

멀티캐스트 ATM 망에서 대체가상경로의 설정을 위한 유전 알고리즘*

김여근** · 송원섭** · 광재승***

A Genetic Algorithm for Backup Virtual Path Routing in Multicast ATM Networks

Yeo-Keun Kim** · Won Seop Song** · Jai Seung Kwak***

■ Abstract ■

Multicasting is the simultaneous transmission of data to multiple destinations. In multicast ATM networks, the effect of failures on transmission links or nodes can be catastrophic, so that the issue of survivability is of great importance. However, little attention has been paid to the problem of multicast restoration. This paper presents an efficient heuristic technique for routing backup virtual paths in multicast networks with link failure. Genetic algorithm is employed here as a heuristic. In the application of genetic algorithm to the problem, a new genetic encoding and decoding method, and genetic operators are proposed in this paper. The other several heuristics are also presented in order to assess the performance of the proposed algorithm. Experimental results demonstrate that our algorithm is a promising approach to solving the problem.

1. 서론

B-ISDN과 ATM기술의 발전은 실시간 회의, 유사 주문형비디오(Near VOD), 광고 등과 같은 멀

티캐스트 서비스(multicast service)의 제공을 가능하게 만들었다. 멀티캐스트 서비스는 멀티캐스트 서비스 그룹(이하 멀티캐스트 그룹이라 함) 내에 있는 단일의 서비스 제공자(송신노드)가 다수의 접

* 본 연구는 1999년도 전남대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음

** 전남대학교 산업공학과

*** 순천제일대학 품질경영과

속자(수신노드)들에게 동일한 트래픽을 전송해 줌으로써 가능하다. ATM망에서는 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위한 중요한 수단으로 멀티캐스팅(multicasting)이 필수적으로 요구된다[9]. 멀티캐스팅은 송신노드를 뿌리(root)로 하고, 수신노드를 잎(leaves)으로 하는 트리(tree) - 이를 멀티캐스트 트리(multicast tree: MCT)라 함 - 를 이루어 효과적으로 멀티캐스트 서비스를 제공할 수 있다. [그림 1]과 같이 MCT는 예약된 용량을 갖는 가상경로(virtual path: VP)들의 연결에 의해 구성될 수 있다[9]. 이와 같은 MCT 구조는 가상경로를 따라 송신노드로부터 가지(branches)를 따라 많은 수신노드들로 트래픽을 병렬적으로 전송할 수 있다는 장점이 있다[10]. 이때 MCT에 있는 분기노드들은 셀 복사 기능을 갖고 있어야 한다. 멀티캐스트 서비스는 주로 문자, 음성, 화상 및 동영상 등과 같이 다양한 트래픽 특성을 갖는 멀티미디어 서비스이다. 이들은 흔히 광대역을 요구하는 다수의 수신노드들에게 장시간 연결되어 제공된다[12]. 따라서, MCT를 구성하는 ATM망 요소(예로, 광케이블, ATM 스위치 등)의 고장은 많은 접속자들에게 막대한 경제적·사회적 손실을 유발시킬 수 있다. 이러한 고장에 대비하여 송신노드로부터 수신노드들까지 ∞ (zero)의 대역폭을 갖는 복구경로 즉, 대체 가상경로(backup VP: BVP)를 미리 설정해 두는 선계획(preplanning)의 복구전략을 사용할 수 있다. 이때, 멀티캐스팅의 특성을 반영하여 망 자원의 활용을 극대화하여 복구율을 최대로 하는 대체가상경로 설정기법이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 복구전략에 관하여 다룬다.

MCT의 설계와 관련된 연구는 활발히 이루어졌으나 복구에 관한 연구는 Wu *et al.*[16, 17]의 연구를 제외하고는 거의 없는 실정이다. MCT의 설계에 적용할 수 있는 점대다중점 연결을 위한 여러 기법들이 개발되었다[3, 10, 11, 15]. Winter[15]와 Bharath-Kumar와 Jaffe[4]는 지연(delay) 제약 조건을 갖는 망에서 링크의 비용(길이 또는 용량

등) 합을 최소로 하는 최적 MCT를 설계하고자 하였다. 최적 MCT 설계 문제는 스테이너 트리(Steiner tree) 문제로 알려져 있다[14]. 스테이너 트리는 각 링크의 비용이 정의된 망에서 송·수신노드를 연결하는 링크들의 비용의 합이 최소가 되는 트리이다. 그러나, 스테이너 트리 문제는 NP-Complete로서 많은 계산 소요 시간을 필요로 하므로 현실적인 대형 망에 적용하기가 쉽지 않다. 이러한 이유로 Kompella[10]는 MCT의 부분트리에 수신노드를 하나씩 추가하여 완전한 하나의 MCT를 구성해 나가는 발견적 기법(heuristic techniques)을 제시하였다. 그리고, 이때 추가할 수신노드와 경로를 선택하기 위해 사용되는 효율적인 경로선택함수를 제시하였다. Leung *et al.*[11]는 유전알고리즘(Genetic Algorithms)을 이용하여 MCT 설계 문제를 다루었다. 그들은 송·수신노드를 제외한 나머지 노드들을 개체의 인자로 두고, 이진 표현에 의해 스테이너 노드를 구하여 트리를 결정하였다. 그러나, 이들 연구들은 모두 MCT의 설계와 관련된 연구들이고, 더욱이 통신망에 오직 하나의 MCT를 구성하는데 초점을 두고 있다.

MCT 복구에 관한 Wu *et al.*[16, 17]의 연구는 기존의 점대점(point-to-point) 연결을 복구하기 위한 선로복구(link protection)와 경로복구(path protection)가 MCT 복구에 비효율적임을 지적하고, 점대다중점 연결의 특성을 반영한 대체용량 공유 기법(backup capacity sharing techniques)을 제시하였다. 이 기법에서는 MCT의 복구 시 가능한 링크를 중복 사용하여 망 자원의 효율을 높이고자 한다. 그러나, 이들은 단지 하나의 MCT의 복구문제를 다루고 있어 다수의 멀티캐스트 서비스가 이루어지는 망의 복구문제에 적용하는 데에는 한계가 있다.

본 연구에서는 다수의 멀티캐스트 서비스가 이루어지는 통신망에서 링크고장에 대한 복구문제를 다룬다. 망에서의 고장은 다수의 MCT에 고장 영향을 주므로 가능한 많은 MCT를 복구하기 위해

서는 망 전체 자원 중심의 최적화(system optimization)를 반영하여야 한다. 그리고, 망에서의 고장은 가능한 많은 그룹들이 가능한 신속하게 복구되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 점대점 서비스를 포함하면서 다수의 멀티캐스트 그룹이 있는 통신망의 대체가상경로(BVP) 설정을 위한 효율적인 기법을 제시한다. 이때 복구율의 최대화를 목적으로 둔다. 복구율은 복구경로에 의해 복구된 모든 수신노드들이 요구하는 대역폭 합을 고장에 영향을 받은 모든 수신노드들이 요구하는 대역폭 합으로 나눈 값의 백분율(%)을 의미한다. 그리고, 서비스 제공에 소요되는 시간제약으로 지연제약을 고려한다.

하나의 MCT 설정문제는 NP-complete로 알려져 있다[10, 11]. 다수의 MCT의 복구문제는 단일의 MCT의 설정문제 보다 복잡도가 더 높은 문제이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 복구문제를 위한 발견적 기법으로 조합최적화 문제에 매우 효율적인 것으로 알려진 유전알고리즘을 사용한다. 유전알고리즘을 적용하기 위하여 문제의 특성을 반영한 개체의 표현방법과 이 개체의 해석방법을 제시한다. 또한, 해공간을 효과적으로 탐색할 수 있는 교차(crossover)와 돌연변이(mutation)의 유전연산 방법을 제안한다. 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 우수성을 보인다.

2. 멀티캐스트 트리의 대체가상경로 설정문제

ATM 망에서의 복구는 BVP를 설정하는 시점에 따라 선계획 복구방법과 동적(dynamic) 복구방법으로 구분된다[8]. 선계획 복구방법은 정상상태에서 망 요소의 고장 시나리오에 따라 망 전체의 자원에 관한 정보를 이용하여 '쉬의 대역폭을 갖는 BVP를 미리 계획한다. 그런 후 망에서 고장이 발생하면 계획된 BVP를 따라 필요한 대역폭을 확보한 후, 이를 이용하여 서비스를 제공한다. 동적 복구방법은 고장이 발생하면, 고장을 감지한 노드가

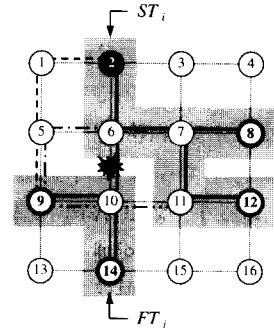
복구메시지를 주위의 노드들에 전송하여 실시간으로 복구경로를 탐색한다. 복구경로는 복구메시지가 송신노드에 가장 먼저 도달한 경로를 따라 결정되므로, 흔히 최단경로로 설정된다. 선계획 복구방법은 동적 복구방법에 비해 BVP를 보관하기 위한 많은 메모리를 필요로 하지만, 자원을 효율적으로 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 고장이 발생하면 계획된 BVP를 이용하여 복구하기 때문에 복구속도가 빠르다[8]. 본 연구에서는 MCT의 BVP를 설정하는 전략으로 선계획 복구방법을 이용한다. 망에서의 고장은 크게 링크고장과 노드고장으로 분류할 수 있다. 링크고장은 노드고장에 비해 흔히 발생하는 가장 중요한 일반적인 고장 형태이고, 2개 이상의 링크가 동시에 고장 날 확률은 매우 낮다[4]. 이러한 이유로 본 연구에서는 단일링크고장만을 고려한다. 그리고 망에 있는 모든 노드는 교환(switching)기능 뿐만 아니라, 셀 복사능력을 가지고 있다고 본다.

BVP는 VP의 대역폭을 수용할 수 있는 여유용량을 갖는 링크들로 이루어져야 하고(이하 '여유용량제약'이라 한다) 경로상의 노드 수는 정해진 홉수를 초과하지 않아야 한다(이하 '지연제약'이라 한다). 송신노드로부터 수신노드까지의 셀 전송시간은 링크에서의 셀 전송시간과 노드에서의 셀 복사와 교환 등 처리에 소요되는 시간의 합으로 결정된다. 그러나 링크에서의 셀 전송시간은 노드에서의 셀 처리시간에 비해 거의 시간이 소요되지 않는다. 따라서, 복구시간은 경로의 물리적 길이가 아니고 경유한 노드의 개수 즉, 홉 수(hop counts)로 흔히 결정된다[17]. 지연제약은 실시간 회의와 같이 지연에 민감한 멀티미디어 서비스를 제공하는 MCT의 복구에 고려해 주어야 할 중요한 사항이다.

BVP를 설정할 때에는 점대다중점 연결의 특성이 고려되어야 한다. 설명을 위하여 [그림1]을 보자. 멀티캐스트 그룹 i 는 송신노드 $s_i = 2$ 와 수신노드 $d_{ij} = 8, 9, 12$ 와 14로 이루어져 있고, [그림 1] (a)과 같은 MCT로 구성되었다 하자. 이때 링크

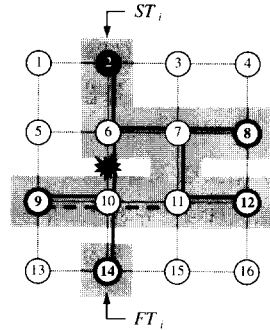
(6-10)에서 고장이 발생하면, 고장에 영향을 받은 수신노드는 노드 9와 14가 된다. 먼저 노드 9를 복구한다고 하자. 모든 노드는 셀 복사능력이 있다고 가정함에 따라, 노드 9는 고장에 영향을 받지 않는 부분트리(survived MCT) ST_i 에 있는 노드와 연결하여 복구할 수 있다. 이때 여유용량제약과 지연제약을 만족하는 BVP의 대안경로 수가 복수 개 존재할 수 있다. 본 연구에서는 이들 대안 대체가상 경로(alternative BVP: ABVP)들을 구하여 복구율을 좀더 높일 수 있는 경로를 BVP로 선택하고자 한다. 여기서 ABVP들은 송신노드에서 복구할 수신노드를 잇는 경로를 깊이우선탐색(depth-first search) 방법에 의해 구하였다. 이 탐색과정에서 이미 통과한 노드는 다시 경로상에 있지 않게 하여 경로상에서 순환이 일어나지 않도록 하였다. 그리고 이때 찾은 경로가 ST_i 내의 링크를 지나면 부가적인 소요용량 없이 이를 공유하여 사용하도록 하였다. [그림 1] (a)와 같이 수신노드 $d_i=9$ 를 복구하기 위한 $ABVP_i^1(2, 9)$ 는 예로 $ABVP_i^1(2, 9) = 6-5-9$, $ABVP_i^2(2, 9) = 11-10-9$ 와 $ABVP_i^3(2, 9) = 2-1-5-9$ 이 있을 수 있다. ABVP중에서 BVP를 선택하는 기준과 그 방법에 관해서는 제3장에서 구체적으로 다룬다.

고장에 영향을 받은 수신노드가 복수 개일 때 노드의 복구순서는 복구된 MCT 형태에 영향을 준다. 예로, 노드 9가 $ABVP_i^2(2, 9) = 11-10-9$ 로 먼저 복구되면, 연결된 MCT는 [그림 1] (b)와 같이 된다. 이 부분 MCT에 노드 11을 연결하게 될 것이다. 한 예로 [그림 1] (c)와 같이 될 수 있다. 그러나 노드 11이 노드 9보다 먼저 복구된다면, 살아 있는 부분트리, ST_i 에 노드 11을 연결하고, 다음 이 결과에 의한 부분트리에 노드 9를 연결함으로써 앞의 경우와는 다른 형태의 MCT가 될 수 있다. 따라서 멀티캐스트 그룹 내에서 고장에 영향을 받는 노드의 복구순서는 중요하게 다루어져야 한다. 본 연구에서는 알고리즘 개발에 있어서 이 복구 노드의 순서를 고려하였다.



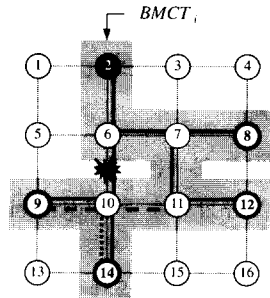
- : MCT_i
- - - : $ABVP_i^1(2, 9) = 6-5-9$
- · · : $ABVP_i^2(2, 9) = 11-10-9$
- - - - : $ABVP_i^3(2, 9) = 2-1-5-9$

(a) $ABVP_i(2, 9)$ 의 집합



- : MCT_i
- - - : $BVP_i(2, 9) = 11-10-9$

(b) $BVP_i(2, 9)$ 의 설정



- : MCT_i
- - - : $BVP_i(2, 9) = 11-10-9$
- · · : $BVP_i(2, 14) = 10-14$

(c) $BVP_i(2, 14)$ 의 설정

[그림 1] MCT 특성을 반영한 ABVP와 BVP 설정

3. 유전알고리즘

유전알고리즘은 적자생존과 유전법칙의 생물학적 진화과정을 모방하여 개발된 일종의 확률적 탐색기법으로 Holland[6]에 의해 최초로 개발되었다. 유전알고리즘은 메타휴리스틱 기법으로 이를 특정 문제에 적용할 때는 그 문제에 적합한 구성요소 - 표현, 해석, 적응도 평가, 유전연산자, 그리고 파라미터 등 - 가 설계되어야 한다.

3.1 표현과 초기모집단

문제를 유전알고리즘에 적용하기 위해서는 먼저 문제의 특성을 반영할 수 있는 잠재해를 개체로 표현해야 한다. 본 연구에서는 고장에 영향을 받은 멀티캐스트 그룹의 번호와 각 그룹에서 복구되어야 할 수신노드 d_{ij} 들의 번호를 인자로 두어 개체를 표현한다. [그림 2]와 같이 개체의 앞에 있는 F 는 복구할 그룹의 순서 집합을, 뒤에 있는 D_i 은 복구할 그룹의 번호를 오름차순으로 정렬할 때, 각 그룹 번호에 따른 복구할 수신노드 d_{ij} 의 순서 집합이다. 따라서 이 표현은 일종의 순서 표현이다. 개체의 해석은 복구할 그룹과 수신노드의 순서에 따르게 된다. 예로 [그림 2]에 표현된 개체의 복구할 수신노드 d_{ij} 는 그룹 $f_1=3$ 에 있는 $d_{31}=1, d_{32}=3, d_{33}=2$, 그리고 그룹 $f_2=1$ 에 있는 $d_{11}=3, d_{12}=2, d_{13}=1, \dots$ 등의 순으로 평가가 이루어진다.

이 표현 방법에 의하면 수신노드들의 복구순서는 그룹의 복구순서에 1차적으로 종속되어 결정된다. 멀티캐스트 서비스는 그룹 단위로 제공되며, 그룹에 있는 수신노드들이 가능한 많이 복구될 때 서비스 제공이 유효할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 상황을 가정하여 가능한 그룹내의 고장에 영향을 받은 수신노드들이 최대로 복구되도록 하는 표현 방법을 사용하고 있다. 그룹 단위의 복구가 요구되지 않는 경우와 그룹의 복구 우선순위가 주어진 경우 등의 복구 문제도 가정해 볼 수 있다. 이와 같은 경우에도 간단히 표현방법을 수정

함으로써 적용이 가능하다. 이에 관해서는 4장에서 설명하기로 한다.

초기모집단은 이러한 고장에 영향을 받은 그룹과 수신노드들의 복구순서를 나타내는 임의의 개체(가능해)들을 모집단 크기의 개수만큼 구성한다.

F	D								
	D ₁			D ₂			D ₃		
f_1, f_2, f_3	d_{11}, d_{12}, d_{13}	d_{21}, d_{22}, d_{23}	d_{24}, d_{25}	d_{31}, d_{32}, d_{33}					
3 1 2	3 2 1	2 4 5	1 3	1 3 2					

[그림 2] 개체표현의 예

3.2 적응도 평가와 선별

다음 세대에 생존 할 개체의 선택을 위해서는 적응도가 평가되어야 한다. 채용된 표현에서는 복구할 그룹의 순서와 이 그룹에서 고장에 영향을 받은 수신노드들의 복구순서가 주어져 있다. 표현에 나타난 복구순서대로 평가하여 BVP를 구하게 된다. 이때 복구를 위한 ABVP들은 앞에서 언급했듯이 송신노드에서 각 수신노드로 점대점 연결경로로서 구하는데 깊이우선탐색에 의해서 찾는다.

고장에 영향을 받은 수신노드 d_{ij} 와 송신노드 s_i 를 연결하는 ABVP의 집합, $ABVP_l(s_i, d_{ij})$ 중에서 하나의 $BVP_l(s_i, d_{ij})$ 를 선택하기 위하여, 본 연구에서는 아래와 같은 여러 선택기준을 사용하여 예비 실험하였다. 이러한 기준을 정의하는 데 사용되는 기호는 다음과 같다.

$ABVP_l^k(s_i, d_{ij})$: $ABVP_l(s_i, d_{ij})$ 에 있는 하나의 대안대체가상경로(ABVP) k

$sc^k(s_i, d_{ij})$: $ABVP_l^k(s_i, d_{ij})$ 상의 링크들의 여유용량 중에서 최소값.

$|ABVP_l^k(s_i, d_{ij})|$: $ABVP_l^k(s_i, d_{ij})$ 를 구성하는 링크(즉, 살아 있는 또는 복구에 의해 형성된 부분트리상의 링크는 제외됨)의 개수.

SC_l : 링크 l 의 여유용량.

아래와 같이 다섯 기준을 사용하여 구한 경로를 k_1, k_2, \dots, k_3 로 두자.

$$k_1 = \arg \max_k \{sc^k(s_i, d_{ij})\} \text{ 복수 개 존재하면}$$

이들 중에서 $|ABVP_i^k(s_i, d_{ij})|$ 가 최소인 경로.

$$k_2 = \arg \max_k \{sc^k(s_i, d_{ij}) / |ABVP_i^k(s_i, d_{ij})|\},$$

복수 개 존재하면 이들 중에서 송신노드 s_i 와 수신노드 d_{ij} 를 연결하는 경로상에 있는 링크의 수가 가장 적은 경로.

$$k_3 = \arg \max_k \{1 / |ABVP_i^k(s_i, d_{ij})|\},$$

복수 개 존재하면 이들 중에서 $sc^k(s_i, d_{ij})$ 가 최대인 경로.

$$k_4 = \arg \max_k \{\sum SC_l / |ABVP_i^k(s_i, d_{ij})|\},$$

for all $l \in ABVP_i^k(s_i, d_{ij})$, 복수 개 존재하면 이들 중에서 임의로 선택.

$k_5 =$ 임의의 경로.

이러한 경로선택기준은 망 자원의 효율적 사용과 지연의 최소화라는 두 가지 관점을 고려한 것이다. 실험결과 k_1 의 경로선택방법이 복구율 관점에서 가장 좋은 결과를 보였다. 이 방법에서는 먼저 제약을 만족하는 각 ABVP에 대해 경로상의 링크의 여유용량 중에서 최소값을 구한다. 그리고 이들 값 중에서 최대값을 갖는 경로를 BVP로 둔다. 이러한 경로선택 방법은 망 자원의 활용을 평활화(smoothing) 시키고, 다른 그룹을 복구하기 위한 ABVP들이 많이 생성될 수 있도록 하여 결과적으로 높은 복구율을 보인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이 방법을 사용하였다.

개체평가 과정을 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

단계 0: 복구량(restored flow) $RF = 0$ 으로 둔다.

단계 1: $i = 1$ 로 둔다.

단계 2: $j = 1$ 로 둔다.

단계 3: 고장에 영향을 받은 그룹 i 의 송신노드 s_i 에서 고장에 영향을 받은 수신노드 d_{ij}

로의 제약을 만족하는 모든 $ABVP_i(s_i, d_{ij})$ 를 구한다.

단계 4: 만일 $ABVP_i(s_i, d_{ij}) = \emptyset$ 이면, 단계 6으로 간다. 그렇지 않으면 식 (1)에 의해 k^* 를 구하여 $BVP_i(s_i, d_{ij}) = ABVP_i^{k^*}(s_i, d_{ij})$ 로 둔다. 이때, k^* 가 복수 개 존재하면, 가장 작은 $|ABVP_i^k(s_i, d_{ij})|$ 를 가지는 경로를 선택한다.

$$k^* = \arg \max_k [sc^k(s_i, d_{ij})], \text{ for all } k \quad (1)$$

단계 5: 다음 식과 같이 그룹 i 의 대역폭 BW_i 를 복구량 RF 에 더한다.

$$RF = RF + BW_i$$

단계 6: $j \neq |D_i|$ 이면 $j = j + 1$ 로 두고, 단계 3으로 간다.

단계 7: $i \neq |F|$ 이면 $i = i + 1$ 로 두고, 단계 2로 간다.

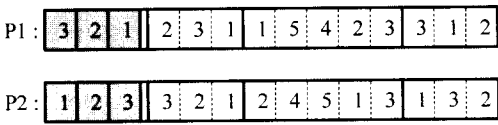
단계 8: 식 (2)에 의해 최종 복구율을 계산하여 개체를 평가한다.

$$\text{복구율} = RF / \sum_{i=1}^{|F|} (|D_i| \times BW_i) \quad (2)$$

선별(selection)방법으로는 모집단의 다양성 유지와 적응도 간에 큰 차이를 갖지 않는 문제에 적합한 토너먼트(tournament) 선별을 사용한다[1, 5].

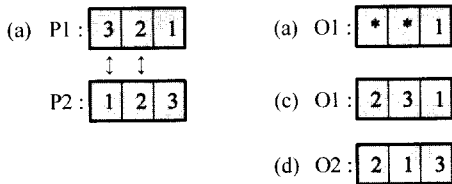
3.3 유전연산자

유전알고리즘의 적용에 있어서 그 성능을 좋게 하기 위해서는 교차(crossover)에 의해 부모가 갖는 좋은 유전형질이 자손에 상속되어야 한다. 다루는 문제는 순서정비가 중요하므로 부모의 이들 정보가 보존되는 교차방법을 사용한다. 제안하는 교차는 그룹을 나타낸 부분과 수신노드를 나타낸 두 부분으로 나뉘어 진행된다. 교차를 위해 선택된 두 부모가 [그림 3]과 같다고 하자.



[그림 3] 부모개체

먼저, 그룹 번호를 나타내는 부분에서는 순서기반(order based) 교차[13]를 사용한다. [그림 4] (a)와 같이 교차할 인자의 위치(↓)를 임의로 선택한다. 그리고 그림 (b)와 같이 P1은 선택된 인자값 3과 2를 제외한 나머지 인자를 자손 O1에 상속한다. O1의 비워있는 인자들(*)은 P1으로부터 상속 받지 못한 인자값 3과 2가 P2에 나타난 순서대로 놓는다. 그러면, 자손 O1은 그림 (c)와 같이 된다. 다른 자손 O2는 P1과 P2의 역할을 바꾸어 위의 과정을 반복하면 그림 (d)와 같이 된다.

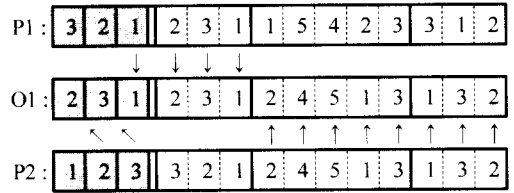


[그림 4] 그룹 인자부분의 교차

수신노드 인자부분의 교차는 그룹 인자부분에서의 교차에 종속되어 수행된다. 자손의 그룹이 부모 P1으로부터 상속되었으면, P1에 있는 이 그룹에 해당하는 수신노드들을 그대로 자손에 상속한다. 부모P2에서 상속 받은 그룹의 경우도 같은 방법으로 수신노드들을 자손에 상속한다. [그림 5]는 예를 보여주고 있다. 그룹 1에 대응하는 수신노드 인자들은 P1에서 이에 대응하는 수신노드 인자들을 상속 받고, 그룹 2와 3의 수신노드 인자들은 P2에서 이에 대응하는 인자들을 상속 받아 자손 O1이 생산된다.

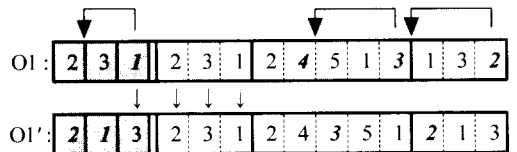
돌연변이(mutation)는 각 인자에 대해 일정한 돌연변이율을 갖는 삽입(insertion) 연산자를 사용하였다. 단, 비가능 개체의 생산을 방지하기 위해 돌연변이되는 인자가 그룹 부분에 있으면 그 부분 내

에서 임의의 위치로 그리고, 수신노드부분이면 해당 그룹의 수신노드 부분 내에서 임의의 위치로 삽입 이동한다. 순서문제에서 삽입 연산자는 교환이나 역순 연산자보다 다양한 순서를 만들어 낼 수 있어 더 우수한 것으로 알려져 있다[2].



[그림 5] 수신노드 인자부분의 교차(O1의 경우)

교차에 의해서는 부모의 그룹 내에서의 수신노드들의 복구순서가 변하지 않는다. 수신노드들의 복구순서 변경은 돌연변이에 의해서 일어난다. 각 인자의 돌연변이율이 일정하므로 그룹보다는 이에 해당하는 수신노드들의 복구순서가 변할 가능성이 높다. 사용된 교차와 돌연변이는 그룹의 복구순서 변경과 함께 수신노드의 복구순서를 변화 시켜 다양한 해 공간의 탐색을 가능하게 한다.



[그림 6] 삽입 돌연변이 연산자(O1의 경우)

3.4 알고리즘의 절차

지금까지 설명한 유전알고리즘의 구성요소를 가지고, 제안한 유전알고리즘의 전체 절차를 보이면 다음과 같다.

단계 1 : 초기화

1-1 : 세대 $t = 0$ 으로 둔다.

1-2 : 교차에 영향을 받은 그룹과 수신노드들의 복구 순서를 나타내는 개체들을 모집단

크기(pop_size)만큼 임의로 생성하여 초기 모집단 $Pop(t)$ 를 구성한다.

단계 2 : 개체 평가

2-1 : 개체 $i = 1$ 로 둔다.

2-2 : $Pop(t)$ 에 있는 개체 i 를 해석하고 평가함수(식 (2))에 따라 적응도를 구한다.

2-3 : 만약 $i = pop_size$ 이면 단계 3으로 간다. 그렇지 않으면 $i = i + 1$ 로 두고, 단계 2-2로 간다

단계 3 : 종료조건 검사

3-1 : 만약 $t =$ 종료세대 이면, 종료한다.

3-2 : $t = t + 1$ 로 둔다.

단계 4 : 새로운 모집단 구성 및 유전연산 수행

4-1 : $Pop(t-1)$ 에 있는 개체들을 적응도를 기준으로 pop_size 만큼 토너먼트 선별하여 새로운 $Pop(t)$ 를 구성한다.

4-2 : $Pop(t)$ 에 있는 개체들 중에서 (교차율 $\times pop_size$) 개수만큼 순서기반 교차방법에 의해 교차

4-3 : $Pop(t)$ 에 있는 개체들을 그룹 인자부분과 수신노드 인자부분으로 구분하여 삽입연산자에 의해 돌연변이율에 따라 돌연변이 시킨다. 그리고 단계 2로 간다.

4. 실험 및 분석

제안한 유전알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 컴퓨터 실험을 행하였다. 실험은 통신망의 크기, 멀티캐스트 그룹의 개수, 각 그룹의 수신노드의 수와 대역폭, 각 망의 여유율을 다양하게 조합한 문제를 사용하였다. 이 장에서는 먼저, 성능 비교에 사용된 발견적 기법과 실험을 위한 통신망과 유전알고리즘의 파라미터 설정을 다루었다. 그리고, 제안한 기법의 성능을 분석하였다.

4.1 발견적 기법

현재까지의 관련연구가 미흡한 관계로 기존의

VP를 생성하는 방법을 변형하여 비교기법으로 사용하였다. 제안하는 발견적 기법은 두 국면으로 나누어진다. 국면1에서는 고장에 영향을 받는 그룹 중에서 어떤 그룹을 먼저 복구할 것인가를 선택하고, 국면2에서는 선택된 그룹 내에서 고장에 영향을 받은 수신노드들의 복구순서와 BVP를 동시에 결정한다.

그룹의 복구순서를 결정하는 데에는 여러 기준이 적용될 수 있다. 본 연구의 목적은 복구율의 최대이므로 대역폭과 고장에 영향을 받은 수신노드의 수에 기초하여 아래와 같이 세가지 기준에 의해 그룹의 복구순서를 결정한다.

그룹 복구순서 기준1: 대역폭이 큰 순서.

그룹 복구순서 기준2: 고장에 영향을 받은 수신노드의 수가 많은 순서.

그룹 복구순서 기준3: 대역폭에 고장 영향을 받은 수신노드의 수를 곱한 값이 큰 순서.

이때 기준1과 2에서 동일한 값을 갖는 그룹이 존재하면, 각각 고장에 영향을 받은 수신노드의 수가 많은 순서와 대역폭이 큰 순서로 한다. 본 연구에서 다루는 경로설정문제는 확장된 상자채우기(bin packing) 문제로 볼 수 있다. 이러한 문제에서는 용량이 큰 객체부터 먼저 할당하는 것이 좋은 결과를 보인 것으로 알려져 있다[7]. 따라서, 대역폭 크기에 따른 기준 1은 여유용량 제약 하에서 가능한 많은 대역폭을 복구하는데 유리할 것으로 기대되어 사용하였다. 또한 고장에 영향을 받은 수신노드의 수가 그룹마다 다르기 때문에 일반적으로 고장에 영향을 받은 수신노드의 수가 많은 그룹을 먼저 복구하는 것이 복구율을 높일 것으로 기대되어 기준 2를 사용하였다. 기준3은 대역폭과 고장에 영향을 받은 수신노드의 수를 동시에 고려하고 있다.

국면 2에서는 국면 1에서 선택된 그룹의 복구순서에 의해, 그 그룹에 속해 있는 고장에 영향을 받은 수신노드들을 다음의 기준에 의해 차례로 선택

하여 BVP를 할당한다. 현 그룹에서 고장에 영향을 받은 모든 수신노드의 각 ABVP들에 대해 아래 기준에 의해 가장 큰 값을 유도하는 ABVP를 선택하여, 이를 BVP로 둔다. BVP가 결정되지 않은 고장에 영향을 받은 수신노드들에 대해서도 같은 방법으로 BVP를 차례로 결정한다. 다음과 같이 두 가지 기준을 사용한다.

수신노드 복구순서 기준 1 : $sc^k(s_i, d_{ij})$ 가 가장 큰 값을 갖는 경로, 복수 개 존재하면

그 중 $|ABVP_i^k(s_i, d_{ij})|$ 가 적은 경로.

수신노드 복구순서 기준 2 : $sc^k(s_i, d_{ij}) /$

$|ABVP_i^k(s_i, d_{ij})|$ 가 가장 큰 경로.

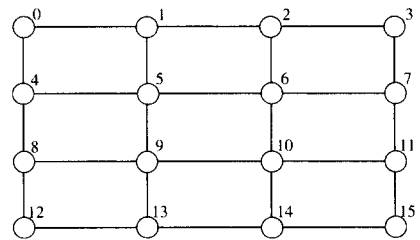
이 기준들은 ABVP들 중에서 경로상의 각 링크의 여유용량 중에서 최소값($sc^k(s_i, d_{ij})$)에 기초하고 있다. 앞에서 언급했듯이 이 최소값이 최대한 ABVP의 선택은 각 링크의 사용을 평활화하여, 다른 BVP를 설정하는 데 도움을 줄 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서 발견적 기법의 해는 국면 1과 국면 2의 각 기준을 조합한 6가지 복구방법 중에서 가장 높은 복구율을 발견적 기법의 복구율로 하였다.

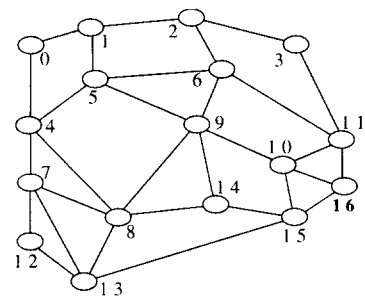
4.2 실험문제와 유전 파라미터 설정

실험 대상 통신망은 [그림 7]과 같이 (노드수, 링크수)가 (16, 24), (17, 30)과 (40, 67)개로 구성된 3개의 양방향 통신망을 사용하였으며, 각각 $N = 16$, $N = 17$ 과 $N = 40$ 으로 두었다. 링크의 용량은 충분히 많은 그룹이 설정될 수 있도록 모든 링크에 대해 5 Gbps로 동일하게 두었으며, 각 그룹의 대역폭은 10~90 Mbps 사이의 10 Mbps 단위 정수로 하였으며, 수신노드의 수는 1부터 14까지 임의의 개수만큼 발생하였다. 수신노드의 수가 1개이면 점대점 연결이 되므로, 실험에서는 이러한 서비스도 포함되도록 하였다. VP의 설정에 따른 각 링크의 여유용량은 복구율에 큰 영향을 준다. 따라서 다양한 실험과 함께 유전알고리즘의 성능이 분석될 수 있

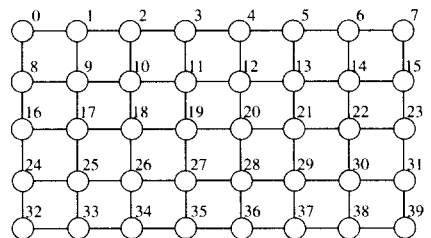
도록 하기 위하여, 각 실험 통신망에서 여유율이 비교적 적은 6~18% 정도가 되도록 구성하였다. 지연 상한은 $N = 16$ 과 $N = 17$ 에서는 6으로, $N = 40$ 에서는 9로 두었다. 또한, 망의 여유율에 따라 $N = 16$ 과 $N = 17$ 인 경우는 250~450개 정도 그리고, $N = 40$ 인 경우는 1,000개 정도의 그룹이 생성되게 하여 실험을 행하였으며, 모든 경우에 대해 단일링크 고장에 영향을 받은 그룹의 수는 85~110개 정도이다.



(a) (16, 24) 통신망



(b) (17, 30) 통신망



(c) (40, 67) 통신망

[그림 7] 실험에 사용된 통신망

유전알고리즘에 사용된 유전 파라미터의 값은

예비 실험을 통해 다음과 같이 구하였다. 모집단의 크기는 100, 교차율은 0.85, 돌연변이율은 0.2, 선별에서 토너먼트 크기는 2 그리고, 종료조건은 300세대로 하였다.

4.3 성능 비교분석

발견적 기법과 유전알고리즘의 성능을 다음과 같이 비교하였다

분석 1 : 망의 여유용량에 따라 두 기법의 복구율을 비교하였다.

분석 2 : 지연 상한의 변화에 따라 유전알고리즘의 복구율을 비교하였다.

고장이 발생한 링크는 망 내에서 링크 주위에 연결된 링크가 많은 링크와 적은 링크를 임의로 선택하였다. <표 1>은 분석 1을 위하여 망의 크기, 고장링크와 망 여유율을 다양하게 변화 시켜 문제를 설정하고, 이들에 발견적 기법(HT)과 제안한 유전알고리즘(GA)을 적용하여 구한 복구율을 나타낸 것이다. 여유율은 전체 링크의 여유용량에 대한 전체 링크에 초기에 포설된 용량의 비를 백분율

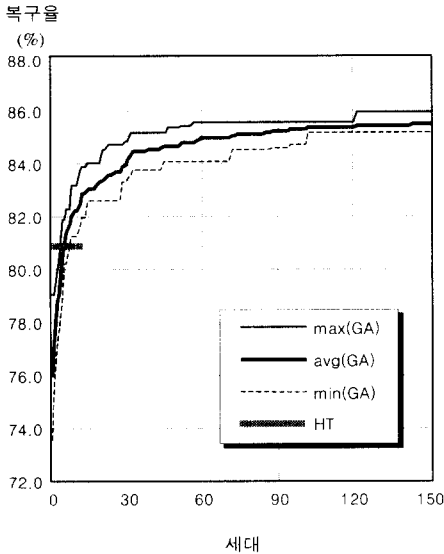
로 나타낸 것이다. 각 실험문제마다 전체 링크의 여유용량이 달라지므로 여유율은 범위로서 나타냈다. min, avg, max 그리고, SD는 유전알고리즘(GA)을 10회 반복 적용하여 구한 결과값의 최소, 평균, 최대 복구율(%)과 표준편차를 각각 나타낸다. IR은 발견적 기법으로 구한 복구율(HT)에 대해 제안한 유전알고리즘으로 구한 평균 복구율(GA(avg))의 개선율(improved rate : IR)을 백분율로 나타낸 것으로, [(GA(avg)-HT) / HT]×100(%)와 같다.

모든 실험문제에서 개선율은 陽(+)의 값으로 나타나 유전알고리즘으로 구한 평균 복구율이 발견적 기법으로 구한 복구율보다 항상 높음을 알 수 있다. 특히, 유전알고리즘에 의한 최소(min) 복구율도 모든 실험문제에서 발견적 기법에 비해 항상 우수한 결과를 보였다. 또한, 표준편차가 대부분의 실험문제에서 1.00 미만으로 나타났다. 이 실험 결과로부터 제안한 유전알고리즘의 해 탐색 성능은 대단히 안정적이고 우수하다는 것을 알 수 있다. 제안한 유전알고리즘은 고장난 링크의 위치나 망의 여유율에 따라 개선율의 변화에서 어떤 일관된 경향을 나타내지 않았다. 이는 제안한 유전알고리

<표 1> 여유율에 따른 유전알고리즘과 발견적 기법의 복구율

N	failed link	여유율 (8±2)%						여유율 (12±2)%						여유율 (16±2)%					
		GA						GA						GA					
		HT	min	avg	max	SD	IR	HT	min	avg	max	SD	IR	HT	min	avg	max	SD	IR
16	1-2	68.31	68.87	69.93	70.63	0.59	2.38	74.78	81.14	81.98	83.96	0.78	9.63	79.28	89.22	89.92	90.56	0.38	13.43
	13-14	68.31	71.31	72.51	74.62	0.93	6.15	74.86	82.44	83.83	84.47	0.64	11.98	81.46	91.50	92.07	92.96	0.39	13.02
	5-6	65.85	70.06	71.05	73.21	0.88	7.89	73.20	80.17	81.09	81.63	0.47	10.78	82.49	89.30	89.94	90.67	0.48	9.04
	6-10	71.56	72.68	74.29	75.73	1.15	3.81	80.63	84.84	85.48	86.84	0.70	6.01	86.94	92.85	93.99	94.57	0.51	8.11
17	8-14	78.47	78.65	80.34	82.09	1.22	2.38	88.58	93.92	95.08	96.07	0.61	7.34	93.50	100.0	100.0	100.0	0.00	6.95
	13-15	72.15	72.76	73.77	75.25	0.79	2.25	77.35	82.17	82.95	83.29	0.36	7.24	87.24	93.19	93.46	93.86	0.21	7.13
	4-7	73.45	74.01	75.05	75.84	0.83	2.18	83.77	88.33	88.83	89.18	0.25	6.05	90.07	96.25	96.37	96.52	0.10	6.99
	10-15	85.96	86.04	87.15	88.15	0.79	1.39	86.26	91.37	91.97	92.84	0.47	6.62	93.10	100.0	100.0	100.0	0.00	7.41
	7-8	77.34	77.83	78.64	79.36	0.51	1.68	79.84	85.74	86.82	87.58	0.59	8.74	87.03	90.31	90.70	90.74	0.13	4.21
40	6-9	77.48	78.86	79.61	80.46	0.51	2.75	92.00	92.41	93.20	95.13	0.83	1.30	97.36	99.00	99.36	99.43	0.16	2.05
	3-4	63.75	72.68	74.29	75.73	1.15	16.53	72.07	81.96	82.33	83.11	0.36	14.24	71.38	82.45	83.04	83.90	0.45	16.34
	15-23	67.09	67.60	68.20	68.81	0.44	1.65	75.99	78.61	79.28	80.58	0.57	4.33	86.80	91.71	92.65	93.87	0.59	6.74
	36-37	53.10	55.23	56.92	57.45	0.67	7.19	69.28	81.86	82.49	83.55	0.59	19.07	81.29	90.21	90.69	91.07	0.30	11.56
	22-30	68.84	70.99	72.14	73.45	0.77	4.79	84.70	87.44	88.49	89.58	0.69	4.47	92.29	95.87	96.17	96.86	0.32	4.20
	17-25	65.54	65.63	65.91	66.21	0.19	0.57	80.77	84.02	84.83	86.41	0.74	5.03	91.73	94.79	95.12	95.42	0.18	3.70
	12-13	53.65	55.01	55.76	56.79	0.60	3.93	56.85	64.76	65.83	67.24	0.82	15.80	80.94	85.16	85.48	85.92	0.26	5.61
9-10	57.14	59.93	61.36	63.55	1.04	7.38	72.76	79.83	80.98	82.24	0.74	11.29	81.73	85.27	85.80	86.49	0.40	4.98	

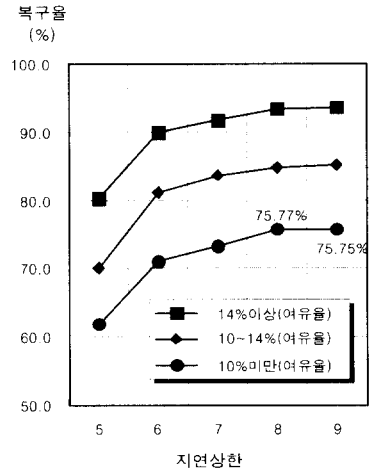
들의 성능이 망의 특정한 상태에 종속적이지 않음을 의미한다. 그리고 망의 여유율이 상대적으로 높은 실험문제에서 개선율이 더 증가하는 경향을 보였다. 이는 망의 물리적인 자원의 제약(여유율의 부족)이 해의 탐색 성능에 강한 제약으로 작용하기 때문인 것으로 보인다.



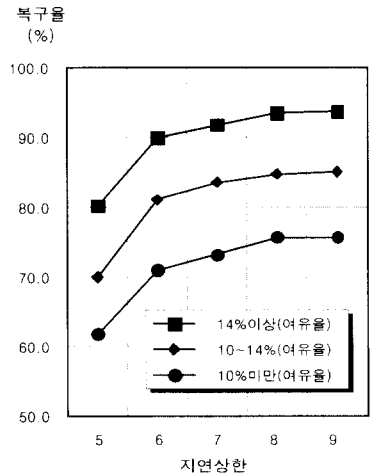
[그림 8] 세대별 복구율의 변화

[그림 8]은 제한한 유전알고리즘이 해를 탐색하는 과정을 알아보기 위해 매 세대별 복구율을 그래프로 나타낸 것이다. 실험은 <표 1>의 N=40, 고장링크 (12-13), 여유율 (16 ± 2)%인 문제를 대상으로 하였다. 그림에서 GA(max), GA(avg), GA(min)은 유전알고리즘을 10회 반복 적용하여 구한 각 세대에서의 최대, 평균, 최소 복구율을 각각 나타낸다. HT는 발견적 기법으로 구한 복구율을 나타내며, 유전알고리즘으로 구한 복구율과 같아지는 시점을 표시하기 위해 수평선으로 표시하였으나, 세대의 진행과는 관계없다. 그림에서 유전알고리즘은 초기 세대(30세대 이전)에서 급격한 복구율의 증가를 보이다가 약 30세대 이후부터 점차 수렴하는 경향을 나타낸다. 따라서, 유전알고리즘을 효과적으로 적용하기 위해서는 계산 소요시간과 복구율간의 절충(trade-off)관계를 고려하여 종료 세대수가 결정

되어야 한다. 일정 세대동안 해의 개선이 일어나지 않으면 종료하는 방법도 효과적일 수 있다. 그림에서 최소와 최대 복구율 간의 차가 세대가 진행됨에 따라 점차 감소하여 150세대에서는 약 0.76%로 감소하였다. 이로써 제한한 유전알고리즘은 일정 세대이상 진화하면 안정적으로 좋은 해를 탐색해 감을 알 수 있다. 또한, 유전알고리즘은 이미 초기 세대에서 발견적 기법보다 더 좋은 해를 유도함을 알 수 있다.



(a) N=16, 고장링크 (5-6)인 실험문제



(b) N=17, 고장링크 (4-7)인 실험문제

[그림 9] 지연상한의 변화에 따른 복구율

[그림 9]는 $N=16$, 고장링크(5-6)과 $N=17$, 고장링크(4-7)의 실험문제에 대해 지연상한을 5부터 9까지 변화 시켜가며, 5회 반복 실험하여 구한 복구율을 그래프로 나타낸 것이다. 실험결과 지연상한이 커지면 일반적으로 ABVP의 개수가 증가하여 복구율이 점차 높아지며, 지연상한이 일정수준(두 실험에서는 지연상한이 8) 이상이 되면 복구율의 증가가 둔화된다. 특히, 그림 (a)에서는 여유율이 10% 미만인 실험문제의 경우에 지연상한을 8에서 9로 증가 시키면, 복구율이 75.77%에서 75.75%로 오히려 낮아지는 결과를 보였다. 지연상한이 증가하면, 가능한 ABVP의 수가 많아지게 되어 복구율이 증가할 것으로 기대할 수 있다. 그러나, 지연이 큰 경로에는 자원을 비효율적으로 사용하는 경로를 포함할 가능성이 많아지고, 이러한 경로를 BVP로 설정함에 따라 또 다른 MCT의 좋은 BVP 설정을 방해할 수 있어 되어 복구율이 낮아질 수 있다.

4.4 적용성

유전알고리즘은 그 특성상 적용에 있어서 여러 제약의 첨가나 목적함수의 변화 등에 대해 유연하다는 강점을 지닌다. 본 연구에서 다루는 멀티캐스트 트리의 복구문제도 망의 구성 요소와 서비스의 중요도 등에 따라 다양한 목적과 제약들이 있을 수 있다. 아래와 같은 대표적인 상황에서 본 연구에서 제안한 유전 알고리즘의 적용성에 관해 기술한다.

그룹의 중요도가 주어지고 중요도가 높은 그룹부터 복구하고자 할 경우에는 개체 표현과 연산 방법을 다음과 같이 수정하면 적용이 가능하다. 그룹의 복구 순서는 중요도에 의해 결정되므로 그룹 인자부분(F)은 생략하고, 중요도가 높은 그룹에 속하는 고장에 영향을 받은 수신노드들이 개체의 좌측 수신노드 인자부분(D)에 먼저 나타나도록 표현한다. 수신노드의 복구순서는 개체의 좌측 첫번째 인자부터 차례로 해석함으로써 유일하게 결정된다. 교차는 기존의 순서기반 교차방법을 그대로 적용할 수 있으며, 비가능 개체 생산을 방지하기 위해

서 인자의 위치 이동은 해당 그룹의 수신노드부분 내에서만 가능하게 한다. 또한, 본 연구에서와 같이 그룹 단위로 복구하지 않고, 고장에 영향을 받은 서비스의 대역폭 합을 최대로 복구하고자 한다고 하자. 이 경우에는 앞서와 같이 그룹의 중요도를 나타내는 그룹 인자부분(F)은 생략하고, 복구해야 할 각 서비스들을 부호화한 순서표현을 사용할 수 있다. 복구순서는 좌측 첫번째 인자부터 차례로 해석함으로써 유일하게 결정되며, 유전 연산은 순서표현에서 사용하는 유전 연산자를 사용하여 행할 수 있다.

‘여유용량제약’과 ‘지연제약’ 외에도 다양한 비용 요소와 관련된 제약들은 ABVP를 구할 때나 이들을 평가할 때 고려해 줌으로써 쉽게 반영할 수 있다. 예로, 하나의 MCT를 구성하는 노드들이 셀 복사와 교환 능력에 제한(degree-constraints)을 갖는다면, ABVP를 구할 때 이 제약을 만족시키지 못하는 노드는 경유하지 않도록 구성해 주면 된다. 또한, 복구 목적이 본 연구와 다르다면, 개체를 평가하는 과정에서 식 (2) 대신에 이를 반영하여 평가함수를 사용하면 된다.

본 연구는 고장의 종류로서 단일링크 고장만을 가정하였다. 그러나 노드 고장이나 다중링크 고장이 발생할 수 있다. 노드 고장의 경우에는 제안한 표현을 그대로 사용할 수 있다. 이때 고장에 영향을 받은 그룹과 수신노드들의 수가 많아져 개체의 길이가 길어 질 것이다. 그러나, 송·수신노드의 고장은 논리적 복구경로인 BVP를 이용해서는 복구가 불가능하다. 이러한 고장의 복구문제는 망 요소 보호전략(예로, 이중홈(dual-homing) 방식) 등에 의해 해결되어야 한다.

5. 결 론

본 연구는 멀티캐스트 서비스 망에서 단일링크 고장에 대비한 대체가상경로의 설정 문제를 다루고 있다. 이를 위하여 효율적인 유전알고리즘을 제

안하였다. 먼저 다루는 복구문제의 특성을 분석하여, 이에 적합한 유전 표현, 해석 방법과 유전연산자를 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 기존의 점대다중점 연결방법을 복구문제에 적절하게 수정한 발견적 기법을 제시하였다. 그리고 제안한 알고리즘을 이들 발견적 기법과 통신망 크기, 고장링크, 망의 여유율 등을 조합한 다양한 실험문제에 적용하여 비교하고 분석하였다.

실험 결과, 제안한 알고리즘은 모든 실험문제에서 발견적 기법에 비해 높은 복구율을 나타냈으며, 반복실험에서도 매우 안정적이었다. 그리고, 복구율과 지연상한 간의 관계에 관한 실험에서 지연상한은 복구율에 큰 영향을 미치나 일정수준 이상의 지연상한에서는 복구율이 거의 일정하게 나타남을 알 수 있었다.

미래에는 멀티캐스팅이 중요한 정보의 전달 방법이 될 것으로 예상되므로 제안한 유전알고리즘은 고장의 피해를 최소화 시키고, 복구를 위한 프로토콜 개발 방향 등을 결정하는 데 활용이 가능할 것으로 기대된다. MCT의 설계가 복구에 영향을 미치므로, 망의 생존도를 더욱 향상시키기 위해서는 MCT를 설정할 때 복구도 동시에 고려될 수 있는 효율적인 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복, 「메타휴리스틱」, 영지문화사, 1997.
- [2] 김여근, 현철주, “준비시간이 있는 혼합모델 조립라인의 제품투입순서 결정: Tabu Search 기법 적용”, 「경영과학」, 제13권, 제1호(1996), pp.13-27.
- [3] Bharath-Kumar, K. and J. M. Jaffe, “Routing to multiple destinations in computer networks”, *IEEE Trans. On Comm.* (1983), pp.343-351.
- [4] Gersht, A. and A. Shulman, “Architecture for Restorable Call Allocation and Fast VP Restoration in Mesh ATM Networks”, *IEEE ICC'97(1997)*, pp.1158-1163.
- [5] Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.
- [6] Holland, J.H., “Concerning Efficient Adaptive Systems”, *Self-organizing Systems(1962)*, pp.215-230.
- [7] Johnson, D.S., “Fast Algorithm for Bin Packing”, *Journal of Computer and System Science* Vol.8(1974), pp.272-314.
- [8] Kawamura, R., K. Sato and I. Tokizawa, “Self-Healing ATM Networks Based on Virtual Path Concept”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.12(1994), pp.120-127.
- [9] Kim, S.B., “An Optimal VP-Based Multicast Routing in ATM Networks”, *IEEE INFOCOM96* (1996), pp.1302-1309.
- [10] Kompella, V.P., “Multicast Routing for Multimedia Communication”, *IEEE/ACM transaction on networks*, Vol.1, No.3(1993), pp.286-292.
- [11] Leung, Y., L. Guo and X. Zong-Ben, “A Genetic Algorithm for the Multiple Destination Routing Problems”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol.2, No.4(1998), pp.150-161.
- [12] Noronha Jr., C. A. and A. T. Fouad, “Optimum Routing of Multicast Streams”, *IEEE INFOCOM '94(1994)*, pp.865-873.
- [13] Syswerda, G., “Schedule Optimization Using Genetic Algorithms”, *Handbook of Genetic Algorithms(1991)*, pp.332-349.
- [14] Tanaka, Y. and C.H. Paul, “Multiple Destination Routing Algorithms”, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E76-B, No.5(1993), pp.544-552.
- [15] Winter, P., “Steiner problem in networks: A survey”, *Networks*, Vol.17(1987), pp.129-167.

- [16] Wu, C.S., S.-W. Lee, Y.-T. Hou, and Y.-S. Chu, "A New Preplanned Self-Healing Scheme for Multicast ATM Network", *Proceedings of ICCT96*(1996), pp.888-891.
- [17] Wu, C.S., S.-W. Lee, and Y.-T. Hou, "Backup VP Preplanning Strategies for Survivable Multicast ATM Networks", *IEEE ICC'97* (1997), pp.267-271