

DS-SS방식을 이용한 유성 버스트 통신의 도통율 개선

정희원 권혁승*

Improvement of duty rate on Meteor Burst Communication using DS-SS system

Hyeog-Soong Kwon* Regular Member

요 약

MBC(meteor burst communications)는 그 전송로의 많은 장점에도 불구하고 도통율이 수%이하로 낮다는 큰 결점이 있다. 이를 위해 큰 경제적 부담 없이 전송 채널의 도통율을 개선하는 방법으로서 참조부호 방식을 이용한 DS(direct sequence)-SS(spread spectrum)방식을 적용 하였다. 이 방식은 동기신호의 포착이나 유지에 소요되는 시스템을 생략할 수가 있어서, MBC가 가지는 경제성을 만족하면서 전송채널의 도통율을 개선할 수가 있다. 이 방법으로 개선되는 효과는 수신신호가 약한 환경에서 보다 더 큰 것으로 나타나는데 시뮬레이션에 의하면 평균 버스트 길이가 50ms 인 환경에서는 처리이득이 10dB만 되어도 버스트 길이는 220%를 초과하여 160ms 가 되며 발생빈도는 3.1 배가 증가한다는 것을 알 수가 있었다.

Key word: Meteor Burst Communication(MBC),Direct Sequence Spread Spectrum Communication(DS/SS)

ABSTRACT

In spite of many advantages of Meteor Burst Communications(MBC) on its transmission channel, the fact that its duty rate is less than 10 percents is a considerable deficiency of MBC. To overcome with this deficiency without paying large cost, we use a direct sequence(DS)-spread spectrum(SS) method applying a reference code to improve the duty rate on the transmission channel. This method doesn't need to add the components for acquisition or tracking the signal so that it keeps the cost efficiency the MBC has as well as improves the duty rate on the transmission channel.

The improvement by this method is more significant when the received signal is weak. Simulation results show that if we increases the process gain (Gp) by 10 dB when the average burst length is 50ms, the burst length tends to be extended more than 220% of its average length, 160ms, and the frequency of generating this phenomenon increases 3.1 times more.

I. 서 론

지구 표면에는 일일 수백억 개 이상의 우주진이 낙하하고 있는데 이들은 대기권에 돌입하면서 80~100km 상공에 수 100m 길이의 플라스마주,

유성 트레일(meteor trail)을 발생한다. 유성 트레일은 수 밀리 초에서 수 초 동안 존속하고는 확산 소실되지만 그 동안 VHF/UHF 대역의 전자파를 잘 반사하기 때문에 이것을 이용하면 중계소 없이 2000km 까지의 안정된 장거리 BLOS(beyond line of sight) 무선 전송로를 구현할 수가 있다.

* 밀양대학교 정보통신공학부 (hskwon@mnu.ac.kr)

논문번호 : 030225-0526, 접수일자 : 2003년 5월 26일

이 방식으로 구성되는 전송로(transmission path)는 평균 수 100ms에 1회의 빈도로서 수 백ms 동안 지속되는 버스트(burst) 신호의 형태이지만 전송 특성은 대단히 안정되어 있어서 최근의 디지털 기술을 이용하면 우수한 데이터 통신 시스템을 구현할 수가 있다. 이 방식은 100km 상공의 유성 트레일을 수동중계점으로 하여 2000km 내외까지 불과 100~200W의 RF출력으로서 전송이 가능하기 때문에 "가난한 자의 위성통신(poor man's satellite)"이라고도 불리고 있는 극히 경제적인 시스템이다. 뿐만 아니라 이 통신로는 유성 트레일이 송신국과 수신국 사이에서 일정한 기하학적 조건이 만족되는 위치에 발생할 때만 형성이 되고 그 반사파는 풋프린터(foot print)라 불리는 수신국 주위의 좁은 지역에만 도달하는 까닭에 일종의 시분할(TDM)과 공간분할(SDM) 다중 전송로의 특성을 지닌다.[1] 이 특징을 이용하면 동일 지역 내에 있어서도 동일한 주파수를 각각 다른 통신계와 공유할 수가 있으며, 원격측정이나 원격감시 시스템에 있어서의 폴링(polling)처리도 쉽게 이루어진다는 장점이 있다. 이 밖에도 중계점이 유성 트레일로 되어 있기 때문에 각종 자연적 인위적 장애에도 생존율이 높아서 재해통신이나 군용통신에 적합하다는 등 많은 장점도 지니고 있다.[2,3]

유성 버스트 전송로의 가장 큰 결점은 통신로의 형성이 단속적이며, 총 도통율(duty rate)이 2~3% 정도로 낮다는 점이다. 이 결점으로 인하여 유성버스트통신(meteor burst communication : MBC)이 일반 민수용이나 고속 데이터 전송망으로는 널리 응용되지 못하고 있었으나, 지금은 많은 개선책이 개발, 보고 되어있다. 그 대표적인 것으로는 지향성 적응안테나의 사용, 고출력 송신기의 사용, 저잡음 지수 수신기의 사용, 다중 다이버시티 수신법의 사용 등이다[1,4,7]. 그러나 이 방법들은 필연적으로 시스템 하드웨어구성의 복잡화, 비용의 상승으로 MBC 방식의 가장 큰 장점중 하나인 경제성을 크게 저하시키는 결과를 가져온다는 문제점이 있다.

본 논문은 여기에 주목한 것으로서 큰 경제적 부담 없이 전송 채널의 도통율을 개선하는 방법으로서 확산 스펙트럼 (spread spectrum: SS) 방식을 MBC에 적용할 것을 제안한다. 참조부호방식을 이용한 DS(direct sequence)-SS을 적용하여 SS방식이 가지는 복잡한 하드웨어 구성을 피하며, PN(pseudo noise)부호를 전송선로에 참조신호로서 송출하고, 모든 단말기는 이 신호로부터 자신에게 할당된 비트

천이 신호를 만들어 이것을 송출신호의 확산과 수신신호의 역확산(상관)에 사용한다. 따라서 이 시스템은 동기신호의 포착이나 유지에 소요되는 시스템을 생략할 수가 있어서, MBC가 가지는 경제성을 만족하면서 전송채널의 도통율을 개선할 수가 있다.

II. 유성 버스트의 특성과 도통율의 개선

2.1 유성 버스트의 종류와 특성

유성 버스트 통신로는 간단한 광 기하학적 법칙에 의거 그림 1과 같이 송, 수신국을 초점으로 하는 회전타원면 상에 유성 트레일이 발생하였을 경우에만 전송통신로(path)가 형성이 된다.

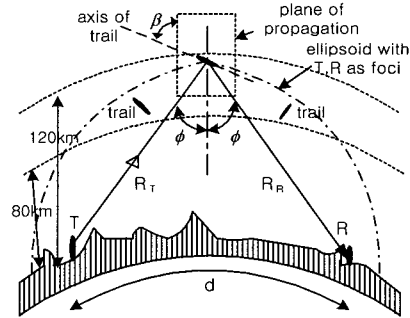


그림 1. 유성 트레일과 버스트의 전파경로
Fig. 1. Radio path of meteor trail and burst.

이 때 수신되는 버스트의 파형은 대체로 그림 2, 3과 같은 두 가지 유형으로 분류되는데 플라즈마의 전자선 밀도(electron line density)가 $2 \times 10^{14}/m^2$ 이하가 되는 트레일로부터는 그림 2와 같은 지수함수형의 파형이 수신되고, 그 이상의 선밀도를 지닌 트레일로부터는 그림 3과 같은 비교적 큰 반원형의 파형이 관측된다. 따라서 전자를 저밀도 버스트, 후자를 고밀도 버스트로 분류 한다.

고밀도 트레일은 VHF 영역에서는 대체로 크기가 10-3g 이상이 되는 우주진에서 발생하며 버스트의 에너지도 크고 회선의 도통시간도 길지만, 발생빈도가 크지 않고 그 양적인 분포 또한 크기가 클 수록 급격하게 적어지는 까닭에 이것을 기준으로 통신회선을 설계할 수가 없다. 따라서 그림 4와 같이 운석의 질량과 트레일의 전자선 밀도를 일일 낙하수와와의 관계를 볼 때, 비록 버스트의 에너지는 적으나 발생빈도가 아주 높은 저밀도 버스트를 대상으로 설계하는 것이 일반적이다. 이러한 버스트 파형은

기하학적 해석을 통해 이론적으로 구할 수가 있는데, 여기서는 버스트의 대부분을 차지하는 저밀도 버스트를 대상으로 하여 검토한다.[4]

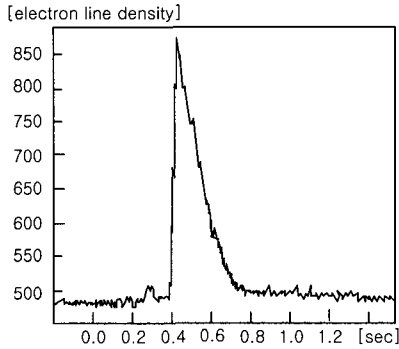


그림 2. 저밀도 버스트 파형
Fig. 2. Wave Shape of Undersense Burst

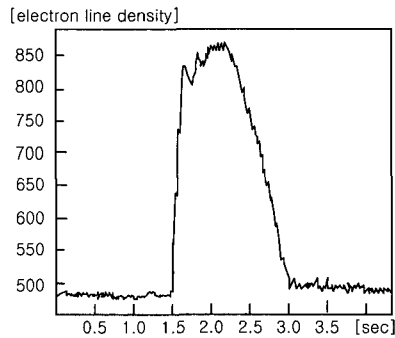


그림 3. 고밀도 버스트 파형
Fig. 3. Wave Shape of Overdense Burst

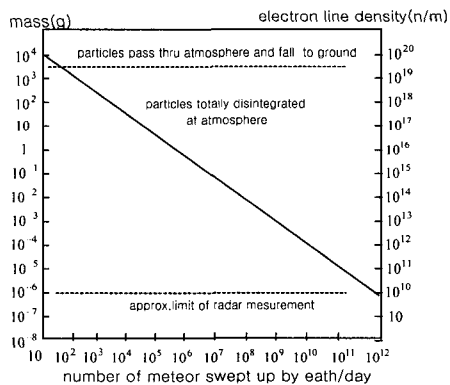


그림 4. 운석의 질량과 트레일의 전자선밀도 및 일일 낙하수와와의 관계
Fig. 4. Meteor's mass and electron line density of trail and the number of mass swept by earth per day.

2.2 MBC 통신로의 도통율

유성 버스트 통신 시스템에 있어서 가장 특이한 것은 통신로가 단속적으로 구성된다는 점이며 관측 시간 t_0 에 대한 통신로의 지속시간 t_b 는 도통율 (duty rate)로 정의되어 통신로의 성능을 결정짓는 파라미터가 된다.

$$\Gamma = \frac{\sum t_b}{\sum t_0} \quad (1)$$

지금, 그림 5와 같이 빔 폭 δ 인 안테나로 송신전파를 발사하는 경우를 가정한다면, 그 빔 속에 발생하는 모든 트레일로 부터의 산란파는 기하학적 조건에 맞는 위치의 산란파만이 안테나에 포착되어 수신기에 입력된다. 따라서 이 통신로의 도통율은 다음 식에 의해서 계산된다.

$$\Gamma = \int \int \int N_v(x, y, z) T_{ave}(x, y, z) dx dy dz \quad (2)$$

$N_v(x, y, z)$: 단위 체적의 공간에서 단위 시간에 발생하는 문턱전압을 초과하는 버스트의 수

$T_{ave}(x, y, z)$: 문턱전압을 초과하는 버스트들의 평균지속 시간

그림 5를 보다 단순화한 패스(path)모델로 치환하면 패스 도통율은 다음과 같이 된다.

$$\Gamma = \frac{N \cdot t_{ave}}{T} \quad (3)$$

여기서 N 은 T 동안 관측된 버스트의 총 수이다.

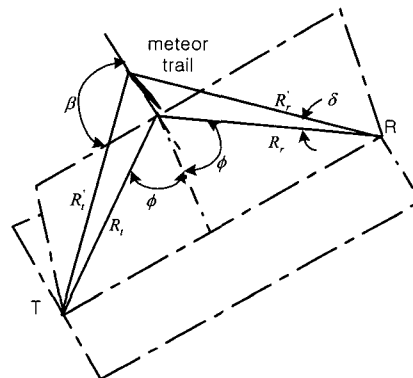


그림 5. 유성 트레일과 전파경로간의 기하학적 조건
Fig. 5. Geometric condition between meteor trail and radio path

2.3 저밀도 버스트의 수신전력과 지속시간

송신 안테나로부터 복사된 전자파는 저밀도 버스트에서 산란되어 수신안테나에 도달되는데 이 때의 수신 전력은 다음과 같은 식으로 나타낼 수가 있다.[5]

$$P_R = P_{RM} \cdot \exp\left(-\frac{2}{\tau} t\right) \quad (4a)$$

$$P_{RM} = P_T \cdot \frac{G_T G_R \lambda^3 q^2 r_e^2 \sin^2 \alpha}{16\pi^2 R_i R_r (R_i + R_r)(1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \phi)} \cdot \exp\left(-\frac{8\pi^2 r_0^2}{\lambda^2 \cdot \sec^2 \phi}\right) \quad (4b)$$

$$\tau = \left(\frac{16\pi^2 D}{\lambda^2 \cdot \sec^2 \phi}\right)$$

P_T, P_R : 송신전력, 수신전력

R_i, R_r : 유성 트레일 위치로부터 송신 안테나 및 수신 안테나까지의 거리

G_T, G_R : 송·수신 안테나 이득

λ : 파장

β : 트레일과 전자파의 전파평면(전자파의 경로를 포함하는 평면)간의 각도

ϕ : 입사각과 반사각 (R_i 와 R_r 의 반각)

α : 수신 안테나의 전기축과 수신파간의 각도

r_e : 전자의 반경

q : 유성 트레일의 전자밀도

r_0 : 유성 버스트의 초기 반경

D : Fresnel 영역에서의 트레일 중심의 확산 상수¹⁾

여기서 τ 는 수신신호 파형의 시정수이며 $t = \tau$ 에서 신호 진폭이 $\frac{1}{e}$ 이 되고 전력은 $\frac{1}{e^2}$ 이 된다. 즉, 저밀도 버스트는 발생 순간인 $t = 0$

1 확산계수 D는 트레일의 확산속도와 트레일에의 입사 및 반사각 그리고 파장에 따라 결정되는데 파장을 제외하면 모두가 트레일의 발생위치의 함수로서 고도 85 km 위치에 발생하는 경우는 $1m^2/s$ 정도, 115 km 위치에 발생하는 경우는 $140 m^2/s$ 정도임이 실측되어 있다.

에서 최대치 P 가 되었다가 시간이 지남에 따라 지수 함수적으로 감소하는 그림 6과 같은 파형이 된다. 이는 운석이 고속으로 대기중에 돌입하기 때문에 강력한 전자기체 기동이 순간적으로 형성되는 시간이 경과함에 따라 그 기체가 주위로 확산되어 소실되는 까닭이다. 수신기에서의 데이터 출력의 BER(bit error rate:BER)이 시스템에 허용되는 최소치를 초과하는 점을 문턱치(threshold) P_{th} 로 규정한다. 일반적으로 수신기의 문턱치는 수신기의 입력에 확산된 등가 잡음치에 의해 결정이 되며 수신기의 입력신호 P_R 이 이 값을 밑돌게 되면 BER이 허용치 이하가 되므로 회선이 차단된다. 따라서 수신전력 P_R 의 최대치 P 과 수신기의 문턱치 P_{th} 가 주어지면 버스트의 지속시간(burst duration :BD) t_b 는 다음과 같이 산출된다.

$$P = P_{th} \cdot \exp\left(\frac{2t_b}{\tau}\right)[W]$$

$$\text{또는 } t_b = \frac{\tau}{2} \cdot \log_e\left(\frac{P}{P_{th}}\right)[\text{sec}] \quad (5)$$

그림 6은 저밀도 버스트신호의 파형과 식(5)의 관계를 표시한 것으로서 수신기의 문턱치가 일정한 경우 입력신호의 초기치가 클수록, 버스트의 시정수가 클수록 지속시간은 길어진다는 것을 나타내고 있다.

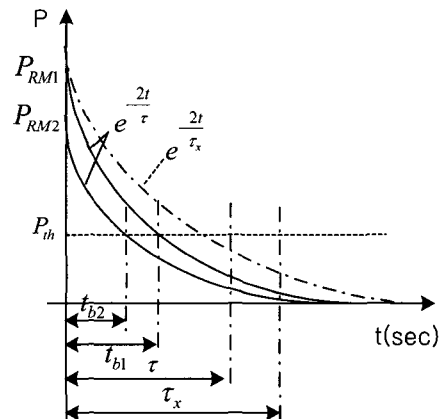


그림 6. 저밀도 버스트의 신호파형과 버스트 길이
Fig. 6. Wave shape of underdense and burst duration.

2.4 저밀도 버스트의 발생 수와 빈도

식(4a)에 의하면 유성적에서의 반사파는 유성적 내부의 전자 선밀도 q 에 비례하고 전자선밀도는 유성의 질량에 비례한다. 지금 질량이 m 와 $m + dm$ 사이의 유성에 입사하는 전계를 v 라고 한다면, $v d m \propto m^{-s} dm$ 의 관계가 있다고 볼 수 있으며 임의의 질량 m_1 보다 큰 유성에 입사하는 전계는 $v(m > m_1) \propto m_1^{-s+1}$ 이 된다. s 는 일반적인 독립유성(sporadic meteor)의 경우 정수 2가 된다.

질량과 전자 선밀도는 비례하므로 이것이 q_0 이 상인 유성적의 수 N 은

$$N(q > q_0) = c q_0^{-s+1} = c q_0^{-1} \tag{6}$$

이 된다. 여기서 $c = 1.3 \times 10^2 m^{-3} s^{-1}$ 로 한다면 N 는 매 초당 $1 m^2$ 평면에 떨어지는 유성적의 수가 된다.

식 (4a)에서 수신전력 $P = P_{th}$ 로 놓으면 이때의 유성적의 전자 선밀도 q_0 는 다음과 같이 된다.

$$q_0 = 6.31 \times 10^{15} \times R^{\frac{3}{2}} (1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}} \cdot (P_{th} / P_t G_R G_T)^{\frac{1}{2}} \cdot \lambda^{-\frac{3}{2}} \quad (1/m) \tag{7}$$

단, 여기서는 계산의 편의를 위하여 $R_t = R_r = R$ 로 하였다. 따라서 전자 선밀도가 q_0 이상이 되는 유성적의 수는 식(6)에 의해 구해진다.

$$N(q > q_0) = c q_0^{-1} = 0.206 \times 10^{-13} \times \frac{1}{\sqrt{R^3 (1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \phi)}} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \lambda^{\frac{3}{2}} \quad (m^{-3} s^{-1}) \tag{8}$$

여기서 $\gamma = \frac{P_T G_T G_R}{P_{th}}$ 는 일종의 전력율로서 수신기의 문턱치에 대한 수신 전력의 비이다.

지금 기존의 통신경로(또는, 시험 시스템의 경로)에 있어서 그 평균 버스트 발생빈도가 N_{ref} 라고 한다면 임의의 신설 통신경로의 버스트 발생빈도 N 은 위 (8)식에 의해 다음과 같이 구할 수가 있다.

$$\frac{N}{N_{ref}} = \sqrt{\left(\frac{R_{ref}}{R}\right)^3 \cdot \frac{1 - \cos^2 \beta_{ref} \cdot \sin^2 \phi_{ref}}{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \phi}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_{ref}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{f_{ref}}{f}\right)^3} \tag{9}$$

여기서, N_{ref} : N 기준 시스템과 임의의 시스템의 초당 버스트 발생수 (지상 $1m^2$ 당)

R_{ref} : R 기준 시스템과 임의의 시스템의 송,수신 안테나와 트레일간의 거리

γ_{ref} : γ 기준 시스템과 임의의 시스템의 전력율

β_{ref} : β 기준 시스템과 임의의 시스템의 트레일 각도

ϕ_{ref} : ϕ 기준 시스템과 임의의 시스템의 입사 및 반사각

지금 송신측의 전력을 증가시키든지 수신기의 P_{th} 를 낮추어 γ 를 기준치 γ_{ref} 보다 크게 하여 γ_1 이 되도록 하여 그 때의 발생수의 비를 보면 다음과 같다.

$$\frac{N_1}{N_{ref}} = K_A \cdot K_B \cdot \sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma_{ref}}} \tag{10}$$

$$K_A = \sqrt{\left(\frac{R_{ref}}{R}\right)^3 \cdot \frac{1 - \cos^2 \beta_{ref} \cdot \sin^2 \phi_{ref}}{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \phi}}$$

$$K_B = \sqrt{\left(\frac{f_{ref}}{f}\right)^3}$$

식(8)에서 수신전력을 증가하던지 P_{th} 를 개선하여 γ 의 값을 증가시키면 그 평방근에 비례하여 발생빈도도 증가한다는 것을 알 수가 있다. 만약 γ_1 / γ_{ref} 를 10배로 증가시키면 발생빈도비 N_1 / N_{ref} 은

원래의 값의 3.16배로 증가한다는 것을 알 수가 있다. 따라서 유성버스트의 발생빈도와 지속시간을 개선하기 위해서는 수신전력을 증가시키거나 P_{th} 를 개선시키는 것이 필요하다.

III. 제안된 방식

위에서의 검토에 의하면 버스트 길이를 증가시키기 위해서는 수신기 입력신호의 레벨을 증가시키거나 문턱치를 낮출 필요가 있는데 이를 위해서는 보다 강력한 송신기의 사용, 고 이득 안테나의 사용, 수신기의 잡음 지수와 환경잡음의 개선 등의 대책을 필요로 한다. 그러나 이러한 방법은 MBC의 장점인 경제성과 간편성을 해치는 것이 되기 때문에 간단히 채택할 수가 없다.

제안된 방식은 여기에 주목한 것으로서 큰 경제적 부담 없이 전송 채널의 도통율을 개선하는 방법으로 확산 스펙트럼 방식을 MBC에 적용하였다. 참조부호방식을 이용한 DS(direct sequence)-SS을 적용하여 SS방식이 가지는 복잡한 하드웨어 구성을 피하며, PN(pseudo noise)부호를 전송선로에 참조신호로서 송출하고, 모든 단말기는 이 신호로부터 자신에게 할당된 비트천이 신호를 만들어 이것을 송출신호의 확산과 수신신호의 역확산(상관)에 사용한다. 따라서 이 시스템은 동기신호의 포착이나 유지에 소요되는 시스템을 생략할 수가 있어서, MBC가 가지는 경제성을 만족하면서 전송채널의 도통율과 SNR를 개선할 수 있다. 따라서 이것을 이용한다면 데이터 출력 BER의 개선효과를 얻을 수가 있다.

DS-SS통신방식은 그림 7과 같이 송신측에서는 데이터 신호 $d(t)$ 를 의사 잡음 부호신호 $n(t)$ 와 곱하여 확산신호 $s(t)$ 를 얻은 후 이것으로 RF신호 $r(t)$ 를 변조하여 광대역으로 송신하고, 수신기에서는 수신한 $r(t)$ 를 복조하여 $s(t)$ 를 얻은 후, 이것에 다시 송신측과 동일한 의사 잡음 부호신호 $n(t)$ 를 곱하여 $d(t)$ 를 얻는다. $s(t)$ 가 $n(t)$ 에 의해 역확산될 때 확산되었던 데이터는 다시 수렴하여 $d(t)$ 가 되지만 잡음성분은 대부분 대역통과필터(BPF)의 대역 밖으로 발산하여 출력의 SNR이 크게 개선된다.

회로 시스템의 처리이득 G_p 는

$$G_p = \left(\frac{s_1/n_1}{s_2/n_2} \right) \quad (11)$$

와 같이 표시된다.

여기서 s_1, s_2 는 각각 입력과 출력의 신호전력이고 n_1, n_2 는 각각 입력과 출력의 잡음전력이다.

DS-SS시스템에서는 처리이전과 이후의 신호전력은 같으니 $s_1 = s_2$ 로 놓고 처리이전의 문턱치를 P_{th1} 처리이후의 문턱치를 P_{th2} 로 놓는다면

$$G_p = \frac{P_{th1}}{P_{th2}} \quad \text{또는} \quad P_{th2} = \frac{1}{G_p} \cdot P_{th1} \quad (12)$$

와 같이 되어 등가적으로는 P_{th2} 는 그림 8과 같이 P_{th1} 를 G_p 만큼 감소시킨 것과 같게 된다.

여기서 n_1, n_2 는 각각 입력과 출력측의 BPF 대역폭과 정비례의 관계에 있으니 G_p 는 처리이전의 대역폭과 처리이후의 대역폭의 비에 해당된다. 처리이득은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_p = \frac{B_{RF}}{R_d} \quad (13)$$

B_{RF} : 반송파의 대역폭 (Hz)

R_d : 정보 데이터의 속도 (bps)

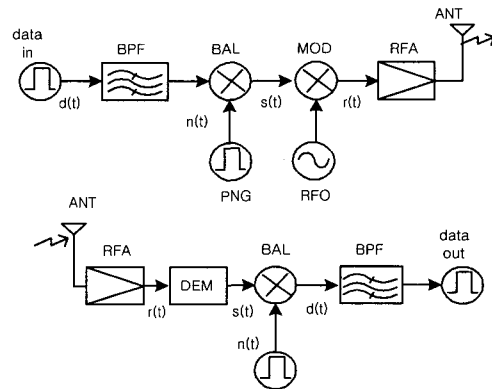


그림 7. 직접 확산방식을 이용한 대역확산시스템
Fig. 7. The spread spectrum system using direct sequence method

3.1 제안된 방식을 이용한 저밀도 버스트 길이의 개선

가. 입력전력의 효과

위에서 검토한 바와 같이 버스트의 길이는 수신기의 입력 레벨을 높이거나 문턱전압을 내리면 증

가시킬 수가 있는데, 특히 저밀도 버스트의 경우에 현저한 효과를 볼 수가 있다. 그림 8 은 수신신호 레벨을 높인 경우를 표시한 것인데 곡선 A는 초기치가 P_1 인 기준 수신파이고 곡선 B는 이것 보다 G_p 만큼 높은 초기치 P_2 를 지닌 신호파이다. 수신기의 문턱전력이 P_{th} 로서 일정하다면 A 파에서는 도통시간 즉, 버스트의 길이는 t_1 이지만, 곡선 B 에 있어서는 t_2 가 되어 훨씬 길어진다는 것을 알 수가 있다.

여기서 버스트 길이의 증가량을 계산해 보면 곡선 A는 $t=t_1$ 에서 $P_1=P_{th}$ 가되고 곡선 B는 $t=t_2$ 에서 $P_2=P_{th}$ 가 되니 식 (4a)를 이용하면

$$P_{th} = P_1 \cdot \exp\left(-\frac{2}{\tau} t_1\right) \quad (14)$$

$$= P_2 \cdot \exp\left(-\frac{2}{\tau} t_2\right)$$

이 성립이 되니

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\tau}{2} \cdot \log_e \left(\frac{P_{RM2}}{P_{RM1}} \right) \quad (14a)$$

와 같이 된다. 여기서 버스트 길이의 증가율을 계산해 보면

$$\frac{\Delta t}{t_1} = \frac{\tau}{2t_1} \cdot \log_e \left(\frac{P_{RM2}}{P_{RM1}} \right) \quad (14b)$$

으로부터 그림 9와 같이 된다.

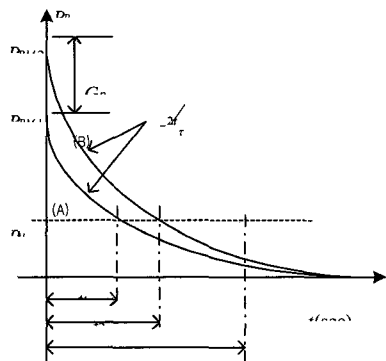


그림 8. 수신신호 레벨과 버스트 길이의 관계
Fig. 8. Relation between received signal level and burst duration

지금 t_1 을 100ms 라고 한다면 수신전력의 초기치가 3 dB(2배) 증가한 경우 버스트 길이는 35%증가하여 $t_2 = t_1(1 + M) = 135 \text{ ms}$ 가 되며 10 dB(10 배) 증가하면 115% 증가하여 215ms가 되어 크게 개선된다는 것을 알 수가 있다. 만약 t_1 을 50ms 로 가정한다면 3dB 증가 시 t_2 는 70%가 증가하여 85ms 가 되고 10dB 증가 시에는 220%가 증가하여 160ms 가 된다. 여기서 t_1 을 짧게 잡을 경우의 개선율이 더 크다는 것을 알 수가 있다.

기준 버스트의 길이가 50ms 로 적어지는 경우란 수신전력이 상대적으로 약해진 경우를 의미하는 것이니 이 시스템은 수신신호가 약한 경우의 개선율이 더 커진다는 것을 알 수가 있다. 그림 11은 이 관계를 나타낸 것으로 SS방식의 처리이득 G_p 가 초기입력신호를 증가시킨 것과 동일한 효과를 나타내며 버스트의 길이 또한 개선되는 효과가 있음을 확인할 수 있다.

그리고 데이터 4.8Kbps, 처리이득 G_p 가 10dB일 경우 기존의 협대역 방식과 제안한 방식의 에러율을 시뮬레이션한 결과는 그림 10과 같다. BFSK방식에서 10^{-4} 의 에러율을 유지하려면 SNR은 약 17 dB이상이 필요하고, BPSK방식에서는 약 12 dB이상이 필요하다라는 것을 나타내고 있다. 그러나 제안 시스템의 경우는 SNR이 약 2 dB정도만 되어도 10^{-4} 의 에러율을 유지할 수가 있기 때문에 DS/SS방식의 처리이득 만큼의 SNR이 우수하다는 것을 알 수가 있다.

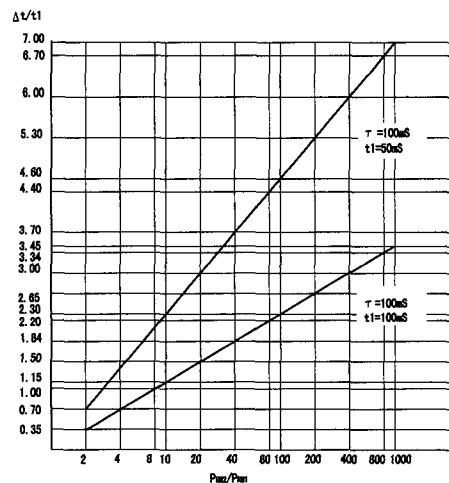


그림 9. 처리이득 G_p 에 의한 버스트 길이의 개선율
Fig. 9. Improvement of Burst Length by Process Gain G_p

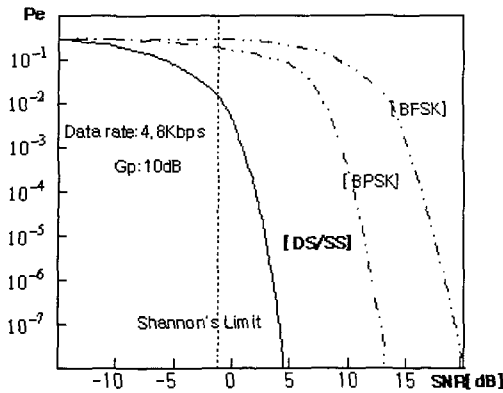


그림 10. 각 방식의 에러율
Fig. 10. Error rate of each method

나. 문턱치의 효과

동일한 효과는 입력신호의 강도를 그대로 두고 대신 문턱전력치를 낮춘 경우에도 얻을 수가 있는데 그림 11은 이것을 나타낸 것이다. 여기서 보면 문턱치가 P_{th1}이었을 때는 t₁에서 차단이 되는데 P_{th2}로 낮추면 t₂가 차단점이 되는 까닭에 도통시간 즉, 버스트의 길이는 t₁에서 t₂로 길어진다.

여기서도 (4a)식을 이용하여

$$P_{th1} = P_{RM} \cdot \exp\left(-\frac{2}{\tau} t_1\right)$$

$$P_{th2} = P_{RM} \cdot \exp\left(-\frac{2}{\tau} t_2\right) \quad (15)$$

으로부터 t₂ - t₁ 를 구하면

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\tau}{2} \cdot \log_e \left(\frac{P_{th1}}{P_{th2}} \right) \quad (16)$$

와 같이 된다.

이상에서 입력신호의 전력을 증가시키는 것이나 문턱치를 감소시키는 경우나 동일한 결과를 얻을 수 있음을 알 수가 있다.

수신기의 문턱치는 시스템에 허용된 BER를 얻게 될 최소 입력신호전력으로 정의되며 일반적으로 수신기의 입력측에 환산된 총 잡음전력치와 같다.

$$P_{th} = kBT \quad (17)$$

여기서,

k : Boltzmann 상수

B : 대역폭

T : 수신입력에 환산된 등가잡음온도 (K)

문턱치에 영향을 미치는 등가잡음온도는 여러 가지가 있는데 일반적으로 다음과 같은 값이 된다.

$$T = \frac{T_a}{L} + T_0 \left(1 - \frac{1}{L}\right) + T_e \quad (18)$$

여기서,

T_a : 안테나의 등가 잡음온도

T₀ : 급전선의 등가 잡음온도

T_e : 입력에 환산된 수신기의 내부잡음온도

일반적으로 안테나 잡음에는 우주로부터 안테나에 입력되는 자연잡음(공진)과 그 주위에서 혼입되는 각종 인공잡음이 포함되며 총 등가잡음온도 T의 대부분을 차지한다. 따라서 문턱치를 감소시킴으로써 버스트 길이를 증가시키려면 특히 인공잡음이 적은 전자기 청정지역에 안테나를 설치하여야만 하는 것은 물론이고 잡음지수가 특히 적은 수신기를 사용하고 급전선의 손실도 적게 하는 등 세밀한 주의가 필요해진다. 그러나 그 모든 대책에도 불구하고 우주공간에서 안테나에 입력되는 각종 전파잡음은 방지할 수가 없다.

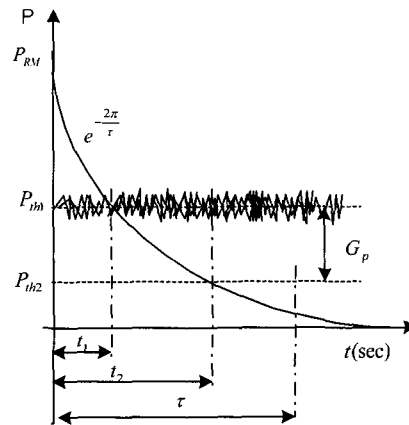


그림 11. 처리이득 G_p에 의한 문턱치의 개선율
Fig. 11. Improvement of Threshold Value by Process Gain G_p

IV. 검토 및 결론

MBC 에 있어서는 그 전송로의 많은 장점에도 불구하고 도통율이 수%이하로 적다는 큰 결점이 있

