

메쉬망 설계 알고리즘

김 동 춘* · 안 기 중**

Design Algorithm of A Mesh Network

Dong-Choon Kim* and Khi-Jung Ahn**

ABSTRACT

In this paper, we consider the problem of obtaining a minimum cost topology for mesh network with the cost of links between all node pairs of nodes and the internode requirement. We present a algorithm which works in general network design. The algorithm has small amount of computational complexity and the design reselts are better than MENTOR's in total cost and reliability. Also It easily gains good results in various design environments.

Key Words : Mesh network design algorithm

1. 서 론

메쉬망을 설계하는 주요 고려사항으로는 설계시간, 비용, 지연, 신뢰성등 여러 가지가 있으며, 일반적으로 설계시간을 줄이고, 비용은 작게, 지연은 적게, 신뢰성이 높은 메쉬망을 설계하여야한다.^{1,2,3,4,5,7,9)}

일반적으로 메쉬 토폴로지를 구하는 알고리즘은 다음과 같이 두가지로 나눌수 있다.¹⁾

branch exchange 방법은 하나의 메쉬 토폴로지를 구하는데 최소한 $O(N^6)$ 정도의 계산량이 필요하며, 이것은 50에서 100개 정도만 되더라도 많은 계산 시간이 소요된다. 또한 이 알고리즘은 비용함수의 non-convex 특성 때문에 산재해 있는 지역 최소값에

빠지기 쉽다.

한편 heuristic 알고리즘은 적은 계산량에 의하여 동일 조건을 만족하는 많은 메쉬망들을 짧은 시간에 설계할 수 있다. 이렇게 설계된 망들 중, 최적의 망을 선택하는 것이 휴리스틱 알고리즘이다. 휴리스틱 알고리즘이 적은 계산량을 갖더라도, 결과의 신뢰성을 높이려면 많은 메쉬망들을 설계해야하므로 결국 최종 메쉬망 설계를 하는데는 많은 시간이 소요될 수 있을 뿐만 아니라 설계과정의 단순화로 인해 많은 설계들 중 최소의 비용을 갖는 메쉬망을 선택하더라도 비경제적인 설계가 될 위험성을 포함하고 있다. 휴리스틱 알고리즘의 대표적인 것은 MENTOR 알고리즘이다. MENTOR 알고리즘은 N^2 계산량을 가지며, 입력데이터인 설치비용이 삼각 부등식을 만족해야 한다는 제한 조건이 있다.^{1,2)}

본 논문에서는 이와 같은 기존의 알고리즘이 갖고 있는 문제점들을 보완하면서 계산량이 비교적 적은 메쉬망 설계 알고리즘을 제안하고자 한다.

* 제주대학교 대학원

Graduate school, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 통신·컴퓨터 공학부, 첨단기술연구소

Faculty of Telecommunication and Computer Engineering, Res. Insti. Adv. Tech., Cheju Nat'l Univ.

II. 입력 데이터 조건과 성능 인자

2.1. 입력데이터 조건

다음은 제안 알고리즘을 적용하기 위하여 필요한 몇 가지 제한 사항들이다.

1) 채널의 조건

- (1) 각 채널은 동일한 용량을 갖는다.
- (2) 큐잉 지연과 블럭킹을 야기하지 않은 범위까지만 채널용량을 사용하고 이 이상은 허용하지 않는다고 가정한다.

2) 트래픽(t_{ij})의 조건

- (1) 각 노드는 근원지(Source)와 목적지(destination) 역할을 모두 할 수 있다.
- (2) 수신 경로와 송신경로는 다를 수 있다.

3) 비용(c_{ij})의 조건

비용(c_{ij})은 i 와 j 에 대해 대칭(symmetric)이다.

2.2 망설계 성능인자

1) 설계비용 : 트래픽요구량을 만족하는 메쉬망에 필요로 하는 링크설치비용의 총합

2) end to end delay : 채널조건 2을 만족하면 채널상에서 딜레이는 없는 것으로 간주할 수 있으며, 딜레이는 노드에서의 처리과정에 발생하는 딜레이만 고려하면 된다. 최대 딜레이를 고려하지 않고 평균 딜레이를 성능인자로 고려한다. 성능인자로써 망의 모든 노드에서 처리해야 하는 총 트래픽량을 고려한다.

3) 신뢰성 : 신뢰성을 나타내는 성능인자로써 노드와 노드사이에 연결된 링크 수를 고려한다. 같은 노드쌍사이에 다중채널이 설치되더라도 1개로 계산한다. 즉 연결된 노드쌍의 개수이다.

MENTOR 알고리즘의 결과와 제안알고리즘의 결과의 성능비교를 할 때에 주의 할 점은 MENTOR 알고리즘은 휴리스틱 알고리즘이기 때문에 특정한 변수에 대한 설계결과와 제안 알고리즘의 결과와의 직접적인 비교는 무의미하다. MENTOR 알고리즘의

설계결과를 변수를 변화시켜 구한 결과들 중 최소비용의 결과를 선택하여 제안 알고리즘의 결과와 비교한다. 비교되는 제안 알고리즘의 결과는 설계대상이 비용일 때는 임계치 r 가 1 일 때의 결과이고 설계대상이 성능인자들의 최적화일 때는 이 변수를 변화시키면서 최적화 되었다고 생각되는 결과를 선택한다.

III. 제안 메쉬망 설계 알고리즘

제안 알고리즘의 설계원리는 크게 두 가지로 보면,

(1) 직접링크를 고려하는 노드쌍의 순서는 설치비용의 순으로 정한다. 비용이 큰 링크는 직접링크를 먼저 고려하여 넘겨받는 트래픽을 적게 한다. 이러한 순서는 비용이 큰 링크를 가능한 설치하지 않는다.

(2) 직접링크 고려시 영향을 주는 우회경로의 실효 트래픽량($T_i + T_b$)% L_c 의 확률분포는 0부터 채널용량까지 균일하다고 가정한다.

(T_i : 입력 데이터로 사용되는 트래픽양

T_b : 우회경로로 선택되어 넘겨받은 트래픽양

L_c : 유효 채널용량)

망 설계 과정에서 실효 트래픽양의 분포를 알아보기 위해 입력데이터로 사용된 트래픽양의 확률분포를 Fig. 1에 나타내었다. 우회경로의 트래픽양 $T_i + T_b$ 이며, 넘겨받은 회수가 한번이면 T_b 는 입력데이터로 사용된 트래픽양이므로 확률분포는 Fig. 2와 같이 Fig. 1에 나타난 확률분포의 컨볼루션이 된다. 실효 트래픽양의 [$T_i + T_b$] % L_c 이므로 확률 분포는 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. Fig. 1은 균일 분포와 차이가 있으나 Fig. 3은 균일 분포에 가까워졌다는 것을 알 수 있다. Fig. 4는 Fig. 3과 같은 분포를 갖는 트래픽양이 더해진 실효 트래픽의 확률분포를 나타내었다. 즉, 넘겨받은 회수가 많으면 결국 우회경로의 확률 분포는 균일 분포에 더욱 더 가까워진다. 즉 노드 수가 많을 수록 균일 실효 트래픽양이 균일 분포에 가까워진다. 위의 결과는 대다수의 확률분포에 해당하므로 특정한 메쉬망 설계에만 국한되는 것이

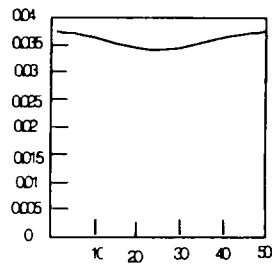
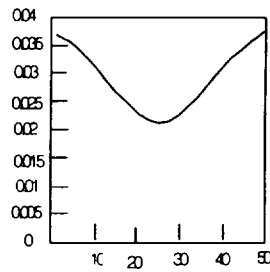
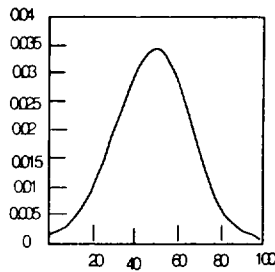
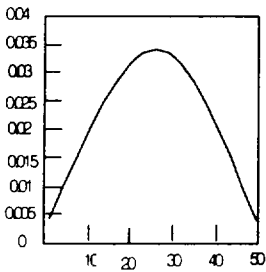


Fig. 1. the prb. of dist.(1)

Fig. 2. the prb. of dist.(2)

Fig. 3. the prb. of dist.(3)

Fig. 4. prb. of dist.(4)

아니라 일반적인 설계에도 설계원리의 두 번째 항목은 적용될 수 있음을 보여준다.

우회경로의 실효 트래픽량이 0에서 채널용량까지 균일하게 분포한다면 직접링크를 고려하는 노드 i와 노드 j사이의 트래픽이 노드 k를 통하여 우회되었을 때 평균 추가비용 Ca 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$Ca = (t_{ij} \% L_c) / L_c * (c_{ik} + c_{kj})$$

$$k : \text{우회 노드}, t_{ij} : [T_i + T_j]$$

$$(t_{ij} \% L_c) / L_c : \text{우회경로에 추가될링크 확률}$$

우회경로의 선택은 우회가능한 노드중 위의 평균 추가 비용이 가장 적은 경로를 선택한다. 단, 우회경로는 두 노드쌍으로 이루어진다.

노드쌍사이에 직접링크를 고려할 때, $t_{ij} \% L_c$ 에 대해 아래 식을 만족하면 노드쌍 사이에 직접링크를 설치한다. 즉, 직접링크 설치비용이 우회되었을 때의 평균 추가비용보다 경제적임을 나타낸다.

$$c_{ij} < (t_{ij} \% L_c) * (c_{ik} + c_{kj}) / L_c$$

위 식을 만족하여 직접링크를 설치하였을 때는 사용 가능한 채널용량이 존재한다. 송신경로와 수신경로가 다를 수 있다면 이러한 여분의 채널용량을 경제적으로 이용하여 망을 설계할 수 있다. 여분의 채널용량을 사용할 때도 평균 비용이 적은 것을 선택하여 망을 설계한다.

제안 알고리즘의 설계과정은 다음 5단계로 이루어진다. 1. 2. 3단계가 끝난 후, 2. 3단계의 정보를 이용하여 1단계의 순서로 4. 5단계를 수행한다. 각 단계의 계산량에 사용된 N은 노드수이다.

1단계 : 직접링크를 고려하는 노드쌍 순서 결정하기

비용이 큰 노드쌍부터 적은 비용으로 순서를 결정한다. 계산량은 $O(N^2)$ 차수를 갖는다.

2단계 : 우회노드 결정하기

노드 i와 노드 j사이에 직접링크가 설치되지 않을 때, t_{ij} 의 전송경로를 아래 식과 같이 평균 추가비용을 최소로 하는 k노드를 우회노드로 선택한다. 단, 직접링크 고려 노드쌍의 설치비용보다 큰 노드쌍들은 우회경로로 사용하지 못한다. 평균추가 비용이 가장 작은 경로를 선택하기 때문에 계산량은 $O(N^3)$ 를 갖는다.

$$\text{MIN}[\text{cost}[i][k] + \text{cost}[k][j]]$$

3단계 : 기본 응용 노드쌍 찾기

2단계에는 우회노드가 없는 노드쌍을 기본 노드쌍이라 하고, 기본 노드쌍들을 우회경로로 사용하는 노드쌍들은 응용노드쌍이라 칭한다. 각 각의 기본 노드쌍들을 우회경로로 사용하는 응용노드쌍 중 가장 비용이 적은 노드쌍들을 찾는다. 이러한 노드쌍을 기본 응용 노드쌍이라 칭한다. 계산량은 $O(N^2)$ 이다.

4단계 : 직접링크 설치하기

직접링크를 고려하는 노드쌍의 트래픽양은 $[t_{ij}/L_c] * L_c + t_{ij} \% L_c$ 으로 나타낼 수 있으며, 두개의 요소에 각기 다른 방법으로 직접링크를 고려한다.

① $[t_{ij}/L_c] * L_c$ 에 대한 직접링크 설치방법

② $t_{ij} \% L_c$ 에 대한 직접링크 설치방법

5단계 : 여분의 채널용량 이용하기

단계 4에서 채널 용량보다 적은 트래픽양에 대하여 직접링크가 설치되면 여분의 채널 용량이 존재한다.

그런 경우 평균비용이득이 가장 큰 노드쌍부터 찾아 여분의 채널용량을 이용하며, 이용 후에도 여분의 채널이 남는다면 다시 평균비용 이득이 있는 노드쌍을 찾아 이용한다. 이 여분의 채널용량을 이용할 때, 송신경로와 수신 경로가 같아야 한다면 평균비용 면에서 이득이 없고 이번 단계를 적용하려면 송신경로와 수신경로가 다를 수 있다는 전제가 필요하다.

IV. 설계 및 결과 고찰

이번 절에서는 기존의 MENTOR 알고리즘[1]에서 사용되어진 데이터를 이용하여 제안알고리즘으로 메쉬망설계를 한다.

Table 3의 정렬순서에서 같은 순위를 갖는 노드쌍들의 순서를 바꾸면, 설계결과가 달라질 수 있으므로 링크설치비용이 대칭이면 정렬순서에 주의를 해야한다. 그러나 노드수가 수십개 이상인 경우에는 거의 차이가 없다. 링크 설치비용이 대칭이 아니고 값이

Table 1. establishment costs

node	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

Table 2. traffic requirements

node	0	1	2	3	4	5
0	0	23	23	20	6	22
1	23	0	7	7	8	8
2	23	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

1단계 : 노드쌍 정렬하기

Table 3. establishment costs sorted

order	node pair	cost	order	node pair	cost
1	5-3, 3-5	2334	9	4-3, 3-4	1422
2	5-0, 0-5	2254	10	5-2, 2-5	1387
3	3-2, 2-3	1723	11	2-0, 0-2	1307
4	4-2, 2-4	1528	12	5-4, 4-5	1074
5	5-1, 1-5	1526	13	4-0, 0-4	1154
6	3-1, 1-3	1473	14	2-1, 1-2	271
7	4-1, 1-4	1468	15	5-0, 0-5	80
8	1-0, 0-1	1466			

전부 다르다면 정렬순서는 하나가 된다. 예에서는 같은 순위에 있더라도 앞에 있는 노드쌍을 먼저 고려한다.

2단계 : 우회경로 정하기

Table 5. circuitous paths

order	node pair	circuitous node	order	node pair	circuitous node
1	5-3, 3-5	0	9	4-3, 3-4	
2	3-0, 0-3	4	10	5-2, 2-5	0
3	3-2, 2-3	1	11	2-0, 0-2	
4	4-2, 2-4	1	12	5-4, 4-5	0
5	5-1, 1-5	0	13	4-0, 0-4	
6	3-1, 1-3	4	14	2-1, 1-2	
7	4-1, 1-4	0	15	5-0, 0-5	
8	1-0, 0-1	2			

우회경로는 우회경로의 설치비용이 가장 적은 경로를 선택한다. 우회노드를 고려하는 노드쌍보다 순위가 높은 노드쌍은 우회경로에서 제외된다. 예에서는 링크설치비용이 대칭이므로 우회노드가 없는 노드쌍을 연결하면 MST가 되고 대칭이 아닐 때는 $2(N-1)$ 보다 많은 노드쌍들이 우회노드를 갖지 못한다.

3단계 : 기본 응용 노드쌍 찾기

4단계 : 직접 링크 설치

5단계 : 여분의 채널용량 이용하기

위의 과정들은 모두 Table 6.에 나타내었다. 순위는

직접링크를 고려하는 순서이다. 3단계에서, 기본응용노드쌍이면 'Yes'라 표시하였고, 사용되는 기본 노드쌍을 표시하였다. 4단계에서 직접링크가 설치되면 'Yes'라 쓰고 설치된 채널의 개수를 표시하였고 우회경로를 이용하면 'No'라고 나타내었다. 5단계는 직접링크를 설치하고 여분의 채널용량이 존재하여 그 채널 용량

을 이용할 수 있을 때는 'Yes'로 나타내었다. 이어분의 채널을 이용한 트래픽양은 경로가 명시적이어야 하므로, 사용한 노드쌍과 트래픽양을 나타내었다.

경로는 노드쌍사이의 트래픽이 어떤 노드들을 통해 전송되는 지를 가르쳐준다. Table 5에 나타낸 경로는 우회된 트래픽은 우선권을 갖는다고 가정하여 나타내었다. 직접링크가 연결된 링크설치비용을 계산하면 26493이고 총트래픽양은 564이다.

Table 6. the procedure and the result

order	node pair	circu-tous node	step 3	direct link : Yes circu-tous link: No	step 5	Path (Traffic)
1	5-3	0	No	No	No	5-0-3(4)
2	3-5	0	No	No	No	3-0-5(4)
3	3-0	4	No	Yes : 1개	No	3-0(20)
4	0-3	4	No	Yes : 1개	No	3-0(20)
5	3-2	1	No	No	No	3-1-2(20)
6	2-3	1	No	No	No	2-1-3(20)
7	4-2	1	No	No	No	4-3-1-2(13)
8	2-4	1	No	No	No	2-1-4(13)
9	5-1	0	No	No	No	5-0-1(8)
10	1-5	0	No	No	No	1-0-5(8)
11	3-1	4	Yes: (3-4)	Yes: 2개	Yes (4-1): 20	3-1(7)
12	1-3	4	Yes: (4-3)	Yes: 1개	No	1-3(4)1-4-3(3)
13	4-1	0	No	No	No	4-3-1(8)
14	1-4	0	No	Yes: 1개	No	1-4(8)
15	1-0	2	Yes: (1-2)	Yes: 1개	No	1-0(16)1-2-0(7)
16	0-1	2	Yes: (2-1)	Yes: 1개	No	0-1(16)0-2-1(7)
17	4-3		No	Yes: 2개	No	4-3(23)
18	3-4		No	Yes: 1개	No	3-4(23)
19	5-2	0	Yes: (0-2)	No	No	5-0-2(7)
20	2-5	0	Yes: (0-5)	No	No	2-0-5(7)
21	2-0		No	Yes: 2개	No	2-0(23)
22	0-2		No	Yes: 2개	No	0-2(23)
23	5-4	0	Yes: (5-0, 0-4)	No	No	5-0-4(10)
24	4-5	0	Yes: (4-0, 0-5)	No	No	4-0-5(10)
25	4-0		No	Yes: 1개	No	4-0(6)
26	0-4		No	Yes: 1개	No	0-4(6)
27	2-1		No	Yes: 2개	No	2-1(7)
28	1-2		No	Yes: 2개	No	1-2(7)
29	5-0		No	Yes: 3개	No	5-0(22)
30	0-5		No	Yes: 3개	No	0-5(22)

4.1 단일 채널을 사용한 설계결과 비교

Table 7은 예제의 설계 결과와 MENTOR 알고리즘의 설계결과 및 IBM Watson 연구소에서 개발한 설계틀을 이용한 결과를 나타내었다. 설계대상은 비용이므로 이 성능인자가 가장 중요한 대상이다.

제안 알고리즘의 계산량은 $O(N^3)$ 이고 MENTOR 알고리즘은 $O(N^2)$ 이지만, MENTOR 알고리즘은 휴리스틱 알고리즘이기 때문에 많은 설계들을 하여야 한다. 즉 계산량은 제안 알고리즘보다 작지만 실제 소요시간이 적다고 단언할 수 없다. 또한 IBM tool은 서론에서 설명된 첫째 종류의 알고리즘이어서 계산량이 아주 많다. 계산소요시간에서도 제안 알고리즘이 우수하다고 말할 수 있다.

Table 7. the comparison of designs with D TELPAK

Algorithm	total cost	tatal traffic	reliability	threshold
IBM tool	28030			
MENTOR	28530	510	9	
제안(1)	26492	564	9	$\tau = 1$
제안(2)	26782	525	10	$\tau = 0.6$

제안(2)는 제안 알고리즘에서 구한 설계들중 설계비용과 트래픽양에서 최적으로 간주될 수 있는 결과를 택한 것이다. 제안(2)은 MENTOR 알고리즘과 설계결과에 대해 비용면에서 7%의 이득이 있고, 신뢰성이 1 증가하고, 총 트래픽은 약 3%정도 증가하였다. 비용면만을 고려한다면 제안(1)의 설계를 선택하면 되고 지연과 신뢰성을 고려한다면 제안(2)을 선택하면 된다.

4.1 다중채널을 이용한 설계결과의 비교

단위 트래픽당 비용은 채널용량에 대해 이산적인 concave 함수이므로, 다중채널을 이용하여 망을 설계할 경우는 용량이 큰 채널을 이용하여 설계한 다음, 큰 채널용량보다 작은 트래픽에 대하여 적은 용량의 채널을 이용하면 효과적인 망설계를 할 수 있다. 이러한 망을 설계할 때는 임계치 τ 를 변화시키면서 휴리스틱 방법으로 망을 설계한다. 위의 Table 7은 한 개의 채널용량 D TELPAK 만으로 이루어진 망을 설계한 결과이다. 여기에 C TELPAK이 사용될 수 있고, C TELPAK의 비용이 D TELPAK의 비용 *30/85, 채널용량이 6이라 한다. 이 두개의 채널을 사용하여 설계한 결과와 MENTOR 알고리즘의 결과를 Table 8와 같이 비교할 수 있다.

Table 8. the comparison of designs with C/D TELPAK

Algorithm	total cost	total traffic	reliability	threshold
MENTOR	26236	510	9	
proposed	25716	508	11	$\tau = 0.6$

제안 알고리즘에서 구한 값은 임계치 $\tau = 0.6$ 일 때 25716 이고 MENTOR 알고리즘에서 구할 수 있는 최소값은 26236이다. 제안 알고리즘이 2%의 비용 이득뿐만 아니라 총트래픽량과 신뢰성 면에서도 좋은 설계임을 보여준다. 이 결과로부터 다중채널을 갖는 메쉬망 설계에서도 제안 알고리즘을 적용할수 있음을 보여준다.

위의 모든 설계 결과들은 MENTOR 알고리즘에서는 트리구조를 결정하는 변수 alpha와 직접링크 임계치를 결정하는 변수 slack을 각각 0.01씩 변화시켜 10000개의 설계된 망들 중에서 가장 최소의 설계비용을 갖는 망을 선택하였고, 제안 알고리즘에서는 설계대상이 성능인자의 최적화 일 때는 τ 을 0.01부터 1.까지 0.01씩 증가시켜 만든 100개의 망들 중에서 선택하고 설계대상이 최소비용일 때는 $\tau = 1$ 로 고정시켜 한 개의 망을 설계한다. 위의 설계들은 비교의 공정성을 기하기 위해 사용된 데이터들을 모두 MENTOR 알고리즘 예제에서 선택하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 단일 채널 용량을 이용한 메쉬망 설계에서 적은 계산량 ($O(N^3)$)으로 여러 목적(설계비용, 지연, 신뢰성)에 적용할 수 있는 알고리즘을 제안하였고 설계 결과들은 이를 뒷받침하고 있다. 특히 많은 노드로 이루어진 망설계에는 MENTOR 알고리즘보다 탁월한 성능을 보여준다. 그리고 다중채널을 사용한 메쉬망 설계에도 적용될 수 있음을 보였다. 제안 알고리즘의 설계 결과를 좀더 복잡한 설계 알고리즘의 초기 토폴로지로 적용한다면 더욱 더 효과적인 메쉬망을 설계할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) Aaron Kershenbaum. April 1991. "MENTOR: An Algorithm for Mesh Network Topological Optimization and Routing." IEEE Trans. Comm. Vol. 39. pp. 503-513 .
- 2) Aaron Kershenbaum. 1993. Telecommunication Network Design Algorithm. McGraw-Hill .
- 3) Mischa schwartz. 1977. Computer comm. Network Design and Analysis. Prentice-Hall.
- 4) R.Boorstyn and H.Frank. 1977. "Large-scale network topological optimization." IEEE Trans. Comm. Vol.COM-25. pp.29-47.
- 5) C.L.Monma and D.D Sheng. Sept. 1986. "Backbone network design and performance analysis : A methodology for packet switching networks." IEEE J. Select Areas Comm.. Vol.SAC-4. pp.946-965.
- 6) E.W. Dijkstra. 1959. "A note on two problem in connection with graphs." Numerische Mathematik I. pp.269-271.
- 7) Harrell J.Van. Norman. 1992 "LAN/WAN Optimization Techniques" Artech House.
- 8) Ricardo F. Garzia. 1990. Network Modeling Simulation and Analysis. Marcel Dekker.