

무선 데이터통신 시스템을 위한 다원접속 기술

盧俊喆, 金東仁
서울市立大學校 電子工學科

I. 머리말

무선 데이터통신 시스템의 동작과 성능은 사용하는 신호방식 즉, 협대역 또는 대역확산 신호방식에 따라 크게 달라진다. 또한 이 두 신호방식은 서로 다른 캡처(capture)효과를 보이므로 전송된 패킷을 올바로 수신할 수 있는 조건이 달라지게 된다. 무선 데이터 통신 시스템의 동작 및 성능을 결정하는 또 다른 요인은 채널접속 프로토콜(channel access protocol)의 선택이다. 우리는 신호방식에 따라 달라지는 캡처 현상과 채널접속 프로토콜에 관하여 협대역과 광대역으로 나누어 설명한다. 협대역 다원접속에 대해서는 여러 문헌에 많은 연구 결과가 있기 때문에 간략히 요약하여 기술하기로 하고, 본 고에서는 비교적 관련 연구가 적은 대역확산 다원접속 프로토콜에 중점을 두기로 한다.

II. 협대역 다원접속 방식

일반적으로 협대역 시스템에서는 데이터 비트를 직접 반송파에 실기 때문에, 특정 수신기를 목적지(destination)로 하는 둘 이상의 패킷신호가 비슷한 전력으로 시간영역에서 중첩되어 전송되면 수신된 패킷에 많은 오류 비트가 발생하게 되고, 따라서 수신기는 어떤 패킷도 제대로 수신하지 못한다. 우리는 이러한 사건을 패킷충돌 또는 충돌(collision)이라 한다. 만약 동시에 전송된 패킷들 중 한 패킷이 나머지와 다른 패킷들에 비해 큰 전력을 갖는다면, 전력캡처

(power capture)^[1]의 형태로 큰 전력을 갖는 패킷이 성공적으로 수신될 수 있다. 모든 링크가 동일하고 고정된 토폴로지(fixed topology)의 네트워크를 고려하여 영-캡처(zero-capture) 모드를 가정하는 것이 일반적이다. FDMA(frequency division multiple access)나 TDMA(time division multiple access)와 같은 고정할당 방식(fixed assignment techniques)으로 충돌을 피할 수 있으나, 일반적으로 터미널의 트래픽이 bursty한 특성을 갖는 데이터 통신 시스템에서는 채널의 효율이 상당히 감소된다. 트래픽의 요구에 맞추어 시간슬롯을 동적으로 할당하는 방식을 사용하여 높은 채널효율을 얻을 수 있으나, 이에 따른 반대 급부로 다소 복잡한 scheduling 알고리즘이 필요하게 된다.^[2] 본 장에서는 데이터 통신망의 트래픽 특성에 적합한 다원접속 방식으로 임의접속(random-access) 방식을 먼저 소개하고, 다음으로 데이터 패킷뿐 아니라 여러 정보원을 함께 처리할 수 있는 다원접속 기술을 소개한다.

A. 임의접속 : ALOHA 방식과 Carrier

Sensing 방식

임의접속 방식^[2]으로 여러 사용자들이 한 무선채널을 공유하는 경우 패킷의 전송여부는 전적으로 각각 독립적으로 동작하는 각 터미널에 달려있다. 그러므로 불가피하게 패킷간의 충돌이 발생하게 된다. 충돌이 발생하면 임의의 시간지연 후 그 패킷을 다시 전송한다(retransmission).

임의접속 프로토콜은 크게 ALOHA 형태와 carrier sense 형태의 두 가지로 나눌 수 있다. 전자의 경우에 각 터미널은 네트워크의 활동상태에 관한 정보가 필요치 않으며, 다른 터미널의 상태에 관계없이 패킷을 전송한다. ALOHA 방식^[3]의 이해를 돕기

위해 그림 1에 slotted ALOHA 프로토콜에서 각 터미널의 행동 흐름도를 보인다. 반면 carrier sense 형태에서는 각 터미널은 시스템의 전송활동에 관한 정보를 얻어내고 이를 패킷의 전송여부의 결정에 사용한다.

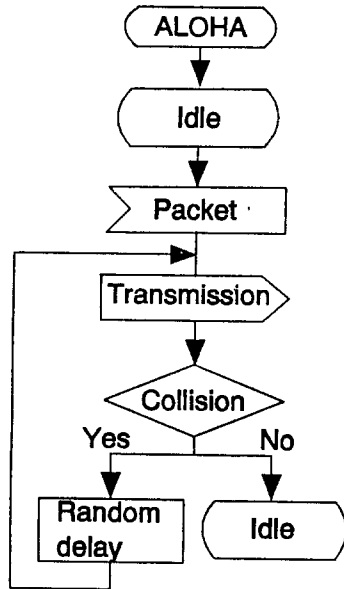


그림 1. Slotted ALOHA에서 각 터미널의 행동 흐름도^[4]

실제적인 측면에서 이런 정보는 반송파(carrier)를 감지(sense)함으로써 얻어지는 이웃한 터미널들의 전송상태에 관한 정보이다. 어떤 반송파도 감지되지 않을 때만 전송하는 CSMA(carrier sense multiple-access)^[6]가 그 한 예이다. CSMA는 반송파가 감지되는 경우에 패킷을 재전송하는 방법에 따라 non-persistent CSMA, 1-persistent CSMA 및 p -persistent CSMA로 나뉜다. 그림 2에 세 방식 중에서 p -persistent CSMA 방식을 사용하는 각 터미널의 행동 흐름도를 보인다.

일반적으로 ALOHA 방식에 비해 CSMA가 높은 채널효율을 보이지만 항상 그러한 것은 아니며, 네트워크의 토폴로지와 트래픽에 크게 좌우된다. 전파 지연(propagation delay)이 전송시간에 비해 상당히 적고 fully connected 네트워크(모든 터미널의 전송 정보를 알 수 있다)에서는 CSMA가 ALOHA보다 월등히 우수하다. 그러나 multihop 토폴로지에서는

잠복터미널(hidden terminal)^[6]들이 존재하게 되는데, 이러한 잠복터미널들은 CSMA의 성능을 저하시킨다. 즉, 근원지(source) S 에서 목적지(destination) D 로의 패킷이 발생했을 때, 터미널 D 의 이웃이지만 터미널 S 의 이웃은 아닌 터미널을 그 패킷의 잠복터미널이라 하고, 이러한 잠복터미널이 패킷 전송시간 사이에 터미널 D 에 패킷을 전송하면 패킷충돌이 발생한다. 따라서 fully connected 토폴로지에서는 존재하지 않는 충돌이 발생하게 되어 채널의 효율을 감소시킨다. CSMA를 구현하는 데는 특별한 하드웨어가 필요하며, 높은 효율을 유지하기 위해서 수신모드에서 전송모드로 빠르게 전환할 수 있는 능력을 각 터미널에 부여해야 한다.

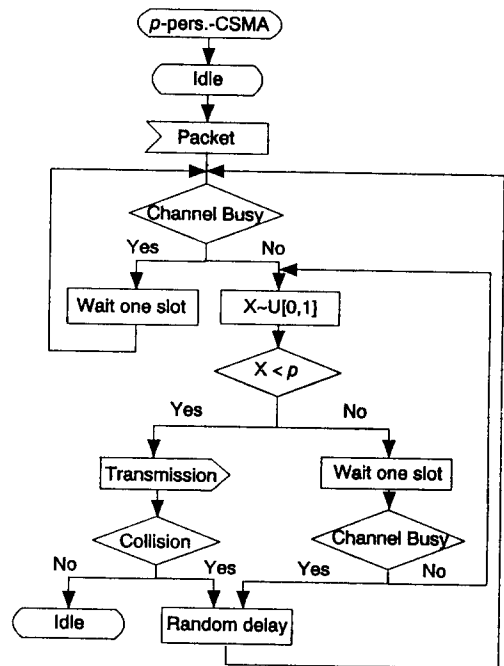


그림 2. p -persistent CSMA에서 각 터미널의 행동 흐름도^[4]

수신상태에 있는 터미널이 별도의 채널을 통해 패킷을 수신하고 있는 중이라는 것을 나타내는 busy-tone^[6]을 발생시킴으로써 잠복터미널에 의한 패킷충돌 문제를 덜 수 있다. 이러한 busy-tone을 위한 채널은 데이터전송과 무관한 부수적인 대역폭과 하드웨어를 필요로 하여 터미널의 원가를 증가시킨다. 그리

고 어떤 조건에서 어떤 터미널이 busy-tone을 전송해야 하는지, busy-tone 방식으로 인해 blocking되어 전송을 못하게 되는 터미널의 발생 확률은 어느 정도인지 등 여러가지 문제가 수반된다.

CSMA에서 채널의 효율을 개선하기 위한 또 다른 방법으로 충돌을 감지(detect)하면 곧바로 전송을 중단하는 CSMA/CD(collision detection)^[2] 방식이 있다. 즉, 두 터미널이 채널을 휴지상태로 감지(sense)하고 동시에 전송을 시작한 경우에 두 터미널은 거의 즉각 충돌을 감지하게 된다. 패킷전송이 모두 끝날 때까지 채널을 낭비하지 않고 충돌이 감지되면 곧바로 전송을 중단한다. 손상된 패킷을 재빠르게 전송중단함으로써 시간과 대역을 절약할 수 있다. 이 CSMA/CD는 유선 LAN에 널리 사용되는 MAC(media access control) 프로토콜이며, 이를 조금 변형한 IEEE 802.3는 국제표준으로 채택되었다. 그러나, 무선채널에서는 충돌을 감지하는 것이 용이하지 않기 때문에 무선 LAN에 적용하기는 어렵다.^[2]

B. PRMA (Packet Reservation Multiple Access)

차세대 무선통신 시스템은 데이터, 음성 등 다양한 종류의 정보원을 처리할 수 있어야 할 것이다. 여러 정보원을 다원접속할 수 있는 방식으로 PRMA(packet reservation multiple access)^{[7], [8]}를 들 수 있겠다. PRMA는 음성패킷을 위해 reservation-ALOHA^[9]를 변형한 형태라 할 수 있다. 음성패킷의 경우 지나친 지연시간이 허용되지 않으므로 일정시간이 경과된 음성패킷은 전송을 포기한다(packet dropping). 이 PRMA(넓게는 reservation-ALOHA)는 slotted ALOHA와 TDMA를 절충한 다원접속 방식이다. Slotted ALOHA에서와 같이 전송할 새로운 메시지가 발생한 터미널은 경쟁모드로 채널을 접속한다. 연속적으로 패킷을 발생시키는 터미널은 한번 채널접속에 성공하고 나면 전송이 종료될 때까지 시간슬롯을 예약(reservation)받게 되어 계속되는 패킷을 충돌없이 전송할 수 있다. 따라서, 시간슬롯을 예약받은 터미널은 마치 TDMA처럼 채널을 공유한다.

PRMA를 좀더 자세히 설명하기로 한다. PRMA의 프레임 구조는 그림 3과 같다. TDMA처럼 M개의 슬롯으로 이루어진 프레임으로 구성된다. 매 슬롯의 끝에서 기지국으로부터 수신된 승인(acknowledgment) 메시지에 의해 각 슬롯은 “예약(reserved)” 또는 “가용(available)”으로 인식된다.

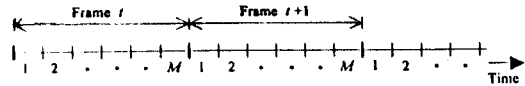


그림 3. PRMA의 프레임 구조

터미널은 전송할 메시지가 발생하면 “가용”슬롯을 접속하기 위해 ALOHA 프로토콜을 사용한다. ALOHA를 통해 충돌없이 첫 패킷을 전송하고 나면 TDMA처럼 매 프레임의 슬롯을 예약받게 된다. 메시지전송이 종료되면 예약된 슬롯에서 패킷을 전송하지 않음으로써 예약을 해제한다. 메시지는 항등 정보패킷(periodic information packets)과 불규칙 정보패킷(random information packets)으로 구분된다. 패킷의 구분을 위해 패킷헤더의 한 비트를 할당한다. 음성정보는 항상 “항등”으로 처리되고, 파일전송과 같은 전송시간이 긴 데이터 정보도 역시 “항등”으로 처리된다. 그 외의 터미널의 키보드 명령이나 신호 메시지 또는 시스템 제어정보 등 데이터패킷은 “불규칙”으로 분류된다. 이러한 PRMA는 데이터뿐 아니라 여러 유형의 정보원이 한 채널을 공유할 수 있는 다원접속 방식으로 연구가 한창 진행 중이다.

Ⅲ. 광대역 다원접속 방식

대역확산(spread-spectrum) 신호방식^{[10], [11]}은 다경로 효과(multipath effect), 방해신호(jamming) 및 사용자간 간섭(multiuser interference)에 강한 잇점을 지니고 있다. 사용자간 간섭에 대한 잇점은 대역확산 신호방식의 “부호분할(code-division)”과 “지연캡처(delay capture)” 특성에 기인한다. 부호분할이란 서로 직교한 부호(code)로 변조되어 전송된 패킷들은 시간영역에서 중첩되더라도 서로 영향을 주지 않거나 거의 영향을 주지 않는 것을 의미한다. 부호분할 특성에서 패킷신호간의 분별은 주로 시스템에서 사용하는 확산시퀀스(spreading sequence) 집합의 속성에 기초한다. 지연캡처^[12]란 한 휴지상태의 수신기가 동일한 부호로 변조되었지만 시간영역에서 시간차를 갖고 중첩된 다수의 패킷 중에서 적어도 한 패킷을 성공적으로 수신할 수 있는 수신기의 능력을 일컫는다. 지연캡처 특성을 얻기 위해 수신기는 통상

제일 먼저 도착한 패킷에 동기를 맞추어 그 패킷을 수신하고, 이후의 중첩되는 패킷은 잡음으로 간주한다. 이렇게 여러 신호들 가운데 어느 한 신호를 수신하는 경우를 단일캡처라 하고, 반면에 수신가능한 모든 신호들을 복조하는 경우를 다중캡처^[13]라 한다.

협대역 방식의 다원접속 문제는 접속방식(예 : ALOHA, CSMA)을 채널 및 시스템 사양에 맞게 적절히 선택하는 것이다. 그러나, 대역확산 다원접속 방식은 채널접속 방식 뿐 아니라 '확산부호를 어떻게 각 사용자에게 분배하고, 전송할 패킷을 어떤 확산부호로 변조할 것인가'라는 확산부호 할당(spreading code assignment) 방식에 따라 서로 다른 특징을 보인다. 확산부호는 송신기에 따라, 목적지는 수신기에 따라, 전송시각에 따라, 메시지의 우선순위 등 여러 요소에 따라 선택될 수 있다. 확산부호 할당방식에 따라 서로 다른 캡처(capture)효과를 보이게 되므로 전송된 패킷을 올바르게 수신할 수 있는 조건이 달라지며, 따라서 시스템의 복잡도 역시 달라지게 된다. 앞으로 언급이 없는 한 채널접속 방식으로 ALOHA 프로토콜을 사용하는 경우에 한정하여 확산부호 할당방식에 관하여 설명한다.

A. 기본 확산부호 할당방식

패킷은 일반적으로 프리앰블(preamble)과 데이터 부분으로 구성된다. 본 절에서는 프리앰블과 데이터 부분을 동일한 확산부호로 변조하는 확산부호 할당방식들을 소개한다. 이러한 확산부호 할당방식으로는 다음의 세 방식을 들 수 있겠다.^{[14], [15], [16]}

첫째로, 단일 확산부호 방식^{[14], [17]}에서 시스템에 있는 모든 터미널들은 신호변조에 단일 확산부호를 사용하며, 이로 인해 원하는 신호와 타 간섭신호 사이에 높은 자기상관이 존재하게 된다. 이러한 상황에서 수신기는 단일 확산부호를 사용하여 충돌이 일어나지 않은 임의의 시간차(time-offset)를 갖는 모든 패킷 신호들을 차별화하여 수신한다. 이것은 시간적으로 중첩된 여러 패킷신호들 가운데 적어도 한 개의 원하는 신호를 캡처하는 수신기의 능력에 해당한다. 만약에 모든 인접한 패킷신호들간에 충돌이 일어난다면 수신된 모든 패킷들은 파괴되며, 이 경우 협대역 ALOHA 방식과 동일해진다. 한편 패킷신호를 적절히 식별(identify)하기 위해서는 패킷의 앞부분에 주소(address) 정보를 삽입해야 한다. 이 방식의 장점은 전송 또는 수신상태 모드에서 패킷신호 변복조에 사용하게 될 확산부호의 선택에 따른 부담을 덜 수

있다는데 있으며, 또한 이 방식은 구현이 용이하고 모든 인접 터미널들에 메시지를 방송하는 데 적합하다. 그러나 heavy traffic 의 조건하에서 패킷신호의 캡처확률이 다음에 기술되는 두 방식에 비해 가장 떨어지는 단점을 갖고 있다.

둘째로, 수신기별(receiver-based) 부호 방식에서 각 터미널은 신호복조를 위해 고유한 확산부호를 분배받는다. 따라서, 패킷을 전송하고자 하는 터미널은 신호변조시 수신영역내에 있는 수신기들의 고유한 확산부호 집합에서 목적지 수신기의 확산부호를 선택한다. 이 방식은 특히 multihop 패킷라디오 네트워크에서 목적지 수신기의 확산부호를 주소로 효과적으로 이용할 수 있는 전략을 송신기에게 제공한다. 한편, 다른 수신기에 목적지를 둔 패킷신호들은 목적지 수신기의 확산부호와 상이한 확산부호들을 사용하므로 낮은 상호상관 특성을 보이며, 이로 인해 광대역 다원접속간섭^[1](MAI, multiple-access interference)으로 간주된다. 따라서, 이러한 패킷신호들은 목적지 수신기에서 원하는 패킷신호와 시간적으로 중첩되어 도착하는 경우에도 충돌을 유발하지 않으며 단일 확산부호 방식에 비해 우수한 캡처특성을 갖는다. 그러나, 두개 이상의 패킷신호들이 동시에 동일한 수신기에 목적지를 둔 경우에는 이러한 패킷신호들 사이에 충돌의 가능성이 존재한다. 또한, 메시지를 인접 터미널들에 방송하는 경우에 각 패킷전송마다 고유한 확산부호를 사용해야 하기 때문에 다른 두 방식에 비해 비효율적이다. 만약 이 방식이 단일 중앙수신기를 갖는 중앙집중 패킷라디오 네트워크에서 사용되는 경우 이전의 단일 확산부호 방식과 동일한 확산부호 할당방식이 된다.

셋째로, 송신기별(transmitter-based) 부호 방식에서 각 터미널은 신호변조를 위해 고유한 확산부호를 선택한다. 따라서, 서로 다른 터미널들에서 전송된 패킷신호들은 상이한 부호채널에 존재하며 상호간에 충돌하지 않는다. 만약 AWGN(additive white Gaussian noise)의 영향이 무시될 수 있다면 패킷 오류는 단지 다원접속간섭에 의해 유발된다. 수신기

1) 본 고에서 "다원접속간섭"이란 상이한 확산부호로 전송된 신호 및 동일부호의 경우 동기가 맞지 않은 상태로 수신된 타 사용자 신호로 인한 간섭을 의미하는 것으로, 비슷한 시간에 동일 확산부호로 전송된 패킷에 의해 발생하는 "충돌"은 별도로 분류한다.

에서의 처리이득이 충분히 커서 이 간섭의 영향이 무시된다면 이 방식은 완전한 캡처능력을 제공한다. 여기서 완전한 캡처는 수신기에서 동기가 이루어진 후에 패킷신호가 성공적으로 수신될 수 있음을 의미한다. 이 방식은 메시지를 모든 인접 터미널들에 방송하는 경우에 각 수신기는 단지 한 개 또는 몇 개의 부호채널의 활동을 관찰하는 것이 요구되므로 방송모드에서의 사용에 적합하다. 이 방식의 단점은 수신기가 패킷신호 전송시에 사용된 확산부호에 관한 정보를 갖고 있지 않기 때문에 수신영역내에 있는 송신기들의 고유한 확산부호 집합에서 주어진 패킷신호를 복조하는 데 적절한 역확산(despreading) 부호를 선택해야 하는 부담이 따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 수신기가 복잡해지는 단점이 있지만 노드 사이에 paired-off 연결을 시도하거나 또는 특정 시간슬롯에서 사용할 역확산부호의 선택을 용이하게 해주는 예약 채널접속 방식을 고려해 볼 수 있다.

B. 단일부호-송신기 프로토콜과 수신기-송신기 프로토콜

프리앰블과 데이터부분을 서로 다른 부호로 변조하는 혼합(hybrid) 전송방식^[14]에서는 데이터부분에 근원지 터미널의 송신기별 부호를 사용함으로써 프리앰블 부호와 다른 별개의 부호채널을 데이터부분에 할당한다. 이러한 혼합방식에 의해 패킷의 대부분을 차지하는 데이터부분에서는 전송중인 다른 패킷과 충돌의 가능성이 없어지게 되고, 따라서 충돌의 가능성은 프리앰블에서만 존재하게 된다. 즉, AWGN과 다른 부호채널에 의한 다원접속간섭의 영향이 무시될 수 있을 때, 프리앰블에서 충돌이 발생하면 해당되는 모든 패킷은 파괴되고, 반면 프리앰블이 성공적으로 수신되면 패킷의 나머지부분 역시 제대로 수신된다. 이러한 이유로 다음에 소개할 혼합 전송방식인 단일부호-송신기 프로토콜과 수신기-송신기 프로토콜은 이미 앞에서 소개한 단일 확산부호 방식과 수신기별 부호 방식에 비해 각각 높은 채널효율을 보인다.

먼저 프리앰블에 단일부호를 사용하고 데이터부분에 송신기별 부호를 사용하는 단일부호-송신기 프로토콜(C-T, common-transmitter-based protocol)을 소개한다. 이 방식에서 자기상관 특성 및 다른 확산부호들과의 상호상관 특성이 우수한 단일부호를 프리앰블 전송을 위하여 시스템의 모든 터미널들이 공유한다. 휴지상태에 있는 모든 수신기들은 이 프리앰블 부호를 계속해서 관찰한다. 패킷을 수신하기 위해

서 수신기는 프리앰블을 먼저 제대로 수신하여야 한다. 프리앰블을 제대로 수신하지 못하는 것은 주어들 이상의 프리앰블들이 시간영역에서 중첩되기 때문에 발생한다. 이것은 또한 전송되고 있는 여러 데이터부분에 의한 다원접속간섭에 기인할 수도 있으나, 이러한 다원접속간섭은 수신기에 마치 배경잡음같이 작용하므로 유효(effective)신호대 잡음비를 감소시키지만 동일부호로 변조된 패킷이 중첩되게 되어 발생하는 충돌과 같은 치명적인 영향은 주지 않는다.

수신기-송신기 프로토콜(R-T, receiver-transmitter-based protocol)은 중첩되는 프리앰블로 인한 패킷오류를 프리앰블에 수신기별 부호를 사용하여 줄일 수 있다. 이 부호 할당방식에서 시스템의 각 터미널에 수신기별 부호와 송신기별 부호를 부여한다. 근원지 송신기는 프리앰블 전송시 목적지 수신기에 할당된 부호신호를 사용하고, 나머지 데이터부분에는 자신의 송신기별 부호를 사용한다. 결과적으로 목적지 수신기는 자기에게 보내지는 패킷의 프리앰블만을 처리하면 되고, 프리앰블 수신시에 동시에 전송중인 다른 데이터부분들은 물론 다른 수신기를 목적으로 둔 패킷의 프리앰블 역시 상이한 부호채널에 존재하여 다원접속간섭으로 간주된다. 그러므로, 다원접속간섭의 영향이 무시될 만큼 처리이득이 큰 경우 R-T는 C-T보다 높은 채널효율을 보인다.

E. S. Sousa는 minislotted ($T_{preamble} = T_{slot}$) 분산망 single-hop 시스템에서 C-T와 R-T의 처리율(throughput)을 분석하였다.^[14] R-T는 C-T에 비하여 프리앰블에서의 충돌가능성을 줄여주기 때문에 채널의 효율을 증가시킨다. 이러한 R-T의 성능이득은 각 터미널에 C-T의 경우보다 하나 더 많은 확산부호(수신기별 부호)를 부여하고, 각 터미널은 패킷의 목적지 수신기의 수신기별 부호에 대한 정보를 알고 있어야 하고 또한 발생시킬 수 있어야 하는 시스템의 부담을 동반한다. 혼합 전송방식에서는 패킷전송에 사용되는 확산부호가 스위칭되기 때문에, 각 수신기는 프리앰블에서 수신한 근원지 송신기의 주소정보를 이용하여 역확산부호를 신속하게 변환시킬 수 있어야 한다. 혼합 전송방식에서 목적지 수신기가 데이터부분을 수신할 때 필요한 역확산부호(근원지 터미널의 송신기별 부호)의 선택을 용이하게 하기위해 일반적으로 패킷의 프리앰블은 목적지와 근원지 터미널의 주소정보를 담고 있다. 그림 4에 C-T와 R-T의 패킷 구조와 목적지 수신기에서의 역확산부호의 변환동작

을 보인다.

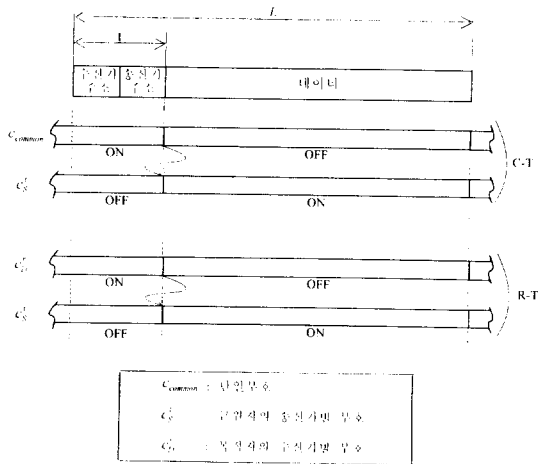


그림 4. C-T와 R-T의 패킷의 구조와 수신기의 동작^[13]

C. 임의할당-송신기 프로토콜

중앙집중망에서는 모든 패킷의 목적지가 중앙수신기로 동일하므로 R-T는 C-T와 같은 프로토콜이 된다. 시스템에서 터미널의 수 K 보다 훨씬 적은 수, 즉, N 개의 상이한 확산부호를 프리앰블 변조에 사용하는 임의할당-송신기 프로토콜(RA-T, random assignment-transmitter-based protocol)^[18]을 소개한다. '임의할당'이란 프리앰블 변조를 위한 N 개 확산부호 중 임의로 한 확산부호를 선택하여 프리앰블을 전송하는 것을 의미한다. (참고문헌 [19] 참조).

RA-T에서는 모든 터미널이 프리앰블 전송에 사용할 N 개의 프리앰블 부호 $\{c_{ra}^i\}_{N_i}$ 를 공유하고 각 터미널에게 데이터부분 전송에 사용할 송신기별 부호 c_t^i (i 번째 터미널의 송신기별 부호)를 부여한다. 중앙수신기는 $\{c_{ra}^i\}_{N_i}$ (c_t^i) $_{N_i}$ 에 관한 정보를 갖고 있다. 이때 i 번째 터미널이 중앙수신기에 패킷을 전송하는 절차를 통해 RA-T의 동작을 보인다.

1. 중앙수신기는 N 개의 프리앰블 부호 $\{c_{ra}^i\}_{N_i}$ 를 동시에 관찰한다.
2. i 번째 터미널은 같은 확률로 프리앰블 부호집합 $\{c_{ra}^i\}_{N_i}$ 에서 임의로 한 확산부호를 선택하여 프리앰블을 전송하고, 이어서 데이터부분을 c_t^i 을 통해 전송한다.
3. 중앙수신기는 프리앰블 부호들을 관찰하여 전송된 패킷의 송신기 주소를 확인한 후, 이 송신기 주소를 이용하여 i 번째 터미널의 송신기별 확산부호 c_t^i 를 선택하고 데이터부분을 복조한다.

RA-T의 구체적인 예로서 그림 5에 프리앰블 부호의 수 $N=2$ 일 때 중앙수신기의 동작을 설명하고 있다. 수직방향의 화살표들은 각각에 해당되는 프리앰블 부호채널을 접속하여 전송하고자 하는 패킷의 발생시간을 나타낸다. 패킷이 발생하면 다음 슬롯의 시작점부터 전송을 시작한다 (전파지연은 무시된다). 프리앰블에서 발생하는 충돌에 ALOHA 가정을 적용하면, 중앙수신기는 특정 프리앰블 부호채널을 접속하여 프리앰블을 전송하는 터미널의 수가 하나일 때 데이터부분 수신을 위한 programmable 상관기를 통하여 나머지 데이터부분을 수신할 수 있다 ($a, b,$

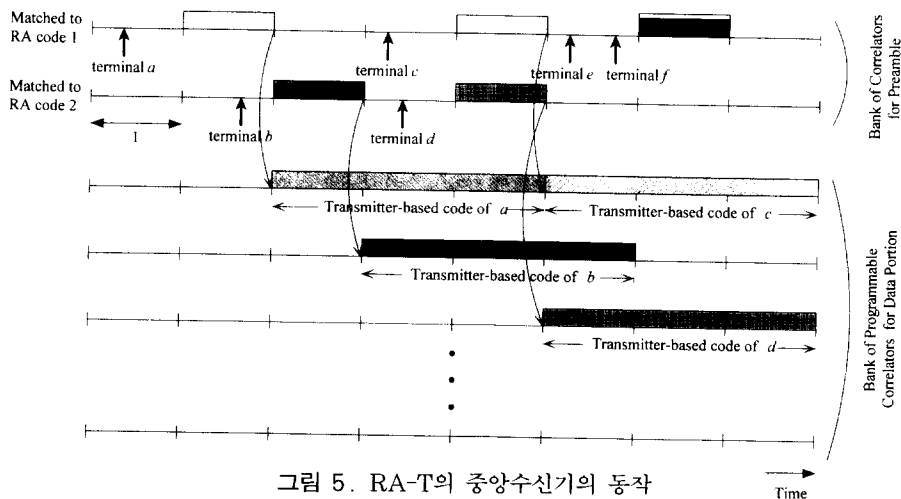


그림 5. RA-T의 중앙수신기의 동작

c, d 터미널의 경우). 반면에, 한 프리앰블 부호채널을 통해 프리앰블을 전송하는 터미널의 수가 둘 이상일 때 패킷은 계속 전송되고 있으나, 중앙수신기는 이를 수신하지 못한다 (e, f 터미널의 경우).

성능분석에서 얻어진 결과는 처리율 및 지연시간이 프리앰블 부호의 수가 증가함에 따라 점차 적은 쪽으로 개선되므로 지나치게 많은 프리앰블 부호는 시스템을 복잡하게 할뿐 큰 성능 향상을 기대할 수 없다는 사실이다. 따라서, 시스템의 복잡도를 적당히 유지하면서도 시스템의 처리율 및 지연시간을 향상시키기 위해서는 프리앰블 부호의 수를 2~3개 정도를 선택하여 패킷간의 충돌가능성을 줄여 전체적으로 시스템의 성능을 개선해야 한다. 이러한 처리율의 포화현상은 [19]의 결과에서도 관찰할 수 있다.

혼합 전송방식(C-T, R-T, RA-T)은 프리앰블에서 충돌이 발생할 경우 수신기는 데이터부분을 수신하지 못하게 되지만 패킷은 계속 전송되기 때문에 다른 수신기에 다원접속간섭을 증가시킨다. 따라서, 실제 구현시에서 이러한 불필요한 다원접속간섭을 없애기 위해서 매 슬롯의 끝에서 프리앰블 수신 성공여부를 나타내는 승인을 전송하는 방식을 사용할 수 있겠다. 즉, 목적지 터미널은 프리앰블 수신을 충돌없이 마치고 나면 곧바로 귀환(feedback)채널을 통하여 승인을 전송한다. 이러한 즉각적인 귀환정보는 불필요한 다원접속간섭을 감소시켜 실질적으로 채널의 효율을 향상시켜 준다.

D. 도착시간 제어 임의접속 (Random-Access with Controlled Time of Arrival)

대역확산 신호를 사용하는 시스템은 수신기에 정합 필터를 사용하여 높은 해상도(time resolution)를 갖는 신호를 얻을 수 있다. 무선채널의 특성을 측정할 때 대역확산 신호를 사용하는 것은 이의 한 응용 예이다. 고해상도를 이용한 또다른 응용예로는 다경로 다이버시티(multipath diversity) 수신기를 들 수 있다. 본 절에서는 이러한 대역확산 신호의 특성을 이용하는 시스템의 다원접속 방식을 소개한다.

실내 무선환경이나 반경이 작은 무선 데이터통신 시스템에서는 전파지연이 짧고, 또한 delay spread가 작은(수 칩 내지는 수십 칩정도) 특성을 보인다. 그리고, 이러한 무선채널에서는 패킷의 도착시간을 수 칩(chip)정도의 정밀도로 제어할 수 있을 것이다. 우리는 이와같이 전파지연과 delay spread가 작고, 전송시간을 칩단위로 조절하여 도착시간을 제어할 수

있는 시스템을 가정한다. 그림 6은 패킷의 전송시간 조절을 설명하고 있다.

편의상 슬롯의 시작시간을 0으로 하였고, T는, 대역 확산 신호의 주기를 나타낸다. [0, T) 구간 내에 전송가능한 N_w 개의 시간 $\{t_i\}_{N_w}$ 을 형성한다. 여기서,

이고, 두 인접한 전송 가능시간사이 $T_w (= t_{i+1} - t_i = \frac{T}{N_w})$ 가 최대 전파지연 $T_{pd,max}$ 과 총 다경로 지연 (total multipath delay) T_m 을 합한 시간 $\delta (= T_{pd,max} + T_m)$ 보다 크게 N_w 를 설정한다 ($T_w > \delta$ 조건). 본 절에서 소개하는 임의접속 방식은 각 터미널에서 패킷이 발생하면 N_w 개의 전송 가능시간 $\{t_i\}_{N_w}$ 중에서 임의로 한 시간을 선택하여 전송을 시작하는 변형된 slotted 방식이다.

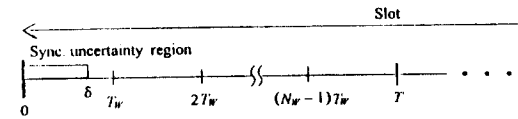


그림 6. 도착시간 제어 임의접속 방식의 전송 가능 시간 및 동기 불확정구간

위의 $T_w > \delta$ 조건이 만족하는 경우 t_i 에 전송을 시작한 패킷신호는 다경로채널을 통과하여 구간 $[t_i, t_i + \delta]$ 내에 수신기에 도착할 것이다. 따라서, 이 패킷의 대략적인 동기 불확정구간 (uncertainty region)도 역시 $[t_i, t_i + \delta]$ 로 주어진다. 수신기는 각 동기 불확정구간을 검색하여 동기를 맞출 수 있도록 동기를 위한 N_w 개의 모듈(modules)을 필요로 한다. $T_w > \delta$ 조건이 만족되는 경우 한 동기모듈의 수신신호는 다른 모듈의 수신신호에 영향을 받지 않는다. 수신기는 각 동기모듈에서 패킷의 동기를 얻고 이어서 패킷의 데이터를 복조한다. δ 가 작은 환경에서는 대역확산 신호의 주기 T를 비트시간 T_b 로 설정할 수 있고, 또한 주기 T가 T_b 의 수배가 되는 M진(M-ary) 대역확산 신호를 사용하여 δ 가 큰 환경에도 이 임의접속 방식을 적용할 수 있겠다. 우리는 이와같은 도착시간 제어를 통한 임의접속 방식에 앞 절

2) $T_m \approx 2 \times (\text{maximum rms delay spread})$ 으 로 대부분의 다경로신호 성분이 이 영역에 들어옴.

에서 소개한 여러 확산부호 할당 방식(단일부호, 수신기별, C-T, R-T, RA-T 등)을 고려할 수 있다.

도착시간 제어를 통한 임의접속 방식에서 시스템의 처리율을 분석하는 경우, 우리는 N_w 개의 시간간격에 ALOHA 가정을 적용하여 동일한 확산부호로 변조되고 같은 전송시간에 둘 이상의 패킷이 전송된 경우를 충돌사건(collision event)으로 가정할 수 있다. 이 가정은 두 패킷신호가 동일한 부호채널에 존재하더라도 전송시간이 다를 경우, 수신기에 따라 두 패킷 모두 또는 적어도 그중 한 패킷을 수신할 수 있다는 것을 의미한다.

IV. 광대역 다원접속의 상호비교

표 1에서 중앙집중 대역확산 시스템에 적용 가능한 혼합 전송방식(C-T, RA-T, C-T를 사용한 도착시간 제어 임의접속)을 사용하는 다원접속 방식간의 상호비교를 위해 시스템에서 필요한 확산부호의 수, 시스템의 복잡도, 패킷의 충돌가능성 등의 측면에서 각 방식을 간략히 요약하였다.

표 1. 중앙집중 광대역 다원접속 방식들의 상호비교

| 다원접속 방식 | | 단일부호-송신기 프로토콜 (C-T) | 임의할당-송신기 프로토콜 (RA-T) | 도착시간 제어 임의접속 (C-T사용의 경우) |
|-------------------|--------|----------------------|------------------------------|---|
| 패킷 전송 방식 | 프리얼로 | 단일부호 | 임의할당 부호 | 단일부호 |
| | 비이다 부호 | 송신기별 부호 | 송신기별 부호 | 송신기별 부호 |
| 시스템에서 필요한 확산부호의 수 | | $1 + K$ | $N + K (1 < N \ll K)$ | $1 + K$ |
| 패킷의 충돌가능성 | | - 프리얼로에서의 충돌 가능성이 높음 | - 프리얼로에서의 충돌 가능성이 C-T에 비해 적음 | - 프리얼로에서의 충돌가능성이 C-T에 비해 적음 - N_w 가 증가할수록 감소 |
| 시스템의 복잡도 및 단점 | | - 다른 방식에 비해 복잡함 | - 임의할당 부호 전파에 따른 송신기의 부양 증가 | - 송신수신기에 N_w 개의 동기모듈 필요 - 적은 시스템의 제한 |

주 : K는 시스템의 터미널 수.

주 : K는 시스템의 터미널 수

V. 요약 및 맺음말

본 고에서는 신호방식에 따라 협대역과 광대역으로 나누어 무선 데이터통신 시스템의 다원접속 방식에 대하여 간략하게 기술하였다. 시스템의 트래픽 특성

을 고려할 때 제한된 통신자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 데이터통신 시스템의 다원접속은 임의접속 방식이 되어야 할 것이다. 임의접속 방식으로 널리 알려진 ALOHA와 carrier sensing 방식 및 이의 변형된 형태들을 요약하여 설명하였고, 여러 정보원을 다원접속하는 방안으로서 PRMA에 대하여 간략히 기술하였다. 대역확산 신호를 사용하는 시스템에서는 채널접속 방식외에도 확산부호 할당방식을 고려하여야 한다. ALOHA 채널접속 프로토콜을 사용하는 것을 전제로 하여 단일부호, 수신기별, 송신기별 확산부호 할당방식등의 기본 확산부호 할당방식과 혼합 전송방식으로 단일부호-송신기 프로토콜, 수신기-송신기 프로토콜, 임의할당-송신기 프로토콜을 소개하였다. 또한 실제 무선환경이나 micro 셀룰라 환경에 적용 가능한 다원접속 방식으로 도착시간 제어를 통한 임의접속 방식을 제안하였다.

무선 데이터통신 시스템의 다원접속 방식들은 일반적으로 다원접속 프로토콜이 제공하는 네트워크의 성능, 즉, 처리율 및 지연시간과 시스템(또는 알고리즘)의 복잡도 사이에 tradeoff 관계가 있다. 우리는 표 1에서 대역확산 다원접속 방식들의 패킷의 충돌가능성과 시스템의 복잡도 사이의 관계를 비교해 봄으로써 이러한 상호관계를 간접적으로 관찰할 수 있었다. 시스템에서 사용자간 간섭의 영향은 다원접속 방식에 따라 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서, 주어진 네트워크의 조건하에서 패킷의 충돌가능성을 최소화 하면서 동시에 시스템의 복잡도를 크게 증가시키지 않는 다원접속 프로토콜의 선택은 무엇보다 중요하다 할 것이다.

參考文獻

- [1] C. Namislo, "Analysis of mobile radio slotted ALOHA networks," *IEEE J. Slect. Areas Commun.*, vol. SAC-2, July 1984.
- [2] F. A. Tobagi, "Multiple link control," *Computer Network Architecture and Protocols*, Chap. 6, P. E. Green Ed.
- [3] N. Abramson, "The ALOHA system- Another alternative for computer

- communications," in *Proc. AFIPS Conf., 1970 Fall Joint Comput. Conf.*, vol. 37, pp. 281-285.
- [4] J. P. Linnartz, *Narrowband Land-Mobile Radio Networks*. Chap. 6, MA : Artech House, 1993.
- [5] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet switching in radio channels: Part I-Carrier sense multiple-access modes and their throughput-delay characteristics," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, pp. 1400-1416, Dec. 1975.
- [6] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels: Part II-The hidden terminal problem in carrier sense multiple-access and the busy-tone solution," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, pp. 1417-1433, Dec. 1975.
- [7] D. J. Goodman et al., "Packet reservation multiple access for local wireless communications," *IEEE Tran. Commun.*, vol. 37, pp. 885-890, Aug. 1989.
- [8] D. J. Goodman and S. X. Wei, "Efficiency of packet reservation multiple access," *IEEE Tran. Veh. Tech.*, vol. 40, pp. 170-176, Feb. 1991
- [9] S. S. Lam, "Packet broadcast networks-A performance analysis of the R-ALOHA protocol", *IEEE Trans. Comput.* vol. C-29, pp. 596-603, July 1980.
- [10] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, and L. B. Milstein, "Theory of spread-spectrum communications-A tutorial," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 855-884, May 1982.
- [11] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz, and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communications*, 3 vols. Rockville, Maryland: Computer Science, 1984.
- [12] D. David and S. A. Gronemeyer, "Performance of slotted ALOHA random access with delay capture and randomized time of arrival," *IEEE Trans. Commun.* vol. COM-28, pp. 703-710, May 1980.
- [13] D. I. Kim and R. A. Scholtz, "Multiple capture in a centralized packet radio system with common direct-sequence spread-spectrum modulation," in *Proc. 15th Biennial Symp. on Commun.*, pp. A:1-A:4, Kingston, Ontario, June 1990.
- [14] E. S. Sousa and J. A. Silvester, "Spreading code protocols for distributed spread-spectrum packet radio networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 36, pp. 272-281, Mar. 1988.
- [15] M. B. Pursley, "The role of spread spectrum in packet radio networks," *Proc. IEEE*, vol. 75, pp. 116-134, Jan. 1987.
- [16] 김동인, "DS/CDMA 패킷라디오 시스템 전송 기술", 대한전자공학회 텔레콤, 제8권, 2호 pp. 46-53, Dec. 1992.
- [17] D. I. Kim, "Multiple-capture performance of a common code DS/SSMA packet radio system," *IEEE GLOBECOM '93*, vol. 3, pp. 1739-1743, Houston, TX, Nov. 1993
- [18] 노준철, 김동인, "중앙집중 대역확산 패킷라디오 네트워크를 위한 임의할당-송신기 프로토콜," 한국통신학회 논문지, 제19권, 4호, pp. 729-739, 1994년 4월.
- [19] D. I. Kim and R. A. Scholtz, "A random spreading code assignment scheme for centralized spread-spectrum packet radio networks," *IEEE MILCOM '91*, vol. 1, pp. 6.2.1-6.2.5, Washington D.C., Nov. 1991. 🌐

筆者紹介



盧俊喆

1993年 2月 서울시립대학교 전자공학과 졸업

1993年 3月 ~ 현재 서울시립대학교 대학원 전자공학과 석사과정

주관심 분야 : 통신 및 코딩이론, 대역확산 통신방식, 패킷리디오 네트워크, 셀룰라 CDMA, 무선 이동통신



金東仁

1958年 11月 5日生

1980年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업

1984年 8月 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사

1987年 12月 남가주대학교 전기공학과(디지털통신) 공학석사

1990年 12月 남가주대학교 전기공학과(디지털통신) 공학박사

1984年 11月 ~ 1985年 12月 한국전기통신공사 사업지원본부 (현 한국통신 연구개발단) 전임연구원

1991年 4月 ~ 현재 서울시립대학교 전자공학과 조교수재직

주관심 분야 : 통신 및 코딩이론, 패킷 동기, 무선 이동통신 기술, 대역확산 패킷리디오 네트워크, 셀룰라 CDMA, 위성통신 시스템