 제한적인 주파수 효율을 증가시키기 위하여 초고속 위성 전송에서는 TDMA 방식이 지배적으로 사용된다. TDMA를 적용하여 초고속 정보통신망을 지상/위성 혼합망으로 구축할 경우, 위성으로 입력되는 ATM 셀은 망

변수제어 (NPC : network parameter control)에 따라 위성 TDMA 타임 슬롯에 할당되어 전송된다. 또 TDMA 트래픽 버스트에는 캐리어 재생 부호, 유니크 워드 등의 프리앰블부가 추가된다. 이 프리앰블부에 의한 전송 효율의 저하를 최소화하기 위해 버스트에 여러 셀을 모아서 동시에 전송한다. 따라서 시분할 동시 버스트의 전송을 전제로 할 때, 지상의 송신국으로 입력되는 트래픽과는 다른 버스트적인 트래픽이 수신국에서 출력하게 된다. 이러한 트래픽 특성의 변화는 교환 노드 및 수신 단말에서 버퍼의 오버/언더 플로우의 원인이 될 수 있으며 셀 지연 변이를 발생하게 된다[4,5].

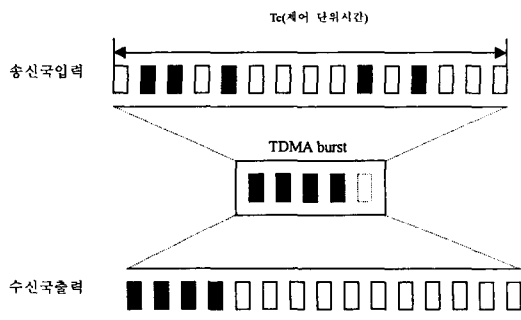


그림 1. ATM/TDMA 변환
Figure 1. ATM/TDMA conversion

그림 1은 ATM/TDMA 셀 전달 및 변환과정을 도식화하고 있다. 지상망은 ATM 전송방식을 통하여 정보가 없을 경우에는 빈 셀을 삽입하고, 필요할 경우 빈 셀을 제거하고 유효 셀을 추가함으로써 전체 채널 효율과 전송 속도를 높인다. 그러나 위성의 경우 본질적으로 대역 제한이 심한 통신 환경이기 때문에 지상망의 빈 셀을 포함한 입력 셀 트래픽을 그대로 위성 타임 슬롯에 할당하여 전송한다는 것은 매우 비효율적인 위성채널 사용 방법이다. 채널 효율을 높이기 위하여 위성의 대역 폭은 지상망의 최고 전송 속도와 평균 전송 속도의 사이로 압축 할당한다. 따라서 지상의 송신국은 입력 셀 스트림으로부터 단지 전송할 정보가 있는 유효 셀만을 추출하여 효율적으로 전송하는 것이 일반적이다[1,4-6]. 그림 1의 TDMA 버스트에 있는

점선 부분은 수신측에서 CDV 보상시에 사용될 셀 간격에 관한 타이밍 정보이며, T_c 는 송신국 지상망 트래픽의 위성 채널 할당 제어 단위시간을 나타낸다.

ATM/TDMA 접속 및 변환과정에서 송신국은 프레임 내의 사전에 할당된 버스트 위치에서만 셀 전송이 가능하므로 지상망에서 일어날 수 있는 셀 간 충돌은 피할 수 있으나, 위성 버스트의 셀을 수신국의 지상망에 그대로 전송한다면, 송신국의 셀 도착 시각과는 다른 출력 셀 송출 시각으로 인하여 송신국의 입력단에 입력될 당시의 유효 셀 간격이 더 이상 유지될 수가 없다. 그러므로 ATM/TDMA 변환에 따른 CDV는 위성 TDMA를 경유하는 송수신 지구국 간의 셀 도착시간 혹은 셀 간격의 차이로 정의된다. 또 CDV의 발생 메커니즘이 지상망과는 달리 셀 트래픽을 TDMA 버스트화함으로써 발생된다. CDV는 B-ISDN/ATM 셀 전송에 있어서 전체 QoS의 저하뿐만 아니라, 수신국 지상망의 스위칭 노드에 장애를 일으킬 수 있으므로 이에 대한 보상이 필요하다.

2. CDV 품질 기준

CDV에 대한 QoS의 척도 즉, CDV 품질은 그림 2에 나타나 있듯이 특정 확률에서 CDV 분포 길이인 CDV 폭으로 나타내고 평가된다. CDV에 대한 요구 품질은 미디어에 따라 크게 다르며, 각 미디어 대해 품질의 요구 값이 다양하게 규정되어 있다. 클러핑이 발생하는 경우 네트워크에는 순간적으로 설정 값 이상의 셀이 입력된 경우처럼 교환 노드에서 버퍼가 오버 플로우를 일으키므로 사용량 파라미터 제어(usage parameter control)에 의해 엄격하게 감시하게 된다. 이 경우 CDV는 CDV의 절대값이 아닌 CDV의 누적 값이 된다. 누적 값의 설정은 표준화 단체에서 각 노드의 버퍼 크기에 주는 영향을 억제하기 위해 작은 값으로 설정하고 있다.

한편, 버스트 특성이 완화되는 경우에는 네트워크 측에 큰 영향을 주지는 않지만, 수신 단말 측에서 CDV의 분포 폭이 문제가 되어 버퍼의 언더플로우의 원인이 될 수도 있다. 그림 2를 보면 지연

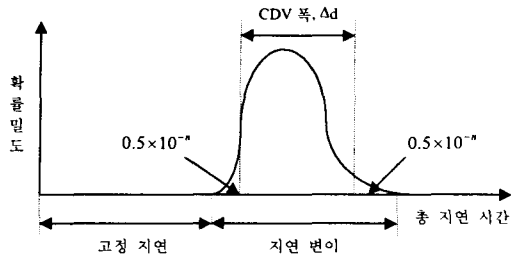


그림 2. CDV 분포 폭 정의
Figure 2. Definition of CDV distribution length

시간은 전과 지연과 교환 노드에서의 처리 지연 등의 고정 부분과 대기 시간의 차이에 따른 지연 변이 부분으로 구분된다. 이 변이 부분의 경사 부분이 $10E-n$ 으로 되는 CDV 값의 폭 Δd 를 사용하여 즉, $(n, \Delta d)$ 의 조합으로 CDV 분포 폭에 관한 요구 품질을 규정하고 있다[12].

III. 기존 방식의 평가 비교

1. 셀-비트 표현

입력 셀의 상태 정보를 완전히 송신측으로 전송하는 방식이다. 송신국에서는 유효 셀의 경우 비트 1, 빈 셀의 경우 비트 0을 별도로 부가하여 전송하고, 수신국에서 이 정보 비트를 이용하여 셀 송출 시각을 제어하는 알고리즘이다.

이 방법은 비트에러가 발생되지 않는다면 송출 시각을 완전히 제어할 수 있다. 그러나 셀 당 1비트의 부가 비트가 필요하기 때문에 155Mbps SDH의 경우 약 353Kbps 정도의 부가 정보가 필요하다. 또한 비트 에러 발생시 복원 동작이 어려우며, 특히 연접 에러가 발생할 경우에는 치명적인 성능 저하가 발생하는 단점이 있다.

2. 타임 스탬프

사용자 정보 셀의 입력시에 입력 시각을 나타내는 타임 스탬프를 부가하여 출력 처리시에 이 타임 스탬프를 기준으로 출력한다. 동기정보 전달을 위하여 지상망에서 사용되는 대표적인 알고리즘으로서 망 내의 공통된 기준 클럭을 이용한다. 송신

국은 매 유효 셀마다 T_c 내의 각 셀 시퀀스 위치를 나타내는 타임 스탬프 정보를 추가하여 전송하고, 수신국에서 이 정보를 이용하여 유효 셀간의 간격을 완벽하게 재생하는 방법이다.

그러나 일반적으로 타임 스탬프 알고리즘이 적용되어도 송수신국 간에 정확한 동기를 맞추는 것은 불가능하며, VBR 서비스의 경우 매 주기마다 최소 셀 개수를 보장하기 위해 사전에 트래픽을 고르게 하는 과정이 필요하다. 또한 매 유효 셀마다 타임 스탬프를 함께 보내야 하므로 그에 따른 부가 정보량이 많이 필요하다. 예를 들면 155Mbps SDH 기반 전송의 경우 유효 셀 당 요구되는 타임 스탬프의 정보량은 약 $\log_2(353T_c)$ 비트/셀로 계산된다[4,5,10].

이것은 T_c 를 1ms로 설정할 경우 18 비트/셀에 해당하는 양으로 매우 비효율적이다. 추가적인 정보의 크기가 전체 전송율의 약 4%를 차지하게 된다. 이처럼 타이밍 정보에 대한 오버헤드가 크기 때문에 전송 효율이 만족할 만하지 못하다. 또한 타임 스탬프 방식은 비트 에러가 발생할 경우 보상이 어려우므로 전체적으로 시스템 신뢰도가 낮은 단점도 있다.

3. Leaky bucket 방법

CBR 서비스를 대상으로 하는 데이터 제한형의 보상 방법이다. 셀 준위에서의 트래픽 제어 및 망 관리를 위하여 널리 사용되는 알고리즘으로 입력 셀을 FIFO 버퍼에 임시로 저장한 후 요구되는 QoS에 따라 일정한 시간마다 토큰을 발생시켜 토큰 풀의 제어에 따라 최대 셀을 또는 평균 셀을 제어할 수 있는 방법이다.

이 알고리즘의 장점으로는 동작 원리가 간단하고 버스트 트래픽으로 인한 과부하를 막을 수 있으며, CBR 서비스에 대하여 입력 트래픽을 완전히 복원할 수 있다는 것을 들 수 있다. 그러나 VBR 서비스의 경우 적절한 CDV 값을 제어할 수 없으므로 다양한 전송율을 다루는 멀티미디어 서비스에는 그 사용범위가 제한적이다.

요구되는 QoS를 반영한 유효 정보 셀만 위성 링크의 TDMA 버스트에 실어 보내며, 수신측에서

는 정해진 셀 율에 따라 CBR 신호로 복원한다

4. 의사 STM 변환

비동기로 입력되는 ATM 셀 흐름을 의사 STM 형태로 변환하는 알고리즘이다. 각 제어 구간 T_c 내의 최소 셀 간격을 T_{min} 라 할 때, 송신국은 매 T_{min} 마다 셀을 검출하여 하나의 타임 슬롯에 전송하고, 수신국에서는 역 과정을 통하여 트래픽을 복원한다. 즉 비동기로 입력되는 셀을 의사적으로 설정한 타임 슬롯에 맞추어 송출하는 방법이다.

CBR 서비스에 대하여서는 매우 신뢰성 있는 보상

이 가능하며, 최대 CDV 값이 $T_{min}/2$ 로 제한되는 장점이 있다. 그러나 T_{min} 가 입력 트래픽 특성에 따라 매 순간마다 바뀌므로 T_{min} 의 길이가 다양해져 복잡한 처리 과정이 요구되고, 매 T_{min} 마다 반드시 타임 슬롯을 할당해야 하므로 빈 셀의 경우도 그대로 전송해야 하기 때문에 상대적으로 위성 채널 효율이 떨어지며, VBR 서비스에 대해서는 대역 압축 이득을 기대하기 어려운 단점이 있다[5].

5. 셀 계수 방법

송신국에서 입력 셀 흐름을 제어 단위시간 T_c

표 1. 셀 지연 변이 보상법의 평가

Table 1. Evaluation of CDV compensations

(◎ : 우수, ◯ : 양호, △ : 보통)

방법	특징	지연변이의 보상능력	항목A	항목B	항목C
Leaky Bucket	<ul style="list-style-type: none"> 링크시에 설정 파라미터에 따라 평균 전송으로 출력 CBR을 전제로 한 보상 방법 	<ul style="list-style-type: none"> CBR에 대하여서는 완전히 재현 가능 VBR의 경우 큰 지연변이가 발생함 (일반적으로 요구품질을 만족 못함) 최소 셀간격에 대한 조건 준수 	없음	◎	◎
셀-비트	<ul style="list-style-type: none"> 셀의 유무를 0과 1로 표시 트래픽 상태를 100% 정보화 	<ul style="list-style-type: none"> 입력시의 트래픽을 100% 재현 가능 	약350 Kbps	△	◯
타임 스탬프	<ul style="list-style-type: none"> 셀의 입력시각을 부가하여 전송 	<ul style="list-style-type: none"> 입력시의 트래픽을 100% 재현 가능 	전송 속도의 약 4%	◎	△
의사 STM	<ul style="list-style-type: none"> ATM 신호를 의사적으로 STM 변환 최소 셀 간격 (T_{min})마다 타임 슬롯을 만들어 셀 전송 정보셀이 없을 경우 빈셀을 타임 슬롯에 할당함 	<ul style="list-style-type: none"> 최대 지연변이=$T_{min}/2$ (64Kbps로 3ms에 상당) 지연변이가 전송속도에 반비례 지연변이 분포에 $T_{min}/2$ 범위내를 일반화 할 수 있음 	없음	◎	◯
셀 간격 정보	<ul style="list-style-type: none"> 소정의 시간간격 T_c마다 입력된 셀수 N을 정보로 하여 전송 출력은 T_c/N 간격으로 T_c마다 균등하게 출력 	<ul style="list-style-type: none"> 최대지연변이 $\leq T_c$ 지연변이는 T_c에 의하여 제어 가능 지연변이의 분포는 시간 변동에 따라 평균값은 T_c보다 한단계 정도 적음 	5Kbp 정도	◯	◯

항목 A : 적용시 새로 부가되는 정보량

항목 B : 부호 오류 변화등 이상 상태에서의 신뢰성

항목 C : 하드웨어 구현의 용이성

로 분할하여 하나의 TDMA 버스트에 맵핑시키고, T_C 내의 유효 셀의 개수(N)를 나타내는 오버헤더 셀과 함께 전송하면 수신국에서는 이러한 정보를 이용하여 T_C 내에서 근사적인 평균 셀간 간격 (T_C/N)으로 재 송출하는 알고리즘이다.

이 방법의 성능과 오버헤더는 제어 단위시간을 어떻게 설정하느냐에 따라 영향을 많이 받는다. T_C 를 작게 설정할수록 CDV가 줄어들기는 하나 버스트의 분할로 인해 위성회선의 효율은 떨어지게 된다. 그리고 이 방법은 제어 단위시간 내에 셀이 일정율로 재생되므로 CDV를 완전히 제거할 수가 없다. 따라서 또 다른 지연과 버퍼 오버플로우가 발생할 수 있다.

즉 송신국 지상망의 트래픽의 버스트 성이 심할수록 CDV 보상 능력이 저하되며, ATM/TDMA 변환 과정에서 위성 대역폭(주파수) 자원을 충분히 활용하지 못하는 단점이 있다[5,10].

6. 셀 지연 변이 보상기법의 비교평가

상기의 여러 지연 변이의 보상 방법에 대한 종합평가를 표1에 나타내었다. 평가 항목은 수신국에서 출력되는 셀 스트림이 트래픽 특성을 규정하는 파라미터의 범위에 있는지, 지연 변이의 최악값이 요구 품질을 만족하고 있는지, 지연 변이의 평균값(분포)이 안정되고 부가되는 정보 등의 정보량을 고려하여 총합적으로 높은 전송 효율을 실현할 수 있는지, 시스템을 실현할 수 있는 하드웨어 구현의 어려움은 없는지, 부호 오류 열화시에 상정되는 이상 상태에 대하여 안정된 동작 특성을 나타내는지 등을 비교하였다.

IV. 부분 타임 스탬프 방식의 제안

1. 부분 타임 스탬프 방식

일반적으로 CDV는 CDV 분포 폭 CDV에 상응하는 절대지연에 의해 해석되므로, 입력시 셀 전송 타이밍을 정확히 파악하고 있을 경우 출력에서 발생할 CDV 분포 폭에 상당하는 시간만큼 전체를 버퍼로 지연시키고, 그 후에 입력시의 셀 전송 타이밍에 따라 송출하면 입력시의 트래픽 상태를 재

현할 수 있다.

타이밍 정보를 정확히 전하는 방법으로는 사용자의 정보 셀마다 입력 시각을 기록하는 타임 스탬프 방식을 많이 사용하여 왔다. 그러나 타임 스탬프 방법은 앞에서 문제점으로 언급한 것처럼 수신측에서 입력 트래픽의 정확한 재현은 가능하나 타임 스탬프를 나타내기 위한 부가 정보량이 크게 요구되어 전송 용량의 손실을 발생한다. 한편, 타임 스탬프의 문제점을 개선하기 위해 전송용량의 손실을 막고 회선 대역폭을 효율적으로 사용하기 위한 셀 간격정보 전송 방법도 연구되었으나 이 방법은 CDV를 보상하는 효과가 작음을 알 수 있었다

1.1 부분 타임 스탬프의 CDV 보상기법

본 논문에서는 이 두 가지 방법의 문제점을 개선하기 위하여 부분 타임 스탬프 방식의 CDV 보상 기법을 다음과 같이 제안한다.

먼저 회선 설정시 서비스의 요구에 의해 발생된 타임 스탬프 설정 수 N_b (최소 2 이상)를 정하고, 송신측에서는 입력되는 셀 스트림을 정해진 제어 단위시간 간격 T_C 마다 끊어서 이 간격 동안에 입력되어지는 유효 셀과 유효 셀의 타임 스탬프를 저장하고, 유효 셀 수 N을 계수한다. 그리고 설정된 부분 타임 스탬프 수 N_b 만큼의 유효 셀의 타임 스탬프를 선택한다. 이때 타임 스탬프는 최소한 2개 이상이며, T_C 구간 내의 처음과 끝 유효 셀의 타임 스탬프는 반드시 포함하며, N_b 가 3 이상인 경우의 나머지 타임 스탬프는 T_C 구간 내의 유효 셀 중에서 등 간격 순번으로 선택한다. 마지막으로 유효 셀과 함께 몇 개의 부분 타임 스탬프와 유효 셀 수 정보 N을 TDMA 버스트화 하여 위성 회선으로 보낸다.

수신측에서는 송신측에서 보내온 총 유효 셀 수 N을 확인하고, 처음과 끝 셀을 포함한 N_b 개의 타임 스탬프가 있는 셀을 타임 스탬프의 타이밍 정보에 따라 먼저 배치하고, 그리고 각 타임 스탬프 사이에 포함된 타임 스탬프가 없는 나머지 유효 셀들은 해당 타임 스탬프 사이에 균등한 간격으로

셀을 배열한다. 이때 $N_b=2$ 이면 유효 셀의 처음과 끝에만 타임 스탬프가 있는 경우이다. 그림 3에는 부분 타임 스탬프 방식의 셀 트래픽 처리 과정을 보이고 있다.

예를 들면 T_C 구간 내에 유효한 셀이 100개이고 2개의 타임 스탬프가 예정되었으면 처음 셀 C1과 마지막 셀 C100의 타임 스탬프를 배정하고, $N_b=3$ 이면 C51에, 그리고 $N_b=4$ 이면 C34, C67에 타임 스탬프를 추가로 배정한다. 그리고 나머지 셀들은 각 셀의 해당 구간에 균등하게 배열한다. 그림 4와 그림 5는 N_b 가 2와 3 이상인 경우의 부분 타임 스탬프 방식을 나타내고 있다.

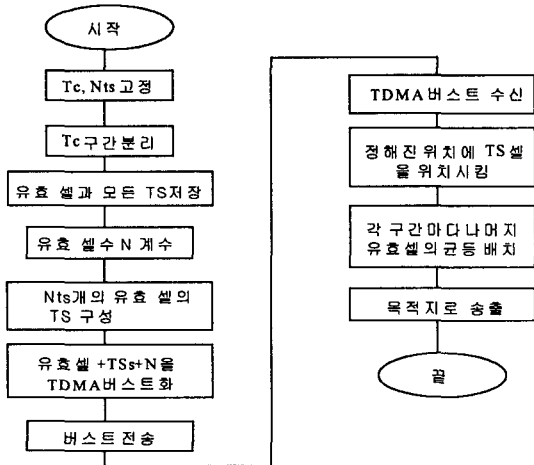


그림 3. 부분 타임 스탬프 흐름도
Figure 3. Flow chart of partial timestamps

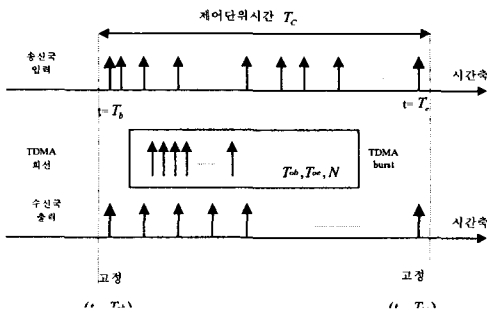


그림 4. 부분 타임 스탬프 방식 ($N_b=2$)
Figure 4. Partial timestamp mechanism ($N_b=2$)

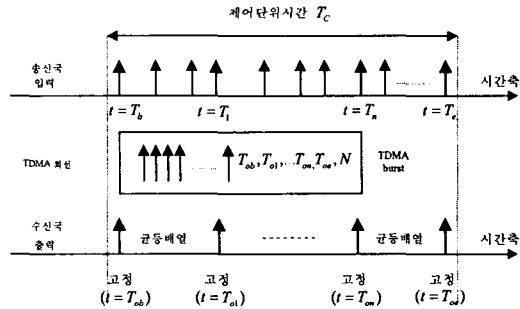


그림 5. 부분 타임 스탬프 방식 ($N_b>3$)
Figure 5. Partial timestamp mechanism ($N_b>3$)

2. 부분 타임 스탬프 방식의 CDV보상기법 적용
본 절에서는 CDV가 최대가 되는 최악의 입력 패턴을 설정하고 부분 타임 스탬프 방식을 적용하여, 타임 스탬프 수별 발생 CDV의 크기를 기준으로 보상성능을 평가 고찰한다. 즉, 큰 값의 CDV 발생이 예상되는 하나의 특별한 셀 패턴을 도착 입력으로 할 때, 발생된 CDV 크기의 누적을 산출함으로써 타임 스탬프 수에 따라 CDV가 보상되는 정도를 예측하고자 한다.

실지 트래픽의 발생 형태는 서비스 클래스, T_C 크기, 평균 입력 셀 수 등 여러 입력 변수에 따라 다를 뿐만 아니라, 155Mbps 속도로 1ms 구간에 입력되는 VBR 트래픽을 가상하면 그 경우의 수가 거의 무한대이어서 모의 실험을 해야만 개선되는 성능의 정도를 정확히 알아낼 수 있다.

그림 6에서 그림 8까지 보인 입력 패턴은 $T_C=59$ 셀이고 도착 평균 셀 수 $N=30$ 이며 타임 스탬프 수가 $N_b=2, 3$, 그리고 4인 경우이며, 이 때 발생하는 CDV를 함께 나타내고 있다. 실지로 이와 같은 트래픽이 발생하는 경우는 거의 없으나 모든 입력 트래픽 유형에 대해 비교 고찰하기에는 그 경우의 수가 무한하여 불가능하므로 버스트 성이 가장 심한 경우인, 버스트와 비버스트 스트림이 완전히 양분되는 최악의 트래픽 입력을 가정했을 때 발생하는 CDV를 비교하는 방법이 적절한 비교 평가 수단으로 이용되고 있다.

이 세가지 경우 발생 한 CDV의 누적 총합을 $L_{CDV}(2)$, $L_{CDV}(3)$, $L_{CDV}(4)$ 라고 할 때 이들과의

관계는 아래와 같음을 알 수 있다.

$$L_{CDV}(2) \geq L_{CDV}(3) \geq L_{CDV}(4) \dots \geq L_{CDV}(\text{최대 } N_b) \dots \dots \dots (1)$$

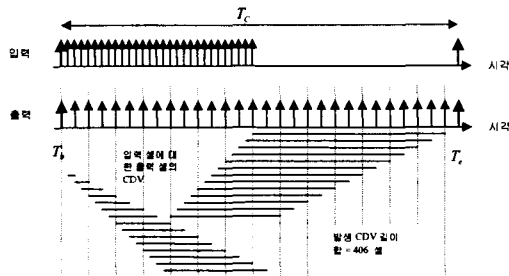


그림 6. 최악 입력 패턴의 CDV 보상 ($N_b=2$)
Figure 6. CDV compensation of worst input pattern ($N_b=2$)

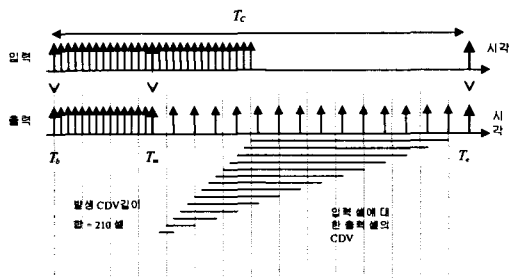


그림 7. 최악 입력 패턴의 CDV 보상 ($N_b=3$)
Figure 7. CDV compensation of worst input pattern ($N_b=3$)

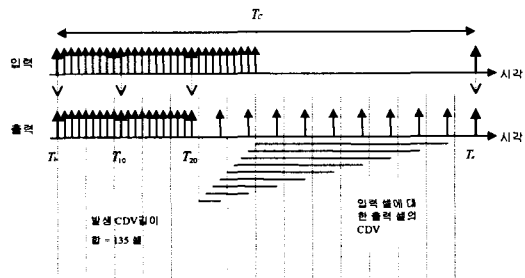


그림 8. 최악 입력 패턴의 CDV 보상 ($N_b=4$)
Figure 8. CDV compensation of worst input pattern ($N_b=4$)

식 (1)에서 타임 스텞프 수 N_b 가 작을수록 CDV 발생량이 크다는 것을 알 수 있으며, $N_b=0$ 은 셀 간격정보과 같은 방법을 의미하며 수신측에서 T_c 구간 내에 모든 셀을 T_c/N 간격으로 균등 배치하여 출력한다. 반면에 N_b 가 클수록 CDV 발생량은 작아지며, N_b 가 점점 커져 타임 스텞프 수 $N_b=N$ 이 되면, 이는 종전의 ‘풀’ 타임 스텞프 방식과 같은 것임을 의미하게 되며, 이는 CDV가 전혀 발생하지 않는 경우 즉, 입력 신호의 완벽한 재생이 가능한 경우이다.

또 식(1)에서 알 수 있는 것은 입력 트래픽이 CBR에 가까울수록 CDV 발생 크기의 차이가 작아지며, 입력 트래픽이 완전한 CBR 서비스인 경우는 타임 스텞프의 수에 무관하게 되어, 어떤 경우도 CDV가 발생되지 않으며 세 경우의 관계는 식(2)와 같음을 알 수 있다. CBR 서비스인 경우는 타임 스텞프를 사용할 필요가 없으며 셀 간격정보 방법으로도 충분하다고 볼 수 있다.

$$L_{CDV}(2) = L_{CDV}(3) = L_{CDV}(4) \dots \dots \dots (2)$$

V. 실험 및 성능평가

본 장에서는 모의 실험을 통하여 제안한 방식의 성능을 확인하고자 한다. TDMA 데이터 할당 방식은 동적 요구할당 방식으로 하며 위성링크를 통해 B-ISDN 서비스를 지원할 수 있는 환경을 기반으로 한다. 제안한 방식의 결과로 나타나는 CDV 분포 폭을 도출하여 다른 방식과 성능을 비교한다. 실험을 위한 환경으로는 BONEs(block oriented network simulator)를 이용하여 위성통신 환경과 설계 내용을 모델링하여 모의 실험하며, 시뮬레이터의 라이브러리에서 제공되지 않는 설계 기능 블록은 C-언어로 프로그래밍하였다. 실험을 위한 입력 트래픽 모델은 VBR 트래픽을 잘 표현하는 2-상태 MMPP이며 시뮬레이터에서 제공되는 것을 활용한다.

1. MMPP 트래픽 입력 모델 및 실험환경

MMPP 도착 모델은 시간이 경과함에 따라 전송 속도의 변화가 심한 버스트성 트래픽을 정확하게

표현한다. 화상 압축과 같은 VBR 신호의 응용을 고려할 경우, 포아송 입력 모델 이상으로 버스트성이 강한 MMPP 모델로 평가할 필요가 있다. MMPP 모델은 도착률이 상태에 따라 다른 이중 스토캐스틱 포아송 프로세스로서, 패킷화된 영상압축 데이터 트래픽처럼 버스트(busy) 상태와 비버스트(idle) 상태 특성을 동시에 갖는 버스트 성의 트래픽 모델로 주로 사용된다. 2-상태 MMPP 모델의 상태 천이도는 그림 9와 같으며, MMPP 상태천이도의 대략은 다음과 같다.

2-상태 MMPP는 ON과 OFF의 두 가지 상태가 있는데, MMPP 모델은 두 상태 간을 왕래하는 특성을 가진다. 이 모델에서는 상태가 ON 혹은 OFF 인지에 따라 셀이 λ_1 혹은 λ_2 의 도착율로 도착한다. 이때 ON 상태에서 ON 상태로, 또는 OFF 상태에서 OFF 상태로 변이할 확률은 각각 α 및 β 라고 할 때, ON과 OFF 상태의 평균 길이는 각각 $1/\alpha$ (평균 버스트 상태의 길이 L_{bur}), $1/\beta$ (평균 비버스트 상태 길이 L_{nbur})로 표시된다.

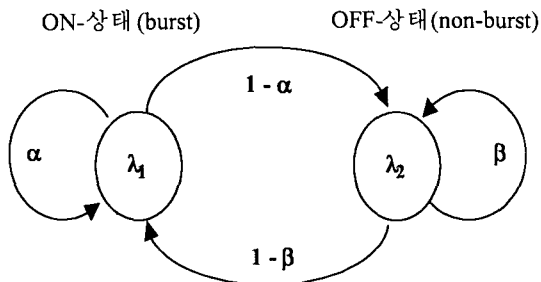


그림 9. 2-상태 MMPP 도착 모델
Figure 9. Two-state MMPP arrival model

본 장에서는 MMPP 모델의 파라미터인 각 상태의 평균 셀 도착율인 λ_1 , λ_2 와 ON(burst), OFF(non-burst) 상태의 평균 길이인 $L_{bur}=1/\alpha$, $L_{nbur}=1/\beta$ 그리고 타임 스탬프의 수 N_s 등을 변수로 하여 모의 실험하고, 부분 타임 스탬프 방식의 CDV 보상 특성과 성능을 평가하였다.

그리고 CDV 분포 폭을 해석하기 위하여 CDV에 직접 영향을 미치는 주요 MMPP 트래픽 파라

미터들의 범위는 다음과 같다. 모의 실험을 위해 제어 단위시간인 T_C 는 1.0ms나 2/3ms로 설정하고, 버스트(ON) 상태에서의 평균 셀 발생률 λ_1 은 1.0, 부분 타임 스탬프 수인 N_s 는 2, 3 혹은 4로 설정하고, 그외 나머지 파라미터들은 변경하면서 실험하며, 실험 결과로 발생된 데이터를 이용하여 CDV 분포 폭을 유도하고 평가 해석한다. 본 실험에서 사용되는 파라미터와 실험을 위한 설정값은 아래와 같다.

- ▷ 셀 제어시간(T_C) : 1.0ms, 2/3ms
- ▷ ON 상태의 셀 발생률(λ_1) : 1.0
- ▷ OFF 상태의 셀 발생률(λ_2) : 0.005, 0.05
- ▷ T_C 구간내 도착 셀 수 (N) : 가변
- ▷ 부분 타임 스탬프 수 (N_s) : 2, 3, 4
- ▷ ON 상태의 평균 길이($L_{bur}(=1/\alpha)$) : 10, 20
- ▷ OFF 상태의 평균 길이($L_{nbur}(=1/\beta)$) : 10, 20

본 실험에서는 화상회의를 위한 압축 데이터 트래픽과 같이 버스트성이 심한 신호를 입력으로 하기 위하여 VBR 도착 트래픽 모델을 기반으로 하는 송신국 입력 ATM 셀을 발생시켰으며, 네트워크 시뮬레이터에서는 각각의 CDV (셀 단위로 표시) 값에 대한 발생횟수를 누적하고 전체 시행회수로 나누어 정규화하여 각 발생 CDV의 빈도 수에 비례하는 확률밀도 함수를 도출하였다.

또 본 연구의 관심인 CDV 분포 폭을 강조하기 위하여 위성회선에서 일정하게 발생하는 약 250ms의 고정 전파지연은 확률밀도 함수에서 제외하고 오프셋만 CDV 값 제로를 중심으로 표시하였다. 또 전송속도는 SDH 기반으로 한 155Mbps로 간주하였으며, 위성의 대역폭은 지상망 대역폭의 100%로 하였다. 즉, 지상망의 트래픽을 대역 압축없이 위성 링크에 그대로 전송하는 것으로 가정하였다.

2. 결과고찰

2.1 MMPP 상태 길이와 CDV 분포 폭

그림 10은 $T_C=1.0ms$, $\lambda_1=1.0$, $\lambda_2=0.01$ 로 설정하였을 때, 셀 간격정보 방식과 $N_s=2$ 인 부분 타임 스탬프 방식의 버스트 상태 길이와 비버스트

상태의 길이 그리고 CDV 분포 폭 간의 관계를 보이고 있다. $\lambda_1=1.0$ 이라는 것은 송신국 입력단 버스 상태의 셀 도착율이 모의 실험에서 가정한 SDH의 전송 속도인 155Mbps라는 의미이다.

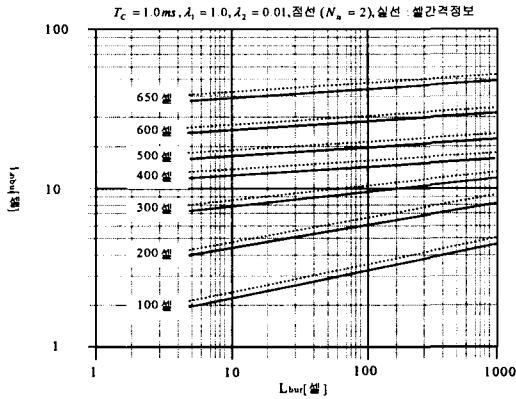


그림 10. L_{bur} , L_{nbur} 과 CDV 분포 폭 ($N_s=2$)
Figure 10. L_{bur} , L_{nbur} and CDV distribution length ($N_s=2$)

이 그래프는 MMPP 입력 트래픽 모델에서 버스트 상태의 길이 L_{bur} 과 비버스트 상태 길이 L_{nbur} 의 길이에 따라 두 방식의 CDV 발생 차이를 종합적으로 파악할 수 있는 그래프이다. 먼저 그림에서 알 수 있는 것은 두 방법 모두 L_{bur} 가 일정할 때, L_{nbur} 이 커지면 CDV가 증가함을 알 수 있으며, 반면에 L_{nbur} 이 일정할 때 L_{bur} 이 증가하면 오히려 CDV는 감소함을 알 수 있다. 감소하는 정도는 그래프에서 동일 크기의 CDV를 나타내는 직선의 기울기에 비례하는 것을 알 수 있다. 기울기가 크면 빨리 감소하며 기울기가 작으면 감소율이 작아진다. L_{bur} 이 증가하거나 L_{nbur} 이 감소하면 제어 단위 시간 내에 셀의 수가 상대적으로 증가하게 되어, CDV 발생 폭이 줄어들 가능성이 크며, 반면에 L_{nbur} 이 증가하거나 L_{bur} 이 감소하면 제어 단위 시간 내에 셀의 도착율이 작아져 CDV 폭이 크게 발생할 가능성이 높아짐을 알 수 있다.

또 본 그래프는 셀 간격정보 방식과 $N_s=2$ 인

부분 타임 스탬프 방식과의 관계를 보이고 있다. 여기서 L_{bur} 과 L_{nbur} 이 어떤 조건에 있던지 $N_s=2$ 인 부분 타임 스탬프 방식이 셀 간격정보 방법보다 CDV 분포 폭이 항상 작게 발생하는 것을 알 수 있다. $N_s=2$ 인 부분 타임 스탬프 방식은 T_C 구간 내의 처음과 마지막 셀의 정확한 시각표에 의한 효과로 인하여, 버스트 성이 심한 입력 트래픽일수록 상대적으로 CDV 발생 억압 정도가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 11은 그림 10과 동일한 트래픽 설정 환경에서 타임 스탬프를 하나 더 추가한 $N_s=3$ 인 경우를 나타내고 있다. 그림 10과 그림 11을 비교해보면, 부분 타임 스탬프 수 N_s 가 커지면 타임 스탬프 수가 커진 만큼 타임 스탬프 간의 간격이 좁아지며, 좁아진 간격 만큼 CDV를 억압하는 효과가 나타나 CDV 발생 폭이 좁아짐을 알 수 있다. λ_1 , λ_2 와 T_C 의 설정 값에 따라 다르겠지만 $N_s=2$ 에서 3으로 됨으로 CDV 분포 폭은 거의 반으로 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

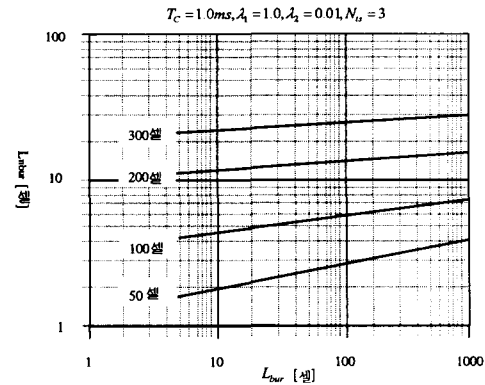


그림 11. L_{bur} , L_{nbur} 과 CDV 분포 폭 ($N_s=3$)
Figure 11. L_{bur} , L_{nbur} and CDV distribution length ($N_s=3$)

2.2 T_C 의 변화에 대한 CDV 분포 폭

그림 12는 제어 단위 시간 T_C 에 따른 제안 알고리즘과 셀 간격정보 방법의 CDV 확률 분포를 나타내고 있다. 여기서 $\lambda_1=1.0$, $\lambda_2=0.005$, $L_{bur}=10$,

$L_{nbur}=20$ 이다. 그래프에서 보듯이 제안 방식과 T_C 구간 구분 방법이 거의 비슷한 성능을 보이고 있으나 부분 타임 스템프 방법이 약간 성능이 나은 것으로 나타난다.

조금 나은 성능 결과를 보이는 이유는 T_C 의 구간을 나눌 때 셀 간격정보 방식은 타임 구간 T_C 를 단순히 n 등분하므로, T_C 크기를 줄여 CDV를 감소시키는 효과를 나타내지만, 제안 방법은 T_C 구간을 시간간격으로 등분하지 않고 구간 내의 유효 셀 수를 기준으로 하는 논리적 등분 방법이므로, 등분 방법의 차이가 성능의 차이를 나타내는 것으로 생각된다. 거기다가 부분 타임 스템프 방법에서는 T_b 와 T_e 에 의해 이미 CDV가 추가적으로 더 보상되는 효과를 나타내기 때문인 것으로 판단된다.

T_C 에 따른 성능 변화를 고찰해 보면 T_C 의 변화에 따라 CDV가 비례적으로 변화함을 알 수 있다. 이것은 T_C 의 길이가 길수록 셀의 변이가 크게 발생할 가능성이 커지고, 짧을수록 CDV 발생 폭에 대한 범위가 그만큼 제한받기 때문이다. 그러므로 CDV에 민감한 서비스의 경우에는 T_C 를 작게 설계하는 것이 바람직하다고도 볼 수 있다.

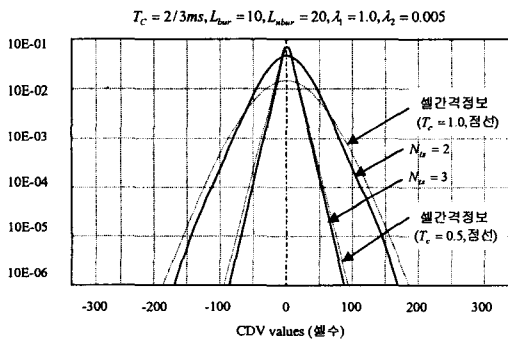


그림 12. T_C 값에 대한 CDV 비교
Figure 12. Comparison of CDV according to T_C values

T_C 에 따른 성능 변화를 고찰해 보면 T_C 의 변화에 따라 CDV가 비례적으로 변화함을 알 수 있

다. 이것은 T_C 의 길이가 길수록 셀의 변이가 크게 발생할 가능성이 커지고, 짧을수록 CDV 발생 폭에 대한 범위가 그만큼 제한받기 때문이다. 그러므로 CDV에 민감한 서비스의 경우에는 T_C 를 작게 설계하는 것이 바람직하다고도 볼 수 있다.

그러나 통상 프리앰블과 여러 ATM 셀로 구성되는 TDMA 버스트는 채널 효율을 높이기 위하여 고정되어 있다. 뿐만 아니라 버스트의 크기를 줄이면 부가되는 프리앰블 정보의 크기가 상대적으로 증가하므로 위성 전송용량의 효율이 떨어지고, 전체 위성망의 효율성에 영향을 미친다. 제안된 보상 방식의 경우에는 타이밍 정보의 부담이 거의 없이 CDV를 충분히 억압할 수 있는 효과가 있으므로, 시스템 설계에 장점이 있으며 적용 서비스의 품질에 따라 융통성 있게 대응할 수 있다. 이처럼 제안 알고리즘은 트래픽 특성이 어떤 특징을 나타내더라도 셀 간격정보 방법보다 항상 우수한 성능을 유지됨을 알 수 있다.

2.3 VBR 트래픽 CDV 보상효과

모의 실험에서는 T_C 를 1ms와 2/3ms로 하여 실험하였다. T_C 의 크기는 TDMA에 있어 버스트의 크기에 해당하므로, 통상 TDMA의 전송 용량을 크게 하고자 할 때는 버스트 크기를 조정하기보다는 TDMA 프레임에 속한 버스트의 수를 가변하여 전송 서비스에 대응한다. 2.1의 모의실험 결과로부터 VBR 입력 트래픽에 대한 부분 타임 스템프 방식의 보상 기법 특성을 종합하면 다음과 같다.

- 타임 스템프 수 N_b 가 증가하면 CDV 보상 효과는 급격히 개선된다. 실험 결과를 그래프로 표시하지는 않았지만, N_b 를 $T_C/2$ 정도로 하면 거의 입력 트래픽 타이밍 정보를 거의 완벽하게 재현할 수($\Delta CDV \cong 0$) 있다. 물론 이 경우는 유효 셀에 대한 타임 스템프의 부가 정보가 부담이 될 수 있으나 서비스가 요구하는 품질과의 절충이 가능하다.
- 비버스트 상태에서 셀 도착율이 커지게 되면 이로 인해 버스트와 비버스트 간의 셀 도착율 차이가 작아지고, 셀이 전체적으로 좀더 고른 분포를 가질 가능성이 높아지므로 CDV 분포

폭을 감소시키는 특성을 보인다.

- L_{bur} 이 증가하면 즉, 트래픽 버스트 구간이 길어지면 T_C 구간에 유효 셀이 더욱 많이 도착하며 CDV 발생 크기가 작아질 가능성이 높게 나타난다.

부분 타임 스탬프 방식의 VBR 트래픽에 대한 CDV 보상 능력은 셀 간격정보 방식과는 비교가 안될 정도로 우수한 성능을 나타낸다. 뿐만 아니라 N_s 의 크기를 조정하면 기존의 '풀' 타임 스탬프의 재현 능력에 근접한 성능도 낼 수 있다. 따라서 부분 타임 스탬프는 N_s 를 조정하여 위성 B-ISDN 서비스가 요구하는 다양한 전송 품질에 융통성 있게 대처할 수 있는 장점이 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 위성 TDMA와 ATM 망 접속에서 발생하는 CDV를 보상하기 위하여 기존의 타임 스탬프 방식과 셀 간격정보 방식의 문제점을 개선하는 부분 타임 스탬프 방식을 제안하였다.

제안된 보상 기법은 CBR뿐만 아니라 도착율의 변화가 심한 VBR 서비스의 입력 트래픽까지 다양한 서비스의 요구 품질에 따라 융통성 있게 CDV 문제를 대처할 수 있게 되고, 사용자 요구에 대한 서비스 품질 보상 능력이 향상되어 위성 채널의 효율을 높일 수 있는 방안이 된다.

제안된 방식은 위성 송신 지구국의 입력 셀의 트래픽을 제어 단위시간에 따라 나누고, 타이밍 정보를 구성하기 위해 구간 내의 유효 셀 중에서 정해진 수 만큼의 부분 타임 스탬프를 부가하여 송출하게 하며, 수신 지구국에서는 유효 셀과 함께 수신된 부분 타임 스탬프 정보를 이용하여 수신 지구국의 출력 셀 트래픽의 셀간 간격을 구성할 수 있도록 설계하였다.

본 논문에서 제안한 부분 타임 스탬프 방법을 기존의 방식과 CDV 보상성능 및 능력을 비교 평가하였다. 이를 위해 CDV 분포 폭을 평가 기준으로 하는 모의 실험을 통하여 분석하였다. 성능을 비교한 결과 부분 타임 스탬프의 수에 따라 CDV 보상 성능에 많은 차이가 있음을 확인할 수 있었

다. 2-상태 MMPP 모델의 모든 입력 트래픽 파라미터에 대해서 부분 타임 스탬프 방식은 셀 간격정보 방법에 비해 항상 아주 우수한 CDV 보상 성능을 나타내고 있었으며, 입력 트래픽의 분포가 고를수록, 버스트 상태와 비버스트 상태의 셀 도착율 차이가 작을수록 CDV 분포폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이는 제안된 방식에서는 타임 스탬프가 많을수록 셀 간격이 변이할 가능성이 줄고 변이 가능 폭이 억압되기 때문이며, 또 트래픽 특성이 CBR에 가까울수록 변이 발생 폭이 줄어들기 때문이다.

또 제안한 방식은 B-ISDN 서비스의 응용 분야별 요구하는 최소한의 성능을 만족하는 부분 타임 스탬프 만을 설정하게 할 수 있으므로, 타임 스탬프에서 문제가 되는 위성 채널의 비효율적인 사용을 억제할 수 있어서 위성 채널의 전송 효율을 극대화할 수 있는 장점이 있다.

참고문헌

- [1] K. Okada, A. Ohta, K. Shimokawa, and M. Kawai, A Study on Satellite-Switched TDMA Systems for Applying to The Asynchronous Transfer Mode," Proc. of ICC '92, pp. 355-359, 1992.
- [2] K. Okda, A. Ohta, M. Kawai, A Study on Satellite TDMA system for B-ISDN Application, Proc. of APCC'93, pp.1-7, 92.10.
- [3] A. Ohta, K. Okada, H. Mizuno, Performance Evaluation of ATM/TDMA Conversion Protocol by Using MMPP Arrival Model, Proc. Of GLOBECOM'94, pp.1351-1357, 1994.
- [4] A. Ohta and K. Okada, Protocols to Accommodate Asynchronous Transfer Mode Cells in Satellite TDMA Links," Electronics and Communications in Japan - Part 1, Vol. 78, No. 9, pp. 38-48, 1995.
- [5] D. M. Chitre, T.R. Henderson, R. Kwan, K. Price, L.W. White, Applications of Satellite Technology to Broadband ISDN Networks, Prepared for NASA Lewis Research Center

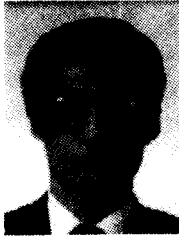
- under Contract NASA NAS3-25092, Mar. 1992.
- [6] M. Fitch, Dynamic ATM Satellite Networking, Communication Opportunities Offered By Advanced Satellite Systems - Day 2 (Ref. No. 1998/485), IEE Colloquium on , pp. 8/1 -8/5, 1998.
- [7] R. Mauger, C. Rosenberg, QoS guarantees for multimedia services on a TDMA-based satellite network, IEEE Communications Magazine, Volume: 357 , pp. 56 -65, July 1997.
- [8] H. Michael, The Role of Satellites in the ATM Era : A Study of Two Possible Network Architectures, Proc. of Globecom'95, pp.1619-1623, 1995.
- [9] H.C. Kim, et al., A New ATM/TDMA of Satellite Conversion Algorithm with CDV Compensation, Proc. of MDMC'96, pp.580-583, 1996.
- [10] Y. Sagawa, K. Okada, Adaptive Satellite Channel assignment Scheme in High-Speed ATM Data Communications, Glovecom'95, IEEE, pp.1652-1656, 1995.
- [11] K.S. Choi, et al., Audio and Video Transmission in Satellite Communication Based on ATM - The Compensation of Cell Loss and CDV, Proc. of IEEE ICCS/ISPACS'96, 36.8.1-36.8.5, 1996.
- [12] M. Nakayama, et al., A Satellite Communication Trans. Commun., Vol. E80-B., No. 1, pp. 103-108, Jan. 1997.
- [13] H. Heffes, D. M. Lucantoni, A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance, IEEE Journal on SAC, Vol. 6, No. 6, pp. 856-868, Sept. 1986.
- [14] A. Fujii, et al., SS/TDMA-Adaptive Satellite Access Method for Mini-earth Station Networks, IEEE Global Communications Conf., pp.421-426, Dec. 1986.
- [15] L. Mola, An Initiative for Conformance ATM-networks Relaying on Satellite-links, ICDSC-10, Vol. 2, pp.518-523, May 1995.
- [16] Z. Sun, F.P. Coakley, Implementation of ATM via Satellite for BISDN, ICDSC-10, Vol. 1, pp. 137-142, May 1995.
- [17] D. Rayghaudhuri, and V. Mangulis, A Ku-band Satellite Approach to Terrestrial bypass of Data Terminals, RGA Laboratories Technical Report, PRRL-85-TR-021, 1985.
- [18] 이하철, 김원균, 이병섭, 위성을 통한 ATM cell의 전송 성능 분석 및 개선 방법, 통신학회추계학술회의 논문지, pp.891-896, 1996.11.
- [19] 이병현, 위성통신의 개요, 주간기술동향, 한국전자통신연구원, 1996.7.8.
- [20] 홍재환, ATM 망에서 셀 지연과 CDV 발생요소, 한국전자통신연구원 기술문서, 1998.10.
- [21] 홍완표, 김정호, 나극환, BISDN 서비스를 위한 위성 TDMA 방법의 ATM 접속 기술 연구, 한국기술사회지 제30권 제1호, 한국기술사회, 1997.2.



정 하 재(Ha-Jae Chung)

1981년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 1983년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)

1993년 7월 공업계측제어기술사(전자분야)
 1983년 3월 - 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 *관심분야: 멀티미디어 HW 플랫폼, 멀티미디어 통신, 위성 B-ISDN, 모빌 컴퓨팅, 차세대 인터넷 기술



오 창 석(Chang-Suk Oh)

1978년 연세대학교 전자공학과
(공학사)

1980년 연세대학교 대학원 전자
공학과 (공학석사)

1988년 연세대학교 대학원 전자
공학과 (공학박사)

1985년~현재 충북대학교 컴퓨터공학과 교수

1982년~1984년 한국전자통신연구원 연구원

1990년 미국 스탠포드 대학교 객원교수

*관심분야 : 멀티미디어 통신, ATM 네트워크, 차세대 인터넷 기술, 신경 네트워크