

〈主 題〉

위성통신 시스템에서 다중 접속 방식의 비교

On the Multi Access Methods for Satellite Communication Systems

곽경섭* · 김백현* · 황인관**
(인하대학교 전자공학과*, 한국전자통신연구원**)

□ 차 례 □

<p>I. 서 론</p> <p>II. 다중 접속 방식의 종류</p> <p>III. 고정 할당 방식</p> <p>IV. 랜덤 다중 접속 방식</p>	<p>V. 요구 할당 방식</p> <p>VI. 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식</p> <p>VII. 비교 검토</p>
---	---

요 약

본 논문에서는 위성 통신 시스템에 있어서 제한된 채널을 다수의 사용자가 효율적으로 사용하기 위한 다중 접속 방식인 고정 할당 다중 접속, 랜덤 다중 접속, 요구할당 다중 접속, 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식등의 프로토콜에 관하여 고찰하였으며, 몇 가지의 프로토콜에 관한 성능을 비교 검토하였다. 고정 할당 다중 접속 방식의 경우 연속적인 트래픽에 효율적이므로 소수의 기관 통신에는 적합하나 다수의 사용자 수용하기에는 부적합한 특성을 갖고 있으며, 랜덤 다중 접속 방식은 접속 방식이 간단하며, 버스트한 트래픽을 가진 다수의 사용자에 대하여 적은 지연 특성을 갖는 장점이 있으나 한정된 채널 효율과 사용자 수의 증가에 따른 지연의 증가가 심각하다. 따라서, 지상의 초고속 통신망에 위성 시스템을 적용하기 위해서는 지상 B-ISDN의 패킷화된 ATM 셀의 전송을 위해 접속 방식은 다소 복잡하지만 채널 효율 및 지연 특성이 비교적 우수한 요구 할당 다중 접속 또는 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식이 적합할 것으로 보인다.

등의 다양한 응용 분야에서 널리 사용되어 왔다. 지상의 광 파이버 전송 시스템 등에 비하여 경제적으로나 응용면에서 우위를 차지하지는 못하지만, 위성 통신의 장점이라 할 수 있는 점대 다중점, 다중점대 다중점 통신을 이용하여 지상에서 구축되는 B-ISDN 망 등과 통합되어 구축된다면, 신뢰도 높은 백업 서비스 및 망의 부하 분배 등의 응용 서비스 등에 위성 네트워크를 응용할 수 있을 것이다. 이러한 네트워크를 구성하기 위해서 무엇보다도 필요한 것이 한정된 채널을 효율적으로 사용하기 위한 다중 접속 프로토콜의 설계가 무엇보다도 선행되어야 할 것이다. 따라서, 본 논문에서는 여러 다중 접속 방식의 프로토콜을 비교하고, 그 성능을 평가하여 검토함으로써 위성 통신에 적합한 방식을 연구 개발하는데 기초 자료를 제공하고자 한다.

현재 구미 선진 각국에서는 위성 통신을 이용하여 고속의 멀티미디어 서비스를 구현하려는 일련의 시도가 진행중이다. 155.52 Mbps의 고속을 갖는 B-ISDN 지상망과 Ka 대역의 위성 통신망을 접속함으로써 B-ISDN의 기반 기술인 ATM 셀을 전송할 수 있게 되어 초고속정보통신기반구축의 조기실현을 가능하게 하고 있다. ATM 셀 전송은 높은 전송 속도를 갖는 하드웨어적인 패킷 통신이라 볼 수 있으므로 위성망을 ATM 방식과 연동하여서 사용하기 위해서는 고속의 패킷 통신에 적합한 다중 접속 프로토콜의 연구 및 ATM 셀 전송과 위성 패킷 교환 방식에 적합한 정합

I. 서 론

위성 통신 시스템은 국제적으로 데이터, 영상, 음성

방법의 연구가 무엇보다도 선행되어야 할 것이다.

통신을 위한 다중 접속 프로토콜은 제한된 채널을 많은 사용자들이 공유하여 효율적으로 이용하기 위해 개발되어져 왔다. 사용자의 수가 적을 경우에는 채널을 사용자의 수만큼 분할하여 고정적으로 할당하여 사용하는 고정할당 다중 접속 방식이 적합하나, 사용자의 수가 많아지고 전송할 데이터의 길이가 짧을 경우에는 전체 채널을 모든 사용자가 경쟁적으로 접속하여 전송하여 채널 효율은 떨어지지만 전송 지연이 짧은 방식인 랜덤 다중 접속 방식이 더욱 효과적이며, 전송 하고자 하는 데이터가 발생하였을 경우 전송 슬롯을 미리 예약하여 예약된 데이터 전송 슬롯으로 전송하는 요구할당 다중 접속 방식이 기본적인 지연은 있지만 채널 효율면에서는 더욱 우수하다. 또한, 지연 측면에서 우수한 랜덤 다중 접속 방식과 채널 효율 측면에서 우수한 예약 다중 접속 방식의 혼합된 형태인 혼합 랜덤/예약 다중 접속 식이 있다.

본 논문에서는 기존의 위성 통신용 다중 접속 방식으로 사용된 고정 할당 다중 접속 방식인 FDMA, TDMA 프로토콜과 랜덤 다중 접속 방식인 ALOHA, 슬롯형 ALOHA, SREJ-ALOHA, Tree-CRA 프로토콜 및 요구할당 다중 접속 방식인 ALOHA/DAMA, TDMA/DAMA 프로토콜, 그리고 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식의 프로토콜에 관해 고찰하고, 위성통신에 적합한 프로토콜의 연구 개발을 위하여 다양한 프로토콜을 비교 분석하였다.

II. 다중 접속 방식의 분류

위성 통신에서는 각 지구국이 하나의 통신 위성을 거쳐 다른 어떤 지구국과도 직접 통신할 수 있으므로 다원 링크 구성의 회선 네트워크를 쉽게 구현할 수 있다. 또한, 지구국 설비만 있다면, 위성이 보이는 어느 곳에서나 네트워크에 참가할 수가 있다. 이와 같은 구성의 이점은 복수의 지구국이 하나의 위성에 접속할 수 있는 개념이며, 이것을 다중 접속이라 하며, 위성 통신의 커다란 특징이라 할 수 있다[1].

다중 접속이란 지역적으로 분포된 여러 사용자들에 의해 통신 자원을 공유할 수 있는 방식을 뜻한다. 채널을 통해 통신하기 위해 경쟁하는 수 많은 사용자들에게 채널을 효율적으로 할당할 수 있는 채널 접속 제어의 절차가 필요하며, 이를 다중 접속 프로토콜이라 한다.

분산된 환경에서의 다중 접속 프로토콜을 특징짓는 가장 중요한 요소 중의 하나는 채널 전파 지연이다. 다중 접속 프로토콜의 역할은 채널을 공유하는 지역적으로 분포된 여러 사용자들로부터의 채널 접속 요구를 제어하는 것이다. 이러한 제어는 채널을 통하여 이루어지므로, 채널 전파 지연은 제어 신호가 어떤 사용자 또는 중앙 제어국으로 부터 다른 모든 사용자들에게 보내지는데 필요한 시간과 직접적으로 연관되어 있다. 만약, 전파 지연이 없다면 채널 공유를 위한 조정은 즉각적으로 이루어질 수 있을 것이며 다중 접

[표 1] 다중 접속 방식의 분류

다 중 접 속 방 식	고정 할당 방식	FDMA
		TDMA
		CDMA
	랜덤 접속 방식	ALOHA
		SREJ-ALOHA
		S-ALOHA
		Tree-CRA
	요구 할당 방식	TDMA 예약 DAMA
		S-ALOHA 예약 DAMA
	혼합 접속 방식	혼합 랜덤/예약 프로토콜

속에 관한 문제는 없어질 것이다. 지상 무선과 근거리 네트워크(LAN: local area network)와 같은 통신 시스템의 경우, 다중 접속 프로토콜은 짧은 전파 지연의 채널 특성을 효율적으로 사용하는 방향으로 개발되어져 왔다.

반면, 위성 통신과 같은 시스템의 경우 약 0.25 초 정도의 전파 지연 시간을 갖게 되며, 위성 통신에서 사용되는 프로토콜의 개발에 있어 고려되어야 할 중요한 파라미터이다. 이 외에 다중 접속 프로토콜에 있어서 중요 고려 사항은 네트워크의 사용자수와 사용자들의 트래픽 특성이다. 프로토콜 고안시, 반드시 위와 같은 중요 요소들을 고려하여 설계하여야 할 것이다. 다중 접속 방식을 분류하는데에는 여러 가지가 있지만, 다음 [표 1]은 위성에서 사용되는 다중 접속 방식을 분류 요약한다[2].

III. 고정 할당 방식

고정 할당 방식은 각 사용자에게 가능한 채널의 일부분을 고정적으로 할당해 주는 방식으로 이러한 고정 할당 방식의 가장 일반적인 형태로는 주파수 대역을 할당하는 주파수분할 다중접속(FDMA: frequency division multiple access), 전송 슬롯 시간을 할당하는 시분할 다중접속(TDMA: time division multiple access), 2차 변조에 사용될 PN 코드를 할당하는 코드분할다중접속(CDMA: code division multiple access) 등을 들 수 있다.

3.1 주파수 분할 다중 접속(FDMA)

전체 주파수 대역을 분할하여 각 지구국에 할당하는 방식으로 각 송신 지구국은 할당된 주파수 대역내에서 신호를 송신하고, 수신측에서는 수신 신호가 어떤 할당 주파수 대역내에 있는가에 의해 송신국이 식별되며 그 신호 중에서 자국으로 보내는 채널의 신호를 수신한다. 주파수 분할 방식은 시 분할 방식과는 달리 신호의 연속성이 보장되므로, 신호의 동기화 등 전송과 전달의 어려움을 극복하는데 유리하다. 또한, 신호의 속도가 느려서 전파 지연에 따른 심볼간 간섭 등의 문제가 그리 심각하지 않으므로, 디지털 지연 보상기 등을 제외할 수 있어서 기기를 단순하게 할 수 있다. 반면, 채널당 주파수 대역폭이 매우 좁아지므로 고효율의 RF 협대역 통과 필터 등의 아날로그

소자 개발을 위한 많은 기술적 노력이 요구된다.

FDMA 시스템의 전체 대역폭에 따른 비트 용량을 R 이라 하고, M 명의 사용자 및 평균 메시지 길이를 b 라 하면, 메시지 시간은 $T = b/R$ 이며, FDMA 채널의 평균 서비스율, $\mu = R / Mb = 1 / MT$ 이다[3, 4]. 또한, 각 사용자의 평균 메시지 도착율을 λ 라 하면, 각 채널에 대한 트래픽 밀도 $\rho = \lambda/\mu$ 이다. M/G/1 시스템의 경우, ρ 는 서버가 서비스를 제공하고 있는 시간 비율을 나타내므로 효율과 같은 의미이다[3]. 즉 ρ 를 효율, S 로 대체할 수 있다. 따라서, M/G/1 해석에 의해 다음과 같은 FDMA 시스템의 평균 메시지 지연, D_{FDMA} 와 효율, S 의 관계식을 얻을 수 있다.

■ 지수적 메시지 길이 분포(M/M/1) :

$$D_{FDMA} = \frac{1}{(R/Mb)(1-\rho)} = \frac{Mb}{R} \frac{1}{1-S} = \frac{M}{1-S} T \quad (1)$$

■ 고정 메시지 길이 분포(M/D/1) :

$$D'_{FDMA} = \frac{2-\rho}{2(R/Mb)(1-\rho)} = \frac{Mb}{R} \frac{2-S}{2(1-S)} = \frac{M(2-S)}{2(1-S)} T \quad (2)$$

3.2 시 분할 다중 접속(TDMA)

시스템에 부여된 전체 주파수 대역폭을 사용하여 송신 지구국의 전송 시간을 슬롯당으로 분할하여 할당하는 방식으로 각 지구국은 할당된 시간폭내에 일치하도록 자국의 신호를 단속적으로 송신한다. 수신측에서는 수신 신호의 시간위치 혹은 신호 중에 포함되는 국식별 신호에 의해 송신국이 자국으로 보내는 채널에 들어 있는 슬롯 시간에서 신호를 수신한다.

이와 같은 TDMA방식은 위성 통신 시스템을 위하여 일찍이 개발되어 널리 실용화되어 왔다. 음성 정보가 패킷화하여 전달되고, 각 패킷의 무선 전달 경로가 다르므로 이를 수신측에서 보상하기 위한 기술이 수반되어야 한다. 또한, 신호의 속도가 빠르므로, 전파 지연에 따른 문제가 심각하고, 이의 보상을 위한 디지털 지연 보상을 필요로 하므로 주파수 분할 방식에 비해 상당히 복잡한 기술을 필요로 한다.

매 프레임에서 각 사용자에게 1개의 슬롯을 할당하

는 TDMA 방식의 메시지 지연 분포에 대하여 다음과 같이 분석할 수 있다[3, 6, 7]. 일반적인 도착과정을 고려하기 위해 생성 함수 기법을 이용하여 메시지 지연의 분포함수를 분석할 수 있다. 시스템의 사용자 수는 M 으로, 슬롯의 길이는 패킷의 전송기간과 같은 T 로 가정하며, 고려 대상인 사용자에게 프레임의 첫 슬롯이 할당되는 것으로 가정한다. 그리고, 메시지는 랜덤하게 L 개의 패킷으로 구성된다고 가정한다.

메시지 길이 분포의 생성 함수,

$L(z) = E[z^L] = \sum_{L=0}^{\infty} \Pr[L=L]z^L$ 로 정의할 수 있으며, 평균과 분산은 $L = L'(z)|_{z=1}$ 과 $L^2 = L''(z)|_{z=1} + L$ 로 구할 수 있다. 각 사용자의 메시지 도착 분포는 λ (메시지/초)를 인자로 갖는 포아송 분포를 따르며, 각 사용자의 대기 버퍼는 무한한 것으로 간주한다. 메시지가 처음 도착한 순간부터 마지막 패킷이 전송될 때까지의 시간을 메시지 지연이라 정의하며 라플라스 변환을 이용하여 메시지 지연 분포를 다음과 같이 구할 수 있다[6].

$$D_{TDMA} = MT(L - \frac{1}{2}) + \frac{MTL^2}{L} \frac{\rho}{2(1-\rho)} + T \quad (3)$$

FDMA 프로토콜(M/D/1)과의 비교를 위해 모든 메시지가 한 개의 패킷으로 구성된 분포를 가정할 경우, 즉 $L=L^2=1$ 일 경우의 TDMA 프로토콜 지연은 다음과 같다.

$$D'_{TDMA} = \frac{MT}{2} + MT \frac{2-S}{2(1-S)} + T = (1 - \frac{M}{2})T + D'_{FDMA} \quad (4)$$

위의 식(4)를 살펴보면, TDMA 채널이 FDMA 채널에 비해 $(M/2-1)T$ 만큼의 지연 성능면에서 우수함을 알 수 있다. 고정 할당 다중 접속 방식인 FDMA 채널 및 TDMA 채널에서 사용자가 데이터를 전송하지 않을 경우, 해당 채널은 다른 사용자의 사용이 허락되지 않으므로 시스템 자원은 낭비가 된다. 또한, 접속 채널의 경우와 같이 트래픽이 버스트한 경우에는, FDMA나 TDMA 채널은 대부분의 시간 동안 휴지 상태에 있게 되어 효율이 나빠지게 된다.

3.3 부호 분할 다중 접속(CDMA)

이 방식에서는 각 지구국은 1차 피변조파에 대하여 각국 고유의 고속 시계열 부호로 2차 변조하여 송신한다. 즉, 2차 변조용 부호계열(PN 시퀀스)에 관한 부호 벡터 공간을 분할하여 각 지구국에 할당하기 때문에 부호분할이라는 명칭이 붙었다. 이 방식에서는 2차 변조에 의해 신호의 스펙트럼이 1차 변조파에 비해 무척 넓어지므로 스펙트럼 확산 다중 접속(Spread Spectrum Multiple Access: SSMA)이라고도 부른다. 수신측에서는 수신해야 할 신호를 수신측과 동일한 PN 시퀀스에 의해 상관검출을 행하여 1차 피변조파를 수신한다.

CDMA의 효율은 매우 낮은데, 이는 위성 중계기의 대역에서는 처리이득을 충분히 크게 할 수가 없고, 캐리어 상호간의 간섭에 의한 잡음분이 지배적인 극단적인 대역 제한의 시스템을 이루고 있기 때문이다. 일반적으로 특수목적(예, 군사목적)에 주로 사용되며, 고속데이터 전송에서 TDMA 방식에 비하여 기술적, 효율적 측면에서 불리하므로 많은 연구가 필요하다 하겠다.

IV. 랜덤 다중 접속 방식

랜덤 다중 접속 방식은 전체 대역을 불규칙하게 접속할 수 있는 한개의 공용채널을 사용자들에게 부여하는 방법으로써 경쟁 방식이라고도 한다. 랜덤 접속 프로토콜은 아주 많은 버스트한 지구국들($M \gg 1$)이 낮은 데이터 속도로 채널을 할당받아야 하는 환경에서 TDMA와 같은 고정 할당 프로토콜 방식이 부적합하다는 데에서 기인한다. 이러한 트래픽에서는 기지국의 증가에 따라 오버헤드 또는 지연의 문제점을 유발하지 않도록 채널 자원을 동적으로 할당하는 방법이 적용되어야 한다. 이런 동적 할당 방법 중 하나인 랜덤 다중 접속 방식은 모든 지구국들이 채널을 불규칙하게 접속하는 것을 허용하면서 채널의 트래픽 부하는 상대적으로 적은 확률로 충돌을 갖도록 한다. 메시지의 충돌이 발생하였을 경우 충돌 해소 알고리즘(CRA: collision resolution algorithm)에 의해 충돌이 일어난 모든 메시지가 성공적으로 전송되도록 한다. 일반적으로, 사용된 CRA의 특징(간단한 것으로 부터 매우 복잡한 것까지)에 따라 랜덤 접속 프로토콜을 분류한다.

패킷전송시 모든 지구국들 사이의 시간 동기의 유무에 따라 비슬롯형과 슬롯형으로 나뉠 수 있으며, 다음에 일반적인 비슬롯형 다중 접속 방식인 ALOHA 프로토콜과 SERJ- ALOHA 프로토콜 및 슬롯형 다중 접속 방식인 슬롯형 ALOHA 프로토콜과 Tree-CRA 랜덤 다중 접속 방식에 대하여 알아본다.

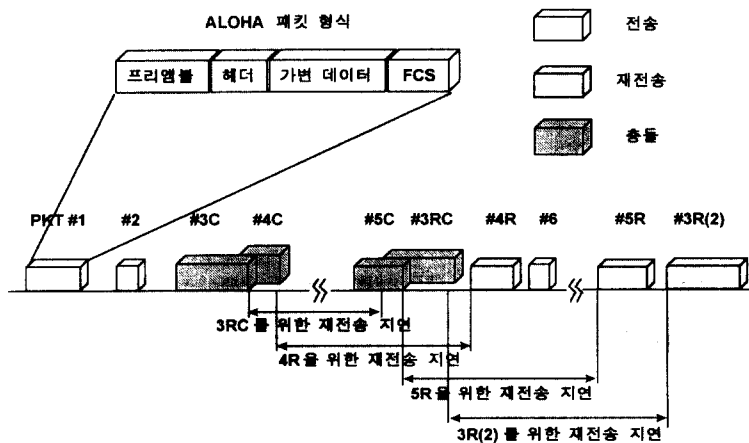
4.1 ALOHA 프로토콜

ALOHA 프로토콜은 최초의 가장 간단한 불규칙 접속 기법으로 송신 지구국들간의 채널에 대한 어떠한 시간적으로나 논리적인 조정이 필요 없다. 송신 지구국들은 데이터가 발생될 때마다 새로운 메시지를 즉각적으로 보낸다. [그림 1]과 같이 충돌된 패킷은 불규칙한 재전송 지연 후에 다시 전송함으로써 충돌을 해결한다. 각 지구국들은 데이터가 발생할 때마다 데이터에 프리앰블, 헤더, FCS(Frame Check Sequence) 등을 추가하여 전송한다. 송신측에서는 전송을 한 후 위성까지의 거리 및 수신측에서의 처리시간을 고려한 왕복 전파 지연 시간 대기 타임아웃(Timeout) 타이머를 시스템의 성능에는 영향을 끼치지 않을 정도의 범위에서 설정하고 시간내에 전송 성공을 알리는 ACK(Acknowledgement) 메시지가 수신되면 한 메시지에 관한 프로세스를 끝낸다. 그러나, 타임아웃 타이

머의 설정 시간이 끝날 때까지 ACK 메시지의 도착이 없으면 전송을 실패한 것으로 간주하고 재전송 모드로 들어간다. 재전송 되는 지연은 시스템 성능을 고려한 재전송 지연 범위에서 불규칙한 시간을 대기한 후 재전송을 한다. 재전송되는 메시지는 전송이 성공될 때까지 위에서 설명한 처리를 반복한다[5, 12].

전송 시간은 비동기이므로 임의의 시점에서 충돌하게 된다. 만약, 패킷의 길이가 고정된 T_{PKT} 이라면 두 패킷이 전송되었을 때, 충돌 가능 구간은 $2T_{PKT}$ 가 된다. ALOHA 프로토콜은 메시지 길이 분포에 따라 0.13~0.18 사이의 최대 효율을 가지며, 상대적으로 낮은 채널 사용율을 갖는다. 그러나, 효율은 낮지만 짧은 접속 지연, 가변 길이의 메시지 트래픽 조절기능, 최소 장비 복잡도 등 전체적인 조합에 의해 비교적 전송 신호의 버스트가 낮고 소형화가 요구되는 다수의 VSAT(Very Small Aperture Terminal) 네트워크 등의 응용에 장점을 제공하고 있다[2].

성능 분석을 위해 전송시 다른 패킷에 의한 간섭이 없는 경우 정확히 수신되고, 두 개 이상의 패킷이 전송될 경우 어느 것도 수신되지 않는다고 가정한다. 또한, 각 사용자는 패킷을 불규칙하게 전송하고 패킷은 오류 검출을 위한 패리티 비트를 포함하고 있어서



[그림 1] ALOHA 프로토콜의 패킷 전송 모델

충돌이 발생한 경우 불규칙한 기간 후에 재전송한다. 사용자수가 무한하다고 가정하면, 입력은 패킷 발생률을 갖는 포아송 프로세스로 고려할 수 있다. 따라서, 패킷의 길이가 T 라 하면, 평균 채널 입력을 또는 채널 효율, $S_{in} = \lambda T$ 이다[4, 9].

새로이 도착한 패킷과 재전송되는 패킷에 의한 채널의 평균 전송 시도 부하를 g 라 하고 재전송 지연이 패킷길이에 비해 충분히 크다면 이 트래픽은 평균 g 를 갖는 포아송 프로세스로 가정할 수 있다. 따라서, 임의의 t 구간 동안 k 개의 패킷이 도착할 확률, $P(k, t) = \frac{(gt)^k}{k!} \exp(-gt)$ 이다. 따라서, 새로이 발생된 패킷이 성공적으로 전송될 확률은 다음과 같다.

$$P_{succ} = P[k=0, t=2T] = \exp(-2gT) \quad (5)$$

정규화된 전송 시도 부하를 G 라 하면, 채널 효율, S_{out} 는 정보가 성공적으로 전송되는 시간율이므로 다음 식과 같이 채널 트래픽, G 와 새로이 발생된 패킷이 충돌되지 않고 성공적으로 전송될 확률과의 곱으로 $S_{out} = g \text{ Texp}(-2gT) = G \exp(-2G)$ 이며, 최대 효율은 채널 트래픽, G 가 0.5일 때, $S_{max} = 1/(2e) = 0.184$ 이다.

ALOHA 채널의 평균 패킷 지연은 패킷 전송 시간(T)과 평균 재전송 지연 시간($E[D_{re}]$) 및 전송 지연 시간(T_R)의 합으로 $D_{ALOHA} = T + E[D_{re}] + T_R$ 이며, $1 \sim K$ 기간의 불규칙 재전송을 고려한 패킷의 평균 재전송 지연은 다음 식과 같다.

$$E[D_{re}] \cong [\exp(2G) - 1] \left[\frac{(K+1)}{2} T + T_R \right] \quad (6)$$

결과적으로 ALOHA 다중 접속 방식의 평균 패킷 지연은 다음과 같다.

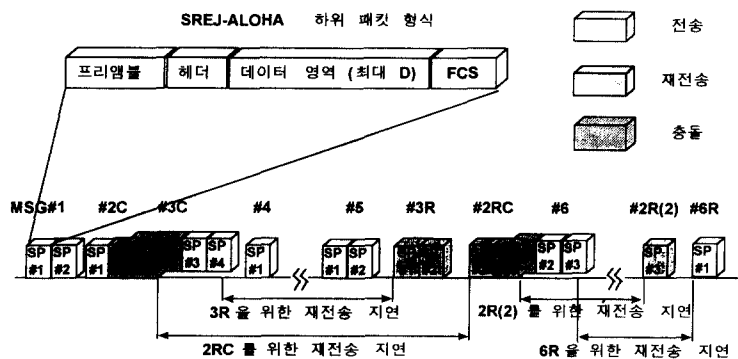
$$D_{ALOHA} \cong T + [\exp(2G) - 1] \left[\frac{(K+1)}{2} T + T_R \right] + T_R \quad (7)$$

앞에서 살펴본 효율과 지연 결과에서 알 수 있듯이, ALOHA 시스템은 최대 효율은 적지만, 지연은 짧은 특성을 나타냄을 알 수 있다.

4.2 선택적 제거 방식

(SREJ: selective reject/repeat)-ALOHA 프로토콜

SREJ-ALOHA 프로토콜은 선택적 제거 ARQ(automatic request) 재전송 방법의 서브 패킷 메시지를 사용하여 ALOHA보다 높은 비동기 랜덤 다중 접속 효율을 갖는다. 대부분의 경우 비동기 전송 채널에서의 충돌은 부분적인 중복에 의해 발생하므로 SREJ-ALOHA 프로토콜은 전체 패킷 중 부분적으로 충돌한 서브 패킷만을 재전송한다. SREJ-ALOHA 프로토콜의 패킷 전송 모델은 [그림 2]와 같으며, 그림에서 3개의 서브 패킷으로 구성된 메시



[그림 2] SREJ-ALOHA 프로토콜의 패킷 전송 모델

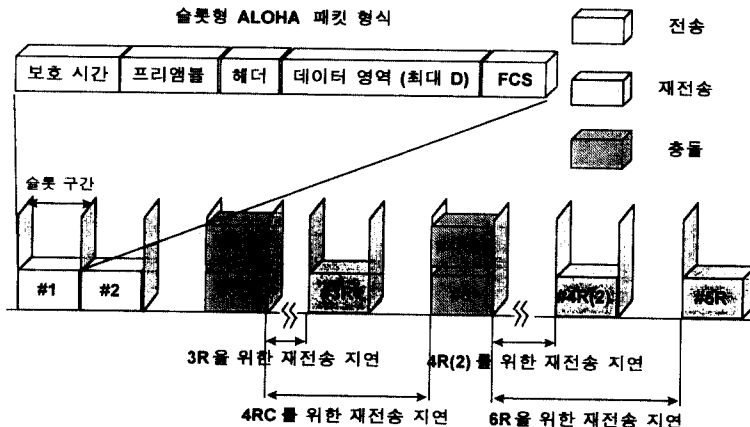
지#2와 4개의 서브 패킷으로 구성된 메시지#3는 충돌된 서브 패킷(메시지#2의 서브 패킷#2,3 및 메시지#3의 서브 패킷#1,2)만이 재전송된다. 따라서, 동일한 경우의 ALOHA 프로토콜에서는 7개의 서브 패킷 정도의 신호를 재전송하여야 하는 것에 비해 SREJ-ALOHA 프로토콜에서는 4개의 서브 패킷 신호만을 재전송하므로 ALOHA 프로토콜보다 더 나은 지연 및 효율과 향상된 안정성을 얻을 수 있음을 알 수 있다. SREJ-ALOHA의 최대 효율은 임의의 작은 서브 패킷으로 전송하였을 때, 이론적 비동기 용량인 0.368에 접근한다. 실제로는 각각의 서브 패킷의 프리앰블과 헤더의 인식 때문에 최대 효율의 범위는 0.2~0.3으로 제한된다. 그러므로 효율적인 SREJ-ALOHA 프로토콜을 위해서는 짧은 프리앰블을 갖는 버스트 모뎀이 필수적이라 할 수 있으며, 이 프로토콜은 ALOHA 프로토콜과 유사한 낮은 복잡도를 유지한다[2, 5].

4.3 슬롯형(Slotted) ALOHA 프로토콜

슬롯형 ALOHA 프로토콜은 [그림 3]에서와 같이 TDMA 슬롯과 유사한 고정 길이 패킷을 송신 지구국이 동기화하여 전송함으로써 ALOHA 프로토콜의 패킷 충돌 가능 구간을 줄이는 방법이다. 임의의 시점에서 도착한 전송 패킷은 바로 다음 슬롯의 시작점까지 대기한 후 슬롯의 시작점에서 전송을 시작한다.

따라서, 메시지 전송 지연은 ALOHA 프로토콜에 비해 커지게 되지만, 충돌 가능 구간이 T_{PKT} 로써 ALOHA 프로토콜에 비하여 전송 효율이 높아짐을 알 수 있다. 충돌된 패킷은 ALOHA 프로토콜의 경우와 마찬가지로 T_{PKT} 가 되어 불규칙한 재전송 지연 시간 후에 패킷이 성공적으로 전송될 때까지 재전송을 한다. 이러한 슬롯형 ALOHA 프로토콜 방법은 ALOHA와 비슷한 지연 특성으로 최대 0.368까지 효율을 증가시키는 효과를 가지고 있다. 슬롯형 ALOHA는 고정 길이 트래픽 신호 송수신에 적합한 간단하고도 효율적인 랜덤 다중 접속 방법이지만, ALOHA 프로토콜과 SREJ-ALOHA 프로토콜에 비해 상대적으로 지구국간 전송 시간 동기가 복잡하다. 또한, 슬롯형 ALOHA에서는 시간 동기 에러를 보완하기 위한 보호 시간이 필요하기 때문에 순수 데이터 효율은 SREJ-ALOHA 프로토콜보다도 작다[2, 4].

마코브 체인을 이용하여 유한의 사용자에 대한 슬롯형 ALOHA 프로토콜의 지연-효율 특성을 구할 수 있다. 각 사용자는 하나의 패킷 버퍼를 가지고 있으며, 버퍼내의 대기 패킷의 유무에 따라 준비(thinking) 상태와 정체(backlogged) 상태를 고려할 수 있다. 버퍼내에 대기중인 패킷이 없는 경우를 준비 상태라 하며, 각 사용자는 σ 의 확률로 패킷을 발생하므로 기하 분포로 고려할 수 있다. 또한, 대기중인 패킷이 있는 경우 정체 상태라 하며, 버퍼에서는



[그림 3] 슬롯형 ALOHA 프로토콜의 패킷 전송 모델

의 확률로 패킷을 재전송하는 기하 분포로 고려할 수 있다. 정체 상태일 경우 사용자는 패킷을 발생하지 않으며(버퍼가 하나이므로), 재전송이 성공할 경우 준비 상태로 천이된다[2, 6].

k 슬롯의 시작점에서의 정체된 사용자의 수를 $N(k)$ 라 하여, 이를 상태로 하는 마코브 체인을 분석한다. M (전체사용자수)이 유한이므로, 모든 상태가 왕래가능(communicate)하다면, 이 마코브 체인은 에르год릭(ergodic)하다. 즉, 정상 상태가 존재한다.

상태 i 에 있게 될 정상 상태 확률을 정상 상태 천이 확률을 π_i 라 하면 정상 상태 천이 확률을 p_{ij} 라 하면 $\pi_i = \lim_{k \rightarrow \infty} \Pr[\tilde{N}(k) = i]$ 와 $p_{ij} = \lim_{k \rightarrow \infty} \Pr[\tilde{N}(k) = j | \tilde{N}(k-1) = i]$

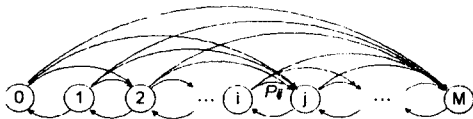
로 정의 할 수 있다. 따라서, p_{ij} 가 구해지고 π 는 π_i 로 이루어진 벡터이며, P 는 p_{ij} 로 이루어진 행렬이라면, 정상 상태 확률은 $\pi = \pi P$ 와 $\sum_{i=0}^M \pi_i = 1$ 의 두 식에 의해 구할 수 있다.

i 명이 정체 상태일 때, 한 슬롯에서 j 명의 정체된 사용자가 패킷을 전송할 확률, $P_\alpha[j | i]$ 및 j 명의 준비중인 사용자가 패킷을 전송할 확률, $P_\beta[j | i]$ 는 다음과 같다.

$$P_\alpha[j | i] = \binom{i}{j} \nu(1-\nu)^{i-j} \quad (8)$$

$$P_\beta[j | i] = \binom{M-i}{j} \sigma(1-\sigma)^{M-i-j} \quad (9)$$

따라서, p_{ij} 는 각 경우에 대하여 다음 [그림 4]와 같은 상태 천이도에 의해 구해질 수 있다.



[그림 4] 유한 사용자를 고려한 정체된 사용자의 상태 천이도

① $j < i - 1$: 한 개 이상의 패킷이 전송될 수 있는 경우는 없으므로 이와 같은 경우의 천이 확률, p_{ij} 는 0이다.

② $j = i - 1$: 정체된 사용자의 수가 1 감소하는 경우로서, 정체된 사용자 중에서 한 개의 패킷을 전송하고, 준비중인 사용자 중에서는 패킷이 전송되지 않아야 하므로 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$p_{ij} = P_\alpha[1 | i] \cdot P_\beta[0 | i] = [\nu(1-\nu)^{i-1}](1-\sigma)^{M-i} \quad j = i - 1 \quad (10)$$

③ $j = i$: 두 가지의 경우에서 발생하는데, 첫 번째는 준비중인 사용자 중에서는 패킷을

전송하지 않고 정체된 사용자 중에서는 한 사용자도 재전송을 시도하지 않거나 2 이상의 사

용자가 재전송을 시도하는 경우이며, 두 번째는 정체된 사용자 중에서는 재전송을 시도하지

않고 준비중인 사용자 중에서 한 사용자가 전송을 하는 경우이다.

$$p_{ij} = (1 - P_\alpha[1 | i]) \cdot P_\beta[0 | i] + P_\alpha[0 | i] \cdot P_\beta[1 | i] = (1 - \nu(1-\nu)^{i-1})(1-\sigma)^{M-i} + (1-\nu)^i \{(M-i)\sigma(1-\sigma)^{M-i-1}\} \quad j = i \quad (11)$$

④ $j = i + 1$: 준비중인 사용자 중에서 한 패킷을 전송하고 정체된 사용자 중에서 1 이상의 패킷을 재전송하려고 시도하는 경우이다.

$$p_{ij} = (1 - P_\alpha[0 | i]) \cdot P_\beta[1 | i] = (1 - (1-\nu)^i) \{(M-i)\sigma(1-\sigma)^{M-i-1}\} \quad j = i + 1 \quad (12)$$

⑤ $j > i + 1$: 준비중인 사용자 중에서 $(j-i > 1)$ 명의 사용자가 패킷을 전송할 경우이다.

$$p_{ij} = \binom{M-i}{j-i} \sigma^{j-i} (1-\sigma)^{M-j} \quad j > i + 1 \quad (13)$$

마지막으로, 정체된 사용자가 0인 경우, 1명의 사용자에 의한 충돌은 발생하지 않으므로 $p_{01} = 0$ 이며, i

상태에서의 모든 정상 상태 천이 확률의 합, $\sum_i p_{ii} = 1$ 이다. 그리고, p_{ii} 에 의해 정상 상태 확률, π_i 를 구한다.

전송이 성공하기 위해서는 준비 상태와 정체 상태의 모든 상태에서 한 개의 패킷이 전송되는 경우에만 가능하므로 i 명이 정체 상태에서의 전송 성공 확률, $P_{suc}(i)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_{suc}(i) &= \text{Pr[Success | i backlogged]} \\
 &= P_a[0|i] \cdot P_d[1|i] + P_a[1|i] \cdot P_d[0|i] \\
 &= (1-\nu)(M-i)\alpha(1-\sigma)^{M-i-1} + i\nu(1-\nu)^{i-1}(1-\sigma)^{M-i}
 \end{aligned} \tag{14}$$

전체 효율은 각 정체 상태에서의 전송 성공 확률의 평균이므로, 위에서 구한 정상 상태 확률을 이용하여 평균을 구하면 다음과 같다.

$$S_{S-ALOHA} = E\{P_{suc}(i)\} = \sum_{i=0}^M P_{suc}(i)\pi_i \tag{15}$$

Little의 정리에 의해 평균 재전송 지연 시간은 평균 정체된 사용자수와 패킷 전송 시간의 곱을 채널 효율로 나눔으로써 얻을 수 있다.

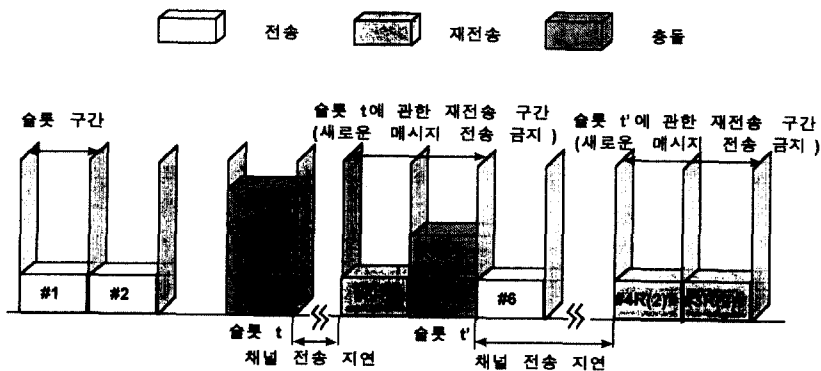
$$E[D_m] = \frac{\sum_{i=0}^M i\pi_i}{\sum_{i=0}^M P_{suc}(i)\pi_i} T \tag{16}$$

따라서, 유한의 사용자를 고려한 슬롯형 ALOHA의 지연-효율식은 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$D_{S-ALOHA} = T_R + \frac{3T}{2} + \frac{\sum_{i=0}^M i\pi_i}{\sum_{i=0}^M P_{suc}(i)\pi_i} T \tag{17}$$

4.4 Tree-CRA 랜덤 다중 접속 프로토콜

Tree-CRA 랜덤 다중 접속 프로토콜[10]에서는 충돌된 메시지들은 새로운 메시지들의 전송이 금지된 슬롯 구간에서 나무(tree) 구조 결정 과정에 의해 충돌을 해결한다. 일반적인 Tree-CRA 랜덤 다중 접속 프로토콜의 패킷 전송 모델을 [그림 5]에 나타내었다. 그림에서 슬롯구간 t 동안에 충돌된 패킷들(#3, 4, 5)은 전파 지연 시간 후에 새로운 메시지의 전송이 금지된 재전송 구간에서 나무 구조의 결정에 의해 재전송을 한다. 즉, 패킷 #5은 재전송하며 패킷 #3,4들은



[그림 5] Tree-CRA 랜덤 다중 접속 프로토콜의 패킷 전송 모델

재충들을 일으키게 된다. 따라서, 재충들을 일으킨 패킷 #3,4은 전파 지연 시간 후, 다시 나무 구조로 재전송을 모든 패킷이 성공적으로 전송될 때까지 한다.

ALOHA 프로토콜과는 달리 Tree-CRA 랜덤 다중 접속 프로토콜은 유한 또는 무한의 가입자 모델에서 채널을 안정하게 한다. 랜덤 접속 Tree-CRA 시스템은 일반적으로 0.43~0.49 범위의 용량을 가진다. 그리고, 슬롯형 ALOHA 프로토콜보다는 용량과 안정성 측면에서 더 우수하다. Tree-CRA 프로토콜은 안정한 반면, 복잡한 충돌 제거 과정의 특성으로 인해 부정확한 채널 관찰에서 치명적인 정체(deadlock)에 걸리기 쉽다. ALOHA 프로토콜에서는 적은 기지국수에서 CRA의 간단함때문에 이러한 치명적인 정체는 생기지 않는다. 슬롯형 ALOHA와 마찬가지로 Tree-CRA 프로토콜은 VSAT 등의 응용에 주로 사용되는 가변길이 메시지에 대해 고정 패킷 형식을 사용하여야 하는 단점이 있다[2, 10].

[그림 6]에 나타나 있듯이 각각의 소스를 이진 나무 상에서 하나의 잎으로 가정한다. 만약, 이러한 소스가 무한의 수라면, 그 나무는 무한으로 확장한다. 이러한 소스의 표기는 이진 주소 계획으로 고려될 수 있다. 예를 들어 그림에서 각 소스는 4개의 이진 비트 주소를 갖는다. 또한, n_x 와 n_y 를 두 개의 이진 하위 나무로 정의하고, 충돌은 현재 슬롯쌍의 시작까지 일어나지 않은 것으로 가정하면, 이진 나무 알고리즘은 다음과 같다.

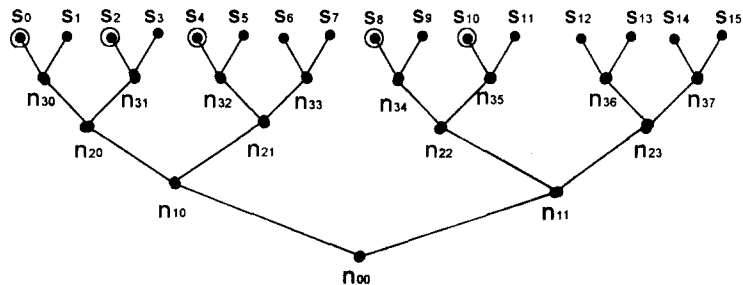
- ① $n_x = n_{10} \sim n_y = n_{11}$ 을 선택한다.
- ② 현재 슬롯쌍의 첫번째 슬롯에서 n_x 안에 모든 패킷을 전송한다. 그리고 두번째 슬롯에 n_y 안에 모든 패킷을 전송한다.
- ③ 만약, 앞의 단계에서 충돌이 발생된다면,
 - a. 이러한 충돌이 해결될 때까지 새로운 패킷을 전송하지 않는다.
 - b. 두번째 충돌을 해결하기 전에 첫번째 충돌을 해결한다.

n_x (또는 n_y)에서의 충돌은 n_x (또는 n_y)를 두 개(A, B)로 나누어 $n'_x = A$, $n'_y = B$ 로 재설정하여 충돌을 해결하고, 단계 ②, ③을 반복한다.

이진 Tree-CRA 다중 접속 방식의 최대 효율은 Capetanakis[10]에 의하면 채널이 평형상태일 경우 약 0.347까지 얻을 수 있다. 그러나, 전송 지연 관계식은 완전한 수식(closed) 형태가 어려우며, 상한과 하한의 특성을 갖으며 상한식은 다음 식(18)과 같다.

$$D_{Tree\ CRA} \leq \frac{a^2\lambda + 1 - a\lambda}{(1 - \lambda a)^2} T + T + T_R \quad (18)$$

위의 식에서 a 는 1/0.347이다.



[그림 6] 이진 Tree-CRA 알고리즘의 나무 구조의 예

V. 요구 할당 방식

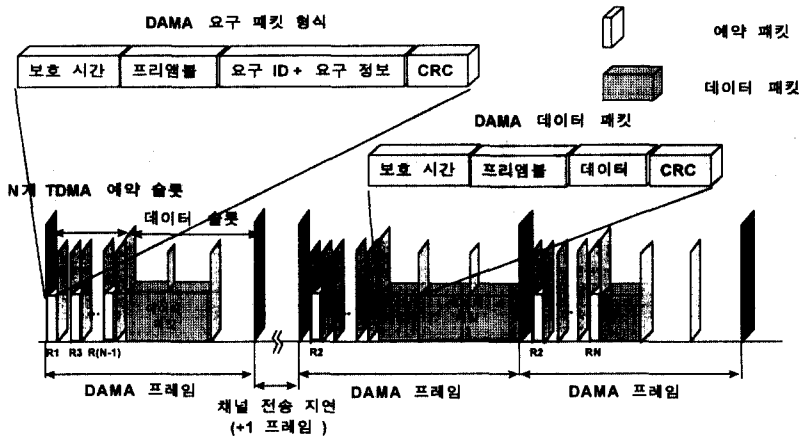
요구 할당 방식은 사용자의 채널 사용 요구에 관한 명시적 제어 정보가 필요한 방식으로 제어 방식 측면에서 중앙 제어식과 분산 제어식으로 나눌 수 있다. 중앙 제어식 요구 할당 방식은 다음 채널 접속권이 어느 사용자에게 주어질 것인가를 중앙의 제어국에서 관리하는 방식이며, 분산 제어식 요구 할당 방식은 각 사용자가 모든 사용자의 요구를 감지하고, 채널 접속권의 결정을 위하여 접수된 요구사항을 근거로 알고리즘을 수행한다. 이와 같은 두 가지의 제어 방식에서 제어 정보는 채널을 통해서 교환되는데, 이는 추가적인 오버헤드를 의미한다. 중앙 제어식 요구 할당 방식은 짧은 전파 지연 환경, 즉 지상 무선이나 LAN과 같은 경우에 적합하다[2, 11].

분산 제어식 요구 할당 방식으로는 예약 프로토콜 및 토큰 전달 방식이 있으며 토큰 전달 방식의 경우 LAN 등에 적합하므로, 본 논문에서는 예약 프로토콜 방식을 일반적인 요구할당 다중 접속 방식(DAMA)으로 고려한다. DAMA는 버스트한 위성 데이터 통신에서 널리 쓰이고 있으며, DAMA 시스템에서 채널 접속은 두 단계로 진행된다. 첫째는 지구국의 요구에 관한 정보를 담고 있는 짧은 패킷의 예약이고, 두 번째로는 실제 데이터 메시지의 전송이다. 예약이 성공이면 데이터 메시지는 분산 또는 집중적인 전체 버퍼에 정보를 예약할 수 있다. 그러므로, 만약 데이터 메

시지가 요구 패킷에 비해 길다면 전체적으로 높은 채널 실효율을 얻을 수 있을 것이다. 이와 같은 예약 방법으로는 명시적 예약 방법과 암시적 예약 방법이 있다. 명시적 예약 프로토콜에서는 채널의 일부분을 예약 서브채널(일반적으로 예약 서브프레임)로 사용하며, 각 사용자들은 예약 서브채널을 통해 예약 패킷을 전송한다. 예약 하위채널 접속을 위해 제안된 다중 접속 프로토콜로는 경쟁 할당 방식(특히, S-ALOHA) 또는 고정 할당 TDMA 프로토콜이 사용되고 있다. 반면, 암시적 예약 방식에서는 예약 서브채널이나 예약 패킷의 설정이 필요하지 않다. 암시적 예약 방식이란 일반적으로 R-ALOHA(reservation - ALOHA)를 의미하는데, 이는 슬롯형 ALOHA 프로토콜을 기반으로 하여 프레임 형태로 구성된 슬롯형 채널을 사용한다. 선행 프레임에서 성공적으로 전송을 한 사용자는 다음 슬롯 사용에 대한 예약을 하게 된다. 즉, 암시적 예약이 이루어지게 되는 것이다. 일반적으로 이와 같은 예약 프로토콜은 위성 통신 네트워크에서 주로 사용된다.

5.1 TDMA 예약의 DAMA 프로토콜

채널 프레임은 예약 및 데이터 전송 슬롯으로 구성되어 있다. [그림 7]의 짧은 예약 슬롯은 각 송신 지구국 당 할당된 것을 나타낸다. 성상(star)형 네트워크에서의 예약 패킷은 중앙 허브 지구국으로 송신되



[그림 7] TDMA 예약의 DAMA 프로토콜의 패킷 전송 모델

며, 전체 대기열(queue)의 할당은 TDM 방송 채널을 통해 지구국으로 되돌려 보낸다. 위성 전파 지연과 TDMA 프레임 구조때문에 일반적으로 긴 대기 지연(0.6~0.7초)을 가지며 최대 가능한 지구국수도 한정된다. 물론 실제 전송 데이터 메시지는 충돌을 일으키지 않으므로, 프레임의 데이터 부분은 높은 효율로 사용될 수 있다.

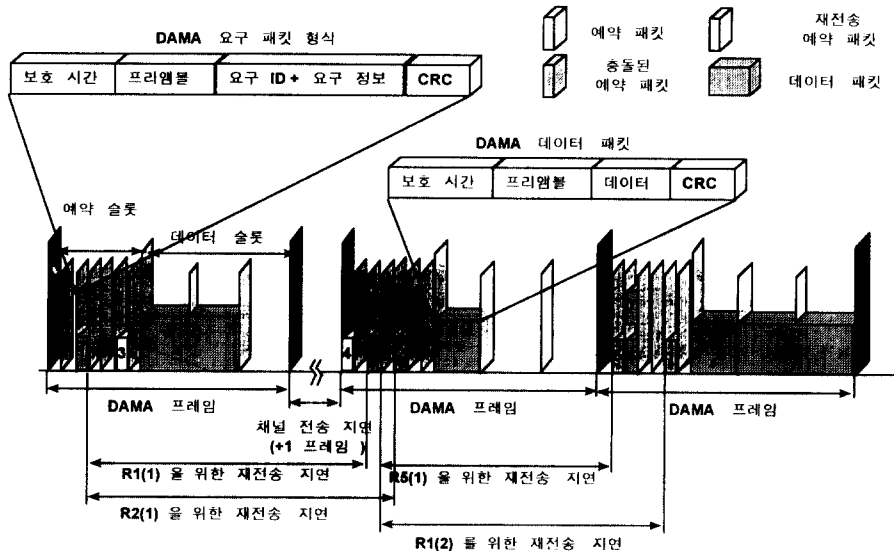
DAMA/TDMA 접속은 상대적으로 높은 지구국당 트래픽 볼륨, 특히 메시지의 길이가 길고 가변일 때 적당하다. 비효율적인 경쟁방식이 사용되지는 않지만 동기화를 위한 보호시간과 프리앰블이 각 예약 패킷에 필요하게 된다. 따라서, 이러한 TDMA 예약의 DAMA 프로토콜은 최대 0.5~0.6 이상의 효율을 얻기 힘들다. 이와 같은 프로토콜은 동기화, 전체 대기열의 유지 등에 의해 복잡도가 증가하게 된다[2, 11, 12].

5.2 슬롯 ALOHA 예약 DAMA 프로토콜

DAMA 프로토콜의 경우, 경쟁 접속을 고정 할당 TDMA 대신 예약 슬롯에서 사용할 경우, 더욱 많은

수의 지구국을 수용할 수 있다. 이러한 DAMA 시스템의 구성은 예약 요구시 실제 터미널 수와 무관한 예약 슬롯을 갖는 슬롯 ALOHA 예약 접속을 사용한다. [그림 8]에 슬롯 ALOHA 예약의 DAMA 프로토콜의 패킷 전송 모델을 나타내었다. 또한, 예약 접속 슬롯에서 사용되는 경쟁 접속 방식에는 다른 방식의 슬롯형 경쟁 프로토콜의 사용이 가능하다. 경쟁 접속은 상대적으로 낮은 용량이 특징이므로 데이터 메시지 길이와 예약 메시지 길이의 비가 커야지만 상대적으로 전체 효율을 높일 수 있다.

VSAT 등의 응용에서 트래픽 변수들에 의한 일반적 용량은 0.4~0.6사이 값이다. 그리고 이것은 지원 가능한 메시지 트래픽 길이 분포와 무관하다. 슬롯형 ALOHA 예약 접속은 일반적으로 TDMA 예약 접속보다 좀 더 효율적인 범위의 트래픽 형태를 만든다. 모든 DAMA 프로토콜에 대해 이 프로토콜은 약 0.6초의 최소 지연을 가지며, 작은 지연 분산을 갖는다. 그리고, 슬롯 ALOHA 예약의 DAMA 프로토콜은 전체적으로 좋은 성능을 나타내며 혼합된/파일-전송 트래픽 조작성을 가능하게 한다[2, 12].



[그림 8] S-ALOHA 예약의 DAMA 프로토콜의 패킷 전송 모델

Ⅶ. 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식

일반적으로 랜덤 다중 접속 방식의 경우 낮은 트래픽 하에서 적은 지연을 갖지만, 트래픽이 증가함에 따라 지연이 매우 커지는 특성을 가지고 있다. 반면, 요구 할당 다중 접속 방식의 경우 어느 정도의 트래픽까지는 기본적으로 예약을 위한 지연이 필요하지만 트래픽의 증가에 따른 지연의 증가는 랜덤 다중 접속 방식의 경우에 비하여 낮다. 즉, 지연의 분산이 낮다. 따라서, 이러한 두 가지 다중 접속 방식의 장점을 혼합한 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식을 이용할 수 있으며, 랜덤 다중 접속 방식과 요구할당 다중 접속 방식은 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식의 특별한 경우로 생각할 수 있다.

이와 같은 다중 접속 방식은 요구할당 다중 접속 방식과 유사한 높은 효율(>0.5)과 적은 접속 지연을 갖는다. 즉, 적은 지연/낮은 효율의 랜덤 다중 접속 방식의 지연-효율 곡선과 큰 지연/높은 효율의 요구할당 다중 접속 방식의 지연-효율 곡선의 변화에 해당하는 특성을 갖는다. 그러나, 불안정 및 deadlock 문제를 해결하면서 트래픽 범위에 따른 성능을 최적화하는 것은 실질적으로 매우 어렵다[2, 13].

발생된 메시지는 도착한 슬롯이 ALOHA형인지의 여부에 따라 다른 확률(f_1, f_2)로 예약 전송 및 슬롯 ALOHA형의 메시지 전송을 하며, 슬롯 ALOHA형 전송시 α 의 확률로 예비 예약을 한다. 슬롯 ALOHA형의 전송이 성공이 되면 한 패킷이 대한 알고리즘은 끝나며, 전송이 실패한 경우에는 예비 예약에 의한 예약 전송을 시도한다. 만약 예비 예약 및 일반 예약을 포함한 모든 예약이 실패한 경우에는 불규칙한 지연 시간 후에 재전송을 시도하여 메시지가 성공적으로 전송될 때까지 반복한다[12, 13].

시스템의 채널은 시간상에서 슬롯으로 나뉘어 요구할당 다중 접속의 경우와 마찬가지로 데이터 전송을 요구하는 예약 슬롯과 데이터를 전송하는 데이터 슬롯으로 구성된 것으로 모델링할 수 있으며, 슬롯의 크기는 패킷의 길이와 같다고 가정한다. 그리고, 예약 슬롯은 슬롯당 m 개의 미니 슬롯으로 이루어진 것으로 고려한다.

슬롯은 선행 예약을 하지 않고, 즉시 전송을 하는 ALOHA형 슬롯과 예약이 성공하였을 경우 전송을 하는 예약형 슬롯으로 나눌 수 있다. m 개의 미니 슬롯은 데이터 슬롯으로 전송을 하기 위한 일반 예약을 하는 것과 ALOHA형 슬롯의 전송이 실패한 경우의

예비 예약을 위해 사용된다.

패킷이 도착하였을 때 슬롯이 ALOHA형일 경우, f_1 의 확률로 예약 슬롯을 통해 예약을 하고 예약된 슬롯동안 대기하거나, $1-f_1$ 의 확률로 현재의 ALOHA형 슬롯에 전송을 시작하고 α 의 확률로 예비 예약을 한다. 만약 ALOHA형의 슬롯으로 전송된 패킷이 충돌되었을 경우, 예비 예약이 성공하였다면 왕복 전파 지연 시간 후에 예약된 슬롯으로 패킷을 전송한다. 그리고, ALOHA형 슬롯으로 전송된 패킷이 성공적으로 전송되면 예비 예약은 무시된다.

또한, 패킷이 도착하였을 때 슬롯이 예약형일 경우, f_2 의 확률로 즉각적으로 예약을 하며, 다음의 J 개의 ALOHA 슬롯 중 임의의 하나의 슬롯에 $1-f_2$ 의 확률로 전송을 하며 α 의 확률로 예비 예약을 한다. 예약이 성공되었을 경우 할당된 데이터 슬롯으로 전송을 하며, 전송에 실패한 패킷이나 예약(예비 예약 포함)에 대해서는 J 개의 다음 슬롯 중 하나의 슬롯에서 다시 전송을 시도한다.

ALOHA형 슬롯에서의 평균 도착율을 λ_a 라 하고, 제어 채널의 예약슬롯당 평균 일반 예약 수를 λ_j 라 하고 하면 일반 예약과 예비 예약에 따른 합성 예약은 미니슬롯 당 도착율이 다음과 같은 포아송 프로세스로 가정할 수 있다.

$$\lambda_m = \frac{\lambda_r + \alpha \lambda_a (1-x)}{m} \tag{19}$$

위의 식에서, x 는 슬롯의 형태가 예약형일 확률이며, 모든 성공적인 예약은 모두 각각의 예약된 슬롯이 할당되므로 슬롯당 평균 성공 예약수는 슬롯당 예약을 통하여 전송되는 패킷의 수와 같다.

$$x = m \lambda_m e^{-\lambda_m} - (1-x)(\lambda_a e^{\lambda_a}) \alpha e^{-\lambda_a} \tag{20}$$

$$\lambda_r = [\lambda_r + \lambda_a(1-x)]f_1(1-x) + f_2 x \tag{21}$$

따라서, 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식의 효율, S 와 지연 D 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = x \Pr \left[\begin{array}{l} \text{예약형 슬롯이} \\ \text{성공적으로 전송} \end{array} \right] + (1-x) \Pr \left[\begin{array}{l} \text{ALOHA형 슬롯이} \\ \text{성공적으로 전송} \end{array} \right]$$

$$= x + (1-x)\lambda_a e^{-\lambda_a} \quad (22)$$

$$D = 1.5 + \frac{x(1-\frac{1}{m})}{2(1-x)} + \frac{x+S}{S} R + D_5 + D_6 \quad (23)$$

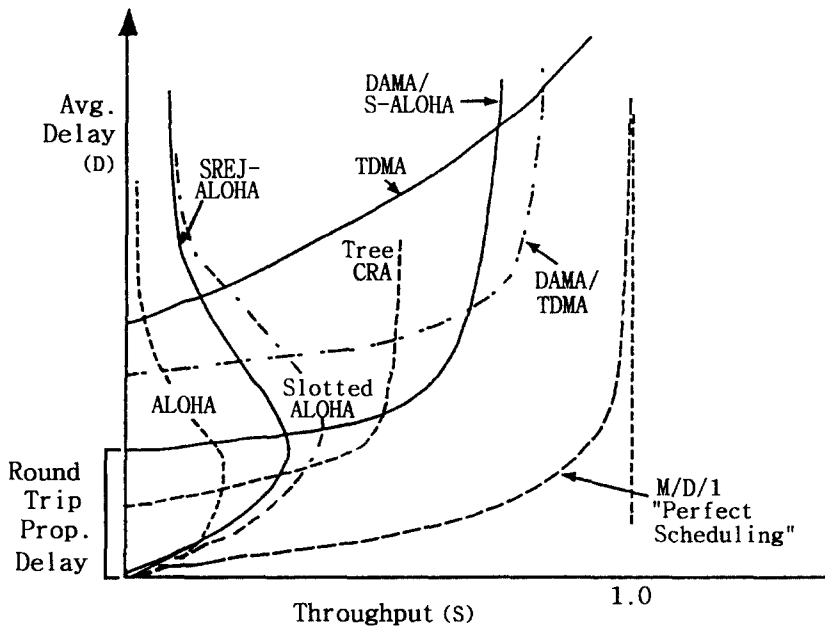
$$= \left(R + \frac{J-1}{2} + D_5 + D_6 \right) \frac{\lambda_r + \lambda_a(1-x) - S}{S}$$

Ⅶ. 비교 검토

다음 [그림 9]에 위에서 살펴본 몇 가지의 다중 접속 방식의 평균 효율-지연 성능 그래프를 나타내었다. 고정할당 다중 접속 방식인 TDMA는 사용자수와 패

킷길이에 따른 프레임 길이에 의한 기본적인 지연을 갖고 전송하려는 데이터가 많을 경우, 즉 사용자에게 의한 패킷 발생율이 커질수록 채널의 사용 효율이 1에 가깝게 증가하며 지연이 매우 커짐을 알 수 있다.

랜덤 다중 접속 방식인 ALOHA, SREJ-ALOHA, 슬롯형 ALOHA, Tree-CRA 프로토콜 등은 비교적 적은 지연을 갖지만, 최대 효율은 한정되어 있는 것을 알 수 있다. ALOHA 다중 접속 방식의 경우 간단한 접속 방법에 의해 적은 지연을 갖는 반면, 그림에서와 같이 최대 효율은 매우 낮음(약 0.18)을 알 수 있다. 마찬가지로 비동기 방식을 사용하는 SREJ-ALOHA 다중 접속 방식의 경우도 적은 지연과 낮은 최대 효율을 보이지만 순수 ALOHA 다중 접속 방식에 비해 향상된 효율-지연 특성을 보임을 알 수 있다. 전송 시간 동기를 사용한 슬롯형 ALOHA는 비동기된 전송을 하는 ALOHA와 SREJ-ALOHA에 비해서는 높지만 전체적으로는 낮은 최대 효율(약 0.36)을 갖는다. 충돌 해소 방법에 나무 알고리즘을 사용한 Tree-CRA 다중 접속 방식의 경우 나무 알고



[그림 9] 여러 다중 접속 프로토콜들의 평균 지연-효율 특성 곡선

리즘을 사용하기 위한 새로운 전송을 금지한 슬롯에 의하여 기본적인 지연은 있지만 슬롯형 ALOHA에 비하여 향상된 성능을 보인다. 이와 같은 랜덤 다중 접속 방식은 지연의 곡선이 효율의 증가에 따라 급격히 증가하는 특성을 나타낸다.

요구할당 방식인 S-ALOHA/DAMA 다중 접속 방식과 TDMA/DAMA 다중 접속 방식은 비교적 적은 지연으로 높은 최대 효율을 가질 수 있음을 나타낸다. 그리고 효율의 증가에 따른 지연의 분산이 그리 크지 않다. 즉, 최대 효율의 증가에 따른 지연의 증가율이 그리 크지 않음을 알 수 있다. S-ALOHA/DAMA 다중 접속 방식의 경우 랜덤 예약 접속 특성에 의해 고정할당 예약 접속을 사용하는 TDMA/DAMA 다중 접속 방식에 비하여 지연면에서는 더욱 낮은 특성을 갖지만 최대 효율 면에서는 고정 예약 접속을 하는 TDMA/DAMA가 더욱 우수함을 알 수 있다.

결론으로 본 논문에서는 Ka 밴드 위성 통신망을 위한 다중 접속 프로토콜의 연구 개발을 위해 기존의 다중 접속 프로토콜들을 조사 및 분석하였다. 제한된 채널 자원을 분산된 지구국들이 효율적으로 사용하기 위해서는 무엇보다도 우수한 성능의 다중 접속 프로토콜이 필요하다. 지상의 초고속정보통신망인 B-ISDN과의 연동을 위한 위성 패킷 통신 시스템의 다중 접속 프로토콜 성능을 나타내는 파라미터로는 평균 지연 및 효율이 있다. 따라서, 본 논문에서는 각 다중 접속 프로토콜들에 관한 평균 지연-효율 특성을 비교 분석하였다.

현재 지상의 초고속정보통신망과의 연계를 위한 위성통신 다중 접속 방식으로 선호되고 있는 방식으로는 랜덤 다중 접속 방식 및 요구할당 다중 접속이 있다. 또한, 구현의 어려움은 있지만 랜덤 다중 접속 방식의 짧은 지연 특성 및 요구할당 다중 접속 방식의 높은 효율의 장점을 갖는 혼합 랜덤/예약 다중 접속 방식이 연구되어지고 있다. 해석적인 방법에 의해서는 실제적인 트래픽에 따른 성능 분석이 어려우므로 실제에 가까운 모델링을 위하여 시뮬레이션을 행하여 분석하는 것이 더욱 효과적이라 할 수 있다.

참고 문헌

[1] S. LAM, "Satellite Packet Communication-Multiple Access Protocols and Performance", IEEE Trans. on Comm., Vol.COM-27, No. 10, pp.1456-1466, Oct., 1979.

[2] John Everett, VSATs-very small aperture terminals, Peter Peregrinus Ltd., 1992.

[3] Leonard Kleinrock, Queueing Systems-Volume 1 : Theory, John Wiley, 1975.

[4] Tri T. Ha, Digital Satellite Communications, Macmillan Publishing Company, 1986.

[5] D. Raychaudhuri, "Stability, Throughput, and Delay of Asynchronous Selective Reject ALOHA", IEEE Trans. on Comm., Vol.COM-35, No.7, pp.767-772, JULY, 1987.

[6] Raphael Rom and Moshe Sidi, Multiple Access Protocols-Performance and Analysis, Springer-Verlag New York Inc, 1990.

[7] Simon S. LAM, "Delay Analysis of a Time Division Multiple Access(TDMA) Channel", IEEE Trans. on Comm., vol. COM-25, No.12, pp.1489-1494, December, 1977

[8] William W. Wu, Elements of Digital Satellite Communication-Volume I, Computer Science Press, 1984.

[9] Dimitri Bertsekas and Robert Gallager, Data Networks, Prentice Hall, Second Edition, 1992.

[10] John I. Capetanakis, "Generalized TDMA : The Multi-Accessing Tree Protocol", IEEE Trans. on Comm., Vol.COM-27, No.10 , pp.1476-1484, Oct. 1979.

[11] IZHAK RUBIN, "Access-Control Disciplines for Multi-Access Communication Channels : Reservation and TDMA Schemes", IEEE Trans. on Information Theory, vol.IT-25, No.5, pp.516-536, September, 1979.

[12] D. Raychaudhuri and K. Joseph, "Channel Access Protocols for Ku-band VSAT Networks : A Comparative Evaluation", IEEE Communication Magazine, vol. 26, No.5, pp.34-44, May, 1988.

- [13] Eric W. M. Wong and Tak-Shing Yum, "In Search of Minimum Delay Protocol for Packet Satellite Communications", ICC' 91, pp.1532-1538, 1991.
- [14] 광경섭, 김백현, 황인관, "초고속 위성통신을 위한 다중접속 프로토콜에 대한 고찰" Telecommunications Review, 제 6권 6호 pp.652663,1996



김 백 현

- 1994년 : 인하대학교 전자공학과 (학사)
- 1996년 : 인하대학교 전자공학과 (석사)
- 1996년~현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정
- 관심분야 : 위성 및 이동통신, 데이터 통신



광 경 섭



황 인 관

- 1977년 : 인하대학교 전기공학과 (학사)
- 1979년 : 인하대학교 대학원 전기공학과 (석사)
- 1981년 : Univ. of So. California 대학원 (EE 석사)
- 1988년 : Univ. of California 대학원 (통신이론 및 시스템 박사)
- 1983년~88년 : Univ. of California, San Diego, 연구조교
- 1988년~89년 : 미국 Hughes Network Systems, 연구원
- 1989년~90년 : 미국 IBM, 연구원
- 1990년 3월~현재 : 인하대학교 전자공학과, 부교수
- 관심분야 : 위성 및 이동통신, 데이터 통신망

- 1987년 : 미국 Polytechnic University (석사)
- 1990년 : 미국 Polytechnic University (박사)
- 1982년~97년 : 한국전자통신연구원 위성망연구실장
- 1997년~현재 : 충북대학교 전파공학과 교수
- 관심분야 : 위성통신, 시스템 설계, 부호화 및 변복조 이론, ATM 위성 전송 시스템