

이동 컴퓨터 통신망용 다중 액세스 방식의 성능연구

正會員 白 志 鉉* 正會員 趙 東 浩** 正會員 李 英 雄**

A Study on the Performance of the Various Multiple Access Methods for the Mobile Computer Network

Jee Hyun Paik*, Dong Ho Cho**, Young Woong Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 이동 컴퓨터 통신망을 구현할 때 사용될 수 있는 여러 다중 액세스 방식의 성능을 이동 통신 채널의 특성을 고려하여 비교 하였다. 숨겨진 노드가 존재하는 상황에서 Code Division Multiple Access (CDMA) 방식이 동시에 액세스가 가능하기 때문에 Carrier Sensed Multiple Access (CSMA), Idle Signal Multiple Access (ISMA) 및 Busy Tone Multiple Access (BTMA) 등과 같은 패킷 액세스 방식에 비하여 처리율면이나 평균지연 시간의 측면에서 우수함을 알 수 있었다. 또한 여러 방식중 대역확산 방식을 사용한 CDMA 방식이 페이딩 현상이나 임펄스성 잡음이 존재할 때 CSMA 등과 같은 패킷 액세스 방식에 비하여 우수함을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 특히 분산망의 경우에 있어서는, CDMA 방식을 효율적으로 이용한 수신자-전송자 코드분할 다중 액세스(Receiver-Transmitter CDMA) 방식이 공통-송신자 코드분할 다중액세스(Common-Transmitter CDMA) 방식에 비하여 좋은 처리율과 적은 지연시간을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, the performance of the various multiple access techniques for the mobile computer network has been studied in the consideration of the characteristics of the mobile communication channel. In the case of the hidden node occurring, it could be seen that the performance of the code division multiple access (CDMA) technique with simultaneous access function is better than that of the other packet access methods such as carrier sensed multiple access (CAMA), busy tone multiple access (BTMA) and idle signal multiple access (ISMA) in the view of the throughput and mean delay time. Also, it has been shown that the performance of the CDMA method is superior to that of other packet access techniques such as multiple access (CSMA), etc., when the fading effect or impulsive noise exists in the mobile channel. Especially, in the case of the distributed mobile network, it has been shown that the receiver-transmitter based CDMA method using the characteristics of CDMA effectively has better throughput and less mean delay time than the common-transmitter based CDMA technique.

*金星情報通信(株)

GoldStar Information & Communications, Ltd.

**慶熙大學校 電子計算工學科

Dept. of Computer Eng., Kyung Hee University.

論文番號 : 92-65(接受1991. 4. 29)

I. 서 론

ARPA 네트워크를 시작으로 하는 컴퓨터 통신망에서는 교환방식으로 주로 패킷 교환방식을 사용한다. 일반적으로 버스타한 특성을 갖고 있는 정보에 대해서는 패킷 교환방식을 활용하면 통신자원의 효율적인 공용이 가능하기 때문이다. 이 패킷 통신을 처음으로 무선에 적용한 것이 하와이 대학의 ALOHA 시스템이며¹⁾, 그 이후 ARPA의 PRNET처럼 다단중계의 본격적인 패킷 이동 통신망도 개발되었다. 무선 패킷 통신 시스템은 망 형태를 간소화 할 수 있고, 또 망 형태의 변화에 쉽게 적응할 수 있기 때문에 이동 단말을 포함한 이동 컴퓨터 통신망 구축에 매우 적합하다. 종래의 방대한 연구는 패킷 교환 측면에서 수행되어 왔기 때문에 이상적인 통신로에서 각종 액세스 방식의 성능에 대해 고찰하였다. 따라서 페이딩, 잡음, 왜곡 등의 문제가 제대로 고려되지 않았다.

여러개의 단말국이 할당된 주파수 대역을 1:N 또는 N:M으로 공동으로 이용하는 다중 액세스 방식(multiple access)은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

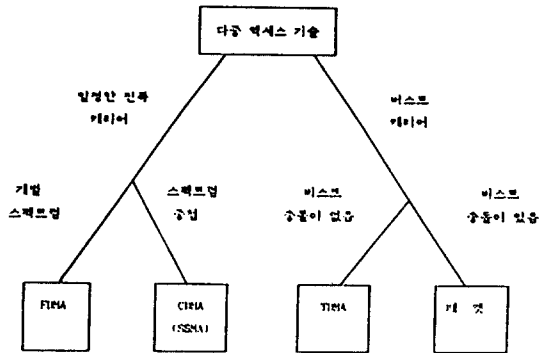


그림 1. 다중 액세스 방식의 분류
Fig. 1. The classification of multiple access methods

Frequency Division Multiple Access (FDMA)는 주파수를 여러개로 분할하여 사용하는 방식으로 동시에 여러 가입자들이 상호 통신이 가능하지만 회선 설정을 변경하는 데 있어서 유연성이 없고 캐리어의 수가 증가됨에 따라서 효율이 저하된다. 또한 일반적으로 효율이 TDMA에 비하여 떨어진다²⁾.

Code Division Multiple Access (CDMA) 방식은

Spread Spectrum Multiple Access (SSMA)의 일종으로 다른 방식과는 다르게 상관성을 용이하여 자기 신호를 찾는다. 각 노드는 shift register에서 나오는 자기의 코드에 신호를 섞어서 넓은 대역으로 신호를 송신한다. 이 방식은 시간 영역과 주파수 영역에서 송신이 가능하고 동기모드로 운용되기 때문에 오버헤드 비트가 필요하지 않다. 이 방식은 크게 세가지로 나누었는데 Frequency Hopping CDMA (FH-CDMA), Direct Sequence CDMA (DS-CDMA) 방식, 그리고 Time Hopping CDMA (TH-CDMA)가 있다. 특히 이 방식은 이동체 통신로에서 발생하는 페이딩이나 채널의 특성으로 발생하는 임펄스성 잡음에 대하여 잘 민감하게 나타난다³⁾. CDMA의 액세스 방식은 다양하게 제안되어 있으나 수신측 노드들이 감지할 수 있는 코드를 이용하여 수신자 주소와 송신자 주소를 보낸후 데이터는 각 전송자에게 할당된 전송코드로 전송하는 방식이 실제 구현하였을 경우 가장 효율적이다^{4, 5)}.

Time Division Multiple Access (TDMA) 방식은 FDMA에 비하여 전력면이나 가격면에서 융통성이 있고 대역의 효율성도 높다. 그러나 고속의 데이터 통신에 이용되므로 특히 이동체간의 통신에 있어서는 페이딩의 영향을 많이 받는다.

패킷 액세스 방식은 여러국이 효율적으로 버스트 데이터 트래픽을 송수신하는 컴퓨터 통신에 많이 사용되어 왔는데 패킷 이동 통신에서 사용되는 대표적인 방식으로는 ALOHA, Carrier Sensed Multiple Access (CSMA), Busy Tone Multiple Access (BTMA), Idle Signal Multiple Access (ISMA) 방식 등이 있다. ALOHA 방식에서는 각국이 필요할 때 비스프 데이터를 랜덤하게 송신하고, CSMA 방식에서는 패킷을 송신하기 전에 채널의 사용 여부를 확인한 후에 캐리어가 검출되지 않으면 송신한다. 또한 BTMA 방식에선서는 어느국이 송신하고 있을 때는

별도의 협대역 통신로를 사용하여 사용중임을 방송함으로써 모든국이 통신로의 상황을 알 수 있게 한다. 이밖에 ISMA 방식에서는 데이터가 실리지 않을 때 동일 통신로에 짧은 휴지 신호를 전송함으로써 송신 희망국이 휴지 신호를 검출한 직후에 패킷을 전송하도록 한다⁶⁾.

기존의 다중 액세스 방식에 대한 연구는 주로 가장 이상적인 예가 없는 환경에서 채널의 처리율과 지연시간에 대하여 연구를 하였으나 본 논문에서는 송

겨진 노드가 존재하는 이동체 상황과 페이딩 및 임펄스성 잡음이 존재하는 실제 상황에서 각 액세스 방식의 처리율과 지연시간을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 조사 분석하였다. 이동체 통신에서는 데이터를 송수신하는 여러 노드들이 고정되어 있지 않고 이동하기 때문에 도심지나 산악지대에서는 여러 방해물로 인하여 채널의 상태를 확인할 수 없거나 가시거리 밖에서 이동하는 물체는 숨겨진 노드가 될 수 있다. 즉 이동체 통신의 특성으로 숨겨진 노드가 존재하고 이로 인하여 기존의 다중 액세스 방식들이 처리율과 지연특성면에서 급격한 성능 저하를 보이는데 이를 보완하기 위하여 이미 제안된 BTMA 및 ISMA의 성능을 기존의 CSMA 방식 및 새로 제안한 CDMA 방식과 비교하였다. 또한 지금까지 군용통신에서 많이 사용되었던 CDMA 방식이 이동체 통신에서 가장 큰 에러 유발 원인이라고도 볼 수 있는 페이딩 현상에 강하므로 CDMA 방식을 사용하였을 경우에 시스템의 처리율과 지연특성을 기존의 ALOHA나 CSMA 방식등과 비교하였다. 결과적으로 본 논문에서는 이동체 통신의 특성으로 나타나는 숨겨진 노드로 인한 여러 다중 액세스 방식의 성능열화 문제를 비교 분석하고 또한 페이딩 잡음 및 임펄스 잡음 환경에서 여러 다중 액세스 방식의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였다.

서론에 이어 2장에서는 이동 통신로의 특성을 기술하고 3장에서 다중 액세스 프로토콜의 동작 원리 대해서 설명한다. 또한 제4장에서 다중 액세스 방식의 성능에 관한 시뮬레이션 결과를 분석하고 마지막으로 제5장에서 결론을 맺는다.

II. 이동 통신로의 모델링

이동 통신로의 특성으로는 수신단이 이동함에 따라 생기는 도플러 현상과 다중 전파경로로 인한 multipath delay 현상이 겹친 페이딩 현상 등이 있다. 아울러 번개 등과 인위적인 소음으로 인한 impulse 잡음이 있으며 일반 백색 잡음도 이동채널에 영향을 미치는 요인이 된다.

1. 레일리히 분포를 갖는 페이딩 현상

일반 육상 이동통신에서 수신되는 신호는 전파경로시에 건물이나 지형 등에 의한 반사로 인하여 다중 경로 간섭현상 및 이동체의 속도 변이에 따른 도플러

현상을 겪는다. 즉, 도플러 현상이 포함된 여러개의 다중경로 반사파가 서로 더해져서 수신 신호의 진폭과 위상이 불규칙하게 변화함으로써 수신파의 포락선이 일정한 세기를 갖지 못하고 커졌다 작아졌다하는 페이딩 현상을 나타낸다. 이러한 현상으로 인하여 부호화된 음성이나 데이터를 전송할 때 랜덤 및 연속적인 에러가 발생되어 시스템의 성능이 저하된다.

페이딩 현상은 진폭과 위상이 불규칙하게 변하는 현상으로 이 현상의 포락선은 식(1)과 같이 m 값에 의한 함수로 나타내어진다¹⁸⁾. 이러한 분포함수는 그림 2와 같은 분포를 이루며 m 값이 커짐에 따라서 포락선의 세기가 작아진다. 그러나 일반적으로 관측된 포락선은 레일리히 분포를 갖기 때문에 여기에서는 m 값이 1/2 일때의 그림 3과 같은 레일리히 페이딩

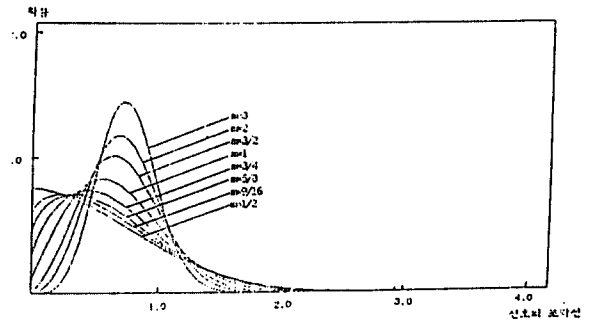


그림 2. m 값의 변화에 따른 페이딩 신호의 확률밀도 함수
Fig. 2. The probability density function of the fading signal when the value of m varies.

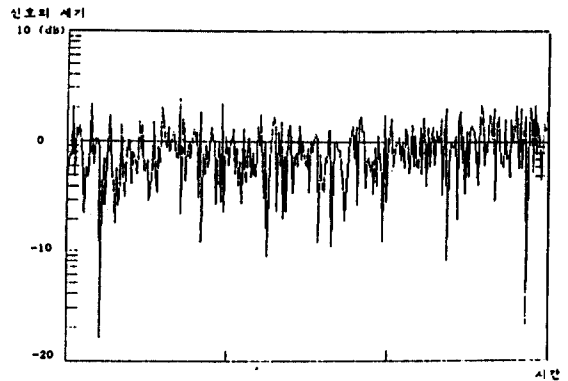


그림 3. $m=1/2$ 일때 신호의 포락선
Fig. 3. The envelope of signal in the case of $m=1/2$

채널을 고려하였다. 이와 같은 페이딩 현상의 확률밀도 함수는 다음과 같이 표시된다.

$$P(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) \quad (1)$$

윗 식에서 R은 신호의 크기를 나타내고 Ω 는 신호의 평균전력을 표시하며 $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수를 의미한다.

2. 임펄스성 잡음

산림화, 도시화된 환경에서는 진자기기, 전력선등이 무선 통신 시스템의 작동을 유발하는 원인이 된다. 이들 잡음원은 주로 임펄스성 특성을 갖는데 디지털 무선통신에 있어서 데이터의 전송 오류를 야기시키는 심각한 요인으로 등장한다. 이러한 임펄스성 잡음은 매우 큰 크기의 펄스로 발생되며 log normal 분포함수를 갖는다.

임펄스성 잡음의 해석은 가우스성 잡음을 제외시키고 임펄스성 모델만 추출하여 해석하는 것과 전차과 전체에 대해서 해석하는 방법이 있다. Middleton이 정리한 모델을 살펴보면 다음과 같다⁸⁾.

$$n(t) = N \cos(2\pi f_c t + \xi) \quad (2)$$

여기서 f_c 는 중심 주파수이고 N, ξ 는 확률변수인데, ξ 의 확률밀도 함수는 $(0, 2\pi)$ 구간에서 균등분포함수로 표시되고 N의 확률밀도 함수는 다음식과 같이 표시된다.

$$P(N) = \frac{e^{-A}}{W} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{A^j}{j!} \frac{N}{\sigma_1} \exp\left[-\frac{N^2}{2W\sigma_1}\right], N \geq 0, \quad (3)$$

$$\sigma_1^2 = (j/A + \Gamma') / (1 + \Gamma')$$

W : 전체 잡음전력(가우스성 잡음 전력과 임펄스성 잡음전력의 합)

A : 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스성 잡음이 차지하는 비율)

N : 순잡음 포락선

Γ' : 가우스 잡음 내 임펄스성 잡음의 전력비

III. 다중 액세스 방식의 동작원리

1. 패킷 액세스 방식

(1) PURE ALOHA

PURE ALOHA 방식은 각 스테이션들이 보낼 데이터가 있으면 임의대로 패킷을 전송하며 패킷을 전송한 후 ACK 신호가 오기를 기다린다. 만약 최대 전송시간을 기다려도 ACK 신호가 오지 않으면 그 스테이션은 (1, K) 사이의 임의의 패킷 전송시간 만큼 지연시킨 후 다시 전송을 시작한다. 이러한 액세스 방식의 패킷 충돌 기간은 그림 4와 같다.

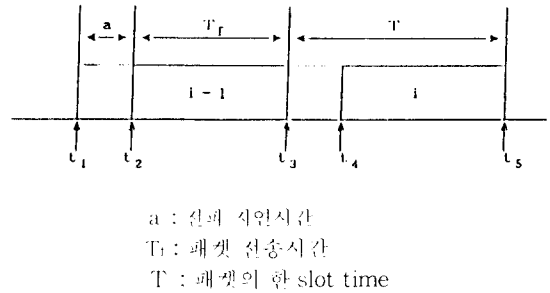


그림 4. 패킷의 전송시간과 충돌기간

Fig. 4. The transmission time and collision period of packet.

그림에서와 같이 패킷 i가 충돌없이 성공적으로 패킷을 전송 하려면 전파 지연시간 a를 포함한 한 패킷의 전송시간인 $t5-t3$ 동안에는 다른 패킷이 전송되지 않아야 하며 또한 $t5-t3$ 와 같은 전 시간대 $t3-t1$ 에서도 패킷의 전송이 없어야 한다. 여기에서 채널에 가입한 노드들의 수가 매우 많다고 가정하면 한 단위 시간동안 채널에 실리는 패킷의 수는 포아송 분포를 이룬다. 이 방식은 구현이 매우 쉽고 전송하는 패킷의 양이 작은 경우에는 효율적이나 트래픽이 커짐에 따라서 성능이 급속히 저하된다.

한편 이상적인 채널일때 S, D, G를 각각 처리율, 평균 지연시간, 트래픽 양이라 할 때 ALOHA의 처리율과 지연시간에 대한 수식은 다음과 같다.^{11),110)}

$$S = Ge^{-2G} \quad (4)$$

$$D = \left(\frac{G}{S} - 1\right) R + 1 + a \quad (5)$$

여기서 R은 패킷 전송시간, ACK 패킷 전송시간, round-trip 전파 지연시간, 평균 재전송 시간을 합한 값이다.

(2) Slotted ALOHA

이 방식은 패킷을 전송할 때 각 slot의 동기에 맞추어 전송하는 방식으로 기존의 PURE ALOHA에 비하여 두배의 성능 개선을 이루었다. 이 방식에서는 패킷 i가 충돌을 피하려면 패킷 i의 전송구간 이전의 slot 구간인 t3-t1 구간에 다른 패킷이 생성되지 않아야 한다. 만약 그 구간에 패킷이 생성되면 다음 slot의 시작 시간인 t3에 전송이 시작되므로 패킷 i와 완전히 겹쳐서 충돌이 발생하게 된다. 그렇기 때문에 패킷의 충돌 기간이 기존의 PURE ALOHA에 비하여 두배로 줄어든다. 이 방식에서 한 slot의 길이는 한 패킷의 길이와 최대전파 시간의 합인 T가 되며 전송하는 패킷의 도착 간격은 일반적으로 기하분포를 이룬다. 한편 이상적인 채널일 경우에 대해서 S, D, G를 각각 처리율, 평균 지연시간, 트래픽 양이라 할 때 Slotted ALOHA의 처리율과 지연시간에 대한 수식은 다음과 같다.^{11,10)}

$$S = Ge^{-G} \tag{6}$$

$$D = \left(\frac{G}{S} - 1\right) R + 1 + a \tag{7}$$

여기서 R은 패킷 전송시간, ACK 패킷 전송시간, round-trip 전파 지연시간, 평균 재전송 시간을 합한 값이다.

(3) CSMA(Carrier Sensed Multiple Access)

CSMA 프로토콜은 채널의 사용 여부를 확인한 후, 캐리어가 검출되지 않으면 송신한다. 이 방식에서 충돌이 일어나는 구간은 그림 4와 같이 한 패킷이 송신을 시작해서 캐리어가 도달하기 전에 다른 노드에서 패킷을 전송하는 경우에 발생한다. 이 방식은 기존의 ALOHA에 비하여 성능이 상당히 개선되었다. 이 방식은 캐리어를 감지한 후, 캐리어가 있을 경우에 Back off 하는 방식에 의하여 다음과 같이 크게 3가지로 나뉜다.

- Non-Persistent CSMA :

- 1) 패킷을 전송하기 전에 캐리어를 확인한다. 캐리어가 검출되지 않으면 전송하고 검출되면 임의의 패킷 전송시간만큼 지연한다.
- 2) 얼마의 지연후 다시 캐리어를 확인하고 1)과 같은 방식으로 패킷 전송을 결정한다

한편 이상적인 채널일 경우와 숨겨진 노드가 존재할 경우에 대해서 S, D, G, a를 각각 처리율, 평균 지연시간, 트래픽 양, 전파 지연시간이라 할 때 Non-Persistent CSMA의 처리율과 지연시간에 대한 수식은 다음과 같다.^{10, 11)}

가) 이상적인 채널일 경우

$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-G}} \tag{8}$$

$$D = \left(\frac{G}{S} - 1\right) R + 1 + a \tag{9}$$

나) 숨겨진 노드가 존재할 경우

$$\frac{S}{G} = \frac{s}{g} = \exp\{g(1-2a)\} \cdot \left[\frac{\exp\{-g(1-a)\}}{g(1+2a) + \exp\{-ag\}} \right]^N \tag{10}$$

$$D = \left(\frac{G}{S} - 1\right) R + 1 + a \tag{11}$$

여기서 임의의 노드 i : i = 1, 2, ... N에 대해서 S_i = s, G_i = g, g = G/N 이며 N은 전송 기간중에 평균 스케줄링수 혹은 평균 전송수이다.

- 1-Persistent CSMA :

- 1) 패킷을 전송하기 전에 캐리어를 확인한다.
- 2) 캐리어가 검출되면 캐리어를 계속 감지하고 있다 가 캐리어가 없어지는 순간 무조건 패킷을 전송한다.

이 방식은 한 패킷 전송시간내에 두개 이상의 패킷이 있으면 충돌이 연속적으로 발생한다.

한편 이상적인 채널일 경우와 숨겨진 노드가 존재할 경우에 대해서 S, D, G, a를 각각 처리율, 평균 지연시간, 트래픽 양, 전파 지연시간이라 할 때 1-Persistent CSMA의 처리율과 지연시간은 다음과 같다.^{10, 11)}

가) 이상적인 채널일 경우

$$S = \frac{G[1+G+aG/2]e^{-G(1+2a)}}{G(1+2a) - (1-e^{aG}) + (1+aG)e^{-G(1+a)}} \tag{8}$$

$$D = \left(\frac{G}{S} - 1\right) (R + \bar{r}_i) + 1 + a \tag{13}$$

여기서 \bar{r}_1 은 맨 처음의 평균 전송 지연시간이다.

나) 숨겨진 노드가 존재할 경우

$$\frac{S}{G} = \frac{s}{g} = \frac{1 + g + ag(1 + g + ag/2)}{(1 + ag) \exp\{-g(1 - 2a)\}}$$

$$\left[\frac{(1 + ag) \exp(-g)}{g(1+2a) - (1 - \exp\{-ag\} + (1+ag) \exp\{-g(1+a)\})} \right]^N \quad (14)$$

$$D = \left(\frac{G}{S} - 1\right) (R + \bar{r}_p) + 1 + a \quad (15)$$

여기서 임의의 노드 $i : i = 1, 2, \dots, N$ 에 대해서 $S_i = s, G_i = g, g = G/N$ 이며 N 는 전송 기간중에 평균 스케줄링수 혹은 평균 전송수이다.

- P-Persistent CSMA :

- 1) 패킷을 전송하기전에 캐리어를 확인한다.
- 2) 캐리어가 검출되면 캐리어를 계속 감지하고 있다가 캐리어가 없어지는 순간에 확률 P 로 전송을 시작한다.

이 방식은 채널의 부하량에 따라서 전송확률 P 의 값이 채널의 성능에 영향을 크게 미친다.

한편 숨겨진 노드가 존재할 때의 수식은 유도되어 있지만, 이상적인 채널일 경우 S, D, G, a 를 각각 처리율, 평균 지연시간, 트래픽 양, 전파 지연시간이라 할때 P-Persistent CSMA의 처리율과 지연시간은 다음과 같다¹⁰⁾

$$S(G, P, a) = \frac{(1 - e^{-aG}) [P_s \pi_0 + P_s (1 - \pi_0)]}{(1 - e^{-aG}) [a\bar{r}'\pi + a\bar{r}(1 - \pi) + 1 + a] + a\pi} \quad (16)$$

$$D = \left(\frac{G}{S} - 1\right) (R + \bar{r}_p) + 1 + a \quad (17)$$

여기서 각각의 변수는 다음과 같다.

- π : 전송기간 중에 큐잉되는 패킷수들의 분포
- π_0 : 맨처음 전송기간중에 큐잉되는 패킷수들의 분포
- P_s : 채널의 busy기간 후에 전송이 성공할 확률
- P_s' : 맨처음 채널의 busy기간 후에 전송이 성공할 확률
- \bar{r}' : 연속되는 전송기간 사이의 평균 gap

\bar{r}' : 맨처음 연속되는 전송기간 사이의 평균 gap

\bar{r}_p : 맨 처음의 평균 전송 지연시간

(4) BTMA (Busy Tone Multiple Access)

CSMA 방식에서 두 노드들이 통신을 하고 있을때 방해물이 존재하거나 비 가시거리에 노드들이 존재하면 채널의 상태를 감지하지 못하므로 충돌이 발생한다. 이러한 문제점을 방지하기 위하여 제안된 방식이 BTMA 프로토콜이다. 그림 5에서와 같이 가 연결된 노드들을 원으로 표시하였을 경우 노드 i 와 j 가 통신한다고 하면 방송망이므로 g 노드와 h 노드는 i 노드와 j 노드가 통신중임을 알고 있으므로 전송이 금지된다.

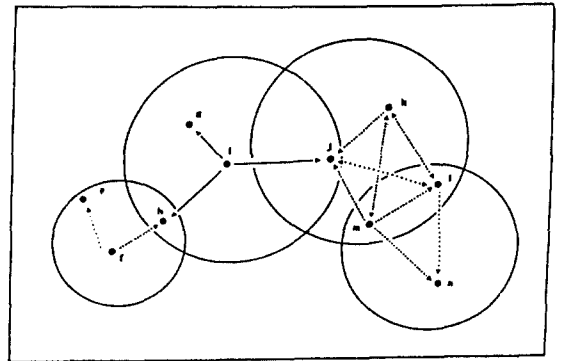


그림 5. 숨겨진 노드로 인한 충돌 발생의 예
Fig. 5. The example of the collision due to the hidden node.

그러나 k 노드와 l, m 노드는 통신중임을 알지 못하며 이러한 노드들이 패킷 전송을 시도하면 기존의 i 노드와 j 노드의 패킷과 충돌을 일으켜 모든 패킷이 손실된다.

여기서 이와같은 속성을 갖는 노드들을 숨겨진 노드(hidden node)라 하며 CSMA 방식에서 성능을 저하시키는 커다란 요인이 된다. 이러한 단점을 방지하기 위하여 제안된 방식이 BTMA이며 여기서는 통신중임을 알고있는 g, h, i 노드가 사용중임(busy tone)을 별도의 협대역을 통하여 발생시켜 사용중임을 감지한 노드들이 전송을 못하도록 하는 방식이다. 이러한 방식을 사용하였을 경우, 숨겨진 노드에 의한 충돌은 완벽하게 방지되나 전파지연시간 a

에 의하여 성능이 좌우되며 f노드의 경우에는 p노드와 통신을 할 경우, 충돌이 발생되지 않고 통신이 가능하나 사용중 음으로 인하여 통신을 못하는 경우가 생긴다. 이때 숨겨진 노드가 완전히 제거되는 최대시간은 데이터 패킷이 전파되는 시간과 사용중 음이 전파되는 시간의 합인 2a가 된다. 그러나 사용중 음이 협대역을 통하여 전파되므로 일반 통신로를 사용하는 데이터 패킷에 비하여 채널의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 특히 이동체 통신망에서는 사용중 음이 페이딩의 영향을 받아 숨겨진 노드들이 사용중 음을 잘못 감지하는 상황이 발생한다. 대체로 BTMA 방식은 모든 노드들이 직접 통신하는 분산망에 적합하다^[11]. 한편 BTMA의 지연시간에 대해서는 수식적 유도가 복잡하고 수식적 표현이 곤란하여 대부분 시뮬레이션에 의해서 지연시간을 계산하면 일반적으로 BTMA의 처리율에 대한 수식은 다음과 같다^[11].

$$S = (1 - \phi) \Phi \gamma T_m \exp\{-2\Phi \gamma T_m\} \quad (18)$$

여기서 각 변수의 의미는 다음과 같다.

- ϕ : busy tone의 대역폭이 전체 대역폭에서 차지하는 비율
- r : 부과된 채널 트래픽(packet /s)
- T_m : message channel로 하나의 패킷을 전송하는 시간
- Φ : 올바른 busy tone을 받을 확률($\Phi = 1 - F$)
- F : 잘못된 busy tone을 받을 확률

(5) ISMA 방식(Idle Signal Multiple Access)

BTMA에서는 사용중 음의 전송을 위해서 별도의 협대역의 대역폭이 필요하고 채널의 상태에 따라 사용중 음이 에러를 유발 시키는 가능성이 크지만 ISMA 방식에서는 최대 전파시간의 왕복시간인 2a 동안 데이터가 통신로에 실리지 않으면 동일 통신로에 짧은 휴지 신호를 보내어 데이터 패킷의 통신로를 공유하는 방식이다. 송신 회망국은 휴지 신호를 검출한 직후에 패킷을 P의 확률로 송신하는데, 이 패킷의 송신이 완료되면 중앙국은 다시 휴지 신호를 내보낸다. 그러나 일반적으로 휴지신호를 전송하는 중앙노드는 중앙에 위치하므로 휴지신호의 주기는 a가 된다. 이 방식은 BTMA에 비하여 채널을 효율적으로 사용하지만 채널의 상태를 감지하지 않고 휴지신호를 감지하면 무조건 P의 확률로 패킷을 전송하기 때문에 P-Persistent CSMA보다 트래픽이 커짐에 따

라서 성능이 급격히 저하된다. 이 방식은 집중형에 적합하며 중앙국을 제외한 다른 노드들은 CSMA에 비하여 채널의 상태를 감지할 필요가 없으므로 간단하다^[11].

한편 S, D, G를 각각 처리율, 평균 지연시간, 트래픽 양이라 할 때 ISMA의 처리율에 대한 수식은 다음과 같다.

$$S = \frac{Ge^{-G}}{1+d+e^{-G}} \quad (19)$$

여기서 idle signal의 interval d는 $d = 2a + b$ 가 되며 b는 idle signal의 길이이다.

또한, 왕복 전파 지연시간이 R 슬롯과 같다고 가정할 경우 재전송 시간을 K개의 슬롯중에서 균일한 확률로 임의의 슬롯 하나를 선택하여 결정한다면 평균 지연시간에 대한 수식은 다음과 같다.^[7]

$$D = R + 1 + \left(\frac{G}{S} - 1\right) \left(R + \frac{K+1}{2}\right) \quad (20)$$

2. 코드분할 다중 액세스방식(CDMA)

대역 확산 통신기법을 다중화하는 방식인 CDMA는 시간과 주파수 영역에서 동시에 패킷을 전송할 수 있다. 즉 직교부호를 사용함으로써 같은 대역에서 여러 시스템들이 동시에 송수신할 수 있는데, 기본적인 CDMA 시스템의 개요도가 그림 6에 표시되어 있다.

가입자측 데이터 $d_k(t)$ 는 각 가입자 별로 고유하게 정의된 직교부호 값 $c_k(t)$ 와 2진 가산기를 통하여 더해진 후 송신되고 전송중에 t_k 지연 왜곡과 a_k 진폭 왜곡을 기친후에 페이딩 잡음 $f(t)$ 또는 임펄스성 잡음 $n(t)$ 등이 더해져서 수신단에 전달된다^[12]. 수신측에서는 고유의 직교 부호와 수신 신호를 2진 가산기로 더하여 적분한 후에 상관성이 어느 이상이면 그 가입자의 수신 데이터로 인지한다. TDMA에서는 데이터를 수신할 때 샘플링에 의해 전송된 신호를 찾는 데 반해 CDMA 시스템에서는 상관성을 이용하여 수신정보를 도출한다. 이러한 CDMA 시스템은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

첫째, 직교 부호수 N개 만큼 다중화된 논리적 채널을 가입자에게 할당할 수 있다. 또한 메시지에 기초하여 동시에 여러 가입자들이 전송할 수 있고, 패킷화 하지 않고도 전송이 가능하며 전송단위를 길게 할 수 있으므로 종점간 전파지연의 영향이 줄어든다. 이

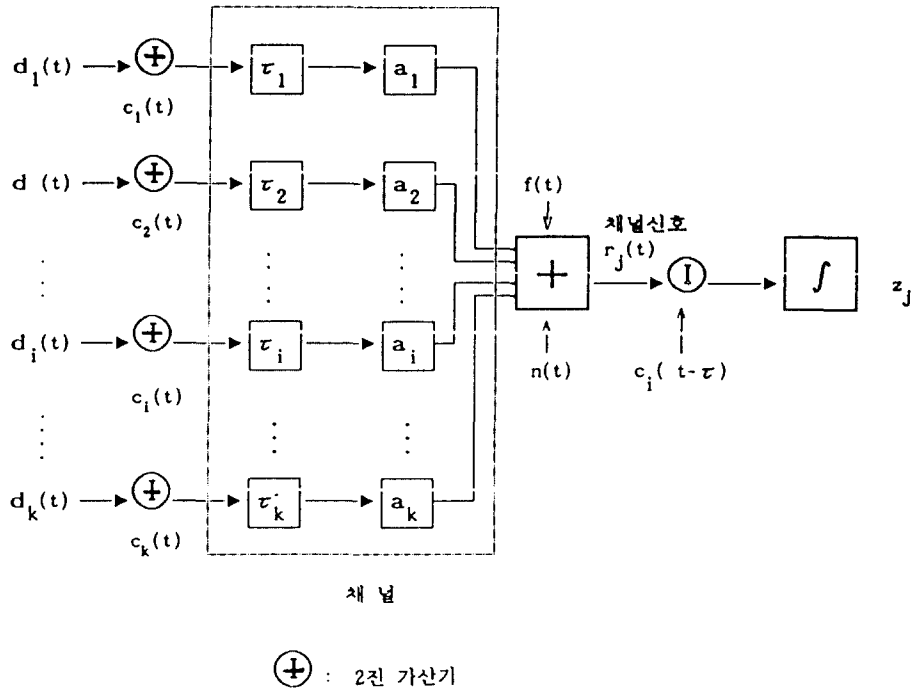


그림 6. 기본적인 CDMA 시스템
Fig. 6. Basic CDMA system

법에 같은 대역폭을 사용할 때 CDMA 시스템을 TDMA 시스템보다 더 많은 가입자를 지원할 수 있다.

물론, 동기 모드로 운용되기 때문에 오버헤드 버퍼를 사용하지 않게되어 네트워크의 성능이 향상된다. 또한 멀티레벨로 전송할 수 있어 혼합된 트래픽 즉 음성, 데이터, 영상 등을 전송하는데 적합하다. 이밖에 기존의 TDMA 계열의 네트워크 성능을 일화시키는 주요 원인인 전파지연의 영향이 CDMA에서는 극복될 수 있다.

세째, 대역확산 기법을 사용하므로 무선 이동 통신망에서 생기는 페이딩 현상이나 임펄스성 잡음에 대하여 민감하지 않을뿐더러 각 송신 노드에 코드를 할당하여 데이터의 보안성을 기할 수 있다. 일반적으로 코드의 운영에 따라 다음과 같이 크게 3가지 방식으로 구별된다¹⁾.

(1) 수신자 코드방식(Receiver-Based Code)

이 방식은 패킷을 전송할 노드들이 부직직 노드의 코드에 맞추어 데이터를 전송하는 방식을 말한다. 이

러한 방식은 CDMA의 방식중 가장 손쉽게 사용할 수 있는 방식이나 집중망의 경우 부직직 노드가 한곳에 집중되므로 성능이 떨어지며 CDMA의 장점을 효율적으로 이용하지 못한다.

(2) 송신자 코드 방식(Transmitter-Based Code)

이 방식은 각 송신 노드에게 고유한 코드가 허락되어 전송할 패킷이 있을 경우에 송신자측의 코드에 맞추어 전송하는 방식으로 모든 송신자의 코드가 유일하다고 가정하면 가장 완벽한 성능을 나타낸다. 그러나 이 방식은 수신측의 노드가 자기에게 전송된 패킷을 구분할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 혼합형을 사용한다.

(3) 혼합방식(Hybrid Scheme)

송신자 코드 방식의 장점을 이용하면서 수신자의 주소를 수신하는 노드가 알 수 있도록 앞에서 언급한 여러방식을 혼합하여 사용하는 방식으로서 CDMA에 있어서 유용한 채널 액세스 방식이다. 이러한 혼합방식은 크게 두가지로 분류할 수 있으며 각각의 동

작방식은 다음과 같다.

(1) 공통-송신자 코드분할 다중 액세스 방식(Common-Transmitter-Based CDMA)

이 방식은 각 노드에게 고유한 코드를 할당하여 전송하는 방식으로서 송신측과 수신측의 주소부분은 공통코드를 사용하여 전송함으로써 수신측이 패킷의 목적지 주소를 감지하도록 한다. 일반적으로 이러한 방식은 하나의 패킷을 주소부분의 크기로 나누어 각 나누어진 slot에 동기시켜 전송한다. 그림 7은 하나의 패킷이 어떻게 전송되는가를 보여준다.

이 방식은 공통 코드가 겹치는 경우에 한하여 충돌이 발생하며 공통코드의 충돌기간은 Slotted ALOHA의 경우와 같다.

(2) 수신자-전송자 코드분할 다중 액세스 방식(Receiver Transmitter-Based CDMA)

이 방식은 C-T CDMA방식을 개량한 방식으로 C-T CDMA에서는 주소부분의 코드는 공통코드를 사용하기 때문에 Slotted ALOHA와 같은 성능을 갖고 있으나 이 방식에서는 목적지 노드의 코드에 맞추어 주소부분을 전송한다. 따라서 이 방식에서는 각 수신측은 공통코드를 항상 감지할 필요가 없고 자기의 코드와 상관성이 맞으면 데이터 부분의 패킷을 수

신한다. 특히 이러한 방식은 수신노드의 갯수가 많은 분산망의 경우 매우 높은 처리율을 갖는데, 그림 7에 이 방식의 송신과정이 나타나 있다.

IV. 시뮬레이션 및 결과분석

컴퓨터 시뮬레이션에서는 트래픽의 증가에 따른 다중 액세스 방식의 처리율의 변화와 지연시간의 변화를 고찰하였다. 패킷의 수에 대한 확률과정을 Poisson Model로 가정하여 지수 분포 수식을 이용하여 패킷을 생성하였다. 시뮬레이션 과정에서 충돌이나 잡음으로 인하여 재전송되는 패킷은 전체 Traffic G에 대하여 영향을 미치므로 충돌이 증가함에 따라 트래픽의 발생량을 조정하였다. 또한 전파지연 시간을 고려하기 위해서 각 노드의 위치를 고려하였는데 그 기리는 다음과 같은 분포를 취하였다.

$D = N[1 - \gamma^{1/2}]$, 여기서 γ 은 [0, 1] 사이의 균일분포를 갖는 임의의 변수이다.

이 밖에 출력분석에서는 t 분포를 이용한 batch mean 방법을 사용하여 95%의 신뢰도에서 시뮬레이션 결과를 검증하였다.

한편 각 액세스 방식을 시뮬레이션 할 때 사용한

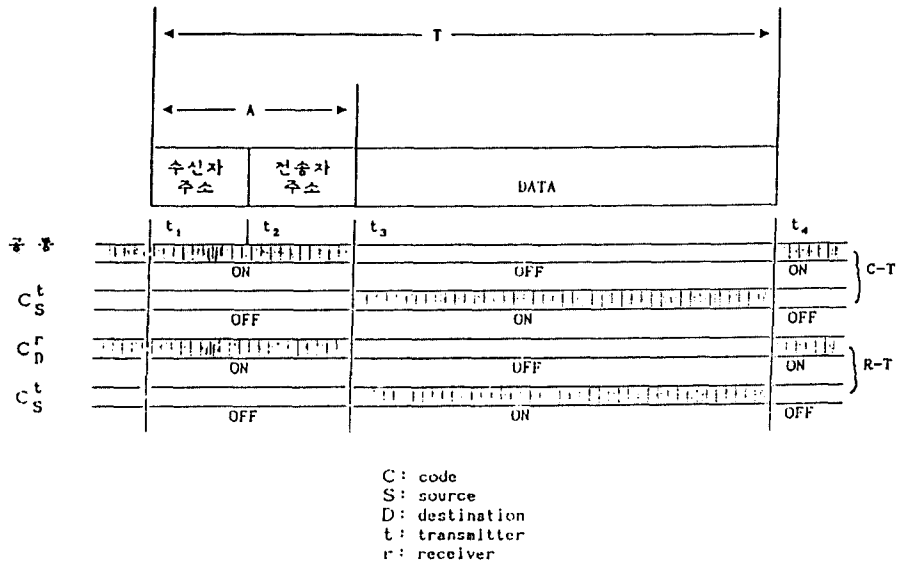


그림 7. 여러 CDMA 방식에 있어서 패킷의 구조와 프로토콜
Fig. 7. The packet structure and protocol in the various CDMA methods.

가정은 다음과 같다.

- 액세스 방식의 처리율은 전체 시뮬레이션 시간에 대한 재대로 수신된 패킷의 전송시간의 비율이다.

- 패킷 지연시간은 전송을 위하여 발생된 패킷이 목적지 노드에 완전히 수신될 때 까지의 시간을 한 패킷의 전송시간으로 정규화시킨 시간이며 충돌이 발생되었을 때에는 재전송의 횟수를 k 라 했을때 $[1, \dots, k]$ 사이의 값중에서 2의 지수배 만큼을 지연시킨 후 전송하는 Back off 알고리즘 방식을 사용하였다.

- 전파지연시간 a 는 무선망이므로 매우 작다. 시뮬레이션에 사용한 전파 지연 시간은 패킷 전송시간으로 정규화 하여 최대 0.005로 하였다.

- 균일한 트래픽분포를 갖고 있는 200개의 노드로 망을 구성하였다.

- 잡음을 고려한 시뮬레이션에서는 송신 정보는 PAM 방식으로 변조되어 전송되고 각 수신부의 필터는 송신된 신호와 동기가 이루어진 후에 부조되었다고 가정하였다. CDMA에서도 수신 신호를 검출하는 상관기는 동기가 완전히 이루어진 것으로 가정하였다.

- BTMA 액세스 방식에서 일반적인 경우에는 처리율이 좋은 Non-Persistent CSMA 방식을 사용하였다.

- ISMA 액세스 방식에서 idle signal의 전송시간을 0.001로 설정하고 정보 송수신시에 사용되는 프로토콜인 P-Persistent CSMA의 P값을 0.03으로 하였다.

1. 전송 채널에 잡음이 없을 때

다양한 채널 액세스 프로토콜에 대해서 트래픽 밀도가 증가할 때 처리율이 어떻게 변화 하는가가 그림 8에 표시되어 있다.

대부분의 경우에서 있어서 Slotted ALOHA가 Pure ALOHA 보다 처리율면에서 좋고, Non-Persistent CSMA가 Slotted ALOHA보다 더 우월함을 알 수 있다. 한편 채널의 잡음이 존재하지 않을 때 BTMA 방식은 일정대역을 busy tone 전송에 할당하는 Non-Persistent CSMA 방식과 동일하므로 그 처리율도 Non-Persistent CSMA 방식과 비슷하나 busy tone의 전송을 위한 전송용 대역폭이 클수록 처리율이 떨어지게 된다.

이외에 ISMA 방식은 휴지신호를 내보내는 시간이 매우작으면 P-Persistent CSMA 와 거의 비슷하게 동작하는데 채널의 상태에 의존하지 않고 휴지신

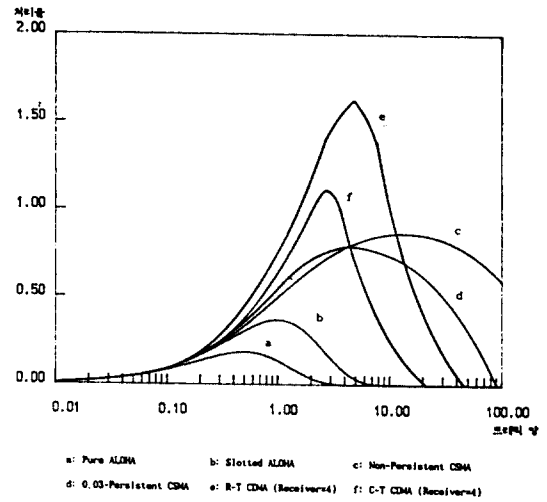


그림 8. 트래픽양에 대한 1단 채널 액세스 프로토콜의 처리율

Fig. 8. The throughput of single hop channel access protocol VS. traffic intensity.

호 정보만을 사용하여 P의 확률로 전송하므로 트래픽이 커짐에 따라서 P-Persistent CSMA 보다 성능이 급격히 감소한다. 마지막으로 CDMA 방식에서 C-T CDMA 방식은 일반적으로 다른 방식보다 우수하나 트래픽이 클 경우 공통코드가 충돌을 일으켜 성능이 저하된다. 그러나 분산방일 경우 CDMA 방식이 다른 방식에 비하여 우수한 성능을 나타내며 특히, R-T CDMA는 C-T CDMA에 비하여 더욱 좋은 효과를 나타낸다. 이러한 CDMA 방식들은 분산된 수신노드들의 수와 주소부분이 한 패킷당 차지하는 비율에 따라 성능의 변화를 가져온다.

트래픽 밀도가 증가할때 여러 채널 액세스 프로토콜의 지연특성이 그림 9에 나타나 있다.

다양한 채널 액세스 프로토콜의 각각의 지연특성은 처리율 특성과 거의 비슷한 상대적 우월성을 갖고 있으며 트래픽양이 증가함에 따라 그 차이도 크게 나타나고 있다.

숨겨진 노드가 존재할 때 채널 액세스 프로토콜의 처리율 특성과 지연특성이 그림 10과 그림 11에 표시되어 있다. CSMA 방식에서는 숨겨진 노드가 많을수록, 트래픽이 클수록 충돌횟수가 증가하여 처리율이 현저히 격감되고 지연이 급증하나, 충돌을 피하기 위하여 별도의 협대역을 사용하는 BTMA

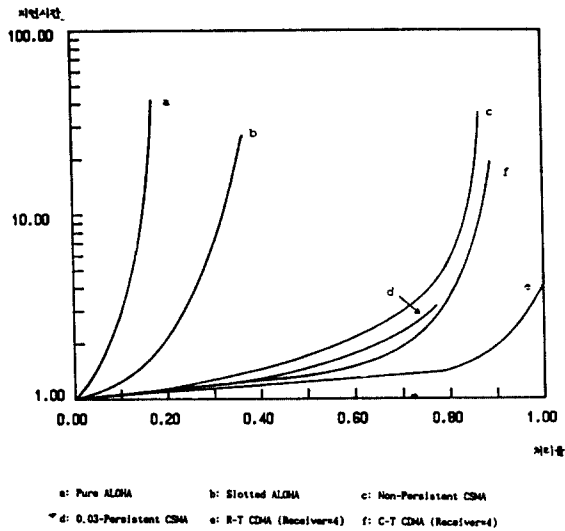


그림 9. 1 단 채널 액세스 프로토콜의 처리율에 대한 지연 시간

Fig. 9. The delay time VS. the throughput of single hop channel access protocol.

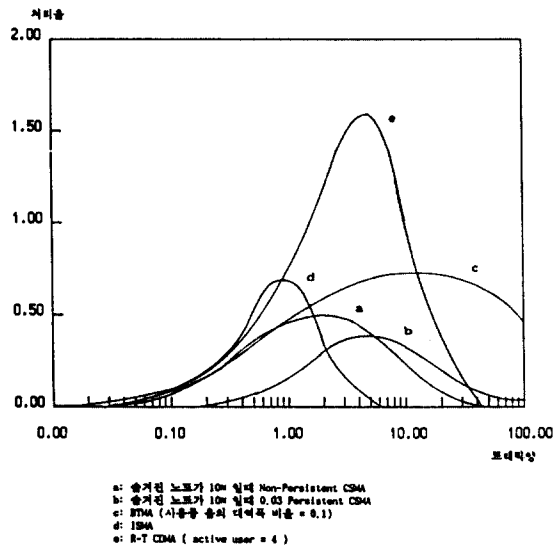


그림 10. 숨겨진 노드가 존재할 때 트래픽양에 대한 채널 액세스 프로토콜의 처리율 특성

- a: Non-Persistent CSMA when the percentage of the hidden node is 10%
- b: 0.03 Persistent CSMA when the percentage of the hidden node is 10%
- c: BTMA when the percentage of the bandwidth for the busy tone is 10%

- d: ISMA
- e: R-T CDMA (active user=4)

Fig. 10. The throughput characteristics of channel access protocol VS. traffic intensity in the case of hidden node occurring.

- a: 숨겨진 노드가 10% 일때 Non-Persistent CSMA
- b: 숨겨진 노드가 10% 일때 0.03 Persistent CSMA
- c: BTMA (사용중 음의 대역폭 비율=0.1)
- d: ISMA
- e: R-T CDMA (active user=4)

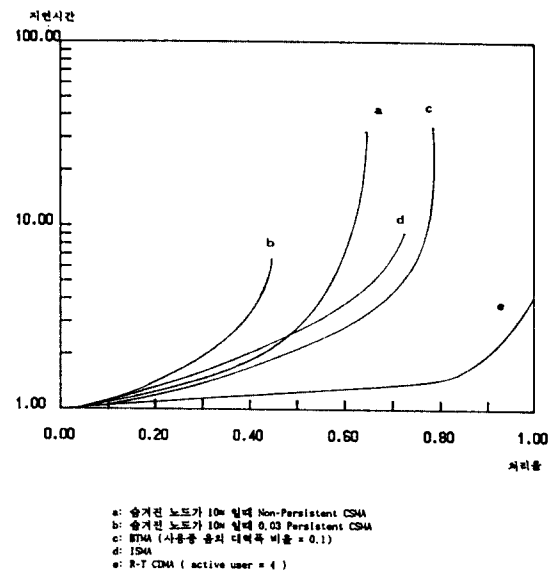


그림 11. 숨겨진 노드가 존재할 때 채널 액세스 프로토콜의 처리율에 대한 지연시간

- a: Non-Persistent CSMA when the percentage of the hidden node is 10%
- b: 0.03 Persistent CSMA when the percentage of the hidden node is 10%
- c: BTMA when the percentage of the bandwidth for the busy tone is 10%
- d: ISMA
- e: R-T CDMA (active user=4)

Fig. 11. The delay time VS. the throughput of channel access protocol in the case of hidden node occurring.

방식에서는 처리율 및 지연특성이 상대적으로 좋을 수 있다.

또한 숨겨진 노드가 없을 때 ISMA의 성능이 대체로 P-Persistent CSMA와 비슷하고 P-Persistent

CSMA와 마찬가지로 P값에 따라 성능의 영향을 받으나 숨지진 노드가 존재하면 ISMA 방식의 성능이 P-Persistent CSMA 방식의 성능보다 우월함을 알 수 있다. 이때 ISMA 방식에서는 IS신호를 이용하기 때문에 트래픽 충돌이 사전에 방지되어 ρ 가 1인 근처에서 최대 처리율이 나타남을 알 수 있다. 또한 ISMA에서 중심축이 중앙에 위치하면 휴지신호의 전파지연시간이 작아지므로 트래픽이 적을때 다른 방식에 비해서 성능이 우수하나 트래픽이 많아질 경우 전파지연시간이 상대적으로 작은 휴지신호를 감지하면 무조건 P의 확률로 전송하기 때문에 상대적으로 충돌이 증가되어 P-Persistent CSMA방식보다 트래픽이 커짐에 따라 성능이 급격히 저하됨을 알 수 있다. 한편, CDMA 방식에서는 코딩분할 기법을 활용하여 동시 액세스가 가능하므로 숨지진 노드가 존재하더라도 성능저하가 거의 없음을 알 수 있다.

2. 전송채널에 잡음이 있을 때

위상 변조되어 전송되는 신호에 페이딩 잡음, 임펄스 잡음이 섞였을 때 여러 채널 액세스 프로토콜의 처리율 특성이 그림 12, 13에 나타나 있다.

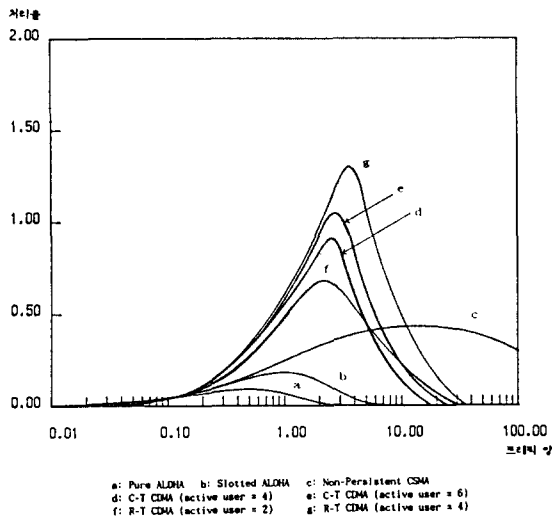


그림 12. 페이딩 잡음이 섞였을때 채널 액세스 프로토콜의 트래픽양에 대한 처리율 특성(SNR=0 dB)

Fig. 12. The throughput characteristics of the channel access protocol VS. traffic intensity in the case of the fading noise occurring. (SNR=0 dB)

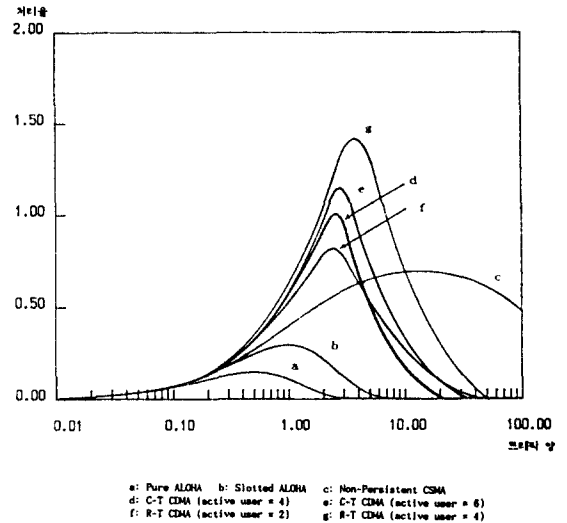


그림 13. 임펄스 잡음이 섞였을 때 채널 액세스 프로토콜의 트래픽양에 대한 처리율 특성(SNR=0 dB)

Fig. 13. The throughput characteristics of the channel access protocol VS. traffic intensity in the case of the fading noise occurring. (SNR=0 dB)

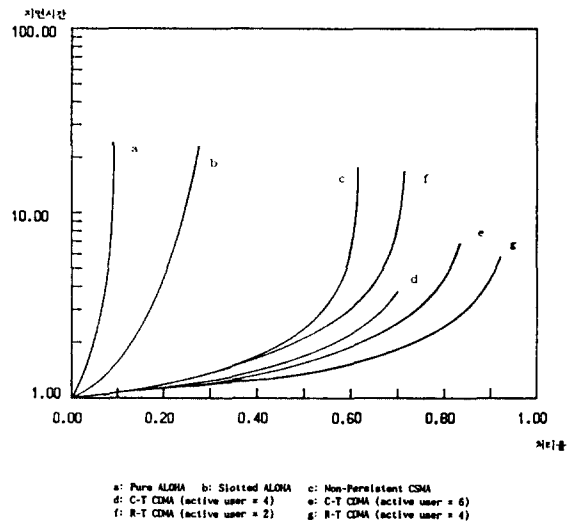


그림 14. 페이딩 잡음이 섞였을 때 채널 액세스 프로토콜의 트래픽양에 대한 지연시간(SNR=0 dB)

Fig. 14. The delay time VS. the throughput of the channel access protocol in the case of the fading noise occurring. (SNR=0 dB)

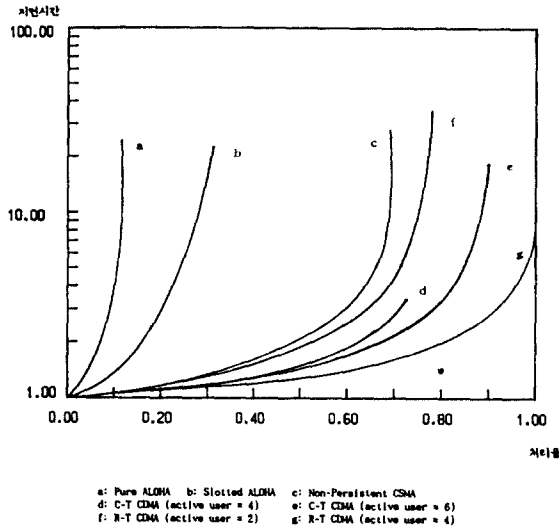


그림 15. 임펄스 잡음이 섞였을 때 채널 액세스 프로토콜의 트래픽양에 대한 지연시간(SNR=0 dB)

Fig. 15. The delay time VS. the throughput of the channel access protocol in the case of the impulsive noise occurring. (SNR=0 dB)

대부분의 채널 액세스 프로토콜에 있어서 잡음이 많을수록 오율이 증가하고 처리율이 저감하나 CDMA 방식은 상관성을 활용하기 때문에 비교적 견고함을 알 수 있다. 또한 같은 양의 잡음이 섞였을 때 임펄스성 잡음의 비스듬한 속성때문에 임펄스성 잡음이 섞였을 때가 페이딩 잡음이 섞였을 때 보다 채널 액세스 프로토콜의 오율 특성이 양호하고 처리율이 좋게 나타나고 있다. 한편, 여러 종류의 잡음이 섞여 있을 때 채널 액세스 프로토콜의 지연특성이 그림 14, 15에 잘 표시되어 있다.

여기서도 처리율 특성과 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 즉 대부분의 채널 액세스 프로토콜의 지연특성은 잡음이 많을수록 지연시간이 급증하나 CDMA 방식은 대역확산 기법을 사용하기 때문에 잡음의 영향을 덜 받고 있음을 알 수 있다. 이때도 같은 양의 잡음이 섞였을 때 임펄스성 잡음이 페이딩 잡음보다 채널 액세스 프로토콜의 지연특성의 성능에 영향을 덜 미치고 있다.

V. 결 론

이동체 컴퓨터 통신망을 구축할 경우, 활용할 수

있는 여러 다중 액세스 방식의 성능을 처리율과 지연 시간을 척도로 사용하여 분석하였다. CDMA 방식은 숨겨진 노드가 존재할 때 처리율과 지연 시간면에서 CSMA, BTMA, ISMA 등과 같은 패킷 액세스 방식에 비해 상대적으로 우월하였다. 또한 이동채널에는 페이딩 현상과 임펄스성 잡음이 존재하는데 CDMA 방식이 종전의 CSMA 방식보다 페이딩 현상에 대하여 작은 지연 시간을 나타낼 뿐 아니라 처리율도 좋은 것으로 나타났다. CDMA 방식중에서 분산망일 경우 CDMA의 특성을 최대한으로 이용한 수신자-전송자 코드분할 다중액세스(R-T CDMA) 방식이 공동-전송자 코드분할 다중액세스(C-T CDMA) 방식보다 우수한 처리율과 적은 지연시간을 나타내었다. 이외에 CDMA 방식은 종점간 전파지연의 영향이 적고 멀티 레벨로 전송할 수 있어서 음성, 데이터, 영상 등의 트래픽을 집적하여 송수신 하는데도 적합하다.

결과적으로 CDMA 방식은 구현하기가 매우 복잡하고 고가이며 각 사용자에게 고정된 코드를 지정하기 때문에 채널의 유연성이 떨어지지만 다른 방식에 비하여 성능이 매우 좋고 특히 페이딩이나 임펄스성 잡음에 강하기 때문에 채널특성이 좋지않은 무선 데이터 및 이동 데이터 통신에 적용할 경우에 매우 유리함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. N. Abramson, "The Aloha system," in Computer Communication networks, N. Abramson and F. Kuo, Eds. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hill, 1973.
2. 김종상, "데이터 통신 및 컴퓨터 통신," 회중당.
3. Fouad A. Tobagi, "Multiaccess Protocols in packet communication systems," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-28, No.4, April 1980.
4. E. Cook and S. Marsh, "An Introduction to spread spectrum," IEEE, Magazine, Vol. COM-22, No.3 march 1983.
5. D. Raychandhuri, "Performance Analysis of Random Access Packet-switched Code Division Multiple Access Systems," IEEE Trans. Commun. Vol. COM 29, No.6, June 1981.
6. Elvino S. Sousa and John A. Silvester,

- "Spreading Code Protocols for Distributed Spread-Spectrum Packet Radio Networks," IEEE Trans. Commun. Vol. COM-36, No.3, March 1988.
7. Mukumoto and Fukuda "Idle signal multiple access(ISMA) scheme for terrestrial packet radio network," 전자통신학회지, pp.1219-1223, Nov. 1985.
 8. 조성준, "이동체 통신에 미치는 제반 간섭잡음의 해석," 한국통신학회지, Vol.10, No.3, 1985.
 9. Sonia R. Sachs, "Alternative Local Area Network Multi-Access Protocols," IEEE magazine, Vol-26, No.3 March 1988.
 10. F. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels: Part I Carrier Sensed Multiaccess Mode and their Throughput-Delay characteristics," IEEE Trans. Commu. Vol. COM-23, No.12, pp.1400-1416, Dec. 1975.
 11. F. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels: Part II The hidden Terminal Problem in carrier sense Multi-Access and Busy-Tone Solution," IEEE Trans. Commun. Vol. Com-23, No.12, pp. 1417-1433, Dec. 1975.
 12. 이종락, "A Local Area Network Based on the Code Division Multiple Access Method," 한국 과학 기술원 박사학위 논문, 1985.6.
 13. S. Corson and A. Ephremides, "A distributed routing algorithm for mobile radio networks," 1989 IEEE Globecom, pp.11.2.1-11.2.4, 1989.
 14. R.F. Chang and V. O. K. Li, "Analysis of flow control in multihop packet radio networks," 1988 IEEE Globecom, pp.6.1.1-6.1.5, 1988
 15. T. Matsumoto and S. Yoshida, "Error control schemes in mobile radio communication," 전자 정보통신학회 논문지, vol. J73-A, No.2, pp. 232-236, 1990.2.
 16. T.C. Hou and V. O. K. Li, "Transmission range control in multihop packet radio networks," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-34, No.1, pp.38-44, No.1, 1986. Jan.
 17. 김호영, "이동 패킷 무선망을 위한 ISMA 프로토콜," 전자통신 제11권 2호 1987. 7

※이 연구는 89년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한
결과임(과제번호: 891-0801-002-2)

白 志 鉉 (Jee Hyun Paik) 정회원
1962년 10월 7일생
1988년 2월 : 원광대학교 전산학과
학사
1990년 8월 : 경희대학교 전자계산
학과 석사
1991년 2월 : 금성 정보통신연구소
무선그룹 VSAT 팀
연구원

李 英 雄 (Young Woong Lee) 정회원
1968년 1월 23일생
1989년 2월 : 원광대학교 전산학과
학사
1989년 3월 : 한국 전자엔지니어링
개발 연구원
1992년 2월 : 경희대학교 전자계산
학과 석사

1991년 12월 ~ 현재 : 군입대



趙 東 浩 (Dong Ho Cho) 정회원
1956년 4월 3일생
1979년 2월 : 서울대학교 공과대학
전자공학과 학사
1981년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 석사
1985년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 박사

1985년 3월 ~ 1987년 2월 : 한국과학기술원 통신공학연구실
선임연구원

1987년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자계산공학과 부교수

1989년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자계산소장