

타이밍 지터의 성능분수과 그 영향에 관한 연구

김 동 관 이 명 수 강 창 언
연 세 대 학 교 전 자 공 학 과

A study on the performance analysis of the timing jitter
and its effect

Dong Kwan Kim, Myung Soo Rhee, & Chang Eon Kang
Dept. of Electronic Eng. Yonsei University

ABSTRACT

In this thesis, timing jitter, which has important effects on an echo canceller when we design the ISDN U-interface, is studied.

The power spectrum of the timing jitter of a PLL timing recovery varies according to the line coding. So in this paper, the performance of a timing recovery is analyzed when the input signal is in Polar-NRZ-L and AMI format.

1. 서 론

오늘날 통신 기술은 점차 종합정보 통신망 (ISDN) 으로 발전해가고 있으며, 기존의 전화망은 디지털망으로 발전되고 있다.

본 논문에서는 이러한 종합 정보 통신망 U-인터페이스에서 양방향 데이터 전송을 하는 반향 제거기 (echo canceller) 의 영향을 미치는 타이밍 지터의 성능을 분석하는 데 있다. 타이밍 지터의 전력 스펙트럼은 입력형태가 2리벨인 Polar-NRZ-L 과 3리벨인 AMI 인 경우의 각각 분석하였다.

2장에서는 ISDN U-인터페이스의 설계 조건을 설명하고 3장과 4장에서는 타이밍 지터의 성능과 반향 제거기에 미치는 영향을, 5장에서는 성능분수를 하였다.

2. ISDN U-인터페이스에서의 설계 조건

U-트랜시버의 설계시 2선식 선로로 부터 양방향으로 전송될 데이터를 추출하는 방식에는 FDM, TCM ECM (echo cancellation method) 이 있는데, 그림 1 은 ECM 을 사용한 가입자망의 블럭 다이어그램이다.

디지털 가입자망에서 가장 복잡한 부분이 반향 제거기 인데 이의 최소화를 위해서 표본화율 (sampling rate) 을 감소시켜야 한다. 또 시간 회복기 (timing recovery) 타이밍 지터는 반향 제거기의 성능에 영향을 주므로 설계시 고려를 해주어야 한다. 본 논문에서는 이런 목적을 위해서 업데이트 PLL 을 사용하였다.

3. 디지털 가입자망에서 타이밍 지터의 영향
디지털 가입자망에서 시간 회복기와 반향 제거기의 구성도는 그림 2 이 나타나 있다. 송신기가 $1/T$ / sec 의 비율로 2진 데이터를 전송할 때 실제 n 번째 비트가 전송되는 시간은 Δ_m 가 타이밍 지터라 할 때

$$t_m = nT + \Delta_m \quad (3.1)$$

이다. 하이브리드 포트 2에서 반향 $e(t)$ 는 $G(t)$ 가 반향로 의 단위 응답이라 할 때, 다음과 같다.

$$e(t) = \sum b_m G(t - t_m) \quad (3.2)$$

표본화율을 이라하면 표본화 줄기는 다음과 같다.

$$t_m^{(m)} = mT + \frac{m}{M}T + \Delta_m \quad (3.3)$$

여기서 m 은 위상이다. ($m = 1, 2, \dots, M-1$) 이 때 수신신호 $r(t)$ 의 표본은

$$r(t_m^{(m)}) = \frac{b(m)G(m)^{(m)} + a(m)F(m)^{(m)}}{1 + \gamma(m)^{(m)}} \quad (3.4)$$

이다. 여기서 $b(n)$ 과 $G(n)$ 은 구간 N_b 의 근단 (near-end) 데이터와 반향로 의 단위 응답이다. $a(n)$ 과 $F(n)$ 은 구간 N_f 의 원단 (far-end) 데이터와 선로의 단위 응답이다. 반향 제거기의 필터 계수 $g(n)$ 이라하면 수신기의 입력은

$$y(m)^{(m)} = r(m)^{(m)} - b(m)^T g(m)^{(m)} \quad (3.5)$$

이다. 이 때 수신기의 잔여 반향 (residual echo) 은 다음과 같다.

$$b(m)^T U(m)^{(m)} \quad (3.6)$$

여기서

$$U(m)^{(m)} = G(m)^{(m)} - g(m)^{(m)} \quad (3.7)$$

이다. LMS 알고리즘이 의한 반향제거기의 배 계수는 다음과 같이 새롭게 된다.

$$g(m+1)^{(m)} = g(m)^{(m)} + r y(m)^{(m)} b(m) \quad (3.8)$$

$$(3.4), (3.5), (3.7) \text{ 식을 이 식에 대입하면}$$

$$U(m+1) = U(m) + G_d(m+1) - r y(m)^T U(m) + a(m)^T F(m) + v(m) \{ b(m) \} \quad (3.9)$$

이 된다. 여기서

$$G_d(m+1) = G(m+1) - G(m) \quad (3.10)$$

이다. 이 식의 양변을 제곱하여 Δ 에 대한 조건 평균을 구한 후 정상상태에서의 잔여 자승 평균 반향 SSE 를 구하면 다음과 같다.

$$SSE = \lim_m E \{ |U(m)|^2 \}$$

$$= \frac{X^{(m)}}{2-rN_b} + \frac{rN_b(\sigma_v^2 + |F(m)|^2)}{2-rN_b} \quad (3.11)$$

여기서

$$X^{(m)} = \frac{1}{T} \int_0^{1/T} P(f) Q(f) S_T(f) df \quad (3.12)$$

이다. 이 때

$$P(f) = \frac{8(2-r) \sin^2 \pi f T}{r^2 + 4(1-r) \sin^2 \pi f T} \quad (3.13)$$

$$Q(f) = 2T \sum_{k=1}^{N_b-1} G'(\lambda T + \frac{m}{M} T) \sin^2 \pi \lambda f T \quad (3.14)$$

이다. 여기서 $S_J(f)$ 는 전력 Δ_m 의 전력 스펙트럼이다. (3.11)식에서 첫째항은 전력의 영향에 의한 잔여 자승 평균 반향을 나타내며, 다음과 같이 표시한다.

$$MSEJ^{(m)} = \frac{X^{(m)}}{2-rN_b} X^{(m)} \quad (3.15)$$

지터의 성능을 분석하는 방법으로 다음과 같은 식을 사용한다. 즉,

$$R = \frac{\text{반향 전력의 평균값}}{MSEJ^{(m)} \text{의 최대값}} \quad (3.16)$$

이다. 따라서 원단 신호 전력에 대한 반향 전력의 비가 40 - 50dB 일때, 자승 평균 반향이 대한 원단 신호의 비가 20dB 필요하다면, R 은 60 - 70dB 이상이어야 한다.

4. 타이밍 지터의 분석

본 논문에서는 시간 회복기로 (timing recovery) 고차의 컵대역 PLL (phase locked loop) 을 사용하였다. 이때 위상 비교기는 (phase comparator)

threshold crossing method 인 DZQ (dead-zone quantizer) 를 사용하였다. DZQ 위상 비교기의 블록 다이어그램과 그 전달함수는 그림3과 같다.

이때, 위상 비교기의 출력은 다음과 같다.

$$e_{DZQ}(k) = \sum_k e_k \delta(k-k) \quad (4.1)$$

여기서 e_k 는

$$e_k = \alpha_k d_k (\theta_k - \phi_k - w_k) \quad (4.2)$$

이다. α_k 은 위상비교기의 이득이고, d_k 와 w_k 는 각각 다음과 같이 정의된 데이터 변환 및 부가 잡음원이다.

$$d_k = \frac{1 - a_k a_{k+1}}{2} = \begin{cases} 1 : a_k \neq a_{k+1} \\ 0 : a_k = a_{k+1} \end{cases} \quad (4.3)$$

$$w_k = a_k (v_k + \sum_{m=k+1}^{M-k} a_m b_{k-m}) \quad (4.4)$$

v_k 는 채널 잡음 변수이고, b_k 는 표준 켈스 형태의 의한 ISI (intersymbol interference) 이다. (4.2)

식과 같은 입력 신호는 데이터 변환이 일어날 때 마다 발생한다. 따라서 나이밍 지터를 분석하고자 할 때, 이런

시변(time-varying) 모델은 선형 시불변(time-invariant) 모델로 변형시켜야 하며, 그림4와 같다. 이때

$$\Delta_k = \frac{1}{P} \{ w_k d_k + \mu (d_k - 2P) \} \quad (4.5)$$

이다. 여기서 μ 는 다음과 같이 정의된 VCO (voltage controlled oscillator) 의 static offset 이고, Δf 는 주파수 가산(frequency offset) 이다.

$$\mu = - \frac{\Delta f}{P \Delta} \quad (4.6)$$

따라서 지터의 전력 스펙트럼을 루프가 컵대역이면, 다음과 같다.

$$S_{\Delta}(f) = |G(f)|^2 S_{\Delta'}(f) \quad (4.7)$$

$G(f)$ 는 PLL의 전달함수이고, $S_{\Delta'}(f)$ 는 다음과 같다.

$$S_{\Delta'}(f) = R_z(f) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} R_z(f) \quad (4.8)$$

이상에서 $S_{\Delta'}(f)$ 는 다음과 같다.

$$S_{\Delta'}(f) = P [R_r(f) - R_r(f)] + \frac{\mu^2 (2-2P)}{P} - 2\mu (\epsilon_1 - \epsilon_2) + \sum_{k=1}^{\infty} (\epsilon_k + \epsilon_k - \epsilon_{k+1} - \epsilon_{k+1})^2 \quad (4.9)$$

5. 입력 형태에 따른 타이밍 지터의 영향

먼저 입력 형태가 Polar-NRZ-L 이면, +1, -1이 존재

할 확률이 각각 1/2이므로 데이터 변환 확률 p 는 1/2 이다. AMI 를 고려했을 때 (4.9) 식은 다음과 같다. 이때 첫째 항은 채널 잡음에 의한 영향으로 무시한다.

$$S_{\Delta'}(f) = \mu^2 - 2\mu (0.009) + 1.61 \times 10^{-4} \quad (5.1)$$

α 값을 8×10^3 , Δf 의 최대값을 60×10^{-6} 이라 가정하면 μ 는 (4.6) 식에 의해 다음과 같은 범위를 가진다.

$$|\mu| \leq 0.015 \quad (5.2)$$

그러므로 $S_{\Delta'}(f)$ 는 다음과 같은 범위의 값을 만족한다.

$$S_{\Delta}(f) \approx 80 \times 10^{-5}, 6.56 \times 10^{-4} \quad - (5.3)$$

이상에서 (4.7)에 의한 지터의 전력스펙트럼은 그림 5의 (1)이다. 그림 5의 (2)는 ISI가 없을 때이다. 입력 형태가 AMI(alternate mark inversion)일 때 0 값은 가질 확률이 1/2, +1, -1의 값을 가질 확률이 각각 1/4이다. 따라서 데이터 변환 확률은 5/8이므로

$$S_{\Delta}(f) = 0.2 M^2 \quad - (5.4)$$

이다. 그림 5의 (3)은 입력이 AMI 일 때의 지터의 전력스펙트럼이다. 지터의 영향에 의한 잔여 자승 평균 반향은 (3.14)식에 의해 $\gamma = 0.00047$ 이고, N_b 가 10, 그리고 비트율이 144 Kbps일 때, 그림 6과 같다. (2)는 Polar-NRZ-L 인 경우이고, (3)은 AMI 인 경우이다. $m = 3$ 인 경우의 값은 다음 표와 같다.

입력 형태	MSEJ(3)
Polar-NRZ-L	5.54×10^{-11}
AMI	1.11×10^{-11}

(표 1) 지터의 영향에 의한 잔여

자승 평균 값

이상에서 식 (3.15)에 의한 반향제거기의 성능은 표 2 와 같다.

입력 형태	성능 (R) (dB)
Polar-NRZ-L	122
AMI	129

(표 2) 지터의 영향에 대한 반향제거기의 성능

6. 결 론

디지털 가입자망에서 반향제거기에 영향을 주는 라딩 지터에 대한 성능 분석을 하였다.

PLL 시간 회복기의 락킹 지터는 입력형태(Line coding)에 의해 개선되는 것을 알 수 있다. 데이터 변환 확률이 5/8인 AMI 부호는 Polar-NRZ-L 보다 지터가 8.92dB 정도 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서 지터에 의한 잔여 자승 평균 반향은 6.98dB 정도 감소된다.

* REFERENCE *

1. D. G. MESSERSCHMITT, "Design issues in the ISDN

U-Interface transceiver", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. SAC-4, pp 1281-1293, Nov. 1986.

2. C. P. JEREMY TZENG, "Timing recovery in digital subscriber loops using baud-rate sampling", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. SAC-4, pp 1302-1311, Nov. 1986.

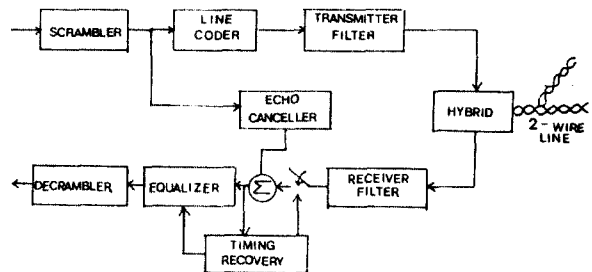
3. A. KANEMASA, et al., "An ISDN subscriber loop transmission system based on echo cancellation technique", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. SAC-4, pp 1359-1366 Nov. 1986.

4. D. D. FALCONER, "Timing jitter effects on digital subscriber loop echo cancellers : part 1. 2 ", IEEE Trans. Commun. Vol. COM-33 pp 826-838, Aug. 1985.

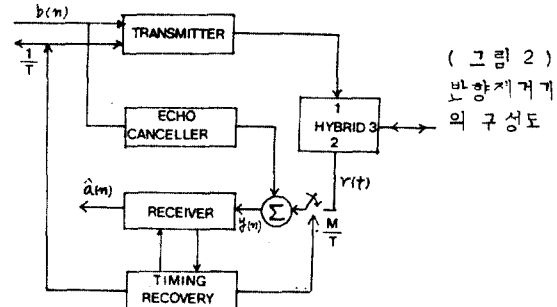
5. F. M. GARDNER, "Phaselock technique", New York : Wiley, 1979.

6. B. R. SALTZBERG, "Timing recovery for synchronous binary data transmission", B. S. T. J., Vol 46, pp 593-622, Mar. 1967.

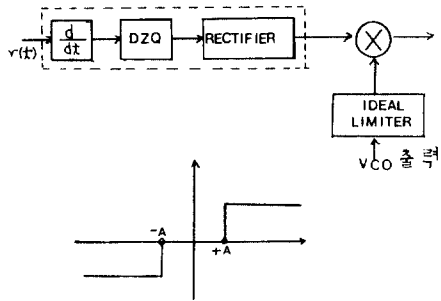
7. D. L. DUTTWEILER, "The jitter performance of phase-locked loops extracting timing from baseband data waveforms", B. S. T. J., Vol. 55, pp 37-58 Jan. 1976.



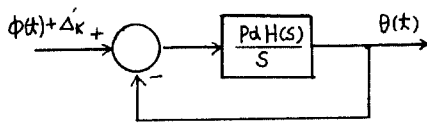
(그림 1) 가입자망의 전체 구성도



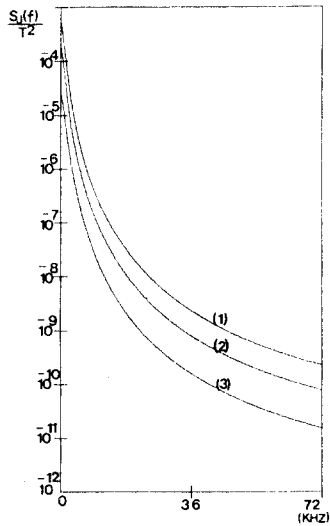
(그림 2) 반향제거기의 구성도



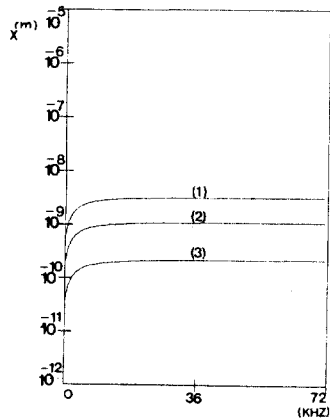
(그림 3) DZO 위상비교기와 그 전달함수



(그림 4) PLL의 선형 시분변 모델



(그림 5) 바이징 지터의 전력 스펙트럼



(그림 6) 지터에 의한 잔여 자승 평균 방향