

## 고속 WDM 다채널 네트워크에서 슬롯화된 ALOHA와 그룹간 TDMA를 이용한 미디엄 액세스 프로토콜

正會員 池 尹 圭\*, 金 哲 漢\*\*

### A Medium Access Protocol Using the Slotted ALOHA and TDMA for High-Speed WDM Multichannel Networks

Yoon Kyoo Jhee\*, Chui Han Kim\*\* *Regular Members*

#### 요약

본 논문에서는 광 수동 스타 네트워크에서 효과적인 미디엄 액세스 프로토콜인 그룹 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 제안한다. 그룹 슬롯화된 ALOHA 프로토콜에서는 노드들을 송수신그룹으로 나누어서 각 그룹간에는 TDMA 방식, 각 그룹에 속하는 노드들간에는 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 이용하여 통신을 한다. 이 프로토콜을 이용함으로써 본래의 슬롯화된 ALOHA 프로토콜 보다 향상된 처리율(throughput)을 얻을 수 있으며 제한된 튜닝 범위를 갖는 송수신기를 사용하는 네트워크에도 쉽게 적용할 수 있다. 시스템의 성능에 영향을 미치는 파라미터들인 그룹 수, 네트워크 멀티플리시티, 버퍼의 크기 그리고 패킷 전송 확률들을 고려하여 수치적 해석을 해 본 결과, 제안된 그룹 슬롯화된 ALOHA 프로토콜은 TDMA 방식이나 본래의 슬롯화된 ALOHA 프로토콜보다 나은 성능을 가짐을 알 수 있다. 따라서 제안된 프로토콜은 고속 데이터 네트워크에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient medium access protocol which is called the group slotted ALOHA protocol for an optical passive star network. In the group slotted ALOHA protocol, the nodes are assembled into groups which communicate with other groups using TDMA scheme and the nodes within a transmitter group communicate with the nodes within a receiver group using slotted ALOHA protocol. We can obtain the higher system throughput than the original slotted ALOHA protocol and adopt easily network architecture which has the transceivers with limited tunability by using the proposed protocol. We examine the effect of system parameters(the number of the groups, the network multiplicity, the buffer size and the packet transmission prob-

\* 이화여자대학교 전자공학과  
Dept. of Electronics Engineering, Ewha Womans Univ.

\*\* 한국과학기술원 전기및전자공학과  
Dept. of Electrical Engineering, KAIST  
論文番號 : 94315  
接受日字 : 1994年 11月 14日

ability) on the system performance. From the numerical analysis, we know that the proposed group slotted ALOHA protocol has better performance than TDMA scheme and original slotted ALOHA protocols and is suitable for application in high-speed LAN's and MAN's.

## I. 서론

현재의 전자 소자 기술이 광신호의 고속 전송을 실현하는 데 한계를 드러냄에 따라 광섬유의 넓은 대역폭을 충분히 이용할 수 있는 새로운 기술의 연구가 필요하게 되었다. 새로운 기술 중에 하나인 파장 분할 다중화 방식(wavelength division multiplexing : WDM)은 광섬유의 대역폭을 비교적 낮은 동작속도(약 1Gbps)를 갖는 병렬 채널들의 집합으로 나누어 이용함으로써 현존하는 전자 소자를 효과적으로 사용할 수 있게 해주었다. 또한, 병렬 채널들을 이용함으로써 시스템이 병렬성(concurrency)을 갖게 되었고, 전체 시스템의 처리율(throughput)도 각각의 채널들의 데이터 전송률(data rate)들 보다 훨씬 향상되었다.

이러한 WDM 기술을 이용하여 효과적으로 싱글 홉 네트워크(Single-Hop Network)를 구성하기 위해서는, 각각의 사용자들이 여러 개의 WDM 채널을 이용하여 데이터를 전송할 수 있거나, 수신할 수 있어야만 한다. 따라서, 튜닝 가능한(tunable) 레이저(laser)와 튜닝 가능한 필터(filter)를 제작하기 위해서 많은 노력이 기울어지고 있으며, 이러한 소자들은 넓은 튜닝 범위(tuning range)와 매우 빠른 튜닝 속도(tuning speed)를 갖는 것이 필수적이다. 튜닝 가능한 소자 기술의 현황이 잘 정리된 참고문헌 [2]를 살펴보면, 이러한 기술이 아직은 초보 단계임을 쉽게 알 수 있다. 즉 현재의 광송수신기들은 기술적 문제 때문에 튜닝 범위나 속도가 모두 제한되어 있다.

참고문헌 [3]에서는 WDM 다채널 스타 네트워크(multichannel star network)의 채널 액세스 제어 방식으로 STRIDIS(Slotted Time Reconfigurable Interconnection of Disjunct Subnetworks)라는 새로운 개념을 도입하고 있다. 이 새로운 STRIDIS 방식은 이미 제안되었던 다른 방식과는 다르게 현재 소자 기술로도 제작 가능한 튜닝 범위가 제한된 레이저와 제한된 수의 집적 파장 필터(integrated optics wave-

Access : TDMA)과 동일한 것이며, TDMA 방식은 잘 알려진 것처럼 이용가능한 광섬유 대역폭을 비효율적으로 사용하며, 낮은 부하(low loads) 조건이나 균일하지 않은 트래픽(nonuniform traffic) 조건에서는 큰 대기 지연 시간을 갖는다. 따라서, 이를 극복하기 위하여 광 데이터 네트워크에서 랜덤-액세스(random-access)방식의 설계와 성능 분석에 대한 연구는 계속되어 왔다. 그러나, 랜덤-액세스 프로토콜 중의 CSMA 방식은 성능이 패킷의 정규화된 전파(propagation) 시간(일반적으로  $a$ 로 나타냄)에 의존하므로 처리율이 매우 낮다. 그 외의 ALOHA와 슬롯화된(slotted) ALOHA 방식은 낮은 부하(load)조건에서는 성능이 좋으나 시스템 throughput은 한계가 있다. 이 중에서 슬롯화된 ALOHA 방식을 WDM네트워크에 적용하기 위한 연구는 여러 논문에서 발표되었다.<sup>(4)-(8)</sup> 고속 광 데이터 네트워크에서는 매우 큰 정규화된 전파 시간  $a$ 를 가지게 되며, 이러한 큰  $a$ 값은 흔히 CSMA 방식의 경우에 성능의 저하를 초래한다. 본 논문에서는 액세스 프로토콜의 성능이 정규화된 전파시간  $a$ 에 의존하지 않는 경우에 대해서 연구하려 한다.

본 논문에서는 광 수동 스타 네트워크에서 효과적인 채널 액세스 프로토콜로서 그룹 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜을 참고문헌 [3]에서 사용한 네트워크의 물리 계층 구조(physical layer architecture)에 적용할 것이며, 제안된 프로토콜의 향상된 성능에 대해서 기술하려 한다. 본 논문의 구성은 II장에서 참고문헌 [3]에서 다룬 네트워크의 물리 계층 구조에 대해서 간략히 설명하고, III장과 IV장에서 각각 액세스 프로토콜을 제안하고 그 성능을 분석한 다음, 시스템 length filter)들을 사용하는 네트워크를 고려하였다. 그리고, 데이터 전송시의 충돌 방지를 위해서는 파장-시간 할당 프로토콜(wavelength-time allocation protocol : wta-protocol)을 사용하고 있다.

이러한 파장-시간 할당 프로토콜은 본질적으로는 시간 분할 다중 액세스 방식(Time Division Multiplexed

파라미터(parameter)들의 시스템 성능에 대한 영향과 이미 제안되었던 프로토콜들과의 수치 해석적인 성능 비교는 V장에 기술하고, 마지막으로 VI장에서 결론을 내리겠다.

## II. 네트워크 구성

본 논문에서 사용하는 물리 계층 구조는 그림 1과 같은 광 스타 다채널 네트워크로 N개의 노드와 W개의 각기 다른 파장들로 이루어져 있다. 각 노드들은 기본적으로 다중 액세스형 방송 채널(multiaccess broadcast channel)로 작동하는 전력 분할기(power divider)인

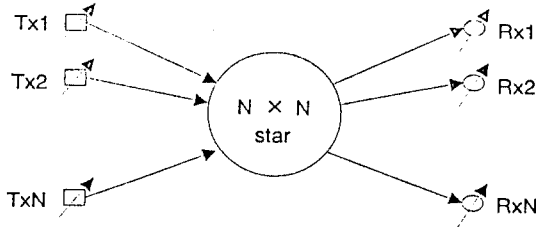


그림 1 광 수동 스타 다채널 네트워크의 일반적 구조  
Fig. 1 Generic architecture of an optical passive star multichannel network.

수동 스타 커플러(passive star coupler)에 연결되어 있다. 또한 W개의 파장들은 각각의 WDM 채널을 형성하고, 이 채널들을 집합적으로  $\{\lambda_1, \dots, \lambda_w\}$ 로 나타낼 수 있다. 각 노드들은 제한된 튜닝 범위를 갖는 송신기 모듈과 제한된 수의 광학 집적 파장 필터(integrated optics wavelength filter)들을 갖는 수신기 모듈을 하나씩 가지고 있다. 이때, 송신기 모듈은 w개의 다른 파장으로 튜닝 가능한 레이저로 구성되어 있다. 만약 네트워크 W개의 파장을 이용하는 경우에는  $W/w = G$ 개의 서로 다른 송신기 모듈이 필요하게 되고,  $N/G$ 개의 노드들은 같은 종류의 송신기 모듈을 사용하게 된다. 수신기 모듈의 경우에는 G개의 출구(outlet)를 갖는 파장 역다중화기(wavelength demultiplexer)로 구성된다. 따라서, w개의 서로 다른 수신기 모듈이 존재하고,  $N/w$ 개의 노드들이 같은 수신기 모듈을 사용한다. 이와 같이 송수신기 모듈이 제한된 튜닝 가능성을 갖고 있기 때문에 노드 i가 송신과 수신에 사용할 수 있는 파장들의 집합은 집합  $\{\lambda_1, \dots, \lambda_w\}$ 의 부분집합이며, 각각  $\lambda_i^s$ 와  $\lambda_i^r$ 로 나타낼

수 있다. 참고문헌 [3]에서는  $\lambda_i^s$ 와  $\lambda_i^r$ 를 다음과 같이 표현하였다.

$$\lambda_i^s = \lambda((i-1)\text{div}(N/G))w + v : i=1, \dots, N, v=1, \dots, w. \quad (1)$$

$$\lambda_i^r = \lambda(\rho-1)w + (i-1)\text{div}(N/w) + 1 : i=1, \dots, N, \rho=1, \dots, G \quad (2)$$

또한, 동일한 파장 집합을 사용하는 송신기와 수신기의 갯수를 나타내는 네트워크 멀티플리시티(network multiplicity)  $\Gamma = N/W$ 로 정의하였다.

본 논문에서는 싱글 홉(single-hop) 통신이 가능하도록 송신기와 수신기들에 파장을 할당하였다. 즉, 각 노드는 한 번의 전송으로 다른 어떠한 노드에도 데이터를 보낼 수 있어야 한다. 이러한 성질을 갖기 위해서는 여기서 다루는 네트워크의 노드들이 제한된 튜닝 범위를 갖는 레이저와 필터로 구성되어 있으므로 노드들을 몇 개의 송수신 그룹으로 나누어서 통신해야 한다. 송신기 그룹은 같은 종류의 송신기 모듈을 사용하는 노드들로 구성된다. 그리고, 수신기 그룹은 같은 수신기 모듈을 갖는 노드들의 집합마다  $\Gamma$ 개의 노드들을 선택해서 구성한다. 동일한 수신기 그룹에 속하는 노드들을 결정하는 방법을 자세히 나타내면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$RG\rho = \{(\rho-1)\Gamma + m + n(N/w)\} : m=1, \dots, \Gamma, n=0, \dots, w-1 \quad (3)$$

이렇게 만들어진 송수신 그룹간에는 TDMA방식에 의해서 서로 통신한다.

예를 들어, 식 (1), (2)와 (3)을  $N = 16$ 개의 노드를 갖고 있으며,  $W = 8$ 개의 파장들을 사용하는 네트워크에 적용하여 보자. 이 경우 네트워크 멀티플리시티  $\Gamma = N/W = 2$ 이다. 또한, 송신기 모듈이  $w = 2$ 개의 다른 파장들로 튜닝 가능한 경우에는  $G = W/w = 4$ 개의 서로 다른 송신기 모듈이 필요하게 되며, 따라서  $G = 4$ 개의 서로 다른 송신기 그룹이 있어야만 한다. 그리고 수신기 모듈의 경우에는  $w = 2$ 개의 서로 다른 모듈이 존재한다. 이 경우에 식 (3)을 적용하면 마찬가지로 G개의 수신기 그룹이 만들어진다. 예를 들어 수신기 그룹  $1(RG1)$ 은  $\{1, 2, 9, 10\}$ 와 같이 노드들의 집합으로 표

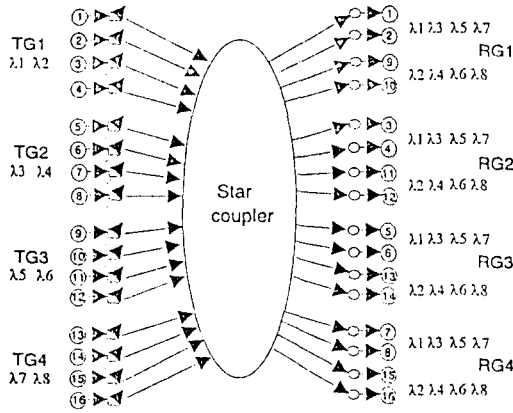


그림 2 각 노드에 대한 파장과 송수신 그룹의 할당의 예. N=16, W=8, w=2.

Fig. 2 Example of allocation of wavelength and transmitter & receiver groups to each node. N=16, W=8 and w=2.

현할 수 있다. 표 I은 각각의 노드들에 할당된 파장들의 집합을 보여주고 있으며, 표 II에서는 각각의 송신기 그룹과 수신기 그룹에 속하는 노드들을 식을 적용하여 계산한 결과로 나타내고 있다. 또한 각 노드에 할당된 파장과 각 노드가 속하는 송수신 그룹의 관계를 그림 2에 일목요연하게 나타내었다.

각 송신기 모듈은 다른 수신기 그룹을 목적으로 하는 패킷들을 서로 다른 큐(queue)의 버퍼(buffer)에 저장한다. 즉 하나의 송신기 모듈은 노드 i에 대하여 그림 3에 그려진 바와 같이 G개의 서로 다른 큐를 가지고 있다. 모든 패킷은 고정된 길이로 구성되었다고 가정하였으며, 네트워크내의 모든 노드들이 스타 커플러의 중심에 대해서 동기화되어 있는 시간 슬롯에 동기화된 시스템(time slotted synchronized system)임을 가정하였다.

### Ⅲ. 채널 액세스 프로토콜

네트워크에서 임의의 노드 i는 다른 어떠한 노드 j로도 전송이 가능해야 한다. 이러한 요구사항을 충족시키고, 앞서 제시한 네트워크 구조를 사용하기 위해서 그룹 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 사용한다. 그룹 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 적용하기 위해서는 네트워크 G개의 송수신그룹으로 이루어져 있으므로 연속적인 G개의 시간 슬롯(time slot)이 필요하며, 이 연속적인 G개의 슬롯을 하나의 사이클(cycle)로 정의한다.

표 I 파장 집합들의 할당

(a) 송신기의 경우 (b) 수신기의 경우  
N=16, W=8, w=2.

Table I Allocation of sets of wavelengths to (a) transmitters and (b) receivers  
N=16, W=8, w=2.

(a)			(b)		
i	$\lambda_i^t$		i	$\lambda_i^r$	
1	1	2	1	1 3 5 7	
2	1	2	2	1 3 5 7	
3	1	2	3	1 3 5 7	
4	1	2	4	1 3 5 7	
5	3	4	5	1 3 5 7	
6	3	4	6	1 3 5 7	
7	3	4	7	1 3 5 7	
8	3	4	8	1 3 5 7	
9	5	6	9	2 4 6 8	
10	5	6	10	2 4 6 8	
11	5	6	11	2 4 6 8	
12	5	6	12	2 4 6 8	
13	7	8	13	2 4 6 8	
14	7	8	14	2 4 6 8	
15	7	8	15	2 4 6 8	
16	7	8	16	2 4 6 8	

표 2 (a) 송신기 그룹과

(b) 수신기 그룹에 속하는 노드들의 집합

Table II Nodes within

(a) transmitter groups (b) receiver groups

(a)			(b)		
Tx Group	Nodes within a group		Rx Group	Nodes within a group	
TG1	1	2 3 4	RG1	1	2 9 10
TG2	5	6 7 8	RG2	3	4 11 12
TG3	9	10 11 12	RG3	5	6 13 14
TG4	13	14 15 16	RG4	7	8 15 16

각 송신기 그룹은 G개의 수신기 그룹과 한 사이클 내에서 모두 연결된다. 이때, 하나의 송신기 그룹에 속하는 노드들은 주어진 슬롯에서 연결되는 하나의 수신기 그룹내의 노드들과 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 이용해서 통신한다. 이렇게 노드들을 송수신그룹으로 나누어서 각 그룹에 속하는 노드들간에는 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 이용하고자 하며, 이러한 방법으로 네트워크에서 요구되는 노드간의 완전 연결성(full interconnectivity)을 만족시킬 수 있다. 표 III에서는

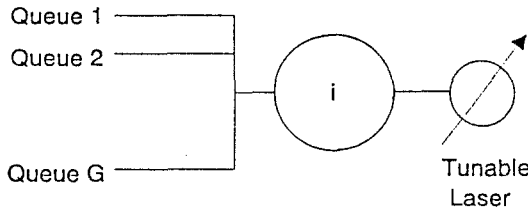


그림 3 제한된 튜닝 범위를 가진 레이저와 G개의 큐들로 구성된 노드 i의 송신기 모듈. 각 큐는 하나의 수신기 그룹과의 통신에 사용된다.

Fig. 3 A transmitter module at node i which has a laser with a limited tunability and G queues. Each queue corresponds to the receiver group.

표 3 그룹간의 연결 방식. 송신기 그룹(TG)과 수신기 그룹(RG)의 연결을 위해 미리 G슬롯을 배정.

Table III Interconnection scheme. G slots preassigned for transmitter groups(TG) and receiver groups(RG)

(a)

Time slot Tx Group	1	2	...	G
TG1	RG1	RG2		RGG
TG2	RG2	RG3		RG1
⋮				
TGG	RGG	RG1		RG(G-1)

송신기 그룹과 수신기 그룹간의 한 사이클 내에서의 연결 방식을 요약해 놓았다.

이러한 연결 방식에 의하면, 하나의 시간 슬롯마다 G개의 서로 다른 서브네트워크(subnetwork)를 구성하게 되며, 다음 시간 슬롯의 시작시점에서 이들 서브네트워크는 G개의 또 다른 서브네트워크로 재구성된다. 그리고 한 사이클이 경과하면 동일한 서브네트워크의 구성이 반복된다. 그림 4에서는 앞 장에서 사용한 예를 다시 고려할 경우에 시간 슬롯 1에서 네 개의 송신기 그룹들의 연결 방식을 나타내고 있으며, 그림 5에서는 송신기 그룹 1(TG1)의 처음 두 개의 시간 슬롯에서의 연결 방식을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 연결 방식이 순환적 성질을 갖고 있기 때문에, 나머지 시간 슬롯에서의 연결도 쉽게 알 수 있다. 그림 4과 5를 자세히 살펴보면, 주어진 시간 슬롯에서 임의의 서브네트워크의 송신 노드는 튜닝 가능한 송신기를, 수신 노드는 고정된(fixed) 수신기를 사용하고 있는 것과 같다. 왜냐하면, 수신기 모듈은 G개의 출구를 갖는 파장 역다중화기로 구성되어

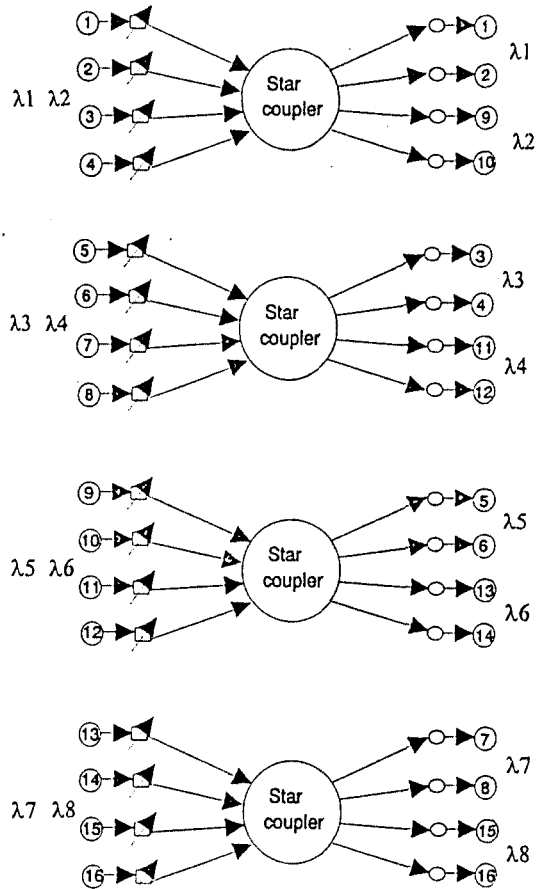


그림 4 시간 슬롯 1에서 네 개의 송신기 그룹들의 연결 방식  
Fig. 4 Interconnection scheme for the four transmitter groups for time slot 1.

있으며, 그림 5에서 알 수 있듯이 주어진 시간 슬롯에서 연결되는 송신기 그룹과의 통신을 위해서는 하나의 출구만이 사용 가능하기 때문이다. 따라서 서브네트워크 레벨에서의 프로토콜은 각 노드가 한 개의 튜닝 가능한 송신기와 고정된 수신기를 갖는 경우에 대해서 연구 되어야 하고, 이를 위해서 본 논문에서는 앞서 언급했듯이 다채널 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 사용하였다. 여기서 사용한 슬롯화된 ALOHA 프로토콜은 제어(control) 채널을 이용하지 않는 경우(no pretransmission coordination)에 해당된다.

슬롯화된 ALOHA 프로토콜은 참고문헌 [4]-[8]에서와 같이 수동 스타를 이용한 광 WDM 네트워크에 이미 여러 차례 적용되어 왔으며, 낮은 부하(load) 조건에서는

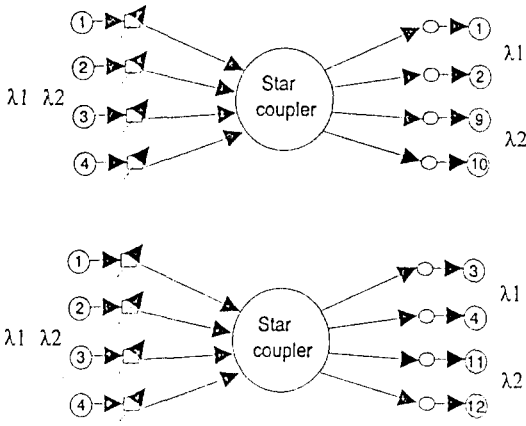


그림 5 처음 두 개의 시간 슬롯동안 송신기 그룹 1(TG1)의 연결 방식  
 (a) 시간 슬롯 1 (b) 시간 슬롯 2  
 Fig. 5 Interconnection scheme for the transmitter group 1(TG1) for the first two time slots  
 (a)Time slot 1 (b)Time slot 2

성능이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 충돌을 허용하기 때문에, 부하가 증가할수록 시스템의 처리율면에서는 한계를 드러내고 있는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 II장에서 제시된 네트워크 구조에 적용하면, 각 노드들에 다른 수신기 그룹을 복식지로 하는 패킷이 도착할 경우, 독립적인 큐에 저장하고 있기 때문에 주어진 부하조건에서 본래의 슬롯화된 ALOHA 프로토콜의 경우보다 각 서브네트워크 레벨에서는 낮은 부하를 갖게 되므로 시스템의 처리율이 증가될 것으로 기대된다.

ALOHA 프로토콜에서는 두 개이상의 노드가 같은 시간에 동일한 채널을 이용하여 패킷을 전송하고자 하는 경우가 발생할 수 있으며, 이 경우에는 패킷의 충돌이 발생하여 충돌한 패킷 모두 전송에 실패하게 되고, 이 패킷들은 전송에 성공할 때까지 재전송해야 한다. 이때의 재전송은 다음 사이클에 동일한 서브네트워크이 구성되면 이루어진다. 따라서, ALOHA 프로토콜에서는 패킷이 전송되고 난 후에, 충돌이 일어났는지 혹은 전송에 성공했는지를 송신 노드에 알려주는 피드백 신호(acknowledgement : ACK)가 필요하다. 이러한 피드백 신호를 위해서 두 가지 방법이 가능하다. 첫 번째 방법으로 패킷 전송 시간(packet transmission time)이 전파 지연 시간(propagation delay time)보다 길 경우

에는 시간 슬롯을 확장하는 방안(elongated time slot scheme)을 사용한다. 이 방안에서는 하나의 시간 슬롯을 데이터 전송 서브슬롯과 ACK 서브슬롯의 두 가지 상태로 구성한다. 데이터 전송 서브슬롯은 송신기 튜닝 시간, 데이터 전송 시간과 전파 지연 시간으로 구성되며, ACK 서브슬롯의 경우는 패킷의 헤더(header)부분을 디코딩(decoding)하는 시간, 송신기 튜닝 시간, ACK 전송 시간과 전파 지연 시간으로 이루어진다. 이 경우에 송신 노드는 데이터 전송 서브슬롯동안에 데이터 패킷을 수신 노드로 전송하고, 수신 노드는 ACK 서브슬롯동안에 송신 노드로 ACK 신호를 전송한다. 만약 ACK 서브슬롯동안에 ACK 신호가 수신되지 않으면, 송신 노드는 충돌이 발생한 것으로 간주한다. 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 사용할 경우에, ACK 전송을 위해 확장된 시간 슬롯 방안을 사용하는 것의 타당성은 참고 문헌 [8]에서 제시된 적이 있다. 두 번째 방법으로는 패킷 전송 시간이 전파 지연 시간보다 짧을 경우로 각 노드는 ACK 신호 전송을 위해 또 하나의 전송기와 수신기를 사용한다. 이 방안은 네트워크의 지역적 범위가 넓거나 고속환경일 경우에 적절한 방법이다.

이상과 같이 제안한 프로토콜을 요약하여 정리해 보면 다음과 같다.

- 1) 각 노드를 송수신기에 할당된 파장들에 따라 적절한 송수신 그룹에 배정한다.
- 2) 시간 슬롯의 경과에 따라 각 노드는 속하는 송신 그룹을 고려하여 표 III과 같이 TDMA 방식에 의해 연결될 수신 그룹에 보낼 패킷을 저장하는 큐의 패킷의 유무를 확인한다.
- 3) 이 때 큐에 패킷이 존재하면 ALOHA 프로토콜에 따라 패킷을 전송한다.  
패킷이 존재하지 않으면 과정 2)로 돌아간다.
- 4) 패킷 전송 후 충돌이 발생하지 않아 ACK 신호를 받으면 패킷 전송이 끝난다.  
충돌이 발생한 경우에는 과정 2)로 돌아간다.

#### IV. 성능 분석

노드 수가 유한한 시스템은 보통 이산 마코프 연쇄(discrete-time Markov chain)를 이용하여 분석한다. 그러나 유한 노드 시스템의 정확한 분석은 대개 상태 공

간(state space)이 지나치게 커지므로 수치적 계산은 상당히 어렵게 된다. 따라서, 본 논문에서는 참고문헌 [4]에서 제시된 모델을 각 서브네트워크에 적용하여 근사화된 분석법을 써서 성능 분석을 한다.

g번째 슬롯에서 노드 i의 상태는  $X_{ig}$ 로 나타내며, 이것은 노드 i의 g번째 큐에 있는 패킷의 수를 나타낸다. 따라서 그 범위는  $0 \leq X_{ig} \leq L_{ig}$ 이고, 여기서  $L_{ig}$ 는 노드 i의 g번째 큐의 버퍼 크기를 나타낸다. 시스템 성능 분석시, 다른 노드들의 영향은 g번째 슬롯에서 노드 i가 전송에 성공할 확률  $S_{ig}^{(g)}$ 을 계산할 때 고려된다.

먼저, g번째 슬롯에서 노드 i의 천이 확률 행렬(transition probability matrix)  $P_{ig}^{(g)}$ 을 구하기 위해서는 g번째 슬롯의 시작 당시 g번째 큐에 j개의 패킷을 가지고 있다가, 다음 사이클의 g번째 슬롯의 시작시 g번째 큐에 k개의 패킷을 가지고 있을 천이 확률  $P_{j \rightarrow k}^{(g)}$ 를 정의하며 또한, 다음과 같은 정의를 사용한다.

$$\begin{aligned} \beta_{ig}^{(g)} &= \lambda_{ig}(1 - S_{ig}^{(g)}) \\ \sigma_{ig}^{(g)} &= S_{ig}^{(g)}(1 - \lambda_{ig}) \end{aligned}$$

이 때,  $\beta_{ig}^{(g)}$ 와  $\sigma_{ig}^{(g)}$ 는 각각 상태 j에서의 생성, 소멸확률을 나타내며, 노드 i의 g번째 큐에 새로운 패킷이 도착할 확률은  $\lambda_{ig}$ 로 나타낸다. 위와 같은 정의들을 사용하여 노드 i의 천이 확률을 구해 보면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{j \rightarrow k}^{(g)} = \begin{cases} 1 - \lambda_{ig} & j = k = 0 \\ \lambda_{ig} & j = 0, k = 1 \\ \sigma_{ig}^{(g)} & 0 < j \leq L_{ig}, k = j - 1 \\ 1 - \beta_{ig}^{(g)} - \sigma_{ig}^{(g)} & 0 < j < L_{ig}, k = j \\ \beta_{ig}^{(g)} & 0 < j < L_{ig}, k = j + 1 \\ 1 - \sigma_{ig}^{(g)} & j = k = L_{ig} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

위와 같은 천이 확률의 계산은 그림 6과 같은 이산 마코프 연쇄 모델을 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

성능 분석을 위해서는 천이 확률 외에도, 위와 같은 마코프 연쇄의 정상 상태 확률 벡터(steady state probability vector)  $\Pi_{ig}^{(g)}$ 도 필요하게 된다. 정상 상태 확률 벡터를 구하기 위해서는 g번째 슬롯의 시작점에서 노드 i의 g번째 큐에 j개의 패킷이 있을 정상 상태 확률  $\Pi_{ig}^{(g)}$ 이

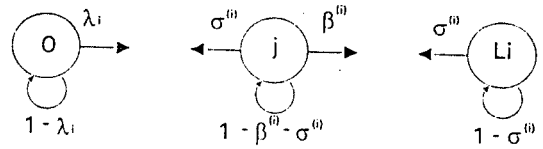


그림 6 노드 i에서의 마코프 연쇄 모델  
Fig. 6 Markov chain for node i

필요하게 된다. 이 정의를 이용하고, 다음과 같은 방정식을 풀면 정상 상태 확률을 구할 수 있다.

$$\Pi_{ig}^{(g)} P_{ig}^{(g)} = \Pi_{ig}^{(g)} ; \sum_{j=0}^{L_{ig}} \Pi_{ig}^{(g)} = 1 \quad (5)$$

$$\Pi_{jg}^{(g)} = \frac{\lambda_{ig}}{\beta_{ig}^{(g)}} \left( \frac{\beta_{ig}^{(g)}}{\sigma_{ig}^{(g)}} \right)^j \Pi_{0g}^{(g)} ; 0 < j \leq L_{ig} \quad (6)$$

$$\Pi_{0g}^{(g)} = \left[ 1 + \frac{\lambda_{ig}}{\sigma_{ig}^{(g)}} \frac{\left( \frac{\beta_{ig}^{(g)}}{\sigma_{ig}^{(g)}} \right)^{L_{ig}} - 1}{\frac{\beta_{ig}^{(g)}}{\sigma_{ig}^{(g)}} - 1} \right]^{-1} ; \quad (7)$$

$$i = 1, \dots, N.$$

마지막으로, 노드 i가 전송에 성공할 확률  $S_{ig}^{(g)}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.<sup>(4)</sup>

$$S_{ig}^{(g)} = \rho_{ig} \sum_{k=1}^{\infty} \delta_{ik}^{(g)} \prod_{j \neq i} [ 1 - \delta_{kj}^{(g)} \rho_{jk} (1 - \Pi_{0g}^{(g)}) ] \quad (8)$$

위 식에서,  $\rho_{ig}$ 는 g번째 슬롯에서 노드 i가 노드 j에 패킷을 전송할 확률을 나타내며,  $\delta_{ik}^{(g)}$ 는 g번째 슬롯에서 노드 i가 채널 k를 이용하여 패킷을 전송할 확률을 나타낸다. 노드 i는 버퍼에 먼저 도착한 패킷부터 전송하는 방식을 사용하였다(FIFS).

성능 분석시에 시스템 성능을 나타내는 척도로는 다음과 같은 성능 척도(performance measure)가 중요한 역할을 한다. 먼저 총 시스템 처리율 TP로, 한 사이클당 전송에 성공하는 평균 패킷수를 나타낸다. 다음으로는 g번째 슬롯에서 노드 i의 처리율  $TP_{ig}$ 로, 노드 i의 g번째 큐에 도착한 패킷들중에서 g번째 슬롯에서 전송에 성공한 평균 패킷수를 나타낸다. 마지막으로 노드 i의 g번째 큐에서의 평균 패킷 지연 시간  $D_{ig}$ 로, 시스템 내에서 패킷이 전송에 성공할 때까지 머무르는 시간 슬롯의 수를 나타낸다. 이와 같은 성능 척도를 다음과 같이 구하고자 한다.

일단 위와 같은 식을 이용하여 정상 상태 확률  $\Pi_k^{(i)}$ 과 전송 성공 확률  $S_k^{(i)}$ 을 구하고 나면,  $g$ 번째 슬롯에서 노드  $i$ 의 처리율  $TP_{ig}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$TP_{ig} = (1 - \prod_{k=1}^G S_k^{(i)}) \quad (9)$$

마찬가지로 총 시스템의 처리율  $TP$ 도 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$TP = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^N TP_{ig} \quad (10)$$

그리고 노드  $i$ 의  $g$ 번째 큐에서의 평균 대기 길이(average queue length)  $Q_{ig}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$Q_{ig} = \sum_{j=0}^{L_k} j G \prod_{k=1}^{L_k} \quad (11)$$

$g$ 번째 슬롯에서 노드  $i$ 가 전송에 성공하는 패킷의 평균 지연 시간  $D_{ig}$ 은 리틀의 정리(Little's theorem)를 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_{ig} = \frac{Q_{ig}}{TP_{ig}} \quad (12)$$

## V. 수치적 결과

### A. 시스템 성능

이 장에서는 앞 장에서 얻은 식들을 이용해서 시스템 성능의 수치적 결과를 보여주려 한다. 시스템의 성능에 영향을 미치는 시스템 파라미터인 네트워크 멀티플리시티, 패킷 전송 확률, 각 노드의 버퍼의 수와 시스템의 총 노드 수의 변화에 따라 결과를 얻었으며, 이를 통해 시스템 성능이 가장 향상되었을 때의 시스템 파라미터값들을 찾았다. 모든 결과는 시스템 내의 총 노드 수로 정규화된 총 시스템 처리율과 평균 패킷 지연 시간의 관계에 대한 그래프로 나타내었다.

계산의 편의를 위하여, 여기서는 균일한 트래픽 조건(uniform traffic condition)만을 고려하였다. 균일한 트래픽 조건은 임의의 노드의 각 큐에 새로운 패킷이 도착하는 확률이 동일한 경우이다. 즉, 임의의 노드의 각 큐에 패킷이 도착하는 확률은 그 노드에 임의의 수신 노

드를 갖는 새로운 패킷이 도착할 확률의  $1/G$ 이 된다. 따라서,  $\lambda_i$ 가 노드  $i$ 에 새로운 패킷이 도착할 확률이라면, 정의에 의해서 각 큐에 패킷이 도착할 확률은  $\lambda_{ik} = \lambda_i/G$ (임의의  $g, g=1, \dots, G$ )로 나타낼 수 있다. 또한 각 노드가 homogeneous한 성질을 갖는다고 가정하였다. 노드가 homogeneous한 경우는 임의의 노드의 각 큐의 버퍼크기( $L_{ig} = L_i = L$ )와 패킷 전송 확률( $P_{ig} = P_i = P$ )이 전부 동일할 때를 말한다. 결론적으로 균일한 트래픽 조건과 노드가 homogeneous한 조건하에서는 앞 장에서 얻은 수식들에서 첨자  $i$ 와  $g$ 가 없는 것으로 간주해도 무방하다.

대부분의 결과에서 제안된 프로토콜의 성능을 TDMA 방식의 성능과 비교해 보았다. TDMA 방식의 경우에는 충돌 방지 방식(contention-free scheme)을 이용하므로 시스템의 처리율은 주어진 부하가 되며, 평균 패킷 지연 시간은 참고문헌 [12]에서 다음과 같이 유도되었다.

$$E[d_{i,j}] = 1 + \frac{N-1}{2(1-N\lambda_{ij})} \quad (13)$$

여기서  $N$ 은 시스템 내의 노드 수를 나타내며,  $\lambda_{ij}$ 는 임의의 슬롯에서 수신될 노드가  $j$ 인 패킷이 노드  $i$ 에 도착할 확률이다.

그림 7은 네트워크 멀티플리시티  $\Gamma$ 의 변화에 따른 시스템 성능의 변화를 나타낸다. 성능 분석시에 사용한 파라미터는 노드 수  $N=64$ 인 네트워크를 가정하였고, 송신기 모듈의 튜닝 범위  $w=4$ 로 하였으며, 노드의 각 큐의 버퍼 크기  $L=4$  그리고 패킷 전송 확률  $p=0.2$ 를 이용하였다. 따라서  $\Gamma=2$ 인 경우에는 총  $W=32$ 개의 파장이 필요하게 되고,  $G=W/w=8$ 개의 송수신 그룹이 필요하게 된다.  $\Gamma=4$ 인 경우에는  $W=16$ 개의 파장과  $G=4$ 개의 그룹들이 요구된다. 네트워크 멀티플리시티가 증가함에 따라 요구되는 파장의 수가 줄어드는 것을 알 수 있다. 네트워크 멀티플리시티가  $\Gamma=2, 4$ 인 경우에 부하의 함수로 평균 지연 시간과 정규화된 처리율을 계산하였다. 계산 결과, 네트워크 멀티플리시티가 증가함에 따라 정규화된 처리율은 줄어든다. 이것은 네트워크 멀티플리시티가 증가하면 패킷 충돌 확률이 증가하여 시스템 처리율이 감소하는 결과를 초래한 것이다. TDMA 방식의 성



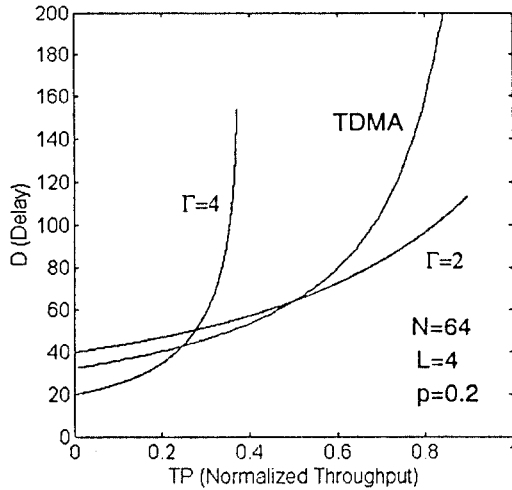


그림 7  $\Gamma$ 값을 변화시켰을 때 평균 지연 시간과 정규화된 시스템 처리율의 관계

$N=64, L=4, p=0.2$ .

Fig. 7 Average packet delay versus normalized system throughput for two values of  $\Gamma$

$N=64, L=4, p=0.2$ .

능도 같은 조건에서 구하였으며,  $\Gamma=2$ 인 경우에는 어떠한 부하 조건하에서도 TDMA 방식에 견줄 만한 성능을 나타낸다. 따라서 네트워크에 사용되는 파장의 수를 줄이기 위해서는 네트워크 멀티플리시티가 큰 값을 이용해야 하지만 이 경우에는 성능이 TDMA 방식보다도 나빠지므로 네트워크 멀티플리시티  $\Gamma$ 가 2인 경우에 총 노드수의 1/2만큼의 파장을 이용하여 TDMA 방식의 성능보다 좋은 성능을 얻을 수 있다.

그림 8에서는 그룹의 수를 변화시킬 경우에 성능의 변화를 나타내었다. 그룹 수는  $G=2, 4, 8, 16$ 의 값을 사용하였으며, 시스템 파라미터들은  $N=64, \Gamma=2, L=4, p=0.5$ 를 사용하여 성능을 분석하였다. 그룹 수가 증가함에 따라 정규화된 처리율과 평균 지연 시간이 모두 증가하였다. 낮은 부하 조건하에서는  $G$ 값이 클수록 평균 지연 시간이 증가하지만,  $G$ 값의 일정한 범위 안에서는  $G$ 값이 클수록 전체적인 성능은 향상되었다.  $G$ 값이 8이상이 되면, 평균 지연 시간의 증가가 현저해지므로  $G=8$ 일 경우가 시스템의 처리율과 평균 지연 시간에서 모두 향상된 성능을 나타내는 값임을 알 수 있다. 그리고  $G=4$ 의 경우에도 TDMA방식의 성능과 비교할 만한 좋은 성능을 보여준다.

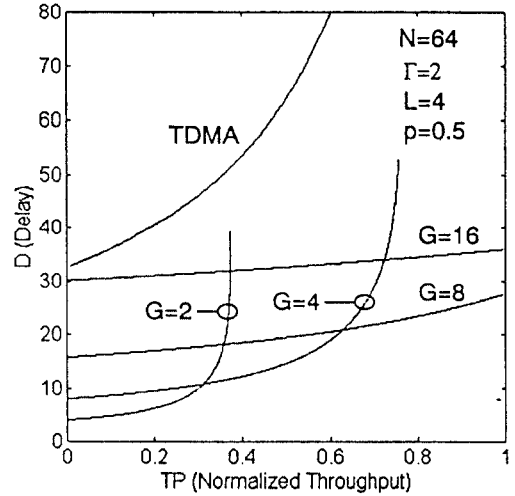


그림 8  $G$ 값을 변화시켰을 때 평균 지연 시간과 정규화된 시스템 처리율의 관계

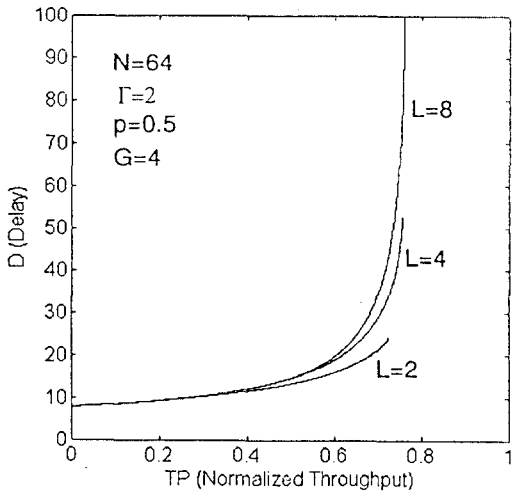
$N=64, \Gamma=2, L=4, p=0.5$ .

Fig. 8 Average packet delay versus normalized system throughput for four values of  $G$ ,

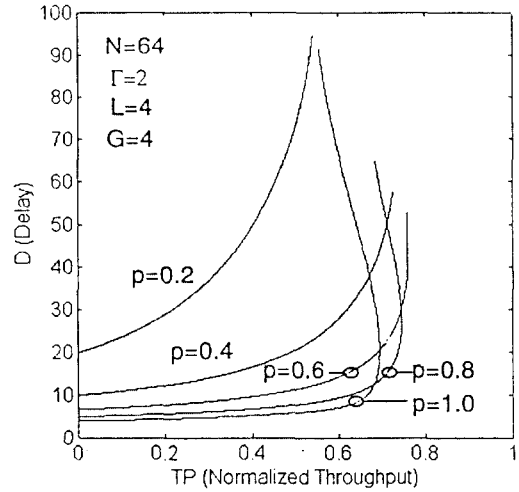
$N=64, \Gamma=2, L=4, p=0.5$ .

고려하고자 하는 나머지 파라미터들인 각 큐의 버퍼 크기  $L$ 와 패킷 전송 확률  $p$ 의 시스템 성능에 대한 영향을 알아보기 위해  $L=2, 4, 8$ 인 경우와  $p=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ 인 경우에 대해서 성능을 계산해 보았다. 여기서는 앞의 결과에서 알 수 있듯이 향상된 성능을 얻을 수 있는 파라미터값인  $G=4, 8$ 과  $\Gamma=2$ 를 이용하였다. 먼저 그림 9로부터 버퍼의 크기가 증가함에 따라 시스템의 처리율이 증가함을 알 수 있다. 이것은 버퍼의 크기가 증가함에 따라 버퍼가 패킷을 수용하지 못할 확률 (buffer rejection probability)이 낮아지기 때문이다. 패킷 전송 확률  $p$ 의 영향은 그림 10에서 나타내었다.  $G=4$ 의 경우에는 패킷 전송 확률이 증가함에 따라 패킷이 충돌할 확률이 증가한다. 따라서 높은 부하 조건하에서 시스템의 처리율이 낮아진다. 그러나  $G=8$ 의 경우에는  $G=4$ 와는 다르게 높은 패킷 전송 확률이 시스템의 처리율을 저하시키지 않는다. 왜냐하면 그룹 수가 증가함에 따라 하나의 그룹에 속하는 노드의 수가 줄어서 패킷 전송 확률이 증가해도 패킷끼리 충돌할 확률의 증가가 두드러지지 않기 때문이다.

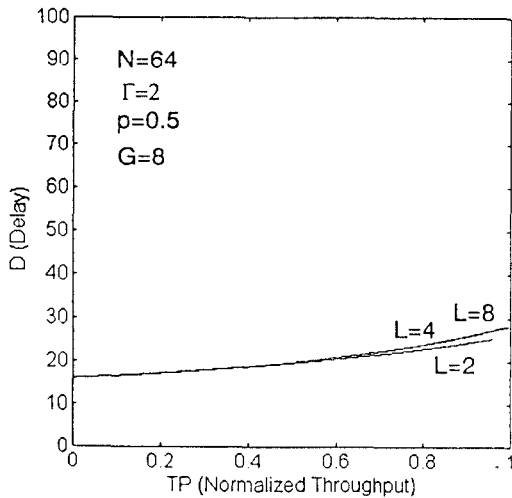
위의 결과로부터  $N=64$ 인 경우에 시스템 성능의 향상을 얻을 수 있는 여러 가지 시스템 파라미터값들을 정리



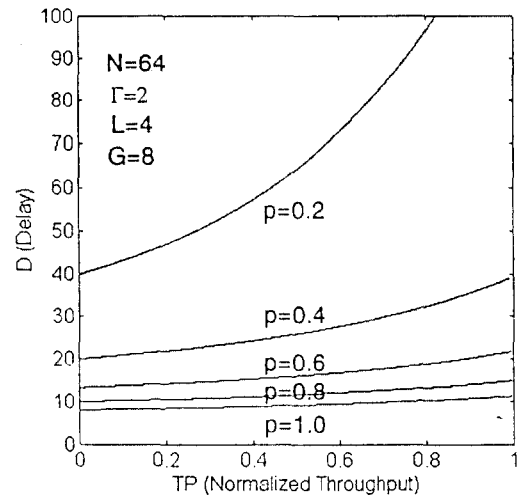
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 9 L값을 변화시켰을 때 평균 지연 시간과 정규화된 시스템 처리율의 관계

$N=64, \Gamma=2, p=0.5$ . (a)  $G=4$  (b)  $G=8$

Fig. 9 Average packet delay versus normalized system throughput for three values of L

$N=64, \Gamma=2, p=0.5$ . (a)  $G=4$  (b)  $G=8$

그림 10 p값을 변화시켰을 때 평균 지연 시간과 정규화된 시스템 처리율의 관계

$N=64, \Gamma=2, L=4$ . (a)  $G=4$  (b)  $G=8$

Fig. 10 Average packet delay versus normalized system throughput for four values of p

$N=64, \Gamma=2, L=4$ . (a)  $G=4$  (b)  $G=8$

해 보면, 네트워크 멀티플리시티  $\Gamma=2$ , 그룹 수  $G=8$ , 가능한 한 큰 버퍼 크기 그리고 높은 패킷 전송 확률( $p=1.0$ )이다. 위의 결과가 다른 노드수를 갖는 네트워크의 경우에도 적용되는지 확인하기 위하여 그림 11처럼  $N=128$

인 경우에 대해 위에서 얻은 시스템 파라미터값들인  $\Gamma=2, p=0.5, L=8, G=4, 8$ 를 사용하여 시스템의 성능을 계산해 보았다. 이로부터  $G=8$ 인 경우에는 어떠한 부하 조건하에서도 향상된 성능을 가짐을 확인하였고,

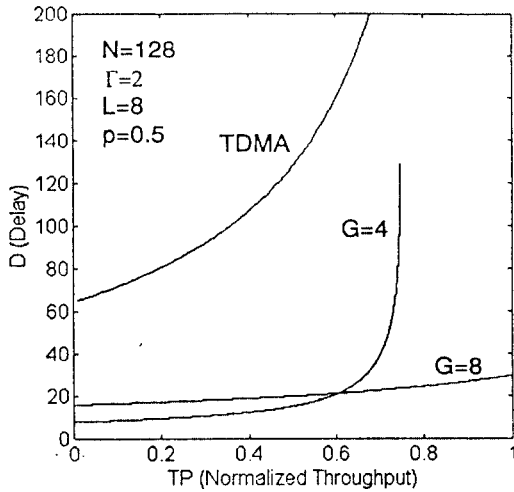


그림 11 G값을 변화시켰을 때 평균 지연 시간과 정규화된 시스템 처리율의 관계  
 $N=128, \Gamma=2, L=8, p=0.5$ .  
 Fig. 11 Average packet delay versus normalized system throughput for two values of G  
 $N=128, \Gamma=2, L=8, p=0.5$ .

G=4인 경우에도 TDMA 방식의 성능보다 나은 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 이 결과는 앞서 행한  $N=64$ 의 경우와 잘 일치함을 알 수 있다. 또한,  $N=32$ 인 경우에도 일치하는 결과를 보여준다는 것을 다음의 그림 12에서 확인할 수 있을 것이다.

다음으로 제안된 프로토콜의 경우( $G=4, 8$ )와 TDMA 방식, 본래의 슬롯화된 ALOHA 프로토콜( $G=1$ ) 그리고 참고문헌 [3]의 파장-시간 할당 프로토콜 2(wta-protocol 2)의 성능을 비교해 보았다. 그림 12에서 위 다섯 가지 프로토콜의 성능을 평균 지연 시간과 시스템 처리율의 관계를 이용해 나타내었다. TDMA 방식과 참고문헌 [3]의 파장-시간 할당 프로토콜 2의 경우에는 평균 지연 시간이 거의 지수 함수적으로 증가하는 반면,  $G=8$ 인 경우에는 지연 시간이 일차함수적으로 증가하는 성능을 보여줌을 알 수 있다. 그리고  $G=4$ 인 경우에도 상당히 좋은 성능을 갖고 있음을 알 수 있다. 따라서 위의 결과로부터 제안된 프로토콜은 본래의 슬롯화된 ALOHA 프로토콜이나 TDMA 방식 그리고 파장-시간 할당 프로토콜 2보다도 나은 성능을 가짐을 알 수 있다.

마지막으로 언급하고자 하는 것은 제안된 프로토콜은 균일하지 않은 트래픽 환경에도 쉽게 적용할 수 있는 장

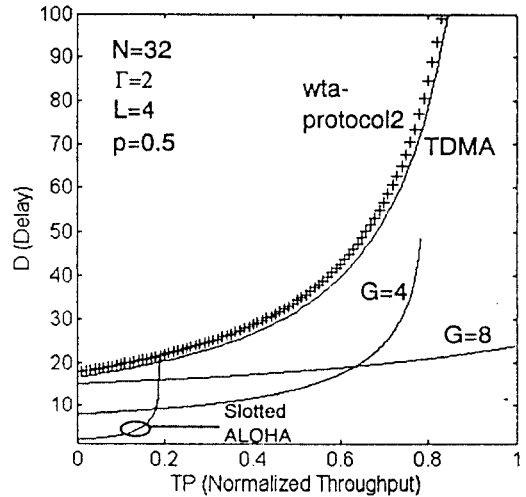


그림 12 평균 지연 시간과 정규화된 시스템 처리율의 관계. 제안된 프로토콜( $G=4,8$ )과 본래의 슬롯화된 ALOHA, TDMA 방식 그리고 파장-시간 할당 프로토콜 2와의 비교 :  $N=32, \Gamma=2, L=4, p=0.5$ .  
 Fig. 12 Average packet delay versus normalized system throughput. Comparison of the proposed protocols( $G=4, 8$ ) with original slotted ALOHA, TDMA scheme and wta-protocol 2 :  $N=32, \Gamma=2, L=4, p=0.5$ .

점을 가지고 있다는 점이다. 즉 각 노드에 패킷이 도착할 확률이 균일하지 않은 경우에는 패킷 도착 확률( $\lambda_i$ )이 큰 노드에는 높은 패킷 전송 확률( $p_i$ )과 큰 버퍼를 할당함으로써 TDMA가 균일하지 않은 트래픽 환경에서 갖는 문제점을 개선시킬 수 있다.<sup>(4)</sup> 또한 각 노드에 패킷이 도착하는 확률을 고려하여 하나의 송신 그룹에 패킷 도착 확률이 큰 노드들이 모이지 않게 하고 각 송신 그룹의 전체적 패킷 도착 확률이 균일하도록 그룹을 결정하는 방법 등을 이용하면 보다 나은 성능을 얻을 수 있다.<sup>(10)</sup>

B. 시뮬레이션

제안된 프로토콜의 분석에 이용한 방법의 정확도를 알아보기 위해서 분석적인 방법의 결과와 시뮬레이션의 결과를 비교해 보았다. 성능 척도로는 앞서 수치적 결과를 얻을 때와 마찬가지로 시스템 부하( $b$ )의 함수로써 정규화된 처리율(TP)과 평균 패킷 지연 시간(D)을 이용하였다.

표 IV에서는  $N=64$ 인 경우에 대해 시스템 파라미터  $\Gamma=2, G=8, p=0.5$  그리고  $L=4$ 를 사용하여 얻은 분석적 결과와 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 이 표에서 알

표 4 분석적 결과와 시뮬레이션 결과.  
N=64, G=8, Γ=2, p=0.5, L=4.

Table IV Analytical and simulation results.  
N=64, G=8, Γ=2, p=0.5 and L=4.

b	TP		D	
	Ana.	Sim.	Ana.	Sim.
0.5	0.5	0.5	15.7918	12.4689
1.0	1.0	1.0	15.8341	12.7448
2.0	2.0	2.0	15.9197	12.8384
4.0	4.0	4.0	16.0953	14.0031
6.0	6.0	6.0	16.2772	14.6827
8.0	8.0	8.0	16.4658	16.2339
10.0	10.0	10.0	16.6615	16.3543

수 있듯이 정규화된 처리율은 분석적 결과와 시뮬레이션 결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 평균 패킷 지연 시간은 부하가 적을 경우에 두 결과 사이에 20% 정도의 차이가 나지만 부하가 증가할수록 두 결과가 유사해짐을 알 수 있다. 평균 패킷 지연 시간의 경우에 발생하는 이러한 차이는 분석적인 방법이 근사화된 모델을 사용하였기 때문에 부하가 증가하거나 패킷 전송 확률이 클 경우에는 분석 결과의 부정확도가 증가한다.<sup>(1)</sup> 본 논문에서는 시스템 부하를 G개의 서로 다른 큐에 저장함으로써 부하의 증가보다는 큰 패킷 전송 확률에 의해 차이가 발생한다. 특히 부하가 적은 경우에는 패킷간의 충돌 확률이 상당히 줄어드는 대신 패킷 전송 확률이 크게 증가하였으므로(p=0.5) 분석치보다 낮은 패킷 지연 시간을 나타낸다. 표 V에서는 패킷 전송 확률을 증가시켰을 경우에 분석적 결과와 시뮬레이션 결과를 비교해 보았다. 여기서도 패킷 전송 확률이 증가할수록 부정확도가 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 분석적 결과에서

표 5 p값의 증가에 따른 분석적 결과와 시뮬레이션 결과.  
N=64, G=8, Γ=2, L=4.

Table V Analytical and simulation results as a function of packet transmission probability(p).  
N=64, G=8, Γ=2 and L=4.

b	TP					
	p=0.6		p=0.8		p=1.0	
	Ana.	Sim.	Ana.	Sim.	Ana.	Sim.
10.0	14.0136	12.1997	10.4193	7.2144	8.2924	4.8816
20.0	14.8258	17.0329	10.9139	9.2610	8.6353	5.9498
30.0	15.8144	18.4592	11.5072	12.6269	9.0439	7.2673

와 마찬가지로 패킷 전송 확률이 증가할수록 평균 패킷 지연 시간이 줄어든다는 것은 확인할 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 WDM 다채널 스타 네트워크에서 효과적인 미디어 액세스 프로토콜인 그룹 슬롯화된 ALOHA 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 노드들을 송수신그룹으로 만들고, 송수신그룹간의 통신을 위해 슬롯화된 ALOHA 프로토콜과 TDMA 방식의 장점을 이용하였다. 이 프로토콜을 제한된 튜닝 범위를 갖는 레이저와 제한된 수의 광학 집적 파장 필터들을 사용하는 시스템에 적용하였다. 근사화된 모델을 이용하여 제안된 프로토콜의 성능을 분석하였으며, 시스템 성능에 영향을 미치는 파라미터들인 그룹의 갯수, 네트워크 멀티플리시티, 비퍼의 갯수 그리고 패킷 전송 확률들의 적절한 값들을 찾았다. N=32, 64, 128인 경우에 G=8, Γ=2, 가능한 한 큰 비퍼 크기 그리고 높은 패킷 전송 확률(p=1.0)들을 시스템 파라미터로 사용하면 다른 프로토콜들과 비교해 볼때 시스템 처리율과 평균 지연 시간 모두에서 향상된 성능을 얻을 수 있음을 알아냈다. N의 값이 더욱 증가하여도 유사한 결과를 얻을 것으로 추측된다. 따라서 제안된 채널 액세스 프로토콜은 고속 LAN(Local Area Network)과 MAN (Metropolitan Area Network)에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. B. Mukherjee, "WDM-Based Local Lightwave Networks part I : Single-Hop Systems," IEEE Network, pp. 12-27, May 1992.
2. C. A. Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks: Principle and Applications," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 8, no. 6, pp. 948-964, Aug. 1990.
3. J. H. Laarhuis, A. M. J. Koonen, "An Efficient Medium Access Control Strategy for High-Speed WDM Multiaccess Networks," J. Lightwave Technol., vol. 11, no. 5/6, pp. 1078-1087, May/June 1993.

4. A. Ganz, Z. Koren, "Performance and Design Evaluation of WDM Stars," J. Lightwave Technol. , vol. 11, no. 2, pp. 358-366, Feb. 1993.
5. G. N. M. Sudhakar, N. D. Georganas, M. Kavehrad, "Slotted Aloha and Reservation Aloha Protocols for Very High-Speed Optical Fiber Local Area Networks Using Passive Star Topology," J. Lightwave Technol. , vol. 9, no. 10, pp. 1411-1422, Oct. 1991.
6. I. M. I. Habbab, M. Kavehrad, and C. E. W. Sundberg, "Protocols for Very High-Speed Optical Fiber Local Area Networks Using a Passive Star Topology," J. Lightwave Technol. , vol. LT-5, no. 12, pp. 1782-1793, Dec. 1987.
7. N. Mehravari, "Performance and Protocol Improvements for Very High-speed Optical Fiber Local Area Networks Using a Passive Star Topology," J. Lightwave Technol. , vol. 8, no. 4, pp. 520-530, Apr. 1990.
8. P. W. Dowd, "Random Access Protocols for High-Speed Interprocessor Communication Based on an Optical Passive Star Topology," J. Lightwave Technol. , vol. 9, no. 6, pp. 799-808, Jun. 1991.
9. R. Chipalkatti, Z. Zhang, and A. S. Acampora, "Protocols for Optical Star-Coupler Network Using WDM: Performance and Complexity Study," IEEE J. Select. Areas Commun. , vol. 11, no. 4, pp. 579-589, May 1993.
10. B. Kannan, S. Fotedar, M. Gerla, "A Protocol for WDM Star Coupler Networks," Proc. of IEEE INFOCOM'94, 11d. 3. 1-11d. 3. 8, 1994.
11. B. Mukherjee, "WDM-Based Local Lightwave Networks part II : Multihop Systems," IEEE Network, pp. 20-32, Jul. 1992.
12. I. Rubin, Z. Zhang, "Message Delay Analysis for TDMA Schemes Using Contiguous-Slot Assignments," IEEE Trans. Commun. , vol. 40, no. 4, pp. 730-737, Apr. 1992.



池尹圭(Yoon Kyoo Jhee), 정희원

1978년 : 서울대학교 전자공학과, 학사

1980년 : 서울대학교 대학원 전자공학과, 석사

1984년 : The University of Texas at Austin, 박사

1984~1989년 : AT&T Bell 연구, MTS

1989~1994년 : KAIST 전기 및 전자공학과, 조교수, 부교수

1994~현재: 이화여자대학교 전자공학과 부교수

※주요관심분야: 광통신, 광대역통신



金哲漢(Chul Han Kim),

1969년 8월 4일생

1988년 : 서울 장훈고등학교 졸업

1993년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(학사)

1995년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)

현재: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 1년 차 재학중

※관심분야: 광통신 시스템, Nonlinear optics