

PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망의 회선할당에 관한 연구

An optimal link capacity problem of on-line service
telecommunication networks

김병무* · 이영호* · 김영휘* · 김유환* · 박석지** · 김주성**

Byungmoo Kim* · Youngho Lee* · Younghui Kim* · Yuhwan Kim* ·

Seokji Park** · Joosung Kim**

Abstract

In this paper, we seek to find an optimal allocation of link capacity in a data communication network. The architecture of the data communication network considered in the study is an online-service network based on public switched telephone network(PSTN) and packet switched data network(PSDN). In designing the architecture of the network, we need to deal with various measures of quality of service(QoS). Two important service measures are the call blocking probability in PSTN and the data transfer delay time in PSDN. Considering the tradeoff between the call blocking probability and the data transfer delay time in the network, we have developed the optimal link capacity allocation model that minimizes the total link cost, while guarantees the call blocking probability and the data transfer delay time within an acceptable level of QoS. This problem can be formulated as a non-linear integer programming model. We have solved the problem with tabu search and simulated annealing methods. In addition, we have analyzed the sensitivity of the model and provided the insight of the model along with computational results.

1. 서론

이 연구는 공중전화망(Public Switched Telephone Network, PSTN)과 패킷교환망(Packet Switched Data Network, PSDN)을 연결한 데이터 통신망에서 접속실패와 정보 전송지연을 만족할만한 수준으로 줄이면서 회선비용

을 최소화하는 최적의 회선할당 문제를 분석한다.

현재 통신망 시스템은 크게 3가지로 구분된다. 음성통화를 위한 PSTN, 데이터 전송을 위한 PSDN, 그리고 다양한 종류의 서비스를 통합해서 빠르게 제공할 수 있는 광대역 종합 통신망(Broadband Integrated Services Digital Network)이다.

* 고려대학교 산업공학과

** 한국전자통신연구원

PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망의 한 예로서 우리 나라의 PC통신망을 들 수 있다. PC통신망이 이러한 구조를 가지게 된 이유는 일반 가정에서 데이터 통신을 하기 위해 사업자들의 PSDN으로 접속할 수 있는 유일한 통신수단은 가정까지 설치되어 있는 전화 가입자망(Local Loop)을 이용하는 것이기 때문이다. 하지만 음성 통신을 목적으로 설계된 PSTN을 PSDN과 연결하여 데이터통신에 이용함으로써 두 망 사이의 서로 다른 특성 때문에 여러 가지 통신품질특성(Quality of Service)을 보인다. American National Standards Institute와 International Telecommunications Union-Telecommunications에서 데이터 통신망에서 사용자가 느끼는 통신의 품질을 측정하기 위한 여러 가지 척도를 제시하였다[5, 20]. 이 기준들 중에 가장 중요한 기준은 접속실패 확률과 정보 전송시간이다.

이 연구에서 다루는 통신망의 경우 접속실패는 PSTN의 여유회선이 없을 경우 발생한다. 회선교환 방식을 쓰는 PSTN에서 여유회선이 있어서 접속이 된 호는 PSTN에서 호(Call)가 요청되었을 때 여유회선이 있으면 호를 받아들이고 여유회선이 없으면 호를 받아들이지 않는다. 일단 접속이 된 호는 정보를 주고 받는 동안 한 회선을 점유하고 정보 전송지연 없이 정보를 보내고 받는다.

정보 전송지연은 PSDN에서 트래픽이 많아질 경우 발생한다. 패킷교환 방식을 쓰는 PSDN은 호가 요청되었을 때 우선은 받아들이고 대신에 받아들인 호가 많아지면 정보 전송지연이 발생한다. PSDN에서 정보 전송이 지연되면 실제로 정보를 보내고 받지 않는 경우에도 호는 계속 PSTN의 회선을 점유한다. 이로 인한 PSTN의 과도한 부하는 일반전화 사용자와 PC통신 사용자의 접속실패를 유발한다. 앞으로 PC통신과 인터넷 사용자의 회선 점유시간 증가로 접속실패는 더욱 심각한 문제가 될 것이다. 따라서 특성이 서로 다른 PSTN과 PSDN을 연결하여 데이터 통신망을 구성할 때 통신품질특성을 만족시키면서 동시에 망자원을 최대한으로 이용하는 것이 바람직하다.

이에 대해 A. Gersh[7]는 PSTN에서 주어진 호의 요구를 만족시키면서 동시에 남아있는 회선수를 최대화하는 라우팅 문제의 해법을 제시하였다. J. M. Aein[3]는 PSDN에서 다양한 트래픽의 성질과 회선용량을 요구하는 사용자들을 수용할 수 있도록 회선용량 할당문제를 간단한 출

생사멸과정(Birth-death Process)으로 접근하였다. 그리고 J. S. Kaufman[10]는 공동으로 사용하는 자원이 주어졌을 때 접속 실패에 관해 연구하였다. K. W. Ross[18]는 사용자들을 여러 클래스로 분류하여 자원이 주어졌을 때 접속 실패에 관한 문제를 확률 배낭 문제(Stochastic Knapsack Problem)로 접근하였다. B. Meister[14, 15]는 PSDN에서 비용을 제한할 때 최적의 회선용량 할당에 대한 새로운 기준을 제시하였다. 그가 제시한 기준에 따르면 모형이 수학적으로 더 다루기 쉬워질 뿐만 아니라, 사용자 개개인의 특성을 잘 반영할 수 있고, 정보 전송지연의 분산도 작아진다는 것을 보여주었다. 또한 D. G. Cantor[6]는 PSDN에서 최적의 라우팅 문제를 비선형 다중물자 흐름(Multicommodity Flow)문제로 모형화하고, 해법으로 분해 기법(Decomposition Technique)을 기초로 한 방법을 보여주었다. 그리고 T. M. J. Ng[17]는 PSDN에서 회선용량과 트래픽의 할당을 동시에 최적화하는 해법을 보여 주었다. 그는 $m-M/M/1$ 대기행렬을 이용하여 PSDN을 모델화하고 흐름이탈(Flow Deviation) 방법을 이용하여 해를 구하였다. 이상과 같이 기존의 연구들을 살펴보면 PSTN과 PSDN 각각에 관한 연구들은 상당 수준 진척되었으나, 양 쪽망을 연결한 데이터 통신망에 관한 연구는 상대적으로 미비하였다. 따라서 이 연구는 PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망을 가지고 있는 국내 상황에 맞게 여러 가지 통신품질특성 중에서 접속실패와 정보 전송지연을 만족할만한 수준으로 줄이면서 회선비용을 최소화하는 회선할당 문제를 모형화하고 그 해법을 제시한다.

이 연구는 2 장에서 PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망의 특징에 관해 살펴보고, 3 장에서 수리 모형을 개발하고, 그 해법에 대해 설명한다. 4 장은 실험을 통해 두 해법의 결과를 분석한다. 5 장에서 이 연구의 내용을 종합 정리하고 앞으로 할 연구과제를 설명한다.

2. PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망

PSTN은 회선교환 방식을 사용함으로써 통신하는 동안에 통신회선을 독점하여 사용한다. 회선교환 방식은 과일 전송과 같은 긴 메시지, 실시간 정보 교환에 유리할 뿐만 아니라, 짧은 시간 동안에 연속적인 데이터 송수신을 필

요로 하는 음성통신에 좋다. 회선교환방식을 사용하는 통신망에서 가장 중요한 통신품질특성은 접속실패 확률이다. 회선교환망에서 호의 접속실패 확률은 얼랑손실공식(Erlang Loss Formula)에 의해 구해진다. 호의 도착은 도착율이 λ 인 포아송 분포를 따르고, 호의 지속시간은 평균이 $1/\mu$ 인 같은 분포를 따르면서 서로 독립일 때, 호의 접속실패 확률은 다음과 같다[4].

$$B = \frac{(\lambda/\mu)^N}{N!} / \sum_{i=0}^N \frac{(\lambda/\mu)^i}{i!} \quad (1)$$

식 (1)에서 접속실패 확률(B)은 호의 지속시간의 분포에는 관계없고, 호의 지속시간 평균에만 관계가 있다[22].

PSTN에서 가장 중요한 통신품질특성인 접속실패 확률을 만족할 만한 수준으로 줄이기 위해서 회선수(N)를 결정하는 문제가 중요하다.

PSDN은 패킷교환방식을 사용하여 보내고자하는 정보를 패킷으로 쪼개서 보낸다. 패킷교환은 축적교환 방식이므로 이런 패킷교환방식을 사용하는 통신망에서 가장 중요한 통신품질특성은 정보 전송지연이다. 패킷이 노드에 포아송 분포를 따라 도착하고, 패킷의 크기는 지수 분포를 따른다. 그리고 각각의 노드에 도착하는 패킷들은 서로 독립이고, 각각의 노드에서 서비스 시간은 서로 독립이라고 가정하면, 패킷의 평균 전송지연은 다음과 같다[6].

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i \in A} \frac{f_i}{C_i - f_i} \quad (2)$$

식 (2)에서 패킷의 평균 전송지연(T)은 패킷의 평균 전송지연이고, γ 는 외부에서 패킷망으로 들어오는 전체 트래픽이다. 그리고 f_i 는 회선 i 에 흐르는 트래픽이고, C_i 는 회선 i 의 용량이다.

식 (2)에서 보듯이 패킷교환망 설계자는 적은 비용으로 정보 전송지연을 줄일 수 있도록 회선의 용량을 결정해야 한다.

PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망은 두 망의 서로 다른 특성을 만족시켜줄 수 있도록 설계되어야 한다. 그림 1은 PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망의 개념을 설명한다.

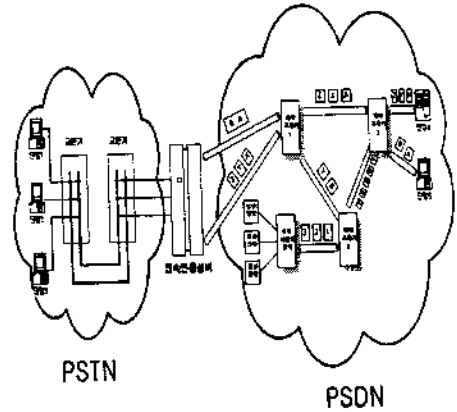


그림 1. PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망

데이터 통신망에서 가장 중요한 통신품질특성인 접속실패 확률과 정보 전송지연을 만족할만한 수준으로 줄이기 위해서는, PSTN에서 회선수를 증가시키고, PSDN에서 각 회선의 용량을 늘려야 한다. 여기서 PSTN과 PSDN의 접속품질 특성 사이의 상충효과(Trade-off)를 고려해야 한다. 즉, PSTN에서 회선수를 증가시키면 접속실패 확률은 작아지지만, PSDN으로 들어오는 호가 많아진다. 따라서 패킷교환방식을 사용하는 PSDN에서 트래픽이 증가하여 정보 전송지연이 발생한다. PSTN에서 회선수를 줄이게 되면 PSDN으로 들어오는 호는 줄어들어 정보 전송지연은 작아지지만, 호의 접속실패 확률은 커진다. 따라서 PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망을 구축할 때, 접속실패와 정보 전송지연을 만족할만한 수준으로 줄이면서 회선비용을 적게 할 수 있도록 PSTN에서 회선수와 PSDN에서 회선용량을 결정해야 한다. 물론 접속품질 특성의 만족은 새로운 사용자 증가로 이어진다.

3. 수리 모형 수립 및 해법

PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망에서 접속실패와 정보 전송지연을 만족할만한 수준으로 줄이면서 회선비용을 가장 적게하는 회선할당 모형은 비선형계획 모형이 된다. 이는 결정변수인 PSTN에서 회선수(x)와 PSDN에서 회선용량(y)에 대해서 접속실패 확률과 정보 전송

지연이 비선형으로 표현되기 때문이다. 여기서 모형의 가정은 다음과 같다. 호의 도착은 포아송 분포를 따르며, 통신망의 구조는 이미 알고 있다. 그리고 호 하나가 PSDN에 기여하는 트래픽의 양도 알려져 있고, 또한 PSDN에서 라우팅 정책도 결정되어 있다. 따라서 PSDN에서 트래픽의 모든 성질 — 각 링크에 도착하는 패킷의 도착률, 패킷의 크기, 패킷의 출발지와 도착지, 하나의 패킷이 점유하는 평균 링크 수 — 을 알고 있다. 위의 가정 아래 이 논문에서 다루는 문제는 다음과 같은 모형이 된다.

먼저 이 모형에 나타나는 기호들을 정의하면 다음과 같다.

- x : PSTN에서 회선수
- y_i : PSDN에서 회선 i 의 용량
- c : PSTN에서 단위회선당 비용
- e_i : PSDN에서 회선 i 의 단위용량과 단위길이당 비용
- D_i : PSDN에서 회선 i 의 길이
- $k(x)$: PSTN에서 회선의 설치비용
- $k(y_i)$: PSDN에서 회선 i 의 설치비용
- β : 호의 접속 실패확률의 상한
- λ : 호의 평균 도착률
- $1/\mu$: 호의 평균 지속시간
- τ : PSDN에서 패킷의 평균 전송 지연의 상한
- A : PSDN에서 회선 i 들의 집합
- $\rho(x)$: PSTN에서 회선 x 의 이용률
- γ : 호 하나가 PSDN에 기여하는 트래픽의 양
- λ_i : PSDN의 회선 i 에서 호 하나에 의한 패킷의 평균 도착률
- μ_i : PSDN의 회선 i 에서 패킷의 평균크기

모형은 결정변수 x 와 y_i 에 대해 비선형으로 표현되는 접속실패 확률과 정보 전송지연을 만족할만한 수준으로 줄이면서 결정변수에 대해 선형으로 표현되는 회선비용을 최소화하는 비선형 정수계획 문제이다.

$$\text{Min } \{c \cdot x + k(x) + \sum_{i \in A} \{e_i \cdot D_i \cdot y_i + k(y_i)\} \quad (3)$$

$$\frac{(\lambda/\mu)^x}{x!} \quad (4)$$

$$\text{s.t. } \frac{x!}{\sum_{i=1}^x \frac{(\lambda/\mu)^i}{i!}} \leq \beta$$

$$\frac{1}{x \rho(x) \gamma} \sum_{i \in A} \frac{\lambda_i x \rho(x)}{\mu_i y_i - \lambda_i x \rho(x)} \leq \tau \quad (5)$$

$$x \geq 0, y_i \geq 0, \text{ integer for } i \in A \quad (6)$$

식 (3)은 이 모형의 목적함수로서 회선비용이다. 회선비용은 PSTN에서 회선비용과 PSDN에서 회선비용으로 구분된다. 식 (4)는 PSTN에서 접속실패 확률로, 이것은 호의 도착이 포아송 분포를 따른다고 가정할 때, 얼랑손 실공식에 의해 구해진다[4, 22]. 접속실패 확률은 그것의 상한 β 보다 작거나 같아야 한다. 식 (5)는 PSDN에서 패킷의 평균 전송지연으로 이는 각 회선에 흐르는 트래픽의 양과 회선용량에 의해 표현된다.

다음은 식 (5)의 유도과정을 설명한다.

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i \in A} \frac{f_i(x, R)}{y_i - f_i(x, R)} \quad (7)$$

식 (7)은 PSDN을 M/M/1 모형으로 분석한 결과이다[6, 22]. 여기서 γ 는 PSDN으로 들어오는 전체 트래픽의 양이고, $f_i(x, R)$ 는 결정변수인 x 와 PSDN에서 라우팅 정책인 R 로 표현되는 PSDN의 회선 i 에서 트래픽이다.

패킷의 평균 전송지연을 표현하는 식 (7)은 다음과 같이 해석할 수 있다[14, 15].

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i \in A} \lambda_i(x, R) \cdot T_i = \frac{1}{\gamma} \sum_{i \in A} \frac{\lambda_i(x, R)}{\mu_i y_i - \lambda_i(x, R)} \quad (8)$$

여기서 $\lambda_i(x, R)$ 는 PSDN의 회선 i 에서 x 와 R 로 표현되는 패킷의 평균 도착률이고, T_i 는 PSDN의 회선 i 에서 패킷의 평균 전송지연이다. 식 (8)에서 PSDN으로 들어오는 전체 트래픽 γ 는 x 와 $\rho(x)$, 그리고 γ 의 곱으로 나타난다. 그리고 $\lambda_i(x, R)$ 는 x 와 $\rho(x)$, 그리고 λ_i 의 곱으로 나타난다. 따라서 식 (8)은 식 (5)로 표현된다.

식 (6)은 비용조건으로 결정변수인 x 와 y_i 가 음이 아닌 양의 정수임을 나타낸다.

위의 모형에서 다음의 관계가 있다. 패킷이 거쳐가는

평균 회선의 수를 \bar{n} 라 하면, γ 와 λ_i 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다[15].

$$\bar{n}\gamma = \sum \lambda_i \quad (9)$$

이 논문은 문제의 해법으로 메타 휴리스틱인 타부서치 (Tabu Search, TS)와 시뮬레이티드어닐링(Simulated Annealing, SA) 알고리즘을 이용한다. 비슷한 메카니즘을 가진 이 두 가지 알고리즘으로 구한 해의 적합성을 검증하고, 비교분석한다.

이를 위해 먼저 TS와 SA의 일반적인 절차에 대하여 설명하고, 알고리즘의 성능에 큰 영향을 미치는 이웃해 생성방법에 대하여 설명한다.

TS는 Glover[8, 9]에 의해 연구되기 시작하여, 유전알고리즘(Genetic Algorithm, GA), 신경망이론(Neural Network), SA와 함께 일정계획, 공간계획과 통신경로문제 등의 조합최적화문제(Combinatorial Optimization Problem)에 널리 적용되고 있다. TS에 대한 이론적인 연구는 이동의 형태와 그 적용방법, 순환을 막는 방법, 타부리스트 관리방법 등에 대한 연구가 이루어졌다[9, 12, 23]. 그림 2는 TS의 절차를 흐름도로 보여준다[8]. 타부목록은 해의 이동속성을 일정기간 기억하는 목록으로, 이 목록을 만들기 위해서는 해의 이동속성을 나타내는 타부속성이 정의되어야 한다. 그리고 타부목록의 크기는 타부상태로 제약할 수 있는 이동의 최대수를 나타낸다. 열망수준(Aspiration Level)은 어떤 이동이 타부상태이지만 이를 무시하고 해의 이동을 가능하게 하는 기준이다. 또한 종료조건은 반복수, 탐색한 이웃해의 수, 최선해를 개선하지 못한 회수 등이 있다. TS는 해 공간의 탐색 강화(Irtensification)와 다양화(Diversification)를 적절히 조화시켜 나가는 것이 중요하다. 확률적 이동방법의 기본 개념은 SA와 유전알고리즘에서 사용하는 확률적 개념을 도입하여 해 공간을 다양하게 탐색하고자 하는 것이다. 확률적 이동방법은 해 공간을 다양하게 탐색할 뿐 아니라, TS에서 흔히 발생하기 쉬운 해의 순환현상을 방지하는 효과를 가져온다. Glover[8]는 이웃해로 이동하는 확률을 목적함수값에 비례하여 구하는 방법과 목적함수값의 순서를 이용하는 방법을 제안하였다.

SA는 Metropolis *et al.*[16]에 의해 제안된 이후, 최적

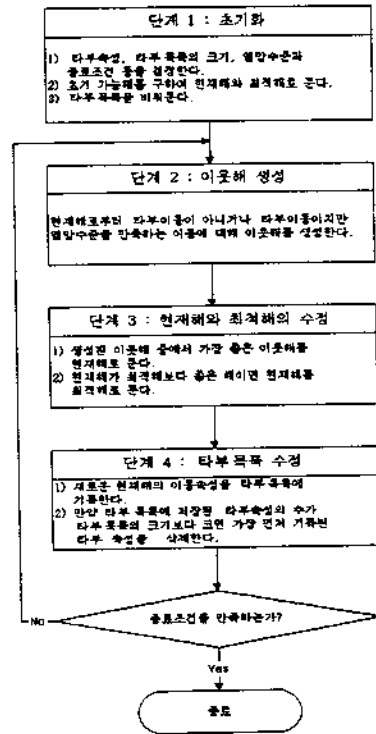


그림 2. 타부서치의 절차

화문제에 있어서 Kirkpatrick *et al.*[11]이 처음으로 성공적인 결과를 제시하기에 이르렀다. SA에서는 에너지를 최소화하는 것을 목표로 하기 때문에 일반적인 휴리스틱과 마찬가지로 새로 제시된 해가 기존의 해보다 작은 에너지를 갖는 경우에는 무조건 개선된 해로 받아들인다. 그러나 일반적인 휴리스틱과는 달리 새로 제시된 해가 기존의 해보다 나쁜 경우에도 무조건 버리지 않고 사전에 설정된 확률함수에 따라 새로운 해를 받아들이거나 받아들이지 않는 특징을 가지고 있다. 따라서 다른 휴리스틱 기법이 가지고 있는 가장 큰 문제인 지역 최솥점에 빠질 수 있다는 단점을 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. Lundy와 Mees[13]는 SA는 탐색횟수가 증가될수록 전역해(Global Optimum)에 점진적으로 근접한다는 사실을 증명하였다.

SA는 탐색횟수가 증가함에 따라 서서히 낮아지는 온도라는 제어인자를 가지고 있는데, 온도가 낮아짐에 따라서 기존의 해보다 나쁜 새로운 해를 채택할 확률은 점차

감소하게 된다. 즉 해를 찾는데 있어서 초기에는 비교적 나쁜 해일지라도 광범위한 영역에서 해를 탐색하다가 점차 특정영역에 대해서 집중적으로 해를 탐색하도록 제어하는 역할을 한다.

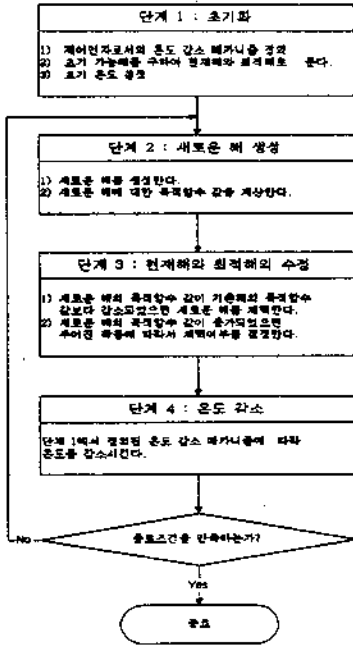


그림 3. 시뮬레이티드 어닐링의 절차

그림 3은 SA의 절차를 흐름도로 보여준다. 이 흐름도에서 단계 1의 초기해는 난수를 발생하여 구하거나 기타의 휴리스틱을 이용하여 구할 수 있으나, 초기온도는 탐색초기에 생성되는 해들의 채택가능성이 높도록 충분히 높은 온도로 설정해야 한다. 이는 초기의 온도가 현저히 낮으면 초기에 선택된 해로부터 일반적인 휴리스틱과 같은 방식의 탐색을 하는 결과를 초래할 수도 있기 때문이다. 단계 3에서 나쁜 해를 채택할 확률을 지정하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있는데 가장 일반적으로 사용되는 방법은 다음과 같다.

$$Pr = e^{-\Delta C/T}$$

여기서 $\Delta C = C(x_{new}) - C(x_{old})$ (10)

여기서 ΔC 는 새로운 해와 현재해의 목적함수 값의 차

이를 나타낸다. ΔC 가 클수록, 즉 새로운 해의 목적함수 값이 현재해의 목적함수 값보다 크면 클수록 새로운 해를 채택할 확률은 감소되는 것이다. 또한 새로운 해의 목적함수 값이 현재해의 목적함수 값보다 더 작으면 새로운 해는 무조건 채택된다. 위의 확률 계산식에서 온도(T)는 시간이 지나감에 따라 감소되므로 동일한 ΔC 를 갖는 경우에도 새로운 해를 채택할 확률은 점차 감소된다. 여기서 온도를 급격히 감소시키면 해를 빨리 찾는다라는 장점은 있으나 지역해에 빠질 가능성이 높다는 단점이 있으며, 온도를 너무 느리게 감소시키면 이의 반대현상이 나타난다. 따라서 온도를 어떻게 감소시킬 것인가가 중요한 문제로 대두되는데 일반적으로 사용되는 몇 가지 함수를 예로 들면 다음과 같다.

$$T = \frac{T_0}{(1 + \log t)} + T_\theta$$
 (11)

$$T = a^t T_0 + T_\theta$$
 (12)

$$T = \frac{T_0}{1 + t} + T_\theta$$
 (13)

여기서 t 는 새로운 해를 발생시킨 회수, T_θ 는 더 이상 낮아질 수 없는 최저온도, 그리고 a 는 0과 1 사이의 임의의 상수이다. 식(11)의 함수는 너무 느리게 온도를 저하시키기 때문에 현실적으로 적용하기에는 부적절한 방법으로 알려져 있으며, 식(12)의 함수는 Kirkpatrick *et al.* [11]에 의해 제안된 것으로 a 에 의해서 온도를 감소시키는 속도를 조절할 수 있기 때문에 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 그러나 a 의 값에 따라 온도가 감소되는 속도가 다르기 때문에 이 값을 결정해야 한다는 단점을 가지고 있다. 식(13)의 함수는 Szul[21]에 의해 제안된 것으로 매우 빠른 속도로 온도를 저하시키기 때문에 고속시뮬레이티드어닐링(Fast Simulated Annealing)이라고도 한다. SA는 폭넓은 응용 가능성과 최상에 가까운 해를 제시한다는 장점을 가지고 있지만, 상당히 좋은 해를 찾기까지 소요되는 시간이 너무 길다는 단점도 가지고 있다. 이 논문은 두 번째 함수를 온도감소 함수로 선택하여 a 값의 변화에 따른 해의 특성을 살펴본다.

마지막으로 이웃해의 생성방법에 대해 설명한다. 이웃해의 생성방법은 문제의 특성을 잘 반영하여 좋은 해를

효율적으로 탐색해 갈 수 있도록 개발되어야 한다. 순서 문제에서는 흔히 두 개의 원소의 위치를 서로 바꾸는 교환이동과 하나의 원소를 다른 위치로 이동시키는 삽입이동을 사용하고 있다[12, 23]. 교환 또는 삽입이동으로 생성된 이웃해를 현재해와 비교해 볼 때, 교환이동은 위치 및 순서의 변화가 너무 작고 삽입이동은 위치의 변화가 너무 커서 해의 탐색성을 저하시킬 수 있다. 이 논문은 회선의 용량을 한 단위씩 증가 또는 감소시켜가면서 이웃해를 생성시켰다.

이 연구는 열망수준을 현재까지 구한 최적해로 하였다. 이 논문은 1000회의 이동동안 목적함수 값을 개선하지 못할 경우 해의 탐색을 종료하도록 하였다.

4. 실험 및 결과 분석

이 논문은 PSTN과 PSDN을 연결한 간단한 데이터 통신망을 예제로 TS와 SA를 이용하여 해를 구한다. 그리고 각각의 알고리즘으로 구한 해의 적합성을 검증하고, 비교 분석한다. 그림 4는 실험 예제망을 표현한다.

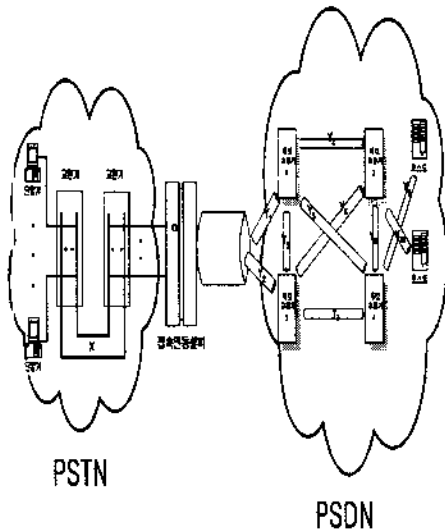


그림 4. 실험 예제

이 실험예제에서 가정은 다음과 같다. PSTN에서 제공부하(Offered load)는 105 열량으로 가정하였고, 호의 도착은 포아송 분포를 따른다고 가정하였다.

PSDN의 각 링크에서 패킷의 도착과 패킷의 크기는 포아송 분포를 따르며, 패킷 하나가 점유하는 평균 링크 수는 5로 가정하였다.

이 예제의 해법은 각 링크에서 단위회선을 증가, 감소시키면서 이웃해를 생성하였다. 목적함수 값의 개선없이 1000회 동안 해의 이동이 발생하면 종료하도록 하였다. TS 알고리즘에서 타부 목록의 크기는 17로 하였으며, 열망수준은 현재까지 구한 최적해로 설정하였다. SA 알고리즘에서 초기온도는 0.97로 설정하였고, 0.97의 거듭제곱으로 온도를 감소시켰다.

두 알고리즘에서 초기해는 임의의 큰 값에서 시작해서 제약식을 만족시킬 때까지 감소시켜가면서 설정하였다.

TS 알고리즘을 이용하여 구한 해를 살펴보면 다음과 같다.

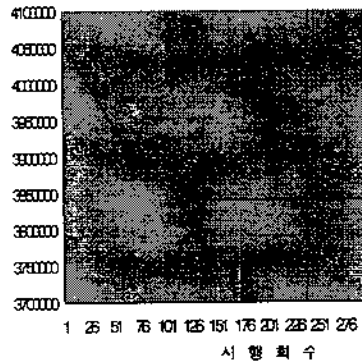


그림 5. 타부서지 적용시 목적함수의 변화양상

그림 5에서 보듯이 목적함수 값이 일정하게 감소하다가 3,840,800으로 수렴하여 더 이상 목적함수의 개선 없이 종료조건에 의하여 종료되었다.

그림 6에서 y_8 의 증가는 회선 y_8 의 비용이 가장 작으므로 나머지 변수가 감소하면서 생기는 전송지연을 만회하기 위한 것으로 해석된다. y_8 의 감소는 회선 y_8 의 비용이 가장 크므로 가능한 한 y_8 을 감소시키려하기 때문이다. y_{10} 의 감소는 초기해를 회선 y_{10} 에 너무 많이 할당하였기 때문에 발생했다고 분석된다.

SA 알고리즘을 이용하여 구한 해를 살펴보면 다음과 같다.

그림 7에서 보듯이 온도가 0.35가 될 때까지 목적함수

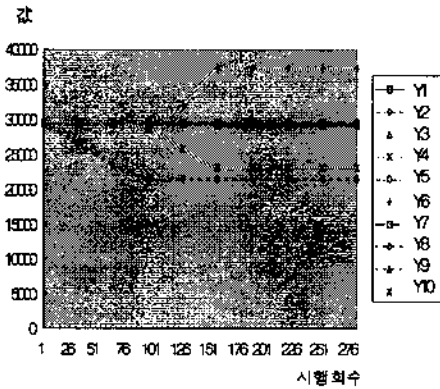


그림 6. 타부서치 적용시 결정변수의 변화양상

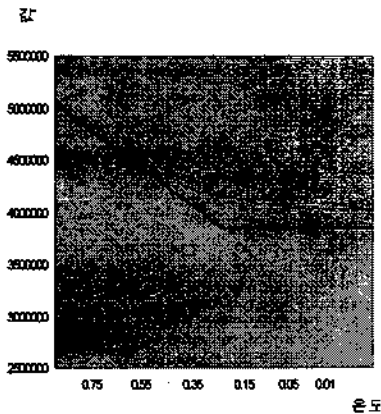


그림 7. 시뮬레이티드 어닐링 적용시 목적함수의 변화양상

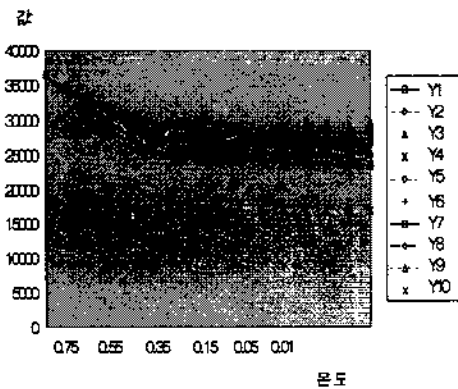


그림 8. 시뮬레이티드 어닐링 적용시 결정변수의 변화양상

값이 일정하게 감소하다가 3,840,100으로 수렴하여 더 이상 목적함수의 개선이 없이 종료조건에 의하여 종료되었다.

그림 8에서 보듯이 변수들의 값이 일정하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 온도가 0.35를 지나간 후에도 y_{10} 이 지속적으로 감소하는 것은 초기해를 회선 y_{10} 에 너무 많이 할당하였기 때문에 발생했다고 분석된다.

5. 결론

이 논문에서 PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망의 회선할당 문제에 TS와 SA를 적용한 결과 TS의 목적함수 값은 3,840,800이고, SA의 목적함수값은 3,804,100으로 두 알고리즘에 의해 구한 해는 차이가 없었다. 결정 변수들의 수렴양상은 두 알고리즘 사이에 약간의 차이가 있지만 결과는 유사하였다. 따라서 PSTN과 PSDN을 연결한 데이터 통신망에서 회선할당 계획을 수립할 때 트래픽의 성질을 관찰하여, 통신품질특성을 만족시키면서 회선비용을 최소화하는 회선할당 계획을 수립할 수 있다.

향후 연구과제로 PSTN에서 호를 다수의 클래스로 분류하고, 각각의 클래스에 대해 다양한 접속 품질 요소들을 고려한 모형의 수립이 요구된다. 또한 PSTN과 PSDN을 연결하는 연동설비에 관한 성능분석도 앞으로 해결해야 할 과제이다. 그리고 해법에서 이웃해의 생성을 다양한 방법으로 수행하면서 알고리즘 성능을 분석하는 것도 필요하다.

참고문헌

- [1] 김여근, 현철주, "준비시간이 있는 혼합모델 조립라인의 제품투입순서 결정: Tabu Search 기법 적용", 한국경영과학회지, 제13권, 제1호, pp.13-27, 1996.
- [2] 황인수, 한재민, "유전해법에서 시뮬레이티드 어닐링을 이용한 개체선택의 효과에 관한 연구", 한국경영과학회지, 제14권, 제1호, pp.77-85, 1997.
- [3] Aein, J. M., "A multi-user-class, blocked-calls-cleared, demand access model," *IEEE Transactions on communications*, Vol.COM-26, No.3, pp.378-385, 1978.
- [4] Akimaru, H. and Kawashima, K., *Telettraffic: Theory*

- and Applications*, Springer-Verlag, 1993.
- [5] "American National Standard for Information Systems - Data Communication Systems and Services - Measurement Methods for User-Oriented Performance Evaluation," *ANSI X3.141-1987*. ANSI Inc., New York, 1987.
- [6] Cantor, D. G. and Gerla, M., "Optimal routing in a packet-switched computer network," *IEEE Transactions on Computers*, Vol.C-23, No.10, pp. 1062-1068, 1974.
- [7] Gersht, A. and Shulman, A., "Optimal routing in circuit switched communication networks," *IEEE Transactions on Communications*, Vol.37, No.11, pp. 1203-1211, 1989.
- [8] Glover, F., "Tabu search - part I," *ORSA Journal on Computing*, Vol.1, No.3, pp.190-206, 1989.
- [9] Glover, F., "Tabu search - part II," *ORSA Journal on Computing*, Vol.2, No.1, pp.4-32, 1990.
- [10] Kaufman, J. S., "Blocking in a shared resource environment," *IEEE Transactions on communications*, Vol.COM-29, No.10, pp.1474-1481, 1981.
- [11] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. Jr. and Vecchi, M. P., "Optimization by simulated annealing," *Science*, Vol. 220, pp.671-680, 1983.
- [12] Laguna, M., Barnes, J. W., and Glover, F., "Tabu search methods for a single machine scheduling problem," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 2, pp.63-74, 1991.
- [13] Lundy, M. and Mees, A., "Convergence of an Annealing algorithm," *Mathematical Programming*, Vol.34, pp.111-124, 1986.
- [14] Meister, B., Müller, H. R., and Rudin, H. R. Jr., "New optimization criteria for message-switching networks," *IEEE Transactions on Communication Technology*, Vol.COM-19, No.3, pp.256-260, 1971.
- [15] Meister, B., Müller, H. R., and Rudin, H. R. Jr., "On the optimization of message-switching networks," *IEEE Transactions on Communications*, Vol.COM-20, No.1, pp. 8-14, 1972.
- [16] Metropolis, W., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A. and Teller, E., "Equation of state calculations by fast computing machines," *Journal of Chemistry Physics*, Vol.21, pp.1087-1092, 1953.
- [17] Ng, T. M. I. and Hoang, D. B., "Joint optimization of capacity and flow assignment in a packet-switched communications network," *IEEE Transactions on communications*, Vol.COM-35, No.2, pp.202-209, 1987.
- [18] Ross, K. W. and Tsang, D. H. K., "The stochastic knapsack problem," *IEEE Transactions on communications*, Vol.37, No.7, pp.740-747, 1989.
- [19] Schwartz, M. and Stern, T., "Routing techniques used in computer communication networks," *IEEE Transactions on Communications*, Vol.COM-28, No.4, pp. 539-552, 1980.
- [20] Seitz, N. B., Wolf, S., Voran, S., and Bloomfield, R., "User-oriented measures of telecommunication quality," *IEEE Communications Magazine*, Vol.32, pp.56-66, 1994.
- [21] Szu, H., "Fast simulated annealing," In J. Denker (Ed.), *Neural Network for Computing: American Institute of Physics*, New York, pp. 420-425, 1986.
- [22] Walrand, J. and Varaiya, P., *High - Performance Communication Networks*, Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco, 1996.
- [23] Widmer, M. and Hertz, A., "A new heuristic method for the flow shop sequencing problem," *European Journal of Operations Research*, Vol. 41, pp. 186-193, 1989.