

원격 검침 시스템에서 근사 최소 스타이너 트리를 이용한 집중기 및 중계기의 효율적인 배치와 연결

정회원 김재각*, 김인범*^o, 김수인*

Efficient Allocation and Connection of Concentrators and Repeater Using Approximate Steiner Minimum Tree in Automatic Meter Reading System

Chae-kak Kim*, Inbum Kim*^o, Soo-In Kim* *Regular Members*

요 약

원격 검침 시스템의 수용가에서는 검침기, 집중기, 중계기 등의 효율적인 구성이 필요하다. 최소 스타이너 트리는 스타이너 포인트를 도입하여 최소 비용으로 모든 입력 노드들을 연결한다. 본 논문에서는 반복적으로 생성된 근사 최소 스타이너 트리를 활용하여, 원격 검침 시스템의 검침기, 집중기, 중계기를 효율적으로 배치하고 연결하는 방법을 제안한다. 이 방법에서 입력 노드와 스타이너 포인트는 원격 검침시스템의 검침기, 집중기, 중계기로, 선분은 이들 사이의 연결로 대응되며, 이들의 적절한 처리를 통해 유·무선 방식의 원격 검침 시스템을 위한 효율적인 네트워크를 구축할 수 있다. 본 연구의 실험에서, 1000개의 입력 노드와 200개의 한 노드 당 최대 연결인 환경에서, 제안된 방법에 의해 생성된 원격 검침 시스템 네트워크는 최소 신장 트리로 생성된 네트워크와 비교하여 약 19.1%의 네트워크 길이의 절감율을 보였다.

Key Words : Automatic Meter Reading System, Concentrator, Repeater, Minimum Spanning Tree, Approximate Steiner Minimum Tree

ABSTRACT

For Automatic Meter Reading System, good topology of check machines, concentrators, and repeaters in client field is important. Steiner Minimum Tree is a minimum cost tree connecting all given nodes with introducing Steiner points. In this paper, an efficient mechanism allocating and connecting check machines, concentrators and repeaters which are essential elements in automatic meter reading system is proposed, which conducts repeated applications of building approximate Minimum Steiner Trees. In the mechanism, input nodes and Steiner points might correspond to check machine, concentrators or repeaters and edges might do to the connections between them. Therefore, through suitable conversions and processes of them, an efficient network for automatic meter reading system with both wired and wireless communication techniques could be constructed. In our experiment, for 1000 input nodes and 200 max connections per node, the proposed mechanism shortened the length of produced network by 19.1% comparing with the length of Minimum Spanning Tree built by Prim's algorithm.

※ 본 연구는 2009학년도 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

* 김포대학 컴퓨터 계열 ({ckkim, ibkim, sikim}@kimpo.ac.kr) (°: 교신저자)

논문번호 : KICS2009-07-309, 접수일자 : 2009년 7월 22일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 12일

I. 서 론

원격검침(Automatic meter reading system)이란, 전기, 수도, 가스, 난방 등의 공급자(utility)가 고객에게 요금을 부과하고 징수하기 위해 사용량의 검침 작업을 원격에서 자동으로 수행하는 시스템이다^{[1][2]}. 즉, 검침원이 직접 방문하여 수작업으로 하던 일을 컴퓨터와 통신기술을 이용하여 공급자의 중앙 검침센터에서 각 수용 가의 사용량을 자동으로 검침하는 것이다. 전력분야의 경우, 검침 업무의 자동화를 통한 검침 효율성이 증대되어 신속 정확한 요금계산과, 수집된 다양한 데이터를 활용하여 정확한 수요 예측 및 공급 계획의 수립 등 효율적인 운영이 가능하다. 소비자의 경우 원격검침 시스템은 검침 오류로 인한 민원이 감소하며, 검침원을 가장한 범죄 등을 미연에 예방할 수 있고, 사생활의 침해를 줄일 수 있다. 또한 웹 서비스를 이용하여 사용자는 검침 데이터의 직접 확인 및 이와 연계된 다양한 서비스를 제공받을 수 있다. 지방자치단체와 공급자들에게는 신속, 정확한 검침업무가 가능하며, 자동 검침 및 자동 고지서 발행 등으로 일반 관리비를 절감할 수 있고, 검침 데이터를 활용한 다양한 정보의 제공으로 검침관리의 효율화를 꾀할 수 있다. 또한 검침 데이터의 정확한 분석을 통한 공급 계획의 수립으로 효율적인 자원의 배분 및 활용이 가능하며, 이를 통한 전 세계적인 문제인 환경 보호 및 자원 절약에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다.

최소 신장 트리는 노드와 선분이 주어질 때, 주어진 일부 입력 선분을 이용해서 주어진 노드들을 최소 비용으로 모두 연결하는 트리이다. 일반적으로 비용이라 함은, 트리의 길이를 의미한다. 이 최소 신장 트리는 네트워크 설계, 통신 라우팅, 회로 설계, 도로 건설 등에 활용될 수 있다. 스타이너 트리라는 추가적인 노드들을 도입함으로써 최소 신장 트리보다 더 적은 비용으로 주어진 노드들을 모두 연결하는 문제가 최소 스타이너 트리 문제이다. 이 문제는 다항적 시간 내에 주어진 해를 생성할 수 없는 NP-complete 문제이므로, 현실 문제에 응용하기 위해서는 적절한 휴리스틱을 이용한 근사 최소 스타이너 트리를 생성하여 적용해야 한다. 이러한 최소 스타이너 트리는 동적 라우팅, ad-hoc 네트워크, 회로 설계, 항로 결정, 도로 연결 등 여러 분야에 응용될 수 있다.

본 논문에서는 원격 검침 시스템을 구성하는 수용가를 구성하는 주요 요소들의 연결함에 있어 근

사 최소 스타이너 트리를 이용하여 효율적인 검침기, 집중기, 그리고 중계기를 배치하고 연결하는 메커니즘을 제안한다. 이 메커니즘에서는 주어진 입력 노드와 선분을 이용해서 최소 신장 트리를 생성하고 이 트리 내에 존재하는 모든 연속적인 두 경로들에 대해, 이를 구성하는 세 개의 입력 노드들을 이용하여 스타이너 포인트를 생성하고, 이것을 세 노드와 연결하여 스타이너 그래프를 만든다. 다음 단계에서 스타이너 그래프의 노드와 선분들을 입력으로 하여 이에 대한 최소 신장 트리를 생성하고 불필요한 스타이너 포인트와 선분들을 제거한다. 생성되는 트리가 주어진 종료조건을 만족할 때까지 이러한 과정을 반복하며, 최종 트리를 근사 최소 스타이너 트리로 결정한다. 이 트리가 바로 원격 검침 시스템의 수용가 측의 주요 요소들을 연결하는 네트워크이다. 이 트리에서 각 노드들은 기능에 따라 네트워크에서의 검침기, 집중기, 중계기 등이 될 것이고, 선분들은 이러한 요소들의 연결이 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 원격 검침 시스템에 관한 내용이고, 3장은 본 논문에서 제안하는 방법에 활용되는 최소 신장 트리와 최소 스타이너 트리에 대한 내용이다. 4장은 본 논문에서 제안하는 스타이너 트리를 이용한 원격 검침 시스템의 집중기와 중계기의 효율적 배치 및 연결에 관한 메커니즘이 기술이고, 5장은 제안된 메커니즘을 구현하고 입력 인자를 변경하면서 스타이너 트리도 모델링한 원격 검침 시스템을 구성하는 실험 및 결과에 대한 분석이며 6장은 결론이다.

II. 원격 검침 시스템

그림 1은 원격 검침 시스템의 전체적인 구성을 나타낸다. 원격 검침된 데이터는 수용가의 단말기,

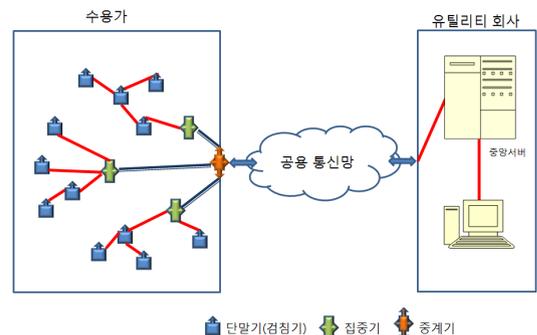


그림 1. 원격 검침 시스템의 개요

즉 검침기에서 수집되어 이를 집중기를 거쳐 중계기로 전달된다. 이것은 다양한 유, 무선 공용 통신망을 이용하여 가스, 전기, 수도, 난방 등의 유틸리티 공급자의 중앙 서버에 전달되어 수용가의 사용량에 대한 요금 고지 등에 이용된다.

원격 검침 시스템은 사용되는 통신 방식에 따라, 전력선 통신방식, RS485 통신방식, TCP/IP 통신방식, 그리고 RF 통신방식 등으로 구분할 수 있다²⁾.

전력선 통신방식은 전력선을 통신매체로 이용하여 데이터를 송수신하는 방식으로 서버의 요청으로 검침기의 계량정보를 데이터 수집 장치에서 수집하여 FEP(Front End Processor) 서버에 보내면 FEP 서버에서 판독하여 서버에 보내 이용자에게 자료를 제공한다. 데이터 수집 장치는 부하관리, 검침기 상태, 네트워크 상태 등을 주기적으로 수집하여 서버에 전송한다. 원격 검침 시스템에 대한 전반적인 관리는 통합서버가 담당한다. 즉, FEP에서 취득한 검침기의 검침 정보를 실시간으로 데이터베이스에 저장하고, 사람-컴퓨터 인터페이스를 지원하여 사용자에게 정보를 제공한다. FEP 서버는 데이터 수집 장치로부터 검침 정보를 수집하여 서버로 전송한다. 데이터 수집장치는 FEP에서 명령을 받아 수집된 검침 정보를 FEP로 전송한다.

RS485 통신방식은 현재 일반적으로 가장 많이 사용하는 방식으로, 각 검침기에서 받은 데이터를 RS485 통신을 이용하여 검침 시스템으로 송·수신하는 방식이다. 이 방식에서 원격 검침기는 각 데이터를 수집하여 저장하고 이를 화면에 표시하고, 검침 시스템의 요청 시 전송한다. 이 원격 검침기는 자체 전기 계량을 하며 RS485 통신 모듈을 내장하고 있다. RS485 중계기는 RS232C를 RS485방식으로 변환시키는 장치로서, 최대 2km까지 데이터의 전송이 가능하며 그 이상의 경우에는 증폭기를 사용한다. 검침시스템은 원격 검침기로부터 검침정보를 수신하여 저장장치에 저장하고 이를 사용자에게 제공한다. TCP/IP 통신방식은 인터넷 케이블을 이용하여 원격검침기와 검침 시스템 간의 데이터를 송·수신하는 방식으로, 시간과 장소의 제한 없이 데이터의 조화가 가능하다. TCP/IP 통신 방식에서 원격 검침기는 각 검침기의 데이터를 수집하여 저장하고, 이를 화면에 표시한다. 검침 시스템의 요청 시 검침 데이터를 전송한다. 원격 검침기는 자체 전기 계량을 하며 TCP/IP 통신 모듈을 내장하고 있다. TCP/IP통신은 인터넷 프로토콜을 이용하여 통신을 하며, 세대수가 많은 경우 중간에 Switch Hub

를 이용한다. 검침시스템은 원격 검침기로부터 계량 정보를 수신하여 이를 저장장치에 저장하고, 필요 시 사용자에게 제공한다. RF 통신방식은 RS485나 TCP/IP 통신이 어려운 환경에 적합한 무선 통신방식으로, 원격 검침기에서 각 검침기에서 받은 데이터를 같은 층에 있는 중계기로 보내고 중계기에서 다시 RS485 통신이나 TCP/IP방식을 통하여 검침시스템에 송·수신한다. 이 통신방식에서 각 검침기의 데이터를 수집하여 저장하고 이를 화면에 표시하며 검침 시스템의 요청 시 원격 검침기는 검침 데이터를 전송한다. 이것은 자체 전기 계량을 하며 RF 통신 모듈을 내장하고 있다. RF 중계기는 인접 층에 설치되어 각 세대에 설치되어 있는 원격 검침기의 데이터를 수집하여 저장한다. 검침 시스템이 송·수신을 요청하면 저장된 계량정보를 송·수신한다. 검침시스템은 원격 검침기가 송신한 검침 정보를 수신하여 저장장치에 저장하고 필요 시 사용자에게 제공한다.

원격 검침 시스템과 관련된 연구는 다양하게 시도되고 있는데, 그 가운데 전력 사용량의 자동적 검침 및 관리뿐 아니라, 소비자와 전력공급자 사이의 양방향 통신이 가능하게 함으로 실시간 지반의 수요 관리 및 전력공급의 신뢰도를 높이는 방안에 대한 연구³⁾, 고압 수용가의 구내 전기 설비 고장으로 인한 배전선로의 과급 고장을 신속히 발견하는 방안에 관한 연구⁴⁾, 전력선을 이용하여 전기, 가스, 수도의 데이터를 통합적으로 검침하는 통합 원격 검침 시스템의 설계⁵⁾ 등이 대표적이다.

III. 최소 신장트리와 최소 스타이너 트리

노드 집합 V 와 어떤 노드 쌍들을 연결하는 선분(edge)들의 집합 E 에 대해, 최소 신장 트리 문제는 모든 노드들을 최소의 가중치를 이용해서 연결하는 부분집합 $T \subseteq E$ 를 찾는 문제이다. 여기서, 가중치 $w(u, v)$ 는 노드 u 와 노드 v 의 연결 비용으로 정의된다. 이 부분집합 T 는 비순환적이고 모든 노드들을 연결하기 때문에 트리를 형성한다. 트리를 형성하는 과정에서 모든 노드들을 연결할 때까지 계속 확장(spanning)하므로, 이를 신장 트리(Spanning Tree)라 하고, 가중치의 최소 합을 가지는 네트워크를 찾아내는 것이 최소 신장 트리 문제이다. 즉, 주어진 입력 단말 노드와 선분이 있을 때 일부 선분을 이용하여 입력 노드들을 모두 연결하는 최소 비용의 트리가 최소 신장 트리(Minimum Spanning Tree)이

다. Kruskal과 Prim의 알고리즘이 이 문제에 대한 대표적인 알고리즘이다^[6]. 주어진 노드들에 대한 모든 신장 트리 중에서 지름이 가장 작은 트리를 최소 지름 신장 트리 (Minimum Diameter Spanning Tree)라 한다. 신장 트리의 지름은 트리를 구성하는 임의의 두 노드를 연결한 경로들 중에서 가장 긴 경로의 길이로 정의한다. J.M. Ho 등은 $O(N^3)$ 에 최소 지름 신장 트리를 계산하는 알고리즘을 발표하였다^[7]. J. Gudmundsson 등은 실행속도를 개선하여, 임의의 실수 $0 < \epsilon < 1$ 에 대해 $(1+\epsilon)$ 의 근사율을 가지는 근사 최소 지름 신장 트리를 선형 시간으로 계산할 수 있음을 증명하였다^[8]. C. Monmna 등은 최소 신장 트리의 한 노드의 연결된 선분의 수(차수)가 최대 5를 넘지 않음을 보였다^[9]. K.M. Chandy 등은 N개의 노드로 구성된 네트워크에서 특정 노드 C에 나머지 N-1개의 노드들을 최소 비용으로 연결시키는 용량 최소 신장 트리(Capacity Minimum Spanning Tree) 문제를 연구하여 발표하였다^[10]. 무선 센서 네트워크 분야에서 최소 신장 트리는 네트워크 토폴로지 구성과 라우팅 등에 사용된다. 무선 센서 네트워크에서의 대부분의 프로토콜은 최대 전송 파워등과 같은 고정된 전송범위를 가지고 토폴로지를 구성하는데, 이 방법은 간단하지만 에너지 측면에서 비효율적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 M. Sanchez 등은 최적의 전송 범위를 결정하는 방법을 제안하였고^[11], J. Li 등은 라우팅 측면에서 최소 신장 트리를 기반으로 토폴로지를 구성하는 방법을 발표하였다^[12].

네트워크를 구성하는 선분들의 길이 합인, 네트워크 길이를 최소화하는 문제는 중요한 최적화 문제 중의 하나로 연구되어왔다^{[13],[14]}. 이들 중 하나는 평면상에 주어진 점들이 있을 때, 특정 점 S와 주어진 점들을 연결하여 최소의 길이의 트리를 얻을 수 있는 S를 찾는 것이다. 이 문제는 수학자 Jakob Steiner에 의해 연구되었고, 매우 많은 노드들의 집합에 적용함으로써 확대되었다. 이것은 별 형태의 모양(star-like shape)을 형성하는 하나의 점을 찾는 것인데, 이를 Steiner Star라고 부른다. Courant와 Robbins은 이 문제를 변형하여 한 개가 아닌 여러 개의 스타이너 포인트들을 이용하여 모든 입력 단말 노드들을 연결하는 최단 길이의 네트워크를 찾는 방법을 연구하였다. 이러한 네트워크를 최소 스타이너 트리(Steiner Minimum Tree)라고 한다. 이 문제는 NP-Complete 문제에 포함되는 것으로 알려져 있다^{[15],[16]}. 이는 다항적 시간(polynomial time)

내에 문제에 대한 해를 구할 수 없다는 것을 의미한다. 따라서 최소 스타이너 트리 문제는 근사 트리를 구하여 근사 비율을 높이는 연구와 근사 트리를 구하는 휴리스틱에 관한 연구들이 수행되고 있다. J.Kim 등은 GOSST(Grade of Services Steiner Minimum Tree) 문제에 PTAS(Polynomial Time Approximation Scheme) 기법과 최소 스타이너 트리를 이용하여 $(1+\epsilon)$ 근사 트리를 다항적 시간 내에 얻을 수 있음을 증명하였다^[17]. 여기서 GOSST 문제는 각 요청 서비스 등급 $grade(i)$, $grade(j)$ 을 갖는 임의의 두 노드 i , j 사이에 $grade(i)$, $grade(j)$ 중 작은 등급의 서비스를 제공하는 최소 비용의 트리를 찾는 문제이다.

근사 최소 스타이너 트리를 구성할 수 있는 많은 휴리스틱이 연구되고 발표되고 있다. 이 가운데 아래의 표 1은 스타이너 트리를 구성하는 스타이너 포인트를 찾는 잘 알려진 휴리스틱이다^[18].

표 1. 스타이너 포인트를 찾는 휴리스틱의 예

단계 1	연결된 경로 AB와 BC를 구성하는 세 노드 A, B, C를 이용하여 삼각형 ABC를 생성한다.
단계 2	노드 A, B, C에 대해 S를 찾기 위해, 생성된 삼각형 ABC의 세 변 AB, BC, CA 가운데 가장 긴 길이의 변을 찾는다. 이때, 가장 긴 변을 AC라 가정할 때, AC를 한 번으로 하는 정삼각형 ACQ를 생성한다. 이 정삼각형에 포함되지 않은 노드 B는 새로 생성된 정삼각형 ACQ 외부에 위치하게 된다.
단계 3	정삼각형 ACQ를 포함하는 외접원을 생성한다.
단계 4	노드 B에서 새로 생성된 정삼각형 ACQ의 한 점 Q에 대해 직선을 연결한다. 연결 직선과 외접원의 교점을 S라 할 때, S는 후보 스타이너 포인트이다.

IV. 제안방법

일반적인 원격 검침 시스템은 검침장치의 검침 데이터를 집중기에서 수집하고 이를 중계기와 공용통신망을 거쳐 유틸리티 회사의 중앙 서버에 전송한다. 그러나 정보통신 기술의 발달로 인해 단말기의 송, 수신 장치의 부착은 기술적 측면이나 가격적 측면에서 큰 부담이 없게 되고, 따라서 원격 검침 시스템을 구성할 때, 집중기와 중계기를 새로 생성하는 스타이너 포인트에 위치시키거나, 혹은 입력 단말 노드들 중 특정 노드에 설치 또는 위치시키는 것이 가능 하다.

근사 최소 스타이너 트리의 구축을 위해서는 3장

의 표 1에서와 같이, 모든 입력 노드와 연속 경로를 형성하는 선분들에 대해, 적절히 세 개의 입력 노드 A, B, C를 선택하여 삼각형을 형성하고, 휴리스틱을 이용하여 후보 스타이너 포인트 S를 찾아내야 한다. 그러나 찾아낸 후보 스타이너 포인트 S를 이용한 선분 AS, BS, CS의 길이의 합 L_2 가 선분 AB와 BC의 길이의 합 L_1 보다 항상 짧은 것은 아니므로, L_1 과 L_2 의 크기 비교를 통해 생성된 스타이너 포인트를 도입할 지를 결정한다. 계산되어 찾아낸 스타이너 포인트 S가 버려지는 경우에는, 본 논문에서 제안하는 방법은 두 연속 경로를 연결하는 노드인 B를 스타이너 포인트로 사용한다. 그 이유는 생성되는 근사 최소 스타이너 트리의 길이가 최소 신장 트리보다 최소한 길게 하지 않기 위해서이다.

검침장치와 송수신장치 내장된 단말기와 집중기, 중계기로 구성된 원격 검침 시스템을 효율적으로 구성하기 위해 본 논문에서는 표2와 같은 단계들을 제안한다.

단계 1에서 최소 신장트리는 잘 알려진 Prim의 알고리즘을 활용한다⁶⁾. 단계 2의 스타이너 그래프 G를 생성하는 방법은 단계 1이나, 단계 4에서 생성된 최소 신장 트리 T_1 에 대해 연속적인 두 경로를 모두 찾아, 이를 구성하는 세 개의 노드들로 형성되는 모든 삼각형들에 대해, 앞의 3장에서 기술한 방법을 이용하여 스타이너 포인트들을 생성하고 해

당 노드들을 연결한다. 이 새로이 연결된 선분들로 인해 루프(Loop)가 발생할 수 있으므로 이 결과는 그래프이다. 이 루프들은 단계 3의 최소 신장 트리 T_2 의 생성 과정에서 삭제되고 현재 토폴로지에서의 최소 길이 트리가 생성된다. 제거 대상인 필요 없는 스타이너 포인트란, 단계 3의 결과인 생성된 스타이너 포인트와 입력 단말 노드로 구성된 최소 신장 트리 T_2 에서, 연결차수가 1인 스타이너 포인트와 연결 차수가 2인 스타이너 포인트들이다. 그림 2의 (a)에서와 같이, 연결 차수가 1인 스타이너 포인트 S인 경우, 이는 반드시 연결해야 하는 입력 단말 노드가 아니므로, 연결할 필요가 없다. 그림 2의 (b)에서와 같이, 연결 차수가 2인 스타이너 포인트 S의 경우는 직선으로 두 노드를 직접 연결하는 것이 길이를 단축하므로, 이 스타이너 포인트 S를 제거함은 물론, 그것과 인접하여 연결된 두 노드 A와 C를 서로 직접 연결해주는 작업이 필요하다. 여기서 노드 A 또는 C가 또 다른 스타이너 포인트가 될 수 있는데, 이는 반복적인 적용으로 처리 가능하다.

단계 5의 정해진 종료조건은 생성된 트리의 전체 길이가 몇 회 이상 변화가 없는 경우, 혹은 오차 이내의 경우이거나 미리 정해진 반복회수에 도달한 경우가 될 수 있다. 충분한 실행시간과 계산능력이 확보된 환경이라면 전자가 효율적이고, 비교적 신속한 결과가 요구되는 경우라면 반복회수를 미리 정하는 방법이 바람직하다. 단계 6에서의 종료조건을 만족한 트리 T_3 가 원격 검침 시스템의 수용가 측의 주요 요소들을 연결하는 네트워크가 될 것이다.

본 논문에서 제안하는 메커니즘의 실행 시간을 분석하면 다음과 같다. N_0 를 전체 입력 단말 노드의 수라고 정의할 때, 단계 1의 실행시간은 Prim의 알고리즘에 따라 생성되는 최소 신장 트리의 실행 시간인 $O(N_0 \log N_0)$ 이 될 것이다⁶⁾. 최소 신장 트리를 구성하는 선분의 수는 $N_0 - 1$ 이므로, 단계 2에서

표 2. 제안방법

단계 0	원격 검침 시스템의 필수 요소인 검침기, 집중기, 중계기와 이들 사이의 연결을 분석하여 입력 단말 노드와 입력 선분으로 변환한다.
단계 1	입력 단말 노드와 입력 선분들에 대해 최소 신장 트리 T_1 을 생성한다.
단계 2	최소 신장 트리 T_1 내의 모든 연결된 두 경로들에 대해, 이를 구성하는 연속적인 세 노드들을 이용하여 각각의 스타이너 포인트를 구하고, 이를 연결하여 스타이너 그래프 G를 구한다.
단계 3	그래프 G에 대해 최소 신장 트리 T_2 를 구한다.
단계 4	최소 신장 트리 T_2 에 대해, 불필요한 스타이너 포인트들을 검색하여 이 포인트들과 이와 관련된 선분을 삭제한 트리 T_3 을 생성한다.
단계 5	T_3 에 대해, 정해진 종료조건을 검사하여 만족하면 단계 6으로 이동하고, 그렇지 못할 경우에는 T_3 을 T_1 로 변환하여 단계 2로 이동한다.
단계 6	T_3 에 존재하는 노드, 스타이너 포인트, 선분들을 적절한 변환을 통해 원격 검침 시스템의 검침기, 집중기, 중계기와 이들 사이의 연결로 대체시킨 후, 종료한다.

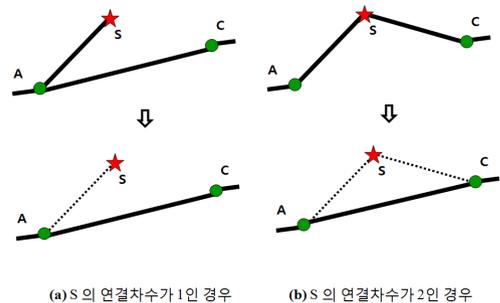


그림 2. 불필요한 스타이너 포인트의 제거

연결된 두 경로의 전체 수는 $O(N_0)$ 이고, 따라서 새로 생성되는 스타이너 포인트의 수 $N_s \leq O(N_0)$ 이다. 단계 3에서 최소 신장 트리를 생성하기 위해 고려해야 할 노드의 수 N_1 은 생성된 스타이너 포인트의 수를 추가하여, $O(N_1) = O(N_0 + N_s) = 2 \times O(N_0)$ 이고, 이들을 대상으로 최소 신장 트리를 생성하기 위한 시간은 $O(N_1 \log N_1) = O(2 \times N_0 \log(2N_0)) = 2 \times O(N_0 \log N_0)$ 이다. 단계 4에서 불필요한 스타이너 포인트를 처리하기 위해 고려해야 할 스타이너 포인트의 수는 $N_s \leq O(N_0)$ 이므로 $O(N_0)$ 이다. 종료조건을 만족하지 못했을 경우 두 번째 반복의 단계 1에서 실행시간은 $O(N_1 \log N_1)$ 이고, 단계 2에서 생성되는 스타이너 포인트 수 $N_s \leq O(N_1)$ 이다. 단계 3에서 최소 신장 트리를 생성하기 위해 고려해야 할 노드의 수는 $N_2 = O(N_1 + N_s) = 2 \times O(N_1) = 2^2 \times O(N_0)$ 이고 실행시간은 $O(N_2 \log N_2)$ 이다. 단계 4에서 삭제를 고려해야 할 스타이너 포인트의 수는 $N_s \leq O(N_1)$ 이므로 $O(N_1)$ 이다. 본 논문에서 제안하는 방법의 단계들 중에서 가장 많은 시간이 필요한 것이 단계 3이므로 k 번째 반복(Cycle)에서의 전체 실행시간은 $2^k \times O(N_0 \log N_0)$ 이고, 처음부터 k 번째 반복까지 완료하기 위한 시간은 $(2^{k+1} - 2) \times O(N_0 \log N_0) = O(N_0 \log N_0)$ 이다. 따라서 정해진 반복회수 k 를 외부 인자로 입력하여 상수화했을 경우, 제안된 방법은 $O(N_0 \log N_0)$ 시간 내에 원격 검침 시스템을 위한 네트워크를 형성할 수 있다.

그림 3과 4는 입력으로 주어진 단말 노드의 수가 10이고 한 노드 당 최대 연결 개수가 6인 경우를 보이고 있다. 그림 4의 선분으로 표시된 연결은 원격 검침 시스템의 구성 요소들 간의 가능한 연결을 모델링 한 것이다. 그림 5는 주어진 입력 단말 노드와 연결에 대해, Prim의 알고리즘으로 생성된 최소 신장 트리의 모습이다. 그림 6은 본 논문에서 제안하는 방법으로 생성된 근사 최소 스타이너 트리, 즉 원격 검침 시스템을 구성하는 검침기, 집중기, 증폭기의 구성 네트워크를 보인다. 이 네트워크에서 입

력 단말 노드는 검침기, 집중기 또는 증폭기의 기능을, 스타이너 포인트는 집중기 또는 증폭기의 기능을 한다. 그림 7은 입력 단말 노드의 수가 1000이

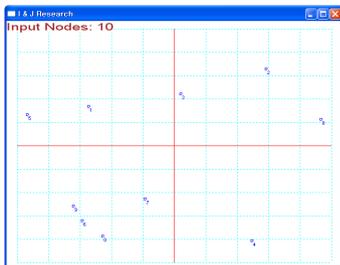


그림 3. 10개의 입력 단말 노드

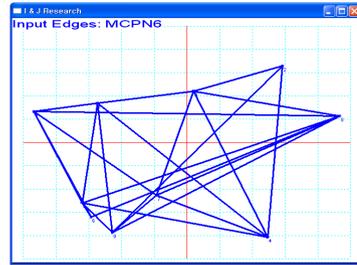


그림 4. 입력 선분(각 노드당 최대 6개 노드 연결)

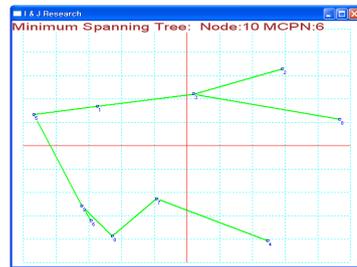


그림 5. 입력 단말 노드와 선분에 대한 최소 신장 트리

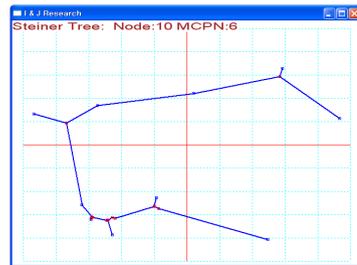


그림 6. 제안된 방법으로 생성된 근사 최소 스타이너 트리

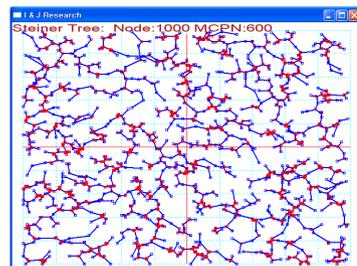


그림 7. 제안된 방법으로 생성된 스타이너 트리를 이용한 원격 검침 시스템의 구성(입력 단말 노드:1000, 최대연결:60%)

고 한 노드 당 연결 가능한 노드의 수가 최대 600 개인 경우, 제안된 방법으로 생성된 원격 검침 시스템의 네트워크를 보이고 있다.

V. 실험 및 결과

본 연구에서 도입한 3개의 실험 인자는 입력 단말 노드 수, 각 노드 당 연결 가능한 최대 연결 수 (MCPN), 그리고 최종 스타이너 트리를 구하기 위한 처리 회수이다. 관찰하고자 하는 결과는 제안된 방법으로 생성된 근사 최소 스타이너 트리의 길이와 최소 신장 트리의 길이를 비교한 네트워크 길이의 절감율과 이 길이 절감율에 도달하기까지의 반복실행 회수이다. 길이 절감율은 Prim의 최소 신장 트리 알고리즘⁶⁾을 실행시켜 생성된 최소 신장 트리의 길이와 본 논문에서 제안한 방법으로 생성된 최종 스타이너 트리와 비교하여 얻는다. NP-complete 문제인 최소 스타이너 트리를 활용하는 본 논문의 제안 방법은 주어진 입력에 대해 현실적으로 최적의 해를 얻을 수 없으므로, 다항적 시간 내에서 최적의 해를 제공할 수 있는 최소 신장 트리와 비교는 의미가 있다. 실험을 위해 무작위로 생성된 노드의 수는 200, 400, 600, 800, 1000개이다. 생성된 입력 단말 노드들은 서로 중복되지 않는, -5.0과 5.0 사이의 x, y 좌표 값을 무작위로 선택하여 결정한다. 각 노드 당 연결 가능한 최대 연결 차수 C% 환경에서는, 전체 입력 노드의 수가 N이라 할 때, 각 노드 당 최대 $N \times C / 100$ 개의 서로 다른 입력 노드들을 연결하는 입력 선분을 생성한다. 여기서 C는 20, 40, 60, 80, 100으로 입력 인자로 선정하였다. 입력 선분은 각 노드별로 허용된 최대 연결 차수만큼의 다른 입력 노드들을 선택하여 결정한다. 이 경우 연결 선분이 교차할 수 있는데, 이것은 비록 최소 신장 트리의 기본 개념에는 부합되지는 않으나, 평면상으로는 교차하지만 공간상으로는 교차하지 않는 경우 등의 특수한 상황으로 간주하여 이를 실제로 교차하지 않는 것으로 처리하였다. 최종 스타이너 트리를 구하기 위한 반복 처리 회수, 즉 중간 스타이너 트리의 생성 회수는 최대 20회까지로 설정하였다. 실험 환경은 Intel 2.66 GHz (T5600) 프로세서와 1기가 램의 개인용 컴퓨터이고, 본 논문에서 제안하는 메커니즘은 C++로 구현하였다.

그림 8에는 각 입력 노드의 수와 한 노드 당 최대 연결 차수를 인자로 하여, 생성된 근사 최소 스타이너 트리의 길이와 Prim의 알고리즘의 최소 신

장 트리와의 길이를 비교하여 얻은, 길이의 절감율을 보이고 있다. 이 그림에서 한 노드에 연결 가능한 최대 연결의 수가 적을수록 높은 절감율을 보이고 있다. 이는 한 노드에 연결 가능한 연결의 개수가 많을수록 근사 최소 스타이너 트리와 최소 신장 트리의 형태가 유사해 지기 때문으로 이해될 수 있다. 반면에 입력 노드의 수는 네트워크 길이의 절감율과 큰 관련이 없어 보인다. 노드의 수가 1000개 일 때 노드 당 최대 연결수가 20%인 경우 길이의 절감율이 19.1%이고, 100%인 경우는 길이의 절감율이 10.6%이다. 노드 수가 200인 경우 노드 당 최대 연결수가 20%인 경우 길이의 절감율이 22.3%, 100%인 경우는 길이의 절감율이 10.1%이다.

그림 9에는 입력 노드의 수가 1000일 때, 한 노드 당 최대 연결 차수와 처리회수에 따른 최종 스타이너 트리의 길이의 절감율이 나타나 있다. 마찬가지로 최대 연결 차수가 작을수록 트리 네트워크 길이의 절감율이 높아짐을 확인할 수 있다. 처리 회수가 1인 경우, 최대 연결 차수가 20%인 경우, 최종 스타이너 트리의 길이의 절감율은 12.1%이고 100%인 경우의 절감율은 6.9%이다. 처리 회수가 증가할수록 절감율은 높아지지만 처리회수가 어느 수치를 초과하면 최대 연결 차수와 관련 없이 길이의 절감율도 수렴해 짐을 확인할 수 있다. 처리 회

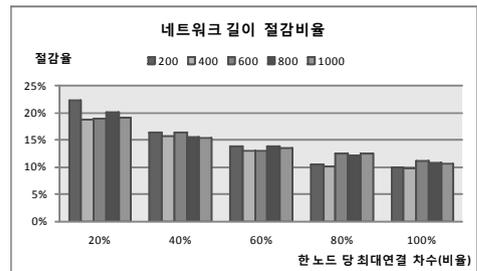


그림 8. 연결차수에 따라 생성된 최종 스타이너 트리 네트워크의 최소 신장 트리에 대한 길이 절감 비율

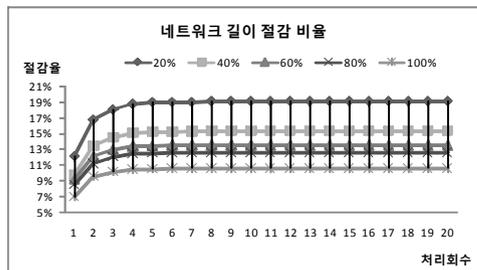


그림 9. 처리 회수에 따라 생성된 최종 스타이너 트리 네트워크의 최소 신장 트리에 대한 길이 절감 비율

수가 13 이상인 경우, 최대 연결 차수가 20%인 경우, 최종 스타이너 트리의 길이의 절감율은 19.1%이고 100%인 경우의 절감율은 10.1%로 수렴된다.

그림 10에는 각 전체 입력 단말 노드 수와 한 노드 당 최대 연결 차수에 대해, 생성되는 네트워크의 길이가 특정 값에 수렴하기 시작하는, 반복 처리 회수가 표현되어 있다. 이 반복 처리 회수는 입력 단말 노드의 수나 최대 연결 회수에 의미 있는 특징을 보이지 않는다. 처리 회수의 범위는 7~16이고, 평균적으로 11.12회, 표준편차는 2.64회이다. 그림 11에는 최종 수렴하는 네트워크의 길이보다 0.1% 길이가 추가된 근사 네트워크를 생성하기 위한 처리 회수들을 보여준다. 이 회수는 4~7이고, 평균 5.32회, 표준편차가 0.69회로, 상대적으로 작고, 안정적인 수치를 나타낸다. 이 결과를 통해 근사 최소 스타이너 트리의 네트워크를 생성함에 있어, 어느 처리 회수 이후부터는 생성 네트워크의 길이의 변화가 거의 없으며, 따라서 작은 반복 처리로 원격 검침 시스템의 효율적인 네트워크의 구성이 가능함을 기대할 수 있다.

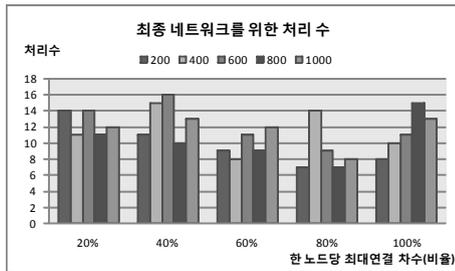


그림 10. 연결차수에 따라 생성된 최종 스타이너 트리 네트워크를 얻기 위한 반복 처리 회수

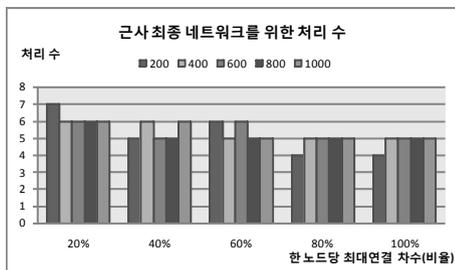


그림 11. 연결 차수에 따라 생성된 0.1% 근사 스타이너 트리 네트워크를 얻기 위한 반복 처리 회수

VI. 결 론

원격 검침 시스템은 다양한 각 개별 고객 사이트

에 설치된 전기, 수도, 가스, 온수, 난방 등 각종 유틸리티 검침기의 사용량을 원격지에서 자동으로 검침하는 시스템이다. 이러한 시스템을 도입함으로써 수동검침으로 인한 여러 문제점들이 사라지고, 비용의 절감이 가능하다. 또한 사용 현황이 자동으로 파악되어 정확한 수요 예측이 가능하여 효율적인 에너지의 관리 및 정책이 수립이 가능해지므로, 친환경적이라 할 수 있다. 효과적인 원격 검침 시스템의 구축과 사용을 위해서, 수용가의 검침기, 집중기, 중계기 등의 효율적인 배치 및 연결은 반드시 필요하다.

최소 신장 트리는 노드들과 이들 사이의 선분이 입력으로 주어졌을 때, 모든 입력 단말 노드들을 일부 입력 선분들을 이용하여, 최소 비용으로 연결하는 트리이다. 최소 스타이너 트리는 스타이너 포인 트리는 새로운 점들을 추가하여 생성되는 최소 신장 트리보다 더 적은 길이의 트리이다. 그러나 이 최소 스타이너 트리는 다항적 시간 내에 생성할 수 없으므로, 현실 문제에 적용하기 위해서는 적절한 휴리스틱을 이용한 근사 최소 스타이너 트리를 이용해야 한다.

본 논문에서는 근사 최소 스타이너 트리와 최소 신장 트리를 적절히 사용하여, 원격 검침 시스템을 구성하는 주요 요소인 검침기, 집중기, 중계기의 효율적인 구성 방법을 제안한다. 제안된 방법에서 입력 단말 노드와 생성되는 스타이너 포인트는 이러한 주요 요소들에 대응된다. 본 논문에서 제안된 메커니즘은 원격 검침시스템의 요소들과 이들의 연결을 입력 노드들과 입력 선분으로 적절히 변환시킴으로 유선 또는 무선 방식 모두에 적용 가능하고, 또한 이를 이용하여, 원격 검침 시스템을 위한 효율적인 네트워크를 구축할 수 있다. 본 연구를 위한 실험결과, 1000개의 입력 노드와 한 노드 당 최대 연결이 200개인 무작위 입력 선분에 대해, 제안된 방법에 의해 생성된 네트워크가 최소 신장 트리로 구성된 네트워크에 비교하여 약 19.1%의 길이의 절감율을 보였다. 이 때 비교 대상인 최소 신장 트리는 다항적 시간(Polynomial Time)내에서 주어진 입력 단말 노드와 선분으로만, 생성되는 최소 길이의 최적화된 트리이다. 제안된 방법은 한 노드 당 최대 연결이 적을수록 네트워크 길이의 절감율이 높아졌는데, 잘 분석된 정보와 적절한 제한을 통해, 원격 검침 시스템의 구성 요소들의 필수적 연결만을 채택하여 적용할 때, 효과적인 결과를 얻을 수 있는 가능성을 제시한다. 또한 네트워크 길이의 최종 수렴

값에 도달하기 위한 처리 과정은 평균 11.2회, 이 수렴 값에 0.1% 추가된 근사 수렴 값을 갖는 네트워크를 위한 처리과정은 평균 5.3회이다. 이는 본 논문에서 제안하는 방식이 원격 검침 시스템을 비교적 짧은 처리과정을 통해 얻을 수 있으므로 구축 비용의 감소 또는 전송되는 검침 데이터의 신뢰도를 높일 수 있음을 보인다.

향후 연구는, 원격 검침 시스템의 네트워크 길이의 단축을 위해, 근사 최소 스타이너 트리를 생성하는 휴리스틱의 개선에 관한 것이다. 최소 스타이너 트리 문제는 NP-complete 문제이고, 현재까지 최적의 해를 얻을 수 있는 최적의 알고리즘이 발표되어 있지 않으므로, 더 많은 연구와 분석을 통해 개선된 방법을 고안해야 한다. 또 매우 많은 주요 요소들로 구성된 초대형 자동 원격 검침 시스템에 대해 트리 생성 시간의 단축을 위해, 다이나믹(Dynamic) 프로그래밍 기법을 이용한 다항 시간적 근사 구조 (PTAS, Polynomial Time Approximation Scheme)의 적용을 연구하려 한다. 이러한 연구를 통해 대형 수용가를 구성하는 검침기, 집중기, 그리고 중계기의 효과적이고 신속한 배치 및 연결을 통해, 네트워크 구축 및 통신비용의 절감은 물론, 다양하고 유용한 원격 검침 시스템의 실시간 응용이 가능할 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] 누리텔레콤, “원격 검침 시스템”, <http://www.nuritelecom.co.kr>, 2009.

[2] 한산에이엠에스텍크, “원격 검침 시스템”, <http://www.amstech.co.kr/kor/pro9.htm>, 2009.

[3] 고종민, 진성일, 유인협, 정남준, 김선익, “실시간 양방향 New Automatic Meter Reading Infrastructure 구축방안 연구”, 한국컴퓨터종합학술대회논문집 Vol. 34, No. 1, pp. 137-140, 2007.

[4] 정점수, 이흥호, “AMR과 DAS의 인터페이스 구현”, Journal of KIIIEE, Vol, 22, No. 10, pp. 126-133, 2008.

[5] 최문석, 주성호, 임용훈, “PLC 기반의 통합원격 검침 시스템의 설계”, 대한전기학회 하계 학술대회논문집 pp. 596-597, 2007.

[6] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest and C. Stein, Introduction to Algorithm, 2ndEd., MIT Press, 2001

[7] J.M. Ho, D.T. Lee, C.H. Chang, and C.K.

Wong, “Minimum Diameter Spanning Trees and Related Problems”, SIAM Journal on Computing Vol. 20, No. 5, pp. 987-997, 1991.

[8] J. Gudmundsson, H. Haverkort, S.M. Park, C.S. Shin and A. Wolff, “Approximating the Geometric Minimum-Diameter Spanning Tree”, APPROX 2002, Springer LNCS 2462, pp. 146-160, 2002.

[9] C. Monmna and S. Suri, “Transitions in Geometric Spanning Trees,” Transitions in Geometric Spanning Trees Vol. 8, No. 1, pp. 265-293, Dec 1992.

[10] K.M. Chandy and T. Lo, “The Capacitated minimum spanning tree”, Networks Vol. 3, pp. 173-182, 1973.

[11] M. Sanchez, P. Manzoni and Z.J. Hass, “Determination of Critical Transmission Ranges in Ad Hoc Network,” Proceedings of MMT, Oct 1999.

[12] J. Li, D. Cordes and J. Zhang, “Power-aware Routing Protocols in Ad Hoc Wireless Sensor Networks,” Wireless Communications, IEEE Vol. 12, No. 6, pp. 69-81, Dec 2005.

[13] A. Agrawal, P. Klein and R. Ravi, “When Tree Collide: An Approximation Algorithm for the Generalized Steiner Problem on Networks”, SIAM Journal on Computing, Vol. 24, pp. 440-456, 1995.

[14] A. Hayrapetyan, C. Swamy and E. Tardos, “Network Design for Information Networks”, Proceedings of the Sixteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, pp. 933-942, 2005.

[15] F.K. Hwang, D.S. Richards and P. Winter, “The Steiner Tree Problem,” Annals of Discrete Mathematics, Vol. 53, North-Holland, 1992.

[16] W. Shi and C. Su, “The Rectilinear Steiner Arborescence Problem is NP-Complete,” Proceedings of the Eleventh Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, pp. 780-787, 2000.

[17] J. Kim, M. Cardei, I. Cardei and X. Jia, “A Polynomial Time Approximation Scheme for the Grade of Services Steiner Minimum Tree Problem”. Journal of Global Optimization, Vol.

24, pp. 437-448, 2002.

- [18] B. Bell, "Steiner Minimal Tree Problem,"
<http://www.css.taylor.edu/~bbell/steiner/>,
January 1999.

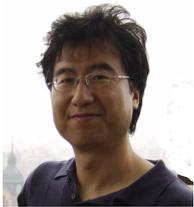
김 재 각 (Chae-kak Kim) 정회원



1981년 2월 숭실대학교 전자계산학과 졸업
1985년 2월 연세대학교 산업대학원 전자계산 전공 석사
2002년 2월 숭실대학교 컴퓨터공학과 박사
1996년~현재 김포대학 컴퓨터계열 부교수

<관심분야> 암호이론, 시스템보안, 알고리즘

김 인 범 (Inbum Kim) 정회원



1989년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업
1991년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
2007년 12월 위스콘신-밀워키대학교 컴퓨터과학과 박사
1996년~현재 김포대학 컴퓨터계열 부교수

<관심분야> 네트워크 알고리즘, 데이터베이스

김 수 인 (Soo-In Kim)

정회원



1984년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업
1991년 2월 광운대학교 전자계산기공학과 석사
2004년 2월 광운대학교 컴퓨터공학과 박사
1996년~현재 김포대학 컴퓨터계열 부교수

<관심분야> 영상인식, 스테레오 비전, 알고리즘