

유전자 알고리즘을 이용한 ATM LAN에서의 Broadcast 트래픽 운용 Genetic Algorithm Applications to Broadcast Traffic Management in an ATM LAN Network

김도훈¹⁾

Abstract

Presented is a Genetic Algorithm(GA) for dynamic partitioning an ATM LANE(LAN Emulation) network. LANE proves to be one of the best solutions to provide guaranteed Quality of Service(QoS) for mid-size campus or enterprise networks with a little modification of legacy LAN facilities. However, there are few researches on the efficient LANE network operations to deal with scalability issues arising from broadcast traffic delivery. To cope with this scalability issue, proposed is a decision model named LANE Partitioning Problem(LPP) which aims at partitioning the entire LANE network into multiple Emulated LANs(ELANs), each of which works as an independent virtual LAN.

1. 서론

멀티미디어 데이터의 실시간 전송에 대한 요구가 증가하게 되면서 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있는 기술을 기존 LAN에 도입하려는 노력이 활발히 전개되고 있다. 캠퍼스 네트워크를 중심으로, ATM signaling 방식을 이용하는 LANE(LAN Emulation)의 확산이 그러한 노력의 대표적인 예이다. LANE 네트워크에서 멀티미디어 데이터를 처리할 경우에 규모성(scalability) 문제가 발생하게 되고, 이 문제를 해결하기 위하여 하나의 LANE 네트워크를 복수의 부분네트워크로 분할하게 된다. 여기서 분할된 네트워크를 ELAN(Emulated LAN)이라고 부르며, 이는 보통 broadcast 트래픽이 전송되는 경계가 된다. 서로 다른 ELAN에 속하는 노드(ATM 단말) 사이의 broadcast 트래픽은 상위계층의 인터넷 프로토콜 등을 이용하는 등, 원래 의도되었던 broadcast 방식보다 복잡한 형태의 전송과정을 거쳐야 하기 때문에 전체 LANE 네트워크 운용에 큰 부담요인이 되며, 서비스 질을 그만큼 저하시키는 원인이 된다. 따라서 규모성 문제 해결을 위한 LANE 네트워크 분할은 전체 LANE 네트워크의 성능에 중대한 영향을 미친다. 그러나 ELAN 구성(configuration)에 대한 지침은 단순히 장비용량에만 의존하는 몇 가지 rule-of-thumb을 제외하고서는 전무한 실정이다.

본 논문에서는 그동안 캠퍼스 네트워크의 최적 운용방안의 하나로 도입이 급속히 진행되는 반면 실제 운용상의 문제에 대한 수리적인 연구가 많지 않은 LANE 네트워

1) 경희대학교 경영대학

크를 대상으로, broadcast 트래픽 운영에 고유한 특성을 고려하여 규모성 차원을 보완하는 ELAN 분할 문제를 살펴 본다. 이러한 ELAN 구성과 운용문제는 그래프분할문제(Graph Partitioning Problem, GPP)의 일반화된 형태로 정식화되며, 이 문제 또한 NP-complete 류(class)에 속함을 알 수 있다. 또한 broadcast 트래픽 분포패턴의 동적 변화(dynamic change)를 반영하기 위하여 짧은 단위시간 마다 재계산이 요구되므로, 오랜 시간이 소요되는 최적해 탐색법(exact solution method) (예를 들어, [1], [2] 등을 참조) 보다는 발견적 탐색법(heuristic)이 필요하다. 본 연구에서는 성능 및 연산속도 차원에서 GPP에 효과적인 것으로 알려진 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 도입한다.

2. LANE Network Architecture와 ELAN 운용

2.1 LANE 네트워크 구성요소 및 운용

LANE 네트워크는 클라이언트-서버 방식을 바탕으로 한다. 클라이언트 역할을 하는 LEC(LAN Emulation Client)는 기존의 LAN과 ATM 네트워크 사이에서 LAN 프레임(frame)을 ATM 셀(cell)로 변환시키는 브리지 및 필터링(filtering) 역할을 담당하는 엔티티(entity)이다. LEC는 48 바이트 MAC 주소와 20 바이트 ATM 주소에 의해 식별된다. 서버에는 크게 세 가지 종류가 있다. 먼저, LES(LAN Emulation Server)는 해당 네트워크 내의 모든 구성요소들간의 MAC 주소와 ATM 주소 해석을 담당하고 있어서, 송신 LEC가 목적지 LEC와 data direct VCC(Virtual Channel Connection)를 설정할 수 있도록 MAC 프레임의 목적지 주소를 ATM 주소로 변환하는 역할을 대행한다. BUS(Broadcast and Unknown Server)는 LAN이나 Novell SAP 등에서 통상적인 broadcast 트래픽 처리 위한 서버이다. LEC는 multicast send VCC를 통해 broadcast 데이터를 BUS로 전송하고, BUS는 다시 multicast forward VCC를 통해 해당 네트워크 내의 모든 LEC들에 데이터를 전송한다. 마지막으로, LECS(LAN Emulated Configuration Server)는 다음에 소개할 ELAN(Emulated LAN)들로 LANE 네트워크가 분할된 환경에서 LEC들을 동적으로 관리한다.

2.2 LANE 네트워크 운용상의 규모성 문제와 ELAN 운용

LANE 방식에서의 broadcast 트래픽은 BUS와 각 LEC 간의 point-to-point 연결에 의해서만 전송되므로, BUS의 처리능력 한계가 동시에 처리될 수 있는 broadcast 트래픽 규모를 제한하게 된다. 이는 결국 하나의 BUS가 관장할 수 있는 LEC의 개수는 제한할 수 밖에 없도록 하는 중요한 요인이 된다. 이와 비슷하게, 하나의 LEC에 연결된 호스트들의 MAC 프레임-셀간 변환 및 전송과 같은 적지 않은 오버헤드를 고려할 때, 개별 LEC에서도 broadcast 트래픽 처리과정에서 과부하가 발생할 가능성이 매우 크다. 따라서 짧은 시간동안 집중적인 broadcast storms([3])이 발생할 경우, LEC와 BUS에서 broadcast 트래픽 처리상의 과부하는 전체 LANE 네트워크의 성능에 심각한 영향을 미치게 된다.

이러한 규모성 문제(scalability problem) 때문에 비교적 규모가 큰 캠퍼스나 기업형 LANE 네트워크에서는 하나의 가상 LAN(virtual LAN)으로 운영될 수 있는 LANE 네

트위크의 크기와 범위를 LEC의 개수 혹은 broadcast 트래픽 규모 등을 기준으로 제한하는 것이 일반적이다. 전체 LANE 네트워크는 이들 가상 LAN들의 집합으로 운용되는 계층화 방식이 도입되며, 여기서의 가상의 LAN을 ELAN이라고 한다. ELAN은 각각 하나의 BUS, LES, LECS와 복수의 LEC로 구성된다. 가상의 LAN이라는 이름에서 짐작할 수 있듯이, 특정 ELAN 내의 LEC간 트래픽은 마치 하나의 LAN에서와 같이 전송되며(intra-ELAN 트래픽), ELAN 간의 통신은 라우터나 브리지를 거쳐야만 가능하다(inter-ELAN 트래픽). 특히 ELAN 내의 broadcast 데이터 전송에서는 해당 ELAN의 BUS가 LES의 역할을 대신할 뿐만 아니라 ELAN 내 모든 LEC들과의 VC연결을 통해서 broadcast 데이터를 복사하여 전송하는 역할도 담당한다. 따라서 ELAN 내 LEC의 수가 지나치게 많거나 LEC가 생성하는 broadcast 트래픽이 폭증하게 되면 BUS가 트래픽 처리를 감당할 수 없는 상태에 도달하는 broadcast storm 현상이 발생할 가능성이 높아진다.

ELAN은, 일반 LAN에서의 물리적인 연결과는 상관없는 논리적 관계에 의한 LEC들의 clustering이기 때문에 구성(configuration)과 이의 변환과 재조정이 쉽다. 특히 LECS는 LEC들을 ELAN에 동적으로 할당하는 역할을 담당하므로, 일반 LAN의 확장에서는 볼 수 없는 ATM LANE 네트워크의 유연한 운용을 구현하는 핵심적인 장비이다. 따라서 LECS는 LEC를 물리적 위치나 관리정책(administrative policy) 등에 근거하여 ELAN에 할당하는 엔진을 탑재하고 있어야 한다. 이러한 엔진은 LES와 BUS 같은 핵심적인 장비의 개수와 용량을 입력으로 하여, 전체 ELAN의 개수와 특정 ELAN으로 그룹화될 수 있는 LEC들의 cluster에 대한 의사결정을 담당한다. 이러한 의사결정은 지금까지 살펴 본 바와 같이 ATM LANE 네트워크 전체의 성능에 직결된다.

그러나 LANE 네트워크의 계층화 운용을 책임지는 위와 같은 엔진설계에 대한 연구는 매우 적을 뿐만 아니라, 해당 의사결정이나 관리정책에 대한 기준으로 제안된 것도 많지 않은 실정이다. 본 연구에서는 멀티미디어 환경에서의 계층적 LANE 운용에 초점을 맞추어, broadcast 트래픽의 효율적인 운용을 위한 ELAN 구성(configuration) 모형과 엔진을 제안한다. Broadcast 트래픽을 대상으로 하는 이유는, LANE 네트워크 상에서 데이터 전달과정을 살펴볼 때 ELAN 구성에 의하여 broadcast 트래픽이 전체 네트워크 성능에 영향을 미치는 정도가 unicast 트래픽 보다 크기 때문이다. 다음 장에서는 이를 위한 구체적인 모형과 해법을 살펴 본다.

3. LANE 분할문제(LANE Partition Problem, LPP)

3.1 LANE 분할문제의 목적

LANE 네트워크는 기존 LAN에서의 응용프로그램을 그대로 사용하려는 동기에서 개발되었으므로, LANE 환경에서의 broadcast 데이터는 일반 LAN 환경에서의 broadcast 데이터로 볼 수 있다. 예를 들어, IPX나 NETBEUI를 이용하여 파일공유나 대화형 게임과 같은 차세대 멀티미디어서비스를 제공하는 경우이다. 계층화된 LANE 네트워크에서는 동일 ELAN 내의 LEC들만이 broadcast 형태로 데이터를 전송하므로, 서로 다른 ELAN에 속하는 LEC에게는 동일한 품질의 서비스를 제공할 수 없거나 다른 프로토콜(예를 들어, IP over ATM 혹은 Multi-Protocol over ATM 등)로 전환해야

하는 복잡한 재처리 절차가 필요하게 된다. 여기서는 서로 다른 ELAN에 속한 LEC들
 간에 broadcast 데이터 전송이 필요할 경우에 이들 송/수신쌍을 cut-pair라고 부르고,
 cut-pair간 broadcast 데이터 수요를 재처리 수요(retreatment demand)라고 부를 것이
 다. 또한 재처리 수요가 발생시키는 제반 비용이 cut-pair 수요량(재처리 수요량)에 비
 례한다고 가정한다. 따라서 효과적인 ELAN 구성을 위한 LANE 분할문제(LANE
 Partition Problem, LPP)의 목적은 임의의 두 LEC들이 서로 다른 ELAN에 편성됨에
 따라 발생하는 재처리 수요의 총합을 최소화 시키는 것이다.

3.2 LANE 분할문제의 형식화 및 LPP 모형

LANE 네트워크에서의 ELAN 구성 문제(LPP)는, 먼저 어떤 특정 시점에서 LANE
 네트워크 내 모든 LEC 간의 broadcast 트래픽 수요가 주어진 것으로 가정한다. 또한
 (1) 단위시간동안 BUS가 감당할 수 있는 broadcast 트래픽 규모의 상한(C_B), (2) 단위
 시간동안 하나의 LEC가 받아 들일 수 있는 broadcast 트래픽 규모의 상한(C_L), (3) 구
 성가능한 최대 ELAN 개수(k)와 같은 파라미터들이 각 장비의 종류와 용량에 따라 주
 어지는 것으로 가정한다. 이 경우 LPP의 실현가능한 해(feasible solution)는 상기한 제
 약조건들 (1)-(3)을 만족하도록 LANE 네트워크 내 LEC들이 clustering된 모양으로 볼
 수 있다. 그리고 LPP의 목적은 그러한 실현가능해 중에서 cut-pair 수요량의 합이 가
 장 적은 것을 찾는 것이다.

이와 같은 의사결정문제를 일반화된 그래프분할문제(Graph Partitioning Problem,
 GPP)로 규정할 수 있다. 이를 위하여 먼저, LEC v 를 노드로 표현하고(i.e., $v \in V$, 여기
 서 V 는 노드(LEC)들의 집합) LEC u 에서 v 로 향하는 broadcast 트래픽이 존재한다면
 이를 방향성 간선(directional arc, 이하 간단히 간선이라고 함) (u, v) 로 표현하자. 집합
 E 를 이러한 간선들의 집합이라고 하면, E 는 주어진 시점에서 전체 LANE 네트워크 내
 LEC 사이에서 요구되는 broadcast 트래픽 상태를 표현한다. 또한 LEC u 에서 v 로의
 broadcast 트래픽 규모 d_{uv} 를 간선비용(arc weight)으로 하면 수요그래프(demand
 graph) $G = (V, E)$ 가 완성된다. 따라서 주어진 G 상의 노드들을 위의 제약조건들을
 만족하는 실현가능한 k 개의 부분집합(node cluster) V_1, V_2, \dots, V_k 로 분할(partition)하
 되 간선-컷(edge-cut)의 크기가 최소화되도록 하면, 상기한 의사결정문제 LPP의 최적
 해(optimal solution)를 찾은 것이 된다. 정리하면 분할가능한 ELAN의 개수 k 가 주어
 지고 $K = \{1, 2, \dots, k\}$ 라고 할 때, LPP는 아래와 같은 일반화된 GPP로 볼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad \{V_1, \dots, V_k\} && \sum_{u \in V_i} \sum_{v \in V_j, i \neq j} d_{uv} \\ & \text{Subject to} && |V_i| \sum_{e \in E_i} d_e \leq C_B, \forall i \in K \quad \dots (1') \\ & && \sum_{e \in E_i} d_e \leq C_L, \forall i \in K \quad \dots (2') \end{aligned}$$

여기서 E_i 는 i 번째 노드 클러스터에 속하는 노드만을 양단(end nodes)으로 하는 간
 선들의 집합을 나타낸다(즉, $E_i = \{e = (i, j) \in E \mid i, j \in V_i\}$). 한 노드 클러스터에 속하는 간

선비용의 총합과 클러스터의 크기(클러스터에 포함되는 노드의 수)의 곱이 BUS에서 단위시간 동안 처리해야 될 broadcast 트래픽 규모가 되기 때문에, 제약조건 (1')은 이 양이 BUS의 용량 CB를 초과할 수는 없다는 것을 의미한다. 또한 (2')은 각 노드(LEC)에서 단위시간 동안 동시에 처리해야 하는 최대 broadcast 트래픽 규모는 해당 클러스터에 포함되는 간선비용의 총합이 되므로, 이 값이 LEC의 용량 C_L 보다 클 수는 없다는 것을 말한다. 결국 LPP는 통상적인 클러스터 용량제약 하의 GPP([2])에 제약조건 (1')가 추가된 형태의 일반화된 GPP 문제로 규정된다. 그리고 NP-hard한 용량제약하의 GPP를 특수한 경우로 포함하는 LPP 역시 NP-hard한 문제임을 알 수 있다.

4. Solution Method 및 실험결과

4.1 Solution Method

용량제약하의 GPP(capacitated GPP)에 대한 최적해법(exact algorithm)과 다양한 발견적 해법(heuristics)들에 대해서는 문헌 [1, 2, 4, 5] 등을 참조하라. 또한 여기서의 일반화된 GPP에 대한 최적해법은 문헌 [5]를 참조하라. 그러나 실시간으로 변하는 broadcast 트래픽 패턴에 따라 ELAN 구성의 변화가 필요한 경우에는, 이러한 동적 조정(dynamic adjustment)을 담당하는 LECS에서 짧은 시간 안에 좋은 실현가능해를 찾는 것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 최적해를 구하는 것보다는 좋은 실현가능해를 빨리 제공해 줄 수 있는 해법이 현실적으로 더 바람직하다. 본 연구에서는 구현이 간단하고 대부분의 경우에 적절한 시간 내에 좋은 실현가능해를 제공해 주는 메타 휴리스틱(meta heuristic), 특히 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, 이하 GA)에 기반한 LECS 운용계획을 제안하고자 한다. LECS 운용의 핵심 엔진인 GA의 구체적 설계요소는 참고문헌 [5]에 자세히 설명되어 있다. 다음 4.2절에서는 실험방식과 결과를 소개한다.

4.2 실험결과

4.2.1 실험설계 및 자료

실험대상으로는 모두 37개의 LEC를 가지는 어느 한 대학의 캠퍼스 네트워크를 선정하였다. 이하의 자료는 이 대학의 실제 LANE 네트워크의 주요 파라미터를 정보보안 차원에서 약간 변조한 것이다. 먼저 LEC 용량(C_L)과 BUS 용량(C_B)은 IBM 제품사양을 기준으로 하였다([7, 10]). 현재 실험대상 네트워크는 시행착오적(trial-and-error) 방법에 의하여 모두 9개의 ELAN으로 분할되어 운용되고 있다. 본 연구에서는 제안된 LPP 모형과 해법에 의한 실험을 통해 이러한 주먹구구식 운영의 타당성을 검토하고 보다 발전적인 대안을 제시할 것이다.

4.2.2 실험결과

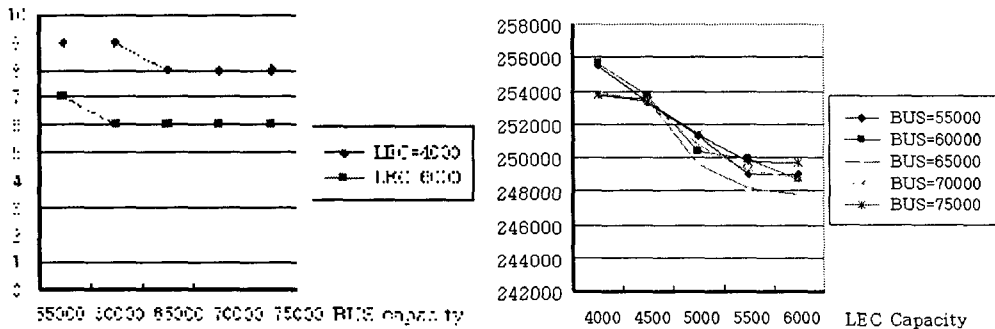
먼저 세대수를 5,000 이상으로 하여 GA가 최적해로 수렴하였을 가능성이 높은 결과를 구한 뒤, 짧은 시간에 구할 수 있는 보다 적은 수의 세대수의 결과와 비교하여 본다. 노드 수 10개 이하의 작은 예를 대상으로 한 실험에서는 대부분의 경우 500번째

이전 세대에서 최적해를 구하였기 때문에, 세대수를 10배로 증가시킨 실제 규모의 실험에서도 최적해에 매우 근사한 해를 제공할 것으로 기대된다.

실험결과 실험대상 LANE 네트워크를 7개의 ELAN으로 분할하여 구성하는 것이 최적이라는 결론을 얻었다. 이 결과는 실제로 운영되는 ELAN 갯수인 9 보다 적은 7개의 ELAN을 운영함으로써 운영상의 복잡성을 줄임과 동시에 cut-pair의 갯수와 이들 사이에서 재처리되어야 하는 broadcast 트래픽 규모도 감소시킬 수 있음을 보여준다. [표 1]은 파라미터 C_L (LEC 용량)과 C_B (BUS 용량) 변화에 따른 실험결과를 정리한 것이다. 또한 <그림 1>에서 볼 수 있듯이, ELAN 분할의 최적 갯수는 BUS 용량 보다는 LEC 용량에 더욱 민감하게 반응한다는 것을 알 수 있다. 즉, BUS의 용량 보다는 LEC의 용량이 총비용(재처리가 필요한 broadcast 트래픽 규모)에 큰 영향을 미침을 알 수 있으며, 최적 ELAN 갯수와 총비용 사이의 상관관계도 보여 준다.

HUB capa/11 C capa	4000	4500	5000	5500	6000	HUB capa/11 C capa	4000	4500	5000	5500	6000
55000	252219	252249	251275	249970	249977	55000	9	9	7	7	7
60000	252214	252249	251314	249971	249975	60000	11	11	7	7	11
65000	252214	252458	250655	248781	247793	65000	8	8	7	6	6
70000	252224	252594	250755	249202	248791	70000	9	9	7	6	6
75000	252224	252594	251186	249143	248790	75000	11	11	7	11	11

[표 1] ELAN 구성에 의해 재처리가 요구되는 트래픽 규모와 최적 ELAN 개수 (전체 LEC 수=39, $C_B=65,000$, $C_L=5,000$, $k=7$)



<그림 1> 파라미터 C_B 와 C_L 의 변화에 따른 비용 변화와 ELAN 개수의 변화

5. 결론

본 연구에서는 LANE 네트워크 규모성을 제고하기 위하여, 독립적으로 운용될 수 있는 가상 LAN인 ELAN 구성을 통한 계층화된 LANE 네트워크 운용문제(LANE Partition Problem, LPP)를 소개하고 이를 해결하기 위한 의사결정모형과 해법을 제안하였다. 네트워크 관리자 입장에서, LANE 네트워크 분할을 통한 ELAN 구성은 broadcast 서비스가 재처리되어야 하는 부담을 최소화 시키는 것을 목적으로 한다. 이 경우 LPP는 기존 그래프 분할문제(GPP)에 ELAN 구성상의 기술적 특성을 반영하는 제약이 추가된 형태로 모형화되고, 여기서는 이를 일반화된 GPP라고 하였다. 마지막으로 GPP 문제에 대한 해법으로 많이 개발된 유전자 알고리즘(GA)을 수정하여 본 연구의 LPP 모형에 적합한 해법을 개발하였으며 이를 실제 캠퍼스 LANE 네트워크에 적용하였다. 실험 결과, 최적 ELAN 구성형태에 LEC 용량이 BUS 용량에 비해 보다 큰

영향을 미침을 알 수 있었고, 이는 LEC 장비선정에 있어서 보다 신중한 의사결정이 요구됨을 의미한다.

본 연구에서 제안하는 LPP 모형을 바탕으로 실제 LANE 및 MPOA 네트워크 관리에서 필요한 여러 정책적 요소들을 고려하는 확장된 실시간 네트워크 운용모형을 개발할 수 있을 것이다. 이는 또한 LECS와 같은 네트워크 관리를 전담하는 서버에 소프트웨어 형태로 탑재되어 네트워크 관리자의 의사결정을 지원하고 자동화하는 목적으로도 활용될 수 있다.

6. 참고문헌

- [1] S. Chopra and M.R. Rao; "The partitioning problem," *Mathematical Programming*, 59, 1993.
- [2] C.E. Ferreira et al.; "The node capacitated graph partitioning problem: a computational study," *Mathematical Programming*, 81, 1998.
- [3] Norman Finn and Tony Mason; "ATM LAN emulation," *IEEE communications Magazine*, June 1996.
- [4] E.L. Johnson, A. Mehrotra, and G.L. Nemhauser; "Min-cut clustering," *Mathematical Programming*, 62, 1993.
- [5] D. Kim; "Exact algorithms and meta-heuristics for general graph partition problem with special capacity constraints: application to hierarchical LANE network operations," Working paper(in Korean), January 2002.
- [6] David McDysan and Darren Spohn; ATM Theory and Application, McGraw-Hill, 1998.
- [7] John Parker, Bruce Anderson, John Hoffe, Tadashi Murayama, and David Ricke; "Customer-Implemented Networking Campus Solution," Redbooks at IBM web site, <http://www.redbooks.ibm.com>.
- [8] "LAN Emulation Over ATM v1.0 Specification," The ATM Forum, #af-lane-0021.0000, February 1997.
- [9] "LAN Emulation Over ATM ver.2 - LUNI Specification," #af-lane-0084.000, July 1997.
- [10] "Networking Requirements: Campus ATM Design," Documentation at CISCO web site, <http://www.cisco.com/warp/public>.