

# 군지연 특성을 고려한 위성통신 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of the Satellite Communication System Including the Group Delay Characteristics

맹준호 · 유흥균 · 김기근\* · 이대일\* · 김도선\*

Jun-Ho Maing · Heung-Gyoon Ryu · Kikeun Kim\* · Dae-Il Lee\* · Do-Sun Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 group delay가 위성 통신 시스템에 미치는 영향을 분석한다. 일정한 상수가 아닌 group delay에서는 신호의 위상 왜곡이 발생한다. Group delay는 특성에 따라 linear, parabolic, cubic으로 모델링할 수 있다. 각각의 group delay 특성을 위성통신 시스템에 적용하여 BER(bit error rate)을 분석한다. Group delay는 신호의 대역폭이 커질수록 신호에 미치는 영향이 커지는 특성을 갖고 있으며, 위성 통신 시스템의 정보 전송속도가 1 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps의 세 가지인 경우에 대하여 BER을 분석한다. 이때 channel coding으로는 구속장이 7이고, code rate 1/2인 convolution coding과 7/8 punctured convolution coding를 이용한다. BER = 10<sup>-5</sup>을 만족하는 요구 SNR을 관찰하였을 때, group delay의 영향을 받은 데이터는 group delay의 영향을 받지 않은 데이터에 비해 요구 SNR은 최소 0.3 dB에서 최대 4.4 dB으로 증가한다. 이들 중 group delay에 의한 영향이 가장 큰 경우는 group delay의 특성이 linear 특성이고 channel coding이 7/8 punctured convolution coding, 전송속도가 8 Mbps인 경우로서 이때 요구 SNR은 4.4 dB 증가한다.

### Abstract

This paper addresses the effect of group delay in satellite communication system. Phase of signal is distorted by the non-constant group delay. Group delay can be modeled as linear, parabolic and cubic type according to the polynomial characteristic. We investigate BER performance of satellite communication system with each 3 kinds of group delay. As signal bandwidth becomes wider, group delay makes more influence on the signal. BER performance of satellite communication system is found when data rates are 1 Mbps, 4 Mbps and 8 Mbps. Convolution coding with the code rate of 1/2 or 7/8 is used. At BER = 10<sup>-5</sup>, system with group delay needs more SNR of minimum 0.3 dB to maximum 4.4 dB than system without group delay. The worst case of BER performance happens in the linear group delay, 7/8 punctured convolution coding and 8 Mbps. The required SNR is increased by 4.4 dB at this worst case.

Key words : Group Delay, Nonlinearity, Satellite System and Convolution Coding

### I. 서 론

초고속 정보 통신에서는 디지털 통신 시스템의

대역폭이 증가한다. 이는 서비스 매체 중의 하나인 위성 통신 시스템의 요구 대역폭 또한 증가한다는 의미이다. 위성시스템에서 디지털 데이터의 전송 성

충북대학교 전자공학과 및 컴퓨터정보통신연구소(Dept. of Electronic Engineering and Research Institute of Computer, Information & Communication, Chungbuk National University)

\*국방과학연구소 4체계 위성시스템연구팀(4th Development Center Satellite System Department, Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20031107-148

· 수정완료일자 : 2004년 1월 13일

능은 지상기지국의 RF 시스템과 위성 중계기 채널 특성에 의해 영향을 받는다. 채널 특성은 phase noise와 group delay, non-linearity, frequency drift 등이 있다. 전송속도가 커질수록 group delay와 non-linearity, phase noise에 의한 영향이 커진다. 광대역 채널에서는 low amplitude flatness와 low group delay의 특성을 갖는 것이 힘들다. 그러므로 멀티미디어 전송시스템과 같이 하나의 시스템에서 여러 가지 데이터 속도를 갖는 서비스를 효과적으로 제공하기 위해서는 요구되는 bit error rate와 다양한 서비스의 조건상에서의 위상 왜곡을 발생시키는 group delay에 대한 연구는 중요하다.

위성 통신 시스템에서 constant data rate의 경우에서 채널 감쇄 요인인 frequency drift와 jitter의 영향에 대한 연구가 있었다<sup>[1],[2]</sup>. 그러나 채널 감쇄요인 중의 하나인 group delay의 영향 분석이 이루어지지 않았고, 이때 고려된 위성 통신 시스템은 다양한 전송속도를 갖지 않는 constant data rate의 위성통신시스템만이 고려되었다. 1999년 Applied Radio Labs에서는 group delay의 정의와 전달함수를 이용한 group delay를 연구하였다<sup>[3]</sup>. 여기서는 group delay를 constant group delay으로만 소개하였고, group delay를 근사화된 표현으로 나타내지 않았다. 또한 일반적인 filter들에서의 group delay만 나타내었고, group delay가 시스템에 미치는 영향에 대한 연구는 없었다.

본 논문에서는 위성통신 시스템의 신호 품질에 영향을 주는 채널 왜곡 요소 중에서 매우 중요한 group delay의 영향을 분석한다. group delay를 linear, parabolic, cubic의 세 가지 경우로 모델링하고 각각의 경우에 대하여 BER 전송 특성을 분석한다. 여러 가지 전송속도의 위성 통신 시스템에 대한 분석을 위하여, 전송속도를 1 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps의 경우에 대해 분석을 한다. 이때 데이터는 1/2 convolution coding, 7/8 punctured convolution coding를 이용한 channel coding이 있는 경우이다.

## II. Group delay 정의와 특성

다음과 같은 전달 함수를 갖는 선형 시스템 블록을 고려한다.

$$H(jf) = A(jf)e^{j\varphi(jf)} \quad (1)$$

여기서  $A(jf)$ 는 시스템의 주파수에 대한 amplitude 응답이고,  $e^{j\varphi(jf)}$ 는 주파수에 대한 위상 응답이다. group delay는 다음과 같이 정의된다.

$$\tau(f) = -\frac{d\varphi(f)}{df} \quad (2)$$

즉, group delay는 주파수에 따른 음(-)의 위상 변화율이다. group delay를 다시 전달함수의 형태로 표현한다면 다음과 같이 표현된다<sup>[3]</sup>.

$$H_{GD}(jf) = e^{-j\varphi(jf)} = e^{-j2\pi\tau(f)} \quad (3)$$

여기서  $T(f)$ 는  $\int \tau(f) df$ 로서 전달 함수 측면에서 보면, group delay는 신호 대역폭 내에서 각 주파수 성분에 따른 시스템 통과 시간의 차이이며, non-constant group delay인 경우는 신호의 위상 왜곡으로 나타난다. 이 위상 왜곡은 통신 시스템의 BER 성능을 악화시킨다. 위에서 표현된 group delay를 근사화하면 다음과 같은 모델로 표현할 수 있다<sup>[4]</sup>.

$$\text{Group Delay} = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + \dots \quad (4)$$

$a_0$ 는 constant group delay이고 두 번째 항부터 네 번째까지의 항은 linear group delay, parabolic group delay, cubic group delay를 나타낸다.  $a_1, a_2, a_3$ 는 시스템 특성에 의해 나타나는 group delay 관련 상수이다.

## III. 위성통신 시스템에서의 군지연의 영향

이 논문에서 성능 분석을 위한 위성 통신 시스템은 다음과 같다. 제시한 위성 통신 시스템은 각각 1 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps의 전송속도를 가지고 있고, 변조 방식은 QPSK 방식이라고 가정한다. 지상국과 중계기는 각각 다른 group delay 값을 갖고 있다고 본다. 지상국과 중계기의 group delay의 특성을 다음과

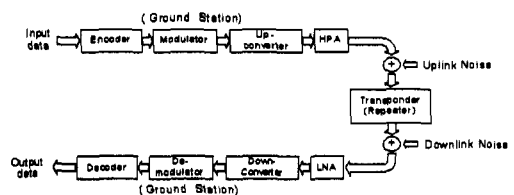


그림 1. 위성 통신 시스템의 블럭구성도  
Fig. 1. Block diagram of satellite communication system.

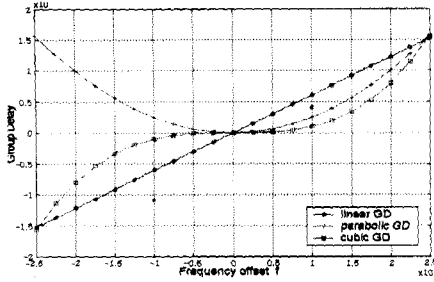


그림 2. 지상국의 군지연 특성  
Fig. 2. Group delay characteristics of ground station.

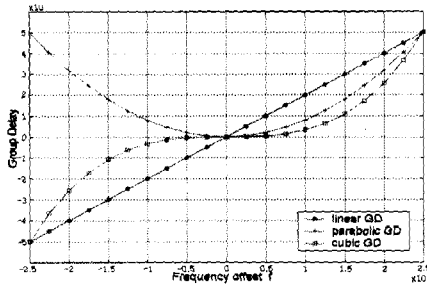


그림 3. 중계기의 군지연 특성 곡선  
Fig. 3. Group delay characteristics of transponder.

같이 설정한다.

그림 2와 3은 50 MHz의 전체 신호 대역폭을 갖는 위성 통신 시스템에서 각 group delay의 특성을 보여 준다. 세 가지 특성 중에서 linear group delay는 나머지 두 특성에 비해, 신호 대역폭의 중심에 있는 반송 주파수로부터의 frequency offset이 커질수록 큰 group delay 값을 갖는다. 즉 linear group delay가 신호에 가장 큰 위상 왜곡을 일으킨다는 것을 알 수 있다. 이와 반대로 cubic group delay는 신호에 가장 작은 위상 왜곡을 일으킨다.

위 특성 곡선에서 보듯이 지상국의 group delay는 50 Mhz 대역에서 최대  $\pm 16$  ns의 delay를 갖고 있고 중계기의 경우는 기지국의 delay 보다 큰  $\pm 50$  ns의 delay를 갖고 있다. 이는 지상국보다 중계기에서 group delay에 의한 신호의 위상왜곡이 크다.

위성통신 시스템에서 사용하는 convolution coding의 block diagram은 그림 4와 같다.

여기서 시행된 채널코딩인 1/2 convolution coding와 7/8 punctured convolution coding를 표 1로 정의한다.

기지국에서 전송하고자 하는 데이터는 encoder에

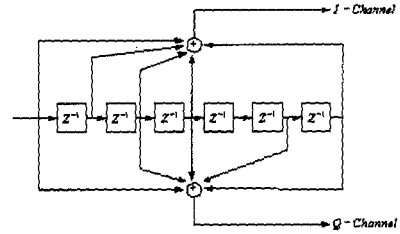


그림 4. 길쌈부호 블럭 구성도  
Fig. 4. Block diagram of convolution coding.

표 1. 길쌈부호

Table 1. Convolution coding.

	Code rate	
	1/2	7/8
전송 패턴	I : 1 Q : 1	I : 1 0 0 0 1 0 1 Q : 1 1 1 1 0 1 0
1 = transmitted bit 0 = non-transmitted bit		

서 code rate이 1/2인 convolution coding 또는 code rate이 7/8인 punctured convolution coding으로 channel coding이 이루어진다. 그 다음 이 신호는 QPSK 신호로 변조된다.

$$d(t) = d_1(t) \cos w_c t + d_2(t) \sin w_c t, \quad (d_1(t), d_2(t) = +1, -1) \quad (5)$$

이 데이터들은 중계기로 전송되기 전에 기지국의 group delay에 의한 영향과, 상향링크 잡음이 첨가된 다음, 중계기로 전송된다.

$$r_u(t) = d(t) e^{-j2\pi f_{gc}(t)} + n_{up}(t), \quad (6)$$

중계기에서 받은 데이터는 다시 기지국으로 전송되기 전에 중계기의 group delay 특성의 영향을 받은 다음, down link noise가 첨가된 후 기지국으로 전송되게 된다.

$$r_{gs}(t) = d(t) e^{-j2\pi f_{gc}(t)} e^{-j2\pi f_{gd}(t)} + n_{up}(t) e^{-j2\pi f_{gc}(t)} + n_{down}(t), \quad (7)$$

데이터  $d(t)$ 는 기지국의 group delay, 중계기의 group delay, 채널 상의 잡음 항에 의해 왜곡이 생기게 된다.

#### IV. 시뮬레이션 결과와 논의

본 논문에서 지상국과 중계기의 group delay의 특성은 위에서 제시한 delay 값을 사용하기로 한다. 지상국과 중계기의 각각의 group delay의 모델은 두 시스템이 동일한 모델을 갖는다고 설정한다. 즉 지상국의 group delay의 특성이 linear group delay라면, 중계기 또한 linear group delay의 특성을 갖는다. 그 밖의 모델에 대해서도 마찬가지이다.

Channel coding은 위에서 제시한 1/2 convolution coding과 7/8 punctured convolution coding을 사용한다. 통신 채널상의 잡음은 AWGN으로 가정한다. 잡음은 up-link 잡음과 down-link 잡음이 있는데, 이 중 up-link 잡음은 SNR 10 dB의 값으로 고정하고 down-link의 SNR을 변화시키면서 분석한다. 그림 5~7은 channel coding을 1/2 convolution coding일 때 시뮬레이션으로 구한 BER 그래프이고, 그림 8~10은 7/8 punctured convolution coding 일 때 BER 그래프이다.

Channel coding의 관점에서 그룹을 관찰하면, 같은

group delay의 특성을 갖는 조건에서는 상위 그룹에 비해 하위 그룹의 BER 성능이 나쁜 것을 볼 수 있다. 이는 coding 효과의 차이로 인한 결과이다.

Group delay의 특성의 관점에서 관찰을 하면, 전체적으로 보았을 때 group delay 특성이 linear 특성일 때 BER 성능이 가장 나쁜 것을 볼 수 있고, 반대로 group delay 특성이 cubic 특성일 때는 BER 성능이 가장 좋은 것을 볼 수 있다. 이는 위에서 제시한 group delay의 특성 곡선인 그림 2와 그림 3에서, linear 모델이 offset frequency 값이 클수록 가장 큰 delay 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 그래서 linear 특성이 신호의 위상왜곡을 가장 많이 주고, 반대로 cubic 모델의 경우는 가장 작은 delay 값을 갖기 때문에 신호에 위상왜곡을 가장 작게 준다는 사실에서 확인할 수 있다. 모든 BER 성능 그래프들을 data rate의 측면에서 관찰해 보면, 1 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps 중에서 1 Mbps의 경우가 BER 성능이 가장 좋고, 8 Mbps

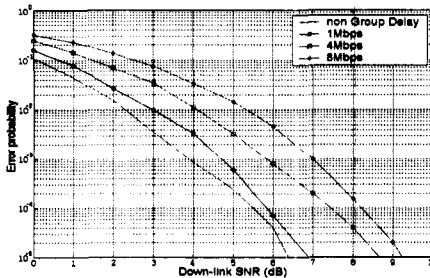


그림 5. Linear GD 특성에서 1/2 길쌈부호일 때 BER 곡선  
Fig. 5. BER curve of linear GD in 1/2 convolution coding.

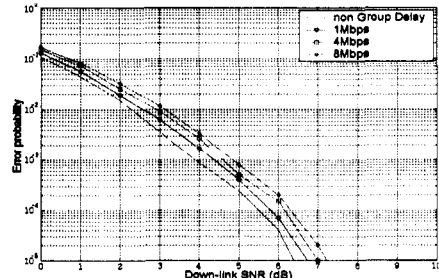


그림 7. Cubic GD 특성에서 1/2 길쌈부호일 때 BER 곡선  
Fig. 7. BER curve of cubic GD in 1/2 convolution coding.

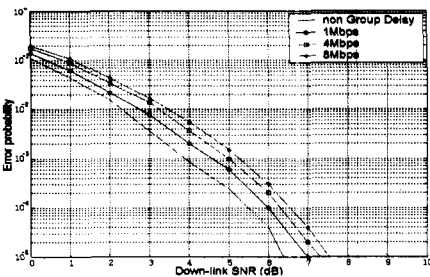


그림 6. Parabolic GD 특성에서 1/2 길쌈부호일 때 BER 곡선  
Fig. 6. BER curve of parabolic GD in 1/2 convolution coding.

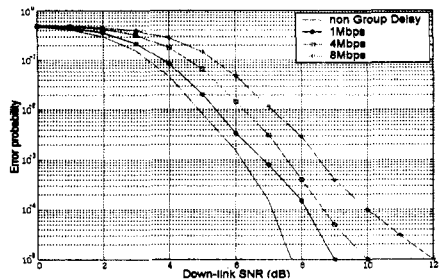


그림 8. Linear GD 특성에서 7/8 길쌈부호일 때 BER 곡선  
Fig. 8. BER curve of linear GD in 7/8 convolution coding.

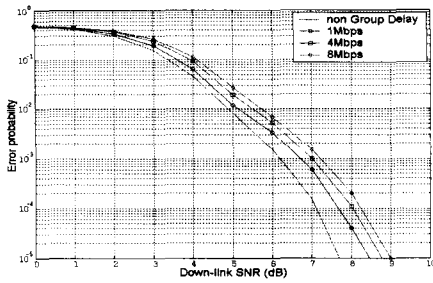


그림 9. Parabolic GD 특성에서 7/8 길쌈부호일 때 BER 곡선

Fig. 9. BER curve of parabolic GD in 7/8 convolution coding.

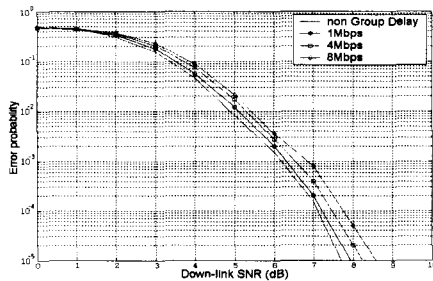


그림 10. Cubic GD 특성에서 7/8 길쌈부호일 때 BER 곡선

Fig. 10. BER curve of cubic GD in 7/8 convolution coding.

의 경우가 BER 성능이 가장 나쁜 것을 볼 수 있다. 이는 신호의 대역폭이 넓을수록 신호는 group delay의 영향을 더 많이 받는다는 사실을 확인할 수 있다.

Group delay로 인하여 시스템의 BER 성능이 가장 악화되는 경우는 linear group delay, 7/8 punctured convolution coding, 8 Mbps의 경우로써, 그림 8의 결과이다. BER = 10<sup>-5</sup>을 기준에서 Group delay가 없고

표 2. 1/2 길쌈부호일 때 BER = 10<sup>-5</sup>를 만족하는 SNR

Table 2. Required SNR in 1/2 convolution coding at BER = 10<sup>-5</sup>.

	Data Rate			
	Non GD	1 Mbps	4 Mbps	8 Mbps
Linear GD		6.9 dB	8.6 dB	9.15 dB
Parabolic GD	6.3 dB	7 dB	7.2 dB	7.5 dB
Cubic GD		6.6 dB	7 dB	7.15 dB

표 3. 7/8 길쌈부호일 때 BER = 10<sup>-5</sup>를 만족하는 SNR

Table 3. Required SNR in 7/2 convolution coding at BER = 10<sup>-5</sup>.

	Data Rate			
	Non GD	1 Mbps	4 Mbps	8 Mbps
Linear GD		9 dB	10 dB	12 dB
Parabolic GD	7.6 dB	8.5 dB	8.7 dB	9 dB
Cubic GD		7.9 dB	8.15 dB	8.5 dB

동등한 조건의 경우보다 요구 SNR이 4.4 dB 크다. BER = 10<sup>-5</sup>을 만족하는 요구 SNR은 표로 정리한다.

## V. 결 론

본 논문에서는 group delay가 위성 통신 시스템에 미치는 영향에 대한 분석하였다. Group delay는 특성에 따라 linear, parabolic, cubic으로 모델링 하였고, 일정한 상수가 아닌 group delay에서는 신호의 위상 왜곡이 발생한다. 신호의 대역폭이 늘어나면 group delay의 영향이 커지기 때문에 시스템의 BER 성능은 악화된다. 이 사실은 시뮬레이션 결과로부터 확인할 수 있다. BER = 10<sup>-5</sup>을 기준에서, 이 논문에서 분석한 group delay는 시스템의 요구 SNR을 0.3 dB에서 4.4 dB까지 증가시켰다. 이들 중 시스템의 BER 성능을 가장 악화시키는 경우는 group delay가 linear model이고, 전송속도가 8 Mbps, channel coding이 7/8 punctured convolution coding일 때이다. 이때 요구 SNR은 group delay를 고려하지 않은 데이터에 비해 4.4 dB가 크다.

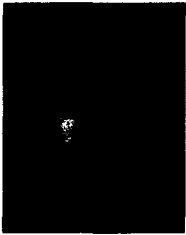
위성통신 시스템은 LDR(low data rate) 시스템에서 점차적으로 HDR(high data rate) 시스템으로 진보하고 있다. 그에 따라 data rate는 수 Mbps 또는 수십 Mbps로 높아질 것이다. 시스템의 대역폭 또한 늘어날 것이고 이로 인한 group delay의 영향을 보상해주는 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] E. D. Sunde, "Pulse transmission by AM, FM and PM in the presence of phase distortion", *BSTJ*, vol. XL, pp. 353-533, 1961.

- [2] Edward Farell, P. L. Nake, "90 Mbits/s digital performance of Canada's 14/12Ghz ANIK C earth station", *IEEE Trans. On Commun*, vol. COM-29, no. 10, pp. 1502-1513, 1981.
- [3] Appiled Radio Labs, "Group Delay Explanation and applications", *Appiled Radio Labs Magazine*, Nov. 1999.
- [4] Young-Wan Kim, Yun-Jeong Song, Nae-soo Kim and Dong-Chul Park, "Performance Analysis for Channel Impairment in High Data Rate Satellite Communication Service", *IEEE Microwave and Optoelectronics Conference*, vol. 1, pp. 6-10, Aug. 2001.
- [5] L. H. Charles Lee, *Convolutional Coding Fundamentals And Applications*, Artech House Publishes, 1997.
- [6] John G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw Hill Inc., 2001.

맹 준 호



2003년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 위성통신시스템, DSP 통신신호처리, 확산 스펙트럼 시스템 등

이 대 일



1995년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)  
 1997년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1997년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
 [주 관심분야] 위성통신시스템, 대역확산통신

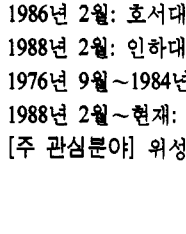
유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 정교수  
 2002년 3월~현재: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장  
 1999년~현재: IEEE 논문 심사위원  
 2002년: 한국전자과학회 학술상 수상

[주 관심분야] 디지털 통신 공학, 이동/위성통신시스템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리

김 도 선



1986년 2월: 호서대학교 전자공학과 (공학사)  
 1988년 2월: 인하대학교 전자통신과 (공학석사)  
 1976년 9월~1984년 2월: 금성전기 (주) 연구소  
 1988년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
 [주 관심분야] 위성통신시스템, 증계기, 위성운용국

김 기 근



1990년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1992년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1992년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
 [주 관심분야] 위성통신시스템, 주

파수도약통신