

들로네 삼각망을 활용한 효과적인 긴급 연락망 구성

김재각*, 김인범**, 김수인***

Efficient Construction of Emergency Network Using Delaunay Triangulation

Chae-kak Kim *, In-bum Kim **, Soo-In Kim ***

요약

긴급 구호가 필요한 재난지역 등에서 디바이스를 유, 무선, 모바일 네트워크로 연결하여 특정 정보를 공유하거나 필요한 동작의 제어를 위해, 들로네 삼각망을 이용하여 연결거리 내에 있는 노드들을 신속히 연결하는 효율적인 긴급 연락망 생성 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기존의 naive 방법에 비해 긴급 연락망의 전체 길이는 동일하지만 인접 노드간의 최대 연결 가능 길이가 길수록 연락망 구성시간 측면에서 매우 우수한 성능을 보였다. 입력노드의 수가 10000, 최대 연결 가능 길이가 5인 실험에서 본 논문에서 제안하는 방법은 naive 방법에 비해 긴급 연락망의 전체 연결 길이 증가 없이 실행시간이 89.1% 개선되었다. 이는 통신 능력이 지속적으로 개선되고 있는 환경에서 인접 디바이스간의 신속한 통신망 구축, 사물인터넷, 센서 네트워크 라우팅 등에 잘 적용될 수 있다.

▶ Keywords : 긴급 연락망, 들로네삼각망, 완전 연결, 최소신장트리, 최대 연결 가능 길이

Abstract

For necessary information sharing or operation control via wire-wireless/mobile network connecting of devices at disaster area in greatest need of attention, an emergency network efficient construction method quickly connecting nodes within specific range using Delaunay triangulation is proposed. The emergency network constructed by proposed method shows the same aggregate network length, but does more excellent performance in term of network construction time the more long max length connectable to adjacent node as compared with the network by naive method. In experiment of 1000 input terminal nodes, 5 max length connectable to adjacent node, our proposed method enhances 89.1% in execution time

•제1저자 : 김재각 •교신저자 : 김인범

•투고일 : 2014. 8. 19, 심사일 : 2014. 9. 15, 게재확정일 : 2014. 10. 10.

* 김포대학교 사회복지과(Dept. of Social Welfare, Kimpo College)

** 김포대학교 인터넷정보과(Dept. of Internet Information, Kimpo College)

*** 김포대학교 항공전기전자과(Dept. of Avionics, Kimpo College)

※ 본 논문은 2014학년도 김포대학교의 연구비 지원에 의해 연구되었음

go.kr

without network length increase compared to naive method. So our method can go well to many useful applications as shift construction of communication network of adjacent devices, internet of things and efficient routing in the sensor network in continuous improvement of communication capability.

▶ Keywords : Emergency Network, Delaunay Triangulation, Fully Connecting, Minimum Spanning Tree, Max Length Connectable to Adjacent Node

I. 서론

긴급 연락망이란 연결 가능한 거리에 있는 노드들을 최단 길이로 연결하는 네트워크이다. 자연 재해와 재난, 긴급 구호 현장 등이 빈번하고 있는 현재, 다양한 통신 디바이스들을 활용하여 신속하게 필요한 정보를 교환하거나 적절한 제어를 수행하게 함으로 긴급 상황에 최적의 대처를 가능케 하는 효과적인 긴급 연락망의 필요성은 매우 증대하고 있다. 다양한 스마트 디바이스의 보급 및 확산은 과거에는 상상하지 못했던 유용하고 다양한 서비스의 등장이 가능해졌고, 특히 최근에 확산되고 있는 모든 사물들이 시간과 장소에 구애 없이 네트워크를 통해 정보를 교환하거나 다양한 서비스를 제공하는 사물 인터넷(Internet of Things)과 센서네트워크 분야의 활성화에 긴급 연락망 기술의 적용이 가능하다. 또한 복지서비스 시스템에서 연결 가능 거리를 서비스 가능 거리로 대체한다면 효율적인 복지 서비스 제공이 가능한 네트워크의 설계 및 활용이 가능하다.

본 논문에서는 들로네 삼각망을 활용하여 통신 가능 거리에 위치한 노드들을 신속히 연결하여 최단 길이의 통신망을 찾아내는 방법을 제안한다. 들로네 삼각망은 평면상에 위치한 노드들은 삼각망에 속한 어떠한 삼각형들의 외접원 내부에 존재하지 않는다는 것과, 들로네 삼각망에 속한 각 삼각형들의 모든 최소각도를 최대로 하는 특징이 있다[1,2]. 이러한 특성을 활용하여 들로네 삼각망은 $O(M \log N)$ 시간 내에 구축할 수 있으므로, 이를 기반으로 한 특정 통신 영역내의 노드들을 연결한 클러스터 토폴로지는 완전 연결 기반 클러스터 토폴로지에 비해 신속하게 구현할 수 있다[1,2]. 이러한 클러스터 토폴로지에 대해 최소신장트리를 구성하면 최단 길이의 긴급연락망이 생성된다. 최소신장트리는 다항 적(Polynomial) 문제 영

역에서 주어진 노드와 연결정보를 이용해서 최단 길이의 연결망을 찾을 수 있는 방법이다[3]. 따라서 1차 클러스터 토폴로지에 대해 최소신장트리를 구성하면 최단 길이의 긴급 통신망을 구성할 수 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 본 연구와 관련된 내용, 3장에서는 제안하는 들로네 삼각망과 최소신장트리를 활용한 긴급 연락망 생성방법, 4장에서 제안 방법의 실험 및 분석을, 5장에서 결론 및 향후 연구 내용을 기술한다.

II. 관련 연구

본 논문에서 제안하는 내용은 2차원 평면상에 위치한 수 많은 입력 단말 노드들중에서 각 노드의 최대 연결 가능 길이 이내에 위치한 노드들을 들로네 삼각망을 이용하여 최단 길이로 연결하는 비상 연락망을 신속하게 구성하는 방법이다.

들로네 삼각망에서, 평면상에 위치한 노드들의 집합의 원소 노드들은 들로네 삼각망을 구성하는 어떠한 삼각형들의 외접원의 내부에 존재하지 않는다[1,2]. 또한 들로네 삼각망을 구성하는 각 삼각형들의 모든 최소각도는 최대이다. 들로네 삼각망은 2차원 평면에서 분할 정복(Divide and Conquer) 알고리즘과 증가(Incremental) 알고리즘을 이용해서 $O(N \log N)$ 시간 내에 구축할 수 있다[1,2]. Incremental 방법으로 들로네 삼각망을 구성하는 방법은 다음과 같다[1]. 기존의 생성된 들로네 삼각망에 새로운 노드 P를 추가하면서 삼각망을 수정하여 재구성한다. 알고리즘의 처음 시작은 슈퍼 삼각형 DT_1 을 생성하는 것이다. 이 슈퍼 삼각형 DT_1 은 입력 노드 집합의 모든 원소들을 포함하는 임의의 큰 삼각형이다. 하나의 슈퍼 삼각형으로부터 입력노드들을 하나씩 추가시키면서 기존의 삼각망을 확장시켜 새로운 삼각망 DT_n 을 형성시킨다. 즉 새로운 노드 P가 추가되면 이전에 형성되었던 들로

네 삼각망 DT_{n-1} 을 탐색하여 외접원이 P 를 포함하는 삼각형들을 수집한다. 삼각망에 존재하는 모든 삼각형에 대해 이 과정을 반복한 후 외접원이 P 를 포함하는 삼각형들의 꼭지점(Apex)으로 구성된 다각형(Polygon) G 를 생성한다. 다각형 G 에 존재하는 내부의 변들을 제거하고, 새로 입력된 노드 P 와 다각형 G 의 꼭지점을 연결하여 삼각형을 만들면 새로운 들로네 삼각망 DT_n 이 형성된다.

들로네 삼각망에 관한 여러 연구 중에서 Incremental 알고리즘의 포인트 삽입 시퀀스(Point Insertion Sequence)에 대한 연구가 있다[4]. 포인트 삽입 시퀀스는 들로네 삼각망을 구성 작업의 크기에 매우 큰 영향을 끼친다. 포인트 위치 선정 작업과 삼각망 구조의 수정 작업을 수행하는 시간에 포인트 삽입 시퀀스가 매우 큰 영향을 미치므로 결과적으로 삼각망 생성 알고리즘의 전체 실행 시간에 큰 영향을 미친다. 이 연구에서는 성능의 향상을 위해 변형 Kd-tree에서 넓이 우선 탐색(Breadth-First-Search) 기반의 결정론적 삽입 시퀀스(Deterministic Insertion Sequence)를 제안하였다. 저자들은 탐색 힌트로서 부모 노드를 이용한 자신들의 제안 방법이 HCO(Hilbert Curve Order)와 BRIO(Biased Randomized Insertion Order)를 사용한 것 보다 더 빠르고 안정적임을 증명하여 우수성을 주장하였다. 생물학 분야(Biology)에 3차원 들로네 삼각망을 사용한 연구가 있다[5]. 들로네 삼각망을 다-입자 시스템(multi-particle systems)에서 유사성을 표현하여 활용할 수 있는 방법으로 고려하였으며, 생물학의 특정 다세포 시스템의 상호작용에 확장하여 활용하고자 하였다. 즉 세포막과 세포 구조 내부를 고려하는 세포 이하 단계(sub-cellular level)에서 들로네 삼각망을 확장하여 적용하였다. 이 연구에서는 표면을 형성하는 입자의 부분 집합의 삼각망을 정의하는 기본 도구로 3차원 들로네 삼각망을 사용하였다. 이미지 합성 및 변환 단위를 구성하기 위해 들로네 삼각망을 사용한 연구가 있다[6]. 이 연구는 특정 모바일 플랫폼 상에서 작동되는 오락 앱 응용프로그램을 개발하기 위해 얼굴 이미지 합성과 변형을 위해 Morphing과 Warping의 구현을 목적으로 LCD 터치로 입력된 제어 점으로부터 들로네 삼각망 기법을 응용하여 이미지 합성 및 변환 단위를 구성하였다. 들로네 삼각망을 활용하여 지적 필지(Cadastral Parcel)의 중복이나 공백 없는 위상적 무결성(Topological Seamlessness)을 보장하기 위한 연구가 있다[7]. 이 연구에서 지적 필지를 폴리곤(Polygon)의 집합으로 모델링하고, 겹침 영역이나 공백 영역으로 생성되는 불확실한 폴리곤을 들로네 삼각망을 이용하여 추출하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 우선 폴리곤 데이터 집합으로부터 포인

트와 폴리라인을 추출하여 1차로 들로네 삼각망을 구성한다. 이 삼각망을 구성하는 삼각형의 데이터 집합과 중첩되는 면의 개수가 0, 1에 해당하는 삼각형들을 찾아 이것과 연결성을 가지는 삼각형들을 병합한 후 위상적 이상이 있는 영역을 찾아내는 방법을 제안하였다. 로봇의 네트워크 연결성 유지를 위한 전역 경로 계획(Global Path Planning)에 들로네 삼각망을 활용한 연구가 있다[8]. 통신 네트워크가 전무한 작업 공간에서는 군집 로봇간의 네트워크 연결 유지가 반드시 필요하다. 이 연구에서는 이 연결성 유지를 위해 시스템을 베이스, 중계, 탐색로봇으로 설계하였다. 이 시스템에서 중계로봇은 탐색 로봇의 이동 시 베이스 로봇과 탐색 로봇 간 네트워크의 연결성 유지를 수행하도록 구성하였다. 이 연구에서는 중계로봇의 최적 위치를 찾기 위해, 네트워크 연결성 유지를 들로네 삼각형 기반의 전역 경로 계획과 탐지 장애물 회피를 위해 가상 힘 기반(Virtual Force)의 지역 경로 계획(Local Path Planning)을 수행하는 방법을 제안하였다.

III. 들로네 삼각망과 최소신장트리를 이용한 비상 연락망 생성

그림 1은 12×12 크기의 2차원 평면상에서 50개의 입력 단말 노드의 위치를 나타낸다. 이 그림에서 표현된 한 눈금의 간격은 1을 나타낸다. 그림 1에서 표현된 50개의 단말 노드들의 x, y 위치는 java의 Random 함수를 이용하여 생성하였다.

그림 2에는 그림 1에서 생성된 50개의 단말 노드들이 완전 연결된(Fully Connected) 모습을 보여주고 있다. 즉 각 노드들이 문제 영역에 존재하는 자신을 제외한 다른 모든 노드들과 직접 연결된 모습을 보인다. 동일한 seed로 임의로 생성된 노드들의 연결이므로 동일한 개수의 노드들에 대한 완전 연결의 모습도 실행 시점과 무관하게 동일한 모습을 보인다.

그림 3은 그림 2의 완전 연결된 네트워크를 구성하는 각 노드에 대해 연결 거리가 3 이내인 연결 노드와 해당 연결망을 선택한 모습이다. 여기서 거리 3은 긴급 연락망에서의 최대 연결 가능길이에 해당한다. 12×12 평면에서 두 노드의 이론상 최대 연결 길이는 $12\sqrt{2}$ 이다. 연결 길이가 $12\sqrt{2}$ 인 경우에는 그림 3의 클러스터 토폴로지의 모습은 그림 2와 동일한 완전연결이 될 것이다.

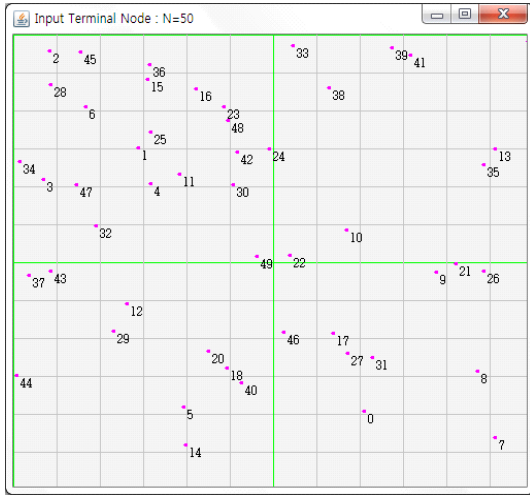


그림 1. 50개의 입력 단말 노드
Fig. 1. 50 Input Terminal Nodes

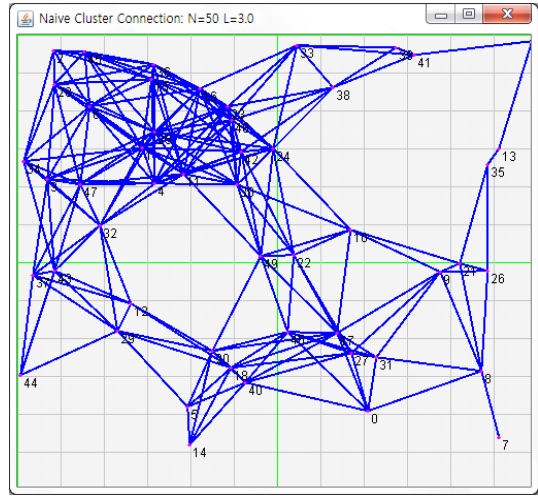


그림 3. 완전 연결 노드 대상 1차 클러스터 토폴로지 (인접 노드 최대 연결 길이=3)

Fig. 3. 1st Cluster Topology for Fully Connected Nodes(Max Length Connectable to Adjacent Node=3)

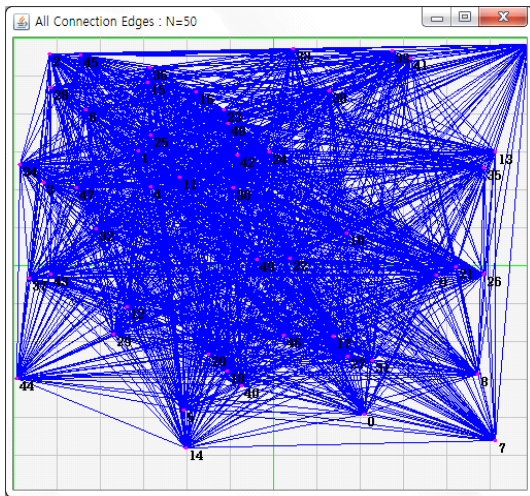


그림 2. 입력 노드의 완전 연결
Fig. 2. Fully Connected Input nodes

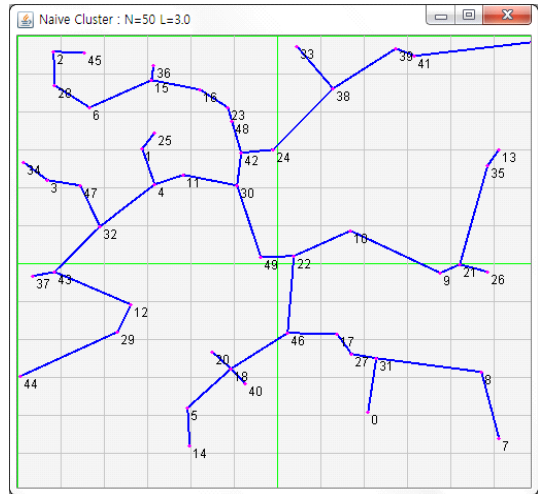


그림 4. 완전 연결된 노드 대상 최종 비상 연결망(인접 노드 최대 연결 길이=3)

Fig. 4. Final Emergency Network for Fully Connected Nodes(Max Length Connectable to Adjacent Node=3)

그림 4는 그림 3의 클러스터 토폴로지(Topology)를 구성하는 노드들과 연결에 대해 Prim의 최소신장트리 알고리즘을 실행한 결과이다. 최소신장트리 생성 알고리즘의 대표적인 Prim의 최소신장트리 알고리즘의 실행에 필요한 입력정보는 단말노드의 좌표와 각 단말 노드 상에 존재하는 네트워크 연결 정보이다. 최소신장트리란 주어진 입력정보에 대해 최단 길이의 네트워크를 구성한다. 따라서 최소신장트리를 구현한 그림 4는 그림 3의 토폴로지서서 최단 길이의 연결을 표현한다. 이 결과가 본 논문에서 제안하는 방법과 비교되는 naive 방법이다.

그림 5는 그림1의 입력 단말 노드에 대해 들로네 삼각망을 구성한 결과이다. 본 논문에서 적용한 들로네 삼각망은 incremental 방법이다[1]. 즉, 새로운 정점 노드가 입력되었을 때, 기존에 형성된 삼각망에 존재하는 모든 삼각형들의 외접원을 생성하고, 이 외접원 중에서 새로 입력된 정점을 포함하는 외접원을 선택한 후, 이 외접원을 구성하는 각 삼각형들을 삭제한다. 삭제된 삼각형들을 구성하는 세 정점들과 입

력된 정점을 연결하여 새로운 삼각망을 형성된다. 이러한 방법으로 모든 입력노드들에 대한 삼각망을 구성한다. incremental 방법의 삼각망 생성 시간은 입력노드 수 N에 대하여 $O(N \log N)$ 로 알려져 있다.

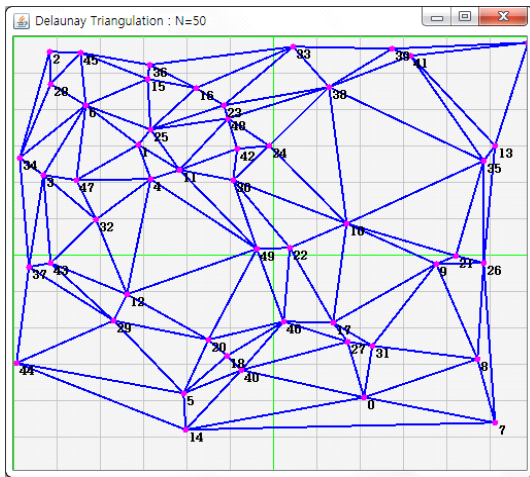


그림 5. 입력 노드에 대한 들로네 삼각망
Fig. 5. Delaunay Triangulation for Input nodes

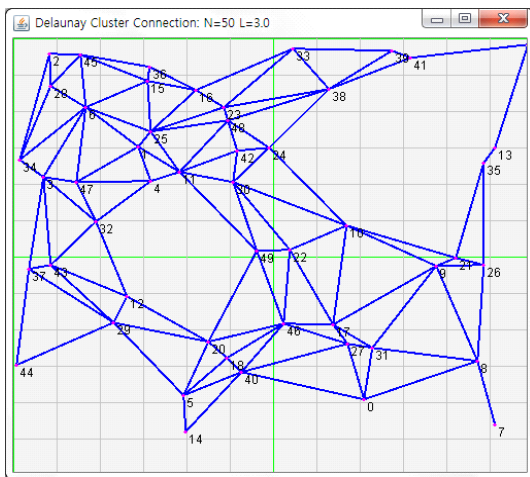


그림 6. 들로네 삼각망 노드 대상 1차 클러스터 토폴로지(인접 노드 최대 연결 길이=3)
Fig. 6. 1st Cluster Topology for Delaunay Triangulation Nodes(Max Length Connectable to Adjacent Node=3)

생성된 삼각망에서, 길이가 3 이하인 연결을 찾아 표시한 결과가 그림 6에 있다. 이 연결 토폴로지는 그림 3의 naive 연결 토폴로지와 비교해서 매우 간단하다. 그림 6의 들로네 클러스터 토폴로지를 구성하는 노드와 연결에 대해 Prim의

최소신장트리 알고리즘에 적용한 결과가 그림 7에 있다. 입력노드의 수가 50인 naive 비상 연락망 결과인 그림 4와 들로네 삼각망 활용 비상연락망의 결과인 그림 7의 토폴로지는 동일하다. 그러나 Prim의 알고리즘의 특성 상 입력노드의 수가 매우 큰 경우, 두 가지 방법으로 생성된 긴급 연결망의 연결 길이는 항상 동일하지만, 선택된 연결 토폴로지가 항상 동일하지 않을 수 있다.

완전 연결기반의 naive 비상 연락망 생성 알고리즘이 표 1에 나타나있다. 표 1의 단계 1에서는 입력 단말 노드를 완전 연결하는 과정으로 그 결과인 fullyConnectedNetwork의 모습은 그림 2와 같다. 단계 1의 실행시간은 입력 단말 노드의 수를 N이라 할 때, $O(N^2)$ 이다. 단계 2에서는 단계 1에서 생성된 네트워크 fullyConnectedNetwork에서 최대 연결 가능 길이, 즉 range 이하의 연결들을 찾아 navClusterTopology를 형성한다. 이 단계에서의 실행시간은 fullyConnectedNetwork의 연결 수, 즉 $O(N^2)$ 이다. 단계 3에서는 단계 2의 생성 결과를 Prim의 최소신장트리 생성 모듈인 buildMinimumSpanning에 적용하여 naive 비상 연락망인 navEmergencyNetwork을 생성한다. Prim의 알고리즘은 피보나치 힙(Fibonacci heap)으로 구현된 우선순위 큐(Priority Queue)로 실행했을 경우, 연결 수 E, 입력노드 수를 N으로 표현했을 때, $O(E + N \log N)$ 이다[3]. 단계 2에서 생성된 fullyConnectedNetwork의 연결 수는 $E = O(N^2)$ 이므로 단계 3의 실행시간은 $O(N^2)$ 이다. 따라서 naive 비상 연락망 생성 알고리즘의 전체 실행시간은 $O(N^2)$ 이다.

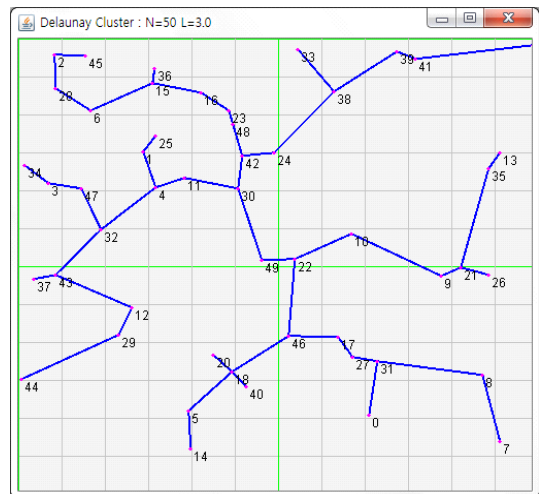


그림 7. 들로네 삼각망 노드 대상 최종 비상 연결망(인접 노드 최대 연결 길이=3)
Fig. 7. Final Emergency Network for Delaunay Triangulation Nodes(Max Length Connectable to Adjacent Node=3)

본 논문에서 제안하는 들로네 삼각망을 이용한 비상 연락망 생성 알고리즘이 표 2에 나타나있다. 단계 1에서는 N개 입력에 대하여 들로네 삼각망 delaunayTriangulationNetwork을 생성한다. 이 과정의 실행시간은 $O(N \log N)$ 이다. 단계 2에서는 단계 1의 네트워크 delaunayTriangulationNetwork에서 range보다 작거나 같은 연결들로 구성된 delClusterTopology를 형성한다. delaunayTriangulationNetwork의 연결 수에 해당하는 $O(N \log N)$ 이 표 2의 단계 2에서의 실행시간이다. 단계 3에서는 단계 2의 생성 결과인 delClusterTopology를 Prim의 최소신장트리 생성 모듈인 buildMinimumSpanning에 적용하여 들로네 삼각망 이용 비상 연락망인 delEmergencyNetwork을 생성한다. 연결 수 $E=O(N \log N)$ 이므로 단계 3의 실행시간은 $O(N \log N)$ 이다 [3]. 따라서 제안된 비상 연락망 생성 알고리즘의 전체 실행시간은 $O(N \log N)$ 이다.

표 1. Naive 비상 연락망 생성 알고리즘
Table 1. Naive Algorithm for Emergency Network Construction

Process	
1	<pre> fullyConnectedNetwork=NULL; k=0; for(i=0;i<N; i++){ for(j=i+1; j<N; j++){ edge(k)=link(i,j); fullyConnectedNetwork += edge(k++) } } // N is input node number // Each terminal node has random generated x, y coordinates </pre>
2	<pre> clusterTopology=NULL; for(i=0; i<fullyConnectedNetwork.edgeSize(); i++){ if(lenght(fullyConnectedNetwork.edge(i))<= range) navClusterTopology += fullyConnectedNetwork.edge(i); } // range is the max length connectable to adjacent node </pre>
3	<pre> navEmergencyNetwork =buildMinimumSpanningTree(navClusterTopology) </pre>
4	<pre> result=navEmergencyNetwork; </pre>

표 2. 들로네 삼각망 이용 비상 연락망 생성 알고리즘
Table 2. Emergency Network Construction Algorithm Using Delaunay Triangulation

Process	
1	<pre> delaunayTriangulationNetwork=NULL; delTri=makeDelaunayTriangulation(N); for(i=0;i<(delTri.edgeSize()); i++){ delaunayTriangulationNetwork += delTri.edge(i) } // N is input node number // Each terminal node has random generated x, y coordinates </pre>
2	<pre> clusterTopology=NULL; for(i=0; i<(delaunayTriangulationNetwork.edgeSize();i++){ if(lenght(delaunayTriangulationNetwork.edge(i))<= range) delClusterTopology += delaunayTriangulationNetwork.edge(i); } // range is the max length connectable to adjacent node </pre>
3	<pre> delEmergencyNetwork =buildMinimumSpanningTree(delClusterTopology) </pre>
4	<pre> result=delEmergencyNetwork; </pre>

IV. 실험 및 분석

1. 실험방법

제안된 방법의 효율성을 보이기 위해 2차원 평면에서 임의로 생성된 노드 10,000개에 대해 각 노드의 인접 노드 최대 연결 가능 길이(Max Length Connectable to Adjacent Node)를 1,2,3,4 그리고 5로 변화시켜 기존의 naive 방법과 본 논문에서 제안하는 들로네 삼각망을 이용하는 방법으로 연결망을 생성하고 그 생성시간과 연결망의 길이를 조사하였다.

두 가지 방법은 8 기가바이트 램, 인텔 프로세서, 마이크 로소프트 윈도우즈 7.0 환경의 랩톱 컴퓨터에서 Java 1.7로 구현되었다. 본 논문의 실험에 사용된 10,000개의 2차원 입력노드들은 가상의 12×12 평면에 균등하게 분포되었다고 가정하고, Java의 random 함수를 이용하여 해당 노드들의 좌표를 생성하였다.

2. 실험 결과 및 분석

실험은 각 노드의 최대 연결 가능 길이(Max Length Connectable to Adjacent Node, range)를 변화시켜 연결

망을 생성하는 것이다. 즉 각 노드가 인접노드와 연결 가능한 최대 거리(range)를 변화시켜 최소길이의 연결망을 생성한다. 각 노드의 최대 연결 길이가 길면 길수록 초기 연결망은 완전 연결 토폴로지(Fully Connected Topology)에 근접할 것이다. 각 노드의 최대 연결 길이를 1, 2, 3, 4, 5로 변화시켜 비상 연결망을 생성한 결과가 표 3, 4, 5, 6과 그림 8, 9, 10, 11에 나타나 있다.

표 3과 그림 8에는 비상 연락망 생성시간에 관한 실험 결과가 나타나 있다. 10,000개의 입력 노드에 대해 연결 가능 최대 길이를 변화시키면서 본 논문에서 제안하는 들로네 삼각망을 활용하는 방법(Proposed)과 완전 연결 기반의 naive 방법(Naive)으로 비상 연락망을 생성한 경우, 각 방법의 실행시간을 비교한 것이다. 12×12 평면에서 임의의 두 노드가 이론적으로 떨어질 수 있는 최대 거리는 $12\sqrt{2}$ 이다. 이러한 평면 환경에서 연결 가능한 최대 거리 1, 2, 3, 4, 5는 최대 이격 거리 $12\sqrt{2}$ 의 5.9%, 11.8%, 17.7%, 23.6%, 29.5%에 해당한다. 연결 가능 최대 길이가 1인 경우에는 들로네 삼각망을 이용한 제안된 방법이 완전 연결 방식의 naive 방법에 비해 생성 시간이 138.5% 증가했으나 연결 가능 최대 길이가 2인 경우부터 점차 생성 시간을 단축하여 연결 가능 최대 길이가 5인 경우에는 최대 89.1%의 실행시간을 단축하였다. 여기서 한 가지 특이한 것은 본 논문에서 제안하는 방법이 연결 가능 최대 길이와 상관없이 생성 시간이 거의 일정하다는 것이다. 즉 들로네 삼각망을 이용한 제안된 방법의 긴급 연락망 생성 시간은 평균 6658.2, 표준편차 144.8인 반면에 비교 대상인 naive 방법의 생성 시간은 평균 26919.2, 표준편차 22743.8이다. 이것은 본 논문에서 제안된 방법의 비상 연락망 생성 시간의 대부분을 차지하는 1차 들로네 삼각망 생성 시간은 연결 가능 최대 길이에 독립적이고, 2차 Prim의 최소신장트리알고리즘은 거의 동일한 클러스터 토폴로지를 입력으로 생성됨으로 통합된 긴급 연락망 생성 시간은 거의 차이가 없다. 반면에 naive 방식은 1차 클러스터 토폴로지의 모습이 연결 가능 최대 길이에 따라 변화된다. 즉 연결 가능 거리가 크면 클수록 1차 클러스터 토폴로지의 모습은 완전 연결에 가까워지고, 따라서 이것의 노드와 연결정보를 입력으로 하는 2차 Prim의 최소신장트리알고리즘의 실행시간은 매우 커지게 되므로 전체적인 생성시간이 매우 커지게 되는 것이다.

표 4와 그림 9에는 두 가지 방법에 의해 생성된 비상 연락망의 연결 길이의 합에 대한 실험 결과가 나타나 있다. 두 가지 방법에 의해 생성된 비상 연락망의 연결 길이는 연결 가능 최대 길이의 변화와 상관없이 777.95로 동일하다. 그러나 두

노드 사이의 연결 길이가 동일한 연결이 여러 개 존재할 수 있으므로 최소신장트리 알고리즘의 실행과정에서 선택된 연결에 따라 최종 생성된 비상 연락망의 토폴로지는 차이가 생길 수 있다. 이러한 현상은 입력 노드의 수가 클수록 확률적으로 발생 가능성이 높다고 할 수 있다.

표 5, 6과 그림 10, 11에는 비상 연락망을 생성하는 과정에서 생성된 1차 클러스터 토폴로지를 구성하는 연결의 수와 이 연결의 길이의 합에 대한 실험 결과가 나타나 있다. 이 결과는 2차 Prim의 최소신장트리 알고리즘의 직접적인 입력이 된다. 본 논문에서 제안된 방법에 의해 생성된 1차 클러스터 연결의 수는 연결 가능 최대 길이의 변화와 거의 일정하였다. 1차 클러스터 토폴로지의 연결 수는 평균 59517, 표준 편차는 약 10.7인 반면에 비교 대상인 naive 방법의 클러스터 토폴로지의 연결 수는 연결 가능 최대 길이가 증가할수록 함께 증가하였다. 연결 가능 최대 길이가 1인 경우에는 1차 클러스터 토폴로지를 구성하는 연결 수가 2029008이었지만, 연결 가능 최대 길이가 5인 경우에는 약 1715.9% 증가한 36845454이었다. 이러한 naive 방법의 1차 클러스터 토폴로지의 연결 수의 평균은 약 17568467.6, 표준편차는 약 13992452.9이다. 표 6과 그림 11에 표현된 1차 클러스터 토폴로지를 구성하는 연결의 길이에 관한 실험도 유사한 결과를 보였다. 들로네 삼각망을 활용한 제안된 방법에 의해 생성된 1차 클러스터 연결 길이는 연결 가능 최대 길이의 변화와 거의 일정하였다. 1차 클러스터 토폴로지의 연결 길이는 평균 약 8234.0 표준 편차는 약 16.2인 반면에 비교 대상인 완전 연결을 활용한 naive 방법의 클러스터 토폴로지의 연결 길이는 연결 가능 최대 길이가 증가할수록 크게 증가하였다. 연결 가능 최대 길이가 1인 경우에는 1차 클러스터 토폴로지를 구성하는 연결 길이가 약 1339968.8이었지만, 연결 가능 최대 길이가 5인 경우에는 약 115760567.9로 약 8539.0% 대폭 증가하였다. 이러한 naive 방법의 1차 클러스터 토폴로지의 연결 길이는 평균은 약 44601714.0이고 표준편차는 약 46855434.1로 연결 가능 최대 길이의 변화에 민감한 결과를 보임을 확인할 수 있다.

실험에서 본 논문에서 제안하는 들로네 삼각망을 활용한 비상 연락망 생성 방법은 완전 연결 기반의 기존 naive 방법과 동일한 연결 길이를 갖는 비상연락망을 생성한다. 또한 연결 가능 최대 길이가 작은 경우에는 오히려 비상 연락망 생성 시간 측면에서 좋지 않은 성능을 보이지만 그러나 연결 가능 최대 길이가 점차 증가할수록 비상 연락망 생성 시간 측면에서 매우 큰 장점을 보인다. 이것은 통신 장비의 성능이 점차 고도화됨에 따라 연결 가능 최대 거리가 지속적으로 커질 것

으로 예측되는 바, 본 논문에서 제안하는 방법의 유효성 및 실효성이 커질 것으로 분석된다.

표 3. 비상 연결망 생성 시간
Table 3. Construction Time for Emergency Network

range method	1	2	3	4	5
Proposed	6584	6599	6646	6910	6552
Naive	2761	11544	22105	38080	60106
Difference	138.5%	-42.8%	-69.9%	-81.9%	-89.1%

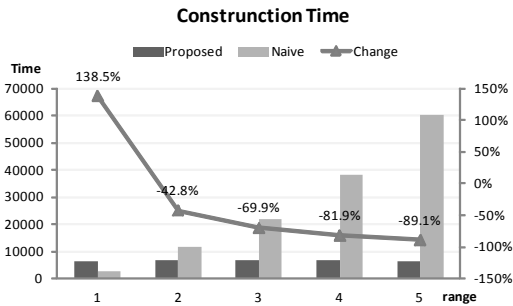


그림 8. 비상 연결망 생성 시간
Fig. 8. Construction Time for Emergency Network

표 4. 생성된 비상 연결망 길이
Table 4. Constructed Emergency Network Length

range method	1	2	3	4	5
Proposed	777.95	777.95	777.95	777.95	777.95
Naive	777.95	777.95	777.95	777.95	777.95

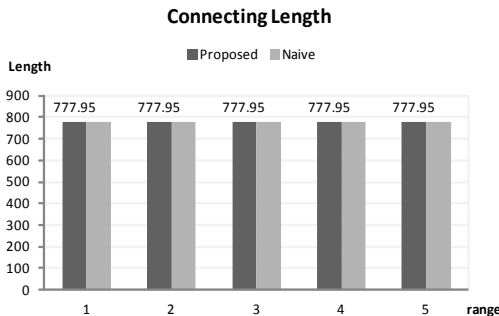


그림 9. 생성된 비상 연결망 길이
Fig. 9. Constructed Emergency Network Length

표 5. 1차 클러스터 토폴로지 연결 수
Table 5. 1st Cluster Topology Connection Number

range method	1	2	3	4	5
Proposed	59498	59519	59522	59523	59523
Naive	2029008	7554050	15702430	25711396	36845454
Difference	-97.07%	-99.21%	-99.62%	-99.77%	-99.84%

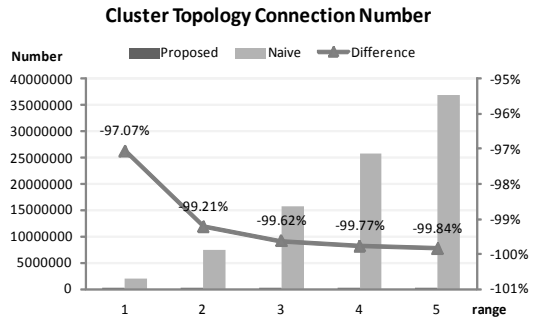


그림 10. 1차 클러스터 토폴로지 연결 수
Fig. 10. 1st Cluster Topology Connection Number

표 6. 1차 클러스터 토폴로지 연결 길이
Table 6. 1st Cluster Topology Connection Length

range method	1	2	3	4	5
Proposed	8206.34	8233.35	8241.14	8244.67	8244.67
Naive	1339969	9882167	30436729	65589138	115760567.91
Difference	-99.39%	-99.92%	-99.97%	-99.99%	-99.99%

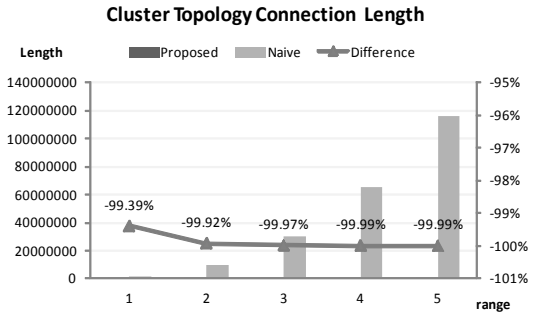


그림 11. 1차 클러스터 토폴로지 연결 길이
Fig. 11. 1st Cluster Topology Connection Length

V. 결론

본 논문에서는 비상 상황 등에서 디바이스를 다양한 형태의 네트워크로 연결하여 적절한 동작이나 조치를 하기위해, 들로네 삼각망을 이용하여 최대 연결 가능 거리 내에 있는 노드들을 찾아내어 최단 길이로 연결하는 긴급 연락망을 생성하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 긴급 연락망 구성시간 측면에서 최대 연결 가능 길이가 길수록 완전 연결 기반의 기존의 naive 방법에 비해 매우 우수한 성능을 보였다. 입력 노드가 10000개이고, 각 노드별 최대 연결 가능 길이가 5인 실험환경에서 제안된 방법은 naive 방법에 비교해 긴급 연락망 실행시간이 89.1% 개선되었다. 연결 가능 최대 길이가 점차 증가할수록 실행 시간 측면에서 매우 큰 장점을 보이는 것은 기술의 발전 등으로 디바이스의 통신 성능 개선되어 연결 가능 최대 거리가 지속적으로 커질 것으로 예측되는 바, 본 논문에서 제안하는 방법의 유효성 및 실효성이 커질 것이다. 또한 사물 인터넷의 발전 및 서비스 수요 등으로 인한 인접한 디바이스간의 신속한 통신망 구축 및 센서네트워크 라우팅 등에도 본 연구 결과는 적용 가능할 것이다.

향후 연구는, 문제 영역을 확장하여 비-다항적(Non Polynomial) 문제 영역에서의 비상 연락망 길이의 단축에 관한 것이다. 제안된 방법과 비교된 방법이 1차 클러스터 토폴로지를 최소신장트리에 적용하여 다항적(Polynomial) 문제 영역에서 최적의 결과를 산출할 수 있었다. 그러나 비-다항적 문제 영역에서는 비록 많은 실행시간이 요구되지만 단축된 길이의 개선된 네트워크의 생성이 가능하다. 따라서 실행 시간보다는 네트워크의 길이가 더 중요한 요소의 응용인 경우, 근사 스타이너트리의 활용 등의 방법으로 사용자의 이러한 요구에 부합된 방법을 찾을 수 있다. 이러한 추가 연구들을 통해 본 논문에서 제안된 내용을 개선하여 다양하고 실용적인 응용에 잘 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌

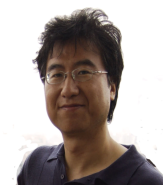
[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Delaunay_triangulation, August, 2014.
 [2] G. Leach, "Improving Worst-Case Optimal Delaunay Triangulation Algorithms," 4th Canadian Conference on Computational Geometry, June 1992.

[3] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest and C. Stein, "Introduction to Algorithms," 2nd Ed., The MIT Press, pp.561-579, 2001.
 [4] J. Liu, J. Yan, S. Lo, "A new insertion sequence for incremental Delaunay triangulation," Acta Mechanica Sinica, Vol.29, No 1, pp.99-109, 2013.
 [5] G. Graziela, M. Michael, "Surface reconstruction using Delaunay triangulation for applications in life sciences," Computer Physics Communications, Vol.182, No. 4, pp.967-977, 2010.
 [6] K. Hwang, "Morphing and Warping using Delaunay Triangulation in Android Platform," Journal of Korea Game Society, Vol.10, No.6, pp.137-146, 2010.
 [7] S. Cho, "Detecting Uncertain Boundary Algorithm using Constrained Delaunay Triangulation," Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 32, No. 2, pp.87-93, 2014.
 [8] J. Kim, J. Jeong, S. Ji, and Y. Joo, "Behavior Control Algorithm of Swarm Robots to Maintain Network Connectivity," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.19, No.12, pp.1132-1137, 2013.

저 자 소 개



김 재 각
1981 : 송실대학교
전자계산학과 공학사
1985 : 연세대학교 산업대학원
전자계산 전공 석사
2002 : 송실대학교
컴퓨터과학과 공학박사
현 재: 김포대학교 사회복지과 교수
관심분야 : 암호이론, 시스템보안
Email : ckkim@kimpo.ac.kr



김 인 범
1989: 서울대학교
컴퓨터공학과 공학사
1991: 서울대학교
컴퓨터공학과 공학석사
2007: 위스콘신주립대학-밀워키
컴퓨터과학과 공학박사
현 재: 김포대학교
인터넷정보과 교수
관심분야: 네트워크, 데이터베이스
Email : ibkim@kimpo.ac.kr



김 수 인
1984: 광운대학교
전자공학과 공학사
1991: 광운대학교
전자계산기공학과 공학석사
2004: 광운대학교
컴퓨터공학과 공학박사
현 재: 김포대학교
항공전기전자과 부교수
관심분야: 영상인식, 스테레오비전 등
Email : sikim@kimpo.ac.kr