

# ATM LANE에서의 멀티미디어 방송형 트래픽의 Scalable 한 관리를 위한 유전자 알고리즘 응용

김도훈<sup>†</sup>

## 요약

기존 LAN 환경에서 멀티미디어 실시간 전송과 같은 QoS 보장형 서비스에 대한 요구가 증대되면서, ATM 기술을 LAN에 적용하는 기술들이 등장하였다. LANE(LAN Emulation)은 그러한 기술들 중에서 캠퍼스와 기업의 네트워크 인프라로 가장 많이 보급되고 있는 대안 중의 하나이다. 그러나 활발한 LANE 도입에 비하여 이의 효과적인 운용에 대한 연구는 드문 실정이다. 본 논문에서는 LANE을 구축한 캠퍼스 네트워크에서 멀티미디어 방송형(broadcast) 트래픽의 최적 운영방안에 대하여 논의한다. 방송형 트래픽 관리에서 발생하는 규모성(scalability) 문제로 인하여 전체 LANE 네트워크는 일반적으로 여러 개의 ELAN(Emulated LAN)으로 분할되어 관리된다. 본 연구는 특히 규모성 문제 해결을 위한 ELAN 구성(configuration)에 수반되는 비용을 정의하고, LANE 성능에 직결되는 규모성 제약과 ELAN 운용과 관계된 기술적 제약 하에서 제반비용을 최소화하는 ELAN 구성(LANE 분할) 의사결정모형을 제공한다. 이는 그래프분할문제(graph partition problem)의 확장된 형태로 모형화되며, 제안된 수리적 모형을 위한 유전자 알고리즘 해법을 개발하여 소개한다. 또한 실제 LANE 네트워크 운영자료를 사용한 실험을 통하여 최적 ELAN 구성을 위한 정책변수들의 효과를 살펴보고, 이러한 결과들이 기존의 LANE 운영과 관련하여 가지는 함축적인 의미를 고찰한다.

## A Genetic Algorithm Application to Scalable Management of Multimedia Broadcast Traffic in ATM LANE Network

Dohoon Kim<sup>†</sup>

## 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 minor 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.

**키워드 :** LANE, 멀티미디어 트래픽(Multimedia Traffic), 규모성(Scalability), 그래프분할문제(Generalized Capacitated Graph Partitioning), 유전자 알고리즘(진화연산)(Genetic Algorithm)

### 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. 그런데 LANE 네트워크에서는 멀티미디어 데이터를 처리할 경우에 발생하는 규모성(scalability) 문제에 대응하기 위하여 하나의 LANE 네트워크를 복수의 가상 부분네트워크(virtual subnetwork)로 분할하여 운용하

게 된다. 여기서 분할된 네트워크를 ELAN(Emulated LAN)이라고 부르며, 이는 보통 멀티미디어 데이터가 방송형 트래픽(broadcast traffic)으로 전송될 수 있는 경계가 된다. 서로 다른 ELAN에 속하는 노드(ATM 단말) 사이의 멀티미디어 트래픽은 상위계층의 프로토콜을 이용하여야 하는 등, 원래 의도되었던 방송형 전송방식보다 복잡한 과정을 거쳐야 하기 때문에 전체 LANE 네트워크 운용에 큰 부담요인이 되며, 서비스 질을 그만큼 저하시키게 된다. 따라서 규모성 문제해결을 위한 LANE 네트워크 분할은 전체 LANE 네트워크의 성능에 중대한 영향을 미친다. 그러나 ELAN 구성(configuration)에 대한 지침은 단순히 장비용량에만 의존하는 몇 가지 주먹구구식 기준(rule-of-thumb)을 제외하고서는 전무한 실정이다.

<sup>†</sup> 정회원 : 경희대학교 경영대학 전임강사  
논문접수 : 2002년 7월 29일, 심사완료 : 2002년 8월 19일

본 논문에서는 그 동안 캠퍼스 및 기업형 네트워크의 대안으로 도입이 급속히 진행된 반면에, 실제 운용상의 문제에 대한 경영과학적 연구는 많지 않은 LANE 네트워크를 대상으로 한다. 특히 방송형 트래픽 운영에 고유한 특성을 고려하여 규모성 문제를 보완하는 ELAN 분할문제를 살펴본다. 즉, LANE 네트워크의 시스템 요소들이 규모성 요구에 따른 용량제약하에서 운용될 때, 서로 다른 ELAN간 방송형 트래픽의 재처리(re-treatment) 규모를 최소화하는 ELAN 구성문제를 다룬다. 이러한 ELAN 구성문제는 그래프분할문제(Graph Partitioning Problem, GPP)의 일반화된 형태로 정식화되며, 이 문제 또한 NP-complete 류(class)에 속함을 보일 것이다. 또한 방송형 트래픽의 동적 변화(dynamic change)를 반영하기 위하여 짧은 단위시간 마다 ELAN의 재구성(reconfiguration)이 요구되므로, 오랜 시간이 소요되는 최적해 탐색법(exact solution method, 예를 들어, [4, 5, 8]등을 참조) 보다는 발견적 탐색법(heuristic)이 개발되어야 한다. 본 연구에서는 성능 및 계산속도 차원에서 GPP에 효과적인 것으로 알려진 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 도입하여 본 문제에 적합하도록 구현한다.

다음절에서는 먼저 ELAN 운용방식을 간단히 소개하고, 여기서 발생하는 문제를 해결하기 위한 수리적 모형을 제시한다. 또한 GA를 이용한 문제해결기법을 제공하고, 실제 LANE 네트워크를 운영하는 캠퍼스 네트워크로부터 제공되는 다양한 데이터를 가지고 제안된 수리적 모형과 GA의 성능을 실험한다. 이를 통하여 LANE 네트워크 운용에 관한 유용한 시사점을 얻으며 이에 대해 고찰하고자 한다.

## 2. LANE 네트워크 구조(Network Architecture)와 ELAN 운용

### 2.1 LANE 네트워크 시스템 요소와 운영방식

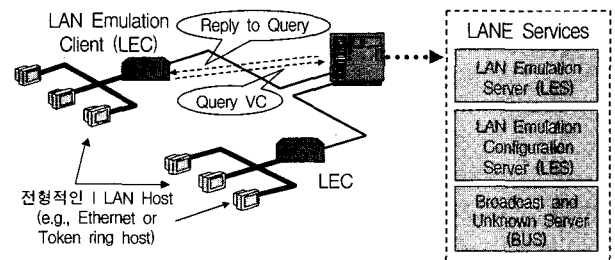
LANE 네트워크는 클라이언트-서버 방식을 바탕으로 한다. 클라이언트 역할을 하는 LEC(LAN Emulation Client)는 기존의 LAN과 ATM 네트워크 사이에서 LAN 프레임(frame)을 ATM 셀(cell)로 변환시키는 브리지 및 필터링(filtering) 역할을 담당하는 엔티티(entity)이다. LEC는 48 바이트 MAC 주소와 20 바이트 ATM 주소에 의해 식별된다. 서버는 크게 다음 세 종류로 구별된다: LES(LAN Emulation Server), BUS (Broadcast and Unknown Server), LECS(LAN Emulated Configuration Server). LES는 해당 네트워크 내의 모든 시스템 요소들간의 MAC 주소와 ATM 주소 번역을 담당한다. 예를 들어, 송신 LEC가 수신 LEC와 data direct VCC (Virtual Channel Connection)를 설정할 때, LES는 MAC 프레임의 수신주소를 ATM 주소로 변환하는 역할을 대행한다. BUS는 이더넷(ethernet)과 같은 일반 LAN에서의 통상적인 방송형 트래픽을 처리하기 위한 서버이다. LEC는

multicast send VCC를 통해 방송형 데이터를 BUS로 전송하고, BUS는 다시 multicast forward VCC를 통해 네트워크 내의 모든 LEC들에게 데이터를 전송한다. LECS는 다음에 소개할 ELAN(Emulated LAN)들로 LANE 네트워크를 분할하는것을 전제로 할 때, LEC들의 묶음(클러스터, cluster)을 동적으로 관리한다.

### 2.2 LANE 네트워크 운용상의 규모성(Scalability) 문제와 ELAN 구성

LANE 방식은 기존 LAN에서 사용하던 응용프로그램을 수정 없이 사용할 수 있다는 장점을 가지나, 서로 상이한 MAC, ATM, IP 계층간 주소변환과정에 의한 연동을 통하여 작동하기 때문에 운용이 복잡하다는 단점을 가진다. 또한 방송형 트래픽은 BUS와 각 LEC간의 point-to-point 연결에 의해서만 전송되므로<sup>1)</sup>, BUS의 처리능력 한계가 동시에 처리될 수 있는 방송형 트래픽 규모를 제한하게 된다. 이러한 사실은 결과적으로 하나의 BUS가 관장할 수 있는 LEC의 개수를 제한하는 주 요인이 된다. 이와 비슷하게, LEC에서의 MAC 프레임-셀간 변환과 BUS-LEC간의 hub-spike 운용패턴을 고려할 때, 개별 LEC에서도 방송형 트래픽 처리 과정에서 과부하가 발생할 가능성은 매우 높다. 따라서 짧은 시간동안 집중적인 broadcast storms[6]이 발생할 경우, LEC와 BUS에서의 방송형 트래픽 처리에 관한 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 LAN들의 묶음의 크기와 범위를 LEC의 개수 혹은 방송형 트래픽 패턴 등을 기준으로 제한하는 것이 일반적이다. 여기서의 가상의 LAN을 ELAN이라고 하며, 전체 LANE 네트워크는 이들 ELAN들의 집합 위에서 운용되는 계층화 방식이 도입된다. LECS가 트래픽 패턴에 따라 ELAN들의 조직화를 담당하므로, LANE 네트워크의 계층화 운용에서 중추적인 역할을 담당한다.

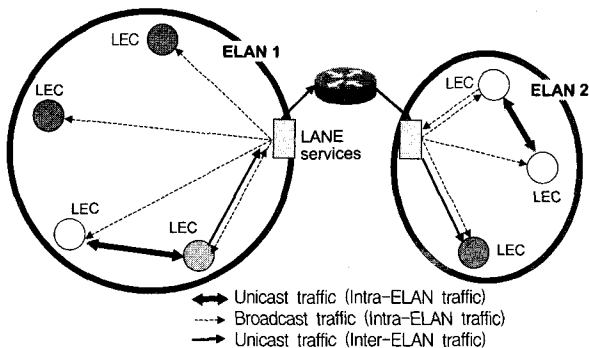


(그림 1) ELAN 구성의 예

하나의 ELAN은 (그림 1)에서 보듯이, 하나의 BUS, LES,

1) 이에 따라 BUS-LEC간의 방송형 트래픽은 hub-spike 형태의 패턴으로 운용된다.

LECS와 복수의 LEC들로 구성된다. 가상의 LAN이라는 이름에서 짐작할 수 있듯이, 특정 ELAN 내의 LE 내의 트래픽은 마치 하나의 LAN에서와 같이 전송되며(intra-ELAN 트래픽), ELAN간의 통신은 라우터나 브리지를 거쳐야만 가능하다(inter-ELAN 트래픽). 즉, intra-ELAN 트래픽의 경우에는 LES를 통하여 상대 LEC의 ATM 주소를 받은 후, 두 LEC들이 직접 data forward VCC를 체결한다. 반면에 inter-ELAN 트래픽의 경우에는 LEC와 LES간에 설정된 VC를 이용하여 데이터를 LES에 전송하고, LES 사이에서는 통상적인 라우팅 과정을 거치게 된다. 특히 ELAN내의 방송형 전송에서는 해당 ELAN의 BUS가 LES의 역할을 대신할 뿐만 아니라, ELAN내 모든 LEC들과의 hub-spike형 VC연결을 통해서 방송형 데이터를 복사/전송하는 역할도 담당한다. 따라서 ELAN내 LEC의 수가 지나치게 많거나 LEC가 생성하는 방송형 트래픽이 급증하게 되면 BUS나 LEC에서 트래픽 처리를 감당할 수 없는 상태에 도달하는 broadcast storm 현상이 발생할 가능성은 높아진다. (그림 2)는 두 개의 ELAN으로 구성된 LANE 네트워크에서, LEC간 일반(unicast) 및 방송형 트래픽 처리를 위한 VC 연결예를 나타낸다(이 그림에서 LES, BUS, LECS 위치는 표시되지 않았음).



(그림 2) 계층화된 LANE 네트워크 운용에서의 데이터 흐름

ELAN은 일반 LAN의 물리적인 연결과는 상관없는, 논리적 관계에 의한 LEC들의 클러스터이기 때문에 조직화 및 재구성(reconfiguration)이 자유롭다. 이러한 특성이 일반 LAN의 확장에서는 볼 수 없는, LANE 네트워크 운용상의 유연성의 근원이 된다. 특히 LECS는 LEC들을 동적으로 ELAN으로 묶는 역할을 담당하므로, 이러한 유연함을 구현하는 핵심적인 시스템 요소가 된다. LECS는 클라이언트로 작동하는 LEC들에게 가장 적합한 LES 주소를 알려 주고, 그 기록을 데이터베이스로 관리한다. 따라서 LECS는 LEC를 지리적 위치나 관리상의 정책(administrative policy) 등에 근거하여 ELAN에 할당하는 엔진을 탑재하고 있어야 한다. 이러한 엔진은 LES와 BUS 같은 핵심 장비의 개수와 용량을 입력으로 하여, 전체 ELAN의 개수와 특정 ELAN으로

묶여질 수 있는 LEC들을 결정하여야 한다. 지금까지 살펴본 바와 같이, 이러한 의사결정은 ATM LANE 네트워크 전체의 성능에 직결된다.

그러나 LANE 네트워크의 계층화 운용을 책임지는 위와 같은 엔진설계에 대한 연구는 매우 적을 뿐만 아니라, 관련된 의사결정이나 관리정책에 대한 기준으로 제안된 것도 많지 않은 실정이다. 본 연구에서는 멀티미디어 환경에서의 계층적 LANE 운용에 초점을 맞추어, 방송형 트래픽의 효율적인 운용을 위한 ELAN 구성(configuration) 모형과 엔진을 제안한다. 방송형 트래픽을 대상으로 하는 이유는, ELAN 구성에 의한 LANE 네트워크 운용을 살펴볼 때, 방송형 트래픽이 전체 네트워크 성능에 영향을 미치는 정도가 일반(unicast) 트래픽 보다 크기 때문이다. 방송형 트래픽은 해당 ELAN의 BUS를 통하여 동일 클러스터 내의 모든 LEC들에게 전달되며, 각 LEC는 전달받은 방송형 데이터가 자신을 목적지로 하는지를 검토하여야 하므로, LEC 및 BUS 부하의 큰 비중을 차지한다.

요약하면 ATM LANE 네트워크에서 동적으로 변하는 방송형 트래픽 수요에 대한 분석에 근거하여 ELAN 구성을 결정하는 문제는 전체 LANE 네트워크 성능향상과 직결된다. 다음 장에서는 이를 위한 구체적인 모형과 해법을 살펴본다.

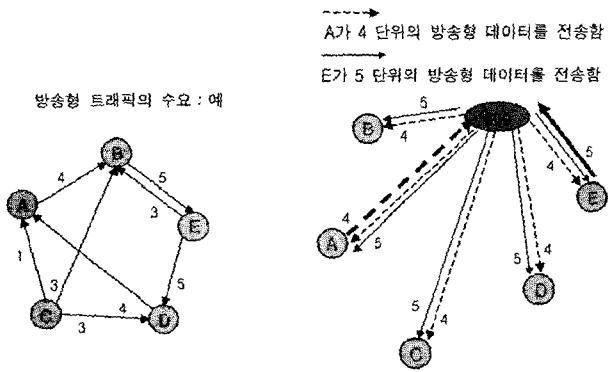
### 3. LANE 분할문제(LANE Partition Problem, LPP)

#### 3.1 LANE 분할문제의 정의와 목적

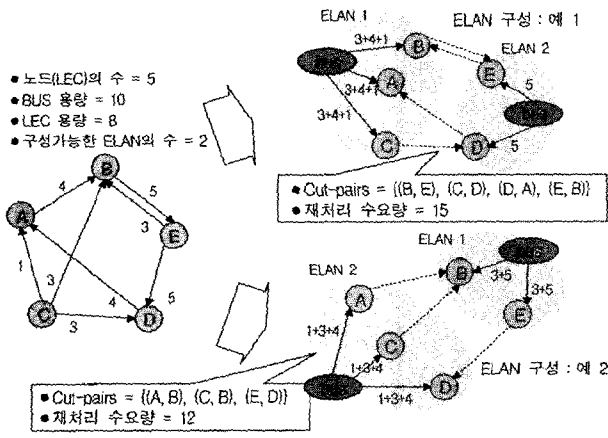
LANE은 기존 LAN의 응용프로그램을 수정 없이 사용하려는(backward compatibility) 동기에서 개발되었으므로, LANE 환경에서의 방송형 데이터는 일반 LAN에서의 사용되는 방송형 응용프로그램으로 볼 수 있다. 예를 들어, IPX나 NETBEUI를 이용하여 파일공유나 대화형 게임과 같은 차세대 멀티미디어서비스를 제공하는 경우이다. 계층화된 LANE 네트워크에서는 동일 ELAN 내의 LEC들만이 방송형태로 데이터를 전송할 수 있으므로, 서로 다른 ELAN에 속하는 LEC에게는 동일한 품질의 서비스를 제공할 수 없거나 또 다른 프로토콜(예를 들어, IP over ATM 혹은 Multi-Protocol over ATM 등)을 개입시키는 복잡한 재처리(re-treatment) 절차가 필요하게 된다. 여기서는 방송형 데이터 전송에서 서로 다른 ELAN에 속한 LEC 송/수신쌍을 cut-pair라고 부르고, cut-pair간 방송형 데이터 수요를 재처리 수요(re-treatment demand)라고 부를 것이다. 또한 재처리 수요가 발생시키는 제반 비용이 cut-pair간 수요량(재처리 수요량)에 비례한다고 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 최소화시키는 것이다.

3.1.1 ELAN 구성의 예

(그림 3)과 같이 모두 5개의 노드(LEC)가 있는 네트워크를 (그림 4)에서와 같이 최대 2개의 ELAN으로 분할하는 LANE 분할문제의 예를 살펴보자. LEC 간 방송형 트래픽 수요는 그림에서와 같이 간선(arc) 옆의 숫자로 주어져 있다. 이 숫자는 해당 LEC 간 방송형 데이터 전송을 위하여 BUS와 LEC 간에 설정되어야 할 VC의 개수를 의미한다. 이와 비슷하게 BUS와 LEC에서 단위시간 동안 처리할 수 있는 방송형 트래픽의 규모도 VC 개수를 단위로 하여 주어져 있다. 예를 들어, LEC A에서 LEC B로의 방송형 데이터는 단위시간당 4개의 VC 설정을 필요로 하며, 이 데이터는 우선 BUS에 전달된 후 해당 ELAN 내의 모든 LEC들에게 방송된다.



(그림 3) LANE 분할문제(LPP)의 입력(input) 예: ELAN 구성 이전



(그림 4) ELAN 구성의 두 가지 예

(그림 4)의 대안 1과 대안 2는 BUS와 LEC의 용량제약을 모두 만족하는 분할의 예이다. 그런데 대안 1에서는 모두 4개의 cut-pair에서 15 단위가, 그리고 대안 2에서는 모두 3개의 cut-pair에서 12 단위의 방송형 데이터 재처리 수요가 발생한다. 이들 재처리 수요는 IP와 같은 상위계층을 이용하는(예컨대 MPOA 등) 보다 복잡한 방식을 통해서 비스되거나, 트래픽이 많은 경우에는 서비스 자체가 거부될

수도 있다. 어떤 경우이든지 서비스 품질 측면에서나 전체 LANE 네트워크 운용 측면에서 모두 부정적인 영향을 미치게 된다. 제안된 LPP 모형의 기준에 의하면 두 대안 중에서 cut-pair에 대응되는 재처리 수요의 총합이 적은 두 번째 대안이 더 좋은 ELAN 구성으로 선택된다.

3.2 LANE 분할문제(LPP)의 형식화 및 의사결정모형

이상에서 살펴 본 LPP는, 먼저 어떤 단위 시구간(unit time interval)에서<sup>2)</sup> LANE 네트워크 내 모든 LEC 간의 방송형 트래픽 수요가 주어진 것으로 가정한다. 또한 (a) 단위시간 동안 BUS가 감당할 수 있는 방송형 트래픽 규모의 상한( $C_B$ ), (b) 단위시간동안 하나의 LEC가 받아들일 수 있는 방송형 트래픽 규모의 상한( $C_L$ ), (c) 구성가능한 최대 ELAN 개수 ( $k$ )와 같은 파라미터들이 각 장비의 종류와 용량에 따라 주어지는 것으로 가정한다. 이 경우 LPP의 실현가능한 해(feasible solution)는 상기한 제약조건들 (a)~(c)을 만족하도록 LANE 네트워크 내 LEC들이 클러스터링(clustering)된 모양으로 볼 수 있다. 그리고 LPP의 목적은 그러한 실현가능해 중에서 cut-pair 수요량의 합이 가장 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(즉,  $V$ 를 노드(LEC)들의 집합이라고 할 경우,  $v \in V$ ), LEC  $u$ 에서  $v$ 로 향하는 방송형 트래픽이 존재한다면 이를 방향성 간선(directional arc, 이하 간단히 간선이라고 함) ( $u, v$ )로 표현하자. 집합  $E$ 를 이러한 간선들의 집합이라고 하면,  $E$ 는 단위 시구간 동안의 전체 LANE 네트워크 내 LEC 사이에서 요구되는 평균적인 방송형 트래픽 분포상황을 표현한다. 보다 구체적으로 LEC  $u$ 에서  $v$ 로의 방송형 트래픽 규모  $d_{uv}$ 를 간선비용(arc weight)으로 하면 수요그래프(demand graph)  $G=(V, E)$ 가 완성된다. 결과적으로 주어진  $G$  상의 노드들을, 위의 제약조건들이 만족되는  $k$ 개의 노드묶음(클러스터)  $V_1, V_2, \dots, V_k$ 로 분할하되<sup>3)</sup> 간선-컷(edge-cut)의 크기<sup>4)</sup> 최소화 되도록 하면, 상기한 의사결정문제 LPP의 최적해(optimal solution)를 찾은 것이 된다. 정리하면 최대로 구성할 수 있는 ELAN의 개수  $k$ 가 주어지고  $K=\{1, 2, \dots, k\}$ 라고 할 때, LPP는 아래와 같은 일반화된 CGPP(Capacitated GPP)로 규

2) 네트워크상의 트래픽 모니터링과 조정은 많은 자원을 소비하기 때문에, 실시간으로 시행되지 않고 주기적으로 polling 방식에 의해 행해지는 것이 일반적이다. 보통 5~10분에 한 번 정도의 비율로 시행되기 때문에, 여기서의 LANE 자원의 동적 재구성을 위한 단위 시구간을 예컨대 5분 정도로 잡으면 충분할 것으로 판단된다. 아래의 실험결과에서 살펴보겠지만, 본 연구에서 제안된 의사결정모형과 해법은 이러한 시구간 동안 충분한 여유를 가지고 수행될 수 있다.  
3) 여기서는 분할의 수  $k$ 가 주어졌기 때문에, 분할  $\{V_1, \dots, V_k\}$ 에서 일부 클러스터  $V_i$ 는 공집합(empty set)일 수도 있다.  
4) 여기서 간선-컷은 cut-pair  $(u, v)$  (여기서  $u \in V_i, v \in V_j, (i \neq j)$ )에 해당되는 간선들(즉,  $(u, v)$  및/또는  $(v, u)$ )의 집합을 말하며, 간선-컷의 크기는 이에 속하는 간선들의 총비용으로 정의된다. 간선-컷의 크기가 cut-pair 수요의 총합과 같음은 쉽게 알 수 있다.

정된다.

$$\text{Minimize}_{\{V_1, \dots, V_k\}} \sum_{u \in V_i} \sum_{v \in V_j, j \neq i} d_{uv} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } |V_i| \times \sum_{e \in E_i} d_e \leq C_B, \forall i \in K \quad (2)$$

$$\sum_{e \in E_i} d_e \leq C_L, \forall i \in K \quad (3)$$

여기서  $E_i$ 는  $i$ 번째 클러스터( $V_i$ )에 속하는 노드만을 양단(end nodes)으로 하는 간선들의 집합을 나타낸다(즉,  $E_i = \{e = (u, v) \in E \mid u, v \in V_i\}$ ). 한 노드 클러스터에 속하는 간선비용의 총합과 클러스터의 크기(클러스터에 포함되는 노드의 수)의 곱이 BUS에서 단위시간 동안 처리해야 될 방송형 트래픽 규모가 되기 때문에, 제약조건 (2)는 이 값이 BUS의 용량  $C_B$ 를 초과할 수는 없다는 것을 의미한다. 또한 (3)은 각 노드(LEC)에서 단위시간 동안 동시에 처리해야 하는 최대 방송형 트래픽 규모는 해당 클러스터에 포함되는 간선비용의 총합이 되므로, 이 값이 LEC의 용량  $C_L$  보다는 클 수 없다는 것을 말한다. 결국 LPP는 통상적인 클러스터 용량 제약을 가지는 CGPP[5]에 제약조건 (2)가 추가된 형태의 일반화된 CGPP(generalized CGPP)로 규정된다. 즉, 제약조건 (2)의 우변상수인  $C_B$ 를 충분히 큰 값으로 하는 특수한 경우가 CGPP에 해당된다. CGPP는 NP-hard한 문제로 밝혀져 있기 때에[5, 8], 이를 특수한 경우로 포함하는 LPP 역시 NP-hard한 문제임을 알 수 있다.

#### 4. 유전자 알고리즘에 의한 문제해결기법(Solution Method)과 실험결과

##### 4.1 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)

클러스터 개수가 고정된(조건 (c) 참조) 통상적인 GPP에 대한 효율적인 최적해법(exact algorithm)은 이미 많이 개발되어 있다(예를 들어 [4]와 [8]등을 참조). 또한 클러스터에 대한 용량제한 조건(제약조건 (3) 참조)이 추가된 CGPP에 대해서도 분지절단법(branch-and-cut algorithm)에 의한 최적해법과 다양한 발견적 heuristic 제시되었다([3, 5, 8, 9] 등). 앞에서 정의한 LPP는 CGPP에 또 다른 제약조건(제약조건 (2) 참조)이 추가되어 일반화된 형태이다. 따라서 제약조건 (2)와 관계되는 유효부등식(valid inequality)과 효과적인 분리방법(separation algorithm)을 개발하여 [4]와 [8]등에서 제안된 최적해법에 추가한다면 최적해법을 구축할 수 있다[9].

그러나 실시간으로 변하는 방송형 트래픽 패턴에 따라 ELAN의 재구성이 필요한 현실적인 경우에는, 이러한 동적 조정(dynamic adjustment)을 담당하는 LECS 엔진이 짧은 시간 안에 좋은 실현가능해를 찾는것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 최적해를 구하는 것보다는 좋은 실현가능해를 빨리 제공해 줄 수 있는 해법이 현실적으로 더 바람직하다.

본 연구에서는 구현이 간단하고 거의 모든 경우에 적절한 시간 내에 최적해와 유사한 좋은 실현가능해를 제공해 주는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 제공한다. 이하에서는 먼저 LECS 엔진의 핵심인 GA의 설계요소를 간단히 설명하고, GA를 이용한 실험방식과 결과를 4.2절에서 소개한다.

##### 4.1.1 GA에서의 개체 표현(Chromosome Representation)

본 연구를 위해 개발된 GA에서는 임의의 실현가능해가 그룹-번호 표현방식(group-number representation method)에 따라 개체(chromosome)로 부호화(encoding)된다. 예를 들어, 아래 개체에서  $i$ 번째 노드의 값이  $v_i (\leq k)$ 이면, 노드  $i$ 는  $v_i$ 번째 클러스터에 속함을 나타낸다.

$$(v_1, v_2, \dots, v_n), \text{ 여기서 } n \text{은 노드(LEC) 개수}(=|V|) \text{를 의미하며, } v_j \in \{1, \dots, k\} \forall j$$

여기서  $v_j$ 는, 최대  $k$ 개의 ELAN으로 LANE 네트워크를 분할할 때  $j$ 번째 노드(LEC)가  $m(k)$  번째 ELAN에 속하게 되면  $m$  을 그 값으로 갖는다. 예를 들어, 전체 노드의 개수가 5인 LANE 네트워크를 두 개의 ELAN으로 분할하는(그림 4)에서, 노드 1과 2는 ELAN 1에, 노드 3, 4, 5는 ELAN 2에 속하는 실현가능해는 (1, 1, 2, 2, 2)로 표현된다.

##### 4.1.2 적응도 평가와 선별(Evaluation and Selection)

GA 관점에서 볼 때, LPP의 목적은 노드  $i$ 와  $j$ 가 cut-pair가 되어  $d_{ij}$ 만큼의 재처리 비용을 유발할 때, 이러한 비용의 총합을 최소화하는 실현 가능한 개체(분할)를 찾는 것이다. 먼저 개체의 적응도 평가를 위하여 식 (1)의 목적함수를 사용한다. 주어진 한 개체에서 임의의 노드  $i, j$  간 방송형 트래픽 수요  $d_{ij}$ 가 intra-ELAN 트래픽에 속하는지 inter-ELAN 트래픽에 속하는지는, 개체표현과 연관된 적절한 자료구조를 참조하여  $O(|V|)$  내에 파악할 수 있으며, 따라서 해당 개체가 유발하는 총비용은  $O(|E|)$  내에 계산할 수 있다. 또한 세대(generation)를 거듭하면서 최적해에 가까운 개체를 선별해 나가기 위하여, 가장 많이 이용되는 확률바퀴(roulette wheel) 방법을 적용한다.

##### 4.1.3 GA 연산자(Operators)

선정된 부모 개체(parent chromosomes)간 교차연산(crossover operation)은 수정된 구조교차연산(modified structural crossover, [1])에 따른다. 그룹-번호 방식에 의한 개체표현을 도입한 CGPP에서 통상적인 다점 교차방식(multi-points crossover)은 실현불가능한(infeasible) 새로운 자손 개체(child chromosome)를 생산할 가능성이 높은 것으로 지적되어 왔다[1, 3]. 수정된 교차연산에서도 이러한 위험은 존재하지만, 부모의 형질구조의 부분이 그대로 자손에게 전달되기 때문에 생산된 실현불가능한 개체를 실현가능한 개체로 전환시키는 손상회복과정(repair procedure)이 일점 혹

은 다점 교차에서보다 용이하다.

돌연변이(mutation)는 의도적으로 특이한 형질을 갖는 개체를 창출하여, GA가 국지적 최적해(local optimal solution)에 고착되거나 지나치게 빨리 열등한 개체집단으로 수렴하는 것을 방지하는 역할을 한다. 돌연변이를 생성하기 위해서는 일반적인 삽입(insertion), 전치(displacement) 등의 연산방식을 대부분 적용할 수 있다. 그러나 특정 돌연변이 연산자가 다른 연산자에 비해 명백히 우수하거나 열등한 결과를 제공하지는 않는 것으로 보인다[1, 3]. 따라서 본 연구에서는 구현과 실행이 간단하여 전체 GA의 계산속도에 심각한 영향을 미치지 않는 전치방식[1]을 돌연변이연산자로 채택한다. 또한 돌연변이가 실행 불가능한 개체를 생성할 경우에는 손상 회복 과정 없이 개체집단(population)에서 제거한다.

4.1.4 기타 GA관련 파라미터(Control Parameters)

기타 다양한 GA 파라미터를 사전실험(pilot test)에서 검토해 볼 것이다. 특히 GA 계산속도와 성능에 영향을 줄 수 있는 최대 세대수, 개체집단의 규모, 교차와 돌연변이의 비율 등을 집중적으로 비교한다. 또한 최근  $m$ 세대 동안 가장 좋은 목적 함수 값을 갖는 개체가 변하지 않으면 최대 세대수에 도달하기 전에도 GA를 종료할 수 있도록 하였다. 여기서 파라미터  $m$ 에 대해서도 사전실험을 통하여 적절한 값의 범위를 추정한다.

4.2 실험결과 및 해석

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. 또한 LEC 용량( $C_L$ )과 BUS 용량( $C_B$ ) 등은 현재 시장을 주도하고 있는 네트워크장비업체들의 기본적인 제품사양을 기준으로 하였다[11, 14]5). 현재 실험대상 LANE 네트워크는 시행착오적(trial-and-error) 방법에 의하여 모두 9개의 ELAN으로 고정적으로 분할되어 운용되고 있다. 본 연구에서는 제안된 LPP 모형과 해법에 의한 실험을 통하여 이러한 주먹구구식 운영을 평가하고 보다 발전적인 대안을 제시할 것이다.

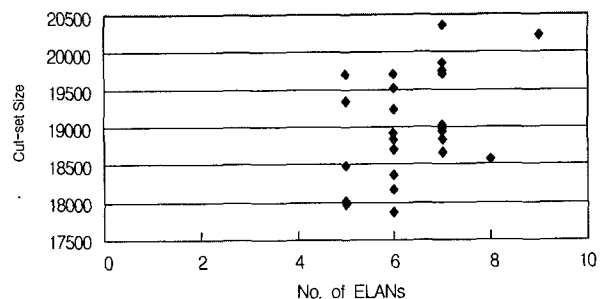
사전실험은 10개의 노드를 가지는 모의 네트워크를 가지고 시행되었다. 본 연구에서 제안하는 GA는 모든 사전실험에서 매우 빠른 시간 안에 최적해를 찾았으며, 최대 세대수 100에 도달하기 훨씬 이전에 최적해를 발견하였다(이 때  $m = 10$ 으로 하였음). 또한 교차와 돌연변이의 비율은 GA 성능과 속도에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 따라

서 실제 실험에서도 교차와 돌연변이의 비율을 각각 50%와 10%로 고정하였다.

사전실험 결과를 바탕으로, 우선 최대 세대수를 각각 100, 200, 300으로, 개체집단의 규모를 또한 각각 50과 100으로 구분하였다. 또한 설비용량이 ELAN 구성에 미치는 영향을 분석(민감도 분석, sensitivity analysis)하기 위하여, 현재 사용중인 제품사양( $C_L = 5,000, C_B = 65,000$ )을 기준으로 제품사양을 각각 5 등급으로 나누어 실험하였다. 각 제품사양의 조합별로 초기 개체집단을 달리하면서 5번씩 실험하였다. 특히 현 제품사양에 대해서는 서로 다른 세 가지 방송형 트래픽 패턴을 비교하였다. 즉, 방송형 트래픽이 균등하게(uniform) 분포하면서도 많이 발생하는 경우(dense mode, 유형 1)와 적게 발생하는 경우(sparse mode, 유형 2), 그리고 특정 노드를 중심으로 불균등하게 분포하는 경우(hub-spike mode, 유형 3)를 서로 비교하였다.

실험결과 최대 세대수를 300으로 한 경우에는 모든 경우에서 최대 세대수에 도달하기 이전에 근사 최적해(near optimal solution)로 수렴하였으며, 개체집단의 규모를 100으로 하는 것이 약간의 계산속도 증가에 비하여 보다 좋은 결과를 보였다. 이하의 논의에서는 최대 세대수와 개체집단의 규모를 각각 300과 100으로 한 결과만을 소개한다. 실험 결과의 분석에 앞서서, 실험으로부터 얻어진 기초적인 통계를 소개하면 다음과 같다. GA가 최적해 또는 근사 최적해로 수렴하는 속도는 평균 21.17초(표준편차 7.69초)로, 이는 본 연구에서 제안된 모형과 문제해결기법이 실제 네트워크가 방송형 트래픽 변화에 동적으로 적용하기 위해 필요한 충분한 시간을 확보할 수 있음을 의미한다. 또한 각 실험조합마다 5번씩 반복된 결과에서 얻은 비용함수의 최대 값과 최소 값의 차이는 평균 3% 이내였으며, dense mode의 수요그래프를 대상으로한 25개의 실험조합에서 6번은 최대 값과 최소 값의 차이가 없었다(이 경우, 최적해를 찾았을 가능성이 높다고 판단된다).

4.2.2 실험 결과



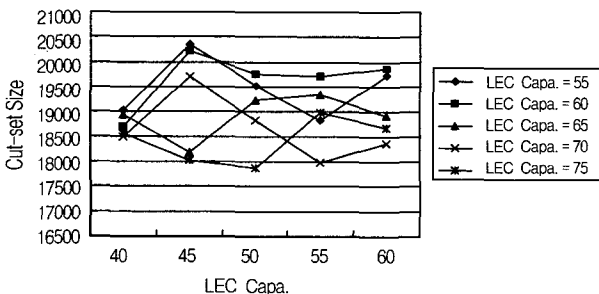
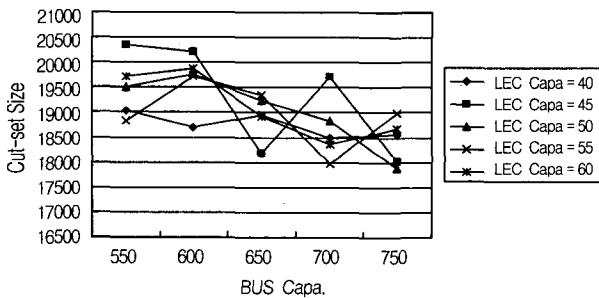
(그림 5) 최적 ELAN 구성에서 ELAN 개수와 총비용(간선-컷의 크기) 사이의 관계

먼저 (그림 5)에서 보는 바와 같이, 최적해(또는 근사 최적해)에서의 ELAN 개수와 총 비용 사이에 양의 상관관계

5) 여기서 LEC 용량 및 BUS 용량은 단위시간 동안 개설가능한 VC의 개수를 말한다. 임의의 두 LEC 사이에서 방송형 데이터를 전송할 경우 반드시 하나 이상의 VC를 개설하여야 하므로, 이 숫자는 어느 단위시간에서의 방송형 데이터 수요량을 의미하는 것으로 해석할 수 있다.

가 있음을 알 수 있다. 실험결과 실험대상 세 가지 유형의 트래픽 패턴에 대해서 LANE 네트워크를 7개의 ELAN으로 분할하여 운영하는 것이 최적이라는 결과를 얻었다. 이 결과는 실제로 운영되는 ELAN 갯수인 9보다 적은 7개의 ELAN을 운영함으로써, 운영상의 복잡성을 줄임과 동시에 cut-pair의 갯수와 재처리되어야 하는 방송형 트래픽 규모도 감소시킬 수 있음을 보여준다. 즉, 주어진 트래픽 유형 1, 2, 3에 대하여 본 연구에서 제안된 LANE 분할방식을 적용함으로써, 기존의 운영방식을 고수할 경우에 발생하는 간선-컷 규모보다 각각 10.22%, 11.81%, 7.40% 만큼 개선된 결과를 얻었다. 쉽게 예상할 수 있는 바와 같이, hub-spike형 트래픽 분포를 보이는 유형 3의 경우에 개선된 정도가 상대적으로 적으며, 트래픽 분포가 적은(sparse) 유형 2의 경우에 가장 큰 효과를 볼 수 있다.

(그림 6)은 파라미터  $C_L$ (LEC 용량)과  $C_B$ (BUS 용량) 변화에 따른 민감도 분석의 결과를 정리한 것이다. 이들의 비교에서 알 수 있듯이, ELAN 분할의 효과는 LEC 용량보다는 BUS 용량에 더욱 민감하게 반응한다. BUS 용량의 증가는 모든 LEC 용량에 대하여 재처리 트래픽의 규모를 줄이는 뚜렷한 추세(trend)를 보임에 반하여(그림 6)의 (a), LEC 용량 증가는 그러한 추세를 보이고 있지 못하다. 이는 LEC 장비의 용량결정에 있어서 보다 신중한 주의가 요구됨을 의미하는데, 최적의 LEC 용량이 BUS 용량에 의존적으로 결정되기 때문이다.



(그림 6) 파라미터  $C_B$ 와  $C_L$ 의 변화에 따른 총비용(재처리 트래픽의 규모) 변화

5. 결 론

본 연구에서는 기존 LAN(legacy LAN) 확장에서 발생하

는 제문제를 ATM기술을 이용하여 해결하기 위하여 LANE 방식을 도입할 때, LANE 네트워크의 최적 운영방안에 대하여 살펴보았다. 특히 규모성을 제고하기 위하여 LANE 네트워크상에서 독립적으로 운용될 수 있는 가상 LAN인 ELAN을 구성하여 계층화된 LANE 네트워크 운용하는 경우 직면하게 되는 LANE 분할문제(LANE Partition Problem, LPP)를 정의하였고 이를 해결하기 위한 의사결정모형과 해법을 제안하였다. 네트워크 관리자 관점에서 볼 때, LPP를 통한 ELAN 구성은 재처리되어야 할 방송형 서비스를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 이 경우 LPP는 기존의 클러스터 용량제약하의 그래프 분할문제(CGPP)에서 ELAN 구성상의 기술적 특성을 반영하는 제약이 추가된 형태로 모형화되며, 여기서는 이를 일반화된 CGPP라고 하였다. 마지막으로 GPP 문제에 대한 해법으로 개발된 유전자 알고리즘(GA)을 수정하여 본 연구의 LPP 모형에 적합한 해법을 개발하였으며, 이를 실제 캠퍼스 LANE 네트워크에 적용한 실험결과를 소개하였다.

실험 결과, 현재 주먹구구식으로 운용되는 방식에 비해 보다 효율적인 ELAN 구성형태를 발견할 수 있었으며, 결과적으로 보다 적은 수의 ELAN을 관리하면서 운영상의 복잡성을 줄이고 재처리가 필요한 트래픽 규모도 감소시킬 수 있었다. 또한 주요 파라미터인 LEC의 용량과 BUS의 용량이 네트워크 관리차원에서 가지는 영향을 분석하였다. 즉, 최적 ELAN 구성형태가 LEC 용량보다는 BUS 용량에 더 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 이는 LEC 장비 선정(예컨대 용량결정, 가격 대비 효율평가 등)에 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 같이 네트워크 관리를 전담하는 서버에 소프트웨어 형태로 탑재되어 네트워크 관리자의 의사결정을 지원하고 자동화하는 목적으로도 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복, "메타 휴리스틱", 영지문화사, 1997.
- [2] 한국전자통신연구원, "ATM 상의 인터넷 서비스 기술 개론", 진한도서, 1999.
- [3] T. N. Bui and B. R. Moon, "Genetic Algorithm and Graph Partitioning," IEEE Trans. on Computers, Vol.45, No.7, 1996.
- [4] S. Chopra and M. R. Rao, "The Partitioning Problem," Mathematical Programming, Vol.59, 1993.
- [5] C. E. Ferreira et al., "The Node Capacitated Graph Partitioning Problem : a Computational Study," Mathematical Programming, Vol.81, 1998.
- [6] N. Finn and T. Mason, "ATM LAN Emulation," IEEE Com-

munications Magazine, June, 1996.

- [7] E. Guarene, P. Fasano, and V. Vercellone, "IP and ATM Integration Perspectives," IEEE Communications Magazine, January, 1998.
- [8] E. L. Johnson, A. Mehrotra, and G. L. Nemhauser, "Min-cut Clustering," Mathematical Programming, Vol.62, 1993.
- [9] D. Kim, "Exact Algorithms and Meta-heuristics for General Graph Partition Problem with Special Capacity Constraints : an Application to Hierarchical LANE Network Operations," Working Draft, June, 2002.
- [10] D. McDysan and D. Spohn, "ATM Theory and Application," McGraw-Hill, 1998.
- [11] J. Parker, B. Anderson, J. Hoffe, T. Murayama, and D. Rucke, "Customer-Implemented Networking Campus Solution," Redbooks, Available at the IBM Web Site, <http://www.redbooks.ibm.com>.
- [12] "LAN Emulation Over ATM v1.0 Specification," The ATM Forum, #af-lane-0021.0000, February, 1997.
- [13] "LAN Emulation Over ATM v2 : LUNI Specification," The ATM Forum, #af-lane-0084.000, July, 1997.
- [14] "Networking Requirements : Campus ATM Design-Documentation at Cisco Web Site," White Paper, Available at [http://www.cisco.com/warp/public/779/largeent/design/campus\\_atm.html](http://www.cisco.com/warp/public/779/largeent/design/campus_atm.html).



### 김도훈

e-mail : dyohaan@khu.ac.kr

1992년 서울대학교 국제경제학과 졸업(학사, 계산통계학 부전공)

1995년 한국과학기술원(KAIST) 경영과학과 졸업(석사)

2001년 한국과학기술원 테크노경영대학원 졸업(경영공학 박사)

1995년~2000년 (주)인터링크시스템, 연구원

2000년~2001년 University of Pennsylvania, Fulbright research fellow

2001년~현재 경희대학교 경영대학 전임강사

관심분야 : SLA를 고려한 네트워크 운영최적화, ISP 및 통신사업자의 서비스 아키텍처 개발