

## 호모그래피를 이용한 3D 모델링을 위한 데이터 정합에 관한 연구

김상훈 \*

### 요약

본 논문은 3차원 모델링을 위한 두 개의 3차원 데이터들을 정합하는데 있어서 효율적인 방법을 제안한다. 3차원 데이터들은 서로 임의의 각도에서 취득한 것으로 취득 장치의 위치 및 2차원 영상정보가 포함 되어있다. 이 정보들을 이용하여 보다 빠르고 정확한 정합을 이루는 방법을 제안한다. 2차원 영상 정보를 이용하여 보다 쉽게 대응점들을 찾아내는 것으로 대응하는 4개의 점에 대한 체적을 이용하여 모형의 크기를 일치시킨다. 또한, 이 점들로부터 얻어낸 좌표축의 호모그래피(homography)를 추출해냄으로써 2개의 데이터에 대한 정합과정은 보다 빠르고 정확하게 이루어진다. 제안한 알고리즘의 장점은 2차원 영상정보를 이용하기 때문에 정합하는 데에 있어서 오류가 적고 반복하는 과정이 불필요하다. 또한, 취득된 2차원 영상정보를 정합하고, 이를 3차원 모형에 2차원 영상을 씌움으로써 정합은 완벽하게 이루어진다.

키워드 : 3D 모델링, 3차원 데이터, 정합, 체적, 호모그래피

## A Study on registration using homography for 3D modeling

Sang-hoon Kim\*

### Abstract

The purpose of this study is to propose the efficient method of 3D data registration. Three-dimensional data including the two-dimensional image acquisition apparatus and the position information are acquired at an arbitrary angle with each other. This paper proposes the more accurate and faster matching method by using this information. Four image points founded from 2D images match the volumetric size of the model and compute the homography of the axis for registration between two 3D data sets. The advantages of the proposed algorithm are the repeating process is unnecessary and the process time is faster than previous method.

Keywords : 3D modeling, 3D data, registration, volume, homography

### 1. 서론

최근 3차원 데이터 정합(Registration)에 관한 연구는 컴퓨터 시각(Computer Vision) 및 그래

픽스 분야에서 아주 중요한 연구과제 중의 하나이다[1,2,3,4]. 이 중요한 정합기술의 발전은 나아가 응용분야로서는 2차원 영상(연속된 영상, 의료영상 등)으로부터 3차원 정보로 재구성된 데이터의 정합, 3차원 물체 인식, 컴퓨터 그래픽스 모델링 등 많은 활용분야가 있다. 3차원 정보 취득 장치로 얻은 3차원 데이터의 특성은 지역좌표(local coordinate)의 형태로서 취득 장치의 위치에 비례한 공간상의 좌표(X,Y,Z)의 형태로 이루어져 있다. 기준이 되는 취득 장치의 위치에 따라 같은 오브젝트의 공간상 위치는 공간좌표(world coordinate) 또한 다르다[5]. 따라서 3차원 데이터들을 공간상의 한 좌표로 일치시키

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김상훈  
접수일:2014년 05월 29일, 수정일:2014년 08월 28일  
완료일:2014년 08월 30일  
\* 제주한라대학교 방송영상과  
Tel: +82-64-741-7466, Fax: +82-64-741-7465  
email: shkim0207@chu.ac.kr

▣ 본 연구는 산업통상자원부의 2013년도 지역특화산업육성사업 기술개발 연구비 지원에 의해 수행되었음

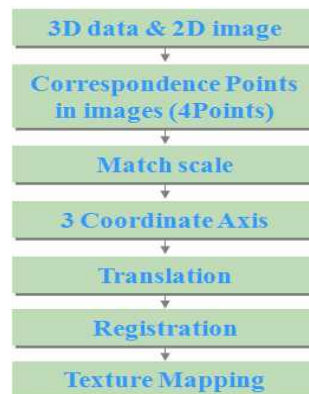
는 정합과정을 필요하다. 기존 방법으로서 거리 영상(range-image)을 이용한 방법[6], 구맵(geo-sphere)에 그려지는 깊이(Z-buffer) 정보를 이용한 방법[7], 특정한 점에 대한 법선 벡터에서의 상대적인 거리를 영상(spin)의 형태로 나타내어 이 영상을 이용한 방법[8], 단위체적(volume metric)을 이용한 방법[9] 등 여러 정합과정들이 있다. 3차원 형상 취득장치로부터 얻은 3차원 거리정보 데이터들에 대한 정합은 대략적 정합(Coarse-registration)과 근사적 정합(Fine-registration)으로 분류된다. 전자는 근사적 정합을 위하여 대략적인 변위(Transformation)로 각 3차원 데이터의 좌표축들을 하나의 좌표축 방향으로 근접시키는 방법이다. 이러한 방법으로 어느 정도 3차원 데이터의 대략적 정합을 실현한 후 수정된 3차원 데이터를 근사적 정합의 방법으로 최적의 정합을 이루는데, 기존의 가장 대표적인 방법인 ICP(Iterative Closest Point)알고리즘을 사용한다. 기존 ICP알고리즘은 공간상 점들 사이에 가장 근접하는 점들을 대상으로 최단거리에 대한 최적의 변위를 계산하여 정합하는 방법이다. 그러나 이 방법은 모든 점들 사이의 거리계산을 반복적으로 수행함에 따라 연산시간이 매우 길다. 따라서 기존 방법보다 빠르고 정교한 정합을 위해서는 빠른 대략적 정합이 근사적 정합으로 이어지는 계층적(Coarse-to-fine) 정합의 연구가 반드시 요구된다.

본 논문은 3차원 데이터의 정보와 2차원 영상을 이용하여 대응화소를 찾아내고 이를 이용해 오브젝트의 크기와 위치에 대한 호모그래피를 찾아내어 빠르고 효율적으로 3차원 데이터를 정확히 일치시키는 방법을 제안한다. 3차원 정보 취득 장치는 취득데이터가 취득장치 위치에 대한 3차원 데이터와 카메라로부터 2차원 영상을 동시에 취득한다. 따라서 이 두 개의 영상을 이용하여 카메라의 내부 변수(intrinsic parameters)를 얻어낼 수 있다. 3차원 공간상의 좌표에 정합을 이루고, 2차원 영상을 3차원 오브젝트의 텍스처 맵으로 이용하여 보다 시각적으로 구현하는데 목적이 있다[10].

## 2. 3차원 데이터 정합

3차원 정보 취득 장치에서 얻어진 각각의 데이터들은 각기 다른 각도와 위치에서 취득한 것이므로 데이터의 크기와 형태는 다르다. 데이터들은 취득장치의 위치로부터 데이터까지의 초점거리가 다르기 때문에 이를 계산하는 과정과 데이터의 척도를 일치시키는 과정이 필요하다.

(그림 1) 정합과정 다이어그램

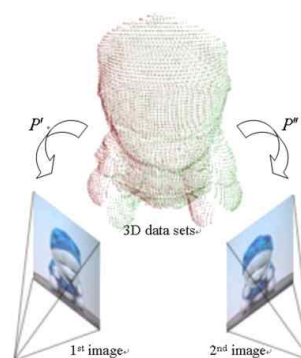


(Figure 1) Diagram of registration process

### 2.1 체적을 이용한 데이터 척도조정

3차원 정보 취득 장치로부터 얻은 두 개의 3차원 데이터들은 척도가 다르기 때문에 일치시키기 위하여 체적을 이용한 방법을 제안한다. 카메라로부터 얻은 2차원 영상을 기준으로 하여 각 영상의 특징화소 추출 알고리즘으로 특징화소를 추출하고 매칭(matching)을 통하여 4쌍의 대응되는 화소들을 찾아낸다[11].

(그림 2) 정합과정



(Figure 2) Registratio process

3차원 데이터의 공간상의 점(X,Y,Z)들은 2차원 영상화소(x,y)로 투영되는 행렬식(  $P$  )으로 표현할 수 있는데 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} -f_x & 0 & I_{center}^x & 0 \\ 0 & f_y & I_{center}^y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

이 사영행렬(  $P$  )은 카메라 교정과정에서 구한 행렬(4x3)이므로 이를 역투영하는 행렬(  $P^*$  )을 이용하여 2차원 영상에서 대응되는 4쌍의 화소들은 3차원 공간상의 데이터에서 가까운 4쌍의 점들을 쉽게 찾을 수 있다. 4쌍 점들의 위치는 공간좌표에서 서로 같기 때문에 이를 이용하여 척도를 맞추고 정합하는데 이용한다. 역투영하여 찾아낸 공간상 4쌍의 점들은 각기 다른 체적을 가지게 된다. 첫 번째 3차원 데이터(  $S'$  )의 4개 대응점들을

$Q'_i = \{X'_i, Y'_i, Z'_i\}$ ,  $i = 0, 1, 2, 3$  라 하고 두 번째 3차원 데이터(  $S''$  )의 4개 대응점들을

$Q''_j = \{X''_j, Y''_j, Z''_j\}$ ,  $j = 0, 1, 2, 3$  라 하자. 단, 각각 4쌍의 대응점들은 공간상에서 같은 평면에 놓이지 않게 하고, 같은 평면일 때 다른 4쌍의 대응점들을 수정하여 설정한다. 각 데이터의 체적을  $V'$ ,  $V''$  이라 하면 Lagrange's method를 이용하여 체적을 다음과 구할 수 있다.

$$V' = \det \frac{1}{3!} \begin{pmatrix} X'_1 - X'_0 & Y'_1 - Y'_0 & Z'_1 - Z'_0 & 1 \\ X'_2 - X'_0 & Y'_2 - Y'_0 & Z'_2 - Z'_0 & 1 \\ X'_3 - X'_0 & Y'_3 - Y'_0 & Z'_3 - Z'_0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

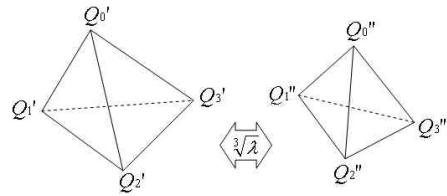
$$V'' = \det \frac{1}{3!} \begin{pmatrix} X''_1 - X''_0 & Y''_1 - Y''_0 & Z''_1 - Z''_0 & 1 \\ X''_2 - X''_0 & Y''_2 - Y''_0 & Z''_2 - Z''_0 & 1 \\ X''_3 - X''_0 & Y''_3 - Y''_0 & Z''_3 - Z''_0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

여기서, 체적의 비율을  $\lambda = \frac{V'}{V''}$  라 하고  $S''$  의 각 점에 척도비(  $\sqrt[3]{\lambda}$  )를 곱하여 주면,

$$\hat{S}'' = \sqrt[3]{\lambda} S''$$

두 번째 데이터(  $S''$  )의 점들은 갱신되면서  $\hat{S}''$  는 첫 번째 데이터(  $S'$  )와 매우 유사한 크기의 척도를 가지게 된다.

(그림 3) 척도비를 이용한 척도조정



(Figure 3) Volumetric scaling

### 2.2 공분산(covariance) 행렬을 이용한 정합 과정

3차원 데이터는 구(sphere)나 정육면체(cube) 등의 기하학적 형태의 오브젝트를 제외한 다른 형태의 3차원 오브젝트는 수학적 기법인 공분산(covariance) 행렬을 이용하여 고유의 3방향성분을 지닌 직각좌표계를 구성할 수 있는데 이는 데이터 정합에 있어서 중요한 요소가 된다[12]. 공간상 4쌍의 점에 대한 직각좌표계의 원점(  $C_0$  )은 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$C_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i, \quad n = 4$$

공분산 행렬을 SVD(singular value decomposition) 하여 분해하고 대각행렬(  $D$  )의 대각성분을 내림차순으로 순차 정렬하여, 직교행렬(  $U$  )을 구할 수 있다.

$U$  의 세로방향 성분으로 가지는 고유값(eigen-value)은 고유벡터(eigen-vector)로 치환하여 직각좌표계의 원점(  $C_0$  )과 이루는 4점으로 축을 생성할 수 있다. 이를 수식적으로 표

현하면 다음과 같다.

$$Cov = UDV^T$$

$$= \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 & 0 & 0 \\ 0 & d_2 & 0 \\ 0 & 0 & d_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \end{bmatrix}^T$$

여기서, 대각행렬의 성분은  $(d_1 > d_2 > d_3)$ 이다. 두 데이터의 4쌍 대응점들로부터 각각의 원점( $C'_0, C''_0$ )과 공분산 행렬( $Cov', Cov''$ )을 구하여 대응점들의 변위를 나타내는 변환식은 다음과 같다.

$$T = \begin{pmatrix} U_1 U_2^T & C''_0 - C'_0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$Q'$ 의 좌표축으로  $Q''$ 을 이동하는 변위  $T$ 는 4쌍의 대응점에 해당하는 4x4 행렬이므로 이 변위는  $S'$ 와  $\hat{S}''$ 의 사이의 변위와 유사하다고 할 수 있다. 따라서, 변위  $T$ 에 의해 재 수정된 두 번째 데이터 ( $\tilde{S}''$ )는 아래 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\tilde{S}'' = T^T \hat{S}''$$

이것은  $S'$ 와  $\tilde{S}''$ 이 3차원 공간상에서 같은 좌표축을 가지게 된다는 것을 의미한다. 따라서 첫 번째 데이터( $S'$ )와 재 수정된 두 번째 데이터( $\tilde{S}''$ )는 정합을 이루게 된다. 오브젝트의 공간좌표에 정렬을 시킨 후 최적화의 과정에 있어서 기존 알고리즘인 ICP(iteration closest point)알고리즘[13]을 이용하여 더욱 더 정교하게 정합이 가능하다. 이러한 방법으로 2차원 영상으로부터 3차원 재구성된 여러 데이터는 연속적으로 정합을 이루어 하나의 데이터를 이루게 된다[14]. 이같이 제시한 알고리즘은 단지 4개의 대응점만을 가지고 정합하므로 기존의 방법보다 훨씬 빠르고 효율적으로 정합하는데 장점이 있다.

### 2.3 텍스처 맵핑(texture mapping)

텍스처 맵핑(texture mapping)을 하기 위하여 3차원 재구성된 데이터의 점들에 삼각형 메쉬(mesh)를 설정하는 과정이 필수적이다. 카메라에서 취득된 2차원 영상은 3차원 취득장치로부터 얻은 데이터와 깊은 관계가 있다. 사영행렬은 둘 사이의 좌표이동이 가능하게 한다. 3차원 데이터의 형태는 대개 깊이 정보에 비해 가로세로 비율이 큰 장방형 구조를 가지며 방향성은 카메라의 위치로 향해 있으므로 앞서 제시한 공분산 행렬을 데이터 전체에 적용하여 얻어낸 고유벡터의 크기가 큰 순서로 2개의 축을 선정하여 가상의 2차원 평면을 만든다. 이 평면에 재구성된 3차원 데이터를 투영시켜 2차원 삼각형 메쉬(Delaunay triangulation)방법으로 2차원 평면에 투영된 점들에 삼각형 메쉬를 구성하고 이를 다시 역으로 투영하여 3차원 공간상의 데이터에 삼각형 메쉬를 구성하게 된다[15]. 이에 3차원 삼각형 메쉬에 해당하는 2차원 영상에서의 영역을 찾아 역 사영행렬을 이용하여 그 영역에 해당하는 2차원 영상에서의 화소값을 3차원 데이터의 삼각형 메쉬에 할당해 줌으로써 텍스처 맵핑은 이루어진다.

(그림 4) 3차원 오브젝트의 텍스처 맵핑



(Figure 4) Texture mapping of 3D object

### 3. 실험결과

본 논문은 3차원 취득장치로부터 얻은 정보들을 이용하여 카메라의 내부 파라미터를 추출하고 3차원 데이터와 2차원 영상간의 상호관계를 정리하여 3차원 데이터들의 정합을 실현하였

다.

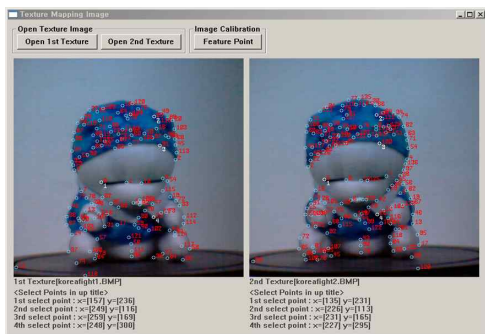
(그림 5) 2차원 영상과 3차원 데이터의 대응점



(Figure 5) Correspondence between 2D and 3D

본 논문의 방법처럼 두 장의 2차원 영상으로부터 대응되는 4개 쌍의 화소들을 찾아 이 화소에 대응하는 3차원 공간상의 대응되는 4개 쌍의 점들을 유추하고, 4개 점에 대한 직교좌표를 설정하여 두 데이터간의 호모그래피를 찾아낼 수 있었다. 본 논문의 알고리즘은 반복적인 수행이 없어 기존의 방법보다 훨씬 빠르고 간단하게 정합을 실현할 수가 있었다.

(그림 6) 호모그래피 계산을 위한 4쌍의 대응점



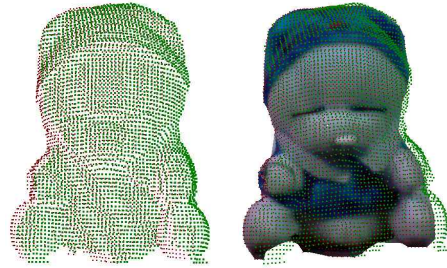
(Figure 6) 4 Points for Homography computation

<표 1> 정합 결과의 기존연구와 비교

	Previous(ICP) method	propose method
Camera Angle after registration(°)	53.9	55.5
Distance between main Axis	3.15	1.4
Operation count	much	small
process time(sec.)	6.81	1.18

<Table 1> Registration results

(그림 7) 3차원 데이터의 정합



(Figure 7) 3D Registration result

#### 4. 결론

3차원 취득장치로부터 얻어진 3차원 데이터의 정합과정에서 제시된 방법은 매우 빠르고 효과적인 방법이라 할 수 있다. 또한 제시된 방법은 기존의 ICP알고리즘만으로 구현한 정합과정 보다 빠르고 정확하며, 다양한 데이터의 초기 정합에 있어서 매우 효과적인 방법으로 구현된다. 더 나아가 제시된 알고리즘을 응용하여 3차원 취득장치로부터 얻어진 3차원 데이터뿐만 아니라 2차원 영상을 기반으로 하여 조밀한 대응점으로 재구성된 3차원 데이터도 그 데이터의 정밀성을 신뢰할 수 있다면 영상기반 3차원 재구성 데이터의 정합도 가능하다고 판단된다. 이를 통해 3차원 그래픽스에서 요구되는 3차원 모델링을 영상 기반으로 구현할 수 있는 방법으로 활용 가능할 것으로 본다. 그러나, 영상기반으로 한 데이터 자체에는 많은 에러를 포함하고 있어 최근의 영상기반 3차원 재구성의 방법을 동원하더라도 이러한 에러는 자동 제거되지 않는다. 따라서 이에 보다 효과적인 방법을 모색해 나가야 할 과제가 남아있다.

References

[1] Tae-Eun Kim, "The study of depth information acquisition in 2D pattern image," Journal of Digital Contents Society, Vol.6, No.1, pp.35-39, Mar. 2005.

[2] Jeong-Ah Han, Laiwon Seo, "SLM using GIS data formats for 3D virtual model of research," Journal of digital contents society, Vol.15, No.1, pp.113-120, Feb. 2014.

[3] Cheol-Woong Lee, Il-Min Kim, Sae-Hong Cho, "Design and Implementation of 3D Facial Aesthetic Surgery System," Journal of Digital Contents Society, Vol.9, No.4, pp 751-758, Jan. 2008.

[4] Tae-Eun Kim, "A Study on 3D Modeling Technique using Parametric Representation," Journal of Digital Contents Society, Vol.5, No.3, pp. 176-179, Sep. 2004.

[5] Horn, Berthold KP. "Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions," JOSA A 4.4 (1987): 629-642.

[6] G. Roth, "Registering two overlapping range images," In Proceedings of the Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'99), pages 191 - 200, Oct. 1999.

[7] Benjemaa, Raouf, and Francis Schmitt. "Fast global registration of 3D sampled surfaces using a multi-z-buffer technique," Image and Vision Computing 17.2 (1999): 113-123.

[8] A. Johnson and M. Hebert, "Using spin images for efficient object recognition in cluttered 3D scenes," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.21, no.5, pp. 433-49 May, 1999.

[9] B. Curless and M. Levoy, "A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images," Proc. ACM SIGGRAPH 96, pp. 303-312, 1996.

[10] D. F. Huber and M. Herbert, "Fully Automatic Registration of Multiple 3D Data Sets," In Proceedings of IEEE Computer Society Workshop on Computer

Vision Beyond the Visible Spectrum. Dec. 2001.

[11] Reinhard Koch, "Automatic Reconstruction of Buildings from Stereoscopic Image Sequences," Eurographics '93, Barcelona, Spain, 1993.

[12] Charles V. Stewart, "Covariance-Based Registration," Department of Computer Science Technical Report RPI-CS-TR 02-8, Rensselaer Polytechnic Institute, June 2002

[13] P.J. Besl and N.D. McKay, "A method of registration of 3-D shapes," IEEE Trans. Pattern Anal. & Machine Intell., vol.14, no.2, pp.239 - 256, Feb. 1992.

[14] K. Pulli, "Multiview registration for large data sets," In Proceedings of the Second International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'99), pp.160 - 168, Oct. 1999.

[15] T. K. Dey, J. Giesen and J. Hudson, "Delaunay based shape reconstruction from large data," Proc. IEEE Symposium in Parallel and Large Data Visualization and Graphics, pp.19-27, 2001.



김 상 훈

1999년 : 인하대학교 전자공학과 (학사)  
 2002년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 (영상공학석사)  
 2008년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 (영상공학박사)

2008년~2009년: 성균관대학교 ISRC 연구원  
 2009년~2010년: 연세대학교 TMS기술사업단 연구원  
 2010년~현재: 제주한라대학교 방송영상과 교수  
 관심분야 : 3D 입체영상, 증강현실(AR), 영상처리, 컴퓨터 비전 등