

論文2002-39TE-4-10

DMT 변조방식을 사용하는 ADSL에서의 최적 비트 할당 방식 연구

(A Study on Optimal Bit Loading Algorithms for Discrete MultiTone ADSL)

李 澈 雨 * , 朴 光 哲 ** , 尹 基 邦 *** , 張 壽 泳 * , 金 基 斗 **

(Cheol-Woo Lee, Gwang-Chul Park, Ki-Bang Yun, Soo-Young Chang, and Ki-Doo Kim)

요 약

기존의 전화망(PSTN)을 이용하여 고속 데이터 통신을 가능하게 하는 ADSL은 여러 종류의 변복조 방식을 갖고 있다. 이 중 대표적으로 CAP(Carrierless Amplitude Phase)와 DMT(Discrete MultiTone) 방식이 사용되며, 특히 성능이 더 우수한 DMT 방식이 복잡하다는 단점에도 불구하고 점차 우세해지고 있는 상황이다. DMT 변조 방식은 전송채널을 좁은 대역을 갖는 256개의 부채널로 분할함으로써 거리에 따른 감쇄와 잡음에 대한 적응력을 높인 변조 방식이다. 이 경우 각각의 부채널에 신호대 잡음비(SNR : Signal-to-Noise Ratio)에 따라 비트수를 할당하는 방식이 비트 오류율(BER : Bit Error Rate)과 데이터 속도를 결정하는 주요한 요인이 된다. 그러므로 전체 에너지와 전체 목표 비트수 그리고 BER의 임계값을 어떻게 설정하느냐에 따라 다양한 할당 방식이 제안될 수 있다. 그런데 기존에 발표된 비트 할당 방식은 대부분 정렬과정을 실행하도록 하고 있어 처리속도가 지연되는 단점이 있다. 본 논문에서는 수식과정의 반복을 줄이고 정렬과정을 생략한 새로운 비트 할당 방식을 제안하였다. 할당표(Look-Up Table)를 사용하고 전체 목표 비트수에 도달하기 위해 추가 할당되는 비트수를 단일 수식으로 적용함으로써 처리 속도를 크게 개선하였다. 새로 제안된 방식과 기존 방식을 비교함으로써 다양한 적용 환경에 따른 최적의 비트 할당 방식이 가능하다는 것을 시뮬레이션 결과를 통하여 제시하였다.

Abstract

In the conventional public switched telephone network(PSTN), there are various types of modulation that can be used in ADSL to offer fast data communication, two of which are CAP(Carrierless Amplitude Phase) and DMT(Discrete MultiTone). As we consider the current situation, DMT is getting more predominant in the market than CAP. One of the reasons is that it gives high performance in spite of its high complexity. Since DMT divides the full range of bandwidth into 256 sub-channels, it can be highly adaptive in the circumstances, where the problems of attenuation and noise caused by the propagation distance are very crucial. In this paper, a new bit loading algorithm for DMT modulation is proposed. The proposed algorithm can be efficiently implemented in a way that it requires less computation than the conventional modulation techniques. In contrast to the conventional algorithms which perform sorting processing, the proposed algorithm uses look-up tables to reduce the repetition of calculation. Consequently, it is shown that less processing time and lower complexity can be achieved.

* 正會員, 水原大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engineering, Suwon University)

** 正會員, 國民大學校 電子情報通信工學部

(Dept. of Electronics Engineering, Kookmin University)

*** 正會員, 市立 仁川專門大學 電子科

(Dept. of Electronics Engineering, Incheon City College)

接受日字:2002年7月22日, 수정완료일:2002年10月15日

I. 서론

인터넷의 급속한 보급에 따라 고속 데이터 전송 서비스를 위한 다양한 기술들이 등장하고 있다. 이들 중 가장 강력하고 빠른 광통신의 보급이 가격과 새로운 인프라의 구축에 따른 시간 소요 등의 문제로 인하여 서비스가 지연되고 있는 상황에서 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) 기술이 크게 각광을 받고 있다. 이 기술은 1990년대 초반 VOD(Video On Demand)를 위해 개발된 이후 상향 링크와 하향 링크의 데이터 양이 현격하게 다른 여러 분야의 서비스에 선택적으로 사용되었고, 특히 국내에서는 정보화 시대에 따른 인터넷 사용의 급증으로 인하여 중요한 전송 방식으로 자리잡았다.

ADSL은 기존 가입자선에 1.1MHz대의 대역폭을 할당하고, 하향 대역폭과 상향 대역폭의 크기를 차등화함으로써 빠른 속도의 정보 전달을 가능하게 하였다. 반면에 넓은 대역폭에 따른 잡음의 증가와 거리에 따른 고주파 성분의 급격한 감쇄, 그리고 혼신(Crosstalk)에 의한 에러 증가 등의 문제가 대두되었다. 이러한 문제점들을 개선하고 효율을 높이기 위해 몇 가지 변조 기술이 개발되었다. 가장 대표적인 변조 기술 2가지는 CAP(Carrierless Amplitude Phase) 변조와 DMT(Discrete MultiTone) 변조이며 현재 상용화되어 널리 사용되고 있다^{1,2)}. 두 기술 모두 국제적으로 표준화되었고 각기 장단점이 있으나 호환이 안 되는 문제를 안고 있다. 결국 두 방식 모두 독자적인 영역을 확보해 나갈 것으로 보이지만 향후 시장 전망을 볼 때 성능이 상대적으로 우수한 DMT 변조 방식이 우세할 것으로 예상된다. DMT 방식은 상하향 대역폭을 여러개의 부채널로 분할한 후 각각의 부채널을 변조하여 전송하는 멀티캐리어 방식으로 각 부채널이 갖는 SNR에 따라 비트수를 차등 적용하게 된다. 그러므로 정해진 에너지 내에서 최대의 속도와 최소의 BER을 갖기 위한 최적 비트 할당 방식이 DMT의 효율을 높이기 위한 필수적인 요소가 된다. 이를 위해 적합한 할당 방식>Loading Algorithm)이 필요하며, 현재 다수의 할당 방식이 제시되어 있다³⁻⁷⁾.

본 논문에서는 할당 방식을 위한 필요충분조건과 최적화를 위한 이론적 배경을 고찰하고, 제시된 방식에 대한 특징과 원리를 연구하여 2가지 새로운 할당 방식

을 제안하였다. 새로 제안한 할당 방식은 채널 환경이 고주파대로 갈수록 감쇄가 크고 전체적으로 특정 잡음에 의하여 불규칙한 특성을 갖지만 인접한 채널간에는 급격한 비트 변화가 매우 작은 특성을 이용하였다. 첫 번째 제안 방식은 현재 부채널을 기준으로 다음 부채널과 SNR 크기를 비교하여 비트를 감소시키거나 증가시키는 방식으로 상대적 비교 과정이 수행된다. 이 방식은 할당표의 크기가 작은 장점이 있으나 오차의 누적이 발생하는 단점을 갖는다. 두 번째 제안 방식은 전체 할당표에 의해 직접 비트수를 결정하는 방식으로 오차의 누적은 발생하지 않으나 할당표의 크기가 커지게 된다. 새로 제안한 2가지 방식과 기존 방식의 부채널별 비트수 분포와 비트당 에너지 분포 및 SNR 평균 값을 비교하여 그 결과를 그래프와 표로 제시하였다. 기존 방식에 비하여 각기 다른 성능을 보이고 있으나 단순한 구조(정렬과정 생략)로 구현이 용이하며 비트의 직접 할당 방식으로 시간 지연을 개선할 수 있는 장점을 갖는다. 다만 다양한 채널 환경에 적용하기 위해서는 앞으로 많은 자료에 대한 분석과 여러 번에 걸친 실험을 통하여 더욱 정밀한 자료를 만들고 확인하는 작업이 필요할 것이다.

II. ADSL 특징 및 동향

1. 특징

ADSL은 비대칭 디지털 가입자 회선의 약자로 기존의 2선식 전화선(Unshielded Twisted-Pair Copper Wire)을 이용하여 고속데이터 통신과 음성을 동시에 수용하는 기술로 전화 사용 중에도 최대 8Mbps의 속도로 데이터를 전송할 수 있다. ADSL은 향후 인터넷 서비스뿐만 아니라 방송, 원격교육, VOD, 전자상거래 등의 멀티미디어 서비스에 사용될 전망이다.

ADSL의 특징은 1개의 전화선에 음성과 데이터 각각

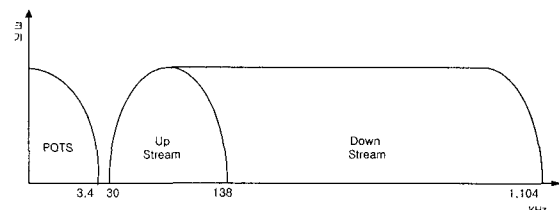


그림 1. ADSL의 주파수 스펙트럼
Fig. 1. Power spectrum of ADSL.

의 주파수 대역을 할당하고 데이터 주파수 대역은 다시 상향과 하향으로 분할하여 각기 다른 대역폭을 갖도록 하는 것이다. ADSL의 주파수 대역 분할은 <그림 1>과 같다^[8].

전화 서비스(POTS)에는 낮은 주파수를 할당하고 데이터 통신에는 높은 주파수를 사용하고 있다. 또한 상하향 링크의 대역폭을 비대칭으로 할당함으로써 다운로드와 업로드 속도의 현격한 차이가 나타난다.

2. 표준화 기구 및 활동 현황

ADSL의 표준화기구는 국제기구 ITU-T(International Telecommunications Union-Telecommunications Standardization Sector)와 지역기구 ANSI(American National Standard Institute), ETSI(European Telecommunication Standard Institute), ADSL Forum, UAWG(Universal ADSL Working Group) 등이 있다.

ITU-T는 1999년 7월 DMT 방식 표준안을 완성하였고 ANSI에서는 1995년 3월 DMT 방식 표준안을 제정하였다. 또한 ETSI는 ITU-T와 ANSI 방식에 유럽안 표준안을 추가하여 1996년 9월에 ETR328 Ed.1을 제정하였으며, ADSL Forum에서는 CAP와 DMT 방식에 대한 표준안 작업을 하고 있다. 특히 ADSL Forum에는 세계 각국의 연구소와 기업들이 참여하고 있는데 약 280개 정도의 단체가 가입하여 활동하고 있다. 국내에서는 ETRI(한국전자통신연구소), 삼성전자, 현대전자, 한국통신 등의 업체가 가입되어 있다. UAWG에서는 ITU-T 표준안을 기반으로 표준화 작업을 추진하고 있다.

3. 변조 방식

ADSL의 변조방식에는 CAP(Carrierless Amplitude Phase), DMT (Discrete MultiTone), 2BIQ(2 Bit 1 Quaternary), DWMT(Discrete Wavelet MultiTone) 등 여러 방식이 있다. 이 중 가장 대표적인 방식은 CAP와 DMT이며 두 방식 모두 QAM 방식에 기초하고 있다.

(1) CAP

CAP는 QAM에서 유래한 일종의 단일 반송파 방식으로 보내고자 하는 정보를 2개의 베이스밴드 신호로 나눈 뒤 In-Phase와 Quadrature-Phase 신호로 변조하여 전송하는 방식이다. 이 방식은 2BIQ와 같은 대역폭 일 경우 2배의 신호 전송 속도를 가지며, 주파수 대역이 적절히 설정되어있을 경우 선로상의 임펄스 잡음 및 기존 서비스와의 간섭을 최소화할 수 있도록 주파

수 배치를 자유로이 할 수 있다. CAP는 DMT 보다 먼저 개발되었으며 가격이 저렴하고 구현이 용이하여 전세계적으로 널리 사용되고 있으나, 상대적으로 잡음에 약한 단점을 갖고 있다.

(2) DMT

DMT는 미국 스탠포드 대학에서 개발한 선로부호(Line Code) 방식의 일종으로 256개의 균등 분할된 대역폭을 진폭변조방식과 위상변조방식의 결합으로 데이터를 변조한다.

분할된 협대역을 부채널 또는 톤(Tone)이라 하고 각각의 톤은 하나의 QAM을 이용하여 데이터를 보내게 된다. 이 때 각 톤은 자신의 대역에서 사용 가능한 최대한의 QAM 사이즈를 선정하여 통신을 한다. 그러므로 감쇄에 영향을 덜 받는 낮은 대역에서는 큰 사이즈의 QAM을 사용하여 많은 수의 데이터를 보내고, 반면에 높은 대역에서는 감쇄의 영향을 많이 받으므로 상대적으로 작은 사이즈의 QAM을 사용하여 적은 수의 데이터를 보내게 된다. DMT의 장점은 다양한 회선에 따라 다양한 속도를 지원하기가 용이하고 각각의 톤이 독립적으로 운용되므로 주파수 선택적인 노이즈에 강하여 SNR에 따른 BER을 줄일 수 있다는 점이며, 단점은 시스템의 구현이 어려우며 가격이 비싸다는 점이다. <그림 2>는 DMT의 주파수 스펙트럼을 나타낸다.

DMT에서는 하나의 채널로 더해지는 주파수가 각 톤당 서로 다르기 때문에 상호 간섭을 주지 않도록 부채널이 완벽하게 분리되어야 한다. 이를 위해 각 톤당 정현파와 여현파의 주파수가 기본 주파수(Fundamental Frequency)의 정수배가 되도록 하여 상호간 직교성을 유지하도록 설정하여야 한다. 이는 직교 다중 캐리어를 사용한 OFDM 방식에 의해 분할할 수 있다.

4. 문제점 및 향후 전망

ADSL은 전송거리와 회선의 상태에 따라 속도의 급격한 변화가 발생하므로 전화국과의 거리를 가깝게 하

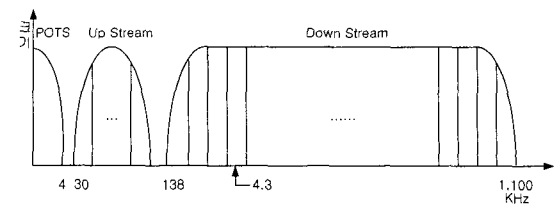


그림 2. DMT 방식의 주파수 스펙트럼
Fig. 2. Power spectrum for DMT method.

거나 광케이블이 적정거리까지 설치되어 있어야 한다. 또한 현재 양분되어 있는 CAP 방식과 DMT 방식 사이에 호환이 되지 않는 관계로 두 개의 시스템간에 상호 운용성 문제가 발생하고 있다. 향후 성능이 우수한 DMT 방식이 우세할 것으로 예상되나 단일 표준안으로 통합되기까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 전망된다. 이와 별도로 광통신의 확대 보급과 특화된 서비스에 맞는 ADSL 기술 개발에 따라 더욱 우수한 성능의 ADSL 장비가 보급될 것으로 예상된다.

III. 비트 할당 방식에 대한 이론적 배경

DMT 방식의 경우 각 부채널당 할당하는 비트수가 다르므로 전체적인 목표 비트수를 전송하기 위해 에너지에 따른 적절한 비트 분배가 필요하다. 이러한 비트 할당을 위해 다음과 같은 전제가 필요하다^[9]. 동일한 BER을 갖는 N개의 부채널당 에너지 할당 함수를 f_n 이라 하면, 에너지에 따른 비트 수는 $f_n(e_n)$ 이 되며 $f_n(0) = 0$ 이 된다.

$$\Delta e_n(b) = e_n(b) - e_n(b-1) \quad (1)$$

여기서 $\Delta e_n(b)$ 는 1 비트를 전송하는데 필요한 에너지를 말한다. 식 (1)을 적용하는 경우 다음의 두가지 조건을 고려해야 한다.

첫번째 조건은 최대 비트수가 각 부채널에 할당된 에너지의 합으로 표현된 전체 에너지보다 작은 범위에서 정해져야 한다는 것이다. 이를 식으로 표현하면 식 (2)와 같다. 이 조건을 비트 속도 최대화 문제(Bit Rate Maximization Problem)라고 부른다.

$$\max\left(\sum_{n=1}^N b_n\right) \Rightarrow \sum_{n=1}^N e_n(b_n) \leq E_T \quad (2)$$

두번째 조건은 최소 에너지는 각 부채널에 할당된 비트수와 설정된 전체 비트수가 같을 때 가능하다는 것이다. 이 조건을 마진 최대화 문제(Margin Maximization Problem) 또는 에너지 최소화 문제(Energy Minimization Problem)라고 부른다. 이를 식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$\min\left(\sum_{n=1}^N e_n(b_n)\right) \Rightarrow \sum_{n=1}^N b_n = B_T \quad (3)$$

위에서 언급한 두가지 조건을 만족하기 위한 b 벡터의 필요충분조건은 다음과 같다^[4].

$$\Delta e_n(b_n) \leq \Delta e_m(b_m + 1) \quad (4)$$

$$0 \leq E_T - \sum_{n=1}^N e_n(b_n) < \min(\Delta e_m(b_m + 1)) \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^N b_n = B_T \quad (6)$$

여기서 b_n , b_m 은 부채널 n, m에서의 비트 수를 말한다.

IV. 기본적인 할당 알고리즘

SNR에 따른 비트 할당 공식은 다음과 같다^[5].

$$b_n = \log_2(1 + SNR / \Gamma) (\Gamma : SNR - Gap) \quad (7)$$

여기서 Γ 는 채널의 SNR 값과 실제 비트 적용을 위한 SNR 값의 차이를 나타낸다. 비트 할당 공식은 코딩 이득과 SNR-Gap(Γ), 그리고 시스템 마진 등이 고려된 SNR에 따라 적절한 비트가 할당된다. 여기서 $(1 + SNR/\Gamma)$ 이 2의 제곱 형태가 아니면 비트 할당에 사용되는 에너지와 실제 에너지 사이에 차이가 발생하게 된다. 그러므로 전체 목표 비트수가 설정되어 있을 경우 에너지의 차이분에 따른 적절한 비트수를 분배하여 에너지의 효율을 극대화 해 주어야 한다. 본 논문에서는 SNR-Gap(Γ)을 기존 방식과 비교하기 위해 동일한 수치인 9.8dB로 설정하고, 코딩 이득과 시스템 마진도 기본값으로 가정하였으나 실제 구현할 때는 주어진 환경에 맞추어 설정값을 고려해 주어야 한다. SNR 값은 채널 상태에 따라 다양하게 변화되는 값이지만 시뮬레이

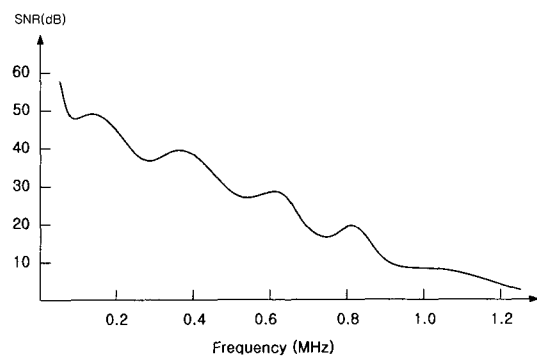


그림 3. 주파수에 따른 SNR 그래프
Fig. 3. SNR vs. frequency.

선을 위해 특정 환경을 전제로 수치를 설정하였다. 이번 실험에서 사용된 주파수에 따른 SNR 그래프는 <그림 3>과 같다.

V. 기존에 제안된 할당 알고리즘

기존에 발표된 할당 알고리즘은 다수가 있으나 그 중 대표적인 방식은 Chow 등^[4]이 제안한 알고리즘으로 시스템의 성능 마진이 일정 범위내에 있도록 비트를 할당하여 비트 목표치와 전체 할당 비트수가 일치하도록 반복 계산하는 방식(Iterative Algorithm)이다. 전체적인 전제는 Water Pouring 방식^[4]에 근거하고 있으며 Hughes-Hartogs 방식^[4]의 처리속도를 향상시킨 방식으로 제안되어 있다. 특히 할당 비트수가 많을 경우에 우수한 성능을 보이는 것이 특징이다. 또한 복잡한 계산 과정을 단순한 반복 루틴으로 코딩화함으로써 구현상의 이득을 얻을 수 있도록 하고 있다.

Iterative Algorithm은 본 논문에서 새로 제안한 알고리즘의 성능 비교를 위해 실제 코딩 과정을 통하여 결과값을 구하였다. 코딩과정은 다음과 같다.

- 1) 채널당 비트수를 할당 공식에 의해 계산
- 2) 비트수의 정수값을 얻기 위해 반올림 계산
- 3) 1)번과 2)번의 차이 계산
- 4) 전체 비트의 합 계산
- 5) 시스템 마진 계산
- 6) 전체 비트값과 목표 비트값이 같아질 때까지 3)값의 정렬을 통하여 1 비트의 가감을 처리하는 계산과정 반복

7) 에너지 조정 및 스케일링(에너지 조정 및 스케일링은 제안 알고리즘간에 동일하게 적용하였으며, 시스템 마진값은 9.8dB로 고정하여 실행하였음)

Iterative Algorithm에 대하여 실제 시뮬레이션에서 사용한 흐름도와 시뮬레이션 결과는 각각 <그림 4>와 <그림 5>와 같다.

부채널별 SNR 분포는 <그림 6>과 같다.

VI. 새로 제안한 할당 알고리즘

1. Add-Drop Algorithm

기존 방식이 대부분 정렬(Sorting) 과정을 전제로 하고 있으며, 복잡한 수식의 반복에 의해 목표 비트수를 구하고 부채널별로 분배하는 번거로움을 갖고 있다. 새

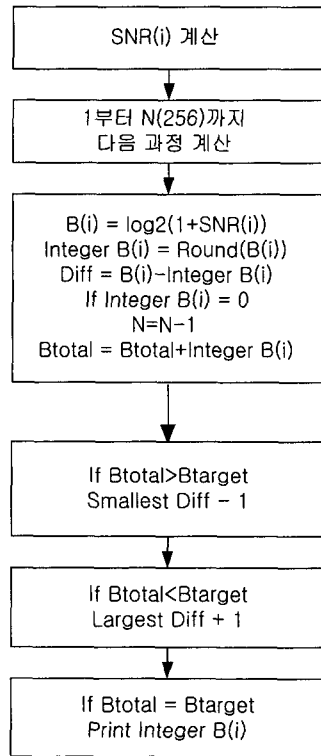


그림 4. Iterative Algorithm 흐름도
Fig. 4. Flow diagram for iterative algorithm.

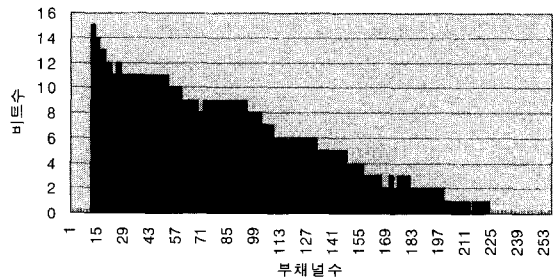


그림 5. Iterative Algorithm 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of iterative algorithm.

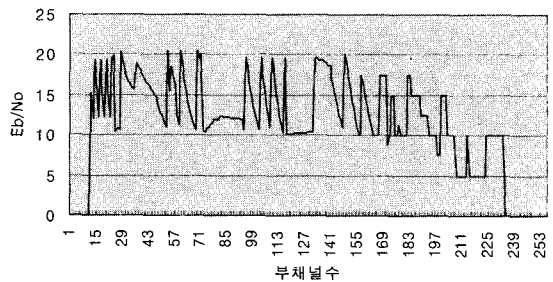


그림 6. 부채널별 SNR 분포
Fig. 6. SNR(Eb/No) corresponding to number of sub-channels.

로 제한한 Add-Drop Algorithm은 이를 개선하기 위해 기준 SNR에 의해 선택된 비트수에 의해 연속적으로 다음 채널의 비트수를 결정하는 신속한 처리과정을 제시한다. 이 방식은 정렬 과정이 필요 없는 장점과 기준 SNR에 대한 비트수 산정을 위한 할당표가 필요하고 오차가 누적되는 단점을 가진다. 이 방식의 실행 순서는 다음과 같다.

- 1) 처음 시작하는 제1부채널(K)의 비트값을 고정값으로 할당한다.
- 2) 다음 부채널(K+1)의 SNR을 제1부채널의 SNR 값과 비교하여 증감분에 따라 비트를 할당한다.
- 3) 다시 부채널(K+1)과 (K+2)를 비교하여 2)번을 실행한다.
- 4) 3)번과 동일한 과정을 총 (N-1)번 반복한다.
- 5) 본 시뮬레이션에서는 오차의 누적을 줄이기 위해 16개 블록으로 나누어 실행한다.
- 6) 다른 알고리즘과의 비교를 위해 목표 비트수로 최종 조정한다.

Add-Drop Algorithm에 의한 비트 할당 그래프와 SNR 그래프는 각각 <그림 7>과 <그림 8>과 같다.

2. Direct Algorithm

Direct Algorithm은 Add-Drop Algorithm과 유사하지만 인접채널간 상호비교가 아닌 전체 할당표에 의한 절대비교를 통해 비트를 할당하게 된다. 이 방식은 오차가 누적되는 단점이 개선되어 전체 BER은 향상되지만 할당표의 크기가 상대적으로 증가하는 단점이 발생한다. 적용되는 할당표는 <표 1>과 같다. <표 1>은 SNR에 따른 단순 비트 할당을 나타내며, 이는 최적 파워 할당 알고리즘을 사용하지 않았기 때문에 계산량은 감소하지만 정확도가 낮아지는 단점을 갖는다.

Direct Algorithm에 의한 비트 할당 그래프와 SNR 그래프는 각각 <그림 9>와 <그림 10>에 제시된 바와 같다.

기 제안된 알고리즘과 새로 제안한 알고리즘의 평균 SNR 분포(BER = 10^{-7} 기준)는 <그림 11>과 같다.

위의 그래프에서 보면 비트당 에너지는 Add-Drop 방식이 가장 크고 Iterative와 Direct 방식은 거의 동일한 값을 갖고 있다. 계산 과정에 있어서는 Iterative 방식이 수직적용(Log값 계산) 256회, 반올림 계산 256회, 차분값 계산 256회 그리고 256개의 값에 대한 Sorting을 실행하여야 하나 Add-Drop과 Direct의 경우는

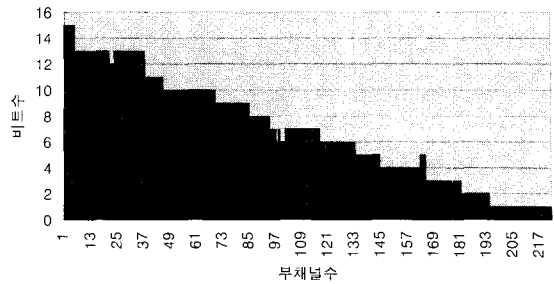


그림 7. Add-Drop Algorithm의 비트 할당 그래프
Fig. 7. Bit loading graph for add-drop algorithm.

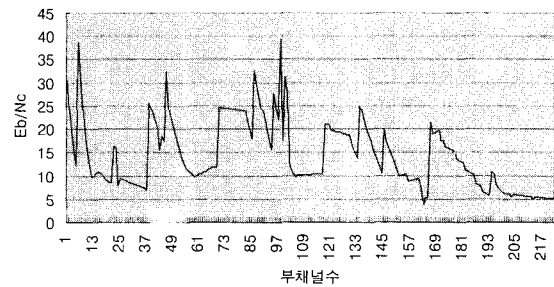


그림 8. Add-Drop Algorithm의 SNR 그래프
Fig. 8. SNR graph for add-drop algorithm.

표 1. 비트 할당표

Table 1. Bit loading table.

Index	SNR Range(dB)	Loading Bit	Index	SNR Range(dB)	Loading Bit
1	0~3	0	10	27~30	9
2	3~6	1	11	30~33	10
3	6~9	2	12	33~36	11
4	9~12	3	13	36~39	12
5	12~15	4	14	39~42	13
6	15~18	5	15	42~45	14
7	18~21	6	16	45~48	15
8	21~24	7	17	48~51	16
9	24~27	8	18	51~	17

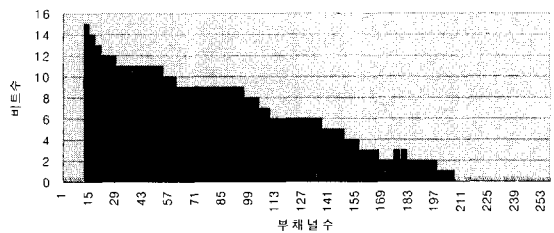


그림 9. Direct Algorithm의 비트할당 그래프
Fig. 9. Bit loading graph for direct algorithm.

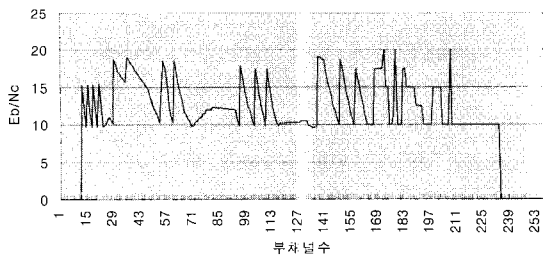


그림 10. Direct Algorithm의 SNR 그래프
Fig. 10. SNR graph for direct algorithm.

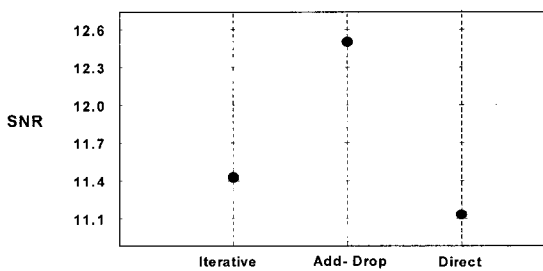


그림 11. 각 알고리즘의 평균 SNR
Fig. 11. Average SNR of each algorithm.

표 2. 처리속도 비교표(단위: sec)
Table 2. Comparison of processing speed.

방식	Iterative	Add-Drop	Direct	비고
처리시간	1.87	0.11	0.33	Matlab Lab Time

표 3. 기 제안 방식과의 비교표
Table 3. Comparison between existing method and suggested method.

방식	Iterative	Add-Drop	Direct	비고
수식적용	Yes	No	No	할당공식
Rounding	Yes	Yes	Yes	
Sorting	Yes	No	No	
Look-Up Table	No	Yes	Yes	
Size	-	4	16	할당표
Error	-	Yes	No	상대비교

SNR 비교 256회와 그에 따른 비트값 설정만이 필요하므로 처리 속도를 크게 높일 수 있다. 시뮬레이션을 통

한 처리시간 비교는 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 보면 새로 제안한 방식이 계산 과정에서는 매우 효율적임을 알 수 있다. 그러나 할당표로 인한 메모리의 사용이 증가하는 점과 오차가 할당표의 간격에 따라 변화하는 점 등을 고려해야 한다. 전체적인 방식의 비교는 <표 3>과 같다.

<표 3>에서 새로 제안한 방식들은 모두 비트 할당을 위한 수식적용이 없으므로 수식에서 사용한 덧셈, 곱셈 및 로그 계산과정을 생략할 수 있고, 반올림을 통한 오차값 계산도 불필요하며, 특히 정렬과정이 없으므로 처리속도면에서 우수함을 알 수 있다. 다만 할당표의 크기에 따른 메모리의 증가와 할당표에 의한 비트 할당시 오차 발생으로 인한 BER 성능 저하를 고려하여야 한다. 전체적으로 에너지 변화에 대한 정확한 비트 할당이 어려운 단점이 있으나, 인접 채널간 급격한 변화가 없는 점을 활용하여 계산 과정을 감소시킴으로써 처리 속도의 개선과 장비의 구현 용이성을 높일 수 있는 장점을 갖는다. 실제 구현시 채널 환경과 시스템의 특성에 따라 할당표의 크기와 오차의 누적 등을 고려하여 적절한 선택이 필요할 것으로 사료된다.

VII. 결 론

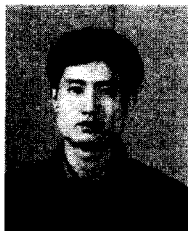
ADSL에서 사용되는 변조 방식 중 DMT는 주파수의 증가에 따라 SNR이 크게 감소하는 채널 특성에 최적으로 적응하여 비트를 할당할 수 있으므로 CAP에 비해 상대적으로 성능을 높일 수 있는 우수한 방식임을 살펴보았다. 그리고 각 부채널당 SNR의 크기에 따라 비트를 할당할 때 설정되어 있는 전체에너지의 범위내에서 최대의 비트수를 할당하기 위한 기 제안 방식들과 새로 제안한 방식들을 비교 고찰하였다. 비트 할당은 정해진 각각의 부채널당 에너지 범위내에서 목표 비트수를 적절하게 분배하는 과정이며 BER을 최소화하는 알고리즘이다. 그러므로 최적의 비트 할당을 위해서는 부채널당 초과된 에너지 크기를 최소화하는 방향으로 기존의 방식들이 제안되었다. 그러나 이러한 방식은 에너지별 비트수 계산과 잉여 에너지에 대한 정렬을 통하여 목표 비트수를 맞추는 재배열이 필요하므로 처리 속도와 복잡도가 증가하는 단점을 갖게 된다. 새로 제안한 방식은 채널 환경이 인접한 부채널 사이에 급격하게 변화하는 경우가 매우 적은 특성을 이용하여 처리속도와 복잡도를 향상시킬 수 있었다. Add-Drop

방식의 경우 동일 BER내에서 상대적으로 많은 에너지가 필요하였으나 처리속도면에서 가장 우수함을 나타내었다. Direct 방식도 기존 방식과 동일한 에너지 범위 내에서 처리속도를 크게 향상시켰다. 특히 할당표를 이용하여 정렬과정을 대신하고 상대비교를 통해 할당표 크기를 줄일 수 있는 방안을 제시함으로써 구현시 용이함과 경제성도 고려하였다. 이 경우 메모리 크기와 계산 과정의 복잡도간의 장단점이 상충하게 되므로 주어진 채널 특성과 시스템 환경에 따라 적절한 적용이 필요하다. 또한 다양한 방식에 대한 실제 실험과 선택적 적용, 그리고 기 제안된 방식들과의 절충 등이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Dennis J. Rauschmayer, ADSL/VDSL Principles, MTP, 1999.
- [2] Walter Goralski, ADSL and DSL Technologies, McGraw-Hill, 1998.
- [3] Jorge Campello, "Practical Bit Loading for DMT," in Proc. IEEE ICC, vol. 2, June 1999.
- [4] Peter S. Chow, John M. Cioffi, and John A. C. Bingham, "A Practical Discrete Multitone Transceiver Loading Algorithm for Data Transmission over Spectrally Shaped Channels," IEEE Trans. Comm., vol. 43, No. 4, April 1995.
- [5] David W. Lin, "On Optimal Bit Loading for MultiTone ADSL," in Proc. IEEE ISCAS 2000, vol. 4, Geneva, Switzerland, May 2000.
- [6] Ranjan V. Sonalkar, "An Efficient Bit-Loading Algorithm for DMT Applications," in Proc. IEEE Globalcom., vol. 4, No. 3, March 2000.
- [7] Robert F. H. Fischer and Johannes B. Huber, "A New Loading Algorithm for Discrete MultiTone Transmission," www.nt.e-technik.uni-erlangen.de, 1996.
- [8] Kimmo K. Saarela, "ADSL," Tampere University of Technology, Feb. 1995.
- [9] Louise M. C. Hoo, Jose Tellado, and John M. Cioffi, "Discrete Dual QoS Loading Algorithm for Multicarrier Systems," in Proc. IEEE ICC, vol. 2, June 1999.
- [10] Jorge Campello, "Optimal Discrete Bit Loading for Multicarrier Modulation Systems," in Proc. IEEE ISIT, Aug. 1998.
- [11] Brian S. Krongold and Kannan Ramchandran, "Computationally Efficient Optimal Power Allocation Algorithms for Multicarrier Communication Systems," IEEE Trans. Comm., vol. 48, No. 1, Jan. 2000.
- [12] 대한전자공학회 멀티미디어 연구회, "멀티미디어 통신 기술," xDSL 워크샵, 1999년 11월
- [13] 위정욱, 조용수, "Zipper DMT 방식의 VDSL 모뎀 기술," 텔레콤, 제16권, 제2호, pp. 37~46, 2000년 12월
- [14] Jack Kurzweil, An Introduction to Digital Communications, Wiley, 1999.

저 자 소 개



李 澈 雨(正會員)

1999년 2월 : 수원대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2001년 8월 : 국민대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). <관심분야 : 광대역 무선 통신>

朴 光 哲(正會員) 第38卷 TE編 第3號 參照

尹 基 邦(正會員) 第37卷 SP編 第2號 參照

張 壽 泳(正會員)

現在 : 水原大學校 電子工學科 助教授

金 基 斗(正會員) 第33卷 B編 第2號 參照