
근거리 통신경로에서의 유성버스트 통신에 관한 고찰

이영철*

Investigation of meteor burst communication paths on a close range

Young-Cherl Lee*

요 약

유성 버스트 통신은 NLOS 데이터 전송을 필요로 하는 1200Km 이상의 장거리 VHF 통신로에서 효율적이며 경제적인 수단을 제공한다. 그러나, 유성 버스트 통신은 지금까지 버스트 주기의 감소로 인한 시스템의 총 도통율의 저하로 인하여 700Km 이하의 근거리통신에는 적합하지 않다고 알려져 있다. 이에 본 논문에서는 매우 짧은 근거리의 MB(Meteor Burst) 경로의 특성을 실험적으로 소개한다. 또한 경산시와 안동시간 50Km 간에서의 도통율과 평균 도통시간을 측정하여 산악지대 및 계곡에서의 근거리 유성버스트 통신로의 효용성을 실험을 통하여 나타낸다.

ABSTRACT

Meteor Burst Communication can provide effective and economical means of communication where long distance VHF NLOS(Non Line of sight) data transmission is needed; often ranges more than 1200 km. It has been, however, so far considered unsuitable for distance as short as 700km application because of phenomenal decrease in burst durations, which leads to decreation of total duty rate of the system. This paper introduce experimental characteristics of very shot distance MB(Meteor Burst) path. Also the occurring rate and average length measured on 50km paths between kyongsan-city to Andong-city shows that Meter Burst communication is useful communication system in mountain and valley communication .

키워드

Meteor, MBC, MSC

1. 서 론

유성버스트 통신(Meteor Burst Communication: MBC)은 우주진(meteor dust)에 의해 발생하는 유성적(meteor trail)의 전자파 산란 현상을 이용하여 NLOS(Non-Line-Of-Sight) 통신로를 구현하는 무선 통신 방식이다.

유성적에 의한 전자파 산란 현상은 주로 VHF 대역에서 관측되며 매분 수회에서 수 10회의 빈도로 발생하여 지속시간 수 10, 수 100 초 내외의 버스트 신호 형태로 수신된다. 따라서 이 방식은 지속성의

정보의 전송에는 적합하지 않으나 소용량이고 패킷형 데이터의 전송에서는 극히 유리한 많은 특징을 지니고 있다. 예를 들면 장치의 구축, 운용의 간편성, 고도의 경제성, 융통성, 보안성, 내 방해성, 내 재해성, 무인화와 자동화의 용이성 등이 뛰어나서 특히 병영 지대(deserted region)의 간이형 데이터 통신, 원거리 텔레메터링(telemetry), 군용 또는 재해 대책용 통신망 등에 가장 적합한 것으로 알려져 있다 [1][2].

MBC의 가장 큰 결점은 통신로의 발생과 지속 시간이 랜덤(random)하며 그 도통율(duty rate)이 다

른 방식에 비하여 낮다는 점이다. 특히, 유성버스트 경로(Meteor Burst path)의 거리가 수 100km 이하가 되면 이론적으로 버스트의 길이가 크게 줄어들게 되어 있다. 이것은 트레일의 위치가 100km로 일정한 고도에 있기 때문에 근거리가 되면 유성 트레일에 대한 전자파의 입, 산란각이 적어져서 산란손실이 커지고 버스트의 감쇄 시정수가 적어진다는 본질적 원인 때문이다. 이 이유 이외에도 이 정도의 거리에서는 지상파에 의한 재래식 통신이 가능해진다는 이유도 있어서 아직 100km 이내의 근거리에서는 MBC가 실용화된 예는 보고되지 않고 있다. 그러나 산간 지대에 있어서의 계곡간 통신, 산림지대나 시가지처럼 지상파의 감쇄가 큰 지역에서의 통신 또는 자연적, 인위적 재해로 인하여 종래 시스템의 조속한 복구 불가능한 경우 등, 근거리에 있어서도 유성버스트 경로가 아니면 경제적인 시스템의 구현이 불가능한 분야가 많이 발견되고 있다.

실험에 의하면 근거리가 되면 전파 거리 단축에 의한 수신 전력 레벨의 상승이 산란 손실의 증가를 그만큼 상쇄할 수가 있고 따라서 버스트의 발생빈도는 증가하기 때문에 적절한 방법으로 버스트 길이의 단축율을 다소 보상한다면 실용화가 가능한 수준으로 도통율의 개선은 가능하다. 지금까지의 해석에 의하면 유성 버스트 신호는 대체로 저밀도 트레일(underdense trail)에서 산란되는 지수함수형의 진폭을 지닌 것으로 되어 있음으로 수신기의 문턱전압의 절하가 도통율의 개선에 가장 효과적이라 할 수가 있다. 수신기의 문턱 전압은 수신기 설계에 있어서 가장 중요한 요소의 하나이지만 그 개선은 수신기의 가격 상승을 초래하기 때문에 한계가 있기 마련이다. 일반적인 무선 시스템에서는 이러한 경우, 안테나의 전력이득을 높이는 것이 가장 경제적인 방법으로 알려져 있다. 그러나 안테나의 이득 개선은 지향 특성을 높이는 결과가 되기 때문에 이 방법은 유성버스트 경로에서는 그대로 적용하지 못한다. 그 이유는 유성 트레일이 넓은 공간에 랜덤 하게 분포하여 발생하기 때문인데 이것은 빔은 가급적 넓혀야만 많은 버스트를 수용할 수가 있기 때문이다.

유성버스트 통신은 주로 1200km 정도의 장거리에 이용되는 통신이므로 우리나라와 같은 총 길이 300km 안팎의 지형에서의 효용성이 없다고 알려져

있다. 본 논문에서는 경산에서 안동간 50km의 시험 통신 구간을 설정하여 지속시간, 발생빈도를 측정하여 도통율을 산출한다.

II. 유성버스트 통신의 특성

2.1 버스트 수신전력

수동 중계 전송(passive relay transmission) 시스템에 있어서 수신 전력의 특성을 고찰하는데는 먼저 송, 수신기의 위치가 동일 지점에 위치하는 일종의 레이더 시스템을 가정하고 고전적인 레이더 방정식을 유도하는 방법을 인용하는 것이 편리하다. 여기서 고찰하는 레이더는 목표 물체(target)가 저밀도 유성 트레일로 되어 있고 트레일 축의 방향은 입사 및 반사 전파로와 직각이 되어 있다고 가정한다. 유성 트레일과 통신경로의 기하학적 관계를 나타내면 그림 1과 같다.

이 경우 송신 안테나로부터의 전자파는 트레일 내부를 통과하면서 내부의 전자에 의해 산란되어 그 중에서 후방 산란파가 수신안테나에 입력된다. 따라서 수신안테나에의 총 입력 에너지는 유성 트레일 내부의 전자로부터의 후방 산란파를 적분하면 구할 수 있다^{[4][5]}.

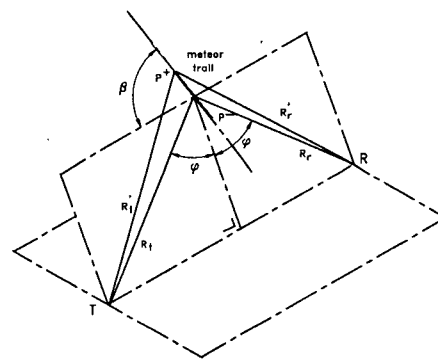


그림 1. 유성 트레일과 통신 경로의 기하학적 관계

Fig. 1 Geometrical relation of Comm. path and Meteor trail

트레일내부의 전자분포는 직경을 따라 Gaussian 분포를 하는데 그 유효반경을 $\sqrt{4Dt}$ 로 볼 수가 있고 이것이 $\lambda/2\pi$ 가 될 때 신호 강도는 $1/e$ 가 된다. 이 현상에 의한 시간에 따른 감쇄를 고려하면 산란면적은 다음과 같이 된다.

$$\sigma_{(t)} = (\sqrt{R\lambda/2} \cdot q r_e)^2 \cdot \exp\left(-\frac{32\pi^2 D}{\lambda^2} t\right) \quad (1)$$

단, 여기서 $D(m^2/s)$ 는 확산 계수이다. 그러나 트레일의 최초 직경은 0이 아니고 유한의 값을 지니기 때문에 처음부터 P1 점과 P2 점간의 위상차로 인한 감쇄가 있다고 보아야 한다. 위 식에 $r = \sqrt{4Dt}$ 의 관계를 적용하여 계산하면 트레일의 초기 반경을 r_0 라 할 때 그로 인한 추가적인 감쇄는 $-8\pi e^2 r_0^2 / \lambda^2$ 이 된다.

이상을 종합하면 유성 트레일의 반사 면적은 다음과 같은 식으로 나타나게 된다.

$$\alpha(t) = \left(\sqrt{\frac{R\lambda}{2}} \cdot q r_e\right)^2 \cdot \exp\left(-\frac{8\pi^2 r_0^2}{\lambda^2} t\right) \cdot \exp\left(-\frac{32\pi^2 D}{\lambda^2} t\right) \quad (2)$$

최종적으로 수신 전력은 다음과 같은 식이 된다.

$$P_R = P_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \exp\left(\frac{2}{\tau} t\right) \quad (3)$$

$$K_1 = \frac{G_T G_R \lambda^3 q^2 r_e^2}{32\pi^2 R^3} \quad (4)$$

$$K_2 = \exp\left(-\frac{8\pi^2 r_0^2}{\lambda^2}\right) \quad (5)$$

$$\tau = \left(-\frac{\lambda^2}{16\pi^2 D}\right) \quad (6)$$

2.2 유성 버스트 전송로의 도통율

유성 버스트는 그림 2와 같이 송, 수신 지점 T와 R을 초점으로 회전 타원면에 접하는 위치에 트레일이 발생하는 경우에만 수신기에 입력된다. T, R을 초점으로 하는 타원은 무수히 존재하기 때문에 회전면의 접점도 무수히 많지만 트레일은 높이 80km~120km 범위에서만 발생하고 이 중에서 송, 수신안테나의 지향 각도 내에 들어간 것만이 버스트 신호

가 된다.

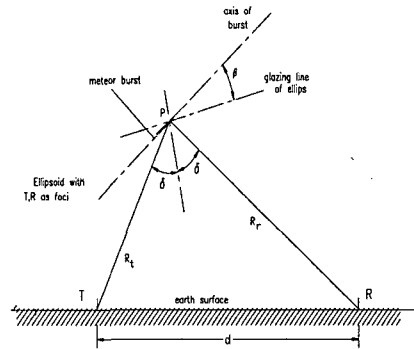


그림 2. 유성 버스트 통신 경로
Fig. 2 Meter Burst Communication Path.

따라서 T, R 간에 통신로가 구성되는 시간은 간헐적이므로 각 버스트의 지속시간을 t_i 로 하고 관측시간을 T라 할 때

$$\Gamma = \frac{\sum t_i}{T} \quad (7)$$

는 이 경로의 도통율(duty rate)로서 시스템의 성능을 결정하는 중요한 정수가 된다. 식 (7)은 일반적으로 시험통신을 통하여 실험적으로 구해진다.

그림 3과 같이 이 레벨이 수신기의 문턱치(threshold value) P_{th} 이상 일 때에 한하여 수신기는 반응한다. 따라서 버스트의 지속시간 t_0 는 식 (3)에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$t_b = \frac{\tau}{2} \log_e \frac{P_{th}}{P_{m}} \quad (\text{sec}) \quad (8)$$

또는,

$$t_b = \tau \log_e \frac{V_{th}}{V_{m}} \quad (9)$$

와 같이 된다.

단, 여기서 $P_{m} = P_T K_0$ 는 버스트의 초기치이고 V_{th} , V_{m} 는 각각 문턱전압과 전압 초기치이다.

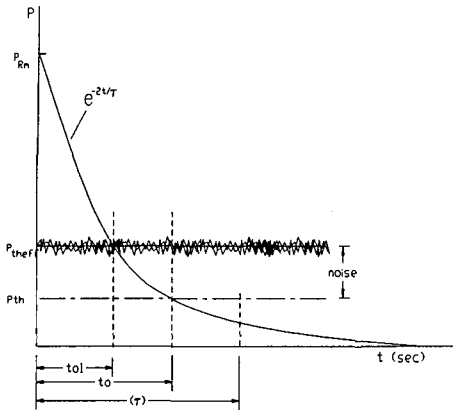


그림 3. 유성버스트의 수신전력
Fig. 3 Received power of Meteor Comm.

2.3 버스트의 발생수와 지속시간

식 (3)에 의하면 유성 트레일에서의 반사파는 트레일 내부의 전자 선밀도 q 에 비례하는데 전자선 밀도는 유성의 질량에 비례하는 것으로 알려져 있다. 지금 질량이 m 와 $m+dm$ 사이의 유성에 입사하는 전계를 v 라고 한다면 $v \, dm \propto m^{-5}dm$ 의 관계가 있다고 볼 수 있으며 임의의 질량 m_1 보다 큰 유성에 입사하는 전계는 $v(m > m_1) \propto m_1^{-5}$ 이 된다. 여기서 s 는 일반적인 독립 유성(sporadic meteor)의 경우 정수 2가 된다.

질량과 전자 선밀도는 비례하므로 전자 선밀도가 q_0 이상인 트레일의 수 N 은

$$N(q > q_0) = c q_0^{-s+1} = c q_0^{-1} \tag{10}$$

이 된다. 여기서 $c = 1.3 \times 10^2 \, m^{-3} \, s^{-1}$ 로 한다면 N 은 매 초당 $1m^2$ 평면에 떨어지는 유성 트레일의 수이다.

한편, 수신기의 문턱전압 V_{th} 에 의해 검출되는 각 버스트의 지속시간을 t 로 하고 N 개의 버스트에 의한 총 도통시간을 T_b 로 한다면 다음과 같은 관계가 있다.

$$T_b = \int t \, dN = \left(\frac{\tau}{a}\right) c V_{th}^{-a} = \left(\frac{\tau}{a}\right) N \tag{11}$$

여기서 a 는 정수로서 저밀도 트레일의 경우는 1이다. 이 식에 의하면 버스트의 평균 지속시간은

$(\tau/a) \approx \tau$ 로서 대체로 버스트 파형의 시정수와 같고 문턱치와는 무관하며 식 (3)에서 알 수 있는 것과 같이 트레일의 확산계수, 전자파의 입, 반사각과 파장에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다.

그러나 통신 경로의 도통율은 버스트의 발생수에 비례하므로 식 (7)에 의해

$$\Gamma(V > V_{th}) \propto V_{th}^{-a} = V_{th}^{-1} \tag{12}$$

이 되어 문턱 전압에 반비례한다.

III. 실험

국내 경산을 중심으로 하는 50km 구간에서의 유성 버스트 통신의 가능성과 그 특성을 조사하기 위하여 다음과 같은 실험을 실시하였다.

3.1 실험 방법

실험 경로로서는 한국내의 경산과 청송 주왕산간의 50km 구간을 대상으로 하여 버스트의 평균 시간(average duration), 발생빈도(probability), 평균 간격(average waiting time)을 측정하여 이론치와 비교하고 데이터 통신에의 이용 가능성과 그 기대 성능을 조사하였다. 사용 신호는 51.115MHz에서 주파수 1200Hz의 LSB 변조된 신호를 출력 200W로서 송신하고 이 신호를 수신하여 DAT에 기록한 후, 해석하는 방법을 택하였다.

표 3. 실험 시스템에 사용된 기기
Table 1. The experimental equipments

시스템	기기명	사용 규격	
송신 시스템	IC-756 (ICOM社)	출력	200W
		주파수	51.115MHz
		송출신호	AM-LSB
	tone	1200 Hz	
수신 시스템	AR-3000A (AOR社)	안테나	12 소자 Log-peri. Gain 12dB
		감도	10db 잡음억제감도 0.25μV
		주파수	1.8 -2GHz
	수신 신호	AM-LSB	
안테나	12 소자 Log-peri.	Gain 12 dB	

3.2 수신 신호의 해석방법

DAT에 실시간으로 기록된 수신 신호는 FFT 처리하여 1200Hz 성분만을 선택하되 배경잡음과의 S/N비가 특정치를 초과하는 것이 30ms 이상 계속되는 경우를 버스트로 인식하도록 하였다. 이 threshold는 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10의 8 단계로 하였으며 각각의 경우의 지속시간과 간격을 측정하여 버스트의 지속시간과 간격을 추출하였다.

3.3 실험에 고려된 사항

위에서 논술한 것과 같이 시험 시스템은 비교적 50km 정도의 근거리 유성 버스트 통신로의 실험이므로 송·수신지점간의 거리가 지상파가 도달하는 범위가 되면 지상파에 의한 직접 패스가 형성되어 유성 버스트 패스는 그 의의를 상실한다. 따라서 지상파를 억제하기 위해 송신 안테나의 양각을 70° 이상으로 조정하고 송신 전력을 낮추어 지상파에 의한 직접파를 차단하였다. 실험 시스템의 전체 구성도는 그림 4와 같다.

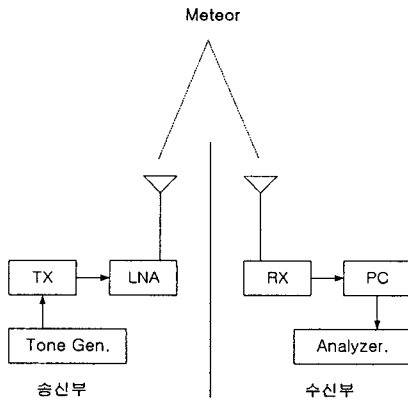


그림 4. 시스템 구성도
Fig. 4. System block diagram

3.2 실험 결과

본 실험을 통하여 측정된 수신 버스트의 특성은 표 2와 그림 5와 같았다. 표 2에서와 같이, threshold가 증가 할수록 버스트의 평균 지속시간은 증가하지만, 평균 발생간격은 떨어짐으로 총 측정시간 대비 버스트 지속시간, 즉 duty Rate은 감소함을 알 수 있다. 이를 기존의 통신 측정 데이터와 비교한 결과,

50km 경로의 근거리 통신경로에서 통신하는 경우, 종래의 통신보다 버스트 지속시간은 평균 200ms 정도가 더 짧아지고 40% 정도의 도통율이 저하되는 것을 알 수 있다. 버스트 발생빈도도 30% 정도 줄어들을 알 수 있다. 이 결과로부터 통신의 성공 빈도가 현저히 낮은 근거리 통신에서는 버스트의 발생빈도를 상대적으로 증가시켜 도통율(duty rate)을 증가시켜야 할 필요가 있음을 알 수 있으며 이는 다음 연구에서 다루어져야 할 과제가 될 것이다.

표 2. 실험결과
Table 2. Result of experiment.

threshold [dB]	평균지속 시간[ms]	평균발생 간격[sec]	DUTY[%] 총 버스트 지속시간/ 총 측정시간
3	271	84	0.301
4	286	105	0.254
5	309	121	0.240
6	318	130	0.229
7	295	123	0.147
8	291	139	0.129
9	301	149	0.125
10	321	171	0.116

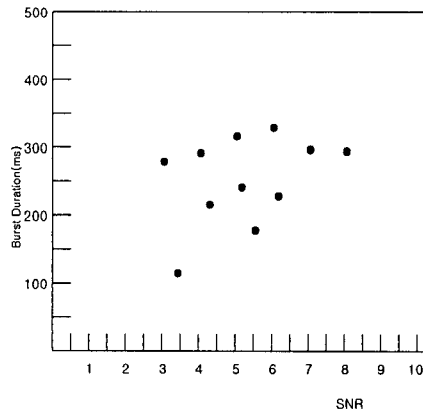


그림 5. 측정결과
Fig. 5 Result of experiment

IV. 결 론

장거리에 적합한 유성 버스트 통신의 근거리 실험은 트래일의 발생빈도와 지속시간이 불규칙적이기 때문에 상당한 어려움이 있다. 1,000km 구간에서의 MBC의 도통율은 경제적으로 구현 가능한 설비¹⁾로서 대체로 3-6% 수준으로 보고되어 있으므로 100km 이하의 근거리에서는 도통율은 1-2% 이하로 떨어질 것이다. 근거리에서는 특히, 입사각의 감소에 의해서 감소되는 버스트의 빈도와 지속시간을 보완하여야만 만족한 통신이 가능함을 알 수가 있다. 본 실험에서는 경산-안동간 50km의 유성 버스트 무선 경로를 설치하여 측정하였는데, 5dB 문턱치의 경우 121초의 평균 발생 간격과 309ms의 지속 시간으로 유성 버스트 통신로가 확립함을 관측할 수 있었다. 또한 도통율은 0.024 이내에 들었다.

본 연구에서의 결과로부터 장거리 유성버스트 통신에 비해서 현저히 도통율은 떨어지나 통신상에 필요한 지속시간은 유효하므로 50Km의 근거리에서도 패킷통신 방식 등을 이용한 산악지역 및 계곡간 중계에 유성 버스트 통신이 유효할 것으로 생각되어진다.

참고문헌

- [1] 福田明, "流星 burst 通信", 電磁環境工學情報, pp.90-99, Oct. 1991
- [2] J. D. Oetting, "An Analysis of meteor burst communications for military applications", IEEE Trans. Comm., COM-28,9, pp. 1591-1600, Sept. 1990
- [3] 福田明, "流星burst 通信", コロナ社, pp. 2-93, 1997 .3
- [4] G. R. Suger, "Spatial properties of meteor burst propagation", IEEE Trans., Comm. pp.841-845, Jun. 1980
- [5] T. R. Kaiser, "Radio echo studies of Meteor Ionization", Advan. physics., Vol. 2. pp.495-544, Oct. 1953

1 출력 수100W, 4소자 야기안테나, 감도 01uV수준의 수신기 사용경우

저자소개



이영철(Young-Cherl, Lee)

1997년 3월 영남대학교 대학원
전자공학과 공학석사

2000년 8월 영남대학교 정보통신공학과 박사 수료

2001년 3월부터 영진전문대학교
인터넷전자정보계열 전임강사

※관심분야: 유성버스트통신, 이동통신