

## 표면 거리를 기반으로 하는 3차원 형태 기술자

신현빈, 박현<sup>o</sup>, 문영식  
 한양대학교 컴퓨터공학과  
 {hbshin, hpark<sup>o</sup>, ysmoon}@cse.hanyang.ac.kr

### 3D Shape Descriptor Based on Surface Distance

Hyun Bin Shin, Hyun Park, Young Shik Moon  
 Dept. of Computer Science of Engineering, Hanyang University

#### 요 약

본 논문에서는 3차원 객체의 전체적인 기하학적 특성을 3차원 형태 기술자로 추출하는 방법을 제안한다. 제안하는 기술자는 기존의 방법에서 문제가 된 부분적 자세변화에 대한 민감성 부분을 해결한다. 3차원 객체의 평면상의 모든 점들을 대상으로 형태 함수를 이용하여 형태 분포(Shape Distribution)를 생성한다. 이때 평면상의 두 점의 거리를 측정하는 기존의 D2 형태 함수를 최단경로를 사용하여 거리를 측정하는 방법으로 변형해 3차원 객체의 부분적 자세 변화에 강건하도록 하였다. 기존의 형태 분포와 비교하여 성능 평가한 결과 관절 객체에 대해서는 약 51%, 전체에 대해서는 약 24%의 성능 향상을 보였다.

#### 1. 서론

멀티미디어에 대한 software와 hardware의 발전은 3차원 콘텐츠에 대한 관심을 증가시키고 있다. 또한 3차원의 데이터가 우리 실생활에 널리 보편화됨에 따라 3차원 객체에 대한 검색 시스템의 필요성이 부각되고 있다. 특히 인간의 임의적인 주석 달기(annotation)에 의한 것이 아닌 내용기반 검색 시스템의 중요성이 점점 더 커지고 있다. Osada는 'Shape Distribution' 방법을 제안하였다[1]. 그가 제안한 방법은 계산이 빠르고 이해가 쉬우며 여러 가지 변형에 강건하다. 그러나 부분적인 자세 변화에 민감하다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 3차원 객체의 평면 상에서 두 점의 최단 경로(shortest path) 거리를 측정하는 방법으로 전체적인 특성을 확률분포로 표현하여 여러 가지 변형과 부분적 자세 변화에 강건한 기술자를 추출한다.

#### 2. 형태 분포

##### 2.1 샘플링

형태 분포를 형성하기 위해서는 먼저 샘플링 밀도를 고려해야만 한다. 더 많은 샘플을 취할수록 정확한 형태 분포를 생성하게 되지만 계산량이 많아진다. 실험을 통하여 N의 수는 1024의 제공 승으로 결정하였다. 그리고 두 번째로 고려할 것이 바로 샘플의 생성이다. 3차원 객체를 이루는 모든 점이 고려대상이 되어야만 한다. 먼저 3차원 객체를 이루고 있는 모든 면들을 차례로 방문한다. 만약 그 면이 삼각형이 아닐 경우에는 먼저 삼각형으로 분할한다. 그리고 방문한 모든 삼각형 면에 대하여 그 면적과 누적 면적을 계산하고 저장한다. 그 다음 계산되어 저장해 놓은 누적 면적 정보를 이용하여 면적에 비례한 가중치

를 각 삼각형에게 부여한 후 하나의 대상 삼각형을 선택하게 된다. 면적에 비례하는 가중치는 모든 점들에게 동등한 기회를 주기 위함이다. 선택된 삼각형에서 하나의 점을 결정하여야 한다. 여기서는 삼각형을 이루는 모든 점들이 동등하게 형태 분포에 기여할 수 있도록 하기 위해서 임의적으로 선택되어야 함을 보장하여야 한다. 그 보장을 위해 식 1을 이용한다[1].

$$P = (1 - \sqrt{r_1})A + \sqrt{r_1}(1 - r_2)B + \sqrt{r_1}r_2C \quad (1)$$

여기서 P는 표면의 임의의 한 점이고 A, B, C는 선정된 삼각형의 꼭지점이다. 그리고  $r_1, r_2$ 는 0과 1 사이의 임의의 수이다. 두 번의 반복으로 한 쌍의 점이 하나의 샘플로 결정된다.

##### 2.2 형태 분포 생성

앞의 과정을 거쳐 하나의 샘플이 결정되면, D2 형태 함수를 이용하여 두 점 간의 거리를 측정한다. D2 형태 함수는 그림 1에 표현되어 있는 것과 같이 객체 표면의 두 점 사이의 유클리드 안 거리를 측정하는 것이다. 이 과정을  $N(=1024^2)$ 번 반복하여 1024개 bin의 히스토그램을 생성한다. 그리고 비교, 저장을 위하여 양자화 과정을 통해 최종 64개의 형태 특징 값으로 저장한다. 이렇게 구해지는 형태 특징 값이 형태 기술자로 사용된다.

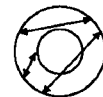


그림 1. D2 형태함수

##### 2.3 비유사도 측정

두 객체에서 추출한 기술자의 거리를 측정은 PDF  $L_1$  norm 식 2를 이용한다.

본 연구는 한국 과학 재단 목적기초연구 지원으로 수행되었음.

$$PDF L_N : D(f, g) = (\int |f - g|^N)^{1/N} \quad (2)$$

두 객체에 대한 기술자가 객체의 크기변화에 강건하기 위해서는 정규화 과정을 거쳐야 한다. 우리는 중앙값을 정렬시키는 방법을 이용한다.

3. D2 형태 함수의 문제점

Osada의 형태 분포 (Shape Distribution)는 형태 함수를 이용하여 3차원 객체의 기하학적 특성을 측정하는데, 이러한 방식에서 가장 중요한 부분이 바로 형태 함수이다. 그가 사용한 D2 형태 함수는 3차원 객체의 부분적 자세변화에 민감하다는 문제점이 있다[2]. 예를 들어 같은 객체 임에도 불구하고 팔, 다리 같은 객체 일부분의 자세 변화에 따라 그 분포가 달라지게 된다. 그림 2를 통해 이를 확인할 수 있다.



(a) (b)  
그림 2. 두 점을 잇는 직선의 다른 형태

(a)는 두 점 사이의 직선이 3차원 객체의 내부에서 이루어지는 경우이고 (b)는 직선이 객체의 외부를 포함하고 있는 경우이다. (a)의 경우엔 문제가 되지 않지만 (b)의 경우엔 객체의 부분적 자세가 변화할 경우 그 직선의 길이가 외부에 영향을 받아 변하게 된다. 자세 변화에 따른 외부 공간의 변화가 영향을 미치는 것이다.

4. 제안하는 방법

제안하는 형태함수는 두 점 간의 직선이 외부 공간을 포함하지 않게 하는 방법이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 두 점 간의 거리 측정이 객체 내부에서만 이루어지면 표면거리는 팔 부분의 자세가 변화더라도 그 길이가 일정하다.



(a) (b)  
그림 3. 객체 내부에서만 측정된 두 점 사이의 거리

우리는 기존의 D2 형태 함수를 최단 경로(shortest path)를 기반으로 한 새로운 형태 함수로 대체하여 문제점을 해결한다. 먼저 3차원 객체를 구성하고 있는 꼭지점을 대상으로 모든 꼭지점 사이의 최단 경로의 거리를 가지는 행렬을 계산한다. 이를 위하여 Dijkstra의 알고리즘을 적용한다[3]. 만약 꼭지점 사이에 경로가 존재 하지 않는 경우엔 경로 연결 방법을 적용하여 연결 해야 한다. 그림 4에서 보는 것과 같이 연결되지 않은 경로가 존재한다면 모든 꼭지점들을 각각의 연결된 무리들로 모아 경로 군을 형성한다. 연결되어야 하는 꼭지점들 사이의 거리상 일정해 있다는 가정하에서 꼭지점들 사이의 거리 임계 값을 정한 후 다른 경로 군에 속한 꼭지점과의 연결 가능성을 확인하고 연결한다. 여전히 경로가 존재하지 않는 꼭지점이 남아있다면 거리 임계 값을 증가시켜 가며 위의 과정을 반복한다. 모든 경

로가 존재하게 되면 최종 종료한다.

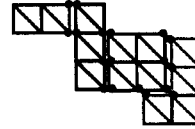
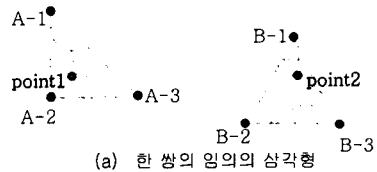


그림 4. 경로 연결

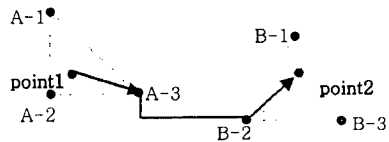
앞에서 구한 행렬은 각각의 꼭지점 사이의 최단 경로 거리에 대한 정보이다. 우리가 구성해야 할 형태 분포는 꼭지점들 간의 거리가 아니라 표면 위의 점들 간의 거리이다. 앞에 과정을 통해 얻어진 행렬을 이용하여 최종 두 점에 대한 최단 경로 거리를 구하는 방법은 그림 5를 통해서 알 수 있다[4].



(a) 한 쌍의 임의의 삼각형

- A-1 ~ B-1 + point1 ~ A-1 + point2 ~ B-1
- A-1 ~ B-2 + point1 ~ A-1 + point2 ~ B-2
- A-1 ~ B-3 + point1 ~ A-1 + point2 ~ B-3
- A-2 ~ B-1 + point1 ~ A-2 + point2 ~ B-1
- A-2 ~ B-2 + point1 ~ A-2 + point2 ~ B-2
- A-2 ~ B-3 + point1 ~ A-2 + point2 ~ B-3
- A-3 ~ B-1 + point1 ~ A-3 + point2 ~ B-1
- A-3 ~ B-2 + point1 ~ A-3 + point2 ~ B-2
- A-3 ~ B-3 + point1 ~ A-3 + point2 ~ B-3

(b) 9개의 최단 거리 조합 후보



(c) 선정된 근사적 최단 경로 거리

그림 5. 최종 근사적 최단 경로 거리

5. 실험 및 평가

실험 데이터는 Princeton 대학의 shape benchmark[5]를 이용하였다. 이것은 3차원 객체의 기하학적인 정보를 담고 있다.

5.1 부분적 자세 변화에 대한 실험

사용되는 2개의 사람 골격은 동일한 객체지만 팔, 다리의 자세가 다른 객체이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 기존의 방법(SD)보다 제안한 방법(PSD)의 비유사도가 더 작다.

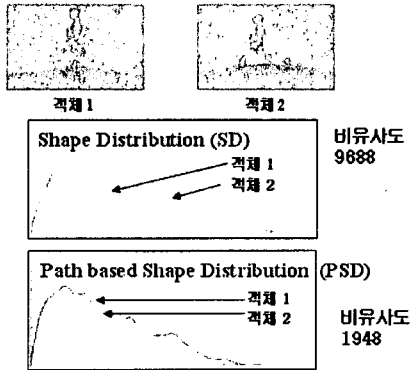


그림 6. 사람 골격 객체에 대한 히스토그램

### 5.2 사람 객체에 대한 실험

대표적인 관절 객체인 사람 10개의 객체를 가지고 실험하였다. 그림 7에서 1~4번까지의 객체는 차려 자세를 하고 있으며 5~10번은 팔, 다리를 벌리고 있는 자세를 한 사람 객체들이다. 다이어그램의 색이 진할수록 유사도가 큰 것을 나타낸다.

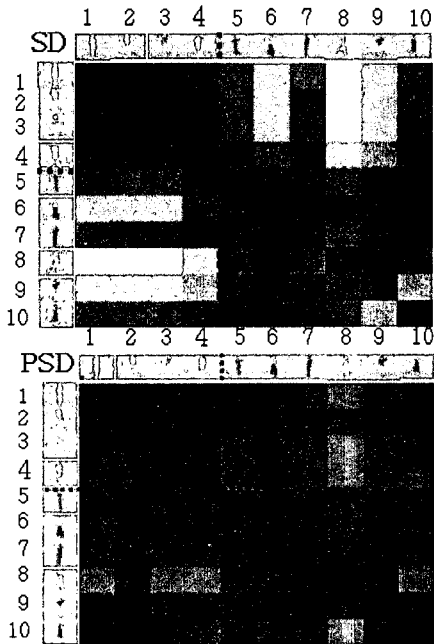


그림 7. 비유사도 다이어그램

SD의 경우를 보면 점선 왼쪽의 객체와 오른쪽의 객체 사이의 유사도가 뚜렷이 구분된다. 즉 같은 객체라 하더라도 팔, 다리를 벌리고 있는 자세에 따라 그 유사도가 확연히 달라진다. 그에 반해 제한한 방법인 PSD는 객체의 자세 변화에도 강건하다.

### 5.3 검색 정확도 평가

23개의 클래스, 100개의 객체에 대하여 실험하였다. 표 1은 앞에 실험에서 사용한 10개의 사람객체만을 가지고 검색을 하였을 때 검색 정확도의 평균값이다. 표 2는 전체 23개 클래스에 있는 모든 객체에 대한 검색 정확도 평균 값이다. First tier, Second tier, Nearest neighbor를 평가한다.

표 1. 사람 객체(10개)에 대한 정확도 평균

	First Tier	Second Tier	Nearest Neighbor
SD	45.6%	62.5%	26.5%
PSD	69.3%	97%	57.3%

표 2. 전체 객체에 대한 정확도 평균

	First Tier	Second Tier	Nearest Neighbor
SD	50.3%	64%	28.12%
PSD	62.6%	73.2%	41.57%

전체 객체에 대한 성능 보다 대표적인 관절 객체인 사람 객체에 대한 성능이 더 많이 향상 된 것을 볼 수 있는데, 그 이유는 부분적 자세변화에 강건한 형태의 함수를 사용하기 때문이다.

### 6. 결론

본 논문에서는 3차원 모델 검색 시스템을 위하여 표면 거리를 기반으로 한 형태 기술자를 제안하였다. 이 방법은 기존 D2 형태 함수 기반의 형태 분포가 부분적 자세 변화에 민감하다는 문제점을 해결하였다. 본 논문에서 사용하고 있는 최단 경로를 기반으로 한 형태 함수는 기존 방식의 기본적인 성능은 유지하더라도 부분적 자세 변화에 강건한 특징을 실험 평가를 통하여 확인하였다.

### 7. 참고 문헌

- [1] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin, " Shape Distribution ", *ACM TOGS*, Vol. 21, No. 4, pp. 807~832, October 2002.
- [2] T. Zaharia, F. Prêteux, " Three-dimensional shape-based retrieval within the MPEG-7 framework ", *Proc. SPIE Conf. 4304 on Nonlinear Image Processing and Pattern Analysis XII. San Jose, CA*, pp. 133~145, January 2001.
- [3] E. Dijkstra, " A note on two problem in connexion with graphs ", *Numerische Mathematik* 1, pp. 269~271, 1959.
- [4] R. Kasturi, Varadarajan, K. Pankaj and Agarwal, " Approximating Shortest Paths On A Nonconvex polyhedron ", *Society for Industrial and Applied Mathematics*, Vol30 No 4, pp. 1321~1340, 2000.
- [5] Philip Shilane, Michael Kazhdan, Patrick Min and Thomas Funkhouser, " The Princeton Shape Benchmark ", *Proceedings of the Shape Modeling International*, pp.388~399, 2004.