

서바이버블한 통신망 설계에 관한 연구

正會員 丁 在 妍* 正會員 李 鐘 榮* 正會員 吳 永 煥*

A Study on the Design of Survivable
Communication NetworksJae Youn Jeung*, Jong Young Lee*, Young Hwan Oh* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 통신망 설계시 신뢰성을 높이며 계산량을 감소시키기 위하여 기존의 Cut-Saturation 알고리즘에 절점차수(node degree)를 적용하여 서바이버블(survivable)한 통신망을 설계하는 알고리즘을 제안하였다. 먼저, 초기 토폴로지(initial topology)를 결정한 다음, 망의 성능을 평가하고 통신망의 정보 처리량이 요구량보다 적을 경우 최소 절점차수와 지로 길이(link distance)를 이용하여 최적의 위치에 지로를 연결하였다. 그렇지 않은 경우 최대 절점차수 및 지로 길이와 지로 사용도(link utilization)를 이용하여 지로를 제거하였다. 이 과정을 통신망의 트래픽(traffic) 처리량과 트래픽 요구량이 일치할 때까지 반복하였다.

본 알고리즘에 의해 설계된 통신망은 서바이버블하며, 설계비용을 최소화하고, 트래픽 요구량을 모두 처리할 수 있고, 특히 계산량이 적어 초기 토폴로지 선택이 자유롭고 통신망의 크기에 큰 영향을 받지 않는다는 것이 장점이다. 또한 본 논문에서 제안한 알고리즘을 분석하기 위하여 Kris와 Pramod의 결과와 비교하였다.

ABSTRACT

This paper propose a survivable communication network-design process using node degree that augments the usual traffic flow and cost analyses with previously ignored topological survivability and computing time considerations.

At first, decide a initial topology, and then measure a throughput of network. If the throughput is smaller than the required traffic, add edge to the optimum place by using minimum node degree and link distance. Otherwise, drop useless edge by using maximum node degree, link distance and link utilization. This process is repeated until throughput equals to the required traffics.

This process designs a survivable communication network with the minimized cost and computing time and usual traffic flow. The design proceses that minimized computing time are freely select initial topology and easily design a large network.

And these results of algorithm are compared with the Kris and Pramod's in order to analyses the perfmance of the designed network.

*光云大學校 大學院 電子通信工學科
Kwang Woon University Graduate School Electronicomm-
unication

論文番號 : 93-174

I. 서론

통신망 서바이버빌리티(survivability)는 초기에는 군사 통신망을 대상으로 연구되었다⁽¹⁾. 대표적인 군사 통신망 구조인 하이아라키 구조(hierarchy structure)는 불완전하여 중간위치의 교환국을 파괴시킴으로서 전체 통신망의 통신을 불가능 하도록 만들 수 있기 때문이다. 그러므로 적의 공격에 대해 통신망이 큰 저항성을 갖도록 하여 통신망의 일부가 파괴되더라도 그외의 지역에서는 통신이 가능하도록 통신망을 설계하는데 통신망 서바이버빌리티가 사용되었다. 서바이버빌리티는 통신망이 교환국내의 고장이나 선로의 고장에 대하여 어느 정도의 저항성을 갖는가를 측정할 수 있는 방법으로서 통신망 설계의 성능 지표(performance index)가 되어 절점과 지로가 어느 정도로 유기적으로 연결되었는가를 나타낸다. 또, 서바이버블한 통신망은 특정 절점과 지로가 서바이버블하게 설계된것 보다는 고른 분포의 서바이버빌리티를 갖도록 설계하여 통신망 전체의 신뢰성을 높인 통신망이다.

기존의 설계 방법은 통신망을 주로 트래픽과 설계 비용에 주안점을 두어 설계하여, 고른 분포의 신뢰성을 가질 수 없고, 낮은 서바이버빌리티를 갖는다. Kris와 Pramod⁽¹⁾는 이러한 문제점을 해결하기 위해 트래픽과 설계 비용만을 이용하여 통신망을 설계하는 알고리즘인 Cut-Saturation 알고리즘⁽²⁾을 변형하여, 변형한 알고리즘을 제안하였다. 즉, 지로 삽입 삭제시에 서바이버빌리티 관계식(LT/ND)을 이용하여 서바이버블한 통신망 설계 방법을 제시하였다. 그러나 이 알고리즘은 통신망에 지로를 삽입하거나 삭제하기 위한 계산량이 최대 {지로수 $\times O(n-1)$ }⁽³⁾이므로, 초기 토폴로지 선택에 제한성이 따르며, 대형 통신망 설계에 어려움이 크다.

본 논문에서는 트래픽 요구량과 설계 비용을 만족시키면서 동시에 서바이버블한 통신망을 설계하기 위해 Cut-Saturation 알고리즘을 수정하여 지로의 삽입 삭제시 절점차수를 기준지로 사용하였다.

설계하기 위한 통신망의 특성에 알맞게 초기 입력치를 결정한 다음, 각 절점간에 최단경로를 구하고 라우팅(routing)하여, 절점간에 요구 트래픽을 흘러포화된 지로를 제거하였다. 통신망에 더 이상 트래픽을 보낼 수 없을 때 통신망의 처리능력을 평가하여 통신망의 트래픽 처리량이 요구량보다 적을 경우 최소 절점차수와 지로의 길이를 이용하여 최적의 위치

에 지로를 연결하고, 처리량이 요구량 보다 많을 경우 최대 절점차수 및 지로의 길이와 지로 사용도율을 이용하여 지로를 제거하였다. 이 과정을 반복하여 통신망을 설계하였다.

II. 기본 이론

II-1. 그래프 이론

그래프(graph) G 는 2-tuple $\langle V, E \rangle$ 로 정의되는데, V 는 절점집합이고, E 는 지로집합이다⁽⁴⁾. V 와 E 의 크기는 n 과 e 로 표시한다. 그래프 $G' = \langle V', E' \rangle$ 가 $V' \subset V$ 이고, $E' \subset E$ 인 관계를 만족할때 그래프 $G = \langle V, E \rangle$ 의 부분그래프라 한다. 한 지로의 끝점인 두 절점이 인접하다고 하면, 지로는 끝점에 인접던트(incident)하다. 한 절점으로 인접던트한 지로의 수를 그 절점의 절점차수라고 한다. 경로(path)는 모든 절점이 서로 다른 개방된 트레일(trail)을 의미하며, 최단 경로는 지로의 길이를 무게값(weight)으로 부여했을때 가장 짧은경로를 의미한다. 통신망을 설계하기 위해서 그래프로 모형화 하는데 이때 절점 V 는 통신국 또는 단말을, 지로 E 는 통신 선로를 뜻하고 있다.

또한, 통신망을 설계할때에는 신뢰성있는 연결성(connectivity)이 중요하다. 어떤 그래프 G 가 연결성있게 되려면 그래프 G 내에 모든 절점쌍 사이에 적어도 하나의 경로가 존재해야만 한다. 통신망의 연결성에는 절점 연결성(node connectivity)과, 지로 연결성(edge connectivity)이 있다.

먼저, 통신망의 절점 연결성은 절점을 제거함으로써 얼마나 쉽게 그래프가 분리되도록 만들 수 있는가를 평가하는 기준치이다. 또한, 컷-절점(cut-vertex)은 그래프가 분리 되도록 제거한 절점수를 의미한다.

지로 연결성은 트리 부분그래프(tree subgraph)와 스페이닝 트리(spanning tree)그래프 개념을 이용한다. 트리 부분 그래프(sub-graph)는 폐루프(closed loop)를 포함하지 않는 그래프 G 의 부분 그래프이며, 스페이닝 트리 그래프는 그래프 G 의 모든 절점을 포함하며 사이클이 없는 연결성을 갖는 부분 그래프이다. 여기에서, 스페이닝 트리는 최소한의 연결성 구조를 의미한다.

II-2. 통신망의 서바이버빌리티 측정이론

서바이버블한 통신망을 설계할때는 통신망의 서바이버빌리티를 수치적으로 평가할 수 있는 방법이 필

요하다. 통신망의 연결성 레벨(level)은 두가지 방법 즉, 결정적(deterministic) 그리고 확률적(probabilistic)인 방법을 이용하여 측정하여 왔다^{(1), (4), (6), (7)}.

결정적 방법은 주로 통신망과 관련된 그래프 이론적인 개념을 내포한다. 확률적인 방법은 특정 절점사이의 경로의 유용성이나 신뢰도와 관련되어 있다.

본 논문에서는 최근에 제시된 결정적 연결성 관계 이론을 이용하였다. 통신망의 연결성 측정은 통신망 전체의 연결성과 각 요소에 대한 서바이버빌리티를 측정하는 방법이 있다.

첫째, 통신망 전체의 연결성 측정은 통신망의 전반적인(global) 연결구조의 서바이버빌리티를 수치적으로 평가한다. 토폴로지 측면에서 통신망 설계 목적은 전반적인 서바이버빌리티를 최대화시키는 것이다. 절점과 지로의 유기적인 연결은 전반적인 서바이버빌리티를 최대화시키는 원인이 된다.

절점 연결성 요소값(NCF, Node Connectivity Factor)과 지로 연결성 요소값(LCF, Link Connectivity Factor)은 그래프 이론을 기초로한 전반적인 연결성 측정 수단이다. NCF는 통신망의 절점 서바이버빌리티를 의미하며 통신망을 두개 또는 그 이상의 부분 통신망으로 분리하는데 사용된 절점수를 이용하여 계산한다. 또 LCF는 통신망의 지로 서바이버빌리티를 나타내며 통신망이 가장 기본적으로 연결된 형태인 스페이닝 트리 구조를 이룰때 각 지로의 평균 기여수로 정의된다.

NCF를 계산하기위해 우선 모든 최소 컷-절점(cut-vertex set)을 구해야 한다. 만약 그래프에서 Q개의 최소 컷-절점을 구하면, 각 최소 컷-절점에 속한 절점과 지로를 제거하여 그래프를 Q개의 부분그래프로 만들 수 있으며, 각 부분 그래프에 대해서 위 과정을 반복하여 부분그래프가 완전히 분해될때까지 반복한다. 그래프가 완전히 분해되도록 제거하는 최소 컷-절점수순(cut-vertex set sequence)을 분해 수순(decomposition sequence)이라한다. 이런 분해수순이 발생할 확률과 제거한 절점의 총수를 곱하여, 그래프가 완전히 분리되도록 제거한 절점수를 산출한다.

NCF 계산과정에서는 그래프를 완전히 분리되도록 만들 수 있는 모든 발생가능한 최소 컷-절점을 구한다. 이 분해 다이어그램(diagram)으로 부터 NCF를 다음과 같이 정의한다.

$$NCF = \sum_{j=1}^m N_j \times P(N_j) \quad (1)$$

여기서, D_j 는 분해 수순의 총수, N_j 는 분해 수순 j 의 제거된 절점수, 그리고 $P(N_j)$ 는 분해수순 j 가 발생한 확률이다.

식(1)은 고장난 절점이 전체적인 연결성을 가장 상하게 감소시킨다고 가정하고 통신망의 절점 연결도를 평가한다.

다음, LCF를 계산하기 위해서는 그래프가 포함된 스페이닝 트리수를 결정한다. 이것에 의해 그래프에서 스페이닝 트리 총수에 대해서 주어진 지로의 평균 수를 계산한다. 연결성있는 통신망에서

$$LCF = |T \cdot (|V| - 1)| \cdot |E| \quad (2)$$

이다.

여기서, T 는 스페이닝 트리 총수, $|V|$ 는 절점수, 그리고 $|E|$ 는 지로수이다.

식 (2)는 통신망 요소(element) 사이에서 연결성을 유지하기 위한 통신망 지로의 기여도를 나타낸다.

둘째, 통신망 요소의 개별적인(individual) 서바이버빌리티를 측정하는 방법으로, 통신망의 최소 절점차수와 최대 절점차수를 측정한다. 통신망의 최소 차수는 지로 연결성측면에서 불패 차수가 작은 절점이 작은수의 지로가 고장나도 통신이 쉽게 두절될수 있음을 표시하고, 통신망의 최대 차수는 절점 연결성측면에서 불패 차수가 큰 절점의 고장이 통신망의 서바이버빌리티에 큰 영향을 주는것을 의미한다.

여기에서 절점차수가 최적값(optimum value) 이상으로 커지면 NCF와 LCF값이 작아지고, 최적값 이하로 되면 그 절점의 서바이버빌리티가 작아지므로, 통신망을 설계할때 절점차수를 측정하여 지로 삽입 삭제시 기준치로 사용하여 통신망이 트래픽과 설계비용을 만족하면서 절점차수가 최적값을 갖도록 설계하여 서바이버블한 통신망을 설계할 수 있음을 알 수 있다.

III. 서바이버블한 통신망의 설계

III-1. 수정한 Cut-Saturation 알고리즘

초기 입력치(초기 통신망 토폴로지, 지로 용량(edge capacity), 평균 지연시간, 통신망의 모든 절점쌍

간의 트래픽 요구량)를 결정한 다음, 알고리즘을 수행한다.

- Step 1. 모든 절점쌍사이의 최단 경로를 구한다.
- Step 2. 최단경로에 요구 트래픽을 라우팅한다.
- Step 3. 모든 절점쌍 사이에 보내는 트래픽을 자주 사용되는 지로의 정보량과 용량(capacity)이 일치하도록 일정량을 증가 또는 감소시킨다.
- Step 4. 포화된 지로는 그래프에서 제거하고, 그 밖의 지로는 잔여 용량으로 대체한다.
- Step 5. 통신망이 2개의 부분 통신망으로 분리되거나 모든 트래픽을 보낼 경우, 지금까지 흘러보낸 트래픽양을 계산한다. 이것이 처리량이 된다. 그렇지 않은 경우 Step 1을 수행한다.
- Step 6. 처리량과 트래픽 요구량과 비교한다. 평가된 처리량이 요구량보다 많거나 허용범위(boundary)를 초과할 경우 설계비용을 줄이기위해 불필요한 지로를 제거한다. 제거할 지로를 선택하는데 필요한 기준값은 지로 길이, 지로 사용도, 절점차수인덱스이다.
요구량 보다 적거나 허용범위에 미치지 못할 경우 처리수준을 증가시키기 위해서 지로 하나를 통신망에 추가한다. 추가할 지로를 선택하는데 사용되는 기본 기준값은 지로길이와 절점차수인덱스이다.
다시 Step 1을 수행한다.
- Step 7. 설계된 통신망의 총 길이, NCF, LCF, LT, ND를 구하고 종료한다.

III-2. 서바이버블한 통신망의 기초 설계

수정한 Cut-Saturation 알고리즘에서 통신망 설계 과정에 필요한 입력치는 다음과 같다.

- i) 초기 통신망 토폴로지
- ii) 지로 용량
- iii) 지로상의 평균 지연시간
- iv) 통신망의 모든 절점쌍 간의 트래픽 요구량

절점차수를 이용하여 통신망을 설계하는 방법은 초기 토폴로지로 각 절점을 간단히 연결하는 트리형이나, 링형 또는 트리와 링형을 결합한 형태이나 큰 차이를 보이지 않으므로 Kris와 Pramod의 결과와

비교하기 위하여 트리형을 택하였다.

지로용량과 평균 지연시간은 한 지로의 평균 정보량을 결정하기 위해서 사용된다.

한 지로상에서 발생하는 평균 지연시간은 다음과 같다.

$$d_i = 1 / [\mu_i C_i - \lambda_i] \quad (3)$$

여기서, d_i 는 지연시간, $1/\mu_i$ 는 평균 bit/packet, C_i 는 용량, λ_i 는 평균 packet/second이다.

식(3)에서 C_i , $1/\mu_i$ 와 d_i 가 결정되면 평균 정보량, f_i 는 다음과 같다.

$$f_i = \lambda_i / \mu_i \quad (4)$$

또한, 트래픽은 모든 절점쌍에 흐르는 정보량과 평균 kbit/second를 근거로하여 정해진다.

통신망의 절점의 위치가 고정된 상태에서 서바이버블한 통신망을 설계하는 첫번째 방법은 지로를 삽입할 가장 최적 위치를 찾아 지로를 삽입한다. 가장 최적 위치는 절점차수를 측정하여 찾을 수 있다. 절점차수를 측정하여 절점차수가 가장 작은 절점 사이가 가장 최적 위치이며 그곳에 지로를 삽입시킨다. 절점 연결성 측면에서 볼때, 절점차수가 큰 절점들의 고장은 적은 수의 절점이 고장나더라도 통신망을 분리할 수 있으므로 NCF값이 작아지고, 자연히 신뢰성이 낮아진다. 절점차수가 작은 절점은 그만큼 많은 절점이 고장이나야만 통신망이 분리되므로, 이것은 NCF값이 그 만큼 크고 균형있게 설계된 통신망이다.

다른 방법은 NCF와 LCF값을 더 크게 하도록 지로를 재배치 하는 것이다. 더 이상 지로를 삽입시키는 것이 필요하지 않을때 통신망에서 불필요한 지로를 제거하고 지로가 필요한 절점사이에 지로를 삽입시킨다. 불필요한 지로를 찾아내는것 또한 각 절점차수를 측정하여 알 수 있다. 통신망에서 불필요한 지로는 절점차수가 큰 절점사이를 연결한 지로이다. 지로 연결성 측면에서 볼때 절점차수가 큰 절점을 연결한 지로는 통신망 절점 안정성(node stability)에 기여도가 낮으며 이러한 지로가 많이 존재할수록 LCF값이 작아진다. 이러한 지로를 제거하고 절점차수가 낮은 절점간에 지로를 연결하면 절점 안정성이 커지며 통신망 전체 트리수가 증가하여 LCF값이 커진다.

이 두가지 방법을 반복하여 NCF와 LCF를 최대화하며 절점차수가 거의 일정한 통신망을 설계하였다.

현재 설계에서 사용된 기준값과 정규화 방법은 설계 예에서 보였다.

III-3. 설계 예

그림 1에서 상대적인 절점위치와 초기 토폴로지를 나타냈다. 표 1은 절점쌍사이의 트래픽 요구량이다. 총 트래픽 요구량은 290kB/sec이고, 요구량의 10%의 허용범위내에서 처리량을 허용하였다. 각 지로의 용량은 96kB/sec이며, 평균 지로 지연시간은 25 msec로 하였다. bit/packet수는 1000이다. 식(4)를 이용하여 구한 평균 지로 정보량은 56kB/sec이다.

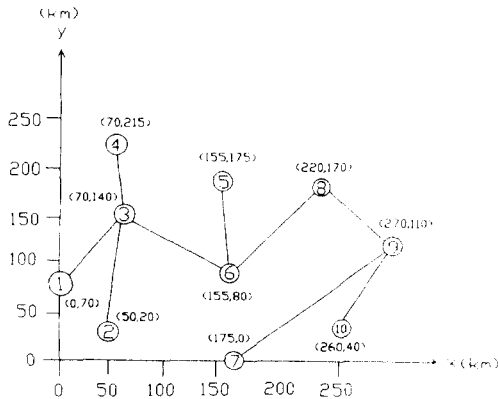


그림 1. 초기 토폴로지
Fig. 1. Initial topology

표 2는 정규화한 지로 길이값으로서 기리가 짧으면 1에 수렴하도록 하고 기리가 길면 0에 수렴하도록 하였다. 지로 길이를 정규화하는 수식은 Kris와 Pramod의 방법을 그대로 이용하였으며, 이것은 절점 사이의 정보를 전파로 전송하는 전파 분산 농집방에 적합하다. 지로 길이를 정규화하는 수식은 전파를 직시(sight), 회절(diffraction), 산란 선과 광선(Radio line of tropospheric scatter) 중, 3가지 다른 모드(mode)로 구분하여 사용하였다.

지로 길이값은 전로를 운용하는 자료를 기로로 하였다.

- i) line of sight operation - 35km이하
- ii) diffraction operation - 35이상 80km이하
- iii) tropospheric scatter operation - 80km이상

표 1. 절점쌍 간의 트래픽 요구량

Table 1. Traffic requirement between node pairs

시점	중심	트래픽	시점	중심	트래픽	시점	중심	트래픽
1	2	1	4	5	5	7	8	5
1	3	2	4	6	5	7	9	3
1	4	3	4	7	2	7	10	5
1	5	4	4	8	2	8	1	4
1	6	4	4	9	0	8	2	4
1	7	0	4	10	4	8	3	3
1	8	4	5	1	7	8	4	6
1	9	1	5	2	3	8	5	2
1	10	1	5	3	1	8	6	0
2	1	2	5	4	5	8	7	5
2	3	3	5	6	4	8	9	4
2	1	0	5	7	4	8	10	6
2	5	6	5	8	4	8	10	6
2	5	6	5	8	4	9	1	2
2	6	3	5	9	1	9	2	1
2	7	2	5	10	4	9	3	2
2	8	3	6	1	2	9	4	3
2	9	6	6	2	2	9	5	0
2	10	1	6	3	6	9	6	6
3	1	3	6	1	1	9	7	5
3	2	5	6	5	4	9	8	1
3	1	6	6	7	4	9	10	2
3	5	5	6	8	5	10	1	3
3	6	0	6	9	3	10	2	4
3	7	4	6	10	2	10	3	3
3	8	6	7	1	4	10	4	1
3	9	1	7	2	5	10	5	5
3	10	5	7	3	0	10	6	2
4	1	5	7	4	5	10	7	2
4	2	2	7	5	1	10	8	1
4	3	4	7	6	3	10	9	4

표 2. 정규화된 링크 거리값

Table 2. Link Distance Value

Criteria	Value
Link Distance	Link distance : 0 ~ 35km LD = 1 - 0.002857(distance)
	Link distance : 35 ~ 80km LD = 0.9 - 0.006666(distance - 35)
	Link distance : 80 ~ 400km LD = 0.6 - 0.001875(distance - 80)

표 3은 지로 계층값을 결정하는 기준값과 수식을 표현하였다. 표 1의 기리가 짧고 이온모드 0에 수렴하고 기리가 길고 이온모드 1에 수렴한다. 값 2는 절점차수 인덱스를 큰 것으로 하여 만들었다. 각 절점차수 합이 최대 절점차수의 2배값에 수렴하면 1에 수렴하고 그 반대의 경우에는 0에 수렴한다. 절

점차수가 작은 절점의 지로는 그 절점과 다른 절점을 연결하는데 있어서 절점차수가 큰 절점의 지로보다 중요하다. 그러므로 제거 해서는 안된다. 식 (5)는 지로 제거값 계산식이다.

$$\text{Drop Value} = (\text{Value 1} \cdot \text{Weight 1}) + (\text{Value 2} \cdot \text{Weight 2}) \quad (5)$$

무게값은 설계자가 원하는 대로 조절 가능하며 합하여 1이 된다.

표 3. 지로 제거값 계산에 사용된 정규화된 기준값
Table 3. Criteria to determine Drop Link Value

Criteria	Designation	Value
Link utilization Link distance	Value 1	$\frac{(C_{\max} - f_i)/C_{\max}}{0.8 + LD}$
Degree	Value 2	$\frac{(d(i) + d(j))}{2 \cdot \max \text{ degree}}$

여기서 C_{\max} 는 최대 용량, f_i 는 i 지로의 정보량, $d(i)$ 는 i 지로의 절점차수이다.

표 4. 지로 삽입값 계산에 사용된 정규화된 기준값
Table 4. Criteria to determine Add Link Value

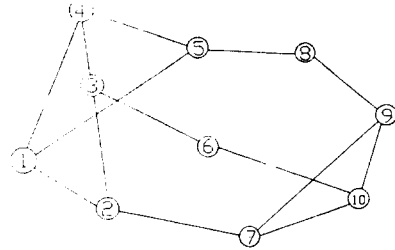
Criteria	Designation	Value
Link distance	Value 3	$0.8 + LD$
Degree	Value 4	$\frac{2 \cdot \max \text{ degree} - (d(i) + d(j))}{2 \cdot \max \text{ degree}}$

표 4는 지로 삽입값을 구하는데 사용되는 기준값과 식을 나타낸 것이다. 값 3은 LD값을 그대로 사용하였고 값 4는 절점차수가 큰 절점 간에는 0에 수렴하고 절점차수가 작은 절점간에는 1에 수렴하도록하여 통신망이 전반적으로 절점 차수가 같은 값을 갖도록하였다. 식 (6)은 지로 삽입값 계산식이다.

$$\text{Add Value} = (\text{Value 3} \cdot \text{Weight 3}) + (\text{Value 4} \cdot \text{Weight 4}) \quad (6)$$

그림 2와 그림 3은 무게값 1과 3은 0.4로 무게값 2

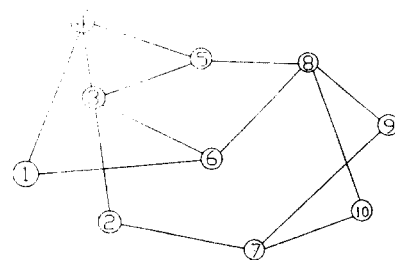
와 4는 0.6으로 하여 수정된 Cut-Saturation 알고리즘을 이용하여 설계한 통신망이다. 특히 그림 2는 그림 3보다 알고리즘을 더 많이 반복하여 얻은 결과이다. 이 통신망들은 트래픽 요구량을 처리하면서 총 지로 길이를 최소화하는 동시에 통신망 서바이버빌



Throughput	299
Total link distance(km)	1505.81
LCF	390.8571
NCF	6.2415

그림 2. 통신망 설계 예(무게값 1과 3은 0.4, 무게값 2와 4는 0.6)

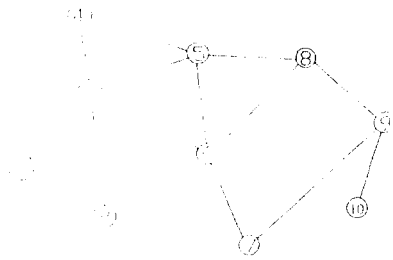
Fig. 2. Example design for network (weight 1 and 3 = 0.4, weight 2 and 4 = 0.6)



Throughput	286
Total link distance(km)	1559.04
LCF	349.7142
NCF	5.4539

그림 3. 통신망 설계 예(무게값 1과 3은 0.4, 무게값 2와 4는 0.6)

Fig. 3. Example design for network (weight 1 and 3 = 0.4, weight 2 and 4 = 0.6)



throughput	263.72
total link distance(km)	1233.39
LCF	52.62
NCF	4.00

그림 4. 통신망 설계 예 (무게값 1과 3은 1, 무게값 2와 4는 0)
 Fig. 4. Example design for network (weight 1 and 3 = 1, weight 2 and 4 = 0)

리티를 최대화 시켰다. 그림 4는 초기 토폴로지와 트래픽은 같으나 설계 비용에만 무게값을 두어 총 지로 길이를 최소화하여 설계한 통신망이다. 표 5는 그림 2~그림 4의 절점차수를 비교하였다. 그림 2가 최적 절점차수를 갖는 절점수가 많으며 신뢰성이 가장 높았다.

표 5. 그림 2~4에 대한 절점차수 비교
 Table 5. Comparison of degree for Fig.2~4

절점차수/절점수	그림 2	그림 3	그림 4
5	0	0	1
4	0	2	2
3	8	4	2
2	2	4	2
1	0	0	3

IV. 비교와 검토

본 논문에서는 기존의 Kris와 Pramod가 설계한 통신망과 비교하였다. 먼저, 설계한 통신망에 대한 서바이버빌리티를 비교하였다.

그림 2 결과에 대한 수치비교는 표 6에 나타내었다. Kris와 Pramod의 결과와 비교해 보았을 때 처리량, 총 지로 길이, LCF, NCF값이 본 논문에서 제시한 알고리즘으로 설계한 통신망쪽이 약간 크며, LT

max와 min의 차이값도 컸으며 ND max와 min의 차이는 작았다. 이 결과로 본 논문에서 설계한 통신망이 길이는 0.74(km) 더 길지만 신뢰성과 트래픽 지리 결과는 조금 향상됨을 알 수 있다.

그림 3의 대한 결과에 대한 수치비교는 표 7에 나타내었다. Kris와 Pramod의 결과와 비교해 보았을 때 처리량과 NCF값은 작았으며 지로 길이와 LCF값은 컸다. LT max와 min의 차이값은 작았고 ND max와 min의 차이는 컸다. Kris와 Pramod 결과치보다 트래픽 처리량은 작지만 신뢰성면에서는 LCF와 LT값은 향상되었고 NCF와 ND값은 저하되었다. 설계 비용에만 무게값을 두어 설계한 그림 4는 Kris와 Pramod가 설계한 통신망과 같았다.

다음, 계산량에 대한 비교는 다음과 같다. 통신망 설계과정에서 Kris와 Pramod는 필요한 지로를 추가하고 삭제하는데 통신망에 신뢰성을 주기위해 서바이버빌리티 관계식 ND와 LT를 사용하였다. 실제로 ND를 구하는데 14개의 지로와 10개의 절점으로 구성된 통신망에서 최대 44개의 컷-절점을 구하였다. 또한 LT는 통신망에서 각 지로의 기여도를 평가하는 것으로서 $\sum_{i=1}^n \text{지로수} \cdot ((n-1)^3 + \det((n-1) \times (n-1)))$ 의 계산과정이 필요하였다. 그러므로 지로수와 절점수가 증가할수록 계산량이 기하급수적으로 증가하게 되는 문제점이었다.

본 논문에서는 절점차수를 측정하여 지로 삽입 삭제의 기준으로 사용하였다. 절점차수는 한절점과 망의 나머지 절점을 연결하는 지로의수를 의미한다. 절점이 n개인 경우 n개의 절점차수를 구하여야하며, 한 절점과 (n-1)개의 망의 나머지 절점이 연결되었는가를 판단하여 지로수를 한개씩 증가시킨다. 이 과정의 계산량은 $n \cdot (n-1)$ 이므로 최대 $O(n^2)$ 이다. 그러므로 Kris와 Pramod의 경우보다 계산량이 대폭 감소 하게된다. 또한, 통신망을 설계할때 초기 토폴로지를 선택하는데 있어서 스페이닝 트리와 k-완전 그래프(k-complete graph)에 대해 비교해 보면, Kris와 Pramod는 link drop 계산량이 약 [지로수 $\times O((n-1)^3)$]이므로 지로수가 많은 k-완전 그래프 경우 스페이닝 트리형보다 계산량이 현격하게 증가한다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법은 지로수에 영향을 받지않으므로 초기 토폴로지 형태에 영향을 받지않는다. 그러므로 초기 토폴로지 선택이 자유롭고, 계산량이 적으므로 Kris와 Pramod 경우보다 통신망 크기에 적게 영향을 받는다.

표 6. 그림 2 결과에 대한 비교 값

Table 6. Comparison of value of Fig. 2

	Kris와 Pramod ⁽¹⁾	Proposed
Throughput	283	299
Total link distance(km)	1505.07	1505.81
LCF	368.36	390.8571
NCF	6.11	6.2415
LT _{max/min}	0.764/0.516	0.8601/0.537
ND _{max/min}	0.948/0.225	0.7148/0.164

표 7. 그림 3에 결과에 대한 비교 값

Table 7. Comparison of value of Fig. 3

	Kris와 Pramod ⁽¹⁾	Proposed
Throughput	291	286
Total link distance(km)	1535.87	1559.04
LCF	307.29	349.7142
NCF	6.01	5.4539
LT _{max/min}	0.780/0.512	0.7426/0.5073
ND _{max/min}	0.980/0.238	1/0.1236

V. 결 론

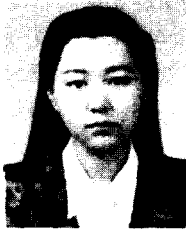
기존의 통신망 설계 방법은 트래픽과 설계 비용에 중점을두어 설계하였으므로 취약한 절점이 발생하여 통신망의 신뢰성이 문제시 되었다. Kris와 Pramod가 제시한 방법은 서바이버블한 통신망을 설계할수는 있으나 지로 삽입 삭제시 그 계산량이 최대 [지로 수 $\times O((n-1)^3)$]이 되고 초기 토폴로지와 통신망의 크기에 큰영향을 받는다. 즉, 통신망 설계 과정에서 Kris와 Pramod는 초기 토폴로지를 스케이닝 트리로 하여 요구 트래픽을 보내는데 필요한 지로를 추가하고 삭제하는데 신뢰성을 주기위해 서바이버빌리티 관계식 ND와 LT를 사용하였다. ND는 지로와 절점의 수가 증가할수록 구해야하는 컨-절점수가 많아지고, 또한 LT는 [지로수 $\times \{(n-1)^3 + \det((n-1) \times (n-1))\}$]의 계산량이 필요하다. 그러므로 지로수와 절점수가 증가할수록 계산량이 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 초기 토폴로지 선택에 제한성이 따르고 설계할 통신망의 크기에 영향을 크게 받는다.

이 두 문제점을 개선하고자 본 논문에서는 통신망 설계시에 각 절점차수를 측정하여 지로를 삽입 또는 삭제하는 기준치로 사용하여 처리량과 설계비용을

최소화하는 동시에 신뢰성을 최대화하고자 하였다. 이 방법은 계산량이 $O(n^2)$ 으로 Kris와 Pramod의 방법보다 계산량면에서 크게 개선되었고 초기 토폴로지와 통신망의 크기에 영향을 받지않는 장점이 있다.

참 고 문 헌

1. Kris T. Newport and Pramod K. Varshney, "Design of Survivable Communication Networks under Performance Constraints," IEEE Trans. Reliability, Vol. 40, No. 4, pp.433-440, Oct. 1991.
2. Robert R. Boolestyn and Howard Frank, "Large-Scale Network Topological Optimization," IEEE Trans. Communication, Vol. COM-25, No 1, pp.29-47, Jan. 1977.
3. M. Gerla, H. Frank, W. chou, and J. Eckl, "A Cut-Saturation Algorithm for Topological Design of Packet Switched Communication Networks," Proceedings of Nat'l Telecommunications Conf., pp.1074-1085, Dec. 1974.
4. Lin Wu and K. Varshney, "On Survivability Measures for Military Networks," Proceedings of IEEE ICC'90, pp.1120-1123, Jan. 1990.
5. Chyan Yang and Chih-Fu Kung, "Networking Link Enhancement with Minimum Costs," Proceedings of IEEE ICC'89, pp.1125-1128, Jan. 1989.
6. Michael A. Schroder and Kris T. Newport, "Enhanced Network Survivability Through Balanced Resouce Criticality," Proceedings of IEEE ICC'89, pp.682-687, Jan. 1989.
7. Michael A. Schroder and Kris T. Newport, "Tactical Network Survivability Through Connectivity Optimization," Proceedings of IEEE ICC'87, pp.590-597, Jan. 1987.
8. M.N.S.Swamy and K. Thulasiraman, *graphs. Networks, and Algorithms*, chap.1, pp.3-31, 1981.
9. 강맹규, 네트워크와 알고리즘, 제 3장 최단경로 문제, pp.73-148, 1991년 8월.



丁 在 妍(Jae Youn Jeung) 정희원
1969년 8월 22일생
1988년 3월 ~ 1992년 2월 : 광운대학교 공과대학 전자통신공학과
1992년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 공과대학 대학원 통신공학과

吳 英 煥(Young Hwan Oh)

정희원

1947년 12월 28일생

인하대학교 공과대학 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
광운대학교 공과대학 교수

李 鐘 榮(Chong Young Rhee) 정희원

1949년 2월 28일생

1969년 3월 ~ 1973년 2월 : 광운전자공과대학 응용전자공학과(현 컴퓨터공학과)

1980년 3월 ~ 1982년 2월 : 광운공과대학교 대학원 전자통신공학과 석사

1991년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 공과대학 대학원 전자통신과 박사과정

1979년 9월 ~ 현재 : 국립충주산업대학교 전자통신공학과 교수

※주관심분야 : 데이터 통신망의 신뢰도와 서바이버 빌리티 computer network