누적 히스토그램을 이용한 3차원 물체의 부재 검색

3D partial object retrieval using cumulative histogram

은성종, Sung-Jong Eun*, 현대환, Dae-Hwan Hyoen**, 이기정, Ki-Jung Lee**, 황보택근, Taeg-Keun Whangbo***

요약 제안된 방법은 3 차원 모델로부터 형상 기술자를 추출하고, 형상의 유사성을 비교하기 위해 특징 기술자를 이용한다. 대부분의 검색 방법들은 데이터베이스에서 개별적인 3 차원 모델의 비교와 검색에 중점이 되어있지만, 본 유사성 검색 방법은 형상 유사성을 이용하여 3 차원 물체의 부재 비교와 검색에 초점이 맞추었다. 물체의 부재 유사성 검색 방법은 3 차원 모델들의 유사한 부분을 찾는 것과 유사한 부분을 포함하는 3 차원 모델을 찾는 것으로 확장된다. 성능 평가를 위한 실험에서 유사한 3 차원 석탑 모델의 부재를 효과적으로 검색하였다.

Abstract The techniques extract shape descriptors from 3D models and use these descriptors for indices for comparing shape similarities. Most similarity search techniques focus on comparisons of each individual 3D model from databases. However, our similarity search technique can compare not only each individual 3D model, but also partial shape similarities. The partial shape matching technique extends the user's query request by finding similar parts of 3D models and finding 3D models which contain similar parts. We have implemented an experimental partial shape-matching search system for 3D pagoda models, and preliminary experiments show that the system successfully retrieves similar 3D model parts efficiently.

핵심어: Partial shape matching, Similarity retrieval, Shape descriptor, 3D mesh data

본 논문은 문화체육관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소육성사업의 연구결과로 수행되었음.

*주저자 : 경원대학교 IT 대학 석사과정, e-mail: asclephios@hotmail.com

**공동저자 : 경원대학교 문화콘텐츠기술연구소, e-mail: 70jazz@hanafos.com, lkj9731@ kyungwon.ac.kr

***교신저자 : 경원대학교 IT 대학 교수; e-mail: tkwhangbo@kyungwon.ac.kr

1. 서론

3 차원 모델의 유사성 검색 기법들은 3 차원 모델의 데이터베이스를 효과적으로 처리하기 위해 많은 연구가 되어왔다[2-6]. 이 방법들은 3 차원 모델로부터 형상 기술자를 추출하고 유사성 비교를 위해 색인에 이들 기술자를 이용한다. 키워드 색인에 기반한 시스템에서 사람이 만든 키워드 색인들은 주관적이고, 오차를 포함한 검색 결과를 유발한다. 그러나, 형상 기술자 기반 시스템은 믿을 만한 결과를 가져온다. 다양한 형상 기술자들이 최근에 제안되고 있고, 3 차원 모델 검색 기법들의 검토가 다양한 논문들에서 보여진다[1-3]. 논문들은 연구된 형상 기술자들의 특성을 분류하였고, 형상 매칭 기법들을 요약하였다. 대부분의 유사성 검색 기법들은 데이터베이스에서 개별적인 3 차원 모델의 비교가 주를 이루고 있다. 그러나, 본 유사성 검색 기법은 개별적인 3 차원 모델뿐만 아니라, 가능한 부재 형상 매칭 데이터도 비교를 한다. 부재 형상 매칭 기법은 사용자의 질의요구에 유사한 부재들의 검색, 유사한 부재를 포함하는 검색과 유사한 부분의 수를 계산하는 범위까지 확장이 가능하다. Suzuki [7]는 3 차원 삼각화된 폴리곤 메쉬에 대한 부재 형상 매칭 방법을 제안했다. 이 시스템은 3 차원 모델들의 특정 부분을 질의 데이터로 선택할 수 있는 인터페이스를 가지고 있다. 시스템은 3 차원 모델을 삼각형 메쉬들로 분할하고, 다양한 조합의 삼각형 메쉬 집합을 구한다. 이 방법은 유사성 비교하기 위해 각 삼각형 메쉬에서 형상 기술자를 추출한다. 이것은 억지 접근 방식(Brute-force approach)과 유사하기 때문에 원래의 시스템은 형상 기술자들을 비교하기 위해서 많은 비교 과정이 요구된다. 검색에 요구되는 시간을 줄이기 위해 동적 계획 접근법(dynamic programming approach)을 시스템에 적용했다[8]. 이 방법은 많은 수의 데이터 집합을 비교하기에 적합하다. 예를 들어, 이 시스템은 유사한 부재를 찾는데 3 분이 걸렸고, 반면에, 억지 접근 방법은 3 시간이 소요됐다. 이 시스템은 검색 시간이 많이 줄었지만, 빠른 응답을 요구하는 시스템에서는 효과적이지 못하다. 시스템의 한가지 문제는 삼각형 메쉬 연결성에 기반하여 모든 가능한 부재의 조합을 찾는 것이다. 그러므로, 본 연구는 3 차원 모델로부터 형상 기술자를 추출하고, 형상의 유사성을 비교하기 위해 이들 기술자를 이용한다. 본 유사성 검색 방법은 형상 유사성을 이용하여 3 차원 물체의 부재 비교와 검색 결과에 근거하여 3 차원 모델들의 유사한 부분과 유사한 부분을 포함하는 3 차원 모델을 찾는 것으로 확장된다.

2. 3 차원 부재의 검색을 위한 특징 정의

그림 1 은 부재 형상 검색의 개략도를 보여준다. 부재 형상 검색에 요구되는 과정은 전형적인 유사성 검색 기술들과 비슷하다. 다른 점은 입력되는 데이터는 3 차원 모델의 부재이고, 검색 결과는 부재가 속해있는 3 차원 모델을 찾는 것이다. 이 절에서는 3 차원 모델과 입력 부재의 형상 특징 추출과 형상 기술자의 비교를 논의한다.

2.1. 3 차원 모델의 특징 정의

부재 형상 매칭에 사용되는 형상 기술자의 크기는 빠른 계산을 위해 작아야 한다. 종종 형상 기술자들은 다차원 벡터로 표현되거나 많은 비교를 위해 많은 수의 벡터가 요구된다. 분할된 부재가 간단한 원시 형상으로 형성되기 때문에 부재 형상 매칭에 사용되는 형상 기술자는 회전에 강건해야 하고 적당한 원시 형상으로 표현되어야 한다.

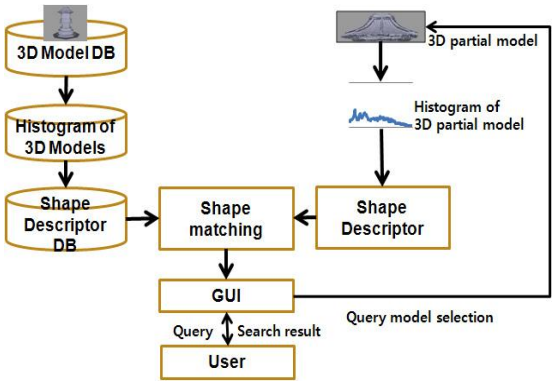

그림 1. 부재 검색의 흐름도

이러한 조건들을 고려하여, 본 연구는 등가적인 분류 개념에 기반하여 회전에 불변하는 형상 기술자를 적용했다. 이 기법에 의해 생성된 기술자는 작고, 회전에 불변하다. 이 방법은 다음과 같은 과정을 이용한다.

1. 주성분 분석을 이용한 3 차원 모델의 주축 계산

N 개의 정점들 $P_1, P_2, \ldots, P_N$ ($P_i=(x_i, y_i, z_i)$)으로 이루어진 임의의 집합이 있다고 하면, 다음 식(1)을 이용해서 평균 위치 m 을 구한다.

$$m = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_i \tag{1}$$

그리고, 다음 식(2)을 이용해서 3×3 공분산 행렬 C 를 만든다.

$$C = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - m)(P_i - m)^T \tag{2}$$

정점들을 적절히 변환하면 공분산 행렬이 대각행렬이 될 수 있다. 변환행렬 A 를 각 점{Pi}에 적용했을 때, 변환된 점들에 대한 공분산 행렬 C'는 식(3)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(AP_i - Am)(AP_i - Am)^T \\ &= \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} A(P_i - m)(P_i - m)^T A^T \\ &= ACA^T \end{aligned} \tag{3}$$

여기에서 A 는 직교행렬이어야 하며, A 의 전치행렬이 행렬 C 를 대각화해야 한다는 것을 의미한다. C 는 대칭행렬이므로, C 의 고유벡터(eigen- vector)들은 직교이다. C 의 고유벡터를 R, S, T 라고 하면, 방향 R 은 항상 주축을 의미한다. 주축은 공분산 행렬의 가장 큰 고유값(eigenvalue)에 해당한다. S 와 T 는 각각 두 번째로

큰 고유값과 나머지 고유값을 의미한다. 즉, λ1, λ2, λ3 이 순서대로 R, S, T 라고 하면, 크기관계는 |λ1|=|λ2|=|λ3|이다. 이렇게 얻어진 주축들중에서 그림 2 의 적색 라인 축을 얻어낸다.

2. 주축을 일정간격으로 나눔 (그림 2)

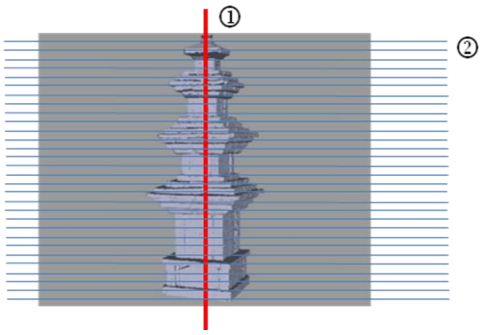

그림 2. 주축과 주축의 분할

3. 각 일정간격의 주축점들과 일정범위에서 정점들의 거리값을 계산하여 다수의 거리 히스토그램을 생성 (그림 3)

거리 히스토그램은 모델(주축) 중심에서 임의의 정점까지 선을 그을 때 거리를 계산하고 그 거리 값들의 분포를 히스토그램화한 방법이다.

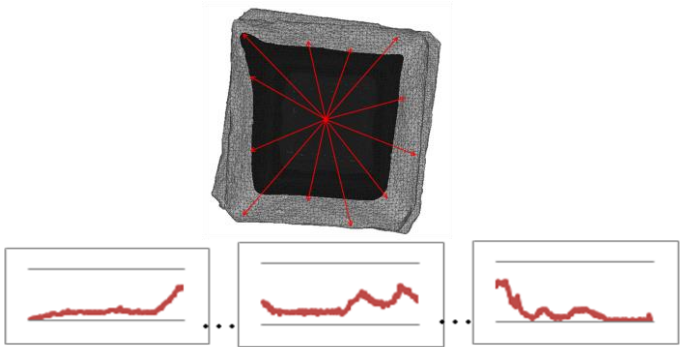

그림 3. (상)석탑 단면으로 본 중심점과 정점간의 거리의 예, (하)주축점과 주변 정점들의 거리값을 이용한 다수의 거리히스토그램

4. 과정 ③에서 얻어진 다수의 그래프를 누적시켜서 3 차원 모델을 특징지어주는 하나의 그래프 생성 (그림 4)

N 을 모든 거리값의 수라 하고, n 을 주축 간격수라 하면, 히스토그램 h_k는 식(4) 조건을 만족한다. 여기서 k 는 주축 간격의 총수이다.

$$N = \sum_{j=1}^{n} h_k \tag{4}$$

누적 히스토그램은 특정 주축에서 나온 거리값을 모두 누적하는 방법이다.즉, 히스토그램 h_k 의 순차적인 누적히스토그램 H_k 는 식(5)로 정의된다.

$$H_k = \sum_{kj=1}^{k} h_{kj} \tag{5}$$

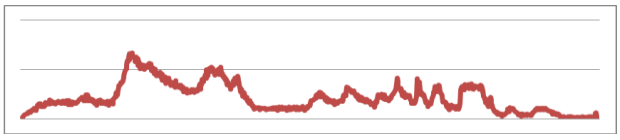

그림 4. 다수의 히스토그램의 누적을 통한 석탑의 특징 그래프 생성

2.2. 입력 부재의 특징 정의

사용자로부터 입력되는 부재도 특징 정의가 필요하다. 부재도 간단한 원시 형상으로 형성되기 때문에 부재 형상 유사성 검색에 사용되는 형상 기술자는 회전에 강건해야 하고 적당한 원시 형상으로 표현되어야 한다. 입력 부재의 특징 기술자의 정의는 다음과 같다.

1. 입력 부재의 무게중심과 각 정점들간의 거리 계산 (그림 5)

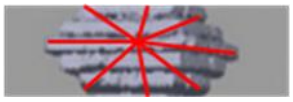

그림 5. 입력 부재의 거리값 계산

2. 거리 값들을 히스토그램으로 표현해서 입력부재의 특징으로 정의

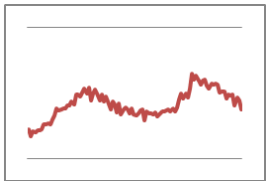

그림 6. 입력 부재의 특징 히스토그램

3. 석탑의 특징 히스토그램과 부재의 특징 히스토그램을 순차적으로 비교하여 유사한 부분 검색

히스토그램 유사도를 평가하는데 있어서는 상관관계(correlation) 분석을 사용한다(식(6)). 여기서 d 는 두 히스토그램 H_1, H_2 의 유사도를 나타내며, N 은 히스토그램 bin 수를 나타낸다.

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_{i=1}^{N}(H_1'(i)H_2'(i))}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} H_1'(i)^2 \sum_{i=1}^{N} H_2'(i)^2}} \tag{6}$$

$$H_k'(i) = H_k(i) - \frac{1}{N\sum_{j=1}^{N} H_k(j)^2}$$

이때 $d(H_1, H_2)$ 가 1 에 가까울수록 유사도가 높다.

3. 3 차원 모델의 부재 검색 실험

3.1 검색 예

그림 7 은 3 차원 모델들의 부분 물체 매칭의 예를 보여준다. 본 시스템은 입력되는 3 차원 부분 모델에 대한 유사성 검색을 할 수 있다. 그림 8 은 연관된 3 차원 모델들의 디스플레이와 3 차원 모델의 부분 물체 매칭의 예를 보여준다. 데이터의 분해 정보가 시스템에

저장되어 있기 때문에 시스템은 분해된 부분의 원형을 결정할 수 있고, 유사한 부분을 가지고 있는 3 차원 모델들을 목록화할 수 있다.

3.2 3 차원 모델 검색 시간

표 1 은 2GMB 메모리를 갖는 코어 2 쿼드 2.4Ghz 를 사용하여 20 개의 3 차원 석탑 모델 데이터의 처리 시간을 보여준다. 1 개의 석탑 데이터가 약 50MB 여서 1 개의 데이터에서 특징 기술자를 추출하는데 처리 시간이 많이 소요된다. 석탑의 부재는 인문학적인 고증을 통해 석탑 하나당 6~9 정도의 부재로 나눌 수 있다. 본 시스템은 150 여개의 부재 물체 사용하였다.

4. 결론

본 연구는 3 차원 모델 데이터의 부분 형상 검색 방법을 제안했다. 실험적인 시스템을 사용하여 3 차원 모델의 형상 기술자들은 모델과 각 부분 물체로부터 추출되었다. 형상의 유사성은 형상 기술자들을 비교하여 측정하였다. 시스템은 사용자가 모델의 유사 부분을 검출하게 해주고, 유사한 부분을 포함하는 3 차원 모델을 리스트화한다. 또한 3 차원 모델에서 유사한 부분의 수를 계산할 수 있다. 본 부재 검색 기법은 3 차원 석탑 모델을 디자인하기 위한 많은 응용분야에 적용될 수 있다. 본 시스템은 유사성 검색에 기반한 형상 기술자를 사용하는 기존의 3 차원 모델 검색 시스템에 쉽게 적용할 수 있고, 3 차원 모델 검색 시스템의 효용성을 증가시킬 수 있다.

표 1. 형상기술자 추출 시간과 검색 시간(20 개 평균)

처리	시간
3 차원 석탑의 특징 기술자	5 분
입력 부재의 특징 기술자	5 초
유사 부재 검색	2 분

참고문헌

[1] J.W. H. Tangelder, R. C. Veltkamp, A Survey of Content Based 3D Shape Retrieval Methods, *Proceedings Shape Modeling International*, 145-156, 2004.

[2] T. Funkhouser, P. Min, M. Kazhdan, J. Chen, A. Halderman, D. Dobkin, and D. Jacobs, A Search Engine for 3D Models, *ACM Transactions on Graphics*, 22(1), pp. 83-105, 2003.

[3] P. Min, J. A. Halderman, M. Kazhdan, and T. A. Funkhouser, Early Experiences with a 3D Model Search Engine, *Web3D Symposium*, pp.7-18, 2003.

[4] R. Ohbuchi, T. Otagiri, M. Ibato, T. Takei, Shape-Similarity Search of Three-Dimensional Models Using Parameterized Statistics, *Proceedings of the Pacific Graphics 2002*, pp. 265-274, October 9-11, 2002.

[5] E. Paquet, M. Rioux, Nefertiti: a query by content system for three-dimensional model and image databases management, *Image and Vision Computing* 17, 157-166, 1999.

[6] R. Ohbuchi, T. Minamitani, T. Takei, Shape-similarity search of 3D models by using enhanced shape functions, *International Journal of Computer Applications in Technology*, (IJCAT), Vol. 23, No.3/4/5, pp.70-85, 2005.

[7] M. T. Suzuki and Y. Y. Sugimoto, A Search Method to Find Partially Similar Triangular Faces From 3D Polygonal Models, *Proceedings of the IASTED International Conference Modeling and Simulation* (MS2003), pp323-328, ISBN:0-88986-337-7, Palm Springs, 2003.

[8] M. T. Suzuki, A Dynamic Programming Approach to Search Similar Portions of 3D Models, *The World Scientific Engineering Academy and Society Transaction on Systems*, Issue 1, Volume 3, pp. 125-132, ISSN 1109-2777, 2004.

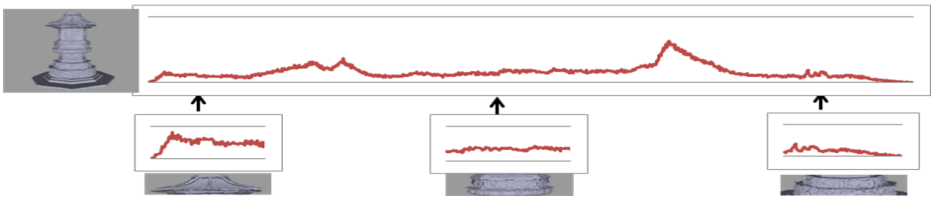

그림 7. 3 차원 모델들의 부분 물체 매칭 결과

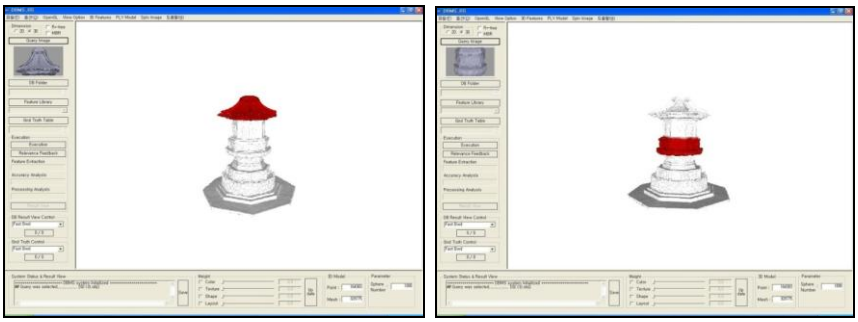

그림 8. 부재와 연관된 3 차원 모델들의 디스플레이와 3 차원 모델의 부분 물체 매칭 결과