

論文94-31A-7-2

이동 위성 통신 시스템에서 패킷 전송을 위한 다원 접속 프로토콜

(A Multiaccess Protocol for Packet Transmission in Mobile Satellite Systems)

任 光 宰 * , 郭 慶 燮 *

(Kwang Jae Lim and Kyung Sub Kwak)

要 約

위성을 이용한 이동 통신 시스템에서 이동국간 또는 이동국과 고정국과의 패킷 교환 통신 서비스를 제공하는 다원 접속방식으로 랜덤 접속 방식과 예약 접속 방식을 혼합한 접속 방식을 제안한다. 랜덤 접속 방식과 예약 접속 방식은 통신 시스템을 통해 서비스 받고 있는 사용자의 형태에 따라 장단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이동 위성 통신 시스템에서 사용되고 있는 예약 접속 방식으로 기존의 PDAMA 방식을 고려했고 랜덤 접속 방식을 이동 위성 통신 시스템에 적용될 수 있도록 수정하여 고려하였다. 그리고 두 방식을 혼합하여 다양한 트래픽 환경에 적합한 접속 방식을 제안하였다. 수정된 랜덤 접속 방식에 대해 모델 해석을 하였고 시뮬레이션을 통해 세 방식을 비교하였다.

패킷 도착율이 적을 때 제안된 혼합형 접속 방식의 성능은 수정된 랜덤 접속 방식에 매우 근접한 성능을 보이고 PDAMA 보다 개선되었다. 패킷 도착율이 증가함에 따라 수정된 랜덤 접속 방식은 패킷 도착율이 0.23부터 시스템은 포화되었고 제안된 접속 방식의 성능은 PDAMA 보다 우수하였다.

Abstract

A combined random/reservation multiple access protocol is proposed which can provide services for packet transmission in mobile satellite systems between mobile stations, or between mobile stations and fixed stations. Random multiple access protocol and reservation multiple access protocol which are currently employed in most satellite communication systems have some strengths and some weaknesses in according to the kind of user and traffic.

In this paper, a combined random/reservation multiple access protocol with better characteristics is proposed. The models of the modified random access protocol and the proposed access protocol is setted and analyzed. The performance of the PDAMA protocol, the random access protocol and the proposed access protocol is compared using simulation.

For small packet arrival rate, the performance of the proposed access protocol is close at that of the modified random access protocol, and better than that of the PDAMA protocol. As the packet arrival rate is increased, the modified random access protocol is saturated and unstable at 0.23, and the performance of the proposed access protocol is better than that of the PDAMA protocol.

*正會員, 仁荷大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Inha Univ.)

接受日字 : 1993年 8月 7日

1. 서론

위성은 지역적으로 넓은 지역에 걸쳐 산재해 있는 많은 사용자에게 동시에 전달할 수 있는 특성 때문에 패킷 교환 망에서 널리 이용되고 있으며 최근에는 기존의 지상 통신망과 이동국간 또는 이동국간의 통신 서비스를 제공하기 위해 위성을 사용하는 이동 위성 통신 시스템(Mobile Satellite Systems : MSS)에 관하여 많은 연구가 이루어지고 있다.^{[1][2]} 이런 MSS에는 간헐적인 트래픽, 지속적이고 많은 양의 트래픽 등 다양한 형태의 트래픽을 가진 지구국들이 있으며 그들에게 효과적인 통신 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 종류의 트래픽에 효율적으로 대처할 수 있는 프로토콜이 필요하다.

위성을 통한 패킷 교환망(packet switching network)에서 사용되는 다원 접속기법에는 크게 나누어 고정 할당방식(fixed assignment), 랜덤 접속방식(random access), 요구 할당방식(demand assignment) 등이 있으며^[3], 그들에 대한 성능평가는 주로 데이터 패킷을 전송하는데 소요되는 전송지연(delay)과 채널 전송효율(throughput) 등의 주요 요소에 대해 이루어진다.

긴 전파 지연 시간(propagation delay)을 갖는 위성 시스템의 프로토콜 중 고정 할당 방식에는 FDMA(Frequency Division Multiple Access), 동기식 TDMA(Time Division Multiple Access) 등이 있는데, 이 방식은 트래픽이 지속적인 사용자들에게 채널의 한 부분을 영구적으로 지정하는 방식으로 변동성이 큰 트래픽을 갖는 시스템의 경우에 효율적이지 못한 단점이 있다.

ALOHA^[4]는 랜덤 접속방식의 한 기법으로 간헐적인 트래픽을 갖는 시스템에서 유효하지만, 패킷의 충돌에 의해 패킷 도착율(arrival rate)이 높은 부분에서는 시스템은 포화 상태에 이르고 최대 전송효율(throughput)이 슬롯형-ALOHA 경우 0.368^[16]로 낮은 단점이 있다.

예약 접속방식은 사용자국의 요구에 따라 채널을 할당하기 때문에 유동적인 트래픽을 갖는 환경에서 유효한 방식으로 Reservation-ALOHA^[5], PDAMA(Packet Demand Access Multiple Access)^[6], Robert's Reservation^[7], Dynamic Reservation Multiple Access Technique^[11], PRMA(Packet Reservation Multiple Access)^[13] 등이 있다. 이런 예약 방식은 중(中) 또는 고(高) 트래픽에서 고정 할당 방식과 랜덤 접속방식보다 우수하지만, 채널을 요구하기 위한 예약 패킷의 전송은 전송지연을 증가

시키는 경향이 있고 데이터 전송 이외의 오버헤드(overhead)에 의해 채널의 일부분은 낭비된다. 또한 매우 간헐적이고 적은 양의 트래픽을 갖는 시스템에서는 효과적이지 못하다.

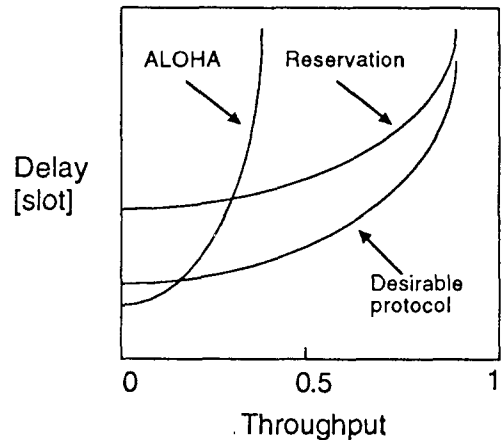


그림 1. 다원 접속 프로토콜의 전송 지연-효율 특성

Fig. 1. Delay-Throughput characteristics for multiple access protocols.

위의 접속방식 중 예약 접속방식과 ALOHA의 지연-효율 특성(delay-throughput characteristics)을 그림 1에 예시하였다. 적은 트래픽 부분에서 ALOHA는 작은 지연을 갖고 큰 트래픽에서는 예약 방식이 우수한 특성을 갖는다. 따라서 바람직한 접속 기법은 적은 트래픽에서는 ALOHA에 접근하고 큰 트래픽에서는 예약 방식에 가까운 특성을 가져야 할 것이다.^[8]

여러 프로토콜의 단점을 보완하기 위해 랜덤 방식과 예약 방식을 결합한 다양한 프로토콜이 연구되었는데^{[8][9][10][11][12]}, 본 논문에서는 이동 위성 통신 시스템(MSS) 환경에서 이동국의 특성을 고려하여 중앙국의 제어에 의한 채널 할당과 슬롯 동기를 위한 거리 측정 능력을 갖추고 그림 1에서 보인 것처럼 넓은 영역의 트래픽에서 효과적인 혼합형의 접속 프로토콜을 제안한다. 또한 기존의 랜덤 접속 프로토콜을 MSS 환경에 맞도록 수정하고, PDAMA, 수정된 랜덤 접속 프로토콜 제안된 혼합형 프로토콜에 대해 시뮬레이션을 통해 성능을 비교해 본다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어 II 장에서 MSS 환경에서 적용되는 프로토콜로 PDAMA, 랜덤 접속, 제안된 접속 프로토콜에 대해 설명하였고

III 장에서는 그 프로토콜들에 대한 시뮬레이션과 그 결과를 보였으며 IV 장에서 결론과 향후 과제를 제시하였다.

II. 다원 접속 프로토콜

고려될 이동 위성 통신 망의 환경은 약 36,000 Km의 정지궤도(geosynchronous orbit)에 위치한 위성을 통해 데이터 패킷 교환 서비스를 제공하는 이동 위성 통신 시스템으로 위성과 지구국과의 거리로 인한 전파 지연 시간(propagation delay or round-trip delay)은 위성과 가장 가까운 거리에 위치할 수 있는 이동국인 항공기에 대해 약 0.23 sec. 이고, 가장 먼 지구국에 대해 약 0.27 sec. 가 된다. 이 긴 전파 지연 시간은 어떤 망에 적합한 프로토콜을 고려할 때 매우 중요한 요소이다.^[9]

채널의 데이터 전송률(data transmission rate)은 128 kbps로 가정하고 한 패킷은 패킷들 간의 보호 시간(guard time)과 헤더(header)를 포함하여 1350 bits⁷로 구성되어 전송 프레임의 한 슬롯의 길이와 같다. 예약 접속 프로토콜에서 전송 요구를 위한 예약 미니 슬롯(minislot)이 사용되는데 한 슬롯은 12 개의 미니 슬롯으로 나누어질 수 있다($v = 12$). 또한 전파 지연 시간, 전송 프레임 파라미터 등의 단위는 슬롯(slot)으로 표현한다. 슬롯을 단위로 했을 때 최소 전파 지연 시간(R_{min})은 22 슬롯이고 최대 전파 지연 시간(R_{max})은 26 슬롯이 된다.

1. 예약 접속 프로토콜

PDAMA 프로토콜은 넓은 지역에 걸쳐 산재해 있는 이동국에게 위성을 통해 통신 서비스를 제공하기 위한 NASA의 MSS에 사용된 예약 접속방식 프로토콜이다.^[6] 이 프로토콜은 각 이동국의 요구에 따라 중앙 제어국(control center)이 채널을 지정해주는 중앙 제어방식이며, 그 프레임 구성은 그림 2(a)에 나타내었고 제어 슬롯(CS : control slot), 거리 측정 슬롯(GS : guard/range slot), 요구 슬롯(RS : request slot), 정보 서브 프레임(IS : information subframe)으로 구성되어 있다.

제어 슬롯은 중앙국에 의해 제어 패킷의 전송을 위해 사용되고 그 슬롯에서 이동국의 요구에 따른 정보 서브 프레임의 지정이 이루어지며, 망의 기준 시간을 제공한다. 거리 측정 슬롯은 채널의 최대 전파 지연 시간(R_{max}) 보다 큰 약 0.28 sec. 의 길이를 갖고 이동국은 그 슬롯을 전파 지연 시간 측정을 위해 사용하여 자신의 전송 시간 편차(time offset)을 계산할

수 있다. 요구 슬롯은 여러 개의 작은 미니 슬롯으로 나누어져 전송할 패킷을 가진 이동국은 미니 슬롯 크기의 요구 패킷(request packet)을 전송하여 데이터를 전송할 슬롯들을 요구한다. 정보 서브 프레임에서는 중앙국이 지정해 준 슬롯들을 통해 이동국이 데이터 패킷을 전송한다. 이동국은 항상 이동하므로 위성에 대한 전파 지연 시간을 정확히 알지 못한다. 전송할 패킷을 가지고 있는 이동국은 슬롯을 지정받기 위해 요구 패킷을 전송하기 전에 제어 슬롯을 수신한 후, 거리 측정 슬롯에 매우 작은 길이의 패킷을 전송하고 되돌아 온 시간을 측정함으로써 정확한 전파 지연 시간을 계산하여 자신의 전송 시간 편차를 알 수 있게 된다. 또한 이동체의 속도가 큰 항공기는 주기적으로 빈번히 측정해야 한다.

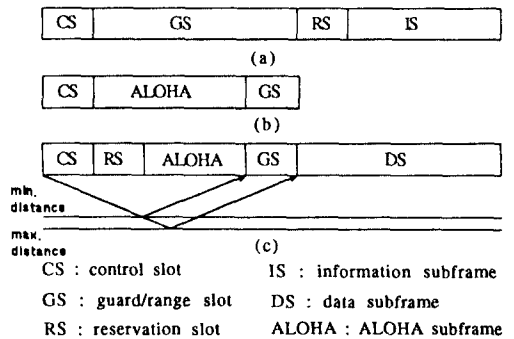


그림 2. 각 프로토콜의 전송 프레임 구성

- (a) PDAMA 프로토콜
- (b) 랜덤 접속 프로토콜
- (c) 제안된 접속 프로토콜

Fig. 2. Transmission frame structures.

- (a) PDAMA protocol
- (b) Modified random access protocol
- (c) Proposed access protocol.

2. 수정된 랜덤 접속 프로토콜

랜덤 접속 프로토콜의 대표적인 슬롯형 ALOHA 프로토콜은 패킷이 발생된 다음 슬롯에서 패킷을 즉시 전송하지만 이동 위성 시스템에서 이동국은 위성과의 전파 지연 시간의 모호함으로 인해 데이터 패킷을 전송하기 전에 거리 측정(ranging)를 수행해야 한다. 따라서 이동국은 패킷이 발생하면 어느 정도의 시간이 지난 후 데이터 패킷을 전송할 수 있으므로 MSS에서는 기존의 ALOHA와 다른 전송 방법을 가진 프로토콜이 고려되어야 한다.

MSS 환경에 적합하게 수정된 랜덤 접속 프로토콜

은 프레임 구조에 근거하여 동작하며 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 전송 프레임은 제어 슬롯(CS : control slot), ALOHA 서브 프레임(ALOHA : ALOHA subframe), 거리 측정 슬롯(GS : guard/range slot)으로 구성되어 있다. 제어 슬롯을 통해 망을 제어하는 중앙국은 망 상태 정보, 위성의 위치 정보, 프레임 상태 정보 등을 포함한 제어 패킷을 전송하고 각 지구국은 ALOHA 서브 프레임을 통해 데이터 패킷을 전송한다. 이동국은 거리 측정 슬롯을 이용하여 위성과의 거리를 측정함으로써 전송 프레임의 각 슬롯에 동기를 맞출 수 있게 된다.

어떤 이동국에서 전송할 패킷이 frame 1에서 발생했다면 그 이동국의 동작은 다음과 같이 이루어 진다.

- frame 1. the packets to transmit arrive.*
frame 2. IF detect a UW(unique word) in the control packet
 THEN transmit a ranging minipacket at once.
frame 3. range and synchronize.
 IF the ranging fails
 THEN go to frame 2 (retry).
frame 4. select a slot in the Aloha sub-frame and transmit a data packet in the slot.
frame 5. IF the transmission of the data packet fails
 THEN go to frame 4 (retry).

전송 프레임의 거리 측정 슬롯은 프레임의 시작점부터 최소 전파 지연 시간만큼 떨어진 곳에 위치해야 하고 거리 측정 슬롯의 길이는 최대와 최소 전파 지연 시간과의 차이 만큼의 크기가 되어야 프레임의 시작을 인지한 후 이동국이 보낸 거리 측정 패킷을 거리 측정 슬롯 안에서 수신할 수 있다. 따라서 이 프로토콜의 전송 프레임의 구성은 다음 식을 만족해야 한다.

$$L_c + L_A = R_{\min} \quad (1)$$

$$L_G = R_{\max} - R_{\min} \quad (2)$$

$$L_T = L_c + L_A + L_G \quad (3)$$

위의 식에서 L_c , L_A , L_G , L_T 는 각각 제어 슬롯, ALOHA 서브 프레임, 거리 측정 슬롯, 전체 전송 프레임의 길이이고 R_{\min} , R_{\max} 은 각각 최소 와 최대

전파 지연 시간이다. 고정국의 동작은 거리 측정 과정이 없을 뿐 이동국의 동작과 같다.

3. 제안된 혼합형 접속 프로토콜

제안된 프로토콜은 상기 프로토콜의 장점을 이용하여 어떤 종류의 트래픽에도 잘 적응하는 일종의 혼합형 접속 프로토콜이다. 저(低) 트래픽에서 효과적인 서비스를 위하여 랜덤 전송 방식을 이용하고 중(中), 고(高) 트래픽을 위하여 예약 방식을 결합하였으며 또한 변동적인 트래픽을 위해 프레임의 길이는 고정되어 있지 않다.

전송 프레임은 제어 슬롯(CS : control slot), 예약 슬롯(RS : reservation slot), ALOHA 서브 프레임(ALOHA : ALOHA subframe), 거리 측정 슬롯(GS : guard/range slot), 데이터 서브 프레임(DS : data subframe)으로 5개의 서브 프레임으로 구성되어 있으며 그림 2(c)에 나타내었다. 제어 슬롯, 예약 슬롯, 거리 측정 슬롯, 데이터 서브 프레임은 PDAMA 프로토콜과 같은 목적으로 사용되고 ALOHA 서브 프레임은 데이터 패킷의 길이와 같은 크기로 여러 개의 슬롯들로 나누어져 지구국은 예약과 동시에 ALOHA 서브 프레임의 한 슬롯을 랜덤하게 선택하여 한 데이터 패킷을 전송할 수 있다. 간헐적인 트래픽 환경에 놓인 지구국은 버퍼에 매우 적은 수의 패킷을 가질 것이므로 임의의 임계값을 두어 지구국의 버퍼에 있는 패킷의 수가 그 임계값보다 작으면 예약과 동시에 ALOHA 서브 프레임에서 한 데이터 패킷을 전송하고 그렇지 않으면 예약에 의해서만 데이터 패킷을 전송한다.

어떤 이동국에서 frame 1에서 전송할 패킷이 발생되었고 현재 프레임의 이전까지 버퍼에 있는 패킷의 수를 Q , ALOHA 서브 프레임에서의 전송 임계값을 T , 예약 패킷에 의해 요구할 슬롯의 수를 N , 제어국으로부터 어떤 이동국에 지정된 슬롯의 수를 N_r 이라 했을 때, 그 이동국의 프로토콜 동작은 다음과 같다.

- frame 1. the packets to transmit arrive.*
frame 2. IF detect a UW in the control packet
 THEN transmit a ranging minipacket.
 range and synchronize.
 IF the ranging succeeds
 THEN go to frame 3
 ELSE go to frame 2 (retry).
frame 3. IF $Q \leq T$

THEN transmit a reservation minipacket in the reservation slot(N) and a data packet in the Aloha subframe

$$L_G \geq R_{max} - R_{min} \tag{5}$$

ELSE transmit only a reservation minipacket in the reservation slot(N).

$$L_R + L_A + L_G \leq R_{max} \tag{6}$$

frame 4. be assigned slots(N_r) in the data subframe by receiving the control packet

$$L_D \geq R_{max} \tag{7}$$

IF the reservation succeeds

THEN transmit data packets in the data subframe

$$L_F = L_C + L_R + L_A + L_G + L_D \tag{8}$$

ELSE go to frame 3 (retry).

위의 식에서 $L_C, L_R, L_A, L_G, L_D, L_F$ 는 각각 제어 슬롯, 예약 슬롯, ALOHA 서브 프레임, 거리 측정 슬롯, 데이터 서브 프레임, 전송 프레임의 길이를 나타낸다.

Ⅲ. 모델 해석과 시뮬레이션

만일 어떤 이동국이 frame 3에서 예약과 ALOHA 서브 프레임에서의 패킷 전송을 함께 수행하고 frame 4에서 중앙국으로부터 슬롯 지정을 받을 때 다음의 네가지 경우가 있을 수 있다.

표 1. 중앙국의 슬롯 지정

Table 1. Assignments of slots in the data subframe

	Reservation	Transmission in ALOHA subframe	Assignment(N _r)
case 1	success	success	N _r = N - 1
case 2	success	fail	N _r = N
case 3	fail	success	N _r = 0
case 4	fail	fail	N _r = 0

case 1에서는 이동국이 ALOHA 서브 프레임에서 보낸 데이터 패킷이 충돌하지 않았으므로 중앙국은 (N-1)개의 슬롯을 지정하여 주므로서 필요없는 슬롯의 지정을 피한다. 지상에 고정된 지구국은 전파 지연 시간을 측정과정을 제외하고 이동국과 같은 동작을 한다.

어떤 이동국이 망에 들어 오고자 할때 위성에 대한 전파 지연 시간 측정을 위해 그 이동국에 의해 전송된 거리 측정 패킷은 위성에서 프레임의 시작점 이후 최소 전파 지연 시간(R_{min})에서 최대 전파 지연 시간(R_{max})의 시점까지의 범위에 도착할 것이다. 또한, 거리 측정이 수행된 후 바로 다음 프레임에서 예약과 ALOHA 서브 프레임에서 데이터 패킷을 전송할 수 있고 중앙국이 현 프레임의 예약에 따라 다음 프레임의 제어 슬롯을 통해 슬롯을 지정할 수 있도록 전송 프레임 구성 파라미터는 다음의 식을 만족해야 한다.

$$L_C + L_R + L_A = R_{min} \tag{4}$$

고려되는 시스템에는 무한한 크기의 버퍼를 가진 M 개의 지구국이 있고 각 지구국에서 슬롯당 패킷의 도착은 파라미터 p 를 가진 Bernoulli 프로세스에 따른다고 가정하여 총 패킷 도착율(λ)은 Mp [packets/slot] 이 된다. 많은 다원 접속 프로토콜에 관한 연구에서 패킷은 포아송 프로세스(Poisson process)에 따라 도착한다고 가정하는데 Bernoulli 프로세스는 슬롯별로 구분된 이산 시간 모델에서 포아송 프로세스의 유사 해석이 된다.^[11] 또한 패킷의 에러 발생은 같은 슬롯에 도착한 다른 패킷과의 충돌에 의해서만 발생되며 채널에 의한 비트 에러(bit error)는 없는 것으로 가정하며, 비트 에러로 인한 패킷들의 재전송을 위한 재전송 프로토콜은 고려되지 않았다.

그리고 위성에 대한 모든 지구국의 전파 지연 시간(propagation delay)은 최소 R_{min} , 최대 R_{max} 사이에 균일하게 분포되어 있는 균일분포(uniform distribution)로 가정하며, 평균 전파 지연 시간 $R = (R_{min} + R_{max})/2$ 이다. 이동국의 거리 측정 과정에서 소요되는 시간은 이동국의 속도, 슬롯간의 보호 시간(guard time) 등 실제적인 시스템에서 고려되어야 할 환경들에 따라 다르므로 시뮬레이션과 모델 해석에서 거리 측정 과정에서 소요되는 지연은 고려되지 않았다. 랜덤 접속 프로토콜은 모델 해석과 시뮬레이션을 병행하였으나 예약 접속 프로토콜과 제안된 프로토콜은 모델의 수학적 전개 of 어려움으로 시뮬레이션에 의해서만 지연과 전송효율의 특성을 분석하여 기존의 프로토콜과 비교하였다. 각 프로토콜에 대한 시뮬레이션은 이동국이 있는 위성 이동 통신 시스템이라는 동일한 환경에 적용하였고, 그 결과는 패킷 도착율과 전송 프레임 파라미터에 따른 패킷 전송지연시간, 전송

효율에 중점을 두었으며, 표 2과 표 3에 각 모델에 적용된 시뮬레이션 파라미터를 나타내었다.

표 2. 시뮬레이션 모델 파라미터
Table 2. Parameters for the simulation model.

Simulation time	100,000 ~ 300,000 slots
Number of station(M)	100 stations
Arrival process	Bernoulli process
Length of a packet	1 slot(1360 bits)
Minislot	12 minislot/slot(M = 12)
Propagation delay	Uniform distribution (R _{min} = R _{max} = 22~26)
Buffer size	Infinite
Parameter p	0.00001 ~ 0.009
Total arrival rate(λ-Mp)	0.001 ~ 0.9 packets/slots

표 3. 전송 프레임 구성 파라미터(단위: slot)
Table 3. Parameters for the transmission frame.

	Random access	Reservation access	Proposed access
frame (L _f)	26(fixed)	103, 110, 120	more than 33, 36, 39 (variable)
control slot (L _c)	1	3, 4, 7	3, 4, 7
reservation slot (L _r)	*	2, 3, 6	2, 3, 6
guard/range slot (L _g)	4	26	7, 8, 11
ALOHA subframe (L _a)	21	*	17, 15, 9
data subframe (L _d)	*	72, 77, 91	more than 26 (variable)
Threshold (T)	*	*	1, 2, 5, 10

*: 해당 사항 없음

1. 예약 접속 프로토콜

이 프로토콜의 시뮬레이션은 II 장에서 설명한 PDAMA를 근거로 고정된 길이의 프레임용 갖고 각 사용국의 요구에 따라 정보 서브 프레임의 슬롯을 지정하는 프로토콜에 대해 수행되었다. 전송 프레임에서 데이터 서브 프레임 이외의 부분은 오버헤드(overhead)가 되고 오버헤드와 정보 서브 프레임의 길이와의 관계는 다음의 식과 같다.

$$L_D = \frac{L_C + L_G + L_R - X(L_C + L_G + L_R)}{X} \quad (9)$$

X : 오버헤드

L_C : 제어 슬롯의 길이

L_G : 거리 측정 슬롯의 길이

L_R : 예약 슬롯의 길이

L_D : 정보 서브 프레임의 길이

이 프로토콜은 오버헤드가 0.3인 경우에 대해서 시뮬레이션을 실행하였으며, 그림 3에서 각기 다른 수의 예약 미니 슬롯을 가진 경우, 즉 요구 슬롯의 길이가 2, 3, 6 슬롯인 경우에 대한 지연과 효율을 그 래프로 나타내었다.

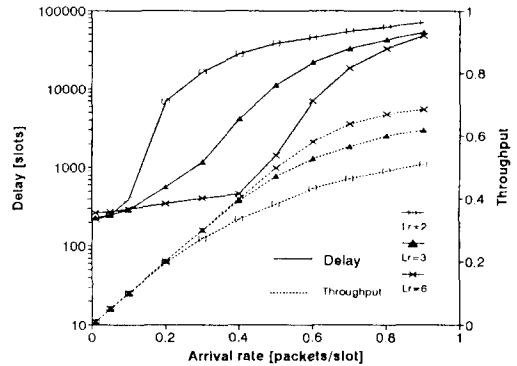


그림 3. 예약 접속 프로토콜의 전송지연, 전송효율 그래프

Fig. 3. Delay and throughput graph of the reservation access protocol.

그래프에서 예약 미니 슬롯이 많아 질수록 전체적인 특성은 향상 되지만, 패킷 도착율이 0.1 보다 작은 부분에서는 적은 수의 미니 슬롯을 가진 경우에서 좋은 특성을 볼 수 있다. 이는 요구 슬롯의 길이가 클 경우 저 트래픽에서 필요 이상의 미니 슬롯이 존재하여 오버헤드가 커지기 때문이다. 지구국의 수와 동일한 수의 예약 미니 슬롯을 각 지구국에 지정하면 지연 및 효율 특성은 분명히 향상되지만 매우 많은 이동국을 가진 실제 통신 망에서 모든 지구국이 자신의 예약 미니 슬롯을 갖도록 하면 전송채널에서 오버헤드가 대부분을 차지하게 되어 그 채널의 유용성은 없어진다.

2. 수정된 랜덤 접속 프로토콜

이 프로토콜에 의해 동작하는 시스템은 버퍼가 비어있는 지구국(idle station)에 도착한 패킷의 서비스 시간 x_i와 버퍼에 패킷이 있는 지구국(active station)에서의 서비스 시간 x_a를 갖는 M/G/1 Queueing 시스템으로 해석될 수 있다.^[14] 부록에서 수학적 해석을 첨부하였으며, 구해진 평균 전송지연 시간 D 는 다음과 같다.

$$D = \frac{E[x_i]}{1 - \lambda(E[x_u] - E[x_i])} + \frac{\lambda E[x_u^2]}{2(1 - \lambda E[x_u])} + \frac{\lambda(E[x_i^2] - E[x_u^2])}{2[1 - \lambda(E[x_u] - E[x_i])]} \quad (10)$$

ALOHA 서브 프레임의 길이가 21 슬롯($L_A = 21$)이고 $M = 100$ 일 때, 이론적 해석은 채널 이용률이 $\rho < 0.21$ 인 범위에서 시스템이 정상 상태 조건을 만족한다. 그 범위에서 시뮬레이션 결과와 비교하여 그림 4에 패킷 도착율 $M\lambda$ 에 따른 패킷의 평균 전송 지연시간(mean packets transmission delay)과 전송 효율(throughput)의 그래프를 나타내었다. 전송 지연 시간은 패킷 도착율이 0.2 보다 작은 부분에서 이론적 해석과 시뮬레이션의 결과가 거의 일치하며, 0.2 보다 큰 부분에서는 시스템은 점차 불안정해지게 되기 때문에 두 결과 사이에 약간의 오차가 존재한다. 시뮬레이션에 의하면 패킷 도착율이 약 0.23 부분부터 시스템은 불안정하기 시작한다. 그리고 전송효율은 패킷 도착율이 0.22 부분에서 최대에 이르고 그 이후에 급격히 감소하여 전송효율은 0.02 밑으로 떨어진다. 이는 충돌된 패킷들을 재전송하는 프로토콜을 최적화하지 않아 시스템이 불안정하게 되기 때문이다.

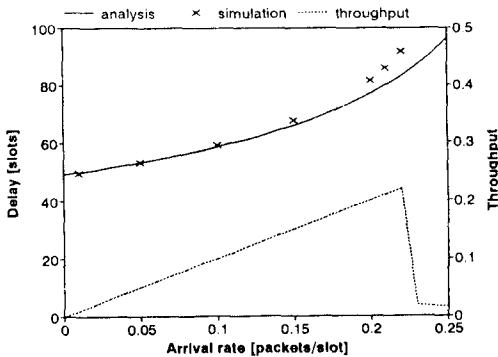
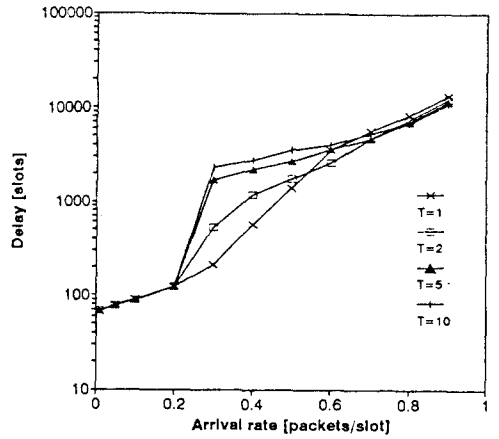


그림 4. 수정된 랜덤 접속 프로토콜의 전송지연, 전송효율 그래프

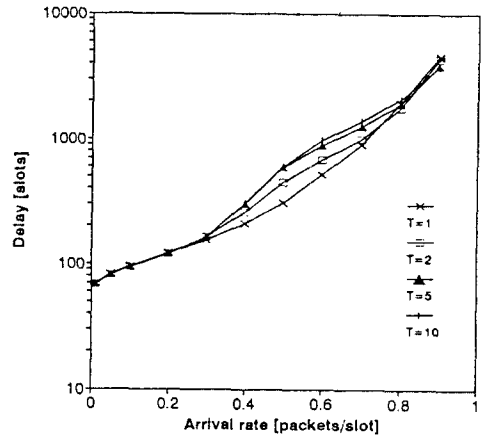
Fig. 4. Delay and throughput graph under the modified random access protocol.

3. 제안된 혼합형 프로토콜

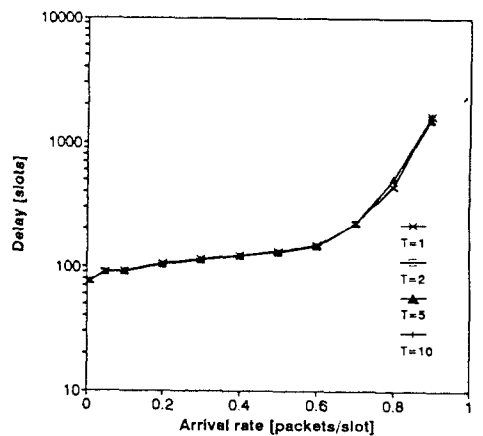
이 프로토콜의 각 지구국은 독립적으로 패킷 전송을 수행하며, 각 지구국은 망에 참가하는 초기 과정을 제외하고는 현 프레임 이전의 프레임에서 발생된 패킷 수만큼의 슬롯을 현 프레임에서 예약한다. 데이터 서브 프레임의 길이는 고정되지 않았으므로 예약에 성공한 이동국은 예약 과정의 바로 전 프레임에서



(a)



(b)



(c)

그림 5. 제안된 접속 프로토콜의 전송지연 그래프
Fig. 5. Delay graph of the proposed access protocol. (a) $L_R = 2$ (b) $L_R = 3$ (c) $L_R = 6$

발생된 모든 패킷들의 전송을 다음 프레임에서 마칠 수 있다. 현재 프레임 전의 프레임에서 성공된 모든 예약 패킷에 의해 요구된 슬롯 수의 합은 다음 프레임의 데이터 서브 프레임 길이가 되고 중앙국은 모든 지구국에 대한 예약과 ALOHA 서브 프레임에서의 전송을 감시하여 슬롯 지정과 프레임 길이에 대한 정보를 다음 프레임의 제어 패킷에서 모든 지구국에게 알린다.

예약 슬롯의 길이(L_R)가 각각 2, 3, 6 경우에서 ALOHA 서브 프레임에서의 전송 임계값(T)에 따른 시뮬레이션의 결과를 그림 5에 보였다. $L_R = 2$ 일 때 패킷 도착율이 0 ~ 0.2인 저 트래픽 부분에서 모든 T 값에 대해서 거의 동일한 지연 값을 갖다가, 0.3 ~ 0.5에서는 작은 T 값일수록 좋은 지연 특성을 보인다. 큰 T 값일수록 ALOHA 채널로 더 많은 전송이 이루어져 충돌 가능성은 커지기 때문이다. 고(高) 트래픽 부분으로 갈 수록 큰 T 값에서 좋은 특성을 보인다. $L_R = 3$ 일때 비슷한 특성을 보이지만 그 차이는 작아졌고, $L_R = 6$ 에서는 거의 동일한 특성을 보인다. 시뮬레이션 결과에 따르면 큰 차이는 없지만 전반적으로 ALOHA 서브 프레임 전송 임계값은 1 일 때가 가장 적합한 것으로 나타났다.

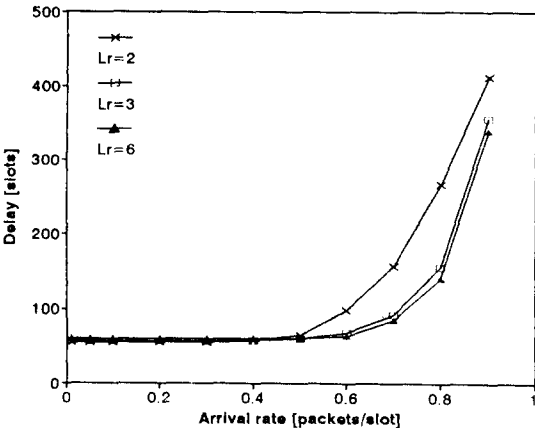


그림 6. 제안된 프로토콜의 평균 전송 프레임 길이
Fig. 6. Length of the transmission frame in the proposed protocol($T = 1$).

그림 6에서는 $T=1$ 인 경우에 패킷 도착율에 대한 전송 프레임의 평균 길이를 나타냈다. 패킷 도착율이 0.5전까지는 각 예약 슬롯 수에 따라 최소 프레임 길이, 55, 56, 59의 값을 갖다가 트래픽이 증가하면 점차 프레임의 길이는 증가된다. 고 트래픽 부분에서 잦은 예약 패킷의 충돌에 의해 지체된 패킷 전송으로 프레임의 길이는 많은 예약 슬롯을 가진 경우에 비해

더 크기 때문이다.

4. 성능 비교

지금 까지 논의된 세가지 프로토콜에 대해 패킷 도착율에 따른 평균 패킷 전송지연 그래프를 그림 7에서 비교해 보았고, 전송효율에 대한 비교는 그림 8에 보였다. 각 방식의 전송지연시간에 대한 비교를 쉽게 알아볼 수 있게 하기 위하여 다음의 표 4에서는 대표적인 패킷 도착율에 대한 전송지연시간을 평균 전파 지연시간 R 로 나타냈다. 참고로 $10R = 2.55 \text{ sec}$ 이고, $10^3R = 25.5 \text{ sec}$ 이다.

표 4. 각 방식에 대한 평균 전송지연시간 비교.
Table 4. Comparison of delay in the modified random, reservation and proposed protocol.

(단위: 패킷 도착율 packets/slot, 전송지연시간 slot)

패킷 도착율	0.01	0.2	0.3	0.5	0.7
수정된 랜덤 방식	$2.1R$	$3.3R$	불안정	불안정	불안정
예약 방식(P/DAMA) $L_R = 2$	$8.9R$	$285R$	$701R$	$1568R$	$2254R$
$L_R = 3$	$9.5R$	$235R$	$49R$	$462R$	$1354R$
$L_R = 6$	$11R$	$14.3R$	$17R$	$59R$	$764R$
제안된 혼합형 방식 $L_R = 2$	$2.8R$	$5.1R$	$8.6R$	$57R$	$23R$
$L_R = 3$	$2.8R$	$5R$	$6.8R$	$13R$	$37R$
$L_R = 6$	$3.1R$	$4.4R$	$4.8R$	$5.5R$	$9.2R$

먼저 패킷 도착율이 0.01~0.2인 경우에 대해서 비교하여 본다. 수정된 랜덤 접속방식의 전송지연시간은 $2.1R \sim 3.3R$ 로 다른 방식보다 가장 작은 값을 갖는다. 예약방식은 약 $8.9R \sim 285R$ 로 가장 큰 값을 갖는다. 제안된 방식은 $2.8R \sim 5.1R$ 로 수정된 랜덤 접속방식에 가까운 작은 전송지연시간 값을 보이며, 예약방식에 비해 적게는 약 3배에서 크게는 약 56배로 우수한 전송지연 특성을 보인다.

패킷 도착율이 0.2 이상인 경우, 수정된 랜덤 접속 방식은 불안정해져 전송지연시간은 10^5 슬롯 이상으로 급격히 증가하고 전송효율은 0.02 이하로 떨어진다. 예약 방식에서는 $L_R=6$ 의 경우를 제외하고는 $10^3 R$ 이상까지 증가한다. 제안된 방식에서는 패킷 도착율이 0.2 이상에서도 $10^3 R$ 이하의 전송지연시간을 갖어 예약 방식보다 약 3~80 배 우수하다.

전송효율 면에서 제안된 방식은 어떤 방식보다 우수하여 패킷 도착율과 거의 같은 값을 갖는다. 이는

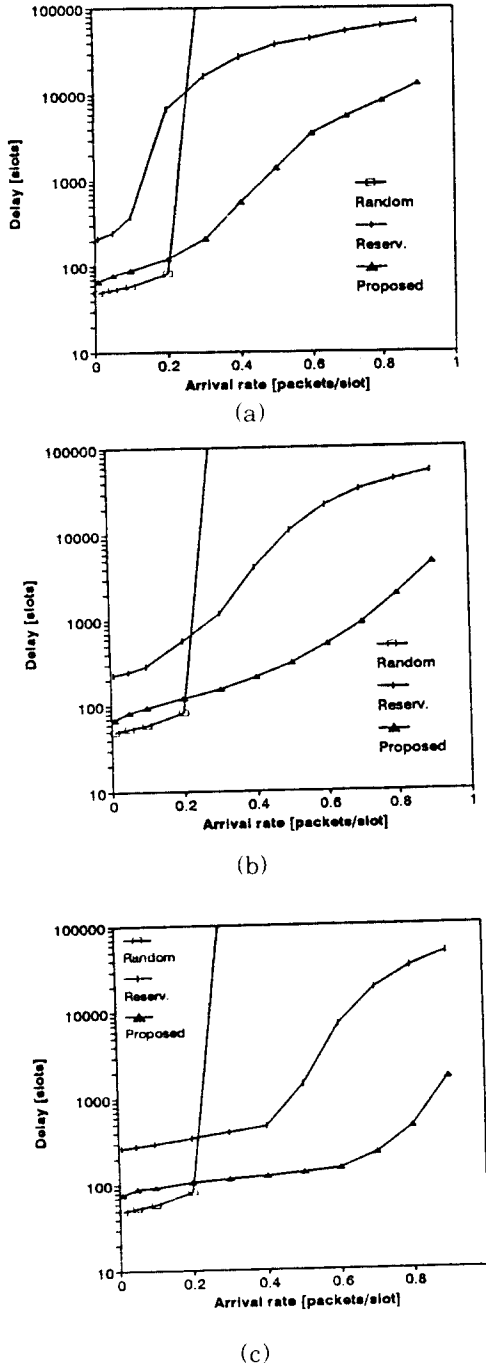


그림 7. 프로토콜들의 평균 전송지연 비교
 Fig. 7. Comparison of delay in the modified random(Random), the reservation (Reserv.), the proposed protocols (Proposed). (a) $L_R = 2$ (b) $L_R = 6$ (c) $L_R = 6$

망에 유입되는 모든 패킷은 짧은 시간 안에 목적지까지 성공적으로 전송됨을 의미한다.

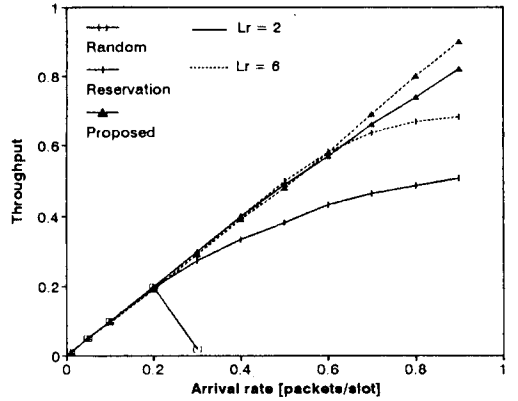


그림 8. 프로토콜들의 전송효율 비교
 Fig. 8. Comparison of throughput in the modified random(Random), the reservation(Reserv.), the proposed protocols(Proposed).

IV. 결론

본 연구에서 이동 위성 통신 시스템 환경 하의 다양한 이동국과 고정국들 간에 효율적인 통신 서비스를 제공하는 적합한 다원 접속 방식을 찾기 위하여 예약 접속 방식으로는 기존의 PDAMA를 고려하여 보았고 랜덤 접속 방식인 슬롯형 ALOHA 방식을 이동 위성 통신 시스템에 적합하도록 수정하여 고려해 보았다.

시뮬레이션과 해석의 결과에 의하면 서론에서 언급한 바와 같이 랜덤 접속 방식은 패킷 도착율이 0.2 이하에서 패킷은 2.1R~3.3R로 짧은 시간에 성공적으로 전송되지만 패킷 도착율이 증가할수록 패킷들 간의 잦은 충돌에 의해 시스템은 불안정하게 되어 전송지연시간은 10^5 슬롯 이상으로 급격히 증가하고 예약 접속 방식은 반대로 예약 과정에서 소요되는 시간 때문에 패킷 도착율이 낮은 부분에서 랜덤 접속 방식보다 8R 이상으로 상대적으로 상당히 긴 시간 후에 패킷이 전송되었다. 본 논문에서는 이런 두 방식의 장단점을 보완한 혼합형 다원 접속 방식을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안된 혼합형 방식은 패킷 도착율이 0.2 이하에서 랜덤 접속 방식과 같이 2.8R~5.1R로 작은 전송지연 특성을 갖고 보다 큰 패

킷 도착율 0.2 이상에서도 예약 접속 방식 보다 3배에서 80배까지 우수한 전송지연시간 특성을 보인다. 전송효율에 있어서도 시스템에 유입되는 거의 모든 패킷을 패킷도착율이 0.9에서도 500R의 짧은 시간 안에 목적지까지 전송시켜주는 우수한 특성을 가지고 있음을 보였다.

앞으로는 수정된 랜덤 접속방식에서 충돌된 패킷들의 재전송 프로토콜이 최적화되도록 하고, 비트 에러로 인한 패킷들의 재전송 방법이 고려되어 보다 실질적인 조건이 부가되어야 한다. 또한, 제안된 프로토콜의 이론적 해석이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

參考文獻

- [1] Victor C. M. Leung, "Protocol Design for Mobile Radio Group Communications Over Satellite", IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 10, No. 8, pp.1351-1361, Oct. 1992.
- [2] Muya Wachira, "Domestic Mobile Satellite Systems in North America", Proceedings, IMSC' 90, pp.19-27, June, 1990.
- [3] Fouad A. Tobaggi, "Multiaccess Protocol in Packet Communication Systems", IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, No.4, pp.468-488, April, 1980.
- [4] N. Avramson, "The ALOHA Systems - Another Alternative for Computer Communications", in 1970 Fall Joint Comput. Conf., AFIPS Conf. Proc., vol.37, Montvale, NJ:AFIPS Press, pp. 281-285, 1970.
- [5] Lam S., "Packet Broadcast Networks - A Performance Analysis of the R-ALOHA Protocol", IEEE Transactions on Computers, vol.C-29, No.7, pp.596-603, July, 1980.
- [6] C. F. Pavey, R. P. Rice, Jr., E. J. Cummins, "A Performance Evaluation of the PDAMA Satellite Access Protocol", Proceedings, INFOCOM '86, pp.580-589, April, 1986.
- [7] Roberts L., "Dynamic Allocation of Satellite Capacity Through Packet Reservation", Proceedings, National Computer Conference, pp.711-716, 1973.
- [8] Hyong W. Lee, Jon W. Mark, "Combined Random/Reservation Access for Packet Switched Transmission Over a Satellite with On-Board Processing : Part I-Global Beam Satellite", IEEE Trans. Commun., vol. COM-31, pp. 1161-1171, Oct., 1983.
- [9] Jeffrey E. Wieselthier, Anthony Ephremides, "A New Class of Protocols for Multiple Access in Satellite Networks", IEEE Trans. Automatic Control, vol. AC-25, No. 5, pp.865-879, Oct., 1980.
- [10] S. F. W. Ng, J. W. Mark, "A Multiaccess Model for Packet Switching with a Satellite Having Some Processing Capability : Delay Analysis", IEEE Trans. Commun., vol.COM-26, No. 2, pp.128-135, Feb., 1978.
- [11] D. K. Guda, D. L. Schilling, T. N. Saadawi, "Dynamic Reservation Multiple Access Technique for Data Transmission via Satellites", in Proc. IEEE INFOCOM' 82, pp.53-61, 1982.
- [12] F. Borgonovo, L. Fratta, "SRUC : A Technique for Packet Transmission on Multiple Access Channel with Feedback", in Proc. 4th ICC, pp.601-608.
- [13] D. J. Goodman, R. A. Valenzuela, K. T. Gayliard, B. Ramamurthi, "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications", IEEE Trans. Commun., vol. 37, No. 8, pp. 885-890, Aug., 1989.
- [14] T. Suda, H. Miyahara, T. Hasegawa, "Performance Evaluation of an Integrated Access Scheme in a Satellite Communication Channel", IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-1, No. 1, pp.153-164, Jan., 1983.
- [15] P. D. Welch, "On a Generalized M/G/1

Queueing Process in Which the First Customer of Each Busy Period Receives Exceptional Services." Oper. Res., vol. 12, pp.736-752, 1964.

[16] Tri T. Ha, "Digital Satellite Communications". Macmillan Publishing, pp. 366-368.

부 록

수정된 랜덤 접속 프로토콜의 평균 패킷 전송 지연 시간은 문헌 [14] 에서와 같은 방법으로 구할 수 있으며 전송 프레임 파라미터를 다음과 같이 정의 하고,

- L_C = 제어 슬롯의 길이,
- L_A = ALOHA 서브 프레임의 길이,
- L_G = 거리 측정 슬롯의 길이,
- $L_F = L_G + L_A + L_C$ = 전송 프레임의 길이.

어떤 패킷의 서비스 시간에 대한 랜덤 변수를 다음과 같이 정의 하면,

- a = 도착시간 부터 다음 프레임의 시작점까지의 시간,
- b = 재전송을 위해 소요되는 시간,
- c = 데이터 패킷의 전송이 성공한 프레임에서 목적 지까지 도달하는데 소요되는 시간,
- d = 바로 전에 도착한 패킷의 전송을 마친 시점에서 현재의 패킷을 전송하기위한 프레임의 시작점까지의 시간.

서비스 시간은

$$x_i = a + b + c, \tag{A-1}$$

$$x_a = d + b + c, \tag{A-2}$$

이고, 각 랜덤 변수는 서로 독립이므로 서비스 시간의 평균(mean)과 2 차 모멘트(second moment)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[x_i] = E[a] + E[b] + E[c], \tag{A-3}$$

$$E[x_i^2] = E[a^2] + E[b^2] + E[c^2] + 2(E[a]E[b] + E[b]E[c] + E[c]E[a]), \tag{A-4}$$

$$E[x_a] = E[d] + E[b] + E[c], \tag{A-5}$$

$$E[x_a^2] = E[d^2] + E[b^2] + E[c^2] + 2(E[d]E[b] + E[b]E[c] + E[c]E[d]), \tag{A-6}$$

다른 서비스 시간 x_b, x_c 를 갖는 일반적인 M/G/1 Queueing 시스템의 평균 패킷 전송지연시간은 다음과 같다. [15]

$$D = \frac{E[x_i]}{1 - \lambda(E[x_a] - E[x_i])} + \frac{\lambda E[x_a^2]}{2(1 - \lambda E[x_a])} + \frac{\lambda(E[x_i^2] - E[x_a^2])}{2[1 - \lambda(E[x_a] - E[x_i])]} \tag{A-7}$$

데이터 패킷을 전송한 지구국은 전파 지연 시간때문에 패킷을 전송한 프레임의 다음 프레임이 지난 후에 전송 성공 여부를 알 수 있으므로 패킷을 가진 지구국은 2 프레임중 어느 한 프레임의 한 슬롯에 $1/L_A$ 의 확률을 가지고 접근한다. 따라서 어떤 패킷의 전송이 성공할 확률은

$$S = \sum_{i=0}^{M'} (M' - i) \rho^i (1 - \rho)^{M' - i} \tag{A-8}$$

$$(1 - \frac{1}{L_A})^i = (1 - \frac{\rho}{L_A})^{M' - i}$$

여기서 $\begin{cases} M' = \lfloor M/2 \rfloor \\ \rho = \lambda E[x] \end{cases} \tag{A-9}$

$$\tag{A-10}$$

([*] 는 * 의 정수부분)

이다. 위에서 ρ 는 채널 이용률(channel utilization factor)이고, 평균 서비스 시간(mean service time) $E[x]$ 는 다음과 같다.

$$E[x] = (1 - \rho)E[x_i] + \rho E[x_a], \tag{A-11}$$

패킷은 포아송 프로세스에 따라 도착하므로 a의 평균과 2차 모멘트는

$$E[a] = \frac{L_F}{2}, \tag{A-12}$$

$$E[a^2] = \frac{L_F^2}{3}, \tag{A-13}$$

이고, i 번의 프레임 동안 재전송한 후 성공할 확률은 $(1-S)^i S$ 이므로 b에 대해서는

$$E[b] = \sum_{i=0}^{\infty} 2iL_F(1-S)^i S = 2L_F \frac{1-S}{S}, \tag{A-14}$$

$$E[b^2] = \sum_{i=0}^{\infty} (2iL_F)^2 (1-S)^i S = 4L_F^2 \frac{(1-S)(2-S)}{S^2}, \tag{A-15}$$

이 된다. 각 지구국은 ALOHA 서브 프레임 중 슬롯을 랜덤하게 선택해 패킷을 전송하고 평균 전파 지연 시간 R이 지난 후에 성공적으로 전송을 마치게 된다. 따라서 c에 대해

$$E[c] = \sum_{i=0}^{L_A} (L_C + i + R + 1) \frac{1}{L_A} = (L_C + R + 1) \frac{L_A - 1}{2}, \quad (A-16)$$

$$E[c^2] = \sum_{i=0}^{L_A} (L_C + i + R + 1)^2 \frac{1}{L_A} = (L_C + R + 1)^2 + (L_C + R + 1)(L_A - 1) \frac{(L_A - 1)(2L_A - 1)}{6} \quad (A-17)$$

이 되고, 랜덤 변수 d에 대해, $d = 2L_f - c$ 이므로

$$E[d] = 2L_f - E[c], \quad (A-18)$$

$$E[d^2] = 4L_f^2 - 4L_f E[c] + E[c^2], \quad (A-19)$$

이 된다. 식 (A-14), (A-18)를 식 (A-3), (A-5)에 대입하고 다시 식 (A-11)에 대입한 후, 식 (A-10)과 비교하여 S에 대해 정리하면

$$S = \frac{2L_f}{\rho(1/\lambda + E[a] + E[c] - 2L_f) + 2L_f - E[a] - E[c]} \quad (A-20)$$

이 된다. 이 식에 식 (A-12), (A-16)를 대입하고 식 (A-8)과 비교하면

$$(1 - \frac{\rho}{L_A})^{M-1} = \frac{2L_f}{\rho(\frac{1}{\lambda} - \frac{3}{2}L_f + L_C + R + 1 + \frac{L_A - 1}{2}) + \frac{3}{2}L_f - (L_C + R + 1) - \frac{L_A - 1}{2}} \quad (A-21)$$

이다. 어떤 한 슬롯에서의 총 유입율은 1 보다 작아야만 시스템은 안정될 수 있으므로 $M\rho / L_A < 1$ 이어야 한다. 따라서 시스템이 정상 상태 조건(steady-state condition)을 만족하기 위해서는 ρ 는 다음과 같은 범위에 있어야 한다.

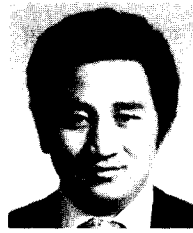
$$\rho < \frac{L_A}{M}. \quad (A-22)$$

著者紹介



任光宰(正會員)
1970年 10月 27日生. 1988年 ~ 1992年 인하대학교 전자공학과(學士). 1992年 ~ 1994年 인하대학교 전자공학과(碩士). 1994年 ~ 현재 인하대학교 전자공학과 박사과정. 주 관심 분야는 이동 및 위성

통신 등임.



郭慶燮(正會員)
1977年 인하대학교 전기공학과(學士). 1979年 인하대학교 전기공학과(碩士). 1981年 Univ. of So. California 대학원, EE(碩士). 1988年 Univ. of California 대학원, 통신공학 및 시스템(博士).

1983年 ~ 1988年 Univ. of California, San Diego, 研究助交. 1988年 ~ 1989年 미국 Hughes Network Systems, 研究員. 1989年 ~ 1990年 미국 IBM, Network Analysis Center, 研究員. 1990年 ~ 현재 인하대학교 전자공학과, 부교수. 주 관심 분야는 위성 및 이동 통신, 데이터 통신, ISDN 등임.