

Hybrid-PON을 위한 파장통합 전송방식

정희원 김진희*, 정기태*, 종신회원 정해**

Wavelength Integration Transmission Method for Hybrid-PON

Jin-Hee Kim*, Ki-Tae Cheong* *Regular Members*, Hae Chung** *Lifelong Member*

요약

FTTH는 IPTV와 같은 광대역서비스를 제공하기 위한 최적의 가입자망 기술이고, WDM-PON은 FTTH를 구현하는 좋은 대안 중의 하나이다. W-PON은 국내에서 처음으로 상용화되었지만 가격이 다소 고가라는 점이 확대 적용에 걸림돌로 작용하고 있다. 본 논문에서는 W-PON의 활용성을 높이고 또한 가격에 대한 부담을 줄일 수 있는 파장 통합 방식을 제안한다. 이것은 W-PON 시스템이 하나의 파장에서 제공하는 전송속도보다 더 큰 전송속도를 가진 신호를 수용하고자 할 때, 여러 개의 물리적인 채널을 하나의 논리적 채널로 만드는 방식이다. 따라서 이 시스템은 어떠한 전송률을 가진 신호도 수용할 수 있게 된다. 이를 위해 방식의 프레임구조, 동기 및 클럭 복구방법을 제안하고, 그리고 실제로 이더넷과 G-PON 적용하는 예를 소개한다.

Key Words : PON, WDM-PON, Wavelength Integration, UBcN, FTTH

ABSTRACT

The FTTH is known as an optimal solution to provide broadband services like IPTV and the W-PON is a good alternative to implement the FTTH. It is firstly commercialized in Korea but not widely deployed because of its high price. In this paper, we suggest a wavelength integration method to drop the price and enhance the utilization of the W-PON. The method makes one logical channel with multiple wavelengths when the W-PON system has to accommodate a signal of which transmission rate is greater than the rate of a single wavelength. Accordingly, the system can accommodate any signal rate. We introduce a frame structure, suggest synchronization and clock recovery methods, and finally show actual applications for the Ethernet and the G-PON.

I. 서론

FTTH (Fiber to the Home)는 TPS (Triple Play Service)를 제공하기 위한 필수적인 가입자 전송기술이다. TPS 가운데에서도 IPTV (Internet Protocol Television)는 킬러 애플리케이션에 해당하며 이와 같은 고화질 광대역 서비스를 원활하게 제공하기 위해 FTTH는 필수불가결한 대안으로 자리매김 하고 있다.

FTTH를 제공하기 위한 방식으로 크게 AON

(Active Optical Network) 방식과 PON (Passive Optical Network) 방식이 있으며, 망 사업자들은 유지보수 비용이 저렴하고 별도의 파장을 할당하여 디지털 TV 신호도 전달할 수 있는 후자의 방식을 선호하고 있다. PON은 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식과 WDMA (Wavelength Division Multiple Access) 방식으로 나누어진다. 현재 TDMA PON은 E-PON (Ethernet PON)과 G-PON (Gigabit capable PON) 중심으로 확대 공급되고 있다^{[1]-[4]}.

* KT네트워크연구소 ** 금오공과대학교 전자통신과 통신망연구실 (hchung@kumoh.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-04-157, 접수일자 : 2009년 4월 12일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 23일

W-PON (WDMA PON)은 각 가입자들이 서로 다른 파장을 이용하여 통신하게 하므로 복잡한 제어 프로토콜이 필요 없이 주어진 대역폭을 100% 가용할 수 있는 것이 장점이나, 가격이 다소 고가인 것이 단점이다. 따라서 파장 당 전송률이 1 Gbps의 W-PON의 경우에는 파장을 개별 태내 가입자에게 제공하기 보다는 FTTB (Fiber to the Building)로 사용하거나 하나의 파장을 중단한 다음 다수의 가정에 UTP (Unshielded Twisted Pair)를 사용하는 것이 유리하다. 특히 하나의 파장에 TDMA 방식의 PON을 수용하는 혼합방식 (Hybrid PON)을 제공할 수 있는 특징이 있어서 대용량 및 대규모의 가입자를 수용하는데 특별한 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 W-PON의 활용도를 최대화하기 위한 목적으로 어떤 사용자에게 어떤 전송률이라도 (Any user any rate) 제공할 수 있는 방안을 제안한다. 즉, W-PON에서 어떤 서비스를 수용하고자 할 때, 요구되는 전송률이 하나의 파장이 제공하는 대역폭을 초과하면 2개 이상의 파장을 묶어서 수용하도록 하는 것이다. 이와 같이 여러 개의 파장을 묶어서 논리적으로 하나의 전송링크로 사용하는 방법을 파장통합 또는 중첩 (Wavelength Integration or Wavelength Superposition) 전송기술이라 부르기로 한다.

논문의 구성은 II 절에서 기술배경을 논하고, III 절에서 프레임의 구조, IV 절에서 동기 및 클럭 복구방법을 제시하며, V 절에서 기술 적용 예를 다루고, 마지막으로 VI 절에서는 결론을 맺는다.

II. 기술적 배경

여러 개의 링크를 하나의 논리적인 채널로 사용하는 기술로 이더넷에서 사용하는 LACP (Link Aggregation Control Protocol)와 ATM 망에서 사용하는 IMA (Inverse Multiplexing for ATM)가 있다^{[5]-[6]}. 전자의 경우, 이더넷 프레임을 전송하는데 있어서 값비싼 하드웨어의 증설 없이 비교적 저렴한 가격으로 백본의 속도를 네트워크의 수요에 맞게 증가시킬 수 있는 방편으로 사용되고 있다. 그리고 후자의 경우, ATM 셀을 전송하는데 있어서 여러 개의 DS1/E1 링크를 이용하여 DS1/E1과 DS3/E3 레벨 중간의 전송률을 획득하는 방안을 제시한다.

이러한 기술을 적용하는 경우 하나의 논리적 링크에 두 개 이상의 물리적 링크가 있게 된다. 물리

적 링크를 효율적으로 사용하기 위해서 트래픽을 균형적으로 배분해야 하는데 이를 load balancing이라 한다.

IMA를 적용하는 경우 ATM 셀은 고정 길이를 갖고 있기 때문에 물리적 링크의 길이에 따른 지연을 보상해 줄 수 있는 정보만 갖는다면 순서 정렬에 큰 어려움이 없다. 그러나 이더넷의 경우 프레임의 길이가 가변적이기 때문에 별도의 순서 정보를 제공하지 않고 순서가 뒤 섞이는 것을 방지하는 것이 용이하지 않다. 그리고 부하를 균형적으로 분배하면서 동시에 순서가 섞이지 않도록 하기 위하여 하나의 conversation이라는 단위에 대해서는 동일한 물리적 링크를 통해서 전달될 수 있도록 하는 알고리즘을 사용한다^[5]. 이러한 기능을 분배기 (distributor)가 수행하며, 부하를 균형적으로 배분하기 위해서 분배기가 사용하는 정보는 단순하게는 발신지 MAC (Medium Access Control) 주소와 목적지 MAC 주소이다. 그러나 부하를 좀 더 효율적으로 배분하기 위해서는 IP 주소나 TCP 포트 주소와 같이 더 높은 계층의 정보를 이용할 수도 있다. 그러나 높은 계층의 정보를 이용할수록 복잡도가 증가하고 구현하는 비용이 증대하게 된다.

W-PON에서는 ATM과 같이 고정 길이의 셀 이외에도 가변적인 패킷도 수용하는 구조이므로 IMA에서 사용하는 방식으로 처리해서는 순서를 정렬해 줄 수가 없다. 그렇다고 해서, 이더넷에서 사용하는 LACP를 적용하기에는 너무 구현이 복잡하고 상위 계층에 독립적인 프로토콜을 설계할 수 없게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서 제시하는 방식은 기존의 방식에서 제공하던 셀이나 프레임 전송뿐만 아니라, STM 신호와 같은 디지털 계위에 해당하는 신호도 모두 수용하는 포괄적인 방식으로 기존의 방식과 구분하기 위하여 별도의 명칭으로 이를 WI (Wavelength Integration, 파장통합) 전송기술이라 부르기로 하자^[7].

그림 1은 WI 기술의 기본 개념을 보여준다. WI

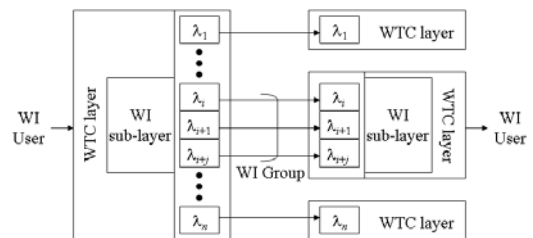


그림 1. WI 기술의 기본 개념

사용자는 W-PON의 한 개의 파장에서 제공하는 것보다 더 높은 전송률을 필요로 한다. 이를 수용하기 위하여 여러 개의 파장을 묶어서 하나의 WI 그룹을 형성하고 있다.

이 그림에서 λ_i 는 임의의 i 번째 파장으로 부 채널이라 한다. 그리고 WTC (W-PON Transmission Convergence) layer는 W-PON의 전송수렴계층을 의미한다.

WI 사용자의 신호를 부 채널에 매핑 하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. Link aggregation이나 IMA에서 사용하는 방식은 프레임 혹은 셀 분배/조합 (distribution/combination) 방식이라 할 수 있다. 본 논문에서는 W-PON 프레임 구조 8 KHz (125 μ s)의 기본 주기를 갖는 구조로써 순수한 패킷 기반의 전송에서 사용하는 방식을 사용하지 않고 바이트 분배/삽입 (sharing/interleaving) 방식을 사용한다. 비트 기반을 고려할 수 있으나 병렬처리의 최소단위가 바이트 단위임을 감안할 때 바이트 삽입 방식이 가장 구현이 적합하다고 할 수 있다.

파장중첩 전송기술을 활용하면 전송률에 관계없이 W-PON에서 다양한 형태의 신호를 수용할 수 있다. 첫째, 파장당 전송률이 TDMA-PON (G-PON 혹은 E-PON)에서 요구하는 전송률과 상이한 경우에도 용이하게 수용할 수 있다. 예를 들어, W-PON에서의 파장당 전송률이 850 Mbits/s이고 G-PON의 전송률이 2.5 Gbits/s일 때, 3 개의 파장을 중첩하여 G-PON을 수용한다. 둘째, STS-1 (51.84 Mbits/s)로 시작하여 STM- n 에 이르는 다양한 디지털 계위에 해당하는 신호도 여러 개의 파장을 중첩하여 전송할 수 있다. 셋째, 이더넷과 같이 10, 100, 1,000, 10,000 Mbits/s에 이르기까지 W-PON과 전송률이 불일치하는 경우에도 각 파장에서 제공하는 전송률의 합이 수용할 신호의 전송률 이상이면 모두 수용할 수 있다. 특히, W-PON에서 새로운 전송률을 가진 TDMA-PON이 등장할 때마다 이를 수용하기 위하여 파장당 전송률을 맞추어 개발하는 것은 비효율적 일뿐만 아니라 시장진입을 더디게 하므로, 파장통합 기술이 절실히 요구된다고 하겠다.

III. 파장통합 전송기술

3.1 프레임 구조

회선교환망에서 사용하는 다중화 방식은 음성신호를 디지털화하는 과정에서 발전해온 관계로 PDH

(Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy)는 물론이고 ITU-T 계열의 PON의 프레임 구조도 모두 8 KHz 기본 주파수를 근간으로 프레임을 구성하고 있다. 송신단과 수신 단에서는 이를 바탕으로 클럭을 생성하고 복구하는 과정을 거치고 있다. 따라서 W-PON의 프레임도 125 μ s를 주기로 프레임을 구성하며 그림 2는 하나의 그룹이 K 개의 부 채널로 구성된 WI 프레임 구조를 보여준다.

각각의 부 채널의 구조는 동일하며 프레임의 헤더는 고정 길이를 가진다. 유효부하 (payload)의 길이는 전송률에 따라 그 길이를 달리하며 기본 단위는 바이트이다. 어떤 그룹은 단일 채널로 구성될 수도 있으며 ($K=1$), 두 개 이상의 채널로 구성될 수도 있다 ($K \geq 2$). 상위 계층의 전송률이나 프레임 구조를 수용하고도 남음이 있을 경우에 이를 완충하기 (rate decoupling) 위하여 패드 (pad) 필드가 존재한다.

그림에서 볼 수 있는 것처럼 K 개의 부 채널은 수신 단에 도착할 때 프레임이 정렬되어 있지 않다. 이는 각각의 부 채널을 통하여 전달되는 신호의 지연의 차이에 의해 발생한다. 이러한 요인은 각 채널이 경유하는 광케이블의 길이, 파장에 따른 전파속도의 차이 등에 의해 발생한다. 지연의 차이에 무관하게 원래의 신호를 복구하기 위해서는 수신 측에 먼저 도착한 프레임의 유효부하를 저장할 수 있는 버퍼가 필요하다. 또한 각 프레임에서 전달하는 바이트를 정확한 순서대로 조합하기 위해서 부 채널의 순서는 물론이고 프레임 번호도 필요하게 된다. 이러한 정보는 프레임 헤더를 통해 전달되며 이를 통하여 수신 측에서 부 채널과 프레임의 순서를 정렬하고 순차적으로 바이트를 끼워 넣기가 가능해진다. 그림 3은 특정한 하나의 채널에서 프레임 헤더 구조를 보여준다.

먼저 각 채널의 동기를 제공하기 위한 4 바이트

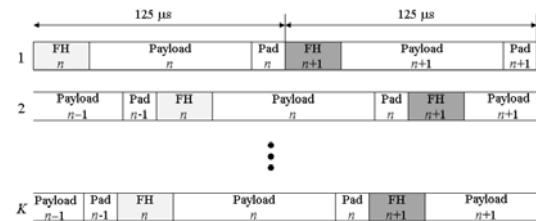


그림 2. WI 그룹의 프레임 구조

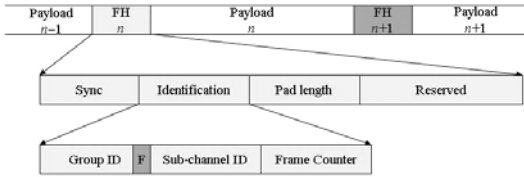


그림 3. 한 채널의 프레임 헤더 구조

길이의 Sync 필드가 있다. 이는 G-PON이나 B-PON과 마찬가지로 프레임의 시작을 지시하는 필드로서 특정한 패턴의 형태를 가진다^{[2],[3]}.

다음으로 Ident 필드가 나타나며, 이는 여러 가지 확인 기능을 제공한다. Group ID와 Sub-channel ID가 각각 1 바이트의 길이를 가지고 이어서 등장하는 프레임 카운터가 4 바이트의 길이를 가진다. 첫째, Group ID의 앞의 4 비트는 OLT (Optical Line Termination)와 ONU (Optical Network Unit) 사이에 여러 개의 그룹이 필요할 때 각각의 그룹을 확인하기 위한 용도이고, 마지막 4 비트는 해당 그룹이 보유하는 채널의 수에서 1을 뺀 값을 나타낸다. 즉, 마지막 4 비트를 해독한 값이 '0'이면 해당 그룹은 단 하나의 채널만 보유하고 있음을 의미한다. 이 경우, 이어서 등장하는 Sub-channel ID 값은 의미가 없게 된다. 그와 반대로 해독한 값이 '1' 이상의 값을 가지면 부 채널의 수는 2 개 이상임을 의미하고 이어서 등장하는 Sub-channel ID는 부 채널의 일련번호를 의미한다. 따라서 Group ID에서 명시하는 부 채널의 수만큼 채널이 발견되고 이들은 서로 다른 일련번호를 가져야 한다. 마지막으로 4 바이트의 길이를 가지며 프레임 카운터는 G-PON과 마찬가지로 사용자 데이터 암호화와 저속의 동기 기준신호를 제공하는데 사용될 수 있다. 이전 프레임에 비해 1씩 증가하며, 최대의 값에 도달하면 그 다음 프레임에서 0으로 된다.

패드 길이는 프레임 내에서 실제 유효한 유료부하를 제외한 나머지의 길이가 얼마인지 지시하며 2 바이트의 길이를 가지고 있다. 코딩된 값이 의미하는 것은 바이트 단위이며 최대 65,535 바이트까지 셀 수 있다.

3.2 프레임 구조

그룹 동기가 이루어지기 위해서는 먼저 각각의 부 채널의 동기가 이루어져야 한다. 모든 부 채널의 동기가 이루어진 이후에 그룹의 동기화가 이루어지는 과정을 그림 4에서 보여주고 있다.

부 채널의 동기과정은 G-PON과 동일한 절차에

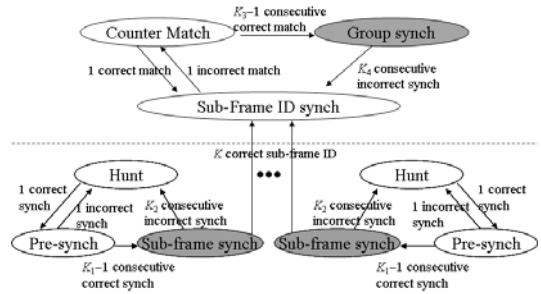


그림 4. 그룹 동기화 과정

의한다. 즉, 32 비트의 동기 필드 패턴은 프레임의 시작부분에 나타난다. 이 필드의 코딩 값은 0xB6AB31E0로서 혼화 대상에서 제외된다.

ONU는 먼저 추적상태 (hunt state)에서 출발한다. 처음으로 동기 패턴을 발견하면 일단 준동기상태 (Pre-sync state)에 도달하게 되며, 125 μs를 이후에 일치하는 동기 패턴이 발견되지 않으면 다시 추적상태가 된다. 반대로 총 M1 번의 연속적인 동기 패턴이 발견되면 동기 상태가 된다. 그러다가 동기 상태에서 M2번 연속으로 동기 패턴이 발견되지 않으면 다시 추적상태가 된다.

부 채널의 동기 상태가 이루어진 직후, Group ID 필드에 명시된 채널의 수가 2 이상임이 판명되면 그룹 추적상태 (Group hunt state)에 진입한다. 이후 명시된 부 채널의 수만큼 부 채널의 동기화가 완료되고, 각각의 Sub-channel ID가 서로 다른 연속된 값을 가진 것이 발견되면 이 상태를 부 채널들의 동기 상태 (Sub-channel sync state)라고 한다. 다음으로 각각의 부 채널들이 갖고 있는 프레임 카운터 값이 모두 일치하는 상태가 2회 이상 지속되면 카운터 일치상태 (Counter match state)라 하고 이 상태가 2회 연속 지속되면 그룹 동기상태 (group sync state)가 획득된 것으로 간주한다.

3.3 전송률과 클럭 복구

WI 기술을 통하여 송신부에서 어떤 신호를 바이트 단위로 해체하여 다수의 부 채널을 통하여 전송하고, 수신부에서 다시 부 채널의 유료부하로부터 원래의 신호로 조합하는 과정에서 반드시 고려해야 할 필요조건은 다음과 같다.

- 송신부: 수용하고자 하는 채널의 전송률로부터 부 채널의 클럭을 생성할 수 있어야 한다.
- 수신부: 수신된 부 채널의 클럭에서 전달된 신호의 원래 클럭을 복구할 수 있어야 한다.

- 상기의 두 조건을 만족하면서 동시에 전송효율을 높이기 위하여 패드의 길이를 최소화할 수 있어야 한다.

여기서는 상기 조건들을 만족하면서 이를 단순하게 구현할 수 있는 방안을 검토한다. 이를 위하여 WI 기술을 이용하여 다양한 전송률을 갖는 인터페이스를 수용할 때, 부 채널의 한 프레임에서 유료부하의 길이와 전송률을 계산한다. 먼저 다음과 같은 변수를 정의한다.

- R : W-PON의 WI가 수용하는 신호의 전송률
- L_t : 전송률 R 을 125 μ s 프레임에 수용할 때 환산한 바이트 수
- K : 해당 전송률을 수용하는데 필요한 파장 수
- L_s : 부 채널 각각이 125 μ s 프레임 당 수용해야 할 바이트 수
- L_H : 부 채널의 프레임 헤더 길이 (바이트)
- L_P : 부 채널의 패드의 길이 (바이트)

부가적으로 다음과 같이 정수 연산과 관련된 기호들을 정의한다.

- $[x]$: x 이상의 최소의 정수
- $\lceil x \rceil$: x 를 넘지 않는 최대의 정수
- $(x)_{\text{mod } n}$: x 를 n 으로 나눌 때 나머지 (n 은 정수)

한 프레임의 주기가 125 μ s인 채널에서 바이트 단위로 분배하고 다시 조합하기 위해서, 전송률을 프레임당 바이트 수로 환산하는 단위인 BpF (Bytes/Frame)를 사용하기로 한다. 전송률 R 인 신호를 K 개의 부 채널이 수용하기 위해서는 부 채널의 최소전송률, $R_s^B = R/(64000K)$ BpF가 되며, 이는 유리수로서 다음과 같이 서로소인 두 개의 정수 p 와 q 로 나타낼 수 있다.

$$R_s^B = \frac{R}{64000K} = \frac{q}{p} \text{ [BpF]} \quad (1)$$

이는 p 프레임 당 q 개의 바이트를 전송해야 함을 의미한다. 위의 값은 일반적으로 이 값은 소수로 표현되므로 바이트 단위로 처리하는 부 채널이 제공할 수 없는 값이 된다. 이를 정수 단위로 처리하도록 하기 위하여 오버헤더를 허용하는 방법도 도입할 수 있다. 즉, 임의의 전송률 R 을 125 μ s 단위의 프레임에서 바이트 단위로 처리하도록 하기 위해서 유효 전송률 R_s^E 를 다음과 같이 정의한다.

$$R_s^E = \frac{q}{p} \times \frac{n}{m} \text{ [BpF]} \quad (2)$$

여기서 m 과 n 역시 정수이자 서로소이다. 두 정수는 $m > n$ 이 성립하도록 결정하기 때문에 유효 전송률은 최소 전송률보다 크다. 그리고 m 과 n 은 전송률 R 을 갖는 원래의 신호가 사용하는 클럭에서 부 채널에서 필요로 하는 클럭을 유도할 때 필요한 값으로서 부채널의 전송률, R_s 에서 얻는다.

$$R_s = \frac{R}{K} \times \frac{n}{m} \text{ [bps]} \quad (3)$$

이 식은 원 신호에서 오는 클럭을 (Km) 배 분주하고 n 배 체배하면 부 채널에서 필요한 클럭을 유도할 수 있음을 의미한다. 따라서 (2)에서 유효 전송률이 정수가 되도록 m 과 n 을 결정하면 된다. 유효 전송률이 정수가 되기 위한 조건은 다음과 같다.

$$n = pk_1 \quad (4)$$

$$q = mk_2 \quad (5)$$

즉 n 은 p 의 배수이고, m 은 q 의 약수이면 (2)는 정수가 된다.

구체적으로 m 과 n 을 결정하기 위해서는 부 채널의 오버헤더 길이도 고려하여야 한다. 전송률 R 을 125 μ s 주기를 갖는 W-PON의 프레임에 수용하고자 할 때, 한 개의 부 채널에서 한 프레임 당 처리해야 할 바이트 수, L_s 를 정의하면

$$L_s = \left\lceil \frac{R}{64000K} \right\rceil \quad (6)$$

이 성립한다. 왜냐하면 소수점이 나오는 경우 처리해야 할 바이트 수는 그 값 이상이어야 하며, 대역폭을 절약하기 위해서는 최소의 정수를 선택해야 하기 때문이다. 이외에도 프레임의 동기화 확인을 위한 프레임의 오버헤더 L_H 가 추가된다. 따라서 m 과 n 을 결정할 때 다음 부등식도 만족해야 한다.

$$\frac{n}{m} \geq \frac{L_s + L_H}{L_s} \quad (7)$$

마지막으로 대역폭 낭비를 최소화하기 위하여 (패드의 길이를 최소화하기 위하여) (4), (5), (7)을

만족하는 m/n 의 비가 최소가 되게 결정하면 된다.

3.4 부계층에 필요한 구성요소와 버퍼길이 계산

지금까지 파장통합 전송기술을 설명하기 위하여 WI 부계층을 구현하는데 필요한 프레임의 구조와 클럭 복구 방법을 기술하였다. 여기서는 WI 부계층을 구현하기 위해서는 추가적으로 고려해야 할 사항을 검토해 보기로 한다.

송신측의 WI 부계층에는 전송신호가 유입되면 이를 바이트 단위로 분배하는 분배기와 부 채널의 수만큼 FIFO (First in First Out) 큐가 필요하다. 이때 큐 길이는 부 채널의 헤더가 삽입되는 동안 대기할 수 있는 길이면 충분하므로 수십 바이트 내의 (L_H 를 상회하는 값)가 될 것이다. 그리고 입력된 신호로부터 부채널의 클럭을 발생하기 위하여 Km 배 분주하기 위한 카운터와 n 체배기를 필요로 한다. 즉 FIFO에 바이트 단위로 저장된 원 신호의 내용을 $R_s/8$ 을 속도로 읽어다가 이를 다시 비트 단위의 직렬선로를 통해 하나의 파장에 매핑하는 과정이 요구된다.

수신측의 WI 부계층에서는 좀 더 긴 FIFO를 필요로 한다. W-PON의 경우, OLT가 보내는 신호는 AWG (Arrayed Waveguide Grating)까지는 동일한 거리를 전파해 오지만, 그 이후에는 광케이블이 분기되어 서로 다른 거리를 경유하게 된다. 그리고 동일한 광케이블 내에서도 미세하기는 하지만 파장에 따라 속도와 감쇠가 달라지는 경향을 보인다. 무엇보다도 AWG 이후에 수신 장치까지 광케이블의 거리가 다른 것이 가장 지배적인 요인이 될 것이다. 만약 하나의 그룹에서 K 개의 부채널 간의 최대 광케이블 편차를 Δ 라고 하고, 광케이블 내에서 빛의 속도를 c 라고 한다면 부채널 중에서 가장 빨리 도착하는 신호와 가장 느리게 도착하는 신호의 차이를 바이트 단위로 환산한 값은 $\Delta R_s/(8c)$ 가 된다.

동일한 수신장치로 가는 광케이블의 편차는 0.5 Km를 초과하지 않을 것이고, 부 채널의 전송률을 1 Gbps, $c=200000$ Km/s를 적용하면 312.5 바이트의 길이가 필요하다. 결국, 다른 요인을 고려한다면 하더라도 512 바이트 길이의 FIFO이면 충분한 길이가 될 것으로 판단된다.

IV. 응용방법

여기서는 실제 적용 예로서 100 M 전송률을 갖

는 이더넷과 1.2 G 전송률을 갖는 G-PON 전송신호에 파장중첩 기술을 적용해 보기로 한다.

W-PON의 프레임 오버헤드는 Sync, Identification, Pad length 필드 각각이 4, 6, 2 바이트로서 추후에 BIP나 Header CRC를 추가한다 할지라도 20 바이트 이하가 될 것으로 보인다. 물론 자체적으로 PLOAM 메시지가 들어갈 필드가 추가된다면 20 바이트를 초과할 가능성이 있지만, 여기서는 $L_H=20$ 이라 가정한다.

4.1 이더넷 신호

4B/5B 과정을 거치지 않은 신호로서 물리계층의 오버헤더가 없는 전송률 $R=100$ Mb/s 이더넷 신호를 3 개의 부 채널을 이용하여 ($K=3$) 투명하게 전달한다고 가정하자. (1) 식으로부터

$$R_s^B = \frac{R}{64000K} = \frac{a}{p} = \frac{5^5}{2 \times 3} \quad (8)$$

을 얻게 되므로, 부 채널의 유효 전송률은

$$R_s^E = \frac{5^5}{2 \times 3} \times \frac{n}{m} \quad (9)$$

이 되고 이것이 정수가 되기 위해서는 n 은 6의 배수가 되어야 하고 m 은 5⁵의 약수가 되어야 한다. 그리고 (6)에서 부 채널의 한 프레임에서 수용해야 할 바이트 수는 $L_s=521$ 이 된다. 전송한 바와 같이 $L_H=20$ 으로 가정하면,

$$\frac{n}{m} = \frac{6k_1}{m} \geq \frac{521+20}{521} \quad (10)$$

을 만족해야 한다. 오버헤더를 작게 하기 위해서는 m 의 값을 크게 선택하고 n 과의 차이가 작게 결정하는 것이 타당하다. 만약 $m=5^5=3125$ 로 선택하면, (10)을 만족하기 위해서 k_1 은 541 이상의 정수이면 된다. 그러므로 모든 조건을 만족하면서 최소의 오버헤더를 갖는 값으로 $m=3125$, $n=6 \times 541=3246$ 을 결정할 수 있다. 만약 이 결정된 값들이 분주율 혹은 체배율로 적당하지 않다면, 좀 더 단순한 값으로 변경할 수도 있다. 즉, k_1 을 541보다 큰 정수로 하되 m 과 가급적 많은 공통인수를 갖게 결정할 수 있다. 예를 들어 $k_1=550$ 으로 놓으면 $n=3300$ 이 되

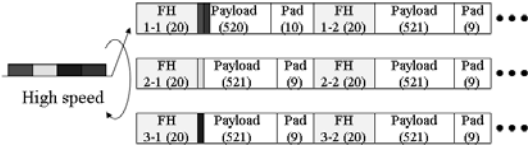


그림 5. K=3일 때 100 M 이더넷을 수용하는 부 채널 구조

로 $n/m = 132/125$ 의 값이 된다. 이는 일반적인 FPGA에서 충분히 구현할 수 있는 값이다.

마지막으로 이와 같은 값을 얻었을 때, 프레임과 클럭의 생성 및 복구과정을 검토해 보기로 하자. 이미 얻어진 값들을 활용하면 부 채널의 유효 전송률을 bits/s 단위로 얻어 보면, (3)에서

$$R_s = \frac{R}{K} \times \frac{n}{m} = 35.2 \text{ [Mbit/s]} \quad (11)$$

이다. 극단적인 예이기는 하지만 파장중첩 기술을 이용하여 100 M 신호를 투명하게 전달하기 위해서는 35.2 Mbits/s의 전송률을 갖는 3 개의 부 채널이 필요함을 의미한다. 이 전송률에 의거하면 부 채널이 프레임당 550 바이트의 길이를 갖는다. (8)을 참조하면 원래 6 프레임 당 3125 바이트를 수용해야 하므로, 실제로는 첫 번째 부 채널의 홀수 번째 프레임과 짝수 번째 프레임은 각각 520과 521 바이트의 길이를 수용하고, 나머지 두 개의 부 채널의 모든 프레임은 521 바이트의 길이를 수용한다. 따라서 첫 번째 부 채널의 홀수 번째 프레임은 $L_H=20$, 유효부하의 길이가 520, 그리고 패드의 길이가 10 바이트로 고정된다. 그 외 나머지 모든 프레임은 $L_H=20$, 유효부하의 길이가 521, 그리고 패드의 길이가 9 바이트로 고정된다. 이와 같은 부 채널의 구조를 그림 5에 나타내었다. 채널의 효율은 전체 바이트 수에서 의미 있는 유효부하의 점유 비율로 정의할 때, $520/(20+520+10) = 0.95$ 이다.

수신부에서는 부 채널의 비트 스트림으로부터 CDR (Clock Data Recovery) 과정을 통해 32.2 MHz의 클럭을 복구할 것이다. 송신부와 반대로 이 클럭을 $n=132$ 분주하고 $Km=3 \times 125$ 체배하면 원래의 100 MHz의 이더넷 클럭을 복구하게 된다.

4.2 가변 등화왕복지연 가변 사이클 타임

G-PON에서 지원하는 전송률은 비대칭 전송을 허용하며 표1과 같이 요약될 수 있다²⁾.

W-PON에서 제공하는 단일 파장이 제공하는 전송률은 상호 운용성을 고려하여 이와 동일하게

표 1. G-PON이 지원하는 전송률

Downstream	Upstream
1.24416 Gbits/s	0.15552 Gbits/s 0.62208 Gbits/s 1.24416 Gbits/s
2.48832 Gbits/s	0.15552 Gbits/s 0.62208 Gbits/s 1.24416 Gbits/s 2.48832 Gbits/s

0.15552, 0.62208, 1.24416, 2.48832 Gbits/s로 정의하는 것이 적합하다. 그러나 앞서 예시한 바와 같이 WI 기술을 적용하고자 할 때에는 프레임이 가지고 있는 오버헤더가 있기 때문에, 그로 인하여 전송률이 약간 증가하게 된다.

이번에는 1.24416 Gbits/s의 G-PON 신호를 W-PON에서 2 개의 파장을 이용하여 전달하는 경우의 예를 들고자 한다. 이전의 결과 동일한 과정을 따라가면, (1) 식으로부터

$$R_s^B = \frac{R}{64000K} = \frac{a}{b} = \frac{9720}{1} = \frac{2^3 \times 3^5 \times 5}{1} \quad (12)$$

을 얻게 되고 정확히 정수로 떨어지는 값이다. 부 채널의 유효 전송률은

$$R_s^E = \frac{2^3 \times 3^5 \times 5}{1} \times \frac{n}{m} \quad (13)$$

이 되고 이것이 정수가 되기 위해서는 n 은 어떠한 값이어도 상관없이 다만 m 이 $2^3 \times 3^5 \times 5$ 의 약수이면 된다. 그리고 (6)에서 부 채널의 한 프레임에서 수용해야 할 바이트 수는 $L_s=9720$ 이 된다. $L_H=20$ 이면,

$$\frac{n}{m} \geq \frac{9720+20}{9720} = \frac{487}{486} \quad (14)$$

을 만족해야 한다. 따라서 오버헤더를 최소화하기 위한 $(m, n) = (487, 486)$ 으로 결정할 수 있다. 이 경우에 프레임 헤더 이외의 오버헤더는 없기 때문에 패드의 길이는 0이다.

만약 분주 및 체배율을 좀 더 간단한 값으로 변경하고자 한다면, n 을 9,440 보다 크고 9,720과 공통인수를 많이 가지는 정수로 결정하면 된다. 이를테면, $n=10,368$ 으로 선택하면 $n/m = 16/15$ 이 된다.

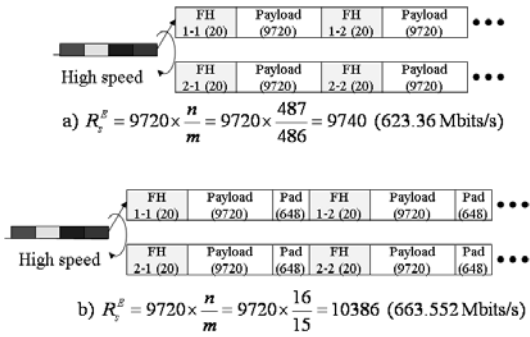


그림 6. K=2일 때 1.24416 Gbits/s의 G-PON을 수용하는 부 채널 구조

이와 같이 얻어진 값들을 통해 (3)에서 부 채널의 전송률은

$$R_s = \frac{R}{K} \times \frac{n}{m} = 663.552 \text{ [Mbits/s]} \quad (15)$$

이다. 그러므로 파장중첩 기술을 이용하여 1.2 G급 G-PON 신호를 투명하게 전달하기 위해서는 663.552 Mbits/s의 전송률을 갖는 2 개의 부 채널이 필요하게 된다. 이 전송률에 의거하면 두 개의 부 채널이 각각 프레임당 10,368 바이트의 길이를 갖는다. 원래의 신호를 기준으로 프레임 당 9720 바이트를 수용해야 하므로, 부 채널의 프레임은 $L_H = 20$, 유효 부하의 길이는 9720, 그리고 패드의 길이는 628 바이트가 된다. 이로써 약 6.7 %의 오버헤드가 발생하게 된다. 만약 오버헤드를 줄이고자 한다면, m 과 n 의 값을 조절하면 된다. 그림 6에서는 패드가 각각 0 바이트인 경우와 628 바이트 인 경우를 모두 보여주고 있다.

위의 두 그림을 비교할 때 a)의 경우에는 채널 효율이 $9720 / (20 + 9720) = 0.998$ 로 매우 높으나 분주기와 체배기가 복잡하며, b)의 경우는 채널 효율이 $9720 / (20 + 9720 + 648) = 0.94$ 로 약간 낮아지지만 분주기와 체배기가 훨씬 간단해 진다.

수신부에서는 부 채널의 비트 스트림으로부터 CDR 과정을 통해 663.552 MHz의 클럭을 복구하게 되며. 송신부와 반대로 이 클럭을 $n = 16$ 분주하고 $Km=2 \times 15$ 체배하면 원래의 1.24416 GHz의 G-PON 클럭을 복구할 수 있다.

V. 결 론

초기의 W-PON은 기본적으로 파장당 100 Mbits/s

의 전송률을 제공하고 있으며, 별도의 추가적인 비용을 들이지 않고 300 내지 400 Mbits/s 정도의 속도를 제공할 수 있는 것으로 알려져 있다. 현재는 파장당 1 Gbits/s의 전송이 상용화되어 있으나. 이 정도 규모의 속도는 맥내에서 사용할 속도를 훨씬 상회하고 있기 때문에 한 개의 파장에 TDMA-PON을 수용하여 Hybrid-PON으로 구성하거나 고속의 신호를 전달하는데 사용하는 것이 더 효율적이다.

이와 같이 적용하려고 할 때 W-PON의 한 개의 파장이 제공하는 전송률과 수용하고자 하는 신호의 전송률의 불일치로 인해 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 파장통합 기술을 제안하였다. 즉, 고속의 신호를 수용하기 위하여 다수의 파장에 신호를 바이트 끼워넣기 (interleaving)를 수행한다. 동기를 위한 프레임 구조와 그룹동기를 위한 기술과 송수신부에서 클럭 복구기술을 제시하였다. 그리고 이더넷과 G-PON에서 이 기술을 실제 적용하는 사례를 보여 주었다.

현재 TDM-PON은 10 기가급 제품의 출시를 앞두고 있다⁴⁾. 그러나 W-PON의 파장당 속도는 아직 1 기가에 머무르고 있기 때문에 본 논문에서 제시한 기술은 10 기가급의 TDM-PON을 수용하는데 적용될 수 있을 것이다.

여기서 제시한 파장통합기술은 여러 개의 물리적 채널로 하나의 논리적 채널을 구성하기 때문에 하나의 부 채널에 장애가 발생하면 전체가 동작하지 않게 된다. 이를 해결하기 위하여 물리적 채널 하나를 여분으로 두고 부 채널에 장애가 발생하면 절체하는 방안을 고려할 수 있다. 이는 추후 연구과제로 남겨 두기로 한다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.3ah, "Media Access Control Parameters, Physical Layers and Management Parameters for subscriber access network," 2003.
- [2] ITU-T Recommendation G.984.3, "Giga-bit capable Passive Optical Networks (PON) Transmission Convergence Layer Specification," 2004. 2.
- [3] ITU-T Recommendation G.983.1, "Broadband Optical Access System Based on PON," Oct. 1998.
- [4] IEEE Standard 802.3av Draft 1.2, "10 Gbps

Ethernet Passive Optical Network,” 28 March 2008.

- [5] IEEE Standard 802.3ad, “Amendment to CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications-Link Aggregation of Multiple Link Segments,” 2000.
- [6] ATM Forum Technical Committee AF-PHY-0086.001, “Inverse Multiplexing for ATM (IMA) Specification Version 1.1,” March, 1999.
- [7] 대한민국특허 0865989, “W-PON 파장중첩 전송수렴장치 및 그 파장중첩전송수렴방법,” 등록, 2008.10.23.

정 해 (Hae Chung)

종신회원



1987년 2월 한양대학교 전자통신공학과(학사)
 1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)
 1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사)
 1995년~1998년 LG정보통신 선

임연구원

1998년 8월~현재 금오공대 전자공학부 정교수
 2004년 1월~2005년 1월 University of Texas at Dallas 방문교수

<관심분야> FTTH, UBcN, PON, PAN

김 진 희 (Jin-hee Kim)

정회원



1987년2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1991년 2월 경북대학교 전자공학과(공학 석사)
 2002년 2월 경북대학교 전자공학과(박사 수료)
 1991년 3월~현재 (주) 케이티

네트워크연구소 부장(수석연구원)

<관심 분야> FTTH, 유무선 통합, 기가인터넷

정 기 태 (Ki-Tae Cheong)

정회원



1985년 2월 경북대학교 전자공학과(석사)
 1996년 일본 동북대 전자공학과(박사)
 1986년 2월~현재 KT 네트워크연구소 상무보

<관심분야> FTTH, 기가인터넷,

Flow 기반 Traffic handling issue, IP Network 보안등