3차원 정보로 부터 Z축의 기울기를 이용한 물체의 조형.

°김 태 용 조 동 욱 최 병 욱
한 양 대 학 교

Object Modeling from Depth Information Using Z-gradient

T. Y. KIM D. U. CHO B. U. CHOI
HANYANG UNIVERSITY

ABSTRACT

In this paper, we drive useful data from 3-D depth information as input using discontinuity boundary or clustering. And using magnitude and direction of z-gradient we classify the data into adaptable primitive types through intrinsic and stochastical processing. After these processing information is reconstructed for forming data base. And make relationship and standard view position for matching.

1. 서론

최근의 Hardware기술의 발달은 scene object 의 각 점에 대한 3-D 정보를 제공하여 주고, 이러한 정보는 보다 강력한 수치적 처리, 분석을 가능하게 하고 있다. [1] [2] [3] [4]

이러한 3-D 정보는 2-D 정보 보다 복잡한 계산, 심한 noise 의 영향등 단점도 있으나 2-D 에서 생각하기 어려운 rotation 의 해석, 불연속의 처리, 불완전한 surface 의 해석을 가능하게 하였다.

먼저 각각의 작은 patch 에서의 z-축방향의 기울기의 방향과 크기를 정의하고, surface 의 불연속을 좌, 우, 상, 하 scanning 을 통하여 불연속 되고 폐경계면으로 둘러 쌓인 영역을 분류해낸다. 분류되어진 영역을 평면 검사로 각 방향의 2차 미분을 실시해 곡률이 0인 평면 영역을 찾아내고, 평면이 아닌 surface region 은 통계 분포와 boundary 의 방향 성분을 검사해 각 primitive type 으로 분류한다.

각 type 으로 분류가 되어지면 modeling 에 필요한 각 type 의 중요 정보 (중심점, 반경, 중심축, 반경함수 등등) 를 계산해 낸다.

또한 이들 정보를 중심으로 model 의 일반적인 공간상의 위치를 특정지었고, matching 의 단계로 나아가기 위한 primitive 들 사이의 relation 관계를 정립하였다.

이러한 일련의 처리로써 물체를 보다 간결하고 특징있게 표현하고자 하였고, 방법상의 많은 응용 가능성을제시 하였다.

2. Z Axis Gradient

입력으로 들어온 정보는 화면 (monitor) 좌표 로써 정착되어 f(x,y)=z 라고 표시된다. 기준 resolution 의 한 길이를 dx, dy 라 하면

f(x+dx,y+dy)-f(x,y)=dz 로 표시된다.

2. 1 방향성분 (Direction)

f(x-dx,y+dy)	f(x,y+dy)	f(x+dx,y+dy)
f(x-dx,y)	f(x,y)	f(x+dx,y)
f(x-dx,y-dy)	f(x,y-dy)	f(x+dx,y-dy)

이렇게 3X3 mask 에서 중심을 축으로 8방향의 값들의 차는 각각 { dz-1-1,dz-1 0,dz-1 1,dz 0-1,dz 0 0,dz 0 1, dz 1-1,dz 1 0,dz 1 1} 로 정의되며 이들 값중에 negative maximum 의 방향 성분을 갖게 된다.

그러나 이 방법은 실제로 noise 에 민감하고, boundary 가 두껍게 형성되고 같은 값을 가질 때 해석이 어려우므로 2X2 mask 로 처리를 실시한다.

f(x,y)	f(x+dx,y)
f(x,y-dy)	f(x-dx,y-dy)

f(x+dx',y+dy')-f(x,y)=dzmax
Zmax=f(x,y)+dzmax
f(x+dx",y+dy")-f(x,y)=dzmin
Zmin=f(x,y)+dzmin

Threshold=f(x,y)+(dzmax+dzmin)/2=(Zmax+Zmin)/2

를 threshold 로 하여

n={ N [f(x+dx,y+dy)]: f(x+dx,y+dy) > Threshold + noise}

하는 갯수를 구하면 n=1 일때는 바로 그 방향, n=2,3 일때는 중간방향으로 direction 을 결정하게 된다.

따라서, 먼 곳에서 가까운 방향으로 성분이 형성되며, noise 는 depth 정보에 포함된 error 율로 해석한다.

이렇게 구한 direction 에서 Zmax-Zmin < Interdistance (Interdistance 는연속된 표현내에서 단위 resolution 의 변차로 생길 수 있는 gradient 값의 최대치)

부등식을 만족하면 이 direction 은 물체 내부의 정보를 갖으며 소문자로 8방향을 정의한다.

반대의 부등식은 불연속, 혹은 boundary 를 나타내며 대문자로 방향을 나타내면 direction map 이 구성된다.

2 . 2 Magnitude

(Zmax-Zmin)/Cm 의 값을 direction 이 갖는 크기로 정의하는데 여기서 Cm 은 resolution 에 따라 정의 되는 상수로, noise 를 흡수하고, curvature 계산, 평면 처리, kernel point 선택등 다음 processing 의 단순화를 위하여 tolerance 를 준 값이다.

2 . 3 불연속 영역의 분류와 평면

direction map 에서 대문자로 표시된 boundary 를 상, 하, 좌, 우 scanning 으로 폐 곡면으로 둘러 쌓인 영역을 따로따로 분류하고 각각의 영역을 type 별로 구분 처리하게 된다.

이 영역들의 내부 점에서의 각 방향의 곡률이 0이 되면, 이영역은 평면이 되며 direction 과 magnitude 가 모두 같은 값을 가지게된다. 이러한 평면의 정보로는 vertex points 와 평면의 방정식 Ax + By + Cz = D , normal vector (A,B,C) 등으로 표현된다.

3 . Surface classification

3 . 1 Direction classification

방향 성분은 boundary 와 내부 points 의 기하학적 특성을 표시하는데 각 direction 이 이루는 각도가 상호 45, 90, 180 degree 의 관계를 표시할 수 있고, 이러한 특성은 공간상의 rotation 해석을 가능하게 한다.

3 . 1 . 1 Boundary direction classification

boundary 를 나타내는 성분 (대문자) 에서 1차적으로 주도적인 성분만 꺼내어 flag 을 setting 시키는데, 이 성분의 갯수가 2이하이면 2차 threshold 를 실시하여 다시 flag 을 setting 시킨다. 이런 방법은 occluding 되어서 한 두방향의 성분이 주도적인 경우를 해석할수 있다.

3 . 1 . 2 Internal direction classification

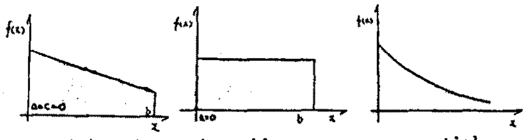
내부 방향 성분은 1차 threshold 만 실시하여 그들이 이루는 주 방향성분의 관계로써 내부 방향 특성을 찾는다. 이들의 관계중 서로 중복되는 flag 이 있으나, 분류는 Boundary 분류와 Internal 분류가 일치할때만 그 type 으로 분류가 가능하며, 방향 성분이 가지는 각도연관 관계는 5*9*9=405 가지에 이르며, 기하학적으로 불가능한 관계를 제외하더라도 상당한 확장성을 가지고 있다.

3 . 2 Magnitude classification

방향 성분을 구할때 그 성분의 크기를 이미 구하여 놓았고, 그 크기들이 폐 surface 내에서 이루는 분포로써 이들의 type 을 분류 가능하다.

기존의 normal vector 의 projection 을 이용한 needle diagram [6] 의 복잡한 계산과 높은 시간 소모를 해결할 수 있다. 본 논문에서 이용한 magnitude 는 (Zmax-Zmin)/Cm 인데, 이는 2X2 mask 내에서의 차분 (difference) 이고, 중복되지 않으므로 이들 값들의 분포는 근사하게 동일 깊이 연결선 (equi-depth contour) 의 깊이와 일치하며, 기울어 졌을 때의 차분값의 분포는 변화가 없다.

contour 의 모양에 따라 분포를 설정하고, 약간의 resolution 에 의한 오차를 허용하더라도 다음과 같은 p.d.f 를 생각할 수 있다. (Fig. 1)



a. 삼각 분포 b. uniform c. exponential

Fig.1 각 type의 분포 특성

3 . 3 Probability plots. [5]

이제 불연속에 의해서 생긴 폐 loop 내의 각 magnitude 들을 크기가 크고, 빈도수가 많은 순으로 배열하고, x 축의 값을 0 , 1 , 2 , .., n-1 (n은 각 magnitude 종류의 갯수) 순으로 배열하고, 이에 대한 empirical 분포 [6] 를 만든다.

이 empirical distribution 에서의 기준값에 대한 quantile x 값을 구하여 , 이미 구하여 놓은 type 별 quantile 값들과 짝을 지어 좌표상에 점을 찍고, 이 점들을 fitting 시킨 직선의 error 가 가장 적은 값을 적절한 type 으로 선정한다.

또한 probability plots 방법은 a(location factor) , b (scaling factor) 의 변화에도 기울기와 절편의 변화만 있을 뿐, 직선에는 영향을 미치지 않으므로 물체의 위치와 크기에도 불구하고 적절히 분류가 가능하다.

$G(x)=F((y-a)/b)$, $y=a+by$

이상과 같은 magnitude 분류, direction 분류를 통하여 잘못된 판단을 줄이고, 나타날 수 있는 특이한 물체의 처리를 위하여 양 분류가 동일한 type 을 나타낼 때만 type 분류를 성공하게 된다.

4 . Clustering

Boundary direction 에 둘러 쌓인 물체도 불연속이 없이 여러가지 다른 type 의 primitive 를 포함할 수 있고, 이러한 경우는 두 가지 분류 방법중 하나가 실패하거나, 일치하지 않게 된다. 이럴 경우 특징을 찾아서 필요한 data 만을 따로 나누어야 하는데, 본 논문에서는 두 가지의 접근을 시도하였다.

4 . 1 원형적 확장 (circular region growing)

gradient map 상에서 구한 kernel points 중에서 방향이 없고 크기가 0이며, 작은 부분에 밀집해있고 다른 kernel points 들과는 상당한 거리를 가지고 있는 점은 주로 구에서 발생한다. 따라서 이러한 경우 이들 points 의 중점에서 반경을 늘려 나가면서 blank 의 갯수, 다른 kernel points 와의 관계를 조사하게 된다. 즉 blank 의 갯수가 data 의 갯수보다 많거나, 다른 동등한 kernel point 가 반경내로 들어오면 반경의 확장을 멈추고 그 부분만을 clustering 해서 다시 type 분류 작업에 들어가게 된다.

4 . 2 직선적 확장 (plane region growing)

우선인 (방향, 크기가 모두 0) kernel points 가 없고, 방향이 있고 최소인 magnitude 를 갖는 kernel point 를 갖을 때는, 이 kernel points 를 직선으로 fitting 하고, fitting error 가 허용치 이내이면 양 end points 로 부터 normal 방향으로 영역을 계속 확장하게 된다. 이러한 kernel point 의 직선성은 cylinder 의 중심 표면에 해당하며, 영역을 계속 확장하다가, blank 의 갯수가 data 의

갯수보다 많거나, 다른 kernel point 가 등장하면 확장을 멈추게 된다.

5. Modeling 정보의 계산

5.1 구 (sphere)

구에서 주목되는 정보는 camera coordinate 상에서의 중심점의 위치와 반경이 되겠다.

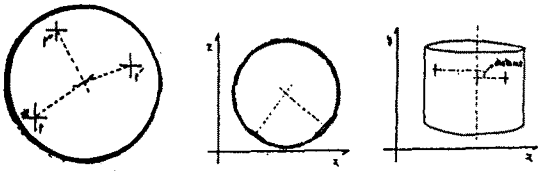
이제 그림2 에서와 같이 surface 상의 점 p 를 중심으로 적은 거리 dl 만큼 떨어진 거리와 직각 방향의 다른 점등 4개의 points (P+dlx,P-dlx,P+dly,P-dly) 는 x,y 방향으로 dl 만큼 떨어진 points를 나타낸다. 이 4개의 points 가 이루는 평면의 방정식은 Ax + By + Cz =1 이고, P점(x0,y0,z0)를 지나고 이 평면에 수직인 vector 는 Vp=(x0+At,y0+Bt,z0+Ct) 이다. 다시 P'점(x0',y0',z0')를 지나고 그 주위의 points 가 이루는 평면에 수직인 vector 는 Vp'=(x0'+A's,y0'+B's,z0'+C's) 이다. 이 surface type 이 sphere 이므로 vector Vp,Vp' 는 구의 중심에서 교차할 것이다. 따라서 Vp=Vp'의 방정식을 풀면

x0'+A's=x0+At, y0'+B's=y0+Bt, z0'+C's=z0+Ct

t=(A'(y0-y0')-B'(x0-x0'))/(AB'-A'B)

s=(x0-x0'+At)/A'

등으로 parameter s,t 를 구하고 원점 point (x , y , z)를 구할 수 있다.



a. 구 b.c. cylinder

Fig.2 중심점, 중심축의 추출

5.2 Cylicone (cylinder, cone)

우선 중심축을 구하기 위해서 작은 Surface patch 를 평면으로 근사화하여 Normal 을 구하면, 이 patch 의 normal 은 다른 patch 의 normal 과 축상에서 교차하게 된다. 즉, P 점(x0,y0,z0)을 중심으로 하는 patch 에서의 평면 normal Vp=(x0+At,y0+Bt,z0+Ct) 는 P' 점에서의 normal Vp' 와 2차원적으로 중심축에서 교차하며, 이때 나머지 한 축의 값의 distance 가 허용치 이내이면, 이 값을 누적시킨다.

모든 surface 에 대하여 이러한 processing 을 하면 patch 의 크기에 반비례하는 갯수의 center points 들이 형성된다. 이들 center point 들의 차 vector (difference) 의 평균을 단위 vector 로 하고, 임의의 중간값 P1'에서 이 단위 vector 를 시작하면 축의 vector 를 표시할 수 있다. (Fig.3)

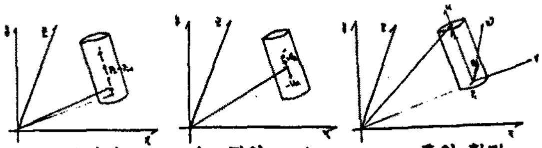
A=mean(Xi-Xi-1,Yi-Yi-1,Zi-Zi-1) , i : 1~n-1

processing 으로 구한 center points 의 갯수 n

Ua=A/ |A|

이제 P1' point 에서 -Ua 방향으로 이동하면서 이 축과 수직인 방향에 실제 data가 있는 지를 확인하여 lower end point 를 구하고 이 값을 P1 으로 setting 시킨다.

다시 P1 에서 +Ua 방향으로 증가시키면서 수직 방향에 있는 data 들의 반경과 upper end point P2 를 구한다.



a. 가정점 b. 단위 vector c.축의 확장

Fig.3 GC 표현의 축의 확장

따라서 양 end point P1,P2 와 반경 함수

R(s) = a + b*s ; 0<= s <=1

a ; P1 에서의 반경

b ; P2 에서의 반경

축의 함수 A(s)=P1+s(P2-P1) 를 구하고, local coordinate 로

(P2-P1,UzX(P2-P1)/ |P2-P1 |,(P2-P1)/ |P2-P1 |XUz X(P2-P1)/ |P2-P1 |=(u,v,w) 로 정의하면, u-w 평면은 cross section 평면이고, Uz 는 z 방향 단위 vector 이다. 따라서 표면상의 점들은

F(s ,θ) = A(s) + R(s)cosθ *u + R(s)sinθ *w 로된다.

6. Relation

전술한 processing 의 결과 object 가 단일 primitive 로 구성되면 문제가 없으나 둘 이상의 primitive 로 구성되면 이들 사이의 관계를 상술할 필요가 있다. [8]

step 1: 먼저 가장 반경이 크고(cylider, cone 일 경우는 축길이 나 반경 중 작은 양으로, 평면일 경우 내포되는 원의 반경과 축 대신 평면 normal vector 로 사용) reliability 가 허용 수준 이상인 primitive 의 center point (cylinder, cone 은 축의 중심점)를 좌수 좌표계의 중심으로 이동시킨다. 여기서 각 primitive type 의 중심점은 위의 기준에 따라 Pc1,Pc2,.....Pcm 이라 정의한다.

step 2: 다음의 primitive type 의 중심 Pc2 를 z 축의 회전 Rz(α), y 축의 회전 Ry(β)를 통하여, +x 축과 일치시킨다.

step3 : 중심이 축으로 정의되는 cylinder 나 cone 은 Pc1, Pc2, .., Pcm 순으로 중심축이 x-y 평면과 평행하도록 x 축중심으로 회전시킨다.

이상과 같은 processing 을 거치면서 모든 입력 물체는 동일한 위치구조를 갖는 형태로 변환되었고, 이 상태에서 각 primitive type 의 center point Pc1 ...Pcm 의 relation 을 구한다. [9]

즉 R1m 은 primitive Pc1 과 Pcm 의 관계로 Pcm 을 두번의 회전과 한번의 translation 으로 원점— Pc1 이 있는 위치— 으로 보내는 행렬이 된다. 따라서

Pcm[xm ym zm] R1m =[0 0 0]

나머지의 relation 도 이렇게 정의함으로써 prime primitive Pc1 과 나머지 primitive Pcm 간의 관계를 구할 수 있고, primitive 들 사이의 관계는 prime primitive 관계로 부터 유도할 수 있다.

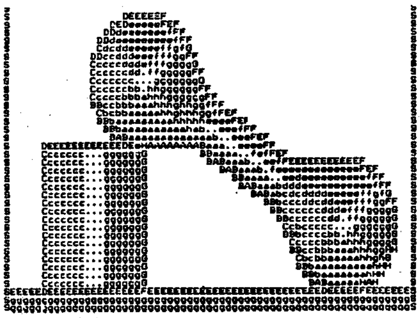
Rij = R1j * Rinv1i ; j > i , Rinv 는 [Rz Ry Tx] 의 역방향을 뜻함. (원점에서 Pcm 위치로 돌아감)

7. 실험및 고찰

실험의 입력data 는 64 x64 의 합성 data 를 random 하게

noise 를 넣어서 사용하였으며, 64 x 64 의 data 를 기준으로 방향성 mask 는 2 x 2 를, patch 의 normal 을 구하기 위해서는 3 x 3 window 를 사용하였다.

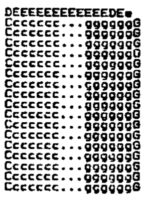
maximum distance 는 1 m , Interdistance 는 3 cm , magnitude tolerance 상수 Cm 은 2.5 , dx dy dl 은 0.5 cm 를 사용하였고, 이상의 상수와 mask 의 크기는 64 x 64 의 data 실험에 가장 잘 적용되었고, resolution 이 커짐에 따라 mask 를 크게 하면 같은 processing time 을 유지한다.



```
** Vertex Points Information **

        (0,950,3014)
        (3100,950,4804)
        (0,50,3014)
        (3100,50,4804)
** The eqation of plane 1 **
 -0.000192 X + 0.000000 Y + 0.000332 Z = 1
```

Fig.4 Direction map 과 평면정보



```
** direction information upper = 220 lower = 200
*** direction represents CYLINDER shape ***
** CONE shape error rate is =2.576321 **
** CYLIDER shape error rate is =0.000000 **
** SPHERE shape error rate is =0.630524 **
detected center number  17 **
initial estimated axis equation **
  A(s)=P1(67,146,529) + s*(  0.0000,  1.0000, -0.0093)
calculated axis equation **
  A(s)=p1(67,76,329) + s*(  0.0000,  1.0000, -0.0093)*
      end point  p2(67,194,528)
radius equation , mm scale **
   R(s)=  39.20 + s* -3.79
```

Fig.5 불연속에 의한 분류, 분류 수치와 정보

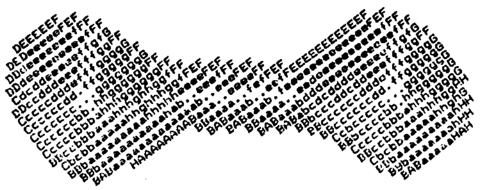


Fig.6 Clustering 이 필요한 분류

```
** Coordinate of center point **(108,220,539)**
** Reliability of analysis 50 ,61 ,81 % **
** Radius of sphere == 39 ** mm scale
** equation of sphere is
(X-107.6)^2 + (Y-227.6)^2 + (Z-539.0)^2 =  39.1
```

Fig.7 Fig.6 를 clusering 한 모양과 정보

입력 data 로 Fig.4 와 같은 map 을 구성한 후 평면 정보를 계산하고, 2가지 분류 방법에 따라 Fig.5 를 분리하고 GC 표현을 얻었다. 그러나 Fig.6 은 분류가 안되므로 clustering 하여 첫번째로 Fig.7 의 type 과 정보를 계산할 수 있었다.

이상 결과는 전체 처리과정의 주요 부분 만을 나타낸 것이다.

8. 결론

본 논문에서는 normal vector 의 해석이 가지고 있는 high time cost, processing 간의 연관부족, 불연속 연속의 해석 부족등의 문제를 보다 간단하지만, 연관 관계를 가지고 강력하게 대응하는 z-gradient 의 direction 과 magnitude 를 이용하였고, sphere 의 계산과 G.C. 표현을 위한 계산 algorithm 을 제시하였다.

또한 primitive 의 상호 연관 관계를 표시하는 relation 관계를 정립하였다.

아직 3-D 정보를 구할수 있는 Hardware 장비의 부족으로 합성 data 의 이용과 이에 따른 다양한 실험의 부족, 낮은 resolution 으로 인한 계산 error 의 발생등이 문제시 되었고, primitive 의 단순화로 정확한 묘사가 안된 점, 단일 시각에 의한 self-occluding 의 해석등이 아직문제로 남아 있다.

남은 연구의 방향으로는 위의 문제점의 개선과 함께 model base 를 간결하고 특징적으로 구성하는 것과 matching 방법의 제안 등을 들수 있다.

참고문헌

[1] R. A. Lewis and A. R. Johnston, "A scanning laser range finder for robotic veichle", proc. 5th int. joint conf. Artificial Intelligence, Cambidge MA. 1977

[2] M. Ishii and T. Nagata, "Feature extraction of 3-D objects and visual processing in a hand_eye system using laser tracker", Pattern Recognition, 8,299 ,1976

[3] Y. Nishikawa and S. Inokuchi, "Range data entry techniques using a laser scanner and two solid state sensor", IEEE Trans. Instrum. Measurement, IM-30(4), 270(1981)

[4] Kosuke Sato and Seiji Inokuchi, "3-D surface measurement by space encoding range imagery", Journal of Robotic Systems, 2(1), 27~39(1985)

[5] Averill M. Law and W. David Kelton, "Simulation modeling and Analysis", pp181~ McGraw-Hill, 1982

[6] Averill M. Law and W. David Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", pp176~ McGraw-hill, 1982

[7] G. J. Agin and T. O. Binford, "Computer description of curved object", Proc. 3rd Int. Joint Conf. A.I. pp 629~640 1973

[8] Michael E. Mortenson, "Geometric Modeling" John Wiley & Sons 1985

[9] Fumiaki Tomita and Takeo Kanade, "A 3D Vision system : Gernerating and matching shape discription in range image", IEEE A.I. Application Conference 1984