

# Bipartite 매칭을 이용한 2D/3D 검색 시스템

임삼<sup>o</sup>, 추현곤, 김희율  
 한양대학교 전자통신전파공학과

## 2D/3D Retrieval System Using Bipartite Matching

Sam Lim<sup>o</sup>, Hyon-Gon Choo, Whoi-Yul Kim  
 Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University  
 E-mail : slim7538@vision.hanyang.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 Bipartite 매칭을 이용한 2D/3D 검색 시스템을 제안한다. 2D/3D 검색 시스템에서 3D 물체 사이의 유사도는 각각의 2D 실루엣 이미지들간의 매칭을 통해 얻어진다. 그러나 기존의 매칭 방법은 전체 매칭(Full Matching) 방법으로 연산량이 많기 때문에 Bipartite 매칭 방법을 사용하여 연산량을 줄이고 검색 속도의 성능을 향상시킨다. 기존의 방법과 제안된 방법의 검색 속도 비교를 통해 Bipartite 매칭을 이용한 2D/3D 검색 시스템의 효율성을 나타낸다.

### 1. 서 론

인터넷과 네트워크 시스템이 발달함에 따라, 많은 양의 데이터베이스의 구성 방법과 접근 방법이 중요한 문제로 떠오르고 있다. MPEG-7 에서는 칼라, 모양, 질감 등의 특징량을 2D 이미지 검색에 이용하려는 노력이 계속되어지고 있다. 이러한 노력들은 컴퓨터 성능의 발달에 따라 2D 이미지검색에서 3D 물체 검색에까지 확대되어지고 있다. 대부분의 3D 물체 검색 방법들은 3D 물체의 특징량을 얻기 위해 3D 스펙트럼과 3D 표면 수직 벡터들을 이용하고 있다[1]. 하지만 이런 방법들은 많은 계산량을 요구하게 되고 검색하고자 하는 질의의 3D 물체의 3D 데이터 형식을 필요로 하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Karsten 은 CSS(curvature scale space) 기술자를 사용한 2D/3D 검색 방법을 MPEG-7 에서 제안하였다[2]. 2D/3D 검색 시스템은 3D 물체를 여러 방향에서 투영해서 2D 실루엣 이미지들을 생성하고, 생성된 2D 이미지들에 모양 기술자 - 윤곽선 기반 기술자인 CSS 기술자, 영역 기반 기술자인 ART(Angular Radial Transform) 기술자, ZM(Zernike Moment) 기술자 - 등을 적용하여 특징량을 추출한다. 이 추출된 특징량들의 매칭으로 3D 물체 간의 유사도를 구함으로써 질의의 3D 물체를 검색한다.

기존의 매칭 방법은 각각의 2D 실루엣 이미지들간의 전체 매칭 방법으로 질의의 3D 물체와 DB 의 3D 물체와의 유사도를 계산하였기 때문에 사용되어지는 2D 실루엣 이미지들의 개수가 증가함에 따라 계산량이 기하급수적으로 증가하게 되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 Bipartite 매칭 방법의 대표적인 알고리즘인

Hungarian 방법[7]을 사용하여 기존 방법보다 빠른 검색 속도의 2D/3D 검색 시스템을 제안한다. 일반적으로 전체 매칭과 Bipartite 매칭은 각각  $O(n!)$ ,  $O(n^3)$ 의 연산량을 가진다.  $n$  은 사용되어지는 2D 실루엣 이미지의 개수이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 2D/3D 검색 시스템의 동작 순서에 대해 설명하고 3 절에서는 실험 방법과 결과를, 4 절에서는 실험 결과에 대한 결론을 내린다.

### 2. 2D/3D 검색 시스템

그림 1 은 Bipartite 매칭을 적용한 2D/3D 검색 시스템 동작 과정을 나타낸 것이다.

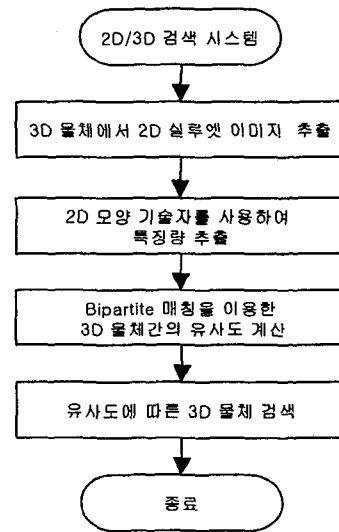


그림 1. Bipartite 매칭을 이용한 2D/3D 검색 시스템의 동작 순서도

#### 2.1 3D 물체에서 2D 실루엣 이미지 추출

3D 물체의 특징을 정확히 기술할 수 있는 2D 실루엣

이미지의 방향 성분을 결정하는 것은 중요한 문제이다. MPEG-7 에서 Karsten 은 3D 물체의 상관(Covariance) 행렬을 분석하여 3D 물체를 잘 표현할 수 있도록 일곱 개의 서로 다른 방향 성분을 추출하였다[3]. 분석된 행렬의 고유 벡터들은 세 개의 직교하는 주 방향 성분을 만들어 내는데 고유 벡터들의 크기에 따라 "Primary", "Secondary", 그리고 "Tertiary" 성분으로 나누게 된다. 나머지 네 개의 방향 성분은 반원구의 모든 대각선 성분을 나타낼 수 있는 성분으로 정하게 된다[3].

위와 같이 일곱 개의 서로 다른 방향 성분에 따라 3D 물체를 투영시켜 2D 실루엣 이미지들을 만들게 된다. 그림 2 는 3D 모델과 투영시킨 일곱 개의 2D 실루엣 이미지들을 나타낸 것이다.

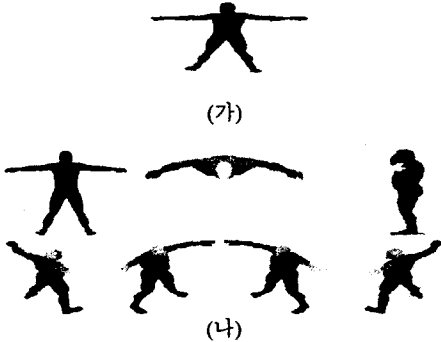


그림 2. (가) 3D 모델 (나) 일곱 개의 실루엣 이미지들

## 2.2 2D 특징량 추출

생성된 2D 실루엣 이미지들로부터 내용 기술자인 ART, ZM 기술자들을 사용하여 2D 모양 정보를 추출한다[4]. ART, ZM 모양 기술자들은 회전, 축소, 확대, 이동 불변의 성질과 다중 레벨 표현이 가능한 특성을 가지고 있다[5]. 특징량 추출 과정은 다음과 같다.

- 단계 1: 2D 실루엣 이미지를 생성한다.
- 단계 2: ART, ZM 모양 기술자들은 단일 원에 대해서 정의되어 있기 때문에 이미지의 이진화된 모양의 중심으로부터 가장 먼 외곽 픽셀까지 완전히 포함할 수 있는 반지름 R 의 단일 원을 결정한다.
- 단계 3: 이미지 모양을 2R x 2R 의 픽셀의 크기로 정규화 한다. 반지름 R 의 크기는 50 으로 정한다. 정규화 과정으로 내용 기술자는 축소, 확대에 불변하는 성질을 가지게 된다.
- 단계 4: 정규화된 이미지로부터 ART, ZM 모양 기술자들의 계수들을 추출하고 계수들의 크기들을 특징량으로 이용하게 된다.

## 2.3 유사도 측정

Bipartite 매칭을 적용하기 전에 질의의 3D 물체와 DB 의 3D 물체 사이에 다음과 같은 D(distance) 행렬을 정의한다.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1N} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{N1} & d_{N2} & \dots & d_{NN} \end{bmatrix}$$

여기서  $d_{ij}$  는 질의의 3D 물체의  $i$  번째 2D 실루엣 이미지와 DB 의 3D 물체의  $j$  번째 2D 실루엣 이미지와의 유사도를 나타낸 것으로 식 (1)과 같이 계산되어진다.

$$d_{ij} = \sum_k \|M_i[k] - M_j[k]\| \quad (1)$$

$M_i[k]$ : DB 의 2D 이미지에서 추출한 ART 와 ZM 계수들의 크기.  
 $M_j[k]$ : 질의의 2D 이미지에서 추출한 ART 와 ZM 계수들의 크기.

Bipartite 매칭[8]은 두 개의 그룹으로 이루어진 각 요소들의 최적의 해를 maximum flow 그래프 해법을 이용하여 구하는 그래프 매칭 방법이다. Bipartite 그래프는 그림 3 과 같이 유한개의 정점(Vertex)들과 두 정점 사이를 연결하는 간선(Edge)들의 두 집합  $G=(V,E)$ 으로 정의된다. 좌측 정점 집합에는 질의의 3D 물체를 투영해서 얻은 2D 실루엣 이미지들, 그리고 우측 정점 집합에는 DB 의 3D 물체의 2D 실루엣 이미지들로 구성한다. 그리고 각 간선들의 가중치 값은 식(1)에서 구한 2D 실루엣 이미지간의 유사도로 정한다. 각 집합의 정점의 개수는 사용되어지는 2D 실루엣 이미지들의 개수이다.

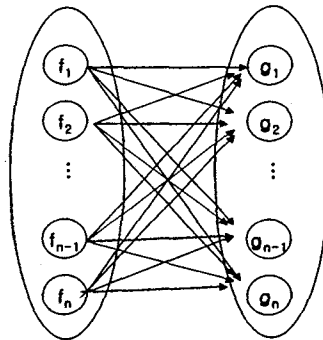


그림 3. Bipartite 매칭 그래프

본 논문에서는 Bipartite 매칭의 대표적인 알고리즘인 Hungarian 방법[7][8]을 사용하여 질의의 3D 물체의 2D 이미지들과 DB 의 3D 물체의 2D 이미지들간의 최적의 매칭 결과를 얻어낸다.

## 3. 실험 및 결과

### 3.1 실험 방법

실험을 위해 MPEG-7 에서 사용한 VRML 포맷으로 이루어진 227 개의 3D 모델들과 투영된 1589 개의 실루

엣 이미지들을 사용하였다. 그림 4 는 데이터 셋으로 사용한 3D 모델들의 예를 보여준다.

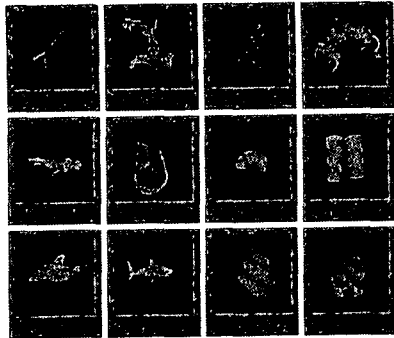


그림 4. 데이터 셋의 3D 모델들의 예

227 개의 3D 모델들과 그에 투영된 2D 실루엣 이미지들을 15 개의 그룹들로 나누었으며 표 1 은 그룹화된 3D 모델들의 종류들과 개수들을 보여준다. 검색율의 측정을 위해 BEP(Bull's Eye Performance)[6]를 사용하였으며 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 MPEG-7 에서 제안된 CSS 모양 기술자의 결과와 비교해 보았다. 본 실험은 Pentium III 500MHz, RAM 128M 환경에서 이루어졌다.

표 1. 3D cafe 의 데이터베이스 목록

그룹 이름	개 수	그룹 이름	개 수
Aerodynamic	35	Letter_b	10
Balloon	7	Letter_c	10
Building	10	Letter_d	10
Car	17	Letter_e	10
Elm	9	Missile	10
Finger	30	Soma	7
Fourlimb	31	Tree	21
Letter_a	10		

### 3.2 실험 결과

그림 5, 6, 7, 8, 9, 10 은 2D 이미지 내용 기술자인 ART, ZM, CSS 를 이용한 2D/3D 검색 시스템의 평균 검색율 (ARR - Average Retrieval Rate)과 평균 검색 속도(ARS - Average Retrieval Speed)를 전체 매칭과 Bipartite 매칭으로 나누어 나타낸 결과이다.

사용되어진 2D 실루엣 이미지의 개수가 적은 경우에는 전체 매칭 방법과 Bipartite 매칭 방법의 검색 속도는 모두 비슷한 결과를 나타내었다. 하지만 2D 이미지의 개수가 증가함에 따라 제안된 방법의 검색 속도 향상은 뚜렷이 나타난 반면, 기존 방법의 경우에는 급격히 나빠짐을 알 수 있었다. 또한 속도 향상에도 불구하고 검색 효율은 기존의 방법과 같은 결과를 나타내었다. 특히 모양 기술자들의 검색 속도를 비교해 볼 때, ART 기술자와 ZM 기술자는 CSS 기술자의 검색 속도보다 훨씬 좋은 성능을 나타냈다. 2D 이미지간의 유사도를 측정할 때 ART, ZM 기술자는 식 (1)과 같이 계수들 차이의 절대값 합으로써 간단히 기술되어지지만, CSS 기술자의 경우는 2D 이미지의 윌콕슨 스펙트럼을 비교하는

많은 연산 과정이 필요하기 때문에 그림 10 과 같이 다른 모양 기술자들과 비교해 볼 때 낮은 검색 속도 성능을 나타냈다.

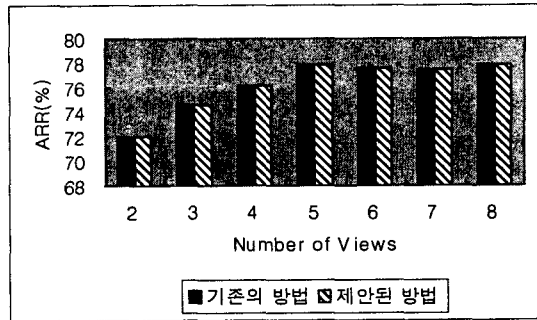


그림 5. 평균 검색 효율. (ART 기술자)

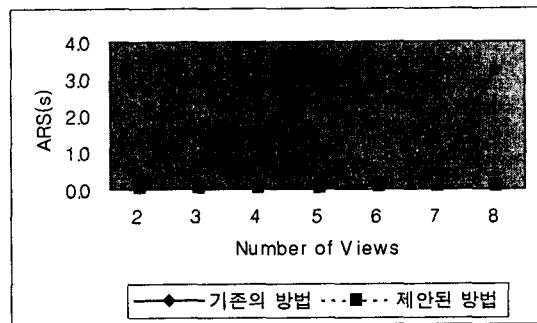


그림 6. 평균 검색 속도. (ART 기술자)

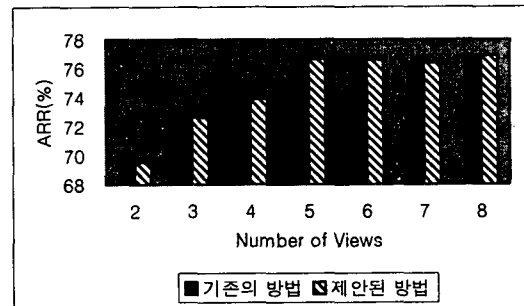


그림 7. 평균 검색 효율. (ZM 기술자)

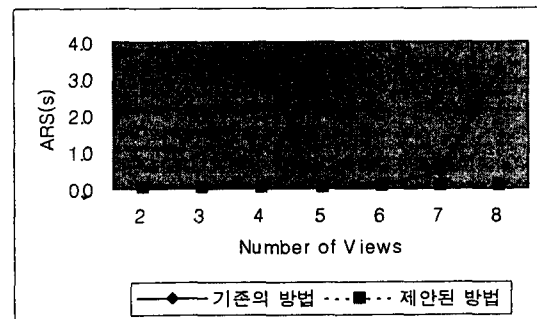


그림 8. 평균 검색 속도. (ZM 기술자)

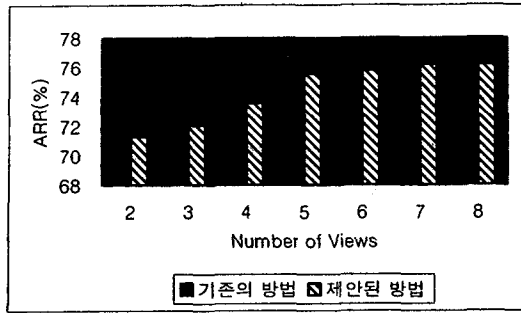


그림 9. 평균 검색 효율. (CSS 기술자)

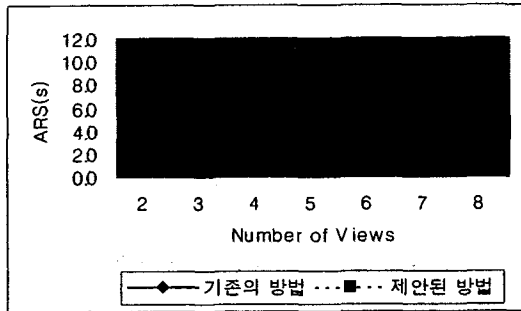


그림 10. 평균 검색 속도. (CSS 기술자)

#### 4. 결 론

본 논문에서는 검색 속도 향상을 위해 Bipartite 매칭을 적용하여 2D/3D 검색 시스템을 구현했다. ART, ZM, CSS 기술자 모두의 경우에 있어서 Bipartite 매칭 방법은 전체 매칭 방법과 비교하여 검색효율의 변화 없이 뛰어난 검색 속도 향상을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 ART, ZM 기술자는 CSS 기술자와 비교해 볼 때 높은 검색 속도 성능을 나타냈다.

#### 참고 문헌

- [1] MPEG-7 Visual part of experimentation model Version 10.0, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N4063, pp.51-55, Singapore, March, 2001.
- [2] Karsten Muller, Jens-Rainer Ohm, James Cooper, Mirosław Bober, "Results of 2D/3D Shape Core Experiments MS-4," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/MPEG/M6190 July 2000, Beijing.
- [3] MPEG-7 Visual part of experimentation model Version 10.0, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/N4063, pp.11-15, Singapore, March, 2001.
- [4] Yong-Sung Kim, "Shape Descriptors for Content-Based Image Retrieval," Ph. D. thesis, pp. 41-45, Hanyang University, 2000.
- [5] Whoi-Yul Kim and Yong-Sung Kim, "A Rotation Invariant Geometric Shape Description Using Zernike Moments," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, P687, Lancaster, February 1999.
- [6] S. Jeannin, M. Bober, "Description of core experiments for MPEG-7 motion/shape," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11/ MPEG99/N2690, 1999.

- [7] H.W. Kuhn, "The Hungarian Method for the Assignment Problem," Naval research Logistics Quarterly, vol. 2, pp. 83, 1955.
- [8] Constantine N. K. Osikwan, Selim G. Akl, "Perfect Speedup Parallel Algorithm for the Assignment Problem on Complete Weighted Bipartite Graphs," PARBASE/Architectures, pp. 161-180, 1990.