



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0077576
(43) 공개일자 2010년07월08일

(51) Int. Cl.

G06F 9/44 (2006.01) G06F 17/10 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0135555

(22) 출원일자 2008년12월29일

심사청구일자 2008년12월29일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

민조홍

경기도 군포시 금정동 쌍용아파트 102-306

(74) 대리인

김정대

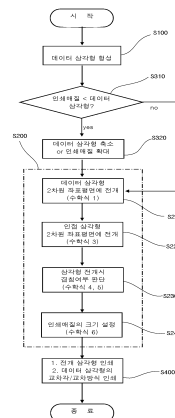
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법 및 이에 의해 제조된 3차원 입체물

(57) 요약

본 발명은: 다수개의 삼각형들의 조합으로 3차원 입체물을 제작하기 위한 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법 및 이에 의해 인쇄된 삼각형들을 조합하여 제조된 3차원 입체물을 개시한다. 여기서, 상기 3차원 입체물 제작용 삼각형 전개도 제조방법은: 3차원 입체물 모델 이미지의 표면을 다수개의 삼각형들로 표현하는 (a)단계; 및 상기 다수개의 삼각형들을 2차원 좌표평면상에 이동시켜 전개하는 (b)단계;를 포함하여 이루어진다. 본 발명에 따르면, 입체적 모형이나 구조물을 제조하기 위하여, 입체적 이미지의 3차원 모델 표면을 분할하도록 공간좌표상에 위치된 삼각형들을 공간좌표상에서 평면좌표상으로 전개하여 인쇄하므로 3차원 입체물의 외형을 제조하는데 편리한 잇점이 있다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

다수개의 삼각형들의 조합으로 3차원 입체물을 제작하기 위한 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법으로서,

3차원 입체물 모델 이미지의 표면을 다수개의 데이터 삼각형들로 표현하는 (a)단계; 및

상기 다수개의 데이터 삼각형들을 2차원 좌표평면상에 이동시켜 전개하는 (b)단계;를 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (b)단계는; 상기 3차원 입체물 모델 표면상의 상기 다수개의 데이터 삼각형들에 포함되는 삼각형(T_1)을 하기 수학적 식 1을 이용하여 상기 2차원 좌표평면상에 이동시켜 전개 삼각형($T_1' = \triangle P_1' P_2' P_3'$)으로 위치시키는 (b1)단계를 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

[수학적 식 1]

$$\begin{aligned} P_1' &= (0, 0) \\ P_2' &= (l_3, 0) \\ P_3' &= \begin{cases} \left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l_1^2}{2l_3}, \frac{\sqrt{4l_2^2 l_3^2 - (l_2^2 + l_3^2 - l_1^2)^2}}{2l_3} \right) & \text{if } n_1 \cdot (P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1) > 0 \\ \left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l_1^2}{2l_3}, -\frac{\sqrt{4l_2^2 l_3^2 - (l_2^2 + l_3^2 - l_1^2)^2}}{2l_3} \right) & \text{else} \end{cases} \end{aligned}$$

(상기 수학적 식 1에서, l_1 은 공간상의 점 P_1 , P_2 , P_3 를 세 꼭지점으로 하는 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)의 세 꼭지점 중 P_1 과 마주보는 대변의 길이이고, l_2 은 P_2 와 마주보는 대변의 길이이고, l_3 는 P_3 와 마주보는 대변의 길이임.)

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)이 인쇄될 하나의 인쇄매질과 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)의 크기를 비교하여, 상기 하나의 인쇄매질에 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)의 인쇄가 가능한지 여부를 판단하는 (c)단계를 더 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 (c)단계는; 상기 하나의 인쇄매질에 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)에 대응되는 상기 전개 삼각형 $T_1' = \triangle P_1' P_2' P_3'$ 가 인쇄가능하도록, 상기 삼각형(T_1)을 축소하거나 상기 하나의 인쇄매질을 확대하는 (c1)단계를 더 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (b)단계는; 상기 3차원 입체물 모델 표면상의 상기 다수개의 삼각형들에 포함되는 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)을 기준 삼각형으로 하여 상기 기준 삼각형에 이웃하는 인접 삼각형($T_2 = \triangle P_1 P_2 P_4$)을 하기 수학적 식 3을 이용하여 상기 2차원 좌표평면상에 이동시켜 기준 전개 삼각형 $T_1' = \triangle P_1' P_2' P_3'$ 에 인접하는 인접 전개 삼각형 $T_2' = \triangle P_1' P_2' P_4'$ 로 위

치시키는 (b2)단계를 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

[수학식 3]

$$P'_4 = \begin{cases} \left(\frac{dx'_2 + (l_4 - d)x'_1}{l_4}, \frac{dy'_2 + (l_4 - d)y'_1}{l_4} \right) - \frac{h}{l_4} (y'_1 - y'_2, x'_2 - x'_1) & \text{if } (y'_1 - y'_2)(x'_3 - x'_1) + (x'_2 - x'_1)(y'_3 - y'_1) > 0 \\ \left(\frac{dx'_2 + (l_4 - d)x'_1}{l_4}, \frac{dy'_2 + (l_4 - d)y'_1}{l_4} \right) + \frac{h}{l_4} (y'_1 - y'_2, x'_2 - x'_1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

(상기 수학식 3에서, $d = (l_{2a}^2 + l_{4a}^2 - l_{1a}^2) / (2l_{4a})$ 이며,

$h = \sqrt{l_2^2 - d^2}$ 이고, $P'_1 = (x'_1, y'_1)$, $P'_2 = (x'_2, y'_2)$, $P'_3 = (x'_3, y'_3)$ 이고,

l_{1a} 는 공간상의 점 P_1 , P_2 , P_4 를 세 꼭지점으로 하는 상기 인접 삼각형($T_2 = \triangle P_1 P_2 P_4$)의 세 변 중 P_1 과 마주보는 대변의 길이이고, l_{2a} 는 P_2 와 마주보는 대변의 길이이고, l_{4a} 는 P_4 와 마주보는 대변의 길이로서 상기 기준 삼각형 T_1 의 세 꼭지점 중 P_3 와 마주하는 대변의 길이와 동일함.)

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 (b)단계는; 하나의 인쇄매질에 설정된 상기 2차원 좌표평면상에 복수개의 삼각형들이 인쇄될 때 삼각형들이 상호 겹치는지 여부를 판단하는 (b3)단계를 더 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 (b)단계는; 하나의 인쇄매질에 설정된 상기 2차원 좌표평면상에 복수개의 삼각형들을 인쇄하기 위하여 상기 하나의 인쇄매질의 크기를 결정하는 (b4)단계를 더 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 전개 삼각형들의 인쇄시에 상기 2차원 좌표평면상에 서로 인접하여 이웃하는 전개 삼각형들로 전개되는 데이터 삼각형들의 교차방식을 상기 인쇄매질상에 인쇄하는 (d)단계를 더 포함하여 이루어지는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법.

청구항 9

제1항 내지 제6항 및 제8항 중 어느 한 항의 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법에 의해 전개되어 인쇄된 전개 삼각형들을 조합하여 제조되는 3차원 입체물.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

본 발명은 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 다수개의 삼각형들의 조합으로 3차원 입체물을 제작하기 위한 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법 및 이에 의해 인쇄된 삼각형들을 조합하여 제조된 3차원 입체물에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 컴퓨터 그래픽(Computer Graphics)이나 기계공학등의 분야에서 곡면들은 다수개의 삼각형들의 조합(Triangulation)으로 표현될 수 있는데, 이는 삼각형이 갖는 단순한 성질, 예를 들면 세 점에 의한 표현의 단순성, 선형보간법의 유일성, 유한요소법(Finite Element Method)과의 연동성, 광선 추적법(Ray Tracing) 계산의 용이성 등에 기인한다.

[0003] - 3D 포인트들에 대한 부호거리함수 추출법

[0004] 입체물을 고려할 때, 대부분의 3D 스캐너들(3D scanners)은 클레이 모델(Clay Model)의 표면 상 포인트들(Points)의 위치를 읽는다. 그리고 상기와 같이 스캔된 데이터 포인트들로부터, 상기 데이터 포인트들에 대략 맞는 완전한 표면을 찾아낼 수 있는 변분방법(variational method)이 있다[Zhao].

[0005] 이 방법은 비선형 함수 성분을 최소화하고, 완전함에 따른 손실에 데이터 포인트들을 맞추도록 평탄한 표면을 진전시킨다. 상술한 방법이 맞춤과 완전화 간의 균형을 유지함에도 불구하고, 비선형 함수가 불록이 아닐 수 있고 일반적으로 매우 천천히 비선형 타원 방정식인 미분 강하법의 방정식에 대해 집중되기 때문에, 원치 않는 위치상의 최저점에 집중될 수 있다.

[0006] 이 방법의 속도를 향상시키기 위하여, Zhao 등은 빠른 시뮬레이션을 가능케 하는 대류 방정식(Convective Equation)을 푼다. 표면이 충분히 완전하지 않을 때, 대류 방정식의 특징적인 방향들은 충돌할 수 있어 충돌에 가깝게 적절히 작용하지 않는다. 그리고 비선형 대류 방정식의 경우에, 일반적으로 쇼크(Shocks)라 불리는 이러한 충돌들을 다루기 위한 특별한 처리가 필요하다. 이하에서는 정확하고 안정적으로 작용하는 매우 단순하고 효율적인 방법이 설명된다.

[0007] 상기 스캔된 포인트들을 R^3 평면에 속하는 $P_1, P_2, \dots, P_N$ 으로 나타내도록 하자. 그리고 제로 레벨 집합 $\Gamma = \{x \in R^3 | \phi(x) = 0\}$ 이 이러한 포인트들에 맞는 레벨 함수 $\phi: R^3 \rightarrow R$ 를 찾는다. 개발된 많은 PDE 툴을 경험하기 위해, 상기 표면(Γ)을 가지고 작업하는 대신에 레벨 함수 ϕ 를 가지고 작업한다.

[0008] 여기서 수학자들은 레벨 집합(Γ)이 상기 데이터 포인트들 $P_1, P_2, \dots, P_N$ 을 포함하는 ϕ 를 찾기 원한다. 일반적으로, 동일한 레벨 집합을 갖는 무수히 많은 레벨 함수들이 있지만, 레벨 표면에 대해 부호거리함수인 독특한 레벨함수가 존재한다. 그리고 균일한 격자(x_i, y_j, z_k)와 격자 상의 표본함수 ϕ_{ijk} 가 취해진다. 우리는 이웃하는 데이터 포인트들 간의 가장 넓은 거리인 표본 데이터 포인트들의 해상도보다 격자, $\min(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 의 해상도가 작다고 가정한다. 그리고 세가지 단계로 레벨 함수 ϕ 를 찾는다.

[0009] - 부호거리함수에 대한 Isosurfacing 방법

[0010] 3D 표면을 가시화하는 것을 생각할 때, 많은 경우에 있어, 3D 표면은 연속된 함수의 레벨 집합으로 표현되는데, 이는 함수의 도함수들의 쉬운 조작에 의해 많은 기하학적 양들을 계산할 수 있도록 한다. 감마(Γ)를 함수 $\phi: R^3 \rightarrow \mathbb{R}$ 의 제로레벨 집합이라고 할 때, 표면(Γ)의 법선 벡터(normal vector) $\vec{n}$ 과 평균 곡률 κ 는 다음과 같은 수식에 의해 효율적으로 계산될 수 있다.

$$\vec{n} = \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|}$$

$$\kappa = \nabla \cdot \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right)$$

[0011]

[0012] 어떻게 상기 표면(Γ)를 가시화 할지에 대해 검토하기에 앞서, 함수 $\phi: R^3 \rightarrow R$ 로부터 레벨집합(Γ)을 어떻게 추출할지에 대한 검토가 이루어진다. 일반적으로, 연속함수의 레벨집합을 정확히 추출하는 것이 불가능하다. 인덱스 i, j, k 에 대한 균일한 격자 $\phi_{ijk} = \phi(x_i, y_j, z_k)$ 상에서 취해진 이산함수(Discrete Function)를 가정하자. 각 격자 셀(Grid cell)에 대해, 현재 다항식의 레벨 집합을 정확히 추출할 수 있을 만큼 낮은 정도로 그 여덟 꼭지점에서 ϕ 의 값들에 다항식 보간법(Polynomial Interpolation)을 수행한다. 보간법에서 한 가지 자연스러운 선

택은 세 개의 선의 보간법인 것처럼 보이나, 보간 다항식은 정육면체이고, 표면을 저장하고 조작하기 어렵게 만드는 그 레벨 집합은 곡선이다. 더 나은 대안은 선형 보간법(Linear Interpolation)이다.

[0013] 상기 선형 보간법의 다항식은 선형적이고, 그 레벨 집합은 그 꼭지점들에 의해 쉽게 저장되고 조작될 수 있는 삼각형이거나 4변형 둘중 하나이다.

[0014] 3D에 있어서, 선형 다항식은 네 개의 계수들 $ax + by + cz + d$ 를 가지는 반면, 격자 셀은 여덟 개의 꼭지점들을 가진다. 일반적으로, 모든 격자 꼭지점들을 보간하는 선형 다항식은 없다. 이러한 이유로, 격자 셀은 4개의 꼭지점들을 가지는 4면체로 분해된다. 잘 알려진 분해 방법은 도 1에 도시된 Kuhn 삼각분할법이다.

[0015] 상기 Kuhn 삼각분할법은 직육면체를 여섯 개의 4면체로 분할한다. 이 방법에 따라 격자셀 $[x_0, x_1] \times [y_0, y_1] \times [z_0, z_1]$ 을 다음의 6개의 4면체로 분해한다.

$$\begin{aligned} [x_0, x_1] \times [y_0, y_1] \times [z_0, z_1] = & \text{convex hull} [(x_0, y_0, z_0), (x_1, y_0, z_0), (x_1, y_1, z_0), (x_1, y_1, z_1)] \\ & \cup \text{convex hull} [(x_0, y_0, z_0), (x_1, y_0, z_0), (x_1, y_0, z_1), (x_1, y_1, z_1)] \\ & \cup \text{convex hull} [(x_0, y_0, z_0), (x_0, y_1, z_0), (x_1, y_1, z_0), (x_1, y_1, z_1)] \\ & \cup \text{convex hull} [(x_0, y_0, z_0), (x_0, y_1, z_0), (x_0, y_1, z_1), (x_1, y_1, z_1)] \\ & \cup \text{convex hull} [(x_0, y_0, z_0), (x_0, y_0, z_1), (x_1, y_0, z_1), (x_1, y_1, z_1)] \\ & \cup \text{convex hull} [(x_0, y_0, z_0), (x_0, y_0, z_1), (x_0, y_1, z_1), (x_1, y_1, z_1)] \end{aligned}$$

[0016]

[0017] 상기 분해에 기초하여, 지금부터 우리는 4면체 상에 한정된 레벨 집합을 찾는 것을 검토할 수 있다. 4면체 $\Delta P_0P_1P_2P_3$ 의 꼭지점들에서 정의된 함수 값들 $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \phi_3$ 를 가정하자. 상기 함수 값들을 보간하는 선형 다항식 $\hat{\phi} : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$ 은 $\hat{\phi}(x, y, z) = \phi_0\lambda_0 + \phi_1\lambda_1 + \phi_2\lambda_2 + \phi_3\lambda_3$ 로 주어지는데, 단 $\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$ 과 더불어 $(x, y, z) = \lambda_0P_0 + \lambda_1P_1 + \lambda_2P_2 + \lambda_3P_3$ 이다. 계수들(λ 's)은 4면체의 중심 좌표계라고 부른다.

$$\hat{\phi}(x, y, z) = \begin{bmatrix} \phi_0 & \phi_1 & \phi_2 & \phi_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ P_{0.x} & P_{1.x} & P_{2.x} & P_{3.x} \\ P_{0.y} & P_{1.y} & P_{2.y} & P_{3.y} \\ P_{0.z} & P_{1.z} & P_{2.z} & P_{3.z} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

[0018]

[0019] 혹은

$$\hat{\phi}(x, y, z) = \phi_0 + \begin{bmatrix} \phi_1 - \phi_0 & \phi_2 - \phi_0 & \phi_3 - \phi_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{1.x} - P_{0.x} & P_{2.x} - P_{0.x} & P_{3.x} - P_{0.x} \\ P_{1.y} - P_{0.y} & P_{2.y} - P_{0.y} & P_{3.y} - P_{0.y} \\ P_{1.z} - P_{0.z} & P_{2.z} - P_{0.z} & P_{3.z} - P_{0.z} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x - P_{0.x} \\ y - P_{0.y} \\ z - P_{0.z} \end{bmatrix}$$

[0020]

[0021] 상기 방정식의 단순한 조작으로부터, 우리는 선형 보간법의 기울기를 계산하는 공식을 얻는다.

$$\nabla \hat{\phi} = \begin{pmatrix} P_{1.x} - P_{0.x} & P_{2.y} - P_{0.y} & P_{1.z} - P_{0.z} \\ P_{2.x} - P_{0.x} & P_{2.y} - P_{0.y} & P_{2.z} - P_{0.z} \\ P_{3.x} - P_{0.x} & P_{2.y} - P_{0.y} & P_{3.z} - P_{0.z} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \phi_1 - \phi_0 \\ \phi_2 - \phi_0 \\ \phi_3 - \phi_0 \end{pmatrix}$$

[0022]

[0023] 상기 4면체 $\Delta P_0P_1P_2P_3$ 와 초평면($\Gamma = \{(x, y, z) | \hat{\phi}(x, y, z) = 0\}$) 사이에 세가지 기하학적 구성들이 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 교차가 없거나, 삼각형 또는 4변형의 교차를 만들든지 둘 중 하나다. 도 2의 가운데 그림에 보여진 바와 같이, $\phi_0 > 0$ 이고 $\phi_1, \phi_2, \phi_3 < 0$ 일 때, 레벨 집합은 다음과 같이 주어진다.

$$\Gamma \cap \Delta P_0P_1P_2P_3 = \Delta P_{01}P_{02}P_{03}$$

[0024]

- [0025] 그리고 도 2의 그림들 중 가운데 그림에서 보여진 바와 같이, $\phi_0 > 0$, $\phi_1 > 0$, 및 $\phi_2, \phi_3 < 0$ 일 때, 레벨 집합은 다음과 같이 주어진다.
- [0026] $\Gamma \cap \Delta P_0 P_1 P_2 P_3 = \Delta P_{02} P_{03} P_{13} \cup \Delta P_{02} P_{12} P_{13}$
- [0027] 상기 Kuhn 삼각분할법과 상기 교차 알고리즘의 결합은 비겹침(non overlapping) 삼각형들의 합동으로서 주어진 이산함수 ϕ_{ijk} 의 레벨 집합을 제공하기 위한 방법을 우리에게 준다.
- [0028] 상술한 여러 방법들을 기초로 하여, 소정의 스캐너에 의해 스캔된 3D 입체 표면을 삼각형으로 분할하고 이를 조합하는 Triangulation 방식이 기계공학이나 컴퓨터 그래픽 등 다양한 분야에 적용되고 있으며, 이에 따라 입체적인 피사체를 스캔하여 컴퓨터 화면상에 피사체의 이미지를 구현할 때 스캔된 이미지의 표면, 특히 곡면은 무수한 삼각형의 조합으로 표현될 수 있다.
- [0029] 보다 상세하게는 상기 피사체의 이미지 표면에 무수한 점들(points)이 표현되고, 이들 중 세점을 연결하여 삼각형화함으로써 입체적 피사체의 이미지가 삼각형들의 조합으로 표현될 수 있고 상기 각 점들은 공간좌표로 정의될 수 있는데, 이와 같이 입체적 곡면을 삼각형의 조합으로 표현하는 방식은 캐드(CAD)분야나 컴퓨터 그래픽 분야나 입체물의 스캐닝 분야 등에 일반적으로 잘 알려져 있다.
- [0030] 이에 본 발명자는, 입체적 이미지의 표면에 다수의 격자점을 형성하고 상기 격자점들을 서로 연결하여 상기 입체적 이미지를 삼각형들의 조합으로 표현될 수 있다는 점을 기초로 하여, 스캔된 입체적 이미지나 컴퓨터 그래픽에 의해 구현된 입체적 이미지를 3차원 입체물로 구현하는 방법으로서, 3차원 입체물 모델의 다수개의 삼각형들의 조합으로 표현하고 상기 삼각형들을 2차원 좌표평면상에 이동시켜 삼각형들을 전개시킴으로써 3차원 입체물을 제조하는 삼각형 전개도 제조방법을 발명하게 되었다.

발명의 내용

해결 하고자 하는 과제

- [0031] 본 발명의 목적은, 3차원 입체물 모델 이미지의 표면을 다수개의 삼각형으로 표현하고 상기 다수개의 삼각형들을 2차원 좌표평면상에 이동시켜 인쇄매질을 이용하여 인쇄함으로써 3차원 입체물을 제조하는 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법 및 이에 의해 제조된 3차원 입체물을 제공하기 위한 것이다.
- [0032] 본 발명의 다른 목적은, 삼각형 전개도의 제조시, 삼각형들의 인접성을 최대한 유지시켜 하나의 인쇄매질에 복수개의 삼각형을 인쇄함으로써, 자르고 붙이는 절차를 최소화할 수 있는 삼각형 전개도 제조방법을 제공한다.
- [0033] 본 발명의 또 다른 목적은, 삼각형들이 인쇄되는 인쇄매질의 크기를 최소화할 수 있는 삼각형 전개도 제조방법을 제공한다.
- [0034] 본 발명의 또 다른 목적은, 인접하여 인쇄된 삼각형들을 접을 때 접힘방향을 함께 인쇄매질 상에 함께 인쇄하여 3차원 입체물의 제조를 편리하게 하는 삼각형 전개도 제조방법을 제공한다.

과제 해결수단

- [0035] 상술한 목적을 해결하기 위하여, 본 발명은: 다수개의 삼각형들의 조합으로 3차원 입체물을 제작하기 위한 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법 및 이에 의해 인쇄된 삼각형들을 조합하여 제조된 3차원 입체물을 제공한다. 여기서, 상기 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법은: 3차원 입체물 모델 이미지의 표면을 다수개의 데이터 삼각형들로 표현하는 (a)단계; 및 상기 다수개의 삼각형들을 2차원 좌표평면상에 이동시켜 전개하는 (b)단계를 포함하여 이루어진다.
- [0036] 상기 (b)단계는; 상기 3차원 입체물 모델 표면상의 상기 다수개의 삼각형들에 포함되는 삼각형(T_1)을 하기 수식 1을 이용하여 상기 2차원 좌표평면상에 이동시켜 전개 삼각형($T_1' = \Delta P_1' P_2' P_3'$)으로 위치시키는 (b1)단계를 포함하여 이루어진다.

[0037] [수학식 1]

$$P'_1 = (0, 0)$$

$$P'_2 = (l_3, 0)$$

$$P'_3 = \begin{cases} \left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l_1^2}{2l_3}, \frac{\sqrt{4l_2^2 l_3^2 - (l_2^2 + l_3^2 - l_1^2)^2}}{2l_3} \right) & \text{if } n_1 \cdot (P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1) > 0 \\ \left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l_1^2}{2l_3}, -\frac{\sqrt{4l_2^2 l_3^2 - (l_2^2 + l_3^2 - l_1^2)^2}}{2l_3} \right) & \text{else} \end{cases}$$

[0038]

[0039] (상기 수학식 1에서, l_1 은 공간상의 점 P_1, P_2, P_3 를 세 꼭지점으로 하는 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)의 세 꼭지점 중 P_1 과 마주보는 대변의 길이이고, l_2 은 P_2 와 마주보는 대변의 길이이고, l_3 은 P_3 와 마주보는 대변의 길이임.)

[0040]

본 발명에 따른 삼각형 전개도 제조방법은; 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)이 인쇄될 하나의 인쇄매질과 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)의 크기를 비교하여, 상기 하나의 인쇄매질에 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)의 인쇄가 가능한지 여부를 판단하는 (c)단계를 더 포함하여 이루어지는 것이 좋다.

[0041]

상기 (c)단계는; 상기 하나의 인쇄매질에 상기 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)에 대응되는 상기 전개 삼각형($T'_1 = \triangle P'_1 P'_2 P'_3$)이 인쇄가능하도록, 상기 삼각형과 상기 하나의 인쇄매질 중 어느 하나를 확대하거나 축소하는 (c1)단계를 더 포함하여 이루어지는 것이 좋다.

[0042]

상기 (b)단계는; 상기 3차원 입체물 모델 표면상의 상기 다수개의 삼각형들에 포함되는 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)을 기준 삼각형으로 하여 상기 기준 삼각형에 이웃하는 인접 삼각형($T_2 = \triangle P_1 P_2 P_4$)을 하기 수학식 3을 이용하여 상기 2차원 좌표평면상에 이동시켜 기준 전개 삼각형 $T'_1 = \triangle P'_1 P'_2 P'_3$ 에 인접하는 인접 전개 삼각형 $T'_2 = \triangle P'_1 P'_2 P'_4$ 로 위치시키는 (b2)단계를 포함하여 이루어 질 수도 있다.

[0043] [수학식 3]

$$P'_4 = \begin{cases} \left(\frac{dx'_2 + (l_4 - d)x'_1}{l_4}, \frac{dy'_2 + (l_4 - d)y'_1}{l_4} \right) - \frac{h}{l_4} (y'_1 - y'_2, x'_2 - x'_1) & \text{if } (y'_1 - y'_2)(x'_3 - x'_1) + (x'_2 - x'_1)(y'_3 - y'_1) > 0 \\ \left(\frac{dx'_2 + (l_4 - d)x'_1}{l_4}, \frac{dy'_2 + (l_4 - d)y'_1}{l_4} \right) + \frac{h}{l_4} (y'_1 - y'_2, x'_2 - x'_1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0044]

[0045] (상기 수학식 3에서, $d = (l_{2a}^2 + l_{4a}^2 - l_{1a}^2) / (2l_{4a})$ 이며, $h = \sqrt{l_2^2 - d^2}$ 이고, $P'_1 = (x'_1, y'_1)$, $P'_2 = (x'_2, y'_2)$, $P'_3 = (x'_3, y'_3)$ 이고, l_{1a} 는 공간상의 점 P_1, P_2, P_4 를 세 꼭지점으로 하는 상기 인접 삼각형($T_2 = \triangle P_1 P_2 P_4$)의 세 변 중 P_1 과 마주보는 대변의 길이이고, l_{2a} 는 P_2 와 마주보는 대변의 길이이고, l_{4a} 는 P_4 와 마주보는 대변의 길이로서 상기 기준 삼각형 T_1 의 세 꼭지점 중 P_3 와 마주하는 대변의 길이와 동일함.)

[0046]

그리고 상기 (b)단계는; 하나의 인쇄매질에 설정된 상기 2차원 좌표평면상에 복수개의 삼각형들이 인쇄될 때 삼각형들이 상호 겹치는지 여부를 판단하는 (b3)단계를 더 포함하여 이루어진다.

[0047]

또한, 상기 (b)단계는; 하나의 인쇄매질에 설정된 상기 2차원 좌표평면상에 복수개의 삼각형들을 인쇄하기 위하여 상기 하나의 인쇄매질의 크기를 결정하는 (b4)단계를 더 포함하여 이루어질 수도 있다.

[0048]

한편, 본 발명은 상기 전개 삼각형들의 인쇄시에 상기 2차원 좌표평면상에 서로 인접하여 이웃하는 전개 삼각형들로 전개되는 데이터 삼각형들의 교차방식을 상기 인쇄매질상에 인쇄하는 (d)단계를 더 포함하여 이루어지는 것이 좋다.

효과

[0049]

본 발명에 따른 삼각형 전개도 제조방법에 의하면 다음과 같은 효과가 있다.

[0050]

첫째, 본 발명에 따르면, 입체적 모형이나 구조물을 제조하기 위하여, 입체적 이미지의 3차원 모델 표면에 다수

개의 격자점들을 형성하고 상기 격자점들을 연결하여 형성된 삼각형들을 공간좌표상에서 2차원 평면좌표상으로 전개하여 인쇄하므로 3차원 입체물의 외형을 제조하는데 편리한 잇점이 있다.

[0051] 둘째, 본 발명에 따르면, 삼각형 전개도의 제조시, 삼각형들의 인접성을 최대한 유지시켜 하나의 인쇄매질에 복수개의 삼각형을 인쇄함으로써, 자르고 붙이는 절차를 최소화할 수 있으므로 3차원 입체물의 외형을 제조함에 시간이 단축되고 작업이 간편해지는 잇점이 있다.

[0052] 셋째, 본 발명에 따르면, 삼각형들이 인쇄되는 인쇄매질의 크기를 최소화할 수 있으므로, 인쇄매질에 소요되는 재료의 낭비가 최소화되고 재료비가 절감될 수 있다.

[0053] 넷째, 본 발명에 따르면, 삼각형들을 인쇄매질에 인쇄할 때 상호 겹쳐지는 현상이 방지되므로 작업의 오류를 미연에 제거할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0054] 이하 상기 목적을 구체적으로 실현할 수 있는 본 발명의 바람직한 실시 예가 첨부된 도면을 참조하여 설명된다. 본 실시 예를 설명함에 있어서, 동일 구성에 대해서는 동일 명칭 및 부호가 사용되며, 이에 따른 부가적인 설명 및 중복되는 설명은 하기에서 생략된다.

[0055] 본 발명에 따른 3차원 입체물제작용 삼각형 전개도 제조방법은 삼각형 조합을 위한 기본 단위인 삼각형이 평면 상에 놓일 수 있는 것을 기초로 하여 상기 삼각형들을 2차원 좌표평면으로 이동시켜 전개하고 인쇄함으로써, 3차원 입체물제조를 위한 삼각형들을 생성방법이다.

[0056] 전술한 바와 같이 3차원 입체물의 모델, 예를 들면 컴퓨터 그래픽이나 카드 등에 의해 구현된 입체적 3차원 이미지 또는 실물 피사체를 스캔함으로써 구현된 3차원 이미지는 다수개, 보다 상세하게는 무수히 많은 삼각형들의 조합으로 표현될 수 있는데(S100), 이 때 상기 삼각형들은 상기 3차원 이미지(입체적 이미지)의 표면에 형성된 다수개의 절점(격자점)들을 서로 연결함으로써 형성되며, 상기 각 격자점들은 공간좌표로 표현 가능하여 상기 각 격자점의 좌표에 의해 삼각형 각 변의 길이가 계산될 수 있다.

[0057] 설명의 편의를 위하여 상기 3차원 입체물 모델의 표면을 구현하는 다수개의 삼각형들을 데이터 삼각형들이라 칭한다.

[0058] 이 때, 상기 데이터 삼각형의 크기가 작을 수록 상기 3차원 입체물 모델의 표면, 특히 곡면이 매끄럽게 표현될 수 있는데, 본 발명에 따른 삼각형 전개도 제조방법에 의하면, 상기 데이터 삼각형들을 인쇄매질에 전개시킨 후 이를 절단하여 붙이거나 인접하여 인쇄된 삼각형의 경계선을 구부리는 등의 과정을 하여야 하므로 수작업에 의해 3차원 입체물을 제조할 경우 핸들링(handling) 가능한 크기로 인쇄되는 것이 좋다. 예를 들면 한번의 길이가 최소 2cm가 되도록 설정하는 방식 등에 의할 수 있다.

[0059] 컴퓨터 장치 등을 이용하여 상기와 같이 상기 3차원 입체물 모델 이미지의 표면, 특히 곡면을 갖는 3차원 입체물 모델의 표면에 격자점들을 형성하여 다수개의 삼각형들이 표현되면((a)단계, S100), 상기 데이터 삼각형들을 2차원 좌표평면 상에 이동시켜 전개하는 (b)단계(S200)가 수행된다.

[0060] 여기서, 상기 (b)단계(S200)는, 상기 데이터 삼각형에 포함되는 삼각형을 하기 수학식 1에 의해 2차원 좌표평면 상에 이동시켜 인쇄 기준 삼각형을 상기 좌표평면(R)상에 위치시키는 (b1)단계(S210)를 포함한다. 여기서 상기 2차원 좌표평면(R)은 상기 하나의 인쇄매질(M)상에 설정될 수도 있고, 이에 따라 상기 2차원 좌표평면(R)상에 이동된 삼각형은 상기 하나의 인쇄매질의 표면에 인쇄/프린트된다.

[0061] 논리적으로는 상기 (b)단계 이후에 인쇄단계가 이루어지나, 실질적으로 거의 동시에 수행될 수도 있다.

[0062] 상기 삼각형을 공간상의 점 P_1, P_2, P_3 를 세 꼭지점으로 하는 $T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$ 이라고 가정할 때, 상기 삼각형에 대응되도록 상기 2차원 좌표평면(R)상에 이동되어 전개된 전개 삼각형은 $T_1' = \triangle P_1' P_2' P_3'$ 로 정의한다.

수학식 1

$$P'_1 = (0, 0)$$

$$P'_2 = (l_3, 0)$$

$$P'_3 = \begin{cases} \left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l_1^2}{2l_3}, \frac{\sqrt{4l_2^2 l_3^2 - (l_2^2 + l_3^2 - l_1^2)^2}}{2l_3} \right) & \text{if } n_1 \cdot (P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1) > 0 \\ \left(\frac{l_2^2 + l_3^2 - l_1^2}{2l_3}, -\frac{\sqrt{4l_2^2 l_3^2 - (l_2^2 + l_3^2 - l_1^2)^2}}{2l_3} \right) & \text{else} \end{cases}$$

[0063]

[0064]

(상기 수학식 1에서, l_1 은 공간상의 점 P_1 , P_2 , P_3 를 세 꼭지점으로 하는 기준 삼각형($T_1 = \triangle P_1 P_2 P_3$)의 세 꼭지점 중 P_1 과 마주보는 대변의 길이이고, l_2 은 P_2 와 마주보는 대변의 길이이고, l_3 는 P_3 와 마주보는 대변의 길이임.)

[0065]

도 3 및 도 4를 참고하여 보다 상세하게 설명하면, 상기 데이터 삼각형들이 다수개의 인쇄매질에 분할되어 인쇄되는 경우, 예를 들면 각 인쇄매질에 적어도 하나의 데이터 삼각형들이 인쇄될 때, 상기 데이터 삼각형들의 인쇄과정에서 삼각형의 안과 밖이 바뀌지 않도록 $\triangle P_1 P_2 P_3$ 의 면벡터(n_1)에 대한 방향과 $\triangle P'_1 P'_2 P'_3$ 의 $(0, 0, 1)$ 에 대한 방향을 맞춰져야 상기 인쇄매질에서 삼각형을 잘라서 다른 삼각형들에 붙일 때 조합이 용이하다.

[0066]

다시 말해서, 전개 삼각형들이 인쇄될 인쇄매질들의 표면이 모두 3차원 입체물의 외부표면이 되거나 내부 표면이 되도록 면벡터의 방향이 통일되어야 전개 삼각형들의 조합이 용이하게 된다.

[0067]

따라서 상기 인쇄매질 각각의 2차원 좌표평면상에 이동될 데이터 삼각형의 면벡터(normal Vector)를 고려할 때, P'_3 의 좌표가 상기 수학식 1에서와 같이 두가지 경우로 결정된다. 즉 $n_1 \cdot (P_2 - P_1) \cdot (P_3 - P_1)$ 이 제로(0)보다 크지 않을 경우 P'_3 의 좌표에 (-)부호를 붙여서 기준 삼각형들의 방향을 통일화한다.

[0068]

한편, 상기 수학식 1에서는 P'_1 의 좌표를 $(0, 0)$ 으로 설정하였으나, 이를 x-y 좌표계의 (x_1, y_1) 으로 할 수도 있음은 자명하다. 이러한 경우 상기 P'_1 의 좌표가 $(0, 0)$ 에서 (x_1, y_1) 으로 이동된 거리와 방향 만큼 P'_2 와 P'_3 의 좌표도 각각 이동하여 (x_2, y_2) 와 (x_3, y_3) 으로 표현될 수 있으며, 이는 수학분야에서 일반적인 내용이므로 추가적인 설명은 생략된다.

[0069]

여기서, 하나의 인쇄매질에 하나의 데이터 삼각형이 인쇄된다고 가정하면, 상기 데이터 삼각형들의 전개에 필요한 인쇄매질의 수가 상기 데이터 삼각형들의 수와 동일하게 되며, 모든 데이터 삼각형들 각각을 상기 수학식 1을 이용하여 2차원 좌표평면상에 전개하고 이들을 각각 다른 인쇄매질상에 인쇄하여 전개하며, 상기 삼각형 T_1 이 특정의 삼각형만을 지칭하는 것이 아니라 임의의 데이터 삼각형을 말한다.

[0070]

상기와 같이 상기 데이터 삼각형(T_1)을 상기 하나의 인쇄매질(M) 상에 인쇄하기 위해서는 상기 하나의 인쇄매질(M)이 상기 데이터 삼각형(T_1)의 인쇄가 가능한 크기가 되어야 한다.

[0071]

이를 위하여, 본 발명은 상기 하나의 인쇄매질(M)과 상기 데이터 삼각형(T_1)의 크기를 비교하여, 상기 하나의 인쇄매질에 상기 데이터 삼각형의 인쇄가 가능한지 여부를 판단하는 (c)단계(S310)를 더 포함하여 이루어지는 것이 좋다. 물론, 상기 하나의 인쇄매질이 충분히 큰 경우 이러한 (c)단계가 필요없을 수도 있으나, 일반적으로 규격화된 소형 사이즈의 인쇄매질인 경우에는 상기 하나의 인쇄매질에 상기 데이터 삼각형의 인쇄가 가능한지 여부가 판단되는 것이 좋다.

[0072]

예를 들어, 상기 하나의 인쇄매질(M)이 가로(w) x 세로(h)인 직사각형이라고 가정할 경우, 상기 하나의 인쇄매질에 상기 데이터 삼각형의 인쇄가 가능한지 여부를 판단하는 일 예로서 하기 수학식 2를 적용될 수 있다.

수학식 2

$$2 \cdot l_{\text{longest}} \leq \min(w, h)$$

[0073]

[0074]

여기서 l_{longest} 는 데이터 삼각형의 세 변 중 가장 긴변을 말하며, 상기 가장 긴변이 직사각형의 인쇄매질의 가로

와 세로 길이 중 작은 변의 (1/2)보다 작거나 같으면 어떠한 경우에도 상기 데이터 삼각형이 상기 인쇄매질을 벗어나지 않고 인쇄될 수 있다.

[0075] 예를 들어, 상기 데이터 삼각형의 가장 긴변(l_{longest})의 꼭지점이 P_1 과 P_2 이고, 상기 인쇄매질이 가로가 세로에 비해 짧은 직사각형인 경우, 상기 가장 긴변(l_{longest})이 인쇄매질의 가로길이의 (1/2)보다 작거나 같으면 어떠한 경우라도 꼭지점 P_1 과 P_2 를 잇는 선을 반지름으로 하는 반원내에 P_3 가 인쇄될 수 있다.

[0076] 그러나, 상기 수학식 2가 만족되지 않을 경우에는, 상기 하나의 인쇄매질에 상기 데이터 삼각형($T_1=\triangle P_1P_2P_3$)에 대응되는 상기 $T_1'=\triangle P_1'P_2'P_3'$ 상이 인쇄가능하도록, 상기 데이터 삼각형(T_1)을 축소하거나 상기 하나의 인쇄매질의 크기를 확대하는 (c1)단계(S320)가 수행되는 것이 좋다.

[0077] 여기서 상기 (c)단계는 상기 (b1)단계의 이전이나 이후 또는 동시에 수행될수도 있다.

[0078] 상기와 같이 상기 하나의 인쇄매질에 하나의 데이터 삼각형만이 인쇄될 수도 있으나 복수개의 삼각형들이 동시에 또는 순차적으로 함께 인쇄될 수 있다.

[0079] 보다 상세하게 설명하면, 상기 3차원 입체물 모델 이미지의 표면의 격자점들을 연결하여 형성되는 상기 다수개의 데이터 삼각형들에 포함되는 상기 삼각형($T_1=\triangle P_1P_2P_3$)을 기준으로 하여 상기 삼각형($T_1=\triangle P_1P_2P_3$)에 이웃하는 인접 삼각형($T_2=\triangle P_1P_2P_4$)을 하기 수학식 2를 이용하여 상기 2차원 좌표평면상에 이동시켜 상기 $T_1'=\triangle P_1'P_2'P_3'$ 에 인접하는 $T_2'=\triangle P_1'P_2'P_4'$ 로 위치시키는 (b2)단계(S220)를 수행하여, 하나의 인쇄매질에 복수개의 삼각형을 인쇄할 수도 있다.

수학식 3

$$P_4' = \begin{cases} \left(\frac{dx_2' + (l_4 - d)x_1'}{l_4}, \frac{dy_2' + (l_4 - d)y_1'}{l_4} \right) - \frac{h}{l_4} (y_1' - y_2', x_2' - x_1') & \text{if } (y_1' - y_2')(x_3' - x_1') + (x_2' - x_1')(y_3' - y_1') > 0 \\ \left(\frac{dx_2' + (l_4 - d)x_1'}{l_4}, \frac{dy_2' + (l_4 - d)y_1'}{l_4} \right) + \frac{h}{l_4} (y_1' - y_2', x_2' - x_1') & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0080]

[0081] (상기 수학식 3에서, $d=(l_{2a}^2 + l_4^2 - l_{1a}^2)/(2l_{4a})$ 이고, $h = \sqrt{l_2^2 - d^2}$ 이며,

[0082] $P_1'=(x_1', y_1')$, $P_2'=(x_2', y_2')$, $P_3'=(x_3', y_3')$ 이고, l_{1a} 는 공간상의 점 P_1 , P_2 , P_4 를 세 꼭지점으로 하는 상기 인접 삼각형($T_2=\triangle P_1P_2P_4$)의 세 변 중 P_1 과 마주보는 대변의 길이이고, l_{2a} 는 P_2 와 마주보는 대변의 길이이고, l_4 는 P_4 와 마주보는 대변의 길이로서 상기 삼각형 T_1 의 세 꼭지점 중 P_3 와 마주하는 대변의 길이와 동일함.)

[0083] 상기 삼각형(T_1)을 기준 삼각형이라 칭할 때, 상기 기준 삼각형을 기준으로 하여 상기 인접 삼각형(T_2)을 인접하여 2차원 좌표평면상에 전개시키며, 상기 기준 삼각형(T_1)과 상기 인접 삼각형(T_2)은 상기 데이터 삼각형들 중에서 한변을 공유하는 삼각형으로서, 하나의 인쇄매질에 복수개의 삼각형을 서로 인접하게 전개하여 인쇄하면 자르고 붙이는 작업을 구부리는 작업으로 대체할 수 있으므로 3차원 입체물의 제작이 편리하게 된다.

[0084] 상세하게 설명하면, 상기 기준 삼각형 $T_1=\triangle P_1P_2P_3$ 은 전술한 수학식 1에 의해 기준 전개 삼각형($T_1'=\triangle P_1'P_2'P_3'$)으로 위치하게 된다. 이 때 P_1 과 P_2 를 잇는 상기 삼각형 T_1 의 한변에 대해 이웃하는 인접 삼각형 $T_2=\triangle P_1P_2P_4$ 가 주어질 때, T_2 는 상기 수학식 3에 의해 2차원 좌표평면 상의 인접 전개 삼각형 $T_2'=\triangle P_1'P_2'P_4'$ 로 위치된다.

[0085] 상기 인접 삼각형 $T_2=\triangle P_1P_2P_4$ 과 이에 대응되는 인접 전개 삼각형 $T_2'=\triangle P_1'P_2'P_4'$ 로 동일한 크기, 즉 1:1의 비율로 전개될 때, 상기 인접 삼각형 T_2 과 인접 전개 삼각형 T_2' 는 같은 변의 길이를 가지므로, 이미 고정된 상술한 수학식 1을 이용하여 설정될 수 있는 $P_1'=(x_1', y_1')$, $P_2'=(x_2', y_2')$ 에 대해 l_{1a} 와 l_{2a} 만큼 떨어진 거리에 위치하는

점 P_4' 는 도 5에서와 같이 다음과 같이 두가지(P_4' 과 P_4'')가 존재하게 된다.

$$P_4' = \left(\frac{dx_2' + (l_4 - d)x_1'}{l_4}, \frac{dy_2' + (l_4 - d)y_1'}{l_4} \right) \pm \frac{h}{l_4} (y_1' - y_2', x_2' - x_1')$$

이 때, P_4' 는 P_3' 의 반대쪽에 위치하여야 하므로, 위 두가지 경우 중 한 경우로서, 그 조건은 상기 수학식 3에 정의된 바와 같이 $(y_1' - y_2')(x_3' - x_1') + (x_2' - x_1')(y_3' - y_1') > 0$ 인지 여부를 기준으로 한다.

상기와 같이 T_1' 에 인접하여 T_2' 가 T_1' 의 다른 변과 또 다른 나머지 변에 각각 인접하는 T_3' 와 T_4' 를 전개한다.

다음으로, 하나의 인쇄매질에 설정된 2차원 좌표평면상에 복수개의 삼각형들이 위치하게 될 때, 이들이 상호 겹치는지 여부를 판단하는 (b3)단계(S230)가 수행되는 것이 바람직하다. 다시 말해서 하나의 인쇄매질에 복수개의 데이터 삼각형들이 전개되어 삼차원에서 서로 이웃하는 데이터 삼각형들이 2차원 좌표평면에서도 이웃하게 위치 되도록 상기 하나의 인쇄매질에 다수개의 삼각형이 인쇄되는 경우, 어느 하나의 삼각형이 다른 삼각형들과 서로 겹치는지 여부에 대한 판단이 필요하다.

일 예로서, 드브아브르 정리,

$T' \cap \{T_1' \cup T_2' \cup \dots \cup T_K'\} = \bigcup_{i=1}^K (T' \cap T_K')$ 에 의해, 각 T' 와 T_i' 의 삼각형들의 교집합이 존재하는지 여부를 판단하면 된다. 도 6을 참조하면, 2차원 좌표평면에서 두가지 삼각형의 교집합이 생기는 경우는, 일측 삼각형의 어느 한 꼭지점이 다른 삼각형의 내부에 위치하던가 또는 일측 삼각형과 다측 삼각형의 변이 서로 교차하는 경우이다.

예를 들어 2차원 좌표평면에 $\triangle P_1'P_2'P_3'$ 와 $\triangle Q_1'Q_2'Q_3'$ 가 있을 때, 두 삼각형의 교집합이 생기는지 여부는 판단하기 위해, 먼저 일 지점(Q_1')이 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이 $\triangle P_1'P_2'P_3'$ 내부에 위치하는지를 하기의 수학식 4를 이용하여 Q_1' 의 $\triangle P_1'P_2'P_3'$ 에 대한 무게중심좌표(Barycentric Coordinates)가 양수일 조건부터 파악한다.

수학식 4

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1' & x_2' & x_3' \\ y_1' & y_2' & y_3' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ a_1' \\ b_1' \end{bmatrix}$$

여기서, $P_1'=(x_1', y_1')$, $P_2'=(x_2', y_2')$, $P_3'=(x_3', y_3')$ 이고, $Q_1'=(a_1', b_1')$ 이다.

이에 따라, 상기 수학식 4로부터 Q_1' 의 Barycentric Coordinates인 λ_1 , λ_2 , λ_3 을 구하고, 그 값이 모두 양수이면 Q_1' 가 $\triangle P_1'P_2'P_3'$ 의 내부에 위치하게 되므로 두 삼각형 $\triangle P_1'P_2'P_3'$ 와 $\triangle Q_1'Q_2'Q_3'$ 가 겹치는 부분이 존재하게 된다. 마찬가지로 Q_2' 와 Q_3' 의 $\triangle P_1'P_2'P_3'$ 에 대한 Barycentric Coordinates를 조사한다.

한편, 도 6의 (b)에서와 같이 각 변들이 서로 교차하는지 여부를 하기 수학식 5를 이용하여 판단한다. 예를 들어 변 $\overline{P_1'P_2'}$ 와 변 $\overline{Q_1'Q_2'}$ 가 서로 교차하는 조건은 하기의 수학식 5가 함께 성립되는 조건과 동치이다.

수학식 5

$$[(y_1' - y_2')(a_1' - x_1') - (x_1' - x_2')(b_1' - y_1')] \cdot [(y_1' - y_2')(a_2' - x_1') - (x_1' - x_2')(b_2' - y_1')] < 0$$

$$[(b_1' - a_2')(x_1' - a_1') - (a_1' - a_2')(y_1' - b_1')] \cdot [(b_1' - a_2')(x_2' - a_1') - (a_1' - a_2')(y_2' - b_1')] < 0$$

이러한 방법으로 $\overline{P_1'P_2'}$, $\overline{P_1'P_3'}$, $\overline{P_2'P_3'}$ 와 $\overline{Q_1'Q_2'}$, $\overline{Q_1'Q_3'}$, $\overline{Q_2'Q_3'}$ 의 변들이 서로 겹치는지에 대해 판단(두개의 삼각

형들의 변이 교차하는지를 판단하는 경우 최대 총 9번의 판단이 필요함)하고, 위 수학적식 4와 5에 의해 삼각형이 겹치는 경우 겹치는 삼각형들 중 어느 하나는 다른 인쇄매질에 인쇄되도록 한다.

[0099] 다음으로 삼각형들을 인쇄매질의 크기인 직사각형 $w \times h$ 안에 위치시키는 방법의 일 예에 대해 설명한다.

[0100] 도 7은 주어진 점들을 포함하는 직사각형의 크기가 상기 직사각형의 기울기 각도에 따라 크게 달라짐을 보여준다. 상기 직사각형의 기울기 각도는 0° 에서 90° 사이값이므로, 그 구간을 수등분(예를 들면, 20등분 또는 더 잘게 등분)하여 직사각형의 크기 $w \times h$ 안에 삼각형들이 위치하는지를 살펴보고, 2차원 좌표평면상에 전개될 복수개의 삼각형들을 인쇄할 하나의 인쇄매질의 크기를 결정하는 (b4)단계(S240)가 수행된다.

[0101] 상기 기울기 각도를 θ 라 하고 2차원 좌표평면상에 이동되어 위치한 삼각형들의 꼭지점들을 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_K, y_K)\}$ 라 할 때, 기울기 각도 θ 를 갖는 직선인 $\cos \theta \cdot x - \sin \theta \cdot y = b$ 와 이에 수직한 기울기 $(\theta + 90)^\circ$ 를 갖는 직선 $\sin \theta \cdot x + \cos \theta \cdot y = c$ 의 인자값 b 와 c 의 범위를 아래 수학적식 6을 이용하여 조사한다.

수학적식 6

$$b_{\min} = \min_{1 \leq i \leq K} (\cos \theta \cdot y_i - \sin \theta \cdot x_i)$$

$$b_{\max} = \max_{1 \leq i \leq K} (\cos \theta \cdot y_i - \sin \theta \cdot x_i)$$

$$c_{\min} = \min_{1 \leq i \leq K} (\sin \theta \cdot y_i + \cos \theta \cdot x_i)$$

$$c_{\max} = \max_{1 \leq i \leq K} (\sin \theta \cdot y_i + \cos \theta \cdot x_i)$$

[0102]

[0103] 상기 수학적식 6에 의해 조사된 b 와 c 의 범위에 의해, 삼각형들의 꼭지점들을 포함하고 각도가 θ 만큼 기울어진 직사각형은 $(b_{\max} - b_{\min}) \times (c_{\max} - c_{\min})$ 의 크기를 갖는다. 따라서 아래 수학적식 7의 두 조건을 만족한다면, 주어진 삼각형들의 인쇄가 가능하게 된다.

$$b_{\max} - b_{\min} \leq w \quad \text{and} \quad c_{\max} - c_{\min} \leq h$$

[0104]

$$b_{\max} - b_{\min} \leq h \quad \text{and} \quad c_{\max} - c_{\min} \leq w$$

[0105]

이에 따라 삼각형들이 θ 만큼 기울어진 직사각형의 내부에 위치하게 된다. 한편 상기 직사각형을 인쇄매질이라 볼 때 위 삼각형의 인쇄를 용이하게 하기 위하여, θ 만큼 기울어진 직사각형을 $[0, w] \times [0, h]$ 로 회전이동시킬 필요가 있는데, 주어진 삼각형들을 어파인 변환(Affine Transform)에 적용한다.

[0106]

만약 $b_{\max} - b_{\min} \leq w$ and $c_{\max} - c_{\min} \leq h$ 의 조건이 만족한다면, 하기 수학적식 7에 따른 어파인 변환에 적용한다.

수학적식 7

[0107]

$$\begin{pmatrix} x_{\text{new}} \\ y_{\text{new}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{w}{2} - \frac{c_{\min} + c_{\max}}{2} \\ \frac{h}{2} - \frac{b_{\min} + b_{\max}}{2} \end{pmatrix}$$

[0108]

그리고 만약 $b_{\max} - b_{\min} \leq w$ and $c_{\max} - c_{\min} \leq h$ 의 조건이 만족된다면, 하기 수학적식 8에 따른 어파인 변환에 적용한다.

수학적식 8

[0109]

$$\begin{pmatrix} x_{\text{new}} \\ y_{\text{new}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \theta & -\cos \theta \\ \cos \theta & \sin \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{w}{2} + \frac{b_{\min} + b_{\max}}{2} \\ \frac{h}{2} - \frac{c_{\min} + c_{\max}}{2} \end{pmatrix}$$

[0110] 상기 수학식 7과 8에서 (x, y) 는 회전이동되기 전의 꼭지점들의 좌표이고, (x_{new}, y_{new}) 는 상기 인쇄매질에 인쇄가 용이하도록 회전이동된 이후의 꼭지점들의 좌표이다. 따라서 상기 (x, y) 에 차례로 각 꼭지점들의 좌표를 입력하여 새로운 꼭지점의 좌표를 얻으면, 직사각형 인쇄매질에 대한 삼각형들의 인쇄가 용이해진다.

[0111] 한편, 전개도 인쇄시, 즉 공간상에서 소정각도로 서로 교차된 데이터 삼각형들을 전개하여 상기 인쇄매질 상에 전개 삼각형들을 인쇄할 때, 상기 전개 삼각형들은 동일 평면 상에 위치되므로 동일 평면상에 전개되기 전에 서로 인접한 데이터 삼각형들이 이루는 각도를 알 필요가 있다.

[0112] 즉, 인쇄매질 상에 전개된 전개 삼각형들을 잘라낸 후 인접하게 전개된 전개 삼각형들은 그 경계선을 기준으로 구부리는 작업이 필요한데, 이를 위하여 인접하게 전개될 데이터 삼각형들이 이루는 교차각도 및 교차방식이 인쇄매질 상에 표시되면 전개된 삼각형들을 조합하는 작업이 더욱 편리해진다.

[0113] 도 9를 참조하여, 변 $\overline{P_1P_2}$ 를 경계로 상호 인접한 두 데이터 삼각형 $\triangle P_1P_2P_3$ 와 $\triangle P_1P_2P_4$ 를 고려할 때, 두 데이터 삼각형들의 면 벡터(Normal Vector)를 각각 $\vec{n}_3$ 와 $\vec{n}_4$ 라 하면 두 데이터 삼각형이 이루는 각도(θ)는 아래 수학식 9에 의해 계산될 수 있다.

수학식 9

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{n}_3 \cdot \vec{n}_4}{\|\vec{n}_3\| \cdot \|\vec{n}_4\|} \right)$$

[0115] 그리고 변 $\overline{P_1P_2}$ 를 기준으로 인접하는 두 데이터 삼각형 $\triangle P_1P_2P_3$ 와 $\triangle P_1P_2P_4$ 는 도 10에 도시된 바와 같이 블록(+ type)하게 교차하거나 오목(- type)하게 교차되거나 동일 평면상에 평평하게 위치될 수 있는데, 이는 하기 수학식 10에 의해 판별될 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned} \text{type} + : \vec{n}_3 \cdot (P_4 - P_3) + \vec{n}_4 \cdot (P_3 - P_4) &< 0 \\ \text{type} - : \vec{n}_3 \cdot (P_4 - P_3) + \vec{n}_4 \cdot (P_3 - P_4) &> 0 \\ \text{flat} : \vec{n}_3 \cdot (P_4 - P_3) + \vec{n}_4 \cdot (P_3 - P_4) &= 0 \end{aligned}$$

[0117] 이와 같이 본 발명은 상기 전개 삼각형들의 인쇄시에 상기 2차원 좌표평면상에 서로 인접하여 이웃하는 전개 삼각형들로 전개되는 데이터 삼각형들의 교차각과 교차방식을 상기 인쇄매질상에 인쇄하는 (d)단계를 더 포함하여 이루어지는 것이 바람직하다.

[0118] 상기와 같은 방식으로 인쇄매질상에 전개된 전개 삼각형들을 잘라서 서로 접합시키거나 인접하게 전개된 삼각형들의 경계를 구부려서 모든 전개 삼각형들을 조합하면 평면 삼각형들의 조합으로 구성된 3차원 입체물, 예를 들면 모형이나 견본 구조물이나 문화적/예술적 가치의 구조물 등 다양한 용도의 3차원 입체물이 제조될 수 있다.

[0119] 그리고, 상기 인쇄매질은 종이나 철판, 알루미늄판, 동판 등의 금속판이나 나무 등 다양한 재질로 이루어질 수 있으며, 상기 데이터 삼각형들을 확대 또는 축소하여 인쇄매질에 인쇄함에 따라 대형 또는 소형 등 원하는 크기의 입체적 구조물의 제조가 가능하게 된다. 또한 상기 인쇄매질에 인쇄된 삼각형의 크기가 작을수록 곡면에 가까운 표면의 형성이 가능하다.

[0120] 도 11 내지 도 15에는 본 발명에 따른 삼각형 전개도 제조방법에 의하여 실제 제조된 토끼모형이 도시되어 있다.

[0121] 도 11은 토끼모형의 스캔된 격자점들을 보여주며 스탠포드(Stanford) 대학교 3D Repository 공개자료에서 얻을 수 있는데, 35947개의 점들이 $[-0.094, 0.061] \times [0.032, 0.187] \times [-0.061, 0.058]$ 의 범위안에 있다.

[0122] 그리고, 도 12는 격자점의 수에 따라 곡면의 정확도가 달라질 수 있음을 보여준다. 상기 격자점의 수는 Trilinear 보간법에 의해 쉽게 줄이거나 늘일 수 있는데, 격자점의 수가 적을수록 처리해야 하는 데이터가 줄지만 곡면의 정확도가 떨어지므로 필요에 따라 적절하게 격자점의 수가 조절될 수 있다.

[0123] 도 12에서 각 그림의 우측 상단에 기재된 숫자는 곡면의 격자점의 수를 보여준다. 도 12의 네 개의 그림에서 오

른쪽 아래로 갈수록 격자점의 수가 약 1/8, 1/64, 1/128의 비율로 감소되고, 이로 인해 곡면의 정확도가 떨어지게 된다.

[0124] 상기 Trilinear 보간법에 의한 격자점의 수 조절은 어떠한 배율도 가능하며 매우 쉽고 빠른 잇점이 있는데, 고 해상도의 곡면이 요구되는 경우 많은 격자점이 생성되어야 하고 빠른 제작이 요구되는 경우에는 적은 수의 격자점이 생성되면 된다.

[0125] 스캔된 점들을 잇는 곡면은 거리부호함수의 절단면으로 표현되고 TetraCubes나 Matching Cubes방법을 통해 겹치지 않는 삼차원 삼각형들로 계산될 수 있다. 그리고 상기 삼차원 삼각형들은 본 발명에 따른 삼각형 전개도 제조방법에 의해 이차원 전개도로 변환하였다.

[0126] 인쇄매질, 즉 제작매질은 A4용지크기의 마분지로 하였으며, 도 13은 다수개의 전개도들 중 하나를 보여준다. 상기 인쇄매질에 전개도, 즉 전개 삼각형들을 인쇄할 때 각 꼭지점들에는 고유의 일련번호가 부여되어 상기 전개 삼각형들의 인쇄시 상기 각 꼭지점의 일련번호도 동시에 인쇄됨으로써, 상기 전개 삼각형들을 합쳐 입체화할 때 일련번호가 일치하는 꼭지점들을 찾아서 그 변을 붙인다.

[0127] 그리고 각 변에는 상기 수학식 10에 의해 결정된 교차방식(볼록 또는 오목)이 (+) 또는 (-)로 표시되는 것이 좋다.

[0128] 상기 스캔된 격자점들을 기초로 한 데이터 삼각형들을 전개하기 위해서, 먼저 인쇄의 기준이 되는 임의의 삼각형과 주변의 인쇄가능한 인접 삼각형들을 찾아 모두 하나의 인쇄매질에 인쇄한다. 이 때 인쇄가 불가능한 삼각형은 다음 순서의 인쇄매질에 인쇄되는데, 인쇄가 불가능했던 인접 삼각형이 가장 먼저 인쇄된다.

[0129] 그리고 상기 각 인쇄매질에는 순서대로 번호가 부여되며 인쇄매질의 순서에 따라 조립된다.

[0130] 도 14와 도 15는 본 발명에 따라 제조된 전개 삼각형들을 절단/접기/붙이기하여 제조된 종이 재질의 토끼 모형이다.

[0131] 이상과 같이 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시 예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에서 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화 될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다.

[0132] 그러므로, 상술된 실시 예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

도면의 간단한 설명

[0133] 도 1은 Kuhn 삼각분할법에 의해 4개의 사면체로 분할된 직육면체를 나타낸 도면이다.

[0134] 도 2는 4면체 $\Delta P_0P_1P_2P_3$ 와 초평면 사이에 존재하는 세가지 기하학적 구성들을 나타낸 도면이다.

[0135] 도 3은 본 발명에 따른 삼각형 전개도 제조방법의 일 실시예를 나타낸 플로우 차트이다.

[0136] 도 4는 본 발명에 따른 삼각형 전개도 제조방법에 의해 데이터 삼각형들 중 어느 하나의 삼각형을 2차원 좌표평면이 설정된 하나의 인쇄매질에 인쇄하는 과정을 나타낸 도면이다.

[0137] 도 5는 본 발명에 따라 하나의 인쇄매질에 인접하는 전개 삼각형들을 인쇄하는 과정을 나타낸 도면이다.

[0138] 도 6은 본 발명에 따라 하나의 인쇄매질에 전개될 삼각형들이 서로 겹치는지 예를 나타낸 도면이다.

[0139] 도 7은 인쇄매질의 크기가 인쇄매질의 기술기 각도에 따라 달라짐을 보여주는 도면이다.

[0140] 도 8은 본 발명에 따른 삼각형 전개방법을 개략적으로 나타낸 알고리즘이다.

[0141] 도 9는 θ 의 교차각을 이루면서 서로 인접하게 배치된 두개의 데이터 삼각형을 나타낸 도면이다.

[0142] 도 10은 인접하게 배치된 두 개의 데이터 삼각형이 교차하는 방식을 나타낸 도면이다.

[0143] 도 11은 실제 모형의 제작을 위한 예로서 토끼모형과 그 표면에 스캔된 점들을 보여준다.

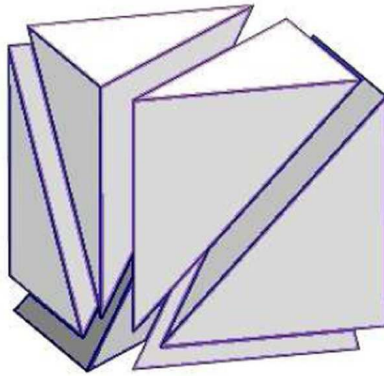
[0144] 도 12는 격자점의 수에 따른 이미지를 나타낸 도면이다.

[0145] 도 13은 본 발명에 따라 인쇄매질 상에 전개도 삼각형 전개도의 일부를 나타낸 도면이다.

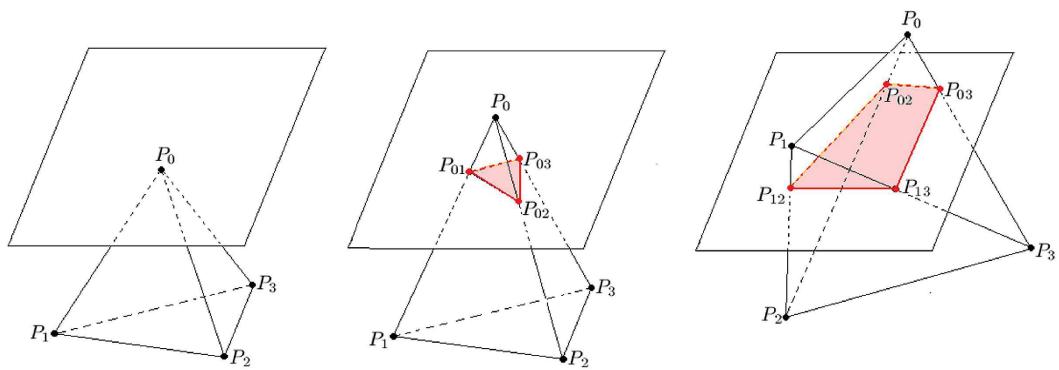
[0146] 도 14와 도 15는 인쇄매질 상에 인쇄된 전개 삼각형들을 조합하여 제작된 종이 모형의 전면과 후면모습을 나타낸 사진이다.

도면

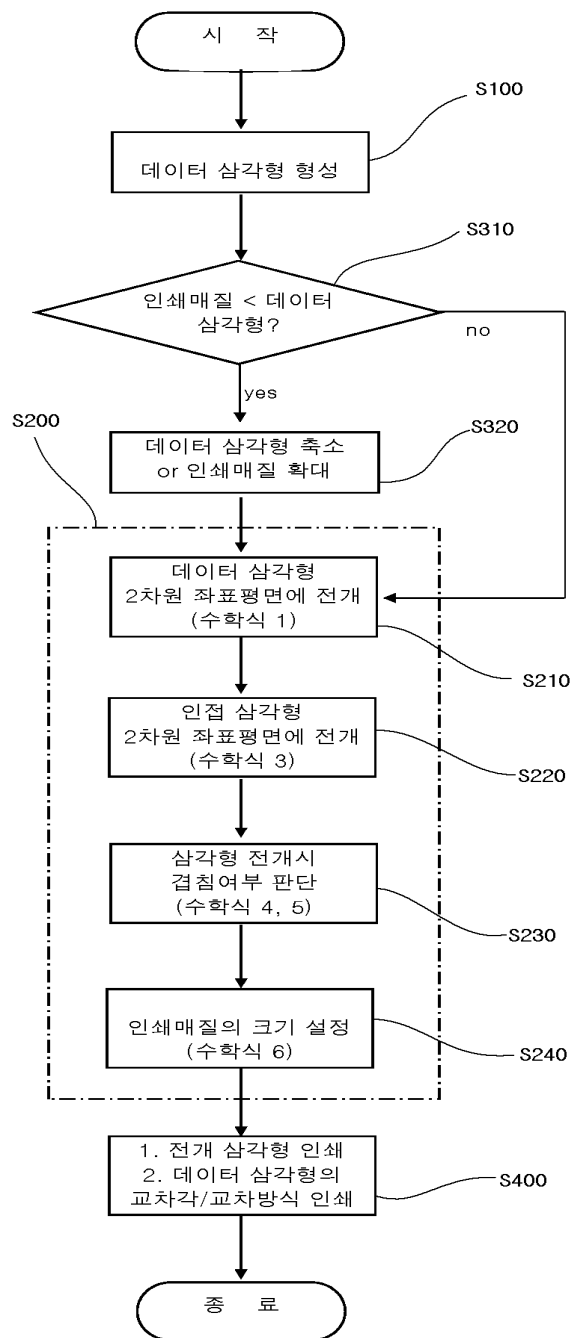
도면1



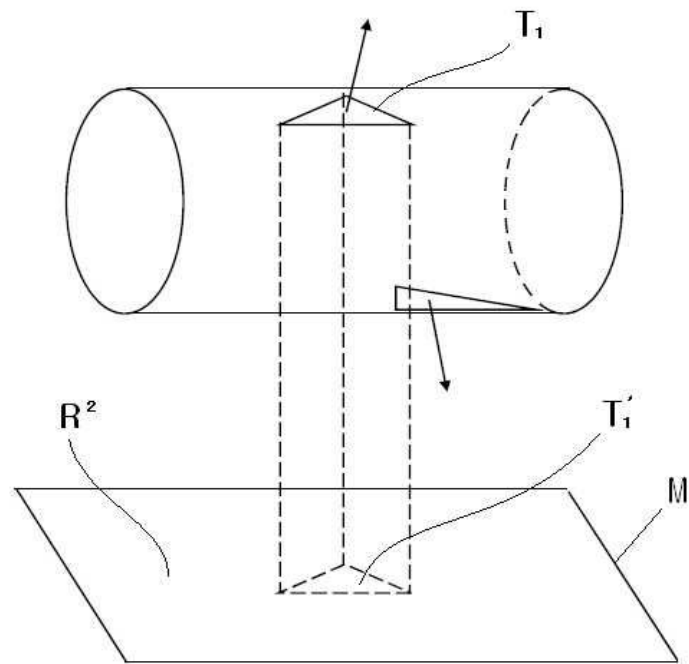
도면2



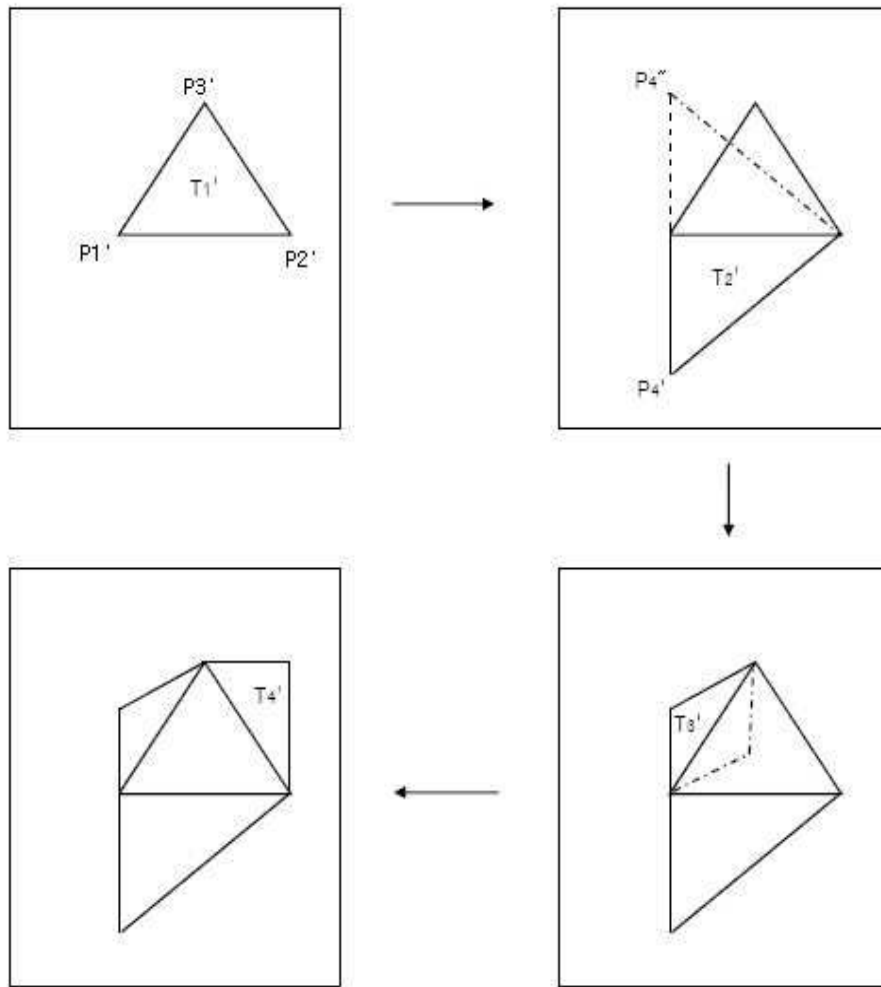
도면3



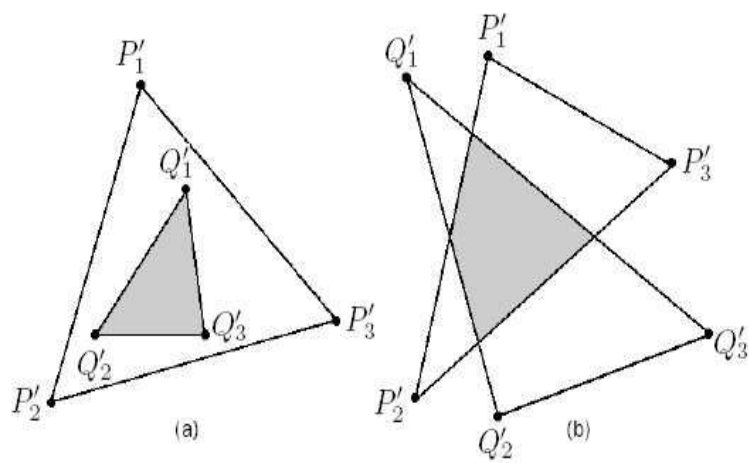
도면4



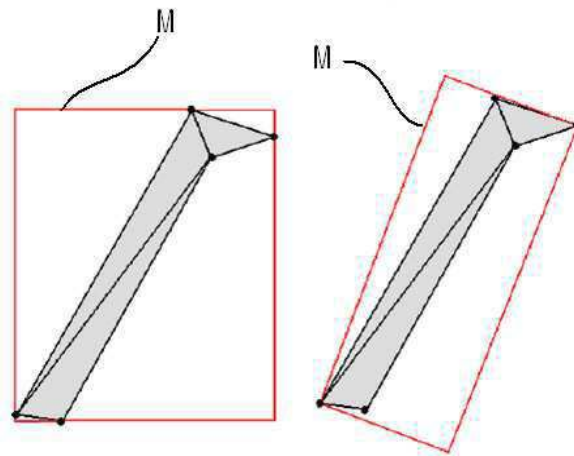
도면5



도면6



도면7

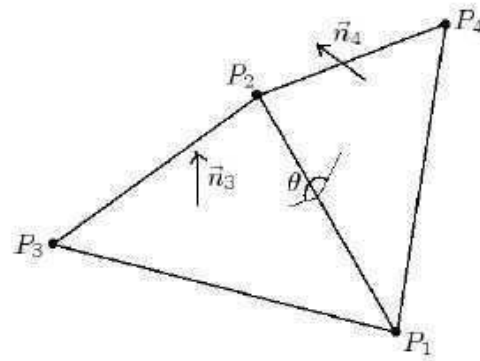


도면8

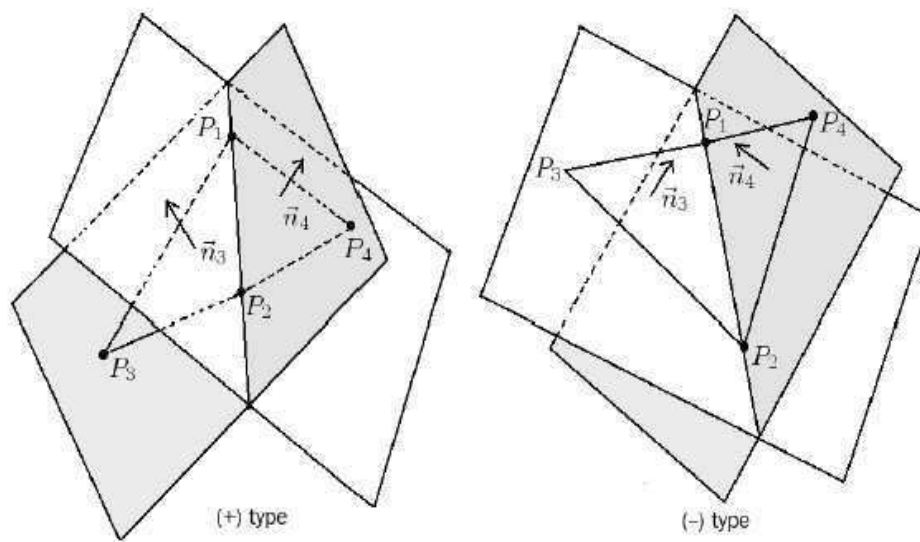
Algorithm 1 Main Algorithm, 전개도 제작법

Input : Triangulation $\{T_1, T_2, \dots, T_N\}$, 전개도 크기 $w \times h$
Output : 인쇄된 전개도 $\{FIG_1, FIG_2, \dots, FIG_M\}$
Procedure :
Queue Q ; // Data structure, the queue
BOOL $b_1 = b_2 = \dots = b_N = FALSE$; // 인쇄여부
queue T_1 into Q ; $M:=1$; // M번째 FIG
while true **do**
 dequeue the elements of Q until meets the first unprinted one T_{n_1}
 if Q is empty **then**
 End the Procedure; // All are printed
 else
 Stack S ; // Data structure, the stack
 push T_{n_1} into S ; $t:=1$; // t 는 Stack size
 for $i=1:t$ **do**
 for $j=1:3$ **do**
 $T_{n_{t+1}}$: S 의 i 번째 삼각형의 j 번째 변에 이웃하는 삼각형
 if $b_{n_{t+1}} == FALSE$ **then**
 $T'_{n_{t+1}}$: $T_{n_{t+1}}$ 을 $\mathbb{R}^2$ 평면에 위치 :
 push $T'_{n_{t+1}}$ into S ; $t:=t+1$;
 S 의 삼각형들이 겹치는지 체크 :
 S 의 삼각형들이 전개도 크기에 맞는지 체크 :
 if 두 체크조건이 만족됨. **then**
 $b_{n_{t+1}}:=TRUE$;
 else
 queue $T_{n_{t+1}}$ into Q ;
 pop $T'_{n_{t+1}}$ from S ; $t:=t-1$;
 end if
 end if
 end for
 end for
 FIG_M : S 의 삼각형들을 $[0, w] \times [0, h]$ 의 직사각형으로 옮기고 인쇄함.
 $M:=M+1$;
 end if
end while

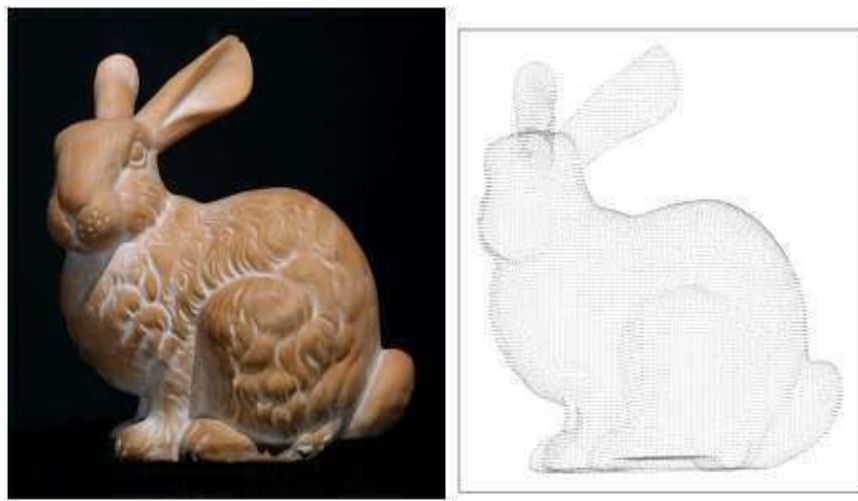
도면9



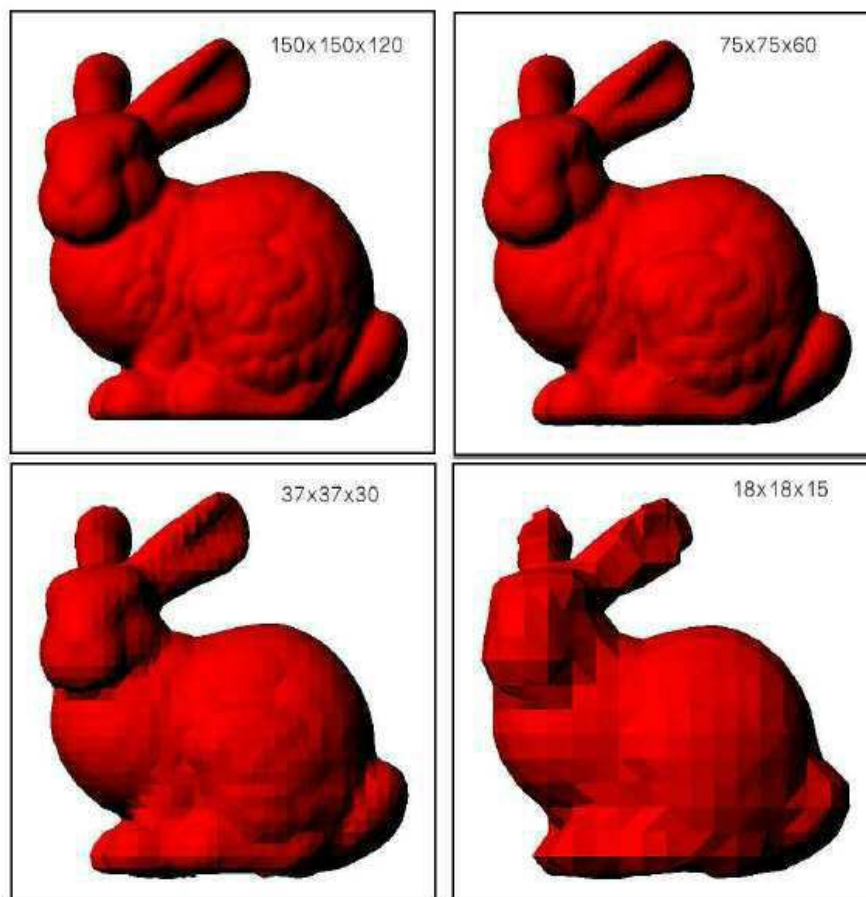
도면10



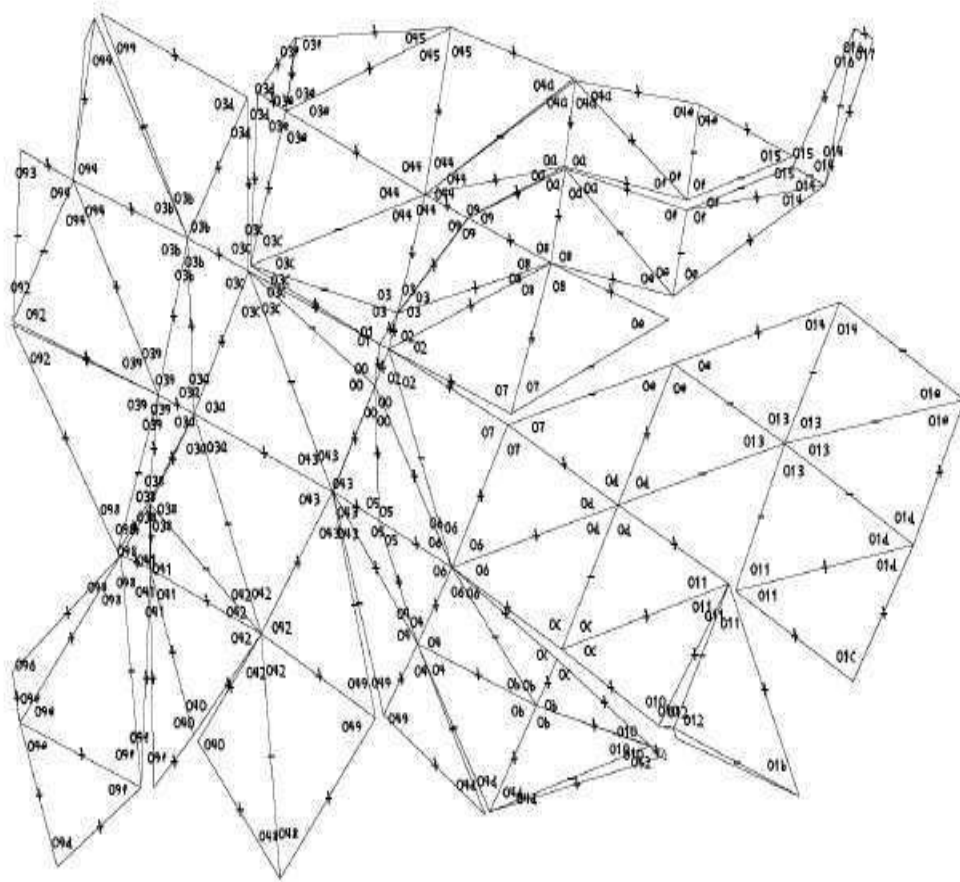
도면11



도면12



도면13



도면14



도면15

