

## 공간 지역성과 PTAS를 활용한 대형 GOSST의 효과적 구성

김인범\*

### Efficient Construction of Large Scale Grade of Services Steiner Tree Using Space Locality and Polynomial-Time Approximation Scheme

Inbum Kim\*

#### 요약

GOSST의 생성은 NP-Complete 영역에 속하므로, 이 문제를 위한 휴리스틱들은, 다수의 입력 노드에 대해서 많은 시간과 계산을 요구한다. 본 논문에서는 가중치를 가지는 많은 입력 노드에 대해, 공간 지역성을 반영한 PTAS를 적용하여 GOSST를 효과적으로 구성하는 방법을 제안한다. 최대 가중치가 100인 40,000개의 입력 노드에 대하여 16개의 단위 영역으로 설계된 공간 지역성 PTAS GOSST는, 가중치 최소 신장 트리를 이용한 방법과 비교하여 연결비용은 약 4.00%, 실행시간은 89.26%를 절감할 수 있었으며, PTAS를 이용하지 않은 근사 GOSST 방법(SGOSST)에 비해서 연결비용은 0.03% 증가했으나, 실행시간은 96.39% 감소시켰다. 따라서 제안된 공간 지역성 PTAS GOSST 방법은 수많은 가중치 입력 노드들을 최소비용으로 신속히 연결하려는 다양한 응용에 잘 적용될 수 있을 것이다.

▶ Keyword : 다항적 시간 근사법, 최소 신장 트리, 서비스 등급 스타이너 최소 트리, 가중치, 포털

#### Abstract

As the problem of GOSST building belongs to NP compete domain, heuristics for the problem ask for immense amount execution time and computations in large scale inputs. In this paper, we propose an efficient mechanism for GOSST construction using space locality PTAS. For 40,000 input nodes with maximum weight 100, the proposed space locality PTAS GOSST with 16 unit

---

• 제1저자 : 김인범 • 교신저자 : 김인범  
• 투고일 : 2011. 07. 28, 심사일 : 2011. 08. 16, 게재확정일 : 2011. 08. 30  
\* 김포대학 인터넷정보과(Dept. of Internet Information, Kimpo College)

areas can reduce about 4.00% of connection cost and 89.26% of execution time less than weighted minimum spanning tree method. Though the proposed method increases 0.03% of connection cost more, but cuts down 96.39% of execution time less than approximate GOSST method (SGOSST) without PTAS. Therefore the proposed space locality PTAS GOSST mechanism can work moderately well to many useful applications where a great number of weighted inputs should be connected in short time with approximate minimum connection cost.

▶ Keyword : PTAS(Polynomial-Time Approximation Scheme), Minimum Spanning Tree, GOSST(Grade of Services Steiner Minimum Tree), Weight, Portal

## I. 서론

최근 다양하고 강력한 스마트 모바일 기기의 확산 속에 통신 기기의 기능 및 이를 사용하는 수요자의 사용 수준 및 사용량은 동일하지 않다. 이러한 환경은 통신 서비스 제공자에게 유, 무선 및 모바일 네트워크 통신 서비스 제공 능력의 확장을 요구한다. 그러나 현실적으로 짧은 시일 내 막대한 투자를 필요로 하는 설비의 확충 및 지속적인 무제한 확대는 매우 어려우므로 기존 설비의 효율적인 활용을 위한 방안이 필요하다.

다항 적(Polynomial) 문제 영역에서 이러한 네트워크 구성을 위한 최단의 트리의 생성 방법은 최소 신장 트리(Minimum Spanning Tree)를 활용하는 것이다[1]. 최소 신장 트리는 단순히 네트워크 연결 길이의 최소화를 목적으로 생성되므로, 통신량 즉 가중치를 반영하기 위해서는 수정된 가중치 최소 신장 트리로 변형시켜야 한다. 비-다항 적(Non-Polynomial) 문제 영역에서, 최소 신장 트리에 비해서 단축된 길이의 네트워크를 생성하는 것이 스타이너 최소 트리(Steiner Minimum Tree)이다[2]. 스타이너 트리 역시 연결 길이만을 고려하므로, 이것에 가중치를 도입한 것이 GOSST(Grade Of Services Steiner minimum Tree)이다[3]. GOSST는 순수한 최소 신장 트리나 스타이너 최소 트리처럼 단순히 연결 길이만을 고려한 것이 아닌, 각 노드 혹은 연결의 가중치까지 고려하여 전체적인 네트워크 생성 비용, 즉 연결비용을 최소화시킨다. 네트워크 연결비용은 네트워크를 구성하는 연결의 길이와 연결 가중치의 곱의 합으로 계산된다. 비-다항 적 문제 영역인 GOSST의 생성을 위해서는 근사 최적 해를 위한 휴리스틱을 개발해야 한다. 비록 휴리스틱이라 할지라도 많은 수의 입력에 대해서는 막대한 계산량과 실행시간이 필요하다.

컴퓨터 분야에서 PTAS(Polynomial-Time Approximation Scheme)은 대부분 NP 문제의 최적화에 대한 근사 알고리즘의 한 유형이다[4]. 어떤 최적화 문제의 최적 해를  $S$

고 했을 때, 양수인 인수  $\epsilon$ 에 대해서, PTAS는 다항 적 시간 내에  $(1+\epsilon)S$ 에 해당하는 근사 해를 찾는다. 입력의 수를  $n$ 이라 했을 때, 일반적인 PTAS의 실행시간은  $O(n^{1/\epsilon})$ 이다.

본 논문에서는 가중치를 갖는 많은 입력에 대하여 공간 지역성을 이용한 지역성 PTAS GOSST 이용하여 짧은 시간 내에 효과적인 가중치 입력노드들을 연결하는 방법을 제안한다. 이 방법은 가중치를 반영한 실시간 네트워크 라우팅, 다양한 용량의 송, 배전 전력선의 활용, 교통량을 고려한 도로 및 항로의 설계 및 운용 등에 잘 활용될 수 있다. 본 논문의 2장에서 관련된 연구들의 내용, 3장에서 제안하는 지역성 PTAS SGOSST 생성 방법, 4장에서 제안 방법의 실제 구현 및 실험분석 등을 기술하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

PTAS는 최적화 문제를 위한 근사 알고리즘 형태로, 특정 문제에 대하여, 최적 해의  $\epsilon > 0$  의 오차를 허용하는 해를 찾는 알고리즘의 모임이다[4]. 스타이너 최소 트리 문제의 변형인 GOSST 문제에 대해, J.Kim 등은 PTAS 기법을 적용하여,  $(1+\epsilon)$  근사 트리를 다항 적 시간 내에 얻을 수 있음을 증명하였다[5]. PTAS의 실행시간은 모든 고정된  $\epsilon$ 와 노드  $n$ 에 대하여 다항 적이다. 실행 시간이  $O(n^{1/\epsilon})$ 일 때,  $\epsilon$ 이 매우 작은 경우에는 실행 시간은 지수 적으로 커질 수 있다. 동일한 종류의 여러 센서들을 평면이 아닌 3차원 공간으로 확장 적용했을 때, 이들로 구성된 센서 네트워크의 수학적 모델은 단위 디스크 그래프가 아닌 단위 볼 그래프이다. Z. Ahang 등은 단위 볼 그래프에서 최소 연결 지배 집합(Minimum Connected Dominating Set)을 위한 PTAS를 설계하여 발표하였다[6]. T. Erlebach 등은 최소 가중치 셋 커버(Minimum-Weight Set Cover)의 평면 버전 문제에 대한 PTAS를 제안하는 연구를 수행하였다[7]. 단일 가중치의 경우에 대한 디스크상의 PTAS는 기존에 발표되었지만, 임의의 가중치의 경우 문제는 좀 더

어렵고, 이것에 대한 PTAS는 알려지지 않았다고 주장하였다. 이 연구에서 평면상의 임의의 가중치 기하학적 셋 커버에 대하여, 축 평행 단위 정사각형이라고 불리는 최초의 PTAS를 제시하였다. 또한 이 알고리즘을 확장하여, 단위 정사각형의 교차 그래프 상에서의 최소 가중치 지배 셋에 대한 PTAS를 제안하였다. 병렬 배치 스케줄링 모델에서는, 배치 처리 시간이 임의의 작업 원소들로 구성된 그룹의 원소들 중에서 가장 큰 처리 시간인 경우, 이 그룹은 하나의 배치로 스케줄될 수 있다. 거절 스케줄링 모델에서는, 어떤 작업도 목적 값에 페널티 비용을 부가하면서 거절될 수 있다. Z. Cao 등은 작업의 도착이 동적으로 발생할 때, 이러한 병렬 배치 스케줄링 모델과 거절 스케줄링 모델을 결합하여 스케줄링할 수 있는 PTAS를 제안하였다[8]. 이 연구에서 허가된 작업 처리 시간의 합들을 최소화하고 거절된 작업들의 전체 페널티 값을 최소화하기 위해 동적 프로그래밍과 라운딩 기법을 사용하였다. C. Yang 등은 최적 네트워크 통신에서 적용 가능한 나이테기법에서의 직접 하이퍼그래프를 임베딩 하는 문제에 대하여 연구하였다[9]. 이 문제는 NP 문제에 포함되므로 PTAS를 이용해서 다항적 시간 내에 임의의 정확도를 갖는 근사 해를 구하는 방법을 제안하였다. 고속도로 연결문제는 네트워크 설계, VLSI 설계 등에 적용 가능한 NP-hard 문제이다. J.Kim 등은 이 고속도로 문제를 해결하기 위해, 그리드 기법, 동적 프로그래밍 기법, 그리고 포털들을 이용한 PTAS를 제안하여 최적 해와 근사한 해결방법을 제안하였다[10]. 이 연구에서 제안된 방법은 기존의 다른 근사방법과는 다르게 주어진 문제 인스턴스 속성에 잘 부합하는 알고리즘을 생성할 수 있는 장점이 있다고 주장하였다.

GOSST의 연구는 스타이너 트리 문제에 속하는 이론적인 문제로 실제적인 응용보다는 최적화분야에 상대적으로 많이 수행되었으나, 점차 다양한 휴리스틱을 통해 네트워크 설계, 네트워크 QoS 및 전자 상거래나 우편에서의 배송센터의 위치 결정 등에 적용되기 시작했다. J. Kim 등은 GOSST 문제에 대한 근사비용을  $(1+\epsilon)$ 로 줄인 PTAS를 발표하였다[5]. 이 연구에서, 최적의 통신선 연결과 이것들의 용량의 할당을 통한 많은 통신 사이트들의 연결을 최소의 비용으로 네트워크를 구축하기 위해, 수학적으로 정해진 범위 내에 찾을 수 있는 이론적인 방법을 제안하였다. 과학적이고 효과적 방법으로 위치를 선정하는 것은 물류 배송센터를 중심으로 한 전자 상거래 발전을 위한 전제 조건이다. 컴퓨터 과학, 정보 과학 및 지리 정보 시스템의 발전은 물류 배송 센터의 위치 선정을 좀 더 정확하게 할 수 있게 되었다. M. Jun 등은 GOSST와 유사한 가중치 스타이너 트리 방법을 활용한 위치 선정 모델을 제안

하고 다중 에이전트 시스템을 활용한 개선된 위치 선정 알고리즘을 발표하였다[11]. 또한 프로그램 도구와 GIS 소프트웨어를 활용하여 전자 상거래 환경에서의 제안된 방법으로 물류 배송센터의 위치를 선정하는 실험을 수행하여 제안된 모델의 우수성을 증명하였다. N. Yang 등은 Minimum Path Cost Heuristic 기반의 MPH-BW(Minimum Path Cost Heuristic Based on Weight)를 제안하였다[12]. 이 방법은 비-멀티캐스트 노드에 가중치를 주고, 비-멀티캐스트 노드를 통한 경로의 평균 가중치를 계산한 후에, 원래 경로의 비용을 평균 가중치를 이용해서 수정한다. 또한 평균 가중치가 작을수록 해당 경로의 우선순위를 상승시키게 설계하였다. 이 연구에서의 시뮬레이션 결과는 제안된 방법의 계산 시간이 감소되었으며 우수한 성능의 개선을 보였다. 스마트 모바일 기기의 확산으로 인한 통신망의 효율적인 사용 및 네트워크 QoS를 위해, GOSST를 적용한 연구가 수행되었다. GOSST 문제의 실제 적용을 위한 휴리스틱으로 스케일된 그리드(Scaled Grid) 개념을 도입한 SGOSST(Scaled GOSST)를 제안되었다. 이 방법은 가중치 입력 노드들에 전체에 대하여 근사 Steiner 트리를 생성한 후, 입력 가중치를 생성된 트리에 배분한 후, 문제 영역내의 스케일 된 격자 상에 존재하는 가상 노드들을 순차적으로 검증하여 최소비용을 소비하는 가중치 스타이너 포털을 결정한다. 실험을 통하여 제안된 방법은 계산 시간은 증가했으나, 생성 비용은 감소함을 증명하였고, 이를 네트워크 QoS에 대한 적용가능성을 보였다[13].

### III. 본 론

#### 1. 제안방법

표 1은 본 논문에서 제안하는 공간 지역성 PTAS GOSST 생성 알고리즘이다. 단계 1에서 자신의 가중치를 갖는 입력노드들에 대해 그림 1과 같이 문제 영역을 16개의 단위 영역으로 분류하여 할당 시킨다. 단계 2에서 각 단위 영역에 속한 입력노드들의 가중치를 조사하여, 최대 가중치를 단위 영역의 최대 가중치를 결정한다. 단계 3에서 각 영역의 경계선 또는 계층적 통합 영역의 경계선에 위치하는 포털을 결정하고 각 포털의 가중치를 결정한다. 여기서 포털이란 연관된 두 개의 영역을 가중치의 손실 없이 연결하는 지점이다. 각 포털의 위치는 표 2에 나타나 있는 연관 영역의 분리선 상의 중앙에 위치한다. 포털 7에서 14까지는 단위 영역에 대한 포털이고, 그 이외의 포털들은 통합된 단위 영역의 분리선 상에 존재하는

계층적 포털이다. 예를 들어 그림 1에서 포털 14는 단위 영역 8과 15의 분리선의 중앙에 위치하고 포털 6은 단위영역 8과 15가 통합된 영역과 단위영역 9와 14가 통합된 영역의 분리선의 중앙에 위치한다. 따라서 포털 6은 포털 13과 14와 계층적 구조를 형성한다. 각 포털별 계층단계는 표 3에 표시되어 있다. 생성된 포털의 가중치는 연관된 두 개의 단위 영역 분리선 상에 있는 경우에는 두 단위 영역의 최대 가중치 중에서 최댓값을 선정한다. 이는 각 영역에 속한 노드들의 가중치를 보호하여 최대 용량으로 통신할 수 있는 연결선을 제공하기 위함이다. 계층적 통합 영역의 분리선 상에 위치한 포털, 즉 포털 번호가 0부터 6까지인 포털들은 표 3에 표시된 계층에서의 두개의 자식 포털들의 가중치들의 최댓값을 해당 포털의 가중치로 결정한다.

생성된 포털에 대해서 경로의 가중치를 유지시키기 위해 단계 4에서와 같이 포털의 가중치를 변경시킨다. 먼저 생성된 포털들에 대하여 그림 2와 같이 모두 연결할 수 있는 포털들의 경로를 생성하여 연결하고, 각 포털의 가중치를 보존할 수 있도록 최단 경로 상에 위치한 포털들의 가중치를 변경시킨다. 예를 들어 그림 3과 같이 포털 10의 가중치가 4이고 포털 14의 가중치가 4라고 하면, 최단 경로 상에 있는 포털들, 즉 포털 4, 2, 0, 1, 6들의 가중치는 최소한 4이상이어야 한다. 만약 가중치가 4 미만인 포털이 존재한다면 해당 포털의 가중치는 4로 변경해주어야 한다. 문제 영역의 모든 포털들의 경로들을 점검하여 포털의 가중치를 적절하게 변경시켜, 각 영역의 노드들을 연결함에 있어 가중치의 손실이 발생하지 않도록 한다. 단계 5에서 새로 생성된 포털들을 공간 지역성을 이용하여 16개 단위 영역에 할당한다. 표 4에는 각 포털별로 연결 가능한, 즉 포함 가능한 단위 영역이 표시되어 있다. 예를 들어 포털 0은 영역 A=(0,7,1,6,8,15,9,14)와 B=(2,5,3,4,10,13,11,12)를 연결한다. 따라서 포털 0의 포함된 연결의 경우 수는 A 영역에서 1개, B 영역에서 1개를 선택하므로,  ${}_8C_1 \times {}_8C_1 = 64$ 이다. 마찬가지로 포털 1과 2는 각각 16개, 포털 3, 4, 5, 6은 4개의 경우이고 포털 7에서 14까지는 각각 1개의 경우가 있다. 따라서 15개의 포털이 16개의 단위 영역에 포함되어 생성 가능한 연결 구조 수는  $2^6 \times 2^4 \times 2^4 \times 2^2 \times 2^2 \times 2^2 \times 2^2 = 2^{22}$ 개이다.  $2^{22}$ 개의 연결 구조에서 최소 연결 비용을 보이는 연결 구조가 최종 선택될 것이다. 그러나 입력 노드의 수가 많고, 노드들의 단위 영역으로의 분포도가 좋다면 포털 0은 공간적으로 인접한 A=(6,9)의 한 개 영역과 B=(5,10)의 한 개 영역에 포함될 가능성이 매우 높다. 따라서 공간 지역성을 고려하면 포털 0의 단위 영역 포함 경우의 수는  ${}_2C_1 \times {}_2C_1 = 4$ 이고 전체 연결

구조의 경우 수는  $2^2 \times 2^2 \times 2^2 \times 2^2 \times 2^2 \times 2^2 \times 2^2 = 2^{14}$ 로 대폭 감소된다. 또한 각 포털의 A, B에 포함된 각 두 영역 중에서 해당 포털과의 연결 비용이 최소인 노드가 포함된 영역을 미리 탐색하여 해당 포털이 어떤 영역에 포함될지를 결정한다면 더 많은 시간을 줄일 수 있다.

단계 6에서는 각 단위 영역에 포함되었던 입력노드와 단계 5에서 결정되어 새로이 포함된 포털들을 이용하여 SGOSST를 생성한다[13]. 포털들은 입력과는 다르게 새로이 생성된 노드들이므로 굳이 연결할 필요가 없으므로 단계 7에서, 포털이 연결하는 두 개의 노드들을 직접 연결하여 연결비용을 감소시킨 최종 가중치 반영 네트워크 연결 구조, 즉 지역성 PTAS GOSST를 완성한다.

표 1. 지역성 PTAS GOSST 생성 알고리즘  
Table 1. Algorithm for Locality PTAS GOSST

단계	처 리 내 용
1	입력 노드를 16개의 단위 영역 Area[i]로 분류
2	각 영역에 속한 입력노드들의 가중치를 조사하여 각 영역의 최대 가중치 Area[i].maxW를 구함
3	각 영역의 경계에 존재하는 포털 k의 가중치 Po[k].w를 다음과 같이 결정 If ( k ≥ 7) then Po[k].w= max(Area[o].maxW, Area[p].maxW) Else then Po[k].w= max(Po[m].w, Po[n].w) End 여기서 o,p는 포털 k와 연관된 두 영역을 의미하며, m, n은 포털계층에서 포털 k의 자식 포털을 의미
4	문제영역의 모든 영역을 연결할 수 있는 포털들의 경로를 생성하고, 해당 포털 경로 상의 두 포털 i,j의 경로 상에 존재하는 임의의 포털 k의 경로를 다음과 같이 수정한다. If ( Po[k].w < min(Po[i].w, Po[j].w) ) then Po[k].w= min(Po[i].w, Po[j].w) End
5	각 영역의 경계선에 해당하는 포털들을 검색하여 해당 포털을 단위 영역 입력 노드 집합에 포함시킴
6	새로운 입력 집합에 대하여 각 영역별로 SGOSST를 생성[13]
7	각 포털과 연결된 인접한 두 영역의 노드들에 대하여 포털과의 연결을 제거하고 직접 연결하여 최종 지역성 PTAS GOSST를 생성

표 2. 포털 및 연관 영역  
Table 2. Portals and Related Areas

포털	연관 영역	영역수
0	((0,7,1,6,8,15,9,14), [2,5,3,4,10,13,11,12])	16
1	((0,7,1,6), [8,15,9,14])	8
2	((2,5,3,4), [10,13,11,12])	8
3	((0,7), [1,6])	4
4	((2,5), [3,4])	4
5	((10,13), [11,12])	4
6	((8,15), [9,14])	4
7	(0,7)	2
8	(1,6)	2
9	(2,5)	2
10	(3,4)	2
11	(11,12)	2
12	(10,13)	2
13	(9,14)	2
14	(8,15)	2

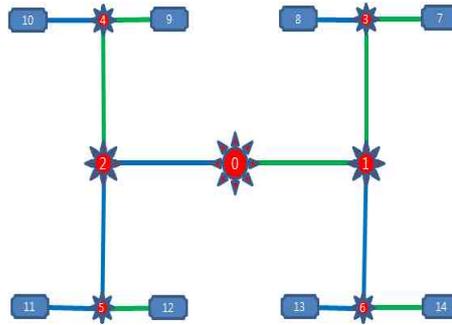


그림 2. 포털간의 연결 및 경로  
Fig. 2.Connection of Portals and Path

표 3. 포털 계층  
Table 3. Portal Layer

0							
2				1			
5	4	6	3	6	3	8	7
11	12	10	9	13	14	8	7

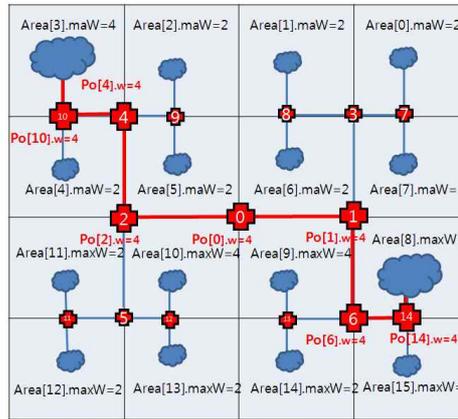


그림 3. 영역 최대 가중치 통신을 위한 포털 가중치 변경  
Fig. 3.Portal Weight Update for Communication with Max Area Weight

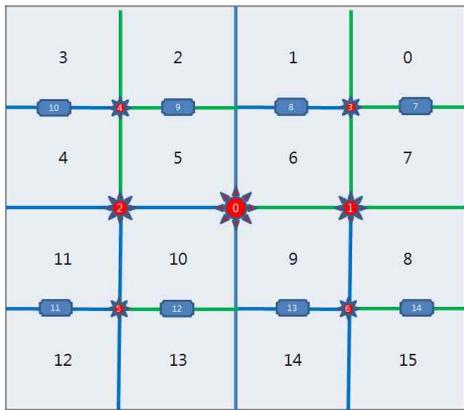


그림 1. 문제 영역의 분류 및 영역 경계 상의 포털  
Fig. 1.Problem Areas of Inputs and Portals on Borders

그림 4는 최대 가중치가 4인 100개의 입력노드의 모습이다. 각 노드의 가중치는 원의 크기로 표현되어 있다. 이 입력노드들에 대해서 그림 5는 가중치 최소 신장 트리를 이용한 네트워크 연결을 나타낸다. 각 연결선의 굵기는 연결선의 가중치를 나타낸다. 가중치 최소 신장 트리 방법은 Prim의 알고리즘을 변형하여 단순히 길이만을 고려하지 않고 거리와 가중치의 곱인 연결 비용의 합이 최소가 되도록 구성하였다[1]. 또한 구성된 네트워크 경로 상에 있는 임의의 두 노드의 가중치가 손실되지 않도록 경로상의 노드들의 가중치를 변경시킨다. 그림 6은 전체 입력에 대해서 SGOSST를 이용한 네트워크의 연결모습을 보인다[13]. 연결 비용의 최소화 및 생성 시간의 단축을 위한 근사 GOSST 스케일 인자는 0.01로 설정하였다. 그림 7은 본 논문에서 제안한 지역성 PTAS GOSST

를 이용한 네트워크 연결 모습으로 포털과의 연결을 제거하기 전 모습이다. 도입된 포털 및 그 연결을 제거하고, 포털과 연결된 두 노드들을 직접 연결하여 최적화한 최종 네트워크 연결 모습이 그림 8에 표현되어 있다.

표 4. 각 포털별 연결 영역  
Table 4. Connecting Areas to Each Portal

포털	구분	연결가능 영역	지역성고려 연결 가능 영역
0	A	0,7,1,6,8,15,9,14	6,9
	B	2,5,3,4,10,13,11,12	5,10
1	A	0,7,1,6	7,6
	B	8,15,9,14	8,9
2	A	2,5,3,4	5,4
	B	10,13,11,12	10,11
3	A	0,7	0,7
	B	1,6	1,6
4	A	2,5	2,5
	B	3,4	3,4
5	A	10,13	10,13
	B	11,12	11,12
6	A	8,15	8,15
	B	9,14	9,14
7	A	0	0
	B	7	7
8	A	1	1
	B	6	6
9	A	2	2
	B	5	5
10	A	3	3
	B	4	4
11	A	11	11
	B	12	12
12	A	10	10
	B	13	13
13	A	9	9
	B	14	14
14	A	8	8
	B	15	15

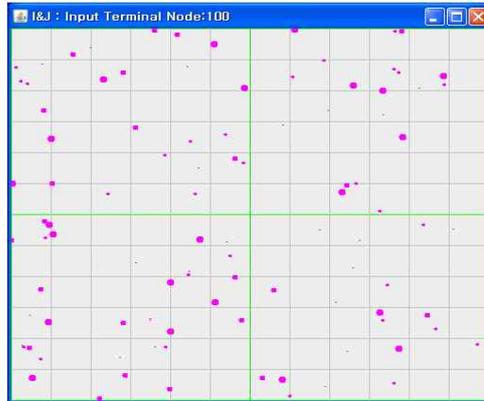


그림 4. 최대 가중치가 4인 100개의 입력노드  
Fig. 4. 100 input nodes in Max Weight 4

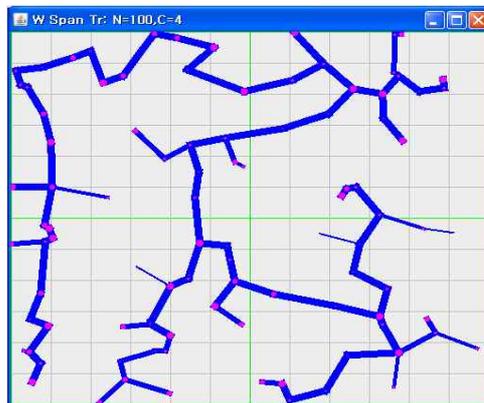


그림 5. 입력에 대한 가중치 최소 신장 트리  
Fig. 5. Weighted Minimum Spanning Tree for inputs

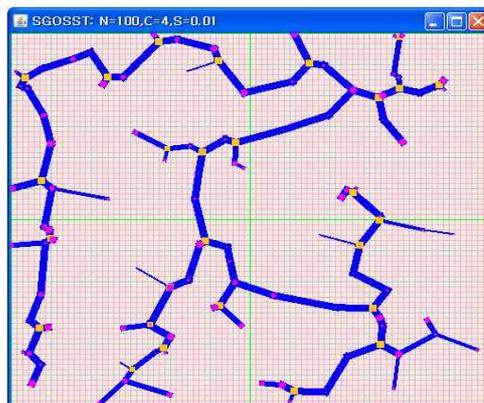


그림 6. 입력에 대한 SGOSST  
Fig. 6. SGOSST for inputs

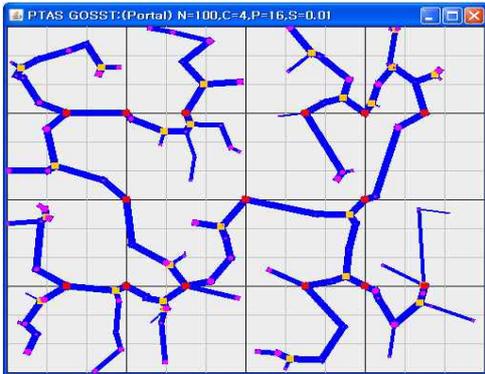


그림 7. 포털 연결 포함 지역성 PTAS GOSST  
Fig. 7. Locality PTAS GOSST with Portals

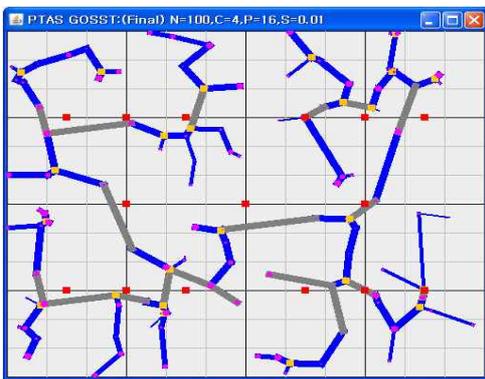


그림 8. 입력에 대한 지역성 PTAS GOSST(제안방법)  
Fig. 8. Proposed Locality PTAS GOSST for inputs  
(Proposed Method)

## 2. 실험 및 결과분석

### 2.1 실험방법

실험에 사용된 인자는 입력 노드의 수, 입력 노드의 최대 가중치이고, 관찰 결과는 가중치 최소 신장 트리를 이용한 방법[1], SGOSST 방법[13], 그리고 본 논문에서 제안하는 지역성 PTAS GOSST 방법에 의해 생성되는 네트워크의 연결 비용 및 실행시간이다. 실험의 목적은 본 논문에서 제안하는 방법이, 다항 적 시간 내에서 최적의 네트워크를 생성하는 최소 신장 트리 방법보다 더 비용이 절감됨과 동시에 적은 연결비용 오버헤드를 감수하고 신속하게 연결방법 찾아내는 것을 검증하는 것이다. 또한 SGOSST 방법에 비해 매우 짧은 시간 내에 SGOSST에 근접한 연결 비용으로 연결방법을 찾는 것이다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 가중치 최소 신장 트리 방법과 SGOSST 방법과 비교된다. 실험을 위해 무작위로 생성된 입력 노드의 수는 10000, 20000, 30000,

40000이고 각 노드의 최대 허용 가중치는 25, 50, 75, 100이다. 가중치 최소 신장 트리 방법은 Prim의 최소 신장 트리 생성 알고리즘을 기반으로 하여 모든 경로상의 데이터 전송 시 가중치 손실이 발생하지 않도록 수정하였으며, SGOSST 방법은 GOSST 휴리스틱에 그리드 스케일링 인수를 0.01로 하여 생성하였다. 비교 방법들과 제안된 방법 모두 Intel 프로세서와 4기가 램의 Microsoft 윈도우즈 환경에서 Java로 구현되었다.

### 2.2 실험 결과 및 분석

그림 9는 입력 노드의 수에 따라 생성된 가중치 반영 최소 신장 트리 방법(W.Span), SGOSST 방법(S.GOSST)과 제안된 지역성 PTAS GOSST 방법에 의한 네트워크 연결 비용에 관한 결과이다. 입력 노드의 수가 증가할수록 모든 방법의 연결비용은 증가하고, 제안된 방법은 가중치 최소 신장 트리와의 비용 절감율은 점차 커지며 SGOSST 방법에 비해서는 비용의 차이가 점차 감소된다. 제안방법은 가중치 최소 신장 트리 방법과 비교해서 입력 노드가 10000개 경우 3.36% 비용이 절감되었지만 40000개 경우에는 4.00% 비용절감을 보였다. SGOSST 방법과 비교해서, 제안된 방법은 10000개 입력노드의 경우 0.59%, 40000개 경우에는 0.03% 비용증가를 보였다. 이는 제안 방법이 많은 수의 입력에 대해서 연결 비용측면에서 좋은 성능을 나타낸다. 그 이유는 입력 노드 수가 많아질수록, 제안된 방법의 공간 지역성이 효과적으로 나타나기 때문이다. 그림 10은 입력 노드의 수에 따라, 각 네트워크를 구성 시 소요되는 연결 생성시간을 나타낸다. 동일한 입력 노드 수에 대하여 SGOSST 방법이 가장 많은 시간을 요구하고, 제안된 방법이 가장 적은 생성시간이 소비된다. 입력 노드 수가 증가함에 따라 세 방법 모두 실행시간이 증가한다. 또한 입력노드 수가 증가함에 따라 제안된 방법은 다른 두 방법에 비해 생성 시간의 감소율이 커지는데, 입력 노드 수가 10000인 경우 가중치 최소 신장 트리 방법과 SGOSST 방법에 비해서 각각 84.98%, 94.36%, 입력 노드 수가 40000인 경우에는 89.26%, 96.39% 감소율을 보였다. 이것은 제안된 방법이 많은 입력에 대해서 연결 생성 시간 측면에서 상대적으로 좋은 성능을 보인다. 그 이유는 입력 노드 수가 많아질수록 제안된 방법에서 도입된 분할 효과가 다른 방법에 비해 상대적으로 크기 때문이다. 그림 11은 문제 영역의 입력 노드들에게 허용된 최대 가중치에 따른 연결 생성 비용을 보인다. 최대 가중치란 해당 통신망에서 허용 가능한 가중치의 값 또는 가중치 종류 수를 의미한다. 최대 가중치가 크다는 것은 해당 통신망에서 제공 가능한 서비스의 수가 많거나 세분화해서 서비스를 제공할 수 있음을 의미한

다. 최대 가중치가 증가함에 따라 연결 생성 비용은 세 방법 모두 증가한다. 그림 11과 12에서 최대 가중치가 100인 경우, 제안된 방법은 W.Span 방법에 비해 연결비용은 4.00%, 실행시간 89.26% 감소하였다. 그러나 연결비용 측면에서 SGOSST 방법에 비해서 0.03% 증가하였으나 생성시간에서는 96.39%의 감소를 보였다. 제안방법은 최대 가중치가 증가함에 따라 가중치 최소 신장 트리 방법에 비해서는 비용 감소율이 증가하나, SGOSST 방법과 비교해서는 최대 가중치가 75이상부터는 비용 증가율이 0.03%로 변화 없음을 확인할 수 있다. 그러므로 제안된 방법은 다양한 가중치, 즉 세밀한 서비스 처리 용량을 갖는 대형 네트워크 환경에서, 연결 비용적 측면에서 가중치 최소 신장 트리 방법에 비해서는 우수함을, SGOSST 방법에 비해서는 비슷한 성능을 보인다. 그림 12에서 최대 가중치가 증가함에도 불구하고 세 방법 모두 연결 생성시간은 거의 일정했으며, 제안된 방법과 다른 방법과의 시간 절감율에 의미 있는 큰 변화는 발견할 수 없었다. 따라서 본 논문에서 제안된 방법은 다양한 가중치, 즉 세밀한 서비스 처리 용량이 필요한 네트워크 응용에서 다른 방법에 비해 실행 시간 측면에서 변함없이 좋은 성능을 보일 수 있음을 확인할 수 있다.

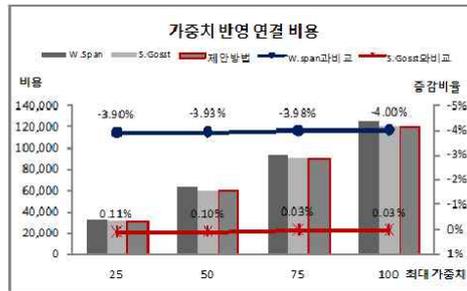


그림 11. 입력 노드의 최대 가중치에 따른 연결 비용  
Fig. 11 Connecting Cost of Changing Max Weight of input node

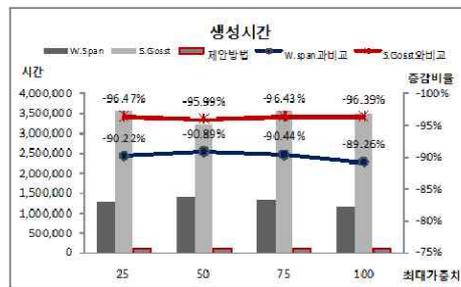


그림 12. 입력 노드의 최대 가중치에 따른 실행 시간  
Fig. 12 Execution Time of Changing Max Weight of input node

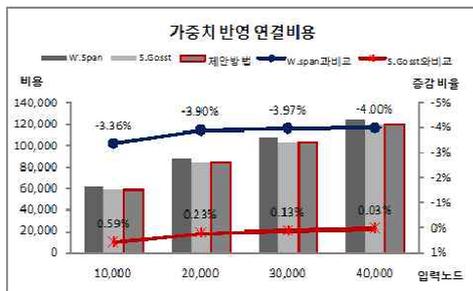


그림 9. 입력 노드 수에 따른 연결 비용  
Fig. 9. Connecting Cost of Changing Input Node Number

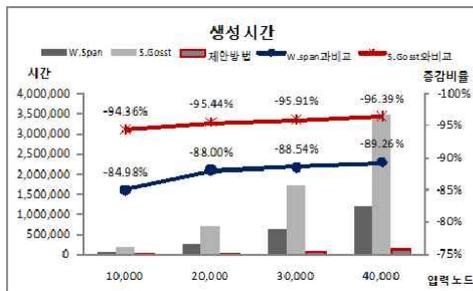


그림 10. 입력 노드 수에 따른 실행 시간  
Fig. 10. Execution Time of Changing Input Node Number

#### IV. 결론

본 논문에서는 가중치를 갖는 많은 입력노드들로 구성된 통신 환경에서, 임의의 두 노드들의 가중치를 최대한 보장하면서 서로 연결하여 통신할 수 있는 방법을 제안하였다. 공간 지역성과 분할처리를 이용한 공간 지역성 PTAS GOSST 기법은 다항 적 시간문제 영역에서 최적의 해를 보이는 가중치 최소 신장 트리방법[1]에 비하여 최대 100인 가중치를 갖는 40,000개의 입력노드 환경에서 연결비용은 4.00%, 실행시간에서 89.26% 우수한 성능을 보였으며, 비-다항 적 문제의 GOSST의 근사 방법인 SGOSST 방법[13]에 비해서 연결비용은 0.03% 추가되었으나, 실행시간은 96.39% 개선되었다. 따라서 제안된 방법은 빠른 시간 내에, 다양한 가중치를 갖는 노드들의 연결 또는 통신 문제에 잘 적용될 수 있을 것이다.

향 후 연구는, 가중치를 갖는 입력 노드의 공간 분포도가 일정하지 않은 환경에서도 좋은 결과를 얻을 수 있는 방법에 관한 것이다. 본 논문에서 제안된 방법은 각기 다른 가중치를 갖는 많은 입력노드들의 분포가 일정하다는 전제에서 좋은 성

능을 보인다. 이와 관련된 연구는 입력 노드의 수 및 위치 분포에 따른 단위 영역 수의 가변 조절과 포털 개수 및 위치에 대한 효과적인 탐색에 관한이 될 것이다. 이러한 연구 및 시도를 통해 개선된 방법을 제시할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest and C. Stein, "Introduction to Algorithms," 2nd Ed., The MIT Press, pp.561-579, 2001
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Steiner\\_tree\\_problem](http://en.wikipedia.org/wiki/Steiner_tree_problem), July 2011
- [3] G. Xue, G. Lin. and D.Z. Du, "Grade of Service Steiner Minimum Trees in Euclidean Plane," *Algorithmica*, Vol.31, pp.479-500, 2001
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Polynomial-time\\_approximation\\_scheme](http://en.wikipedia.org/wiki/Polynomial-time_approximation_scheme), July 2011
- [5] J. Kim, M. Cardei, I. Cardei and X. Jia, "A Polynomial Time Approximation Scheme for the Grade of Service Steiner Minimum Tree Problem," *Algorithmica*, Vol.42, pp.109-120, 2005.
- [6] Z. Zhang, X. Gao, W. Wu and D. Du, "A PTAS for minimum connected dominating set in 3-dimensional Wireless sensor networks," *Journal of Global Optimization*, Vol.45 No. 3, pp.451-458, Nov. 2009
- [7] T. Erlebach and E. Leeuwen, "PTAS for Weighted Set Cover on Unit Squares," 13th Intl. Workshop on Approximation Algorithms for Combinatorial Optimization Problems (APPROX 2010) & 14th Intl. Workshop on Randomization and Computation (RANDOM 2010), pp.166-177, Barcelona, Spain, September, 2010
- [8] Z. Cao and X. Yang, "A PTAS for Parallel Batch Scheduling with Rejection and Dynamic Job Arrivals," *Theoretical Computer Science*, Vol. 410 No.27-29, pp.2732-2745, June, 2009
- [9] C. Yang and G. Li, "A PTAS for Embedding a Directed Hypergraph in a Tree of Rings," 2010 IEEE International Conference on Computer Design and Applications (ICCD 2010), Vol.1, pp.25-27, Qinhuangdao, China, June 2010
- [10] J. Kim and B. Hwang, "An Adaptive Approximation Method for the Interconnecting Highways Problem in Geographic Information Systems", *Journal of Korea Spatial Information System Society*, Vol.7, No.2, pp.57-66, Sep. 2005
- [11] M. Jun, S. Zhanjiang, W. Chunli, Y. Lingyun and W. Yake, "Study on Location-Selection of Logistics Distribution Center Based on GIS and Weighted Steiner Tree," 2009 International Forum on Computer Science-Technology and Applications (IFCSTA 2009), Vol.3, pp.326-329, Chongqing, China, Dec. 2009
- [12] N. Yang and Y. Hu, "Steiner Tree Heuristic Algorithm Based on Weight," The 2010 International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC 2010), Vol.3, pp.415-418, Wuhan, China, May 2010
- [13] I. Kim, "A Study on SGOSST Mechanism for Quality of Service in Network," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol.16, No.9, Sep. 2011

## 저자 소개



### 김인범

1989 : 서울대학교 컴퓨터공학과  
공학사.

1991 : 서울대학교 컴퓨터공학과  
공학석사.

2007 : 위스컨신 주립대학-밀워키  
컴퓨터과학과 공학박사.

현재 : 김포대학 인터넷정보과  
부교수

관심분야 : 네트워크, 데이터베이스

Email : ibkim@kimpo.ac.kr

