

도심지 3D 모델링을 위한 동일건물 인식

Building Identification for 3D Modeling of Urban Area

손홍규¹⁾ · 박정환²⁾ · 김호성³⁾

Sohn, Hong Gyoo · Park, Jung Hwan · Kim Hosung

- 1) 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수, E-mail:sohn1@yonsei.ac.kr
- 2) 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정, E-mail:c142520@yonsei.ac.kr
- 3) 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정, E-mail:hosung@yonsei.ac.kr

요 지

3차원 지형공간정보체계에 대한 관심의 증가와 함께 도심지의 3차원 모델링에 관한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 단색영상을 이용하여 영역기반정합이나 형상기반정합을 실시하던 기존의 3차원 모델링 기법은 오정합이 많이 발생할 수 있으며, 모델링에 소요되는 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 새로운 3D 모델링에 대한 접근법의 하나의 단계로서 컬러영상으로부터 경계정보와 색상정보를 활용하여 동일건물을 인식하는 방법에 대하여 연구를 수행하였다. 경계정보에 대해서는 보완된 Hausdorff 거리 개념을 사용하였으며, 색상정보에 대해서는 수정된 컬러 인덱싱 기법을 사용하였다. IKONOS영상을 사용하여 실험을 실시한 결과 두 가지 정보를 각각 단독으로 사용하는 경우 보다는 두 가지 정보를 조합하여 사용하는 경우 인식이 보다 효과적으로 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

최근 컴퓨터의 성능향상과 함께 3차원 지형정보에 대한 관심이 높아짐에 따라 3차원 모델링에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 시각화된 3차원 영상은 2차원적인 영상으로는 해석 및 분석이 불가능했던 지형분석, 시뮬레이션 및 경관분석 등에 활용될 수 있는 장점이 있다. 기존의 많은 연구들은 3차원 모델링의 계원으로 흑백영상을 이용하여 중복된 두 영상 간의 영상정합을 수행하는 방법에 기초하고 있다. 이러한 접근법은 상관계수법이나 최소제곱법과 같은 영역기준 영상정합법을 이용하는 것이 대부분이며, 형상정합을 실시하더라도 단순히 경계정보만을 이용하는 것이 주를 이루며 도

로나 강과 같은 선형의 형상을 찾는 것에는 효과적이거나 건물과 같은 폐합된 도형의 인식에는 어려움이 있다. 또한 기존의 방법들은 영역기반의 영상정합의 경우 에피폴라 기하를 이용하여 정합 영역을 최소화하더라도 영상정합에 소요되는 시간이 많이 걸리고 또한 영상전체에 대한 영상정합을 한꺼번에 수행하기 때문에 특정 도심지와 같은 국부적인 3D 모델링을 수행하는데 비효율적인 단점이 있다. 또한 경계정보를 이용한 형상정합의 경우도 비슷한 모양의 건물이 밀집된 도심지에서는 그 효율성과 정확성이 감소하는 단점이 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 비전에서 사용되던 패턴 인식을 통한 대상물 정합의 원리를 도입하여 최근 많이 보급되고 있는 컬러영상

을 활용하여 3D 모델링을 실시함으로써 흑백의 단색영상을 이용한 3D 모델링의 단점을 보완하고자 하였다. 즉, 컬러영상으로부터 모델링하고자 하는 대상물의 경계정보를 추출하고 경계정보 내의 색상정보를 함께 이용하여 두 장의 영상으로부터 동일한 대상물을 인식한 후 인식된 대상물 사이의 직접적인 정합을 이용함으로써 빠르고 효율적인 3D 모델링이 수행될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 과정의 하나로서 대상물의 인식을 연구범위로 하고 있으며, 대상물 인식의 기초가 되는 대상물의 경계정보 추출은 현재 사진측량 및 패턴 인식 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있는 바, 연구범위에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 경계정보의 추출이 이루어진 상태를 기반으로 실험을 실시하였다.

건물의 경계정보를 이용하는 방법으로는 Hausdorff 거리 개념을 이용한 대상물의 비유사성을 비교하는 방법을 사용하였으며, 색상정보를 이용하는 방법으로는 RGB 3차원 히스토그램 개념을 활용한 컬러 인덱싱 기법을 이용하여 두 대상물의 유사성을 비교하는 방법을 사용하였다. 또한 이 두 가지 정보를 함께 이용하여 대상물의 인식이 보다 효율적으로 이루어지는지를 분석하였다. 관련 연구사례로는 Hausdorff 거리 개념을 이용하여 두 영상의 인식과 관련된 연구를 Huttenlocher 등(1993)이 수행한 바 있으며, 대상물 정합을 위해 컬러 및 경계정보를 활용한 연구(Dubuisson 등, 1994), 영역 분할을 이용한 입체 영상의 정합(Boufama 등, 2002) 등이 있다.

2. 컬러영상을 이용한 건물인식

2.1 경계정보의 활용

대상물의 경계정보를 특징짓는 가장 기본적인 정보는 하나의 대상물의 경계 상에 혹은 경계 내에 존재하는 점들의 분포라고 할 수 있다. 경계정보를 활용한 대상물의 비유

사성을 평가하는 방법으로 두 경계점들의 집합 사이의 거리 개념을 사용할 수 있다. Hausdorff 거리란 하나의 점들의 집합에서 가까운 거리에 존재하는 다른 점들의 집합까지의 최대 거리를 의미한다. 각각 N_A , N_B 의 크기를 갖는 두 개의 집합 A와 B를 생각한다면 Hausdorff 거리는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D(A, B) = \max(d(A, B), d(B, A)) \quad (1)$$

여기서 $d(A, B)$ 와 $d(B, A)$ 는 직접거리(direct distance)라고 하며 다음과 같이 계산하며 $\| \cdot \|$ 연산은 두 개의 벡터사이의 Euclidean norm을 의미한다.

$$d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (2)$$

$$d(B, A) = \frac{1}{N_B} \sum_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\| \quad (3)$$

모든 경우에 대해 $D(A, B)$ 는 항상 0 이상의 값을 가지게 되며 만약 $D(A, B) = 0$ 이라면 두 개의 점의 집합은 완벽히 동일한 점들의 집합이라고 할 수 있다.

Hausdorff 거리인 $D(A, B)$ 는 변위, 회전 및 축척과 관련이 있기 때문에 거리개념을 도입하기 전에 두 개의 점의 집합들 사이의 변환을 고려해야 한다. 따라서 분할된 두 개의 대상물의 변위, 회전, 축척이 동일해지도록 변환을 수행한 후 두 개의 집합사이의 비유사성을 고려하였다. 따라서 두 집합사이의 거리는 식 4와 같이 변형되어 표현될 수 있다.

$$S^d = D(E_1^T, E_2) \quad (4)$$

여기서 $D(E_1^T, E_2)$ 는 위에서 설명한 Hausdorff 거리이며, E_1^T 은 E_1 의 변환된

점의 집합을 의미한다. 또한 색상정보와의 조합을 위하여 0~2의 값을 갖도록 S^c 의 값을 보정하여 유사도를 측정하였다.

2.2 색상정보의 활용

두 개의 영상내의 대상물의 색상정보의 유사성을 평가하는 방법으로 기존의 컬러 인덱싱 기법을 보완하여 사용하였다(Swain and Ballad, 1991). 컬러 히스토그램은 RGB의 3차원 공간상에서 계산되며 두 개의 대상물의 컬러 히스토그램 $H_1(r,g,b)$ 와 $H_2(r,g,b)$ 에 대하여 색상정보의 유사도는 다음과 같이 정의된다.

$$S^c = \frac{\sum_r \sum_g \sum_b \min(H_1(r,g,b), H_2(r,g,b))}{\min(|H_1|, |H_2|)} \quad (5)$$

여기서 $|H_1|$ 과 $|H_2|$ 는 각각 히스토그램의 전체 영상소의 개수를 의미한다. 색상정보의 유사도 S^c 는 $0 \leq S^c \leq 1$ 의 값을 가지게 되며, $S^c=1$ 인 경우 하나의 히스토그램 분포가 다른 하나에 완전히 포함되는 것을 의미하게 된다. 본 연구에서는 컬러 히스토그램을 생성할 때 계산에 소요되는 시간과 효율성을 고려하여 0~255의 밝기값을 64개의 단계로 재분류하여 실험에 적용하였다.

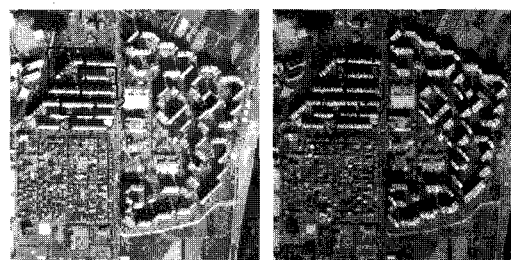
3. 자료처리 및 결과

본 연구에서 사용한 두 가지 알고리즘을 실제 컬러영상에 적용하기 위하여 2000년 11월 11일(3662)과 2001년 11월 19일(4485)에 촬영된 두 장의 대전지역 IKONOS 컬러영상을 실험영상으로 선택하였다. 각각의 두 장의 IKONOS RGB 영상으로부터 아파트가 밀집되어 있는 대상지역을 선정하였으며 대상지역 내의 5개의 대상물의 경계를 추출하였다. 그림 1은 실험에 사용된 RGB 영상 중 R 영상 및 선정된 대상지역을 보여주고 있으며 그림 2는 대상지

역 내에서 선택된 5개의 대상물을 보여주고 있다.



(a) 3665 r-영상 (b) 4485 r-영상
그림 1. 실험에 사용된 IKONOS 영상



(a) 3665 (b) 4485
그림 2. 대상지역 및 5개 대상 건물

그림 2에서 보는 바와 같이 아파트가 밀집된 도심지역에서의 경계정보는 각각의 대상물이 매우 유사한 형태를 나타내게 된다. 따라서 단순히 형상정보만을 이용하여 대상물의 정합을 실시할 경우 그 결과가 정확하게 나타나지 않을 가능성이 있으며 이에 대한 보완이 필요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 인식의 결과에 대한 오정합의 확률을 줄이기 위하여 유사도에 대한 값 외에 다음과 같은 결정방식을 정하였다. 결정방식을 정하기 위하여 3665 영상의 i 번째 건물과 4485 영상의 1~5, 5개의 건물과의 유사도를 $\{S_{i,1}, \dots, S_{i,5}\}$ 로 표현하도록 가정하였고, 또한 높은 순위의 유사도를 순서대로 $\{S_{i,(1)}, \dots, S_{i,(5)}\}$ 로 표현하도록 가정하였다. 이 때 다음의 같은 결정 방식을 사용하여 올바른 인식 여부를 판단하였고 그 값을 M_i 로 표현하였다.

$$\begin{cases} S_{i,(1)} = S_{i,j} \\ S_{i,(1)} > \Delta_1 \\ S_e > \Delta_2 \end{cases} \quad (6)$$

식에서 S_e 는 가장 높은 순위에 있는 두 값의 차이($S_e = S_{i,(1)} - S_{i,(2)}$)를 의미하며, 따라서 이 결정방식은 가장 높은 순위의 값이 실제 두 동일 건물 간의 값과 같아야 함을 나타내며, 또한 가장 높은 유사도의 값이 임계값 이상의 값을 가져야 하며, 가장 높은 두 실험값의 유사도 차이가 충분히 커야 동일 건물로 인식되었음을 받아들일 수 있다는 것을 의미한다. 위에서 설명된 알고리즘을 적용하여 5개의 대상물에 대하여 색상정보의 유사성과 경계정보의 비유사성을 계산하였으며 그 결과는 표 1,2과 같다. 결정방식을 적용함에 있어 Δ_1 은 평균값을 사용하였으며, 실험을 통하여 Δ_2 는 0.1의 값으로 정하였다.

표 1에서 보는 바와 같이 경계정보에 대한 실험결과 \overline{R} 은 1.8, R_{\max} 는 3으로 나타났으며, 실제 인식이 일어난 것은 2가지의 경우였고, 결정방식을 적용하여 2번 건물에

대한 실험값은 유효범위 밖에 있는 것으로 판단되어 인식에서 제외하였다. 즉, M_f 의 값은 3을 나타내었고 M_i 의 값은 1을 가지며, 경계정보를 활용하여 인식을 수행한 결과 20%의 인식률을 나타내었다. 또한 표 2에서 보는 바와 같이 색상정보에 대한 실험결과 \overline{R} 은 2.6, R_{\max} 는 4로 나타났으며, 실제 인식이 일어난 것은 5번 건물 1가지의 경우였고, 이 경우도 결정방식에 의해 받아들이기 힘든 유효범위 밖의 값으로 확인되었다. 즉, M_f 의 값은 4를 나타내었고 M_i 의 값은 0을 가지며, 경계정보를 활용하여 인식을 수행한 결과 0%의 인식률을 나타내었다. 실험결과에 나타났듯이 비슷한 형태와 색상을 가진 실제 영상에 대하여 경계정보나 색상정보를 각각 단독으로 사용하여 인식을 수행하기엔 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 거리의 경우 두 대상물 사이의 비유사도를 나타내고 색상의 경우 두 대상물 사이의 유사도를 나타내므로, 식 7과 같은 식을 제안하여 인식 실험을 수행하였다.

$$S = 2S^c - S^d \quad (7)$$

표 176 경계정보를 활용한 건물인식 실험결과

	$S_{d(i,i)}^d$	R^d	$S_{i,(1)}^d$	S_e^d
object 1	0.675	2	0.536	0.039
object 2	0.752	1	0.752	0.083
object 3	0.897	2	0.857	0.040
object 4	0.870	3	0.660	0.191
object 5	0.700	1	0.700	0.331

표 177 색상정보를 활용한 건물인식 실험결과

	$S_{i,i}^c$	R^c	$S_{i,(1)}^c$	S_e^c
object 1	0.634	2	0.761	0.127
object 2	0.662	4	0.684	0.002
object 3	0.591	3	0.711	0.077
object 4	0.732	3	0.785	0.043
object 5	0.621	1	0.621	0.015

표 178 색상정보를 활용한 건물인식 실험결과

	object 1	object 2	object 3	object 4	object 5
S_{ii}	0.592	0.572	0.284	0.593	0.542
R	1	1	1	2	1

표 179 동일 건물 인식 실험 결과

방법	\bar{R}	R_{max}	M_f	M_t	$P_r(\%)$
경계정보	1.8	3	3	1	20
색상정보	2.6	4	4	0	0
경계+색상정보	1.2	2	1	4	80

표 3에서 보는 바와 같이 경계정보와 색상 정보를 함께 사용하여 인식실험을 수행한 결과 4번 건물을 제외한 4개의 건물에 대해 동일건물 인식이 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 Hausdorff 거리 개념을 적용한 경계정보와 보완된 컬러 인덱싱 기법을 적용한 색상정보를 활용하여 유사한 건물이 밀집된 도심지의 5개의 건물에 대하여 동일 건물의 인식에 관한 실험을 수행하였다. 실험결과 색상정보와 경계정보를 각각 단독으로 사용한 경우 도심지와 같은 유사한 건물이 밀집된 지역에서는 동일건물의 인식에 오정합이 포함될 수 있음을 확인하였으며 따라서 이 두 가지 정보를 조합하여 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 향후 인식된 결과를 이용하여 각각 동일 건물로 인식된 대상물 사이에 직접적인 영상 정합을 통하여 도심지의 3D 모델링을 수행한다면 기존의 영상정합이 갖는 오정합과 비효율적인 면을 보완할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Boufama, B. and O'Connell, D., (2002), Region Segmentation and Matching in Stereo Images, *Pattern Recognition, Proceedings 16th International Conference*, Vol. 3, pp. 631-634.
2. Dubuisson, M. P. and Jain, A. K., (1994), Fusing Color and Edge Information for Object Matching, *Image Processing, Proceedings ICIP-94.*, IEEE International Conference, Vol. 3, pp. 982-986.
3. Huttenlocher, D. P., Klanderma, G. A. and Rucklidge, W. J., (1993), Comparing Images Using the Hausdorff Distance, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 9, pp. 850-863.
4. Swain. M. J. and Ballard, D. H., (1991), Color Indexing, *International Journal of Computer Vision*, Vol. 7, No. 1, pp. 11-32.