

광통신망 구축의 효과적인 설계 및 MAC 고려 요소

The Efficiency Design & MAC Function of the Composition Optical Network



글 / 河 昌 局

(Ha, Chang Kuk)

정보통신기술사, 알파엔지니어링 상무이사,
홍익대학교 전임강사.

E-mail: ha@kist.re.kr

1. MAC (Medium Access Control) 개요

하드웨어 자원뿐만이 아니라 소프트웨어 자원도 여러 사람이 어떻게 효율적으로 나누어 쓸 수 있도록 할 것인가가 가장 큰 문제이다. 자원을 나누어 쓰되 자원을 얻기 위해 각자가 기다리는 시간은 최소화되어야 하며 모든 이용자에게 평등하게 사용기회가 주어져야 하며 시스템 전체로 보아서는 최대의 성능(throughput)을 유지하여야 한다. 그리고 또한 관리 자체를 위한 오버헤드(overhead)는 최소가 되어야 하며 자원의 이용에는 균형이 유지되어야 한다. 즉 특정자원만 과도하게 이용되고 나머지 자원들은 휴지기 정인 상태로 있어서는 안 된다. 또 필요하다면 특정 이용자에게 우선권(priority)을 줄 수도 있어야 한다.

이와 같이 자원을 나누어 쓰는 이유는 자명하

The paper describes SR3 (Synchronous Round Robin with Reservations), a collision-free medium access control protocol for all-optical slotted packet networks based on WDM multi-channel ring topologies where nodes are equipped with one fixed-wavelength receiver and one wavelength-tunable transmitter. SR3 is derived from the SRR and MMR protocols previously proposed by the same authors for the same class of all-optical networks. SRR and MMR already achieve an efficient exploitation of the available bandwidth, while guaranteeing a throughput-fair access to each node. SR3, in addition, allows nodes to reserve slots, thereby achieving a stronger control on access delays; it is thus well suited to meet tight delay requirements, as it is the case for multimedia applications. Simulation results show that SR3 provides very good performance to guaranteed quality traffic, but also brings significant performance improvements for best-effort traffic. Energy efficiency is an important issue for optical network since they must rely on their batteries. We present a novel MAC protocol that achieves a good energy efficiency of optical interface of the network and provides support for diverse traffic types and QoS. The scheduler of the base station is responsible to provide the required QoS to connections on the optical link and to minimise the amount of energy spend by the High speed Network. The main principles of the MaC protocol are to avoid unsuccessful actions, minimise the number of transitions, and synchronise the mobile and the base-station. We will show that considerable amounts of energy can be saved using these principles.

다. 자원을 나누어 씌으로써 좀 더 적은 경비를 들이면서도 똑같은 서비스를 얻기 위함이다. 세상에 자원이 무한대로 많아서 모든 사람들이 별도의 추가적인 기술의 구현 없이 쓸 수 있다고 하면 자원의 효율적 분배를 위한 기법은 큰 의미를 줄 수 없을 것이다. 이러한 자원 나누어 쓰기의 문제는 정보통신분야에서도 똑같이 존재한다. 따라서 컴퓨터의 경우나 통신분야의 상당부분을 자원 나누어 쓰기에 적합할 수 있는 기술적인 기법을 기술

하고 있다. 컴퓨터에서의 중요자원이 중앙처리장치(CPU), 주기억장치, 보조기억장치, 데이터베이스 혹은 파일이라고 한다면 통신에서의 중요 자원은 무엇보다 대역폭(bandwidth)이라고 할 수 있다. 대역폭이란 정보의 전송채널이 얼마만큼의 정보 전송능력을 갖느냐 하는 능력이고 도로에 비유한다면 도로폭이 된다. 도로의 폭이 넓어야 도로의 수송능력이 커지듯이 통신에서는 채널의 대역폭이 넓어야 채널의 전송능력이 커진다. 다른 말로 하면 통신 용량이 커지는 것이다. 통신의 원가에서 대역폭이 차지하는 비용의 몫은 거의 절대적이다. 통신원가측면에서 보면 스위칭장비나 단말기 등도 상당 부분을 차지하기는 하나 통신채널이 차지하는 비율에는 훨씬 못 미친다. 또한 스위칭장비도 어떻게 보면 대역폭을 나누어 쓰기 위한 보조장비로 볼 수 있으므로 통신원가의 대부분은 결국 대역폭의 비용이라고 볼 수 있다. 따라서 많은 통신 공학자들은 대역폭을 효율적으로 나누어 쓰는 방법을 개발하여 어떻게 통신비용을 줄일 것인가가 중요한 학문적 관건이었다. 똑같이 투자한 대역폭을 많은 사람이 나누어 쓰면 쓸수록 개인당 통신비용은 줄어들 수 있기 때문이다. 통신기술의 역사를 보면 기술적인 발전 내용의 상당 부분이 대역폭을 얼마나 효과적으로 운용할 수 있도록 할 것인가에 있다고 할 수 있다.

대역폭의 효율적 운영 측면은 두 가지로 볼 수 있는데 그 하나는 어떻게 더 넓은 대역폭을 확보하느냐 하는 것이고 또 하나는 같은 대역폭을 어떻게 효율적으로 나누어 쓰느냐 하는 것이다. 더 넓은 대역폭을 확보하고자 하는 노력은 결국 어떻게 높은 주파수의 신호를 만들고 이를 멀리까지 원형 그대로 보낼 수 있도록 하는 것으로 귀결될 수 있는데 이는 높은 주파수를 안정적으로 만들어 낼 수 있는 소자의 개발과 광통신기술로 해결되어

가고 있다. 대역폭 넓히기 작업의 첫째 목적은 넓은 대역폭을 여러 사람이 나누어 쓰으로써 한사람당 통신비용을 최소화하는 것이다. 일반적으로 대역폭을 100배 넓히면 100배만큼의 사람이 동시에 이용할 수 있는데 반하여 대역폭을 100배로 넓히는데 소요되는 비용은 그보다 훨씬 적게 들므로 대역폭을 넓혀 나누어 쓰는 것이 통신비용을 현격하게 낮출 수 있는 방법이 되는 것이다. 대역폭 넓히기 작업의 두 번째 목적은 고속 통신 요구를 수용하기 위함이다. 모노 음악보다는 스테레오 음악을 전송하기 위한 대역폭이 더 넓어야 되고 흑백 TV보다는 컬러 TV를 전송하기 위한 대역폭이 더 넓어야 하며 기존의 TV보다는 HDTV를 전송하기 위한 대역폭은 더욱 넓어야 한다. 통신 이용자의 대부분은 사람이고(음성통신) 팩스나 컴퓨터 통신의 이용 비율은 아직 낮은 편이나 시간이 지날수록 통신이용 비율은 사람으로부터 컴퓨터 쪽으로 옮겨가고 있다. 이 또한 고속 통신 요구의 필요성이 커지고 있는 이유이다. 왜냐하면 앞으로 대부분의 컴퓨터 통신은 넓은 대역폭이 요구되는 멀티미디어 통신을 하게 될 것이기 때문이다. 대역폭의 넓히기가 주로 하드웨어적인 기술에 의존한다면 대역폭 나누어 쓰기 기술은 하드웨어 기술로 출발하였으나 점진적으로 소프트웨어 의존도가 매우 커지고 있다. 일반적으로 하드웨어보다는 소프트웨어가 훨씬 융통성을 발휘하기가 쉽기 때문이다.

정보를 전송하기 위해서는 전기 혹은 광 신호를 이용해야 하는데 이런 신호는 주파수 영역과 시간 영역, 주파수와 시간 영역을 혼합한 코드영역들로 구분할 수 있다. 따라서 대역폭 나누어 쓰기의 관점은 크게 세 가지 관점에서 출발한다.

매체 액세스 제어(MAC : Medium Access

Control) 방법 역시 대역폭을 나누어 쓰기 위한 방법의 일종이다. 다만 일반적으로 근거리 통신망에서 사용하는 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)나 토큰 패싱(token passing), 파장 접속 프로토콜(WDMA) 등의 방법은 대역폭 나누어 쓰기에 교환(스위칭)의 개념이 더해진 프로토콜이다. 근거리통신망은 기본적으로 하나의 전송매체가 갖는 대역폭을 나누어 쓰고자 하는 데에서 출발한 것으로 볼 수 있는데 근거리통신망에는 여러 개의 노드들이 연결되고 여러 개의 노드간에 상호통신이 가능해야 하므로 스위칭의 개념이 필요하게 된다.

멀티플렉싱(multiplexing)과 멀티플 액세스(multiple access)의 차이는 멀티플렉싱(다중화)은 채널의 양쪽에 연결된 상대방이 고정되어 사용되는데 반해 멀티플 액세스는 한 채널을 모든 이용자가 상호접속 하여 통신할 수 있게 해주는 기술이라는 점이 주된 차이이다. 상호접속은 결국 스위칭을 뜻하는 것이며 상호접속이 동시에 일어나게 됨으로서 발생 가능한 충돌 문제점을 야기해서는 안 된다. 근거리 통신망에서 하나의 채널을 가지고서 하나의 대역폭을 공유하여 동시에 접속을 가능하게 한다는 것은 결국 충돌이 일어난다는 사실을 의미하며 충돌이 일어났다는 것은 정보전송에 실패했다는 것을 의미하게 된다. 따라서 멀티플 액세스(다중 접근) 프로토콜에는 모두 충돌에 대처할 수 있는 기술이 포함 되어있다. CSMA/CD는 가능하면 충돌을 회피하지만 충돌의 가능성을 완전히 배제하지는 못하고 충돌이 발생했을 때의 사후 조치를 프로토콜의 알고리즘에 포함시키고 있으며 토큰 패싱 방법들은 사전에 충돌이 발생하지 않도록 프로토콜을 설계하였다. ATM(Asynchronous Transfer Mode)에서도 대역폭 나누어 쓰기가 이루어지는데 이때 사용되

는 개념은 비동기식 시분할 다중화 방법과 같으며 무선통신에서의 TDMA(Time Division Multiple Access)도 결국 시분할 방법에 근거한 멀티플 액세스 방법이다. TDMA는 위성통신에서도 이용된다.

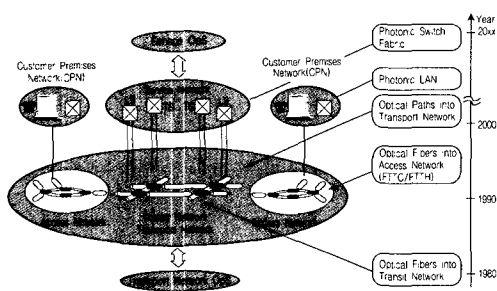
정보의 경제적인 전송을 위해서는 통신을 위해 필요한 자원을 나누어 쓰는 것이 중요하다. 통신을 위해 필요한 가장 중요한 자원은 대역폭으로 다중화 기법은 이러한 대역폭을 여러 사람이 나누어 사용하여 일인당 부담해야 하는 전송비용을 줄이고자 하는 기법이다. 대역폭이란 정보의 전송채널이 얼마만큼의 전송능력을 갖느냐 하는 채널의 전송용량(Capacity)이다. 많은 양의 정보를 빠른 시간 내에 전송하려면 넓은 대역폭이 필요한데 대역폭의 증대를 위해 투자되는 경비는 그때 얻어지는 전송용량의 증가량보다는 적게 든다. 실제적인 다중화 기법으로는 주파수 분할 다중화(FDM: Frequency Division Multiplexing)와 시분할 다중화(TDM)이 있다. FDM은 아날로그 전송에 TDM은 디지털 전송에 쓰이는데 디지털 전송이 갖는 유리한 때문에 최근의 다중화 방법은 대부분 TDM에 의존한다. TDM방식은 다시 동기식 시분할 다중화 방식과 비동기식 시분할 다중화 방식으로 나뉘는데 동기식이란 타임슬롯(time slot)을 모든 이용자에게 규칙적으로 나누어주는 방법인데 비해서 비동기식은 타임 슬롯을 전송할 데이터를 갖고 있는 이용자에게만 분배하므로써 효율을 높이는 방식이다. FDMA(Frequency Division Multiple Access)와 TDMA(Time Division Multiple Access)는 각각 FDM과 TDM의 개념과 유사하나 다중 액세스(Multiple Access)는 다중화가 통신상대방이 고정되어 있는 것과는 다르게 상대방을 선택하여 통신할 수 있다.

패킷 과장 분할 다중화 방식 기술을 사용한 광통신망은 고속 통신망의 차세대 접근 방법의 하나로 구현되어지고 있다.[1,5,6] 이를 위해서는 광통신 기술은 최소의 감쇄로 대용량의 대역폭을 구현 가능하게 하여야 한다. 패킷 과장 분할 다중화 방식에 적용되는 다중 접속 프로토콜로서는 TDMA기반과 WDMA기반, 그리고 WDMA 방식에 다른 다중 접속을 동시에 사용한 혼합형 기반으로 분류할 수 있다.

2. 본 론

2.1 광통신

2.1.1 광 통신망 구축 배경



〈그림 2-1〉 광통신 시스템의 진화 과정[3]

〈그림 2-1〉은 초고속 광통신 시스템의 발전 과정을 나타내고 있다.

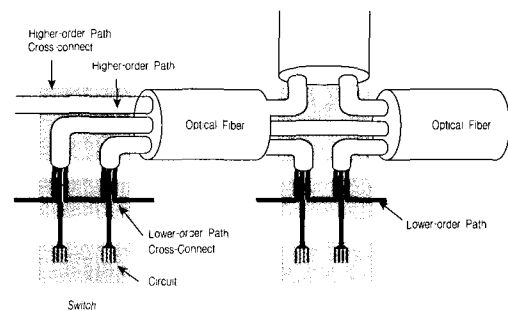
다가오는 정보화 시대는 기존의 음성 서비스 이외에도 여러 가지 영상 및 데이터 서비스를 통해 필요한 모든 정보를 손쉽게 주고받을 수 있게 하여 개개인적 삶의 질을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 통신의 의미도 단순한 의사전달의 수준에서 우리의 생활 양식을 결정하는 도구로 변화되고 있다.

정보화 시대에 요구되는 정보량은 다음의 예에서

간단하게 산출해 볼 수 있다. 만약 인구 천만 명이 거주하는 2개의 도시를 연결하는 전화(64kb/s)망을 보자. 한 사람이 한 시간에 3번 통화를 하고 한 번의 통화에 3분이 소요된다면 전체 정보량은 190Gb/s이다. 한편 이중에서 10%의 가입자가 1.5Mb/s(VCR급 비디오 신호)의 영상정보를 받아 본다고 하면 요구되는 전체 정보량은 1.5Tb/s가 된다.

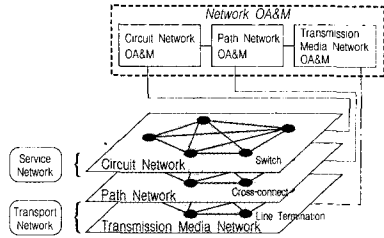
2.1.2 광전송 시스템 구성 형태

광전송 시스템이 여러 개 연결되어 망을 구성하는 광 통신망의 경우, 주로 음성신호를 전달하기 위한 기존의 광전송 시스템(수~수십 Gb/s)과 음성신호(64 kb/s)사이의 커다란 신호 대역폭 차이로 인한 교환기에서의 신호처리 부담을 효과적 해결하기 위하여 〈그림 2-2〉에 보여지는 바와 같이 1.5Mb/s, 2Mb/s, 52Mb/s, 155Mb/s 전송 계위를 통한 중 저속전송 시스템 등의 중간 계층을 두고 있다. 또한 광 통신망은 음성신호를 다루는 circuit 층과, 여러 개의 음성신호 묶음을 다루는 path 층, 그리고 광 신호를 전달하는 물리계층으로 나누어진다. 이는 〈그림 2-3〉에 도시되어 있다.



〈그림 2-2〉 전송 계위 구성 형태[3]

Circuit 층은 교환기로 이루어져 있으며, path 층은 고속의 데이터 분배 및 통신망 장애 시에 우회로를 통해 통신망을 복구하는 기능을 수행하는

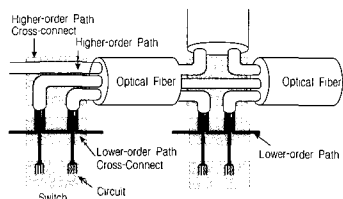


〈그림 2-3〉 광전송 시스템의 전달 계위[3]

Layered Structure	PDH Network		SDH Network	ATM Network	Photonic Network	
	Circuit Layer	Path Layer	Transmission Media Layer	Circuit Layer	Path Layer	Transmission Media Layer
Circuit Layer	Circuit	Circuit	Circuit	Virtual Channel	Electrical Channel	Electrical Channel
Path Layer	(PDH) Path	PDH Path	SDH Path	Virtual Path	Electrical Path	Optical Path
Transmission Media Layer	Co-axial Cable	Optical Fiber	Optical Fiber	Optical Fiber	Optical Fiber	Optical Fiber
Introduced New Technology	1975 High-Speed (100Mb/s) Co-axial Cable Transmission System	1981 Optical Fiber Transmission System (2Mb/s)	1989 SDH Transport System	1995 ATM Transport System	~1997 Optical Path Technologies	~2007 Optical Circuit Technologies

〈그림 2-4〉 Optical Path network 변전[3]

회선분배기로 구성되어 있다. 기존의 광 통신망에서의 path 층은 전기적인 신호처리에 의존하고 있다. 광 통신망의 특정 노드에서 보면 입력 광 신호는 일단 전기 신호로 변환되어 path 층의 신호인 1.5 Mb/s, 52 Mb/s, 155 Mb/s로 역 다중화된다. 이러한 Path층은 〈그림 2-4〉에서 보여지는 바와 같이 변화되어지고 있다.



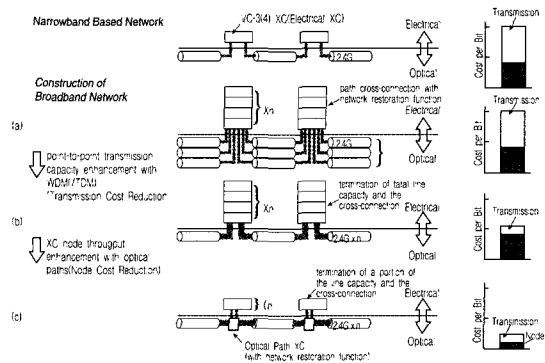
〈그림 2-2〉 전송 계위 구성 형태[3]

망의 계층적인 구조에서 보면 기존의 전기적인 패스층과 물리계층 사이에 2.5Gb/s 혹은 10Gb/s의 용량을 갖는 optical path를 도입한 것이다. 망의 회선분배 기능이나, 망 장에서의 우회로 구

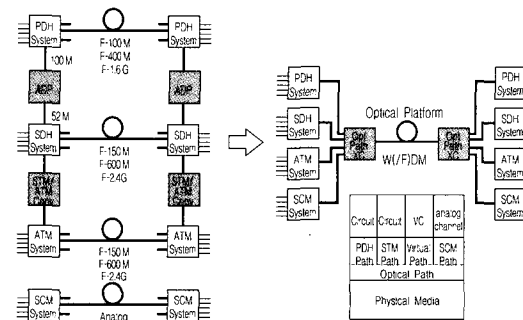
성 등을 광 신호 레벨에서 처리함으로써, 기존의 전기적인 회선분배 시스템의 부담을 대폭 줄이고 망의 신호처리 능력을 수 Tb/s 이상으로 높일 수 있다.

2.1.3 광 전송 시스템 구성 형태

광 전송 시스템의 구성은 기존 전기적 기반에서 광 기반으로 변화되고 있다. 용량의 증대 측면에서도 기존 전기적인 TDM 기반의 전송 용량에 비하여 WDM기반의 광전송 용량이 훨씬 증대되



〈그림 2-5〉 기존의 광통신방법과 WDM전송방식의 비교[3]



〈그림 2-6〉 광 전송로에서의 다른 수순위의 Encapsulation[3]

어진다. 〈그림 2-5〉은 기존 전기적인 기반의 TDM에서 WDM전송 방식의 비교를 보여준다. 파장 분할 다중화 방식을 이용하면 〈그림 2-6〉에서 보여지는 것처럼 각 파장마다 속도, 형태, 프로토콜이 다른 신호가 전달될 수 있어, ATM,

SONET/SDH 등 여러 종류의 광 통신망을 수용할 수 있는 투명한 전광 전송망을 구현할 수 있게 되는 것이다.

2.1.4 WDM에서 MAC 프로토콜의 연구 중요성과 그 이유

멀티미디어 회의, 고화질 텔레비전(HDTV), 의학 영상, 슈퍼컴퓨터의 상호연락과 같은 최근 생겨난 서비스는 일인당 수백의 메가비트를 요구한다. 결과적으로, 많은 사용자가 최근 발달하고 있는 기가비트 네트워크에 몰두하게 된 것이다. 그러므로 기가비트보다 더 큰 용량의 네트워크는 수백 명의 사용자에게 고 대역폭의 서비스를 제공해야 한다.

일반적으로, 고속 통신 네트워크는 다음과 같은 특성을 요구한다[6,7,10,11,12].

- 고용량-사용자에게 광대역의 서비스 제공
- 다양한 서비스 품질(QoSs)-단일 네트워크에서 통합된 서비스 제공
- 범위성-서비스의 차단 없이 작은 시스템에서 큰 시스템으로 쉽게 확장
- 단순성-가격을 효과적으로 충족시킴
- 짧은 길이의 패킷을 지원-ATM(비동기 전송 모드) 호환성을 제공

나열된 특성 중에서 고용량이 가장 필수적인 요건이다. FDDI, DQDB, ATM, CRMA, MetaRing등과 같은 많은 프로토콜이 네트워크 용량을 향상시키기 위해 계속 연구되어 왔다[13]. 연구자들은 보다 고속적이며 대용량으로 이용하기 위하여 광섬유를 물리적 매체로 사용하며 보다 효과적인 대역폭 분배 계획을 가진 MAC 프로토콜을 고안하고 있다. 그러나, 현재 이용되고 있는 단일 채널 네트워크 구조는 광섬유의 거대한 대역

폭을 찾아내는데 본질적인 한계를 지닌다. 광섬유는, 우리가 1.2~1.6 μ m의 저손실 파장 지역을 사용하고 있음에도 불구하고, 대역폭이 30THz 이상이다. 이것은 광섬유가 초당 테라 비트 범위에서 통행을 지원할 수 있음을 의미한다. 그러나, 접근 노드에서 전자적 진행 가능성의 한계 때문에 광섬유 대역폭의 매우 작은 부분(0.1%도 안되는)만이 지금 사용되는 것이다. 전송, 스위치, 접근 노드를 포함한 모든 광 네트워크가 섬유 대역폭을 개발할 것이지만, 현재의 기술로는 광섬유를 100% 효과적으로 이용하는 것은 불가능하다. 반면에, WDM은 현재 또는 가까운 미래의 기술로 광섬유의 거대한 대역폭을 개발할 가망이 있는 기술방식을 제공한다. WDM 네트워크에서는, 이용 가능한 광섬유 대역폭은 전자 속도가 진행할 수 있는 많은 저율의 채널로 나뉘어진다. 각각의 노드가 한번에 하나의 채널에서만 접근하기 때문에, 그 노드에서 전자적 진행은 가능하다. 비록 한 노드에서 최대전송률이 최고의 전자 속도로 제한되어 있지만, 많은 노드에서 다른 채널을 사용하여 동시에 패킷 전송이 가능하기 때문에 전체 네트워크 용량은 최고 전자 속도의 범위를 넘어서 증대될 수 있다. 결과적으로 WDM 기술과 다중채널 네트워크 접근 프로토콜을 결합시킴으로써, 고 대역폭 네트워크가 효과적으로 이행될 수 있는 것이다. 이는 대역폭의 효율적 운영 측면을 조화롭게 설계하는 기반이 되기 때문이다. WDM 기술은 보다 효과적으로 더 넓은 대역폭을 확보할 수 있도록 하는 광 전송로의 통로 역할을 수행하나 MAC기술을 접목하여 보다 많은 이용자가 어떠한 환경에서도 같은 대역폭을 보다 효율적으로 나누어 쓰느냐 하는 것을 통하여 완전한 초고속, 대용량의 망으로 구성되어질 수 있기 때문이다 [1,2,3,6,12].

3. WDM방식에서의 MAC(Medium Access Control) 설계 요소

WDM 네트워크를 위한 많은 접근 프로토콜들이 지금까지 제시되어 왔다. WDM 네트워크 접근 프로토콜 계획안에서 고려되어야 할 중요한 요소들은 다음과 같다

1) 충돌이 없는 프로토콜 : 네트워크 성능을 향상시키기 위해 다음과 같은 세 가지 충돌이 해결되어야 한다.

-채널 충돌 :

채널 충돌은 두 개 또는 그 이상의 패킷이 같은 채널에서 동시에 전송될 때 일어난다. 채널 충돌은 시스템 성능을 저하시키는 중대한 요소이다. 일반적으로, 로드(부하율)가 증가할 때 채널 충돌이 급속히 증가하기 때문에, 임의 접근 프로토콜의 시스템 작업 처리량은 낮다. 예약 프로토콜을 사용하면으로써 채널 충돌이 감소할 수 있으며, 따라서 시스템 작업 처리량은 임의 접근 프로토콜에 비해 크게 증가할 수 있다.

-목적지 충돌(혹은 수신기 충돌) :

목적지 충돌은 두 개 또는 그 이상의 패킷이 동시에 같은 장소로 예정될 때 일어난다. 한 위치에서 여러 개의 수신기를 가지고 있다면, 목적지 충돌은 감소되거나 피할 수 있다. 그러나, 그것은 성능 개선에 비해서 너무 돈이 많이 드는 해결책이다. 한 위치에서 단 하나의 수신기만을 가진다면, 비록 다른 패킷이 목적지에 성공적으로 도착하더라도 하나를 제외한 다른 패킷들은 버

러질 것이다. 목적지 충돌은 패킷 전송 에러를 증가시키고, 결과적으로 고층 프로토콜을 더 복잡하게 만든다. 목적 장소에서 목적지 충돌을 해결하는 게 가능할지라도, 근원지에서 그 충돌을 해결하는 것이 더 효과적이다.

- 근원지 충돌 :

근원지 충돌은 한 장소에서 하나의 패킷 이상을 동시에 전송해야 할 때 일어난다. 근원지 충돌은 완충회로 예약 계획의 경우에 일어날 수도 있다. 근원 충돌은 또한 한 장소에서 다중의 송신기를 가짐으로써 감소되거나 피할 수도 있지만, 여러 개의 송신기를 사용하는 대신 접근 제어 메커니즘을 사용하여 해결하는 게 바람직하다.

2)범위성 : 통신 네트워크에서 사용자들은 종종 네트워크에 가입하거나 나가고, 따라서 사용자 인구는 동적으로 변한다. 반면에, 이용 가능한 채널의 숫자는 제한되어 있다. 일반적으로 네트워크에서의 사용자 숫자의 범위는 수백에서 수천에 이르지만, 채널의 숫자는 사용자의 수보다 훨씬 적다. 그러므로, 범위성은 통신 네트워크의 매우 중요한 요소이다.

3)단순성 : 네트워크 접속 장치의 경제적인 이행을 위해서는 네트워크 접속 프로토콜이 단순해야 한다. 고속 네트워크의 보급을 방해하는 주요 장애물은 나날이 오르는 네트워크 접속 장치의 가격 때문이다.

(원고 접수일 2001. 7. 18)