

140Mb/s & 565Mb/s 다중화/역다중화기의
프레임 동기 성능 해시

○고 정훈, 김 종호, 신 동관, 이 만섭, 심 장섭
한국 전자 통신 연구소 광통신 시스템 연구실

Frame Synchronization Performance Analysis
of 140Mb/s & 565Mb/s Muldexes

Ko, J. H., Kim, J. H., Shin, D. K., Lee, M. S., Shim, C. S.
ETRI, Photonic Systems Section

Abstract: We have developed 140Mb/s and 565Mb/s muldexes as parts of a 565Mb/s Optical Fiber Transmission System. Bunched frame structures are used for these muldexes. In this paper we describe their frame synchronization performance.

1. 서론

디지털 다중화에서의 프레임 동기는 디지털 망에서 고려되어야 할 중요한 사항으로 역다중화기에서 다중화된 입력 신호와 동기가 맞는 각종 어드레스 비트를 만들어 다중화된 입력 신호에서 중속 신호와 여러 서비스 채널의 신호를 분리할 수 있게 하며 이러한 프레임 동기는 입력신호내에서 프레임의 기준이 되는 프레임 배열신호를 검출하고 프레임 카운터를 이 검출 신호에 맞추어 동작시킴으로써 이루어진다.

본 연구실에서 개발한 140Mb/s와 565Mb/s muldex에서는 프레임 동기 성능을 좌우하는 프레임의 구조로 종래의 45Mb/s와 90Mb/s 광통신 시스템에서 사용한 분산식(distributed) 프레임과는 다른 다발식 프레임을 사용하고 있으며 이에 대한 프레임 동기 성능의 이론적 해시를 하였다.

2. 프레임 구조와 프레임 동기 알고리즘

1) 프레임 구조

140Mb/s와 565Mb/s 다중화/역다중화기는 비슷한 구조의 다발식 프레임을 사용하고 있으며 140Mb/s와 565Mb/s에서의 프레임의 길이는 각각 954비트와 2688비트이고 프레임 내의 프레임 배열 신호는 111110100000의 12비트로 되어있다. [1, 2, 3, 4]

2) 프레임 동기 알고리즘

140Mb/s와 565Mb/s 다중화에서는 다음과 같은 CCITT의 프레임 동기 알고리즘을 사용하고 있다. [3, 4]

- 프레임 동기 상실은 예상한 위치에서 연속해서 4번 프레임 배열 신호를 검출하지 못하였을 때 프레임 동기 상실이라고 판단한다.
- 프레임 동기 상실이 발생했을 때 3번 연속해서 같은 위치에서 프레임 배열 신호를 검출하면 프레임 동기가 회복되었다고 판단한다.

동기 알고리즘을 신호 흐름도로 나타내면 [그림1]과 같다.

3. 프레임 동기 성능

이상의 동기 알고리즘으로 동기 회로를 구성했을 때 그 성능을 알아보면

1) 평균 동기 상실 구간(average holding time)

동기와 회로는 어느 정도의 채널 오류가 발생하여도 가능한 오랫동안 동기를 유지하여야 하며 이러한 성능을 나타내는 평균 동기 상실 구간은 채널 오류에 의한 프레임 배열 신호의 손상으로 얼마나 자주 동기를 잃어버리는가를 나타내는 파라미터로, 동기모드에서 비동기모드로의 전이가 발생하는 평균 구간을 말한다. 평균 동기 상실 구간 T_h 을 구하기 위해 Sittler가 소개한 신호 흐름도 방법을 사용하였다. [5, 6]

T_h 을 구하기 위한 신호 흐름도는 [그림2]와 같다. 여기서 신호 오류로 인해 프레임 동기 신호를 검출하지 못할 확률 p 을 신호 에러율 pe 로 나타내면

$$p = 1 - (1 - pe)^{12} \approx 12pe \text{ 이며 } z \text{ 는 한 프레임에 해당하는 시간이다.}$$

A와 E 사이의 전달 함수는

$$Q_h(z) = \frac{p^4 z^4}{1 - qz - pqz^2 - p^2 qz^3 - p^3 qz^4}$$

가 되며 여기서 $q = 1-p$ 이다.

z 를 단위시간으로 하고 A에서 E까지 도달하는 시간은

$$Q_h'(1) \approx 1/p^4 \text{ 이다.}$$

140Mb/s 다중화에서의 평균 동기 상실 구간 T_h 는

$$T_h = Q_h'(1) \times 954 / (140 \times 10^6) \text{ 가 되며}$$

565Mb/s에서는

$$T_h = Q_h'(1) \times 2688 / (565 \times 10^6) \text{ 가 된다.}$$

이를 BER에 따라 분류하면 다음과 같다.

BER	140Mb/s	565Mb/s
10E-5	1047년	727.5년
10E-4	38.2일	26.5일

2) 평균 동기 상실 검출 시간 (Detection time of synchronization loss)

PCM 시스템에서 동기를 잃어버리게 되는 주요 요인 중 하나는 데이터 비트가 마치거나 더 커어돌게 되는 경우인데 이러한 예리는 주로 스테리핑 과정에서 비롯 된다. 평균 동기 상실 검출 시간 T_d 를 구하기 위한 신호 으뜸도는 [그림3]과 같다.

여기서 p 는 랜덤한 2진 데이터 스트림에서 12비트의 신호열이 우연히 프레임 동기 신호와 일치할 확률이며 $p = 2^{-12}$, $q = 1-p$ 이다. z 는 한 프레임에 해당하는 시간이다.

A에서 E까지의 전달함수는

$$Q_h(z) = \frac{q^4 z^4}{1 - pz - qpz^2 - q^2 pz^3 - q^3 pz^4} \text{ 이고}$$

T_d 는 $T_d = Q_d'(1) \approx 4$ 로 4프레임 길이 정도가 된다.

3) 최대 평균 동기 회복 시간(Maximum average synchronization time)

최대 평균 동기 회복 시간 T_s 는 동기 상실을 검출한 후 새로운 동기를 얻는데 걸리는 최대 시간으로 동기 회복의 성능을 나타내는 중요한 파라미터가 된다. 최대 평균 동기 시간을 얻기 위한 신호 으뜸도는 [그림4]과 같다.

여기서 L 은 한 프레임의 길이이며, f_i, j 는 프레임 배열 신호 위치에서 i 만큼 카운터의 위상이 뒤져있고, j 번 연속해서

프레임 배열 신호를 검출한 상태를 나타낸다. 따라서 f_i, θ ($i=0, 1, \dots, L-1$)는 리프레임하는 데 있어 초기상태인 서치상태가 되며 f_1, θ 는 '최대'의 리프레임 시간을 얻기 위한 초기 상태라 할 수 있다. 랜덤한 데이터에서 우연히 3번 연속해서 프레임 배열 신호를 검출하면 정상상태 A인 $f_i, 3$ ($i=1, 2, \dots, L-1$)로 되며 $Q_d(z)$ 는 평균 동기 상실 검출 시간으로 이러한 잘못된 정상상태를 감지하고 서치상태 E로 빠져나오는 데 걸리는 시간이 된다. $f_L, 3$ 는 올바른 위치에서의 정상상태가 된다.

여기서 p 는 랜덤한 2진 데이터 스트림에서 12비트의 신호열이 우연히 프레임 배열 신호와 일치할 확률이며 $p = 2^{-12}$, $q = 1-p$ 이고 r 은 신호 오류에 의해 프레임 배열 신호가 틀리질 확률로 $r = 1 - (1-pe)^{12} \approx 12pe$ 가 된다. z 는 140MHz 물리의 한 주기가 되며 pe 는 신호 에러율이다.

서치 상태로 들어가서 정상 상태에 도달하는 데 걸리는 최대 시간을 구하기 위한 f_1, θ 에서 $f_L, 3$ 까지의 전달 함수는

$$Q_r(z) = \frac{Q_s^{L-2}(z) z^{2L+1} (1-r)^3}{1 - Q_s^{L-1}(z) r \cdot [z + (1-r)z^{L+1} + (1-r)^2 z^{2L+1}]}$$

여기서 $Q_s(z) = qz + pqz^{L+1} + p^2 qz^{2L+1} + p^3 z^{2L+1} Q_d(z)$ 이고 최대 시간 $Q_r'(1)$ 은

$$Q_r'(1) = (L-2)Q_s'(1) + 2L + 1 + 3r \{ (L-1)Q_s'(1) + L + 1 \} / (1-r)^3 \text{ 이 되며}$$

140Mb/s에서는 BER = 10E-4 일때 $r = 12 \times 10E-4$ 로

$$Q_r'(1) = 3090.5 = 3.24L \text{ 이며}$$

BER = 10E-6 이면 $Q_r'(1) = 3.23L$ 이 된다.

565Mb/s에서는 10E-4와 10E-6에서

각각 3.66L과 3.65L이 된다.

그런데 $f_L, 1$ 에서 프레임 배열 신호를 검출한 후 프레임 카운터가 인에이블 되면 아직 확인 상태(F, G)를 거쳐 동기 회복으로 판단되지는 않았으나 입력 데이터에 맞는 동기를 얻게 되어 사실상 이 상태를 동기 상태로 볼 수 있으므로 동기를 얻기 위해 걸리는 실질적인 최대 평균 동기 회복 시간 T_s 는 $Q_r'(1) - 2L$ 이 된다.

데이터와 프레임 카운터의 동기가 틀리지면서 부터 새로운 동기를 갖게 되기까지의 시간, 다시말해 동기에 맞는 올바른 데이터를 얻기 위해 걸리는 시간인 전체 최대 평균 동기 회복 시간은 동기 상실 검출 시간 T_d 와 최대 평균 동기 회복 시간 T_s 의 합이며

$$140Mb/s \text{에서는 } T_{total} = 4L + 1.23L = 5.23L \text{이 되어 } 35.8 \text{ [usec]가 되며}$$

565Mb/s에서는 5.65L로 26.9 [usec]가 된다.

본 시스템의 565Mb/s muldex는 최소 구현시 프레임 배열 신호 검출을 위해 병렬 검출 방식을 사용하고 있어 위의 값과 다른 42.8 [usec]이 된다.

4. 결론

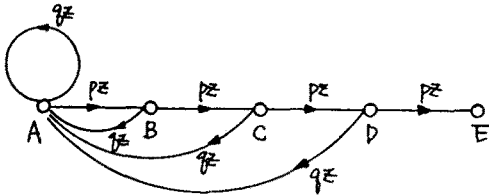
565Mb/s 광통신 시스템의 일부로 제작된 140Mb/s와 565Mb/s 다중화/역다중화기의 프레임 동기 성능을 신호 흐름도를 사용하여 이론적으로 계산하였으며 이러한 해석법은 140Mb/s와 565Mb/s 다중화기의 PCM 전송 장치에도 사용될 수 있다.

** 사사

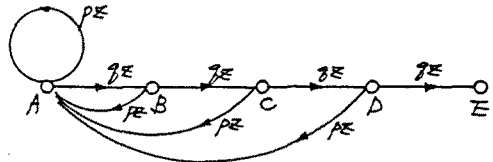
본 연구는 KTA의 출연금으로 수행되었습니다.

** 참고 문헌

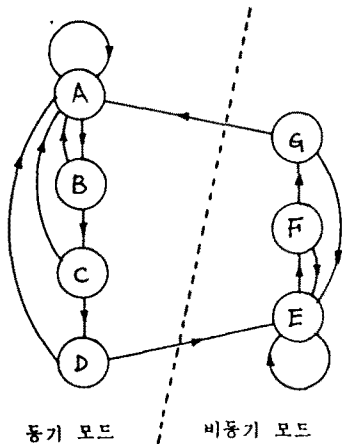
- [1] 고 정훈 외, "140Mb/s 다중화/역다중화기", 통신 학회, 춘계 학술 발표회 논문집, 1987
- [2] 신 동관 외, "565Mb/s 다중화/역다중화기", 통신 학회, 춘계 학술 발표회 논문집, 1987
- [3] CCITT, "CCITT Rec. G. 954", 1985
- [4] CCITT, "Temporary Document No. 124-E", CCITT STUDY GROUP XVIII, Geneva, June 1985
- [5] R. W. Sittler, "System Analysis of Discrete Markov Process", IRE Trans. Circuit Theory, vol. CT-3, pp. 257-266, Dec. 1956
- [6] Denis T. R. Munhoz, "On Frame Synchronization of PCM Systems", IEEE Trans. on Comm., vol. Com-28, no. 8, Aug. 1980



[그림2] 평균 동기 상실 구간에 대한 신호 흐름도

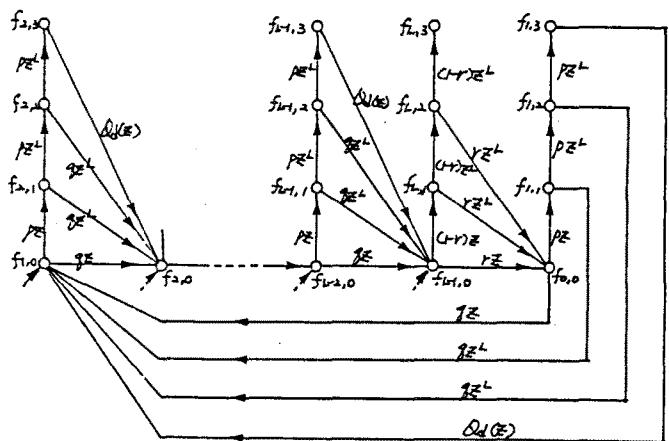


[그림3] 평균 동기 상실 검출 구간에 대한 신호 흐름도



- A: 정상 상태
- B, C, D: 준경보 상태
- E: 서치(search) 상태
- F, G: 확인 상태

[그림1] 프레임 동기 알고리즘의 상태 천이도



[그림4] 최대 평균 동기 시간에 대한 신호 흐름도