
유성 버스트 통신을 위한 통신 프로토콜의 최적설계

권혁송*

Optimum Design of a Communication Protocol for Meteor Burst Communication

Hyeog-Soong Kwon*

본 연구는 밀양대학교 교내학술연구비의 지원으로 수행되었음

요 약

유성 버스트 통신로는 재래식 무선 경로에 비해 많은 장점이 있는데도 그 도통율이 수%이하로 적기 때문에 일반 상용 통신망에는 아직 넓게 이용되지 못하고 있다. 이러한 수분의 일초이하의 짧은 시간에 발생하는 버스트를 통해서 가능한 한 많은 데이터 량을 전송하려면 특별히 개발된 정교한 통신 프로토콜이 필요하다.

이 논문은 통계국이 주기적인 탐색신호를 송출함으로써 버스트를 효과적으로 탐지하고 신속히 포착하며 이 버스트가 존속하는 짧은 시간에 이 버스트를 통해서 가능한 한 많은 량의 데이터를 전송할 수 있도록 하는 통신 프로토콜을 소개한다. 각 단계의 처리 시간을 해석하여 버스트의 여러 가지 길이에 따라 메시지를 최소한의 지연으로 전송할 수 있는 최적합한 데이터 패킷의 길이를 도출한다. 이 해석결과에 따라 버스트의 평균 지속시간을 분석하여 최적합한 패킷길이를 도출하는 루틴을 개발하고, 이것을 사용함으로써 주어진 시간에 가능한 한 많은 메시지를 전송할 수 있도록 하는 유성 버스트 통신로를 위한 프로토콜을 제안한다.

ABSTRACT

Despite of many advantages over conventional radio paths, application of the Meteor Burst Path in commercial communication system is so far limited to a few extent because of its low duty rate, which is, less than several percent at best. In order to get through maximum number of data bits during the short interval of each burst, which normally lives a fractions of a second, a sophisticated communication protocol is called for.

In this paper, author introduces a communication protocol which can effectively locate and fetch burst signal by sending out periodic detection signal from master station and, with minimal delay, switch over to transmission states so as to put as many data bits through the detected burst as the burst length permits. By analyzing time period required for each transaction steps, the author derives optimal packet length for various bursts which assures to get a message string through in minimum delay. According to the analysis, the author proposes a protocol including a routine which automatically accesses average length of bursts at each environment and automatically adapt length of data packet so as to maximize data throughput under given burst conditions.

* 밀양대학교 정보통신공학과

접수일자: 2001. 10. 06

I. 서론

유성 버스트통신(meteor burst:MB)방식은 유성진(meteor dust)이 발생하는 유성적(流星跡: meteor trail)의 전자파 산란 현상을 이용하여 VHF 대역의 BLOS(Beyond-Line-Of-Sight) 통신로를 구현하는 방식이다. 유성적은 지상 100km 근방에 랜덤하게 발생하여 VHF 대역의 전자파를 반사시켜 송, 수신 두 지점간에 버스트(burst) 통신로를 제공해 준다. 유성 버스트 통신로는 발생과 지속시간이 랜덤하기 때문에 연속 신호의 전송에는 부적합하고 패킷(packet)화 된 데이터 신호로서만 통신이 가능하다.

유성진의 수가 질량에 반비례하여 나타나므로, 버스트 통신로는 지속시간이 짧은 것일 수록 발생빈도가 잦다. 버스트의 단위시간당 발생 빈도와 지속시간은 송,수신기간의 위치, 통신시간, 주파수, 송신출력 등의 조건에 영향을 받는다. 지금까지의 많은 실험 결과에 의하면 1000km내외의 거리에서 수100W의 송신출력을 사용할 때, 대체로 발생 간격은 수초-수10초, 지속시간은 수100ms의 범위에 있는 것이 대부분이다 [1][2]. 따라서 버스트의 발생 순간에 지체없이 데이터 송출을 개시하고 수100ms 내외의 짧은 지속시간에 되도록 많은 데이터를 전송할 수 있도록 통신 프로토콜을 마련할 필요가 있다.

유성 버스트에 의해 생성되는 통신로는 주위진 송, 수신시간에 있어서 포아송율(Poisson rate)로 발생하여 랜덤한 초기치를 지닌 지수함수형으로 감쇄한다. 따라서 고 효율의 통신로를 사용하기 위해서는 버스트 통신로가 도중에 소멸되어도 다음 번의 버스트에서 이것을 재전송하고, 수신측에서는 이들 패킷을 재조립하여 완전한 메시지를 재생시킬 수 있는 패킷 통신방식을 사용한다. 이 방식은 이미 유무선 데이터 통신 시스템에 넓게 응용되고 있으나, 유성 버스트 통신에 있어서는 버스트가 제공하는 통신로가 일반적인 지속형 통신 전송로와는 달리 발생과 소멸이 극히 랜덤하기 때문에 버스트의 발생을 정확하게 포착(fetch)하고, 신속하게 데이터 신호를 전송할 수 있어야 함은 물론이고, 통신로의 불규칙적인 소멸로 인해 패킷이 중도에서 절단되는 경우에 대비하여 최적의 패킷구조를 설계할 필요가 있다.

일정한 환경 조건하에서의 버스트의 평균 발생 수

는 대체로 일정 하다고 볼 수 있으므로 유효 도통율을 최대로 하기 위해서는 버스트 당 평균 전송 비트 수가 최대가 되도록 통신 프로토콜을 설계할 필요가 있다.

지금 패킷의 길이를 D , 전송로의 지속시간을 T_B 라고 한다면 만족한 패킷의 전송이 이루어지려면 $D \leq T_B$ 의 조건이 성립되어야 한다. $D > T_B$ 의 상태 하에서는 패킷은 중도에서 절단되기 때문에 후에 전송로가 재생되었을 때, 이 패킷을 전부 재 송신할 필요가 생긴다. 특히 유성 버스트는 수 10ms이하의 지속시간을 지닌 전송로가 많기 때문에, 재송신을 적게 하기 위해서 D 를 짧게 하면, 메시지 데이터 보다 패킷의 헤더(header)나 CRC부분의 길이가 상대적으로 커져서 메시지 전송율이 떨어진다. 반면 $D < T_B$ 일 때는 패킷의 송신 완료 후에도 버스트가 남아 있기 때문에 전송로의 이용율면에서 불리하다. 따라서 유성 버스트와 같은 불규칙적으로 개폐되는 통신로에 있어서 그 개폐 특성에 따른 최적의 패킷 길이를 구해야 한다. 그러나 유성 버스트 통신로의 개폐 특성은, 시간, 위치 등에 따라 너무나 광범위하게 변화하기 때문에 최적합한 길이는 각 환경에 따라 빈번히 조정하지 않으면 안되게 되어 있다. 본 연구는 이 점에 착안한 것으로서, 실용 유성 버스트 통신 시스템을 설계함에 있어서 추정 가능한 각종 환경을 위하여 최적합한 데이터 길이를 자동으로 선정함으로써 주위진 시스템에서 데이터의 전송율을 최대로 할 수 있는 프로토콜을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.

그 구체적인 방법을 도출하기 위하여 II장에서는 가장 기초적인 용도인 탐색신호 송출형 P-P(point-to-point)형 시스템을 대상으로 한 대표적인 패킷 전송 프로토콜의 데이터 전송율을 해석하고, III장에서 북반구, 온대지방에서의 버스트 도통율의 특성을 고찰하고, 제IV장에 이 지역에서 유성버스트통신을 운용하는 경우를 상정하여 계절과 시간에 따라 자동으로 최적화되는 패킷 전송 프로토콜을 개발한 경위를 설명한다.

II. 유성 버스트 통신시스템과 프로토콜

1. 일반적인 시스템 구성

유성 버스트를 이용한 통신망으로서는 1:1, 1:n, n:n형 등 여러 형태가 있을 수 있다.

어느 시스템에서나 송,수신에 동일 주파수를 사용하

는 단신(simplex)형식과 다른 주파수를 사용하는 복신(duplex)형식을 적용할 수가 있는데, 유성 트레일 통신에 있어서는 간편성과 융통성이 우선되므로 일반적으로 단신 방식이 선호된다.

유성 버스트 통신에서는 수시로 발생하는 유성 트레일을 찾아내어, 그 존속기간내에 가급적 많은 양의 데이터를 전송할 필요가 있다. 이것을 위하여 각 무선국은 일정한 길이의 탐색 신호를 발사하여 버스트의 발생 유무를 미리 탐색시키는 방법을 많이 쓴다.

이 경우, 탐색신호의 송출을

A: 메시지를 송신하는 측에서 담당하는 방법

B: 수신하는 측에서 담당하는 방법의 두 가지를 생각할 수 있다.

A의 경우는 메시지를 보유하고 있는 측(즉, 메시지 송신측)에서 탐색 신호를 발사하고, 이것이 유성 트레일의 발생으로 수신국에 수신되면, 수신국은 확인신호를 보내어 버스트가 발생되었음을 송신국에 알리도록 되어 있다. 송신국에서는 이 확인 신호를 받고서 메시지 송신을 시작하는데 그림 1은 이 방식의 동작개념을 표시한 것이다.

이 송신측 탐색 방식은 메시지를 송신하고자 원하는 측이 자신이 편리할 때 탐색신호를 송출하여 통신을 시작함으로써 탐색 시간이 짧아도 된다. 그러나 이 방식에서는 버스트가 발견된 후에도 확인 신호를 교환하고 그 후에 메시지 패킷을 송신하게 됨으로 짧은 버스트 기간을 확인 신호에 낭비하는 결과가 되어 메시지 송신량이 적어진다는 문제점이 있다.

B의 경우에는 메시지를 수신하는 측에서 탐색신호를 발사함으로써 이 신호를 수신한 측은 그 즉시로 메시지의 송출을 시작할 수 있어서 전자와 같은 확인절차가 불필요하다. 따라서 버스트 존속시간을 완전히 메시지 데이터의 전송을 위하여 사용할 수가 있다는 장점이 있다. 그러나 이 방법에서는 탐색신호를 송출할 수신국은 상대방이 메시지를 송신할 준비가 되어 있는지를 알 수가 없으므로 통신시간에 관한 사전 약속이 없는 한, 탐색신호를 계속 발사해 보아야하기 때문에 탐색신호와 시간의 낭비가 크다는 문제점이 있다.

그러나 이 문제는 1:n형의 망 구성으로 되어 있는 시스템에서는 문제가 되지 않는다. 이러한 망에서는 주국(master station)이 각 단말국을 폴링하여 메시지를 송, 수신하기 때문에 단말국의 수가 많은 경우에는

주국에 관한 한, 탐색신호의 낭비는 거의 없는 까닭이다. 즉, 1:n형망에서는 주국이 폴링을 위하여 송출된 신호를 바로 유성 트레일의 발생을 탐지하기 위한 탐색 신호로 이용될 뿐 아니라, 유성 버스트 특유의 풋프린트(foot print)특성¹⁾에 의해 동일 폴링 신호에 2개 이상의 단말국이 동시에 응답하지 않음으로 특별한 장치 없이도 단말국의 랜덤폴링(random polling)이 가능하다. 따라서 한번 응답한 단말국은 일정 기간동안은 다시 응답하지 않도록 해 두면 망의 모든 단말국이 순차적으로 한 번씩 응답할 수 있게 될 것임으로 자동적으로 군 폴링(group polling)이 이루어 진다는 장점이 있다.

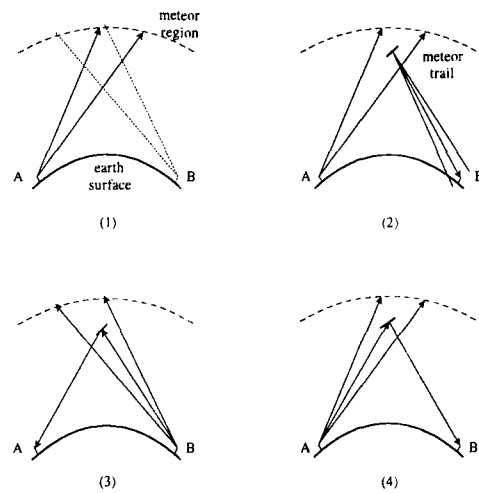


그림 1 유성 버스트 통신로를 통한 신호전송 개념
(1)A국이 탐색신호 송출 (2)버스트 발생으로 B국이 수신
(3)B는 A에 확인신호 송신 (4)A는 B에 메시지 패킷 송신
Fig. 1 Concept of signal transmission through meteor burst path

(1)A sends out probe signal (2)Trail appeared and the probe received (3)B sends acknowledge signal (4)A sends message packet

1) foot print: 특정 송신국에서 발사된 전자파가 수신되는 범위는 송신국- 유성 트레일-수신국간에 일정한 기하학적 조건을 만족시키는 소위 foot print 라 칭하는 좁은 범위의 지면에만 한정된다. 즉, 이 위치에 유성 트레일이 발생하면 이 두 송,수신국 간에만 통신로가 구성된다.

2. 흐름과 구조

2-1 A형의 경우

이 방식으로 운용되는 시스템의 동작 순서는 그림 1에 예시한 것과 같으며, 다음과 같은 4단계의 상태를 경유하여 통신이 완결되게 된다. 그림 2는 이 흐름을 시간축 상에 표시한 것이고, 부록A-1은 이것을 위한 전송 프로토콜의 흐름도이다.

1) 탐색 단계

각 국은 패킷의 송신시를 제외하고는 항상 수신상태에 있는데 데이터의 송신요구가 발생한 국(이하 송신국이라 칭한다)이 먼저 탐색신호인 P패킷을 송신한다. 첫 번째 탐색 패킷중 P(1)패킷의 송신이 끝나면 곧 수신상태로 돌아가서 상대국(이하 수신국이라 칭한다)의 응답을 기다린다. 일정 시간 응답이 없으면 곧 송신상태로 다시 전환하여 다음 번의 P(2)패킷의 송신을 한다. 이 조작은 수신국으로부터 탐색신호를 수신한 것을 확인하는 확인신호 A패킷이 검출될 때까지 반복된다. 수신국에 P패킷이 수신될 때까지의 탐색단계를 P단계라고 칭한다.

2) 확인 단계

수신국에서는 P(i)패킷이 수신되면 첫 번째 응답인 A(0)패킷을 반송한다. 이 송신은 P(i)패킷의 수신 직후이므로 버스트는 아직 지속 중에 있을 것이기 때문에 높은 확률로 수신될 것이다. 그러나 유성 트레일의 상태에 따라서는 실패할 수도 있으므로 수신국은 A(0)패킷을 송신한 후 다시 수신상태로 전환하여 송신국으로부터의 메시지인 D패킷을 검출한다. 이것이 검출되지 않으면 다시 A(1)패킷을 송출한다. 이와 같이 A(i)패킷이 송신국에 수신될 때까지는 쌍방에서 P, A 패킷의 송신이 계속된다.

3) 메시지 전송 단계

위의 상태가 끝나서 송신국에 A(i)패킷이 수신되면 송신국은 메시지가 들어 있는 D패킷을 송신한다. 수신국에서는 D가 검출되면 수신상태를 계속 유지한다. 만약 도중에 버스트가 소멸하여 D의 입력이 중단되면 다음 메시지의 송신을 독촉하기 위하여 A(i+1)패킷을 송신한다. 이 패킷은 버스트가 다시 발생하여 송신국에서의 응답신호 즉, 패킷이 다시 도착하기 시작할 때까지 계속 송출된다.(즉, 이 단계에서는 A패킷이 수신국의 탐색 신호의 역할을 한다) 한편 송신국에서는 D패킷의 송신 후에는 상대국으로부터의 새로운 A패킷

을 기다린다. 그리하여 버스트가 발생하여 A(i+1)패킷이 수신되면 중단된 D패킷을 다시 보내기 시작한다.

4) 종결 단계

수신국은 D패킷이 오류 없이 완전히 수신되면 A_r(1)패킷을 송신한다. 송신국은 A_r(1)패킷을 수신하면 통신 종료를 알리는 E패킷을 1회 송신한다. 수신국은 E패킷이 수신되지 않으면, 다시 A_r(2)패킷을 송신하며 E패킷이 수신될 때까지 계속한다. 수신국은 E패킷을 수신하면 전송이 완료되었음을 알게 되므로 언제나 다음 번의 P패킷을 수신하기 위한 대기상태에 들어가게 된다. 수신국은 E패킷이 수신될 때까지 A_r(i)패킷의 송신을 계속하지만, E패킷보다 먼저 P패킷이 수신된다면 전번의 교신은 끝난 것으로 간주하고 A(1)패킷의 송신에 들어간다. 또한 A_r(i)패킷의 송신 중에 수신측에 송신할 필요가 발생하면 A_r(i)의 송신을 중지하고 P패킷의 송신을 시작한다. 전번에 송신측이었던 국은 A_r(i)패킷의 수신 전에 P패킷을 수신하면, 먼저 번의 통신은 종료한 것으로 보고 이번에는 수신국으로 변한다.

그림 3은 이상의 동작을 시간축상에서 표시한 것이고, 부록 A-1은 그 흐름도 이다.

2-2 B형의 경우

이 방식으로 운용되는 시스템의 동작 순서는 다음과 같은 3단계의 상태를 경유하여 통신이 완결되게 된다. 그림 3은 이 흐름을 시간축 상에 표시한 것이고, 부록 A-2는 이것을 위한 전송 프로토콜의 흐름도이다.

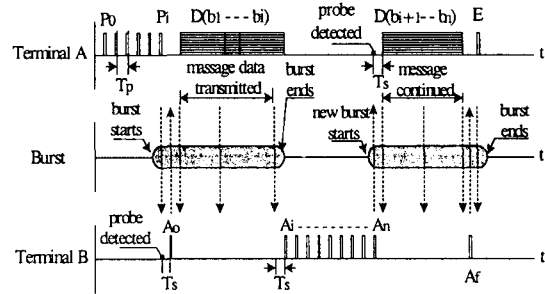


그림 2 송신측 탐색형의 동작순서
Fig. 2 Data transaction process of MBC system where the search signal is sent by message transmitter

1) 탐색 단계

여기서는 메시지의 수신국이 탐색신호를 발사하게 되는데 1:n의 시스템에서는 항상 주국이 이 역할을 담당한다. 여기서도 각 국은 패키지의 송신시를 제외하고는 항상 수신 상태로 고정된다. 먼저 주국이 탐색신호인 P(1)패킷을 송신한다. P(1)패킷의 송신이 끝나면 곧 수신상태로 돌아가서 상대국(이하 단말국이라 한다)의 응답을 기다린다. 일정 시간 응답이 없으면 곧 송신상태로 전환하여 다시 다음번의 P(2)패킷의 송신을 한다. 이 조작은 단말국으로부터의 탐색신호 수신을 확인하는 확인신호 A(1)가 수신될 때까지 계속한다.

2) 확인 단계 및 메시지 전송 단계

버스트가 발생하여 주국으로부터의 P신호가 수신된 단말국은 곧 확인신호인 A(1)신호를 송출하고는 이어서 보유하고 있는 메시지 패킷 D를 송신하기 시작한다. 이하는 위 2.1 의 (3)과 동일하게 동작한다.

3) 종결 단계

이 단계의 동작은 2.1의 (4)와 동일하게 진행된다.

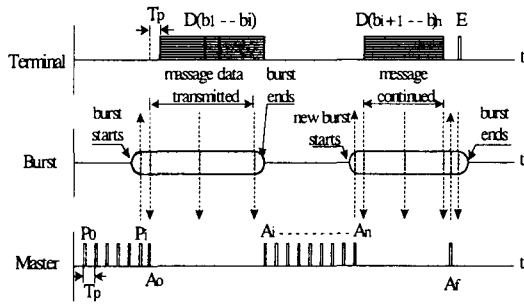


그림 3 수신측 탐색형의 동작순서
Fig. 3 Data transaction process of MBC system where the search signal is sent by message receiver

III. 특성 해석

1 패킷 전송 소요시간

일반적으로 유성 버스트 통신로는 주어진 두 지점간(송신국-수신국 간)에 평균간격 $1/l$ 초로서 Poisson 분포로 발생하고, 그 평균 지속시간은 $1/m$ 초로서 지수분포를 하고 있는 모델로 근사 시킬 수가 있다[2].

이 경우 이 두 지점간에 임의의 시각에 k 개의 통신로가 생기는 확률은 $\lambda = l/m$ 라 할 때

$$P_c(k) = \lambda^k \frac{e^{-\lambda}}{k!} \quad (1)$$

라 쓸 수가 있다. 유성 버스트는 실측결과 $m \gg l$ 즉, $\lambda \ll 1$ 인 특성을 지니고 있음이 판명되어 있음으로 두 지점간에 복수개의 통신로가 중복해서 발생하는 확률은

$$1 - P_c(0) - P_c(1) = \lambda^2 \quad (2)$$

으로서 대단히 적다[2]. 따라서 2개 지점간의 버스트 통신로는 확립되지 않고 있는 상태 C_0 와 확립된 상태 C_1 사이를 속도 μ 와 ν 로서 천이하는 모델로서 근사시킬 수가 있다. 즉, C_1 상태는 $1/\mu$ 초 동안 계속되고, C_0 상태는 $1/\nu$ 초 동안 계속되며 이 두 상태는 서로 배타적이라고 가정한다.

이 모델에서는 어떤 시각 ($t=0$ 이라 한다)에 상태 C_i 일 때, 특정 시각 $t(t>0)$ 에서 상태 C_j 에 있는 추의 확률(transition probability) $p_{ij}(t)$ 는 Markov의 연쇄 이론으로부터

$$p_{00}(t) = (\mu + \nu e^{-(\mu+\nu)t}) / (\mu + \nu) \quad (3-1)$$

$$p_{01}(t) = \nu(1 - e^{-(\mu+\nu)t}) / (\mu + \nu) \quad (3-2)$$

$$p_{10}(t) = \mu(1 - e^{-(\mu+\nu)t}) / (\mu + \nu) \quad (3-3)$$

$$p_{11}(t) = (\nu + \mu e^{-(\mu+\nu)t}) / (\mu + \nu) \quad (3-4)$$

와 같이 된다.

이상의 가정 하에서 A형 시스템의 경우를 예를 들어 한 패키지가 성공적으로 송신완료 될 때까지의 소요시간을 고찰한다.

1) 탐색 단계 (P패킷 송신시간)

탐색단계에서 최초의 P패킷이 성공할 확률 $P(1)$ 은 그 패킷의 송신 중 통신로가 존재하는 확률

$$P(1) = \frac{\nu e^{-\lambda p}}{\mu + \nu} \quad (4)$$

으로 주어진다. 여기서 p 는 탐색 P패킷의 길이이다. 한편, 최초의 P패킷이 실패할 확률은 $P(\bar{1}) = 1 - P(1)$ 이

2) 버스트의 평균 발생 간격 $1/l = 10$ 초, 평균지속시간 $1/m = 0.5$ 초로 한다면 이식에서 두 개 이상의 통신로가 동시에 발생하는 확률은 0.0012 인 반면, 한 개만 존재하는 확률은 0.047 이기 때문에 $P_c(1)$ 만을 대상으로 검토해도 큰 오차가 없다.

므로 최초의 P패킷이 실패하고 두 번째의 것이 성공할 확률

$$P(2\bar{1}) = P(1)[1 - P(2|1)] \quad (5)$$

이 된다. 여기서 $P(2|1)$ 는 첫 번째가 성공하고 두 번째도 성공하는 확률로서, 식 (3-4)로부터

$$P(2|1) = p_{11}(2s+a)e^{-\mu a} \quad (6)$$

와 같이 된다. 여기서 a 는 A패킷의 길이, s 는 송·수신 전환속도이다. 그리고 첫 번째, 두 번째 모두 실패하고 세 번째의 P패킷으로서 성공할 확률은

$$P(3\bar{2}\bar{1}) = P(3|\bar{2}\bar{1})P(\bar{2}\bar{1}) \approx P(2\bar{1})P(\bar{2}|\bar{1}) \quad (7)$$

와 같이 근사적으로 구할 수가 있다. 여기서 $P(\bar{2}|\bar{1})$ 은 $P(\bar{2}|\bar{1}) = 1 - P(2\bar{1})/P(\bar{1})$ 로부터 구한다.

네 번째 P 패킷으로 처음으로 성공할 확률도 같은 방법으로

$$P(4\bar{3}\bar{2}\bar{1}) = P(4|\bar{3}\bar{2}\bar{1})P(\bar{3}\bar{2}\bar{1}) \approx P(4|\bar{3})P(\bar{3}|\bar{2}\bar{1})P(\bar{2}\bar{1}) = P(2\bar{1})P(\bar{2}|\bar{1})^2 \quad (8)$$

와 같이 근사 된다. 따라서 일반적으로

$$P(k \cdot \overline{k-1} \cdot \overline{k-2} \cdot \dots \cdot \bar{2}\bar{1}) = P(2\bar{1})P(\bar{2}|\bar{1})^{k-2} \quad (9)$$

와 같다.

이상의 해석 결과로부터 송신된 탐색신호 (P패킷)가 수신될 때까지의 평균송신회수는

$$N_p = P(1) + \sum_{k=2}^{\infty} 2kP(k \cdot \overline{k-1} \cdot \dots \cdot \bar{1}) = P(1) + P(2\bar{1})[2 - P(\bar{2}|\bar{1})]/[1 - P(\bar{2}|\bar{1})]^2 \quad (10)$$

과 같이 계산된다. 이 값을 이용하여 수신될 때까지의 총 기대 시간을 구하면 다음과 같이 된다.

$$T_p = (N_p - 1)(p + a + 2s) + p + s = N_p C - (a + s) \quad (11)$$

$C = p + a + 2s$ 는 탐색 패킷의 송출 주기이다. 단, 여기에서 전자파의 전파에 소요되는 시간은 무시한다.

2) 확인 단계

이 통신로를 위와 같이 C_0 과 C_1 의 두 상태로 근사화된 모델로 가정한다면 최초의 A패킷이 전송에 성공하는 확률은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$P(1) = p_{11}(s)e^{-\mu a} \quad (12)$$

첫 번째에 실패하고 두 번째에 성공할 확률은 $P(2\bar{1}) = P(2) - P(2|1)P(1)$ 이고, 무조건 두 번째가 성공할 확률 $P(2)$ 는 $P(2) = p_{11}(C+s)e^{-\mu a}$ 그리고 첫 번째가 성공하고 두 번째도 성공할 확률 $P(2|1) = p_{11}(2s+p)e^{-\mu a}$ 와 같이 된다. 따라서 확인에 성공할 때까지의 평균 송신회수 N_a 를 식(10)를 유도할 때와 같은 방법으로 구할 수가 있고 그 결과 확인단계에 소요되는 총시간은

$$T_a = N_a C - (p + s) \quad (13)$$

와 같이 된다. 결국 접선에 소요되는 총시간은 탐색시간과 확인시간을 합해서

$$T_h = T_p + T_a \quad (14)$$

과 같이 된다.

3) 메시지 송신 단계(D신호 전송 단계)

접선에 성공한 후에는 메시지를 전송하는 D단계에 들어간다. 보내야할 메시지의 길이가 M 이고 한 패킷으로서 길이 d 의 데이터를 송신한다고 하면, M/d 개의 길이 $D = h + d + c(s)$ 인 패킷을 송신하지 않으면 안된다. 여기서 c 는 각 패킷의 뒤에 붙일 패리티(parity)부의 길이이고, h 는 header의 길이이다. 여기서 M/d 가 정수가 아니면 최후에 길이 $D' = h + M - [M/d]d + c$ 인 패킷을 첨가한다. 여기서 x 는 임의의 정수이다.

최초의 패킷 전송에 실패하여도 송신측은 $D(s)$ 동안은 수신 모드가 아니기 때문에 이 사이에 상대측으로부터 A패킷이 도착하여도(데이터 패킷의 감지에 실패하여 먼저의 P패킷에 응답하는 것, 또는 그때까지 수신한 패킷에 대한 NAK 신호 등) 이것을 수신하지는 못한다. D 초 후에 수신을 시작하여 최초의 A패킷이 도달해야 할 시각은 수신에 성공한 경우 s 가 되고, 실패한 경우 여러 가지 값이 되지만 최악의 경우를 가정하여 $2s + p$ 로 한다. 그러므로 A패킷의 성공적인 전송시간은 T_a 와 같다.

한편, 버스트가 도중에 소멸하게 되면 패킷의 전송에 실패하게 되는데, 일반적으로 D 는 대단히 길기 때

문에 최초의 A패킷 송신시의 통신로는 무조건적의 일반 상태에 있다고하면, 성공까지의 시간은 T_p 로 주어진다. 송신된 패킷의 전송 성공 확률은

$$P_s = p_{11}(s)e^{-\mu D} \quad (15)$$

이니 각 패킷은 평균 $1/P_s$ 회재의 전송에서 성공한다.

따라서 데이터 전송단계에 소요되는 시간 T_{nm} 은

$$T_{n1}(D) = (1/p_s - 1)(T_p + 2s + p) + s + T_d + D/P_s$$

으로부터

$$T_{nm} = (M/d)T_{n1}(D) + T_{n1}(D') \quad (16)$$

이 된다. 여기서 $T_{n1}(D')$ 은 메시지의 길이가 패킷에 정확히 나누어져 수용되지 못할 때, 즉, $(M/d)T_{n1}(D)$ 이 정수가 아닌 경우에 부가되는 토막 데이터이다.

4) 종결단계 (E 신호 단계)

최후의 A 신호가 수신되면 송신측은 길이 e (이 길이는 통상 p 나 a 와 거의 같게 한다)의 E 패킷을 송신한다. 이것은 A패킷의 직후이기 때문에 높은 확률로 수신되고 송신측은 A의 송신을 종결한다. 그러나 E패킷이 제대로 수신되지 않았으면 A패킷을 계속 송신하게 된다. 송신측에서는 E패킷을 송신한 후, 다시 A패킷이 돌아오지 않음을 확인하기 위하여 잠시 수신상태로 대기한다(대체로 T_p 의 수배정도로 한다).

E패킷을 송신했는데도 A 패킷이 돌아온다면 상대측은 아직 E패킷을 수신 못했으므로 재 송신한다.

E패킷은 언제나 A패킷 수신 직후에 송신되기 때문에 $P_e = p_{11}(s)e^{-\mu a}$ 의 높은 확률로 수신된다. E 패킷의 전송이 실패하였다는 것은 직전의 A패킷의 전송 시에는 존재하던 통신로가 그 동안에 소실되었다는 뜻이 된다. 따라서 다음 번에 수신될 때까지의 A패킷의 송신회수 N_{μ} 는 식(12)와 아래 식을 사용하여 구할 수 있다.

$$P(1) = p_{01}(s)e^{-\mu a}$$

$$P(2\bar{1}) = P(2) - P(2 | 1)P(1)$$

$$= p_{01}(3s + a + e)e^{-\mu a} - p_{11}(2s + e)e^{-\mu a}P(1)$$

따라서 종결단계의 소요시간 T_e 는

$$T_e = (1/P_e - 1)(2s + a + e)N_{\mu} + e \quad (17)$$

가 된다. 결과적으로 길이 M 의 메시지를 전송하는데 필요한 총 시간의 기대치는

$$W = T_p + T_u + T_m + T_e \quad (18)$$

와 같이 된다.

위에서 해석한 것은 A형 시스템을 기준으로 한 것이다. B형인 경우에는 탐색단계 뒤에 바로 메시지 전송단계가 계속 될 수 있으므로 확인 단계는 불필요하다. 따라서 B형 시스템의 경우의 메시지 전송 소요시간은 확인단계가 불필요하기 때문에 다음과 같이 된다.

$$W = T_p + T_m + T_e \quad (19)$$

2. 고찰

위 해석에 의하면 B형 시스템처럼 메시지를 수신하는 측에서 탐색신호를 발사하는 방식이 식 (9)에서와 같이 메시지 전송에 소요되는 시간은 당연히 단축된다. 그러나 이 방식은 미리 교신시간을 설정해 두지 않으면 수신측에서는 끝없이 탐색신호를 송출해야 한다는 문제점이 있다. 그러나 이 문제는 정기적으로 교신시간을 정해두면 간단히 해결이 될 뿐 아니라, 데이터 수집 시스템처럼 1:n형 시스템에 있어서는 군 선택 방식으로 다수 중에서 임의로 선택된 단말과 교신하면 되기 때문에 실지에 있어서는 그리 큰 문제가 되지 않는다.

따라서 본 연구에서는 원칙적으로 B방식 시스템을 대상으로하여 프로토콜을 개발하였다. 다음에 패킷 길이가 전송효율에 미치는 영향을 검토하기 위하여 표 1과 같은 수치를 부여하여 총 길이가 $M(s)$ 인 메시지를

표 3 시뮬레이션 모델의 제원
Table 1. Specification of simulation model

제원 방식	버스트의 평균 특성		송,수 신결 환시 간(S)	패킷 길이 (S)			전송할 패킷 데이터의 사양				
	간격 (S)	길이 (S)		탐색	확인	종료	메시지 길이 (S)	패킷 (S)			
	1/l	1/m	s	P	A	E		M	D=h+d+c	h	d
A	10	0.5	0.05, 0.01, 0.001	0.06	0.06	0.06	10	변수	0.06	변수	0.01
B	5	0.3	0.05, 0.001	0.06	0.06	0.06	10	변수	0.06		0.01

완전 전송하는데 소요되는 시간 $W(s)$ 를 계산하였는데 그 결과는 그림 4와 같다.

그림 4에 의하면 동일한 길이의 메시지를 전송하는데 있어서 주어진 버스트의 특성에 따라 가장 단시간에 처리할 수 있는 최적점이 존재한다는 것을 알 수가 있다. 즉, $p=a=h=e=0.6(s)$, $c=0.01$ 로 설정한 시스템의 $1/l=10(s)$, 즉 $BR=0.1(s)$ 과 $1/m=0.5(s)$ 즉

$BD=0.5(s)$ 인 버스트 환경하에서는 그림 4와 같이 패킷의 길이 D 를 직선 I 근처, 즉, $0.3\sim 0.4(s)$ 로 정하는 것이 가장 효율이 좋다는 것을 알 수가 있다. 이 때 송, 수신 전환시간은 최소한 $0.01(s)$ 는 되어야 한다는 것도 아울러 알 수가 있다.

동일한 프로토콜을 사용하여도 버스트의 조건이 달라지는 경우에는 당연히 최적점이 옮겨가는데, 예를 들어 $1/l=5(s)$, 즉 $BR=0.2(s)$ 과 $1/m=0.3(s)$ 즉,

$BD=0.3(s)$ 의 버스트 환경에서는 최적점이 직선 II 와 같이 옮겨야 만 최적 동작을 하게 된다. 이러한 버스트 환경은 일반적으로 1-200 km 이내의 근거리 경로에서 발생하는데 이것을 보아도 버스트 환경에 따라 패킷 길이 D 를 조정할 수 있는 프로토콜이 필요하다는 것을 알 수가 있다.

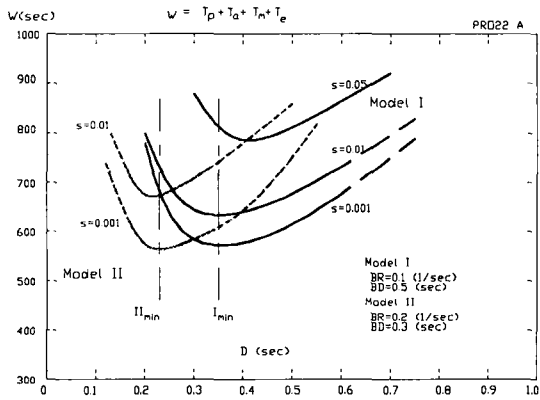


그림 4 메시지 송신에 소요되는 시간과 패킷 길이와의 관계
Fig. 4 Transmitting time required for a model message versus various package length

3. 제안된 프로토콜과 실험

여러 가지 환경하에서의 버스트의 발생조건은 이미

많은 문헌에 나와 있으며 국내에서의 버스트 환경에 관해서도 수집한 자료가 있다[4][6][7]. 즉, 버스트의 발생간격과 지속시간은 계절, 일시, 위치, 잠음환경 등에 따라서 달라짐으로 그때 그때의 환경에 맞추어 최적의 패킷 길이 D 를 조정할 수 있는 프로토콜을 제안한다. 프로토콜 흐름도는 부록 A-1, A-2에 나타내었다.

제안된 프로토콜의 특성을 확인하기 위하여 그림 5와 같이 제작한 버스트 경로 시뮬레이터(burst path simulator)를 사용하여 특성을 측정하였다. 이는 RF 선로 또는 RS-232 회선을 고속 스위칭 할 수 있는 회로와 이를 제어하는 PC로 되어 있다. 또 이 장치는 포

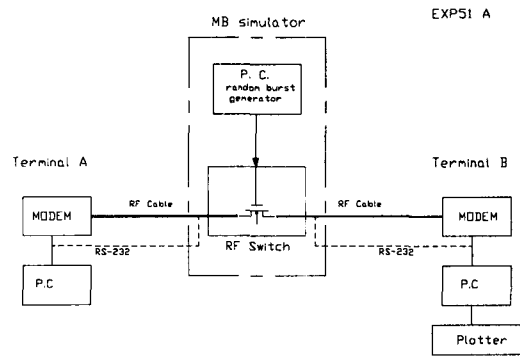


그림 5 유성버스트 경로시뮬레이터를 사용한 프로토콜의 효율평가를 위한 측정장치
Fig. 5 Experiment system to evaluate proposed protocols with MB path simulator

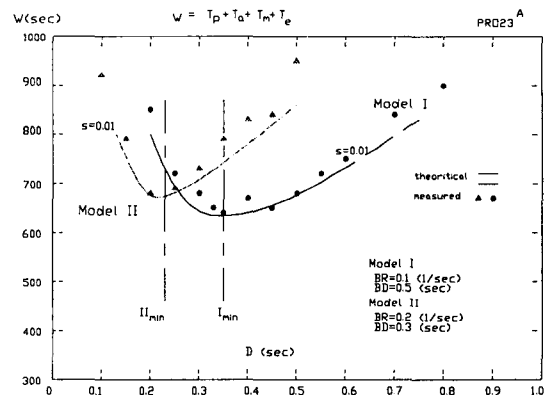


그림 6 유성버스트 시뮬레이터를 이용한 실험 결과
Fig. 6 Result of the test on the MB path simulator

로토클만을 검토하기 위해 점선과 같이 MODEM을 경유하지 않고 RS-232C수준에서 직접 접속하여 동작시킬 수 있도록 하였다.

그림 6은 측정결과로서 모델 I ($BD=0.5(s)$, $BD=0.3(s)$, $BR=0.2(1/s)$ $BR=0.1(1/s)$)은 패킷의 길이를 0.35(s)로, 모델 II()의 경우 0.2(s)로 하는 것이 가장 전송 효율이 좋은 것으로 밝혀졌으며 이 값은 대체로 이론치에 근접함을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

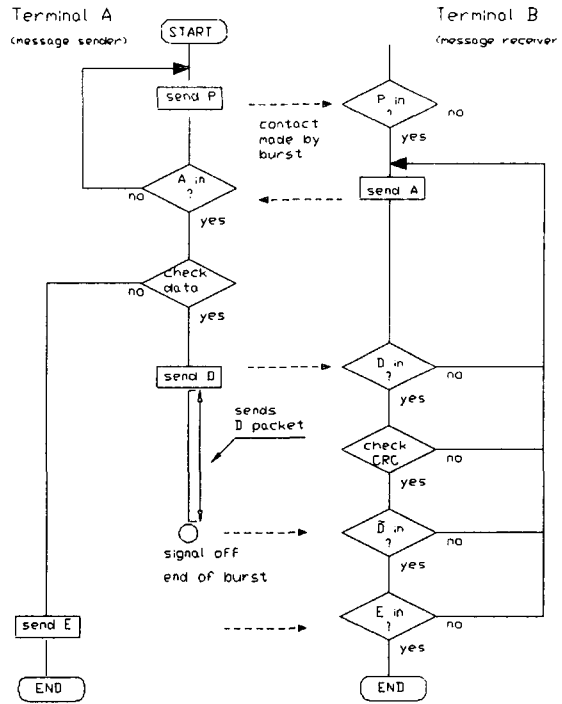
유성 버스트 경로에 있어서는 통신로의 발생과 지속시간이 극히 랜덤하기 때문에 종래의 지속성 통신로와는 다른 통신 프로토콜을 필요로 한다. 가장 효과적인 것으로서는 두 단말 통신국 중의 한쪽이 탐색신호를 발사하여 버스트의 생성이 탐지되는 경우에 이 버스트를 통하여 후속 메시지를 전송하는 방법을 들 수가 있다. 이 경우, 짧은 버스트 지속시간을 효과적으로 이용하여 되도록 많은 메시지를 전송하도록 프로토콜을 작성할 필요가 있다. 탐색 버스트는 메시지를 송신하고자 원하는 측이 송출하는 방법과 수신하는 측에서 송출하는 방법이 있으나 후자의 경우가 확인단계가 없기 때문에 제한된 버스트 지속시간중에 많은 데이터를 전송하여야 하는 유성 버스트 통신에 적합한 방법이다. 이 경우, 버스트 탐색시간이 오래 걸린다는 단점이 있으나 시간 예약 교신이나 1:n 형의 데이터 수집 시스템 등에 적용하는 경우에는 전혀 문제가 되지 않는다.

유성 버스트 통신경로와 같이 통신로의 형성 시간과 지속길이가 사용 환경에 따라 넓은 범위로 변화하는 경우에는 종래의 지속통신로에서와 같이 일정 길이의 패킷으로서의 전송 효율이 떨어진다. 대표적인 프로토콜을 대상으로 하여 일정 길이의 메시지를 전송하는데 필요로 하는 전송 시간을 해석적으로 구해 보았는데 발생간격이 10초, 지속시간이 0.5초의 버스트를 기준으로 하는 경우 패킷을 350(ms)의 길이로 하는 것이 가장 효과적이며 경로가 보다 근거리가 되어 버스트 간격이 짧아지고 길이가 길어지는 경우에는 최적 패킷의 길이도 짧은 쪽으로 옮겨진다는 것을 알았다. 이것을 확인하기 위하여 유성 버스트 시뮬레이터를 제작하여 랜덤한 버스트를 발생시키고 위의 해석결과에 의거 작성한 프로토콜을 실험하였는데 그 결과는 해석

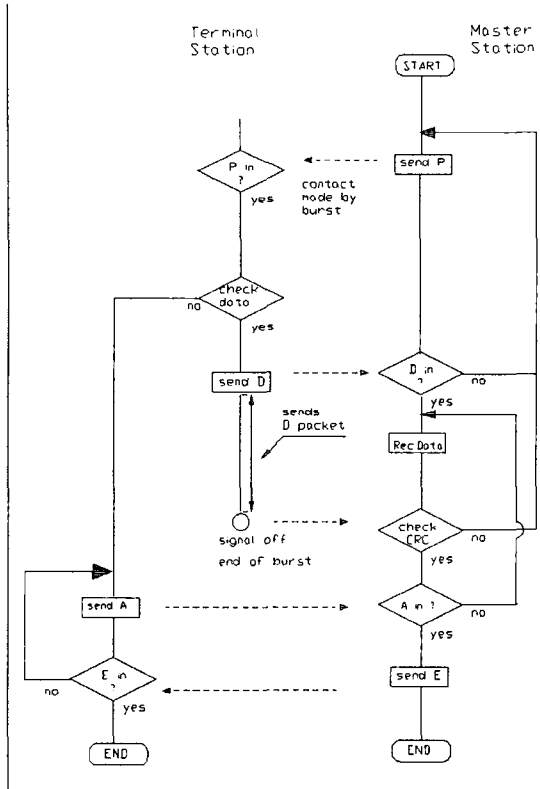
치와 잘 일치함을 확인하였다.

따라서 유성 버스트 시스템을 설계 할 때에는 통신 거리, 위치, 계절, 시간 등에 따라 측정된 유성 버스트 통계자료를 기초로하여 본 연구에서 제시한 방법에 따라 패킷 길이를 최적조건에 맞게 자동 조정하도록 한다면 유성 버스트 통신의 낮은 도통율에도 불구하고 through-put는 크게 개선될 것으로 생각된다.

부 록



A-1 송신측 탐색형을 위한 프로토콜 흐름도
A-1 Protocol flowchart of MBC system where the search signal is sent by message transmitter.



A-2 수신측 탐색형 시스템을 위한 프로토콜 흐름도
A-2 Protocol flowchart of MBC system where the search signal is sent by message receiver.

참고문헌

- [1] Weizen J.A.: "Predicting the arrival of meteors useful for meteor burst communication" Radio Science, 21, 6 pp.1009-1020 Nov. 1986
- [2] Sugar G.R.: "Radio Propagation by reflection from meteor trails" Proc. IEEE 52, 2, pp. 116-136 Feb 1964
- [3] Cannon, P.S., "The evolution of meteor burst communications " J.IERE, 57, 3 (5-6, 1987)
- [4] Yavuz D., "Meteor burst communications" IEEE. Comm, Mag, 28, 9, (9, 1990)
- [5] Cannon, P.S., "Signaling efficiency modelling and measurement of simplex block encoded MBC system" IEE. Proc. I. 138, 6 (12, 1991)
- [6] 福田明, "流星burst通信system特性", 信學論, (B) J68-

B, 5(7, 1982)

- [7] 福田明, "流星burst通信に依る 双方向Message 伝送", 信學論, (B) (1993, 2)



권혁승 (Hyeog-Soong Kwon)

1985. 2 영남대학교 전자공학과 (공학사)

1988. 2 영남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1995. 8 영남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1992. 9 - 1996. 2 대구과학대학 전자통신과 조교수

1996. 3 - 현재 밀양대학교 정보통신공학과 조교수

관심분야: 대역 확산통신방식, 이동통신, 통신시스템