

위성 시분할다중접속 통신시스템을 위한 실시간 자동이득제어기 설계 및 구현

이 희 수*

Design and Implementation of Real Time AGC for Satellite TDMA Communication Systems

Huisoo Lee*

요 약

일반적으로 위성 시분할다중접속 (TDMA, Time Division Multiple Access) 통신시스템 설계 시 채널감쇄를 반드시 고려 해야하며 위성 통신시스템은 급격한 채널환경 변화에서도 안정적인 네트워크 구성을 위해 실시간 자동이득제어기 (AGC, Automatic Gain Control)가 필수적이다. 본 논문에서는 위성 TDMA 통신시스템에서 타임 슬롯에 실시간 적용이 가능한 AGC를 제안한다. 제안하는 실시간 AGC 성능을 확인하기 위해 위성 TDMA 시스템을 설계 및 구현하였고 제안하는 AGC 알고리즘을 적용하여 시스템의 비트 오류율을 확인하였다. 이 결과는 추후 위성 TDMA 통신시스템의 안정성을 높이는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

Key Words : Real-time AGC, satellite TDMA systems, Reference burst, Traffic burst

ABSTRACT

Channel attenuation must be taken into account when designing Time Division Multiple Access(TDMA) communication systems. In addition, Automatic Gain Control (ACG) is a requirement in satellite communication systems in order to form a stable network regardless of rapidly changes in channel environment. In this study, we present an AGC with possible real-time application to time slots in satellite TDMA communication systems. A satellite TDMA system was designed and implemented in order to test the performance of the proposed real-time AGC, and the system's BER (Bit Error Rate) was found by applying the proposed AGC algorithm. These results can be expected to be of high value in improving the stability of satellite TDMA communication systems in the future.

I. 서 론

1990년대 이후 우리나라는 우리별 1호를 시작으로 군용 및 상용 목적으로 약 10여개의 인공위성을 발사하였다. 이러한 위성들은 지상과 데이터 링크를 구성하여 과학탐사 혹은 군사적인 용도로 수집된 데이터를 송신하거나 지상에서 송신한 신호를 중계

하여 비가시선 (BLOS, Beyond Line-of-Site) 영역의 통신을 가능하게 한다. 이러한 장점으로 위성데이터링크는 상용, 군용 그리고 과학 탐사용에 필수 불가결한 요소로 자리매김하고 있다.

위성통신시스템 설계에 앞서 위성채널에 대한 고려가 필수적인데 이는 주파수 대역에 따른 대기 혹은 강우에 따른 다양한 감쇄가 나타나기 때문이다.

* 주저자 : 국방과학연구소, leehuisoo@add.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-08-409, 접수일자 : 2012년 8월 31일, 최종논문접수일자 : 2013년 4월 1일

그림 1은 주파수 대역에 따른 대기 및 강우에 의한 감쇄를 나타내는데 주로 위성 통신채널로 사용하고 있는 X 대역과 Ku 대역에서 강우로 인한 감쇄가 급격히 커지는 것을 확인 할 수 있다^[1,3]. 최근 기후 변화에 따른 여름철 국지성 폭우가 잦아짐에 따라 위성채널의 다변성이 점점 커지고 있어 위성 통신 시스템 설계 시 이러한 특성을 고려하여 어떠한 상황에서도 안정적인 통신링크를 유지할 수 있도록 해야 한다.

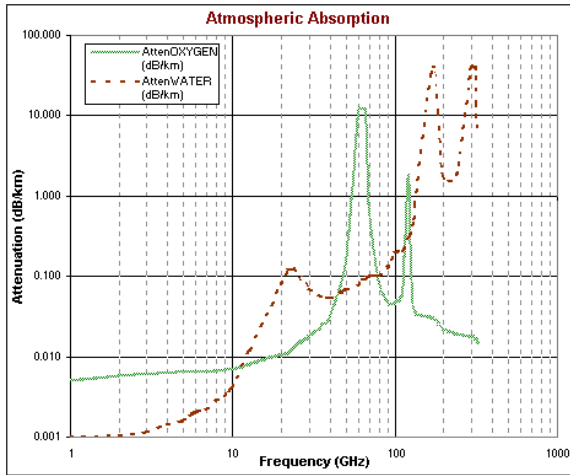


그림 1. 주파수 대역에 따른 강우감쇄
Fig. 1. Attenuation through the atmosphere

위성 다중접속 (Multiple Access) 기법에는 주파수 분할다중접속 (FDMA, Frequency Division Multiple Access), 코드분할다중접속 (CDMA, Code Division Multiple Access) 그리고 시분할다중접속 (TDMA, Time Division Multiple Access) 등이 있다. 이중 TDMA 시스템은 하나의 주파수 대역을 시분할하여 여러 가입자가 접속해 실시간 데이터링크를 구축할 수 있는 장점이 있다. 이러한 점에서 TDMA 시스템은 국지적으로 발생하는 현대전 양산에 가장 적합하고 전장 상황의 정보 우위를 기반으로 전쟁을 수행하는 네트워크 중심 전 (NCW, Network Centric Warfare) 개념에 부합하는 시스템이다^[2]. 위성통신을 이용한 네트워크는 최근에 잦아지는 국지성 폭우와 같은 자연 현상으로 불특정 다수 가입자의 통신환경이 급변할 수 있으며 적국의 재밍 신호 (Jamming Signal)와 같은 인위적 간섭으로 영향을 받을 수 있다. 이러한 통신환경에서도 안정적인 네트워크를 구성하기 위해서는 수신신호의 이득 조절이 반드시 필요하다.

일반적으로 수신신호의 이득을 조절하는 방법에

는 동기식 (Coherent method)과 비동기식 (Non-Coherent method)으로 구분되어지는데 동기식은 수신신호의 위상과 크기를 이용한 이득조절이며 비동기식은 수신신호의 크기만을 이용하여 이득을 조절한다^[11]. 비동기식 AGC (Automatic Gain Control)에 비하여 동기식 AGC는 정확한 이득을 도출할 수 있으나 구현 복잡도가 높아지는 단점이 있다.

또한 AGC는 연속모드 (Continuous mode)와 버스트모드 (Burst mode)로 구분할 수 있다. GPS (Global Positioning System), GNSS (Global Navigation Satellite System)의 수신기에 적용된 연속모드 AGC는 아날로그 피드백으로 우수한 성능을 얻을 수 있으나^[10] 연속모드에서 사용하는 AGC를 버스트모드에 적용하면 응답속도의 차이로 시스템의 안정성을 보장할 수 없다. TDMA 시스템과 같이 버스트모드로 동작하는 시스템의 안정도를 높이기 위해 빠른 응답속도를 갖는 디지털 버스트모드 AGC가 적당하다.

그리고 TDMA 시스템에 적용되는 버스트모드 AGC는 타임슬롯 (Time Slot) 단위로 수행하거나 프레임 (Frame) 단위로 이득을 조절할 수 있도록 설계하는 방법으로 구분될 수 있다. 프레임 단위로 AGC를 수행할 경우 하드웨어 구현 복잡도가 낮아질 수 있으나 인위적인 간섭신호나 국지성 폭우가 한 지역 집중될 경우 해당 지역의 네트워크가 불안정할 수 있는 단점이 있다.

이러한 AGC의 특성을 반영하여 본 논문에서는 위성 TDMA 통신시스템에 적합한 타임슬롯 단위로 동작하는 비동기식 AGC를 제안한다. 이를 위하여 위성 TDMA 통신시스템을 설계하였으며 제안하는 AGC를 적용하여 대상 시스템의 성능을 전산 실험을 통해 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 논문에서 고려한 위성 TDMA 시스템을 설계하여 시스템에 적합한 실시간 AGC를 제안하였고 제안한 AGC를 적용한 시스템의 성능을 확인하였다. 마지막으로 III장에서 결론을 맺는다.

II. 본론

2.1. 시스템 구조

일반적으로 TDMA 시스템은 가입자 간의 시간 동기를 정확히 일치시켜야 하므로 프레임 (Frame)

의 길이를 $x \text{ ms} \sim xxx \text{ ms}$ 로 설정하며^[2] 프레임 구조는 그림 2와 같다. 따라서 제안하는 알고리즘의 성능 검증을 위한 시스템은 프레임의 길이를 600 ms, 프레임 내의 버스트 (Burst) 구간은 11.76 ms로 설정하였다. 한 프레임 내에는 데이터를 전송하기 위한 100개의 트래픽 버스트 (Traffic burst)와 망 동기를 유지하기 위한 2개의 기준 버스트 (Reference burst)가 존재하며 기준 버스트는 망 동기를 위한 프리앰블로 구성된다. 또한 송수신 시간 지연 및 시간 천이를 고려하여 가드타임 (Guard time)을 0.2 ms로 설정하였다.

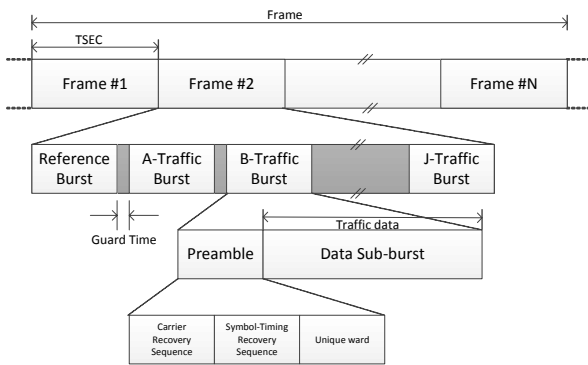


그림 2. 프레임 구조
Fig. 2. Frame structure

2.2. 위성 TDMA 모뎀 설계

위성 통신시스템의 망 동기 기법은 폐쇄형 루프 (Closed loop-back) 방식과 개방형 루프 (Open loop) 으로 분류할 수 있다. 폐쇄형 루프 방식은 마스터 (Master)와 슬레이브 (Slave)로 구성된 네트워크에 사용되며 마스터는 초기 망 동기를 위한 기준신호를 일정 시간 간격으로 송신하며 슬레이브는 이 기준신호를 수신하여 동기를 획득한다^[4]. 개방형 방식은 정확한 시간과 송신국/수신국간의 전파지연 시간차를 구하여 동기를 맞추는 방법으로 다중 빔을 사용하는 네트워크에 주로 사용된다.

본 논문에서는 현재 국내에서 위성통신용으로 사용하고 있는 폐쇄형 루프 방식을 적용하여 시스템을 설계하고 알고리즘을 검증하였다. 폐쇄형 루프 방식에서 초기 동기절차는 하향링크 동기를 우선적으로 획득한 후 획득한 하향링크 동기를 기준으로 상향링크 동기를 획득한다. 폐쇄형 루프 방식은 동기과정을 위해 시간동기가 주파수와 위상동기에 앞서서 수행되어야한다. 그림 3은 폐쇄

형 루프 방식의 초기 동기 획득을 위한 일련의 과정을 보여준다.

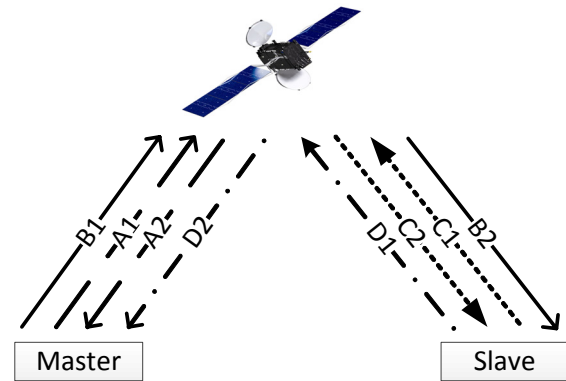


그림 3. 초기 동기 획득을 위한 송수신 절차
Fig. 3. Initial Synchronization process

마스터에서 기준 버스트의 루프백을 구성하여 시간동기를 획득한 후 (A1 ~ A2), 획득한 시간동기를 각 슬레이브에게 송신한다 (B1 ~ B2). B1 ~ B2 과정을 통하여 시간 동기를 획득한 슬레이브는 위성 빔 중심으로부터 자신의 위치를 획득하기 위해 레인지 버스트 (Ranging burst)를 송수신한다 (C1 ~ C2). C1 ~ C2 과정으로 슬레이브는 자신의 위치에 적합한 시간 지연 (Time delay)을 인지하여 시간 동기를 완료한다. 이러한 일련의 과정을 거쳐 마스터와 슬레이브 간의 초기 시간동기 획득 후 주파수 오프셋 (Frequency offset), 심볼 지터 (Symbol jitter)등을 보정하며 망 동기를 유지한다^[7].

위성 TDMA 모뎀은 기능적으로 L-대역 조립체, 디지털 모뎀 조립체, 전원조립체 등으로 구성된다. 이중 L-대역 조립체는 디지털 모뎀 조립체의 IF (Intermediate Frequency) 신호를 L-대역 신호로 변환하고 L-대역 신호를 IF신호로 변환하며 자동이득 조절제어 (AGC, Automatic Gain Control) 기능을 수행한다.

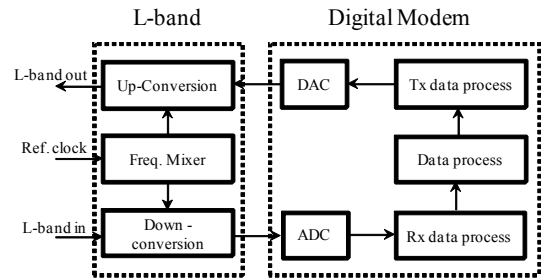


그림 4. 위성 TDMA 모뎀의 구조
Fig. 4. Structure of satellite TDMA modem

시스템의 성능을 검증하기 위한 위성 TDMA 모뎀의 주요 설계 파라미터는 다음 표 1과 같다. 변조방식을 PSK (Phase Shift Keying) 계열을 사용하여 설계하였는데 이는 HPAs (High Power Amplifiers)의 비선형을 극복하기 위함이다.

표 1. 위성 TDMA 모뎀 파라미터
Table 1. Satellite TDMA modem parameter

Data rate	000 kbps ¹⁾	
Symbol rate ($1/f_s$)	629 ksps	
Bandwidth	000 kHz	
FEC	Turbo + RS code	
Modulation	Reference burst	D-BPSK
	Traffic burst	QPSK
IF frequency	70 MHz	
ADC sampling clock	$f_s \times 36$	

2.3. AGC 설계 및 구현

서론에서 언급한 바와 같이 TDMA 시스템에서 프레임 단위 혹은 타임슬롯 단위로 이득을 조절하는 기법으로 나뉠 수 있다. 프레임 단위로 이득을 조절할 경우에는 국지성 강우 혹은 인위적인 간섭 신호에 의해 일부 네트워크가 유실될 수 있는 제한 요소가 있어 본 논문에서는 타임슬롯 단위로 AGC를 수행할 수 있도록 설계 목표를 설정하였다.

GPS (Global Positioning System)와 GNSS (Global Navigation Satellite System) 시스템의 수신기는 연속모드로 이득조절을 수행한다¹⁰⁾. 하지만 연속모드의 AGC를 버스트모드로 동작하는 위성 TDMA 시스템에 적용할 경우 AGC의 응답속도의 차로 인하여 시스템의 안정도가 보장될 수 없다. 따라서 본 논문에서는 버스트모드로 동작하는 위성 TDMA 통신시스템을 위한 실시간 AGC를 제안한다. 이를 위해 빠른 응답속도를 갖으며 하드웨어 구현 복잡도가 낮은 비동기식 AGC를 적용하였다.

본 논문에서는 동적범위를 50 dB로 설정하고 타임슬롯 단위로 이득을 조절하기 위해 그림 5에서와 같이 실시간으로 L-대역 조립체와 디지털 모뎀 조립체의 이득을 동시에 제어하기 위해 루프가 필요하며 정확한 수신 전력을 측정 및 이득 포화를 방지하기 위해 A/D 컨버터를 14비트로 설정하였다.

동적범위를 30 dB 설정하여 프레임단위로 AGC를 수행하도록 구현할 경우에는 그림 4의 L-대역

조립체 내부 케환 (Loop-back) 으로 구현이 가능하여 디지털 모뎀 조립체와의 케환이 필요하지 않다. 모뎀 조립체와 L-대역 조립체와의 케환이 없어짐으로 하드웨어 구현 복잡도를 낮출 수 있으며 동적범위를 30 dB로 하향 설계할 경우 A/D 컨버터는 12비트로 이득 포화를 방지할 수 있다.

그림 4에서 L-대역 조립체는 입력범위가 -65 dBm ~ -15 dBm 으로 본 논문에서는 이 범위를 모두 포함할 수 있는 AGC를 제안한다. 일반적인 위성통신에 사용되는 AGC 동작범위 (Dynamic range)는 20 ~ 30 dB 이다²¹⁾⁹⁾ 최근 급격히 증가하는 국지성 폭우 및 적국의 간섭신호로 인해 위성채널의 불안정성이 커지고 있어⁵⁾ 동작범위를 50 dB로 상향 설정하여 설계 및 구현하였다. 이를 위해 L-대역 조립체에서 30 dB, 디지털 모뎀 조립체에서 20 dB를 제어하도록 설정하였다.

실시간 AGC는 망동기가 완료된 후 각 버스트별로 진행하며 프리앰블의 전력을 측정하여 실제 데이터가 입력되기 전에 일련의 AGC 과정이 마무리되어야 한다. 이를 위해 많은 프리앰블이 요구되며 입력신호의 정확한 레벨 측정이 요구된다.

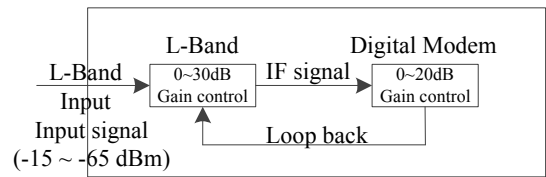


그림 5. 자동이득조절제어기 개념도
Fig. 5. Structure of AGC (Automatic Gain Control)

기준 버스트, 트래픽 버스트 그리고 레인징 버스트의 프리앰블 (Preamble)은 주파수 오프셋에 강인한 D-BPSK (Differential-Binary Phase Shift Keying) 변조를 사용하였으며 프리앰블의 생성은 유사잡음 (Pseudo Random) 시퀀스 발생기를 통하여 생성하고 프리앰블 길이는 63 심볼 (Symbol)이다. 그림 6에서와 같이 프리 앰블 63 심볼은 약 100.16 usec로 이 기간 내에 수신신호 전력을 측정하여 이에 적합한 이득 도출 및 적용이 마무리 되어야한다.

그림 7에서와 같이 프리앰블 63 심볼 중 디지털 모뎀 조립체의 신호처리시간, L-대역 루프백 시간 그리고 L-대역 신호처리시간을 고려하면 실제 수신 신호전력을 측정할 수 있는 유효 심볼의 개수는 총 42 (66.77 usec) 심볼이다. 전력측정이 가능한 유효 프리앰블의 개수를 적은 것을 고려하여 데

1) 진행 중인 체계개발의 일환으로 모뎀 주요 사양이 누락되어 있습니다.

이더 필드 값에서도 전력을 측정하여 실시간으로 이득을 도출 및 L-대역 조립체와 디지털 모델 조립체에 적용할 수 있도록 설계하였다.

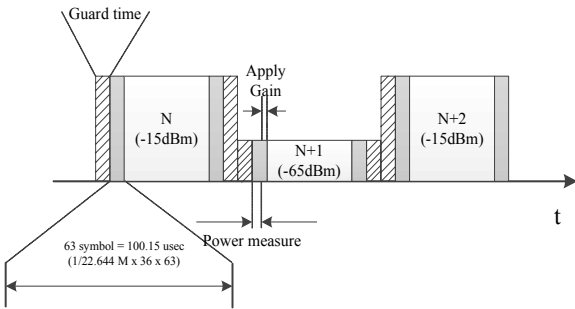


그림 6. 자동이득조절 과정
Fig. 6. Automatic Gain Control process

그림 6에서와 같이 TDMA 네트워크에서 채널간의 수신 전력이 차이 나는 상황에서 실시간으로 이득을 조절하기 위해서는 그림 7에서와 같이 프리앰블 수신과정에서 수신 전력을 도출하고 L-대역 조립체와 디지털 모델조립체에 도출한 이득을 적용해야 한다. 그림 8은 실시간 AGC 제어를 위한 이득 도출 과정을 나타낸다. 유효심볼 (42 심볼) 당 단위 전력을 계산하고 이를 임계치 (Threshold value)와 비교한 후 실패 치로 환산하여 이득 값을 얻을 수 있다.

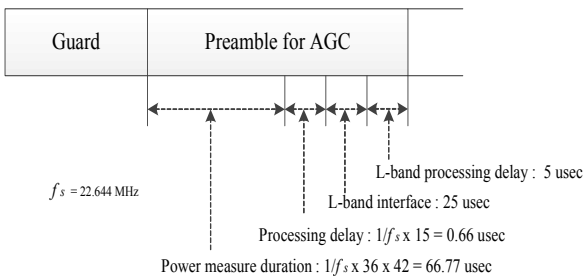


그림 7. 유효 프리앰블 개수
Fig. 7. The number of valid preamble

또한 그림 6에서와 같이 이득 값이 최대(-65 dBm)의 수신신호 입력 시로 설정된 후 다음 타임 슬롯에 최대수신전력(-15 dBm)이 입력이 되면 이득의 포화가 발생할수 있다. 이를 방지하기 위해 매 버스트 시작 시점에 이득을 최소로 설정하여 AGC 일련의 과정을 진행한다.

그림 8의 신호의 전력은 다음 식 (1) ~ (5)과 같이 도출할 수 있다. 수신 신호, r_k 는 아래 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며^[6]

$$r_k = A_k e^{j2\pi f_k t + \theta_k} + n_k, \text{ where } k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

여기에서 A_k 와 θ_k 는 k 번째 수신 신호의 크기와 위상이며 n_k 는 k 번째 평균이 0이고 차원 당 분산이 $N_0/2$ 인 복소 (complex) 가산성 백색 가우시안 잡음 (AWGN, Additive White Gaussian Noise) 샘플 (sample)이다.

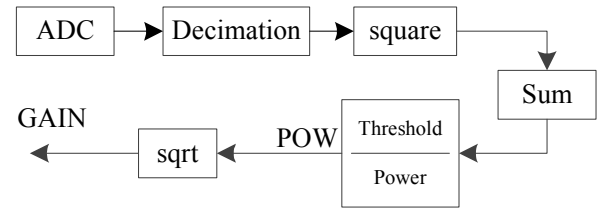


그림 8. 자동이득조절 과정
Fig. 8. Automatic Gain Control process

수신신호의 신호와 잡음의 전력을 도출하기 위해 식 (2)의 y_k 를 얻는다.

$$y_k = r_k a_k^* = \sqrt{E_s} + n_k, \quad 1 \leq k \leq P_N \quad (2)$$

여기에서 a_k^* 는 프리앰블의 켈레복소수이고 P_N 은 프리앰블의 개수이다. 식 (2)의 y_k 로부터 수신 신호의 전력은 식 (3) ~ (5)의 과정으로 얻을 수 있다.

$$P_{total} = \frac{1}{P_N} \sum_{k=1}^{P_N} |y_k|^2 \approx E_s + E\{n_k^2\} \quad (3)$$

$$= E_s + N_0$$

$$P_N = \frac{1}{2} \frac{1}{P_N - 1} \sum_{k=1}^{P_N - 1} |y_{k+1} - y_k|^2 \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{1}{P_N - 1} \sum_{k=1}^{P_N - 1} |n_{k+1} - n_k|^2$$

$$\approx \frac{1}{2} [E\{(n_{k+1})^2\} + E\{(n_k)^2\}] = N_0$$

$$P_s = P_{total} - P_N \quad (5)$$

위의 과정으로 도출한 신호와 잡음 전력을 이용하여 L-대역 조립체의 이득을 조절하고, 추가 20 dBm의 이득은 디지털 모델 조립체에서 처리하도록 하였다. 디지털 모델 조립체의 FPGA (Field Programable Gate Array)에서 이득 조절을 위해 정

확한 전력 측정을 위해 본 논문에서는 A/D 컨버터를 14 비트로 설정하였으며 전력측정에 유효한 프리앰블의 개수가 제한적인 단점을 보완하기 위하여 프리앰블뿐만 아니라 데이터 필드의 전력을 측정해 AGC 과정에 필요한 이득을 도출하였다.

2.4. 전산실험결과

제안하는 실시간 AGC의 성능을 확인하기 위해 앞서 본론 2에서 살펴본 위성모형을 구현하여 그림 6의 AGC를 적용하였으며 시험환경은 그림 8과 같이 구성하였으며 전산 시험의 주요 파라미터는 표 2와 같다.

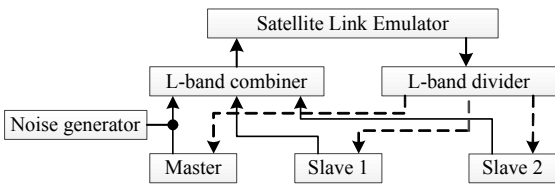


그림 9. 시험환경구성
Fig. 9. Structure of the test environment

표 2. 전산 시험의 주요 파라미터
Table 2. Computer simulation parameters.

	Master(Tx)	Slave1(Tx)	Slave2(Rx)
Time slot allocation	0, 2, 4, 6,...	1, 3, 5, 7,...	receive all time slot
Tx Signal Power	-65 dBm	-15 dBm	-
frequency offset	25 kHz	0 kHz	-

그림 9에서 마스터는 제안하는 AGC의 최소 수신레벨인 -65 dBm으로 짝수번째 타임 슬롯에 데이터를 송신한다. 이때의 주파수 오프셋은 25 kHz로 설정하였다. 그리고 1번 슬레이브는 AGC의 최대 수신레벨인 -15 dBm으로 홀수 번째 타임 슬롯에서 데이터를 송신하며 2번 슬레이브는 마스터와 1번 슬레이브에서 송신한 신호를 모두 수신하여 데이터를 확인한다. 또한 최저 수신레벨 (-65 dBm) 기준으로 신호대잡음비 (SNR, Signal-to-Noise Ratio)를 설정하여 비트 오류율을 확인하였다.

이 과정에서 실시간 AGC가 동작하기 위해서는 그림 7에서와 같이 프리앰블 수신과정 중 수신 전력을 측정 (66.77 usec)하여 이득을 도출해야 한다. 또한 도출한 이득을 L-대역 조립체와 디지털 모델

조립체에 실시간으로 적용하여야 시스템이 정상적으로 동작할 수 있다.

그림 10은 제안하는 AGC를 위성 모델에 적용하여 표 2와 같은 환경에서 위성 통신시스템의 비트오율 (BER, Bit Error Rate)을 확인한 결과이다. 그림 10에서 확인 할 수 있듯이 이론적인 성능과 0.7 dB 이내의 성능 열화를 확인하였다. 0.7 dB의 성능 열화는 하드웨어 구현 손실로 생각할 수 있다.

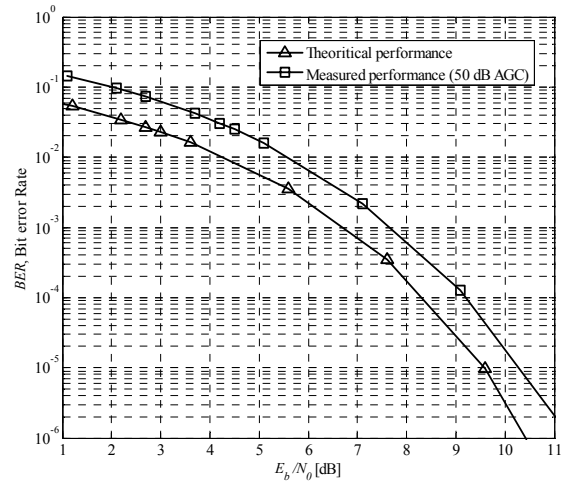


그림 10. 위성 TDMA 시스템의 비트오율
Fig. 10. BER performance for the satellite TDMA system.

III. 결 론

본 논문에서는 위성 TDMA 통신시스템을 위한 50 dB의 동작범위를 갖는 타임슬롯 단위로 이득을 제어할 수 있는 실시간 디지털 AGC를 제안하였으며 이는 이론적인 성능에 0.7 dB 이내로 근접한 성능을 제공한다. 제안하는 알고리즘을 적용한 위성 TDMA 통신시스템은 자연적 혹은 인위적으로 신호 감쇄가 발생하여도 안정적인 통신 링크 구성이 가능함을 확인하였으며 본 결과는 추후 위성 TDMA 통신시스템 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

References

[1] Kamilo Feher, Digital Communication satellite / Earth station engineering, Prentice-Hall, 1983
 [2] US DoD, Network centric warfare report to congress, Jul. 2001.
 [3] ETSI EN 301 790 V14. 1 Digital Video

Broadcasting (DVB) : interaction channel for satellite distribution systems, Sep. 2005

[4] B. Sklar, Digital communications by Satellite, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1977

[5] Donald S. Arnstein, "Smart AGC : A New Anti-Jam Device for Military Satellite systems," MilCOM, 1991

[6] John G. Proakis, Digital communications-5/E, McGraw Hill, 2007

[7] Z. Y. Choi and Y. H. Lee, "Frame synchronization in the presence of frequency offset," IEEE Trans. Commun., vol. 50, no. 7, pp.1026-1065, Jul. 2002

[8] J.M Kim and C. S Eun, "Burst mode AGC loop and preamble detection for VDL mode-2," KICS, vol. 34, no. 7, pp.706-714, Jul. 2009

[9] Madhow, U., "Automatic gain control for ADC-limited communication," Globecom 2010 , pp. 1-5 Dec. 2010

[10] M. Zhou, "A compact automatic gain control loop for GNSS RF receiver," IEEE International conf.. pp. 248-286, Nov. 2010

[11] M.S. Kim, "Design and analysis of an automatic gain control scheme for high speed satellite communications," IEICE Trans commn., vol. E83-B pp. 99-102, Jan. 2000

이 희 수 (Huisoo Lee)



고리듬

2008년 2 월 충남대학교 전기
정보통신공학부 졸업
2010년 2 월 충남대학교 전자
전파정보통신공학과 졸업
2010년 3월~현재 국방과학연
구소 연구원
<관심분야> 위성통신, 재밍 알