

### 통신망의 유지보수주기 결정 모델

김 태호 , 조 영현  
한국전기통신공사 사업지원단

### A Model for Determining the Maintenance Period in Telecommunication Network

Tae-Ho Kim Young-Hyun Cho  
Research Center of K.T.A

#### Abstract

Two important characteristics for the performance of a telecommunication network are its reliability and capacity. Some previous analytic method have been used to measure the performance of a telecommunication network in that respect. But those methods give no information about the maintenance of a telecommunication network. In this paper, in order to provide better grade of service to subscribers we develop a model for determining the maintenance period of trunks using the unavailability, the availability threshold and the expected number of available trunks.

#### 1. 서론

통신망이 발달할수록 방대한 망을 효과적으로 관리할 수 있는 망관리(network management)기술에 대한 중요성이 점차 두드러진다. 망관리의 목적은 비용과 효율성의 측면에서 유리한 수단을 통해 가입자에게 보다 나은 서비스 품질을 제공하고 유지하는데 있으므로 경제적인 시설과 운용이 가장 기본적인 전제조건이라 볼 수 있다. 통신망에서 망관리 기술은 대개 실시간으로 변하는 트래픽의 특성을 분석하고, 이를 토대로 일정한 지역에서의 과도한 트래픽의 폭주현상을 미연에 방지하며, 현재 운용중인 통신시설의 취약점을 조기에 발견하여 망의 소통을 원활히하여 제한된 자원으로 유용도를 높이는데 있다. 트래픽을 통한 관리가 망의 용량(capacity)에 관한 것이라면 망을 구성하는 개개의 요소에 대한 고장을 관리하는 유지보수업무는 망의 신뢰성(reliability)에 관한 것이라 볼 수 있다.

그런데 전산망(computer communication network)의 경우에는 신뢰성에 관한 연구는 모델과 분석방법 및 효과적인 계산방법(algorithm)이 제시되고 있으나 통신망

(telecommunication network)의 신뢰성에 대한 연구는 전산망에 비해 충분하지 않으며 특성상 여러가지 차이 점이 있어 기존의 연구도 상당히 제한적이라고 지적되어 있다. [1,2] 통신망의 신뢰성을 연구하는데 있어서 단순히 고장률을 통해 통로(path)의 상태를 0(down)과 1(up)의 상태로 표시하면 전산망의 경우와 같이 적용이 가능하나 실제 통신망에서는 두개의 노드(node) 사이에 복수개의 통로가 존재하고 하나의 통로에서 고장이 발생하여도 노드 사이의 통신량(communication capacity)의 감소만 있을뿐이지 완전히 무절되는 상태는 아니기 때문에 통신망의 신뢰성 또는 가용성(availability)분석에는 고장률과 고장으로 인한 통신량의 감소라는 두 측면을 동시에 고려하는 것이 합리적이고 이러한 관점에서의 연구도 발표되어 있다. [3,4]

그러나 기존의 연구들이 단순한 모델을 설정하여 계산방법의 측면이나 통신망의 성능지수(performance index)의 설정 등에 관한 것이라 통신망을 운용하고 유지보수하는 입장에서의 요구를 충분히 만족시키지 못한다. 따라서 본 연구는 전화망에서 고장률의 변화와 트래픽의 특성에 따른, 노드 사이의 실가용성을 분석하고 이와 관련된 유지보수 정책을 수립하는 방안에 주안점을 두고 있고 궁극적으로는 통신서비스의 품질을 향상하고자 하는데 목적이 있다.

#### 2. 모델설정

전화망에서 두 곳의 교환기 사이에 N개의 트렁크(trunk)가 병렬로 연결되어 있다면 이것은 N개의 통로가 존재하는 망으로 볼 수 있다. 망계획에 있어서는 두 교환기 사이의 장애 발생가능한 트래픽을 예측하고 이를 일정한 서비스수준(grade of service)에 따라 트렁크 수 N을 결정하여 시설하게 된다. 이 경우의

서비스수준은 트렁크의 고장을 감안하지 않은 상태에서  $N$  개의 트렁크가 모두가 블로킹(blocking)인 경우의 손실확률(loss probability)에 해당하는데 실제로는 트렁크의 고장으로 인하여 계획된 서비스수준과 운용중에 가입자에 대한 서비스수준이 다르게 된다. 이상의 관점에서 두 교환기 사이의 실가용성을 계산하는 모델을 수립하는 것이 운용과 유지보수 측면에서 필요함을 알 수 있다.

모델설정에 필요한 기호들을 다음과 같이 정의한다.

- $N$ : 두 교환기 사이의 총 트렁크 수,  $1 \leq N$
- $x$ : 가용한 트렁크 수,  $0 \leq x \leq N$
- $i$ : 고장이 발생한 트렁크 수,  $0 \leq i \leq N$
- $y$ : 통화중(busy)인 트렁크 수,  $y = N - x - i$
- $A$ : 두 교환기 사이의 평균 통화량(offered traffic)
- $\lambda$ : 단위시간 당 한개의 트렁크의 평균고장률
- $f(t)$ : 시간  $t$  에서의 트렁크의 고장확률함수
- $p(x)$ : 가용한 트렁크 수가  $x$  일 확률

그리고, 이항분포함수  $b(i;f(t),N)$  과 Erlang's lost-call formula  $Er(y;A,N)$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$b(i;f(t),N) = \binom{N}{i} \cdot (f(t))^i \cdot (1-f(t))^{N-i} \quad (1)$$

$$Er(y;A,N) = \frac{A^y}{y!} / \left( \sum_{j=0}^N \frac{A^j}{j!} \right) \quad (2)$$

또한 고장확률함수  $f(t)$ 는 일반적으로 지수분포(exponential distribution)를 따르므로 다음과 같이 정의한다.

$$f(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3)$$

그러면 전화망의 가용성을 분석하기 위해서는  $x$ 에 대한 확률  $p(x)$ 를 알아야 한다. 이를 구하는 것을  $x=0$ ,  $0 < x < N$ ,  $x=N$  의 각 경우로 구분하여 나타낸다. 이 모든경우의 기본 가정으로 개개의 트렁크에 대한 평균고장률  $\lambda$ 는 동일하다고 둔다.

(1)  $x=0$ 인 경우

$N$  개의 트렁크 중에서  $i$  개는 고장나고  $N-i$  개는 통화중인 경우이다. 이때의  $p(x)$ 는 다음과 같다.

$$p(x) = \sum_{i=0}^N b(i;f(t),N) \cdot Er(N-i;A,N-i) \quad (4)$$

(2)  $0 < x < N$ 인 경우

$i$  개의 트렁크가 고장나고  $N-x-i$  개의 트렁크가 통화중인 경우이다. 이때의  $p(x)$ 는 다음과 같다.

$$p(x) = \sum_{i=0}^{N-x} b(i;f(t),N) \cdot Er(N-x-i;A,N-i) \quad (5)$$

(3)  $x=N$ 인 경우

고장난 트렁크도 없으며 통화중인 트렁크도 없으므로 모든 트렁크가 가용한 경우이다. 이때의  $p(x)$ 는 다음과 같다.

$$p(x) = b(0;f(t),N) \cdot Er(0;A,N) \quad (6)$$

### 3. 분석

식(4), 식(5), 식(6) 은 식(1), 식(2), 식(3) 을 통해 간편히 구할 수 있고 Recursive Algorithm 을 통해 계산시간을 줄이는 방법도 발표되어 있다. [6] 실제 계산과정에서는  $N$  의 큰 값에 대하여 수치적 안정성을 고려하는 방법이 필요하다. 앞의 모델을 이용하여 분석할 내용은 비서비스도(unserviceability), 가용성역치(availability threshold), 가용트렁크 수의 기대값(expected number of available trunks), 유지보수 정책(maintenance policy) 등에 관한 것이다.

(1) 비서비스도(unserviceability)

비서비스도라 함은 가용한 트렁크가 하나도 없는 경우로  $p(0)$ 의 값에 해당된다. 실제 고장률  $\lambda=0$  인 경우의  $p(0)$ 의 값은  $N$  개의 트렁크에서 평균 트래픽이  $A$  인 경우의 서비스수준(grade of service)에 해당된다. 그러나 운용 중에는 고장발생의 가능성으로 인해 초기의 설계수준을 만족시키지 못하는데 그림 1에서  $N=25$ ,  $A=15$  인 경우에 고장률과 시간의 경과에 따른 비서비스도의 변화를 볼 수 있다. 이 그림 1에서 보면 고장률이 높을수록 비서비스도가 높고, 일정한 고장률에서도 시간이 경과할수록 비서비스도가 높아지는 것이 나타나는데 이에 따라 유지보수의 시점을 결정하는 기준을 설정할 수 있다.

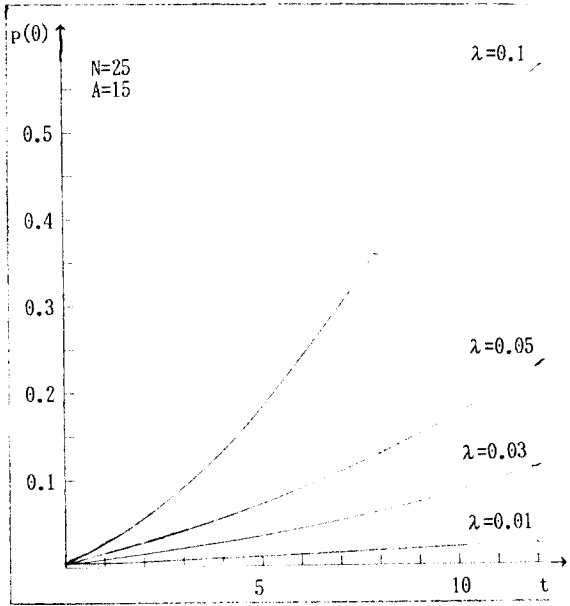
(2) 가용성역치(availability threshold)

가용성역치란  $N$  개의 트렁크 중에서 최소한  $k$  개의 트렁크가 가용할 때까지는 서비스 제공에 지장이 없는 상태로 간주한다고 할 때의 그 확률을 의미한다. 이때의 확률  $\alpha$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

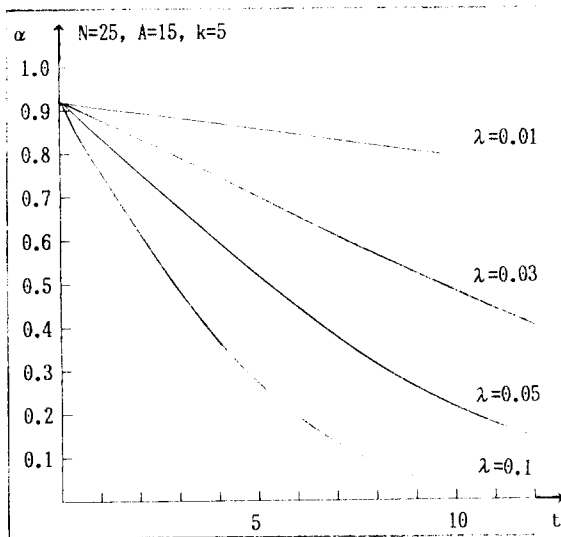
$$\alpha = \sum_{x=k}^N p(x) \quad (7)$$

이  $\alpha$ 값을 이용하여  $\beta = 1 - \alpha$ 의 값을 구할 수 있고

이  $\beta$  값을 사용하여 운용중인 시스템의 성능을 판별할 수 있는 기준을 설정할 수 있다. 그림 2에는  $N=25$ ,  $A=15$ ,  $k=5$  인 경우의 고장률에 대한  $\alpha$  값의 변화가 나타나 있다.



(그림 1) 고장률에 대한 비서비스도의 변화



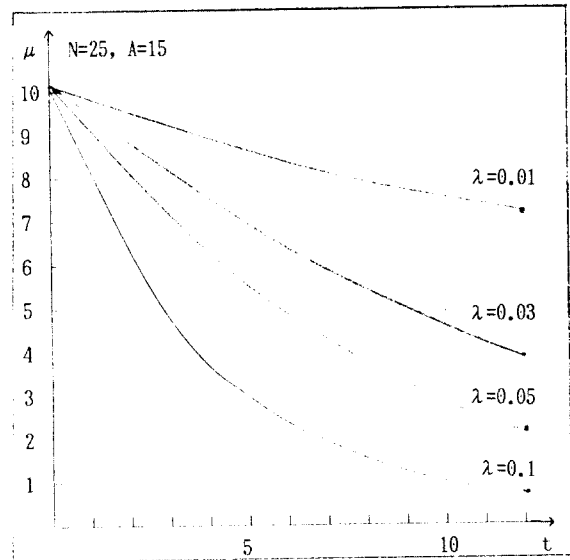
(그림 2) 고장률에 따른 가용성역치 값의 변화

(3) 가용한 트렁크 수의 평균값(expected number of available trunks)

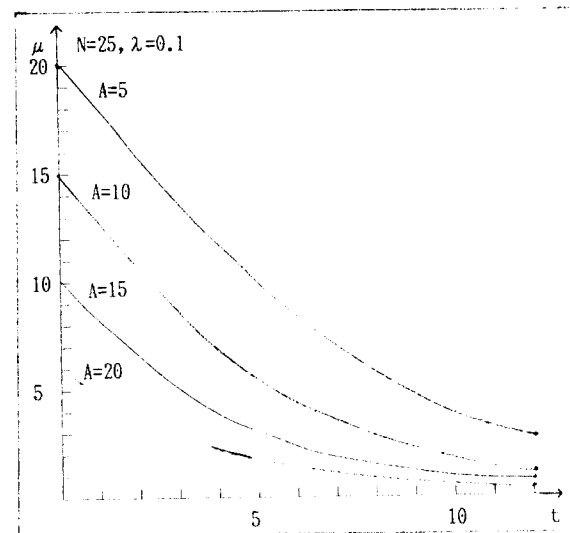
$N$  개의 트렁크 중에서 평균적으로 몇개의 트렁크가 가용한가를 알 수 있는 가용한 트렁크 수의 평균값  $\mu$  를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\mu = \sum_{j=1}^N j \cdot p(j) \quad (8)$$

이  $\mu$  값은 고장과 트래픽 부하를 동시에 고려한  $N$  개의 트렁크에 대한 실제 가용한 갯수의 평균값이므로 가입자의 입장에서는  $\mu$  가 클수록 소통이 원활할 것이다. 그림 3에서는  $N=25$ ,  $A=15$ 의 경우에 고장률의 변화에 따라  $\mu$  값의 변화를 보이고 있고, 그림 4에서는 일정한 고장률과 트렁크 갯수하에서 평균 트래픽량  $A$  값의 변화에 대한  $\mu$  값의 변화를 나타내고 있다. 이  $\mu$  값도 가입자에 대한 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 속도로 유지보수에 이용될 수 있다.



(그림 3) 고장률에 대한 평균값  $\mu$  의 변화



(그림 4) 평균트래픽량의 변화에 대한  $\mu$  값의 변화

(4) 유지보수 정책(maintenance policy)

트렁크 유지보수의 적절한 시기를 결정하는 문제가 운용 측면에서는 중요한 관심사항이다. 물론 고장난 트렁크의 수리를 수시로 실시하면 가장 바람직하나 경제성이란 측면에서는 결코 최선의 방법이 되지 못한다. 가입자에게 일정한 수준 이상의 서비스를 제공하며 비용을 최소한으로 할 수 있는 방법을 찾아야 하고 이것을 앞에서의 분석방법을 이용하여 제시하고자 한다.

①비서비스도를 기준으로한 유지보수주기 결정

식 (4) 에 의해 비서비스도  $p(0)$  의 값을 구할 수 있다. 이때  $p(0)$ 의 값은 가입자가 통화를 시도하고자 하나 가용한 트렁크가 하나도 없는 경우의 확률이므로 이 확률값은 낮을수록 가입자에 대한 서비스 면에서 좋다. 유지보수 정책이  $p(0)$ 의 값이 항상 일정한 수준  $\delta_1$  이하로 유지되도록 하는 것을 기준으로 세워진다면,

$$p(0) \leq \delta_1 \quad (9)$$

를 만족하는  $t$ 의 최대값이 유지보수의 주기  $t^*$ 가 된다.  $N=25, A=15$ 인 경우에  $t$ 에 대한  $p(0)$ 값의 변화는 표1과 같고, 이때  $\delta_1 = 0.01$  이면 식 (9) 에 의해  $t^*$ 가 구해진다.

②가용성역치를 기준으로한 유지보수주기 결정

식 (7) 에서 가용한 트렁크의 수가  $k$  개 이상인 경우에 대한 가용성역치  $\alpha$ 의 값을 구할 수 있다. 이때의 값  $\alpha$ 는 최소한  $k$  개의 트렁크가 가용해야만 가입자에 대한 서비스에 지장이 없다고 운용 측면에서 판단하는 근거가 될 수 있으므로 이를 유지보수 정책의 기준으로 할 수 있다. 즉,

$$\alpha \geq \delta_2 \quad (10)$$

를 만족하는  $t$ 의 최대값이 바로 유지보수주기  $t^*$ 가 된다.  $N=25, A=15$ 인 경우에  $k=5$  에 대한  $\alpha$ 값의 변화는 표1과 같고 이때  $\delta_2 = 0.9$  이면 식 (10) 에 의해  $t^*$ 가 구해진다.

③가용한 트렁크 수의 평균값  $\mu$ 를 기준으로한 유지보수주기 결정

식 (8) 에서  $\mu$ 값을 구할 수 있다. 이  $\mu$ 값은 고장과 트래픽부하가 존재하는 가운데 실제 몇개의 트렁크가 가용한 상태에 있는가를 알 수 있는 측도가 되므로 이를 기준으로 유지보수 정책을 수립할 수 있다.  $\mu$ 값이 클수록 가입자의 통화요구에 대한 만족도를 향상시킬 수 있으므로 가능한 일정한 수준 이상을 유지할 수 있도록 하여야 할 것이다. 따라서,

$$\mu \geq \delta_3 \quad (11)$$

를 만족하는  $t$ 의 최대값이 유지보수주기  $t^*$ 가 된다.  $N=25, A=15$ 인 경우에  $\mu$ 값의 변화는 표1과 같고 이때  $\delta_3 = 9$  이라면 식 (11) 에 의해  $t^*$ 를 구할 수 있다.

[표1]  $N=25, A=15, \lambda=0.01$  인 경우의  $t^*$ 의 결정

t	p(0)	$\alpha(k=5)$	$\mu$
1	0.006	0.91	9.84
2	0.007	0.90	9.61
3	0.008	0.89	9.38
4	0.009	0.88	9.16
5	0.011	0.87	8.94
6	0.012	0.86	8.72
7	0.014	0.84	8.51
8	0.015	0.83	8.31
9	0.017	0.82	8.10
10	0.019	0.80	7.91
11	0.021	0.79	7.71
12	0.023	0.77	7.52
$\delta$	$\delta_1 = 0.01$	$\delta_2 = 0.9$	$\delta_3 = 9.0$
$t^*$	4	2	4

4. 결론

전화망의 가용성은 고장률과 트래픽의 특성을 동시에 고려해야함을 앞에서 설명하였고 이것을 어떻게 수식모형화하여 분석할 것인가에 대하여도 실례를 들어 나타내었다. 결국 이러한 분석의 목적은 전화망을 운용하는 측면에서는 설계된 서비스수준이 합당하여야 하는 것도 중요하지만 일단 시설된 뒤에는 어떻게 유지보수하여 서비스수준을 실질적으로 향상시킬 것인가에 대해 더 큰 관심을 가지기 때문에 이에 대한 적절한 기준을 제시하고자 하는데 있다.

본 연구에서는 유지보수에 소요되는 비용의 측면에서 구하여진  $t^*$ 가 과연 최적인가에 대한 분석을 하지 않았다. 향후 이에 대한 분석을 보완하여  $t^*$ 를 넘지 않는 최소비용의 유지보수주기를 판별할 수 있는 수식모델과 분석방법을 찾아야 실제적인 도움이 될 수 있을 것이다.

[참고문헌]

(1) John Spragins, Yong J. Kang and Hossein Jafari, 'State of the Art in Telecommunication Network Reliability Modeling', Proceedings of Pacific Computer Communications Symposium, 1985, pp272-278.

(2) John Spragins, James C. Sinclair, Yong J. Kang and Hossein Jafari, 'Current Telecommunication Network Reliability

ty Models: A Critical Assessment', IEEE Journal on Selected Areas in Communications, VOL.SAC-4, NO.7, 1986, pp1168-1173.

(3) K.K.Aggarwal, Y.C.Chopra and J.S.Bajwa, 'Capacity Consideration in Reliability Analysis of Communication Systems', IEEE Transactions on Reliability, VOL.R-31, NO.2, June 1982, pp177-181.

(4) K.K.Aggarwal, 'Integration of Reliability and Capacity in Performance Measure of a Telecommunication Network', IEEE Transactions on Reliability, VOL.R-34, NO.2, June 1985, pp184-186.

(5) L.Lee, 'Significance of Equipment Reliability in a Telephone Network', IEEE Transaction on Reliability, Feb. 1970, pp36-38.

(6) H.Livni and Y.Bar-Ness, 'Recursive Algorithm for Traffic Distribution Calculation for Certain Unreliable Telephone Exchange', IEEE Transaction on Reliability, VOL. R-26, NO.1, April 1977, pp61-62.

(7) D.Bear, 'Principles of Telecommunication Traffic Engineering, Peter Peregrinus LTD., England, 1980.