TDMA 방식에서 포아송 입력과 MMPP 입력 모델에 따른 ATM 전송의 셀 지연 변이 해석

김 정 호† · 최 경 수††

요 약

산발적인 지역의 가입자들에 대한 광대역 ISDN(B-ISDN) 서비스를 위하여 위성 회선을 적용하는것이 검토되고 있다. 위성 회선의 효율적인 ATM 셀 전송으로 TDMA 방식을 적용하는 것이 유효하지만, TDMA와 ATM의 동기/비동기성의 차이로 인한 셀 지연 변이를 보상하는 방법이 필요하게 된다. 본 논문에서는 지금까지 제안되어 왔던 셀 지연 변이의 보상 방식 중에서 많은 이점을 갖는 셀 계수 방식의 지연 변이 특성을 응용함으로써 트래픽이 포아송 입력, 마르코프 변조 포아송 과정 입력인 경우에 대하여 셀 제어 시간(Tc)의 최적화를 유도하였다. 그리고 셀 클럼핑 현상을 억제하기 위하여 이산 타임 스탬프 방식을 제안하여 ATM 전송에 따른 CDV 분포의 요구 품질의 범위를 해석하고 검증하였다. 본 방식의 적용에 따라 CDV 분포폭은 약 1.2×Tc 정도로 억제가 가능하여 이산 타임 스탬프 방식에 따른 전체적인 셀 지연 변이가 감소됨을 알 수 있었다.

Analysis of Cell Delay Variation of ATM Transmission for the Poisson and MMPP Input Model in the TDMA Method

Jeong Ho Kim† · Kyung Soo Choi††

ABSTRACT

To provide broadband ISDN service for the users in scattered locations, the application of satellite communications network is seriously considered. To transmit ATM cells efficiently in satellite communications, it is effective to use TDMA method. However, it is necessary to have a method to compensate the cell delay variation caused by the difference between TDMA and ATM. This paper optimized the cell control time (Tc) when traffic inputs have poisson distribution or markov modulated poisson process by applying cell delay variation characteristics of time stamp method, which has the most advantages among compensation methods or cell delay variation. This paper also introduces a method of reducing the cell clumping phenomena by adapting discrete time stamp method, including the analysis and evalutation of the range of required quality of CDV distribution by ATM transmission. The result of the experiment shows that CDV distribution range can be controlled to 1.2×Tc, which reduces overall cell delay variation by discrete time stamp method.

† 종신회원:대전산업대학교 전자계산학과 교수
†† 정 회 원:한국전자통신연구소 지상시스템연구부 책임연구원

논문접수:1995년 9월 21일, 심사완료:1996년 1월 12일

1. 서 론

통신의 고속화 요구에 따라, BISDN(broadband ISDN)을 실현하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이 BISDN의 전송 기술은 서로 다른 트래픽 특성 및 요구 품질을 갖는 다양한 응용에 대한 통합성과 동시에 간단한 망구성으로 서비스 제공이 가능한 비동기 전송 모드인 ATM(asynchronous transfer mode)기술이 적용된다. 산발적인 지역에서의 BISDN 서비스를 위해 위성 회선의 활용이 연구되고 있으며, 멀티빔 위성의 적용에 의해 기존 규모의 지구국 설비만으로 155 Mbps의 고속의 ATM 셀을 위성 회선으로 전송하기 위한 연구가 진행되어왔다[1-4].

위성 회선을 단순히 155 Mbps 전송로로 사용하는 경우에 300 ms 정도의 전송 지연을 제외하고 특별한 문제는 없다. 그러나 다양한 지역에 산재하는 사용자에 적용할 경우 155 Mbps의 전송로상에 셀을 다중화하는 새로운 문제가 대두된다[2, 4]. 송신국, 위성 그리고 수신국으로 구성되는 위성계는 지상망에 있어서 일종의 교환 노드로 간주할 수 있다. 각 지구국은 입출력 포트에, 위성은 스위치에 해당된다. 지상망의 교환 노드에서 다수의 입력 포트에 동시에 셀 도착이 있는 경우 셀 손실을 막기 위해 입력(출력)부에 버퍼를 설치하여 입력(출력)관리를 하고 있다. 그러나 위성계의 경우, 입출력 포트에 상당하는 지구국이 다양한 지역에 산재하여 있기 때문에 지상 교환 노드와 같은 입출력 관리를 하는 것은 곤란하다. 따라서, 고정적인 타임 슬롯을 할당하여 사전에 셀 충돌을 피하든지 혹은 셀 입출력을 짧은 시간에 수행하는 랜덤 출력 제어를 이용하여 셀 충돌을 피할수 있도록 운용하든지 등의 방법을 선택하여야 한다[4]. S.Agnelli, D. M.Chitre 등의 연구에서 위성 회선의 ATM 접속에 대하여 TDMA(time division multiple access) 방식을 선택하여 ATM/TDMA의 마르코프 변조 과정을 이용하여 셀의 도착율에 따른 셀 제어 시간을 해석하였으며 셀 지연에 대한 보상 방법이 요구된다[2, 5].

TDMA 방식을 적용하는 경우, 그 데이타 버스트의 앞부분에는 캐리어 재생 부호, 클록 재생 부호, 유니크 워드 등의 프리앰블부가 부가된다. 이 프리앰블부에 의한 전송 효율 저하를 피하기 위해, 버스트에 몇 셀을 동시에 전송하게 된다. 따라서, 시분할 동시 버스트 전송을 전제로 하는 경우 송신국으로의 입력 트래픽과는 다른 버스트적인 트래픽이 출력되는 것이 된다. 이러한 트래픽 특성의 변화는 교환 노드 및 수신 단말에서 버퍼의 오버/언더 플로우의 원인이 되며 셀 지연 변이인 CDV(cell delay variation)라고 부르며 셀손실율의 열화로 이어진다. 또한 CDV 보상 문제는 지상망에 있어서도 품질 기준이 엄격한 CBR(constant bit rate) 신호를 중심으로 검토되고 있으며, CDV 보상 방식으로서 타임 스탬프 방식등이 제안되고 있다. 그러나 위성망과 지상망에서 CDV가 발생하는 메카니즘이 다르며 배경이 되는 조건도 크게 다르기 때문에 새로운 CDV 보상 방법이 요구된다[5, 6].

본 논문에서는 TDMA 방식의 위성 회선에 대한 ATM 전송 서비스를 위하여 포아송(poisson) 도착형의 입력 모델인 경우와 마르코프 변조 포아송 과정인 MMPP(markov modulated poisson process)에 따른 입력 모델인 경우로 나누어 적용되는 트래픽 특성에 따라 셀 제어 시간인 Tc의 최적화를 유도하였다. 또한 ATM 전송에서 CDV의 보상을 위하여 이산 타임 스탬프 방법을 제안하여 ATM 전송에 따른 CDV 분포의 요구 품질에 따른 범위를 해석하고 검증하였다.

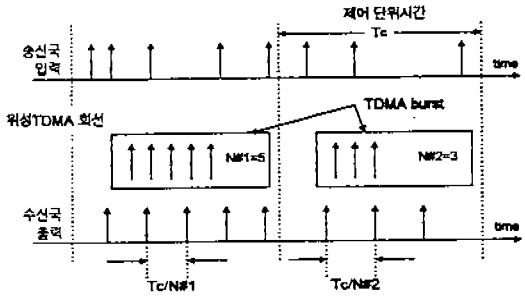
2. 셀 계수 방식의 CDV 보상 특성

2.1 CDV 분포폭의 평가

ATM의 CDV에 관한 품질은, ITU-TS 권고 I.35B 및 I.371 등에 규정되어 있다. 기본적으로 CBR/VBR(constant bit rate/variable bit rate)에 따라 차이는 있지만, CDV의 품질값은 어느 확률값의 분포폭과 국소적으로 버스트성을 증대시키는 클럼핑(clumping)에 대하여 CDV의 두 가지로 규정되어 있다.

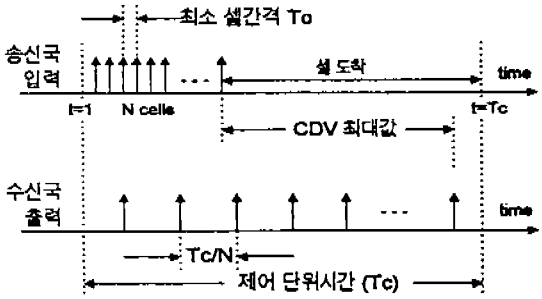
이 CDV 분포폭의 억제 방식으로 셀 계수 방식을 활용한다. (그림 1)에 셀 계수 방식의 개념도를 나타내었다. 송신국에 입력되는 셀은, 품질 요구 조건에서 정해지는 제어 단위 시간인 Tc 마다, 입력 셀 수 N을 계수한다. 위성 회선에서는 셀과 함께 셀의 수 N를 전송한다. 수신국에서는 Tc마다 전송 속도를 평균화하여 Tc/N의 간격으로 출력한다. 따라서 셀 계수 방식에 의해 발생하는 CDV는 원칙적으로 ±Tc 이하로 억제되어야 한다(CDV 분포폭은 2Tc 이하). 이 때문에 Tc의 값을 적게 하면 CDV를 억제할 수 있게 된다. 그

러나 제어 단위 시간의 단축은 셀 전송 간격에 관한 정보량 및 제어 부하의 증대를 초래하기 때문에 요구 품질을 만족하는 범위에서 가능한 한 Tc를 크게 설정할 필요가 있다. 고정 비트율인 CBR 신호를 취급하는 경우에는 실제의 CDV 분포폭은 2Tc보다 상당히 작은 값이 되지만, 버스트성이 강한 가변 비트율인 VBR 신호를 취급하는 경우에는 최악의 값(약 2Tc)에 가까운 CDV 분포폭이 발생할 가능성이 있다[1, 7].



(그림 1) 셀 계수 방식의 개념도
(Fig. 1) Conceptual diagram of cell numbering method

CDV 분포폭의 최악값 평가를 위하여 셀 계수 방식 운용 후의 CDV분포폭을 유도하려면 (그림 2)와 같이 CDV를 최대로 하는 최악의 입력 패턴을 상정하여 CDV의 최대값을 평가하는 것이 유리하다.



(그림 2) CDV를 최대로 하는 입력 패턴
(Fig. 2) Input pattern of CDVmax

이 (그림 2)에서 발생하는 CDV의 최대값은 버스트 영역의 최소 셀 간격(To) 즉 최대 전송 속도에 의존하고 있다. 입력 이전에 받은 CDV를 무시하면 버스트 영역의 셀 간격은 사용자측에서 회선 설정시에 신고되고 있으므로 식(1)에 나타낸 것처럼 규정할 수 있다.

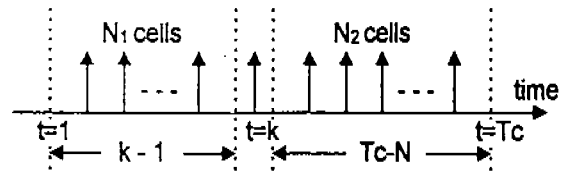
$$CDV = 2T_c - 2\sqrt{T_o x T_c} \quad (1)$$

그리고 위성통신의 우수한 통신 품질을 제공하기 위해서 고가의 위성 중계기 대역폭을 가능하면 많은 사용자에게 할당하여야 하므로 트래픽을 실시간적으로 예측하여 사용 가능한 최대 대역폭의 설정이 필요하다. 따라서 TDMA 방식에서의 ATM 전송에서 트래픽 모델링으로 MMPP를 활용한다. MMPP의 도착은 도착율이 k 상태인 마르코프 체인에 따라서 변화하는 포아송 방법으로 발생하게 된다. MMPP는 마르코프 체인을 따르는 transition rate matrix와 arrival rate matrix로서 특징되며 위성의 트래픽을 모델링하기 위해서는 busy 상태와 idle 상태 즉 트래픽이 폭주하는 구간과 트래픽의 발생이 비교적 적은 두가지 구간을 가정한다. MMPP 모델로서 버스트적인 셀 도착이 있는 상태와 비버스트적인 상태의 발생 확률을 해석한다. 따라서 본 논문에서는 셀 계수 방식의 CDV 보상 특성을 포아송 도착형의 입력 모델인 경우와 마르코프 변조 포아송 과정인 MMPP 입력 모델인 경우로 나누어 해석한다.

2.2 포아송 입력의 CDV 보상 해석

우선 입력 상태는 (그림 3)에 표시한 것과 같이 제어 단위 시간 Tc 내에 셀 입력으로 고려한다. 여기서 $t=k$ 위치의 셀은 구간 $[1, k-1](1 \le t \le k-1)$ 내에 N_1 개의 셀 입력 및 구간 $[K=1, Tc](k+1 \le t \le Tc)$ 내에 N_2 개의 셀 입력이 있는 경우 식 (2)와 같이 CDV 영향을 받는 셀로서 나타낼 수 있다.

$$CDV(k, N_1, N_2) = k - \frac{T_c(N_1 + \frac{1}{2})}{N_1 + N_2 + 1} \quad (2)$$



(그림 3) 입력 상태의 모델
(Fig. 3) Model of input state

포아송 입력인 경우, 각 타임 슬롯 사이에서의 셀 송출은 상관이 없으므로, 각각의 위치에서의 셀 발생 확률은 모든 평균 셀 간격의 역수 가 된다. 따라서, 구간 [1, k] 내에 N 개의 셀 도착이 있을 확률 P(k, N)은 다음 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$P(k, N) = {}_kC_N \lambda^N (1-\lambda)^{k-N} \quad (3)$$

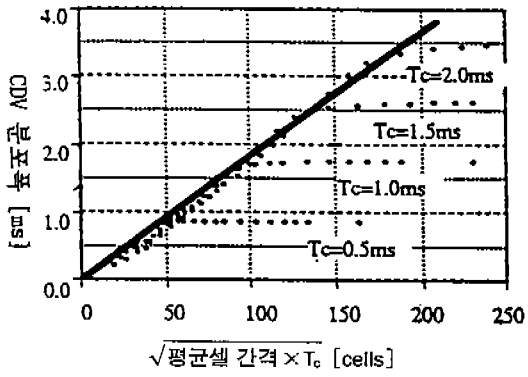
CDV=x로 될 확률 $P_{CDV}(x)$는 (그림 3)의 상태 발생 확률 $\phi(k, N1, N2)$를 발생하는 CDV의 합으로 구할 수 있으며 다음 식(4)로 나타낼 수 있다[8, 9].

$$P_{CDV}(x) = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^{Tc} \sum_{N_1=1}^{k-1} \sum_{N_2=0}^{T_c-k} [\phi(k, N_1, N_2) \times \delta[x - CDV(k, N_1, N_2)]] \quad (4\text{-}1)$$

$$\phi(k, N_1, N_2) = p(k-1, N_1) \times \lambda \times p(T_c-k, N_2) \quad (4\text{-}2)$$

$$P = \sum_{k=1}^{Tc} k \times p(Tc, k) \quad (4\text{-}3)$$

여기서 포아송 입력의 평균 셀 간격과 Tc를 동시에 N 배로 할 경우 CDV도 N 배로 된다. 또한 CDV 분포폭은 평균 셀 간격과 Tc의 곱의 평방근에 의존하게 된다. 이러한 TC 값에 따른 CDV 분포를 (그림 4)에 나타내었다. 이 그림에서 각 Tc마다 식(1)의 To=1에 대한 최악값까지는 $\sqrt{\text{평균셀 간격} \times T_c}$ 에 비례하여 증가하고, 최종적으로는 최악값에 접근하게 된다. 따라서 셀의 발생 과정이 포아송 분포를 가진 응용에 대해서는 CDV 분포를 단순하게 규정할 수 있음을 알 수 있다.



(그림 4) 포아송 분포의 CDV 분포폭
(Fig. 4) CDV distribution width of Poisson distribution

2.3 MMPP 입력의 CDV 보상 해석

화상 신호인 CODEC과 같은 VBR 모델을 가진 응용을 고려할 경우, 포아송 입력 모델보다 버스트성이 강한 MMPP 모델로 평가할 필요가 있다. MMPP 모델인 경우에도 (그림 3)에 표시한 것과 같은 입력 상태에서 식 (4)와 같은 계산에 의해 CDV 분포를 구할 수도 있지만, MMPP 모델인 경우에는 각 타임 슬롯간에 셀 발생 확률이 다른 특성을 가진다[7, 10]. 즉, MMPP 입력 모델에서 버스트적인 셀 도착이 있는 ON 상태와 비 버스트적인 OFF 상태가 있으며 이 두 개의 상태 사이에서 발생 확률이 λ1(ON) λ2(OFF)로 다르게 된다. 또한 ON 상태에서 ON 상태로, 또는 OFF 상태에서 OFF 상태로 변이할 확률을 각각 α 및 β라고 할 때 t=k에서의 셀 도착 확률은 t=k−1에서 ON 상태에 있는 확률에 의존한다. 따라서 구간 [0, k−1]의 상태를 모두 고려하지 않으면 안된다. 따라서 임의의 상태의 ON/OFF 및 셀 도착의 유/무(O/×로 표기)의 조합으로서 다음과 같이 4 개의 상태를 고려할 수 있다.

상태1:(ON, O)　　상태2:(ON, ×)
상태3:(OFF, O)　　상태4:(OFF, ×)

여기서 시각 t=0에서 ON 상태로 있을 확률을 γ_0로 했을 때 구간 [1, n]내에 m 개의 셀 도착이 있으며, 시각 t=n에서 상태 i(i=1~4)에 있을 확률을 Pi(γ_0, n, m)라 하면 다음 식(5)와 같은 상태 변이의 식으로 나타낼 수 있다[11].

$$P1(\gamma_0, n, m) = \lambda 1 \cdot \alpha \{P1(\gamma_0, n-1, m-1) + P3(\gamma_0, n-1, m-1)\} + \lambda 1(1-\beta)\{P2(\gamma_0, n-1, m-1) + P4(\gamma_0, n-1, m-1)\} \quad (5\text{-}1)$$

$$P2(\gamma_0, n, m) = \lambda 2(1-\alpha)\{P1(\gamma_0, n-1, m-1) + P3(\gamma_0, n-1, m-1)\} + \lambda 2 \cdot \beta \{P2(\gamma_0, n-1, m-1) + P4(\gamma_0, n-1, m-1)\} \quad (5\text{-}2)$$

$$P3(\gamma_0, n, m) = (1-\lambda 1)\alpha \{P1(\gamma_0, n-1, m-1) + P3(\gamma_0, n-1, m-1)\} + (1-\lambda 1)(1-\beta)\{P2(\gamma_0, n-1, m-1) + P4(\gamma_0, n-1, m-1)\} \quad (5\text{-}3)$$

$$P4(\gamma_0, n, m) = (1-\lambda 2)(1-\alpha)\{P1(\gamma_0, n-1, m-1) + P3(\gamma_0, n-1, m-1)\}$$

$$+(1-\lambda 2)\beta\{P2(\gamma_0, n-1, m-1)+P4(\gamma_0, n-1, m-1)\} \quad (5\text{-}4)$$

이를 이용하면 식 (4)에 상당하는 확률을 구할 수 있게 된다. 결국 시각 t=0에 ON 상태로 있을 확률이 γ_0인 조건 하에서 t=k에 셀 도착이 있으며, 또한 구간 [1, k−1] 내에 N_1 개의 셀 도착 및 구간 [k−1, Tc] 내에 N_2 개의 셀 도착이 있을 확률 $\phi(\gamma_0, k, N_1, N_2)$는 다음 식 (6)으로 나타낼수 있다.

$$\phi(\gamma_0, k, N_1, N_2) = \{P1(\gamma_0, k, N_1) + P2(\gamma_0, k, N_1)\} \times \{P1(\gamma_0, Tc-k, N_2) + P2(\gamma_0, Tc-k, N_2) + P3(\gamma_k, Tc-k, N_2) + P4(\gamma_k, Tc-k, N_2)\} \quad (6\text{-}1)$$

$$\gamma_k = \frac{P1(\gamma_0, k, N_1)}{P1(\gamma_0, k, N_1) + P2(\gamma_0, k, N_1)} \quad (6\text{-}2)$$

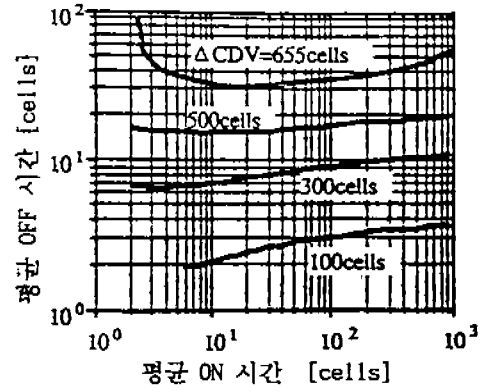
이를 이용하여 CDV 분포는 다음과 같은 식(7)을 얻을 수 있다.

$$P_{CDV}(x) = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^{Tc} \sum_{N_1=1}^{k-1} \sum_{N_2=0}^{Tc-k} \phi(\gamma_k, N_1, N_2) \times \delta(CDV(k, N_1, N_2), x) \quad (7\text{-}1)$$

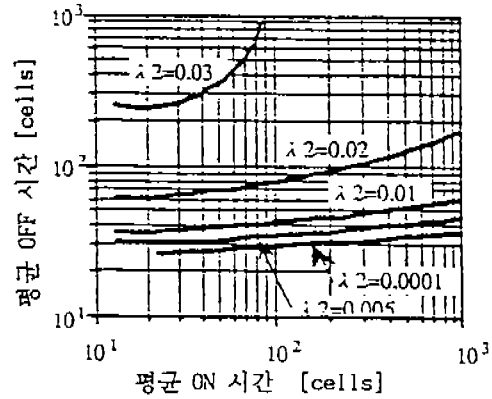
$$P = \sum_{N=1}^{Tc} \sum_{i=1}^{4} \{N \times Pi(\gamma_k, Tc, N\} \quad (7\text{-}2)$$

$$\gamma_0 = \frac{1-\alpha}{(1-\alpha)+(1-\beta)} \quad (7\text{-}3)$$

이상과 같은 방법을 이용하여 MMPP 모델에서의 CDV 분포폭을 해석할 수 있다. (그림 5)는 S.Agnelli, D.M.Chitre 등이 설정한 조건과 같이 Tc=1.0 ms, ON 상태에서의 발생 확률 λ1=1.0, OFF 상태에서의 발생 확률 λ2=0.01로 설정했을 경우 확률 10^{-9} 값에서의 CDV 분포폭인 ΔCDV를 나타내었다. 셀 도착이 평균 ON 시간과 평균 OFF 시간을 파라미터로 하여 ON/OFF 상태의 평균 접속 시간에 대한 ΔCDV의 등고선 형태로 분포를 나타내었다. 그리고 CDV 분포폭의 λ2의 의존성을 파악하기 위해, 근사적으로 (그림 1)의 최악 입력 패턴이 확률 10E-9로 발생하는 영역에서의 결과를 (그림 6)에 나타내었다. MMPP 입력 모델의 CDV 분포폭에서 ON 상태와 OFF 상태가 명확하게 구별되어 있는 경우에 대해 OFF 상태에서 어느 정도의 셀 출력이 있는 경우 결국 OFF 상태의 평균 셀 간격(1/λ2)이 제어 단위 시간 Tc에 대하여 작게 되는 것에 따라 CDV 분포폭도 작게 억제되는 경향이 있음을 알 수 있다. 예를 들면, 최악값의 평가인 경우에는 CDV 분포폭은 거의 2Tc 정도로 생각되었지만, ON/OFF가 평균 10 셀 정도로 빠르게 절환되는 응용인 VBR-CODEC과 같은 특성을 갖는 경우, 최악값의 반 정도에 해당하는 Tc 정도로 억제되고 있음을 알 수 있다. 이는 ATM 전송이 MMPP 모델의 특성을 가진 응용에서도 Tc를 최적화하는 것이 가능함을 알 수 있다.



(그림 5) CDV 분포폭(10^{-9}값)의 분포(MMPP)
(Fig. 5) Distribution of CDV distribution width(10^{-9})



(그림 6) 최악 입력 패턴 발생 확률(10^{-9})의 영역
(Fig. 6) Region of worst case probability(10^{-9}) in input pattern

3. 이산 타임 스탬프 부가형의 제안

3.1 타임 스탬프 방식의 위성회선 적용시 문제점

위성회선에서 타임 스탬프 방식에 의한 CDV 보상을 해석할 경우의 문제점을 다음에 기술하였다.

(1) 셀 전송 타이밍 정보의 전송용량

위성회선의 경우, 사용 가능한 주파수 대역이 유한하기 때문에, 위성회선의 효율적인 이용은 필수 조건이다. 따라서 타임 스탬프 방식을 TDMA 방식에 적용할 경우, 셀 입력 위치를 타임 스탬프 정보로서 이용하기 위해 TDMA 프레임 주기를 20 ms로 하면 53 바이트의 셀 당 약 2 바이트 정도의 정보량이 필요하게 된다. 이것은 전송속도의 약 4%에 해당하며, 155 Mbit/s 전체로 보면 약 6 Mbit/s가 된다. 이는 위성회선에서는 무시할 수 없는 커다란 전송용량의 손실로 발생한다.

(2) 부호 오류를 고려한 시스템의 신뢰성

타임 스탬프 정보의 부호 오류는 셀의 헤드 오류와는 달리, 타임 스탬프 정보의 보상이라는 형태로 처리해야 한다. 이때, 셀 도착 순서의 역전이 발생하는 것은 허락되지 않는다[10, 11]. 또한 헤드 오류 등에 의한 셀 손실시에는, 타임 스탬프 정보를 줄일 필요가 있다. 그리고, 각 지구국의 타임 스탬프 정보는 완전 동기계가 아닌, 지구국마다의 오프셋 값을 부가하여 송출 타이밍이 확정된다. 이런 조건하에서 셀의 타임 스탬프 정보의 부호 오류 검출을 수행하고, 부호 오류시 및 셀 손실시에 유연하게 대처하기 위해서는, 막대한 양의 전송 처리를 수행하는 소프트웨어 처리가 요구된다. 특히, 타임 스탬프 정보가 버스트적으로 연속하여 틀릴 경우 등을 고려하면, 처리 시간은 급격히 증대하며 시스템의 안정된 운영에도 문제가 된다.

이러한 셀 계수 방법의 적용이 반드시 클럼핑 현상이 억제되고 있다고는 할 수 없다. 셀 계수 방식에서 CBR 신호를 입력한 경우에 대하여 살펴보면 CBR 신호의 셀 간격 To와 제어의 단위 시간 Tc의 주기는 일치(Tc=정수×To)하는 보장이 없으므로 셀이 완전히 등간격 To로 도착하는 경우라도 Tc 내의 입력 셀 수는 Tc마다 ±1 셀 정도의 범위에서 변이하게 된다. 이 결과 완전한 CBR 신호라도 To 정도의 CDV 분포폭을 만들게 된다. 이 CDV는 CDV 분포폭 자체로는 작은 값이지만, CBR 신호인 경우에는 CDV 분포폭 CDV와 클럼핑에 관한 CDV 값인 τcdv 가 같게 되므로, 네트워크에서 커다란 영향을 미치는 클럼핑으로 무시할 수 없는 크기가 된다. 따라서 본 논문에서 셀 계수 방법에 대한 클럼핑 제어 기술로서 이산 타임 스탬프를 부가하여 포아송 모델 및 MMPP 모델에 따른 ATM 전송의 안정성을 평가하였다.

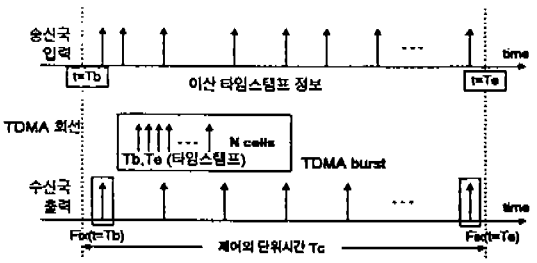
3.2 이산 타임 스탬프 부가형 셀 계수 방식

클럼핑 발생의 원인은 셀 도착 간격 To와 제어 단위 시간 Tc와의 부정합에 원인이 있으므로 (그림 7)에 나타낸 것과 같이 Tc 구간내의 최초(시각 Tb)와 최후(시각 Tc)의 셀에만 타임스탬프를 부가하도록 한다[13].

TDMA 버스트에는 입력 셀 수 N과 타임 스탬프 정보 Tb, Te를 부가하여 전송한다. 출력시에는 타임 스탬프가 부가된 최초와 최후의 셀 송출 타이밍을 타임 스탬프 Tb, Te에 따라 확정하고, 그 이외의 셀은 최초와 최후의 셀 사이에서 균등하게 되도록 배치하여 송출한다. 결국, Tc내에 N 셀의 입력이 있는 경우, k번째 셀의 송출 타이밍 T(k)는 다음 식(8)과 같다.

$$T(k) = T_b + \frac{T_c - T_b}{N-1} \times (k-1) \qquad (8)$$

본 제안 방식의 클럼핑 보상 특성으로는 클럼핑에 관한 CDV값인 τcdv는 그 규정에 따르면 단지 셀 당의 CDV 값으로 평가되는 것은 아니므로 몇 개의 셀이 전체적으로 버스트성을 강하게 하는 방향으로 CDV를 발생시키고 있는 경우에 따른 CDV의 누적값으로 해석할 수 있다.



(그림 7) 이산 타임 스탬프의 셀 계수 방식

(Fig. 7) Cell numbering method discrete time stamp

구체적으로 입력 셀에 통과 번호를 붙여 k 번째 셀의 도착 시각을 t(k), 사용자가 규정한 최소 셀 간격을 To로 하면, 클럼핑에 관한 τcdv는 여러 가지 k_1, k_2, ($k_1 < k_2$)의 조합 중에서 다음 식 (9)를 최대로 하는 값에 해당함을 알 수 있다.

$$\tau_{CDV} = MAX[(k_2 - k_1) \times To - \{t(k_2) - t(k_2) - t(k_1)\}] \quad (9)$$

이산 타임 스탬프를 이용하는 방식인 경우, Tc 내의 최초와 최후 셀의 송출 간격은 일정하다는 가정에서 다음 두 가지 경우로 나누어 생각하였다.

(1) $To \le \frac{T_e - T_b}{N-1}$ 인 경우

이는 출력시의 구간 [Tb, Te] 내에서는 클럼핑이 완화되어 있기 때문에, 식 (9)의 k_1, k_2가 $Tb < t(k_1) < Te$가 아니고 $Tb < t(k_2) < Te$로 되는 일은 없다. 따라서 Tb 및 Te와 $t(k_1)$ 또는 $t(k_2)$가 일치하는 것은 있을 수 있지만, 이 경우에는 출력측에서 입력시의 τcdv를 보존하고 있는것이 되므로, 식 (9)로 표시되는 클럼핑 증대는 억제되고 있음을 알 수 있다.

(2) $\frac{T_e - T_b}{N-1} < T_o$ 인 경우

이는 출력시의 구간 [Tb, Te] 내에서 클럼핑 상태가 증대되고 있고 셀 간격이 등간격이므로, 식 (9)에 따라 구간 [Tb, Te]내에서 단조롭게 증가한다. 만일 이 구간에서 발생하는 클럼핑이 문제가 된다면, 반드시 식 (9)를 최대로 하는 구간 [$t(k_1)$, $t(k_2)$]은 구간 [Tb, Te]를 포함한다. 따라서, Tb, Te의 사이에서 셀을 등간격으로 배치하여도, 그에 따른 클럼핑의 증대는 발생하지 않게된다.

이상의 두 경우를 검토하여 보면 이산 타임 스탬프의 셀 계수 방법은 클럼핑 현상의 억제 기능을 가짐을 알 수 있다.

3.3 이산 타임 스탬프의 CDV 보상의 최적화 검증

이산 타임 스탬프 부가형 셀 계수 방식에서는 Tb 및 Te는 입력시의 Tc 구간 내에서의 최초와 최후의 입력 시간을 그대로 적용하고 있다. 이에 비해 본 논문에서 제안하는 방법은 Tb 및 Te를 최적화 하는 것에 의해 CDV 분포폭의 최소화를 유도하는 것이다. 따라서 구체적으로 Tc 구간 내에서의 입력시와 출력시의 CDV 값의 2차 모멘트의 총합을 평가 함수 W (Tb, Te)라 하고, 이를 최소로 하는 [Tb, Te]의 조합을 유도하여 이를 근거로 식 (8)에 따라 셀 출력을 해석하면 다음 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W(Tb, Te) = \sum_{k=1}^{N} \{t(k) - T(k)\}^2 \quad (10)$$

여기서 t(k)는 Tc 구간 내에서의 k 번째의 셀 입력 시각, T(k)는 식 (8)에 따라 출력되는 k 번째 셀의 출력 시각을 나타낸다. 이 평가 함수의 최소화 조건은 다음 식 (11)로 표시된다[13-15].

$$\frac{\delta}{\delta Tb} W(Tb, Te) = \frac{\delta}{\delta Te} W(Tb, Te) = 0 \quad (11)$$

따라서 Tb 및 Te는 다음 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Tb = \frac{4}{N} \sum_{k=1}^{N} t(k) - \frac{6}{N(N+1)} \sum_{k=1}^{N} \{t(k) \times k\} \quad (12\text{-}1)$$

$$Te = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{N} t(k) - \frac{6}{N(N+1)} \sum_{k=1}^{N} \{t(k) \times k\} \quad (12\text{-}2)$$

결국, 셀 입력마다 t(k)및 $k \times t(k)$의 합을 계산하는 것으로 Tb 및 Te를 구할 수 있다. 단, $N \le 2$인 경우에는 입력시의 Tb, Te를 그대로 사용하면 완전히 CDV가 억제되므로 식 (12)의 적용은 $N \ge 3$인 경우에도 가능하다.

4. 제안 방식의 특성 평가

4.1 CBR 신호인 경우

CBR 신호에 대한 제안 방식의 클럼핑 보상 특성을 평가하기 위하여 다음과 같은 셀 도착을 활용하였다 [2, 5].

$$t(k) = t0 + T_o \times k + \delta(k) \quad (13)$$

여기서 t0는 임의의 초기값이며, 이 시각부터 To 간격으로 CBR 신호로서 셀이 도착한다. 또한, 실제로

는 전송로상에서 받는 산란 요인에 의해 각각 $\delta(k)$만큼의 CDV를 받고 있는 것으로 가정한다[13, 15, 17]. 다음에 Tc 구간 내에 N개의 셀 입력이 있다고 가정하고 식(13)을 식(12)에 대입하여 다음 식 (14)를 구할 수 있다.

$$\Delta Tb = \sum_{k=1}^{N} \{ \frac{4(N+1)-6k}{N(N+1)} \times \delta(k) \} \quad (14\text{-}1)$$

$$\Delta Te = \sum_{k=1}^{N} \{ \frac{6k-2(N+1)}{N(N+1)} \times \delta(k) \} \quad (14\text{-}2)$$

만일 $\delta(k)$가 항상 0과 같은 완전한 CBR 신호라면 확실하게 $\Delta Tb = \Delta Te = 0$이 되며, 출력측에서도 완전한 CBR 신호인 상태로 출력된다. 다음에 $\delta(k)$와 $\delta(k')$가 상관이 없는 $k \neq k'$인 경우를 가정하면, ΔTb 및 ΔTe의 기대값은 $E[\Delta Tb] = E[\Delta Te] = 0$이 된다. 이 경우의 분산을 구하면 $E[\delta(k) \times \delta(k')]$값은 $\delta(k)$와 $\delta(k')$이 상관이 없다고 하면 $k=k'$인 경우만 값을 가지게 되므로 $\delta(k)$의 분산은 δ 제곱이 된다. 따라서 다음 식(15)를 구할 수 있다.

$$E[(\Delta Tb)^2] = E[(\Delta Te)^2] = \frac{2(2N-1)}{N(N+1)} \delta^2 \quad (15)$$

따라서 $N \geq 3$ 인 경우에는, Tb, Te의 분산은 적어지게 된다. 식 (12)의 적용 범위가 $N \geq 3$ 인 경우에도 가능하므로 제안된 이산 타임 스탬프 방식이 CDV를 받은 CBR 신호에 대하여 CDV의 보상이 이루어지고 결과적으로 클럼핑 현상의 억제 효과가 있음을 알 수 있다.

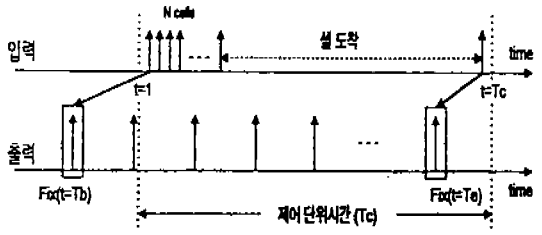
4.2 버스트성이 강한 VBR 신호인 경우

(그림 8)에 나타낸 버스트적인 트래픽을 입력한 경우는 (그림 1)과 같이 셀이 Tc 구간의 일부분에 완전히 치우친 경우로서 이산 타임 스탬프를 이용하는 방식에서는 거의 발생하지 않는 경우로서 이러한 입력에 대하여 해석한다[7, 16, 18]. 이런 입력에 대하여 버스트 부분의 셀 수 N을 파라미터로서, 식 (12)에서 구한 Tb와 Te의 변동 상황을 (그림 9)에 나타내었다. 여기서는 Tc = 200 셀로 계산하였다. 이 결과에서 버스트 영역이 Tc 구간내에 치우친 경우에는 구간 [1, Tc]를 넘어서 Tb, Te가 구해지는 경우도 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 상황은 전후의 Tc 구간 내를 벗어나서 셀을 출력하게 되므로 새로운 클럼핑 현상을 초래할 위험성이 있다. 따라서 식 (12)에 대해 Tb 및 Te에 다음 식 (16)과 같은 조건을 부가한다.

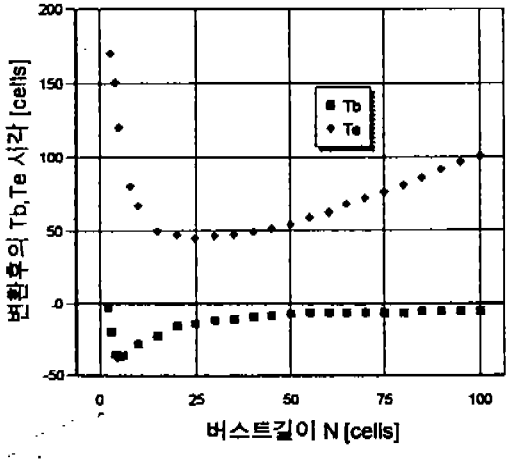
$$t(1) \leq Tb \leq \frac{t(1)+t(N)}{2} \leq Te \leq t(N) \quad (16)$$

Tb 및 Te가 이 영역을 초과한 경우에는 이 범위내에서 식 (12)에서 얻어진 Tb 및 Te에 가장 가까운 값을 할당한다. 이런 조건을 부여하는 이유는 (그림 8)에 표시된 것과 같은 입력 패턴에 대해 CDV의 최대값을 최소로 하는 Tb 및 Te를 모든 패턴에서 검색하여도 CDV의 최악값을 $[(t(N)-t(1)]/2$ 이하로 억제하기가 곤란하기 때문이다.

(그림 10)에 Tc를 파라미터로 한 경우의 (i) 이산 타임 스탬프를 이용하지 않는 경우의 CDV 분포폭의 최



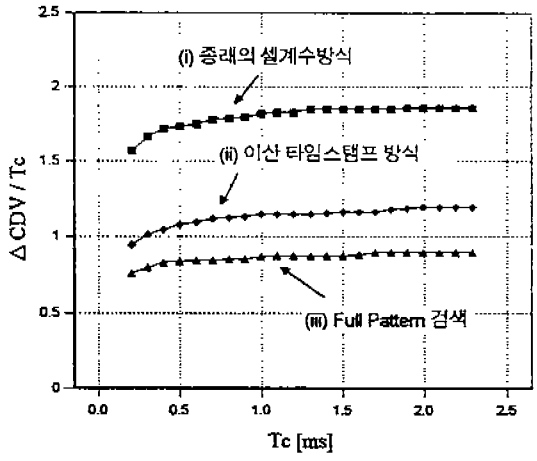
(그림 8) CDV를 최대로 하는 입력 패턴
(Fig. 8) Input pattern of CDVmax



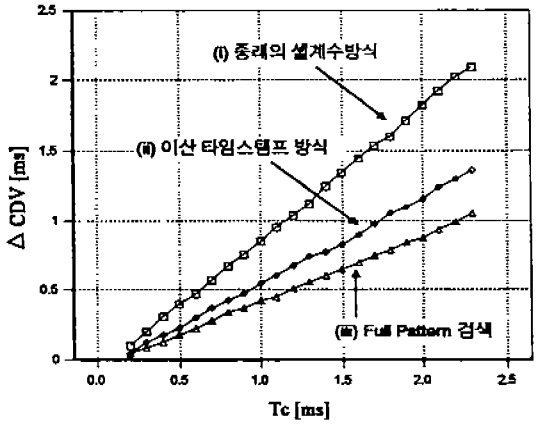
(그림 9) 타임 스탬프의 변환 상태
(Fig. 9) Transition state of time stamp

악값, (ii) 식(16)의 조건을 이용한 Tb, Te 최적화에 대한 CDV 분포폭의 최악값 그리고, (iii) 모든 패턴 검색에 의한 Tb, Te의 최적화에 대한 CDV 분포폭의 최악값을 나타내었다.

CDV 보상 특성에 대해서는 Tc에 따라 약간 다르지만, 이산 타임 스탬프를 사용하는 것에 의해 CDV 분포폭의 최악값을 식(16)의 조건에서 약 1.5% 정도 억제하는 것이 가능함을 알 수 있다.



(1) Tc와 ΔCDV/Tc와의 관계



(2) Tc와 ΔCDV와의 관계

(그림 10) CDV 분포폭의 최악값
(Fig. 10) The worst value of CDV distribution width

5. 결 론

다양한 지역에 산재해 있는 사용자에 대한 서비스의 일환으로 위성 회선에 의한 ATM 전송의 적용에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 TDMA방식의 위성 회선에 대한 ATM 전송 서비스 모델로서 셀 입력의 모델로서 포아송 도착형과 MMPP 모델인 경우로 나누어 응용 트래픽 특성에 따른 셀 제어 시간 Tc의 최적화를 유도하였다.

이를 검증하기 위하여 셀 계수 방식에 대하여 포아송 입력 모델과 MMPP형 입력 모델에 대하여 CDV 보상 특성을 평가하였다. 이 결과, 포아송 입력 모델인 경우에는 원칙적인 CDV 분포폭의 최악값까지는 제어 단위시간 Tc와 평균 셀 간격의 곱의 평방근에 비례하여 CDV 분포폭이 증가함을 알 수 있었다. 또한 MMPP형 입력 모델인 경우에 셀 도착이 평균 OFF 시간이 짧은 경우 또는 OFF상태에서도 어느 정도의 셀 도착이 예상되는 경우에는 CDV의 분포폭은 2Tc 보다 상당히 작은 값을 나타냄을 알 수 있었다.

이 결과를 이용하면 ATM 전송 가능한 응용 대상 서비스의 전송 특성이 확정되고 또한, 트래픽 특성이 확률적으로 포아송 또는 MMPP의 입력의 모델로 기술될 수 있는 경우에는 제어 파라미터 및 Tc의 최적화를 하는 것이 가능하게 된다. 또한, 이를 검증하기 위하여 이산 타임 스탬프를 부가한 클럼핑 억제 방식을 제안하였다. 이 방식의 적용에 의해 입출력 간에 클럼핑에 관한 CDV 값인 τcdv 가 증대하지 않는 것을 해석함과 동시에 CDV를 수반하는 CBR 신호에 적용하는 경우에 입력시에 이미 일어났던 클럼핑에 대해서도 CDV를 보상하는 효과를 기대할 수 있었다. 따라서 위성 TDMA 방식에 있어서의 ATM 전송을 위해서 이산 타임스탬프를 이용하는 방식을 개량하여 응용 서비스 적용에 따라 최악의 경우에도 CDV 분포폭은 약 1.2×Tc 정도로 억제가 가능하여 CDV 보상 능력을 향상 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

앞으로 제안된 이산 타임 스탬프 방식에서 셀 전송 타이밍 정보의 부호 오류의 안정성 해석, 셀 저장의 버퍼 구성 방법 등을 검증 보완하면 TDMA 방식을 이용한 보다 신뢰성있는 ATM 전송으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] Fujii, A., et al. "SS/TDMA-Adaptive Satellite Access Method for Mini-earth Station Networks," IEEE Global Communications Conf., pp. 421-426, Dec. 1986.

[2] S.Agnelli, P.Mosca, "Transmission of Framed ATM Cell Stream over Satellite; a Field Experiment," submitted to IEEE ICC'95, Jun. 1995.

[3] P.Meuret, "Integration Tests of the Satellite Link in the European ATM Pilot Network," Swiss Telecom PTT Telecom, Bern-29, Jan. 1995.

[4] L.Mola, "An Initiative for Conformance ATM-networks Relaying on Satellite-links," ICDSC-10, Vol. 2, pp. 518-523, May 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 NAS3-25092, Mar. 1992.

[6] N.A. Mathews, "Transmission Impairment Modeling-Analysis of Burst Errors in ATM Systems," COMSAT Lab. No. CTD-91-050, May 1991.

[7] P. Yegani, "Performance Models for ATM Switching of Mixed Continuons-bit-rate and Bursty Traffic with Thresold-based-discarding." Proc. IEEE ICC'92, pp. 1621-1627, 1992.

[8] G.Gallassi, G.Rigolio, L.Fratta, "ATM: Bandwidth Assignment and Bandwidth Enforcement Policies," Proc. of GLOBECOM '89 Dallas (USA), Nov. 1989.

[9] Ohba Y., Murata M., Miyahara H., "Analysis of Interdeparture Process for Bursty Traffic in ATM Networks," IEEE J. Selected Areas Communication, Vol. 9, No. 3, pp. 476-488, Apr. 1991.

[10] M.J Karol, C.L. I, "Performance Analysis of a Growable Architecture for Broadband Packet (ATM) Switching," IEEE Trans. on Comm., Vol. 40, No. 2, pp. 431-439, Feb. 1992.

[11] I.W. Habib, T. N. Saadawi, "Access Flow Control Algorithms in Broadband Networks," Proc. IEEE Milcom'92, pp. 252-256

[12] F. Bonomi, S. Montagna, R. Paglino, "Busy Period Analysis for an ATM Switching Element Output Line," Proc. INFOCOM '92, pp. 544-551, May 1992.

[13] T.C. Hou, A. K. Wong, "Queueing Analysis for ATM Switching of Mixed Continuous-bit-rate and Bursty traffic," Proc. IEEE INFOCOM '90, pp. 660-667, 1990.

[14] S. Tridandapani, J.S. Meditch, "Priority Performance of Banyan-based Broadband-ISDN switches," Proc. of Infocom '91, Vol. 2, pp. 711-720, 1991.

[15] Duan-Shin, Bhadkar Sengupta, "Queuing Analysis of a Threshold based Priority Scheme for ATM Networks," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 11, no. 6, pp. 709-717, Dec. 1993.

[16] Z.Sun, F.P.Coakley, "Implementation of ATM via Satellite for BISDN," ICDSC-10, Vol. 1, pp. 137-142, May 1995.

[17] Rayghaudhuri, D., and Mangulis, V.: "A Ku-band Satellite Approach to Terrestrial bypass of Data Terminals," RGA Laboratories Technical Report, PRRL-85-TR-021, 1985.

[18] Chakraborty, D. "Constraints in Ku-band Continental Satellite Network Design," IEEE Communications Magazine, pp. 33-43. Aug. 1986.

[19] Timothy Pratt, Charles W. Bostian, 'Satellite Communications', John Wiley & Sons, New York, 1986.

[20] Bhargava, V.K. et al., 'Digital Communication by Satellite', John Wiley, New York, 1991.

김 정 호

1980년 경북대학교 전자공학과 (학사)

1983년 경북대학교 전자공학과 (석사)

1990년 S.M.E 위원(네트워크 분야)

1990년 정보처리 기술사(전자계산조직응용)

1991년 전자기술사(공업계측 제어)

1992년 통신기술사(전기통신)

1983년~1996년 한국전자통신연구소 지상시스템 연구부 실장

1996년 3월~현재 대전산업대학교 전자계산학과

관심분야: 데이타 통신, 컴퓨터 통신, 위성통신의 지상망 접속

최 경 수

1980년 경북대학교 전자공학과 (학사)

1984년 연세대학교 전자공학과 (석사)

1980년 한국전자통신연구소 입소

1984년~1986년 Bell Telephone mfg.(벨기에 파견)

1995년~현재 위성통신기술연구단 책임연구원

관심분야: 데이타 통신, 신호망 해석, 위성방송 서비스