

碩士學位論文

최소비용을 갖는 메쉬망 설계
알고리즘

濟州大學校 大學院

電子工學科



1995年 12月

최소비용을 갖는 메쉬망 설계 알고리즘

指導教授 金 敬 植
張 景 勛

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1995年 12月



제주대학교 중앙도서관

張景勛의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

金 慶 淵



委 員

員

都 良 會



委 員

員

김 정 식



濟州大學校 大學院

1995年 12月

Mesh Network Design Algorithm with
Minimum Cost

Kyoung-Hun Chang

(Supervised by professor Kyung-Sik Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1995. 12.

차 례

Summary	1
I. 서 론	2
II. 기존 망 설계 알고리즘	4
III. 제안된 알고리즘	7
1. 제안된 알고리즘의 특징	7
2. 제안된 알고리즘의 입력 데이터 조건	8
1) 채널 조건	9
2) 트래픽(Traffic[i][j]) 조건	9
3) 링크 비용(Cost[i][j]) 조건	9
3. 제안된 알고리즘의 설계 단계	9
1) 1 단계 : 노드쌍 순서 결정	10
2) 2 단계 : 우회 노드 찾기	10
3) 3 단계 : 직접 링크 설치 결정	11
4. 성능 평가 요소	13
IV. 시뮬레이션 및 고찰	15
1. 제안된 알고리즘 설계 예 및 MENTOR 알고리즘과의 비교	15

1) 제안된 알고리즘의 설계 예	16
2) 표 4-1, 표 4-2를 이용한 MENTOR 알고리즘의 설계 결과 ...	21
2. MENTOR 알고리즘과 제안된 알고리즘의 설계 결과 비교	23
1) 표 4-9, 표 4-10을 이용한 MENTOR 알고리즘의 설계 결과 .	24
2) 표 4-9, 표 4-10을 이용한 제안된 알고리즘의 설계 결과	27
3. 트래픽이 랜덤할 때의 시뮬레이션 고찰	30
V. 결 론	32
참고문헌	33



Summary

In this paper, the problem of obtaining a minimum cost topology for mesh network given data specifying the cost of links between all pairs of nodes and the internode requirements is considered. The proposed algorithm can be applied to the mesh network in a unified manner. Among the cost conditions, the proposed algorithm is removed the triangle inequality. The computational complexity of the algorithm is order N^3 , where N is the number of nodes in the network. The performances of proposed algorithm are better than those of the MENTOR algorithm in the case of the cost and the reliability of network.



I. 서론

오늘날 정보량의 증가로 인해 많은 형태의 망이 생겨나고 있으며 정보 통신 기술은 급속도로 발전하고 있다. 망 구성 초기 단계에는 관리가 용이한 중앙집중 망을 이용하였으나, 현재는 각 망의 독립성과 효율성에 중점을 둔 분산망을 만들고자 노력하고 있다. 분산망은 일반적으로 신뢰성 및 시간 지연, 설계 시간 등의 제한 조건을 충족시키면서 최소 망 구축 비용을 갖는 형태로 설계하여야 한다. 분산망의 한 형태인 메쉬망 구성의 간단한 방법은 각 노드를 모두 연결하는 것이다. 이러한 연결 방법은 구성이 단순하고 자원의 공유가 효율적이지만, 비용 측면에서는 경제적이지 못하므로 이를 개선할 수 있는 방법이 요구된다. 가장 이상적인 망의 설계는 모든 설계 가능한 망의 형태를 구성한 후, 그 중에서 최소 망 구축 비용을 가지는 망을 선택하는 것이지만, 이 방법은 망 형태의 수가 매우 많기 때문에 현실적으로 부적합하다(Kershenbaum 등 1991), (Kershenbaum, 1993), (Van Norman, 1992). 이와 같은 이유로 해서, 많은 망 설계자들은 최단 시간에 최소 망 구축 비용에 가까운 망을 설계하기 위해 근사화된 구조에 대한 해석 방법을 사용하였으며 Kershenbaum(1993), Van Norman(1992), Garzia 등 (1990), 그중 가장 대표적인 것은 A. Kershenbaum 등에 의해 제안된 휴리스틱한 방법인 MENTOR(Mesh Network Topology Optimization and Routing) 알고리즘이다(Kershenbaum 등 1991), (Kershenbaum, 1993). 그런데, MENTOR 알고리즘은 계산 시간을 감소시키는 장점을 갖지만, 대체적으로 최소 망 구축 비용의 5% 이내의 오차를 가지는 문제점을 나타내었다(Kershenbaum 등 1991), (Kershenbaum, 1993), (Van Norman, 1992). 이러한 비용 오차는 소규모 망에서는 별로 큰 문제가 아니지만, 대규모 망에서는 무시할 수 없는 값이다. 또한 MENTOR 알고리즘은 두 개의 입력 데이터인 각 노드간의 트래픽 요구량과 링크 설치 비용 중에서 링크 설치 비용이 두 노드 사이를 연결할 때 우회 경로의 비용 합이 직접 링크로 연결하는 비용보다 항상 크거나 같다는 삼각 부등식을 만족하

여야 한다는 제한 조건이 있다.

본 논문에서는 망 설계 시간을 줄이기 위해 근사화된 구조 해석 방법을 사용함으로써 생긴 망 구축 비용의 오차를 최소로 하고, 링크 설치 비용이 삼각 부등식을 만족하지 않는 경우에도 설계 가능한 메쉬망 설계 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 특징은 직접 링크와 우회 경로를 고려할 때 노드쌍의 순서를 비용이 큰 것에서부터 설치함으로써 링크에 누적되는 트래픽을 적게 하여 경제적인 경로를 선택하게 하고, 또한 망 설계 결과를 단 한 번의 설계에 의해 최소 망 구축 비용에 가까운 값을 구한다. 설계 과정은 노드쌍 순서 결정, 우회 노드 찾기, 직접 경로 설치 단계의 3 단계로 이루어지며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘과 MENTOR 알고리즘의 망 구축 비용을 비교한 결과 제안된 알고리즘을 적용한 경우가 최소 망 구축 비용에 가까운 것을 확인하였다.

II. 기존 망 설계 알고리즘

기존의 망 설계에는 방법에는 시행착오적 설계(Manual design), 정칙 최적화 기법(Formal Optimization Techniques)을 이용한 정칙(formal) 계산 방법과 휴리스틱(Heuristic)한 방법 등이 있다.

일반적으로 시행착오적 설계 방법에 의해 대부분의 망들이 아직까지도 주먹구구식으로, 규칙 없이 만들어지고 있다(Kershenbaum, 1993). 이 방법의 가장 매력적인 장점은 유연성이 있다는 점이나, 정량적이지 못하다는 단점이 있다. 설계자의 주관적인 결정으로 비효율적이고, 때로는 객관적이지 못한 망을 설계한다. 이 때문에, 유사한 상황이 발생하였을 때 안정적인 설계를 반복하기 어렵다. 이런 이유로 인해 과거에 설계한 결과에서 얻은 자료가 다음 설계를 할 때 보다 좋은 설계를 하는데 도움을 주는 것이 어렵다. 망 설계 과정에서 실제적인 상황의 최적 값보다 설계자의 예상에 따라서 설계하는 경향이 있다. 특히, 외부에서 주어지는 트래픽과 같은 요구량 등이 변화여도 망 구조 내에서 그 변화에 대응하여 변하는 영향이 거의 없으므로, 이 방법은 중대한 설계 잘못을 할 수 있다.

정칙 최적화 방법에서 목적 함수를 비용이라 가정한다. 이 방법은 많은 해석 범위(solution space)를 가지고 있기 때문에 모든 망의 형태를 구성하여 최소 망 구축 비용을 갖는 망을 찾는 것은 어렵다(Kershenbaum, 1993). 정칙 최적화 방법은 시작 토폴로지(starting topology)를 정한 후 하나 또는 그 이상의 링크를 첨가하거나, 제거하여 망 구축 비용을 최소화시킨다. 정칙 최적화 기법은 메쉬망의 비용을 볼록(convex) 함수로 가정한다(Kershenbaum, 1993). 일반적으로 비용 함수는 비볼록(non-convex)함수이기 때문에, 시작 점(starting point)을 정하는 것은 매우 중요하며, 이 점을 움직여 가면서 최소 값을 찾는다. 이런 방법을 감소 방법(descend methods)이라 부른다. 일반적으로 비용 함수의 특징 때문에 어떤

시작점을 선택하였는가에 따라 함수 전체의 최소 값을 찾는 것이 아니라, 지역 최소값(local minimum)을 찾는 중대한 실수를 할 수 있다. 이런 정칙 최적화 방법의 중요한 문제점은 해석 범위와 목적 함수가 볼록 함수라는 점이다. 이 문제점은 어떤 시작 토폴로지와 시작점을 선택하는가에 따라 해결 할 수 있다 (Kershenbaum, 1993).

휴리스틱한 알고리즘은 정칙 최적화 방법의 많은 계산량을 갖는 문제점을 정량적이고 반복적인 방법을 사용함으로써, 실질적인 해석 계산에서 근사적인 값을 선택한다. 휴리스틱한 알고리즘은 실제적인 해석 결과에서 엄청난 많은 계산 시간과 자원들이 필요할 때 사용된다(Van Norman, 1992). 이 알고리즘은 노드의 연결 가능한 수와 가능한 망 토폴로지 구조를 다루기 쉬운 양으로 제한하여 사용하기 때문에, 모든 설계 가능한 형태의 망을 남김없이 평가하지 못한다. 이런 이유는 완전한 최소 비용을 갖는 망과 휴리스틱한 알고리즘에 바탕을 둔 망 구축 비용 사이의 차이에 대한 잠재적인 원인이다.

휴리스틱한 알고리즘의 대표적인 것은 MENTOR 알고리즘이다 (Kershenbaum 등 1991), (Kershenbaum, 1993). 계산량에서 MENTOR 이전 알고리즘이 $O(N^5)$: N 은 노드수인 정도를 요구하였으나, $O(N^2)$ 의 계산량으로 줄임으로써, 계산 시간의 문제를 해결하면서, 최소 망 구축 비용에 가까운 설계 결과 값을 구하였다(Kershenbaum 등 1991), (Kershenbaum, 1993), (Van Norman, 1992). 그러나, 이런 장점에도 불구하고, 트리 모양의 제약과 직접 링크 설치시의 비용 증가를 가져오는 삼각 부등식을 만족해야 한다는 제한 조건을 가지고 있다.

휴리스틱한 알고리즘의 결과는 최소 망 구축 비용에 대해 5%이내의 오차 값을 나타내었다. 최소 망 구축 비용의 5%이내의 차이는 소규모 망에서는 받아들일 수 있는 작은 손실이지만, 이 망 구축 비용 오차는 대규모의 망에서는 많은 손실을 나타낸다. 예로, 연간 1000만 달러를 지불하는 망에서 5%의 손실은 결과적으로 50만 달러의 손실이 생긴다(Van Norman, 1992).

위와 같은 알고리즘들의 문제점을 보완한 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 정칙 최적화 방법이 갖는 많은 계산량에 대한 문제점을 해석 범위(solution

space)를 한정시키므로써 계산량을 줄였으며, 대표적인 휴리스틱한 알고리즘인 MENTOR 알고리즘의 문제점인 삼각 부등식을 만족해야 한다는 제한 조건을 제거함으로써 최소 망 구축 비용에 가까운 메쉬망을 설계한다.

Ⅲ. 제안된 알고리즘

1. 제안된 알고리즘의 특징

제안된 알고리즘의 특징은 크게 두 가지로 말할 수 있다.

첫째는 직접 링크를 고려하는 노드쌍의 순서를 링크 설치 비용이 큰 순서로 정한다. 이는 직접 링크를 설치시 비용이 큰 링크를 먼저 고려하여 링크에 누적되는 트래픽을 적게 하며, 가능한 비용이 큰 링크를 설치하지 않는다. 또한 우회 경로를 선택할 때 역시 이 순서에 의해 설치를 함으로써 경제적인 경로를 선택하게 한다. 직접 링크 설치에 영향을 주는 우회 경로의 트래픽량은 자신이 가진 원래의 트래픽량에 직접 경로를 설치하지 못한 노드들로부터 넘겨받아 누적되는 트래픽량이다. 우회 경로의 트래픽량의 확률 분포가 균일하다고 가정하므로 이를 이용하여 확률적으로 링크 설치 비용이 적게 드는 것을 선택한다. 우회 경로의 트래픽 분포는 처음에는 불균일하지만 넘겨받은 트래픽에 의해 균일한 분포가 된다. 이런 균일한 분포가 되기 위해서는 넘겨받는 트래픽의 횟수가 많을수록 균일한 분포에 가까워진다. 그러기 때문에 노드가 많은 망일수록 더 균일한 트래픽 분포를 가진다. 이를 이용하여 우회 경로의 선택은 우회 가능한 노드 중에서 평균 추가 비용이 적은 경로를 선택한다. 이런 이유로 노드가 많은 망일수록 더 최소 망 구축 비용에 가까운 망을 설계할 수 있다.

둘째는 망 전체의 계산량에 영향을 주는 우회 경로의 계산량이 $O(N^3)$ 를 가진다. 이 계산량은 MENTOR 알고리즘의 계산량인 $O(N^2)$ 보다는 많으나, 실제로 보면 MENTOR 알고리즘은 alpha와 임계값(slack)을 변화시키면서 최적 값을 선택하는데, 만약 각 변수의 변화량을 0.01로 한다면 $10000 \cdot O(N^2)$ 의 계산량을 가

진다. 그러나, 제안된 알고리즘은 단 한번의 설계 결과로 최적에 가까운 값을 찾는다. 이런 계산량의 감소는 정칙 최적화 방법의 문제점인 많은 계산량을 해결하는 것으로, 이것은 설계 과정의 첫단계인 링크 설치 비용 순서를 이용하여 두 번째 단계인 우회 노드를 찾으므로 해석 범위(solution space)를 한정된 결과이다.

2. 제안된 알고리즘의 입력 데이터 조건

실제적으로 채널은 큐잉 지연(queueing delay), 블럭킹(blocking) 등에 의해 링크 용량 전부를 트래픽 전송에 이용할 수 없으며, 또한 오버헤드도 링크의 이용도를 감소시킨다. 트래픽은 양방향(bidirectional)성을 갖는다고 가정한다면, 회선 교환에서는 잘 적용되지만 패킷 교환에서는 그렇지 못하다. 그러나 패킷 교환도 케이블 구조로 적용될 수 있도록 할 수 있기 때문에 큰 문제는 없다. 일반적으로 링크 설치 비용은 각기 다른 용량을 가진 망에서는 3차원의 매트릭스가 되지만, 동일한 용량을 가진 망에서는 2차원 매트릭스의 형태를 가진다. MENTOR 알고리즘의 링크 설치 비용 조건은 다음과 같다. 첫째로, 거리에 따라 증가하는 함수이다. 일반적으로 링크 설치 비용은 길이가 증가하면 줄어드는 단위길이당 비용인 블록 함수이다. 둘째로, 삼각 부등식을 만족한다. 즉, 두 노드 사이에 직접 링크 설치 비용보다 다른 노드를 경유하여 연결된 링크 비용보다 크지 않다. 셋째로, 링크 설치 비용은 대칭이다. 실제적으로 MENTOR 알고리즘 조건들 중에서 직접 링크 설치 비용이 우회 경로의 비용 합보다 크다는 삼각 부등식 조건은 맞지 않다. 이 조건은 MENTOR 알고리즘에서 트리 찾기에 제한과 망 구축 비용의 증가를 가져오는 원인이 된다(Kershenbaum 등 1991), (Kershenbaum, 1993).

제안된 알고리즘은 최소 망 구축 비용을 구하기 위해 망 설계 과정에서의 계산 시간에 대한 문제점을 해결하고, 대표적인 휴리스틱한 알고리즘인 MENTOR 알고리즘의 문제점인 삼각 부등식을 만족한다는 제한 조건을 제거하여 다음과 같이 가정한다.

1) 채널 조건

(1) 각 채널은 동일한 용량을 가진다.

(2) 채널 용량은 큐잉 지연과 블럭킹을 발생하지 않은 범위까지만 사용한다고 가정한다. 채널 용량의 사용 한계를 이용도*채널 용량이라 하고 이 범위에서 지연과 블럭킹은 일어나지 않는다고 가정한다. 본 논문에서는 이용도를 1로 가정하여 채널 용량 전부가 트래픽 전송에 이용된다고 가정한다.

2) 트래픽(Traffic[i][j]) 조건

(1) 각 노드는 근원지(source)와 목적지(destination) 역할을 모두 할 수 있다.

(2) Traffic[i][j]는 i노드와 j노드 사이에 요구되는 트래픽 양을 나타내는 행렬 값이며, 트래픽은 양방향으로 전송될 수 있다.

3) 링크 비용(Cost[i][j]) 조건

(1) 링크 비용(Cost[i][j])은 거리에 비례하여 증가한다.

(2) 링크 비용은 노드 i와 노드 j에 대해 대칭(symmetric)이다.

3. 제안된 알고리즘의 설계 단계

제안된 알고리즘의 설계 단계는 입력 데이터 조건에 의해 주어진 데이터를 이용하여, 노드쌍 순서 결정, 우회 노드 찾기, 직접 링크 설치 결정 단계 등의 3 단계로 구성된다. 노드쌍의 순서 결정은 퀵(Quick) 소트를 이용하여 노드쌍을 링크 설치 비용이 큰 순서로 배열한다. 두 번째 단계인 우회 노드 찾기에서는 우회

노드의 링크 설치비용합을 이용하여 우회 노드를 찾는다. 설계의 마지막 단계인 직접 경로 결정 단계에서 3 가지의 조건식을 제시하고, 이를 이용하여 직접 경로를 선택한다.

1) 1 단계 : 노드쌍 순서 결정

- (1) 링크 비용(Cost[i][j])이 대칭이므로 $N*(N-1)/2$ 개의 링크만을 사용
- (2) 노드쌍의 비용이 큰 것부터 작은 순으로 결정

2) 2 단계 : 우회 노드 찾기

1 단계에서 구한 노드쌍의 순서로 구하는데, 식(3-1)을 만족하는 경우에만 우회 노드를 가진다. 식(3-1)은 노드 i 와 노드 j 사이의 우회 노드를 찾을 때 노드 i, j를 제외한 나머지 노드인 k를 변화시켜 가면서 우회 경로 설치비용합이 최소인 우회 경로를 가지는 노드를 선택한다. 우회 노드를 선택하는 과정중 두 노드 사이에서 직접 링크를 설치하는 비용과 비교하여 우회 경로 상의 링크 설치 비용 중 어느 하나라도 큰 경우에 이 노드쌍은 우회 노드를 가지지 않는다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min}[\text{Cost}[i][k] + \text{Cost}[k][j]] \\ \text{Cost}[i][j] > \text{Cost}[i][k] \\ \text{Cost}[i][j] > \text{Cost}[k][j] \end{array} \right. \quad (3-1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min}(x) : x\text{의 최소값} \\ 0 \leq k < N, \quad i \neq k, \quad j \neq k \\ N : \text{노드수} \end{array} \right.$$

3) 3 단계 : 직접 링크 설치 결정

직접 링크 설치 순서는 1 단계에서 구한 비용이 큰 노드쌍으로부터 시작한다. 2 단계에서 구한 우회 노드와 다음의 3 개의 조건식에 의해 직접 경로 설치 여부를 결정한다. 각 링크에 설치되는 채널 수는 식(3-2)을 만족한다. 식(3-2)은 두 노드사이 원래의 트래픽과 다른 링크에서 넘겨받은 트래픽량의 합을 채널 용량으로 나눈 값으로 그 수를 넘지 않는 최대 정수의 값이다.

$$\text{채널수} = \lceil (Traffic[i][j] + H) / Cap \rceil \quad (3-2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Cap : \text{채널 용량} \\ H : \text{넘겨 받는 트래픽} \\ \lceil \rceil : \text{그 수를 넘지 않는 최대 정수} \end{array} \right.$$

(1) 트래픽 요구량이 링크 용량을 초과하는 경우

<조건식 1>

직접 링크 설치 비용을 우회 경로 비용 합에 대해 비교하여 작은 경우에 직접 링크를 설치하고, 만족하지 않으면 우회 경로로 선택된 노드쌍에게 트래픽량을 넘겨준다.

$$Cost[i][j] \leq Cost[i][k] + Cost[k][j] \quad (3-3)$$

k : 우회 노드

<조건식 2>

조건식 1에서 직접 링크를 선택하고 남은 트래픽 요구량에 대한 직접 링크 설정 여부를 결정한다. 트래픽 요구량이 우회 경로를 통해 전송될 때 추가되는 링크 설치 비용의 평균 설치 비용은 트래픽요구량을 채널 용량으로 나눈 값에 우회 경로 비용을 곱한 값이다. 이 평균 설치 비용보다 직접 링크 설치 비용이 작을 때는 직접 링크를 설치한다.

$$\begin{aligned} \text{Cost}[i][j] & \\ & \leq (\text{Cost}[i][k] + \text{Cost}[k][j]) & (3-4) \\ & * (\text{Traffic}[i][j] + H) / \text{Cap} \end{aligned}$$

$\left\{ \begin{array}{l} k : \text{우회 노드} \\ H : \text{넘겨 받는 트래픽 요구량} \\ \text{Cap} : \text{채널 용량} \end{array} \right.$

(2) 트래픽 요구량이 링크 용량보다 작을 경우

<조건식 3>

트래픽 요구량이 우회 경로를 통해 전송될 때 추가되는 링크 설치 비용의 평균 설치 비용, 직접 링크 설치 비용이 작을 때는 직접 링크를 설치한다.

$$\begin{aligned} \text{Cost}[i][j] & \\ & \leq (\text{Cost}[i][k] + \text{Cost}[k][j]) & (3-5) \\ & * (\text{Traffic}[i][j] + H) / \text{Cap} \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k : \text{우회 노드} \\ H : \text{넘겨 받는 트래픽 요구량} \\ Cap : \text{채널 용량} \end{array} \right.$$

4. 성능 평가 요소

성능 평가 요소로 메쉬망 설계의 관점은 망 구축 비용, 시간 지연에 영향을 주는 망 전체 트래픽 요구량과 망의 신뢰성을 알 수 있는 연결 노드쌍 등이 있다.

망 구축 비용은 주어진 트래픽 요구량을 만족하는 메쉬망을 구성할 때, 연결하는 모든 링크 회선 비용을 합한 값이다. 시간 지연에는 노드 상에서 일어나는 큐잉 지연(queueing delay), 블록킹(blocking)과 채널 상의 시간 지연이 있다. 시간 지연은 노드에서 일어나고 채널 상에서는 발생하지 않는다고 가정한다. 노드의 최대 시간 지연을 고려하지 않고, 평균 시간 지연을 성능 요소로 고려한다. 노드에서 처리되는 평균 시간 지연을 줄이기 위해 망의 모든 노드에서 처리해야 하는 총 트래픽 요구량을 고려한다. 신뢰성은 노드와 노드 사이에 연결된 링크 수를 성능 평가 요소로 고려한다. 이는 노드쌍 사이의 링크가 파괴되더라도 다른 노드쌍과 연결된 링크가 존재한다면 전송을 할 수 있기 때문이다. 같은 노드쌍 사이에 다중 채널이 설치되더라도 1로 계산한다. 즉, 신뢰성은 연결된 노드쌍의 개수로 평가할 수 있다.

망을 설계하는데 주어진 조건들을 만족하면서 최소 망 구축 비용을 갖는 망을 설계한다. 시간 지연에 관계되는 총 트래픽 요구량은 노드에서 처리되는 평균 처리 시간을 줄이기 위해 적을수록 좋다. 신뢰성을 나타내는 연결 노드쌍은 많을수록 망의 신뢰성이 증가하므로 많을수록 좋다. 그러나 이러한 망의 성능 평가 요소는 서로 상충 관계(trade-off)를 가지므로 이들을 모두 최적화 하는 것은 어

럽다. 이러한 성능 평가 요소를 가지고 MENTOR 알고리즘과 제안된 알고리즘의 설계 결과를 비교한다.



IV. 시뮬레이션 및 고찰

1. 제안된 알고리즘 설계 예 및 MENTOR 알고리즘과의 비교

제안된 알고리즘과 MENTOR 알고리즘의 객관적인 비교를 위해 MENTOR 논문의 입력 데이터를 이용하였으며 입력 데이터들은 노드와 노드사이의 값이다 (Kershenbaum 등 1991).

Table 4-1. The traffic requirements

노드	0	1	2	3	4	5
0	0	23	23	20	6	22
1	23	0	7	7	8	8
2	13	7	0	20	13	7
3	20	7	20	0	23	4
4	6	8	13	23	0	10
5	22	8	7	4	10	0

Table 4-2. The link costs

노드	0	1	2	3	4	5
0	0	1446	1307	2254	1074	80
1	1446	0	271	1473	1468	1526
2	1307	271	0	1723	1528	1387
3	2254	1473	1723	0	1422	2334
4	1074	1468	1528	1422	0	1154
5	80	1526	1387	2334	1154	0

1) 제안된 알고리즘의 설계 예

(1) 1 단계 : 노드쌍 순서 결정

첫째 : 링크 비용(Cost[i][j])이 대칭이므로 $N*(N-1)/2$ 개의 링크만을 사용

노드 : 6 개

$$N * (N - 1)/2 = 6 * (6-1)/2 = 15$$

이므로 노드쌍의 순서를 결정하는 것은 15개이면 된다.

둘째 : 노드쌍의 설치 비용이 큰 것에서 작은 순으로 결정

Table 4-3. The sorting of link costs

번호	노드쌍	링크 비용
0	3 --- 5	2334
1	0 --- 3	2254
2	2 --- 3	1723
3	2 --- 4	1528
4	1 --- 5	1526
5	1 --- 3	1473
6	1 --- 4	1468
7	0 --- 1	1446
8	3 --- 4	1422
9	2 --- 5	1387
10	0 --- 2	1307
11	4 --- 5	1154
12	0 --- 4	1074
13	1 --- 2	271
14	0 --- 5	80

(2) 2 단계 : 우회 노드 찾기

1 단계에서 구한 노드쌍의 순서를 이용하여 우회 노드를 찾는다. 식(3-1)을 만족하는 경우에만 우회 노드를 가진다. 식(3-1)을 만족하지 않는 노드쌍은 우회 노드를 가지지 않는다. 조건식에 의해 우회 노드를 갖는 경우는 표 4-4에 설명하였으며, 우회 노드를 갖지 않는 경우에 대해서는 표 4-5에 나타내었다.

Table 4-4. The circuit node of example 1

노드쌍	설치 비용	우회 노드	우회 노드 설치 비용	결정된 우회 노드
3 --- 5	2334	0	2254 --- 80	0
		1	1473 --- 1526	
		2	1723 --- 1387	
		4	1422 --- 1154	

표 4-4의 결과는 가장 링크 설치 비용이 큰 노드쌍 (3 -- 5)에 대해 우회 경로를 결정하는 것으로 우회 노드의 연결 비용합 중에서 가장 작은 노드를 선택하였다. 선택된 우회 노드는 0 으로 3 -- 0 -- 5의 우회 경로를 찾는다.

Table 4-5. The circuit node of example 2

노드쌍	설치 비용	우회 노드	우회 노드 설치 비용	결정된 우회 노드
3 --- 4	1422	0	2254 --- 1446	없음
		1	1473 --- 1468	
		2	1723 --- 1528	
		5	2334 --- 1154	

표 4-5의 우회 노드를 결정하는 과정을 보면 노드쌍 (3 -- 4)에 대해 우회 경로의 비용의 합 중에 가장 적은 것은 노드 1 이지만, 식(3-1)의 조건 중의 하나인 우회 노드의 링크 비용중 어느 하나라도 우회 노드를 요구하는 노드쌍의 링크 비용보다 커서는 안된다는 조건을 만족하지 못하므로 우회 노드를 가지지 못한다.

이러한 과정을 1 단계에서 결정된 링크 설치 비용의 크기로 순서가 결정난 노드쌍의 순서를 이용하여 우회 경로의 노드를 찾아서 표 4-6에 나타내었다.

Table 4-6. The circuit nodes

번호	노드쌍	우회 노드
0	3 --- 5	0
1	0 --- 3	4
2	2 --- 3	1
3	2 --- 4	1
4	1 --- 5	0
5	1 --- 3	4
6	1 --- 4	0
7	0 --- 1	2
8	3 --- 4	
9	2 --- 5	0
10	0 --- 2	
11	4 --- 5	0
12	0 --- 4	
13	1 --- 2	
14	0 --- 5	

(3) 3 단계 : 직접 링크 설치 결정

직접 링크 설치 순서는 1 단계에서 구한 링크 설치 비용이 큰 노드쌍의 순서대로 시작한다. 이 과정에서 2 단계에서 구한 우회 노드를 같이 이용한다. 직접

링크를 설치할 것인지, 우회 노드를 이용하여 우회 경로를 이용할 것인가는 주어진 3 개의 조건식에 의해 결정한다. 설치된 각 링크의 채널 수는 식(3-2)을 만족한다.

Table 4-7. The result using the proposed algorithm

순서	노드쌍	우회 노드	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	링 크 비 용	전체 비용 (링크 비용 * 채널수)
0	3 -- 5	0	0	0	0	2334	0
1	0 -- 3		1	24	24	2254	2254
2	2 -- 3	1	0	0	24	1723	2254
3	2 -- 4	1	0	0	24	1528	2254
4	1 -- 5	0	0	0	24	1526	2254
5	1 -- 3		1	24	48	1473	3727
6	1 -- 4		1	24	72	1468	5195
7	0 -- 1		1	24	96	1446	6641
8	3 -- 4		2	26	122	1422	9485
9	2 -- 5	0	0	0	122	1387	9485
10	0 -- 2		2	37	159	1307	12099
11	4 -- 5	0	0	0	159	1154	12099
12	0 -- 4		1	16	175	1074	13173
13	1 -- 2		2	47	222	271	13715
14	0 -- 5		3	51	273	80	13955

표 4-7의 결과는 채널 용량을 24로하여 설계하였는데, 전체 망 구축 비용은 13955를 나타내며, 신뢰성을 결정하는 노드쌍의 연결 개수는 9를 가지며, 시간 지연에 영향을 주는 전체 트래픽 요구량은 273을 나타내었다. 그림 4-1은 제안된 알고리즘의 최종 설계 결과이다.

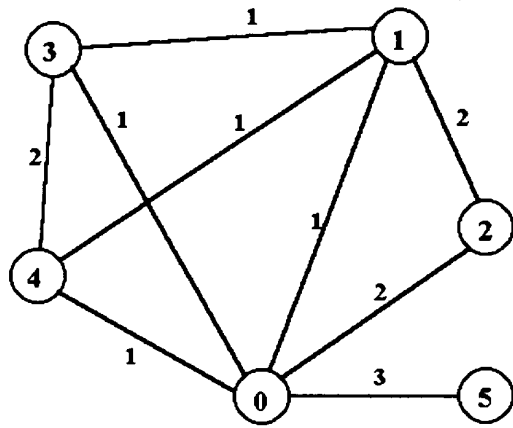


Fig. 4-1. The final design using the proposed algorithm.



2) 표 4-1, 표 4-2를 이용한 MENTOR 알고리즘의 설계 결과

◇ 채널 용량은 24를 이용한다.

◇ $0 \leq \alpha < 1$, $0 \leq \text{slack} < 1$ 을 각각 0.1 단위로 사용

Table 4-8. The result using the MENTOR algorithm

노드쌍	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	링크 비용	전체 비용 (링크 비용 * 채널수)
0 -- 1	1	24	24	1446	1446
0 -- 2	2	37	61	1307	4060
0 -- 3	1	24	85	2254	6314
0 -- 4	1	16	101	1074	7388
0 -- 5	3	51	152	80	7628
1 -- 2	2	29	181	271	8170
2 -- 3	1	24	205	1723	9893
2 -- 4	1	24	229	1528	11421
3 -- 4	2	26	255	1422	14265

표 4-8의 설계 결과는 각 변수를 0.1 단위로 변화시켜 망을 구하기 때문에 100개의 망을 구성한 다음 망 구성비용이 최소인 것을 선택하였다. 노드 6개를 가지는 망의 설계 결과는 중심 노드가 0이고, α 는 0.0, 임계값(slack)은 0.6을 가지고, 망 구축 비용은 14265, 망 전체 트래픽 요구량은 255, 망 신뢰성을 나타내는 노드쌍의 연결 개수는 9개를 가진다. 그림 4-2는 노드 6개를 가지는 MENTOR 알고리즘의 최종 설계 결과이다.

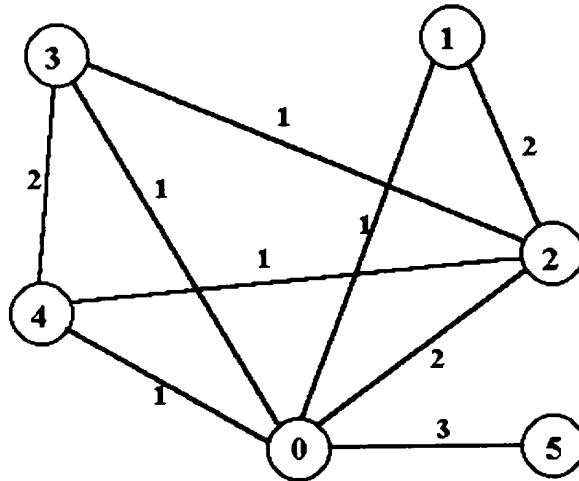


Fig. 4-2. The final design using the MENTOR algorithm.



노드 6개를 가진 입력 데이터(표 4-1, 표 4-2)를 이용하여 설계한 결과는 다음과 같다(Kershenbaum 등 1991). 제안된 알고리즘의 망 구축 비용은 13955를 가지고, MENTOR 알고리즘은 14265의 망 구축 비용을 가진다. 그리고 IBM Watson 연구소에서 개발한 설계툴을 이용한 설계 결과는 14015이다(Kershenbaum 등 1991). 제안된 알고리즘의 설계 결과는 다른 알고리즘에 비해 각각 2%와 0.5%의 망 구축 비용에 대한 이득을 보여준다.

2. MENTOR 알고리즘과 제안된 알고리즘의 설계 결과 비교

참고 문헌의 예제 7.9에 입력 데이터로 노드를 미국의 10개 도시로 하는 데이터를 이용하여 설계한다(Kershenbaum, 1993).

◇ 입력 데이터

Table 4-9. The traffic requirements

노드	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80
1	80	0	80	80	80	80	80	80	80	80
2	80	80	0	80	80	80	80	80	80	80
3	80	80	80	0	80	80	80	80	80	80
4	80	80	80	80	0	80	80	80	80	80
5	80	80	80	80	80	0	80	80	80	80
6	80	80	80	80	80	80	0	80	80	80
7	80	80	80	80	80	80	80	0	80	80
8	80	80	80	80	80	80	80	80	0	80
9	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0

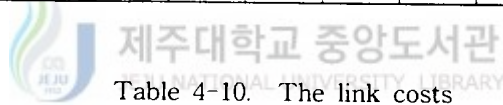


Table 4-10. The link costs

노드	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	8308	3130	5242	1231	2440	8275	5101	5731	7396
1	8308	0	6199	5104	8137	6910	1309	4699	4597	2062
2	3130	6199	0	3802	2989	1708	6187	3394	4129	5332
3	5242	5104	3802	0	5017	4294	4927	1672	1567	4042
4	1231	8137	2989	5017	0	2320	8098	4888	5509	7213
5	2440	6910	1708	4294	2320	0	6895	3976	4690	6037
6	8275	1309	6187	4927	8098	6895	0	4558	4402	1915
7	5101	4699	3394	1672	4888	3976	4558	0	1747	3646
8	5731	4597	4129	1567	5509	4690	4402	1747	0	3538
9	7396	2062	5332	4042	7213	6037	1915	3646	3538	0

1) 표 4-9, 표 4-10을 이용한 MENTOR 알고리즘의 설계 결과

◇ 채널 용량은 336을 사용

◇ $0 \leq \alpha < 1$, $0 \leq \text{slack} < 1$ 을 0.1 단위로 사용

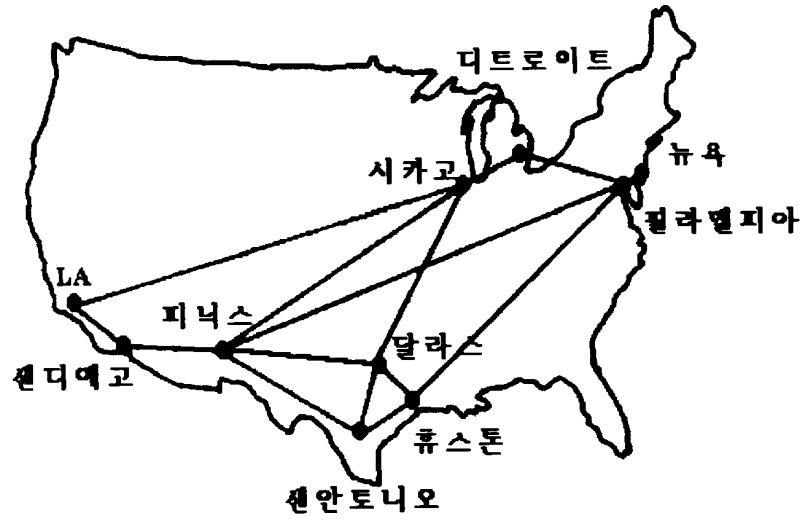
Table 4-11(a). The result using the MENTOR algorithm

노드쌍	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	링크 비용	전체 비용 (링크 비용 * 채널수)
0 -- 1	0	0	0	8308	0
0 -- 2	0	0	0	3130	0
0 -- 3	0	0	0	5242	0
0 -- 4	3	720	720	1231	3693
0 -- 5	0	0	720	2440	3693
0 -- 6	0	0	720	8275	3693
0 -- 7	0	0	720	5101	3693
0 -- 8	0	0	720	5731	3693
0 -- 9	0	0	720	7396	3693
1 -- 2	1	320	1040	6199	9892
1 -- 3	0	0	1040	5104	9892
1 -- 4	0	0	1040	8137	9892
1 -- 5	0	0	1040	6910	9892
1 -- 6	2	400	1440	1309	12510
1 -- 7	0	0	1440	4699	12510
1 -- 8	0	0	1440	4597	12510
1 -- 9	0	0	1440	2062	12510
2 -- 3	0	0	1440	3802	12510
2 -- 4	0	0	1440	2989	12510
2 -- 5	4	1040	2480	1708	19342
2 -- 6	0	0	2480	6187	19342

Table 4-11(b). The result using the MENTOR algorithm

노드쌍	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	링크 비용	전체 비용 (링크 비용 * 채널수)
2 -- 7	2	640	3120	3394	26130
2 -- 8	0	0	3120	4129	26130
2 -- 9	1	320	3440	5332	31462
3 -- 4	1	320	3760	5017	36479
3 -- 5	0	0	3760	4294	36479
3 -- 6	0	0	3760	4927	36479
3 -- 7	2	384	4144	1672	39823
3 -- 8	2	624	4768	1567	42957
3 -- 9	0	0	4768	4042	42957
4 -- 5	2	640	5408	2320	47597
4 -- 6	0	0	5408	8098	47597
4 -- 7	0	0	5408	4888	47597
4 -- 8	0	0	5408	5509	47597
4 -- 9	1	320	5728	7213	54810
5 -- 6	0	0	5728	6895	54810
5 -- 7	0	0	5728	3976	54810
5 -- 8	0	0	5728	4690	54810
5 -- 9	0	0	5728	6037	54810
6 -- 7	0	0	5728	4588	54810
6 -- 8	0	0	5728	4402	54810
6 -- 9	3	960	6688	1915	60555
7 -- 8	1	336	7024	1747	62302
7 -- 9	0	0	7024	3646	62302
8 -- 9	3	720	7744	3538	72916

표 4-11의 설계 결과는 중심 노드는 7을 가지고, α 는 0.0, 임계값(slack)은 0.8을 가지는 메쉬망이 설계된다. 망 설계의 최대 관심인 최소 망 구축 비용은 72916, 시간 지연에 영향을 주는 전체 트래픽 요구량은 7744, 망의 신뢰성에 영향을 주는 연결된 노드쌍의 수는 14개를 가진다. 그림 4-3은 MENTOR 알고리즘의 최종 설계 결과이다.



노드	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
도시	뉴욕	LA	시카고	휴스턴	필라델피아	디트로이트	샌디에고	달라스	샌안토니오	피닉스

Fig. 4-3. The final mesh network design using the MENTOR algorithm.

2) 표 4-9, 표 4-10을 이용한 제안된 알고리즘의 설계 결과

◇ 채널 용량은 336을 이용.

Table 4-12(a). The result using the proposed algorithm

순서	노드쌍	우회 노드	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	링 크 비 용	전체 비용 (링크 비용 * 채널수)
0	0 --- 1	2	0	0	0	8308	0
1	0 --- 6	9	0	0	0	8275	0
2	1 --- 4	2	0	0	0	8137	0
3	4 --- 6	9	0	0	0	8098	0
4	0 --- 9	4	0	0	0	7396	0
5	4 --- 9	2	1	320	320	7213	7213
6	1 --- 5	2	0	0	320	6910	7213
7	5 --- 6	2	0	0	320	6895	7213
8	1 --- 2	9	1	320	640	6199	13412
9	2 --- 6	9	0	0	640	6187	13412
10	5 --- 9	2	0	0	640	6037	13412
11	0 --- 8	4	0	0	640	5731	13412
12	4 --- 8	3	0	0	640	5509	13412
13	2 --- 9	7	1	320	960	5332	18744
14	0 --- 3	4	0	0	960	5242	18744
15	1 --- 3	9	0	0	960	5104	18744
16	0 --- 7	4	0	0	960	5101	18744
17	3 --- 4	7	1	320	1280	5017	23761
18	3 --- 6	9	0	0	1280	4927	23761
19	4 --- 7	5	0	0	1280	4888	23761
20	1 --- 7	9	0	0	1280	4699	23761

Table 4-12(b). The result using the proposed algorithm

순서	노드쌍	우회 노드	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	링 크 비 용	전체 비용 (링크 비용 * 채널수)
21	5 --- 8	7	0	0	1280	4690	23761
22	1 --- 8	9	0	0	1280	4597	23761
23	6 --- 7	9	0	0	1280	4588	23761
24	6 --- 8	9	0	0	1280	4402	23761
25	3 --- 5	2	0	0	1280	4294	23761
26	2 --- 8	7	0	0	1280	4129	23761
27	3 --- 9	8	0	0	1280	4042	23761
28	5 --- 7	2	1	320	1600	3976	27737
29	2 --- 3	7	0	0	1600	3802	27737
30	7 --- 9	8	1	240	1840	3646	31383
31	8 --- 9		2	480	2320	3538	38459
32	2 --- 7		1	320	2640	3394	41853
33	0 --- 2	5	0	0	2640	3130	41853
34	2 --- 4	5	0	0	2640	2989	41853
35	0 --- 5	4	1	240	2880	2440	44293
36	4 --- 5		2	400	3280	2320	48933
37	1 --- 9	6	1	320	3600	2062	50995
38	6 --- 9		2	640	4240	1915	54825
39	7 --- 8	3	1	240	4480	1747	56572
40	2 --- 5		3	720	5200	1708	61696
41	3 --- 7		1	240	5440	1672	63368
42	3 --- 8		2	480	5920	1567	66502
43	1 --- 6		1	80	6000	1309	67811
44	0 --- 4		2	480	6480	1231	70273

표 4-12의 설계 결과는 망 설계의 최대 관심인 최소 설계 비용은 70273, 시간 지연에 영향을 주는 전체 트래픽량은 6480, 망의 신뢰성에 영향을 주는 연결된 노드쌍의 수는 18개를 가진다. 그림 4-4는 제안된 알고리즘의 최종 설계 결과이다.

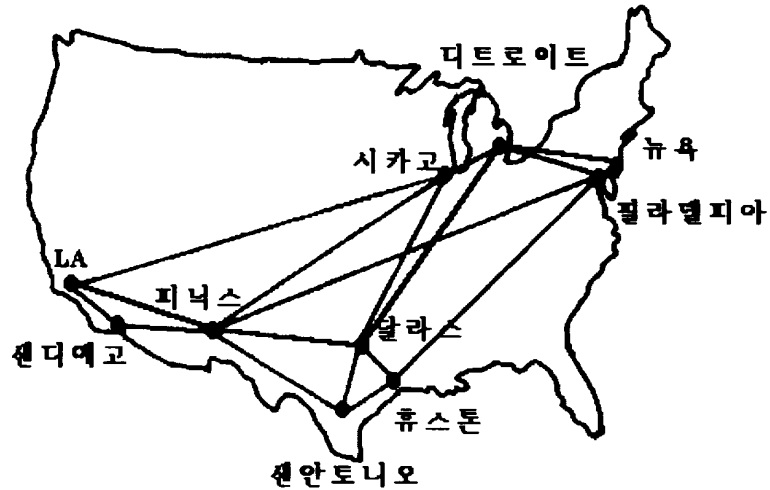


Fig. 4-4. The final mesh network design using the proposed algorithm.



MENTOR 알고리즘은 망의 형태를 구성하는데 영향을 주는 변수인 alpha와 임계값(slack)을 0.1 단위로 변화시키면서 설계하므로 100개의 망을 구성한다. MENTOR 알고리즘은 이런 100개의 망 설계 중에서 망 구축 비용이 최소 값인 것을 선택하였고, 제안된 알고리즘은 한 번의 설계 결과 값이다.

미국의 10개 도시를 노드로 하는 입력 데이터(표 4-9, 표4-10)를 사용한 결과는 제안된 알고리즘이 MENTOR 알고리즘에 비해 3.6%의 망 구축 비용 이득을 나타냈다(Kershenbaum, 1993). 또한, 신뢰성의 측정 요소인 연결 노드쌍에서는

14개를 가진 MENTOR의 설계보다는 제안된 알고리즘의 경우 18개로 신뢰성을 증가시켰으며, 전체 트래픽 요구량은 감소는 노드에서 처리되는 트래픽 요구량을 줄이므로 노드상에서 일어나는 시간 지연을 줄이므로 전체적인 망의 시간 지연을 줄이는 결과를 나타내었다.

설계 결과 비교에서 제안된 알고리즘은 설계 목적인 최소 망 구축 비용을 갖는 설계에서 MENTOR 알고리즘보다 우수함을 나타내었다. 대체로 서로 상충 관계(trade-off)에 있는 다른 망 성능 평가 요소에 대해서도 우수한 결과를 나타내었다.

3. 트래픽이 랜덤할 때의 시뮬레이션 고찰

본 절에서는 MENTOR 알고리즘과 제안된 알고리즘의 상대적인 비교를 통해 제안된 알고리즘이 망 구축 비용 측면에서 우수한 설계를 할 수 있음을 나타내었다.

노드가 많이 설치된 망에 대해서 알아보기 위해 노드가 10개 이상인 것에 대해서 시뮬레이션을 하였다. MENTOR 알고리즘과 비교를 위해 노드에서의 설치 비용은 삼각 부등식을 만족하는 값을 랜덤하게 발생하여 이용하였으며, 이 설치 비용에 대해 트래픽을 랜덤하게 발생시켜서 입력 트래픽으로 이용하였다.

그림 4-5의 시뮬레이션의 결과는 MENTOR 알고리즘의 결과 값을 100으로 기준을 정한 후 망 구축 비용, 시간 지연에 관계 있는 전체 트래픽 요구량과 망의 신뢰성을 나타내는 연결 노드쌍의 수에 대해 제안된 알고리즘을 비교하였다. 성능 평가 요소 중 망 구축 비용을 보면 노드가 12개, 13개인 경우에 다소의 증가함을 보였으나, 노드가 14개 이상인 망에 대해서는 MENTOR 알고리즘에 비해서 약 2%정도의 망 구축 비용의 감소를 나타냈다. 신뢰성을 나타내는 연결 노드쌍의 수는 전체적으로 증가함을 보이고 있다. 망에서 시간 지연에 영향을 주는 전체 트래픽 요구량은 노드수가 15개에서 17개는 감소를 하였으나, 18개 이상에

서는 증가함을 보였다. 망의 성능을 평가하는 요소들은 모두가 상충 관계 (trade-off)에 있기 때문에 이를 모두 만족할 수는 없다. 노드수가 증가할수록 제안된 알고리즘은 망의 설계 목적인 최소 망 구축 비용에 대해서 MENTOR 알고리즘보다 최소 망 구축 비용에 가까운 망을 설계할 수 있다.

MENTOR 알고리즘은 계산량이 $O(N^2)$ 이나, 트리 구조를 결정하는 변수인 alpha와 직접 링크를 설치하는 임계값(slack)을 각각 0.1씩 증가시키면서 최소 망 구축 비용을 찾기 때문에 100개의 망 형태를 설계한 후 최소 망 구축 비용을 가지는 망을 선택하였다(Kershenbaum 등 1991), (Kershenbaum, 1993). 그러나, 제안된 알고리즘은 계산량이 $O(N^3)$ 이지만, 단 한 번의 망 설계 결과 값을 사용하기 때문에 실제의 설계 소요 시간이 MENTOR 알고리즘보다 적다고 말할 수 있다.

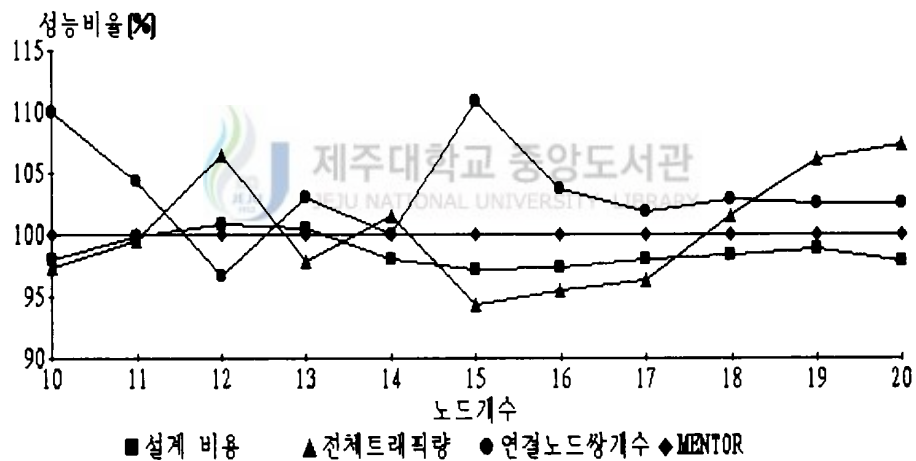


Fig. 4-5. The result of the simulation.

V. 결 론

본 논문에서는 단일 채널 용량을 이용한 메쉬망 설계에서 적은 설계 시간으로 망 구축 비용을 최소로 하는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 MENTOR 알고리즘의 문제점인 트리 모양의 제약과 직접 링크 설치시의 비용 증가를 줄이기 위하여 삼각 부등식을 만족하여야 한다는 제한 조건을 제거하였다. 즉, 직접 링크를 고려하는 노드쌍의 순서를 비용이 큰 것에서부터 고려함으로써 링크에 누적되는 트래픽을 적게 하여 비용이 큰 링크의 설치를 적게 하였다. 그리고, 우회 경로의 설치도 노드쌍의 비용이 큰 순서로 결정하므로써 경제적인 경로를 선택하게 하여 전체적으로 망 설계 비용의 감소를 나타내었다. 특히 많은 노드로 이루어진 망 설계에는 MENTOR 알고리즘보다 망 구축비용면에서 우수한 설계 결과를 보여준다. 또한 신뢰성을 나타내는 연결 노드쌍의 개수는 전체적으로 증가하여 보다 신뢰성 있는 망을 설계할 수 있음을 보였다. 이러한 시뮬레이션의 결과들은 계산 시간의 증가 없이 삼각 부등식을 만족하지 않는 경우에도 적용 가능한 범위를 확장하여 설계 가능성을 보여주었다.

향후 연구 과제로는 단일 채널을 이용한 설계에서 이 채널 용량을 어떻게 결정하여 설계하여야 하는 것과, 망 설계 결과에서 나타나는 망에 연결된 링크쌍이 단지 하나 뿐인 노드가 생기는 문제에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 하겠다.

참고문헌

- Boorstyn R. and H. Frank, 1977, "Large-scale network topological optimization," *IEEE Trans. Comm. vol. COM-25*, pp. 29-47.
- Dijkstra E.W., 1959, "A note on two problem in connection with graphs," *Numerische Mathematik I*, pp.269-271.
- Garzia Ricardo F., R. Garzia Mario, 1990, *Network Modeling Simulation and Analysis*, Marcel Dekker.
- Gerla Mario, 1977, "On the Topological Design of Distributed Computer Network," *IEEE Trans, Comm, VOL.COM-25, NO.1*, pp. 48-60.
- Hansler E., 1973, "An experimental heuristic procedure to optimize a telecommunication network under nonlinear cost function," in *Proc. Seventh Annual Princeton Conf.Inform. Sci. Syst., NJ*, pp. 130-137.
- Kershenbaum Aaron, Parviz Kermani and George A. Grover, 1991, "MENTOR: An Algorithm for Mesh Network Topological Optimization and Routing," *IEEE Trans. Comm. Vol. 39*, pp. 503-513.
- Kershenbaum Aaron, 1993, *Telecommunication Network Design Algorithm*, McGraw-Hill.
- Monma C.L. and D. D. Sheng, 1986, "Backbone network design and performance analysis : A methodology for packet switching networks," *IEEE J. Select Areas Comm., vol. SAC-4*, pp. 946-965.
- Schwartz Mischa, 1977, *Computer comm. Network Design and Analysis*, Prentice-Hall.

Van Norman Harrell J., 1992, LAN/WAN Optimization Techniques,
Artech House.



감사의 글

오늘의 제가 있기까지 항상 사랑으로 이끌어 주신 부모님께 감사와 이 영광을 드리며 항상 건강하시길 바랍니다. 그리고 본 논문의 이루어지기까지 학문의 길뿐만 아니라 인생의 길을 이끌어 주신 김 경식 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 본 논문이 완성되기까지 심사하여 주신 도 양희 교수님, 김 경연 교수님께 감사를 드립니다. 아울러 학부 때부터 지도해 주신 이 광만 교수님, 고 성택 교수님, 강 민제 교수님께 감사를 드립니다.

논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 동춘이 형에게 감사를 드립니다. 대학원 생활에 많은 도움을 주신 윤 성보 선배님과 자료 정리를 도와 준 네트워크 실험실의 후배인 원석이와 유철이에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 힘이 될 때마다 도움이 되어 준 영민이 형과 조교로 있으면서 많은 도움을 준 후배 경미에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 저에게 좋은 경험을 하게끔 많은 도움을 주신 제주관광전문대학의 이 동철 교수님, 강 동식 교수님, 강 부식 교수님, 김 덕주 교수님들과 다른 여러 교수님들에게 감사를 드립니다.

본 논문을 통하여 저에게 많은 도움을 주신 여러분과 학부와 대학원을 지내는 동안 많은 힘이 되어 준 정호, 창신, 봉국이를 비롯한 친구들과 함께 이 기쁨을 나누고자 합니다.

1995년 12월

장 경훈 드림