

# QoS 보장을 위해 상보형 MPLS를 이용한 OSPF 라우팅 최적화 적용

이경수\* · 장석기\* · 박광채\*  
\*조선대학교

## OSPF Routing Optimization using the Complementary MLS for QoS Provisioning

Gyung-Soo Lee \* · Seog-Gi Jang \* · Kwang-Chae Park \*  
\*Chosun University  
E-mail : chjian@hanmail.net

### 요 약

본 논문에서는 앞으로 광대역통합망에서 사용자의 요구사항에 따른 QoS를 제공하기 위한 연구의 일환으로 여러 가지 서비스 모델과 메커니즘을 살펴보고, 라우팅 최적화를 위한 유전 알고리즘과 hybrid 유전알고리즘에 대하여 논한다. OSPF에 바탕을 둔 라우팅 최적화만으로 QoS가 충분하지 않은 경우 약간의 MPLS 경로가 QoS를 개선하기 위해 설정될 수 있다. 이러한 상보형 MPLS 라우팅을 위한 두 개의 MIP 모델을 제안하고, 적절한 네트워크 QoS 대책으로 네트워크 내의 최대 링크 이용을 고찰한다.

키워드 : OSPF, MPLS, QoS, Routing, Traffic Engineering  
이용을 고찰한다.

### I. 서 론

현재 인터넷망은 End-to-End 품질 보장이 곤란하며, 이용자별/서비스별 품질 차별화 제공 및 이용이 불가능하다는 문제점이 있다. 또한 이종망간 통합 서비스 제공이 곤란하다는 점과 통신망을 보유하지 않은 단말 응용 플랫폼 개발자나 응용 서비스 사업자의 경우는 새로운 사업모델을 창출하기 곤란하다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 한계들을 극복하고, 서비스의 품질(QoS)를 보장하는 고품질 방송 Streaming 서비스, 음성/데이터 통합을 지향하는 VoIP 서비스, 위치 및 이동성에 관계없는 이종망간 수직 핸드오버에 의한 유무선 통합형 서비스, 그리고 CATV의 디지털화 전환에 따라 HFC를 이용한 디지털 방송뿐만 아니라 초고속 인터넷, VoIP 등의 통신 서비스를 제공할 수 있는 통신과 방송 융합 서비스를 이용할 수 있도록 하는 광대역통합망은 단계적으로 진화 발전할 것이다.

이러한 전망으로부터 본 논문에서는 앞으로 광대역통합망에서 사용자의 요구사항에 따른 QoS를 제공하기 위한 연구의 일환으로 여러 가지 서비스 모델과 메커니즘을 살펴보고, 라우팅 최적화를 위한 유전 알고리즘과 hybrid 유전알고리즘에 대하여 논한다. OSPF에 바탕을 둔 라우팅 최적화만으로 QoS가 충분하지 않은 경우 약간의 MPLS 경로가 QoS를 개선하기 위해 설정될 수 있다. 이러한 상보형 MPLS 라우팅을 위한 두 개의 MIP 모델을 제안하고, 적절한 네트워크 QoS 대책으로 네트워크 내의 최대 링크

### II. 인터넷에서의 QoS 보장기술

#### 1. 큐잉 기술

큐잉이 서비스 차별화를 위해 할 역할을 이해하는 것이 매우 중요하다. FIFO 큐잉은 혼잡이 없는 경우에는 적절하지만, 큐가 채워졌을 때, 혼잡이 발생하게 되고 서비스의 종류와는 무관하게 입중계 패킷들이 폐기됨으로써 차별적인 서비스를 제공해야 할 경우에 한계에 부딪히게 된다. PQ는 우선순위가 가장 높은 패킷들이 먼저 처리될 수 있도록 한 방식으로 초보적인 서비스 차별화를 가능하게 하지만, 높은 우선순위 트래픽이 과다할 경우 우선순위가 낮은 트래픽은 손실율이 높아지고, 지연에 민감한 응용은 제대로 작동을 하지 않음으로써 고속화되는 네트워크 환경에서 이 방식은 확장성을 지원하기가 힘들다. FQ는 각각의 플로우가 서로 동일하게 대역폭을 나눠 사용할 수 있도록 하는 소프트웨어적 방식으로 버스트 패킷이나 잘못된 플로우가 들어와도 다른 플로우들에게 큰 영향을 미치지 않지만, 패킷의 도착 순서에 민감하고, VoIP같은 실시간 트래픽 전송이 힘들다. CBQ는 PQ의 변형으로써 하나의 출력 큐 대신에 여러 개의 출력 큐를 클래스 별로 두어서 우선순위를 정하고 각 큐별로 처리되는 트래픽의 양을 조절할 수 있는 방식이지만, 여전히 복잡한 큐 관리에 소요되는 계산 부담 때문에 고속의 네트워크의 경우에는 확장성이 부족하게 된다.

WFQ는 각각의 큐에 가중치를 달리줄 수 있으며

다양한 길이의 패킷을 지원하고 할당된 출력포트 대역폭을 보장받지만, 소프트웨어 방식으로 구현함에 있어 부하가 많이 걸리며, 지연이 다른 큐잉 알고리즘에 비해 상대적으로 크다. 따라서 고속의 네트워크 환경에서 확장성을 가지기가 어렵다. WRRQ는 폴로우벨 서로 다른 대역폭 할당이 가능하며 높은 우선순위의 큐가 가득 차 있더라도 한번의 서비스 라운드 동안 낮은 우선순위 큐에서 최소 하나 이상의 패킷이 처리되지만, 패킷 사이즈가 동일하지 않을 경우 정확한 대역폭 분배를 보장하기 어렵다. DWRRQ는 하드웨어 방식으로 구현되며 클래스별 할당된 대역폭이 패킷 사이즈에 관계없이 정확하게 보장됨으로써 WRR과 WFQ의 제약을 극복하였지만, 서비스 클래스 내에 예상외의 플로우가 들어올 경우 동일 클래스의 다른 플로우에 영향을 줄 수 있으며, 다른 큐잉 방식처럼 End-to-End 지연을 보장해 주지 않는다.

2. 서비스별 QoS 보장방법

IntServ 방식은 기존의 네트워크 장비를 그대로 사용하여 중단간 QoS를 보장할 수 있으나, 라우터가 유지해야 하는 상태정보의 양이 많고, 이로 인해 프로세싱의 오버헤드를 가져오며, 모든 라우터가 RSVP, MF 분류, 패킷 스케줄링 등의 기능을 가져야 함으로써 확장성의 문제를 갖고 있다. 특히 과금을 위해서는 별도의 로직이 추가되어야 하는 문제가 있다.

IntServ 방식에서의 확장성 문제를 보완하기 위해 제안된 DiffServ 방식은 각 라우터간의 별도의 정보 교류 없이 우선순위 서비스를 하여 중단간에 품질 보장을 하지 못하며, 특히 이러한 우선순위 서비스에 대한 차동적인 과금이 불가능하기 때문에 실질적으로 공중망 등에 적용하기 곤란하다.

MPLS 방식은 가입자 정보를 플로우라는 흐름단위로 구분하여 여기에 서비스 등급을 제공하는 방식으로 고품질의 서비스를 요구하는 가입자와 최소 수준의 서비스 품질을 요구하는 가입자를 모두 만족시켜 줄 수 있다. MPLS에서 QoS를 제공하기 위해서는 설정된 경로에 대역폭을 할당할 필요가 있으며, 이를 위해 대역폭 정보와 명확한 경로를 명시하여 경로를 요청하는 .ER-LSP가 제안되었고, 이를 구현하는 방법으로 CR-LDP와 RSVP를 확장하여 이용하는 방법이 있다.

CBR은 QoS 라우팅의 확장으로서, 망의 토폴로지, 흐름의 요구사항, 링크의 가용자원, 정책 등을 고려하여 경로를 찾는다. 따라서 부하가 큰 최단 경로보다는 부하가 작은 더 긴 경로를 계산하여, 망에서 트래픽을 고르게 분배한다.

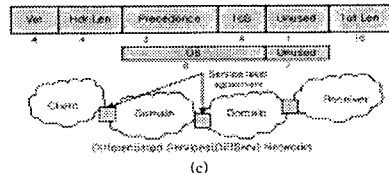
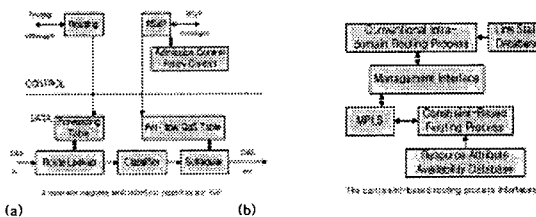


Figure 1. (a)CBR process interfaces, (b)IntServ capabilities and RSVP, (c)DiffServ networks

MPLS 기술이 Diffserv와 결합하여 차동적인 Diffserv QoS를 제공할 수 있으며, 이는 해당 가입자 트래픽에 대하여 우선순위를 제공함으로써 가능하다. 가입자와 망간에 우선순위에 대한 협약을 최초 가입 시에 하거나 MPLS 신호 프로토콜 등을 통하여 on-demand 형태로 우선순위를 요청할 수 있다.

III. 네트워크 상에서의 IP 동적 라우팅

동적 라우팅은 프로토콜을 사용해서 라우터상의 라우팅 테이블을 찾고 업데이트하는 과정이다. 이는 정적 라우팅이나 디플트 라우팅보다 간단하지만, 라우터의 CPU 프로세스와 네트워크 링크 대역폭을 많이 소모한다.

라우팅 프로토콜은 세 가지 부류로 나뉘는데 첫째로 원격 네트워크까지의 distance 값을 기준으로 최적의 경로를 찾는 distance vector로 RIP과 IGRP가 있다. 둘째로 SPF(shorted Path first)라 불리는 link state로 OSPF가 있다. 셋째로 distance vector와 link state의 양쪽을 겸비한 EIGRP가 있다.

RIP은 원격 네트워크로의 최선의 경로를 결정하는 방법으로 홉 수만을 사용한다. RIP은 소규모 네트워크에서는 잘 작동하지만, 느린 WAN 링크를 가진 대규모 네트워크 혹은 많은 수의 라우터들이 설치된 네트워크에서는 비효율적이다.

IGRP는 대규모 네트워크에 유용하며, RIP 네트워크에서 가능한 최대 홉 수가 15라는 문제점을 해결한다. 그리고 인터넷네트워크로의 최적경로를 결정하기 위한 측정값으로서 대역폭과 라인의 delay를 사용한다.

IGP 라우팅 프로토콜의 하나인 EIGRP는 IGRP 라우팅 프로토콜의 문제점을 개선하여 만든 라우팅 프로토콜로서 RIP나 IGRP 라우팅 프로토콜처럼 일정한 시간마다 라우팅 업데이트가 일어나는 것이 아니고 네트워크에 변화가 있을 경우에만 라우팅 업데이트가 이뤄지게 된다. EIGRP는 Diffusing update 알고리즘을 사용하기 때문에 컨버전스 타임이 빠르다.

OSPF 라우팅 프로토콜은 개방형 라우팅 프로토콜로서 모든 벤더의 제품에서 동작하는 라우팅 프로토콜이다. RIP나 IGRP는 네트워크 장애가 발생할 경우 대체 경로를 찾는데 상당한 시간이 소요되지만 OSPF는 이러한 문제를 해결한 프로토콜로서 컨버전스 타임이 매우 빠르다. OSPF는 네이비거리 라우팅 업데이트를 한다. LSA라는 패킷을 이용하여 네트워크 상태를 전송하며, LSA를 받은 라우터는 자신의 링크 상태 데이터베이스라는 곳에 저장한다. 이것을 근거로 최단 경로를 선택하여 자신의 라우팅 테이블에

설정하게 되는데 이것을 SPF 알고리즘이라고 한다.

1. 라우팅 최적화를 위한 Genetic algorithm

유전 알고리즘은 자연세계의 유전 과정을 컴퓨터상에서 시뮬레이션 함으로써 복잡한 실세계의 문제를 해결하고자 하는 계산 모델이다. 유전 알고리즘은 적당한 유전인자 문자열을 통하여 가능한 솔루션. 대안들을 나타내고, 이들 문자열상에서 "natural selection" 연산자들을 실행함으로써 진화 원리를 최적화 문제들에 적용한다. 그림 2는 유전 알고리즘의 일반적인 절차를 나타낸다.

처음에 문자열의 랜덤 집합이 생성된다("Generation 0"). 그 다음에 세 가지 기본 연산자로 "재생(Reproduction)", "교차(Crossover)" 그리고 "변이(Mutation)"가 종료 기준에 이르기까지 반복적으로 수행된다. 각각의 반복 동안 기존의 문자열은 솔루션으로 변하고 그 품질이 어렴된다.

Reproduction 과정은 새로운 generation을 창조한다. 기존 generation에서 시작하면, 문자열은 상응하는 솔루션의 품질에 비례하는 확률로 재생된다. 좋은 특성을 갖는 솔루션을 나타내는 문자열은 나쁜 특성을 갖는 솔루션 위치를 나타내는 문자열보다 높은 생존 기회를 갖는다. Crossover 연산자는 임의의 위치에서 자신의 유전인자 순서를 해체하고 유전 정보를 교환하는 문자열의 쌍을 선택한다. 마지막으로 Mutation 연산자는 단일 유전인자들을 임의로 선택하고 변화시킴으로써 새로운 유전요소를 삽입한다. Mutation은 전 Search 과정을 부분적으로 솔루션 공간 내에 새로운 위치로 시프트시키기 위해 중요하다. 그렇지 않다면, Search 과정은 더 이상의 어느 위치도 고려할 기회도 없이 국부적인 최적조건에 집중하려 할 것이다.

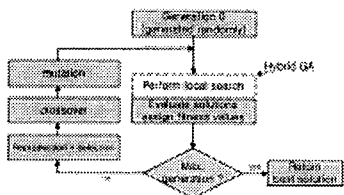


Figure 2. Genetic algorithm flow chart

2. A Hybrid Genetic algorithm Approach

유전 알고리즘을 적용하기 위해, 일반적으로 벡터 즉 chromosome 표현법에서 가능 솔루션의 적절한 인코딩이 요구된다. chromosome은 링크 가중치의 집합  $\langle w_1, w_2, \dots, w_k, \dots, w_{|E|} \rangle$ 로 표현된다. 여기서 각각의 에지  $k = 1, 2, \dots, |E|$ 에 대하여  $w \in [1, MAX]$ 이고 MAX에 대한 최대값은 65535이다. 각각의 chromosome은  $E_{q,1}$  또는  $E_{q,2}$ 에 따라 적응도 값을 갖고 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘에 의해 계산된 부하분배에서 생기는 일정한 링크 사용효율에 상응한다.

그림 3은 hybrid heuristic 유전 알고리즘 실행에서의 블록 다이어그램을 나타낸다. 각각의 반복 초에 높은 품질의 일부 벡터들은 보다 나은 솔루션을 산출하기 위해 선택된다. 이러한 선택과정 후 새로운 chromosome을 구성하기 위해 두 개의 유전 메커니즘

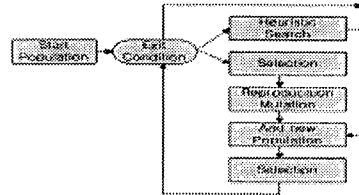


Figure 3. Hybrid genetic algorithm

"reproduction"과 "mutation"이 다음에 온다. 그 후에 이전의 반복 중 아주 미미한 결과의 chromosome 대신에 새로운 chromosome을 씌우로서 다음 개체군을 구성한다. 동시에 heuristic search는 적응도가 마지막 반복에서 개선되었음을 전제로 하여 항상 개체군 중 최상 chromosome을 조사함으로써 실행될 것이다.

가중치가 커지면 커질수록 트래픽이 링크상에 경로를 설정할 기회가 점점 낮아질 것을 알기 때문에 아크 k에서 링크 사용효율이 특정 임계치보다 크다면 가중치에 단지 랜덤 수를 더한다. search 과정은 주어진 수의 반복에 대한 더 이상의 개선이 없다면 종료될 것이다. 이 heuristic은 또한 reproduction 과정에서 생겨난 새로운 chromosome을 바꾸기 위해 수행된다.

IV. OSPF와 MPLS를 이용한 라우팅 최적화

노드의 수는 100~1000개의 플로우를 갖는 11(48) ~ 50(170) 범위에 있고, 아래에 나타난 결과들은 40개의 노드, 150개의 링크 그리고 500개의 플로우를 갖는 계층형 네트워크에서 얻어졌다. 플로우 비트율은 동일한 순서로 랜덤하게 분배되었다.

이절에서 최적화 라우팅 적용을 위해 다음과 같은 접근법을 고려한다. 첫째로 트래픽 플로는 단지 링크 매트릭을 변경함으로써 조절된다. 둘째로 네트워크 QoS를 개선하기 위해 OSPF 매트릭은 변경하지 않고 단지 LSP를 도입하는 것이다. 셋째로 위의 두 가지 접근법을 병행하는 것이다.

한편, LSP의 수를 제한하지 않고 MPLS의 제어 하에서 모든 플로우를 전달함으로써 0.26을 갖는  $u_{max}$ 의 경계를 보다 낮출 수 있다. 그러나 단순히 플로우 변수에서 유사한 선형 멀티코모더티 플로우 문제를 해결하고 필요한 LSP를 얻는 것은 597개의 LSP가 있게 된다. 아래의 그래프에서 알 수 있듯이 MPLS가 단지 OSPF를 보완하는 것으로 사용된다면 대단히 적은 수의 LSP로도 충분하다.

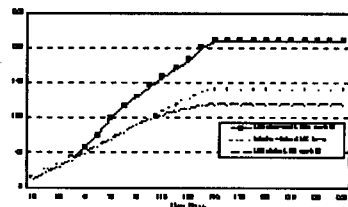


Figure 4. MPLS flows and LSPs over MaxFlow

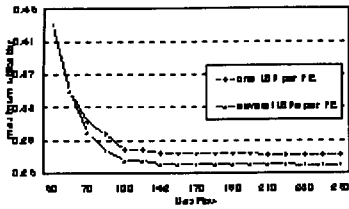


Figure 5. Maximum utilization over MaxFlow

그림 4와 5는 상보형 LSP 최적화의 과정을 설명한다. 순수한 OSPF 라우팅 즉, MaxFlow = 0에서 시작한다면, 허용된 MPLS 플로우의 MaxFlow는 천천히 증가된다. F-LSP 모델을 해석함으로써 우리는 플로우 당 몇몇의 LSP를 갖는 레이블 스위칭 I/E 플로우의 최적화 집합을 얻는다. I/E 플로우 당 LSP의 수를 하나로 제한하기 위해, 후속 P-LSP 최적화는 경로 대안으로서 F-LSP 모델에서의 모든 LSP를 사용하여 수행된다. 그림 4에서의 그래프는 2%까지의 최적성 갭을 갖는 다양한 값의 MaxFlow에 대하여 실제 I/E 플로우와 LSP의 수를 나타내고, 그림 5에서는 개개의 최대 사용효율 값들이 도시된다. 현저한  $u_{max}$  감소는 비교적 작은 수의 레이블 스위칭 I/E 플로우와 LSP로 이미 달성된다. 예를 들면  $u_{max}$ 가 50(75)개의 LSP에 대하여 약 0.41(0.29)이다. 최적의  $u_{max}$ 는 총 210개의 LSP를 갖는 142개의 레이블 스위칭 I/E 플로우에서 얻어진다. F-LSP 최적화 후 P-LSP를 적용함으로써 여전히 매우 좋은 네트워크 QoS를 얻으면서도 전체 LSP의 수를 상당히 감소시킬 수도 있다. 예를 들면 MaxFlow = 142에서, LSP의 수는  $u_{max}$ 가 단지 0.01로 증가되는 동안 210에서 120으로 감소된다.

그림 6에서는 서로 다른 라우팅 적응 기법들의 성능이 비교된다. 모든 트래픽이 홉 기반 OSPF ( $u_{max} = 1.03$ )에 의하여 처음으로 루트 지정된다고 하였을 때, 첫째로 라우팅은 단지 OSPF 기반으로 최적화 된다. simulated annealing 알고리즘을 사용하고 objective 가중치를 변경시키면, 우리는 네트워크 QoS와 루트 재지정된 플로우 사이에 tradeoff를 반영하는 몇몇의 매트릭 설정을 얻을 수 있다. OSPF 최적화로서 달성될 수 있는 최선의  $u_{max}$ 는 0.43이다. 상응하는 루트 적응 방법은 130개의 플로우에 작용한다. 두 번째 접근법에서, 우리는 변경되지 않은 OSPF 라우팅을 남겨두고 다수의 상보형 LSP를 도입하며, 세 번째 방법은 근본적으로는 두 번째 접근법과 동일하지만 MPLS에 의해 보완되기 전에 OSPF 라우팅이 최적화 된다.

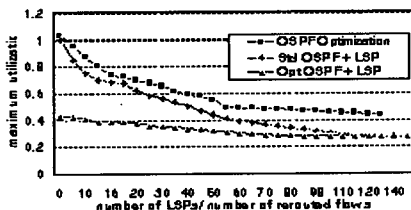


Figure 6. Comparison of route adaptation strategies

네트워크 오퍼레이터는 개개의 요구에 알맞은 적절한 루트 적응 방법을 선택하기 위해 이러한 그래프를 사용할 수 있다. 0.6  $u_{max}$ 가 충분하다고 생각하여, MPLS 장비를 설치하고 LSP를 설정하기에는 타당하지 않다. OSPF 링크 매트릭에 대한 약간의 변경은 마찬가지로 일 것이다. 만약  $u_{max}$ 가 약 0.4로 감소된다면, 결정은 보다 더 힘들게 된다. 오퍼레이터는 오직 OSPF를 고수하고 링크 매트릭을 최대한으로 활용할 것이다. 그러나 이것은 보다 나은 최적화를 위한 많은 여지를 남기지 않기 때문에, 상보형 LSP를 고려할 가치가 있는 것이다. OSPF가 최적화 되면 전체적으로 약 10개의 LSP가 필요하고, 최적화 되지 않으면 제각기 55개의 LSP가 필요하다.

### V. 결론

이 논문에서 우리는 광대역통합망에서의 QoS 보장을 위한 연구의 일환으로 큐잉 기술들을 알아보고 서비스별 QoS 보장 방법에 대하여 언급하였다. 그리고 IP 네트워크에서 라우팅 최적화를 위하여 유전 알고리즘과 hybrid 유전 알고리즘을 살펴보고, OSPF와 상보형 MPLS에 기반을 둔 라우팅 적응 방법들을 제안하였다. OSPF와 상보형 MPLS에 기반을 둔 라우팅 적응은 많은 LSP를 설정하지 않고도 QoS가 상당히 개선될 수 있다. 어떤 면에서는 단지 부분적인 OSPF 기반 라우팅 적응을 사용하는 것만으로도 QoS가 개선될 수 있지만, 루트 재지정 트래픽 플로우의 수를 보다 적게 하기 위해서는 상보형 MPLS를 이용해야 한다. 이와 같이 OSPF 라우팅 적응만으로 충분하지 않은 경우를 위해 우리는 두 개의 MIP 모델을 제안하였다. 이 MIP 모델은 네트워크에서 설정되기 위해 필요한 최적의 LSP를 계산하기 위해 사용될 수 있다. 이 논문에서 제안된 방법들은 차등 QoS 요구를 갖는 다중 트래픽 클래스를 고려하기 위해 더욱 확장될 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 최준근. "통합 전달망 기반의 BcN 전개와 과제", 2004.
- [2] 전용희, 박수영. "DiffServ를 이용한 인터넷 QoS 보장 기술" 2000.
- [3] 정태수, 최태상, 이우경. "인터넷상의 주요 QoS 관리 기술 동향", 한국통신학회지 18권 9호, 2001.
- [4] 홍석원. "차세대 인터넷 라우팅 패러다임", 1999.
- [5] Anton Riedl. "Optimized Routing Adaptation in IP Networks Utilizing OSPF and MPLS", Munich University of Technology. 2002.
- [6] Anton Riedl. "A Hybrid Genetic Algorithm for Routing Optimization in IP Networks Utilizing Bandwidth and Delay Metrics". Munich University of Technology. 2002.
- [7] Eueung Mulyana, Ulrich Killat. "A Hybrid Genetic Algorithm Approach for OSPF Weight Setting Problem" 2002.