

論文2000-37TC-6-1

과장 분할 다중화 방식을 사용하는 광 전송망을 위한 분리 제어 신호 방식

(Separated Control Signaling Protocol for WDM Optical Networks)

魯善植*, 金秀眩*, 蘇元鎬*, 金永川**

(S.S.Roh, S.H.Kim, W.H.So, and Y.C.Kim)

요약

본 논문에서는 WDM 망에서 연결의 설정 및 해제를 효율적으로 제어하기 위한 분리 제어 신호방식 (Separated Control Signaling Protocol : SCSP)을 제안하였다. 제안된 분리 제어 신호 방식은 기존의 연결 제어 기능을 과장 및 각 노드 자원의 가용성을 점검하는 호 제어와 망 자원의 예약 및 할당을 위한 베어러 제어로 분리함으로써, 자원을 예약하기 전에 망 자원의 가용성을 점검하고 망 자원의 예약 시간을 줄일 수 있도록 하여 효율적으로 망 자원을 이용하며 또한 연결 설정 요청 수락률을 증가시킬 수 있다. 분리 신호 방식을 위한 노드 구조는 호 제어 기능을 수행하는 호 제어기와 베어러 제어 기능을 수행하는 베어러 제어기로 구성하였으며, 이에 대한 각 제어기의 기능과 제어기간의 정보 교환을 위한 제어 메시지 및 프리미티브를 정의하고 상태 전이도를 설계하였다. 이를 기반으로 분리 신호 방식에서의 연결 설정, 해제 및 실패에 대한 정보 흐름도를 작성하였다.

제안된 분리 제어 신호 방식의 성능 평가를 위해 다양한 시뮬레이션을 수행하였다. 성능 평가 결과 연결 요청 거절 확률과 자원의 이용률 측면에서 분리 제어 신호 방식이 기존의 통합 제어 신호 방식보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a novel control signaling protocol that efficiently controls connection setup and increases the utilization of network resources. The proposed protocol, Separated Control Signaling Protocol(SCSP), separates bearer control from call control for WDM optical networks. The main function of call control is to check the availability of network resources such as wavelengths and receivers at destination node. Bearer control is to reserve and assign wavelengths. The signaling architecture of this protocol consists of call controller and bearer controller. The call controller handles call setup and release, activates the bearer controller, and manages the status of call and bearer. The bearer controller reserves wavelengths, sets up bearer, tears down bearer, and notifies the status of bearer to call controller. The state transition diagrams of each controller are designed. Using control messages and related primitives, the information flows for call setup and bearer setup, bearer teardown and call release, and reaction for setup failures are described to evaluate the performance. The simulation results show that the separated control signaling protocol is superior to conventional one in terms of call blocking probability and resource utilization.

* 正會員, 全北大學校 컴퓨터工學科
(Dept. of Computer Eng., Chonbuk Nat'l Univ.)

** 正會員, 全北大學校 情報通信研究所
(Institute of Info. & Commun., Chonbuk Nat'l Univ.)
接受日字:2000年1月21日, 수정완료일:2000年5月24日

I. 서론

최근 HDTV 및 화상 회의와 같은 대용량의 멀티미디어 서비스의 수요가 급증함에 따라 이를 전송하기 위한 통신망의 광대역화가 시급히 요구되고 있다. 이런 요구를 수용하기 위해서 광섬유의 넓은 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있는 파장분할 다중화(WDM) 기법을 적용한 전광 통신망의 구현이 활발히 시도되고 있다^[1,2].

광 통신망의 신호 방식은 중앙 집중 제어 방식과 분산 제어 방식으로 구분할 수 있다. 중앙 집중 제어 방식에서는 모든 제어 정보를 특정 노드에서 관리하며, 분산 제어 방식에서는 제어 정보를 망의 각 노드에 분산하여 관리한다. 망의 규모가 커질수록 제어 트래픽이 증가됨에 따라 특정 노드에서 제어 정보를 관리하는 중앙 집중 제어 방식보다는 망의 각 노드에 제어 정보를 분산하여 관리하는 분산 제어 방식이 적합하다.

분산 제어 방식은 제어 정보들이 각 노드에 분산되어 있으므로, 근원지에서 목적지까지 연결 설정을 위해 경로 상의 노드들 간에 제어 정보를 상호 교환해야 한다. 제어 정보를 효율적으로 교환하기 위해서 광 통신망은 광 데이터 전송망과는 별도의 제어망을 이용한다^[3]. 제어 망은 광 데이터 전송 망에서 사용하는 광섬유의 다중 파장 중 한 파장을 이용하여 광 데이터 전송 망과 같은 물리적 토폴로지를 갖도록 구성하거나, 데이터 전송망과는 무관하게 별도의 망을 이용하여 구현될 수 있다.

광 통신망에서 한 노드가 임의의 다른 노드에게 데이터를 전송하기 위해서는 우선적으로 제어 망을 통해 연결 설정에 필요한 제어 정보를 교환함으로써 목적지 노드까지의 광 경로의 연결을 설정한다. 광 경로의 연결 설정은 경로(route)와 파장으로 구성되므로 이들 망 자원의 경로와 파장을 예약하고 설정해야 한다. 따라서 제어 망에서 동적으로 변화하는 연결 설정 요청에 대해 효율적이고 신뢰성 있게 광경로를 설정하고 해제하기 위한 신호 방식이 요구된다.

기존의 신호 방식^[1-6]에서 광경로 설정은 경로와 파장의 가용성을 점검하여 결정하는 단계, 선택된 경로와 파장을 예약하는 단계 그리고 예약된 경로와 파장을 설정하는 단계로 이루어진다. 연결 설정 요구를 받은

근원지 노드는 목적지 노드까지의 경로와 파장을 결정 후 파장을 예약하고, 제어 메시지를 선택된 경로상의 다음 노드에 보냄으로써 연결 설정을 진행한다. 하지만 이러한 신호 방식에서는 망 자원을 예약하는 과정이 경로 결정 및 망 자원의 가용성 점검과 일괄적으로 처리됨으로써 망 자원의 예약 시간을 증가시키는 결과를 초래한다. 이는 망 자원을 비효율적으로 사용하게 하며, 예약 시간의 증가로 인해 다른 연결 설정 요청에 대한 거절 확률을 증가시킨다. 또한 기존의 신호 방식에서는 수신기의 사용 가능성의 점검없이 망 자원을 예약함으로써 근원지와 목적지까지의 파장 예약에 성공할지라도 수신기의 상태에 따라 연결 설정이 실패될 수 있으며, 이 과정 동안에 예약된 파장은 사용할 수 없게 되므로 망 자원의 낭비를 초래하게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 분리 제어 신호 방식을 제안하였다. 제안한 신호 방식에서는 빠른 망 자원의 예약을 가능케 하고, 예약하기 전에 망 자원의 가용성을 점검하기 위해 기존의 신호 제어 기능을 호 제어와 베어러 제어로 분리하였다. 호 제어는 망 자원의 사용 가능성 여부를 점검하여 사용 정보를 베어러에게 넘겨준다. 베어러 제어는 망 자원의 사용 정보를 기반으로 파장 및 망 자원을 예약한다. 분리 제어 신호 방식에서 노드는 호 제어기와 베어러 제어기로 구성된다. 동일 노드 및 다른 노드에 있는 각 제어기간의 제어 정보 전송을 위해 제어 메시지와 프리미티브를 정의하고, 각 제어기의 상태 천이도를 작성하였다. 이를 기반으로 분리 신호 방식에서의 연결 설정 및 해제와 설정 실패에 대한 정보 흐름도를 작성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 예약 기반 신호 방식 및 기존의 신호 방식의 문제점에 대하여 기술하였다. III장에서 호 제어와 베어러 제어 기능을 분리하고, 분리 제어 신호 방식을 제공하기 위한 노드 구조 및 각 제어기의 상태를 정의하여 상태 천이도를 작성하였다. 또한 제어 메시지와 프리미티브를 이용하여 호와 베어러 설정 및 해제를 위한 정보 흐름도를 제시하였다. IV장에서는 시뮬레이션 및 시뮬레이션 결과를 비교·분석하고, 마지막으로 결론을 다루었다.

II. 예약 기반 신호 방식

1. 예약 기반 신호 방식

광 통신망에서 데이터를 전송하기 위해서는 제어 신호를 이용한 연결 설정이 우선적으로 이루어져야 한다. 연결 설정 요청에 대하여 망 자원을 설정할 수 있으면 그 연결 설정 요청은 수락된다. 하지만 망 자원의 부족이나 망 자원 설정의 충돌이 발생하면 연결 설정 요청은 거절된다. 따라서 제어 망을 통해 망 자원의 이용률을 높이며 연결 설정 요청 거절률을 줄일 수 있는 효율적인 신호 방식을 설계해야 한다.

연결 설정 요구에 대한 거절률을 줄이기 위해서 광 통신망에서는 예약에 기반을 둔 신호 방식이 이용된다. 데이터 전송을 위한 연결이 설정되기 전에 예약 과정을 이용하여 근원지 노드에서 목적지 노드까지의 망 자원을 확보하게 된다. 이러한 예약 과정에는 아래와 같은 다양한 예약 기법이 사용 될 수 있다.

1) 단일 자원 예약과 다중 자원 예약

단일 자원 예약(conservative reservation)과 다중 자원 예약(aggressive reservation)^[5]은 예약 과정에서 사용 가능한 망 자원 중에서 예약하는 망 자원의 양에 따른 분류이다. 다중 자원 예약에서는 근원지 노드에서부터 목적지 노드까지 사용 가능한 망 자원 중에서 둘 이상의 자원을 예약한다. 목적지 노드에 도착하면 예약된 자원중 한 자원을 선택하여 설정하고 나머지 자원은 해제한다. 반면에 단일 자원 예약에서는 사용 가능한 자원중 한 자원만을 예약한다. 목적지 노드까지 그 자원이 모두 사용 가능할 때 연결은 설정된다.

2) 기각과 보류

보류(dropping)와 기각(holding)^[6]은 연결 설정 중에 중간 노드에서 망 자원의 부족으로 연결 설정을 더 이상 진행 할 수 없을 경우에 대한 신호 방식의 대처 방안이다. 기각 방법에서는 중간 노드에서 망 자원이 부족하여 더 이상 연결을 설정할 수 없을 때에 그 연결 설정을 바로 기각하게 된다. 하지만 보류 방법에서는 연결 설정을 더 이상 진행 할 수 없다고 할지라도 일정 시간동안 사용 가능한 망 자원이 발생하는 지를 확인하기 위해 연결 설정 기각을 보류하게 된다. 만약 일정 시간안에 사용 가능한 망 자원이 생기게 되면 연결 설정은 계속 진행되며, 그렇지 않으면 연결 설정은 기각된다.

3) 재전송과 경로 재설정

선택된 경로에 대하여 연결 설정이 실패했을 때에는 연결 설정 요구를 거절하거나 일정 시간이 지난 다음에 재시도한다. 재전송(retransmission)과 경로 재설정

(rerouting)은 연결 설정을 재시도할 때에 연결 설정이 이루어지는 경로에 대한 구분이다. 재전송에서는 처음 연결 설정이 시도되었을 때 선택된 경로를 통해 연결을 위한 망 자원의 예약을 다시 시도한다. 경로 재설정에서는 이미 연결 설정이 시도된 경로와는 다른 경로를 통하여 망 자원의 예약을 시도한다.

이와 같은 다양한 예약 기법은 상호 보완적인 장단점을 갖고 있다. 다중 자원 예약기법에서는 목적지 노드까지 다수의 망 자원을 예약하므로 진행중인 연결 설정에 대해서는 연결 설정 성공 확률을 높일 수 있지만, 하나의 연결 설정에 대해 다수의 자원을 예약함으로써 다른 연결 설정에 대한 거절 확률이 높다. 반면에 단일 자원 예약에서는 다른 연결 설정을 위해 망 자원을 효율적으로 사용할 수 있다. 하지만 진행중인 연결의 실패 확률이 상대적으로 높은 단점을 갖는다. 기각 방법에서는 연결 설정이 불가할 경우 진행 중인 연결 설정 요청을 거절하여 예약된 망 자원을 즉각적으로 해제함으로써 다른 연결 설정에 대해 망 자원을 효율적으로 이용할 수 있게 한다. 반면에 보류 방법에서는 진행 중인 연결 설정 요청에 대한 성공률을 높일 수 있지만 보류하는 동안 망 자원을 계속적으로 전용함으로써 다른 연결 설정 요청을 거절하게 된다.

2. 통합 제어 신호 방식

예약에 기반을 둔 기존의 신호 방식에서 연결 설정은 1) 경로와 파장 결정, 2) 경로와 파장 예약, 3) 경로와 파장 설정 등의 3단계로 이루어진다^[4]. 경로와 파장 결정 단계에서는 연결 설정이 요청되면 망 자원의 가용성을 점검하여 경로와 파장을 결정한다. 경로와 파장 예약 단계에서는 선택된 경로와 파장을 예약한다. 근원지 노드에서부터 목적지 노드까지 선택된 경로와 파장이 성공적으로 예약되면, 제어 메시지에 의해 예약된 경로와 파장이 설정된다. 기존의 신호 방식에서는 하나의 제어 메시지에 의해서 경로와 파장 결정 단계와 예약 단계가 동시에 이루어진다. 따라서 기존의 신호 방식을 본 논문에서 제안한 분리 제어 신호 방식과 구분하기 위해 통합 제어 신호 방식(Integrated Control Signaling Protocol : ICSP)이라 정의한다. 그림 1은 통합 제어 신호 방식에서 연결 설정 과정을 나타내고 있다.

이와 같은 통합 제어 신호 방식은 경로와 파장 결정이 예약 과정과 동시에 이루어지므로 다음과 같은 문

제점을 갖는다. 첫째, 망 자원을 예약하기 이전에 망 자원의 가용성을 알 수 없으므로 망 자원의 낭비를 초래할 수 있다. 연결 설정을 진행하는 동안 중간 노드에서 망 자원의 부족으로 인하여 연결 설정을 더 이상 진행할 수 없을 때에는 이미 중간 노드까지 예약된 망 자원은 낭비되는 결과를 초래한다. 따라서 중간 노드까지 예약된 자원에 대하여서는 다른 연결 설정을 위하여 사용될 수 없으므로 연결 설정 요청 거절률을 높게 된다.

둘째, 망 자원을 예약하기 전에 목적지 노드의 수신기 사용 가능 여부를 점검하지 않는 것이다. 근원지 노드에서 목적지 노드까지 망 자원을 성공적으로 예약하였을 경우에도 목적지 노드에서 모든 수신기가 사용중일 때에는 연결 설정이 실패된다. 이는 연결 설정을 위해 예약된 망 자원의 낭비를 의미한다. 따라서 망 자원을 예약하기에 앞서 목적지 노드의 수신기 사용 가능 여부를 확인한다면 망 자원을 효율적으로 사용할 수 있다.

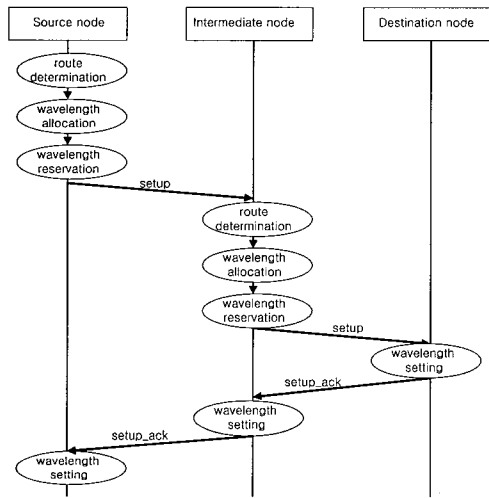


그림 1. 통합 제어 신호 방식에서 연결 설정 과정
Fig. 1. Connection setup in ICSP.

셋째, 통합 제어 신호 방식에서는 망 자원의 예약 동작과 망 자원의 결정 및 할당 동작이 하나의 메시지에 의해서 이루어짐으로써 전체적인 망 자원의 예약 시간을 증가시키게 된다. 경로 상의 한 노드는 하나의 연결 설정 요청 메시지를 받게 되면 경로 데이터베이스를 검색하여 경로를 결정한 후 선택된 경로를 통해 사용할 가능한 망 자원이 있는지 검사하여 선택된 자원을 예약한다. 각 노드에서 자원 예약 처리 시간은 실제적인

예약 처리 시간과 망 자원의 가용성 점검 및 할당 시간의 합이 된다. 이는 망의 규모가 커질수록 망 자원이 예약되어 있는 시간을 증가시킴으로써 더욱 많은 망 자원을 낭비하며, 다른 연결 요청의 설정 성공률을 낮추는 결과를 초래한다.

III. 분리 제어 신호 방식

본 장에서는 분리 제어 신호 방식을 위한 호 제어와 베어러 제어의 기능 분리와 노드 구조에 대하여 정의하고, 각 노드를 구성하는 호 제어기와 베어러 제어기의 상태 및 상태 전이도를 기술하였다. 또한 분리 제어 신호 방식에서 호와 베어러 설정 및 해제, 호 설정 실패, 베어러 설정 실패에 대한 정보 흐름도를 작성하였다.

1. 기능 정의 및 노드 구조

분리 제어 신호 방식에서 제어 기능은 호 제어와 베어러 제어로 분리된다. 호 제어는 망 자원의 가용성을 점검하는 기능을 수행하며, 이를 위해 호를 설정한다. 호 설정이 성공한 후에 베어러의 설정을 요청하고, 연결 설정을 위한 제어 정보를 베어러 제어와 상호 교환하는 기능을 수행한다. 또한 종단간의 신뢰성 있는 연결을 설정하기 위하여 다양한 호 설정 실패에 대하여 능동적으로 연결 설정을 시도한다. 즉 경로의 불용으로

표 1. 호 제어와 베어러 제어 기능

Table 1. Function of Call Control and Bearer Control.

제어의 종류	기능
호 제어	<ul style="list-style-type: none"> - 호의 설정 및 해제 - 경로 결정 - 경로의 사용 가능성 점검 - 대체 경로 결정 - 파장 사용 가능성 점검 - 수신기 사용 가능성 점검 - 베어러 제어기와 제어 정보 교환
베어러 제어	<ul style="list-style-type: none"> - 베어러 설정 및 해제 - 파장 예약 - 파장 할당 - 파장 해제 - 호 제어기와 제어 정보 교환

인한 호 설정이 실패되었을 때에는 대체 경로를 통한 연결 설정 재시도를 하고, 망 자원의 부족으로 인한 연결 실패시 동일 경로를 통한 호 설정을 재시도한다. 재시도를 통해서도 중복된 호 설정 실패시에는 경로의 재구성을 요청하게 된다.

베어러 제어의 주요 기능은 근원지 노드에서 목적지 노드까지 망 자원의 예약, 설정 및 해제를 수행하는 것이다. 이러한 기능을 수행하기 위해서 호 제어의 베어러 설정 요청에 의해 베어러 제어에서는 베어러의 설정, 해제 및 관리 기능을 수행한다. 또한 베어러의 상태 정보를 호 제어와 상호 교환하는 기능을 수행한다.

호 제어와 베어러 제어의 기능을 표 1에 요약하여 나타내었다.

그림 2는 분리 제어 신호 방식에서 호 제어와 베어러 제어 기능을 수행하기 위한 기본적인 노드 구조이다.

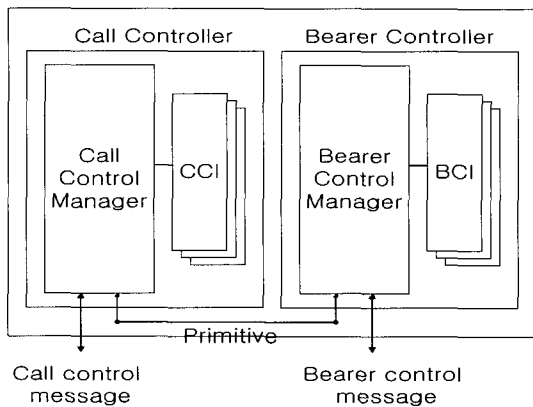


그림 2. 분리 제어 신호 방식의 노드 구조
Fig. 2. Node architecture of SCSP.

노드는 호 제어 기능을 수행하는 호 제어기와 베어러 제어 기능을 수행하는 베어러 제어기로 구성된다. 호 제어기는 각각의 호에 대한 제어 정보를 저장하는 CCI(Call Control Instance)와 CCI의 정보를 이용하여 호 제어 기능의 수행 및 호를 관리하는 호 제어 관리기로 이루어진다. 베어러 제어기는 망 자원 및 베어러에 대한 제어 정보를 저장하는 BCI(Bearer Control Instance)와 베어러를 제어 및 관리하는 베어러 제어 관리기로 구성된다.

분리 제어 신호 방식에서 각 제어기간에 제어 정보의 상호 교환을 위해 프리미티브와 제어 메시지가 사

용된다. 프리미티브를 이용하여 동일 노드에 존재하는 호 제어기와 베어러 제어기간의 제어 정보를 전송한다. 제어 메시지는 이웃 노드에 존재하는 호 제어기간 또는 베어러 제어기간에 제어 정보를 상호 교환하는데 사용된다.

2. 제어기의 상태 천이도

호 제어기와 베어러 제어기는 호와 베어러 설정 및 해제 과정에 따른 상태를 갖게 된다. 각 제어기의 상태는 제어 메시지와 프리미티브의 송·수신에 의해 천이하게 된다. 그림 3과 4는 각각 호 제어기와 베어러 제어기의 상태 천이도를 나타낸다. 제어 메시지의 앞에 있는 +와 -는 각각 현재 상태에서 제어 정보의 수신과 송신을 나타낸다.

호 제어기는 응용 프로토콜(AP : Application Protocol)이나 이웃 노드로부터 Call_setup 메시지를 수신함으로써 활성화된다. 호 제어기는 호 설정이 이루어진 다음 베어러 제어기에 베어러 설정을 요청하고 'bearer setup request' 상태에서 베어러 설정이 이루어질 때까지 기다리게 된다. 베어러 제어기로부터 bearer_setup_comp 프리미티브를 수신한 후에 호 제어기는 'active' 상태에 도달하게 된다. 마찬가지로 연결을 해제할 때에도 베어러 해제가 먼저 이루어져야 하므로 베어러 제어기에 베어러 해제를 요청하고 베어러 해제가 이루어질 때까지 'bearer release request' 상태에서 대기한다. 그리고 베어러 해제가 이루어지면 호 해제를 시도한다.

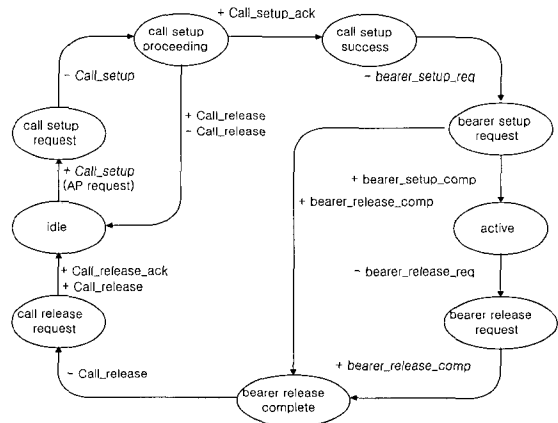


그림 3. 호 제어기의 상태 천이도
Fig. 3. State transition diagram of Call Controller.

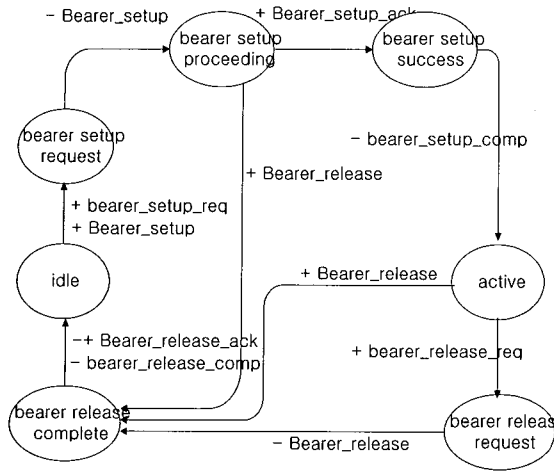


그림 4. 베어러 제어기의 상태 천이도

Fig. 4. State transition diagram of Bearer Controller.

베어러 제어기는 호 제어기로부터 베어러 설정 요청 프리미티브를 수신하거나 이웃 노드의 베어러 제어기로부터 베어러 설정 요청 메시지를 수신함으로써 활성화된다. 베어러 설정이 성공적으로 이루어지면 베어러 제어기는 베어러 설정이 성공되었음을 호 제어기에 알려야 되기 때문에 'bearer setup success' 상태에서 bearer_setup_comp 프리미티브를 호 제어기에 송신한 후 'active' 상태에 도달하게 된다. 호 제어기로부터 베어러 해제 요청 프리미티브를 수신하거나 이웃 노드로부터 베어러 해제 요청 메시지를 수신한 후에 베어러는 해제된다. 호 제어기로부터 요청을 받았을 때에는 Bearer_release 메시지를 송신하고 'bearer release request' 상태로 천이하여 응답을 기다린다. 이웃 노드로부터 요청을 받았을 때에는 Bearer_release_ack 메시지로 응답하며 호 제어기에게 bearer_release_comp 프리미티브를 송신하고 'idle' 상태로 천이한다. 베어러의 해제는 근원지 노드와 목적지 노드 모두에서 요청할 수 있으므로 Bearer_release_ack 메시지를 송수신할 수 있다.

3. 신호 절차

1) 호와 베어러의 설정 및 해제

분리 제어 신호 방식에서는 상위 계층의 연결 설정 요청에 대하여 호 설정을 먼저 시도한다. 호 설정이 성공적으로 이루어지면 베어러 설정을 시도한다. 그림 5에 근원지 노드에서 목적지 노드로 호와 베어러를 설정 및 해제하기 위한 정보 흐름도를 나타내었다.

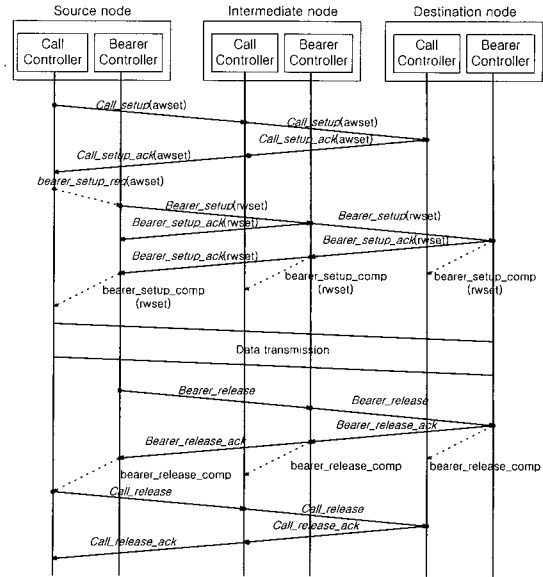


그림 5. 호와 베어러의 설정 및 해제

Fig. 5. Call and bearer setup and release.

연결 설정이 요구되었을 때 근원지 노드는 목적지까지 경로를 선택하고, 파장의 사용 여부를 점검하여 Call_setup(awset) 메시지를 중간 노드에 보낸다. 이 때 파장의 사용 여부에 대한 정보를 수집하기 위해 awset을 사용한다. awset은 각 파장에 대응되는 비트 벡터로써 각 파장의 사용 여부를 나타낸다. 따라서 근원지 노드는 사용할 수 있는 파장에 대한 awset을 설정하여 Call_setup(awset) 메시지를 송신한다.

Call_setup(awset) 메시지를 받은 중간 노드는 선택된 경로가 사용 가능한지 검사한다. 경로가 사용 가능하면 awset에 설정된 파장의 사용 가능 여부를 검사하여 awset을 다시 설정한다. Call_setup(awset) 메시지를 받은 목적지 노드는 수신기 사용 여부를 점검한다. 만약 수신기가 사용 가능하다면 Call_setup_ack(awset) 메시지를 전송하여 호 설정이 성공적으로 이루어졌음을 근원지 노드에게 알린다. Call_setup_ack(awset)를 받은 근원지 노드는 awset을 통해 경로상에서 사용 가능한 파장을 알게 된다.

Call_setup_ack(awset) 메시지를 받은 근원지 노드의 호 제어기는 베어러 설정을 위해 bearer_setup_req(awset) 프리미티브를 베어러 제어기에게 보낸다. 베어러 제어기는 프리미티브의 awset 정보를 이용하여 파장을 예약한 후 예약한 파장 정보에 대한 rwset을 설정한다. rwset은 예약된 파장을 나타내기 위한 비트

벡터이다. 근원지 노드는 Bearer_setup(rwset) 메시지를 중간 노드에 전송한다. Bearer_setup(rwset)를 받은 노드는 rwset에 설정된 파장 중에서 사용 가능한 파장을 예약하고, 그 정보를 rwset에 저장한다. 그리고 중간 노드에서는 목적지 노드를 향해 Bearer_setup(rwset) 메시지를 전송하며, 근원지 노드 방향으로 Bearer_setup_ack(rwset)을 전송한다.

분리 제어 신호 방식에서 rwset을 사용함으로써 예약에 의한 파장의 낭비를 줄일 수 있다. Bearer_setup_ack 메시지를 수신한 노드는 메시지에 포함된 rwset를 통해 경로 상에 예약된 최소의 파장을 알 수 있다. 따라서 rwset을 이용해서 현재 노드에서는 예약되어 있지만 다른 노드에서는 예약되지 않은 파장을 해제 할 수 있다.

Bearer_setup(rwset) 메시지를 받은 목적지 노드는 rwset 파장 중에서 하나의 파장을 선택한다. 선택된 파장 정보는 Bearer_setup_ack(rwset)로서 근원지 노드까지 전송된다. 목적지로부터 전송된 Bearer_setup_ack(rwset)를 받은 노드의 베어러 제어기는 호 제어기에게 bearer_setup_comp 프리미티브를 전송하여 베어러 설정 성공을 알린다. 이렇게 호 설정과 베어러 설정이 성공적으로 이루어지면 데이터 전송을 시작한다.

데이터 전송이 끝난 후 근원지 노드의 베어러 제어기는 베어러 해제를 위해 다음 노드에 Bearer_release 메시지를 보낸다. Bearer_release 메시지는 경로에 할당된 파장을 해제한다. Bearer_release 메시지를 받은 목적지 노드는 근원지 노드까지 Bearer_release_ack 메시지를 전송하여 베어러 해제가 완료되었음을 알린다. Bearer_release_ack 메시지를 받은 베어러 제어기는 bearer_release_comp 프리미티브를 통해 호 제어기에게 베어러가 해제되었음을 알린다. 근원지 노드의 호 제어기는 호의 해제를 위해 Call_release 메시지를 다음 노드에게 보낸다. Call_release 메시지를 받은 목적지 노드는 Call_release_ack 메시지를 근원지 노드까지 전송하여 호의 해제를 알리게 된다.

2) 호 설정 실패

호 제어기가 호 설정을 시도하였을 때 링크의 고장으로 인해 경로가 가용하지 않거나 사용 가능한 파장이 없을 경우에는 호 설정이 실패된다. 또한 망 자원이 사용 가능할지라도 목적지에서 사용 가능한 수신기가 없을 경우에는 호 설정을 실패하게 된다. 그림 6에 이

와 같은 원인으로 호 설정이 실패하였을 때의 정보 흐름도를 나타내었다. 그림 6(a)는 중간 노드에서 파장이나 경로의 부족으로 인해 호 설정이 실패하는 경우이다. 중간 노드는 호 설정 실패 원인을 포함하는 Call_release 메시지를 근원지 노드에 전송함으로써 호 설정 실패를 알린다. 그림 6(b)는 목적지 노드에서 연결을 설정을 위한 수신기가 없는 경우로서 Call_release 메시지를 근원지 노드에 전송하여 호 설정의 실패를 알린다.

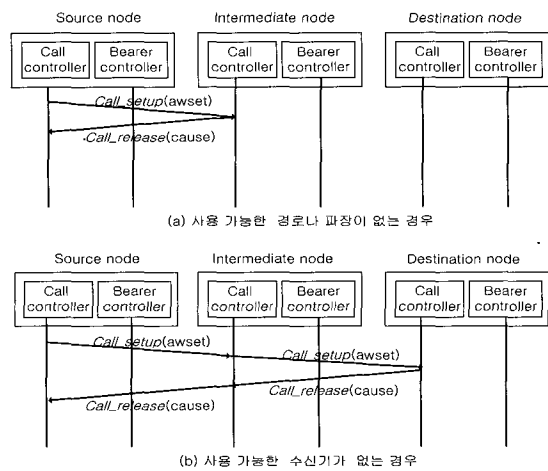


그림 6. 호 설정 실패
Fig. 6. Call setup failure.

3) 베어러 설정 실패

베어러 설정이 요구되었을 때 망에서 예약 가능한 파장이 없다면 베어러 설정은 실패하게 된다. 그림 7은 베어러 설정이 실패하는 경우에 대한 정보 흐름도를 나타낸다.

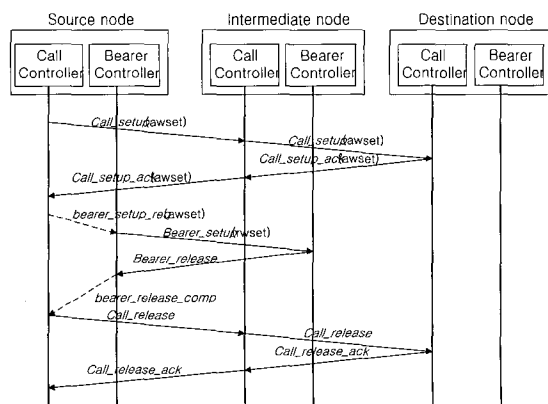


그림 7. 베어러 설정 실패
Fig. 7. Bearer setup failure.

베어러 설정은 호가 설정된 다음에 시도된다. 중간 노드에서 예약 가능한 파장이 없는 경우 Bearer_release 메시지를 근원지 노드까지 전송한다. Bearer_release 메시지를 받은 노드들은 베어러 설정을 위해 예약한 모든 파장을 해제하고 호 제어기에게 베어러 설정이 실패하였음을 bearer_release_comp 프리미티브를 전송하여 알려 준다. bearer_release_comp 프리미티브를 받은 호 제어기는 베어러 설정 실패를 인식하고 설정된 호를 해제한다.

IV. 성능 평가 및 분석

본 장에서는 다양한 예약 기법을 기반으로 통합 제어 신호 방식과 분리 제어 신호 방식에 대한 성능 평가 및 결과를 분석하였다.

1. 시뮬레이션 모델

분리 제어 신호 방식의 성능 평가를 위해 그림 8의 망 구조에 적용하였다. 전체 노드는 6개로 하였으며, 링크는 총 8개로 하였다. 각 링크마다 8개의 파장을 갖는다. 근원지 노드에서 목적지 노드까지의 경로는 최단 거리를 갖는 고정 경로 설정 방식을 사용하였으며, 평균 홉수는 1.53이다. 한 노드에서 이웃하는 다른 노드까지 제어 메시지를 전송하는데 걸리는 시간 및 각 노드에서 메시지 처리 시간은 1 단위 시간으로 가정하였다. 연결이 설정된 후 해제될 때까지의 호 지속 시간은 평균 256 단위 시간으로 하였다. 망의 입력 부하는 한 링크에서 하나의 파장에 대한 부하로 정의하였다. 입력 부하의 변화에 따라 각 노드에서의 평균 연결 설정 요청률을 산출하였으며, 지수분포를 갖도록 하였다. SLAMII 시뮬레이션 언어를 이용하여 모델링 및 성능 평가를 하였다.

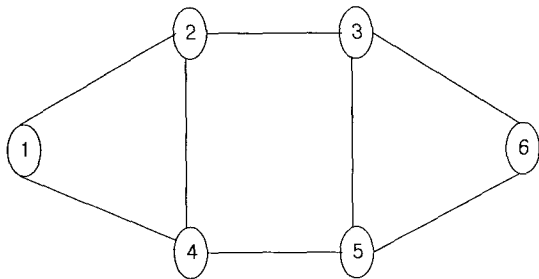


그림 8. 시뮬레이션을 위한 망 구조
Fig. 8. Network architecture for simulation.

2. 예약 기법에 따른 성능 평가 및 분석

II장에서 기술한 다양한 예약 기법에 대하여 통합 제어 신호 방식과 분리 제어 신호 방식의 성능 평가를 수행하였다. 그림 9와 10은 단일 자원 예약과 다중 자원 예약에 대한 연결 설정 요청 거절률과 파장의 이용률을 나타내고 있다. 각 노드에서 수신기의 수는 8로 하였다. 여기서 예약 인자(reservation factor)는 하나의 연결 설정 요청에 대해 예약할 수 있는 최대 파장 수라고 정의하였으며, 예약 인자를 1, 3, 5, 8로 변화시켰다. 이때 예약 인자가 1인 경우는 단일 파장 예약 기법이며, 예약 인자가 3, 5, 8 일 때는 다중 파장 예약인 경우이다.

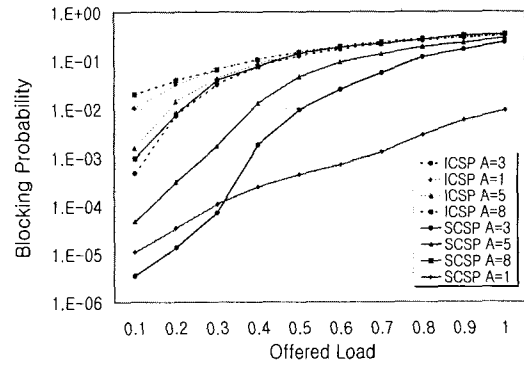


그림 9. 예약 인자에 따른 연결 설정 요청 거절률
Fig. 9. Blocking according to the reservation factors.

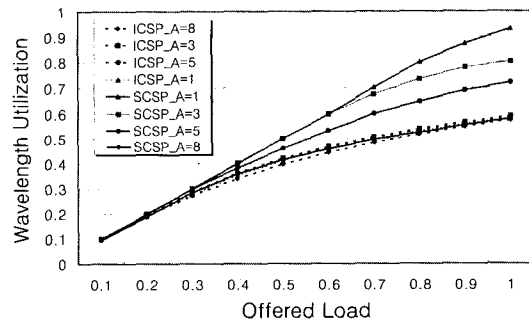


그림 10. 예약 인자에 따른 파장 이용률
Fig. 10. Utilization according to the reservation factors.

성능 평가 결과로부터 분리 제어 신호 방식이 통합 제어 신호 방식보다 단일 파장 예약과 다중 파장 예약에서 낮은 연결 설정 요청 거절률과 높은 파장 이용률을 나타내고 있다. 통합 제어 신호 방식에서는 예약 인

자가 1과 8일 때가 비슷한 성능을 나타내며, 예약 인자가 3일 때 가장 좋은 성능을 보이고 있다. 이는 통합 제어 신호 방식에 대한 성능 평가^[3]에서 파장 수의 30%를 예약 인자로 사용했을 때 가장 좋은 성능을 나타내는 것과 동일한 결과를 나타내고 있다

분리 제어 신호 방식에서는 예약 인자가 8일 때 연결 설정 요청 거절률이 가장 높는데, 이는 사용 가능한 모든 파장을 예약하기 때문이다. 하지만 이 경우에 통합 제어 신호 방식에서 가장 좋은 성능을 보인 예약 인자가 3일 때와 연결 설정 요청 거절률은 비슷하다. 통합 제어 신호 방식에서는 목적지 노드까지의 파장 정보를 알 수 없다. 따라서 단일 파장 경로를 사용하였을 때에 근원지 노드에서 선택된 파장이 중간 노드에서 예약할 수 없으므로 연결 설정 요청이 거절될 확률이 높다. 하지만 분리 제어 신호 방식에서는 파장을 예약하기 전에 근원지 노드에서 목적지 노드까지 사용 가능한 파장을 미리 점검함으로써 선택된 하나의 파장이 중간 노드에서 거절될 확률을 줄일 수 있기 때문에, 예약 인자가 1인 단일 파장 예약 기법을 사용했을 때가 가장 좋은 성능을 나타낸다. 입력 부하가 적은 경우에 예약 인자가 1일 때가 3일 때보다 연결 거절률이 높은 것은 파장의 부족으로 인한 연결 설정 요청의 거절보다 파장 예약의 충돌로 인한 연결 거절이 많기 때문이다. 하지만 입력 부하가 커질수록 파장의 부족으로 인한 연결 설정 요청의 거절이 더 많아지므로 예약 인자가 1일 때가 더 좋은 성능을 나타내고 있다. 이는 예약 인자가 1일 때 파장 이용률이 90%를 넘고 있는 것을 통해 확인할 수 있다.

그림 11과 12는 기각과 보류에 대한 연결 설정 요청 거절률과 파장 이용률을 나타내고 있다

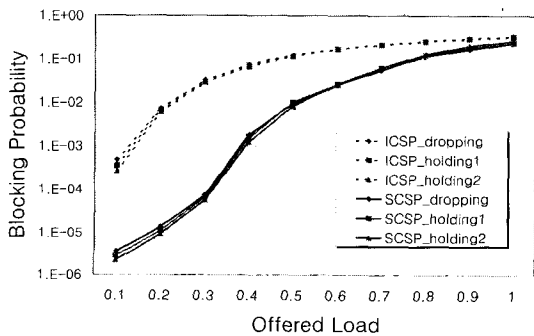


그림 11. 기각과 보류에 대한 연결 설정 요청 거절률
Fig. 11. Blocking of dropping vs. holding.

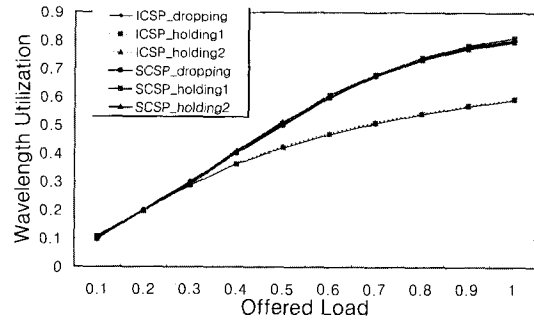


그림 12. 기각과 보류에 대한 파장 이용률
Fig. 12. Utilization of dropping and holding.

각 노드에서의 수신기는 8개로 하였으며, 예약 인자는 3으로 하였다. 보류1에서는 한 노드에서의 보류시간을 한 노드에서 제어 메시지를 전송하여 응답 메시지를 받을 때까지의 시간으로 하였으며, 보류 2에서는 보류시간을 서비스 시간의 10%로 하였다. 두 기법에서 분리 제어 신호 방식이 통합 제어 신호 방식 보다 더 낮은 연결 설정 요청 거절률과 더 높은 파장 이용률을 나타내고 있다. 특히 입력 부하가 더 커질수록 파장이

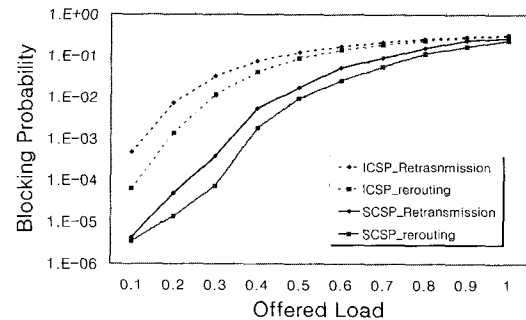


그림 13. 재전송과 경로 재설정에 대한 연결 설정 요청 거절률
Fig. 13. Blocking of retransmitting and rerouting.

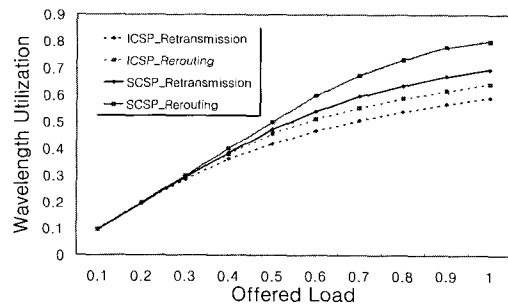


그림 14. 재전송과 경로 재설정에 대한 파장 이용률
Fig. 14. Utilization of retransmitting and rerouting.

용률의 차이는 점점 커지고 있다. 각 제어 신호 방식에서 기각과 보류의 성능 차이는 거의 없었다.

그림 13과 14는 재전송과 경로 재설정에 대한 연결 설정 요청 거절률과 파장 이용률을 나타내고 있다. 중간 노드에서 자원의 부족으로 인해 연결 설정이 거절되었을 때에는 즉시 기각하도록 하였다. 재전송과 경로 재설정에 대하여 분리 제어 신호 방식이 더 좋은 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다. 분리 제어 신호 방식에서 재전송과 경로 재설정에 대하여서는 경로 재설정이 더 좋은 성능을 나타내고 있다. 이는 망 자원의 부족으로 인해 연결 설정 요청이 거절되었을 때에는 동일 경로가 아닌 다른 경로를 통해 연결 설정을 재시도함으로써 망의 트래픽을 분산시키는 효과를 가져오기 때문이다.

3. 수신기 수에 따른 성능 평가 및 분석

목적지에서의 수신기 수의 변화에 따른 각 제어 신호 방식의 성능을 평가하였다. 예약 인자는 3으로 하였

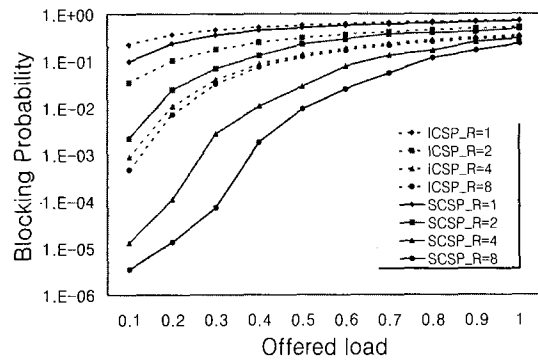


그림 15. 수신기 수에 따른 연결 설정 요청 거절률
Fig. 15. Blocking according to the number of receivers.

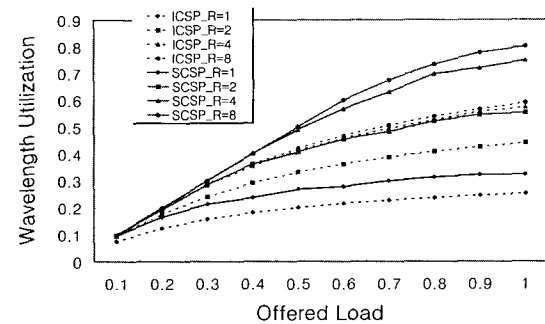


그림 16. 수신기 수에 따른 파장 이용률
Fig. 16. Utilization according to the number of receivers.

으며, 중간 노드에서 연결 설정 요청이 거절되었을 때는 기각하는 것으로 하였다. 그림 15와 16은 수신기 수에 따른 분리 제어 신호 방식과 통합 제어 신호 방식의 연결 설정 요청 거절률과 파장 이용률을 보여주고 있다.

수신기의 수가 동일할 때에 분리 제어 신호 방식이 통합 제어 신호 방식보다 더 좋은 성능을 보이고 있다. 또한 수신기의 수가 많아질수록 성능의 차이는 점점 증가하고 있다. 통합 제어 신호 방식에서는 수신기의 수가 4이상이면 성능의 차이가 없으나, 분리 제어 신호 방식에서는 수신기의 수가 4이상이라도 수신기의 수에 따라 성능의 차이를 보인다. 이는 분리 제어 신호 방식에서 파장을 예약하기 이전에 수신기의 사용 가능성을 확인함으로써 수신기의 수가 커질수록 파장 예약으로 인한 연결 설정 요청의 거절을 더욱 줄일 수 있기 때문이다. 수신기가 1개일 때에 두 신호 방식간에 성능의 차이가 적은 것은 분리 제어 신호 방식에서 파장의 예약이나 유용한 파장의 부족보다 수신기의 부족으로 인해 호 설정시 실패률이 증가하기 때문이다.

그림 17은 망 부하에 따른 수신기의 평균 이용률을 나타낸다.

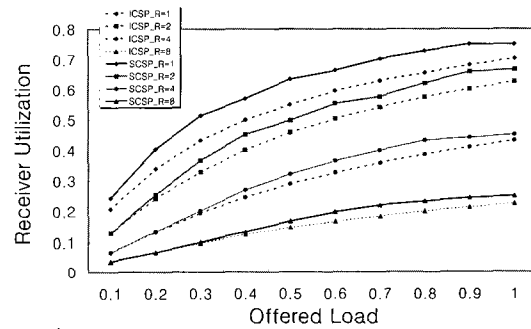


그림 17. 수신기의 평균 이용률
Fig. 17. Average utilization of receiver.

분리 제어 신호 방식을 사용함으로써 수신기를 더욱 효율적으로 사용할 수 있음을 알 수 있다. 이는 분리 제어 신호 방식에서 호 제어와 베어러 제어를 분리함으로써 자원의 예약 시간을 줄이고 더 많은 연결을 설정할 수 있어 수신기의 이용 시간을 증가시키기 때문이다. 수신기의 수가 증가함에 따라 수신기의 평균 이용률이 적은 것은 수신기의 수가 증가하더라도 연결

설정 요청 거절률이 크게 감소하지 않아 수신기의 평균 이용 시간이 감소하기 때문이다.

V. 결론

파장 분할 다중화 기법을 사용하는 광 전송망에서 근원지 노드는 다른 노드와 연결을 설정하기 위해서 망 자원을 할당하기 위한 제어 정보를 상호 교환해야 한다. 제어 신호 방식은 제어 망을 통해서 이러한 제어 정보를 상호 교환하는 기능을 수행한다. 따라서 제어 신호 방식을 효율적으로 설계함으로써 망 자원의 낭비를 줄이고 연결 설정 요청에 대한 성공률을 높일 수 있다.

본 논문에서는 통합 제어 신호 방식의 제어 기능을 호 제어와 베어러 제어로 분리한 분리 제어 신호 방식을 제안하였다. 이를 위해 분리 신호 방식을 위한 노드 구조는 호 제어 기능을 수행하는 호 제어기와 베어러 제어 기능을 수행하는 베어러 제어기로 구성하였으며, 이에 대한 각 제어기의 기능과 제어기간의 정보 교환을 위한 제어 메시지 및 프리미티브를 정의하고 상태 전이도를 설계하였다. 이를 기반으로 분리 신호 방식에서의 연결 설정, 해제 및 실패에 대한 정보 흐름도를 작성하여 성능 평가를 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

다양한 예약 기법에 대한 성능 평가를 통해 분리 제어 신호 방식이 낮은 연결 설정 요청 거절률을 나타낼 수 있었다. 통합 제어 신호 방식에서는 파장의 이용률이 최대 60%인 반면에 분리 제어 시뮬 방식에서는 파장의 이용률이 최대 90 ~ 80 %로 통합 제어 신호 방식 보다 더 좋은 성능을 나타내었다. 수신기의 수에 따른 성능 평가 결과는 분리 제어 신호 방식이 통합 제어 신호 방식보다 연결 설정 성공률 및 파장과 수신기의 이용률 관점에서 더 좋은 성능을 보였다.

참고 문헌

- [1] I.Chlamtac, A.Ganz and G.Karmi "Lightpath communication : An Approach to High Bandwidth Optical WANs." *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 40., No. 7, July 1992.
- [2] Rajiv Ramaswami and Adrian Segall "Distributed Network Control for Optical Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 5, no. 6., pp. 936-943, Dec. 1997.
- [3] X.Yuan, R.Melhem, and R.Gupta "Distributed Path Reservation Algorithms for Multiplexed All Optical Interconnection Networks." *Proc. of IEEE High Performance Computer Architecture (HPCA)'97*,1997.
- [4] Jay Y. Yoo, and Subrata Banerjee "Analysis of Lightpath Setup Procedure in Wavelength-Routed All-Optical Networks," *SPIE' 97*, Vol. 3230, pp. 253-264, July 1997.
- [5] Yousong Mei and Chumming Qiao "Efficient Distributed Control Protocols for WDM All-Optical Networks", *in Proc. Int'l Conf. on Computer Comm and Networks (IC3N)*, Sept. 1997.
- [6] Hui Zang, Laxman Sahasrabudhe, Jason P. Jue, S. Ramamurthy, and Biswanath Mukherjee "Connection Management for Wavelength-Routed WDM Networks," *GLOBECOM '99*, pp.1428-1432, Dec. 1999.

저자 소개

- 魯善植(正會員) 第37卷 TC編 第1號 參照
 현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사
 과정 재학중
- 蘇元鎬(正會員) 第35卷 S編 第8號 參照
 현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사
 과정 재학중
- 金永川(正會員) 第32卷 A編 第9號 參照
 현재 전북대학교 컴퓨터공학과 교수



- 金秀眩(正會員)
 1999.2 전북대학교 정보통신공학과
 (공학사). 1999. 3 ~ 현재 전북대학
 교 컴퓨터공학과 석사과정 재학 중