

레이 캐스팅 기법을 기반으로 한 3차원 모델 검색

이선임, 황혜정⁰, 문영식
 한양대학교 컴퓨터공학과
 {silee, hwanghj⁰, ysmoon}@cse.hanyang.ac.kr

3D Model Retrieval Based on Ray Casting Technique

Sun Im Lee, Hye Jung Hwang⁰, Young Shik Moon
 Dept. of Computer Science of Engineering, Hanyang University

요 약

본 논문에서는 3차원 모델을 검색하기 위한 형태 기반 기술자를 추출하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 모델의 기하학적인 특성을 고려하여 레이 캐스팅 샘플링과 구면조화함수를 이용하는 방법이다. 레이 캐스팅 기법은 모델의 외형을 고려한 적응적인 방법으로 샘플링 하여 기술자에 포함되는 형태 정보를 증가시켜 기술자의 식별성을 높인다. 또한 구면조화함수 계수 추출에서는 기하학적인 주파수 특성을 고려하여 적응적인 계수를 추출한다. 이 방법은 검색 성능에 영향을 미치지 않고 기술자를 조밀하고 간결하게 만든다. 최종적으로 두 방법을 결합함으로써 검색 엔진에서 이용 가능한 기술자를 생성한다. 실험 결과에서는 제안된 알고리즘의 성능이 기존 방법에 비해 약 12.5% 향상 된 것을 확인 할 수 있다.

1. 서론

컴퓨터 기술과 통신 기술의 발달로 다양한 멀티미디어 데이터를 쉽게 접할 수 있게 되었고 그 양도 급격하게 증가하고 있다. 이에 따라 3차원 모델을 검색하기 위한 시스템의 필요성이 부각되고 있으며 이를 위해서는 3차원 모델의 형태 정보를 효과적으로 인덱싱 하는 알고리즘이 필요하다. 최근 활발하게 진행되고 있는 형태 기반 기술자는 Shape Distribution[1], Reflective Symmetry[2], 구면조화[3] 등이 있다. 본 논문에서는 구면조화함수를 이용한다. 하지만 기존의 구면조화방법은 문제점을 가지고 있으므로 이를 지적하고 해결방안을 제시하여 새로운 기술자를 제안한다.

2. 기존 방법 및 문제점

2.1 Spherical Extent 함수

Spherical Extent 함수(SEF)는 레이 캐스팅(Ray Casting)과 구면조화함수(Spherical Harmonic Function)를 이용한 방법 [4,5]으로 정규화 된 모델에 대해 모델의 무게 중심으로부터 일정한 각도의 범위로 방사되는 레이(ray)와 만나는 모델 표면의 최대 외곽 지점을 샘플링 한다.

이 방법은 구 S^2 상에 함수의 샘플들을 고려한다. 샘플링을 위해 정규화 된 모델 I 에 대해 식 2.1을 정의한다.

$$r : S^2 \rightarrow \mathfrak{R} \quad (2.1)$$

$$u \propto \max \{ r \geq 0 \mid ru \in I \cup \{0\} \}$$

여기서 $\{0\}$ 는 레이가 시작되는 원점이다. 식 2.1에서 함수

$r(u)$ 는 $u \in S^2$ 에 의해 주어진 방향으로의 모델의 최대 확장 범위를 측정한다. 레이의 샘플링 방향 벡터 u 는 식 2.2와 같이 결정한다. 이러한 샘플링은 다음의 조화함수 적용 과정을 용이하게 한다.

$$u_{ij} = (\cos \varphi_i \cos 2\varphi_j, \cos \varphi_i \sin 2\varphi_j, \sin \varphi_i) \quad (2.2)$$

$$\varphi_k = (2k+1-n)\pi/2n, \quad k = 0, 1, \dots, n-1 \quad i, j = 0, 1, \dots, n-1$$

식 2.2에서 n 은 샘플링의 개수이다. 그림 1은 모델에 대한 레이 캐스팅을 보여준다.

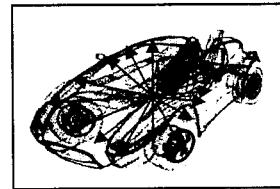


그림 1. 레이 캐스팅.

식 2.1에서 샘플링 된 데이터에 대해 식 2.3의 구면조화함수를 적용하여 그 계수(coefficient)의 절대값 $|\hat{r}(l, m)|$ 을 기술자로 이용한다.

$$r = \sum_{l \geq 0} \sum_{|m| \leq l} \hat{r}(l, m) Y_l^m \quad (2.3)$$

식 2.3에서 r 은 샘플링 된 데이터이고, $\hat{r}(l, m)$ 는 구면조화함수 계수이며, Y_l^m 는 구면조화(Spherical Harmonic)이다. 계수는 식 2.3의 역 변환 과정을 통해 얻어진다. 함수 적용 결과로 생성된 계수는 표 1과 같다.

본 연구는 한국 과학 재단 목적기초연구 지원으로 수행되었음.

표 1. SEF의 구면조화 계수.

	$m = -3$	$m = -2$	$m = -1$	$m = 0$	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
$l = 0$				0.37			
$l = 1$			0.020	0.052	0.020		
$l = 2$		0.068	0.012	0.012	0.012	0.068	
$l = 3$	0.005	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.005

주파수 l 이 증가될 때마다 그에 상응하는 m 의 개수도 증가한다. 그러나 표 1에서 보듯이 음수의 m 요소는 양수의 m 요소와 같은 값을 가진다. 따라서 양수의 m 요소($0 \leq m \leq l$) 계수만 기술자로 이용한다. 주파수 개수가 l_{max} 만큼 추출된다면 총 $(l_{max} + 1)l_{max} / 2$ 차원의 기술자를 얻게 된다.

2.2 Radialized Spherical Extent 함수

Radialized Spherical Extent 함수(REF)는 Spherical Extent 함수의 문제점을 보완하기 위해 제안된 방법[6]이다. 기존의 Spherical Extent 함수는 레이와 만나는 모델 표면의 최대 외곽 부분을 샘플링을 하기 때문에 그림 2에서 보듯이 사람의 허리 부분에 대한 형태 정보를 기술자에 포함 시킬 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안한 방법은 레이와 만나는 모델의 모든 표면에 대해 샘플링 하는 것이다. 이를 위해서 모델에 반지름이 다른 동심구들을 삽입했다. 각각의 동심구 표면에 가장 가까이 레이와 만나는 모델의 표면을 샘플링 한다. 각각의 동심구에 대해 샘플링 된 데이터에 구면조화함수를 적용하여 계수를 추출한다. 따라서 삽입된 동심구의 개수만큼 기술자의 차원이 증가한다. 즉 REF 기술자의 차원은 $R_{max}(l_{max} + 1)l_{max} / 2$ 가 된다. R_{max} 는 삽입된 동심구의 최대 개수이다.

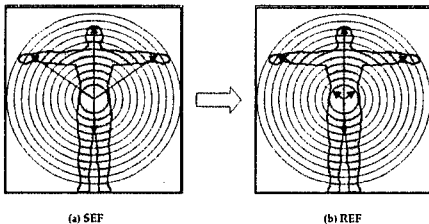


그림 2. SEF와 REF의 레이 캐스팅 샘플링의 차이

2.3 기존 방법의 문제점

기존 Radialized Spherical Extent 함수 방법은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫 번째 문제점은 샘플링의 불균형을 들 수 있다. 그림 3에서처럼 외부로 나가는 동심구일수록 내부의 동심구와 비교하여 샘플링의 밀도가 희소해진다. 바깥쪽의 형태가 내부의 형태에 비해 모델 전체의 외형에 더 큰 영향을 미치기 때문에 이런 문제점은 형태 정보를 손실 시킬 가능성을 높게 만든다.

두 번째 문제점은 구면조화함수 계수(coefficient) 추출 개수이다. 기존의 방법은 각각의 동심구에 대해 같은 개수의 주파수 성분을 추출 한다. 그러나 그림 4에서 보듯이 내부의 구들은 외부의 구에 비교하여 기하학적 특성상 저 주파수 성분을 더 많이 가질 가능성이 높다. 따라서 기술자는 내부의 구에 대해 불필요한 고 주파수 성분을 가지고 있을 가능성이 높다. 이는 기술자가 좀더 조밀하고 간결해질 수 있는 가능성을 배제하는 것이다.

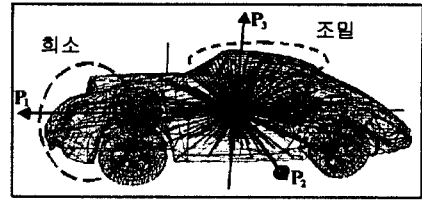


그림 3. REF 샘플링의 문제점.

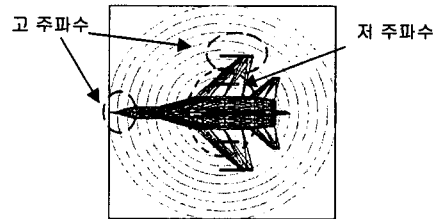


그림 4. 모델의 주파수 성분 특징.

3. 제안하는 방법

첫 번째 문제점의 해결 방안은 외부의 형태 정보를 잃지 않기 위해 바깥쪽으로 나가는 구일수록 샘플링의 개수를 증가시키는 방법이다. 삽입된 구의 반지름이 증가할수록 일정하게 샘플의 개수를 증가시켜 손실될 가능성이 높은 외부의 형태 정보를 기술자에 포함시킨다. 그림 5에서 보듯이 기존의 방법으로 샘플링 되었을 경우 인공위성의 날개에 대한 형태 정보가 손실될 가능성이 높다. 그러나 제안한 방법으로 샘플링 될 경우 날개의 형태 정보가 거의 손실되지 않는다. 샘플링의 개수는 2의 지수승으로 증가시킨다. 이는 구면조화함수 계수의 빠른 추출과 샘플링 범위를 일정하게 유지하기 위해서다. 그리고 계산상의 특성상 샘플링 개수는 최대 32($n \leq 32$)로 한다. 이 방법을 수정된 레이 캐스팅 샘플링(MRCS: Modified Ray Casting Sampling)이라고 한다.

두 번째 문제점의 해결 방안은 내부의 구일수록 추출 주파수 개수를 줄이는 방법이다. 구면조화함수의 주파수는 수식의 특성상 최대 $16(l_{max} \leq 16)$ 까지 가능하다. 따라서 최대 추출 주파수 개수를 16개로 하고 내부의 구일수록 주파수 추출 개수를 줄인다. 이 방법은 기술자 식별 성능에 영향을 미치지 않고 기술자를 좀더 조밀하고 간결하게 만들 수 있다. 이 방법을 수정된 구면조화계수(MSHC: Modified Spherical Harmonic Coefficient)라고 한다.

최종적으로 이 두 가지 방법을 결합(MRSC: MRCS & MSHC)하여 기술자에 3차원 모델의 형태 정보를 증가시켜 식별 능력을 높이고 추출 주파수 개수를 줄임으로써 기술자의 차수를 줄여 간결하고 조밀한 기술자를 생성할 수 있다.

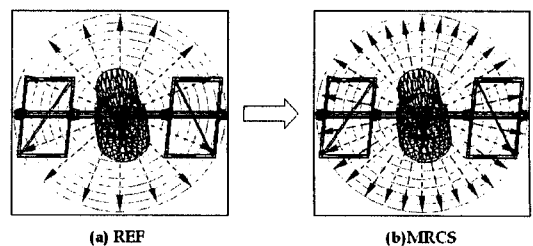


그림 5. 인공위성 모델의 REF와 MRCS의 샘플링 방법.

4. 실험 및 결과

실험 데이터는 프린스턴 대학에서 제공하는 형태 벤치마크 (Shape Benchmark) 데이터베이스[7]를 이용하였다. 41개의 클래스로 분류되는 총 446개의 3차원 모델에 대해 Spherical Extent 함수(SEF), Radialized Spherical Extent 함수(REF), 수정된 레이 캐스팅 샘플링(MRCS), 수정된 구면조화계수(MSHC), 결합한 방법(MRSC)에 대한 유사도 검색 및 성능에 관해 실험하였다.

그림 6은 검색 결과를 보여준다. 왼쪽 상위 모델이 쿼리 모델이고 검은 선으로 둘러 싸인 모델은 같은 클래스에 속하는 모델이다. 기존 방법을 이용했을 때 검색되지 못하거나 낮은 순위로 검색되었던 모델이 제안한 방법을 이용해 검색 된 것을 볼 수 있다.

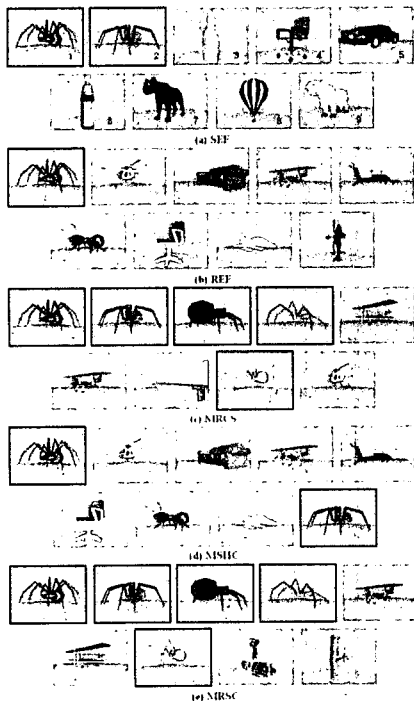


그림 6. 거미에 대한 순위 실험.

그림 7은 교통수단 클래스에 대한 First Tier를 보여준다. 결과를 통해 MSHC는 성능 변화가 거의 없지만 MRCS와 MRSC는 대체적으로 성능이 향상 된 것을 알 수 있다.

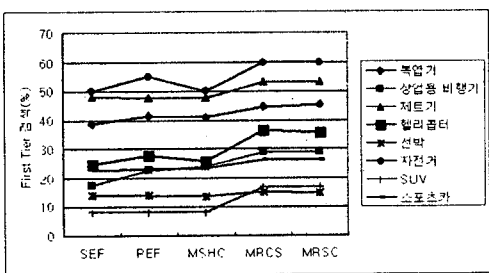


그림 7. 교통수단 클래스에 대한 First Tier 검색.

표 2는 전체 데이터에 대한 First Tier 검색 결과의 평균값과 기술자의 크기이다. First Tier는 K개의 순위범위 내에 쿼리 클래스에 속하는 모델개수의 비율을 말한다. 여기서 K는 쿼리 클래스의 모델 개수이다. MRSC는 REF보다 12.5% 증가되었고, SEF보다는 25.9% 증가되었다. 또 REF의 기술자 크기보다 MRSC의 기술자 크기가 감소 된 것도 확인할 수 있다. 이는 불필요한 주파수 개수를 줄였기 때문이다.

표 2. 전체 데이터에 대한 First Tier와 기술자 크기.

	First Tier (%)	기술자 크기 (bytes)
SEF	23.23	340
REF	25.99	8840
MRCS	29.00	8840
MSHC	24.95	7988
MRSC	29.24	7988

5. 결론

본 연구에서는 기존의 구면조화 방법에서 몇 가지 문제점을 지적하고 해결 방안을 제시해 성능이 향상된 기술자를 생성한다. 레이 캐스팅의 기하학적인 샘플링 문제에서 모델의 형태 정보를 더 포함시켜 기술자의 식별성을 높이고 불필요한 주파수 개수를 줄여 좀 더 간결하고 조밀한 기술자를 생성한다. 이는 웹상의 검색엔진에서 충분히 이용 가능하며 기존 기술자와 비교하여 성능이 향상된 기술자이다.

6. 참고문헌

- [1] Robert Osada, Thomas Funkhouser, Bernard Chazelle and David Dobkin. " Shape Distributions ", *Transactions on ACM Graphics*, vol. 21, no. 4, pp. 807-832, 2002.
- [2] Michael Kazhdan, Bernard Chazelle, David Dobkin, Thomas Funkhouser and Szymon Rusinkiewicz, " A Reflective Symmetry Descriptor for 3D Models ", *Algorithmica*, vol. 38, no. 2, pp 201-225, 2003.
- [3] Michael Kazhdan, Thomas Funkhouser and Szymon Rusinkiewicz, " Rotation invariant spherical harmonic representation of 3D shape descriptors" , *Proceedings of the Eurographics/ACM SIGGRAPH symposium on Geometry*.
- [4] Dejan. V. Vranic, Dietmar Saupe and J. Richter, " Tools for 3D-object retrieval: Karhunen-Loeve-transform and spherical harmonics" , *Proceeding of IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp. 293-298, 2001.
- [5] Dietmar Saupe and Dejan V. Vranic, " 3D model retrieval with spherical harmonics and moments" , *Proceeding of 23rd DAGM Symposium on the pattern recognition*, pp. 392-397, Sept. 2001.
- [6] Dejan V. Vranic, " An improvement of rotation invariant 3D shape descriptor based on functions on concentric spheres" , *Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 757-760, Sept. 2003.
- [7] Philip Shilane, Michael Kazhdan, Patrick Min and Thomas Funkhouser, " The Princeton Shape Benchmark " , *Proceedings of the Shape Modeling International*, pp.388-399, 2004.