

비용 제약을 갖는 컴퓨터 네트워크의 최적화

이한진* · 엄창선**†

*경남대학교 경영학부

**부경대학교 경영학부

Optimization of Computer Network with a Cost Constraint

Han-Jin Lee* · Chang-Sun Yum**†

*Division of Business Administration, KyungNam University

**Division of Business Administration, Pukyong National University

This paper considers a topological optimization of a computer network design with a cost constraint. The objective is to find the topological layout of links, at maximal reliability, under the constraint that the network cost is less or equal than a given level of budget. This problem is known to be NP-hard. To efficiently solve the problem, a genetic approach is proposed. Two illustrative examples are used to explain and test the proposed approach. Experimental results show evidence that the proposed approach performs more efficiently for finding a good solution or near optimal solution in comparison with a simulated annealing method.

Keywords : Optimization of Computer Network, Network Design, Network Reliability, Genetic Algorithms

1. 서 론

컴퓨터 네트워킹 기술은 기업 구성원들 간에 고가의 하드웨어와 소프트웨어 자원을 공유할 수 있게 할 뿐만 아니라 물리적으로 떨어져 있는 자원들 간을 연결함으로써 보다 적은 비용으로 다양한 정보에 접근할 수 있도록 해 준다. 컴퓨터 네트워크가 기업의 정보 공유를 위한 중요한 수단으로 사용되면서, 네트워크의 단절과 속도 지연은 기업 활동에 지대한 영향을 미치게 되었다. 그 결과 기업은 안정적이고 신속한 업무처리를 위해 신뢰도 높고 속도 지연이 없는 네트워크를 가능한 한 저렴하게 설치하여 운용하길 원하게 되었다. 이에 따라 네트워크 설치비용과 더불어 네트워크 신뢰도와 네트워크 속도 지연은 컴퓨터 네트워크 설계를 위한 중요 요소로 다루어져 왔다. 이러한 요소를 고려하는 컴퓨터 네트워크 설계는 NP-hard 문제에 해당된다(Wood,

1986; Cancela and Khadiri, 1995; Dengiz et al., 1997).

컴퓨터 네트워크 설계와 관련된 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 패킷지연시간과 비용 요소를 고려한 연구로, Pierre et al.(1995)은 시뮬레이티드 어닐링(SA : Simulated Annealing)을 이용하여 평균 패킷지연시간(mean packet delay)의 제약조건 하에 비용을 최소화하는 네트워크 설계 방법을 제시하였다. Pierre and Elgibaoui (1997)는 Pierre et al.(1995)이 사용한 같은 문제를 타부서치(tabu search)를 이용하여 풀었다. 그리고 신뢰도와 비용 요소를 고려한 연구로, Jan et al.(1993)은 분해법(decomposition)을 이용하여 네트워크 신뢰도를 제약조건으로 하고 비용을 최소화하는 경제적 네트워크 설계 방법을 제시하였다. Deeter and Smith(1998)는 유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)을 이용하여 신뢰도를 제약조건으로 하고 비용을 최소화하는 경제적 네트워크 설계 방법을 제시하였다. 이 설계 방법은 Jan et al.(1993)이

† 교신저자 yumcs@pknu.ac.kr

네트워크의 링크를 단일 유형만을 고려한데 반해 여러 유형을 고려하고 있어 좀 더 발전된 설계 방법이라 할 수 있다.

한편, 기업들은 신뢰성 있는 네트워크를 설치하여 운영하길 원하지만, 네트워크 설치를 위한 예산은 한정되어 있는 경우가 많다. 이러한 기업들은 한정된 예산의 범위 내에서 최대한의 신뢰성을 보장 받을 수 있는 컴퓨터 네트워크 설계의 필요성을 호소하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 네트워크 신뢰도를 제약조건으로 비용을 최적화하는 기존의 컴퓨터 네트워크 설계 방법과는 달리, 비용을 제약조건으로 하고 네트워크 신뢰도를 최적화하는 컴퓨터 네트워크 설계 방법을 제시하고자 한다. 이 설계 방법은 효율적인 해의 탐색을 위해 GA를 이용한다. 그리고 본 연구에서 제시한 GA를 이용한 컴퓨터 네트워크 설계 방법의 우수성을 보여 주기 위해, 새로이 컴퓨터 네트워크를 설계하는 문제와 기존 컴퓨터 네트워크를 확장하는 설계 문제를 대상으로 SA 탐색 방법과 성능을 비교한다. 또한 각 문제에 대해 비용 제약의 변화에 따른 민감도 분석을 수행한다.

2. 네트워크 설계 문제의 표현

2.1 기본 가정 및 모형

네트워크 설계를 위한 가정은 다음과 같다.

- 각 노드의 위치는 주어져 있고, 노드들은 완전히 신뢰할 수 있다.
- 각 링크는 무방향적(bi-directional)이고, 네트워크에 중복된 링크는 존재하지 않는다.
- 링크의 상태는 작동(operational)이거나 고장(failed) 상태로 한정한다.
- 링크의 고장확률은 독립적이다.

네트워크 설계와 관련된 표기는 다음과 같다.

- E : 네트워크에 연결된 링크들의 집합
- $\{i, j\}$: 노드 i 와 j 를 연결하는 링크
- $x_{i,j} (\in \{0, 1, 2, \dots, k-1\})$: $\{i, j\}$ 의 링크 유형, 여기서, k 는 링크 유형의 가지 수
- $x (= \{x_{1,2}, x_{1,3}, \dots, x_{n-1,n}\})$: 네트워크 구조
- $C(x)$: 네트워크 x 의 총 비용
- $R(x)$: 네트워크 x 의 신뢰도
- C_0 : 주어진 최대의 네트워크 비용

본 연구에서 제시하는 비용 제약을 갖는 네트워크 설

계 문제는 다음과 같이 모형화될 수 있다.

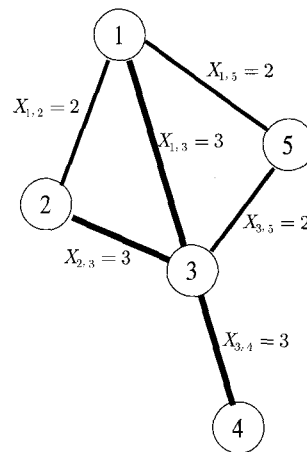
$$\text{목적함수 : Maximize } R(x) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{제약조건 : } C(x) = \sum_{i,j \in E} c_{ij} \leq C_0 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, c_{ij} 는 링크 $\{i, j\}$ 의 비용을 의미하며, $c_{ij} = a_{ij} \cdot d_{ij}$ 로 표현될 수 있다. a_{ij} 는 단위거리 당 링크 $\{i, j\}$ 의 비용을, d_{ij} 는 링크 $\{i, j\}$ 의 거리를 의미한다.

2.2 네트워크 설계 구조의 염색체 표현

<그림 1>은 5개의 노드를 연결하는 네트워크 설계 문제의 한 후보해(a candidate solution)를 보여 주고 있다. 이 후보 해에서 각 링크에 대한 유형의 가지수(k)는 4이다. <표 1>은 <그림 1>의 네트워크 구조를 위한 노드 간의 링크 유형을 보여 주고 있다.



<그림 1> 후보 해

<표 1> 노드 간의 링크 유형

	1	2	3	4	5
1	-	2	3	0	2
2		-	3	0	0
3			-	3	2
4				-	0
5					-

주) 링크 유형은 4가지로 0, 1, 2, 3이다.

이 후보 해는 다음과 같은 염색체(chromosome)로 표현될 수 있다.

$$\text{염색체 : } \{2 \ 3 \ 0 \ 2 \ 3 \ 0 \ 0 \ 3 \ 2 \ 0\}$$

이는 <표 1>의 우 상향 삼각형 모양의 각 행을 1줄로 나열한 것으로, 네트워크의 링크 유형이 염색체의 구성요소인 형질(allele)로 표현된 것이다.

3. 비용 제약을 갖는 네트워크 설계

3.1 비용 제약을 갖는 네트워크 설계를 위한 절차

GA를 이용한 비용 제약을 갖는 네트워크 설계의 단계별 주요 절차는 아래와 같다.

3.1.1 매개변수(parameter) 초기화

- g : 세대(generation) 수
- g_{max} : 최대 세대 수
- s : 개체집단(population)의 크기
- $m\%$: 돌연변이 염색체의 비율
- r_m : 돌연변이 형질의 비율

3.1.2 초기 세대의 개체집단 생성($g = 1$)

- (a) 초기 세대의 개체집단을 무작위로 생성하고, 비용 계산함수로 보낸다.
- (b) 비용 제약을 만족하는 개체집단을 신뢰도 계산함수로 보낸다.
- (c) 초기 세대의 가장 우수한 해를 검사한다.

3.1.3 반복적인 교배 및 돌연변이 연산

- (a) 교배와 돌연변이를 통한 새 개체집단 생성
 - 현재 세대의 개체집단으로부터 서로 다른 두 부모가 선택된다.
 - 균등교배를 통해 자손을 생성한 후, 돌연변이 비율에 따라 돌연변이 연산을 한다.
 - 부모들은 자손에 의해 대체된다.
- (b) 새 개체집단을 비용 계산함수로 보낸다.
- (c) 비용 제약을 만족하는 개체집단을 신뢰도 계산함수로 보낸다.
- (c) 새로운 가장 우수한 해를 검사한다.
- (e) 최대 세대 수($g = g_{max}$)까지 반복한다.

3.2 교배 및 돌연변이 연산

교배 연산을 위해 두 개의 염색체를 순위기반 선택(rank based quadratic procedure)을 적용하여 선택한다(Tate and Smith, 1995). 선택된 두 부모 염색체를 대상으로 균등교배를 실시한다. 예를 들어, 아래와 같이 부모 1과 부모 2가 선택되었고 각 형질에 난수가 발생되었다고 가정하자.

부모 1	{	3	3	1	0	2	0	0	0	2	0	}
부모 2	{	2	1	0	0	3	0	1	3	0	0	}
난수	{	.4	.5	.4	.2	.3	.9	.7	.4	.3	.6	}
자손	{	2	3	0	0	3	0	0	3	0	0	}

자손 염색체는 난수가 임계확률(0.5)보다 같거나 큰 2, 6, 7, 10번째 형질에 대해서는 부모 1의 형질을 물려받고 난수가 임계확률보다 작은 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9번째 형질에 대해서는 부모 2의 형질을 물려받아 생성된다.

다음으로 행해지는 돌연변이 연산은 모든 염색체의 특정 비트가 고정되는 것을 방지하고 탐색공간을 넓히려는 시도로써 지역 최적해(local optimal)에 빠질 확률을 줄여준다. 돌연변이 연산은 먼저 자손 염색체들 중에서 돌연변이 염색체의 비율($m\%$)에 따라 돌연변이 대상 염색체를 무작위로 선택한다. 그리고 돌연변이 형질의 비율(r_m)에 따라 형질을 무작위로 선택하고, 역시 선택한 형질에 대해 무작위로 링크 유형을 결정한다. 예를 들어, 돌연변이 대상 염색체가 {2 3 0 0 3 0 0 3 0 0}이고, 돌연변이 형질의 비율($r_m = 0.2$)에 따라 1번째 형질과 9번째 형질이 무작위로 선택되고 각각의 링크 유형이 3과 2로 결정되었다면, 돌연변이된 염색체는 {3 3 0 0 3 0 0 3 2 0}이다.

3.3 네트워크 신뢰도 계산

본 연구에서 네트워크 신뢰도 계산을 위해 다음과 같은 알고리즘을 사용한다(Van Slyke와 Frank, 1972).

3.3.1 매개변수(parameter) 초기화

- $R(x) = 0$
- r : 네트워크 상태 인스턴스의 신뢰도

3.3.2 네트워크 상태(network state)의 인스턴스(instance) 생성

- (a) n 개의 노드와 h 개의 링크로 구성된 네트워크 x 에 대해 신장트리(spanning tree)를 구성할 수 있는 최소한의 링크 수($n-1$ 개) 이상의 각 링크의 상태(고장 또는 비교장)로 인해 발생 가능한 모든 네트워크 상태 인스턴스를 생성한다. 즉 $\sum_{i=n-1}^h h C_i$ (단, $h \geq h \geq n-1$)개의 네트워크 상태 인스턴스를 생성한다.
- (b) 생성한 모든 네트워크 상태 인스턴스를 스택(stack)에 담는다.

3.3.3 신장트리 형성 검사

- (a) 스택이 비어있으면 종료한다.
- (b) 스택에서 맨 위의 네트워크 상태 인스턴스를 꺼내고, 이 상태 인스턴스가 신장트리를 형성하는지를 검사한다.
 - 신장트리를 형성하지 않으면, (3)(a)로,
 - 신장트리를 형성하면, (4)로 간다.

3.3.4 네트워크 신뢰도 계산

- (a) 네트워크 상태 인스턴스의 신뢰도(r)를 계산한다.
 - 각 링크의 유형별 신뢰도를 확인한다.
 - 고장 상태인 링크는 1-신뢰도를 신뢰도로 사용한다.
 - 모든 링크의 신뢰도를 곱한다.
- (b) 네트워크 신뢰도 $R(x) = R(x) + r$
- (c) (3)(a)로 간다.

4. 네트워크 설계의 성능 실험

이 장에서는 두 개의 네트워크 설계 문제를 통해, 본 연구에서 제시하는 GA를 이용한 설계 방법의 성능을 실험한다. 첫 번째 문제(문제 1)는 8개의 노드를 연결하는 경우이며, 두 번째 문제(문제 2)는 5개의 노드로 구성된 기존 네트워크에 3개의 노드를 새로 추가하는 경우이다.

실험은 PentiumIV(1.8GHz)와 512MB RAM으로 구성된 PC 환경에서 이루어졌다. 두 문제의 성능 실험을 위해 사용된 각 링크 유형의 속성은 <표 2>와 같고 8개의 노드 간 거리는 <표 3>과 같다.

<표 2> 링크 유형의 속성

링크 유형	신뢰도	단위거리 당 비용(\$)
0(비연결)	0	0
1	0.7	8
2	0.8	10
3	0.9	14

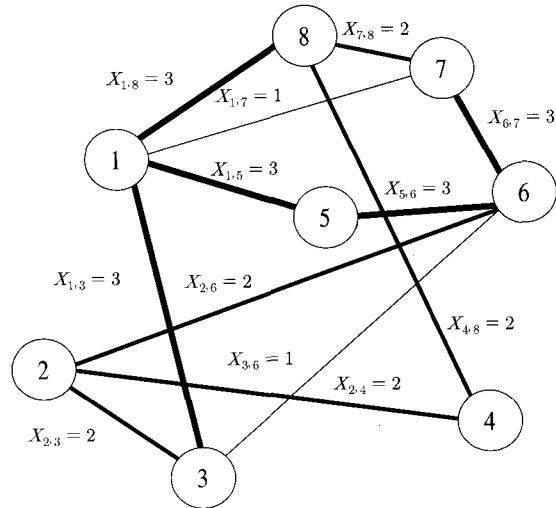
<표 3> 노드 간의 거리 (단위 : m)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	47	41	24	48	54	33	34
2		-	20	28	39	31	65	68
3			-	34	19	15	49	53
4				-	50	51	54	56
5					-	13	41	45
6						-	54	58
7							-	30
8								-

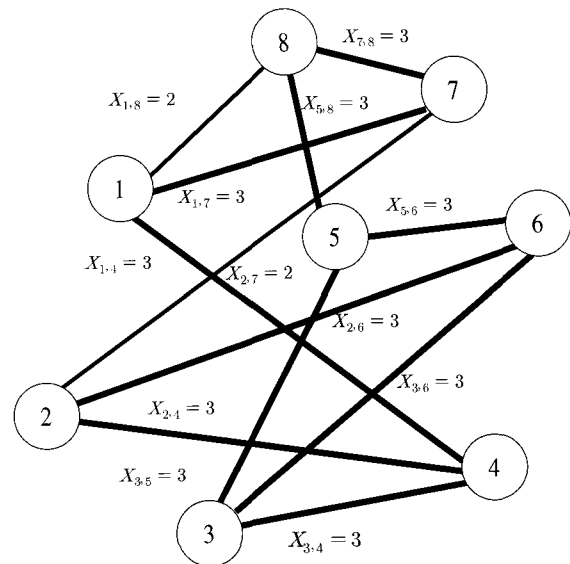
4.1 문제 1 : 8개 노드 연결

비용 제약조건($C_0 = 4,800\$$)에 대해, 초기 탐색 실험을 통해 초기화 값($g_{max} = 1,500, s = 60, m\% = 25, r_m = 0.25$)

을 얻은 후, 3.1절에 제시한 설계 절차에 따라 실험을 수행하였다. 초기 세대($g = 1$)에서는 <그림 2>과 같은 설계 구조를 갖고, 네트워크 비용이 4,694\$, 네트워크 신뢰도가 0.916인 가장 우수한 해 {0303013220200001000002300302}를 찾았다. 그리고 최대 세대 수($g = g_{max}$)까지 실험한 결과, <그림 3>과 같은 설계 구조를 갖고, 네트워크 비용이 4,798\$, 네트워크 신뢰도가 0.983인 가장 우수한 최종해 {0030032030320333000000303003}을 찾았다.



<그림 2> 초기 세대의 가장 우수한 해($R(x) = 0.916$)

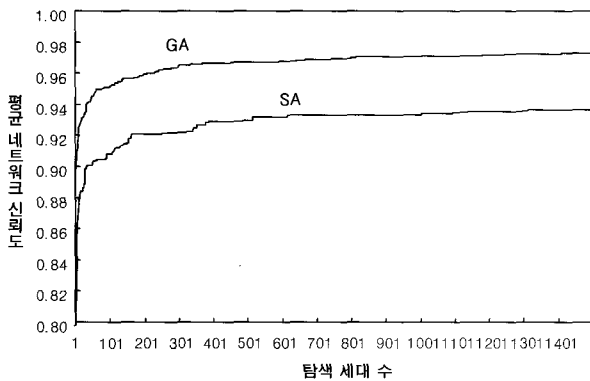


<그림 3> 가장 우수한 최종해($R(x) = 0.983$)

이 문제에 대해 SA 탐색 방법(Kirkpatrick et al., 1983; Costamagna et al., 1995)을 적용하여 GA를 이용한 설계 방법과의 성능을 비교코자 한다. SA 탐색 방법은 Kirkpatrick et al.(1983)에 의해서 제안된 최적화 기법으로써, 기존의

반복적인 개선(iterative improvement)에 근거한 휴리스틱 기법들이 지역 최소점(local minimum point)에 빠져버리는 단점을 개선한 범용의 최적화 기법이다(Arts와 Korst, 1997). SA는 유전자 알고리즘과 더불어 최적화 문제에 있어 전역 최적해를 구할 수 있는 메타 휴리스틱 알고리즘으로써 널리 사용되고 있다. 본 연구에서 사용된 SA의 파라미터는 Costamagna et al.(1995)의 연구에서 사용된 것을 이용한다.

GA를 이용한 설계 방법과 SA 탐색 방법 각각에 대해 10개의 seed를 사용하여 탐색 세대 수의 증가에 따른 평균 네트워크 신뢰도의 추이를 살펴보았다. 그 결과가 <그림 4>에 나타나 있다.

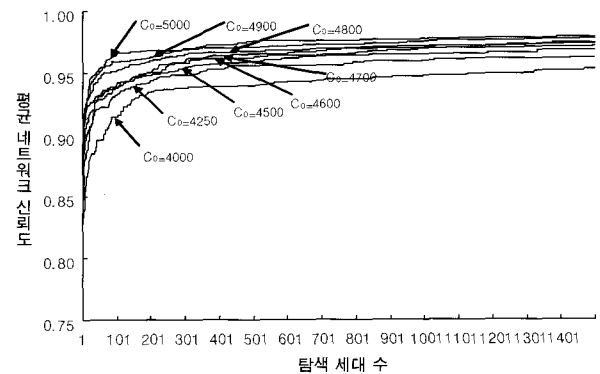


<그림 4> GA 설계 방법과 SA 탐색 방법의 성능 비교(문제 1)

GA를 이용한 설계 방법은 탐색 세대 수가 증가함에 따라 평균 네트워크 신뢰도가 400세대까지 급격히 상승하여 0.963에 도달 한 후, 400세대 이후에는 점차적으로 0.968에 수렴하였다. 반면에 SA 탐색 방법은 600세대까지 0.923에 도달 한 후, 600세대 이후에는 점차적으로 0.937에 수렴하였다. 이 결과는 네트워크 비용을 제약조건으로 하고 네트워크 신뢰도를 최대화하는 네트워크 설계 문제에 있어, GA를 이용한 설계 방법이 SA 탐색 방법보다 더 효율적이라는 것을 보여주고 있다.

다음으로 GA를 이용한 설계 방법을 적용했을 때, 제약조건인 네트워크 비용의 변화($C_0 = 4,000\$ \sim 5,000\$$)에 대해 목적함수 값인 네트워크 신뢰도가 어떻게 변화하는가를 살펴보았다. <그림 5>은 각 비용 제약조건(C_0)에 대해 10개 seed로 찾은 해의 평균 네트워크 신뢰도를 탐색 세대 수 관점에서 그래프로 보여주고 있다. 주어진 최대의 네트워크 비용(C_0)을 증가시키면 시킬수록, 더 높은 네트워크 신뢰도를 확보할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 주어진 최대의 네트워크 비용이 증가할수록 네트워크 신뢰도의 증가 추세는 둔화된다는 것도 알 수 있다. 이러한 경향은 탐색 세대 수가 커져 최

종해에 수렴할 때 까지도 지속되었다.

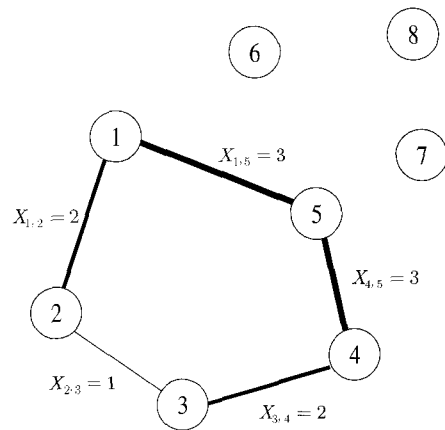


<그림 5> 네트워크 설치비용 변화에 따른 네트워크 신뢰도 (문제 1)

4.2 문제 2 : 5개 노드로 구성된 기존 네트워크에 3개 노드 추가

이 문제는 5개 노드로 구성된 기존 네트워크에 새로운 3개 노드를 추가하는 네트워크 확장 문제이다. 기존 5개 노드 간의 링크 유형은 보다 더 나은 수준으로의 교체가 고려될 수 있다. 기존 링크를 새 링크로 교체하기 위해서는 기존 링크를 제거하고 새 링크를 설치해야 하므로 추가적인 비용이 소요된다. 이 문제에서는 링크 교체에 드는 비용은 단지 링크를 새로 설치하는 경우의 비용($c_{ij} = a_{ij} \cdot d_{ij}$)보다 20%가 추가된다고 가정한다. 기존 네트워크 링크는 더 나은 수준으로의 교체만이 가능하므로, 교배 및 돌연변이 연산 과정에 있어서 기존 링크에 해당하는 형질은 같거나 보다 높은 값 중에서 선택 또는 결정되어야 한다.

이 문제에 대한 네트워크 확장 구조가 <그림 6>에 표현되어 있다. 그리고 노드 간의 거리 및 링크 유형은 <표 3>과 <표 4>를 사용한다.

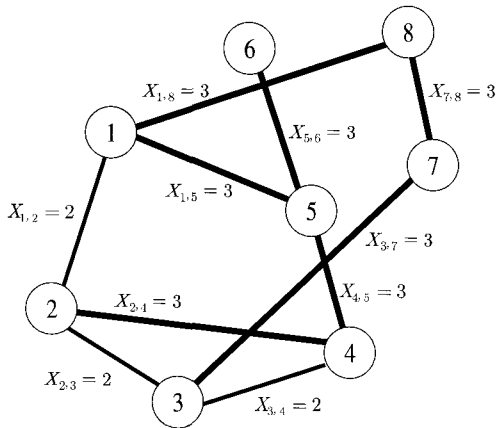


<그림 6> 네트워크 확장을 위한 구조($C_0 = 4,700\$$)

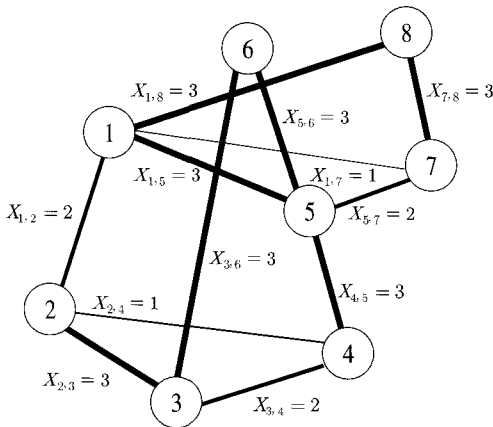
<표 4> 노드 간의 링크 유형

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	2	0	0	3	0	0	0
2		-	1	0	0	0	0	0
3			-	2	0	0	0	0
4				-	3	0	0	0
5					-	0	0	0
6						-	0	0
7							-	0
8								-

주) 링크 유형은 4가지로 0, 1, 2, 3이다. 음영은 문제 2의 기준 네트워크의 링크 유형을 나타낸다.



<그림 7> 초기 세대의 가장 우수한 해($R(x) = 0.842$)

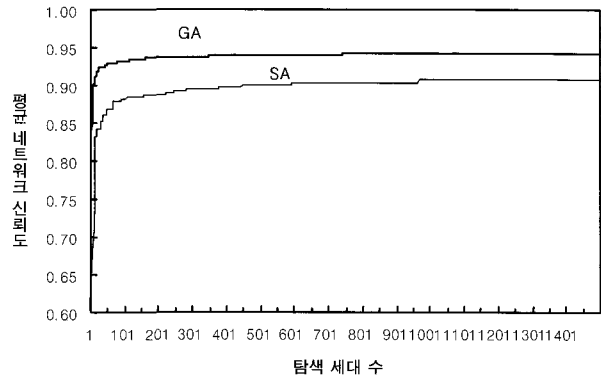


<그림 8> 가장 우수한 최종 해($R(x) = 0.944$)

비용 제약조건 ($C_0 = 4,700\$$)에 대해, 초기 탐색 실험을 통해 초기화 값($g_{max} = 1,500, s = 60, m\% = 25, r_m = 0.25$)을 얻은 후, 3.1절에 제시한 설계 절차에 따라 실험을 수행하였다. 초기 세대($g=1$)에서는 <그림 7>과 같은 설계 구조를 갖고, 네트워크 비용이 4,570\$, 네트워크 신뢰도가 0.842

인 가장 우수한 해 {2003003230000200303000300003}을 찾았다. 그리고 최대 세대 수($g = g_{max}$)까지 실험을 수행한 결과, <그림 8>과 같은 설계 구조를 갖고, 네트워크 비용이 4,680\$, 네트워크 신뢰도가 0.944인 가장 우수한 해 {2003013310000203003000320003}을 찾았다.

GA를 이용한 설계 방법과 SA 탐색 방법 각각에 대해 10개의 seed를 사용하여, 탐색 세대 수의 증가에 따른 평균 네트워크 신뢰도의 추이를 살펴보았다. 그 결과가 <그림 9>에 나타나 있다.



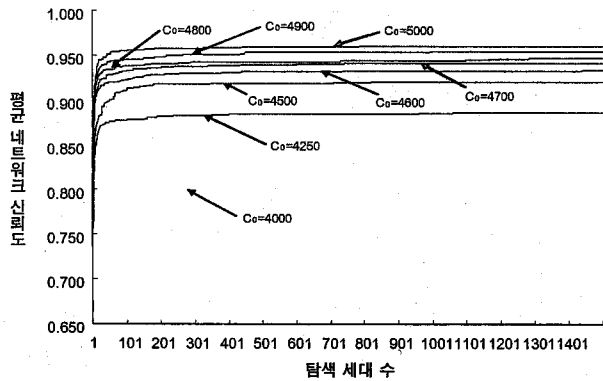
<그림 9> GA 설계 방법과 SA 탐색 방법의 성능 비교(문제 2)

GA를 이용한 설계 방법은 탐색 세대 수가 증가함에 따라 평균 네트워크 신뢰도가 50세대까지 급격히 상승하여 0.931에 도달하였고, 그 후, 800세대까지는 아주 미미한 증가를 보이다가, 800세대 이후부터는 0.940에 수렴하였다. SA 탐색 방법은 평균 네트워크 신뢰도가 100세대까지 급격히 상승하여 0.879에 도달하였고, 그 후 1,400세대까지는 약간의 증가를 보이다가, 1,400세대 이후부터는 0.908에 수렴하였다. 이 결과는 네트워크 비용을 제약조건으로 하고 네트워크 신뢰도를 최대화하는 네트워크 확장 설계 문제에 있어서도 GA를 이용한 설계 방법이 SA 탐색 방법보다 더 효율적이라는 것을 보여주고 있다.

다음으로 GA를 이용한 설계 방법을 적용했을 때, 제약조건인 네트워크 비용의 변화($C_0 = 4,000\$ \sim 5,000\$$)에 대해 목적함수 값인 네트워크 신뢰도가 어떻게 변화하는가를 살펴보았다.

<그림 10>은 각 비용 제약조건(C_0)에 대해 10개 seed로 찾은 해의 평균 네트워크 신뢰도를 탐색 세대 수 관점에서 그래프로 보여주고 있다. 새로이 네트워크를 설계하는 경우와 마찬가지로, 네트워크를 확장 설계하는 경우에 있어서도 주어진 최대의 네트워크 비용(C_0)을 증가시키면 시킬수록, 더 높은 네트워크 신뢰도를 확보할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 역시 주어진 최

대의 네트워크 비용이 증가할수록 네트워크 신뢰도의 증가 추세는 둔화된다는 것도 알 수 있다.



〈그림 10〉 네트워크 설치비용 변화에 따른 네트워크 신뢰도 (문제 2)

5. 결 론

컴퓨터 네트워크가 기업의 정보 공유, 신속한 의사결정 그리고 고객 서비스를 위한 중요한 수단으로 활용되면서, 기업의 네트워크 단절은 기업 활동에 지대한 영향을 미치게 되었다. 이에 따라 컴퓨터 네트워크에 막대한 예산을 투자할 수 없는 기업들은 가능하면 주어진 예산 범위 내에서 최대한 신뢰성 높은 네트워크를 설치하고 운영하길 원한다.

본 연구에서는 이러한 기업들의 요구에 부응하여, 네트워크 비용이 제약될 때 네트워크 신뢰도를 최적화하는 설계 방법을 제시하였다. 이 설계 방법은 효율적인 해의 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 이용한다. 그리고 유전자 알고리즘을 이용한 설계 방법을 새로이 컴퓨터 네트워크를 설계하는 문제와 기존 컴퓨터 네트워크를 확장하는 설계 문제에 적용하였다. 또한 이 두 문제에 대해 simulated annealing 탐색 방법과 성능을 비교함으로써 유전자 알고리즘을 이용한 설계 방법이 보다 더 우수하다는 것을 보였다. 그리고 민감도 분석을 통해, 제약사항인 네트워크 비용을 증가시키면 시킬수록, 더 높은 네트워크 신뢰도를 확보할 수 있다는 것과 네트워크 비용이 증가할수록 네트워크 신뢰도의 증가 추세는 둔화된다는 것을 확인하였다.

본 연구에서 제시한 네트워크 설계 방법이 한정된 예산 범위 내에서 최대한의 신뢰성을 갖는 컴퓨터 네트워크를 설치 하고자 하는 기업에 널리 활용되길 기대한다.

참고문헌

- [1] Arts, E. H. L. and Korst, J. H. M.; *Local Search in Combinatorial Optimization*, Chichester, UK, John Wiley and Sons, 1997.
- [2] Cancela, H. and El Khadiri, M.; "A Recursive Variance-Reduction Algorithm for Estimating Communication-Network Reliability," *IEEE Transactions On Reliability*, 44(4) : 595-602, 1995.
- [3] Costamagna, E., Fanni, A., and Giacinto, G.; "A Simulated Annealing Algorithm for the Optimization of Communication Networks," in : *Proceedings of International Symposium On Signals, Systems and Electronics*, San Francisco, pp. 405-408, 1995.
- [4] Deeter, D. L. and Smith, A. E.; "Economic Design of Reliable Networks," *IIE Transactions*, 30 : 1161-1174, 1998.
- [5] Dengiz, B., Altıparmak, F., and Smith, A. E.; "Efficient Optimization of All-Terminal Reliable Networks Using an Evolutionary Approach," *IEEE Transactions on Reliability*, 46(1) : 11-17, 1997.
- [6] Jan, R. H., Hwang, F. H., and Cheng, S. T.; "Topological Optimization of a Communication Network Subject to a Reliability Constraint," *IEEE Transactions of Reliability*, 42(1) : 63-70, 1993.
- [7] Kirkpatrick, S., Gelatt Jr., C. D., and Vecchi, M. P.; "Optimization by Simulated Annealing," *Science*, 220 : 671-680, 1983.
- [8] Tate, D. M., Smith, A. E.; "A Genetic Approach to the Quadratic Assignment Problem," *Computers and Operations Research*, 22(1) : 73-83, 1995.
- [9] Wood, R. K.; "Factoring Algorithms for Computing K-Terminal Network Reliability," *IEEE Transactions On Reliability*, 35(3), 269-278, 1986.
- [10] Van Slyke, R. M. and Frank, H.; "Network Reliability Analysis-Part I," *Networks*, 1(3), 49-64, 1972.