

90Mb/s 광전송시스템의 프레임 동기방식에 관한 성능 개선

(Performance Improvement of Frame Synchronization in the 90Mb/s Optical Transmission System)

申東官*, 李晚燮*, 金容煥*

(Dong Kwan Shin, Man Seop Lee and Yong Hwan Kim)

要 約

디지털 다중화 시스템에서의 프레임 동기 성능은 평균 동기상실 구간, 평균 비동기 검출시간, 평균 동기회복 시간 등의 세가지 특성변수에 의해 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 표준화된 90Mb/s 광전송시스템의 프레임 동기 성능을 Markov chain 모델에 의해 세가지 특성변수로 해석하고, 기존의 동기방식을 개선하여 동기 성능이 개선된 동기알고리즘을 제시하였다. 기존의 동기 알고리즘에서는 최대 평균 동기회복 시간이 2.28ms인데 비해, 본 논문에서 제시된 알고리즘에 의해서는 1.18ms의 값을 얻을 수 있다.

Abstract

The performance of frame synchronization can be represented by the values of three characteristic variables - average misframe interval, average syncloss detection time, average reframe time. In this paper, we have analyzed the performance of frame synchronization of the standardized 90Mb/s optical transmission system by Markov chain method, with the suggestion of an extended algorithm for performance improvement. Maximum average reframe time of 1.18 ms can be obtained by the suggested algorithm, which is compared with that of 2.28 ms for the existing algorithm.

I. 서 론

동기화 디지털 통신 시스템은, 수신단에서 캐리어 클럭과 비트 클럭 그리고 프레임 클럭을 재생할 수 있어야 하며, 이러한 클럭들은 전송단에서의 각각의 클럭들과 동기화되므로써 올바른 데이터 전송을 가능하게 만든다. 특히 baseband 데이터 통신의 경우는 수신단에서 비트 클럭과 프레임 클럭만 제공할 수 있으면 되며, 이중 본 논문에서는 프레임 클럭의 동기방식에 관련된 사항만을 다루고 있다.

프레임 동기 성능은 평균 동기상실 구간(average misframe interval), 평균 비동기 검출시간(average syncloss detection time), 평균 동기회복 시간(average reframe time) 등의 세가지 특성변수로 나타낼 수 있으며, 이러한 값들은 프레임의 형태 및 구조, 프레임 동기방식 및 동기회로의 설계에 의해 결정된다. 또한 각 특성변수들은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.¹⁾

- i) 동기회복 시간이 작아야 한다.
- ii) 비동기 검출시간이 빨라야 한다.
- iii) 동기상실 구간이 길어야 한다.
- iv) 동기 알고리즘이 간단해야 한다.
- v) 하드웨어 제작이 간단해야 한다.

상위 디지털 다중화 계위 시스템의 프레임 동기 상

*正會員, 韓國電子通信研究所 光通信시스템 研究室

(Photonic Systems Section, ETRI)

接受日字: 1986年 4月 29日

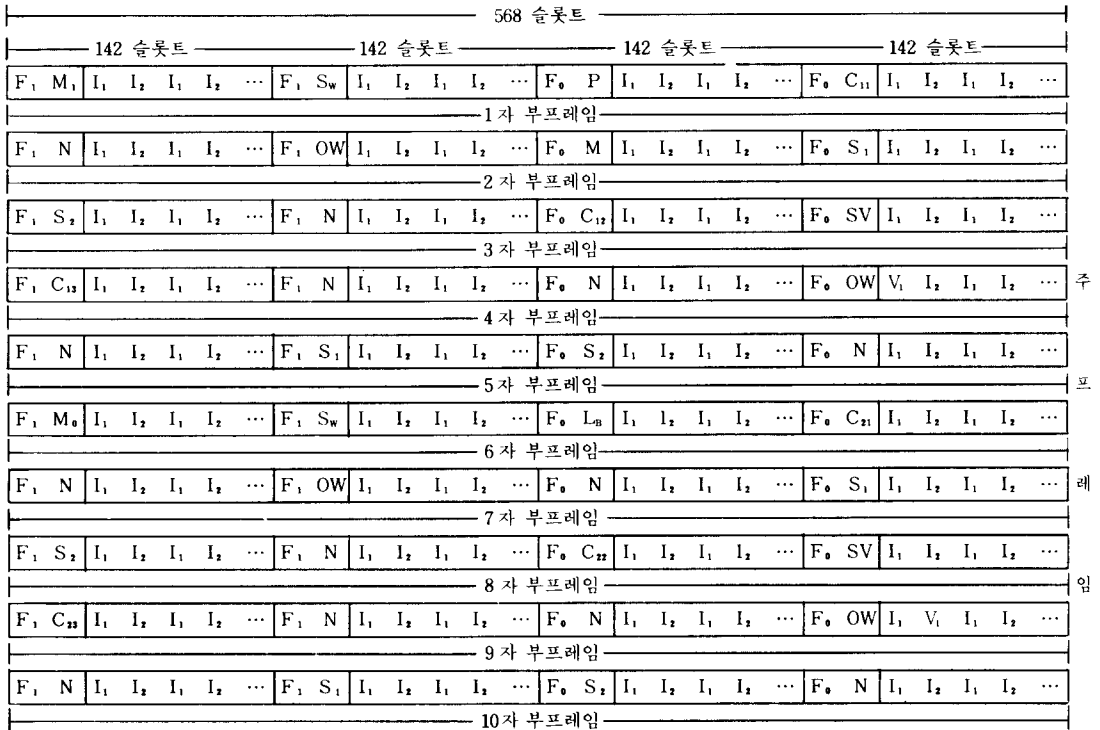
실은 하위 디지털 다중화 계위 시스템의 동기 성능에 영향을 주므로, 광전송시스템과 같은 고차 디지털 다중화 계위 시스템의 프레임 동기 문제는 중요하다.¹⁾ 현재 국내의 광전송 시스템은 장파장 45Mb/s 시스템과 90Mb/s 시스템이 표준화되어 있으며 특히 90Mb/s 광전송시스템의 다중화 프레임은 독자적인 구조로 되어 있다.

프레임 동기 성능 개선을 위해서는 정확한 성능 해석이 선행되어야 하며, 프레임 동기 성능에 대한 이제까지의 해석은 실제의 동기 알고리즘을 근대화시켜 행하여져 왔다.²⁾ 본 논문에서는 Markov chain 모델에 의해 동기 알고리즘을 정확히 해석하고, 이를 확장하여 개선된 성능을 얻기 위한 알고리즘을 제시하였다.

본 논문의 II 장에서는 90Mb/s 광전송시스템의 프레임 동기 알고리즘을 기술하고, 프레임 동기 성능의 개선 방안을 제시하였다. III 장에서는 기존의 알고리즘 및 새로이 제시한 방안에 대한 동기 성능을 해석, 비교하였고, 마지막으로 IV 장에서 결론을 맺었다.

II. 90Mb/s 광전송시스템의 프레임 동기 알고리즘 및 성능 개선 방안

1. 90Mb/s 광전송시스템의 프레임 동기 알고리즘
90Mb/s 광전송시스템의 다중화 프레임은 그림 1과 같이 부프레임(subframe)과 주프레임(master frame)으로 구성된 복합 프레임(multiframe) 구조로 되어 있으며, 부프레임 배열 신호는 1100 패턴으로 되어 있다.



- M₁, M₀ = 주프레임 패턴 = 10
- F₁, F₀, F_w = 부프레임 패턴 = 1100
- I = 정보 비트
- C = 스테어링 제어비트
[스테어링이 존재할 때 "1"]
- C_{1x} → 채널 1
- C_{2x} → 채널 2
- V = 스테어링 비트
(V₁ → 채널 1, V₂ → 채널 2)
- SW = 절제제어; 32Kb/s
- SV = 감시제어; 32Kb/s
- OW = 타합선; 64Kb/s
- S = 사용자 회선; 2×64Kb/s
(S₁ → 채널 1, S₂ → 채널 2)
- P = 패리티 비트
- L_n = 루우프백 신호
- N = 사용하지 않음

그림 1. 90Mb/s 광전송시스템의 프레임 구조
Fig. 1. Frame structure of the 90Mb/s optical transmission system.

주프레임은 10개의 부프레임으로 구성되며 주프레임 배열신호는 5개의 부프레임마다 1과 0이 반복되는 10패턴으로 되어 있다.

수신단의 프레임 동기시스템은 부프레임 패턴 및 주프레임 패턴을 검출하여 동기 상태를 유지하도록 하며, 프레임 동기 알고리즘은 부프레임 동기 알고리즘과 주프레임 동기 알고리즘으로 구성한다. 부프레임 동기 알고리즘은 그림 2의 상태천이도로 나타낼 수 있다.

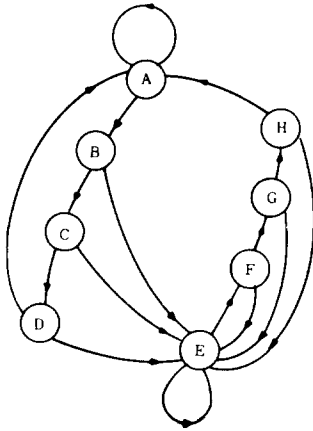


그림 2. 부프레임 동기시스템의 상태천이도
Fig. 2. State transition diagram of the subframe synchronization system.

프레임 동기시스템이 올바른 프레임 패턴을 유지하고 있으면, 동기(in-frame)상태라 하고, 시스템은 A 상태에 있다. 이 상태에서 동기시스템은 다음 시간위치에서의 비트 패턴을 조사하여, 올바른 비트 패턴이 검출되면 A상태에 그대로 머무르고 만일 틀린 비트 패턴이 나오면 B상태로 간다. 다시한번 정해진 시간위치에서 비트 패턴을 조사하여 올바른 비트 패턴이 나오면 C상태로 가고, 그렇지 않으면 E상태로 간다. C 상태에서의 동작은 B상태에서의 동작과 같으며, D 상태에서의 동작은 비트패턴이 올바르면 A상태로, 그렇지 않으면 E상태로 간다. 요약하면 연속되는 4개의 연속되는 프레임 비트 패턴중 2개 이상이 틀리면 E상태로 가고, 그렇지 않으면 A상태로 가도록 되어 있다. 이와같이 허용치를 두는 것은 동기시스템이 선로 오류에 의해 곧바로 프레임 비동기 상태로 천이하는 것을 방지하며 이를 오류 허용(error tolerance) 기능이라 한다. 동기시스템이 E, F, G, H 상태에 있으면 비동기(out-of-frame) 상태라 하고, 동기시스템은 올바른 프레임 패턴을 찾기위해 bit-by-bit shifting 동작을 수행한다. 이때는 보다 빠른 동기회복 시간을 달성하기 위

해 bit-by-bit shifting 동작을 수행한다. 이때는 보다 빠른 동기회복 시간을 달성하기 위해 오류 허용 기능이 설치되어 있지 않다.

주프레임의 동기 알고리즘은 부프레임의 동기 알고리즘과 마찬가지로 그림 2의 상태 천이도로 나타낼 수 있으며 주프레임 동기시스템이 E상태에 있을 시는 먼저 부프레임의 동기가 완료된 후에서만 주프레임 동기찾음(searching) 동작이 일어난다는 점이 다르다.

2. 동기 성능 개선 방안

동기 성능을 개선시키는 방안은 두가지 측면에서 생각할 수 있다. 일차적으로 그림 2의 상태천이도를 바꿈으로써 부프레임 및 주프레임 동기 성능을 각각 개선할 수 있으며 이차적으로 주프레임의 동기 과정에서 부프레임 패턴을 이용함으로써 평균 동기회복 시간을 줄일 수 있다.

먼저 일차방안을 생각해 보자. 그림 2의 동기상태에서 4개의 연속되는 프레임 패턴 중에서 3개 이상의 에러가 발생할 때 비동기 상태로 천이하도록 설정한다면, 동기상실 구간이 상대적으로 길어지고 비동기 검출시간이 늦어지는 등 동기시스템의 성능에 변화가 예상된다. 또한 시스템이 비동기 상태에 있을 때, 5개의 연속되는 패턴이 프레임 패턴과 같을 경우 동기 상태로 천이하도록 설정한다면 동기회복 시간이 변할 것으로 추측된다. 이러한 방법으로 동기 상태에서 m개의 연속되는 패턴 중 n개의 오류 발생시 비동기 상태로, 비동기 상태에서 l개의 연속되는 패턴이 프레임 패턴과 일치할 때 동기 상태로 천이하도록 설정하면, m, n, l등의 세가지 매개변수를 적절히 선택함으로써 동기 성능을 개선시킬 수 있다. m, n, l의 세 매개 변수에 대한 선택 가능성은 매우 많으나, 하드웨어적인 측면에서 볼 때 동기 상태에서의 에러 허용치를 나타내는 매개변수 n을 2로 하면, 모드 결정 회로를 간단하게 실현할 수 있으며 이때의 상태천이도는 그림 3과 같이 된다. 따라서 본 논문에서는 n=2일 경우로 한정된 후, 매개변수 m을 이용하여 동기 상태에서의 성능을 조사하고, 매개변수 l을 이용하여 비동기 상태에서의 성능을 해석하여 최적의 m, l값을 구하였다.

다음으로 주프레임의 동기방식에 관련되는 이차 성능 개선 방안을 고려해 보자. 프레임 동기시스템이 비동기 상태에 있을 때는 먼저 부프레임의 동기가 완료된 후, 주프레임의 동기찾음이 시작된다. 주프레임 배열신호는 앞절에서 설명한대로, 5개의 부프레임마다 첫번째의 오버헤드(overhead) 비트 자리에 1과 0가 반복되는 형태로 되어 있으며, 기존 방식에서의 주프레임 동기 알고리즘은 모든 오버헤드 비트를 shifting

하면서 주프레임 패턴을 검출하도록 되어 있다. 반면에 본 논문에서 제시하는 방안은 주프레임 동기 과정에서, 부프레임 패턴으로부터 첫번째 오버헤드 비트의 위치를 알 수 있는 성질을 이용하여 하나의 부프레임마다 한번씩 첫번째 오버헤드 비트만 검출하도록 하는 것이다. 이 방법으로 동기회복 시간을 상당히 줄일 수 있으며 이 관계는 후에 설명하기로 한다.

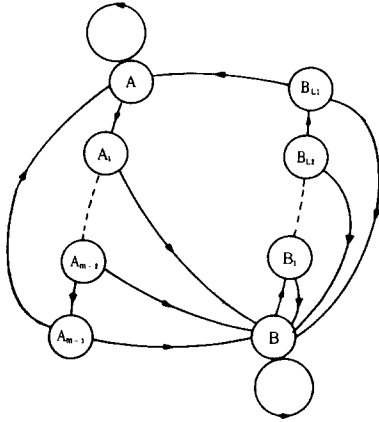


그림 3. 성능개선을 위한 프레임 동기시스템의 상태천이도
 Fig. 3. State transition diagram of the frame synchronization system for performance improvement.

III. 프레임 동기시스템의 성능 해석

기존의 프레임 동기 알고리즘 및 새로이 제시한 방안에 대한 프레임 동기 성능을 해석하기 전에, 광전송 시스템에 대해 다음과 같은 가정을 하였다.

- i) 비트 클럭은 완전히 재생한다.
- ii) 데이터는 완전히 무작위(random)이고, 0과 1이 나올 확률이 각각 1/2로 같다.
- iii) 채널은 binary symmetric channel이다.

1. 평균 동기상실 구간 : Th

동기 상태에서의 동기 성능을 나타내는 평균 동기상실 구간(Th)이란 선로 오류(line error) 발생에 의해 프레임 동기시스템이 동기 상태에서 비동기 상태로 천이되는 평균 시간을 말한다. Th 값을 크게하기 위해 오류 허용 기능이 설치되어 있으며 기존 방식에서의 오류 허용치는 2이다. 동기 상태에서는 부프레임 동기시스템 및 주프레임 동기시스템이 독립적으로 동작하며 각각에 대한 Th 값은 신호 흐름도를 이용하여 쉽게 구할 수 있다.⁽¹⁾

먼저 기존 방식에 대한 Th의 계산치를 구하기 위해 그림 4에 신호흐름도를 나타냈다.

그림 4로부터 A→E 사이의 전달함수 Qh(z)는 다음과 같다.

$$Qh(z) = (p^2z^2 + p^2qz^3 + p^2q^2z^4) / (1 - qz - pq^2z^4) \tag{1}$$

따라서 Th는⁽⁴⁾

$$Th = \frac{dQh(z)}{dz} \Big|_{z=1} = 1 / (3p)$$

이때 각각의 프레임 패턴 사이의 간격이 한 단위가 되므로 시간으로 환산하면, 부프레임 동기시스템에 대해서는 $(1/3p^2) \times 11 \times 142nsec$ 이며, 주프레임 동기시스템에 대해서는 $(1/3p^2) \times 11 \times 142 \times 20nsec$ 가 된다. 따라서 프레임 동기시스템의 평균 동기상실 구간은, 부프레임 동기시스템에 대한 Th 값으로 나타낼 수 있으며 $p=10^{-6}$ 일 때의 값은 144.9시간이 된다.

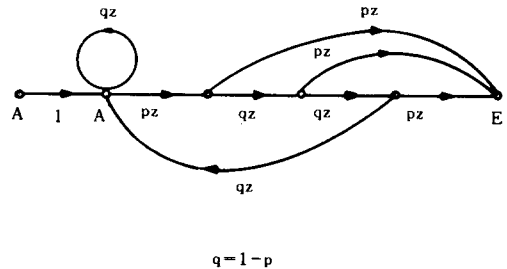


그림 4. Th계산을 위한 신호흐름도
 Fig. 4. Signal flow graph for the calculation of Th.

성능 개선을 위해 제시한 매개 변수 m의 변화에 대한 일반식은 위와 같은 방식으로 유도할 수 있으며 다음과 같이 된다.

$$Qh(z) = (p^2z^2 + p^2qz^3 + \dots + p^2q^{m-2}z^m) / (1 - qz - pq^{m-1}z^m)$$

따라서

$$Th = Qh'(1) = 1 / (m-1)p^2$$

로 되고 이 식은 $p < 10^{-3}$ $m \leq 16$ 일 때 거의 정확하며, 그 결과값을 그림 5에 도시하였다.

2. 평균 비동기 검출시간 : Td

평균 비동기 검출시간이란, 프레임 동기시스템이 실제의 프레임 패턴이 아닌 무작위 패턴에 의해 동기 상태로 동작할 때 이를 감지하여 동기 상태에서 벗어 나는데 걸리는 평균시간을 나타낸다.

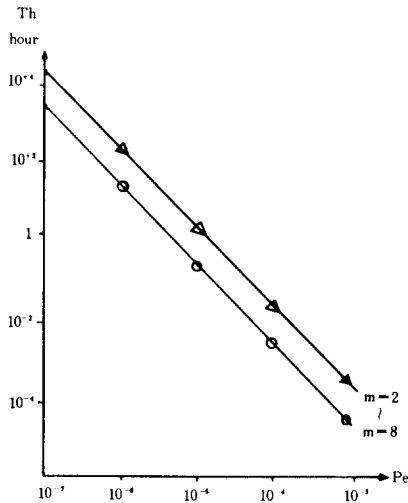


그림 5. 매개변수 m에 대한 Th 값
Fig. 5. Th values for characteristic parameter m.

기존방식에 대한 Td의 계산값은 식 (1)을 그대로 이용하여 단지 $p=1/2$, $q=1/2$ 로 대입하면 된다.

$$Td = \frac{dQ_d(z)}{dz} \Big|_{z=1} = 30/7 = 4.3$$

이때도 각각의 프레임 패턴 사이의 간격이 한 단위가 되므로 시간으로 환산하면 부프레임 동기시스템에 대해서는 $4.3 \times 11 \times 142 \text{nsec} = 6.7 \mu\text{sec}$ 가 되며, 주프레임 동기시스템에 대해서는 $4.3 \times 11 \times 142 \times 20 \text{nsec} = 134 \mu\text{sec}$ 가 된다.

성능개선을 위해 제시한 매개변수 m의 변화에 대한 Td의 계산값은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$Q_d(z) = \frac{\{(1/2)^2 z^2 + (1/2)^3 z^3 + \dots + (1/2)^m z^m\}}{(1 - (1/2)z - (1/2)^m z^m)}$$

$$Td = 2(2^m - 1) / (2^{m-1} - 1) \quad (2)$$

식 (2)으로부터 $\lim_{m \rightarrow \infty} Td = 4$ 임을 알 수 있으며 $3 \leq m \leq 16$ 까지의 결과값을 그림 6에 나타냈다.

3. 최대 평균 동기회복 시간: Tr

프레임 동기시스템이 비동기 상태에서 올바른 프레임 패턴 검출에 의해 동기 상태로 천이하는데 걸리는 평균 시간을 평균 동기회복 시간이라 하며, 부프레임 동기회복 시간과 주프레임 동기회복 시간의 합으로 표현된다.

먼저 기존방식에서의 부프레임 동기과정에 대해 알아보면 다음과 같다. 동기회복 동작은 bit by bit shifting에 의해 수행되며, 그 과정은 그림 7의 상태천이도

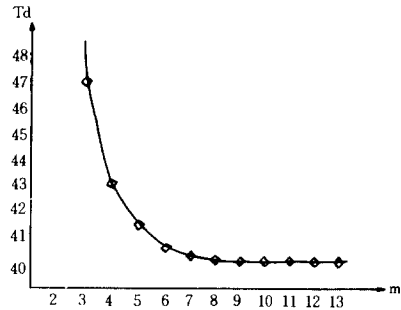
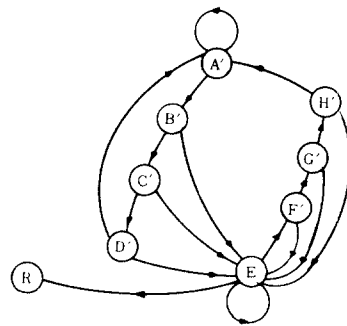


그림 6. m의 변화에 대한 Td 값
Fig. 6. Td values for several values of m.



여기서 A, B, C, D, F, G, H는 환상상태
R은 동기회복상태

그림 7. 동기찾음과정에서의 상태천이도
Fig. 7. State transition diagram for synchronization search process.

로 나타낼 수 있다. 즉 동기시스템이 E상태에 있을 때 약속된 위치에서 비트를 검출하여 올바른 패턴이라 판단되면 F상태로 천이하며 이때는 shifting 동작이 안 일어난다. 반면 올바르지 않은 패턴일 시는 E상태 그대로 머무르면서 bit shifting 동작을 수행한다. 이러한 관계가 그림 8의 신호흐름도에 잘 나타나 있다. 여기서 $f_{i,0}$ 는 E상태를 나타내고 있다. 즉 i가 증가하는 방향으로의 흐름이 동기시스템의 shifting 동작을 나타내며 반면 이 흐름에 수직인 흐름은 환상상태(phantom state)로 들어감을 나타낸다.¹⁵⁾

동기회복 시간의 최대 평균값을 구하기 위해서는 동기시스템이 프레임 비트의 바로 다음의 위치에서부터 동기찾음을 시작한다고 가정하면 되며 이는 그림 8의 $f_{1,0}$ 에 해당된다.^{14,15)} 여기서 시간 단위를 비트 시간 간격으로 하였으며 그림 8의 신호흐름도에서 $f_{1,0} \rightarrow f_{L,0}$ 사이의 전달함수 $Q_r(z)$ 는 다음과 같이 된다.

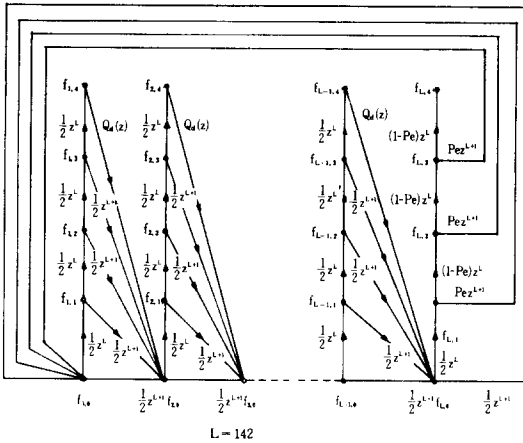


그림 8. Tr 계산을 위한 신호흐름도
Fig. 8. Signal flow graph for the calculation of Tr.

$$Q_r(z) = (1/2) (1-Pe)^3 z^{4L} Q_s^{L-1}(z) / [1 - \{(1/2)z^{L+1} + (1/2)Pe z^{2L+1} + (1/2)Pe(1-Pe)z^{3L+1} + (1/2)(1-Pe)^2 Pe z^{4L+1}\} Q_s^{L-1}(z)]$$

여기서

$$Q_s(z) = (1/2)z^{L+1} + (1/2)z^{2L+1} + (1/2)z^{3L+1} + (1/2)z^{4L+1} + (1/2)z^{4L} Q_d(z)$$

따라서 Tr은

$$\begin{aligned} Tr &= \frac{dQ_r(z)}{dz} \Big|_{z=1} - 4L \\ &= (30/16)L^2 - (49/16)L + \{(L-1)Qd'(1) - 15\} / \\ &\quad 16 + 1 + (L-1) \{ (30/16)L + Qd'(1) / 16 + 15/16 \} \\ &\quad + 2L(1 + 9Pe - 11Pe^2 + 4Pe^3) / (1-Pe)^3 - 4L \end{aligned}$$

위 식으로부터 Tr은 선로오류에 거의 무관함을 알 수 있으며, Pe=0일때 부프레임 동기시스템에 대한 Tr 값은 950usec이다. 주프레임 동기시스템에 대한 Tr 값도 같은 전개에 의해 유도할 수 있으며 그 때의 값은 1,330usec이다. 따라서 기존 방식에서의 최대 평균 동기회복 시간은 2.28msec가 된다.

다음으로 성능 개선 방안에 대해 생각하기로 한다. 부프레임 동기 성능 개선을 위해서는 II장에서 제시한 매개변수 ℓ 을 포함하는 일반식을 유도해야 한다. 식 유도과정에서 $L=L+1$ 로 가정하고 부프레임 패턴 사이의 간격을 한 단위로 하여 식을 간단하게 표현하였다. 이와 같은 가정에 대한 결과치의 오차는 무시할 만큼 작다. 앞에서 전개한 방식으로 매개변수 ℓ 을 포함하는 일반식을 구하면 다음과 같다.

$$Q_r(z) = \begin{cases} (1/2)zQ_s^{L-1}(z) / \{1 - (1/2)Q_s^{L-1}(z)\} & \ell=1 \\ (1/2)(1-Pe)^{\ell-1}z^{\ell}Q_s^{L-1}(z) / [1 - \{(1/2)z + (1/2)Pe z^2 + (1/2)Pe(1-Pe)z^3 + \dots + (1/2)Pe(1-Pe)^{\ell-1}z^{\ell}\} Q_s^{L-1}(z)] & \ell>2 \end{cases}$$

여기서

$$Q_s(z) = (1/2)z + (1/2)z^2 + \dots + (1/2)z^{\ell} + (1/2)z^{\ell} Q_d(z)$$

따라서 $Tr=Q_r(1)-\ell$ 로부터, $pe < 10^{-3}$; $\ell \leq 16$ 인 경우 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$Tr = \begin{cases} 2L-1 + (L-1)Qd'(1) & \ell=1 \\ \{2(L-1)Qs'(1) + 1\} / (1-Pe)^{\ell-1} & \ell>2 \end{cases} \quad (3)$$

여기서

$$Q_s'(1) = 2 - (1/2)^{\ell-1} + (1/2)Qd'(1)$$

위 결과식 (3)에서 보듯이 보다 작은 Tr 값을 얻기 위해서는, ℓ 을 크게 하고 $Qd'(1)$ 을 작게 해야 한다. 시간상으로 환산하면 $Tr \times 11.2 \times 142nsec$ 가 된다.

주프레임의 동기 과정에서 부프레임 패턴의 정보를 이용하는 경우, 매개변수 ℓ 을 포함하는 일반식의 유도 과정을 생략하고 결과만 나타내면, 주프레임 동기과정에서의 Tr은 식(4)와 같이 되며 시간상으로 환산하면 $Tr \times 11.2 \times 142 \times 4nsec$ 가 된다.

$$Tr = 4 \times \{11 - 11/2^{\ell} + Qd'(1)/2^{\ell}\} \quad (4)$$

여기서 $Qd'(1) \geq 20$

4. 검토

기존방식에 대한 성능 해석의 결과, 평균 동기상실 구간은 선로 오류 확률이 10^{-6} 일때 144.9시간이며, 최대 평균 동기회복 시간은 2.28msec이다. 또 평균 비동기 검출시간은 부프레임 동기시스템에 대해서는 6.7 usec, 주프레임 동기시스템에 대해서는 134usec이다.

최대 평균 동기회복 시간은 식(3), (4)에서 알 수 있듯이 매개변수 ℓ 의 값을 크게 하면 작아진다. 하나의 16진 계수기를 이용하는 경우로 한정하면 매개변수 ℓ 의 값은 15로 결정할 수 있다. 이 경우 최대 평균 동기회복 시간은 부프레임 동기시스템에서 900usec, 주프레임 동기시스템에서 280usec가 되므로 전체 1.18 msec가 된다.

평균 동기상실 구간 및 평균 비동기 검출시간은 매개변수 m 에 영향을 받으며 m 이 작을수록 평균 동기상실 구간은 커지지만 동시에 평균 비동기 검출시간도 커진다. 그런데 매개변수 $\ell=15$ 인 경우, 평균 비동기 검출시간은 동기회복 시간에 거의 영향을 주지 못한다. 따라서 매개변수 m 의 값을 3으로 설정하면 선로 오류

확률이 10^{-6} 일때 평균 동기상실 구간은 225시간이 된다

요약하면 동기 성능 개선을 위한 알고리즘은 다음과 같다. 프레임 동기시스템이 동기상태에 있을 시는, 주 프레임 동기시스템 및 부프레임 동기시스템이 각각, 3개의 연속되는 프레임 패턴 중 2개의 패턴이 다르면 비동기 상태로 천이되게 한다. 또한 프레임 동기시스템이 비동기 상태에 있을 시는 주프레임 동기시스템 및 부프레임 동기시스템이 각각, 15개의 연속되는 패턴이 프레임 패턴과 같을 때 동기 상태로 천이하도록 하며, 특히 주프레임의 동기 과정에서 하나의 부프레임 마다 한번씩 첫번째 오버헤드 비트를 검출하도록 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 90Mb/s 광전송시스템의 프레임 동기 성능을 해석하고 프레임 동기 성능이 개선되도록 새로운 알고리즘을 제시하였다. 제시된 알고리즘에 의해 결정되는 프레임 동기 성능은 기존의 방식에 비해 평균 동기상실 구간 및 최대 평균 동기회복 시간이 개선됨을 알 수 있었다. 성능 해석과정에서 간단한 하드웨어의 실현을 위해 여러 허용치를 2로 고정하였으나 일반적인 경우에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

參 考 文 獻

- [1] R.A. Scholtz, "Frame Synchronization Techniques", *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-28, no. 8, pp. 1204-1213, August 1980.
- [2] Shoji Kondo, "PCM Multiplex Frame Structure and Higher Order Hierachy Planning", *Review of the E.C.L.*, vol. 24, no. 9-10, pp. 833-841, Sep.-Oct. 1976.
- [3] 원용협, "표준화 90Mb/s 광통신 시스템의 다중화 기능", *ETRI Tech. memo.*, TM-85-1410-7, 1985 12.
- [4] R.W. Slitter, "Systems Analysis of Discrete Markov Processes", *IRE Trans. on Circuit Theory*, vol. CT-3, pp. 257-266, Dec. 1956.
- [5] Denis T.R. Munhoz, et al, "On Frame Synchronization of PCM System", *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-28, no. 8, pp. 1213-1218, August 1980.
- [6] Rikio Maruta, "A Simple Firmware Realization of PCM Framing Systems", *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-28, no. 8, pp. 1228-1233, August 1980.
- [7] CCITT, "CCITT Recommendation G. 743, G 752", 1985.