

## 유전자 알고리즘을 이용한 신뢰 통신망 최적화

이학중, 강주락, 권기호  
 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부  
 0331-290-7197

### Optimizing Reliable Network using Genetic Algorithm

Hack Jong Lee, Joo rak Kang, Key Ho Kwon  
 Electrical & Computer Engineering SungKyunKwan University  
 hj\_lee@bigfoot.com

#### abstract

Genetic algorithm is well known as the efficient algorithm which can solve a difficult problem. Network design considering reliability is NP-hard problem with cost, distance, and volume. Therefore genetic algorithm is considered as a good method for this problem.

This paper suggests the reliable network which can be constructed with minimum cost using genetic algorithm and the rank method based on reliability for improving the performance. This method shows more excellent than existing method and confirms the result through simulation.

#### I. 서론

주어진 문제의 해를 찾아내는 충분히 빠른 알고리즘이 개발되지 못한 경우에 문제들은 흔히 최적화 문제로 해석되어진다. 어려운 최적화 문제가 주어졌을 때 근사 최적해를 제공하는 효과적인 알고리즘으로 유전자 알고리즘을 사용할 수 있다.<sup>[1-3]</sup>

시스템의 신뢰도를 조절할 수 있는 통신망의 구성에 대한 연구는 통신망 구축, 컴퓨터 통신, 가스선로 구축 등에 이용 가능하다. 신뢰도를 만족하는 통신망 구성은 비용, 거리, 크기 등의 다른 요소들과 함께 구성되어 NP-hard 문제로 해석되며 유전자 알고리즘의 도입으로 효과적인 결과를 얻을 수 있다.<sup>[4-6]</sup>

본 논문에서는 최적화 알고리즘인 유전자알고리즘을 이용하여 주어진 신뢰도를 만족하는 통신망을 최소경비로 구축하였다. 또한 효율적인 최적해 탐색을 위한 신뢰도에 기반한 순위 선택 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해서 성능을 확인했다.

#### II. 본론

##### 1. 통신망구성 조건

통신망의 신뢰도는 각각의 node 들이 서로 연결되어질 확률로부터 계산되어지며 통신망의 최적화를 위해서는 크기와 비용 두 가지 측면의 결합이 필요하다. 본 논문에서 통신망은 N node와 L link로 간단하게 구성되고 표 2.1의 표현 규칙을 따른다. node는 고정되어 있으며 node 각각의 쌍은 서로 single link로 연결되어 있고 link는 양방향이며 고정된 신뢰도와 가격을 가지고 있다. 이때 link의 실패는 link간 독립적이며 node가 연결되지 않은 경우이다.<sup>[4]</sup>

표 2.1 통신망 구성 표현 규칙

표현	규칙
$L$	link 집합
$l_{ij}$	각각 link ( $n_i$ 과 $n_j$ 접속)
$N$	node 집합
$n$	하나의 node
$p(l_{ij})$	하나의 link 신뢰도
$c(l_{ij})$	하나의 link 가격
$C(L)$	구성 통신망 전체 가격
$R(L)$	구성 통신망 전체 신뢰도
$R_0$	기준 신뢰도

##### 2. 통신망 해석을 위한 접근 방법

신뢰도를 만족하는 통신망 구성 문제는 N개의 node 집합으로 구성되고 node 간의 거리는 실제 거리는 아니지만 node 간의 결합형태를 고려치 않고 가격으로 환산하여 계산되어진다.

N node 와 연결되어 있는 L link 집합 통신망의 경우 가능한 모든 link의 개수  $L = \frac{N \times (N-1)}{2}$  이며 각각의 link는 k개의 다른 level 값을 옵션값으로 부여받는다. k개의 다른 level 값은 신뢰도와 비용을 정량화하여 link 가 실패한 경우의 0 값에서 가장

## 유전자 알고리즘을 이용한 신뢰 통신망 최적화

높은 신뢰도와 비용을 가지고 있는 k-1 까지의 값으로 세분화된다. 결과적으로 각각의 link는  $l_{ij} = k$  level로 구성되며 선택된 링크의 조합으로 통신망을 구축하게 된다. 주어진 모든 문제는 주어진 기준신뢰도  $R_0$ 를 만족하는 통신망 중 최소 가격으로 구성된  $F(N, L, R(L), C(L), R_0)$  함수를 찾는 문제로 해석되어지며 수학적인 형태로는 주어진 신뢰도를 만족할때의 최소 경비  $MIN C(L) (R(L) \geq R_0$  일 때)로 표현된다.

### 3. 통신망 신뢰도 계산

본문에서는 다음의 조건인 spanning tree와 확률 결합을 이용하여 신뢰도를 계산하게 된다.<sup>[7]</sup>

조건 1)

모든 node를 연결하고 있는 하나의 spanning tree로부터 link의 변화를 통해 모든 spanning tree를 구할 수 있다.

조건 2)

spanning tree의 확률결합은 하나의 spanning tree와 다른 spanning tree 와의 확률 관계로부터 구할 수 있다.

$$\Pr\{l_{ab}l_c \cup l_b l_c l_d\} = \Pr\{l_{ab}l_c\} + \Pr\{l_b l_c l_d\} \Pr\{\bar{l}_a\}$$

주어진 조건을 알고리즘으로 표현하여 전체 통신망에 적용시켜 신뢰도를 계산할 수 있다<sup>[8]</sup>. 이때 spanning tree의 확률결합에 사용되는 disjoint boolean products는 Abraham's algorithm<sup>[9]</sup>을 이용하였다.

### 4. 통신망에 대한 염색체 표현

각각의 link로 구성되어 있는 전체 통신망 구성을  $x$ 라고 정의하고 통신망  $x$ 를 정수 유전자로 표현을 한다. 그림 2.1은 실험에서 사용되게 될 통신망의 형태이다. 실험 통신망은 5개 node와 link별 4단계 k-level을 갖는다고 가정하였다.

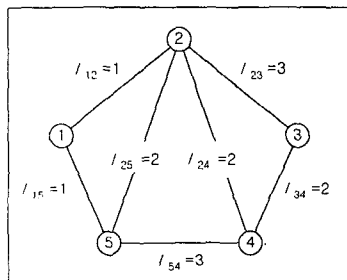


그림 2.1 실험 통신망 구성도

표 2.2는 유전자 구조를 나타내기 위한 행렬표이다. 행렬표의 기준은 통신망의 node 들이며 행과 열이 교차하는 지점이 node간의 연결된 상태를 표현하고 있다. 행렬표의 각 값은 표 2.3의 k-level에서 얻은

값이다. 표 2.3의 특징을 살펴보면 신뢰도의 증가폭보다는 가격의 증가폭이 높게 배정되어있다.<sup>[4]</sup>

표 2.2 실험 통신망 행렬표

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

표 2.3 연결형태 및 k-level

표현	신뢰도	가격
0	0.00	0
1	0.85	4
2	0.90	16
3	0.95	48

마지막으로 실험 통신망 행렬표를 유전자 형태로 표현하면 다음과 같이 생성되며 유전자 형태  $x$ 는 전체 통신망 구성을 나타내게 된다.<sup>[4]</sup>

$$\text{유전자 } x = (x_1, x_2, \dots, x_{10}) = (1001322203)$$

이때 주어진 문제는  $MIN: C(x)$  (단,  $R(x) \geq R_0$ )의 최적값을 찾는 문제로 해석되어진다.

### 5. 유전자 연산과 선택과정

본 논문에서는 유전자 알고리즘의 유전 연산자 중에서 가장 보편적인 일점 교배와 돌연변이를 사용하였다. 교배는 교배확률  $r_c$ 에 따라 임의의 한 점에서 이루어지며 돌연변이는 돌연변이 확률  $r_m$ 에 따라 0,1,2,3의 k-level 중에서 현재와 다른 값으로 변화가 일어난다.

선택과정에 있어서는 통신망 구성의 중요 요소인 신뢰도를 구속조건으로 이용하여 적합도를 부여하고 Roulette wheel 방식을 이용하게 된다. 이때 기존에 제안되었던 벌점함수를 기반으로 적합도를 부여하는 방법<sup>[4]</sup>과 본 논문이 제안하는 신뢰도에 기반하여 순위를 할당하고 순위에 의해 적합도를 부여하는 방법이 각각 시뮬레이션되어 비교 된다.

#### 5.1 벌점 함수에 기반한 적합도 부여 방식

벌점함수에 기반한 선택 방식은 모든 개체를 신뢰도 순으로 나열한 후 기준 신뢰도  $R_0$ 를 만족하는 개체와 만족하지 못하는 개체로 분류하게 된다. 기준 신뢰도를 만족하는 개체들은 일반 평가함수에 의해 적합도가 할당되지만 기준 신뢰도를 만족하지 못하는 개체들은 주어진 벌점함수에 의하여 높은 가격이 부여되고 그 결과 매우 낮은 적합도를 차지하게 된다. 마지막으로 Roulette wheel을 이용하여 개체의 선택이 이루어 지게 된다.

벌점함수는 다음과 같고  $r_b$ 는 벌점 rate,  $s$ 는 개체수,  $g$ 는 세대수를 나타낸다.

$$C_p(x) = C(x) + C(x^*) \times (1 + R_0 - R(x))^{(r_p + \frac{s \times g}{50})}$$

$C_p(x)$  : 별점 부여 후의 값

$C(x)$  : 현재까지의 최적해

$C(x^*)$  : 별점을 부여하기 전의 값

특징은 기준신뢰도와 현재신뢰도의 차 값인  $R_0 - R(x)$ 가 중요한 변수로 작용한다는 것이다. 또한 세대가 증가함에 따라 세대수  $g$ 가 증가하며 결과적으로 많은 세대를 지나는 동안에도 신뢰도를 만족하지 못하는 개체는 더욱 높은 별점을 받게 된다.

5.2 신뢰도에 기반한 순위 할당 방식

신뢰도에 기반한 순위 할당 방식은 모든 개체를 신뢰도 순으로 나열한후 기준신뢰도  $R_0$  을 만족하는 개체와 만족하지 못하는 개체를 분류하게 된다. 기준 신뢰도를 만족하는 개체는 역시 가격이 적은 순으로 순위를 할당하게 되지만 기준 신뢰도를 만족하지 못하는 개체의 경우는 신뢰도가 높은 개체에게 높은 순위를 부여하게 된다. 마지막으로 전체 순위를 통합하게 되면 모든 개체에 순위를 할당하게 된다.

이 방식은 신뢰도를 만족하지 못하는 개체의 경우에 가격보다는 현재 가지고 있는 신뢰도를 더욱 중요한 정보로 다루고 있으며 이 결과로 다음 세대에는 적절한 해의 발생이 어느 정도 보장된다.

선택과정에서는 순위가 할당되어 있는 개체들을 비선형 함수를 이용하여 선택하게 된다. 비선형 함수를 이용한 선택 방식은 선택 압력이 각 개체가 가지고 있는 순위에 따라 비선형적으로 증가하게 된다.

이때 각 개체가 가지게 되는 선택 압력은  $f(rank) = sp(1 - sp)^{rank-1}$  이고  $sp$ 는 선택압력 변수로써 0과 1범위에 있고  $sp$ 가 클수록 선택압력이 크게 된다.<sup>[1]</sup>

III. 결론

1. 최적 신뢰 통신망 검색

시뮬레이션을 위한 초기 변수는 표3.1과 같이 설정했다.

표 3.1 초기변수

표현	내용	실험
$s$	개체수	30
$r_c$	교배 확률	35 %
$r_m$	돌연변이 확률	0.25
$r_p$	별점 rate	6
$g$	세대	200
$sp$	선택 압력	0.1

시뮬레이션은 기준 신뢰도  $R_0 = 0.9$ ,  $R_0 = 0.95$ ,  $R_0 = 0.99$  에 따라 이루어 졌고 표 3.2와 표 3.3의 결과를 얻었다.

표 3.2 별점함수에 기반한 적합도 부여 방식 결과

$R_0$	$R(x)$	$C(x)$	$x$	최초 세대
0.9	0.9056808437	24	1001101101 1001110101	19
0.95	0.9514638625	40	2001111101 1001211101	15
0.99	0.9905997937	204	3003311301	67

표 3.3 신뢰도에 기반한 순위 할당 방식 결과

$R_0$	$R(x)$	$C(x)$	$x$	최초 세대
0.9	0.9056808437	24	1001110101 1001101101	9
0.95	0.9514638625	40	2001111101 1001211101	5
0.99	0.9905997937	204	3003311301	21

그림 3.1, 3.2, 3.3은 시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 통신망 형태로 나타낸 것이다.

각각의 표에서 확인 할 수 있듯이 기준신뢰도를 만족하는 최적 통신망은 최적 신뢰도와 최적 가격을 구성 값으로 한다. 이때 통신망 구성 형태는 유전자  $x$ 를 분석함으로써 확인 될 수 있다. 최적해의 최초 발생 세대는 알고리즘의 탐색 성능이 우수함을 알아보기 위한 요소이며 기존방식과 제안방식의 비교 기준이 된다.

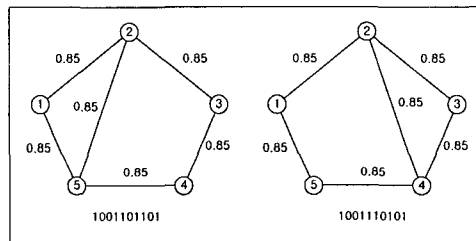


그림 3.1 기준신뢰도 = 0.9

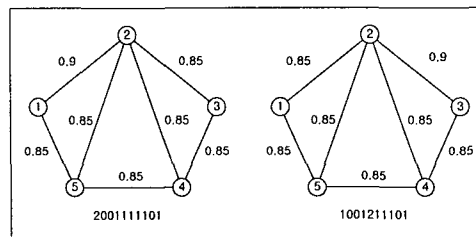


그림 3.2 기준신뢰도 = 0.95

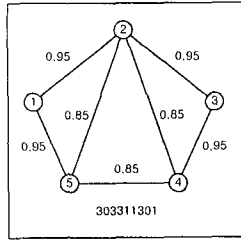


그림 3.3 기준신뢰도=0.99

각각의 그림은 기준신뢰도를 만족하는 최적 통신망의 형태이고 각 link가 가지고 있는 신뢰도 값을 표현해주었다. 특이할 사항은 기준 신뢰도 0.9인 그림 3.1의 경우 기본으로 주어진 link를 모두 사용하지 않고도 최적 신뢰도를 만족하는 통신망 구현이 있다. 결과적으로 신뢰도를 만족하는 통신망 구현이나 계산에 유전자 알고리즘의 활용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

2. 기존 방식과 제안 방식의 비교

별점 함수에 기반한 적합도 부여 방식의 경우 기준신뢰도와 현재신뢰도의 차이  $R_0 - R(x)$  값이 별점부수에 결정적 요소로 작용하고 있다. 또한 신뢰도를 기반으로 하는 순위할당 방식의 경우는 기준신뢰도  $R_0$ 가 중요 요소로써 작용하고 있다.

높은 신뢰도를 요구하는 통신망을 구현 할 때 기준신뢰도를 만족하는 우수한 개체가 출현하기까지 많은 세대가 소요되므로 전반적으로 알고리즘의 탐색 효율이 저하됨을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과를 그림 3.4의 그래프로 다시 나타내었다. 그림을 통해서 본 논문에서 제안하는 신뢰도를 기반으로 하는 순위할당 방식이 기존의 방식에 비하여 최적해를 찾는데 소요되는 세대가 적고 탐색 효율이 우수함을 알 수 있다.

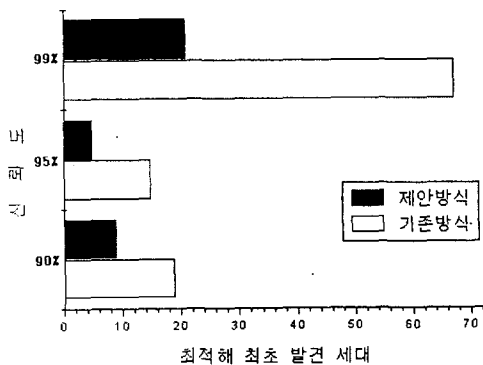


그림 3.4 기존방식과 제안방식 결과 비교

3. 향후 과제

향후 과제로는 알고리즘 활용 범위 향상을 위한 연구와 탐색 효율의 개선에 대한 연구가 지속적으로 이루어진다. 논문에서 제시한 통신망의 거리에 대한 해

석은 node와 node 간의 실제 거리값을 인정하지 않고 k-level로 정량화시키고 있다. 연구 과제는 node와 node 간의 거리값을 인정하여 최적 통신망을 구현함으로써 실제 활용 범위를 넓히는 것이다. 또한 본 논문에서는 순위 방식과 별점함수를 이용한 선택이 주요 알고리즘이지만 순위 방식과 결합하여 좋은 개체를 유지하고 탐색 효율을 증가시킬 수 있는 변형 유전자 알고리즘 등에 관한 연구가 더욱 필요하다.

참고문헌

[1] Zbigniew Michalewicz, Springer-Verlag, "Genetic Algorithms + Data structures = evolution Programs Second Extended Edition", Springer-Verlag, 1996.

[2] 키타노 히로야키, "유전자 알고리즘", 대청컴퓨터월드 1996.

[3] MITSUO GEN, "Genetic Algorithms and Engineering Design", A Wiley interscience publication, 1997.

[4] Darren L. Deeter and Alice E. Smith, "Heuristic optimization of network design considering all-terminal reliability", *Proceeding of the 1997 Annual reliability and Maintainability Symposium*, January 1997, 194-199.

[5] Darren L. Deeter and Alice E. Smith, "Economic design of reliable networks", *under revision for IIE Transactions*.

[6] Berry L.T.M., "An integrated GA(LP) approach to communication Network", *Baltzer Journals January 20*, 1998.

[7] S.P.Jain, Krishna Gopal, "An Efficient Algorithm for Computing Global Reliability of a Network", *IEEE TRANSACTION ON RELIABILITY VOL37 NO5*, 488p-492p.

[8] K.K.Aggarwai, Suresh Rai, "Reliability Evaluation in Computer - Communication Networks", *IEEE TRANSACTION ON RELIABILITY VOL R30*, 32p-35p.

[9] W. G. Schneeweiss, "Disjoint Boolean Products via Shannon's Expansion", *IEEE TRANSACTION ON RELIABILITY VOL R33*, 329p-332p.

[10] Scott Robert Ladd, "Genetic Algorithms in C++", M&T Books, 1996.