WDM 방송망에서 수신기의 상태 정보를 이용한 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘의 설계 및 성능평가

진 교 홍†

요 약

본 논문에서는 WDM 단일홉 Broadcast-and-select망에서 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위한 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 기존의 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘들은 고정된 송신기와 튜닝이 가능한 수신기에 대하여 멀티캐스트 서비스의 지연시간을 줄이기 위해 멀티캐스트 그룹을 어떻게 적절한 서브그룹으로 나눌 것인가에 대한 것이었다. 이러한 알고리즘들은 송신측의 파장으로 튜닝되어 바로 수신할 준비가 되어 있는 노드들에 대하여 이루어졌기 때문에 수신측의 상태정보를 이용할 수 없었으며, 모든 수신노드의 튜닝지연으로 인해 전체적인 지연시간이 길어지게 되었다. 따라서 본 논문에서는 튜닝이 가능한 송신기와 수신기의 상태정보, 그리고 메시지 전송시간과 튜닝지연시간을 이용하여 서브그룹을 나누는 H_EAR과 PGM 두 알고리즘을 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 성능이 기존의 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘에 비하여 지연시간과 서브 그룹수의 측면에서 우수함을 보였다.

A Design and Performance Evaluation of Multicast Scheduling Algorithm using the State Information of Receivers in the WDM Broadcast Networks

Kyohong Jin†

ABSTRACT

In this paper, new multicast scheduling algorithms are proposed for the WDM single-hop broadcast-and-select networks. The existing multicast scheduling algorithms are focused on the partitioning a multicast group into several subgroups to reduce the delay time of each receiver. These partitioning algorithms are grouping method of the receivers already tuned to the transmitter's wavelength. However, these algorithms ignore the state of receivers, which leads to increase the number of subgroups and the delay time. Therefore, I propose two new multicast scheduling algorithms called H_EAR and PGM that partition a multicast group to subgroups using the tunable transmitter, state information of receivers, and pseudo group concept. The performance of proposed algorithms are evaluated through the computer simulation. They show the better performance comparing with the existing multicast scheduling algorithm.

키워드 : WDM, 방송망(Broadcast-and-select), 멀티캐스트(Multicast), 스케줄링(Scheduling), 성능분석(Performance Analysis)

1. 서 론

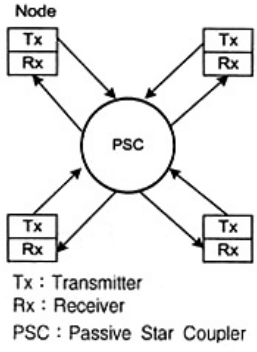
인터넷 응용 서비스는 급격한 수요 증가뿐만 아니라 많은 대역폭을 요구하는 멀티미디어 서비스로 발전되고 있다. 초기의 전자우편과 같은 텍스트 서비스에서 스트리밍 비디오, VoIP(Voice Over IP), 멀티미디어 화상회의등과 같이 보다 넓은 대역폭을 요구하는 멀티미디어 서비스로 발전되고 있다. 이와 같이 인터넷을 이용한 다양한 서비스의 등장으로 현재 국내 인터넷 이용자 수는 2002년 6월 현재 2,565만 명을 넘어서고 있다[1].

이러한 이용자 수의 급증과 멀티미디어 응용 서비스의 등장으로 인하여 인터넷의 대역폭은 턱없이 부족하게 되었으며 사용자가 체감하는 속도도 급격히 감소되고 있는 실정이다. 대역폭 문제를 해결하기 위한 방안으로는 하나의 광섬유에 여러 개의 광 파장을 두어 광 파장별로 메시지를 전송할 수 있는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술이 대두되고 있다. WDM 기술은 현재 8~128개까지의 광 파장을 마련할 수 있으며, 각 파장은 10Gbps의 대역폭을 제공할 수 있으므로 머지 않아 테라급의 통신망을 구축할 수 있을 것이다[2].

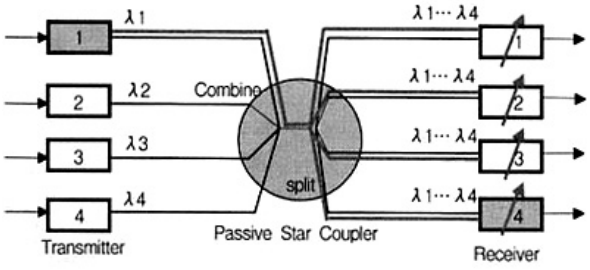
WDM 기술을 기반으로 하는 망은 크게 Broadcast-and-select구조와 Wavelength Routing구조로 분류될 수 있다. Wavelength Routing 구조는 송신노드에서 보낸 데이터가 목적지 노드까지 광 스위치나 광 라우터를 거치면서 파장을 바꾸어 목적지까지 전달되는 방식으로 광 메모리나 광

※ 본 논문은 2002년도 동의대학교 대학자체일반연구과제비 지원에 의해 연구되었음.
† 정 회 원 : 동의대학교 멀티미디어공학과 교수
논문접수 : 2002년 2월 8일, 심사완료 : 2002년 8월 19일

버퍼 기술이 아직 연구단계에 있어 실용화되기까지는 많은 시간이 소요될 것이다[3]. 한편, Broadcast-and-select 구조는 가까운 시일에 상용화가 가능한 WDM망의 구조로써, 한 노드에서 전송된 신호가 다른 모든 노드로 방송(Broadcast)되고 자신에게로 오는 신호인 경우에만 선택(Select)하여 수신하는 데이터 전송 방식이다. 즉 전송되는 데이터는 모든 노드가 수신할 수 있으며 특정 목적지 노드가 데이터를 수신하는 방법이다. Broadcast-and-select망은 (그림 1)에서 보는 바와 같이 Passive Star Coupler(PSC)를 사용하는 스타구조가 대표적이다.



(a) Passive Star Coupler를 이용한 WDM 망



(b) Passive Star Coupler의 동작원리

(그림 1) Broadcast-and-select WDM 망의 구조

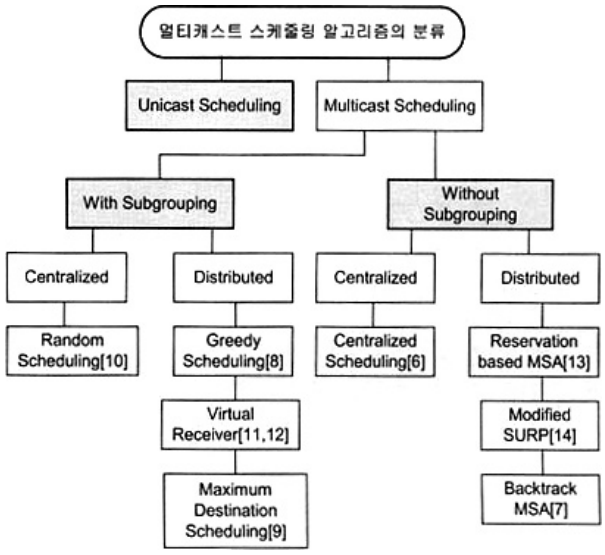
(그림 1) (a)에서 보는 바와 같이 각 노드는 데이터를 송수신할 수 있는 송신기(Tx)와 수신기(Rx)를 갖추고 있으며 한 노드에서 전송되는 데이터는 PSC를 통해 모든 노드가 수신할 수 있도록 구성되어 있다[4]. 각 노드의 송수신기는 튜닝이 가능한 Tunable Transmitter, Tunable Receiver나 하나의 파장에 고정된 Fixed Transmitter, Fixed Receiver의 형태로 구성될 수 있다. 한편, (그림 1) (b)는 PSC의 동작원리를 보여 주는 것으로써 각 노드는 Fixed Transmitter, Tunable Receiver를 가지고 있는 경우이다. 1번 노드는 4번 노드에게 데이터를 전송하기 위해서 자신에게 할당된 파장 $\lambda 1$에 데이터를 실어 전송하게 되고 이 데이터는 PSC를 통해 망내의 모든 노드에게 방송된다. 이때 데이터를 수신하고자 하는 4번 노드만이 자신의 수신기를 $\lambda 1$으로 튜닝하여 데이터를 수신하게 된다.

한편, 앞으로의 인터넷 서비스는 화상회의, 인터넷방송, 네트워크게임 등과 같이 일대일 통신방식에서 벗어나 1 : n 또는 n : m과 같은 멀티캐스트 서비스가 주류를 이룰 것으로 보여지며, 이러한 멀티캐스트 서비스로 말미암아 인터넷의 고속화와 광대역화가 더욱 요구될 것이므로 WDM망에 적용하기 위한 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘이 강구되어야 할 것이다.

따라서 본 논문에서는 Broadcast-and-select WDM망 환경에서 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위한 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존의 WDM기반의 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘들에 대한 동작원리와 특징 및 장단점을 분석하였다. 그리고 3장에서는 본 논문에서 제안한 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘에 대해 설명하고, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 앞으로의 연구방향을 제시하였다.

2. 기존의 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘

Broadcast-and-select WDM망에 적용되는 기존의 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘은 (그림 2)에 제시된 바와 같이 멀티캐스트 그룹내의 모든 노드에게 각각 멀티캐스트 패킷을 전송하는 유니캐스트 스케줄링(Unicast Scheduling) 기법, 멀티캐스트 그룹을 서브그룹으로 나누어 서브그룹 당 하나의 패킷을 전송하는 멀티캐스트 스케줄링(Multicast Scheduling With Subgrouping) 기법, 그리고 서브그룹으로 나누지 않고 모든 노드가 데이터를 수신할 수 있는 시점까지 기다렸다가 하나의 패킷만을 전송하는 멀티캐스트 스케줄링(Multicast Service Without Subgrouping) 기법과 같이 크게 세 가지 종류로 분류된다[5]. 다음절에서는 각 방식에 대하여 자세히 살펴보도록 하겠다.



(그림 2) 멀티캐스트 서비스를 지원하는 알고리즘의 분류

2.1 유니캐스트 스케줄링 기법

멀티캐스트 그룹내의 모든 노드들에게 동일한 메시지를 전송하여 멀티캐스트 서비스를 제공하는 방법으로 모든 노드가 메시지를 수신하기 위해서는 노드 수에 해당하는 슬롯 수만큼의 시간이 걸린다. 이 방법의 장점은 지금까지 많이 연구되고 잘 알려진 유니캐스트 스케줄링 알고리즘을 적용하여 좀 더 간단하고 이해하기 쉽게 구현이 가능하다는 것이다. 단점으로는 Broadcast-and-select망의 특징인 방송의 장점을 이용하지 못하며 똑 같은 메시지가 계속해서 전송하여야 하므로 망의 부하가 커지는 문제점이 있다.

2.2 서브그룹핑을 하지 않는 멀티캐스트 스케줄링 기법

멀티캐스트 그룹내의 모든 노드가 하나의 슬롯시간에 멀티캐스트 메시지를 수신하는 방법으로, 모든 수신 노드가 동시에 한 개의 멀티캐스트 메시지를 수신할 준비가 되어 있어야 한다. 즉, 멀티캐스트 서비스를 수행하기 위해 모든 노드의 송신기와 수신기들이 같은 채널로 튜닝되어 있어야 한다는 것이다. 이 방법은 하나의 멀티캐스트 메시지 전송만으로 모든 노드가 수신하므로 대역폭이 효율적으로 이용되지만, 일찍 수신이 준비된 노드로부터 마지막으로 수신이 준비되는 노드까지의 시간이 길어지면, 첫 번째 수신노드는 멀티캐스트 그룹내의 마지막 노드가 데이터를 수신할 수 있을 때까지 기다려야 하는 단점이 있다. 서브그룹핑을 하지 않는 멀티캐스트 스케줄링 기법은 스케줄링 알고리즘이 모든 노드에서 수행되는지, 아니면 중앙의 제어노드에서만 수행되는지에 따라 다시 Distributed 기법과 Centralized 기법으로 분류된다.

2.3 서브그룹을 이용한 멀티캐스트 스케줄링 기법

멀티캐스트 그룹내의 노드들을 서브그룹으로 나누어 멀티캐스트 서비스를 지원하는 방법으로, 각 서브그룹별로 메시지 전송이 일어난다. 서브그룹을 이용한 멀티캐스트 스케줄링 기법은 메시지 전송이 모든 수신노드가 이용 가능할 때까지 기다릴 필요 없이 송신노드의 송신기와 수신 노드들 중 하나 이상의 노드가 이용 가능할 때 바로 전송이 가능하다. 이때 고려해야 할 것으로는 어떤 기준으로 서브그룹핑을 할 것인가와 각 서브그룹의 스케줄링을 어떻게 할 것인가이다. 서브그룹을 이용한 멀티캐스트(Multicast with Subgrouping) 기법은 서브그룹핑을 하지 않는 멀티캐스트 기법과 마찬가지로 크게 중앙집중 제어방식과 분산제어 방식이 있으며, 주로 분산제어 방식의 성능이 우수하다. 따라서 분산제어 방식의 서브그룹을 이용한 멀티캐스트 기법이 가장 많이 연구되고 있으며, 대표적인 알고리즘들로는 수신노드가 멀티캐스트 메시지를 받는 시점까지의 지연 시간을 최소화시킬 것을 목적으로 멀티캐스트 그룹내의 수신기를 사용 가능 시점에 따라 서브그룹으로 나누는 방법인 Greedy 스케줄링 기법[8]과 튜닝의 관점에서 볼 때 여러 수신기들을 하나의 수신기로 간주하여 멀티캐스트를 마치 유니캐스트의 형태로 처리하는 가상수신기(Virtual Receiver) 기법[11, 12], 이용 가능한 슬롯타임에서 최대한 많은 노드에게 멀티캐스트 패킷을 보내기 위한 Maximum Destination 스케줄링 기법[9] 등이 있다. 가상수신기 기법과 Maximum Destination 기법은 Greedy 기법에 비해 상대적으로 알고리즘의 복잡도가 높다는 단점을 가지고 있다.

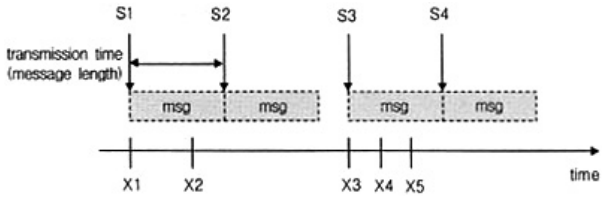
3. 수신기 상태정보를 이용한 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘

본 논문에서 제안한 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘은 WDM 단일홉 Broadcast-and-select망에서 수신기의 현재 튜닝상태를 고려하여 서브그룹을 구성하고 메시지를 전송하는 방식으로 서브그룹을 이용한 멀티캐스트 스케줄링 기법에 속한다.

망 내 각 노드는 Tunable Transmitter와 Tunable Receiver를 구비하여 메시지를 어느 데이터 채널로도 송·수신할 수 있도록 하였다. 한편, 제어채널을 통하여 멀티캐스트 그룹에 속하는 수신노드들이 현재 어느 데이터 채널에 튜닝되어 있으며, 현재의 메시지 수신이 언제 완료되는지에 대한 정보를 수집할 수 있다. 제어채널을 통해 수집된 수신노드들의 상태를 이용하여 모든 노드는 같은 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘을 수행하고 송신노드에서는 스케줄링 알고리즘의 결과에 따라 멀티캐스트 그룹을 서브그룹으로 나누고 각 서브그룹당 하나의 메시지를 전송하게 된다.

본 논문에서 제안하는 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘에 대해서 설명하기전에 [8]에서 제안한 Greedy 스케줄링 알고리즘의 기법들 중, EAR(Earliest Available Receiver)의 동작원리를 자세히 살펴보고자 한다. EAR 알고리즘은 동작원리가 간단하면서 멀티캐스트 그룹내의 노드가 겪는 지연시간을 많이 줄일 수 있는 효율적인 알고리즘으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 EAR 알고리즘에 대한 보다 정확한 정의와 동작원리를 파악하고 멀티캐스트 그룹내의 노드가 겪는 지연시간과 멀티캐스트 서비스를 위해 전송해야 할 패킷의 수를 줄일 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다.

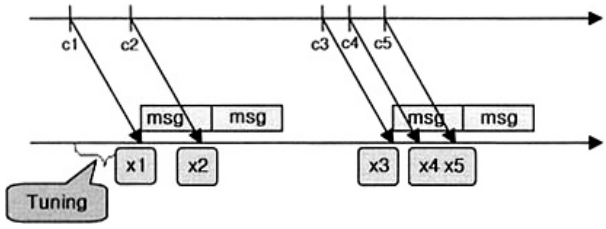
다음의 (그림 3)은 EAR 알고리즘의 동작원리를 보여주고 있다



(그림 3) EAR 알고리즘의 동작원리

멀티캐스트 그룹에 5개의 노드가 포함되어 있으며, 각 노드의 수신기는 X1, X2, X3, X4, X5에 수신준비가 되어 있다. EAR 알고리즘은 첫 번째 수신이 준비된 노드 1에 대해서 스케줄링을 실시하여 S1에한 메시지를 전송한다. 이 메시지의 전송시간 동안에 수신 준비가 된 노드 2는 S2에 스케줄링이 된다. S2에 스케줄링된 메시지가 전달되는 동안 사용이 가능해진 노드가 없으므로 다음 스케줄링은 X3 시점에 바로 이루어지며(S3), S3에 전달되는 메시지의 전송시간 동안 준비된 노드 4,5는 S3의 전송이 끝나는 S4에 스케줄링 되어 메시지를 전송하게 된다. 따라서 멀티캐스트를 위한 서브그룹은 (X1), (X2), (X3), (X4, X5)의 4개로 만들어지며 송신노드에서는 동일한 메시지를 S1, S2, S3, S4에 4회만 전송하면 된다.

그러나 EAR 알고리즘에서 멀티캐스트 그룹에 속하는 각 노드의 수신 가능한 시점은 (그림 4)에서와 같이 송신노드에서 사용하는 데이터 채널로 이미 튜닝된 시점을 의미한다. 이는 FT/TR의 노드 구조를 사용하기 때문이며 이로 인해 수신노드의 이전 튜닝상태에 대한 정보는 무시된 채 송신기의 데이터 채널에 고정적으로 튜닝된 이후에 스케줄링이 된다. 그래서 모든 수신노드는 튜닝에의한 지연시간을 가지게 되며, 노드가 실제로 데이터를 수신하게 되는 시점 또한 지연된다.



(그림 4) 모든 노드가 송신기의 채널로 튜닝 해야 하는 EAR 알고리즘

따라서 본 논문에서는 각 노드가 데이터의 송수신을 위한 TT/TR구조를 가지며, 멀티캐스트 서비스를 위해 수신기의 이전 상태를 고려하여, 전송해야 할 패킷의 수를 줄이고 각 노드가 가지는 지연시간을 최소화할 수 있는 스케줄링 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 EAR의 지연시간을 줄일 수 있는 장점을 충분히 활용하면서 전송되는 메시지의 수를 줄이기 위한 H-EAR(Heuristic EAR)방식과 전송되는 메시지 수를 좀 더 줄이기 위해 임시그룹(Pseudo Group)을 생성하여 스케줄링을 하는 Pseudo Group Method 방식이다.

3.1 H-EAR

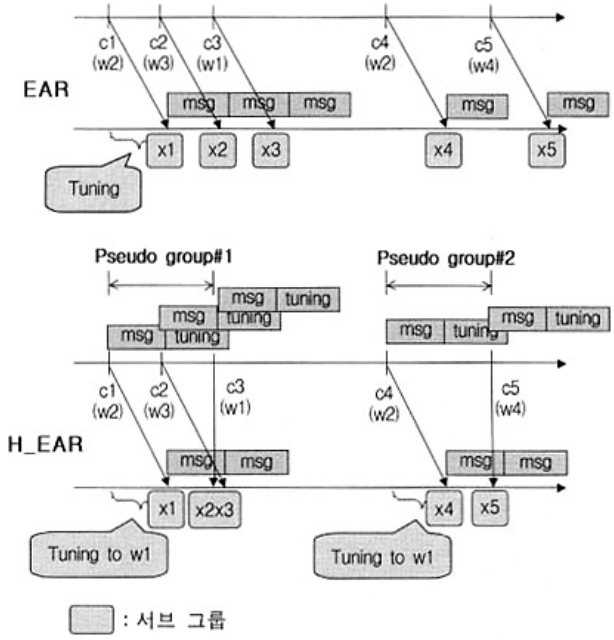
일반적으로 Broadcast-and-select WDM망을 구성하는 노드들은 FT-TR(Fixed Transmitter-Tunable Receiver)의 구조를 가진다. 이러한 구조에서 멀티캐스트 메시지를 송수신하기 위해서는 모든 수신기가 기본적으로 송신기의 파장에 튜닝되어야 하므로 실제 메시지를 수신하기까지의 지연시간이 길어진다.

한편, 튜닝의 속도 및 튜닝 장치의 기술발전으로 인해 송수신기의 비용이 많이 내려갈 것이며, 일반적인 노드의 구조인 FT/TR구조에서 TT/TR의 노드구조로 발전할 것으로 예상되므로 본 논문에서 제안된 알고리즘은 TT/TR 구조를 사용하였다.

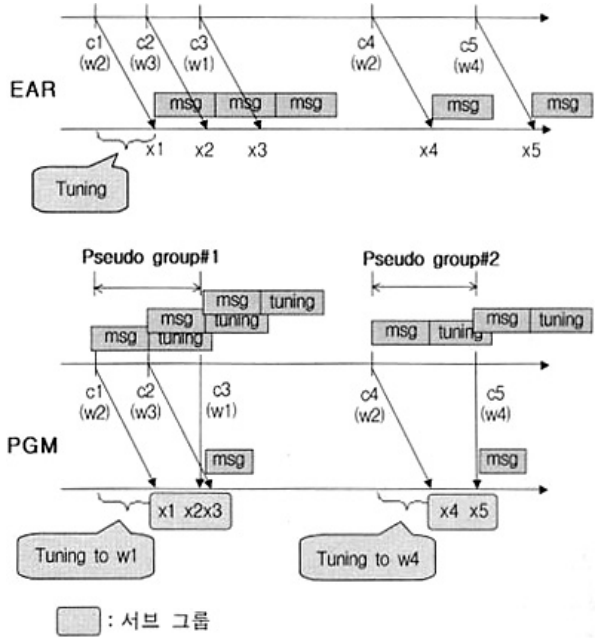
H-EAR 기법은 먼저 수신기가 언제 유휴(Idle) 상태가 되는지에 대한 시간정보(Ci)와 그때 사용되던 채널(Wi)에 관한 정보를 제어채널을 통해 수집한다. 수집된 정보를 이용하여 멀티캐스트 그룹내의 각 노드가 다른 노드로부터의 수신이 끝나는 시점(Ci)을 기준으로 튜닝지연시간과 메시지의 전송시간이 더해진 시간만큼의 길이 이내에 포함되는 노드들을 임시그룹(Pseudo Group)으로 만든다. 튜닝지연시간과 메시지 전송시간을 더한 시간만큼을 기준으로 그룹을 나누는 이유는 송신기가 어느 한 채널을 통해 데이터를 송신한 후, 다른 파장으로 튜닝되어 있는 노드에게 데이터를 전송할 경우를 고려하였기 때문이다. 각 노드들의 Ci에 대해 각각 튜닝지연시간과 메시지의 전송시간이 더해진 시간내에 다른 노드의 Ci가 포함되는지를 검사하여 포함되면 같은 임시그룹으로 묶고 포함되지 않으면 그 다음 임시그룹으로 설정한다.

이렇게 하여 모든 노드들에 대해 임시그룹을 정한 후, 임시그룹내의 마지막 노드가 수신하고 있던 파장으로 송신기와 같은 임시그룹내의 나머지 노드의 수신기들을 튜닝 한다. 마지막 노드와 같은 파장으로 수신을 하고 있던 노드라면 튜닝이 필요 없이 그대로 자신의 Ci 시점이 바로 데이터를 수신할 수 있는 Xi가 되고 다른 채널로 수신하고 있던 노드는 튜닝지연시간이 더해져서 Xi가 된다. 만일 임시그룹 내에 하나의 노드만이 포함되면 그 노드가 바로 마지막 노드에 해당하므로 자신의 Ci가 Xi가 된다. 이렇게 하여 생성된 Xi 값을 기준으로 EAR 알고리즘이 적용된다. (그림 5)는 멀티캐스트 그룹의 크기가 5인 경우의 Heuristic EAR 알고리즘의 예를 나타낸 것으로 EAR 알고리즘과 비교하여 Heuristic EAR을 적용한 예를 보인 것이다.

(그림 5)에서 보는 바와 같이 C1시점에 튜닝 지연시간과 메시지 전송시간을 더한 시간이내에 C2가 포함되고 다시 C2시점에서 튜닝지연시간과 메시지 전송시간을 더한 만큼의 시간 내에 C3가 속하므로 임시그룹 1에 C1, C2, C3가 속하게 된다. 그러나 C3와 C4사이에는 시간범위내에 포함되지 않으므로 노드4와 5는 임시그룹 2에 속하게 된다. 각 임시그룹내의 마지막 노드가 수신하던 파장으로 송신기와 각 임시그룹내의 나머지 노드들이 튜닝하여 데이터를 송수신하게 되므로 임시그룹 1내의 마지막 노드인 3번 노드가 수신을하던 1번 파장(W1)으로 송신기는 튜닝을 하게 되고



(그림 5) EAR 알고리즘과 H-EAR알고리즘의 동작원리 비교



(그림 6) EAR기법과 PGM 기법의 동작원리 비교

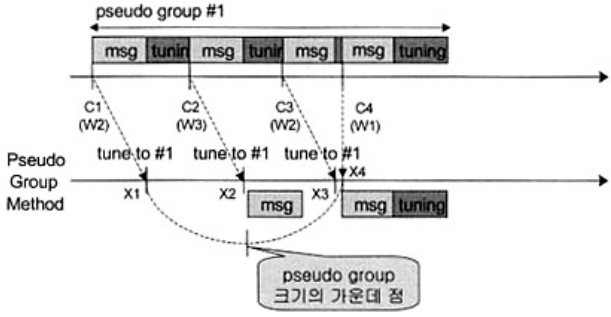
그룹내의 나머지 노드들도 1번 파장으로 튜닝하게 된다. 임시그룹 2는 5번 노드가 그룹내의 가장 마지막 노드이므로 송신기와 4번 노드는 5번 노드의 파장인 4번 파장(W4)으로 튜닝하게 된다. 이렇게 생성된 Xi값에 EAR 알고리즘을 적용시킨다. 그 결과 기존의 EAR 알고리즘이 멀티캐스트 서비스를 위해 5개의 노드에 대해 5개의 서브그룹을 생성하여 5개의 패킷을 전송해야 하지만, H_EAR에서는 4개의 서브그룹을 생성하여 멀티캐스트 서비스를 수행하는 것을 알 수 있다. 그리고 각 수신노드의 지연시간도 EAR 기법에 비해 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

3.2 PGM

H-EAR과 마찬가지로 각 노드의 Ci시점에 대해 튜닝시간과 메시지의 전송시간을 이용하여 임시그룹으로 나눈다. 나누어진 각 그룹내 마지막 노드와 파장으로 각 그룹에 속하는 노드와 송신기를 튜닝한다. H_EAR에서는 임시그룹을 적용하여 생성된 Xi시점에 대하여 EAR 알고리즘을 적용하였지만, PGM(Pseudo Group Method)에서는 하나의 임시그룹에 하나의 메시지만을 전송하게 된다. 그 다음 임시그룹에 메시지를 전송하기 위해서는 다음 그룹의 파장으로 송신기를 다시 튜닝을 한다. PGM 기법은 EAR알고리즘을 다시 적용하지 않으므로 프로세싱 타임이 줄어들며 전송해야 할 메시지의 수도 줄일 수 있다는 장점이 가진다.

(그림 6)은 PGM 기법을 이용한 예를 보여주고 있다.

(그림 6)에서 보는 바와 같이 각 Ci에 대하여 메시지 길이와 튜닝시간을 더한 만큼의 크기를 이용하여 임시 그룹 1, 2를 생성한 후, 첫 번째 임시그룹내의 마지막 노드인 3번 노드의 파장(w1)으로 1, 2번 노드의 수신기와 송신노드의 송신기를 튜닝한다. 마찬가지로 임시 그룹 2에서는 4번 노드와 송신기를 5번 노드가 데이터를 수신하던 채널인 4번 파장(w4)으로 튜닝한다. 이렇게 하여 생성된 Xi 시점을 각 임시그룹별로 하나의 서브그룹으로 묶어주고 각 서브그룹당 하나의 메시지를 전송한다. 이 알고리즘에서 만일 임시그룹의 크기가 커지게될 경우를 대비하여 임시그룹의 크기가 메시지의 길이의 두 배 이상이될 경우 한번 임시 그룹의 한 가운데 지점에서 메시지를 한번 더 전송한다. (그림 7)은 임시그룹의 크기가 큰 경우의 예를 보여주고 있다.



(그림 7) Pseudo Group의 크기가 큰 경우의 PGM의 동작 예

(그림 7)은 각 노드가 사용 가능하게 되는 시점인 Ci들이 서로 가깝게 위치하고 있어 임시 그룹의 크기가 커진 경우를 나타내는 것으로 노드 1, 2, 3은 노드 4가 메시지를 수신했던 1번 파장으로 튜닝 한다. 이때 1, 2, 3, 4번 노드는 X4 시점에 메시지를 수신하게 되는데 임시 그룹의 크기가 크기 때문에 1, 2번 노드는 큰 지연을 겪게 된다. 이를 방지하기 위해 임시그룹 1번 내 노드들의 X4와 X1의 차이가 메시지 길이의 두 배 이상이 되면 X1과 X4의 한가운데 지

점에서 한번 더 메시지를 전송하게 된다. 이로써 1,2번 노드의 지연시간은 반으로 줄어들게 되며, 이 기법은 임시그룹의 크기 및 망의 상태에 따라 재귀적으로 적용 가능하다.

4. 성능 분석

이 장에서는 기존의 멀티캐스트 스케줄링 방법인 EAR과 본 논문에서 제안한 H-EAR 기법과 PGM기법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다.

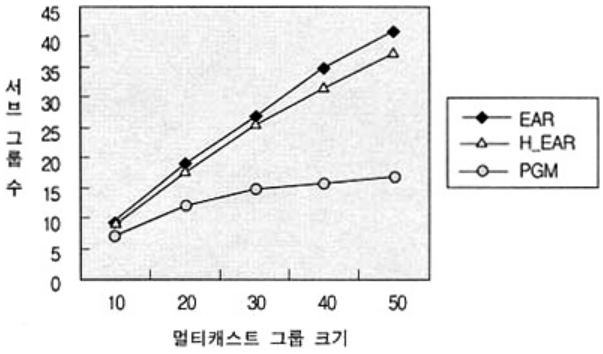
4.1 시뮬레이션 환경

Broadcast-and-select WDM망에서 멀티캐스트 서비스를 위한 알고리즘으로 본 논문에서 제안한 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘과 EAR 알고리즘의 성능을 비교·분석하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해 사용된 인자로는 멀티캐스트 그룹의 크기(G), 데이터 채널 수(W), 메시지의 길이(L), 송수신기의 튜닝시간(T) 등이며, 멀티캐스트 그룹내의 수신기의 이용 가능 시점은 랜덤하게 설정하였다. 여기서 멀티캐스트 그룹의 크기는 멀티캐스트 서비스를 받고자 하는 수신 노드의 수를 의미하는 것으로 10~50개로 변화시키면서 그에 따른 서브 그룹의 수 및 평균 지연시간을 측정하였다. 데이터 채널 수는 일반적으로 하나의 광섬유를 통해 전송 가능한 파장의 수가 8~64개임을 고려하여 그 이내에 포함되는 10개를 기준으로 하였다. 메시지의 길이는 하나의 파장으로 전송가능한 대역폭이 1Gbps라고 가정하고, 일반적인 IP 패킷의 길이인 1500바이트를 메시지 길이로 설정하였으며, 망이 광대역화 될 경우 한번에 보낼 수 있는 패킷의 크기 또한 커질 것임을 예상하여 3000바이트에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 단위시간은 50바이트(최소 IP 패킷의 길이인 40바이트의 근사치)의 메시지를 1Gbps 링크에 전송하는 시간인 0.4us를 1단위시간(Time Unit)으로 설정하였다. 송수신기의 튜닝 시간은 현재 사용 가능한 튜닝장치 중 튜닝속도가 비교적 빠르며 짧은 파장으로 데이터 송수신이 가능한 Acousto-Optic 송수신기의 튜닝속도인 10us를 기준으로 설정하였다[15].

4.2 성능 분석 결과

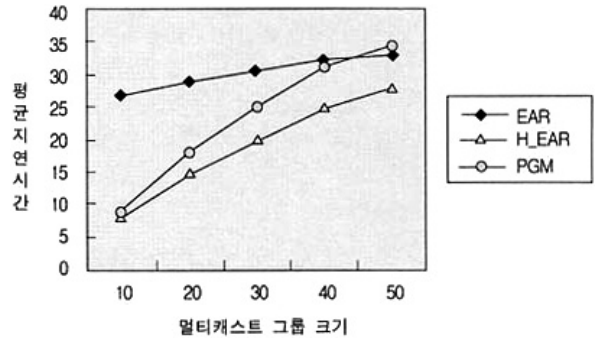
멀티캐스트 스케줄링 알고리즘의 성능은 서브그룹 개수 및 수신 노드의 평균지연시간을 지표로 삼았다. 이에 따라 본 논문에서는 멀티캐스트 그룹의 크기를 변화시켜가면서 서브그룹 개수와 평균지연시간을 알고리즘 별로 분석하였다. 성능 분석시 튜닝 지연시간은 10us, 데이터 채널수는 10개로 두었으며 메시지길이는 1500바이트, 3000바이트에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다.

먼저 (그림 8)은 메시지의 길이가 1500바이트인 경우 멀티캐스트 그룹의 크기에 따른 서브그룹의 개수를 각 알고리즘별로 나타낸 것이다. (그림 8)에서 서브그룹 수는 전송되는 메시지의 수를 의미하는 것으로 볼 수 있다. 즉 서브그룹 수가 적을수록 더욱 성능이 좋은 알고리즘이라고 말할 수 있다. (그림 8)에서 보듯이 EAR보다 제안한 H_EAR과 PGM이 서브그룹 수의 측면에서 우수함을 알 수 있다. 특히 PGM은 서브그룹의 수가 현저하게 감소됨을 알 수 있다. PGM 방식은 메시지 길이와 튜닝시간을 이용하여 임시그룹을 만들고 그룹 단위로 1~2개의 메시지를 전송하기 때문에 다른 알고리즘에 비해 서브 그룹의 수를 감소시킬 수 있다.



(그림 8) 멀티캐스트 그룹 크기에 따른 서브 그룹의 개수 (L = 1500)

한편 (그림 9)는 멀티캐스트 그룹의 크기에 따른 수신노드의 평균지연 시간을 보여주고 있다.



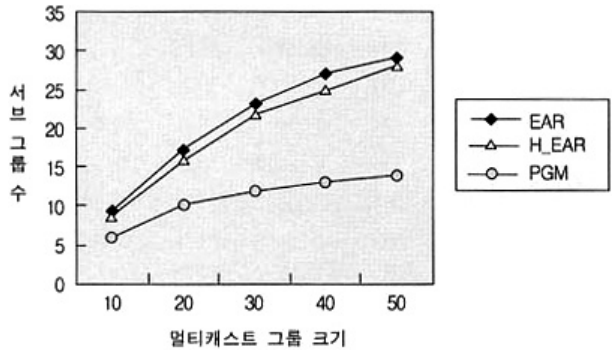
(그림 9) 멀티캐스트 그룹의 크기에 따른 평균 지연시간 (L = 1500)

(그림 9)에서 보는 바와 같이 수신 노드의 평균지연시간은 H_EAR 알고리즘이 가장 작은 값을 나타내고 있다. H_EAR 알고리즘은 멀티캐스트 그룹을 메시지 길이와 튜닝시간에 따라 임시그룹을 설정하고 송신기를 임시그룹별로 튜닝하여 지연시간을 줄일 수 있는 EAR 알고리즘을 적용하여 메시지를 전송하므로 평균지연시간이 가장 작은 값이 된다.

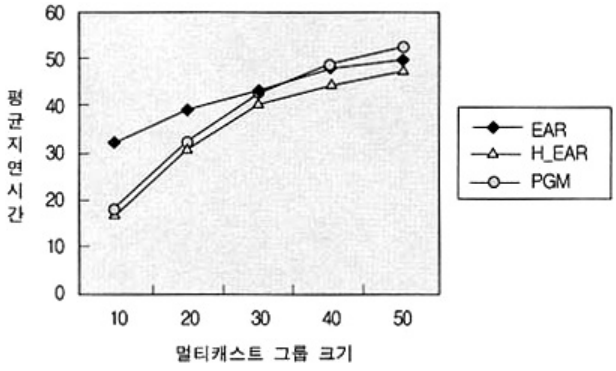
그러나 PGM 기법도 멀티캐스트 그룹의 크기가 크지 않은 경우 즉, 망의 트래픽이 많은 경우에는 평균지연시간이 적게 나타난다. 전체적인 성능으로 볼 때, PGM기법이 급격한 서브그룹의 수의 감소에도 불구하고 낮은 지연시간을 나타

내므로 PGM이 가장 우수한 알고리즘이 될 것이다.

일반적인 IP 패킷의 길이가 1500바이트이지만 좀 더 망의 대역폭이 넓어진다면 한번에 전송할 수 있는 패킷의 길이 또한 길어질 수 있다. (그림 10)과 (그림 11)은 메시지의 길이가 3000바이트인 경우로 나머지 인자들은 (그림 8)과 (그림 9)의 경우와 같게 설정하였다.



(그림 10) 멀티캐스트 그룹 크기에 따른 서브 그룹의 개수 (L = 3000)



(그림 11) 멀티캐스트 그룹 크기에 따른 평균 지연시간 (L = 3000)

(그림 10)과 (그림 11)은 앞서 제시한 (그림 8)과 (그림 9)와 크게 다르지 않다. 즉, 메시지의 길이가 길어지더라도 제안된 알고리즘의 성능이 더 우수함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 Broadcast-and-select WDM망을 위한 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 튜닝가능한 송신기를 사용하였으며, 수신기가 어느 파장으로 데이터를 수신했었는지에 대한 상태 정보를 이용하여 전송해야 할 패킷의 수와 지연시간을 줄일 수 있는 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘인 H_EAR 기법은 각 노드에 대해 튜닝 지연시간과 메시지 길이가 더해진 시간범위 내에 사용가능하게 되는 노드가 있는지를 파악하여 임시그룹을 구성하였다. 그리고, 생성된 임시그룹내의 마지막 노드의 상태정보에 따라 송신기와 다른 수신기들을 튜닝한 후, 기존의 EAR 알고리즘을 적용하는 방법이다. 한편, PGM 기법은 H_EAR과 마찬가지로 임시그룹을 생성한 후 생성된 임시그룹마다 하나씩의 메시지를 전송하는 방법이다.

제안된 알고리즘들은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였으며, 멀티캐스트 그룹의 크기, 데이터 채널 수, 메시지의 길이, 그리고 송수신기의 튜닝시간의 변화에 따른 지연시간과 서브 그룹의 수를 분석하였다. 제안된 두 알고리즘 모두 기존의 방법에 비해 우수한 성능을 보였다. 특히, H_EAR은 기존의 기법에 비해 지연시간이 많이 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며, PGM 기법은 서브 그룹의 수가 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 망의 상태를 고려하여 제안된 알고리즘을 적절히 응용한다면 좀 더 우수한 성능의 멀티캐스트 서비스가 가능해질 것이다.

앞으로는 제어채널을 통한 수신기의 상태를 수집한 후에 제안된 멀티캐스트 스케줄링 알고리즘이 동작되는 전체 MAC 프로토콜의 구조에 대해 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] "국내 인터넷 이용자 수 통계", 한국인터넷정보센타, http://stat.nic.or.kr/iuser/korea_y.html, 2002.

[2] R. Ramaswami, "Multiwavelength Lightwave Networks For Computer Communication," IEEE Communications Magazine, pp78-88, Feb., 1993.

[3] Rajiv Ramaswami And Kumar N. Sivarajan, *Optical Networks : A Practical Perspective*, Morgan Kaufmann Press, 1998.

[4] Biswanath Mukherjee, *Optical Communication Networks*, Mcgraw-Hill Press, 1997.

[5] D. Thaker And G. N. Roukas, "Multi-Destination Communication In Broadcast WDM Networks : A Survey," TR-2000-08, Dept. Of Computer Science, North Caroline State Univ, pp.1-16, July, 2000.

[6] N-F. Huang, Y-J. Wu, C-S. Wu, And C-C. Chiou, "A Multicast Model For WDM-Based Local Lightwave Networks With A Passive Star Topology," In Proceedings Of TENCON 93, pp.470-473, 1993.

[7] S-T. Sheu, And C-P. Huang, "An Efficient Multicast Protocol For WDM Star-Coupler Networks," Proc. Of IEEE International Symposium On Computers And Communications, pp.579-583, 1999.

[8] J. P. Jue And B. Mukherjee, "The Advantages Of Partitioning Multicast Transmissions In A Single-Hop Optical WDM Network," Proc Of ICC'97, pp.427-431, 1997.

[9] H-C. Lin And C-H. Wang, "Minimizing The Number Of Multicast Transmissions In Single-Hop WDM Networks,"

In Proceedings Of ICC 2000, pp.1645-1649, 2000.

[10] E. Modiano, "Random Algorithms For Scheduling Multicast Traffic In WDM Broadcast-and-select Networks," IEEE/ACM Transactions On Networking, 7(3), pp.425-434, June, 1999.

[11] Z. Ortiz, G. N. Rouskas, And H. G. Perros, "Scheduling Of Multicast Traffic In Tunable-Receiver WDM Networks With Non-Negligible Tuning Latencies," Pric. SIGCOMM 97, pp.301-310, ACM, Sept., 1997.

[12] Z. Ortiz, G. N. Rouskas, And H. G. Perros, "Maximizing Multicast Throughput In WDM Networks With Tuning Latencies Using The Virtual Receiver Concept," European Transactions On Telecommunications, 11(1), pp.63-72, January/February, 2000.

[13] M. Borella And B. Mukherjee, "A Reservation-Based Multicasting Protocol For WDM Local Lightwave Networks," In Proceedings Of ICC '95, pp.1277-1281, 1995.

[14] M. Bandai, S. Shiokawa, And I. Sasane, "Performance Analysis Of A Multicasting Protocol In A WDM Based Single-Hop Lightwave Network," In Proceedings Of Globecom '97, pp.561-565, 1997.

[15] Krishna M. Sivalingam, *Optical WDM Networks(Principles And Practice)*, KAP, 2000.

진 교 홍

e-mail : khjin@dongeui.ac.kr

1991년 부산대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

1993년 부산대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

1997년 부산대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1997년~2000년 국방과학연구소 선임연구원

2000년~현재 동의대학교 멀티미디어공학과 조교수

관심분야 : TCP/IP, LAN, 초고속통신망 등