

광대역 융합 액세스 가입자 망 설계를 위한 타부서치 알고리즘 개발

Tabu Search Algorithm for designing broadband converged access networks

윤현정*, 이영호*, 김영진*, 조은성*, 이순석**, 박노익**

*고려대학교 산업시스템정보공학과 (yhlee@korea.ac.kr)

**한국 전자통신 연구원

Abstract

This paper deals with a heuristic algorithm for solving a broadband converged access networks (BCAN) design problem. The problem is to minimize the total cost of switches and cables while satisfying demand and QoS constraints. We propose a Tabu Search (TS) algorithm for finding a good feasible solution within a reasonable time limit.

1. 서론

이 연구는 광대역 융합 가입자 망 (Broadband Converged Access Network, BCAN) 최적 설계를 위하여 타부서치 알고리즘을 개발한다. BCAN은 통신·방송·인터넷이 통합된 서비스를 동시에 제공한다. 또한, BCAN은 유지 보수비용이 구리선 가입자 망 보다 낮고, 사용자 보안성능도 높다. 그러나 BCAN은 초기 설치비용이 높아 망 구축에 따른 투자위험이 크다. 현재 가입자 망은 전화선을 이용해 서비스를 제공하므로 망 구축비용 규모가 작다. 하지만 BCAN은 전화국과 가입자를 연결하는 광케이블과 장비를 설치해야 서비스를 제공하므로 망 구축비용 규모가 크다. 따라서 BCAN은 총비용을 고려하면서 QoS를 보장하는 최적 망 설계 연구가 필요하다. 그리고 QoS를 보장하면서 장비와 케이블을 최적 위치에 설치하기 위한 휴리스틱 알고리즘을 개발한다.

이 연구는 Lee *et al.* (2006)에서 분류한 BCAN 서비스는 서비스 별 QoS를 보장하기 위해 트래픽 종류, 전송 속도 (Access Bit Rate), 트래픽 대칭성에 따라 5가지 클래스로 나누었다. 그리고 QoS를 보장하면서 총비용을 최소로 하는 BCAN 최적설계를 제안하였다. 또한 BCAN 설계를 위해 두 가지 로컬 서치 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 첫 번째 알고리즘은 서비스 별 QoS 수준을 보장하는 방법이고, 두 번째 알고리즘은 스위치 별 연결 가능한 최대 가입자를 연결하는 방법이다. 한편, 장비 별 위치를 고려한 휴리스틱 기법 연구는 Carello G. *et al*와 Dlek T. and Laura I. B.가 제시했다. 먼저 Carello G. *et al*는 Two-level Network을 계획하는 문제에 로컬 서치 휴리스틱 기법을 적용하였다 (2004). 이 연구는 Transit

Node와 Access Node를 최소 비용으로 연결하는 Transit Network 설계 문제를 해결하였다. 이 연구는 Optimization Step과 Post Optimization Step으로 나누어 로컬 서치 휴리스틱 기법을 적용하였다. 우선 Optimization Step에서 Transit Node를 결정하는 Location 문제를 해결하였다. 그 후 Post Optimization Step에서 Transit Node 쌍을 바꾸어가며 Access Node를 할당하는 방법을 적용하였다. 그리고 Dlek T. and Laura I. B.는 Location routing문제에 Two-Phase Tabu Search를 적용하였다 (1998). 기존 논문의 한계는 가입자 별 트래픽 분포와 노드 간 연결 케이블 비용을 고려하는 물리적 가입자 망 설계 방법 연구이다. 따라서 이 논문은 총 비용을 최소로 하면서 물리적 가입자 망에 적용 가능한 휴리스틱 알고리즘을 제안한다.

이 논문은 총 비용을 최소로 하면서 QoS를 보장하도록 가입자 망을 최적 설계한다. QoS 보장을 제약조건으로 하고, 총 비용 최소를 목적으로 하는 최적화 모형을 개발한다. QoS 제약조건은 혼합정수 계획법으로 모델링된다. 개발한 최적화 모형을 풀기 위해 타부서치 알고리즘을 개발한다. 먼저 노드 별 연결 가입자와 스위치 위치를 최소로 하는 초기해 (Initial Solution)를 선정한다. 그리고 단기 메모리와 장기 메모리 과정을 통하여 최선해 (Best Solution)를 찾는다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 BCAN 설계를 위한 혼합 정수 계획법 모델을 제시한다. 3장은 개발한 최적화 모형을 풀기 위하여 타부서치 알고리즘을 제시한다. 그리고 4장은 타부서치를 이용한 결과를 제시하고, 끝으로 5장에서 결론과 향후 연구 과제를 기술한다.

2. BCAN 설계 최적화 모형

BCAN 설계 문제는 QoS제약조건을 고려한 3단계 용량 제약이 있는 설비 위치 결정 문제 (Capacitated Facility Location Problem, CFLP)이다. 이 논문에서 BCAN 설계를 위하여 최적화 모형을 개발한다.

2.1. 망 설계 가정

이 연구는 융합 서비스 (Converged Service)를

제공하는 트리구조 가입자 망 설계이다. BCAN기술 구조는 Residential Gateway (RG), Secondary-L2 (S-L2) 스위치와 Primary-L2 (P-L2) 스위치, 그리고 Access-Edge Service Node (A-ESN)로 구성된다. RG는 가입자 맥내의 Hub 역할을 하는 장비이다. 그리고 RG는 컴퓨터, TV, 냉장고와 같은 가전에서 발생하는 트래픽을 모아 스위치로 전송하거나 네트워크를 통해 맥내로 전송되는 트래픽을 가전으로 전송하는 장비이다. S-L2와 P-L2 스위치는 Layer 2 스위치로써 RG와 A-ESN 사이에 트래픽을 Multiplexing / Demultiplexing하는 장비이다. 그리고 S-L2와 P-L2 스위치는 계층적 구조를 갖기 위한 구분일 뿐 용량 이외에 기능은 다르지 않다. A-ESN은 전송망과 가입자 망 사이에 트래픽을 매개하는 장비이다.

이 연구는 BCAN 스위치와 케이블을 기존 가입자 망 선로구조에 설치하는 문제를 다룬다. 기존 가입자 망 구조는 전화국을 Root 노드로 하는 트리구조 형태를 가진다. 맨홀과 전신주 같이 스위치를 설치할 수 있는 곳을 노드로 한다. 그리고 맨홀이나 전신주를 연결하는 관로를 노드사이 링크로 가정한다. 이 연구는 기존 가입자 망 구조를 활용하여 물리적 가입자 망에 BCAN을 설계한다.

2.2. 최적화 모형

가. 집합과 모수

N : 가입자 망 선로 구조에서 스위치가 설치될 수 있는 후보노드 집합,

M : 가입자 노드 집합,

CS_{ij} : 가입자 노드 $i \in M$ 와 연결된 가입자와 노드

$j \in N$ 에 설치된 S-L2 스위치 사이 단위 거리

당 케이블 비용,

CP_{jk} : 노드 j 에 설치된 S-L2 스위치와 노드 k 에 설치된 P-L2 스위치 사이 단위 거리당 케이블 비용,

CA_k : 노드 k 에 설치된 P-L2 스위치와 전화국에 설치된 A-ESN사이 단위 거리당 케이블 비용,

fs_{jk} : 노드 j 에서 S-L2 스위치 한 대를 설치할 때 드는 비용,

fp_k : 노드 k 에서 P-L2 스위치 한 대를 설치할 때 드는 비용,

fa : 전화국에 A-ESN 한 대를 설치할 때 드는 비용,

a : S-L2 스위치 포트 수,

β : P-L2 스위치 포트 수,

γ : A-ESN 포트 수,

ns_j : 노드 j 에 설치할 수 있는 S-L2 스위치 최대대수,

np_k : 노드 k 에 설치할 수 있는 P-L2 스위치 최대대수,

na : 전화국에 설치할 수 있는 A-ESN 최대대수,

d_i : 가입자 노드 i 에 연결된 가입자 수,

ε_s : Stream 서비스 s 의 블로킹 확률 상한,

δ_s : Elastic 서비스 s 의 전송지연율 상한,

A_s : 서비스 s 가 발생시키는 트래픽강도,

r_s : 전송 속도 (Access Bit Rate),

CS, CP, CA : S-L2, P-L2 스위치, 그리고 A-ESN 용량.

나. 결정변수

x_{ijp} : 가입자 노드 i 에 연결된 가입자 중 노드 j 에 설치된 p 번째 S-L2 스위치와 연결된 수,

z_{sjkp} : 노드 j 에 설치된 p 번째 S-L2 스위치가 노드 k 에

설치된 q 번째 P-L2 스위치에 연결되면 1, 그렇지 않으면 0,

zP_{klq} : 노드 k 에 설치된 q 번째 P-L2 스위치가 전화국

l 번째 A-ESN에 연결되면 1, 그렇지 않으면 0,

zai : 전화국에 i 번째 A-ESN이 설치되면 1, 그렇지 않으면 0,

us_s, up_s, ua_s : S-L2, P-L2 스위치, 그리고 A-ESN에서 서비스 s 에 할당된 대역폭 비율,

BS_{jps} : 노드 j 에 설치된 p 번째 S-L2 스위치 블로킹 확률,

BP_{kqs} : 노드 k 에 설치된 q 번째 P-L2 스위치 블로킹 확률,

BA_{ls} : l 번째 A-ESN 블로킹 확률,

DS_{jps} : 노드 j 에 설치된 p 번째 S-L2 스위치 전송지연율,

DP_{kqs} : 노드 k 에 설치된 q 번째 P-L2 스위치 전송지연율,

DA_{ls} : l 번째 A-ESN 전송지연율.

다. 망 설계 최적화 모형

BCAN설계 최적화 모형에서 목적식은 총비용 최소화이다. 총비용은 스위치 비용과 RG에서 S-L2, S-L2에서 P-L2, 그리고 P-L2에서 A-ESN을 연결하는 케이블 비용 합으로 표현된다. 망 설계 최적화 모형은 다음과 같다.

Minimize

$$\sum_{i \in A} \sum_{N_p=1}^{ns_j} CS_{ij} x_{ijp} + \sum_{j \in N} \sum_{N_p=1}^{ns_j} \sum_{N_q=1}^{np_k} (fs_j + cp_{ij}) z_{sjkp} + \sum_{k \in N} \sum_{N_q=1}^{np_k} (fp_k + ca_k) zP_{klq} + \sum_{l=1}^{na} fa + zai(1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N_p=1}^{ns_j} x_{ijp} = d_i, \quad \forall i \in M, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in N_q=1}^{np_k} z_{sjkp} \leq 1, \quad \forall j \in N, p=1, \dots, ns_j, \quad (3)$$

$$\sum_{l=1}^{na} zP_{klq} \leq 1, \quad \forall k \in N, q=1, \dots, np_k, \quad (4)$$

$$\sum_{k \in N_q=1}^{np_k} zP_{klq} \leq \gamma \cdot za_l, \quad \forall l=1, \dots, na, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N_p=1}^{ns_j} z_{sjkp} \leq \beta \sum_{l=1}^{na} zP_{klq}, \quad \forall k \in N, q=1, \dots, np_k, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in M} x_{ijp} \leq \alpha \sum_{k \in N_q=1}^{np_k} z_{sjkp}, \quad \forall j \in N, p=1, \dots, ns_j, \quad (7)$$

$$SL2TI_{jps} = \sum_{i \in M} x_{ijp} A_i, \quad \forall j \in N, p=1, \dots, ns_j, s \in S, \quad (8)$$

$$BS_{jps} = E_B(SL2TI_{jps}, \lfloor \sum_{k \in N_q=1}^{np_k} CS \cdot us_s \cdot z_{sjkp} / r_s \rfloor \rfloor), \quad \forall j \in N, p=1, \dots, ns_j, s \in S_{stream}, \quad (9)$$

$$PL2TI_{kqs} = \sum_{j \in N_p=1}^{ns_j} SL2TI_{jps} \cdot z_{sjkp} (1 - BS_{jps}), \quad \forall k \in N, q=1, \dots, np_k, s \in S_{stream}, \quad (10)$$

$$BP_{kqs} = E_B(PL2TI_{kqs}, \lfloor \sum_{l=1}^{na} CP \cdot up_s \cdot zP_{klq} / r_s \rfloor \rfloor), \quad \forall k \in N, q=1, \dots, np_k, s \in S_{stream}, \quad (11)$$

$$AESN2TI_{ls} = \sum_{k \in N_q=1}^{np_k} PL2TI_{kqs} \cdot zP_{klq} (1 - BP_{kqs}) (1 - BA_{ls}), \quad \forall l=1, \dots, na, s \in S_{stream}, \quad (12)$$

$$BA_{ls} = E_B(AESN2TI_{ls}, \lfloor CA \cdot ua_s \cdot zai / r_s \rfloor \rfloor), \quad \forall l=1, \dots, na, s \in S_{stream}, \quad (13)$$

$$1 - (1 - BS_{jps})(1 - BP_{kqs})(1 - BA_{ls}) \leq \varepsilon_s, \quad \forall j \in N, p=1, \dots, ns_j, k \in N, q=1, \dots, np_k, l=1, \dots, na, s \in S_{stream}, \quad (14)$$

$$PL2TI_{kqs} = \sum_{j \in N_p=1}^{ns_j} SL2TI_{jps} \cdot z_{sjkp}, \quad \forall k \in N, q=1, \dots, np_k, s \in S_{elastic}, \quad (15)$$

$$AESN2TI_{ls} = \sum_{k \in N_q=1}^{np_k} PL2TI_{kqs} \cdot zP_{klq}, \quad \forall l=1, \dots, na, s \in S_{elastic}, \quad (16)$$

$$DS_{jps} = 1 + \frac{E_C(SL2TI_{jps}, \lfloor \sum_{k \in N_q=1}^{np_k} CS \cdot us_s \cdot z_{sjkp} / r_s \rfloor \rfloor)}{\sum_{k \in N_q=1}^{np_k} CS \cdot us_s \cdot z_{sjkp} / r_s - SL2TI_{jps}}, \quad \forall j \in N, p=1, \dots, ns_j, s \in S_{elastic}, \quad (17)$$

$$DP_{kqs} = 1 + \frac{E_C(PL2TI_{kqs}, \lfloor \sum_{l=1}^{na} CP \cdot up_s \cdot zP_{klq} / r_s \rfloor \rfloor)}{\sum_{l=1}^{na} CP \cdot up_s \cdot zP_{klq} / r_s - PL2TI_{kqs}}, \quad \forall k \in N, q=1, \dots, np_k, s \in S_{elastic}, \quad (18)$$

$$DA_{ls} = 1 + \frac{E_C(AESN2TI_{ls}, \lfloor CA \cdot ua_s \cdot zai / r_s \rfloor \rfloor)}{CA \cdot ua_s \cdot zai / r_s - AESN2TI_{ls}}, \quad \forall l=1, \dots, na, s \in S_{elastic}, \quad (19)$$

$$DS_{ps} \cdot DP_{ks} \cdot DA_{ls} \leq \delta_s, \quad \forall j \in N_p, p=1, \dots, ns, k \in N_q, q=1, \dots, np, l=1, \dots, na, s \in S_{elastic}, \quad (20)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ and integer, } z_{s_{jpp}}, z_{p_{klq}}, z_{a_l} \in \{0,1\}. \quad (21)$$

BCAN 설계 최적화 모형에서 목적함수는 스위치 비용과 케이블 비용을 최소로 하므로 식(1)과 같다. 식(2)는 서비스 연결 제약조건을, 식(3)과 (4)는 스위치 할당 제약조건을, 식(5), (6), (7)은 스위치 포트수 제약조건을 나타낸다. 그리고 식(8)에서 (14)는 Stream 트래픽 QoS 제약조건을 나타내고, 식(15)에서 (20)은 Elastic 트래픽 QoS 제약조건을 나타낸다. 특히, 식(14)와 (20)은 트래픽 별 종단간 QoS에 대한 제약식이다.

3. 타부서치

이 논문에서 개발하는 휴리스틱 알고리즘은 타부서치 알고리즘이다. 타부서치는 트리구조 망 구조 특성을 반영하여 효과적인 해 탐색을 위한 알고리즘 개발에 적합하다. 먼저 타부서치는 이동 (Move)과 이웃해 (Neighborhood)를 정의한다. 그리고 타부서치는 타부메모리를 이용하여 탐색하지 않은 지역을 탐색하도록 유도하기 때문에 지역해 (Local Solution)를 벗어나 최선해 (Best Solution)를 구할 수 있다. 타부서치 알고리즘 절차는 초기해와 단기 메모리, 그리고 장기 메모리 과정으로 이루어진다.

3.1 초기해 과정

초기해 과정은 3단계로 이루어진다. 종단간 QoS를 만족하도록 S-L2, P-L2 스위치, 그리고 A-ESN 순으로 스위치를 설치한다. 그림1은 초기해 과정 순서도이다.

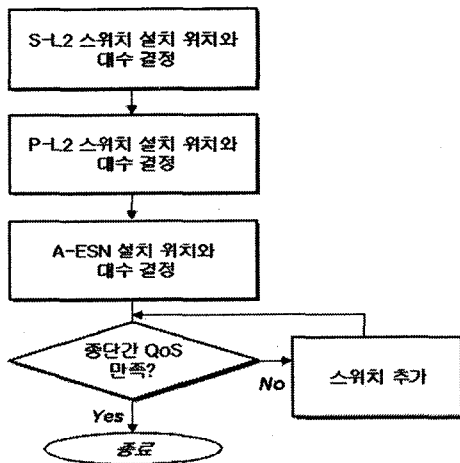


그림 1. 초기해 과정 순서도

1단계에서 QoS를 만족하도록 S-L2 스위치 설치 위치와 대수를 결정하고 가입자를 할당한다. 2단계에서 S-L2 스위치에 의한 Reduced Load를 고려하여 QoS를 만족하도록 P-L2 스위치 설치 위치와 대수를 결정한다. 3단계에서 S-L2 스위치와 P-L2 스위치에 의한 Reduced Load를 고려하여 QoS를 만족하도록 A-ESN 대수를 결정한다. 연결 가입자 수가 적은 순으로 P-L2 스위치를 A-ESN에 할당한다. 끝으로, 종단간 QoS를 계산한다. 종단간 QoS 제약조건을 만족하지 않는 경우 만족할 때까지 스위치를 추가한다.

3.2. 단기 메모리 과정

단기 메모리 과정은 초기해 과정에서 구한 해를 시작해로 하고, 이동과 이웃해를 이용하여 새로운 해를 찾는 과정이다. 이 논문에서 이동은 스위치 추가나 삭제로 정의한다. 이동으로 생성된 이웃해 평가는 총 비용이 최소인 해를 선택한다. 이 때 타부는 이동과 반대되는 속성으로 정의한다.

가. 이동과 이웃해

이동은 스위치 추가이동 (Add Move)과 스위치 삭제이동 (Drop Move)이다. 따라서 이동은 스위치 설치가능 노드에 S-L2 스위치와 P-L2 스위치를 추가하거나 제거하는 4가지 이동이 가능하다. 이웃해는 이동을 통해 정의된다. S-L2 스위치와 P-L2 스위치 설치 가능 노드 수가 n 이고 이동 가짓수가 m 일 때, 정의된 이동으로 찾을 수 있는 이웃해 경우의 수는 $n \times m$ 가지이다.

나. 타부와 타부리스트

새로운 현재해가 선정될 때 이용된 스위치 이동이 스위치 추가이동이면 스위치가 설치된 노드에 스위치를 삭제하는 이동을 타부로 한다. 반대로 스위치 삭제이동이 이용된 경우 스위치가 삭제된 노드에 스위치를 추가하는 이동을 타부로 한다. 선정된 타부는 타부리스트에 있는 동안 스위치를 추가하거나 삭제하지 못한다. 이 때 타부리스트 크기 (Tabu Tenure)는 3이다.

라. 종료 조건 (Stopping Criterion)

이동이 최선해를 개선하지 못하는 횟수가 일정 조건이상이면 단기 메모리 과정을 끝낸다.

마. 이웃해 평가 (Evaluation)

이웃해 평가는 스위치 이동으로 인한 총비용 비교이다. 스위치가 추가되거나 삭제될 때, BCAN은 S-L2 스위치부터 P-L2 스위치, 그리고 A-ESN 순으로 재할당 된다. 따라서 가입자와 S-L2 스위치, 하위스위치와 상위스위치 간 연결 관계가 달라진다. 이웃해 총비용은 스위치가 추가되거나 삭제될 때 스위치 비용변화와 케이블 비용 변화로 계산한다. 이 때 이웃해는 Feasible한 해 영역에 존재하는 해로 제한한다.

3.3. 장기 메모리 과정

장기 메모리 과정은 탐색하지 않은 해 영역을 탐색하는 절차이다. 이 논문에서 새로운 영역을 탐색하는 분산 전략으로 새로운 초기해를 랜덤하게 생성하는 방법을 제안한다.

분산전략 - 랜덤 초기해 선정기법

랜덤 초기해 선정 기법은 노드에 무작위로 S-L2 스위치와 P-L2 스위치를 설치하여 초기해를 선정하는 방법이다. 이때 선정된 초기해는 QoS 제약조건과 포트수 제약조건을 만족하도록 설치되어야 한다. 랜덤 초기해 선정은 S-L2 스위치부터 P-L2 스위치, A-ESN 순으로 선정된다.

우선 S-L2 스위치를 무작위로 설치하기 위하여 가입자 연결에 필요한 총 S-L2 스위치 대수를 계산한다. 총 S-L2 스위치 대수는 총 가입자를 가입자 연결 상한으로 나누어 올림한 수이다. 이 때 무작위로 설치된 S-L2 스위치를 랜덤 S-L2 스위치라고 정의

한다. 총 S-L2 스위치 대수만큼 랜덤 S-L2 스위치를 설치한 후 스위치에 가입자 연결 여부를 확인한다. 연결되지 않은 가입자가 있는 경우 모든 가입자를 연결할 때까지 랜덤 S-L2 스위치를 추가 설치한다. 다음으로 모든 가입자가 랜덤 S-L2 스위치에 연결되면 랜덤 P-L2 스위치를 설치한다. 랜덤 P-L2 스위치란 랜덤 S-L2 스위치와 동일하게 무작위로 설치된 P-L2 스위치로 정의한다. 랜덤 P-L2 스위치는 설치된 랜덤 S-L2 스위치를 모두 연결하도록 무작위로 설치한다. 마지막으로 A-ESN은 랜덤 P-L2 스위치를 만족하도록 전화국 (CO)에 설치한다.

랜덤 초기해 선정기법으로 생성된 해를 새로운 초기해로 정의하고, 단기 메모리 과정을 반복한다. 단기 메모리 과정 종료조건과 동일한 조건일 때 장기 메모리 과정을 끝낸다.

4. 타부서치 결과

개발한 휴리스틱 알고리즘 성능을 실험하기 위하여 사용한 파라미터는 표1이고, 가입자 망 선로 구조는 그림2와 같다. 케이블 비용은 거리에 비례한다고 가정한다. 그리고 케이블 비용은 가입자와 S-L2 스위치 간, S-L2 스위치와 P-L2 스위치 간, P-L2 스위치와 A-ESN 간 연결 시 발생하는 비용이다.

표 1. 스위치 종류별 파라미터

스위치 종류	비용(백만원)	용량(Mbps)	케이블비용*
A-ESN	500	500	1.0
P-L2 스위치	300	280	0.5
S-L2 스위치	100	80	0.1

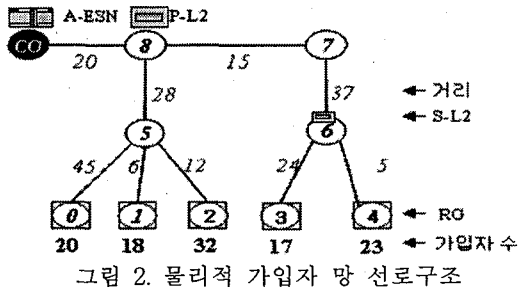


그림 2. 물리적 가입자 망 선로구조

타부서치 알고리즘은 C로 구현하였다. 모든 결과는 펜티엄 IV 3GHz CPU, 256Mb 메모리 PC를 이용하여 구하였다. 표2와 표3에서 Gap1은 초기해와 단기 메모리 과정에서 구한 최선해, Gap2는 단기 메모리 과정에서 구한 최선해와 장기 메모리 과정에서 구한 최선해의 상대 오차 값을 나타낸다.

$$Gap1(\%) = \frac{\text{초기해} - \text{최선해(단기)}}{\text{초기해}} \times 100,$$

$$Gap2(\%) = \frac{\text{최선해(단기)} - \text{최선해(장기)}}{\text{최선해(장기)}} \times 100.$$

표2에서 단기 메모리 과정을 통하여 구한 최선해는 초기해에 비해 최고 27.12% 향상된 값을 보였다. 그리고 표3에서 장기 메모리 과정 결과는 단기 메모리 과정 결과에 비해 최고 1.3% 향상된 값을 보였다.

표 2. 초기해와 단기 메모리 과정 결과비교

Port수	초기해	최선해 (단기)	Gap1 (%)	Time1
4	7479.10	7479.10	0.00%	5.12
8	3945.10	3945.10	0.00%	10.58
12	3225.60	3225.60	0.00%	3.19
16	2988.40	2177.90	27.12%	11.17
20	2988.40	2177.90	27.12%	12.17
24	2988.40	2177.90	27.12%	10.83
28	2988.40	2177.90	27.12%	11.20
32	2988.40	2177.90	27.12%	12.17

표 3. 단기와 장기 메모리 과정 결과비교

Port수	최선해 (단기)	Time1	최선해 (장기)	Gap2 (%)	Time2
4	7479.10	5.12	7471.90	0.10%	82.12
8	3945.10	10.58	3945.10	0.00%	83.45
12	3225.60	3.19	3183.70	1.30%	77.31
16	2177.90	11.17	2177.90	0.00%	87.95
20	2177.90	12.17	2177.90	0.00%	85.84
24	2177.90	10.83	2177.90	0.00%	86.72
28	2177.90	11.20	2177.90	0.00%	82.56
32	2177.90	12.17	2177.90	0.00%	85.84

5. Conclusion

이 논문은 최적 BCAN 설계 문제를 해결하기 위하여 타부서치 알고리즘을 개발하였다. 스위치 단계별 연결 비용을 최소로 하는 초기해를 선정하였다. 그리고 단기 메모리 과정은 스위치 추가, 삭제이동을 이용하여 총비용을 최소로 하는 최선해를 탐색하였다. 또한 분산 전략으로 랜덤 초기해를 구하고, 단기 메모리 과정을 반복하여 최선해를 선정하였다.

추후 연구 과제는 수요의 불확실성을 반영한 Stochastic Programming 연구이다.

참고문헌

- Carello G., Croce F. D., Ghirardi M., and Tadei R., (2004), Solving the Hub Location Problem in telecommunication Network Design: A Local Search Approach, NETWORKS, 44(2), 94-105.
- Dilek T., and Laura I. B., (1998), A two-phase tabu search approach to the location routing problem, European Journal of Operational Research, 116, 87-99.
- Lee Y., Jung J., Kim Y., Lee S., Park N., and Kang K. (2006), A new optimization system for designing broadband convergence network access networks, 대한산업공학회/한국경영과학회 2006년 춘계공동학술대회, KAIST, SA Session 2. 통신시스템/응용 No.2.