

물리적 다중 보안 등급 네트워크 설계를 위한 GOSST 휴리스틱 메커니즘

정회원 김인범*, 김재각*

A GOSST Heuristic Mechanism for the Design of a Physical Multiple Security Grade Network

Inbum Kim*, Chae-kak Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 최소 구축비용의 물리적 다중 보안 등급 네트워크 설계를 위한 GOSST 휴리스틱 메커니즘을 제안한다. 다중 보안 등급 네트워크상에서 각 노드는 원하는 보안 등급으로 다른 노드와 통신할 수 있다. 이를 위해서는 불법적인 물리적 접근을 통제할 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 네트워크를 최소비용으로 구축하기 위해 GOSST 문제를 적용한다. 이 문제는 NP-Hard 영역이므로 현실적인 해를 얻기 위해서는 적절한 복잡도의 휴리스틱이 필요하다. 본 연구에서는 최소 구축비용의 물리적 다중 보안 등급 네트워크의 설계를 위해, 우리의 이전 거리 직접 GOSST 휴리스틱을 변형한 GOSST 휴리스틱 메커니즘을 제안한다. 이것은 실험 비교 대상인 G-MST에 대하여 평균 29.5%의 구축비용 절감을 보였다.

Key Words : Physical Multiple Security Grade Network, GOSST, Cable Service Security Grade, Minimum Steiner Tree problem

ABSTRACT

In this paper, we propose a GOSST(Grade Of Services Steiner minimum Tree) heuristic mechanism for the design of a physical multiple security grade network with minimum construction cost. On the network, each node can communicate with other nodes by its desiring security grade. Added to the existing network security methods, the preventing method from illegal physical access is necessary for more safe communication. To construct such network with minimum cost, the GOSST problem is applied. As the GOSST problem is a NP-Hard problem, a heuristic with reasonable complexity is necessary for a practical solution. In this research, to design the physical multiple security grade network with the minimum construction cost, the reformed our previous Distance Direct GOSST heuristic mechanism is proposed. The mechanism brings average 29.5% reduction in network construction cost in comparison with the experimental control G-MST.

I. 서 론

정보통신 기술의 발달과 사회 전 분야의 급속한 정보화로 인해 여러 가지 긍정적인 측면과 함께 불

법적인 정보의 접근 및 침해등과 같은 문제들이 점차 크게 부각되고 있다. 신뢰성 있는 정보 사회를 위해서는 불법적 접근으로부터 중요 정보를 보호하고, 정보의 무결성을 유지해야 하며, 정보의 적법한

* 김포대학 컴퓨터계열 (ibkim@kimpo.ac.kr, cckim@kimpo.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-10-439, 접수일자 : 2007년 10월 1일, 최종논문접수일자 : 2007년 12월 10일

사용이 보장받을 수 있어야 한다. 효과적인 정보의 보호를 위해서는 여러 정보 보호 대책이 결합된 다중 계층 보안 대책이 수행되어야 한다. 정보 보호 대책과 보안 기술로는 네트워크 보안장비, 안티바이러스, 소프트웨어 취약성 분석, 서버 및 클라이언트 보안, 암호화도구, 전자서명, 백업, 통합 보안관리 도구 등이 있다. 네트워크 보안장비로는 방화벽, IDS, IPS 등이 대표적이다.

이러한 보안장비가 구비됨에도 불구하고 네트워크에 물리적으로 쉽게 접근할 수 있다면 불법 침입자가 케이블을 통해 전송중인 비밀 데이터를 위조, 변조 또는 공개시킬 수 있을 가능성은 높아질 것이다. 침입자는 케이블에서 데이터의 흐름을 감시하고 있다가 패킷이 통과할 때 이를 유출할 수 있다. 이러한 경우를 예방하기 위한 방법의 한 예로 패킷이 통과하는 케이블을 노출되지 않는 지역, 즉 벽이나 천정 등에 배치한다. 또한 허브, 라우터등과 같은 중요 장비들은 안전 지역에 위치시키며 이에 대한 접근 경계를 강화하고 물리적 장벽 및 출입통제 시설 등을 갖춘다. 그러나 완벽한 네트워크의 물리적 보안을 위해 모든 네트워크 노드의 연결 및 장비에 대해 최고 수준의 보안을 제공하기 위한 비용을 투자 할 수 없다. 바람직한 것은 각 노드의 보안 요구 수준을 충족시키면서 네트워크 구축비용을 최소화하도록 설계하는 것이다. 이러한 보안 네트워크를 위해서는, 네트워크의 각 노드별 요청 보안 등급, 케이블 제공 보안 등급, 네트워크 케이블 길이 등이 미리 조사되어야 한다. 또한 각 보안 등급을 지원하기 위한 비용 즉, 네트워크 케이블을 벽, 천정, 마루 등에 숨기거나 혹은 기타 특수은폐 방법을 사용하기 위한 비용, 데이터 전송 케이블 보호 용 특수 재질 비용, 네트워크나 케이블에 대한 물리적 접근을 감시하고 통제하기 위한 비용 등도 고려되어야 한다.

GOSST(Grade Of Services Steiner Minimum Tree)에 관한 대부분의 연구자들은 최적화 분야에 집중해 왔다^{5,11,12,13}. 그들은 스타이너 포인트와 관련된 많은 난제들을 해결했으며⁵ 이와 관련된 많은 문제들을 도출하였다. 그중의 하나가 GOSST인데, 이 문제는 최적화 관점에서 이론적 한계에 도달한 것으로 간주되고 있다^{1,12}. 많은 GOSST 최적화 알고리즘들은 이 문제가 PTAS(Polynomial Time Approximation Scheme)에 포함됨을 증명하기 위해 개발되었다^{1,12}. J.Kim 등은 GOSST 문제에 대한 근사비율을 $(1+\epsilon)$ 로 줄인 PTAS를 발표하였다¹². 그러나 이러한 근사 알고리즘의 실행시간을 현실적인 수준으로 낮춘다면, 최적 해에 대

한 근사도는 매우 악화될 것이다. G. Xue 등은 GOSST 문제의 서비스 등급의 수를 2와 3으로 한정하여 5개의 최적화 휴리스틱 알고리즘을 발표하였고¹³, J. Colbourn 등은 GOSST 문제를 serial-parallel 네트워크에 적용하여 서비스 등급 r 과 터미널 노드 n 에 대해서 $O(r^3n)$ 의 실행시간을 가지는 알고리즘을 발표하였다¹⁴. 많은 연구자들은 GOSST 문제를 스타이너 포인트와 연관된 이론적 문제로 제한하고 접근했기 때문에 이것의 실제적인 활용에 대한 연구결과는 그리 많지 않다. 그러나 GOSST 문제는 네트워크나 회로 설계 분야 등에 잘 적용될 수 있으므로 적절한 복잡도의 휴리스틱의 개발은 필요하다. 따라서 이전의 연구에서 우리는 GOSST 문제를 위한 거리 직접 휴리스틱 등 몇 개의 휴리스틱들을 제안하였다^{9,10}.

본 논문에서는 물리적 다중 보안 등급 네트워크의 설계를 위해 변형된 거리 직접 GOSST 휴리스틱을 이용하는 메커니즘을 제시한다. 이 메커니즘을 통해 생성되는 다중 보안 등급 네트워크는 현실세계의 물리적 네트워크 정보 보안 분야에 잘 활용될 수 있는 가능성을 보인다.

II. 연구 배경

2.1 스타이너 포인트와 스타이너 최소 트리

최소 길이의 네트워크를 찾는 것은 전통적으로 유명한 네트워크 최적화 문제이고, 스타이너 최소 트리 문제는 그러한 문제의 한 변형이라 할 수 있다. 한 포인트 S로부터 다른 세 포인트까지의 거리의 합이 최소가 되게 하는 S를 찾는 문제가 있는데, 이 문제는 평면상의 임의의 개수의 많은 포인트를 대상으로 확장되었다. 이 때, 별 모양을 형성하며 연결을 생성하기 때문에 이를 Steiner Star라고 부른다. 이 문제는 주어진 터미널 포인트를 모두 연결하는 최소 길이의 네트워크, 즉 스타이너 최소 트리를 구성하기 위해 스타이너 포인트라 불리는 임의의 개수의 새로운 포인트를 추가하는 것으로 확장되었다. 이 문제는 NP-Hard 문제이며 현실적인 문제에 활용하기 위해서는 적절한 복잡도의 휴리스틱이 필요하다. 세 점 A, B, C에 대해 후보 스타이너 포인트를 찾는 방법의 한 예는 세 점으로 생성되는 삼각형의 가장 긴 변을 AB라 가정할 때, 선분 AB를 이용해서 정삼각형 AQB을 만든다. 정삼각형 AQB를 둘러싸는 원을 생성한 후, 점 Q와 C를 연결하는 직선을 긋는다. 이때 생성된 원과 직선이 만나는 위치가 후보 스타이너 포인트 P의 위치가 된다. P와

세 점 A, B, C간의 거리의 합이 선분 AB와 BC의 길이 합보다 작으면 최종 스타이너 포인트가 된다.

2.2 GOSST 문제

GOSST는 ESMT(Euclidean Steiner Minimum Tree) 문제의 일반화된 형태이다. ESMT 문제는 유클리드 평면상의 주어진 모든 터미널 노드들을 모두 연결하는 최소비용의 네트워크를 찾는 것이다^[6,7]. 임의의 터미널 포인트 p_i 와 p_j 사이에, 이들 노드의 서비스 요청 등급의 최소값 이상의 서비스 제공 등급을 가지는 경로가 한 개 이상 존재하는 조건을 G-Condition이라 정의한다. 임의의 추가된 스타이너 포인트를 이용해서, G-Condition을 만족하는 최소 구축비용의 네트워크를 찾는 것이 GOSST 문제이다. 서비스 등급 u 를 제공하는 에지의 비용은 유클리드 길이와 등급 u 를 서비스하기 위한 단위 길이 당 비용의 곱으로 계산된다.

그림 1에는 서로 다른 노드 요청 보안 등급(Node Request Security Grade, NRSNG)을 가지는 세 개의 터미널 노드가 있다. 노드 A의 NRSNG이 2이고 노드 C의 NRSNG가 3이므로 이들이 서로 통신할 때의 해당 데이터는 최소한 보안 등급이 2로 유지되어야 할 것이다. 그러나 그림 2의 경우, 노드 B의 NRSNG가 1로 인해 각 에지의 케이블 서비스 보안 등급(Cable Service Security Grade, CSSSG)이 1이 되므로, B를 경유한 데이터의 교환은 보안 등급 2를 유지할 수 없다. 그림 3의 경우는 높은 CSSSG로 인해 노드 B를 경유한 노드 A와 B의 통신 데이터가 보안 등급을 2로 유지할 수 있지만, 노드 B는 원치 않는 높은 보안 등급으로 데이터 교환을 해야 하는 비용의 낭비가 발생한다. 이를 피하기 위해 그림 4와 같이 우리는 새로운 스타이너 포인트 S를 추가하고 이를 노드 A, B, C와 연결한다. 이 때 에지 AB, BC의 길이의 합보다 에지 AS, BS, CS의 길이의 합이 작다면 네트워크 구축비용의 절감이 가능할 것이다. 따라서 그것이 가능하도록 스타이너 포인트 S의 적절한 위치를 찾는 것이 중요하다. GOSST 문제의 해는 주어진 네트워크의 터미널 노드의 쌍의 모든 경로에 대해, G-Condition을 만족하면서 동시에 최소 구축비용이 필요한 네트워크를 찾는 것이라고 할 수 있다. 다중 보안 등급 GOSST는 네트워크에 있는 모든 터미널 노드에 대해, 임의의 두 노드의 요청 보안 등급의 최소값 이상의 서비스 보안등급을 제공하는 경로가 한 개 이상 존재하는 네트워크들 중에서 구축비용이 최소인 것이다.

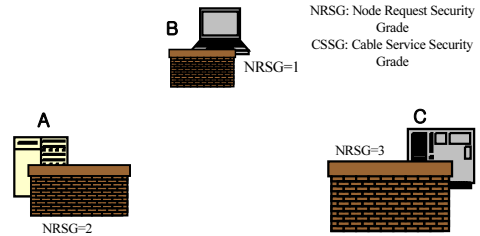


그림 1. 노드 요청 보안 등급을 갖는 3개 터미널 노드

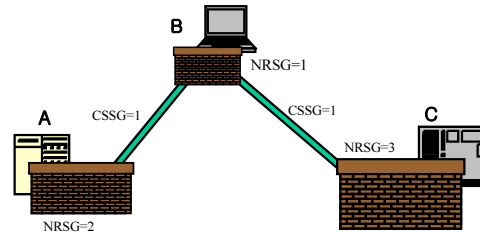


그림 2. 노드 B를 경유한 경로 AC의 요청 보안 등급과 서비스 보안 등급의 불만족

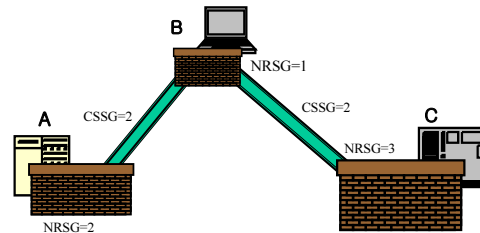


그림 3. 노드 B를 경유한 경로 AC의 요청 보안 등급과 서비스 보안 등급의 만족 (비용낭비 발생)

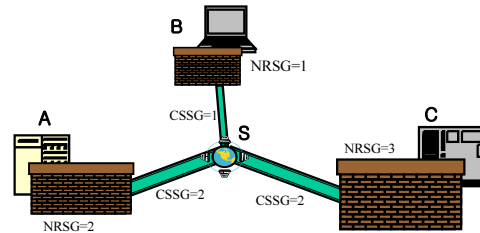


그림 4. 스타이너 포인트의 도입 및 경로 AC의 요청 보안 등급과 서비스보안 등급의 만족(비용 절감)

III. 다중 보안 등급 네트워크 시스템을 위한 메커니즘

3.1 GOSST 문제에 대한 휴리스틱

GOSST 문제는 NP-HARD 문제이므로 이를 이용하기 위해서는 적절한 복잡도의 휴리스틱이 필요하다. 우리의 이전 연구에서 직접 스타이너 포인트 배치 전략과 거리 우선 최소 신장 트리 생성 전략

을 조합하여 효과적인 거리 직접 GOSST 휴리스틱을 구현하였다^{19,10)}. 직접 스타이너 포인트 배치 전략은 G-Condition 검사대상인 경로 SE의 부분 경로인 AZ사이에 실제 G-Condition의 위반이 발생하면, 노드 A와 Z사이에 위치하는 연속적인 3개의 노드들로 구성된 모든 그룹들에 대한 후보 스타이너 포인트들을 찾는다. 이 때, 스타이너 비용이 스패닝 비용보다 적다면 해당 후보 스타이너 포인트는 실제 스타이너 포인트로 변환되고 트리 내에서 적절한 연결 및 단절이 일어나게 된다. 반면에 스타이너 비용이 스패닝 비용보다 크다면 후보 스타이너 포인트는 버려지고, 해당 그룹을 이루는 세 연속 노드들 중에서 중간 노드의 위치에 새로운 스타이너 포인트가 생성된다. 스패닝 비용이란 연속적인 세 노드의 보안 연결을 위한 비용이고, 스타이너 비용은 후보 스타이너 포인트와 세 노드들 간의 보안 연결을 위한 비용의 합으로 정의한다. 스타이너 포인트의 요구 보안 등급은 가상적으로 S와 E 사이의 경로의 목표 보안 등급으로 설정된다. 이 작업들은 서브 경로 A와 Z 사이의 연속적인 세 노드로 구성된 모든 그룹들에 대해서 G-Condition 위반이 발생하지 않을 때까지 반복된다. 이러한 작업은 네트워크에 있는 모든 터미널 노드로 구성된 다른 경로를 대상으로 수행된다.

최소 신장 트리의 생성에 관한 전략은 Prim의 알고리즘을 기본으로 하여³⁾, 각 노드간의 거리와 에지의 서비스 보안 등급을 가중치로 사용하는데 거리를 우선적으로 이용하고 같은 거리의 경우에는 서비스 보안 등급을 활용한다.

거리 직접 GOSST는 주어진 터미널 노드와 에지에 대해 에지 길이와 에지 서비스 보안 등급을 이용해서 첫 단계인 거리 우선 최소 신장 트리를 생성하면서 시작한다. 주어진 네트워크의 모든 터미널 노드들의 쌍으로 이루어진 경로들에 대해서 앞에서 기술한 G-Condition을 조사한다. 두 터미널 노드 S와 E 사이의 경로에 대해 G-Condition의 위반이 발생하면, 스타이너 포인트가 직접 스타이너 포인트 배치 전략에 따라 생성되어 적절히 위치하게 된다. 변경된 네트워크 구성원인 노드와 에지를 이용해서 새로운 거리 우선 최소 신장 트리가 생성되고, 이러한 작업들은 네트워크의 모든 터미널들의 경로에 대해 G-Condition을 모두 만족할 때까지 반복된다.

3.2 제안된 다중 보안 등급 네트워크 시스템

그림 5에는 다중 보안 등급 네트워크 시스템을

Algorithm:	MSGN(Multiple Secure Grade Network)Building Algorithm.
Input:	A set P of n terminal nodes with their own request grade of security
Output:	A feasible multiple-security grade network with minimum construction cost
Step 1	Make a complete connection network (or graph) N with P .
Step 2	Construct Distance Preferring Minimum Spanning Tree T with N .
Step 3	Construct secure GOSST network T_{gossst} with T or former T_{gossst} using Steiner point locating strategy and Minimum Spanning Tree building strategy of our heuristic for GOSST problem.
Step 4	If there is no any G-Condition violation on T_{gossst} of Step 3, output the final T_{gossst} else repeat Step 3.

그림 5. 다중 보안 등급 GOSST 생성 알고리즘

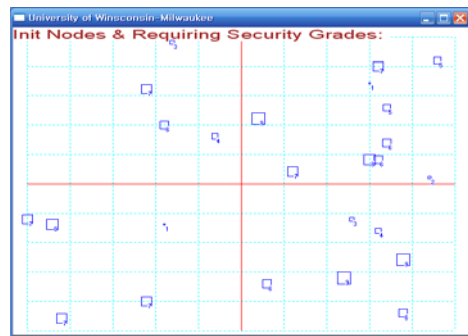


그림 6. 터미널 노드와 각 노드의 요청 보안 등급

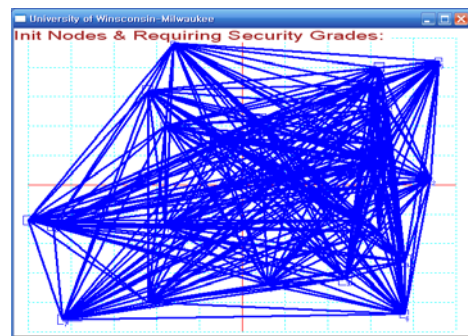


그림 7. 완전 연결 그래프 (Step1)

위한 알고리즘이 기술되어 있다. 그림 6에는 제안된 메커니즘의 입력인 요청 보안 등급과 위치 정보를 가지는 25개의 터미널 노드가 있다. 각 노드의 요청 보안 등급은 사각형의 크기로 표시된다. 그림 7

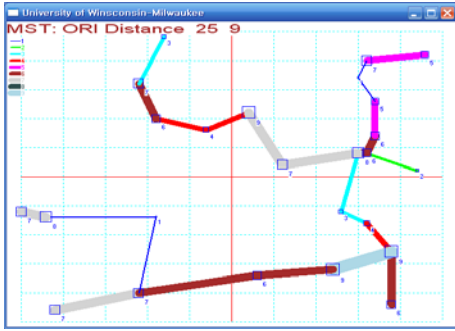


그림 8. 거리 우선 최소 신장 트리 (Step 2)

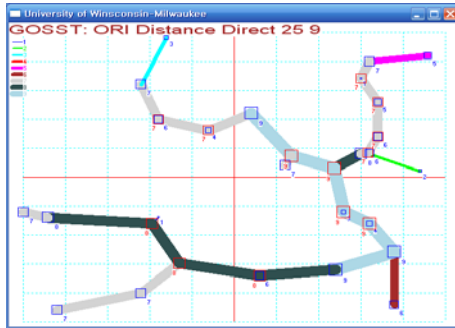


그림 9. 최종 다중 보안 등급 GOSST (Step 4)

에는 알고리즘의 Step 1의 실행 결과로 생성된 25개의 터미널 노드에 대한 완전 연결 그래프가 있다. 이 완전 연결 그래프를 입력으로 하여 Step 2를 실행하면 그림 8과 같은 거리 우선 최소 신장 트리가 생성된다. 이 신장 트리는 에지 길이를 우선순위의 가중치로 사용한 Prim의 알고리즘을 이용해서 생성된다. 최소 신장 트리의 경우에는 임의의 두 노드의 요청 보안 등급이 통신 시 반드시 만족되지 않는다. 최소 신장 트리에 있는 임의의 터미널 노드들의 쌍으로 결정되는 모든 경로에 대해, Step 3에서는 우리의 GOSST 휴리스틱^[10]을 이용해서 G-Condition을 조사한다. 조사는 요청등급이 높은 경로 순으로 시행하는데, 이는 중복검사를 피할 수 있으므로 실행 시간의 감축과 알고리즘의 종료를 보장한다. 이 검사과정에서 위반이 발생하면 적절한 스타이너 포인트를 생성하고 중간 단계의 트리들을 변형시킨다. Step 4에서 그림 9와 같은 다중 보안 등급 GOSST를 생성하게 되는데, 각 에지의 두께는 두 노드 사이의 통신 가능한 최대보안 등급을 의미한다. 이 다중 보안 등급 GOSST는 그림 8의 최소 신장 트리와는 달리 통신 시 네트워크상의 모든 노드들의 요청 보안 등급을 만족시킨다.

IV. 실험 및 결과

본 연구의 실험에 대한 입력은 터미널 노드의 수, 요청 가능한 최대 보안 등급, 각 노드의 위치와 요청 보안 등급이다. G-MST는 본 실험에서 사용한 컨트롤로, 이것은 첫 단계의 거리 우선 최소 신장 트리의 모든 경로에 대해 G-Condition이 만족되도록 각 터미널 노드의 요청 보안 등급을 최소량만 변경하여 얻은 트리이다. 이 트리는 G-Condition의 위반이 없지만 이를 생성하는 트리 구축비용이 최소라는 보장은 없다. 사용된 터미널 노드의 수는 25, 50, 75, 100 이고 각 터미널 노드의 위치는 중복이 되지 않도록 무작위로 지정하였다. 각 터미널 노드의 최대 요청 가능 보안 등급은 각각 3, 5, 7, 9 이고, 네트워크 내의 각 터미널 노드의 요청 보안 등급은 이 최대 요청 가능 보안 등급 내에서 무작위로 할당하였다. 이러한 입력으로 생성된 다중 보안 등급 GOSST들은 이 실험의 컨트롤인 G-MST와 비교하였다. 본 논문에서 제안된 메커니즘으로 수행된 16회(4×4 조합)의 실험을 통해 누적 네트워크 구축비용, G-MST에 대한 평균 비용 절감 비율, 생성된 누적 스타이너 포인트의 수, 누적 실행시간을 각각 얻었다. 본 실험은 Intel core duo 1.83 GHz, 1 Gigabyte RAM Laptop에서 수행되었고 다중 보안 등급 GOSST 메커니즘은 Microsoft Visual C++로 구현되었다.

본 논문에서 제안한 메커니즘은 G-MST 대비 평균 29.5%의 비용절감을 보였다. 비용은 네트워크의 각 에지 길이와 통신 가능한 각 에지 보안 등급의 곱들의 합이다. 그림 10과 11에서 네트워크 구축비용은 터미널 노드의 수가 증가하거나 최대 보안 등급이 높아짐에 따라 증가하였다. 그림 10에서, 각 터미널 노드 수에 대한 G-MST 대비 평균 비용 절

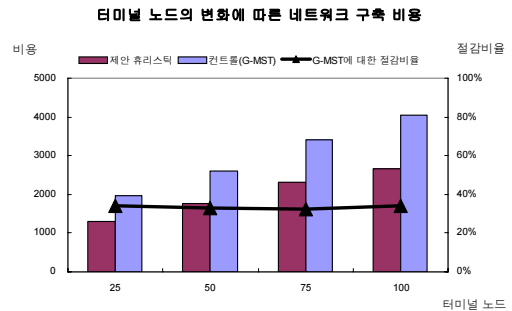


그림 10. 터미널 노드의 변화에 따른 다중 보안 등급 GOSST 구축비용

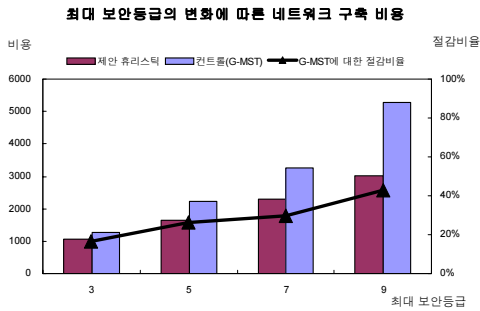


그림 11. 최대 보안등급의 변화에 따른 다중 보안 등급 GOSST 구축비용

최대 보안 등급과 터미널 노드의 변화에 따른 실행시간

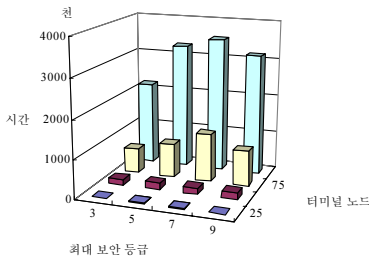


그림 12. 다중 보안 등급 GOSST 메커니즘의 실행시간

최대 보안 등급과 터미널 노드 수의 변화에 따른 스타이너 포인트 수

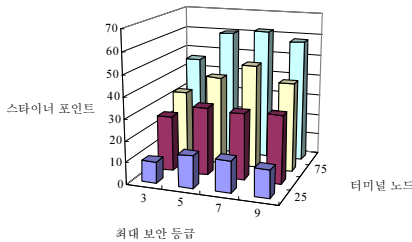


그림 13. 다중 보안 등급 GOSST의 스타이너 포인트 수

감 비율은 터미널 노드의 수가 25, 50, 75, 100에 대해서 각각 34.2%, 32.7%, 32.5%, 34.3%로 차이가 거의 없었다. 그림 11에서, G-MST 대비 평균 비용 절감 비율은 최대 보안 등급이 증가함에 따라 비례하여 높아졌는데, 그 값은 각각 16.7%, 26.1%, 29.6%, 43.0%이다. 그림 12는 터미널 노드의 수와 최대 보안등급에 따른 다중 보안 등급 네트워크를 구축하기 위해 소요된 실행시간을 나타내는데, 시간의 단위는 clock tick 수이다. 실행시간은 터미널 노드의 수가 증가에 비례하여 증가하였다. 반면에 최

대 보안 등급과 실행시간 사이에는 특별한 관계가 발견되지 않았다. 그림 13에서, 요구되는 스타이너 포인트의 수는 터미널 노드의 수와 비례관계가 있었으나 최대 보안 등급과는 유의한 관계를 보이지 않았다. 실행시간과 요구되는 스타이너 포인트 수는 터미널 노드 수와 최대 보안 등급에 대해 유사한 특징을 보였다. 이는 요구되는 스타이너 포인트의 수가 많으면 실행시간이 길어지는 것과 연관이 있을 것으로 추정된다.

V. 결론

본 논문에서는 각 노드의 물리적 다중 보안 등급의 통신을 지원하는 네트워크를 최소 비용으로 구축하는 메커니즘을 제안하였다. 네트워크상에서의 완벽한 데이터의 보호를 위해서는 기존의 다양한 보안 기술의 활용과 함께 케이블의 보호와 같은 강력한 물리적 방법도 구비되어야 할 것이다. 각 노드의 물리적 다중 보안 등급 요구를 만족하는 네트워크를 최저의 비용으로 구축하기 위해서는 각 노드의 요청 보안 등급, 각 연결의 길이, 각 보안 등급을 만족시키기 위한 단위연결 당 소모비용 등이 설계 시 고려되어야 한다.

본 논문에서 제안된 메커니즘은 GOSST 문제에 대한 우리의 거리 직접 휴리스틱^[10]을 변형한 것으로, 이를 이용해 생성된 다중 보안 등급 GOSST는 G-MST 대비 평균 29.5%의 비용절감을 보였다. 네트워크 구축비용은 터미널 노드 수와 최대 보안 등급이 늘어남에 따라 증가하였다. 네트워크 구축비용 절감 비율은 각 노드의 요청 가능한 최대 보안 등급과 유의한 관계를 보였고, 실행시간과 스타이너 포인트 수는 터미널 노드 수와 비례관계를 보였다.

향 후 과제는 본 논문에서 제안한 다중 보안 등급 GOSST 메커니즘의 성능 개선을 위한 다양한 시도가 될 것이다. 또한 보안 등급에 대한 구체적 명세 및 정의에 대한 연구가 좀 더 요구된다. GOSST 휴리스틱과 다중 보안 등급 GOSST 메커니즘의 적용 가능한 분야에 대한 탐색도 지속적으로 진행될 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Arora, "Polynomial-Time Approximation Schemes for Euclidean TSP and other Geometric Problems," *Proceeding of 37th IEEE*

Symposium on Foundations of Computer Science, pp.2-12, 1996.

[2] A. Balakrishnan, T.L. Nagnanti and P. Mirchandani, "Modeling and Heuristic Worst Case Performance Analysis of the two grade Network Design Problem," *Management Science*, Vol.40, pp.846-867, 1994

[3] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest and C. Stein, *Introduction to Algorithms*, 2nd Ed., MIT press, 2001

[4] C. Duin and A. Volgenant, "The Multi-weighted Steiner Tree problem," *Annals of Operations Research*, Vol.33, pp.451-469, 1991

[5] D.Z. Du and F.K. Hwang, "An approach for providing lower bounds; solution of Gilbert-Pollak conjecture on Steiner ratio," *Proceedings of IEEE 31st FOCS*, pp.76-85, 1990

[6] E.J. Cockayne and D.E. Hewgrill, "Improved computation of plane Steiner minimal tree," *Algorithmica*, Vol.7, pp.219-229, 1992

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

[8] G.H. Lin and G.L. Xue, "Steiner tree problem with minimum number of Steiner points and bounded edge-length," *Information Processing Letters*, pp.53-57, 1999

[9] I. Kim, C. Kim and S.H. Hosseini, "A Heuristic using GOSST with 2 Connecting Strategies for Minimum Construction Cost of Network," *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.6, No.12, pp.60-72, 2006

[10] I. Kim and C. Kim, "An Enhanced Heuristic Using Direct Steiner Point Locating and Distance Preferring MST Building Strategy for GOSST Problem," *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.7, No.2, pp.164-175, 2007

[11] J. Kim and I. Kim, "Approximation ratio 2 for the Minimum Number of Steiner Points," *Journal of KISS*, pp.387-396, 2003

[12] J. Kim, M. Cardei, I. Cardei and X. Jia, "A polynomial Time Approximation Scheme for the Grade of Service Steiner Minimum Tree Problem," *Journal of Global Optimization*,

pp.437-448, 2002

[13] G. Xue, G.H. Lin and D.Z. Du, "Grade of Service Steiner Minimum Trees in Euclidean Plane," *Algorithmica*, Vol.31, pp.479-500, 2001

[14] C.J. Colbourn and G. Zue, "Grade of Service Steiner Trees in Serial-Parallel Networks," *Advances in Steiner Trees*, pp.1-10, 1998

김 인 범 (Inbum Kim)

정회원



1989년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 졸업
 1991년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 석사
 1991년~1995년 대우통신, 한국 오라클 근무
 1996년~현재 김포대학 컴퓨터

계열 부교수

<관심분야> 컴퓨터이론, 네트워크, 데이터베이스

김 재 각 (Chae-kak Kim)

정회원



1981년 2월 숭실대학교 전자계산학과 졸업
 1985년 2월 연세대학교 산업대학원 전자계산 전공 (공학석사)
 2002년 2월 숭실대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
 1985년~1994년 LG전자, 삼보컴

퓨터 근무

1996년~현재 김포대학 컴퓨터 계열 부교수

<관심분야> 암호이론, 시스템보안, 인터넷응용