

# SCARLET : 웨이브릿 변환을 이용한 내용 기반 이미지 검색 시스템의 설계 및 구현

(SCARLET : Design and Implementation of a Content-based  
Image Retrieval System using Wavelet Transform)

이 동 호 <sup>†</sup>    송 용 준 <sup>\*\*</sup>    김 형 주 <sup>\*\*\*</sup>  
(Dong-Ho Lee) (Young-Jun Song) (Hyoung-Joo Kim)

**요 약** 최근 다양하고 방대한 멀티미디어 데이터를 효율적으로 저장, 관리 및 검색할 수 있는 멀티미디어 데이터베이스 시스템이 정보화 사회의 중요한 핵심 기술로 대두되고 있다. 본 논문에서는 새로운 데이터 타입의 확장이 용이한 객체지향 데이터베이스 시스템을 사용하여 클래스 라이브러리 형태로 이미지를 효율적으로 저장, 관리 및 검색할 수 있는 방법을 제안하고, 이를 이용하여 이미지 데이터를 효율적으로 검색할 수 있는 내용 기반 이미지 검색 시스템 SCARLET(a System for Content-based Image Retrieval using WaveLET Transform)을 설계하고 구현한다. 내용에 기반한 이미지 검색을 위해 본 논문에서는 외곽선 추출 기법과 최근 이미지 압축이나 신호 분석등에서 많이 사용되고 있는 웨이브릿 변환(Wavelet Transform) 기법을 사용하여 이미지 데이터로부터 모양(Shape)을 나타내는 특징 데이터를 완전 자동으로 추출하는 방법과 이를 이용한 효율적인 특징 벡터의 구성 방법 및 이미지 검색 기법을 제안하고, 시각적 질의(Visual Query)를 위한 단순하면서도 일관된 사용자 인터페이스를 제안한다.

**Abstract** Recently, multimedia DBMS is appeared to be the core technology to store, manage and retrieve multimedia data efficiently. In this paper, we present a class library to store, manage and retrieve images using OODBMS, which is easy to expand for new data type. Also, we design and implement the content-based image retrieval system SCARLET(a System for Content-based Image Retrieval using WaveLET Transform) which can search image database efficiently by image's shape. For content-based image retrieval, our searching method extracts the shape feature for each image automatically using silhouette detection and wavelet transform technique which is widely used in digital signal analysis and image compression. We also propose an effective composition of feature vector, efficient searching algorithms, and visual query interface within our framework.

## 1. 서 론

최근 대용량, 고속의 데이터 전송이 가능한 초고속 통신망 및 멀티미디어 관련 기술의 발달로 인하여 이미지, 동화상, 음성 데이터와 같은 멀티미디어 데이터를 효율적으로 전송, 저장, 관리 및 검색하는 기술이 중요한

핵심 기술로 대두되고 있다. 특히, 멀티미디어 정보 검색의 경우, 사용자가 쉽게 원하는 정보를 표현할 수 있는 사용자 인터페이스 기술과 그 결과를 사용자에게 신속하고 정확하게 보여줄 수 있는 검색 기술이 필수적이다.

이러한 멀티미디어 정보의 효율적인 검색을 위하여 최근 여러 검색 기법들이 제안되고 있는데 이는 크게 다음과 같은 두 가지 검색 기법으로 분류될 수 있다.

첫번째 방법은 검색의 대상이 되는 모든 멀티미디어 데이터들에 대하여 사람이 주석을 붙이고, 이를 기반으로 검색을 수행하는 주석 기반 검색 기법(Annotation-Based Retrieval Technique) [13,14,17]이다. 이 방법은 비정형적인 멀티미디어 데이터에 대하여 사람이 의미 정

· 본 연구는 한국 과학 재단의 특정 연구 과제 No. 95-0100-23-04-3, "다중 매체 요구형 시스템 기술에 관한 연구"의 제 4 세부 연구 과제의 지원에 의한 것임

† 학생회원 · 서울대학교 컴퓨터공학과

\*\* 학생회원 · 서울대학교 컴퓨터공학과

\*\*\* 종신회원 · 서울대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수 · 1997년 1월 10일

심사완료 · 1997년 4월 7일

보(Semantic Information)를 기술하는 것으로써 제한된 범위내에서 이러한 의미 정보에 의한 효율적인 검색이 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 대용량의 데이터에 대하여 사람이 일일이 주석을 기술해야 한다는 점과 주석을 붙이는 사람과 검색하는 사용자의 관점의 불일치로 인한 검색의 비효율성이 큰 단점이 된다.

두번째 방법은 주석 기반 검색 기법의 단점들을 극복하기 위하여 멀티미디어 데이터에서 내용으로 표현되는 특징 데이터(Feature Data)를 자동으로 추출하여 이를 기반으로 검색을 하는 내용 기반 검색 기법(Content-based Retrieval Technique) [3,5,7,12,21,23-25]이다. 이 방법은 멀티미디어 데이터로부터 내용으로 표현되는 특징을 자동으로 추출하는 부시스템을 이용함으로써 사람이 주석을 기술할 필요가 없다는 장점을 가지고 있으나, 멀티미디어 데이터로부터 정확한 내용을 자동으로 추출하기가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그러나 최근에는 컴퓨터 비전(Computer Vision)이나 이미지 프로세싱(Image Processing) 및 컴퓨터 그래픽(Computer Graphics)과 같은 분야들의 연구 결과를 이용하여 멀티미디어 데이터에서 보다 정확한 정보를 추출하려는 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 멀티미디어 데이터 중에서 이미지 데이터에 대한 신속하고 효율적인 내용 기반 검색 기법을 제안한다. 내용 기반 검색에서는 주로 시각적 질의(Visual Query)를 다루게 되는데, 본 논문에서 제안된 내용 기반 이미지 검색 시스템 SCARLET에서는 사용자를 위한 두 가지 시각적 질의 방법을 제공한다. 한가지 방법은 사용자가 원하는 이미지를 그래픽 도구를 이용하여 유사하게 그린 그림을 이용하여 질의를 수행하는 사용자 그림에 의한 질의(Query by User's Painting)방법이고, 다른 한가지 방법은 스캐너를 통해 읽어 들인 이미지나 비디오의 스틸 이미지(Still Image)와 같은 예제 이미지를 이용하여 질의를 수행하는 예제 이미지에 의한 질의(Query by Image Example) 방법이다.

내용 기반 검색에서의 중요한 고려사항 중 하나는 질의 이미지와 실제 찾고자 하는 이미지가 일반적으로 많이 다르다는 점이다. 즉, 사용자가 원하는 그림을 그리거나 유사한 이미지를 선택한다고 하더라도 실제 찾고자 하는 그림과는 많은 차이가 있는 것이 일반적이다. 따라서, 내용 기반 검색에서는 완전 일치(Exact Matching) 검색이 아닌 어느 정도의 오차를 허용하는 유사 일치(Approximate Matching) 검색 [10,15]을 주로 사용하는데, 본 논문에서는 이미지에서 추출된 특징 벡터를 이

용하여 유클리드 공간(Euclidean Space)에서 질의 이미지와 이미지 데이터베이스에 저장된 이미지들간의 유사성을 비교하여 질의 이미지와 비슷한 이미지들을 검색하는 방법을 사용한다. 이때, 유사성은 이미지들로부터 추출한 특징 벡터들 간의 차이에 의해 측정되는데, 그 차이가 작으면 작을수록 이미지들간의 유사성이 더 커지게 된다.

내용 기반 검색의 또 다른 고려사항은 이미지 데이터와 같은 멀티미디어 데이터로부터 내용으로 추정되는 특징 데이터를 완전 자동으로 추출하기가 어렵다는 점이다. 그래서, 기존의 내용 기반 검색 시스템에서는 데이터로부터 특징을 추출하는 작업을 완전 자동화하지 못하고 사람의 수작업을 부분적으로 이용하였다. 본 논문에서는 이미지 데이터로부터 모양과 관련된 특징 벡터를 완전 자동으로 추출하는 방법을 제안한다. 이를 위해 이미지 데이터로부터 외곽선을 추출한 후, 최근 여러 분야에서 많이 이용되고 있는 웨이브릿 변환(Wavelet Transform) [1,4,8]을 이 외곽선 데이터에 적용하여 모양 특징 벡터를 완전 자동으로 추출한다.

이미지와 같은 멀티미디어 데이터를 데이터베이스 측면에서 효율적으로 저장, 관리 및 검색하기 위해서는 새로운 데이터 타입이나 필요한 연산자의 정의 및 등록이 용이한 객체지향 데이터베이스 시스템을 사용하는 것이 효과적이다.

본 논문에서는 본 연구실에서 개발한 객체지향 데이터베이스 시스템 SOP(SNU OODBMS Platform)<sup>1)</sup>을 이용하여 이미지와 같은 멀티미디어 데이터를 효율적으로 저장, 관리 및 검색할 수 있는 기법을 제안한다.

본 논문에서 연구된 내용 기반 검색 기법은 디지털 화랑(digital gallery), 위성 이미지 데이터베이스(satellite image database), 의학 이미지 데이터베이스(medical image database) [11,20] 및 기타 상업적인 그래픽 디자인 응용과 같은 다양한 멀티미디어 정보 검색 시스템에서 효율적이고 중요한 기술로 사용될 수 있다.

### 1.1 관련 연구

지난 몇 년 전부터 이미지에 대한 내용 기반 검색에 관한 연구가 활발히 진행 중인데, 본 논문과 연관된 내용 기반 검색에 관한 연구들로는 다음과 같은 것들이 있다.

QBIC [5,7,24]은 IBM Almaden 연구소에서 개발된

1) 서울 대학교 객체지향 시스템 연구실에서 개발한 객체지향 데이터베이스 시스템

내용에 기반한 이미지 검색 및 제한된 범위 내의 비디오 검색이 가능한 시스템으로 현재 여러 가지 면에서 가장 뛰어난 시스템으로 평가받고 있다. QBIC에서 중점을 둔 것은 사용자에게 이미지의 색상(color)이나 질감(texture), 모양(shape)등과 같은 다양한 속성에 기반한 시각적 질의를 제공한다는데 있다. 예를 들어, 사용자가 원하는 색상 구성(color1: x%, color2: y%, color3: z%)을 명세함으로써 그와 비슷한 색상 구성을 갖는 이미지들이 데이터베이스에서 검색되어 결과로 보여진다. 또한, 사용자가 찾고자 하는 이미지의 외곽선을 대략적으로 그리면 그것과 유사한 이미지를 찾아 준다. QBIC은 또한 사용자로부터 하여금 데이터베이스에 있는 이미지에 대하여 적절한 키워드(keyword)로 주석을 붙일 수 있도록 허용함으로써 제한적이나마 주석에 기반한 검색도 가능한 장점을 가진다. 하지만, 다양하고 복잡한 질의 인터페이스가 체계적으로 통합되어 있지 않아서 오히려 사용자 측면에서는 이용하기가 어려울 수 있다는 점과 특징 데이터를 완전 자동으로 추출하지 못하고 부분적으로 사람의 수작업을 이용해야 한다는 단점이 있다. 반면, SCARLET에서는 외곽선 추출 기법 및 웨이브릿 변환 기법을 사용하여 이미지 데이터로부터 효과적으로 특징 데이터를 완전 자동으로 추출하고 질의 검색 단계에서 효율적인 특징 벡터의 구성과 검색 알고리즘으로 신속하고 정확한 내용 기반 이미지 검색을 하는데 중점을 두었다. 또한, 질의 측면에서 단순하면서도 일관된 사용자 인터페이스를 제공하여 사용자는 원하는 이미지에 대해 복잡한 명세를 할 필요 없이 단순히 그 이미지와 비슷한 이미지를 그리거나 선택함으로써 쉽게 원하는 검색을 할 수 있다는 점이다.

Chabot [16]은 Berkeley에서 개발한 관계형 데이터베이스 시스템을 이용한 내용 기반 이미지 검색 시스템으로, 이미지에 대한 히스토그램(Histogram)을 구한 다음 색상에 대해 적절한 주석을 기술하여 검색을 수행하는 시스템이다. 이 시스템은 이러한 주석을 이용하여 기존의 관계형 데이터베이스 시스템에 있는 질의어와 연결하여 검색을 할 수도 있다는 장점이 있지만 색상에 의한 내용 기반 검색만 가능하다는 단점을 가진다.

QVE [9]는 Hirata와 Kato가 만든 내용 기반 이미지 검색 시스템으로, 이미지로부터 추출한 외곽선 데이터를 그대로 특징 데이터로 사용하여 검색에 이용한다. 따라서, 실제 질의 처리 과정에서 유사성을 검사하기 위해서는 데이터베이스에 저장된 각각의 이미지들에 대해 이동(translation)이나 스케일링(scaling), 회전(rotating)과 같은 기하학적인 변환을 일일이 고려해야 한다는 단점을

가진다.

Charles와 Adam [3]이 제안한 시스템은 내용 기반 이미지 검색을 위해 특징 데이터의 추출 과정에서 웨이브릿 변환을 처음 사용하였다. 그들의 연구에서는 칼라 이미지(color image)에 직접 웨이브릿 변환을 적용하여 얻은 계수(coefficients)들을 특징 벡터로 사용하는데, 칼라 이미지의 각 채널("R"ed, "G"reen, "B"lue의 3 채널)마다 따로 특징 벡터들을 추출하여 사용하기 때문에 상당히 많은 수의 계수를 고려해야 하고, 그로인해 이미지 간의 유사성을 측정하기 위하여 여러 개의 특징 벡터를 비교해야 한다는 단점이 있다<sup>2)</sup>. 또한, 추출된 특징 벡터가 정확히 이미지의 어떤 속성을 표현하고 있는지 명확히 구별할 수 없어서 질의 이미지(Query Image)의 전체적인 모양이 데이터베이스에 저장된 목적 이미지(Target Image)와 유사하더라도 색상의 구성이 다르게 되면 사용자가 원하는 이미지를 제대로 찾지 못한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 칼라 이미지를 그레이 이미지(gray image)로 변환하고 외곽선을 추출한 후에 그 외곽선 데이터에 대해 웨이브릿 변환을 적용하여 나온 계수들 중에서 절대값이 가장 큰 몇 개의 계수만을 특징 벡터로 구성한다. 따라서, 고려해야 할 계수의 수가 적으며 그 결과로 나온 특징 벡터들은 이미지의 모양(shape)에 대한 특징을 표현하기 때문에 모양에 대한 일관된 시각적 질의가 가능하게 된다.

## 1.2 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 SOP 상에서 이미지 데이터를 효율적으로 저장하고 관리하기 위한 접근 방식에 대하여 설명하고, 3장에서는 SCARLET의 전체적인 구조와 기존의 관련된 시스템들과의 비교 분석에 대해 설명한다. 4장에서는 질의를 위한 사용자 인터페이스와 이를 사용한 질의의 결과를 보이고, 5장에서는 실험 결과에 대한 분석을 다룬다. 마지막으로 6장에서는 요약 및 앞으로의 연구 방향에 대해서 설명한다.

## 2. 객체지향 데이터베이스 시스템에서의 이미지 관리

객체지향 데이터베이스 시스템은 새로운 데이터 타입의 정의에 있어서 기존의 관계형 데이터베이스 시스템보다 훨씬 뛰어난 확장성(Extensibility)을 가지고 있다.

2) 실제 그들의 연구에서 두개 이미지간의 유사성을 측정하기 위하여 6개의 특징 데이터 행렬을 일일이 비교해야 한다.

최근에 이러한 객체지향 데이터베이스 시스템을 이용하여 이미지나 비디오, 오디오와 같은 기존의 관계형 데이터베이스 시스템이 처리하기 힘든 비정형화된 멀티미디어 데이터를 데이터베이스 차원에서 효율적으로 저장, 관리하려는 연구가 많이 수행되어지고 있다. 본 논문에서는 SOP를 이용하여 데이터베이스 시스템 차원에서 이미지와 같은 멀티미디어 데이터를 효율적으로 저장, 관리할 수 있도록 확장하기 위해서 이미지 클래스 라이브러리를 제공하였다. 이미지와 관련된 새로운 데이터 타입이나 함수등을 클래스 라이브러리로 만들어 이것을 SOP에 있는 기존의 클래스의 하위 클래스로 등록함으로써 SOP자체에서 이미지 데이터를 효율적으로 관리할 수 있을 뿐만 아니라 이미지와 관련된 새로운 응용 프로그램을 쉽게 개발할 수 있는 환경을 제공한다.

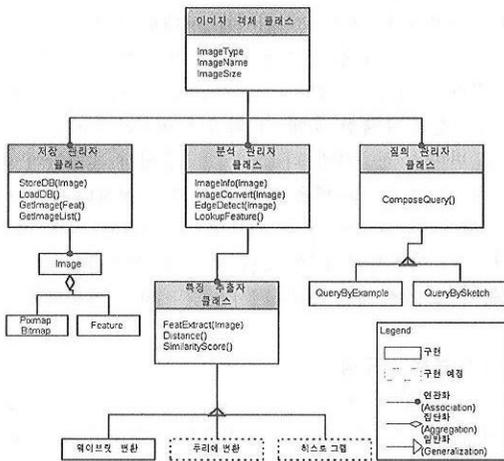


그림 1 SOP 이미지 클래스 라이브러리의 클래스 다이어그램

그림 1은 SOP 이미지 클래스 라이브러리의 클래스 다이어그램(Class Diagram) [6]을 보이고 있다. 이 클래스의 구조는 CORE 시스템 [25]에 기반을 두고 있다. 이미지 클래스의 최상위 클래스로 이미지 데이터 타입들과 기타 필요한 메소드들이 정의되어 있고, 하위 클래스로 이미지 데이터를 데이터베이스에 저장하고 불러오기 위한 저장 관리자 클래스(Storage Manager Class)와 이미지 데이터 형식에 대한 변환이나 외곽선 추출 및 기타 이미지 관련 정보의 분석을 위한 분석 관리자 클래스(Analysis Manager Class), 그리고 질의 관리를 위한 질의 관리자 클래스(Query Manager Class)로 구성되어 있다. 분석 관리자 클래스의 하위 클래스로

내용 기반 검색에 사용되는 특징 데이터들을 추출하기 위한 특징 추출자 클래스(Feature Extractor Class)가 존재한다.

### 3. SCARLET의 설계 및 구현

이 장에서는 먼저 내용 기반 이미지 검색에 사용되는 다양한 이미지 속성들과 웨이트링 변환의 특징을 설명하고, SCARLET의 전체적인 구조와 기존 시스템들과의 차이점에 대해서 설명한다. 다음으로, SCARLET에서 사용하는 특징 벡터의 구성 방법 및 거리 함수에 대하여 설명하고, 마지막으로 검색 알고리즘에 대하여 설명한다.

#### 3.1 내용 기반 검색을 위한 이미지의 속성

내용 기반 이미지 검색 시스템의 가장 큰 특징들 중의 하나는 이미지로부터 특징 데이터를 자동으로 추출하는데 있다. 실제로 이미지 데이터로부터 내용으로 추정될 수 있는 데이터를 추출하기 위하여 기존의 이미지 프로세싱(image processing)이나 컴퓨터 비전(computer vision), 컴퓨터 그래픽(computer graphics)과 같은 분야에서 연구되어 왔던 이미지 변환 기법, 외곽선 추출 기법, 이미지 패턴 인식 기법, 그리고 이미지 데이터의 색상 및 질감 분석 기법과 같은 다양한 방법들이 이용된다[18,24]. 이러한 방법들로 추출될 수 있는 이미지의 속성으로는 크게 다음과 같은 것들이 있다.

첫째, 색상 특징(Color Feature) - 대부분의 내용 기반 이미지 검색 시스템은 이미지로부터 색상에 대한 특징 데이터를 추출하기 위하여 이미지의 색상에 대한 히스토그램을 사용하고 있다[16,24]. 이 방법은 이미지를 구성하고 있는 색상들을 수치 데이터로 바꾼후, 이를 기반으로 그 이미지의 색상 구성에 관한 특징을 추출하여 검색에 이용하는 방법이다.

둘째, 질감 특징(Texture Feature) - 이미지의 질감은 이미지 표면에 나타나 있는 시각적인 굴곡을 분석하여 나온 특징 데이터로서, 이러한 특징 데이터를 추출하기 위해서 이미지 프로세싱이나 컴퓨터 비전등의 연구 결과를 이용하고 있다[21].

셋째, 모양 특징(Shape Feature) - 이미지나 이미지 안에 있는 객체의 모양을 일정한 수치 데이터로 변환하여 이를 기반으로 검색을 한다[3,7]. 이러한 모양 특징 데이터는 내용 기반 이미지 검색에서 가장 응용이 어려운 부분 중의 하나이다. 실제로 이러한 모양에 의한 유사성 검사는 모델-기반 비전 응용(Model-based vision application)과 같은 전문 분야에서도 아직도 어려운 연구 중의 하나로, 최근에는 많은 통계학적인 방법

을 이용하여 보다 효율적인 방법들을 연구하고 있다.

그외에도, 2-D String 기법을 이용하여 이미지 안에 있는 객체들의 공간적인 관계(Spatial Relation)에 대한 속성을 추출하여 특징 데이터로 사용한다.

**3.2 웨이블릿 변환**

일반적으로 이미지의 모양을 표현하는 스킴(Shape representation scheme)은 다음과 같은 특징을 만족해야 한다[18].

첫째, **유일성(Uniqueness)** - 이미지 객체의 모양을 유일하게 표현해야 한다.

둘째, **완전성(Completeness)** - 명확하고 완전한 표현이어야 한다.

셋째, **불변성(Invariance under geometrical transformation)** - 이동(translation), 회전(rotation), 스케일링(scaling)등의 기하학적인 변환에 대해서 변하지 않는 표현이어야 한다.

넷째, **민감도(Sensitivity)** - 비슷한 이미지들간의 차이를 쉽게 표현해야 한다.

다섯째, **추상화(Abstraction from detail)** - 이미지의 세부적인 사항으로부터 모양에 대한 추상적인 기본 특징까지 모두 표현할 수 있어야 한다.

기존의 내용 기반 검색 기법 [2,9,10,15,19]은 이미지 데이터로부터 외곽선을 추출한 후 몇 개의 점만을 이용하여 특징 데이터로 사용하였는데, 이 방법으로는 위의 성질들을 충분히 만족시키지 못하였다. 특히, 여러 가지 기하학적인 변환에 대해서 불변적인 특성을 만족하는 것이 어려웠다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 웨이블릿 변환을 사용하였으며 실험 결과 웨이블릿 변환은 위에 열거된 모든 특징을 잘 만족함을 보였다. 특히, 동일한 이미지 데이터를 이동시키거나, 회전, 스케일링시켜도 거의 유사한 특징 데이터를 얻을 수 있었다. 컴퓨터 비전이나 이미지 프로세싱 연구에 자주 사용되는 푸리에 변환(Fourier Transform)은 위의 성질을 비교적 잘 만족하지만 기본 함수(Basis Function)로 사인(sine)과 코사인(cosine)만을 사용하고 지역적인 특성이 없기 때문에 신호 데이터(Signal Data)<sup>3)</sup>가 불연속성을 포함하고 있거나 특별히 날카롭게 도출된 부분이 있을 경우, 이러한 지역적인 특징을 분석하기가 어렵다. 따라서, 적용할 수 있는 이미지 도메인이 한정된다는 단점이 있다. 반면에, 웨이블릿 변환은 기본 함수(Basis Function)로서 사인(sine), 코사인(cosine)함수뿐만 아니라 좀더 복잡한 웨이블릿 모함수(mother wavelet function)를 사

용할 수 있고, 푸리에 변환에는 없는 공간에 대한 지역적인 특성(localized in space)을 가지고 있어서, 이러한 물리적 상황에서 전체적인 특징뿐만 아니라 지역적인 특징까지도 분석이 가능하다. 또한, 웨이블릿 변환은 이미지에 대하여 다해상도(Multiresolution)분석이 가능하다. 즉, 웨이블릿 변환으로 나온 계수들은 이미지의 본래 해상도(original resolution)에 대하여 독립적인 정보를 제공한다. 이러한 이유로 질의 이미지와 데이터베이스에 저장된 이미지 간의 해상도(resolution)가 서로 다르더라도 검색이 가능하게 된다. 실제로, 본 연구의 실험에서 SOP에 저장된 이미지들의 해상도는 128×128이고 사용자 그림에 의한 질의의 경우 질의 이미지의 해상도는 512×512로 서로 다르지만, 유사한 이미지들에 대해서는 거의 비슷한 특징 벡터들이 얻어짐을 확인할 수 있었다. 이러한 성질들로 인하여 웨이블릿 변환은 이미지 압축(Data Compression)이나 이미지 데이터의 특징 추출 및 시계열 데이터에서의 잡음(Noise)제거와 같은 분야에서 유용하게 사용된다.

**3.3 SCARLET의 구조**

이미지 데이터로부터 모양 특징을 나타내는 특징 벡터를 추출하기 위해 본 논문에서 제안된 기법은 RGB의 세 채널을 갖는 컬러 이미지(Color Image)를 하나의 채널을 갖는 그레이 이미지(Gray Image)로 변환한 후에 외곽선을 추출하고, 이 외곽선 데이터에 대해 웨이블릿 변환을 적용하여 나온 계수(coefficient)들 중에서 절대값이 큰 몇 개의 계수만을 추출하여 특징 벡터로 구성한다.

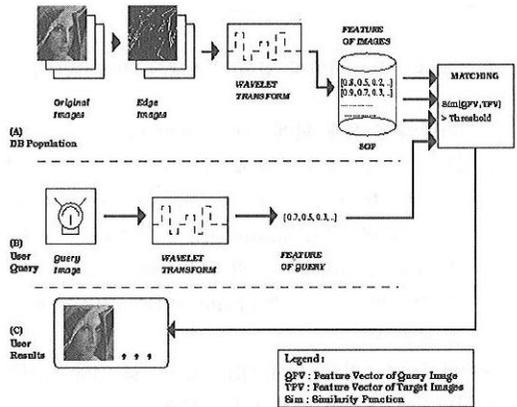


그림 2 내용 기반 이미지 검색 시스템의 전체적인 메카니즘

이미지 데이터베이스의 구축시 데이터베이스에 저장되는 모든 이미지들에 대하여 이러한 특징 벡터를 추출

3) 이미지 데이터는 일종의 디지털 신호(Digital Signal)이다.

하여 원래의 이미지에 대한 OID<sup>4)</sup> 값과 함께 저장하며, 사용자 질의시에는 사용자에게 의해 구성된 질의 이미지에 대해서도 이러한 특징 벡터를 추출하여 이미 데이터베이스에 저장된 이미지들의 특징 벡터와 비교함으로써 유사한 이미지를 검색하게 된다. 그림 2는 이와 같은 과정을 나타내는 시스템의 전체적인 메커니즘을 보이고 있다. 실제로 구현된 내용 기반 이미지 검색 시스템의 전체적인 구조는 그림 3과 같다. **이미지 변환기(Image Converter)**는 칼라 이미지를 그레이 이미지로 변환하는 부분이고, **외곽선 추출기(Edge Detector)**는 그레이 이미지로부터 외곽선을 추출하는 부분이다. **특징 추출기(Feature Extractor)**는 외곽선 데이터로부터 웨이브릿 변환을 적용하여 특징 벡터를 추출하는 부분이다.

서 유사하다고 생각되는 이미지들의 OID가 유사한 순서로 얻어지고, 그 OID에 해당되는 이미지들이 사용자 인터페이스를 통해 사용자에게 보여지게 된다.

이러한 접근 방식은 내용 기반 이미지 검색 연구에 웨이브릿 변환을 최초로 이용한 Washington대학의 Charles와 Adam의 연구 [3]와 비교하면 다음과 같은 장점이 있다.

먼저, [3]의 연구에서는 특징 벡터를 추출하기 위하여 칼라 이미지(full color)에 대하여 직접 웨이브릿 변환을 적용하였다. 따라서, 만약 이미지의 해상도(resolution)가 128×128이라면 칼라 이미지의 R,G,B 채널에 대하여 모두 고려를 해야 하기 때문에 고려해야 할 계수의 수가 3×128×128이 된다<sup>5)</sup>. 반면, 본 논문에서는 칼라 이미지를 한 채널만을 갖는 그레이 이미지로 변환하여 처리하므로 고려해야 할 계수의 수는 128×128이 된다. 따라서, 동일한 해상도에서 고려해야 할 계수의 수는 [3]과 비교하면 1/3로 줄어든다. 또한, 대부분의 내용 기반 이미지 검색 시스템에서는 다양한 시각적 질의를 제공하기 위하여 이미지의 속성을 명확히 구별하는데, [3]의 연구에서는 칼라 이미지에 대하여 직접 웨이브릿 변환을 이용하여 특징 벡터를 추출했을뿐 그 특징 벡터가 이미지의 어떤 속성을 표현하는지는 명확히 구별할 수가 없다. 따라서, 그들의 연구에서 제안된 시스템에서는 질의 이미지의 전체적인 모양이 데이터베이스에 저장된 목적 이미지와 유사하더라도 색상의 구성이 다르게 되면 질의의 결과는 사용자가 원하는 이미지들을 제대로 찾지 못하는 결과를 초래한다. 이것은 사용자 측면에서 보면 사용자 자신이 찾고자 하는 이미지의 전체적인 모양뿐만 아니라 색상의 구성까지도 동시에 정확히 알아야 한다는 부담을 주게 된다.

본 논문에서 제안된 시스템은 칼라 이미지로부터 변환된 그레이 이미지에서 외곽선을 추출하고 그 외곽선 데이터에 대해서 웨이브릿 변환을 적용하므로, 그 결과로 나온 특징 벡터가 이미지의 전체적인 모양(shape)에 대한 특징을 표현한다. 따라서, 사용자는 단순히 자신이 원하는 이미지와 전체적인 모양이 유사한 그림을 그리거나, 예제 이미지를 선택함으로써 유사한 목적 이미지를 신속하게 검색할 수가 있다.

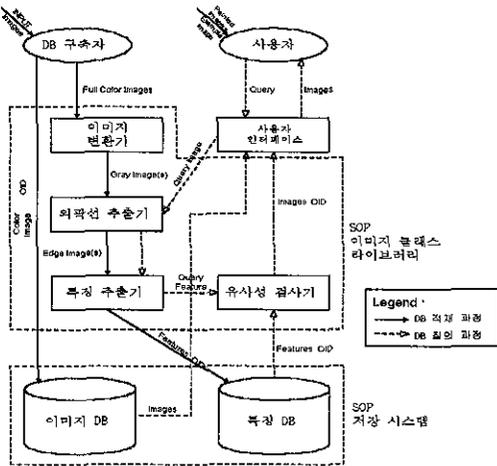


그림 3 내용 기반 이미지 검색 시스템의 전체적인 구조

데이터베이스 적재 단계( DB population session)에서는 이러한 부시스템을 사용해 이미지 데이터로부터 추출된 특징 벡터를 원래 이미지의 OID값과 함께 SOP내의 특징 데이터베이스(Feature DB)에 저장하고 원래의 칼라 이미지(Color Image)는 압축된 형태로 역시 SOP내의 이미지 데이터베이스(Image DB)에 저장하여 효율적으로 관리한다.

데이터베이스 질의 단계(DB query session)에서는 질의 이미지에 대하여 마찬가지로 외곽선 추출기와 특징 추출기를 이용해 특징 벡터를 추출하고, 이미 특징 데이터베이스에 저장된 모든 이미지들의 특징 벡터들과 유사성을 비교한다. 그 결과로, 일정한 범위(threshold)내에

5) JPEG 형식으로 저장한다.

6) [3]의 연구에서는 칼라 이미지의 R채널, G채널, B채널에 대하여 각각 웨이브릿 변환을 적용하기 때문에 각각의 채널에서 128×128개의 웨이브릿 계수가 발생하게 된다. 따라서 고려해야 할 계수의 수는 3×128×128이 된다.

4) 객체지향 데이터베이스 시스템에서 사용하는 객체 식별자

**3.4 특징 벡터의 구성과 거리 함수**

웨이브릿 변환(Wavelet Transform)은 사용하는 웨이브릿 함수의 타입(Wavelet Type)과 분해 타입(Decomposition Type)에 따라 특징 데이터 추출시 성능의 차이를 보이게 된다. 또한, 변환 결과로 얻어진 수많은 계수들을 모두 특징 벡터로 사용하는 것은 매우 비효율적이므로, 절대값이 가장 큰 몇 개의 계수만을 추출하는 절단(Truncation)작업을 하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 다음과 같은 사항을 고려하여 특징 벡터를 추출한다.

첫째, **웨이브릿 타입** - 웨이브릿 변환은 사용하는 기본 함수(basis function)의 종류에 따라 다양한 웨이브릿 타입이 존재하게 된다. [3]의 연구에서는 가장 간단하고 구현이 쉬운 Haar 웨이브릿 변환만을 사용하여 특징 데이터를 추출하였지만, 본 연구에서는 Haar 웨이브릿 변환뿐만 아니라 Burt-Adelson이나 Battle-Lemarne, Coiflet, Daubechies와 같은 다양한 종류의 웨이브릿 변환들을 사용하여 특징 데이터를 추출할 수도 있다. 본 연구에서는 다양한 웨이브릿 변환들 중에서 가장 많이 사용되는 몇개의 변환들에 대하여 특징 벡터 추출에 따르는 성능을 비교 분석한다<sup>7)</sup>.

둘째, **분해 타입** - 각 웨이브릿 변환에는 표준(standard)분해와 비표준(nonstandard)분해가 존재한다. Haar웨이브릿 변환의 경우 표준 분해 기본 함수는 사각형 모양이고, 비표준 분해 기본 함수는 정사각형 모양이어서 이미지가 선이나 사각형의 특징을 포함하고 있을 때는 비표준 Haar 웨이브릿 변환을 이용하는 것이 특징 추출에 효율적이다.

셋째, **절단** - 만약 128×128의 해상도를 갖는 이미지 데이터에 대하여 웨이브릿 변환을 적용하면 128<sup>2</sup> = 16382개의 계수(coefficients)가 얻어진다. 이러한 계수들을 모두 다 특징 벡터로 사용하는 것은 데이터베이스 저장 측면에서나 유사성 계산 측면에서 상당히 비효율적이다. 따라서, 이러한 계수들 중에서 절대값이 가장 큰 몇 개의 계수만을 취하는 절단 작업을 통하여 적절한 크기의 특징 벡터를 구성한다. 추출된 특징 벡터들을 이용하여 질의 이미지와 데이터베이스에 저장된 이미지들간의 유사성을 계산하기 위하여 가장 많이 사용되는 수식은 다음과 같은 L<sub>p</sub>행렬<sup>8)</sup>[22]이다.

$$L_p(\vec{x}, \vec{y}) = \left| \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^p \right|^{\frac{1}{p}}$$

본 논문에서는 다음 식들을 이용하여 이미지들간의 차이를 의미하는 거리(Distance)를 구한 후 그 값의 역으로 유사성을 측정한다.

$$Distance(QFV, TFV) = \frac{\left| \sum_{i=1}^n (QFV_i - TFV_i)^2 \right|^{\frac{1}{2}}}{n} \tag{1}$$

$$Similarity(Q_{image}, T_{image}) = 100 - \frac{Distance(QFV, TFV)}{Threshold} \times 100(\%) \tag{2}$$

식 (1)은 두 이미지간의 차이를 측정하기 위해 그 이미지들로부터 추출된 특징 벡터들의 거리를 L<sub>p</sub>행렬을 이용하여 계산하는 식이고, 식 (2)는 실제 두 이미지간의 유사성(Similarity)을 백분율로 표현하기 위한 식이다. 이러한 백분율로 표현된 유사성은 이미지들간의 유사성을 상대적으로 표현하기 위한 값으로 절대적인 값은 아니다. 또한 식 (2)에서 사용된 Threshold 값은 질의 이미지와 가장 유사한 이미지간의 유사성이 100%를 넘지 않도록 여러번의 실험을 통해 얻은 실험값이다.

**3.5 검색 알고리즘**

질의 과정에서 질의 이미지의 특징 벡터를 추출한 후, 그림 3의 **유사성 검사기(Match Engine)**을 이용하여 이 질의 이미지와 이미 데이터베이스에 저장된 각 이미지들과의 유사성을 계산하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 사용한다.

함수 **Distance**는 질의 이미지의 특징 벡터와 이미 데이터베이스에 저장된 각 이미지들의 특징 벡터간의 차이를 계산하기 위한 함수로 식 (1)을 사용한다.

**Function** Distance(QFV : Feature Vector, TFV : Feature Vector):

```

dist : 질의 이미지와 목적 이미지의 특징벡터간의 차이,
n : 특징 벡터의 크기;
Initialize dist;
For i in Feature Vector's elements Do
    dist += (QFV[i] - TFV[i])2
End For
return  $\frac{\sqrt{dist}}{n}$ 

```

**End Function**

함수 **SimilarityScore**는 질의 이미지와 데이터베이스에 저장된 각 이미지들과의 거리를 함수 **Distance**를 이용하여 계산한 후, 최종적으로 식 (2)를 이용하여 유사성을 측정하고 그 값을 **scores**라는 자료 구조에 저장하게 된다.

7) 5 장의 실험 결과의 분석을 참고하라

8) 유클리드 거리(Euclidean Distance)는 p의 값이 2인 특별한 경우이다.

**Function** SimilarityScore(Q : image):

```

Q : 질의 이미지;
E : 외곽선 이미지;
QFV : 질의 이미지의 특징 벡터;
TFV : 데이터베이스에 저장된 목적 이미지의 특징 벡터;

Initialize scores[index(T)] → for each database image T;
E = EdgeDetectImage(Q);
QFV = FeatureExtract(E);
For each database image T Do
    scores[index(T)]
        = 100 - (Distance(QFV, TFV) ÷ Threshold) × 100;
End For
return scores
End Function
    
```

본 논문에서는 Quick Sort 알고리즘을 이용하여 가장 유사한 이미지의 순서로 검색의 최종 결과를 도출하게 된다.

[3]의 연구에서는 이미지의 R,G,B 각 채널에 대하여 웨이블릿 변환을 적용하여 계수를 얻어내고 계수의 부호까지도 고려하기 때문에, 결국 하나의 이미지에 대하여 모두 6개의 특징 벡터를 사용한다. 따라서, 두 개의 이미지간의 유사성을 검사하기 위하여 6개의 특징 벡터를 일일이 비교 계산해야하므로 검색시 상당히 많은 수의 비교 계산이 필요하게 된다. SCARLET에서는 빠른 검색을 위하여 하나의 이미지 데이터에 대하여 하나의 특징 벡터만을 사용한다. 따라서, 동일한 조건하에서 본 연구에서 제안한 유사성 계산 알고리즘을 [3]의 연구에서 제안한 유사성 계산 알고리즘과 비교하면 검색 시간이 1/6로 단축됨을 알 수 있다.

**4. SCARLET의 사용자 인터페이스 및 질의 검색의 결과**

SCARLET에서는 두 가지 시각적 질의(Visual Query) 기법을 제공한다. 하나는 사용자가 직접 그래픽 도구를 사용하여 그린 그림과 비슷한 이미지를 검색하는 사용자 그림에 의한 질의이며, 다른 한가지는 스캐너를 이용하여 얻은 이미지나 비디오로부터 얻은 스틸 이미지(still image)와 같은 예제 이미지를 이용하여 비슷한 이미지를 검색하는 예제 이미지에 의한 질의이다. 본 논문에서는 실험적으로 수백개의 완전 칼라 이미지(Full Color Image)와 각 이미지로부터 추출한 특징 벡터들을 SOP내의 이미지 데이터베이스와 특징 데이터베이스에 각각 저장하고 두 가지 종류의 시각적 질의를 수행하였다.

**4.1 사용자 그림에 의한 질의**

그림 4는 사용자가 SCARLET에서 제공하는 그래픽 도구를 이용하여 검색하고자 하는 이미지와 비슷한 이미

지를 그린 화면을 보여준다. 이러한 시각적 질의(Visual Query) 방법은 내용 기반 이미지 검색뿐만 아니라 비디오 검색(Video Retrieval)이나 기타 상업적 그래픽 응용과 같은 멀티미디어 정보 검색을 위한 질의 인터페이스로 사용될 수 있다. 그림 5는 그림 4 질의의 검색 결과로서 위로 갈수록, 그리고 왼쪽에 있을수록 유사성이 높은 그림이다. 즉, 왼쪽 가장 상단에 있는 것이 가장 유사

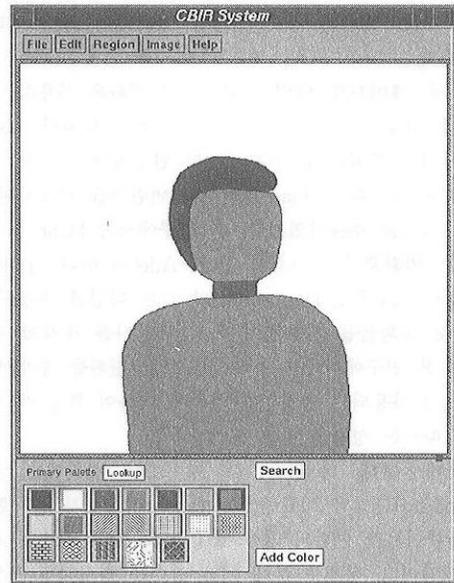


그림 4 사용자 그림에 의한 질의 예

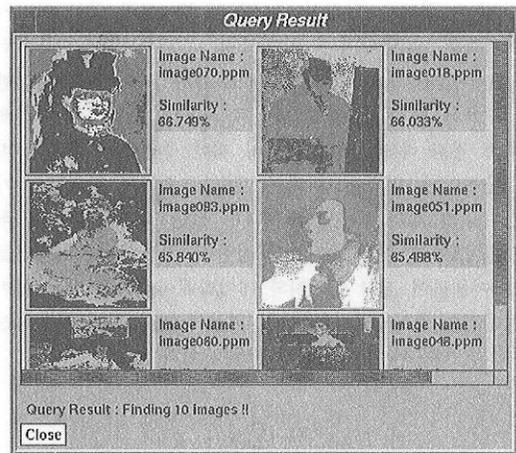


그림 5 그림 4의 검색 결과

한 그림이고, 그 오른쪽에 있는 것이 두번째로 유사한 그림이 된다. 그림 5에서 그림 4의 질의 이미지와 유사한 사람의 두상을 나타내는 이미지들이 검색됨을 볼 수 있다.

4.2 예제 이미지에 의한 질의

사용자 질의의 두번째 방법은 그림 6에서와 같이 사용자가 적당한 예제 이미지를 선택함으로써 그와 비슷한 이미지들을 검색하는 방법이다. 그림 7은 그림 6 질의의 검색 결과를 보여준다. 그림 6의 예제 이미지는 이미 데이터베이스에 저장된 이미지이기 때문에, 그림 7의 검색 결과에서 동일한 이미지가 유사성(similarity) 100%로 검색된 결과를 볼 수 있으며, 검색된 다른 이미지들도 상당히 유사한 이미지들인 것을 볼 수 있다. 여러 번의

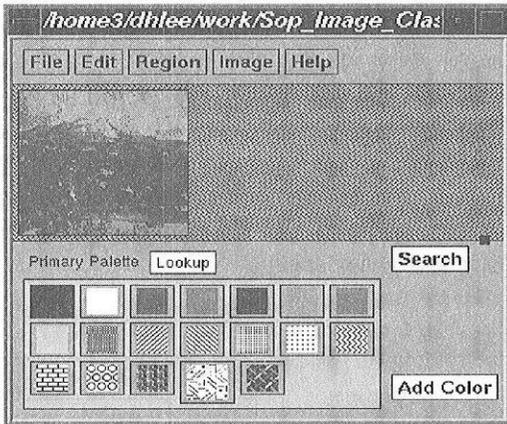


그림 6 예제 이미지에 의한 질의 예

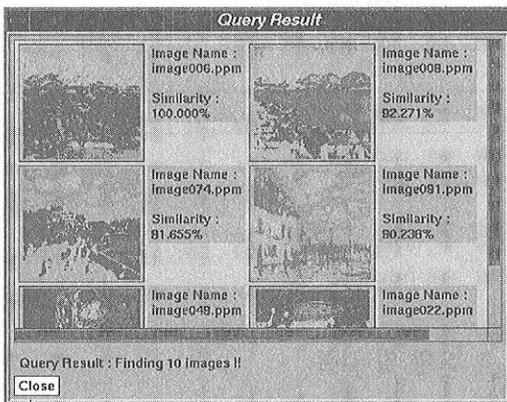


그림 7 그림 6의 검색 결과

실험 결과 사용자 그림에 의한 질의 검색보다 예제 이미지에 의한 질의 검색 결과가 유사성이 더 높은 이미지들을 검색해 낼 수 있었는데, 그 이유는 사용자 그림에 의한 질의에서는 사용자가 아무리 유사하게 그림을 그려도 실제 목적 이미지와는 많이 차이가 있기 때문이다. 따라서, 사용자 그림에 의한 질의에서는 유사성 허용 오차를 예제 이미지에 의한 질의보다 많이 고려해야 한다.

5. 실험 결과의 분석

내용 기반 이미지 검색 시스템의 여러 성능을 측정하기 위한 뚜렷한 표준이 아직 없기 때문에 대부분의 내용 기반 이미지 검색 시스템들은 성능을 평가하지 않거나, 평가를 하더라도 자기들 나름대로의 기준을 만들어 자체적으로 평가하고 있는 것이 전부이다.

본 논문에서는 예제 이미지에 의한 질의의 경우, 특징 벡터의 크기에 따른 질의의 성공률(success rate)과 처리 비용(cost)에 대한 효율성(eficiency)을 분석하였다. 질의의 성공률은 각 특징 벡터의 크기에 대하여 유사성이 70% 이상으로 검색되는 이미지의 개수로 평가하였다. 그림 8을 보면 일반적으로 특징 벡터의 크기가 증가할수록 성공률이 증가하는 것을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 이미지 데이터 도메인에서는 Battle-Lemarie 웨이브릿 변환이 Haar 웨이브릿 변환이나 Daubechies

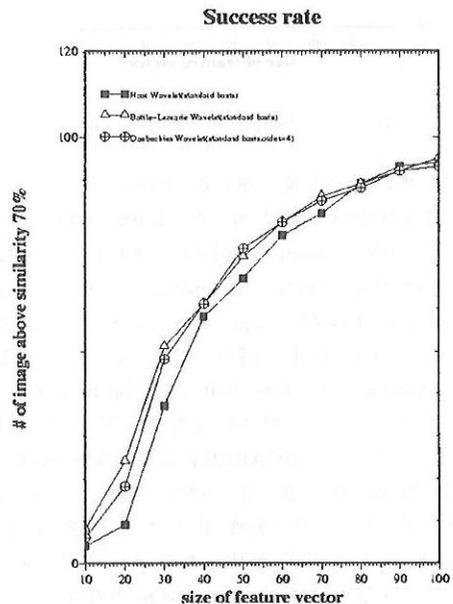


그림 8 특징 벡터의 크기에 따른 성공률

웨이브릿 변환보다 성공률이 높음을 알 수 있었다. 본 실험에서는 각 웨이브릿 변환에 대하여 적절한 특징 벡터의 크기를 알아내기 위해서 다음과 같은 비례식을 이용하여 특징 벡터의 추출에 필요한 비용을 평가하였다.

$$\text{특징 벡터의 크기에 따른 효율성} = \frac{\text{성공률}}{\text{특징 벡터의 추출에 필요한 비용}}$$

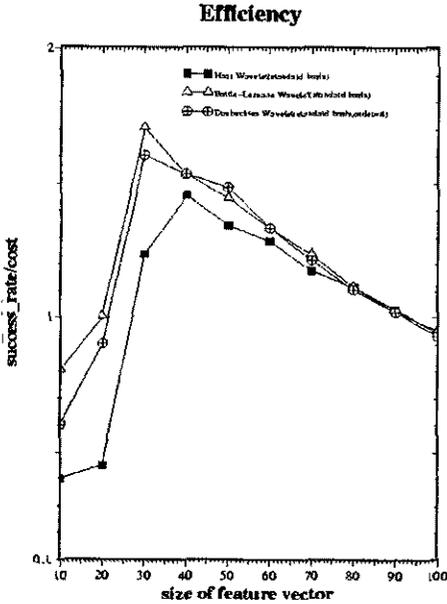


그림 9 특징 벡터의 크기에 따른 효율성

특징 벡터의 추출에 소요되는 비용은 필요한 연산 횟수로 측정하였으며, 특징 벡터의 크기에 비례한다. 그림 9에서 Battle-Lemarie 웨이브릿 변환이 전반적으로 Haar 웨이브릿 변환이나 Daubechies 웨이브릿 변환보다 효율성이 좋았으며, Haar 웨이브릿의 경우에는 특징 벡터의 크기가 40인 경우에 가장 효율성이 좋았고, Battle-Lemarie 웨이브릿 변환과 Daubechies 웨이브릿 변환의 경우에는 특징 벡터의 크기가 30일 때 가장 효율적임을 알 수 있다. SCARLET에서는 특징 벡터를 구성하는 각 요소의 중요도를 고려하지 않았기 때문에, 특징 벡터의 크기가 증가함에 따라 전체적으로 유사성이 증가하게 된다. 그러나, 실제로 특징 벡터의 크기를 증가 시킴에 따라 좀더 정확한 검색 결과를 얻기 위해서는 유사한 이미지들은 유사성이 더 증가되고, 그렇지 않은 이미지들은 유사성이 더 작아지는 것이 보다 이상적이다.

하지만, 이러한 사실을 반영하여 내용 기반 이미지 검색 시스템의 성능을 평가하는 모델은 아직 없다. 또한, 질의의 결과의 적합성이나 질의 수행 속도를 평가하는 객관적인 모델이 없다. 이것은 내용 기반 이미지 검색에 있어서 질의 결과의 적합성을 따지는 문제는 상당히 주관적이고, 질의의 수행 속도를 평가하는 것은 사용하는 하드웨어(Hardware)에 종속적이기 때문이다. 가장 단순하고 객관적인 형태의 성능 비교로는 각 시스템에서 제공하고 있는 질의의 종류를 비교 평가하는 것이다.

표 1은 관련 연구에서 논의되었던 다른 내용 기반 이미지 검색 시스템과 SCARLET에서 가능한 질의의 종류를 비교하고 있다. QBIC은 이미지의 모양이나 색상, 질감에 의한 질의가 모두 가능하다. 이밖에 Chabot은 색상에 의한 질의가 가능하고, QVE는 이미지의 모양에 의한 질의가 가능하다. Washington 대학의 Charles와 Adam이 제안한 시스템은 앞서 설명하였듯이 질의 종류를 명확히 구분하고 있지 않다. 현재, SCARLET은 이미지의 모양에 의한 질의만을 제공하고 있으며, 앞으로 색상이나 질감에 의한 질의도 지원할 예정이다. 또한, 향후 연구로 내용 기반 이미지 검색 시스템의 여러 성능을 객관적으로 평가할 수 있는 모델을 제안하고, 본 연구의 결과를 비교 평가할 예정이다.

표 1 시스템에 따른 가능한 질의의 종류

시스템의 종류	가능한 질의의 종류		
	모양	색상	질감
QBIC	○	○	○
QVE	○	×	×
Washington 대학에서 제안한 시스템	△	△	×
Chavot	×	○	×
SCARLET	○	×	×

Legend:  
 ○ 가능  
 × 불가능  
 △ 구분 모호

6. 요약 및 결론

이미지와 같은 멀티미디어 정보를 효율적으로 검색하기 위한 연구는 최근 가장 활발한 연구 분야 중의 하나이다. 본 논문의 목적은 이러한 연구를 위하여 데이터베

이스의 기술과 컴퓨터비전(Computer Vision)이나 머신 비전(Machine Vision), 컴퓨터 그래픽(Computer Graphic)등과 같은 분야의 이미지 처리 기술들을 효율적으로 접목하려는데 있다. 본 논문에서는 확장성이 뛰어난 객체지향 데이터베이스 시스템을 이용하여 이미지와 관련된 새로운 데이터 타입(Data Type)이나 연산자 및 검색에 필요한 여러 연산자들을 통합하여 이미지 클래스 라이브러리(Class Library)로 만들어 데이터베이스 시스템에 등록시킴으로써 데이터베이스 차원에서 이미지 데이터를 효율적으로 저장, 관리 및 검색할 수 있는 방법을 제안하였다.

또한, 내용 기반 이미지 검색을 위해 본 논문에서는 외곽선 추출 기법과 최근 여러 분야에서 각광을 받고 있는 웨이브릿 변환(Wavelet Transform)을 사용하여 이미지 데이터로부터 모양 속성을 표현하는 특징 벡터를 완전 자동으로 추출하는 기법과 이를 통한 효과적인 특징 벡터의 구성 방법 및 검색 알고리즘을 제안하였으며, 이를 기반으로 하여 효율적인 내용 기반 이미지 검색 시스템 SCARLET을 구현하였다. 현재는 이미지의 전체적인 모양 속성에 의한 내용 기반 검색만이 가능하나, 앞으로는 색상이나 질감과 같은 다양한 이미지 속성에 의한 내용 기반 검색과 비디오나 음성 데이터와 같은 다양한 멀티미디어 데이터에 대한 내용 기반 검색으로의 확장을 연구할 계획이며, 이를 기반으로 추석 기반 검색 기법과의 효율적인 통합 연구도 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [ 1 ] Y.T. Chan. WAVELET BASICS. Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [ 2 ] Tzi cker Chiueh. Content-Based Image Indexing. Proceedings of the 20st VLDB Conference: Santiago Chile, pages 582--593, 1994.
- [ 3 ] Charles E. Jacobs, Adam Finkelstein, David H. Salesin. Fast Multiresolution Image Query. Proceedings of the 1995 ACM SIGGRAPH, New York, 1995.
- [ 4 ] Eric J. Stollnitz, Tony D. DeRose, David H. Salesin. Wavelets for Computer Graphics: A Primer, part1,part2. IEEE Computer Graphics and Applications, 15(3-4), 1995.
- [ 5 ] Myron Flickner and et. al. Query by Image and Video Content: The QBIC System. IEEE Computer, 28(9), 1995.
- [ 6 ] James Rumbaugh, Michale Blaha, William Premerlani, Frederick Eddy. Object-Oriented Modeling and Design. Prentice Hall, 1991.
- [ 7 ] W. Niblack, R. Barber, W. Equitz, M. Flickner, E. Glasman, D. Petkovic, P. Yanker, C. Faloutsos, G. Taubin. The QBIC project: Querying image by content using color, texture, and shape. Proceedings SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases, pages 173--187, February 1993.
- [ 8 ] Amara Graps. An Introduction to Wavelets. IEEE Computational Science and Engineering, 2(2), 1995.
- [ 9 ] K. Hirata and T. Kato. Query by visual example-content based image retrieval. Advances in Database Technology(EDBT '92), pages 56--71, 1992.
- [ 10 ] H. V. Jagadish. A Retrieval Techniques for Similar Shapes. Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on the Management of Data, pages 208--217, May 1991.
- [ 11 ] P.M. Kelly and T.M. Cannon. CANDID: Comparison Algorithm for Navigating Digital Image Databases. Proceedings of the Seventh International Working Conference on Scientific and Statistical Database Management, pages 252--258, 1994.
- [ 12 ] Y. Alp Aslandogan, Chuck Thier, Clement T. Yu, Chengwen Liu, Krishnakumar R. Nair. Design, Implementation and Evaluation of SCORE(a System for COntent based REtrieval of pictures. Proc. Eleventh International Conference Data Engineering, pages 280--287, 1995.
- [ 13 ] W. E. Mackay. EVA: An experimental video annotator for symbolic analysis of video data. SIGCHI Bulletin, 21:68--71, October 1989.
- [ 14 ] W. E. Mackay and G. Davenport. Virtual video editing in interactive multimedia applications. Communications of the ACM, 32:802--810, July 1989.
- [ 15 ] Rajiv Mehrotra and James E. Gary. Feature-Based Retrieval of Similar Shapes. IEEE 9th International Conference on Data Engineering, 1993.
- [ 16 ] Virginia E. Ogle and Michael Stonebraker. Chabot: Retrieval from a Relational Database of images. IEEE Computer, 28(9), 1995.
- [ 17 ] Eitetsu Oomoto and Katsumi Tanaka. OVID: Design and Implementation of a Video-Object Database System. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 5(4):629--643, 1993.
- [ 18 ] Ioannis Pitas. Digital Image Processing Algorithms. Prentice Hall, 1993.
- [ 19 ] William I. Grosky, P. Neo, R. Mehrotra. A Pictorial Index Mechanism for Model Based Matching. Proc. Fifth IEEE International Conference on Data Engineering, pages 180--187, 1989.
- [ 20 ] W.W. Chu, I.T leong, R.K. Taira. A Semantic Modeling Approach for Image Retrieval by Content. The VLDB Journal, 3(4):445--477, 1994.
- [ 21 ] A. Pentland, R. W. Picard, S. Sclaroff. Photobook:

- Content-Based Manipulation of Image Database. International Journal of Computer Vision, fall 1995.
- [22] Markus A. Stricker. Bounds for the discrimination power of color indexing techniques. Proceedings SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Database II, pages 15--24, 1994.
- [23] P.M. Kelly, T.M. Cannon and D.R. Hush. Query by image example: the CANDID approach. Proc. SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases III, 2420:238--248, 1995.
- [24] C. Faloutsos, R. Barber, M. Flickner, J. Hafner, W. Niblack, D. Petkovic, W. Equiz. Efficient and Effective Querying by Image Content. Journal of Intelligent Information System(JIIS), 3(3):231--262, July 1994.
- [25] J.K. Wu, A. Desai Narasimhalu, B.M. Mehtre, C.P. Lam, Y.J. Gao. CORE: a content-based retrieval engine for multimedia information systems. ACM Multimedia Systems, 3:25--41, 1995.



이 동 호

1995년 2월 홍익대학교 컴퓨터공학과 졸업.  
1997년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사.  
1997년 3월 ~ 현재 서울대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 객체지향 시스템, 멀티미디어 시스템, 데이터베이스.



송 용 준

1992년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업.  
1994년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사.  
1994년 3월 ~ 1996년 2월 한국통신 S/W 연구실 근무. 1996년 3월 ~ 현재 서울대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 객체지향 시스템, 멀티미디어 시스템, 데이터베이스.

이타베이스.



김 형 주

1982년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업.  
1985년 8월 Univ. of Texas at Austin 전자계산학 석사. 1988년 5월 Univ. of Texas at Austin 전자계산학 박사. 1988년 5월 ~ 9월 Univ. of Texas at Austin Post-Doc. 1988년 9월 ~ 1990년 12월

Georgia Institute of Technology 조교수. 1991년 1월 ~ 현재 서울대학교 컴퓨터공학과 부교수. 관심분야는 객체지향 시스템, 사용자 인터페이스, 데이터베이스.