DBpia

論 文

신호점유 현상과 보호시간을 고려한 슬롯형 알로아 통신 시스템의 성능분석

正會員 李 鉉 球* 正會員 郭 慶 燮*

Throughput Performance of Slotted ALOHA Communication System with Guard Time and Capture Effect

Hyun Goo Lee*, Kyung Sup Kwak* *Regular Members*

要 約

랜덤다원접속 방식인 알로아는 간헐적인 패켓 전송 환경에서 기존의 고정할당 기법보다는 높은 효율을 얻을 수 있다. 그러나 슬롯형 알로아에서는 패켓이 채널에 슬롯별로 할당되기 때문에 슬롯과의 동기화가 중요한 문제가 된다. 위성 통신에서 동기화가 이루어지지 못한 패켓은 인접슬롯의 패켓과 충돌하므로 이러한 문제점을 해결하기위해 슬롯 사이에 보호시간이 포함된다. 기존의 알로아 채널에서는 두개 또는 그 이상의 패켓이 한 슬롯에 동시에 도착될 때 충돌이 발생되고 충돌된 패켓은 모두 재전송 알고리듬에 따라 다시 전송된다. 그러나 무선 환경에서 사용자들은 각각 다른 거리에서 채널을 공유하기 때문에 신호 전력은 달라진다. 실제적으로 신호점유 현상이 존재해서 동시에 수신된 패켓들 중에서 전력이 가장 큰 패켓이 선택되어 모든 패켓이 재전송 될 필요가 없다. 한편 대역확산 다원접속 방식에서는 가장 빨리 도착한 패켓이 선택된다. 본 논문에서는 보호시간과 신호점유 현상을 동시에 고려하여 백로그 상태변화를 추적하는 마르코프 모델로부터 수식적으로 정확한 슬롯형 알로아의 전송효율을 유도한다.

ABSTRACT

In a bursty user traffic mode, ALOHA random multiple access protocol achieves higher performance than any conventional fixed assignment technique. One of central problems in slotted ALOHA is synchronization. Because of the long propagation delay in satellite mobile communication, packet may be spilt over into adjacent slots and thus guard time may be included between packet intervals. In conventional ALOHA channels, simultaneous transmission by two or more users results in a collision; the unsuccessful packets have to be retransmitted according to some retransmission algorithm. However, in a radio environment, users are often at different distances from the receiver; therefore, their received signals have substantially different power levels. The packet arriving with the highest energy now has a good chance of being detected accurately. Similarly, in some spread-spectrum random access systems, the earliest arriving packet dominates

*仁荷大學校 電子工學科
Dept. of Electronics Engineering, In Ha Univ.
論文番號 : 93-101

www.dbpia.co.kr

later arriving packets and thus captures the channel. In this paper slotted ALOHA channel with non zero guard time and capture probability is studied. Using the Markovian model, the performance of slotted ALOHA with guard time and capture effects is derived and compared with that of the conventional ALOHA via numerical analysis.

I. 서 론

시간이나 주파수 등의 통신자원을 효율적으로 이용하기 위한 다원접속 방식의 하나인 랜덤다원접속 방식에는 알로아(ALOHA) 기법이 있다[1]. 그러나 알로아 방식은 충돌이 많이 발생할 때 불안정한 성질을 가지게 되므로 현재까지 이 기법이 안정성에 관한 연구의 시스템의 포화를 막기 위한 제어기법이 제안되고 있다[2][3]. 그렇지만 아직까지 알로아 시스템의 완전한 안정성을 보장하고 있지는 못하다. 알로아 기법은 랜덤접속 방식이므로 고정할당 방식이나 요구할당 방식보다는 전송효율이 상대적으로 떨어진다. 그러므로 전송효율을 향상시키기 위해 채널을 공유하는 지구국에 우선권을 주어 전송효율을 향상시키는 방법[4]과 무선 전송 환경에서 발생하는 신호점유 현상을 이용한 효율 향상 및 안전성에 관한 연구[5][6]가 이루어지고 있다. 신호점유 현상이란 슬롯형 알로아에 있어서 채널의 슬롯에 동시에 도착하는 패켓의 수가 2개 이상일 때 이 패켓들은 서로 충돌되어 모두 재전송 되어야 하지만 충돌된 패켓중 하나의 패켓이 수신되는 현상이다[7]. 신호점유 현상에 관한 연구에는 전송된 패켓의 전력에 의한 신호점유 현상[8]과 패켓의 전송된 시간을 고려하는 도착 시간에 의한 신호점유[9]가 있다.

위성을 이용한 통신에서는 지구국과 위성간의 접속에서 거리에 대한 전파지연을 고려하지 않을 수 없다. 이 전파시간 때문에 슬롯형 알로아나 시분할 다원접속 방식의 경우 채널의 슬롯에 대해 정확한 동기가 힘들기 때문에 슬롯간에 보호시간(guard time)을 두게 된다. 이러한 보호시간을 줄이기 위한 채널의 슬롯과 정확한 동기에 관한 연구도 이루어지고 있다[10].

알로아 시스템은 충돌이 많이 발생할 경우 불안정하지만 구현이 간편하고 통신 트래픽이 간헐적(bursty)인 많은 지구국을 갖는 위성 통신에서 고정할당 방식보다 유리하다. 간헐적이라 함은 전송하고자 하는 패켓의 발생 비율이 상대적으로 낮지만 일단 발생된 패켓은 최대한 빠른 전송을 요구하는 것이다. 알로아 시스템은 구현의 간편성과 여러 가지 효율향상 방법 등을 사용하여 위성 통신 뿐만 아니라 원근 효과(near/far effect)[11], 페이딩[12], 신호점유 현상을 고려한 지상 무선통신 및 이동통신 분야에서 연구되고 있다.

현재까지 연구는 신호점유 현상이 존재하지 않는 이상적인 경우의 슬롯형 알로아에서 보호시간만 고려한 해석이 있었고, 신호점유 현상을 고려한 해석에서도 정확한 동기화를 가정하여 보호시간을 포함시키지 않고 효율을 계산하였다. 본 논문에서는 Hajek와 van Loon의 다이내믹한 재전송 확률 기법[13]을 이용하여 알로아 시스템을 안정화시키고, 보호시간과 신호점유 확률을 고려한 백로그(backlog)의 상태변화에 대한 정상상태 마르코프 연쇄(Markov chain)를 이용하여 정확한 수학적 방법을 통해 슬롯형 알로아의 전송효율을 구한다. 그리고 보호시간이 zero일 경우 보호시간을 고려하지 않은 기존의 논문에서 유도된 식과 비교 검토 하였다.

본 논문의 구성은 서론을 포함하여 전체 5개의 장으로 구성되어 있으며, 2장에서는 보호시간과 신호점유 확률을 고려한 백로그(backlog)의 상태변화에 대한 정상상태 마르코프 연쇄를 유도하고 3장에서는 2장에서 구한 마르코프 연쇄를 이용해서 슬롯형 알로아의 전송효율을 구한다. 4장에서는 본 논문에서 유도한 수식과 기존의 논문에서 제시한 슬롯형 알로아의 전송효율과 비교하여 신호점유 현상에 따른 전송효율의 향상을 수치해석을 통하여 나타내고, 5장의 결론으로 마무리 된다.

II. 마르코프 모델

보호시간과 신호점유 확률을 고려한 슬롯형 알로아의 효율계산을 위하여 다음과 같은 가정들이 사용된다 ; (1)패켓은 외부적인 잡음에 의해 손실되지 않고 다른 지구국에서 보내어진 패켓과의 충돌에 의해서만 손실되어 재전송 된다 ; (2)각 지구국이 공유하는 채널은 일정한 길이의 슬롯으로 나누어지며 전송하고자 하는 정보 역시 슬롯보다는 작은 일정한 길이

www.dbpia.co.kr

의 패켓으로 나뉘어져 전송된다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 전송모델을 이용하여 시간 t에서 t+1 사이의 백로그 상태에 대한 변화를 추적하는 마르코프 모델을 제시하여 슬롯형 알로아 시스템의 전송효율을 유도한다.

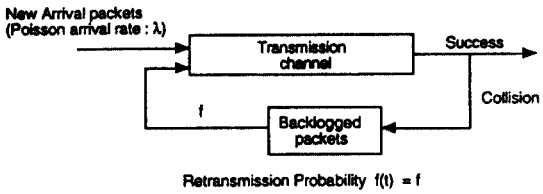

그림 1. IFT 프로토콜 모델
Fig. 1. Model of IFT protocol

백로그라 함은 패켓의 충돌에 의해서 슬롯을 점유하지 못한 패켓들이 재전송을 기다리는 상태이다. 패켓의 충돌에 의한 백로그 상태에서 재전송 되는 패켓들은 이항(binomial) 분호에 의해 패켓이 재전송 되고 새로 유입되는 패켓을 보내는 지구국들은 포아송(Poissson) 분포로 패켓을 전송한다고 가정한다. 지구국들은 시간 (t, t+1] 사이에 전송된 패켓이 올바르게 수신되었는지 또는 충돌되었는지에 대한 정보를 귀환신호 $Z(t)$를 통하여 알 수 있다. 패켓이 성공적으로 전송되어 슬롯을 점유한 경우는 $Z(t)$의 값을 1로 표시하고 패켓들이 서로 충돌된 경우는 $Z(t)$의 값을 e로 표시한다. 슬롯이 비어 있는 경우는 $Z(t)$의 값이 0으로 표시된다고 하자. 이러한 시간 (t, t+1] 사이의 슬롯에 대한 상태를 알려주는 $Z(t)$는 시스템의 안정성에 대한 Hajek와 van Loon의 재전송 제어 기법[13]에서 백로그된 패켓들을 재전송 하기 위한 확률값 f를 결정하는데 중요한 역할을 하고 있다. 시간 t에서 백로그의 전송 확률을 나타내는 $f(t)$는 t시간 전까지 $Z(t)$의 상태를 파악하여 최적의 효율과 일정한 백로그를 유지하는 값으로 정해진다. 그러므로 $f(t)$는 시간이 변함에 따라 재전송 확률값이 각각 변하게 된다. 이러한 변화된 재전송 확률값으로 인하여 시스템이 안정화된다.

$N(t)$는 시간 t에서 백로그된 패켓수를 나타내는 값이다. 정상상태에 있어서 백로그된 패켓의 수에 대한 단위 시간당 변화는 마르코프 연쇄을 통하여 알 수 있다.

2.1 보호시간을 갖는 슬롯형 알로아의 해석

ARPANET 시스템에 있어서 지상으로 부터 36,000km 떨어져 있는 위성 중계기와 지구국간의 전파 지연은 0.24-0.27sec이다[14]. 이러한 전파지연에 의해서 슬롯형 알로아 채널에서 전송패켓과 슬롯의 동기 문제로 인해 보호시간이 슬롯 사이에 존재한다. 이 절에서는 보호시간을 수식적으로 고려하여 해석하였다. 일반적인 슬롯형 알로아의 효율은 다음과 같다.

$$S = Ge^{-G} \tag{1}$$

위 식에서 S는 패켓길이당 성공한 패켓 수로 나타낸 전송효율이고 G는 패켓길이당 인가된 패켓 트래픽이다. 보호시간을 갖는 슬롯형 알로아에서 전송 효율 계산은 패켓길이를 기준으로 하지 않고 보호시간을 포함한 슬롯길이를 기준으로 사용하여 구한다. 만일 보호시간이 zero가 아니라면 슬롯길이는 다음과 같다.

$$T_s = T_p + T_g \tag{2}$$

위 식에서 T_p는 시간으로 표시한 패켓길이이고 T_g는 보호시간이다.

$$T_g/T_p = g \tag{3}$$

위 식에서 g는 단위 패켓길이로 정규화된 보호시간이며, g의 범위는 $0 \le g \le 1$이다.

2.2 신호점유 확률의 해석

(1)패켓의 전력에 의한 신호점유 현상(Power Capture)

모든 지구국들이 슬롯화된 채널을 공유할 때 서로 다른 전력 레벨로 들어온 패켓들 사이에서 신호점유 현상이 존재한다. 충돌이 발생할 때 가장 높은 전력으로 슬롯에 들어온 패켓이 수신되는 것을 도착 패켓의 전력에 의한 신호점유 현상이라 한다. 만일 슬롯에 도착된 패켓들이 모두 같은 전력 레벨이라면 신호점유 현상이 발생하지 않고 모두 재전송 되어야 한다. 위성 통신에 있어서 많은 지구국들이 전송한 패켓은 전파감쇄로 인하여 원래 전송전력보다는 작은 서로 다른 전력으로 슬롯에 도착한다. 도착 패켓의 전력에의한 신호점유 확률을 구하기 위해 수신된 패

www.dbpia.co.kr

켓들은 L개중 하나의 전력으로 도착한다고 가정하고 모든 전력 레벨의 패켓들은 균일하게 분포 되었다고 가정한다. 도착된 패켓은 자기보다 같거나 높은 전력으로 도착한 패켓이 있을 때에 다시 재전송 된다.

충돌하지 않았던 지구국에서 전송되어 i번째 전력 레벨로 슬롯에 도착된 패켓의 수를 λ_i라 하고, f_i를 전력 레벨이 i인 패켓의 재전송 확률이라 할 때 신호점유 확률은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$C_i = \prod_{k=i+1}^{I} e^{-(1+g)\lambda_k}(1-(1+g)f_k)^n \qquad (4)$$

위 식에서 g는 보호시간이 포함된 것을 나타내며, C_i는 i번째 전력 레벨을 가진 패켓이 성공할 확률을 나타낸다. 보호시간과 패켓 전력에 의한 신호점유의 확률을 갖는 슬롯형 알로아에 대한 마르코프 연쇄는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

(a) $P_{n,n-1}$

$$= P(N(t+1)=n-1,\ Z(t)=1 \mid N(t)=n,\ f(t)=f)$$

$$= e^{-(1+g)\lambda_i} n(1+g)f_i(1-(1+g)f_i)^{n-1} \prod_{k=i+1}^{I} e^{-(1+g)\lambda_k}(1-(1+g)f_k)^n \qquad (5)$$

(b) $P_{n,n}$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n,\ Z(t)=0 \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = e^{-(1+g)\lambda_i}(1-(1+g)f_i)^n \end{cases}$$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n,\ Z(t)=1 \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = (1+g)\lambda_i e^{-(1+g)\lambda_i}(1-(1+g)f_i)^n \prod_{k=i+1}^{I} \\ \quad e^{-(1+g)\lambda_k}(1-(1+g)f_k)^n \end{cases} \qquad (6)$$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n,\ Z(t)=e \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = e^{-(1+g)\lambda_i} f_i^n \prod_{k=i+1}^{I} e^{-(1+g)\lambda_k}(1-(1+g)f_k)^n \end{cases}$$

(c) $P_{n,n+j}(j \geq 2)$

$$= P(N(t+1)=n+j,\ Z(t)=e \mid N(t)=n,\ f(t)=f)$$

$$= (e^{-(1+g)\lambda_i})((1+g)\lambda_i)^j/j! \prod_{k=i+1}^{I} e^{-(1+g)\lambda_k}(1-(1+g)f_k)^n \qquad (7)$$

식 (5)에서 확률 $P_{n,n-1}$는 시간 t에서 재전송 확률이 f이고 백로그 수가 n일 경우 시간 $t+1$에서 백로그의 수가 하나 줄어들 확률을 나타낸 것이다. 첨자 i는 슬롯에 도착되는 패켓의 전력 레벨을 나타낸다. 식 (5)는 재전송 되는 패켓이 이항 분포에 따라 한개가 슬롯에 전송되었고 포아송 분포를 따르는 충돌이 발생하지 않은 패켓은 한개도 슬롯에 도착되지 않았음을 보여 준다. 또한 i의 전력 레벨 이상으로 슬롯에 도착하는 패켓들이 없으므로 결국 백로그의 갯수가 시간 $(t, t+1]$에서 하나 줄어들었음을 나타낸다. 위와 같은 방식으로 백로그의 변화에 대한 각 경우의 천이 상태를 고려한 것이 바로 마르코프 연쇄이다. 같은 방법으로 식 (6)은 백로그의 상태가 불변일 때를 나타낸 것이고 식 (7)은 백로그의 상태가 2이상 증가할 때를 표시한 것이다.

(2)패켓의 도착시간에 의한 신호점유 현상(Time Capture)

패켓의 도착시간에 의한 신호점유 현상은 슬롯에 제일 먼저 도착한 패켓이 일정시간내에 다른 패켓이 도착하지 않을 경우에 성공적으로 수신되는 것이다. 나중에 들어온 패켓의 전력이 클 경우를 고려해 간섭 배제 마진(Interference rejection margin)을 두어 처음에 도착된 패켓보다 일정시간 후에 들어온 패켓의 전력이 이 마진값을 초과하지 않을 경우에 처음 패켓이 슬롯을 점유한다. 실제적으로 간섭 배제 마진이 상당히 크기 때문에 대부분 신호점유 시간후에 들어온 패켓은 재전송 되어야 한다. 그림 2에서 나타낸 바와 같이 신호점유가 발생하기 위한 시간을 신호점유 시간이라 하며, T_c로 표시한다.

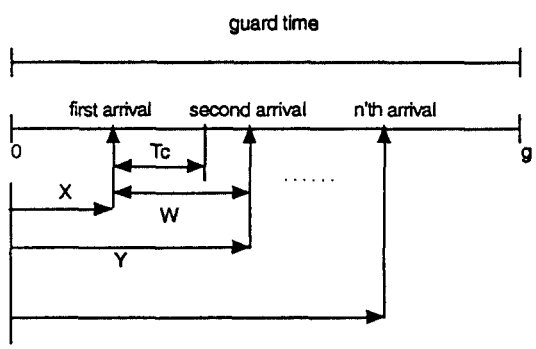

그림 2. 도착 시간에 의한 신호 점유 현상 해석 모델
Fig. 2. Model of time capture

www.dbpia.co.kr

이 시간은 직접 대역확산 의사잡음(pseudo noise) 또는 Hybrid FH/PN에서 칩 시간(chip time)만큼 작게 할 수 있다. 단 신호점유 시간은 시스템의 설계에 따라 수 칩시간이 필요할 수 있다. 또한 전송효율의 계산에서 대역확산을 정보 패켓의 헤더(Header) 부분에만 적용시켜 동기용으로만 고려하여 실질적인 비정보 부분을 최소화함으로써 대역확산에 의한 대역폭 증가가 시스템에 영향을 미치지 않는다고 가정하여 전송효율을 구하였다. 패켓이 처음 도착후 시간 T_C 동안 다른 패켓이 들어오지 않는다면 처음 도착한 패켓이 성공적으로 수신된다고 가정하고 신호점유 확률을 구한다[9]. 도착시간에 의한 신호점유 확률 C_N은 보호시간 안에 N개의 패켓이 도착했을 때 한 패켓이 성공적으로 수신될 확률이다. N개의 패켓이 슬롯에 도착하는 도착시간을 A라 하면 각각의 패켓 도착시간은 A_i, $1 \le i \le N$으로 표시된다. 각각의 도착시간은 랜덤변수이고 구간 $(0, g)$ 사이에 균일하게 분포한다. 만일 지구국으로부터 패켓의 전송이 하나도 없을 경우 신호점유 확률 C_0는 zero가 되며, 어떤 슬롯에 한개의 패켓이 전송된 경우 신호 점유 확률 C_1은 1이 됨을 알 수 있다. 그림 2와 같이 2개 이상의 패켓이 들어올 때 첫번째 도착하는 패켓의 도착시간 분포를 X라 하고 다음에 도착하는 패켓의 도착시간 분포를 Y로 나타낼 때 첫번째 패켓의 도착시간 분포와 다음에 들어오는 패켓의 도착시간 분포 사이에 관계를 통하여 신호점유 확률을 구할 수 있다. 위와 같은 변수들을 가지고 처음 도착하는 패켓의 도착시간 분포와 다음에 슬롯의 보호시간안에 도착하는 패켓의 시간 분포 차를 W라 할 때 W가 신호점유 시간 T_C를 초과하는 확률을 구하면 신호점유 확률을 구할 수 있다. N개의 패켓이 한 슬롯의 보호시간 안에 도착했을 때 패켓의 도착 시간에 의한 신호점유 확률 C_N은 다음과 같다.

$$C_N = \begin{cases} 1 & , \ N=1 \\ (1-T_c/g)^N & , \ N \ge 2 \\ 0 & , \ N=0 \end{cases} \quad (8)$$

위의 식을 이용하여 보호시간과 패켓의 도착시간에 의한 신호점유 확률을 갖는 슬롯형 알로아에 대한 마르코프 연쇄는 다음과 같이 표시된다.

(a) $P_{n,n-1}$

$$= P(N(t+1)=n-1,\ Z(t)=1 \mid N(t)=n,\ f(t)=f)$$
$$= e^{-(1+g)\lambda} n(1+g) f(1-(1+g)f)^{n-1} + e^{-(1+g)\lambda} \sum_{m=2}^{n} I(n \ge 2) \binom{n}{m} ((1+g)f)^m (1-(1+g)f)^{n-m} C_m \quad (9)$$

(b) $P_{n,n}$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n,\ Z(t)=0 \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = e^{-(1+g)\lambda}(1-(1+g)f)^n \end{cases}$$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n,\ Z(t)=1 \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = (1+g)\lambda e^{-(1+g)\lambda}(1-(1+g)f)^n + (1+g)\lambda e^{-(1+g)\lambda} \\ \quad \sum_{m=1}^{n} I(n \ge 1) \binom{n}{m} ((1+g)f)^m (1-(1+g)f)^{n-m} C_{m+1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=k,\ Z(t)=e \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = e^{-(1+g)\lambda} \sum_{m=2}^{n} I(n \ge 2) \binom{n}{m} (1+g) f^m \\ \quad (1-(1+g)f)^{n-m}(1-C_m) \end{cases} \quad (10)$$

(c) $P_{n,n+1}$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n+1,\ Z(t)=1 \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = [(e^{-(1+g)\lambda})(1+g)\lambda)^2)]/2! \times \sum_{m=0}^{n} \\ \quad I(n \ge 0) \binom{n}{m} ((1+g)f)^m (1-(1+g)f)^{n-m} C_{m+j} \end{cases}$$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n+1,\ Z(t)=e \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = (1+g)\lambda e^{-(1+g)\lambda} \sum_{m=1}^{n} I(n \ge 1) \binom{n}{m} ((1+g)f)^m \\ \quad (1-(1+g)f)^{n-m}(1-C_{m+1}) \end{cases} \quad (11)$$

(d) $P_{n,n+j}(j \ge 2)$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n+j,\ Z(t)=1 \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = [(e^{-(1+g)\lambda})((1+g)\lambda)^j)]/j! \sum_{m=0}^{n} \\ \quad I(n \ge 0) \binom{n}{m} ((1+g)f)^m (1-(1+g)f)^{n-m} C_{m+j} \end{cases} \quad (j \ge 3)$$

$$\begin{cases} = P(N(t+1)=n+j,\ Z(t)=e \mid N(t)=n,\ f(t)=f) \\ = [(e^{-(1+g)\lambda})((1+g)\lambda)^j)]/j! \times \sum_{m=0}^{n} I(n \ge 0) \binom{n}{m} \\ \quad ((1+g)f)^m (1-(1+g)f)^{n-m}(1-C_{m+j}) \ (j \ge 2) \end{cases} \quad (12)$$

2개 이상의 패켓들이 도착했을 때 한 개의 패켓이

www.dbpia.co.kr

성공적으로 수신될 신호점유 확률을 C_m이라 하면, 식 (9)에서 등호 다음의 첫 항은 포아송 분포로 슬롯에 들어오는 패켓이 한 개도 없고, 즉 충돌되지 않은 패켓이 슬롯에 들어오지 않고, 이항분포를 따르는 재전송에 의해 한 개의 충돌된 패켓이 슬롯에 도착되어 성공한 경우를 나타내며 두번째항은 여러 개의 재전송 되는 패켓중에서 한 개가 슬롯을 점유할 때 시간 (t, t+1]에서 백로그 상태가 하나 줄어들었다는 것을 보여준다. 이와같은 방법으로 식 (10)은 백로그 상태가 불변일 경우를 나타낸 것이고 식 (11)은 백로그 상태가 하나 증가된 경우이며 식 (12)는 백로그 상태가 2개 이상 증가 되었을 경우를 나타낸다.

Ⅲ. 전송효율 계산

3.1 패켓의 전력에 의한 신호점유 현상을 고려한 경우

단위 슬롯당 패켓이 성공적으로 전송된 경우인 식 (5),(6)을 사용하여 전송효율을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_g &= \Pr[\text{패켓이 성공할 확률} \mid N(t)=n,\ f(t)=f] \\ &= \sum_{i=1}^{L} S_{gi} \\ &= \sum_{i=1}^{L} \{[e^{-(1+g)\lambda_i} n(1+g) f_i (1-(1+g)f_i)^{n-1} \\ &\quad + (1+g)\lambda_i e^{-(1+g)\lambda_i} (1-(1+g)f_i)^n] \prod_{k=i+1}^{L} \\ &\quad e^{-(1+g)\lambda_k} [1-(1+g)f_k]^n\} \end{aligned} \tag{13}$$

Hajek와 van Loon의 논문 [13]에서 알로아 시스템의 안정화를 기초로 하면 n과 f가 무한대와 0에 각각 접근할 때 nf_i의 값이 μ_i로 수렴함을 알 수 있다. 즉 μ_i는 단위시간당 재전송되는 패켓의 갯수를 나타낸다. 이 관계를 이용하면 식 (13)은 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} S_g = \sum_{i=1}^{L} [&e^{-(1+g)\lambda_i}(1+g)\mu_i e^{-(1+g)\mu_i} + (1+g)\lambda_i \\ &e^{-(1+g)\lambda_i} e^{-(1+g)\mu_i}] \prod_{k=i+1}^{L} e^{-(1+g)\lambda_k} e^{-(1+g)\mu_k} \end{aligned} \tag{14}$$

단위시간당 i번째 전력레벨인 패켓이 어떤 슬롯에 도착된 총 패켓수를 G_i라 나타냈을 때 $G_i = \lambda_i + \mu_i$의 관계와 모든 전력레벨이 균일하게 분포되었다는 가정으로 부터 식 (14)는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$S_g = \frac{G_g}{L}\ e^{-G_g/L}\ \frac{1-e^{-G_g}}{1-e^{-(G_g/L)}} \tag{15}$$

보호시간을 고려한 전송효율 S_g를 단위 패켓길이로 정규화하여 식 (15)를 표시하면 기존의 슬롯형 알로아의 전송효율과 비교할 수 있는 보다 일반적인 식으로 나타낼 수 있다.

$$S = [\frac{G}{L}\ e^{-(1+g)G/L}\ \frac{1-e^{-(1+g)G}}{1-e^{-(1+g)G/L)}}\ ] \tag{16}$$

식 (16)에서 알 수 있듯이 L의 값이 커질수록 전송효율이 기존의 슬롯형 알로아보다 향상된다. 위의 식 (16)에서 보호시간이 zero일 경우 위 식은 논문[15]에서 구한 값과 일치함을 알 수 있고 L이 1일 경우 논문 [10]과 일치하며, 또한 L의 값이 1이고 보호시간이 영일 경우 기존의 슬롯형 알로아의 전송효율과 같음을 알 수 있다.

3.2 패켓의 도착시간에 의한 신호점유 현상을 고려한 경우

식 (8)-(12)를 사용하여 전송효율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_g = \sum_{j=2}^{\infty} \{&(1-Q)e^{-(1+g)\lambda} n(1+g) f (1-(1+g)f)^{n-1} \\ &+ (1-Q)(1+g)\lambda e^{-(1+g)\lambda}(1-(1+g)f)^n - e^{-(1+g)\lambda} \\ &(1-(1+g)f)^n + e^{-(1+g)\lambda}[1+Q(1+g)\lambda \\ &+ (Q(1+g)\lambda)^j/j!][1-(1-Q)(1+g)f]^n\} \end{aligned} \tag{17}$$

위의 식에서 $(1-T_c/g)$을 Q로 치환하여 계산하였다. 첨자 g는 보호시간이 슬롯에 포함되었다는 것을 나타낸다. Hajek와 van Loon의 논문 [13]에서 알로아 시스템의 안정화를 기초로 하면 n과 f가 무한대와 0에 각각 접근할 때 nf의 값이 μ로 수렴함을 알 수 있다. 이 관계를 이용하여 식 (17)은 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} S_g &= (1-Q)e^{-(1+g)\lambda}(1+g)\mu e^{-(1+g)\mu} \\ &\quad + (1-Q)e^{-(1+g)\lambda}(1+g)\lambda e^{-(1+g)\mu} \\ &\quad - e^{-(1+g)(\lambda+\mu)} + e^{-(1+g)[\lambda+(1-Q)\mu]} e^{-Q(1+g)\lambda} \\ &= (1-Q)G_g e^{-G_g} - e^{-G_g} + e^{-(1-Q)G_g} \end{aligned} \tag{18}$$

www.dbpia.co.kr

단위시간당 패켓이 어떤 슬롯에 도착된 총 패켓수를 G라 나타냈을 때 $G=\lambda+\mu$의 관계와 보호시간을 고려한 전송효율 S_g를 단위 패켓길이로 정규화하여 식 (18)을 표시하면 기존의 슬롯형 알로아의 전송효율과 비교할 수 있는 보다 일반적인 식으로 나타낼 수 있다.

$$S=(1-Q)Ge^{-(1+g)G}+e^{-(1+g)G}[e^{(1+g)QG}-1]\frac{1}{1+g} \quad (19)$$

위 식에서 Q의 값이 증가함에 따라 전송효율이 기존의 슬롯형 알로아보다 향상됨을 알 수 있다. 위의 식은 보호시간을 제외하면 논문 [7]에서 구한 전송효율과 일치함을 알 수 있다. 신호점유 확률과 보호시간이 zero일 경우 기존의 슬롯형 알로아의 전송효율과 같음을 알 수 있다.

Ⅳ. 수치계산 및 비교/검토

이 장에서는 앞장에서 구한 각 경우의 전송효율과 보호시간을 이요하여 유도한 전송효율이 기존의 슬롯형 알로아의 전송효율보다 향상되었음을 수치계산하여 비교 검토 한다.

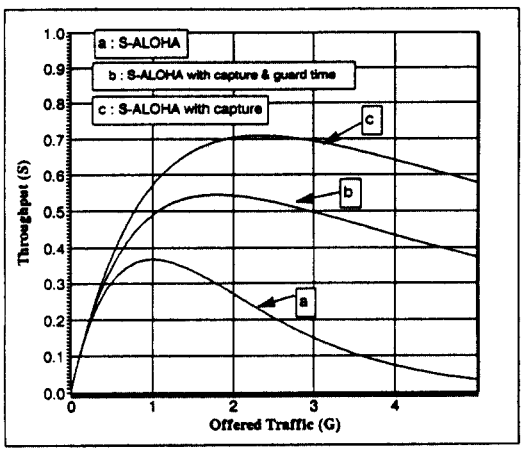

그림 3. 기존의 슬롯형 알로아와 신호점유, 보호시간을 고려한 슬롯형 알로아의 효율 비교
(1)기존의 슬롯형 알로아의 전송효율
(2)신호점유와 정확한 동기화를 고려한 슬롯형 알로아의 전송 효율(L=5인 도착 신호의 전력에 의한 신호점유)
(3)신호점유와 보호시간을 고려한 슬롯형 알로아의 전송효율(L=5, 보호시간=0.3인 도착 신호의 전력에 의한 신호점유)

Fig. 3. Comparison of conventional slotted ALOHA, slotted ALOHA with capture probability and slotted ALOHA with guard time and capture probability
(1)Throughput of conventional slotted ALOHA
(2)Throughput of slotted ALOHA with capture(Time capture at L=5)
(3)Throughput of slotted ALOHA with capture and guard time(Time capture at L=5, guard time=0.3)

그림 3에서는 기존의 슬롯형 알로아와 전력에 의한 신호점유 현상과 보호시간을 모두 고려한 슬롯형 알로아, 전력에 의한 신호점유 현상만을 고려한 슬롯형 알로아의 3가지 경우 전송효율을 그래프로 나타내었다. 그림 3에서 b번 그래프는 보호시간과 전력 레벨의 수가 5인 경우 전력에 의한 신호점유 현상을 고려한 슬롯형 알로아 경우인데 정확한 동기와 전력에 의한 신호점유 현상을 고려한 c번 그래프보다는 전송효율이 떨어지지만 그래프 a에 표시된 기존의 슬롯형 알로아보다 50% 전송효율이 향상되었음을 보여준다. 그림 4와 5는 패켓이 전력에 의한 신호점유를 고려한 슬롯형 알로아에서 보호시간을 0.3으로 고정시키고 전력 레벨을 변화시켰을 때와 전력 레벨을 10으로 고정시키고 보호시간을 변화시켰을 때 전송효율을 보여준다.

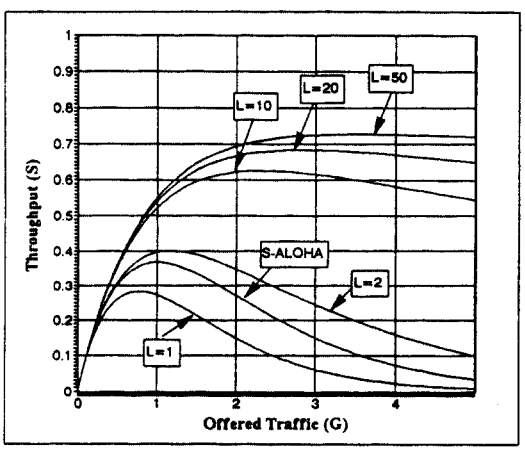

그림 4. 고정된 보호시간에서 도착 전력 레벨이 많을때 슬

www.dbpia.co.kr

롯형 알로아의 전송효율(보호시간=0.3, L=1, 2, 10, 20, 50)

Fig. 4. Throughput of slotted ALOHA with g=0.3 and L=1, 2, 10, 20, 50

그림 4에서 전송효율은 도착하는 전력 레벨의 수가 많아짐에 따라 효율이 향상됨을 알 수 있다. 만일 도착하는 신호 전력들이 모두 같다면 오히려 전송효율은 보호시간 때문에 기존의 슬롯형 알로아보다 떨어짐을 알 수 있다. 만일 보호시간이 zero이고 신호 전력 레벨이 하나로 고정되어 수신된다면 전송효율은 기존의 슬롯형 알로아와 같음을 알 수 있다.

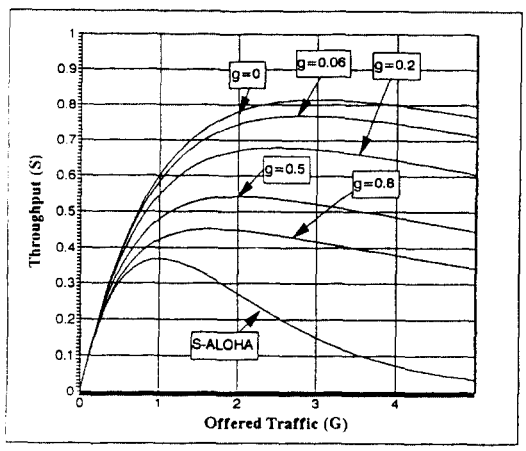

그림 5. 고정된 전력 레벨에서 보호시간이 변할때 슬롯형 알로아의 전송효율(L=10, 보호시간=0, 0.06, 0.2, 0.5, 0.8)

Fig. 5. Throughput of slotted ALOHA with L=10 and g=0, 0.06, 0.2, 0.5, 0.8

그림 5는 신호 전력 레벨의 수를 10으로 고정하고 보호시간을 변화시켰을 때의 각 전송효율을 나타낸다. 보호시간이 증가함에 따라 전송효율이 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 신호 전력 레벨의 수가 10이기 때문에 보호시간이 1(패켓 길이와 같음)이라 하더라도 전송효율은 기존의 슬롯형 알로아보다 향상됨을 알 수 있다. 그림 6은 패켓의 도착시간에 의한 신호점유에서 보호시간이 0.1로 고정되었을 때 신호점유 확률 Q가 변화함에 따른 전송효율의 변화를 나타낸 그래프이다. 신호점유 확률 Q가 증가함에 따라 전송효율은 향상됨을 알 수 있다. 패켓의 도착 시간에 의한 신호점유 확률을 크게하기 위해서는 보호 시간이 커지거나 신호점유 시간 T_t가 작아져야 한다. 그러나 보호시간은 전송효율에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 구현의 어려운 점이 있지만 신호점유 시간 T_t를 줄이는 것이 더 효율적이다.

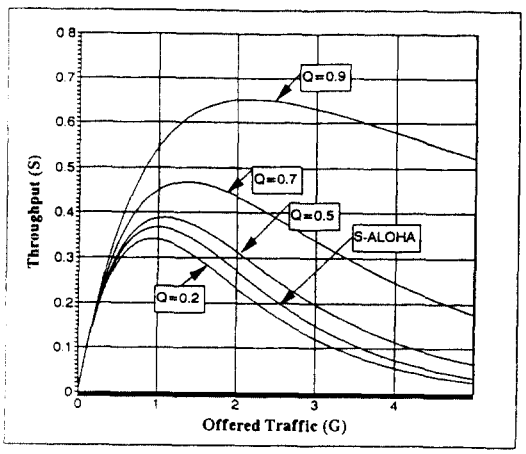

그림 6. 고정된 보호시간에서 신호 점유 확률이 변할때 슬롯형 알로아의 전송효율(보호시간=0.1, Q=0.2, 0.5, 0.7, 0.9)

Fig. 6. Throughput of slotted ALOHA with g=0.1, Q=0.2, 0.5, 0.7, 0.9

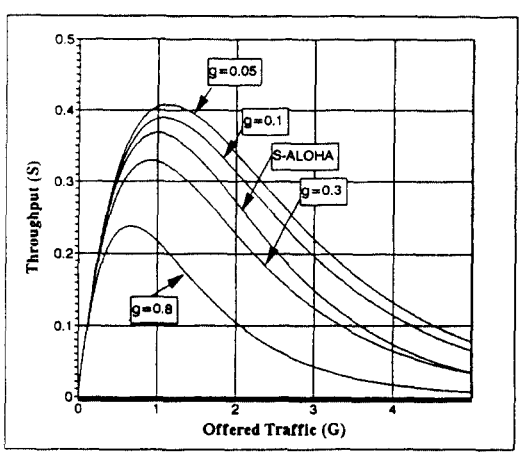

그림 7. 고정된 신호 점유 확률에서 보호시간이 변할때 슬롯형 알로아의 전송효율(Q=0.5, 보호시간=0.05, 0.1, 0.3, 0.8)

Fig. 7. Throughput of slotted ALOHA with Q=0.5, and g=0.05, 0.1, 0.3, 0.8

www.dbpia.co.kr

그림 7은 신호점유 확률을 0.5로 고정시켰을 때 보호시간이 변화함에 따른 그래프를 나타내었다. 그림에서 보호시간이 커지고 신호점유 확률이 작아질수록 전송효율이 떨어짐을 알 수 있다. 보호시간이 패킷길이의 약 20% 이하이면 기존의 알로아 시스템보다 전송효율이 증가함을 알 수 있다.

V. 결 론

슬롯형 알로아는 트래픽이 간헐적이고 많은 지구국을 포함한 경우에 있어서 기존의 고정할당 방식보다 좋은 전송효율과 지연시간을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 전파지연에 기인한 동기의 어려움을 해결하기 위한 보호시간과 무선환경에서 발생하는 신호점유 확률을 고려하여 보다 향상된 슬롯형 알로아의 모델을 연구 분석하였고 보호시간이 zero일 때 기존의 논문에서 얻은 결과와 비교하여 일치함을 수식적으로 증명하였다.

도착 신호전력을 이용한 신호점유의 경우 도착되는 패킷의 전력 레벨의 수가 증가할수록 높은 전송효율을 얻을 수 있었으며 모두 동일한 신호 전력 레벨로 들어올 경우 보호시간 때문에 기존의 정확한 동기화를 고려한 슬롯형 알로아보다는 효율이 떨어짐을 보였다. 이러한 성질들을 이용하여 위성이 아닌 이동통신의 경우에 페이딩이나 경로 손실에 기인한 신호 레벨의 수가 많아질수록 또는 인위적으로 신호 레벨의 수를 증가시킬수록 효율이 향상됨을 알 수 있다. 대역확산 기법에서 신호의 도착시간을 기준으로하는 신호점유의 경우에 있어서 신호점유 확률은 신호점유 시간(Tc)을 줄이거나 보호시간을 크게하여 증가시킬 수 있다. 그러나 보호시간의 증가는 효율에 직접적인 영향을 주기 때문에 신호점유 시간을 줄이는 것이 더 효과적인 방법이라 할 수 있다. 기존 알로아의 전송효율 보다는 신호점유를 고려할 경우 비록 보호시간이 포함되었다 할지라도 신호점유 확률의 증가에 따라 좋은 전송효율을 가짐을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. N. Abramson, "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.
2. Raphael Rom & Moshe Sidi, *Multiple Access Protocols Performance and Analysis*, Springer-Verlang New York Inc., pp.47-78, 1990.
3. Simon S. Lam & Leonard Kleinrock, "Packet Switching in a Multiaccess Broadcast Channel : Dynamic Control Procedures," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, No.9, pp.891-904, Sep., 1975.
4. Izhak Rubin & Joseph Baker, "Performance Analysis for a Terminal-Priority Contentionless Access Algorithm for Multiple-Access Communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-34, No.6, pp.569-575, June, 1986.
5. John J. Metzner, "On Improving Utilization in ALOHA Networks," *IEEE Trans. Commun.*, pp. 447-448, April, 1976.
6. Yoshikury Onozato et al, "Stability of a Slotted ALOHA System with Capture Effect," *IEEE Trnas. Vehicular Technology*, vol.38, No.1, pp.31-36, Feb., 1989.
7. Kyung S. Kwak & Ramesh R. Rao, "Controlled ALOHA with Geometric Capture Probabilities," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol.35, No. 11, pp.1270-1274, Nov., 1990.
8. C. C. Lee, "Random Signal Levels for Channel Access in Packet Broadcast Networks," *IEEE J. Select. Areas Commun*, vol. SAC-5, No.6, pp. 1026-1034, July, 1987.
9. Donald H. Davis & Steven A. Gronemeyer, "Performance of Slotted ALOHA Random Access with Delay Capture and Randomized Time of Arrival," *IEEE Trans. Commun*, vol. COM-28, No.5, pp.703-710, May, 1980.
10. Stewart N. Crozier, "Sloppy-Slotted ALOHA," *International Mobile Satellite Conference*, pp.367-362, 1990.
11. David J. Goodman & Adel A. M. Saleh, "The Near/Far Effect in Local ALOHA Radio Communications," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. VT-36, No.1, pp.19-27, Feb. 1987.
12. James A. Roberts & Timothy J. Healy, "Packet Radio Performance Over Slow Rayleigh Fading Channels," *IEEE Trans. Commun*, vol. COM-28, No.2, pp.279-286, Feb., 1980.

www.dbpia.co.kr

13. B. Hajek & T. van Loon, "Decentralized Dynamic Control of a Multiaccess Broadcast Channel," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. AC-27, pp.559-569, 1982.
14. Leonard Kleinrock, *Queueing Systems, Volume 2: Computer Applications*, New York : Wiley-Inter science, pp.360-368, 1976.
15. Shigeru Shimamoto et al, "Performance Evaluation of Power Level Division Multiple Access (PDMA) Scheme," *ICC '92* pp.1333-1337, June, 1992.

이 연구는 1992년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

李 鉉 球(Hyun Goo Lee) 정회원
1967년 7월 26일생
1986년~1991년 : 인하대 전자공학과(학사)
1991년~1993년 : 인하대 전자공학과(석사)
1993년 1월~현재 : (주)금성정보 통신 안양연구소
※주관심분야 : 위성 및 이동통신

郭 慶 燮(Kyung-Sup Kwak)정회원
1977年 : 仁荷大學校, 電氣工學(學士)
1979年 : 仁荷大學校 大學院, 電氣工學(碩士)
1981年 : Univ. of So.California 大學院, EE(碩士)
1988年 : Univ. of California 大學院, 通信理論 및 시스템(博士)
1983年~1988年 : Univ. of California, San Diego, 研究助教
1988年~1989年 : 美國 Hughes Network Systems, 研究員
1989年~1990年 : 美國 IBM, Network Analysis Center, 研究員
1990年 3月~現在 : 仁荷大學校 電子工學科, 助教授
※주관심분야 : 위성 및 이동통신, 데이타통신, ISDN등임.

www.dbpia.co.kr