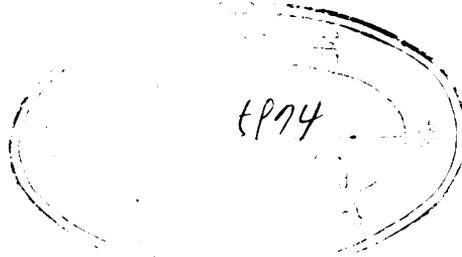


568.92
타 1227

碩士學位論文

경제적인 비용을 갖는 메쉬망
설계 알고리즘



濟州大學校 大學院



제주대학교 전자공학과 도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

白 原 石

1996年 12月

경제적인 비용을 갖는 메쉬망 설계 알고리즘

指導教授 金 敬 植

白 原 石

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1996年 12月

白原石의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

1996年 12月

A Design Algorithm of Mesh Network with Economical Design Cost

Won-Seok Baek

(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

1996. 12.

목 차

SUMMARY	1
I. 서 론	2
II. 기존의 망 설계 알고리즘에 대한 고찰	5
1. 망 설계 알고리즘의 고찰	6
1) 중앙 집중망 설계 알고리즘	6
2) 메쉬망 설계 알고리즘	10
III. 망 설계시 최적화를 이루기 위한 고려사항	16
1. 망 구성 요소의 특성	16
2. 망 설계시 설계 알고리즘에 대한 중앙집중망과 메쉬망	18
IV. 제안 알고리즘	20
1. 제안 알고리즘의 특성	20
2. 제안 알고리즘의 입력 데이터 조건 및 용어 해설	20
3. 제안 알고리즘의 설계 단계	22
1) 설계시 노드쌍 순서 결정	22
2) 우회 노드 찾기 및 직접 링크 설치 결정	22
V. 시뮬레이션 및 고찰	24
1. 입력 데이터	24
2. MENTOR 알고리즘의 설계 결과	26
3. 제안 알고리즘의 설계 결과	28

4. MENTOR 알고리즘과 제안 알고리즘의 설계 결과 비교	32
VI. 결론	33
參考文獻	34



SUMMARY

The goal of network design targets the system performance and design cost. In general, as minimizing the design cost is preferable within the required system performance, this paper describes the network design methodology to minimize the design cost.

The analysis of design result is done through the comparison with the result of MENTOR algorithm and it is possible to design the network without considering the triangular inequality equation of MENTOR algorithm. Also, the design result in proposed algorithm paper shows the superiority of the algorithm than MENTOR's.

I. 서 론

1970년대 중반기 이후 통신 네트워크는 여러 가지 면에서 경이적인 발전을 하였는데 이러한 통신 네트워크의 개발에 있어서 중요한 관점은 비용의 절감, 전송로의 전송속도 및 서비스 품질의 개선이다. 초기의 단말은 저속인 시작-정지(Start-Stop)식 회선에 접속되었지만 통신 기술의 혁신에 의해서 보다 빠르고 신뢰성이 높은 FDDI(Fiber Distributed Data Interface), FDDI-II, 고속 이더넷 ATM(Asynchronous Transfer Mode), 등 여러 가지 회선이 만들어 졌다. FDDI, ATM 등은 LAN(Local Area Network)보다 규모가 큰 WAN(Wide Area Network)에서 인터페이스가 용이해 진다. 통신 기술의 혁신은 WAN과 같은 넓은 지역에 대해 네트워크 서비스를 더욱더 효율적으로 가능하게 하였다.

이러한 연구들은 통신 기술의 혁신으로 인해 빠르고 신뢰성이 높은 회선이 만들어 졌지만 이러한 연구들을 효율적으로 사용하기 위해서는 네트워크 설계가 사용 목적에 맞게 이루어져야 한다. 네트워크 설계시 같은 조건에서 생성 될 수 있는 네트워크 설계 결과는 매우 많이 나타날 수 있다. 그러나 어느 정도 네트워크의 성능이 비슷하다면 경제적인 네트워크를 선택하는 것이 바람직하다. 이러한 네트워크 설계의 최대 목적이라 할 수 있는 효율성과 비용의 최소화는 아주 중요하다고 볼 수 있다. 물론 성능을 배제한 비용의 최소화는 무용지물일 것이다.

그리고 오늘날 통신의 발달과 컴퓨터 산업의 발달로 이들의 통신량이 크게 증가되어 기존의 망으로는 통신량 운용 및 관리에 많은 어려

움들이 대두하고 있다. 이렇게 방대해진 통신량을 처리하기 위해 기존의 중앙 집중망과는 달리 통신량(데이터량)을 분산 처리하는 추세이며, 중앙 시스템들과 통신망을 구성하기 위하여 메쉬망을 필요로 하고 있다. 이러한 토폴로지는 네트워크에서 노드간의 연결 형태에 따른 전송 매체, 성능 그리고 프로토콜등과 서로 상호 연관 관계를 가지고 있으며 이러한 문제에서 무엇보다도 설치 비용의 최소화가 네트워크 설계의 중요 관점이다. 분산 처리를 위한 메쉬망은 중앙 집중망과는 달리 모든 노드간의 트래픽과 설치 비용을 고려하여 설계하기 때문에 설계가 매우 까다롭다. 메쉬망은 기존의 중앙 집중망과는 달리 데이터의 흐름이 어느 한 노드로 집중이 되는 것이 아니라 노드간의 경로 설정으로 인해 이루어진다. 메쉬망에서 모든 노드는 데이터를 근원지 역할과 목적지 역할을 모두 할 수 있으며 중앙 집중망에 비해서 망의 신뢰성이 더욱 높다. 그러나 메쉬망은 중앙 집중망에 비해서 설계시간이 많이 소요되고 계산량을 많이 요구하게 된다. 가장 이상적인 망의 설계는 모든 설계 가능한 망의 형태를 구성한 다음, 그 중에서 최소망 구축비용을 가지는 망을 선택하는 것이지만, 이 방법은 망 형태의 수가 매우 많이 존재하기 때문에 현실적으로 부적합하다(Kershenbaum 등, 1991) (Kershenbaum, 1993) (Van Norman, 1992). 이와 같은 이유로 해서, 많은 망 설계자들은 최단시간에 최소 망 구축 비용에 가까운 망을 설계하기 위해 근사화된 구조에 대한 해석 방법을 사용하였으며, Kershenbaum(1993), Van Norman(1992), Garzia 등(1990)이며 그 중에서 가장 대표적인 것은 A. Kershenbaum 등에 의해 제안된 휴리스틱한 방법인 MENTOR(Mesh Network Topology Optimization and Routing) 알고리즘은 계산 시간을 감소 시키는 장점을 갖지만, 대체적으로 최소 망 구축 비용의 5%이내의 오차를 가지는 문제점을 나타내었다(Kershenbaum 등, 1991) (Kershenbaum, 1993) (Van Norman,

1992). 이러한 비용의 오차는 규모가 큰 지역의 망 설계시에는 몇 퍼센트의 차이가 설계비용에 있어서 큰 비용을 차지한다.

본 논문에서는 네트워크의 망 설계시 비용을 최소화하면서 효율적인 알고리즘을 제안한다. MENTOR 알고리즘에서는 거리 대 비용에 있어서 조건이 삼각 부등식을 만족하여야만 설계가 가능하나, 제안 알고리즘에서는 거리 대 비용의 조건이 일정치 않은 즉, 비선형적인 관계를 갖더라도 설계가 가능하다. 제안 알고리즘의 특징은 직접 링크와 우회 경로를 고려할 때 망 설계시 트래픽이 많은 노드를 우선적으로 고려하여 설계함으로써 트래픽이 적은 노드간은 결정된 링크의 여분을 전송에 사용된다 즉 망에 존재하는 링크의 수를 줄일 수 있으며 비용의 절감을 가져올 수 있다. 그리고 제안 알고리즘의 설계 단계는 노드쌍 순서 결정, 우회노드 찾기 및 직접경로 설치 단계의 2단계로 이루어지며, 제안 알고리즘에서는 기존의 대표적인 메쉬망 설계 알고리즘인 MENTOR 알고리즘에 대해 설명을 하고 제안하는 알고리즘과 비교 고찰을 한다. 제안 알고리즘은 한 번의 설계결과로서 최소비용에 가까운 값을 보여준다. 그러나 본 논문에서 MENTOR 알고리즘의 결과는 100가지의 조건을 주어 최소의 결과가 나온 값을 사용한다.

II. 기존의 망 설계 알고리즘에 대한 고찰

네트워크의 설계에 있어서 중앙집중망 설계 알고리즘과 메쉬망 설계 알고리즘으로 나눌 수가 있는데, 중앙집중망 설계 알고리즘은 노드 수가 적고 트래픽이 중앙으로 집중되는 경우에 많이 사용되는 알고리즘이며 메쉬망 설계는 일반적으로 노드 수가 많고 트래픽이 어느 한 노드로 집중되는 것이 아니라 모든 노드로 분산되는 지역에서 많이 사용되는 알고리즘이다. 또한 메쉬망 설계 알고리즘은 사용 목적에 따라 노드 수가 적고 트래픽이 다른 노드들에게 전송이 되는 경우에도 사용을 할 수가 있다. 이러한 설계 알고리즘을 적용시키기 위해서 우선, 네트워크의 목표를 살펴보고 망 설계 알고리즘에 대해 알아 보겠다. 여기서 중앙집중망 알고리즘에 대해서는 몇가지 알고리즘들에 대해 살펴보고, 메쉬망 설계 알고리즘에 대해서는 가장 대표적인 MENTOR 알고리즘에 대해 살펴보겠다.

네트워크의 목표는 크게 9가지 항목으로 나눌 수가 있는데 이러한 네트워크의 목표를 살펴보면(Ahuja V., 1985),

- ① 정보 또는 프로세서 등의 자원을 공유하는 기능을 제공하는 것.
- ② 이용자와 프로세서의 사이에 상호처리에 필요한 통신기능을 제공하는 것.
- ③ 백업하기도 하고 용장성을 가짐으로써 네트워크의 신뢰성을 높이는 것.
- ④ 처리의 기능을 분산하는 것.
- ⑤ 지리적으로 분산된 시스템의 집중 제어 기능을 제공하는 것.

- ⑥ 네트워크에 속한 자원의 집중 관리와 할당을 제공하는 것.
- ⑦ 서로 다른 설비간 또는 소프트웨어 사이에 호환성을 제공하는 것.
- ⑧ 네트워크의 이용자에 대해서 최소의 비용으로 최대의 성능을 제공하는 것.
- ⑨ 네트워크는 원격지에 다량의 데이터를 보내는 유효한 수단을 제공한다.

1. 망 설계 알고리즘의 고찰

1) 중앙 집중망 설계 알고리즘

중앙 집중망은 메쉬망을 이루기 위한 기본 요소이다. 거대한 지역의 네트워크는 지역별로 네트워크(Sub-Network)가 구성이 되고 이렇게 구성이 된 지역간의 네트워크가 다시 구성이 된다. 즉, 지역별 네트워크의 일반적인 형태는 중앙 집중망 형태의 구조를 가지며 지역간의 네트워크는 일반적으로 메쉬망의 형태를 취하게 된다. 이러한 메쉬망을 이루기 위한 근본이 되는 중앙 집중망에 대해 살펴보겠다.

첫번째로 MST(Minimum Spanning Tree) 알고리즘은 채널 용량에 비해 트래픽이 아주 적을 때 적용하는 알고리즘이다. MST는 폐경로를 갖지 않으면서 모든 노드를 연결하고 연결되는 선로 비용의 합이 최소가 되는 망이다. MST를 찾는 많은 알고리즘이 있으나, 현실적으로 적합하지 않으며, 실제적인 문제에 접했을 때는 이 알고리즘을 기본으로 하여 응용된 알고리즘을 적용하여 문제를 해결한다.

두 번째로 휴리스틱(heuristic) 알고리즘이다. 최적의 알고리즘은 해를 구하기 위해서는 아주 많은 계산량이 필요하다. 그러므로 계산량을

효율적으로 줄이고, 해는 가능한 최적해에 가깝도록 해주는 휴리스틱 알고리즘을 고려하게 되었다.

Chandy-Russell 은 휴리스틱 알고리즘이 일반적으로 최적의 해와 5 ~ 10 % 내에 오차가 있음을 보여주었다. 휴리스틱 알고리즘은 Easu-Williams에 의해 시작되었다.

Kruskal 알고리즘은 최소 비용 링크를 연결하는 방법이고, 이와 같은 알고리즘을 통일시킨 Chou-Kershenboum의 통합 알고리즘이 있다.

휴리스틱 알고리즘은 최적의 해와 비교해서 정도의 오차는 발생하지만 노드 수가 매우 많은 경우에 대해서 효과적이다, 즉 노드 수가 매우 많은 경우에 대해서 모든 가능한 해를 구하고 그 중에서 가장 최적 해를 선택한다는 것은 현실적이지 못하다. 따라서 받아들일 수 있는 범위 내에서 휴리스틱 한 알고리즘을 사용하는 것이 효율적이다.

세 번째로 Chandy와 Russell은 최적의 알고리즘과 휴리스틱 알고리즘들을 비교 검토하여 휴리스틱 알고리즘이 최적의 해와 약 10% 이내의 오차를 갖는 것을 발견했다. Chandy-Russell 알고리즘은 제한 사항이 없는 MST에서부터 출발한다. 만약에 제한 사항이 없는 해가 제한 사항이 있을 때에도 실현 가능하면 그해는 최적의 해가 되고 알고리즘은 종료가 된다. 그렇지 않다면 제한 사항이 없는 해의 비용은 제한 사항이 있을 때의 실현 가능한 해의 비용보다 작거나 같다. 이 경우 알고리즘은 가능한 모든 해의 집합을 각각의 부분집합으로 나눈다. 각각의 단계에서 배타적 부분집합은 다시 정해지고, 비용에 대해 더 낮은 한계는 부분집합 각각에 대해 정해진다. 최저의 한계를 갖는 부분집합은 실현 가능한지를 확인하고 실현 가능하면 알고리즘은 종료된다. 만약 실현 불가능하면 이 부분집합은 다시 나누어진다. 이러한 과정을 통해서 설계가 되어진다.

네 번째로 Easu-Williams 알고리즘은 우선 모든 노드를 집중기로

연결한다. 그리고 각 노드에서 이웃하는 노드와 연결했을 때와 중심 노드와 연결할 때의 비용 이득을 고려하여 비용 이득을 최대로 하는 방향으로 설계하는 알고리즘이다.

다섯 번째로 Kruskal 알고리즘은 최소 비용 링크를 선택하여 채택된 링크들과의 폐경로 여부와 제한 사항을 검사하는 과정을 모든 노드가 포함 될 때까지 반복하는 방법이다. 우선 최소 비용의 차례로 선택되어 지고, 채택된 링크들과의 폐루프 여부와 제한 사항 검사를 통해 채택 여부가 결정된다.

여섯 번째로 Chou-Kershenbaum의 통합 알고리즘은 앞에서 설명된 휴리스틱 알고리즘과 또다른 알고리즘의 일반화된 휴리스틱 알고리즘을 제안했다. 이 알고리즘은 각 노드에 대한 가중인자 w 를 사용한다. 특정 휴리스틱 알고리즘은 w 를 어떻게 정의하느냐 하는 문제에 달려 있다.

$w_i = a[bCi_1 + (1-b)Ci_2]$ 여기서 a 와 b 는 각각 $a \geq 0, b \geq 0$ 인 파라미터이다. 만일 $a=0$ 이면 Kruskal 알고리즘이 되고 $a = b = 1$ 이면 Easu - William 알고리즘이 된다.

이 기존의 알고리즘들은 노드간의 연결 상황에서 어느 한 노드가 고장이 발생 하였을 때에 하위 노드 또한 선로를 사용할 수 없으며 망 설계시 전체적인 설계보다는 한 노드를 중심으로한 설계에만 그치고 있다. 이러한 점들이 중앙 집중망 알고리즘의 단점이라고도 볼 수 있으며 중앙 집중망 알고리즘은 복잡한 네트워크의 구성에는 적합하지 않다고 볼 수 있다. 그림 2-1은 중앙 집중망의 일반적인 구조를 나타내고 있으며 0번 노드는 집중기(concentrator)가 되며 네트워크의 기본 노드가 된다. 그림 2-1에서 만약에 0번 노드와 3번 노드사이의 회선이 고장을 일으킨다면 하위노드인 1번 노드, 2번 노드 및 3번 노드는 망에서

고립이 될 것이다. 본 논문에서는 일간노드는 숫자로 노드 번호를 표
기하며, 라우터가 설치되는 노드는 알파벳으로 표기를 한다.

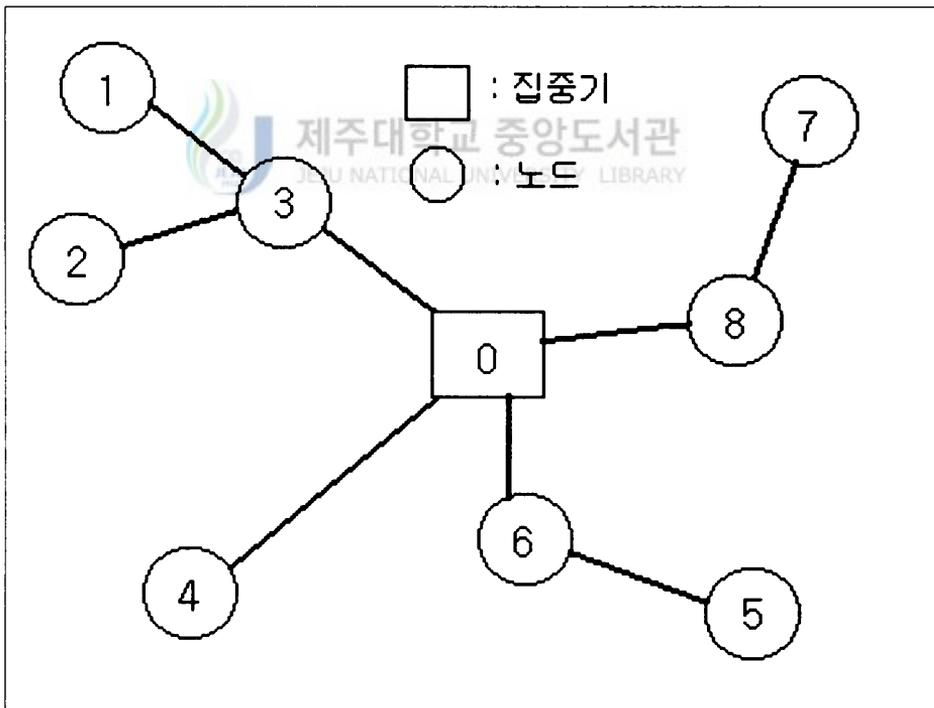


Fig. 2-1. Example of the centralization network.

2) 메쉬망 설계 알고리즘

메쉬망 설계 알고리즘중에서 대표적인 알고리즘으로는 MENTOR 알고리즘(Kershenbaum 등, 1991)을 들 수 있다. MENTOR 알고리즘은 휴리스틱한 방법으로 트리 구조를 구하고, 이 트리구조를 바탕으로 각 노드 사이의 트래픽 양에 따라 직접 링크 설치와 우회 경로를 통한 전송을 결정하여 경제적인 메쉬망을 설계하는 방법이다.

그리고 MENTOR 알고리즘의 설계 과정을 다음과 같다.

(1) 입력 데이터 조건

- ① 각 노드는 근원지와 목적지 역할을 모두 할 수 있다.
- ② 트래픽은 양방향(Bi-directional)으로 전송될 수 있다.

(2) $Cost[i][j]$ 의 조건

- ① $Cost[i][j]$ 는 거리에 비례하여 증가한다.
- ② 메쉬망의 링크 비용을 전부, 혹은 일부를 고정비용으로 모델링하는 것이 가능하다.
- ③ 링크 비용함수는 식(2-1)의 삼각 부등식을 만족한다.

$$Cost[i][j] \leq Cost[i][k] + Cost[k][j]$$

식(2-1)

$Cost[i][j]$: 노드 i 와 j 의 연결비용

- ③ $Cost[i][j]$ 는 대칭(Symmetric)이다.

(3) 위의 두 조건을 만족하는 입력 데이터에 대한 망의 설계는 중심찾기, 트리찾기, 의존도 관련쌍 결정, 직접링크 설치결정의 4단계로 나누어서 메쉬망을 설계할 수 있다.

◆ 1단계 : 중심 찾기

식(2-2)를 최소로 하는 노드를 찾아 중심노드를 정한다.

$$\sum_j W_j \times Cost[i][j] \quad \text{식(2-2)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} W_j = \sum_k (Traffic[k][j] + Traffic[j][k]) \\ Cost[i][j] : \text{노드 } i \text{와 노드 } j \text{의 연결비용} \\ Traffic[k][j] : \text{노드 } k \text{와 노드 } j \text{의 연결비용} \end{array} \right.$$

◆ 2단계 : 트리 찾기

1 단계에서 망의 중심 노드(C)를 정한 후, 트리 구조 내부에 속한 노드는 중심 노드 하나로 가정하고 시작한다. 다른 노드들은 트리밖에 있는 것으로 생각한다. 이후 식(2-3)을 최소로 하는 노드를 하나씩 트리 구조 내부로 포함시킨다.

수정된 링크비용은 $Cost[i][j]$ 에 노드 I와 중심노드 C사이의 비용에 α 배 한 값을 더한 값으로 $Cost'[i][j]$ 로 정의한다. 여기서 α 는 0에서 1사이의 값을 갖는 변수이다.

$$\begin{aligned} Cost'[i][j] \\ = Cost[i][j] + Cost[C][i] \times \alpha \end{aligned} \quad \text{식(2-3)}$$

$$(0 \leq \alpha \leq 1)$$

예를 들어, 그림 2-2에서

$$\alpha = 0.5, \quad X, Y \in Tree, \quad Z \notin Tree$$

Tree : 트리구조 내에 존재하는 노드들의 집합

트리 구조 외부의 노드 Z를트리 구조 내부에 포함 시켜보자.

$\alpha = 0.5$ 이므로

$$Cost'[Z][Y] = Cost[Z][X] + Cost[X][C] \times 0.5 = 8 + 5 = 13$$

$$Cost'[Z][X] = Cost[Z][Y] + Cost[Y][C] \times 0.5 = 7 + \frac{19}{2} = 16.5$$

$Cost'[Z][X] < Cost'[Z][Y]$ 이므로 노드 Z는 노드 X에 연결되어 트리 구조 내부에 포함되게 된다. 만약에 α 가 1이면 모든 노드가 중심노드에 연결되는 스타구조의 트리가 구성되고 α 가 0이면 MST인 트리가 된다.

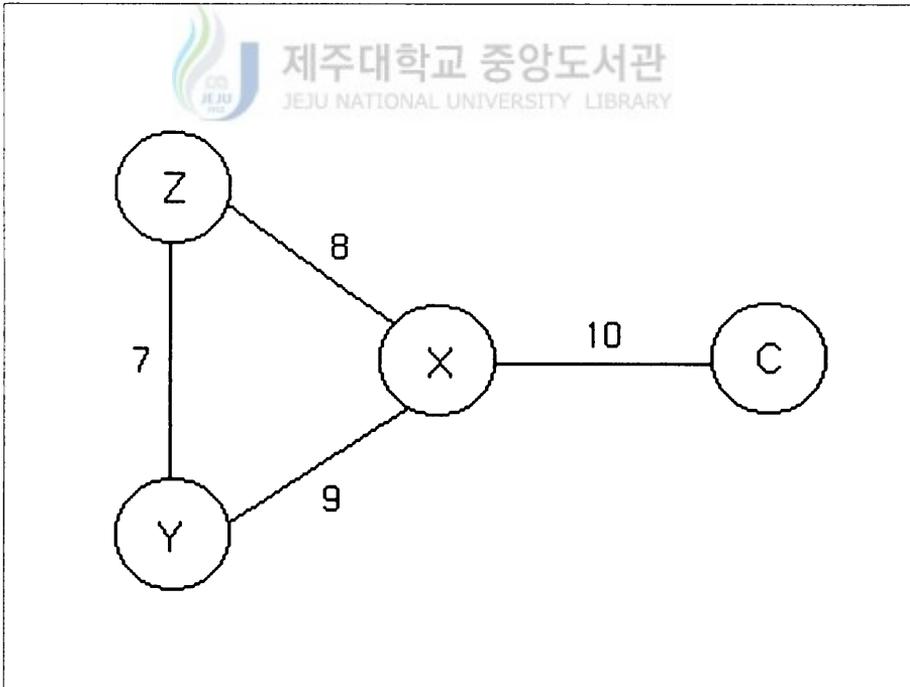


Fig. 2-2. Example of tree finding.

◆ 3단계 : 의존도 관련 링크쌍 결정

2 단계에서 구한 트리를 통해 트래픽을 전송할 때, Hop 수가 가장 많은 노드 사이의 링크부터 의존도 관련 링크쌍(우회경로)을 결정한다.

의존도란 하나의 노드쌍이 다른 노드쌍의 트래픽 전송에 사용될 수 있는 경우 이 노드쌍은 다른 노드쌍에 대한 의존도를 갖고 있다고 한다. 그림 (2-3)에서 노드쌍 (A,C)에 대해, 노드쌍 (A,B)와 노드쌍 (B,C)는 의존도를 갖는다고 한다.

그림 (2-3)에서 링크(A-G)나 링크(G-H)를 고려하기 전에 링크(A-H)를 고려한다. 트리 내부의 각 노드 사이에서 의존도가 없는 링크를 찾는 것으로부터 시작된다. 즉 hop 수가 가장 큰 노드쌍을 찾는다. 링크(A-H)의 트래픽 요구량이 트리를 통해 전송되려면 A-B-C-E-G-H 노드들을 통해야 가능하다. 이 때 우회노드가 될 수 있는 것은 노드 B, 노드 C, 노드 E, 노드 G, 노드 H이다. 우회노드를 통해 전송될 때 우회 경로의 합이 최소가 되는 링크 쌍이 링크(A-H)에 의존도가 관련되었다고 한다. 링크(A-G)와 링크(G-H)의 경로 합이 가장 작다면 링크(A-G)의 의존도 관련 링크 쌍은 링크(A-H)와 링크(G-H)이다. 링크(A-G)의 우회가능한 경로는 B-C-E이다. 이 때 우회경로중 링크(A-B)와 링크(B-G)의 경로 합이 가장 작다면 링크(A-G)의 의존도 관련 링크 쌍은 링크(A-B)와 링크(B-G)이다. 이러한 과정을 모든 노드쌍에 대해 검사하여 의존도 관련 링크 쌍을 결정한다.

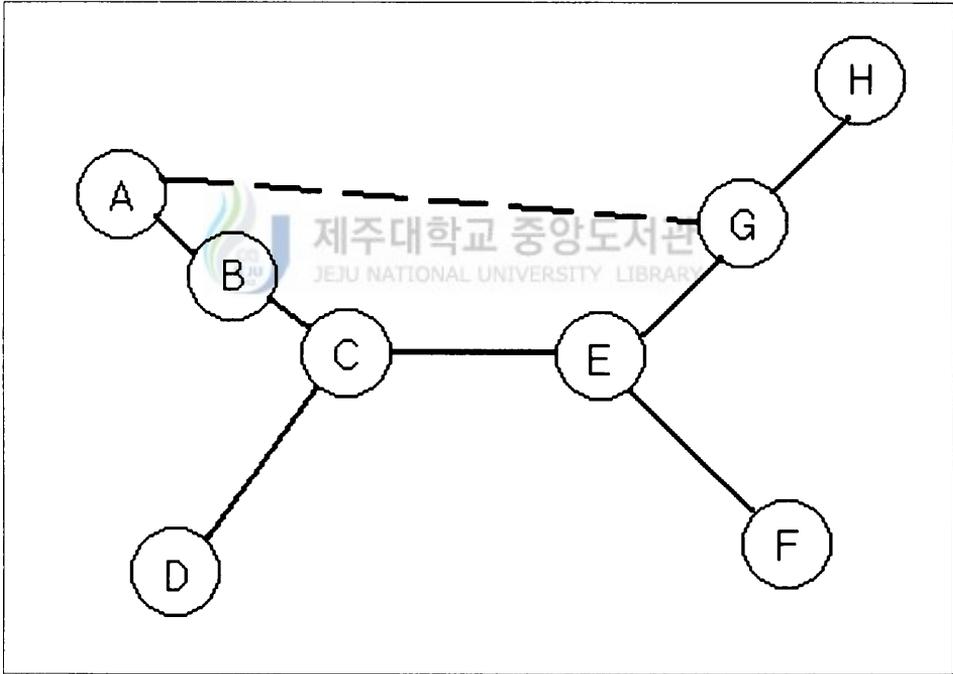


Fig. 2-3. Considering a direct link.

(4) 4 단계 : 직접링크 설치 결정

트리를 통해 트래픽이 전송될 때 Hop 수가 가장 많은 노드쌍부터 고려한다. $(Traffic[i][j]+H)$ 가 (링크용량×이용도)보다 크면 직접링크를 설치한다. 작으면 $(Traffic[i][j]+H)$ 을 의존도가 관련된 링크쌍으로 넘긴다. Hop 수의 크기순으로 모든 링크에 대해 실시하면 메쉬망이 설계가 된다. 각 직접링크의 채널 수는 식(2-4)에 의해 결정된다.

$$channel = \left\lceil \frac{(Traffic[i][j] + H)}{Capacity} \right\rceil \quad \text{식 (2-4)}$$

- $Rtraffic$: 넘겨받은 트래픽
- $\lceil \rceil$: 그 수를 넘지 않는 최대 정수
- 이용도 : 직접링크를 허용하는 비율
- $channel$: 채널수
- $Capacity$: 채널용량

의존도 관련 링크 쌍에게 넘겨주는 트래픽 요구량은 식(2-5)에 의해 결정된다.

$$(Traffic[i][j] + H) - channel \times Capacity \quad \text{식(2-5)}$$

Ⅲ. 망 설계시 비용의 최소화를 이루기 위한 고려사항

망 구성요소시 비용의 최소화는 선택된 망의 기술과 적용된 네트워크 설계 알고리즘에 의해 크게 좌우된다. 또한 네트워크 설계 알고리즘에 의해 네트워크의 설계 비용이 차이를 보인다. 제안 알고리즘에서는 네트워크 설계 알고리즘에 의한 설계 비용의 최소화에 목적을 두고 있으며 일반적인 경우의 네트워크 구성 요소의 특성과 네트워크 설계시 설계 알고리즘에 대한 중앙집중망과 메시망에 대해 알아보겠다.

1. 망 구성 요소의 특성

망 설계시 구성 요소의 종류로는 메시망의 구성을 이루고 있는 서브 네트워크와 다시 서브 네트워크를 이루고 있는 노드들이 있다.

서브 네트워크는 노드들의 모임으로 지역적 단위의 트래픽이 적은 노드들로 이루어져 있는데 메시망의 관점에서 본다면 하나의 노드를 구성하고 있다. 서브 네트워크는 서브 네트워크를 이루는 노드들보다 규모가 큰 노드로써 트래픽량이 많고 근원지와 목적지 역할을 모두 수용할 수 있을 정도로 규모가 크다.

서브 네트워크를 구성하고 있는 노드들은 일반적으로 중앙 집중망의

형태를 이루고 있는 요소들이며 스타구조 또는 트리구조의 형태를 취하고 있다. 이러한 노드들은 전체 네트워크를 구성하고 있는 가장 기본적인 요소이다. 즉, 매쉬망의 구성은 소규모 노드들로부터 구성이 되며, 이러한 노드의 집합이 하나의 서브 네트워크를 구성한다. 이렇게 구성이 된 서브 네트워크는 다시 매쉬망을 이루는 근간이 된다. 그림 3-1은 노드와 서브네트워크 사이의 일반적인 형태를 보여주고 있다. 그림 3-1에서 1, 2, 3, A 노드는 하나의 서브 네트워크를 구성하고 있으며 이 중에서 A노드는 이 서브 네트워크의 중심이 되는 노드이다.

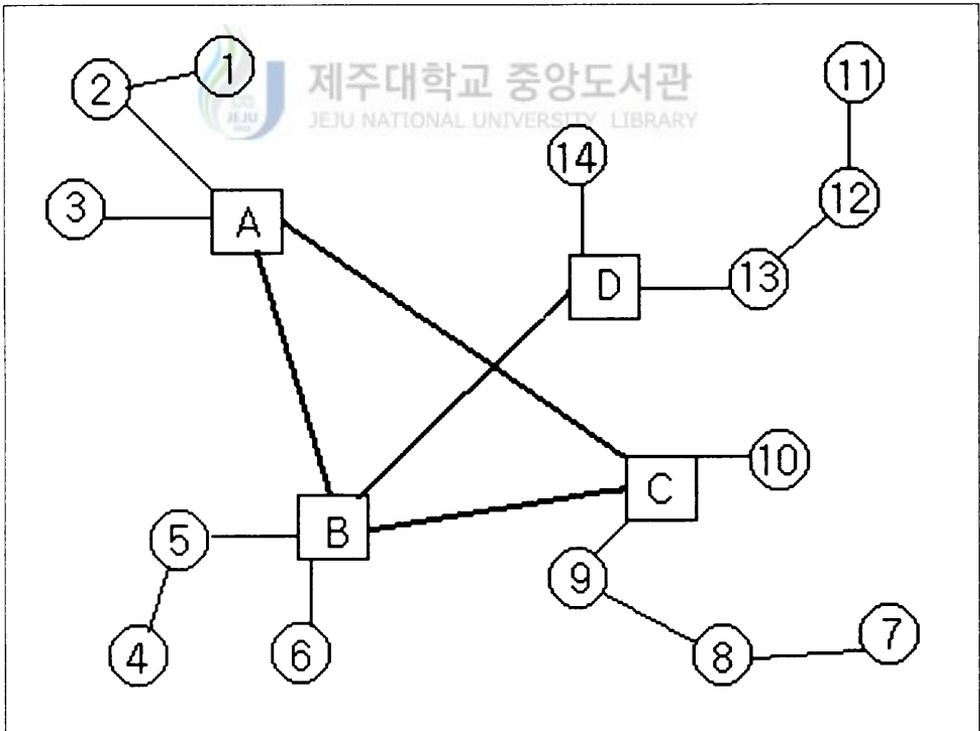


Fig. 3-1. The general form between nodes and subnetwork.

2. 망 설계시 설계 알고리즘에 대한 중앙집중망과 메쉬망

망 설계 알고리즘은 접근 방법에 따라 휴리스틱 알고리즘과 discreet event simulation으로 구분되고, 설계 목적에 따라 연결 결정과 라우터 위치 결정으로 구분된다(Van Normal, 1992).

일반적인 메쉬망 설계 알고리즘은 중앙 집중망 알고리즘과는 달리 라우터의 위치 결정이 문제가 되지 않는다. 왜냐하면, 메쉬망 설계 알고리즘은 많은 노드들에 대해서 여러개의 서브 네트워크로 나누어진 망들간의 통신을 위한 설계 알고리즘이기 때문이다. 즉, 라우터는 하나의 서브네트워크마다 설치가 되기 때문이다.

결국, 일반적인 메쉬망의 형태는 서브 네트워크들간의 통신을 위한 망의 형태라고 할 수 있으며, 대단위 지역의 망 설계를 위한 형태라고 할 수 있다.

그러나 메쉬망의 형태는 하나의 노드로 트래픽이 집중되는 것이 아니라 서로간의 트래픽 요구량이 많은 경우에 일반적으로 사용을 하는 망의 구조이지만 이러한 구조는 네트워크 설계시 사용 목적에 따라 달라질 수가 있으며, 노드간의 원활한 통신 즉 네트워크의 안정성, 신속성 등의 목적에 메쉬망의 형태를 취할 수도 있다. 그림 3-2는 메쉬망의 일반적인 형태를 나타내고 있으며 각 노드는 서브네트워크의 종류로도 볼 수 있으며, 서브네트워크가 아닌 단일 노드로도 볼 수 있다. 그림 3-2에서 만약에 어느한 노드의 회선이 고장을 일으켰을 경우 고장 회선으로 이동될 트래픽은 다른 노드를 우회하여 트래픽을 전송할 수 있는데 이러한 점이 메쉬망이 중앙집중망보다 망의 신뢰성면에서 아주 우수하다고 할 수 있다.

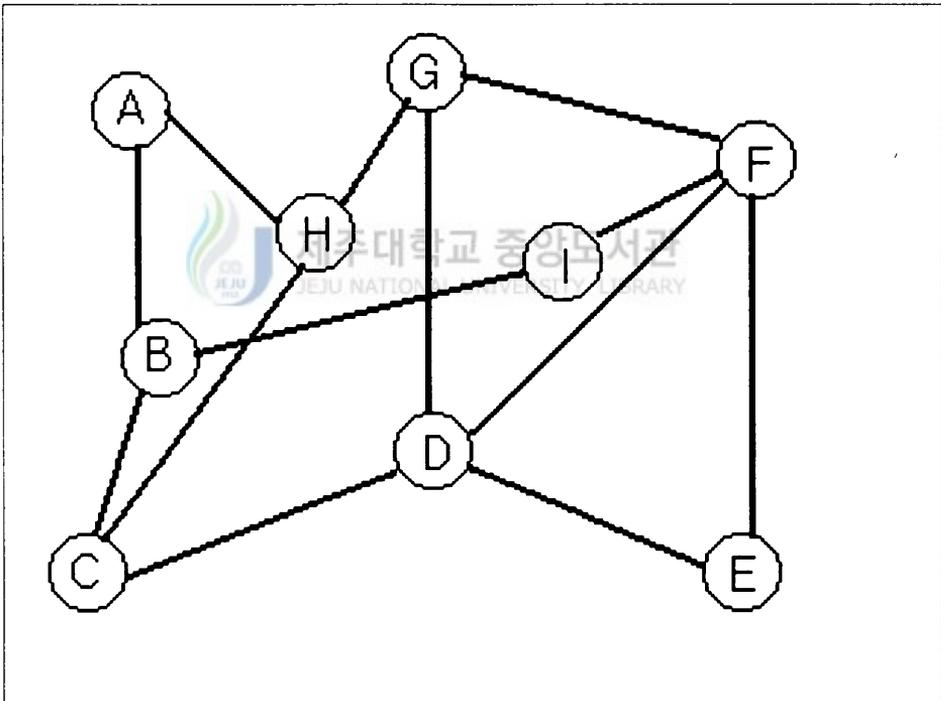


Fig. 3-2. The general form of mesh network

IV. 제안 알고리즘

1. 제안 알고리즘의 특성

제안 알고리즘의 특성은 한 번의 실행 결과로써 최소 비용에 가까운 설계 비용을 구할 수 있다. 즉 네트워크를 설계하기 위한 설계시간의 단축을 가져온다.

그리고 노드간의 트래픽량이 많은 노드를 우선하여 설계함으로써 노드간의 트래픽량이 적은 경우는 이미 설계된 링크에 대한 여유분의 채널을 이용하여 설계비용을 줄이도록 하였다.

2. 제안 알고리즘의 입력 데이터 조건 및 용어 해설

- 본 논문에서는 아래와 같은 입력 데이터 조건들을 만족한다고 가정한다.
- 각 채널은 동일한 용량을 가지며, 채널 용량을 모두 트래픽 전송에 이용할 수 있다고 가정한다.
- 노드간 트래픽의 조건

- ① 각 노드는 근원지와 목적지 역할을 모두 할 수 있다.
 - ② 트래픽은 양방향(Bi-directional)으로 전송될 수 있다.
- 노드간 비용의 조건
 - ① 노드간의 비용함수는 대칭(Symmetric)이다, 즉, 링크용량이 양방향성을 갖는 것을 의미한다.
 - ② 비용은 거리에 비례하여 증가한다.
 - 우회 노드 : 노드 i, j 사이의 트래픽을 직접링크를 사용하지 않고 이윽한 노드를 경유하여 전송될 때 사용된 노드
 - 직접 링크 : 노드 i, j 사이의 트래픽 전송시 우회노드를 사용하지 않고 직접 전송시 사용되는 링크
 - 설계 비용 : 망 설계시 노드간에 소요되는 링크 비용
 - N : 총 노드수
 - $cost[i][j]$: 노드 i, j 사이의 직접링크 설치 비용
 - $rcost[i][j]$: 노드 i, j 사이의 우회경로를 사용할 때의 비용
 - $Min(cost[i][k] + cost[k][j])$: 우회시의 비용의 최소값
 - k : 우회 노드, $i \neq k, j \neq k, 0 \leq k \leq N$

- $O(i)$: i th order of complexity,
 C : average number of circuits per link

3. 제안 알고리즘의 설계 단계

제안 알고리즘의 설계 단계는 주어진 입력데이터를 이용하여 노드쌍 순서 결정, 우회 노드 찾기 및 직접링크 설치 단계의 2단계로 구성이 된다.

1) 설계시 노드쌍 순서 결정

각 노드간의 트래픽량이 높은 순으로 정렬하여 설계시 노드쌍 순서를 결정한다. 각 노드쌍은 대칭이므로 $\frac{N(N-1)}{2}$ 개의 노드쌍을 사용한다.

2) 우회 노드 찾기 및 직접 링크 설치 결정

1 단계에서 결정된 노드쌍의 순서로부터 식(4-1)을 만족하는 경우에는 직접링크를 사용하지 않고 우회노드를 가진다. 식(2-1)은 노드쌍 사이의 트래픽 전송에 있어서 트래픽을 직접링크 설치를 하여 전송할지 아니면 우회노드를 찾아 트래픽을 우회시킬지를 결정한다. 노드 i 와 노드 j 사이의 우회노드를 찾을 때는 노드 i, j 를 제외한 나머지 노드 k 를 변화 시켜 가면서 우회 경로의 설치비용 합이 최소가 되는 우회경로를 찾는다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min}(\text{cost}[i][k] + \text{cost}[k][j]) \\ \text{cost}[i][j] \geq \text{cost}[i][k] + \text{cost}[k][j] \end{array} \right. \quad \text{식 (4-1)}$$

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

식(4-1)를 만족하는 우회 노드가 있을 경우에는 직접링크를 설치 비용과 비교하여 우회 노드의 경우가 비용이 작거나 같으면 우회노드를 이용하며 트래픽을 우회노드에게 넘겨준다. 즉 식(4-2)를 만족하는 경우는 우회노드를 이용하고 그렇지 않으면 직접링크를 설치한다. 여기서 설치 비용은 트래픽 요구량을 채널 용량으로 나눈 값에 우회 경로 비용을 곱한 값이다.

만약에 우회노드를 사용하게 되면 우회시 사용되는 링크는 노드쌍의 순서에 관계없이 먼저 설치가 된다.

$$\text{cost}[i][j] \geq r\text{cost}[i][j] \quad \text{식 (4-2)}$$

$$\text{channel} = \lceil (\text{Traffic}[i][j] + R\text{traffic}) / \text{Capacity} \rceil \quad \text{식 (4-3)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R\text{traffic} : \text{넘겨받은 트래픽} \\ \lceil \rceil : \text{그 수를 넘지 않는 최대 정수} \\ \text{channel} : \text{채널수} \\ \text{Capacity} : \text{채널용량} \end{array} \right.$$

V. 시뮬레이션 및 고찰

1. 입력 데이터

입력 데이터는 Aaron Kershenbaum 등의 논문과 그의 저서인 “Telecommunication Network Design Algorithm”에서 사용하는 데이터를 사용한다. 표 5-1은 노드들간의 트래픽 요구량을 나타내고 있으며 대칭이다. 그리고 표 5-2는 노드들간의 설계비용을 나타내고 있으며 대칭이라 가정한다. 여기서 입력 데이터들은 노드와 노드 사이에 요구되는 값이다. 그리고 채널 용량은 24를 이용한다.

채널 용량을 24로 하는 것은 Hansler 논문에서 사용되는 데이터를 MENTOR 알고리즘에 적용을 시킬 때 노드간의 비용을 정수화하고 그 값을 십분의 일로 줄였기 때문에 TELPAK D의 조건(TELPAK D의 채널용량은 240) 또한 십분의 일로 줄였기 때문에 24를 사용한다.

Table 5-1. The traffic requirment between nodes

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

Table 5-2. Installation cost between nodes

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

2. MENTOR 알고리즘의 설계 결과

$0 \leq \alpha < 1$, $0 \leq slack < 1$ 을 각각 0.1 단위로 사용했을 때 100개의 망을 설계해 볼 수 있다. 그 중에서 가장 설계 비용이 적은 결과를 선택 하였을 때 α 는 0.0, 임계값(0.6)을 가지고 망 설계 비용은 14265, 망 전체 요구량은 255를 가진다[1,2]. MENTOR 알고리즘의 결과는 표 5-3, 그림 5-1과 같다. 그림 5-1은 MENTOR 알고리즘을 사용하여 설계를 하였을 때의 결과를 보여준다.

Table 5-3. The result using the MENTOR algorithm

노드쌍	채널수	채널 트래픽	트래픽 총합	링크 비용	전체 비용
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	7268
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

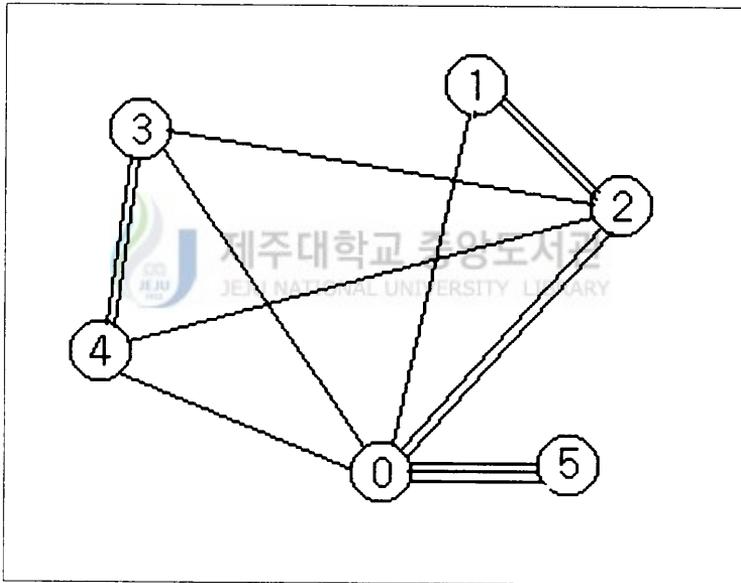


Fig. 5-1. The final design using the MENTOR algorithm

3. 제안 알고리즘의 설계 결과

1) 1 단계 : 노드쌍 순서 결정

(1) 노드쌍의 개수

링크 비용은 대칭이므로 $\frac{N \times (N-1)}{2}$ 개의 링크만을 사용한다.

$$\frac{N \times (N-1)}{2} = \frac{6 \times (6-1)}{2} = 15 \text{ 개}$$

이므로 노드쌍의 순서를 결정하는데 사용되는 링크의 개수는 15개가 된다.

(2) 노드쌍의 트래픽 요구량이 큰 것에서 작은 순으로 결정한 결과는 표 5-3과 같다



Table 5-3. The sorting of traffic requirements

번호	노드쌍	트래픽 요구량
0	0 — 1	23
1	0 — 2	23
2	3 — 4	23
3	0 — 5	22
4	0 — 3	20
5	2 — 3	20
6	2 — 4	13
7	4 — 5	10
8	1 — 4	8
9	1 — 5	8
10	1 — 2	7
11	1 — 3	7
12	2 — 5	7
13	0 — 4	6
14	3 — 5	4

2) 2 단계 : 우회 노드 찾기 및 직접링크 설치 결정

1 단계에서 구한 노드쌍의 순서를 이용하여 우회노드를 찾는다. 식 (4-1)를 만족하는 경우에는 우회 노드를 가지며 만족하지 않는 경우에는 우회노드를 갖지 아니하며 직접링크를 설치한다. 표 5-4는 우회노드 찾기 및 직접링크 설치 결정 단계의 실행 결과이다. 예를들어 노드 쌍 2-4인경우는 우회노드를 가지며 우회경로는 2-1-4의 경로를 가지게 된다. 표 5-4에서 우회노드를 갖지 아니한 노드는 직접 링크를 설치한다.

Table 5-4. The circuit nodes

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

3) 제안 알고리즘의 설계 결과

제안 알고리즘의 설계 결과는 표 5-5에서 나타내는 결과를 가지며, 그림 5-2는 제안 알고리즘을 이용하여 설계를 한 결과이다. 표 5-4에서 우회노드는 노드쌍의 트래픽이 우회되는 경로를 나타내고 있으며, 우회노드를 가지는 노드쌍은 노드쌍 사이에 직접링크 채널을 갖지 않는다.

Table 5-4. The result using the proposed algorithm

노드쌍	우회 노드	채널수	채널 트래픽	트래픽 총합	링크 비용	전체 비용
0 - 1		1	24	24	1446	1446
3 - 4		2	26	50	1422	4290
0 - 2		2	37	87	1307	6904
0 - 5		3	51	138	80	7144
0 - 3		1	24	162	2254	9398
2 - 3	1, 4			162	1723	9398
2 - 4	1			162	1528	9398
4 - 5	0			162	1154	9398
1 - 5	0, 2			162	1526	9398
1 - 4		1	24	186	1468	10866
1 - 3		1	24	210	1473	12339
2 - 5	0			210	1387	12339
1 - 2		2	47	257	271	12881
0 - 4		1	16	273	1074	13955
3 - 5	0			273	2334	13955

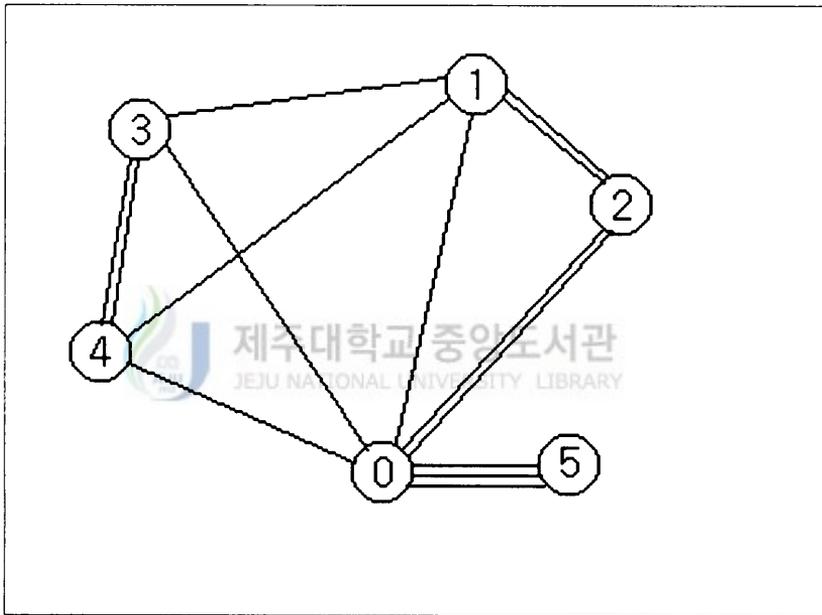


Fig. 5-2. The final design using the proposed algorithm

4. MENTOR 알고리즘과 제안 알고리즘의 설계 결과 비교

기존의 MENTOR 알고리즘은 입력데이터가 삼각 부등식을 만족하여야 한다는 제한 조건이 있다. 그러나 제안 알고리즘에서는 이러한 삼각 부등식을 만족해야 한다는 조건이 없어도 무방하다. 즉 거리 대 비용에 이 MENTOR 알고리즘은 비례 관계를 가져야만 하며 제안 알고리즘에서는 비례관계를 갖지 않더라도 설계가 가능하다. 설계 비용 면에서 MENTOR 알고리즘은 설계 비용이 14265이고 제안 알고리즘은 13955로 총 설계 비용이 나타난다. 제안 알고리즘은 MENTOR 알고리즘에 비하여 310(2.17%)의 설계 비용을 줄였다. 그리고 Hansler 논문(E. Hansler, 1973)의 결과에 의하면 설계 비용은 14015로 나타난다. Hansler 논문보다는 60(1%)의 설계 비용을 줄였다. 그리고 MENTOR 알고리즘의 설계시에는 100가지의 설계 결과중에서 가장 경제적인 설계 비용을 갖는 망을 선택하였다. 그러나 제안 알고리즘에서는 한 번의 설계로 MENTOR 알고리즘보다 경제적인 망을 설계 할 수가 있다.

그리고 장경훈(1995)의 석사학위 논문과의 비교 고찰을 하면 설계 비용은 13955, 전체 트래픽은 273으로 나타난다. 여기서의 입력 데이터 조건 또한 같은 조건을 주었을 때의 결과이다. 이 결과를 보면 제안 알고리즘과 설계 비용면에서는 같은 결과 값을 나타내고 있으나, 전체 트래픽을 보면 제안 알고리즘보다 18 이 더 많은 트래픽이 망에서 흐르고 있다. 이는 망에서 제안 알고리즘이 장경훈(1995)보다 망에서 흐르는 트래픽이 적음으로 인하여 신뢰성이 좋음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 메쉬망 설계에 있어서 많은 설계 시간을 필요로 하지 않으며 경제적인 망 설계 비용을 갖는 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘에서는 단일 채널 용량을 갖는 경우에 대해서 설계를 하였다. 그러나 망 설계시 거리-비용이 비선형적인 성격을 가지며 제각기 서로 다른 채널용량-비용을 설정하여 적용을 하면 본 논문에서 나타나는 결과 보다 더욱더 경제적인 망을 설계할 수 있을 것이다. 그러나 본 논문에서는 MENTOR 알고리즘과의 동일한 조건에서 비교를 하기 위해 단일 채널 용량을 갖는 경우에 대해서 살펴 보았다. 여기서 제안하는 제안 알고리즘은 통신 네트워크의 설계에만 적용되는 것이 아니라 자동차 교통 도로등 여러가지면에도 적용을 시킬수가 있다 즉, 자동차 통행량을 트래픽으로 간주하고 지역간의 도로 공사비용을 노드간의 비용으로 하고 설계를 하면 되는 것이다.

그리고 망 설계시의 연결 노드쌍이 하나만 있는 경우보다 연결 노드쌍이 둘 이상이 되는 것이 망의 신뢰성 면에서 유리하다. 그러므로 연결 노드쌍의 수에 대해서 2개 이상의 연결 노드쌍을 갖고 망의 설계 비용은 경제적인 망 설계 기술을 갖도록 앞으로 연구가 계속되어 져야 할 것이다.

參 考 文 獻

Ahuja V., 1985, Design and Analysis of Computer Communication Networks, McGraw-Hill

Boorstyn R. and Frank H., 1977, "Large-scale network topological optimization" , IEEE Transactions on Communication, Vol. COM-25, pp. 29-47

Hansler E., 1973, "An experimental heuristic procedure to optimization a telecommunication network under nonlinear cost functions", Proc. of Seventh Annual Princeton Conference on Information Science, pp 130-137

Jerry FitzGerald and Tom S. Eason, 1978, Fundamentals of Data Communications, John Wiley & Sons

Kershenbaum Aaron, 1993, Telecommunication Network Design Algorithm, McGraw-Hill

Kershenbaum Aaron, Parviz Kermani and George A. Grover, 1991, "Mentor : An Algorithm for Mesh Network Topological Optimization and Routing" , IEEE Transactions on

Communication, Vol. 39, pp. 503-513

Monma C.I. and Sheng D.D , 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 Communication Network Design and Analysis*, Prentice-Hall

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

장경훈, 1995, " 최소비용을 갖는 메쉬망 설계 알고리즘 ", 제주대학교 전자공학과 석사학위논문

감사의 글

지금의 제가 있기까지 항상 저를 사랑으로 이끌어 주시고 보살펴 주신 부모님께 감사와 영광을 드리며 항상 건강하시길 빕니다. 그리고 본 논문을 완성하기까지 보살펴 주시고 따뜻하게 지도해 주신 김경석 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 본 논문이 완성되기까지 부족한 점을 지적해 주신 도양희 교수님, 김경연 교수님께 감사드립니다. 짧은 기간이지만 저를 지도해주신 이광만 교수님, 고성택 교수님, 강민제 교수님께도 감사를 드립니다. 그리고 4년 동안 저를 지도해 주신 전기공학과 좌종근 교수님을 비롯한 여러 교수님들께도 감사를 드립니다.

논문이 완성되기까지 많은 도움을 준 동춘이 형, 후배 유철이에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 회사 생활을 하면서도 논문이 완성될 수 있도록 많은 배려를 해 주신 (주)서한전자 이교식 사장님을 비롯한 임직원 여러분에게 감사를 드립니다. 또한 대학원 생활 동안 많은 도움을 주신 윤선배님, 영민이 형, 창일이 형, 성숙, 경희, 희선에게도 고마움을 전합니다.

오늘의 제가 있기까지 항상 저를 위해 기도해 주신 부모님과 하나님께 이 기쁨의 영광을 드립니다.

1996년 12월
백 원석 드림