

# 광대역 통신망에서 발생하는 지터에 관한 연구

준회원 권 혁\*, 정회원 최 승 국\*

## A Study on Jitter Generated in Broadband Network

Hyeok Kwon\*, Seung Kuk Choi\* *Regular Member*

### 요 약

광대역 통신망에서 발생하는 전반적인 지터에 대하여 연구하였다. 여러 가지 지터중에서 수신 단말기에 최종적으로 존재하는 SRTS 지터에 대하여 주로 분석하였다. SDH 노드 클럭 자체에 존재하는 위상시간 잡음을 우선 분석하였다. ITU-T에서 새로이 권고하고 있는 클럭 측정 표준인 TDEV등을 소개하였으며, 권고하고 있는 노드 클럭의 TDEV 한계치에 근거하여 클럭의 플리커 위상 잡음을 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방법으로 발생시켰다. 이어서 노드 클럭 자체의 잡음을 고려한 SRTS 지터의 생성 알고리즘을 개발하여, 이 방법으로 SRTS 지터를 생성 시켰으며, 그 지터의 rms값이 계산되었다. CBR E4 139.264 Mbit/s 소스 신호에 대한 SRTS 지터의 평균적인 rms값은 노드 클럭 잡음의 TDEV값이 0.1 ns인 경우에는 0.17ns이고 TDEV가 1 ns일 때에는 0.43 ns로 밝혀졌다.

### ABSTRACT

All kinds of jitter generated in broadband network is studied. The STRS jitter existed at receiving terminal is primarily analyzed. In the first, the phase time noise of SDH node clock is analyzed. The new measure standards for clock noise e.g., TDEV is introduced. Flicker phase noise of the node clock is generated with computer simulation, based on the TDEV limit by ITU-T. An algorithm for the generation of SRTS jitter is developed under influence of node clock noise. Using this algorithm, SRTS jitter is generated and its rms value is calculated. The calculated average rms value for CBR E4 139.264 Mbit/s source signal is 0.17 ns and 0.43 ns, when TDEV value of node clock noise is 0.1 ns and 1 ns, respectively.

### I. 서 론

광대역 종합정보통신망(BISDN)을 셀(cell)을 바탕으로 실현시키는 방식이 비동기 전달 모드(ATM)이다. 광대역 신호의 전송을 위하여 155.52 Mbit/s를 기본 전송 속도로 하는 동기식 디지털 계위(SDH: Synchronous Digital Hierarchy)의 전송 장치가 사용되기 시작하였다. 음성, 데이터 그리고 화상 신호들은 셀의 형태가 되어 함께 다중화된 후, SDH 전송 장치를 통해 전송된다. 목적지에 도

착된 이 셀들은 다시 역다중화되어 각 가입자에게 전달된다. 이 때 셀들의 통계적 다중화와 ATM 스위치에서의 queuing 지연 때문에 셀들은 목적지에 순서대로 전달되지 못한다. 수신 단말기에 일정치 않게 도착한 시간 간격과 송신측에서의 일정한 셀 간 간격의 차이를 셀지터(cell jitter)라고 한다.

ATM 셀의 전송 수단으로 사용될 SDH 동기식 전송망에서는 통신망내의 각 노드(node)에 있는 클럭들이 동기되어, 이상적인 경우 각 클럭의 주파수 및 위상이 모두 같다. 그러나 각 노드내 클럭들

\* 인천대학교 정보통신공학과

논문번호: 98119-0316, 접수일자: 1998년 3월 16일

\* 본 논문은 한국과학재단(과제번호: 971-0919-128-2) 목적기초연구비 지원으로 이루어 졌음

자체의 위상 잡음과 클럭 동기망의 불완전한 동작으로 인하여 각 클럭들 간의 위상은 서로 일치되지 못하여 노드 클럭들에 지터 및 윈더(jitter and wander)가 존재한다[1]. 노드 A의 클럭과 B의 클럭 간에 위상 시간(phase time)차가 존재하므로, 노드 B의 버퍼(buffer)에 노드 A에서 전송되어 온 데이터를 임시로 입력시킨 후에, 다시 노드내로 읽어들이는 과정에서 overflow가 발생할 수 있다. SDH 장치에서는 이러한 위상차 변화를 위치맞춤(justification)으로 보정하여 주며, 이와 같은 과정에서 포인터 조정 지터(pointer adjustment jitter)가 발생된다[2]. 또한 신호가 한 노드에서 다른 노드로 전송될 때, 전송로 상에서 전송로 지터(line jitter)가 발생된다(그림 1). 셀지터의 크기는 대략 수 ms 이내이며[3], 155.52 Mbit/s 전송로에서 발생하는 지터의 크기는 수십 ns 이내 이다[4]. 반면에 포인터 조정 지터의 크기는 수  $\mu$ s 이내 이며[2], 노드 클럭 자체의 지터는 그 크기가 대략 100 ns 이내로 측정되었다[5].

ATM 수신 단말기에서 원래 송신 단말기의 클럭과 동일한 주파수를 가지는 클럭을 재생(clock recovery)하기 위한 여러 가지 방식들이 제시되었다. 동기식 클럭 재생 방식에서는 그림 1에서와 같이 송신측과 수신측 단말기에 모두 SDH 동기 노드 클럭이 공급된다. 동기식인 SRTS(Synchronous Residual Time Stamp)방식이 만들어 졌으며, SRTS 방식은 ITU-T에 의해 고정 비트율(CBR : Constant Bit Rate) 신호에 대한 클럭 재생의 표준 방식으로 채택되었다[6].

SRTS 방식에서도 수신기에서 클럭 재생 시에 고유의 지터가 발생된다. 데이터가 전송 중에 발생하는 지터들(셀지터, 포인터 조정 지터등)은 수신기의 버퍼에 의해 흡수되지만, 수신 단말기에서 발생된 SRTS 지터는 재생된 수신기 클럭에 최종적으로 존재한다. 따라서 이 클럭을 이용하여 재생된 신호들은 SRTS 지터에 의해 영향을 받는다. 지터는 특히 전송되는 화상 신호의 화질에 영향을 주는데, 지터가 PAL TV 신호에 미치는 영향에 관한 연구에 의하면, 최대 주파수 성분이 1 kHz인 랜덤 지터의

실효치(rms값)가 0.5 ~ 2 ns 이상일 경우에, 화질의 저하가 눈으로 관찰되었다[7]. 이 때 지터의 주파수 성분이 낮을 수록 지터에 의한 화질의 저하는 적어진다[8].

SRTS 지터에 관한 연구는 R.C. Lau[9]등과 K. Murakami[10]에 의해 처음 이루어 졌다. Lau와 Murakami는 SRTS 동기 장치의 동작을 분석하여 지터의 발생 메커니즘을 밝혔으며, 이에 따라 지터를 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방식으로 분석하였다. 연구 [11]에서는 SRTS 지터의 전력 스펙트럼과 실효치를 이론적으로 구하였다. SRTS 지터는 공급되는 SDH 노드 클럭 자체에 존재하는 지터에 의하여 영향을 받는다. 그러나 위 연구 [9]~[11]에서는 이에 대한 영향이 고려되지 아니 하였다. 본 연구에서는 우선 노드 클럭 자체에 존재하는 지터를 분석하며, 이러한 노드 클럭을 사용하는 SRTS 방식에서 발생하는 지터에 관하여 분석하고자 한다.

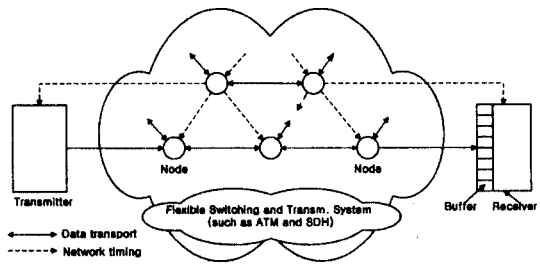


그림 1. 광대역 통신망에서 데이터 및 타이밍 신호 전달.

## II. SDH 노드 클럭에 존재하는 위상 시간 잡음

클럭의 주파수 안정도 및 시간 편차에 관한 연구는 최근 30년 전 부터 이루어져 왔으며, IEEE나 ITU-R에서는 다음과 같이 정의된 Allan deviation(ADEV)로 클럭의 안정도를 나타내기를 권고하고 있다[12].

$$ADEV(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2\tau^2} \langle [x(t+2\tau) - 2x(t+\tau) + x(t)]^2 \rangle} \quad (1)$$

이 때  $\tau$ 는 관측 시간 간격을 나타내며,  $\langle \rangle$ 는 앙상블 평균을 나타낸다. 또한 여러개의 클럭들이  $\tau$  시간 동안 자유 발전 후, 기준되는 표준 클럭에 대한  $i$ 번째 클럭의 시간 편차를  $x_i(\tau)$ 라고 한다. 시간 편차  $x(t)$ 는 시간의 단위를 가지는데, IEEE에서는 위상 시간 에러(phase time error), ITU-T에서는 시간 에러라고 칭한다. SDH 동기식 통신망이 도입되고 클럭 동기가 중요해 짐에 따라, ITU-T에서도 클럭의 안정도 및 시간 에러의 표준에 대한 연구를 시작하여, 1996년도에 ADEV를 기초로 측정 표준을 새로이 권고하였다[13]. ITU-T는 권고안 G.810에서  $x(\tau)$ 의 TIErms(root mean square Time Interval Error)를 다음과 같이 정의하였다.

$$TIErms(\tau) = \sqrt{\langle [x(t+\tau) - x(t)]^2 \rangle} \quad (2)$$

위 식의 앙상블 평균을 충분히 긴 시간 동안 불규칙하게 변하는 한 시간 에러에 대한 시간 평균으로 대체하면

$$TIErms(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{N-n} \sum_{i=1}^{N-n} (x_{i+n} - x_i)^2}, \quad (3)$$

$$n = 1, 2, \dots, N-1$$

으로 추정될 수 있다. 이 때  $\tau_0$ 는 샘플링 주기이며  $n\tau_0$ 는 관측 간격이다. Barnes등은 TIErms( $\tau$ )가 다음과 같이 추정될 수 있음을 밝혔다[12].

$$TIErms(\tau) \cong \tau \cdot ADEV(\tau) \quad (4)$$

ITU-T는 ADEV와 TIErms 이외에 modified Allan deviation(MDEV)와 time deviation (TDEV)을 정의하였다.

$$MDEV(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{2(n\tau_0)^2} \left\langle \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2 \right\rangle} \quad (5)$$

$$TDEV(n\tau_0) = \sqrt{\frac{1}{6n^2} \left\langle \left[ \sum_{i=1}^n (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2 \right\rangle}$$

$$= \frac{n\tau_0}{\sqrt{3}} MDEV(n\tau_0) \quad (6)$$

그러면 Barnes등에 의한 식 (4)에 따라서 아래 식이 성립할 수 있을 것이다.

$$TIErms(\tau) \cong \sqrt{3} TDEV(\tau) \quad (7)$$

식 (6)의 앙상블 평균을 시간 평균으로 대체하면 다음과 같이 표시된다.

$$TDEV(n\tau_0) \cong \sqrt{\frac{1}{6n^2(N-3n+1)} \sum_{j=1}^{N-3n+1} \left[ \sum_{i=j}^{n+j-1} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i) \right]^2},$$

$$n = 1, 2, \dots, \text{integer} \left\lceil \frac{N}{3} \right\rceil \quad (8)$$

ADEV 값은 실제 측정시 일정한, 안정된 값을 얻을 수 있어서 측정 표준으로 권고되고 있다[12]. ADEV와 이와 관계되는 TDEV가 또한 유용한 이유는, 이 값에서  $x(t)$ 의 전력 스펙트럼 밀도  $S_x(f)$ 를 알 수 있고, 또한 그 역도 추정 가능하다는 점이다.  $S_x(f)$ 가 다음과 같은 여러 잡음 성분의 합으로 표시되는 경우를 고찰하자.

$$S_x(f) = h_{-2}f^{-2} + h_{-1}f^{-1} + h_0f^0 + h_1f^1 + h_2f^2$$

$$= \sum_{-2}^{+2} h_\alpha f^\alpha \quad (9)$$

이 중에  $\alpha = -1$ 이어서  $f^{-1}$ 에 비례하여 증가하는 전력 스펙트럼 밀도를 가지는 잡음 성분을 플리커(flicker) 위상 시간 잡음이라 하며, 이 잡음의 TDEV( $\tau$ )는  $\tau$ 의 크기에 관계 없이 일정한 크기를 가진다.  $\alpha = -2$  이어서  $f^{-2}$ 에 비례하여 증가하는 전력 스펙트럼 밀도를 가지는 잡음 성분의 TDEV( $\tau$ ) 크기는  $\tau^{1/2}$ 에 비례해서 그 값이 증가하는 것으로 밝혀졌는데, 이런 종류의 잡음을 랜덤 워크(random walk) 위상 시간 잡음이라 한다[12].

ITU-T는 SDH 동기 클럭들에서 실제 발생하는 클럭의 시간 에러들에 대한 지금까지의 연구 결과들을 분석하여, 동기망 내 어느 곳에서도 이 이상 발생해서는 안 되는 시간 에러의 한계치(synchronization network limit)를 G.813에서 권고하

였다. 그림 2에 관측 시간 간격  $\tau$ 에 따른 최대 허용 TDEV의 크기가 도시되었다. 관측 간격  $\tau$ 가 0.05 ~ 10 sec 사이일 때 TDEV는 12 ns 이하의 값을 가져야 하며,  $\tau$ 가 10 sec 이상일 때 최대 허용 TDEV 값은  $\tau^{1/2}$ 에 비례하여 증가한다. 이러한 위상 시간 잡음의 전력 스펙트럼 밀도  $S_x(f)$ 는 TDEV( $\tau$ )와 다음과 같은 관계가 있다[13].

$$S_x(f) \approx \frac{0.75}{f} \left[ TDEV \left( \frac{0.3}{f} \right) \right]^2 \quad (10)$$

그러므로 그림 2의 TDEV( $\tau$ )를 가지는 위상 시간 잡음의 전력 스펙트럼 밀도는  $f^{-1}$ 에 비례하여 증가하는 성분과  $f^{-2}$ 에 비례하여 증가하는 성분을 나타내는 두 직선이 더해지는 모양이다. 두 직선이 만나는 지점의 주파수 크기인  $f_{break}$  값은 식 (10)에서  $f_{break} \approx 0.3/\tau_{break} = 0.3/10 = 0.03$  Hz가 된다. 따라서 6 ~ 0.03 Hz 사이의 주파수 영역에서는 플리커 위상 시간 잡음이 크게 발생되고, 0.03 Hz 이하의 저주파수 영역에서는 랜덤 위크 잡음의 크기가 큰 것을 알 수 있다.

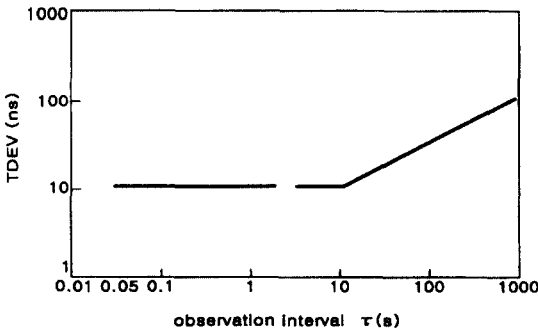


그림 2. 1544 kbit/s의 디지털 신호에 대해 권고안 G.822에 정의된 슬립 특성을 만족시키는 동기망의 TDEV 한계값.

### III. SRTS 클럭 재생 방식에서 발생하는 지터

SRTS 방식에서는 송신측 단말기와 수신측 단말

기에 모두 SDH 통신망의 동기 클럭이 공급된다. 송신측 단말기에서는 단말기의 소스(source) 클럭이 동기 클럭과 비교되며, 두 클럭간의 주파수 편차에 대한 이러한 정보는 ATM Adaptation Layer(AAL)의 오버헤드에 삽입되어 수신측 단말기에 전송된다. 수신측 단말기에서는 인근 노드에서 공급된 동기 클럭과 전송되어온 타이밍 정보를 이용하여 원래의 소스 클럭의 주파수를 가지는 클럭을 재생한다. 동기식 통신망에서 공급되어 온 주파수  $f_n$ (보통  $155.52 \pm 4.6$  ppm Mbit/s)의 동기 클럭은 송신기에서  $x$ 분주되어, 주파수가  $f_n(f_n \div x)$ 인 클럭이 된다. 한편 주파수가  $f_n$ 인 송신 단말기의 클럭은  $N$ 분주 된다.  $N$ 분주된 소스 클럭의 에지(edge) 때마다, 에지와 에지 사이의 시간 간격 동안에 존재하는  $f_n$  클럭의 갯수가 카운트된다. 매 에지 때마다 샘플링된 이러한 타이밍 정보는 수신측으로 전송된다. 샘플링 한 주기 동안에는 주파수가  $f_n$ 인 노드 클럭이  $M$ 개 존재하며, 이 값은 두 클럭의 주파수 값에 따라서 결정된다( $M = Nf_n/f_s$ ).

ITU-T에서는  $N = 3008$ ,  $1 \leq r = f_n/f_s < 2$ , 소스 클럭의 최대 주파수 편차를  $\pm 200$  ppm, 동기 클럭의 최대 주파수 편차를  $\pm 4.6$  ppm으로 권고하고 있다[6]. 만일  $f_s = 78.16 \pm 200$  ppm MHz 이고  $f_n = 155.52 \pm 4.6$  ppm MHz인 경우에  $M$ 값은  $5985.2119 \pm 1.224$ 가 되며, 이 값은 보통 정수가 아니다. 그러나 이 값은 송신 단말기에서 5985나 5986으로 만 카운트되어 샘플링 된다. 먼저  $M$ 값을 정수 부분  $M_0$ 와 나머지 소수값  $R$ 의 합으로 표시하자( $M = M_0 + R$ ).  $M$ 값이 5985.2119일 때, 송·수신되는 타이밍 정보  $M_0$  값은 . . . , 5986, 5985, 5985, 5985, 5985, 5986, 5985, . . . 과 같이 변화한다. 즉 나머지 소수 이하의 값  $R$ 이 0.2119 이므로  $1/0.2119 \approx 4.719$ 가 되어 대략 5번째 마다 이 나머지 값이 쌓여서 5986 이 나타난다.

수신측에서는, 이러한 타이밍 정보에 따라 노드 동기 클럭이 5985 혹은 5986 분주되어 불균일한 시간 간격을 가지는 펄스를 생성한다. 이 분주된 펄스를 수신기에 있는 PLL에 인가하여, 그 주파수를  $N$  배로 확장시킨 연속적인 클럭을 재생한다. 이 때 긴

시간 동안의 타이밍 정보값은 평균값이 5985.2119 이므로, 원래 소스 클럭의 주파수와 동일한 평균 주파수를 가지는 클럭을 수신 단말기에서 재생할 수 있다. 그러나 수신 단말기의 PLL 출력 클럭은 시간 간격이 불균일 하기 때문에, 재생된 클럭에 지터 성분이 존재한다. 이 지터 성분은 PLL의 지터 전달 함수 특성에 따라 저역 필터링 되는 과정에서, 높은 주파수의 성분의 지터는 감소되나 저주파 성분은 통과되어, 재생된 클럭에 저주파의 지터가 존재한다.

그러므로 분주된 펄스 간격이 균일하게 5985.2119인 송신 단말기 클럭과 위와 같이 변화하는 펄스 간격을 가지는 PLL 입력 펄스간의 위상 시간차(지터)를 비교하여 보면, 그 크기가 . . . , 0.2119, 0.4238, 0.6357, 0.8476, 0.0595, 0.2714, 0.4833, . . . 로 계속 변화하는 것을 알 수 있다. 이 때 주파수가  $f_m$ 인 동기 노드 클럭이 제어 되었으므로 주파수가  $f$ 인 소스 클럭을 기준으로 모든 수치가 환산되어야 한다. 이와 같이, 지터의 크기가  $N(1-R)/M$  UI(Unit Interval : 78.16 MHz 경우 12.79 ns)보다 작은 경우에는 지터는  $RN/M$  UI만큼 씩 일정하게 1차 함수의 모양으로 증가하고, 지터의 크기가  $N(1-R)/M$  UI보다 클 때에는 지터는  $-N(1-R)/M$  UI 만큼 씩 일정하게 1차 함수의 모양으로 감소하는 지터 파형이 된다(그림3). 그림 3에서 시간의 단위는  $N/f_s$  (sec) =  $M/f_m \approx (M_0 + 1)/f_m$ 이며, 지터의 기울기가 양일 때는  $M_0/f_m$ , 음일 때는  $(M_0 + 1)/f_m$ 의 시간 간격을 갖는다.

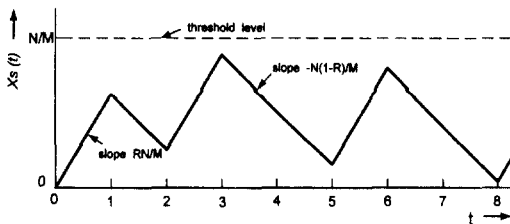
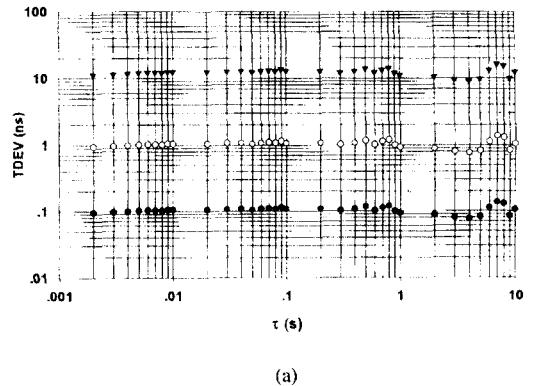


그림 3. SRTS 지터 파형.

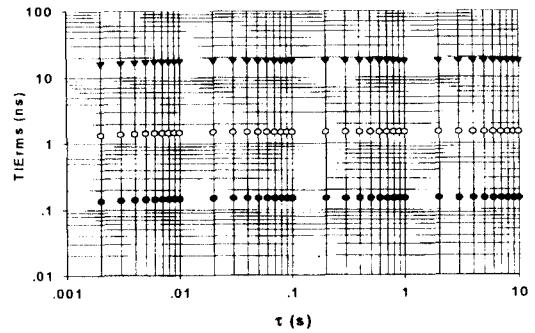
#### IV. SRTS 지터의 컴퓨터 시뮬레이션

##### 4.1 SDH 노드 클럭에 존재하는 위상 시간 에러의 시뮬레이션

그림 2의 TDEV 한계값을 근거로 하여 위상 시간 잡음을 발생시킨다. 극 저주파 지터는 화상 신호의 화질에 영향을 미치지 못한다[8]. 따라서 그림 2의 TDEV 특성을 가지는 클럭 위상 시간 잡음 중에서, 높은 주파수 성분의 플리커 위상 시간 잡음만을 생성시킨다. 이와 같은 시간 에러의 생성을 위하여 C subroutine의 백색 잡음 생성기가 이용되었다. 이 백색 잡음으로부터 연구 [14]에서 사용된 방법을 이용하여 플리커 잡음을 생성한다. T1 1.544 Mbit/s 소스 신호의 경우,  $N = 3008$ 로 분주된 샘플링 시간 간격  $T_s$ 는 1.95 ms이다. 그러므로 ITU-T에 의해서 권고된 그림 2의 TDEV 한계값은 관측 간격  $\tau$ 가 0.05



(a)



(b)

그림 4. 시뮬레이션된 위상 시간 잡음의 TDEV와 TI ERms((a) TDEV, (b) TI ERms).

sec 이하인 경우에는 주어진 값이었지만, 이산적인 위상 잡음의 주기  $T_0$ 를 소스 신호의 샘플링 간격  $T_s$ 와 같게 선정하였다. 총  $10^5$ 개의 이산적인 위상 시간 잡음을 발생 시켰으며, 시뮬레이션된 위상 시간 잡음의 TDEV이 계산되어 그림 4(a)에 도시되었다. 이 그림에서와 같이, 폴리카 잡음의 TDEV의 크기가 0.1 ns, 1 ns 그리고 최대 한계치 12 ns인, 세가지 종류의 위상 시간 잡음을 발생 시켰다. 그림 4(b)에는 발생된 세가지 종류의 위상 잡음에 대한 TIErms가 계산되었는데, Barnes등에 의해 추정된 식(7)이 성립되는 것을 확인할 수 있다.

### 4.2 SRTS 지터의 시뮬레이션

소스 클럭의 주파수  $f_s$ 로 T1 1.544 MHz, E1 2.048 MHz, T3 44.736 MHz 그리고 E4 139.264 MHz인 네 종류가 존재하며, 모두  $\pm 200$ ppm의 주파수 편차가 허용된다. 송·수신 단말기에 공급되는 노드 클럭은  $\pm 4.6$  ppm의 주파수 편차가 허용되므로, M값은 표 1과 같은 범위의 값을 가지게 된다. 수신 단말기에 있는 PLL로 2차 PLL이 사용된다. 이것의 댄핑 계수를 1로 선정하고, PLL의 3-dB 대역폭  $f_{3dB}$  값을 표 1과 같이 선정하였다.

그림 5 a-d에 송신 단말기에서 정수값  $M_0$ 가 결정되는 과정이 설명되어 있다. 각  $T_s$  때의 노드 클럭 시간 에러의 크기가 그림 5d에서와 같이 0.5, -0.3, 0.4, ... 인 경우가 도시되었다. 어느 샘플링 순간 이 값이 0.5라는 것은, 그 순간 노드 클럭의 시간 위치가 표준 클럭의 시간 위치보다 0.5개 클럭 더 앞서 있다는 뜻이다. 이 때 시간 에러의 크기 단위는 모두 주파수  $f_s$ 인 노드 클럭의 UI이다. 그러므로 (k-1)번째와 k번째  $T_s$  시간 사이의 노드 클럭 갯수인 M값은, 원래 M에 k번째 샘플링 시점에서의 노드 클럭 시간 에러에서 (k-1)번째 샘플링 시점에서의 시간 에러를 뺀 값(k번째 샘플링 구간에서 변동되는 클럭의 갯수)만큼 변동이 발생한다. 또한 노드 클럭은 연속적으로 발생되므로, 그 다음 샘플링 구간에서는 나머지 R 만큼 더 빠른 시간 위치에 첫번째 노드 클럭이 발생한다. 따라서 그림 5c에서와 같이 그 다음 구간에는 R개 만큼 더 큰 M값이

나타난다. 이 그림에서 원래 M값이 3569.1인 경우를 고찰하였다. 노드 클럭에 위상 시간 잡음이 없는 경우에는  $M_0$ 값으로 주로 3569가 발생하여야 한다. 그러나 노드 클럭 시간 에러의 영향으로, 그림 5d에서와 같이  $M_0$ 값이 3569, 3568, 3570, ... 등으로 다르게 샘플링 되며, 이 값이 수신 단말기 쪽으로 전송된다.

표 1. 각 소스 신호의 종류에 따른 SRTS 시스템 파라미터.

소스 신호	T1	E1	T3	E4
소스 신호의 $f_s$ (MHz)	$1.544 \pm 200$ ppm	$2.048 \pm 200$ ppm	$44.736 \pm 200$ ppm	$139.264 \pm 200$ ppm
노드 클럭의 $f_n$ (MHz)	$2.43 \pm 4.6$ ppm	$2.43 \pm 4.6$ ppm	$77.76 \pm 4.6$ ppm	$156.52 \pm 4.6$ ppm
최소 M값	4733.1249	3568.3324	5227.4283	3358.4305
정확 M값	4734.0933	3569.0625	5228.4979	3359.1176
최대 M값	4735.0621	3569.7929	5229.5678	3359.8059
PLL $f_{3dB}$ (Hz)	20	20	100	300
샘플링 간격 $T_s$ (ns)	1948	1469	67	22

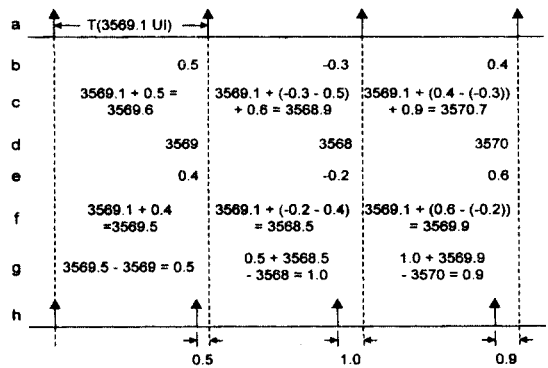


그림 5. 원래 M값이 3569.1인 SRTS 시스템에서 발생하는 지터의 생성을 위한 알고리즘.

수신 단말기에서는, 수신기에 공급된 노드 클럭을 전송되어온  $M_0$ 값의 갯수 만큼 분주 시켜서 펄스를 재생한다. 그림 5 e-h에 수신 단말기에서 이 재생 펄스가 발생하는 과정이 설명되었다. 기준 소스 펄스와 이러한 재생 펄스간의 시간차 값이 바로 그 순간에서의 SRTS 지터 파형의 크기이다. 수신기에 공급되는 동기 노드 클럭의 위상 시간 에러(그림 5e)로 인하여 k번째 펄스 구간에서 증감되는 노드

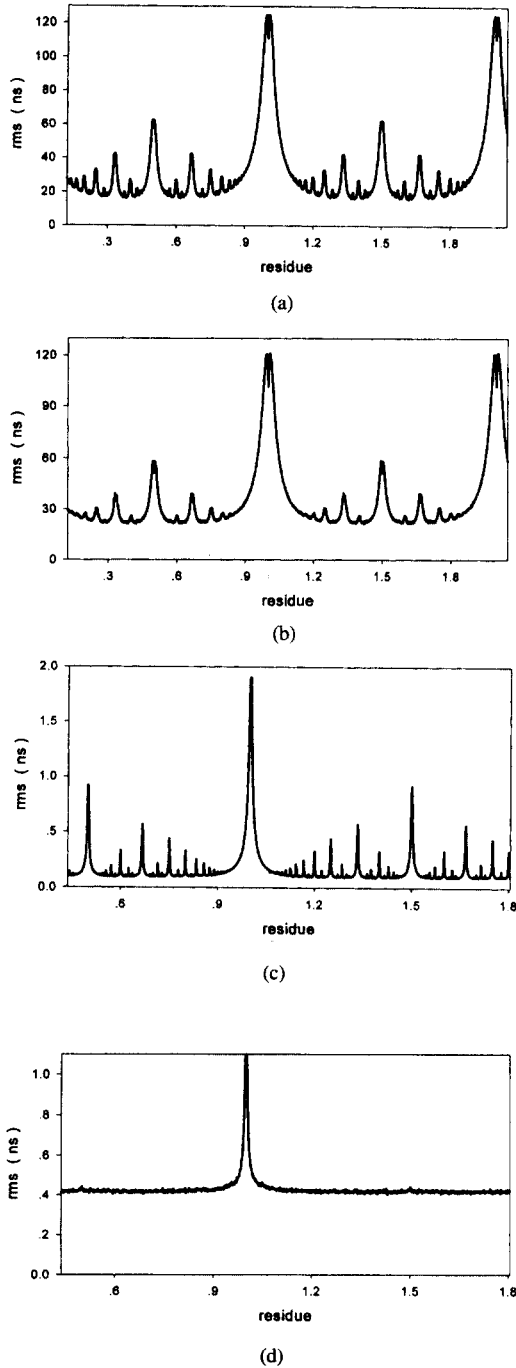


그림 6. SRTS 시스템에서 발생하는 필터링된 지터의 나머지 R값에 따른 실효치((a) T1 소스신호, 클럭잡음의 TDEV=1ns; (b) T1, TDEV=12ns; (c) E4, TDEV=0.1ns; (d) E4, TDEV=1ns)

클럭의 갯수는, (k-1)과 k번째 T<sub>i</sub> 시간에서의 노드 클럭 시간 에러의 차 값이다. 따라서 이 증가되는 시간 에러차 만큼 더 빠른 시간 위치에서 펄스가 재생된다(그림 5f). 또한 그 다음 샘플링 구간에서 노드 클럭의 시간 위치는 SRTS 지터의 크기 만큼 더 빠른 시간 위치에서 발생된다(그림 5g). 그림 5의 제일 아래 부분에 있는 수치가 바로 시뮬레이션 하고자 하는 이상적인 SRTS 지터의 크기이다. 이 때 진행 시간의 단위는 T<sub>i</sub>이며, 지터의 크기 단위는 주파수 f<sub>clk</sub>인 노드 클럭의 UI이다. 위와 같이 발생된 지터 신호는 PLL의 전달 함수에 맞게 필터링되어야 한다.

표 1에 주어진 시스템 파라미터를 대입하여, T1, E1, T3 그리고 E4 소스 신호에 대하여 나머지 R값을 허용 범위 내에서 가변시키면서 지터를 발생시켰다. 이 때 송·수신측 노드 클럭의 플리커 위상 시간 잡음의 TDEV 값은 0.1, 1 그리고 12 ns, 세 종류에서 한 종류를 선택하였다. 그림 6 (a)~(d)에 나머지 R값에 따라 변화하는 지터의 rms값이 계산되어 도시되었다. 그림 6의 (c)는 송·수신측 노드 클럭 잡음의 TDEV이 0.1 ns인 작은 경우이며, (d)는 TDEV이 1 ns로 더 큰 경우이다. 이와 같은 여러 종류의 소스 신호 및 클럭 잡음에 대하여, 모든 허용 나머지 R값에 대한 평균적인 지터의 rms값이 계산되어 표 2에 주어졌다. 표 2에서 TDEV가 0 ns 경우는, 노드 클럭에 위상 시간 잡음이 없는 이상적인 경우이다.

표 2. 모든 허용 나머지 R 값에 대한 SRTS 지터의 평균적인 rms 값 (단위: ns).

소스 신호	T1 1544	E1 2048	T3 44736	E4 139264
TDEV(ns)				
0	32.6	25.3	0.32	0.15
0.1	32.8	25.3	0.33	0.17
1	33.8	25.5	0.57	0.43
12	35.4	28.2	4.63	4.52

### V. 결 론

광대역 통신망에서 발생하는 전반적인 지터에

대하여 연구하였다. 통신망에서 발생하는 지터는 쉘지터, 포인터 조정 지터, 전송로 지터, SRTS 지터 등이 있다. 이 중에서 SRTS 지터를 제외한 나머지 지터들은 각 노드 및 수신 단말기에 있는 버퍼에서 흡수되어야 한다. ATM 수신 단말기에서 재생되는 클럭에는 최종적으로 SRTS 지터가 존재하며, 이 지터는 화상 신호등에 화질의 저하를 가져온다. 따라서 SRTS 지터에 대하여 중점적으로 분석하였는데, 이 지터는 노드 클럭 자체에 존재하는 위상 시간 잡음에 의해 영향을 받는다.

노드 클럭의 잡음을 분석하기 위하여, ITU-T에서 새로이 권고하고 있는 ADEV, TDEV 및 TIErms 등의 측정 표준을 소개하였다. ITU-T에 의해서 권고되고 있는 클럭의 TDEV 한계값에 따라서 노드 클럭의 플리커 위상 시간 잡음을 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 방법으로 발생시켰다. 이어서 노드 클럭 자체에 존재하는 위상 잡음까지 고려한 SRTS 지터의 생성 알고리즘을 개발하였다.

이 알고리즘을 이용하여 SRTS 지터가 생성되었으며, 지터의 rms값이 구해졌다. T1 1.544 Mbit/s CBR 소스 신호에 대해 발생하는 SRTS 지터의 모든 허용 R값에 대한 평균적인 rms값은, 노드 클럭 잡음의 TDEV가 1 ns일 경우에는 32.8 ns, TDEV가 12 ns일 때에는 35.4 ns이다. E4 139.264 Mbit/s 소스 신호에 대한 SRTS 지터는 노드 클럭 잡음의 TDEV가 0.1 ns일 때 그 지터의 평균적인 rms값은 0.17 ns이고, TDEV가 1 ns일 때에는 0.43 ns이다. 이와 같이 E4 소스 신호인 경우에 발생하는 SRTS 지터는 T1 신호인 경우 보다 그 크기가 작으며 주로 노드 클럭의 잡음에 따라 결정된다.

### 참 고 문 헌

- Hartmann H.L. and Steiner E., "Synchronization Techniques for Digital Networks", IEEE J. Select. Areas on Commun., Vol. SAC-4, No.4, pp.506-513, July 1986.
- 최승국, 이종길, 김장복, "정상적인 모드로 동작되는 동기식 통신망에서 발생하는 포인터조정 지터의 분석", 한국통신학회 논문집, 제20권, 제11호, pp.3025-3034, 1995.11.
- Wright D.J., "Assessment of Alternative Transport Options for Video Distribution and Retrieval over ATM in Residential Broadband", IEEE Commun. Magazine, pp.78-87, Dec. 1997.
- ITU-T Draft revised Rec. G.823, 1992.
- Johnson W.B., Brown R., "A New Network Synchronization Phase Noise Simulator", Contribution to T1 standards project T1X1.3 / 91-074.
- ITU-T Draft Recommendation I.363.1, "B-ISDN ATM Adaption Layer(AAL) Specification, Types 1 and 2", July 1995.
- Szuehbator B., "Effect of Jitter on Digital Colour TV Systems", Budavox Telecommunication Review, pp.16-27, 1984.
- Grallert, " Jittersichtbarkeitsgrenze bei Uebertragung von Fernsehsignalen", Siemens 내부보고서.
- Lau R.C and Fleischer P.E., "Synchronous Techniques for Timing Recovery in BISDN ", IEEE Trans. Commun., Vol.43, No.2/3/4, pp.1810-1818, Feb./Mar./Apr. 1995.
- Murakami K., "Jitter in Synchronous Residual Time Stamp", IEEE Trans. Commun., Vol.44, No.6, pp.742-748, June 1996.
- Choi S.K., "Analysis of Jitter Generated in SRTS Method", Electronics Letters, Vol.34, No.12, pp.1184-1185, June 1998.
- Barnes J.A. et. al., "Characterization of Frequency Stability", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. IM-20, pp.105-120, May 1971.
- ITU-T Rec. G.810-813, 1996
- Duttweiler D.L., "Waiting Time Jitter", Bell Syst. Tech. J., Vol.51, pp.165-207, Jan. 1972.
- Barnes J.A. and Jarvis S., "Efficient Numerical and Analog Modeling of Flicker Noise Processes", NBS Tech. Note 604, June 1971.





최 승 국(Seung Kuk Choi) 정회원

1974년 : 연세대학교 전자공학과  
(공학사)

1981년 : 연세대학교 대학원 전  
자공학과 (공학석사)

1988년 : 독일 Braunschweig 대학  
교 전자공학과(공학박사)

1978 ~ 1981년 : 한국전자통신연구소 연구원

1989년 ~ 현재 : 인천대학교 정보통신공학과 교수  
<관심 분야> 디지털 통신 시스템, 동기  
(synchronization)



권 혁(Hyeok Kwon) 준회원

1997년 : 인천대학교 정보통신공  
학과 (공학사)

1997년 ~ 현재 : 인천대학교 대  
학원 정보통신공학과  
석사과정

<관심 분야> 통신신호처리, 동기(synchronization)