

主題

고속 라우팅 알고리즘

고려대학교 전자정보공학과 강현국, 천정훈
한국전자통신연구원 오행석

차 례

- I. 서론
- II. 고속 네트워크에서의 라우팅
- III. 고속 네트워크에서의 멀티캐스트 라우팅 알고리즘
- IV. 결론

I. 서론

통신 네트워크의 사용자들은 다양한 서비스 요구 사항에 따른 다양한 어플리케이션에 적합한 네트워크를 기대해왔다. 멀티미디어 어플리케이션은 음성, 데이터, 그리고 영상 등의 여러 가지 트래픽들의 동시 통신을 요구한다. 각각의 트래픽 타입은 서로 다른 밴드폭 요구사항과 네트워크에 의해 유도되는 지연, 오류, 그리고 손실에 대한 내성을 갖는다. 주어진 트래픽 타입에 따라서, 요구되는 전송율은 사용되는 인코딩 스킴 정보에 의존하고, 게다가, 단일 트래픽 세션과정 중에서, 전송율은 어플리케이션이 트래픽 버스트를 생성하기 때문에, 손상될 수도 있다. 또한, 어플리케이션은 트래픽 전달 패턴에 따라 다양하다. 특히, 분산 어플리케이션은 멀티포인트와 점대점 통신 모듈을 요구한다.

고속 네트워크는 매우 유연하고, 비용이 효과적이

며, 단일 네트워크내에서 많은 사용자들에게 다양한 통신 서비스를 제공한다. 서로 다른 서비스에 대한 요구에 의해 활성화된 고속 네트워크의 개발은 고속 전송과 스위칭 기술의 진보로 인해 가능하게 되었으며, 여기에 광 화이버, 디지털 다바이스, 그리고 최소 버퍼링 능력을 갖는 간단한 스위칭 노드를 연결한 네트워크를 기반으로 하는 스위칭 구조도 포함된다. 고속 네트워크에서의 주요 라우팅 문제들은 부하상에서 손실을 줄일 수 있도록 적절한 경로를 선택하고, 트래픽을 포워딩하는 것을 포함한다. 사용자 트래픽과 링크 로딩, 여러가지 목적에 따른 정확한 모델로 인해, 제약 받는 경로 생성 알고리즘이 어플리케이션의 다양한 서비스 요구사항을 만족시키는 유연한 경로를 포함하도록 하고 있다. 트래픽 스케줄링과 전환 기술은 부하가 큰 스위치에서 트래픽 손실을 최소화하는데 요구된다. 스위치 내에서 서로 나가려는(출력) 경쟁을 하는 동안, 서로 연결된 네트워크를 통해서 트래픽을 버퍼링하거나 재순환시

키는 것은 손실을 줄이게 한다.

또한, 스위치 연결 네트워크도 현재 관심 있는 라우팅 문제 중에 하나이다. 고속 스위치는 연결 네트워크를 통해 경로에 대한 내부 경쟁을 처리해야 한다. 내부 블로킹은 스위치의 모든 입력/출력 쌍간의 지정 경로를 갖는 연결 네트워크에 의해 제거되어질 수 있다. 그러나, 이러한 접근 방법들은 많은 입력/출력으로 연결되어진 스위치에서는 비실용적이다. 연결 네트워크를 통해 지연을 줄이기 위해서, 고속 스위치는 패킷-스위치 네트워크를 위해 개발된 빠른 포워딩 기술을 사용한다. 이것은 근원지에 따른 포워딩(연결 네트워크에서의 자기-라우팅(self-routing))과 가상 cut-through를 포함한다. 게다가, 커다란 네트워크내에서 다중 포인트 통신의 성능을 향상시키기 위해서, 어떤 고속 스위치들은 연결 네트워크에 멀티캐스트 능력을 포함시키고 있다. 또한, 지연시간, 대역폭과 관련된 QoS 파라미터들을 고려한 QoS 요구 사항들을 만족시키는 라우팅 방식도 포함시켜야만 한다.

본 고에서는 크게 두 부분에서의 고속 라우팅을 살펴보고자 하겠다. 2장에서는 고속 네트워크(광 네트워크와 plaNET 네트워크)에서의 라우팅을 살펴보고, 3장에서는 고속 네트워크 라우팅에 추가적으로 필요한 멀티캐스트 능력, 즉 멀티캐스트 라우팅 방법들을 살펴보기로 한다. 그리고 4장에서는 결론을 맺도록 하겠다.

II. 고속 네트워크에서의 라우팅

1. 광 네트워크에서의 라우팅

광 성분을 갖는 네트워크들은 훨씬 더 높은 데이터 전송율과 기존 전자적인 네트워크보다 훨씬 더

신뢰적인 특성을 갖기 때문에, 실시간 고해상 멀티미디어 어플리케이션을 지원할 수 있다. 또한, 광 네트워킹 기술은 존재하는 라우팅 기술이 광 네트워크의 어떠한 타입에도 성공적으로 적용할 수 있기 때문에, 회선 교환과 패킷 교환 기능을 모두 수행할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 광 정보들을 전송하는데 있어서 새로운 특성에 따른 이점을 살리고, 새로운 문제들에 대처할 수 있는 새로운 라우팅 스킴들이 이러한 광 네트워크에 필요하다.[1]

광 네트워크에서는 네트워크가 어떻게 메시지들을 근원지에서 목적지로 경로 설정하느냐에 따라서 다음의 다섯 가지 범주의 네트워크로 나뉘어진다.

1.1 광-링크 네트워크

광-링크 네트워크는 점대점 광 링크에 의해서 메쉬 토폴로지로 연결된 전자적인 스위치로 구성된다. 이러한 네트워크는 광 시스템이 아닌 시스템보다 높은 전송율과 낮은 오류율이 보장된다. 반면에, 비싸다는 단점은 있다. 이러한 네트워크에서 라우팅 스킴을 설계하는데 있어서의 주요 문제는 가능한 한 낮은 패킷당 패킷 프로세싱 오버헤드를 요구하는 고속이어야 한다는 점이다. 일반적인 해결책은 패킷의 버퍼링을 최소화시키기 위한 근원지 라우팅, 가상-회선 라우팅, 그리고 cut-through 스위칭이 있다. 즉, 라우팅은 인터넷, 시스템 네트워크 구조, 그리고, DECnet과 같은 기존의 전자적인 네트워크에서의 라우팅과 유사하게 수행된다.

1.2 단일-홉 네트워크

단일-홉 네트워크는 하나의 홉에서 근원지로부터 목적지까지 메시지를 경로설정한다. 즉, 어떠한 메시지의 in-band 프로세싱도 중간 포인트에서 수행하지 않는다. 그러나, 어떤 네트워크는 근원지로부터 목적지까지의 물리적인 경로를 설정하거나, 해제하기 위해서 out-of-band 시그널링을 사용한다.

그러므로, 단일-홉 네트워크에서 라우팅 절차는 전자적인 스위치를 통해 간섭없는 근원지와 목적지를 연결하는 물리적인 경로를 선택해야 한다. 메시지는 한 홉에서 네트워크를 통해 이동되고, 라우팅은 제공되는 여러 개의 채널 중에서 근원지로부터 목적지로의 하나의 채널을 찾음으로써 효과적으로 이루어진다. 단일 채널에서, 단일-홉 네트워크 라우팅은 다중액세스 문제를 감소시킨다. 그림 1은 단일-홉 광 네트워크의 설계 구조를 나타낸 것이다.

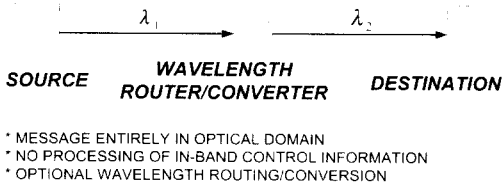


그림 1. 단일-홉 광 네트워크

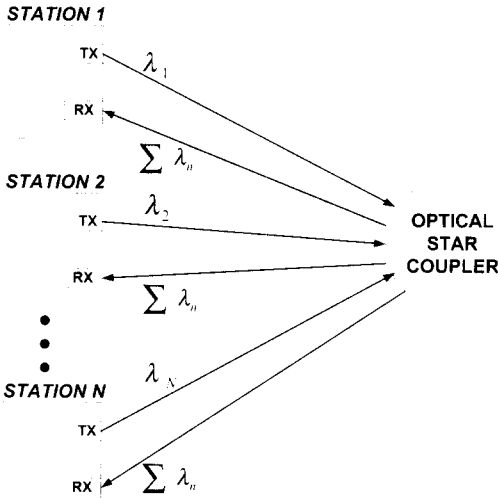


그림 2. 브로드캐스트-선택 성형 네트워크

많은 단일-홉 광 네트워크는 네트워크의 모든 스테이션들에게 수신한 신호들을 브로드캐스트하는 optical star coupler로 연결된 스테이션들로 구성된다. 그림 2는 하나의 optical star coupler와 N개의 스테이션으로 구성된 단일-홉 광 네트워크를

나타낸 것이다.

1.3 다중 홉 광 네트워크

다중 홉 광 네트워크에서는 메시지를 중간 전자적인 스위치를 통해서 근원지로부터 목적지까지 운반한다. 다중 홉 광 네트워크는 여러 wavelength를 사용해서 광-링크 네트워크와 구별되며, 주로 PON 내에 구현된다. 이 시스템은 단일-모드 광 화이버 내에서 많은 고속 채널을 다중화시킬 수 있는 lightwave 시스템의 특성을 더욱 효과적으로 이용한다. 그림 3은 전형적인 다중 홉 광 네트워크를 나타낸 것이다.

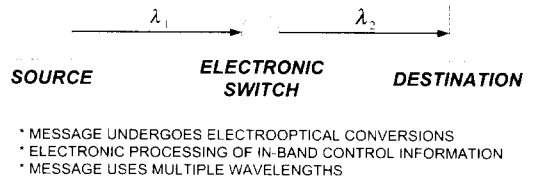


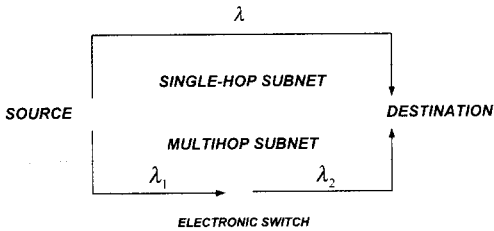
그림 3. 다중 홉 광 네트워크

다중 홉 광 네트워크는 실제 링크와 스테이션으로 구성되는 물리적인 위상과 스테이션의 논리적인 연결인 가상 위상으로 특징지어진다. 각 위상은 서로 독립적이다. 다중 홉 광 네트워크 표준은 ShuffleNet[2]이다. ShuffleNet은 PON 물리적인 위상과 재순환-완벽한-shuffle 가상 위상으로 된 다중채널 네트워크이다.

1.4 하이브리드 광 네트워크

단일-홉 네트워크는 실시간, 지연에 민감한 트래픽의 전송을 지원하지만, 대용량, 비실시간 트래픽에 대한 패킷 스위칭에는 비효율적이다. 반면, 다중 홉 패킷 스위칭 네트워크는 대용량 트래픽을 전송하는데 적당하지만, 지연에 대한 보장과 실시간 트래픽에 의해 요구되는 밴드폭을 쉽게 제공할 수 없다. 그 해결책이 단일-홉과 다중 홉 네트워크를 하나로

결합한 하이브리드 네트워크이다. 하이브리드 광 네트워크를 개념적으로 나타낸 것이 그림 4이다.



- * NETWORK CONSISTS OF DISTINCT SINGLE-HOP AND MULTI-HOP SUBNETS
- * MESSAGE CAN USE EITHER SUBNET

그림 4. 하이브리드 광 네트워크

단일-홉 네트워크는 회선 교환을 지원하고, 다중 홉 네트워크는 패킷 교환을 지원하기 때문에, 하이브리드 광 네트워크는 종합적인 트래픽을 잘 처리할 수 있다. 다중 홉 서브네트워크는 시간에 제약받지 않는 메시지를 교환하는 방법을 제공한다. 이것은 단일-홉 서브네트워크에서 연결을 유지하기 위해 최선형 전달 서비스, 네트워크 관리 트래픽, 그리고 out-of-band 시그널링을 극복할 수 있는 대용량 트래픽을 포함하고 있다.[3][4]

1.5 광자(photonic) 네트워크

광자 네트워크는 가장 진보된 고속 네트워크중 하나이다. 광자 네트워크에서의 메시지는 자신의 근원지로부터 목적지까지 광 도메인에서 유지된다. 반면에, 단일-홉 광 네트워크에서는 in-band 제어 정보가 중간 스위칭 센터에 의해 처리된다. 광자 네트워크에서는 두 가지 타입이 가능하다. 첫번째는 almost-all-optical network으로서, 메시지가 광 도메인으로부터 전환되지 않더라도, in-band 제어 정보가 메시지 경로를 통하게 하고, 각 라우팅 노드에서 전자 도메인으로 전환된다. 이때, 헤더 정보는 패킷의 스위칭을 제어하기 위해서 라우팅 노드에 의해 사용된다. 두번째 truly-all-optical

network에서 메시지의 처리는 모두 광자로 이루어진다. 여기서는 자기-라우팅 광 스위치가 사용되도록 한다. 그림 5는 광자 네트워크의 첫번째 타입을 나타낸 것이다.

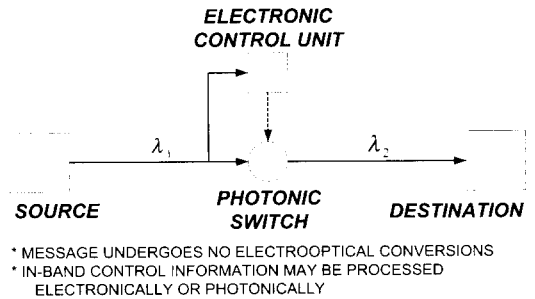


그림 5. 광자 네트워크

2. plaNET 망에서의 라우팅

plaNET은 기가비트 속도의 패킷 교환 네트워크로서, 광범위한 트래픽 타입에 따른 서비스를 제공하기 위한 종합적인 해결책을 제공해주는 라우팅 정책을 갖는 네트워크이다. plaNET 경로 선택 과정은 여러 단계를 갖는다. 세션 트래픽 파라미터와 밴드폭 요구사항 특성화, 네트워크 링크상에서 세션의 충분한 효과를 얻는 것, 네트워크에 최소의 영향을 주도록 사용자에게 의해 요구되는 서비스를 제공하는 경로를 선택하는 과정이 그것이다. 게다가, plaNET은 점대점과 점대다중점 통신에서 연결 지향형과 비연결형 트래픽의 효과적인 처리를 하는 여러 가지 패킷 전달 모드를 제공한다. plaNET에서의 라우팅은 plaNET 라우팅 기능을 구현하기 위해 사용되어진 서로 다른 성분 요소와 시스템에 따라 두 가지로 나누어진다.

2.1 패킷-레벨 라우팅

대부분의 빠른-패킷-교환 네트워크에서처럼 각 패킷에 따르는 경로는 패킷이 네트워크로 진입할 때

선택된다. 반면에, 인터넷과 같은 기존의 패킷-교환 네트워크에서는 plaNET에서 패킷-레벨 라우팅 기능이 단지 중간 노드에서 최소의 프로세싱만을 요구한다. 각 패킷은 다음으로 전달되어질 링크를 표시하는 특별한 정보(레이블)를 포함하고 있다. 이러한 레이블은 적절한 패킷 라우팅이 가능하도록 하고, 밴드폭 보장에 대한 요구사항을 갖도록 속도에 의해 추가된다. 그림 6은 plaNET 패킷 포맷을 나타낸 것이다. 특히, 첫번째 필드는 제어 정보를 나타내는데, plaNET에서는 네 가지의 기본적인 라우팅 모드와 한가지의 복합적인 라우팅 모드를 갖는다. 이러한 라우팅 모드와 패킷의 우선 순위 등을 나타내는 것이 제어 정보 필드이다. 그리고, 두번째 필드인 라우팅 헤더에 링크 ID와 레이블, 멀티캐스트 트리 정보 등의 정보를 포함한다.

Control Information	Routing Header	PAYLOAD	CRC
Routing Mode Packet Priority	Link IDs Label(ATM) Multicast Tree		Optional

그림 6. plaNET 패킷 포맷

2.2 호-레벨 라우팅

plaNET 네트워크에서는 수신하는 호 요청에 따라 할당되는 경로를 결정하기 위해 여러 단계를 수행한다. 첫번째는 호 요청의 특성을 정확하게 파악하는 것이다. plaNET 네트워크는 네트워크에 의해 제공되는 서로 다른 서비스 레벨에 따라서 여러 타입의 연결을 지원한다. 서비스 레벨의 차이는 호에 할당되는 경로에 각기 다른 제약을 주어서 경로 계산에 영향을 주는 것이다. 두번째는 연결이 적절하게 특성화되었다고 가정하고, 그 호에 대한 근원지와 목적지사이의 정확한 계산을 하는 것이다. 이러한 계산은 연결의 서비스 요구사항과 네트워크에 대한 비용을 정하는 것이다. 목적은 요구되는 서비스 레벨에 맞도록 비용을 최소화하는 것이다. 경로

계산은 호의 근원지에 인접하는 plaNET 네트워크 노드에 의해 수행된다.

plaNET에서는 QoS 보장을 갖는 연결과 보장 받지 않는 연결의 두가지 타입의 연결을 제공한다. QoS를 보장 받지 않는 연결에서 발생한 트래픽은 기존의 방식처럼 최선형으로 전달된다. 반면, QoS를 보장 받는 연결에서 발생하는 트래픽은 우선적으로 할당할 자원의 양을 결정하고, 결정된 자원은 경로-계산 알고리즘에 입력되어서 적절하게 처리되도록 한다.

III. 고속 네트워크에서의 멀티캐스트 라우팅 알고리즘

멀티캐스트 라우팅 알고리즘은 두 개의 범주로 분류되어진다. 첫 번째 범주는, 소스 노드로부터 멀티캐스트 그룹 멤버 노드까지 각 경로의 비용을 최소화 하는 최단 경로 알고리즘이다. Bellman-Ford 알고리즘과 Dijkstra 알고리즘은 두 개의 잘 알려진 최단 경로 알고리즘이다. 또한, 이 알고리즘들은 distance vector 와 link state routing 알고리즘의 기본이다. 그리고 또 다른 범주는 최소 Steiner 트리 알고리즘들이다. 이들의 목표는 멀티캐스트 트리의 총 비용을 최소화 하는 것이다.

이번 장에서는 세 가지의 비역제 멀티캐스트 라우팅 알고리즘과 네 가지 역제 멀티캐스트 라우팅 heuristics을 살펴보기로 한다. 비역제 최적화 최소 Steiner 트리(OPT) 알고리즘은 항상 멀티캐스트 라우팅 문제에 대한 최소 비용 해결책을 찾는다. 또한, 역제 최적화 최소 Steiner 트리(COPT) 알고리즘은 주어진 지연 제약에 따른 같은 문제에 대한 최소 비용 해결책을 찾는다.

1. 비역제 알고리즘

비역제 알고리즘은 어플리케이션의 QoS 요구사항을 고려하지 않고, 주어진 비용 기능을 최적화하기 위한 것이다. 매우 적은 알고리즘이 간접 네트워크에서 최소 Steiner 트리 문제를 위해 제안되었고, 비주기적인 네트워크와 같은 조건하에서 동작한다. 그러나, 간접 네트워크의 경우에는 몇 가지 heuristics들이 있다.

KMB(Kou, Markowsky, and Berman) heuristic [5]은 시간 복잡성이 $O(|G||V|^2)$ 인 반면, 최적 해결책의 비용보다 단지 평균적으로 5% 정도 나빠졌다. 그러므로, KMB는 간접 네트워크를 위한 효과적인 비역제 최소 Steiner 트리 heuristic이다.

Dijkstra의 최단 경로 알고리즘은 MOSPF[6]와 같은 통신 프로토콜에서 사용되고, 만족된 성능을 갖는다. 이것은 근원지로부터 각 멀티캐스트 그룹 멤버들로의 경로 비용을 최소화하는 최소-비용(LC) 알고리즘이다.

마지막으로, 여러 멀티캐스트 라우팅 알고리즘은 최단 역방향 경로 멀티캐스트 트리를 생성하는 알고리즘을 적용한다. 이름하여, 역방향 경로 멀티캐스팅(RPM)[7][8] 이라고 한다. RPM은 각 노드에서 저장되는 제한된 상태 정보를 요구하는 분산되고, 동적인 알고리즘이다.

2. 역제 알고리즘

역제 Steiner 트리(CST) heuristic은 모두 네가지를 소개하도록 한다. 첫번째, KPP (Kompella, Pasquale, and Polyzos) [9]는 링크 지연과 지연 경계가 정수라고 가정한다. heuristic은

시간 $O(|V|^3)$ 이 소요되는 역제 종료 그래프를 계산함으로써 결정된다. 그러므로, KPP는 만약 가 결정될 때만 polynomial 시간을 갖는다. 링크 지연과 가 정수가 아닌 값을 갖을 때, Kompella는 그 값을 정수로 하기 위한 배수법을 제안한다. 이러한 접근법에 따라서, KPP는 역제 트리를 생성하도록 보장받게 된다.

네가지 CST heuristic은 역제 Bellman-Ford 알고리즘을 기반으로 하였다. 역제 Bellman-Ford는 네트워크에서 근원지로부터 모든 다른 노드로의 역제 최소-비용 경로를 찾기 위한 breadth-first 탐색을 사용한다. 두번째, heuristic인 CAO(Constrained Adaptive Ordering)는 근원지에 한번에 하나의 그룹 멤버를 연결하는데 사용된다. 역제 Bellman-Ford 알고리즘의 각 동작 후에, 근원지로의 최소-비용 역제 경로를 갖는 비연결 멤버는 존재하는 서브트리에 선택되고, 추가된다. 이미 존재하는 서브트리에서 링크의 비용은 0으로 설정된다.

세번째, BSMA(Bounded Shortest Multicast Algorithm) [10]은 주어진 근원지 s 와 멀티캐스트 그룹 G 에 대한 LD 트리를 계산하면서 시작된다. 그리고 나서, 트리의 총 비용이 감소되지 않을 때까지, 지연 경계를 위배하지 않도록, 트리에서 더 낮은 비용 수퍼 에지를 $T(s, G)$ 로 치환한다. BSMA는 낮은 비용 수퍼 에지를 찾기 위해 k -번째 최단 경로 알고리즘을 사용한다. 그리고, $O(k|V|^3 \log|V|)$ 시간에서 동작한다.

COPT heuristic은 비역제 LC 트리를 계산한다. 그룹 멤버로의 종단간 지연이 지연 경계를 위배했다면, 근원지로부터 그룹 멤버까지의 경로는 최소-지연 경로로 치환된다. LC 트리가 지연 경계를 위배했다면, LD 트리는 계산되어야 하고, 두 트리는

융합된다. 이 알고리즘은 항상 역대 멀티캐스트 트리를 항상 찾는다. 이 CSPT heuristic은 LC와 LD 트리 모두를 계산하는데 Dijkstra 알고리즘을 사용하기 때문에, $O(|V|^2)$ 이다. 그래서, 이 알고리즘을 CDKS (Constrained Dijkstra heuristic)이라고 부른다.

IV. 결 론

고속 네트워크에서의 라우팅 문제는 부하상에서 손실을 줄일 수 있도록 적절한 경로를 선택하고, 트래픽을 포워딩하는 것을 포함한다. 사용자 트래픽과 링크 로딩, 여러가지 목적에 따른 정확한 모델로 인해, 제약 받는 경로 생성 알고리즘이 어플리케이션의 다양한 서비스 요구사항을 만족시키는 유연한 경로를 포함하도록 하고 있다. 트래픽 스케줄링과 전환 기술은 부하가 큰 스위치에서 트래픽 손실을 최소화하는데 요구된다. 스위치 내에서 서로 나가려는 (출력) 경쟁을 하는 동안, 서로 연결된 네트워크를 통해서 트래픽을 버퍼링하거나 재순환시키는 것은 손실을 줄이게 한다.

효율적인 멀티캐스트 라우팅 알고리즘은 네트워크 자원 및 대역폭을 최적으로 사용하기 위해, 네트워크의 규모가 크거나 노드의 수가 많은 경우에 더욱 중요하다. 그리고, 멀티캐스트 라우팅 알고리즘은 실시간 어플리케이션에 대해서는 해당 어플리케이션이 요구하는 성능을 보장할 수 있어야 한다. 어플리케이션이 요구하는 실시간성 및 성능으로는 밴드폭, 종단간 전송 지연, 지터 등이 있으며, 멀티캐스트 경로배정 알고리즘은 어플리케이션에게 이러한 QoS를 보장해야 한다. 현재, QoS 라우팅도 링크의 QoS 능력을 어떻게 결정하고, 라우팅 결정 단위를 무엇으로 할 것인가에 대한 연구가 진행 중이다.

본 고에서는 크게 고속 네트워크에서의 라우팅 구조와 고속 네트워크에서 적용될 수 있는 멀티캐스트 라우팅 알고리즘들을 살펴보았다. 여기서 제시된 라우팅 구조와 알고리즘들은 완전히 정립된 형태가 아니고, 현재 계속 연구 개발 중에 있다. 네트워크의 형태가 바뀌고, 사용자들의 요구사항들이 증가함에 따라 라우팅 구조나 알고리즘들은 계속해서 변화될 것으로 사료된다.

* 참고 문헌

- [1] Martha E. Streenstrup, Routing in Communications networks, Prentice-Hall, 1995.
- [2] A.S.Acampora, M.H.Karo, and M.G.Hluchyj, Terabit Lightwave Networks: The Multihop Approach, AT&T Technical Journal, Vol. 66, No. 6, Nov/Dec 1987, pp.21-34.
- [3] C.A.Brocket, Scalability and Modularity in Multiwavelength Optical Networks, Digest of the IEEE LEOS Summer Topical Meeting on Optical Multiple Access Networks, Santa Barbara, Aug. 1992, pp. 35-36.
- [4] I.Chlamtac, A. Ganz, and G.Karmi, Lightpath Communications: A Novel Approach to High Bandwidth Optical WANs, IEEE Transactions on Communications, Vol. 40, No. 7, July 1992, pp. 1171-1182.
- [5] L.Kyou, G.Markowsky, and L.Berman, A fast algorithm for Steiner trees, Acta Info., Vol. 15, No. 2, pp/ 141-145, 1981.

- [6] J.Moy, MOSPF, analysis and experience, RFC 1585.
- [7] Y.K.Dalal, and R.M.Metcalf, Reverse path forwarding of broadcast packets, *Commun. ACM*, Vol. 21, No. 12, pp. 1040-1048, Dec. 1978.
- [8] S.E.Deering and D.R.Cherton, multicast routing in datagram internetworks and extended LANS, *ACM Trans. Comput. Syst.*, Vol. 8, No. 2, pp. 85-110, May 1990.
- [9] V.P.Kompella, J.C.Pasquale, and G.C.Polyzos, Multicasting for multimedia applications, in *Proc. IEEE INFOCOM92*, pp. 2078-2085.
- [10] Q.Zhu, M.Parsa, and J.J.Garcia-Luna-Aceves, A source-based algorithm for delay-constrained minimum-cost multicasting, in *Proc. IEEE INFOCOM95*, pp. 377-385.
- [11] V.Rayward-Smith, The computation of nearly minimal Steiner trees in graphs, *Int. J. Math. Education Sci. Tech.* Vol. 14, no.1, pp-15-23, Jan/Feb. 1983.
- [12] V.P. Kompella, J.C. Pasquale and G.C.Poyzos, Multicasting for multimedia applications, in *Proc. IEEE INFOCOM92*, pp.2078-2085, 1992.
- [13] R. Widyono, The design and evaluation of routing algorithms for real-time channels, *International Computer Science Institute, University of California at Berkeley, Tech. Rcp. ICSI TR 93-024*, June, 1994.
- [14] J. Plesnik, heuristics for the Steiner problem in graph, *Discrete Appl. Math.* Vol. 37/38, pp. 451-461, 1992.
- [15] R. Perlman, *Interconnections : Bridges and Routers*. Addison Wesley. Reading MA, 1992.
- [16] M.H. Ammar, S.Y. Cheung and C.M. Scoglio, Routing multisupporting multimedia multiuser applications, *IEEE Network* pp. 34-44, Jan./Feb 1994.
- [17] H.F. Salama, D.S.Reeves and Y. Viniotis, A distributed algorithm for delay-constrained unicast routing, *Proc. INFOCOM Kobe*, April 1997.



강 현 국

1982년 고려대학교 전자공학과 학사
 1984년 12월 미국 미시간 대학교 컴퓨터공학 석사
 1990년 6월 미국 조지아공과 대학교 컴퓨터 통신공학 박사
 1991년 7월 ~ 1994년 2월 한국전자통신연구원, 정보통신표준연구센터, 선임연구원
 1993년 3월 ~ 현재 ITU-T SG7 한국대표
 1993년 3월 ~ 현재 ISO/IEC SC6 한국대표
 1994년 3월 ~ 현재 고려대학교 전자 및 정보공학부 부교수
 1996년 5월 ~ 현재 개방형컴퓨터통신연구회 Internet-KIG TCP/IP WG 위원장

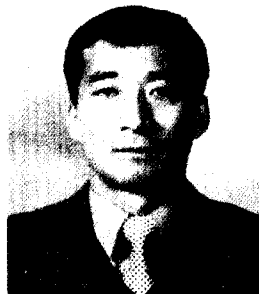
*주관심분야 : 고속통신 프로토콜 설계 및 구현, 인터넷 이동 통신 프로토콜, 인터넷 스위칭 기술 등



천 정 훈

1996년 2월 고려대학교 정보공학과 학사
 1998년 2월 고려대학교 정보공학과 석사
 1998년 3월 ~ 현재 고려대학교 전자정보공학과 박사과정

*주관심분야 : 인터넷 트랜스포트 프로토콜, 고속통신 프로토콜 설계 및 구현, 인터넷 이동 통신 프로토콜, 초고속 통신망



오 행 석

1981년 2월 한양대학교 공과대학 전자재료공학과 학사
 1983년 2월 한양대학교 대학원 전자재료공학과 석사
 1997년 2월 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사
 1983년 - 현재 한국전자통신연구원 표준기획팀장

*주관심분야 : 프로토콜공학, 컴퓨터네트워크, 데이터 통신