

향상된 콘텐츠 기반 이미지 검색을 이용한 온톨로지 기반 의미적 정보 추출

신동욱[○], 전호철, 정찬백, 김태환, 최종민

한양대학교 컴퓨터공학과

foremostdw@gmail.com, hochuls@chol.com, cbjeong@islab.hanyang.ac.kr,

kimth@islab.hanyang.ac.kr, jmchoi@hanyang.ac.kr

Ontology-based Semantic Information Extraction Using An Advanced Content-based Image Retrieval

Dongwook Shin[○], Hochul Jeon, Chanback Jeong, Taehwan Kim, Joongmin Choi

Department of Computer Science and Engineering Hanyang University

요 약

이미지의 사용이 증가함에 따라 이미지 중 사용자가 원하는 이미지를 효율적으로 검색하기 위한 방법들이 연구되어 왔다. 본 논문에서는 질의 이미지를 분석하여 이미지 특징(feature)을 추출한 후 이미지 특징에 대한 유사도 평가를 통한 이미지 검색 및 온톨로지를 기반으로 검색된 이미지들과 유사하다고 판단된 이미지와 그러한 이미지들의 의미적 정보를 추출하는 방법을 제안한다. 제안된 시스템은 질의 이미지에서 색상, 질감, 모양 등의 특징을 추출하여 유사도 평가를 통해 검색된 이미지를 제공하고, 내용기반 이미지 검색 방식을 통해 이미지를 검색하고, 온톨로지를 이용해 이미지의 의미적 정보를 추출하여 사용자에게 이미지와 관련된 의미적 정보를 제공한다.

1. 서 론

이미지 검색에 대한 연구는 1990년대부터 활발하게 진행되어 왔다. 인터넷의 발전과 하드웨어 등의 발전으로 인해 웹 상에서 대용량의 이미지 데이터 등이 공유되거나 많은 문서에 이미지 데이터가 포함되는 비중이 점점 높아짐에 따라 이러한 이미지에 대한 검색 요구가 점점 증가하였다. 하지만 이미지 데이터는 텍스트 데이터와는 달리 같은 의미를 내포하고 있더라도 다른 형태나 다른 특성을 가지고 정형화된 구조를 가지지 않는 등의 문제로 인해 만족스러운 검색 결과를 제공하지 못하였다. 만족스러운 검색 결과를 제공한다 하더라도 검색된 이미지 데이터만으로 그 이미지의 의미적 정보를 파악하기에는 많은 어려움이 존재한다.

우리가 제안한 시스템의 목표는 주석(annotation)이나 메타데이터가 달려있지 않은 불명확한 이미지나 혹은 시각적으로 명확히 구분되지 않는 이미지가 질의되었을 때, 제안된 이미지 검색 시스템을 이용해 유사한 이미지를 검색할 뿐만 아니라, 온톨로지를 이용해 검색된 이미지와 관련된 의미적 정보까지 제공하는 것이다.

우리는 기존의 이미지 검색 기법 중 하나인 내용기반 이미지 검색[1][2][4] 방식을 개선한 이미지 검색

방식과 온톨로지 기술을 적용함으로써 이미지와 관련된 의미적 정보를 제공하는 시스템을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 언급한 연구의 관련 연구에 대하여 설명한 후, 3장에서는 시스템 구조와 수행 시나리오에 대해 설명하고, 4장에서는 질의 이미지와 유사한 이미지를 검색하기 위한 방법을 설명한다. 5장에서는 온톨로지를 이용하여 검색 이미지와 관련된 의미적 정보를 추출하는 방법에 대하여 설명한 후 6장과 7장에서 시스템에 대한 평가와 결론을 내린다.

2. 관련 연구

이미지 검색을 위한 많은 연구가 활발하게 진행되었다. 최근에 이미지 검색에 대한 연구는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 이미지의 특징 정보를 이용하는 내용기반 이미지 검색 방식[1][2][4]과 이미지의 의미적 정보를 고려하여 검색하기 위해 온톨로지 기반 이미지 검색 방식[3][5][6]이 있다.

C. Nastar[4]가 제안한 내용기반 이미지 검색 시스템은 이미지 데이터를 단지 키워드를 이용해 분류하던 기존의 이미지 검색 방식은 정보의 손실이 크기 때문에 콘텐츠에 의해 이미지를 색인 후 이미지 간의 유사도 측정을 통해 이미지를 검색하는 방법을

제안하였다.

그러나 이미지는 각도나 거리 등에 따라 서로 다른 형태로 보여질 수 있기 때문에 이러한 이미지의 특징만으로 이미지를 검색할 때 의미적으로 전혀 다른 이미지가 검색되는 등의 “Semantic Gap”[10] 문제가 발생한다.

대부분의 내용기반 이미지 검색 시스템이 공통적으로 가지는 문제점 중 하나인 “Semantic Gap” 문제를 해결하기 위해 이미지의 의미적 정보까지 고려한 온톨로지 기반 이미지 검색 방법에 대한 연구가 활발히 진행되었다.

Shuqiang Jiang[5]은 온톨로지를 통해 이미지의 다양한 측면을 의미적으로 기술(description)하며, 이미지 검색을 위한 명확한 특징들(발광성, 색조, 색의 따뜻한 느낌, 균형미)을 정의하고, 이러한 의미정보와 이미지간의 관계를 표현한다. 이 시스템은 온톨로지를 이용하여 인간이 쉽게 이해할 수 있는 방법을 통해 이미지를 검색하는 방법을 제공하지만 이미지의 의미적 정보까지 함께 제공하지는 못하였다.

이 외에도 온톨로지와 내용기반 이미지 검색 방식을 결합하여 이미지를 검색하는 방식[7][8]이 제안되었지만 이미지의 관련된 의미적 정보를 제공하지 못하였다.

우리는 내용기반 이미지 검색 방식을 통해 이미지를 검색하고 온톨로지를 결합하여 검색된 이미지와 관련된 의미적 정보를 추출하여 결과로 제공하는 이미지 검색 시스템을 제안한다.

3. 시스템 구조

우리가 제안하는 시스템은 사용자의 이미지 질의에 대하여 데이터베이스 내에 저장되어 있는 각 이미지의 특징과 유사도 평가를 통해 관련성이 높은 상위 이미지를 검색하고, 온톨로지를 통해 검색된 이미지에 대한 의미적 정보를 사용자에게 제공하는 시스템이다. 시스템의 구조는 [그림 1]과 같다.

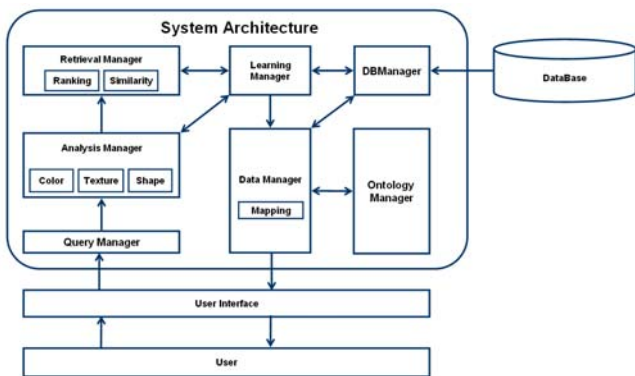


그림 1. 전체 시스템 구조

시스템의 각각의 구성 요소는 다음과 같다.

- 전처리 관리자

이미지 검색을 위한 전처리 과정을 수행하는 관리자로 이미지 집합을 데이터베이스에 저장한다. 데이터베이스 내에 존재하는 이미지를 분석하여 이미지의 특징을 추출한다. 각 이미지의 시각적, 의미적 정보를 고려하여 관련된 이미지들을 분류한 후, 각 카테고리의 대표 특징(centroid feature)를 선택한다.

- 질의 관리자

사용자에게 직접적으로 이미지 질의를 입력 받는 사용자 인터페이스를 통해 사용자로부터 이미지 질의를 입력 받은 후 질의 이미지를 정형화된(formal) 형태로 구성하는 역할을 한다.

- 분석 관리자

질의 관리자에서 구성된 정형화된 형태의 질의 이미지에서 색상, 질감, 모양 등의 16개의 이미지 특징을 추출한다.

- 데이터베이스 관리자

시스템이 이미지 데이터베이스에 저장된 정보에 접근하기 위한 구성요소로 각 이미지의 특징 정보와 실제 이미지의 물리적 저장 경로 정보를 저장하고 있다.

- 온톨로지 관리자

각 이미지의 의미적 정보를 추출하기 위해 온톨로지 접근 및 추론 등 온톨로지와 연관된 작업을 수행하는 구성요소이다.

- 검색 관리자

입력된 질의 이미지와 카테고리 대표 특징들 간의 유사도 측정 후, 유사도 값에 의해 이미지를 우선순위에 따라 정렬한다. 본 시스템에서는 상위 2개의 카테고리만 선택한다.

- 데이터 관리자

질의 이미지와 유사하다고 판단된 이미지 정보를 사용자에게 반환하기 위해 데이터베이스 내에 저장된 이미지의 정보에 접근하고, 사용자에게 결과 이미지와 관련된 의미적 정보 등을 제공하기 위해 정형화된 형태로 정보를 구성한다.

3.1 수행 시나리오

제안한 시스템의 실행 과정은 [그림 2]와 같다.

사용자가 동영상 재생기(Multimedia Player)를 통해 동영상을 시청하던 중 특정 장면의 정지 영상에 대해 질의를 하면, 질의 관리자가 입력 받은 질의를 데이터베이스

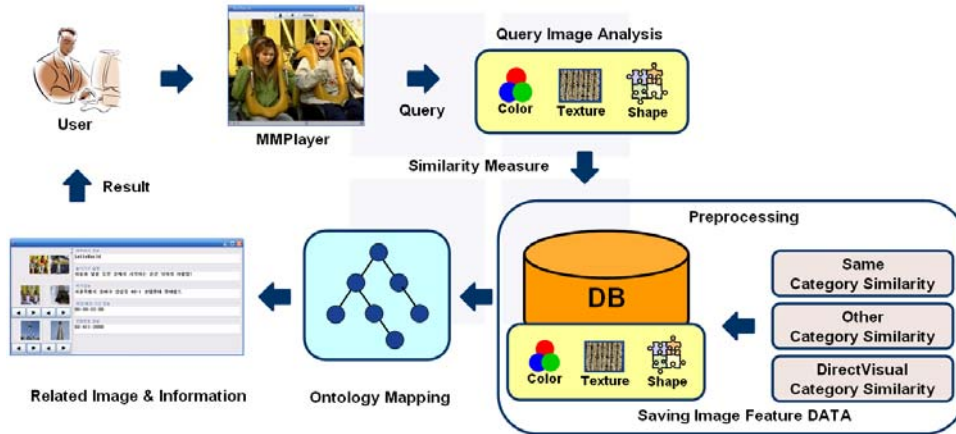


그림 2. 수행 시나리오

이스 내 이미지들과 동일한 크기와 형식을 가지는 정형화된 형태로 구성한 후, 분석 관리자를 통해 질의 이미지에서 색상, 질감, 모양 등 16가지 특징을 추출한다.

시스템에서 전처리 관리자를 통해 사전에 구축한 각 카테고리의 대표 특징을 통하여, 검색 관리자에서 질의 이미지와 각 대표 특징간 유사도 측정을 한 후, 우선순위에 따라 우선순위가 높은 이미지들을 추출한다. 온톨로지 관리자에서 검색된 이미지들의 의미적 정보를 온톨로지 기술을 적용하여 추출한 후, 데이터 관리자에 의해 검색된 이미지와 관련 정보를 정형화된 형태로 구성한 후, 사용자 인터페이스를 통해 사용자에게 검색 결과를 반환한다.

질의 이미지와 유사 이미지를 검색하고 온톨로지를 이용해 검색된 이미지와 관련된 의미적 정보를 제공하는 방법은 4절과 5절에서 상세히 설명한다.

4. 유사 이미지 검색

주석이 달리지 않은 질의 이미지에 대한 이미지 검색을 위해 우리는 내용기반 이미지 검색 기법을 사용한다. 이미지의 특징을 추출한 후, 의미적으로 동일한 이미지 카테고리 내 이미지들의 분석을 통해 대표 특징을 선택하여 질의 이미지와 각 대표 특징들간의 유사도 평가를 통해 이미지 검색을 한다.

4.1 이미지 특징 추출

이미지간 유사도 평가를 위해 이미지의 색상, 질감, 모양 등의 특징을 추출한다. 우리가 제안한 시스템은 DISCOVER(Distributed Content-based Visual Information Retrieval System on Peer-to-Peer(P2P) Network)[9]에서 제안한 특징 추출 라이브러리를 이용하여 아래 [표 1]과 같은 이미지의 특징들을 추출한다.

AverageRGB	ColorCoherence
ColorMoment	GlobalColorHistogram
LocalColorHistogram	AutoCorrelation
Cooccurrence	Edgefrequency
primitiveLength	EdgeDirectionhistogram
Eccentricity	GeometricMoment
InvariantMoment	LegendreMoment
PseudoZernikeMoment	ZernikeMoment

표 1. 이미지 특징 리스트

4.2 대표 특징 선택

기존방식에서처럼 모든 이미지들과의 유사도 측정을 통한 이미지 검색은 많은 검색 시간이 소요된다. 우리는 검색 속도 향상을 위해 유사한 이미지들을 그룹으로 묶어 분류하고, 각 카테고리를 대표할 수 있는 이미지들의 특징을 대표 특징으로 선택한다. 하지만 이미지는 찍는 각도나 위치, 방향 등에 의해 같은 의미를 가지는 이미지라도 전혀 다르게 해석될 수 있다. 예를 들어 놀이공원의 놀이기구의 경우 사람의 탑승 여부, 놀이기구의 정지 상태/가동 상태, 촬영 위치 등에 따라 전혀 다른 형태를 가진다. 우리는 이러한 문제점을 해결하기 위해 이미지의 의미적 해석에 따라 의미적 카테고리로 분류하고, 몇 개의 가상의 시각적 카테고리로 세분화하여 이미지를 의미적이고 시각적으로 분류 후, 각 시각적 카테고리마다 대표 특징을 선택한다.

우리는 각 시각적 카테고리를 대표하는 대표 특징의 선택을 위해 아래 사항을 고려한다.

A. 같은 카테고리 내 유사성

대표 특징은 카테고리를 대표하는 이미지 특징들로 각 카테고리 내에 속하는 다른 이미지 특징들과 가장 유사성이 높은 특징을 대표 특징으로 설정한다.

카테고리 내 다른 이미지 특징들과 높은 유사성을

갖는다는 것은 다른 이미지들의 특징들을 대표할 수 있는 일반적인 성향을 가진 특징이라고 할 수 있다. 같은 카테고리 내 유사성을 구하는 방식은 아래와 같다.

$$cfs(c) = \max(sim(img_i, img_j)) \quad \forall img_i, img_j \in c \quad (1)$$

$cfs(c) =$ 대표 특징 선택

$$c = \{img_1, img_2, \dots, img_n\}$$

$$img_i = \{feature_1, feature_2, \dots, feature_{16}\}$$

$feature = n$ 차원의 벡터

$$sim(img_1, img_2) = \sum_{i=1}^{i=16} \sum_j w_{ij} \sqrt{\frac{(img1_{ij} - img2_{ij})^2}{D_i}} \quad (2)$$

$w_{ij} =$ 특징의 가중치

$D_i =$ 전체 차원의 수

대표 특징을 구하기 위해 벡터로 표현된 각 카테고리 에 속하는 이미지들의 특징 값을 수식 (2)에 적용하고, 유사도 비교를 통해 각 특징 값간 유사도를 측정 한 후, 수식 (1)을 사용해서 같은 카테고리 내에 속하는 이미지 들과 유사도가 가장 높은 이미지를 대표 특징으로 선택 한다.

B. 다른 카테고리와의 유사성

대표 특징은 각 카테고리를 대표하는 이미지 특징으로 각 카테고리 내 유사성이 높음과 동시에 다른 카테고리와의 명확한 구분을 위해 다른 카테고리와의 유사성이 낮은 이미지 특징을 대표 특징으로 선정한다. 다른 카테고리와의 유사성을 구하는 방식은 아래와 같다.

$$cfs(c_1, c_2) = \min(sim(img_i, img_j)) \quad \forall img_i \in c_1, img_j \in c_2 \quad (3)$$

유사도를 측정하는 방법은 같은 카테고리 내 유사성 을 구하는 방식과 유사하다. 차이는 수식 (3)과 같이 두 개의 다른 카테고리에서 수식 (2)를 이용해 유사도 측정 한 후, 두 카테고리 내의 이미지 중 유사도가 가장 작은 이미지를 대표 특징으로 고려한다.

C. 시각적 유사성

카테고리 내 이미지들은 임의로 수집된 이미지들로 수집하는 과정에서 유사한 형태나 특징을 가진 이미지들 위주로 수집되거나 이미지 데이터의 부족으로 인해 모든 가능한 형태의 이미지가 아닌 일부에 국한된 이미지가 수집되는 등의 문제가 발생할 수 있다. 우리는 이러한 수집된 데이터의 과적합 현상을 방지하기 위해 대표 특징 선택 시 사람의 시각적 평가도 고려하여 결정한다.

우리는 위의 3가지 유사도 측정 방법을 이용하여 각 카테고리를 대표하는 대표 특징을 선택한다.

4.3 유사도 측정

이미지 검색을 위해 질의 이미지가 입력되면, 시스템은 질의와 각 카테고리의 대표 특징과의 유사도 측정을 통해 유사 이미지를 검색한다. 이미지 검색은 질의 이미지와 각 카테고리 대표 특징과의 유사도 측정을 통해 행해지므로, 기존의 이미지 검색 시스템보다 빠르고 효율적이다. 유사도 측정 방법은 아래와 같다.

$$sim(input, cent_1) = \sum_{i=1}^{i=16} \sum_j w_{ij} \sqrt{\frac{(input_{ij} - cent_{1ij}) * (input_{ij} - cent_{1ij})}{D_i}}$$

$$cent = \{feature_1, feature_2, \dots, feature_{16}\}$$

$$input = \{feature_1, feature_2, \dots, feature_{16}\}$$

$feature = n$ 차원의 벡터

$w_{ij} =$ 특징의 가중치

$D_i =$ 전체 차원의 수

질의 이미지와 각 대표 특징은 벡터형태로 구성되어 있고, sim 함수를 이용해 벡터형태로 표현된 이미지 특징 값의 비교를 함으로써 질의 이미지와 대표 특징간 유사도 평가를 한다.

5. 온톨로지

제안한 시스템은 이미지 검색의 근본적인 문제점이 되는 비슷한 색상과 모양을 가진 이미지와 명확하지 않은 형태의 이미지 데이터에 대해 적합한 이미지를 제공해 주지 못하는 문제점과 검색된 이미지의 의미적 정보의 부족을 해결하고자 온톨로지 기술을 사용한다.

온톨로지 기술을 적용함으로써, 시스템은 질의

이미지의 의미적 정보를 추출하여 데이터베이스 내 유사한 형태와 특징을 가진 이미지의 정확한 식별 및 이미지의 의미 정보 추출이 가능하다.

5.1 온톨로지 구축

우리는 시스템의 성능 평가를 위해 놀이동산 온톨로지를 구축하였다. 온톨로지의 구조는 아래 [그림 3]과 같이 놀이동산에 대한 클래스와 인스턴스, 속성(property)에 대하여 정의하였다.

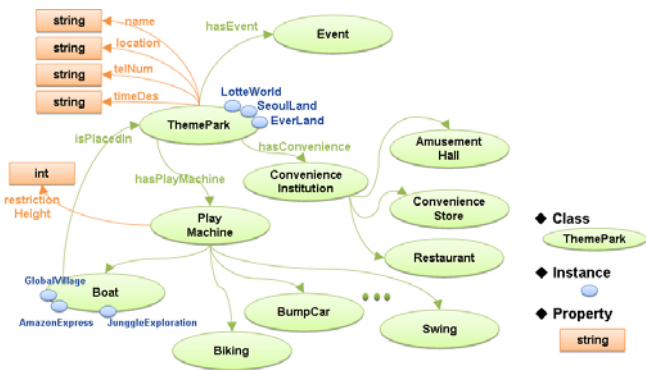


그림 3. 온톨로지 구조

온톨로지를 이용해 각 이미지와 이미지의 의미적 정보를 정의하고, 이미지간의 관계를 정의함으로써 이미지 검색 시 이미지와 관련된 의미적 정보뿐만 아니라 검색된 이미지와 연관된 이미지의 검색도 가능하다.

5.2 관련 정보 추론

놀이동산 온톨로지서 이미지의 의미적 정보를 추출하기 위해 몇 가지 규칙(rule)을 정의한다. 예를 들어, 놀이동산 온톨로지가 하늘에서 땅으로 떨어지는 Drop류의 놀이기구인 자이로드롭 놀이기구의 이미지 정보를 GyrodripB2 인스턴스로 포함할 때 정의된 규칙을 통해 아래와 같은 이미지 정보를 추론할 수 있다.

- GyrodripB02이 위치하는 놀이동산명
- GyrodripB02이 위치하는 놀이동산의 전화번호
- GyrodripB02이 위치하는 놀이동산의 주소
- GyrodripB02이 위치하는 놀이동산의 개장, 폐장시간
- GyrodripB02와 유사한 놀이기구
- GyrodripB02의 설명

구축된 온톨로지를 이용하여 데이터베이스 내에 저장된 이미지 데이터와 관련된 의미적 정보를 온톨로지를 이용해 추론한다. 온톨로지를 사용하여 검색

결과로 이미지 데이터뿐만 아니라, 이미지 데이터의 의미적 정보도 함께 제공함으로써 효율적인 이미지 검색 결과를 제공한다. 또한 같은 카테고리 내에 속하는 의미적으로 동일한 특성을 가지는 다른 이미지들과 의미적으로 유사한 관계를 가진다고 판단되는 이미지들도 검색 결과로 함께 제공함으로써 좀 더 풍부한 검색결과를 제공한다.

6. 평가

우리는 제안한 시스템의 효율성을 평가하기 위해 다음과 같은 방법으로 시스템을 실험 평가한다.

주석이 달라지 않은 이미지 데이터를 사용하여 시스템을 평가하며, 사용자가 [그림 4]와 같은 동영상 재생기로 동영상을 시청하던 중 특정 놀이기구 등의 이미지가 재생될 때, 검색(Retrieval) 버튼을 클릭하여 그 이미지를 이용해 검색을 하고, 검색 결과를 제공해주는 방식으로 실험을 한다. 이러한 환경에서 실험을 하는 이유는 실제로 웹 상에 존재하는 이미지 데이터의 경우는 그 이미지와 함께 연관된 글이나, 그림의 이름, 제목과 같은 이미지의 의미적 정보가 함께 제공되는 경우가 많으나, 동영상에서 재생되는 영상에 대한 정보는 파악하기가 어려우며, 놀이기구를 중심으로 촬영된 것이 아닌 인물을 중심으로 촬영되었기 때문에 명확하지 않은 이미지 데이터가 많이 존재한다. 우리가 제안한 시스템이 이러한 명확하지 않은 이미지 데이터를 메타데이터의 사용 없이 효율적으로 검색하는지의 평가를 하기 위해 이러한 시나리오를 이용하여 시스템을 평가한다.



그림 4. 동영상 재생기

시스템 성능평가를 위해 총 3개의 놀이공원과 4가지 놀이기구류(Biking류, Drop류, Roller Coaster류, Whirligig류)마다 10개 이상의 이미지(약200개)를 가지고 실험하였다.

각 놀이기구에 대한 색상, 질감, 모양 등의 정보에 해당하는 16개의 이미지 특징을 추출해서 데이터베이스에 저장한다. 각 카테고리의 대표 특징을 추출하기 위해 3가지 유사도 측정 방식을 사용한다.

우리는 동영상에서 재생 중인 영상 15개를 질의로 하여 정확도를 계산하였다. 이때 우리가 제안한 시스템은 상위 2개의 이미지와 검색된 이미지의 의미적 정보를 검색 결과로 제공하기 때문에, 기존의 텍스트 검색에서 사용되는 정확도 계산법 대신 아래와 같은 정확도 계산식을 이용한다.

$$Precision = \frac{(img_num/2)}{total} \times 100$$

$total =$ 전체 질의의 수

$img_num =$ 상위 2에 위치한 이미지의 수(1, 2위)

전체 질의에서 상위 1, 2위에 위치한 이미지 수를 통해 정확도를 분석한 결과, 상위 1,2위에 위치한 이미지 중 정확한 이미지 수는 총 15개 질의에 대해 상위 1,2위에 위치한 30개의 이미지 중 26개가 정확하게 검색되었고, 위의 정확도 계산식에 적용하면 약 86.6%의 정확도를 보인다.



그림 5. 검색 결과

[그림 5]는 질의에 대한 결과를 보여주는 화면으로 이미지 질의에 대한 상위 1,2위에 속하는 검색 결과가 왼쪽 상단에 보여진다. 중간에 있는 이미지는 상위 1,2위의 검색 결과와 같은 카테고리, 즉 의미적 관계를 가지는 이미지들을 함께 검색 결과로 제공한다. 왼쪽 하단에 있는 이미지들은 결과 이미지와 직접적인 관계는 없지만, 온톨로지를 통하여 의미적으로 유사한 관계를 가진다고 판단되는 이미지들을 보여준다. 오른쪽에서는 각 이미지에 대한 설명, 위치, 개장/폐장 시간, 전화번호 등 의미적 정보를 제공한다.

7. 결론

우리는 이미지의 의미적 검색 시스템을 제안하였다.

메타데이터나 주석이 없는 이미지를 질의하고, 검색 결과로 이미지뿐만 아니라, 이미지들간의 관계 및 이미지의 의미적 정보까지 제공하는 시스템을 구축하였다. 많은 양의 불분명한 이미지 데이터를 포함하는 놀이동산 도메인에서 실험을 통해 시스템이 만족할만한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

향후 과제로는 온톨로지의 확장을 통해 보다 많은 정보를 제공하려 한다. 또한 유사도 측정 방법의 정제를 통해 자동으로 이미지를 분류하기 위한 방법을 제안하려 한다.

참고 문헌

- [1] J.P. Eakins and M.E. Graham. Content-based Image Retrieval. A Report to the JISC Technology Applications Programme. Technical report, University of Northumbria at Newcastle, January 1999.
- [2] M. Lew, et al. Content-based Multimedia Information Retrieval: State of the Art and Challenges. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, pp. 1-19, February 2006.
- [3] E. Hyyoenen, A. Styrman, S. Saarela, Ontology-Based Image Retrieval, Helsinki Institute for Information Technology, HIIT Publications, pp. 15-27, May 2002.
- [4] C. Nastar, LTU Technologies, France Content-based image retrieval : a state of the art. Search Engine Meeting April 2003.
- [5] J. Shuqiang, H. Tiejun, G. Wen. An Ontology-based Approach to Retrieval Digitized Art Images. IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI'04). pp. 131-137, September 2004.
- [6] V. Mezaris, I. Kompatsiaris, and M. G. Strintzis. Region-based image retrieval using an object ontology and relevance feedback. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, June 2004.
- [7] A. Popescu, C. Millet, P.-A. Moëlllic: Ontology driven content based image retrieval. ACM International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR 2007). pp. 387-394, July 2007.
- [8] A. Popescu, P.-A. Moëlllic, C. Millet: SemRetriev: an ontology driven image retrieval system. ACM International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR 2007). pp. 113-116, July 2007.
- [9] <http://www.cse.cuhk.edu.hk/~miplab/discover>
- [10] A. W.M. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, and R. Jain, Content-Based Image Retrieval at the End of the Early Years, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. pp. 1349-1380, December 2000.