

ATM 망에서 최적 가상 경로망 설계를 위한 유전자 알고리즘 응용에 관한 연구

강 주 락(姜 周 洛), 권 기 호(權 奇 浩)
성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부
전화 0331-290-7197 / 팩스 0331-290-7197

A Study on Applying Genetic Algorithm for Optimum Virtual Path Network Design in ATM Network

Joo Rak Kang, Key Ho Kwon
School of Electrical & Computer Engineering SungKyunKwan University
E-mail : kangjn@ece.skku.ac.kr

Abstract

Genetic algorithm is well known as the efficient algorithm which can solve a difficult optimization problem. Recently, there has been increasing interest in applying genetic algorithm to problem related to network design.

In this paper, we propose a two-step genetic algorithm for designing a optimum virtual path network(VPN) for a given physical network and traffic demand. The first step is a routing step in which a route is found between every node pair in the network. In the second step, paths are assigned as VPs so as to minimize the total number of VPs configured, the number of VPs carried by a link, and the VP hopcount.

We study the performance of the propose algorithm through simulation. The result shows that the VPN generated by the proposed algorithm is good in minimizing the number of VPs configured, the load on a link, and the VP hopcount.

I. 서론

유전자 알고리즘은 어려운 최적화 문제를 풀기 위한 유용한 알고리즘으로 알려져 있으며 이에 대한 많은 연구와 공학적인 문제에 대한 적용이 이루어지고 있다.[1]

최근 유전자 알고리즘의 공학적인 적용 대상으로 네트워크 토폴로지 설계에 대한 연구가 많이 이루어지고

있다.[2][3] 본 논문은 ATM(Asynchronous Transfer Mode)망에서 가상 경로망(Virtual Path Network) 설계를 최적화 문제로 고려하여 유전자 알고리즘을 적용한다.

광대역 종합 정보 통신망(Broadband Integrated Services Digital Networks)의 전송기술로 받아들여지고 있는 ATM에서 자원의 효율적 이용과 관리를 위해 가상경로(Virtual Path) 개념을 사용하고 있다. VP는 물리적인 망에 기초를 둔 논리적인 망으로 구성되며 이러한 논리적인 망을 VPN이라고 한다.[7] VPN 설계는 주어진 물리적인 망과 트래픽 행렬에 대하여 전송과 스위칭, 제어와 관리비용을 최소화하는 최적화 문제로 표현된다. 이러한 최적화 문제는 망의 노드 수가 증가함에 따라 탐색공간이 지수적으로 증가하며 여러 개의 구속조건을 가지고 상이한 목적함수를 만족시켜야 하는 문제로서 NP-hard라고 알려져 있다.[5]

본 논문은 VPN 설계를 위해 유전자 알고리즘을 이용한 2단계 최적화 알고리즘을 제안한다. 첫 번째 단계는 모든 노드 쌍에 대한 경로를 찾는 과정이고 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 찾은 경로에 대해 VP를 설정하는 과정이다. 각 단계에 필요한 염색체 표현 방식과 평가함수, 선택 방법, 유전 연산자 등 유전자 알고리즘을 적용하는데 있어서 핵심적인 고려사항에 대해 알아보고 제안하는 2단계 유전자 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가 및 분석한다.

II. 가상 경로망 설계

ATM망에서 VPN 설계문제는 물리적 망과 트래픽

요구가 주어졌을 때 스위칭과 전송 비용, 제어와 관리 비용을 최소화하기 위한 경로와 VP 설정으로 이루어진 논리적 망을 구현하는 것이다.[5]

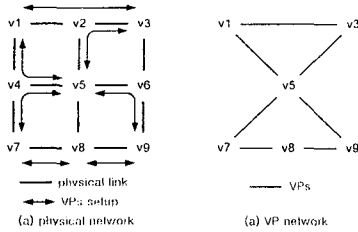


그림 1. VPN 구성 예

VPN 설계를 최적화 문제로 고려할 때 최적 VPN의 성능 기준은 VC(Virtual Channel) 연결 설정 지연, 스위칭 지연, 망의 관리 비용과 연결성에 대한 신뢰도로서 전체 VP의 수, 결합 발생 시 복구 비용의 기준인 물리적 링크를 점유하는 VP의 수, 다중경로 설정의 용이성이다. 이러한 기준에 따라 VPN 설계 문제의 수학적 모델은 그래프 이론 모델을 이용하여 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Given } G, T, C \\
 &\text{Find } G^*, C^* \\
 &\text{Minimizing } Z_d + Z_c \quad (1) \\
 &\text{Subject to } M^* \leq M, L^* \leq L, \\
 &\quad \sum_{v, e, e' \in e} C_{e'} \leq C_e
 \end{aligned}$$

물리적 망의 토폴로지 $G(V, E)$, 물리적 링크의 내역폭 용량 행렬(bandwidth capacity matrix) C , 트래픽 요구 행렬(traffic demand matrix) T 가 주어졌을 때 가상 경로망 $G^*(V, E')$ 와 VP의 내역폭 용량 행렬 C^* 를 찾는 것으로 정의된다.

(1)에서 Z_d 는 전송과 스위칭 비용, Z_c 는 제어와 관리비용으로 VPN 설계의 목적이며, M^* 는 VC 연결상의 스위칭 노드의 수이고 L^* 는 VP 홉 수로서 L, M 은 각각 호 설정 시간과 셀 전송 지연의 제한 요건이다. $\sum_{v, e, e' \in e} C_{e'} \leq C_e$ 는 하나의 물리적 링크를 점유하는 VP의 용량의 합이 물리적 링크의 용량을 초과할 수 없는 구속 조건이다. Z_d 는 경로상의 스위칭 노드의 수 M^* 와 VP 홉수 L^* 에 직접적으로 비례하고 Z_c 는 VPN을 구성하는 전체 VP의 수와 각 링크를 점유하는 VP의 평균수에 비례한다.

VPN 설계문제에 대한 손쉬운 접근 방법은 모든 노드 쌍의 경로를 하나의 VP로 설정하는 방법(pure

VP approach)이다.[4] 그러나 이 방법은 ATM망에서 2^{12} 의 제한을 가지는 VP 경로 테이블의 한계로 대규모 망의 적용에 적합하지 않다. 또한 많은 수의 VP는 관리비용을 증가시키고 자원의 활용성(utilization)을 감소시킨다. 이와 같은 이유로 여러 경로 상에 공유되는 VP를 고려한 multi-hop VP 설정을 위한 방법이 필요하다.[6]

III. 유전자 알고리즘을 이용한 VPN 설계

3.1 2단계 VPN 설계 방법

본 논문에서 적용하고자 하는 VPN 설계 문제는 ATM망 설계의 초기 단계에서 VPN의 기본 레이아웃(layout)을 위한 것으로 각 트래픽 흐름에 대한 물리적인 경로를 선택한 후 트래픽 레이아웃을 바탕으로 VPN을 구성한다.[6][7]

첫 번째 단계는 주어진 물리적 망과 각 노드 쌍의 트래픽 요구를 바탕으로 트래픽 레이아웃을 선택하는 과정이고 두 번째 단계는 경로 선택 단계를 통해 선택되어진 최적의 경로 집합을 바탕으로 VP를 설정하는 과정으로 유전자 알고리즘이 각각 적용된다.

3.2 경로 선택 단계

주어진 모든 노드 쌍에 대한 트래픽 요구의 물리적인 경로를 선택하는 단계로서 경로상의 스위칭 노드의 수와 물리적 링크의 용량 제한이 구속 조건으로 주어지고 전송과 스위칭 비용을 최소화하기 위해 전체 경로 집합의 길이를 최소로 하는 것이 목적함수로 표현된다. 경로 선택 단계에서 주어지는 최적화 문제에 대한 수학적 모델은 (2)과 같다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizing } \sum L_p \\
 &\text{Subject to } L_p \leq M, \quad \sum_{v, e, e' \in p} C_{e'} \leq C_e \quad (2)
 \end{aligned}$$

망의 총 노드 수가 n 일 때 물리적 경로의 수(f)는 $n(n-1)/2$ 이며 경로(p)는 그래프 G 에서 정점 노드 v_i 와 v_j 사이에 에지가 존재할 때 이러한 정점 노드의 배열로 정의된다. 경로의 길이(L_p)는 경로를 구성하는 에지의 수로 정의된다.

경로 선택 단계의 탐색체는 가능한 노드 쌍의 경로 집합을 표현한다. 경로 후보는 source node와 destination node사이의 스위칭 노드 수 제한을 만족하는 경로의 정점노드 집합으로, 유전자는 경로 후보에 해당하는 정수로 표현된다. 유전자 알고리즘을 적용하는데 있어서 스위칭 노드의 수에 의한 구속 조건은 부호화 과정에서 만족된다. 이때 각 유전자에 대응되는

경로 후보의 개수 ($N(\beta_j)$)는 돌연변이 연산을 위한 정보로 유지된다.

경로선택 단계의 평가함수는 식(3)과 같다.

$$F_1(x) = F_{1\max} - \sum_j L_{\beta_j} (1 + \alpha \cdot \sum_{e_i} P_{e_i})$$

$$\text{where } F_{1\max} = L_{\max} \times \frac{n(n-1)}{2}$$

$$P_{e_i} = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum_{\beta_j, e_i \in \beta_j} C_{\beta_j} \leq C_{e_i} \\ C_{e_i} - \sum_{\beta_j, e_i \in \beta_j} C_{\beta_j} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

(3)에서 $F_{1\max}$ 는 경로집합의 최대 값, P_{e_i} 는 물리적 링크의 용량제한을 초과하는 개체에 대한 벌점함수이다. 벌점함수의 값에 따라 $F_1(x)$ 가 음의 값을 가질 경우 적합도는 0으로 한다. 파라미터 α 는 벌점함수에 대한 가중치로 망의 특성과 망에 부과되는 전체 트래픽 부하(total traffic load)에 따라 결정되는 구속 조건의 강도이다.

3.3 VPs 설정 단계

경로선택 단계에서 최종적으로 선택된 물리적인 경로 집합을 바탕으로 VPs를 설정하는 단계로 (4)와 같은 최적화 문제이다.

$$\text{Minimizing } \sum_{i=1}^I D_i + \sum_{j=1}^J H_j \quad (4)$$

$$\text{Subject to } H_j(\beta_j) \leq K$$

D_i 는 VPs의 수, H_j 는 VPs의 홑 수, I 는 물리적 링크의 수, J 는 경로의 수이다. K 는 구속 조건으로 주어지는 VP 홑 수의 최대 값이다.

VPs 설정 단계의 탐색체 표현은 그림 2에서 볼 수

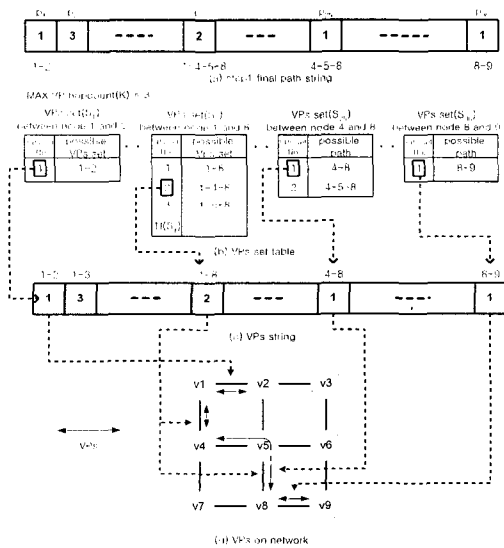


그림 2. VPs 설정 단계의 탐색체 표현

있듯이 하나의 탐색체는 후보 VPN에 대응되며 유전자는 VC를 구성하기 위한 VPs의 집합으로 표현된다. 각 VPs 집합의 후보는 VP 홑 수 구속 조건을 만족하도록 선택된다. VPs의 대역폭 용량은 물리적 경로 상에 반영된 트래픽 흐름의 용량이 할당된다. 탐색체에 물리적 경로상의 하위 경로들의 부분 집합 중 동일한 하위 경로를 포함할 경우 통합되어 하나의 VPs로 VPN에 반영되며 통합된 VPs의 대역폭 용량은 각각의 VPs에 설정된 대역폭 용량의 합이 된다. 각 경로에 대한 VPs의 집합 후보의 수 ($N(S_j)$)는 돌연변이 연산을 위한 정보로 유지된다.

(4)에서 주어진 최적화 문제의 목적을 만족시키기 위한 평가함수는 (5)와 같다.

$$F_2(x) = M - (\beta \sum_{i=1}^I D_i + (1 - \beta) \sum_{j=1}^J H_j) \quad (5)$$

$$\text{where } M = 2 \times \sum_j L_{\beta_j}, \quad 0 < \beta < 1$$

M 은 모든 경로가 모든 물리적 링크마다 VPs를 설정하는 경우이다. β 는 물리적 망의 성격에 따라 결정하는 가중치로서 망의 크기와 구성 특성에 따라 유전자 알고리즘의 유연한 적용을 위해 고려된다.

3.4 선택방법과 유전연산자

각 단계에서 주어지는 최적화 문제의 목적함수는 상당히 큰 정수 값을 가지며 유전자 알고리즘의 평가함수에 최소 값을 찾는 문제로 반영되어야 한다. 이때 각 개체집단의 평균 적합도가 크고 각 개체간의 적합도 차가 적을 경우 선택압력의 감소로 수렴속도가 느려질 수 있다. 이를 해결하기 위해 매 세대마다 일정한 선택압력을 부여해줄 수 있는 비선형 순위선택(Ranking Selection)이 고려된다. 순위 선택을 위한 적합도 함수는 (6)과 같고 sp 가 선택 압력 변수이다.

$$F(\text{rank}) = sp(1 - sp)^{\text{rank} - 1}, \quad 0 < sp < 1 \quad (6)$$

유전 연산자는 일반적인 일점 교배 연산자와 돌연변이 연산자가 적용 가능하다. 돌연변이 연산자는 각 유전자가 가질 수 있는 정수 값의 범위 내의 임의의 값을 선택하는 것으로 적용된다.

IV. 모의 실험 및 결과 고찰

시뮬레이션은 노드가 10개, 링크가 21개인 실험 망에 대해 적용되었다. 각 링크는 150Mbps의 용량을 가지며 각 노드간에 주어지는 트래픽 요구는 20Mbps로 하였으며 스위칭 노드 수 5, VP 홑 수 3을 구속 조건으로 하였다. 유전자 알고리즘의 적용에 필요한 초기 변수로 개체집단의 크기는 30, 세대수 300, 교배 확률

0.25, 돌연변이 확률 0.01, 경로 선택 단계의 별점 함수 가중치 α 는 0.6, 순위 선택의 선택 압력 sd 는 0.3으로 하였다.

그림 3은 VPs 설정 단계에서 선택방법에 따른 개체 집단의 평균 적합도 변화이다. 순위 선택이 VPs 설정 단계에서 우수한 탐색 성능을 보여 주고 있다.

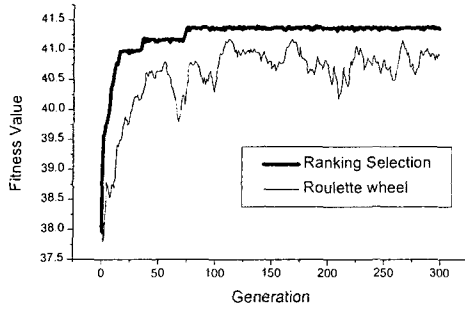


그림 3. 선택 방식에 따른 탐색 성능

표 1은 순수 VP 접근 방법과 비교한 제안 알고리즘 ($\beta=0.6$)의 성능 비교이다. 제안 알고리즘은 구속 조건으로 주어지는 VP 홉 수를 만족하고 있으며 전체 VP의 수와 링크 당 VP의 수가 순수 VP 접근보다 우수하다. 순수 VP 접근에 비해 전체적인 전송, 스위칭 비용과 제어, 관리비용을 최소화하는데 제안한 알고리즘이 우수하다고 할 수 있다.

표 1. 순수 VP 접근과 제안 알고리즘의 성능 비교

	전체 VPs 수	평균 VPs 수/링크	최대 VPs 수/링크	VP 홉 수
순수 VP 접근	45	3.4	6	45
제안 방법	24	1.3	2	66

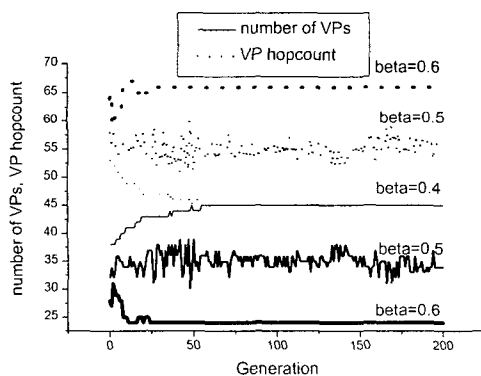


그림 4. β 값에 따른 VP의 수와 VP 홉 수

마지막으로 VPs 설정 단계에서 평가함수의 β 값에 따른 결과를 그림 4에 나타내었다. 결과에서 보듯이 β 값을 통해 망의 규모와 특성에 따라 VP의 수와 VP

홉 수의 균형을 조절할 수 있으며 이는 다양한 크기와 특성을 갖는 망에 대해 제안한 알고리즘이 유연하게 적용될 수 있음을 의미한다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 ATM망에서 VPN 설계를 전송과 스위칭, 제어와 관리비용을 최소화하는 최적화 문제로 표현하였으며 효과적인 최적화 알고리즘으로 유전자 알고리즘을 이용한 2단계 적용 방법을 제안하였다. 유전자 알고리즘의 적용에 필요한 염색체 표현과 평가 함수, 선택 방법과 유전 연산자에 대해 살펴보았으며 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 VPN 설계 문제에 대한 적용 가능성과 성능의 우수성을 확인하였다.

향후 연구과제로 다양한 규모와 특성의 네트워크 모델에 대한 적용과 성능 평가가 필요하며 트래픽의 변화와 네트워크의 상황 변화에 대한 적응적인 VP 할당 시스템에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs", Springer-Verlag, New York, Third Edition, 1995.
- [2] Gen & Cheng, "Genetic Algorithms & Engineering Optimization", Wiley-Interscience, New York, 1999.
- [3] Jong Ryul Kim, Mitsuo Gen, "Genetic Algorithm for Solving Bicriteria Network Topology Design Problem", Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation - Volume 3, 2272-2279, 1999.
- [4] Surat Tantertdid, Worawit Steanputtanagul and Watit Benjapolakul, "Optimum Virtual Paths system based in ATM Network Using Genetic Algorithm", Proceedings of the 1997 International Conference on Information, Communications & Signal Processing - Vol.2, 1997.
- [5] K.K. Varghese Panicker, C. Siva Ram Murthy, R. Mittal, "A new algorithm for virtual path network design in ATM networks", Computer Communications, V.22 N.15-16 1481-1492, 1999.
- [6] Metin Aydemir, Yannis Viniotis, "Deterministic algorithm for VP assignment in ATM networks", Computer Communications V.19 N.13 1036-1050, 1996.
- [7] V. J. Friesen, J. J. Harms, and J. W. Wong, "Resource Management with Virtual Paths in ATM Networks", IEEE Network, V.10 N.5, 1996.