비격자형 자료의 시각화를 위한 등치선도 생성 알고리즘
(A Contour Generation Algorithm for Visualizing Non-Lattice Type Data)

이 준 [†] 김 지 인 [††]
(Jun Lee) (Ji-in Kim)

요 약 과학적 시각화의 한 분야인 등치선도 자동생성 알고리즘은 주로 규칙적인 사각형 격자 위에서 정의된 자료에 대해서 연구를 진행되어 왔다. 하지만 기상자료 관측과 같은 실제 자료 추출 상황에서 모든 격자에서 자료를 얻는 것이 불가능하다. 자료 추출 장비, 방법의 특성상 모든 격자에서 자료 값을 얻을 수는 없다. 자료가 추출되지 않는 모든 격자에서 필요한 자료 값을 구하기 위하여 추출된 자료에 적당한 보간 법을 적용하여 근사 값을 할당한다. 본 논문에서는 격자형 자료를 사용하지 않고 비격자형 자료를 사용해서 등치선도를 자동으로 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 거리가중보간법을 이용하여 전처리된 사각형 격자형 자료를 사용하는 대신 비격자형 자료를 직접 사용하여 삼각형 자료 연결을 정의하였다. 제안된 알고리즘은 삼각형 자료 연결에 근거한 등치선도를 작성한다. 이 알고리즘은 숙련된 기상도 제작자가 기상도를 작성하는 원칙에 근거를 두고 있다. 새롭게 제안된 알고리즘은 전통적인 알고리즘에 비해서 다음과 같은 장점을 갖고 있다. 제안된 알고리즘은 전처리 과정에서 추출된 자료를 보간 할 필요 없이, 추출된 자료만으로 등치선도를 작성한다. 그리고 격자에 보간법이 적용되었을 때 발생하는 자료의 왜곡이 없다.
키워드 : 자료 시각화, 등치선도

Abstract As a part of scientific data visualization, automatic generation algorithms for a contour map have been investigated mainly on data which are defined at every lattice point. But in actual situation like weather data measurement, it is impossible to get data defined at every lattice point. This is because the exact value on every lattice point can not be obtained due to various characteristics in sampling devices or sampling methods. In order to define data on every lattice point where data were not sampled, an interpolation method was applied to the sample data to assign approximate values for some lattice points. This paper suggests an automatic generation algorithm for a contour map not by using the lattice type data, but by using the non-lattice type of sample data sets. A triangle data link was defined by using non lattice points directly based on actually sample data set, not by using the pre-processed rectangle lattice points. The suggested algorithm generates a contour map based on a triangle data link. This is based on drawing principles of an imaginary map by a weather map expert. The new algorithm has following advantages over traditional algorithms: it can draw a contour map only by using sample data set which are much smaller than old one without data interpolation, and there is no skew on data set any more since it does not need any interpolation to get the values of the defined lattice points.
Key words : Data visualization, Contour map

† 정 회 원 : 공군사관학교 전산학과 교수
jlee@afa.ac.kr
†† 종신회원 : 건국대학교 인터넷미디어학부 교수
jnkm@konkuk.ac.kr
논문접수 : 2001년 7월 16일
심사완료 : 2002년 1월 4일

1. 서 론

과학적 시각화(Scientific Visualization)는 특정한 목적을 달성하기 위하여 추출된 자료를 처리하여 그 결과를 알아보기 쉽도록 시각화함으로써, 입력 자료를 분석하는 과정을 쉽고 편리하게 해 준다. 그래서, 기상 분석,

지형 분석, 통계 분석, 등과 같이, 복잡한 자료를 이해하고 분석하는 분야에 많이 적용되고 있다. 그 중에서도 추출된 자료를 분석하여, 같은 값을 갖는 자료들을 연결하여 시각화하는 등치선도는 기상도의 등압선, 지도의 등고선, 등을 표현하는데 활용된다. 예를 들어, <그림 1>에 나타난 것과 같은 자료는 관측소, 비행기, 선박, 위성, 등을 통하여 수집된 기상자료와 같은 형식의 모의 관측 자료이다. 기상 지식을 가진 전문가들은 이러한 불연속적인 자료를 분석하여, <그림 2>와 같은 기상도를 그려내어 일기 예보를 하게 된다 [1].

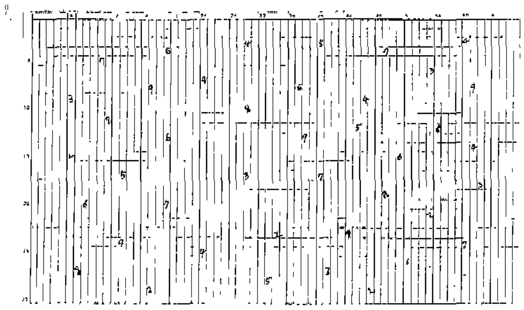

그림 1 모의 관측된 기상 자료 값들

그림 2 자료값을 바탕으로 전문 기상요원의 수작업을 통하여 그려진 기상도

등치선도 작성 과정을 자동화하기 위하여 컴퓨터를 이용하여 추출된 자료로부터 등치선도를 자동으로 생성하는 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 지금까지 연구된 방법을 살펴보면, 전체 영역에서 공간 분포 함수를 구하여 등치선도를 전역적으로 구하는 방법과[2, 3] 평면상에서 자료로부터 보간법(Interpolation)을 이용하여 부분에서 전체로 나아가면서 등치선도를 그리는 국부 생성법이[4, 5] 있다. 한편, 우리나라에서는 지금까지 등치선도 자동 생성에 관한 연구 결과는 그렇게 많이 발표되지 않았고, 개발된 알고리즘에 대한 자세한 정보도 보고되지 않아서 실제로 등치선도를 자동으로 생성하여 활용하는데는 많은 어려움이 있다. 일반적으로 사용되는 아이디어는 시각화할 자료들이 규칙적 간격을 두고 정의되는 격자에서 수집된다고 가정하고, 이러한 격자형 자료 모델 하에서 얻어진 자료를 분석하고 처리하여 등치선도를 표현하는 기법이다. 등치선은 연속적인 수학함수 $z = f(x,y)$에 의해서 얻어지나, 보다 일반적인 경우는 분산된 점들의 집합으로부터 등치선을 생성하는 것이다. 그런데, 실제로 기상 자료를 수집하는 예를 보면, 규칙적인 격자형의 모든 위치에서 자료를 구해지는 경우는 거의 없다. 첫째, 자료를 관측하는 위치가 정해진 격자 점에 위치하지 않아 정확한 격자 점에 해당되는 위치에서 기상 자료 값이 얻어지지도 않으며, 둘째, 일부 관측 자료와 결과는 항상 보고되지만 다른 일부는 이동 중인 선박, 비행기 등에서 측정하는 자료이기 때문에 측정할 때마다 위치가 달라진다. 따라서, 추출된 자료들 중에서 정확하게 정해진 격자 점과 대응되는 위치에서 얻어진 것들은 그대로 사용하고, 필요한 격자 점에 자료 값이 추출되지 못한 경우에는 "거리가중 선형 보간법"을 사용하여 계산을 해줌으로써, 격자의 모든 점에 대해서 보간된 자료값을 얻는다[6, 7, 8]. 예를 들어서 <그림 1>에 나타난 것과 같은 자료를 가지고 보간법을 적용하여 <그림 3>과 같은 형태의 격자형 자료 모델을 만들고, 이를 바탕으로 하여 등치선도를 생성하게 된다.

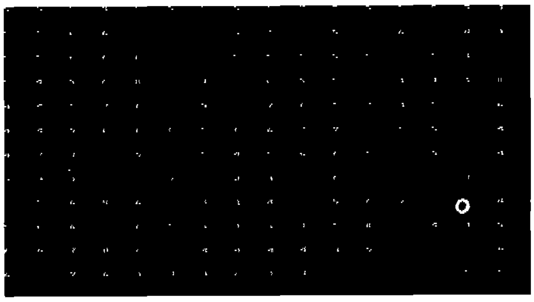

그림 3 불규칙하게 추출된 자료를 전처리 과정에서 거리가중보간법으로 계산하여 생성한 격자형 자료 모델

그런데, 실제로 기상 전문가의 수작업을 통한 등치선도 작성과정을 분석하여 보면, 이들은 주어진 기상 자료로부터 특정한 값을 중심으로 자료와 자료사이를 목측에 의한 보간법을 이용하여 작성한다[1]. 자료를 연결하는 경험적인 근거는 특정한 중심점에서 가장 근접한 거리의 자료를 찾는 것이다. 자료 연결 경험에 근거하여 연결점

찾기 함수를 정의하고 이 함수를 이용하여 자료를 연결한다. 자료의 연결은 삼각형을 기본으로 한다. 그러므로, 비격자 점 자료를 이용하여 격자점 자료로 보간하여 등치선도를 그리는 기존 알고리즘은 실제 전문가의 작업과 전혀 다른 방식이다. 또한 수집된 자료 값이 보간 과정에서 왜곡되어 사라져 버리는 현상이 발생하게 된다.

본 연구는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여, 실제로 전문가가 사용하는 방법을 토대로 하여 단순하고 효과적으로 등치선도를 자동 생성하는 알고리즘을 개발하는데 목적이 있다. 그래서, 등치선도를 작성할 때 격자점에서 추출된 자료 혹은 비격자점에서 추출된 자료를 구분하여 보간법을 사용하는 것이 아니라, 수집된 자료를 전처리(Pre-processing) 과정 없이 직접 사용하여 등치선도를 작성할 수 있는 알고리즘을 연구하였다. 규칙적인 격자를 이용하여 등치선도를 작성하는 대신에, 등치선 연결에 필요한 함수를 이용하여 비격자점에서 추출된 자료라도 격자점으로 변형과정을 거치지 않고 직접 이용하게 된다. 그렇게 되면, 실제로 수집된 자료만을 가지고 등치선도를 그리게 되므로, 기존의 격자형 중심의 알고리즘에 비하여 처리 과정이 단순해지고 자료의 왜곡 현상이 없어지게 된다.

2. 삼각형 연결

일반적인 경우 등치선도 작성은 규칙적인 사각형 격자를 통해서 자료를 추출하고 연결한다. 하지만 규칙적인 사각형의 격자에서 자료를 얻어다 할 지라도 등치선도를 연결하는 데는 애매한 문제가 발생 할 수 있다. 예를 들면 <그림 4>에서 가장 왼쪽의 사각형은 규칙적인 격자형의 자료를 추출한 것이다. 추출한 자료는 사각형 모서리의 4개점 1, 9, 1, 9 이다. 4개의 자료를 이용해서 값이 5인 등치선도를 작성하려 한다. 보간법을 사용하여 자료 값이 5인 곳을 4군데 찾았다고 하면, 등치선도 연결은 <그림 4>의 가운데 그림과 오른쪽 그림에서 보여주듯이 두 가지 연결이 가능하다. 이와 같은 모호성 때문에 규칙적인 격자로부터 자료를 추출했다 하더라도 자료 연결에 문제가 발생할 수 있다. [6]에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 격자형에서 발생할 수 있는 등치선의 패턴을 조사하여 알고리즘으로 구현하였다.

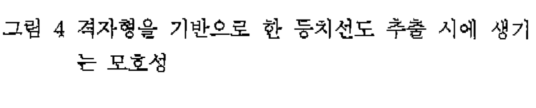

그림 4 격자형을 기반으로 한 등치선도 추출 시에 생기는 모호성

만약, 규칙적인 사각형의 격자를 연결하여 등치선을 그리는 대신 가장 단순한 다각형인 삼각형을 자료 연결의 기본단위로 사용하게 되면, 위와 같은 모호함을 근본적으로 제거할 수 있다. 사각형 이상의 다각형의 경우 육각형을 제외하고 규칙적인 격자점의 표현이 곤란하다. 하지만 육각형을 포함한 모든 다각형은 삼각형으로 분리해서 연결 할 수 있어 등치선도 작성을 위한 자료연결을 일반화 할 수 있다. 임의 자료에 대해서 삼각형을 자료연결의 기본 단위로 사용해서 격자점을 연결할 수 있다면 규칙적인 사각형 격자와 육각형의 격자는 삼각형으로 연결할 수 있다. 일반적으로 사용하고 있는 규칙적인 사각형 격자는 삼각형 격자를 이용한 일반화의 특수한 자료 연결이라 할 수 있다. 삼각형 연결과 관련된 함수와 용어를 다음과 같이 정의한다.

3. 함수의 정의

공간거리함수는 R^3 상의 특정한 두 점 $P_1(P_{1x}, P_{1y}, P_{1z})$, $P_2(P_{2x}, P_{2y}, P_{2z})$에서 R^3 상의 어느 한 점 $Q(Q_x, Q_y, Q_z)$까지 가까운 정도를 두 점의 중점 $(P_1+P_2)/2$을 중심으로 하고 Q를 포함하는 동심구의 최소반지름으로 정의한다. 평면거리함수는 P_1, P_2과 Q가 xy평면에 투영된 두 점 $P'_1(P_{1x}, P_{1y}, 0)$, $P'_2(P_{2x}, P_{2y}, 0)$의 중점 $(P'_1+P'_2)/2$을 중심으로 하고 $Q'(Q_x, Q_y, 0)$를 포함하는 동심원의 최소반지름으로 정의한다.

거리함수는 공간거리함수와 평면거리함수를 일컫는데 보통은 평면거리함수를 먼저 적용하여 연결 우선순위를 결정하며, 같은 평면거리함수 값에 대해 공간거리함수 값을 적용하여 연결을 결정한다

가. 공간거리 함수

$$S(P_1,P_2,Q) = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 \quad where\ P_1,P_2,Q \in R^3$$

x_i : Q_x-P_{ix}

y_i : Q_y-P_{iy}

z_i : Q_z-P_{iz} where i = 1, 2

나. 평면거리 함수

$$D(P_1,P_2,Q) = x_1^2 + y_1^2 + x_2^2 + y_2^2 \quad where\ P_1,P_2,Q \in R^3$$

x_i : Q_x-P_{ix}

y_i : Q_y-P_{iy} where i = 1, 2

4. 용어의 정의

자료연결에 관한 설명의 편의를 위해 기본용어를 다음과 같이 정의한다.

가. 시작선분

특정한 한 자료점을 선택하고 거리함수를 사용하여 측정한 결과를 바탕으로, 그 점에서 가장 가까운 자료점을 선택하여 최초의 선분을 결정한다. 그 선분의 이름을 시작선분이라 정의한다.

나. 시작삼각형

시작선분에 사용된 두 점A, B를 제외한 자료점을 Q라하고 시작선분 AB로부터 가장 가까운 거리함수의 자료점을 찾아서 삼각형을 연결한다. 시작선분으로부터 생성된 최초의 삼각형을 시작삼각형이라 정의한다.

다. 기본선분

시작삼각형의 각 변과 아직 연결되지 않은 자료점 Q는 거리함수를 이용해서 다른 삼각형을 만든다. 또한 시작삼각형으로부터 만들어진 삼각형의 각 변 역시 거리함수를 이용해서 다른 삼각형을 만들 수 있다. 이와 같이 삼각형을 만들기 위해 거리함수에 사용되는 시작선분 이외의 선분을 기본선분이라 하자. 기본선분은 시작삼각형을 제외한 다른 삼각형을 만드는 기초를 제공하는 선분이다.

라. 일반삼각형

거리함수를 이용하여 시작삼각형의 세 변을 기본선분으로 만들어진 삼각형과 그 삼각형의 변을 다시 기본선분으로 이용해 만들어진 삼각형을 일반삼각형이라 하자. 모든 일반삼각형은 기본선분의 양끝 자료점과 거리함수를 이용해서 가장 가까운 점을 찾아서 연결한 삼각형이다. 일반삼각형은 시작삼각형으로부터 직접 혹은 간접으로 생성되는 삼각형으로 시작삼각형의 각 변을 기본선분으로 사용할 경우 최대 3개의 일반삼각형을 생성할 수 있지만 일반삼각형은 1개의 변은 기본선분으로 사용되었으므로 최대 2개의 일반삼각형을 만들 수 있다.

5. 자료연결

자료는 특수한 점을 중심으로 구성된다. 시작점은 특수한 목적에 부합한 점을 찾아 연결을 시작한다. 본 연구의 경우 시작점으로 자료 값이 가장 큰 점을 찾았고, 같은 값을 가진 경우 자료 분포 상 중심부에 위치한 점을 선택하였다. 시작점은 시작선분을 결정한다. 시작선분은 시작점에서 평면거리가 가장 가까운 점을 선택하는 것을 원칙으로 한다. 거리가 가장 가까운 점이 여러개인 경우 공간거리함수를 적용한다. 즉 자료 값을 고려한 가장 근거리의 점을 선택한다. 삼각형 자료연결시 주요 사항은 모든 자료가 빠짐없이. 연결되는 것과 같은 연결에 대해서 시간을 단축하는 것이다.

가. 제안된 삼각화 원리

광범위하게 활용되는 대표적인 삼각화 알고리즘으로 근접영역이 서로 인접하면 두 점은 그래프의 에지로 연결시키는 디루니 삼각화를 들 수 있다. 디루니 삼각화는 병렬처리 알고리즘 개발로 처리속도가 향상되고 수치오차가 적으며 구현이 용이한 장점을 갖고 있다.[14] 하지만 다음과 같은 예에서 디루니 삼각화가 특정점에서 가장 가까운 정도에 영향을 크게 받는 삼각형을 구성하기에 적절하지 않다는 것을 보인다.

디루니 삼각화는 <그림 5>에서 특정점 a를 중심으로 사분면 근접점이 나누어진 후 a를 중심으로 한 제 1 상한에 대해서 a와 b가 연결될 것이고, 제 2상한에 대해 a와 c가 연결되고, 제 3 상한에 대해 a와 e가 연결되고 제 4 상한에 대해 a와 g가 연결된다. 따라서 선분ab를 포함하는 삼각형이 디루니 삼각화에 의해서 만들어 질 것이다. 이것은 a의 근접점을 각 사분면에 대한 연결을 우선 고려하였기 때문이다. 본 문에서 제안할 삼각형 연결 알고리즘은 <그림 6>처럼 사분면 구분 없이 a를 중심으로 가장 가까운 점 g를 찾아 ag를 시작선분으로 만들고 시작선분의 중점이 중심인 최소한의 동심원에 포함된 추출자료를 찾아 삼각형을 연결하여 시작 삼각형(△agf)을 만든다. 그 후 시작 삼각형의 각 변의 양끝(ag, gf, af)에 대해서 시작삼각형과 같은 원리를 적용하여 삼각화를 형성한다. 삼각화 알고리즘의 시작은 특정점을 중심으로 가장 가까운 추출자료를 찾아 두 점을 연결하는 시작선분을 만든다. 시작선분의 중점을 중심으로 하는 동심원에서 가장 작은 원에 포함된 추출자료를 찾아 연결한다.

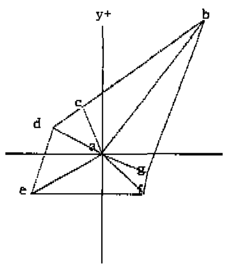

그림 5 딜루니 삼각화

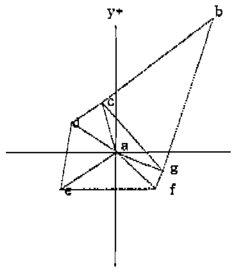

그림 6 제안된 삼각화

본문에서 제안한 삼각화의 자료연결은 다음과 같다. <그림 7>에서 시작점 a에서 가장 가까운 점 b를 찾아 시작선분을 형성하고, 시작선분의 중점을 중심으로 하는 최소반지름 동심원에 포함된 추출자료 c를 선택하여 삼

각형을 형성한다. 이는 특정점 a로부터 새로운 특정점 b를 선택하고, 두 점에서 새로운 특정점 c를 결정하는 것이다. 새로운 특정점은 결정된 특정점에서 가까운 정도에 의존한다.

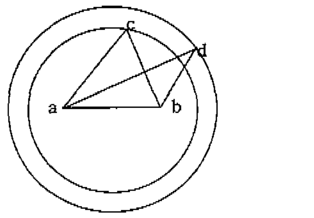

그림 7 제안된 삼각화의 자료연결

만일 b에서 c의 거리보다 b에서 d의 거리가 가깝다면 d가 b에서 강한 영향력을 받지만 a에서 받는 영향력이 적어 특정점 선택에서 제외된 것이며 c가 b에서 받는 영향력은 d보다 적지만 a에서 받은 영향력이 컸다는 것을 의미한다.

나. 삼각형 생성

등치선도 작성을 위하여 자료를 삼각형 모양으로 연결하는 작업은 시작삼각형의 각 변을 기본선분으로 하여 일반삼각형을 생성한다. 따라서 자료가 연결된 형태는 시작삼각형을 중심으로 연결된 자료 면적이 외향적으로 성장하는 형태가 된다. 연결이 완료된 삼각형의 내부에는 연결이 안 된 어떠한 자료점도 포함되어 있으면 안 된다. 기본선분에 의해서 생성되는 삼각형의 수는 하나 이하이다. 기본선분에 의해서 생성되는 삼각형이 위와 같은 원칙을 준수하기 위해서는 다음과 같은 순서로 삼각형 자료연결을 하고, 새로 생성된 삼각형 자료연결에 대해서 꼭지점 이름을 다음과 같이 붙인다. 기본선분 혹은 시작선분에 의해서 삼각형으로 연결된 자료는 세 꼭지점을 ABC로 표시한다. 시작선분을 택하기 위해서 시작된 점을 A라 하자. 최초 선택된 시작선분 AB에 대해 거리함수를 사용하여 모든 자료를 검사하고 최소값으로 선택된 점에 대해서 꼭지점 C로 명명한다. 시작삼각형의 생성은 AB가 발견되고 C를 선택한 다음 BC와 AC를 연결하여 시작삼각형을 만든다.(<그림 8> 참고) 이 삼각형의 BC로부터 거리함수를 사용하여 최소가 되는 새로운 점Q를 찾아 일반삼각형이 되도록 연결한다. 이때 BC는 생성되는 삼각형의 기본선분으로 새로 연결되는 일반삼각형의 AB로 새롭게 정의된다. 기본선분 AB와 거리함수 최소값을 만족하는 새로운 점 Q는 생성되는 삼각형의 C 가 된다.(<그림 9> 참고) 역시 다른변 AC에 대해서도 이를 기본선분 AB로 정의하고 거리함수를 이용해서 최소의 거리 상에 위치한 Q를 발견하고 같은 방법으로 새로운 일반삼각형 ABC를 생성한다. <그림 9>의 삼각형 QBC는 삼각형ABC의 선분BC를 기본선분으로 생성되었다. 기본선분으로부터 새로운 삼각형이 완료된 후 새로운 삼각형 QBC의 꼭지점은 새로운 삼각형으로 생성될 때 기본선분 BC는 AB로 새로운 꼭지점 Q는 C로 명명되어 새로운 삼각형이 생성된다.(<그림 9> 참고) 이때 거리함수의 최소값을 만족하는 Q는 기본선분에 대해서 발견될 수 도 있으며 발견되지 못 할 수도 있다. 발견되지 못한 경우는 해당 변에서 삼각형 형태의 자료점 연결을 생성하지 못한다. 삼각형 생성은 일반 삼각형에 대해서 생성을 반복하다가 마지막 삼각형이 생성할 삼각형이 없는 경우 생성을 멈춘다.

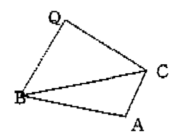

그림 8 시작 삼각형

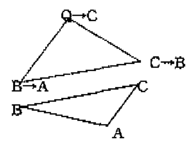

그림 9 일반 삼각형

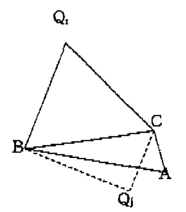

그림 10 Intersection Test

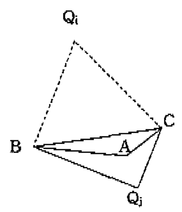

그림 11 Side Test

다. 삼각형 생성 시 고려사항

연결이 완료된 일반삼각형 ABC의 기본선분 BC로부터 Q를 선택할 때 ABC이외의 모든 자료점을 대상으로 하여 BC와 연결한다. <그림 10>과 같이 연결되는 선분 CQ_j가 이미 생성된 삼각형과 교차가 있는 경우 Q_j는 기본선분 BC와 연결대상이 될 수 없다. 이미 생성된 삼각형과 교차가 없는 자료점 Q_i는 새로운 삼각형 연결을 만드는 대상점이 될 수 있으며 대상점 중에서 거리함수가 최소값이 되는 점을 선택한다. 위와 같은 알고리즘에 의해서 Q를 선택할 시 고려 할 사항은 선택된 Q에 의한 새로운 일반삼각형과 기존 삼각형 교차는 꼭지점에서만 가능하고 선분 내에는 없어야 한다. 이러한 교차점 확인을 위한 검사를 Intersection Test 라 하자.

<그림 11>은 시작삼각형 ABC 에서 기본선분 BC로

부터 선택되어진 Q_j가 만드는 삼각형이 A를 포함하고 있다. 만일 삼각형 BCQ_j가 다른 삼각형과 교점도 없고 최소의 거리가 되었다 하더라도 Q_j는 적절한 연결이 될 수 없다. 기본선분 BC는 이미 점 Q_j와 연결을 완료했으므로 Q_i와 연결을 할 수 없다. 또 Q_j는 AC혹은 AB를 기본선분으로 연결할 시 더 작은 최소값으로 선택될 수 있다. 이러한 문제는 대상점 선택 시 Q가 BC를 중심으로 A와 같은 방향에 있는가를 선택하는 검사기능 추가로 해결된다. 위와 같은 검사를 Side Test라 하자.

라. Intersection Test

R^2상의 선분은 1차 방정식 $f(x,y)=0$의 부분집합으로 표시할 수 있다. 기존의 삼각형 연결은 선분을 이용해서 1차 방정식의 부분집합으로 표시할 수 있다. $f_{AB}(i,x,y) = 0$을 i 번째로 생성된 삼각형 연결의 선분AB를 포함하는 1차 방정식이라 하자. 그 선분 양 끝점을 제외하면서 선분을 구성하는 점의 집합을 다음과 같이 정의하자.

$$F_{AB}(i) = \{(x,y) \mid f_{AB}(i,x,y) = 0,\ (x,y) \in \text{기본선분 } AB,\ A \notin F_{AB}(i),\ B \notin F_{AB}(i)\}$$

$$\text{where } i=1, \ldots, \text{기존삼각형의 수}$$

$g_i(x,y)=0$ where $i=A,B$는 기본선분의 한점 i에서 새로운 점 Q를 연결하는 1차 방정식이라 하자.

$$G_i=\{(x,y) \mid g_i(x,y)=0, (x,y) \in \text{선분 } iQ\} \text{ where } i=A,B$$

Intersection Test는 기본선분 AB에 대해서 $\{G_A \cap F_{AB}(i)\} \cup \{G_A \cap F_{BC}(i)\} \cup \{G_A \cap F_{AC}(i)\} \cup \{G_B \cap F_{AB}(i)\} \cup \{G_B \cap F_{BC}(i)\} \cup \{G_B \cap F_{AC}(i)\} = \varnothing$ where $i=1, \ldots,$ 기존 삼각형의 수, 를 만족하는 점 Q를 찾는다.

마. Side Test

R^2상의 기본선분은 1차 방정식 $f(x,y)=0$의 부분집합으로 표시할 수 있다. 삼각형에서 기본선분으로 이용되는 두 점 BC는 1차 방정식$f(x,y)=0$의 부분집합이므로 $f(B_x, B_y)=0$ 이고 $f(C_x,C_y)=0$ 이다. 삼각형 연결상의 제3의 점A는 1차 방정식$f(x,y)=0$의 부분집합이 아니므로 $f(A_x,A_y)<0$ 이거나 $f(A_x,A_y)>0$ 이다. Q를 기본선분을 중심으로 A와 반대되게 선택하기 위해서 $f(Q_x,Q_y)*f(A_x,A_y)<0$ 가 되어야 한다.

6. 연결 알고리즘

가. 연결 조건 검사

자료가 적은 경우 연결시간이 적으나 자료 수가 증가함에 따라 연결대상 자료점과 이미 연결된 삼각형의 개수가 증가함에 따라 선분과 삼각형의 교점여부를 판단하는 시간이 많이 소요되게 된다. Side Test는 기본선분으로부터 연결 가능한 대상점을 선별한다. 기존 연결된 삼각형 세 꼭지점에 대해서 다음과 같이 Side Test를 적용한다면 Intersection Test를 생략 할 수 있다.

(1) Intersection Test 생략 가능한 조건

<그림 12>의 △BCO는 기본선분 AB에 대해서 세꼭지점 모두가 Side Test를 통과하지 못한다. 따라서, 새로 연결 될 선분 AQ, BQ는 이미 연결된 △BCO의 어떤 변과 만날 수 없다. 이 경우 Intersection Test 생략 할 수 있다.

(2) Intersection Test 생략 불가능한 조건

기본선분 AB에 대해서 적어도 한 개의 꼭지점이 Side Test를 통과한 <그림 12>의 △ACD 경우에는 새로 연결 될 선분 AW, BW과 만날 가능성이 있다. 새로 생성되는 삼각형 변과 기존의 삼각형 변이 만날 가능성이 있는 기존의 삼각형에 대해서 Intersection Test 가 필요하다.

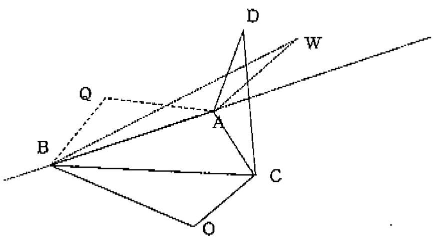

그림 12 Intersection Test 생략 조건

나. 삼각형 연결 알고리즘

```
main()
{
initialize variables /* 변수 초기값 설정*/
read the data set p[num_point] /*num_point는 자료점의 수*/
select a data point for first delta /*시작점의 발견*/
find the nearest point Q from p[num_point] /*시작선분 발견*/
make the first delta D[0] /*D[0]는 시작삼각형*/
if generate D[0] then initialize the following variables
  { flag=1;first=0; last=0; }
  /* first는 기본선분으로 이용되는 삼각형의
  색인을 의미하며 last는 현재까지 생성된 삼각형의
  색인을 의미한다. first=last 의미는 더 이상
  연결된 삼각형이 없는 상태로 연결의 완료를
  의미한다 */
while (flag)
  {
```

```
   last=Makedelta(p,D,first,last,num_point)              /*
generate the delta */
   if ( first == last )
     done /* flag=0 */
   else
     update the index for processing delta /*
     first=first+1 */
  }
}
subprogram Makedelta(p[],D[],first,last,num_point)
{
/* 배열 p는 각 원소마다 x,y,z 성분을 갖고 있는 자료점
   배열 D는 각 원소마다 삼각형을 나타내는 A,B,C
   성분을 갖고 있다
   bc 는 기본선분
   num_point는 자료점의 수
   last 는 현재까지 생성된 삼각형의 수 */
initialize the variables
get a,b,c from D[first]
side=side_test(b,c,a); /*b,c를 연결하는 기본선분과 a와
의 부호를 조사한다 */
for(i=0;i<num_point;i++) /* 모든 자료점을 대상으로 D
함수를 계산하기 위한 q를 설정한다 */
{
 q=p[i];
 if(side*side_test(b,c,q)<0)
  {
  if(q is not in delta ABC) /*q는 삼각형의 꼭지점
ABC가 아닌경우*/
   { for(j=0;j<=last;j++)
      if(side*side_test(b,c,x1)<0                      or
side*side_test(b,c,x2)<0 or side*side_test(b,c,x3)<0)
        {         /* 이미 만들어진 삼각형j의 꼭지점을
x1,x2,x3라 하자*/
          if(line x1x2 and line bq have a intersection)
          break;
          if(line x1x2 and line cq have a intersection)
          break;
          if(line x2x3 and line bq have a intersection)
          break;
          if(line x2x3 and line cq have a intersection)
          break;
          if(line x3x1 and line bq have a intersection)
          break;
          if(line x3x1 and line cq have a intersection)
          break;
        };
      if(break does not happen during for loop)
          then calculate function D(b,c,q) and keep
          keeper=q for min D(b,c,q)
    }
  }
}
if(keeper not empty)
{ /* 일반삼각형 하나를 임시로 만들고, 그 삼각형이름
을 D_temp라 한다.*/
    D_temp.a=FIX.b;
    D_temp.b=FIX.c;
    D_temp.c=keeper;
    if(D_temp is new delta)
     { increase the number of delta /* last=last+1*/
          put D_temp in delta list D[last];
     }
 }
repeat the same procedure for line ac. /*AC를 기본
선분으로 같은 처리 절차 반복*/
if(first=0) repeat the same procedure for line ab. /*
시작삼각형의 경우 AB를 기본선분으로 같은 처리 절차
반복*/
return(last)
}
```

7. 실 험

제안된 이론에 대한 컴퓨터 모의실험을 위하여 알고리즘을 C를 사용하여 구현하였다. 자동 생성된 등치선도는 PCX 파일로 출력하였다. PCX파일은 640 X 480 크기로 실험결과를 표현하였다. PCX 파일은 이미 개발된 프로그램을 이용하였다.[9,10,11] 실험의 자료점은 pixel 단위로 추출하였다. 계산은 실수를 이용하여 계산하고 PCX 파일에 표기시 정수형으로 자료를 표기하고 자료점도 정수형으로 자료가 나타내는 실수에 가장 가까운 정수로 표기하였다.

가. 정사각형 격자점 추출

일반적으로 등치선도를 자동 생성하는 알고리즘에서는, 규칙적인 정사각형의 격자로 구성된 자료 추출점을 가정한다. 아울러, 모든 격자점에서 필요한 자료 값이 추출되었다고 가정을 하는데, 실제로 관측된 자료들은 모든 격자점에 대하여 정의되지 못하는 경우가 많다. 따

라서, 자료가 정의되지 않은 격자점에 대해서는 보간법을 사용하여 자료를 추정하게 된다. 첫 번째 실험은 본 논문에서 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘처럼 규칙적인 정사각형 격자점에서 추출된 자료들을 처리할 수 있는 가능성을 점검하였다. 실험에 다음과 같은 수학적인 모델을 자료로 사용하였다.

$$f(x,y)=100+100*\cos(2\pi(x^2+y^2))$$
$$x=(i-320)/640 \quad i=0,\ 10,\ 20,\ \cdots$$
$$y=(j-240)/640 \quad j=0,\ 10,\ 20,\ \cdots$$

위 실험에서 자료는 규칙적인 정사각형으로 추출되었다. 가로축으로 16개를 설정하고, 세로축으로 12개를 설정하여 총 16×12 = 192개의 자료를 추출하였다. 추출된 자료의 연결 상태는 <그림 13>에 나타난 것과 같다. 직각 이등변 삼각형을 이용하여 정사각형 자료 연결을 처리하고 있다. 자료는 가장 높은 값을 중심으로 시작점이 형성되고, 시작점을 중심으로 거리함수의 최소값을 이용하여 시작선분을 마련하고 시작선분을 중심으로 최소치 거리함수를 이용하여 시작삼각형을 형성하였다. 시작삼각형의 변이 기본선분이 되어 새로운 일반삼각형이 형성되었다. 일반삼각형의 변을 기본선분으로 새로운 일반삼각형을 형성하였다. <그림 13>에 나타난 숫자는 기록된 지점에서 추출된 자료값의 정수표현이다. <그림 13>을 보면 등치선도를 작성하기 이전에 자료의 연결상태가 자료의 최대 값을 중심으로 자료가 분포된 상태를 짐작하게 된다. <그림 14>은 자료가 연결된 상태와 등치선이 함께 표시된 그림이며 등치선도는 자료 최고값에서 5씩 감한 10개의 등치선도를 표시하였다. 등치선도 작성시 자료를 선형보간법을 사용하여 자료를 연결하였다. <그림 15>는 자료연결점은 표기하지 않고 등치선도만을 표시한 것이다.

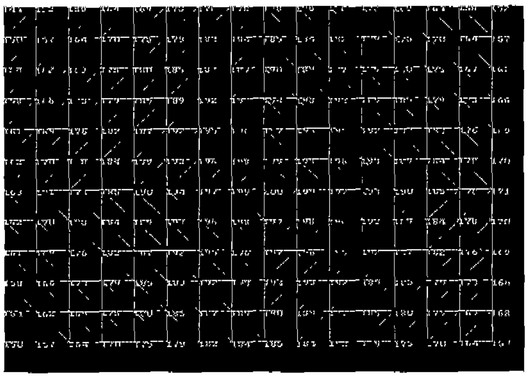

그림 13 삼각형을 가지고 정사각형 격자 모양의 자료를 처리

그림 14 격자와 등치선을 함께 표현

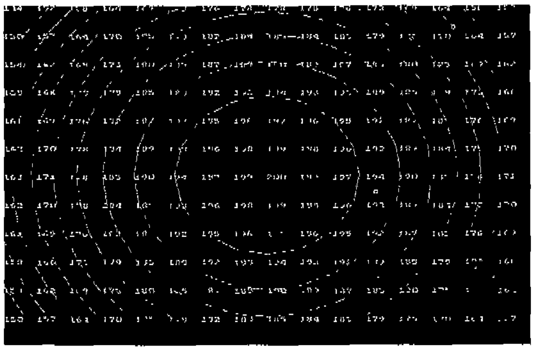

그림 15 등치선도만 표현

나. 불규칙한 비 격자점 자료추출

새로 제안된 등치선도 작성을 위한 자료연결 알고리즘이 기존의 자료연결을 포함할 수 있다는 것을 앞의 실험을 통해 보였다. 두 번째 실험에서는, 임의의 불규칙한 비 격자점 자료(표 1)에 대하여 실험하였다.

표 1

x	y	z	x	y	z	x	y	z
100	80	7	240	112	4	550	96	3
60	144	3	300	48	4	460	144	4
60	240	2	300	160	8	450	192	5
80	320	6	300	272	3	510	240	6
130	384	9	340	368	2	490	304	8
110	176	8	330	448	5	550	336	2
132	272	5	400	48	5	520	416	6
70	432	8	370	128	6	600	48	4
170	464	3	380	208	9	610	128	9
190	64	6	400	272	7	560	192	5
170	128	9	440	368	9	610	224	4
190	192	6	410	432	3	620	288	3
190	320	7	470	464	2	600	384	7
240	400	4	490	64	7			

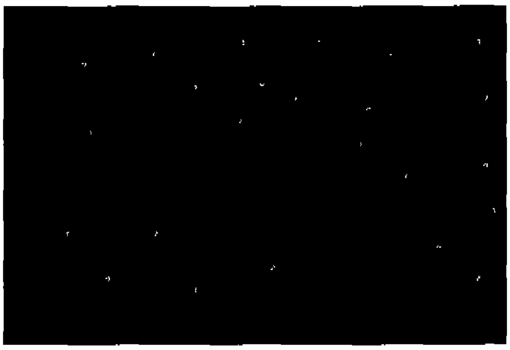

그림 16 불규칙한 위치에서 추출된 자료

<그림 1>에 예시된 모의 관측 기상 자료를 컴퓨터 화면 비례로 측정하여 표 1과 같은 자료를 구성하였다. 표 1의 자료를 컴퓨터 화면에 표시한 것이 <그림 16>이다. 새로 제안된 알고리즘에 의해서 <그림 16>의 자료들이 추출된 점들을 제안된 알고리즘으로 처리하여 삼각형으로 연결한 상태를 보면 <그림 17>와 같은 모양이다. 시작점은 자료값 중 제일 큰 값을 선별하고 같은 큰 값에 대해서 화면위치상 비교적 중심에 위치한 자료점을 시작점으로 하였다. 시작점에서 거리함수를 사용하여 시작선분을 찾고, 시작선분에 대해서 시작삼각형을 형성하였다. 시작삼각형의 각 변은 기본선분이 되어 일반삼각형을 형성하였다. 자료는 정사각형, 직사각형, 정삼각형과 같은 규칙적인 격자로 표현된 것이 아니라 일반삼각형을 이용하여 연결하였다. <그림 18>는 등치선도만 나타난 그림이다. <그림 19>은 <그림 2>와 같이 부드러운 연결을 보이며 <그림 18>의 직선연결 양쪽 끝부분 25%지점에서 Bezier Curve를 적용하여 직선을 곡선으로 부드럽게 표시한 등치선도 스케치를 나타낸 것이다.

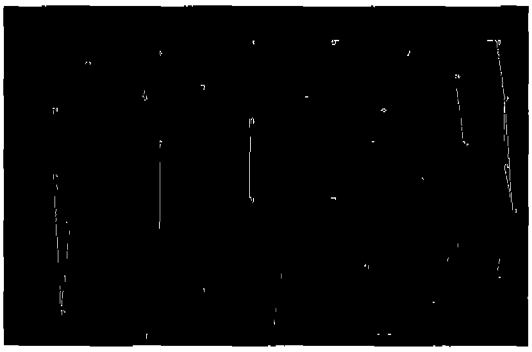

그림 17 자료가 추출된 점들을 삼각형으로 연결

그림 18 등치선도

그림 19 곡선으로 모서리를 부드럽게 처리한 등치선도

다. 정사각형 격자점 방식과의 비교

제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘을 비교하여 보자. 기존의 방법은 정사각형 격자 모양의 추출점들을 가정하고 각 격자점 마다 자료값을 보간하여 만든 다음 등치선을 구하는 방법이다. 이 방법에서 사용되는 거리 가중 선형 보간법은 분산되어 있는 데이타들을 규칙적인 격자들에 보간하는 간단한 알고리즘으로 다음 식에 근거하여 격자에서의 자료를 구한다. 갖고 있는 자료가 p= 1 ~ m 일 때 임의의 한 자료 좌표를 (x_p, y_p, z_p)라 하자. 규칙적인 격자상의 각 점을 x_i, y_j 라 할 때 z_{ij} 값은 다음과 같이 구한다.

$$z_{ij} = \frac{\sum_{p=1}^{p=m} \frac{z_p}{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2}}{\sum_{p=1}^{p=m} \frac{1}{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2}}$$

(표 1)에 예시된 자료를 가지고 거리 가중 선형 보간법을 적용한 후 등치선을 구하면 <그림 20>에 나타난 것 과 같다. 기존의 알고리즘은 불규칙적으로 추출된 자료에서는 등치선도를 구할 수 없어서 보간법을 이용하여 모든 격자점에 자료를 정의한다.

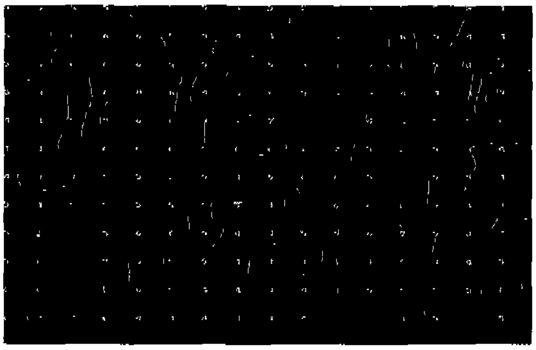

그림 20 규칙적인 사각형 격자점을 기반으로 한 등치선도

그런데, 이러한 경우 자료 값이 손상되는 경우가 발생한다. 본 실험의 경우에도, <그림 20>을 보면 원래 자료 값에서 최대로 큰 값인 "9"와 제일 작은 값인 "2"가 보이지 않는다. 그 이유는 그 값들이 정해진 격자점에 정의되지 않아서 보간법을 적용하는 과정에서 자료를 사용하지 않았기 때문이다.

위의 예제에서, 기존 알고리즘인 격자점 방식의 경우, 격자점 221 (= 17*13) 개에서 얻어진 자료를 처리하여야 하는데 반하여, 제안한 알고리즘을 사용하는 경우 41개의 추출된 실제 자료만을 가지고도 자료의 왜곡 없이 기상도를 작성할 수 있게 된다. 따라서, 적은 해상도의 자료를 가지고도 등치선도를 그릴 수 있게 된다. 시간과 비용의 면에서 볼 때, 적지 않은 절약이 되는 것이다. 그리고 제안된 알고리즘을 사용하여 생성된 기상도가 (<그림 18>와 <그림 19>) 기상 전문가가 그린 기상도인 <그림 2>와 비교하여 보면 거의 특징이 유사하다고 볼 수 있다.

8. 결론 및 향후과제

본 논문에서 제안된 등치선 자동 생성 알고리즘은 등치선도 작성을 위한 자료점 연결의 일반화 방안이라 할 수 있다. 그 이유는 다음과 같다.

① 제안된 자료연결 알고리즘은 일반적으로 많이 사용하는 등치선도 작성을 위한 규칙적인 사각형 기반의 격자점 자료 연결의 특징을 포함한다. 자료점은 삼각형 연결을 통해서 정삼각형, 정사각형, 직사각형, 일반삼각형으로 연결 할 수 있다. 또한 규칙적인 격자점을 통한 연결은 제안된 삼각형 자료연결의 특수한 경우라 할 수 있다.

② 제안된 자료연결 알고리즘은 자료분포에 영향을 받지 않는다. 자료가 정확히 추출된 경우, 기존의 방법처럼 자료를 보간법을 통하여 규칙적인 격자점에 맞추어 변환하지 않고, 삼각형 연결 방식을 통해 등치선도를 직접 작성 할 수 있다.

③ 일반적으로 격자점 이외 지점에서 추출된 자료를 이용할 경우, 기존 알고리즘은 격자점 값을 적당한 보간법을 사용하여 값을 추정한다. 제안된 자료연결 알고리즘은 자료가 추출된 점을 등치선도 작성에 직접 사용하여 오차를 줄일 수 있다. 불규칙한 비 격자점에서 규칙적인 격자점의 값은 보간법을 이용하여 구하며 등치선은 격자점 사이의 보간법을 이용하여 얻는다. 이때 격자점을 얻기 위한 1차 오차와 등치선을 얻기 위해 적용한 보간법의 2차 오차는 일반적인 자료연결 알고리즘에서 피할 수 없다. 제안된 자료연결 알고리즘은 위와 같은 오차 중 1차 오차를 방지 할 수 있다.

본 알고리즘의 삼각형 구성은 컴퓨터 그래픽스에 다음과 같이 응용 할 수 있다. 제안된 자료연결 알고리즘은 주어진 자료점에 대해서 거리함수를 이용하여 삼각형 연결을 한다. 컴퓨터 그래픽스에서 3차원 입체는 삼각형을 이용해서 표시한다. 삼차원 자료 표현을 위한 컴퓨터 그래픽스의 삼각형 객체는 수작업으로 측정하여 삼각형 평면조각을 만드는 데 본 알고리즘은 평면에 투영되는 부분에 중복이 없는 경우 추출된 3차원 자료에 대해서 삼각형 평면조각을 자동적으로 생성한다. 이렇게 얻어진 삼차원 표현을 위한 삼각형 객체는 일반적으로 공개된 3차원 입체를 표현하는 프로그램을 이용하여 입체적으로 표현 할 수 있다. [9,12,13]

본 연구의 최종 목표는 기상도와 같이 시간에 따라서 추출장소와 자료값이 자주 변하는 자료를 컴퓨터를 통해서 빠른 시간에 등치선도를 정확히 작성하는 데 있다. 본 연구는 그런 작업의 기초적인 단계로서 등치선도 작성을 위한 자료연결을 연구하였다. 실험에서 등치선도 작성에 선형 보간법을 적용하였다. 이는 삼각형 자료연결 상태를 평면으로 가정하여 등치선도를 작성하였다. 평면을 적합한 곡면으로 보정하여 보다 쓸모 있는 기상도를 그려내기 위하여, 자료의 특성을 잘 나타내는 보간법의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 이준, "등치선도 작성을 위한 자료연결에 관한 연구," 연구보고서 KAFA99-1-3-9, 공군사관학교, 1999.

[2] Suffen, K. G., "Contouring Functions of Two Variables," *The Australian Computer Journal*, Vol. 1, No. 3, pp. 102-106, 1984.

[3] Preusser, A. , "Computing Contours by Successive Solution of Quadratic Polynomial Equations," *ACM Transactions on Mathematical Software*,

Vol. 10, No. 4, pp. 463-472, 1964.
[4] Sutcliffe, D. C., "Contouring over Rectangular and Skewed Rectangular Grids - An Introduction," in K. W. Brodlie (Ed.) *Mathematical Methods in Computer Graphics and Design*, Academic Press, pp. 39-62, 1980.
[5] Zyda, M. J., "A Decomposable Algorithm for Contour Surface Display Generation," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 7, No. 2, pp. 129-148, 1988.
[6] 장병태, 이인경, 황치정, "등치선도 자동생성알고리즘", *한국정보과학회 논문지* Vol. 23, No. 4, pp. 351-357, 1996.
[7] 이현찬, 채수원, 체영, *컴퓨터 그래픽스 및 형상 모델링*, 시그마프레스, 1996.
[8] Dewey, Bruce R., *Computer Graphics for Engineers,* New York: Harper & Row., 1988.
[9] Craig A. Lindley, *Practical Ray Tracing in C*, John Wiley & Sons Inc. , 1992.
[10] 주경민 외 2, *Visual Basic Programming Bible Ver. 6.X*, 영진출판사, 1999.
[11] 이상엽, *Visual C++ Programming Bible Ver. 6.X*, 영진출판사, 1998.
[12] Melvin J. Maron, *Numerical Analysis: A Practical Approach*, 1985.
[13] Leendert Ammeraal, *Programming Principles in Computer Graphics (2nd Edition)*, John Wiley & Sons Inc. , 1994.
[14] 위영철, "디루니 삼각분할의 병렬처리 알고리즘",정보과학회 논문지 : 시스템 및 이론 Vol 23. No. 3 pp155-159, 2001

이 준

1981년 공군사관학교 졸업. 1988년 미해군대학원 컴퓨터 공학 석사. 1994년 Univ. of Florida 컴퓨터 공학 박사. 1995년 ~ 1997년 공군사관학교 전산소장. 1995년 ~ 현재 공군사관학교 전산학과 조교수. 관심분야는 컴퓨터 그래픽, 패턴인식, 암호

김 지 인

1982년 서울대학교 전자계산기공학과 학사. 1984년 KAIST 전산학과 석사. 1993년 University of Pennsylvania CIS 박사. 1982년 ~ 1987년 금성통신 (주) 연구원. 1993년 ~ 1995년 미국 CCCC 연구원. 1995년 ~ 2001년 건국대학교 컴퓨터공학과 조교수. 2001년 ~ 현재 건국대학교 인터넷미디어학부 부교수. 관심분야는 그래픽스, HCI, 가상현실, 등