論文2001-38CI-5-9

ATM 망에서 최적 가상 경로망 설계를 위한 유전자 알고리즘 응용

(The Application of Genetic Algorithm for Optimum Virtual Path Network Design in ATM Network)

姜 周 洛 *, 權 奇 浩 *

(Ju-Rak Kang and Key-Ho Kwon)

요 약

유전자 알고리즘은 어려운 최적화 문제를 해결하는데 효과적인 알고리즘으로 잘 알려져 있다. 최근 네트워크 디자인에 관련된 문제에 유전자 알고리즘의 응용사례가 증가하고 있다. 본 논문에서는 ATM 망에서 주어진 물리적 네트워크와 트래픽 요구를 바탕으로 최적의 가상경로망을 설계하는데 2단계의 유전자 알고리즘을 제안한다. 첫 번째 단계는 경로 설정 단계로서 모든 네트워크의 노드쌍에 대한 경로를 설정하는 것이고 두 번째 단계는 이를 바탕으로 전체 VPs 수와 링크당 경유하는 VPs 수, VP 이동대상 수를 최소로하기 위한 VPs 설정단계이다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 유용성과 성능을 평가 분석한다.

Abstract

The Genetic algorithm is well known as an efficient algorithm which can solve a difficult optimization problems. Recently, there has been increasing interest in applying genetic algorithm to problems related to network design. In this paper, we propose a two-step genetic algorithm for designing an optimum virtual path network(VPN) for a given physical network and traffic demand. The first step is to span route between every node pair in the network. The second step assigns VPs to minimize the total number of VPs, the number of VPs carried by a link, and the VPs hopcount. The propose algorithm is evaluated using computer simulation. The result shows that the VPN generated by the proposed algorithm is good in minimizing the number of VPs, the load on a link, and the VPs hopcount.

I. 서 론

유전자 알고리즘은 어려운 최적화 문제를 풀기 위한 유용한 알고리즘으로 알려져 있으며 이에 대한 많은 연구와 공학적인 문제에 대한 적용이 이루어지고 있다.[1] 실세계 문제에 대해 유전자 알고리즘을 적용하는데 있어서 부호화(coding), 유전 연산자의 설계, 평가함수의 설정과 선택 방법의 결정이 중요하게 고려된다. 유전자 알고리즘은 문제 영역에서 가능한 해의 후보를 하나의 염색체로 부호화하여 부호화 영역(coding space)내에서 동작하므로 모든 발생 가능한 해가 염색체로 표현될 수 있는 부호화 방법이 필요하며 문제 영역이 가지고 있는 구속 조건을 부호화 영역에 반영시켜야 한다. 부호화와 함께 새로운 해의 발생을 위한 유전 연산자의 복잡도가 고려된다. 또한 문제 영역의 최적화 기준을 반영하여 부호화 영역내의 염색체에 대한 평가 기준을 제공하는 평가함수를 구성해야 하며 알고리즘의 탐색 방향성 강도를 결정하기 위한 선택 방식이 고려되어야 한다.

* 正會員, 成均館大學校 電氣電子 및 컴퓨터工學部 (Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

接受日字2000年11月1日, 수정완료일:2001年6月25日

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 : VPN) 설계를 최적화 문제로 고려하여 유전자 알고리즘을 적용한다.

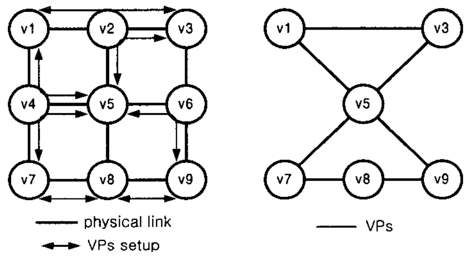
광대역 종합 정보 통신망(Broadband Integrated Services Digital Networks)의 전송기술로 받아들여지고 있는 ATM망에서 자원의 효율적 이용과 관리를 위해 가상경로(Virtual Path : VP) 개념을 사용하고 있다. VP는 물리적인 망에 기초를 둔 논리적인 망으로 구성되며 이러한 논리적인 망을 VPN이라고 한다.[7] VPN 설계는 주어진 물리적인 망과 트래픽 행렬에 대하여 전송과 스위칭, 제어와 관리비용을 최소화하는 최적화 문제로 표현된다. 이러한 최적화 문제는 망의 노드 수가 증가함에 따라 탐색공간이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

유전자 알고리즘을 응용하여 ATM망에서 VPN을 설계한 [4]논문에서는 트래픽의 특성을 고려하여 최적의 경로를 찾아 VP로 할당하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식은 모든 노드쌍에 대해 하나의 VP를 설정하는 single-hop VP approach라고 할 수 있다. 이 방식은 VPN 설계문제를 손쉽게 접근할 수 있지만 ATM망에서 2^{12}의 제한을 가지는 VP 경로 테이블의 한계로 대규모 망의 적용에 적합하지 않다. 또한 많은 수의 VP는 관리비용을 증가시키고 자원의 활용성을 감소시킨다. 이와 같은 이유로 여러 경로 상에 공유되는 VP를 고려한 multi-hop VP 설정을 위한 방법이 필요하다.[6]

본 논문은 multi-hop VP 설정이 가능한 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 할당하는 과정이다. 각 단계에 필요한 염색체 표현방식과 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 가상 경로망 설계문제는 그림 1과 같이 물리적 망의 토폴로지와 링크의 용량, 트래픽 요구가 주어졌을 때 스위칭과 전송 비용, 제어와 관리비용을 최소화하기 위한 경로와 VP 설정으로 이루어진 논리적 망을 구현하는 것이다.[5]



(a) physical network (b) VP network

그림 1. VPN 예
Fig. 1. VPN example.

여기서 물리적 망은 하나의 물리적 링크로 연결된 노드로 구성되며 물리적 링크는 양방향성을 가지고 링크에 주어진 용량은 각각의 방향에 대해서 사용될 수 있다. 모든 노드는 VC(virtual channel)와 VP 스위치 모두 가능하다.

또한 VP의 용량은 고정적으로 할당되며 VP 간의 통계적 다중화는 고려되지 않는다. VPs는 서로 반대 방향을 가지는 단방향 경로의 쌍으로 이루어진다.

가상 경로망을 최적화 문제로 고려할 때 최적 VPN의 성능 기준은 VC 연결 설정 지연, 스위칭 지연, 망의 관리 비용과 연결성에 대한 신뢰도로서 전체 VP의 수, 결함 발생 시 복구 비용의 기준인 물리적 링크를 경유하는 VP의 수, 다중경로 설정의 용이성이다. 이러한 기준에 의해 VPN 설계 문제의 수학적 모델은 그래프 이론을 이용하여 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{Given} \quad G,\ T,\ C \\ &\text{Find} \quad G^*,\ C^* \\ &\text{Minimizing} \quad Z_d + Z_c \\ &\text{Subject to} \quad M^* \le M,\ L^* \le L, \\ &\qquad \sum_{\forall e_{ij};\, e_x \in e_{ij}'} C_{e_{ij}}' \le C_{e_x} \end{aligned} \tag{1}$$

물리적 망의 토폴로지는 노드의 집합 V와 노드사이의 에지의 집합 E로 표현된 그래프 $G(V, E)$로 표현된다. 물리적 링크의 대역폭 용량 행렬(bandwidth capacity matrix) C, 트래픽 요구 행렬(traffic demand matrix) T가 주어졌을 때 모든 노드의 집합 V와 가상 에지의 집합 E'로 구성된 가상 경로망 $G^*(V, E')$와 VP의 대역폭 용량 행렬 $C^* = \{C_{e_{ij}}' | e_{ij}' \in E'\}$를 찾는 것으로 정의된다.

여기서 Z_d는 전송과 스위칭 비용, Z_c는 제어와 관리비용으로 VPN 설계의 목적이며, M^*는 VC 연결 상의 스위칭 노드의 수이고 L^*는 VP 이동대상 수로서 L, M은 각각 호 설정 시간과 셀 전송 지연의 제한 요건이다. $\sum_{\forall e_{ij};\, e_x \in e_{ij}'} C_{e_{ij}}' \le C_{e_x}$는 하나의 물리적 링크를 경유하는 VPs의 용량의 합이 물리적 링크의 용량을 초과할 수 없는 구속 조건이다. Z_d는 경로상의 스위칭 노드의 수 M^*와 VP 이동대상 수 L^*에 직접적으로 비례하고 Z_c는 VPN을 구성하는 전체 VP의 수와 각 링크를 경유하는 VPs의 평균수에 비례한다.

이상에서와 같이 전송과 스위칭 비용, 제어와 관리 비용을 최소화하기 위한 VPN 설계 문제는 전체 VPs의 수, VP 이동대상 수, 물리적 경로상의 스위칭 노드의 수, 물리적 링크를 경유하는 VPs의 수가 구속 조건으로 혹은 최소화 요건으로 반영되는 최적화 문제로 표현된다.

Ⅲ. 유전자 알고리즘을 이용한 VPN 설계

3.1 2단계 VPN 설계 방법

가상 경로망을 설계하는데 있어서 VPs를 설정하는 문제와 경로를 설정하는 문제는 상호 의존적이다. VPs를 설정하기 위해서는 망에 주어진 트래픽의 물리적 경로가 선택되어야 하며 반대로 효과적인 경로 설정의 해를 구하기 위해서는 논리적인 가상 경로망이 알려져 있어야 한다.[6]

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] 본 논문에서는 그림 2와 같이 2단계 유전자 알고리즘을 제안한다.

첫 번째 단계는 주어진 물리적 망과 각 노드 쌍의 트래픽 요구를 바탕으로 트래픽 레이아웃을 선택하는 과정이다. 가능한 노드 쌍에 대한 경로의 집합을 선택하는 과정으로 경로 선택 단계라고 하며 물리적 링크가 갖는 용량의 제한과 스위칭 지연에 대한 제한을 문제 영역에 포함하며 전송과 스위칭 비용을 최소화하기 위해 최단 거리 경로로 구성된 경로집합을 선택하는 단계이다.

두 번째 단계는 경로 선택 단계를 통해 선택되어진 최적의 경로 집합을 바탕으로 VPs를 설정하는 과정이다. 이 단계는 VPs 설정 단계라고 하며 가상 경로망 구성의 VPs 이동대상 수 제한 조건을 문제영역에 포함하며 제어와 관리 비용을 최소화하는 VPs를 설정한다. 이때 주어진 망의 특성에 따라 multi-hop VPs를 고려한 설정이 이루어진다.

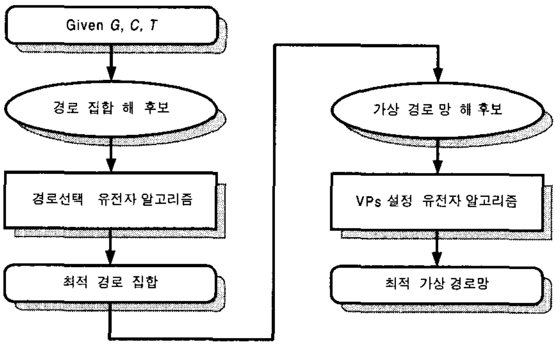


그림 2. VPN 설계를 위한 2단계 유전자 알고리즘
Fig. 2. 2-step Genetic Algorithm for VPN design.

두 단계 모두 유전자 알고리즘이 각각 적용되며 각각 부호화와 문제 영역의 구속 조건을 반영하기 위한 방법, 최적해의 기준으로부터 평가함수의 구성과 유전자 알고리즘의 성능 향상을 위한 선택과 유전 연산자가 고려된다.

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 식 (2)와 같다.

$$\text{Minimizing} \quad \sum L_{p_i}$$
$$\text{Subject to} \quad L_{p_i} \le M \,, \quad \sum_{\forall p_i;\, e_x \in p_i} C_{p_i} \le C_{e_x} \tag{2}$$

망의 총 노드 수가 n일 때 물리적 경로의 수(J)는 $n(n-1)/2$이며 경로(p)는 그래프 G에서 정점 노드 v_i와 v_j사이에 에지가 존재할 때 이러한 정점 노드의 배열로 정의된다. 경로의 길이(L_p)는 경로를 구성하는 에지의 수로 정의된다.

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

염색체 표현은 그림 3을 통해 쉽게 알 수 있다. 이때 각 유전자에 대응되는 경로 후보의 개수($N(p_i)$)는 돌연변이 연산을 위한 정보로 유지된다.

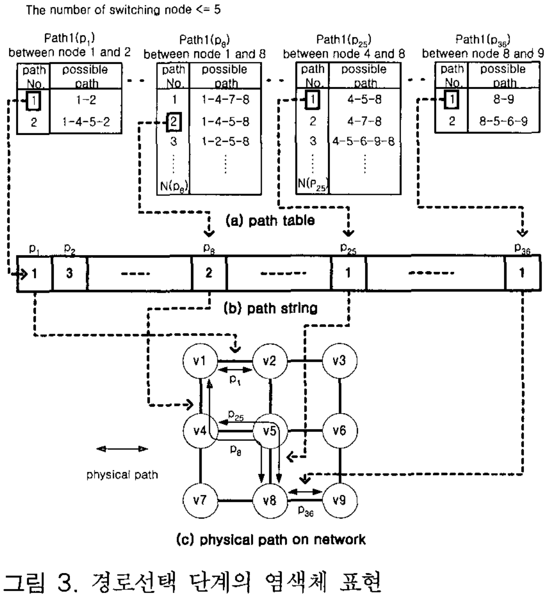


그림 3. 경로선택 단계의 염색체 표현
Fig. 3. Chromosome representation of Path selection step.

경로선택 단계의 평가함수는 식 (3)과 같다.

$$F_1(x) = F_{1_{\max}} - \sum_i L_{p_i}(1 + \alpha \cdot \sum_{\forall e_x} P_{e_x})$$

$$\text{where} \quad F_{1_{\max}} = L_{\max} \times \frac{n(n-1)}{2}$$
$$P_{e_x} = \begin{cases} 0 & \text{if} \sum_{\forall p_i;\, e_x \in p_i} C_{p_i} \le C_{e_x} \\ C_{e_x} - \sum_{\forall p_i;\, e_x \in p_i} C_{p_i} & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3}$$

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

3.3 VPs 설정 단계

이 단계는 경로선택 단계에서 최종적으로 선택된 물리적인 경로집합을 바탕으로 VPs를 설정하는 단계로 식 (4)와 같은 최적화 문제이다.

$$\text{Minimizing} \quad \sum_{i=1}^{J} D_i + \sum_{j=1}^{J} H_j$$
$$\text{Subject to} \quad H_j(p_j) \le K \tag{4}$$

여기서 D_i는 VPs의 수, H_j는 VPs의 이동대상 수,

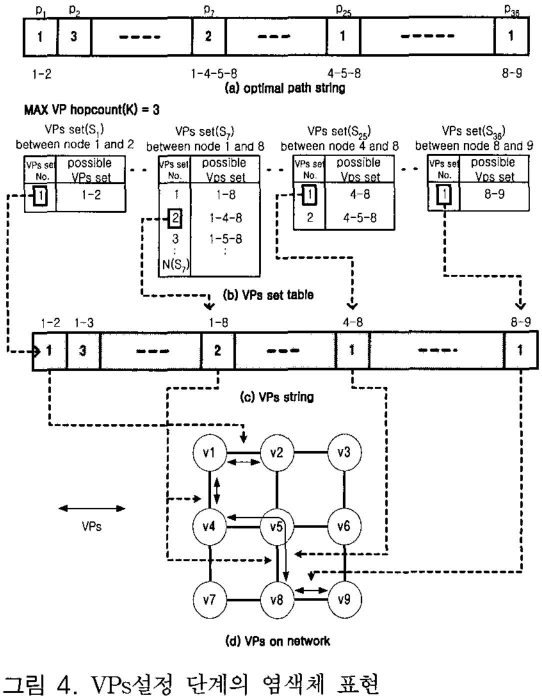


그림 4. VPs설정 단계의 염색체 표현
Fig. 4. Chromosome representation of VPs setup step.

I는 물리적 링크의 수, J는 경로의 수이다. K는 구속 조건으로 주어지는 VP 이동대상 수의 최대 값이다.

VPs 설정 단계의 염색체 표현은 그림 4에서 볼 수 있듯이 하나의 염색체는 후보 VPN에 대응되며 유전자는 VC를 구성하기 위한 VPs의 집합으로 표현된다. 각 VPs 집합의 후보는 VP 이동대상 수라는 구속 조건을 만족하도록 선택된다. VPs의 대역폭 용량은 물리적 경로 상에 반영된 트래픽 흐름의 용량이 할당된다. 염색체에 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.

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

$$F_2(x) = M - (\beta \sum_{i=1}^{I} D_i + (1-\beta) \sum_{j=1}^{J} H_j) \quad (5)$$
$$where\ M = 2 \times \sum_{j}^{J} L_{p_j},\ 0 < \beta < 1$$

여기서 M은 모든 경로가 모든 물리적 링크마다 VPs를 설정하는 경우이다. β는 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 선택 압력을 부여해줄 수 있는 비선형 순위선택(Ranking Selection)이 고려된다. 순위 선택을 위한 적합도 함수는 식 (6)과 같고 sp가 선택 압력 변수이다.

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

유전연산자는 경로선택단계와 VPs 설정단계 모두 부호화 과정에서 문제 영역을 벗어나지 않는 염색체가 생성되며 염색체간에 동일한 위치의 유전자를 교환하는 경우에도 올바른 염색체가 생성된다. 그러므로 교배 연산자는 이진 부호화에 사용되는 교배 연산자가 모두 사용가능하며 본논문에서는 일점교배를 사용한다. 돌연변이 연산자는 각 유전자가 가질 수 있는 정수 값의 범위 내의 임의의 값을 선택하는 것으로 적용된다.

Ⅳ. 시뮬레이션

시뮬레이션은 그림 5와 같은 노드가 10개, 링크가 21개인 실험 망에 대해 적용되었다.

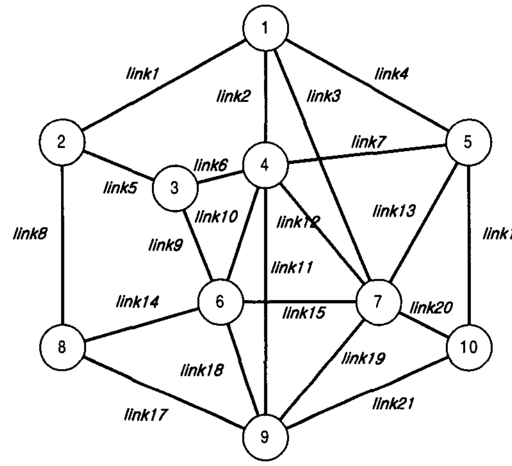


그림 5. 실험망
Fig. 5. sample network.

표 1. 제안된 알고리즘에 의한 VPs 설정 결과 (β=0.6)
Table 1. Result of VPs setup using proposed algorithm(β=0.6).

VP1	link1	VP7	link8	VP13	link17	VP19	link11
VP2	link2	VP8	link19	VP14	link7	VP20	link13
VP3	link4	VP9	link16	VP15	link20	VP21	link15
VP4	link3	VP10	link5	VP16	link14	VP22	link 13,19,17
VP5	link6	VP11	link1, link4	VP17	link18	VP23	link21
VP6	link10	VP12	link9	VP18	link12	VP24	link6, link12

각 링크는 150Mbps의 용량을 가지며 각 노드간에 주어지는 트래픽 요구는 20Mbps로 하였으며 스위칭

노드 수 5, VP 이동대상 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 벌점 함수 가중치 α는 0.6, 순위 선택의 선택 압력 sp는 0.3으로 하였다.

본 논문에서 제안한 2단계 유전자 알고리즘에 의해 구성된 VPN은 표 1과 그림 6에 나타나 있다. 이때 β 값은 0.6이며 multi-hop VPs를 고려하여 경로상에 공유되는 VPs를 설정한 것을 볼 수 있다.

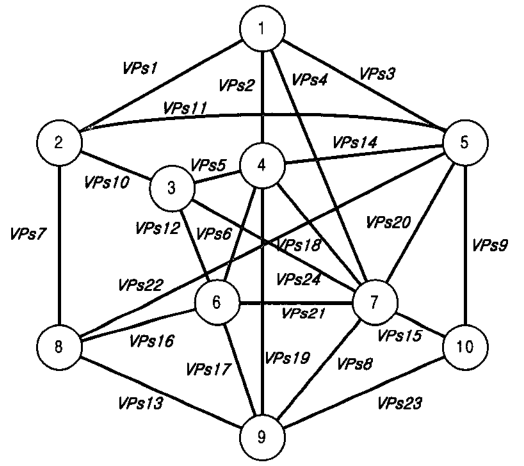


그림 6. 제안된 알고리즘에 의한 VPs 설정 결과(β= 0.6)
Fig. 6. Result of VPs setup using proposed algorithm(β=0.6).

그림 7은 VPs 설정 단계에서 선택방법에 따른 개체집단의 평균 적합도의 변화이다. 순위 선택이 VPs 설정 단계에서 우수한 탐색 성능을 보여 주고 있다.

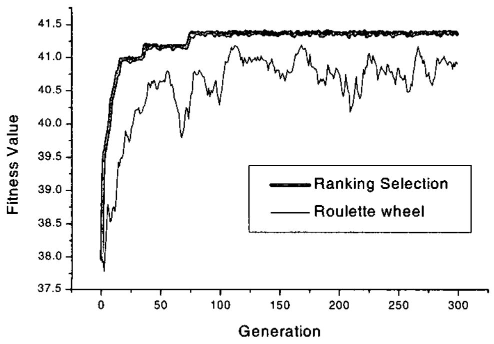


그림 7. 순위선택과 Roulette Wheel 선택의 비교
Fig. 7. Comparison of ranking selection vs roulette wheel selection.

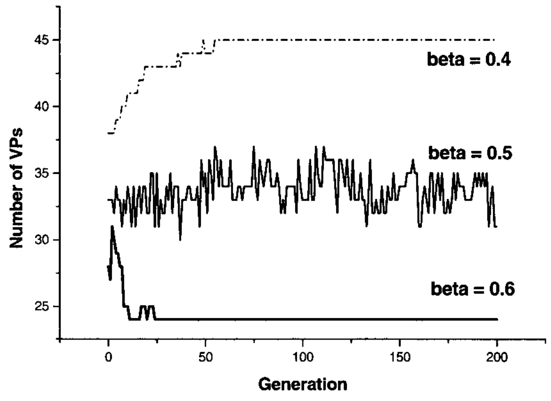
이는 순위 선택을 통한 적합도의 재할당이 알고리즘의 탐색과정에서 각 개체간의 적합도 차를 적절히 유지해 주는 것으로 볼 수 있다.

표 2는 single-hop VP 접근 방법과 비교한 제안 알고리즘(β=0.6)의 성능 비교이다. 제안 알고리즘은 구속조건으로 주어지는 VP 이동대상 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.

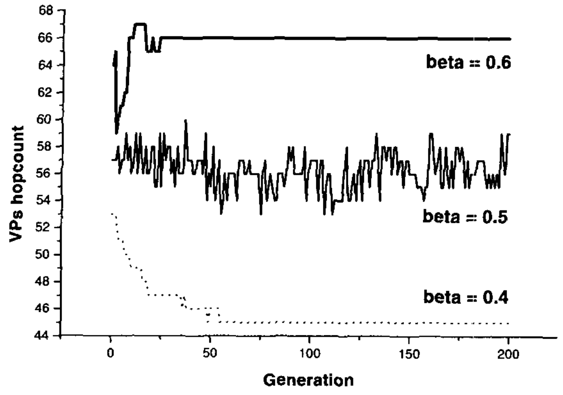
표 2. single-hop VP 접근과 제안 알고리즘의 성능 비교
Table 2. Comparison of Proposed algorithm vs The single-hop VPs approach.

	전체 VP 수	평균 VPs 수/링크	최대 VPs 수/링크	VP 이동대상 수
single-hop VP 접근	45	3.4	6	45
제안 방법	24	1.3	2	66

마지막으로 VPs 설정 단계에서 평가함수의 β 값에 따른 결과를 그림 8에 나타내었다. 결과에서 보듯이 β 값을 통해 망의 규모와 특성에 따라 VP의 수와 VP 이동대상 수의 균형을 조절할 수 있으며 이는 다양한 크기와 특성을 갖는 망에 대해 제안한 알고리즘이 유연하게 적용될 수 있음을 의미한다.



(a) Number of VPs along to β



(b) VPs hopcount along to β

그림 8. β값에 따른 VPs 수와 VP 이동대상 수
Fig. 8. Number of VPs and VPs hopcount along to β.

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 확인하였으며 유전자 알고리즘의 성능과 관련한 선택 방법의 특성을 알아보았다.

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.

참 고 문 헌

[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 Tanterdtid, Worawit Steanputtanagul and Watit Benjapolakul, "Optimum Vitual Paths system based in ATM Network Using Genetic Algorithm", Proceedings of the 1997 International Conference on Information, Communications & Signal Processing - Vol.2 , V.2 , 1997.

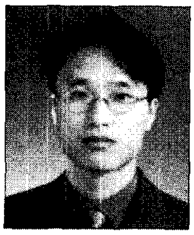
[5] K.K. Varghese Panicker, C. Siva Ram Murthy, R. Mittal, "A new algorithm for virtual path network design in ATM networks", Computer Communications, V.22 N.15-16 1481~1492, 1999.

[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, 10~20, 1996.

저 자 소 개

權 奇 浩(正會員)
1975년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1978년 8월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1978년 1월~1980년 2월 : ETRI 연구원. 1988년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 1996년 1월~1996년 12월 : Texas A&M 교환교수. 1989년 3월~현재 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수. <주관심분야> 카오스, 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등



姜 周 洛(正會員)
1999년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 3월~현재 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정. <관심분야> 퍼지, 신경회로망, 유전자 알고리즘 등.