

다차원 데이터큐브를 이용한 멀티미디어 데이터 마이닝 연구

김진옥⁰ · 황대준

성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부

jiny@ece.skku.ac.kr, djhwang@yurim.skku.ac.kr

A Study on the MultiMedia Data Mining using Multi-dimensional DataCube

JinOk Kim⁰ · DaeJun Hwang

The School of Electrical & Computer Engineering, SungKyunkwan University

요 약

멀티미디어 데이터의 증가와 마이닝 기술의 발전으로 인해 멀티미디어 마이닝에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 논문에서는 내용기반의 정보검색 기술과 다차원 다중 데이터큐브 구축기술을 통해 멀티미디어 데이터의 마이닝을 구현하는 시스템에 대해 제안한다. 제안 시스템은 멀티미디어 데이터에 내용기반의 정보추출 시스템을 적용하여 성분벡터를 추출하고 이를 메타데이터로 한 데이터베이스를 구축한다. 그리고 데이터베이스로부터 지식을 마이닝할 수 있도록 다차원 데이터큐브를 구축하여 빠른 데이터검색과 마이닝결과를 이용자에게 보여주는 모듈로 구성된다. 다차원 데이터큐브는 다중 어레이 구조로써 다차원 데이터를 저장하고, 저장된 여러 데이터 레벨 정보에서 가장 중요한 주제를 통합하여 효율적으로 처리하므로 멀티미디어 데이터를 마이닝하는데 효과적인 방법이다. 또한 다차원데이터큐브를 다중으로 생성하는 방법은 데이터 마이닝 속도를 높이는 데 효율적이다.

1. 서 론

인터넷과 웹기술의 발전 그리고 이를 기반으로 하는 멀티미디어 콘텐츠가 대량으로 쏟아지고 있다. 특히 웹기술의 발전과 이용자 수 증가에 따라 인터넷과 같은 거대한 정보저장소를 통해 비디오카메라, 녹음기, 위상사진, 원격감지시스템, 감시카메라와 같은 수단을 통해 대용량 멀티미디어 데이터가 수집되고 이용되면서 멀티미디어 데이터베이스를 구축하여 필요한 지식을 마이닝 하고자 하는 연구가 계속되고 있다[1]. 멀티미디어 데이터마이닝은 멀티미디어 데이터베이스에 저장된 패턴 뿐만 아니라 멀티미디어 데이터관계, 함축적 지식의 추론을 이끌어내는 분야로 데이터마이닝의 하부영역이다. 현재 멀티미디어 데이터를 표현, 저장하고 인덱스하거나 검색하는 기법에 대한 연구는 다양하게 제안되고 있으므로 기존 멀티미디어 연구분야와 데이터가 저장된 리퍼지토리부터 개인에게 필요한 정보를 지식으로 표현하는 마이닝기술의 결합을 통해 멀티미디어 데이터마이닝 시스템이 구현된다. 본 논문에서는 기존 멀티미디어 관련 기술중 내용기반의 이미지 추출 시스템 분야와 검색기술, 그리고 마이닝 기술을 연계한 멀티미디어 데이터마이닝 시스템 프로토타입을 제안하고, 멀티미디어 데이터베이스를 구축한 후 마이닝 기술에 필요한 데이터를 저장하고 쿼리를 처리하는 데 효율적인 다차원 데이터큐브 방식과 데이터 스캐닝 속도를 높일 수 있는 데이터큐브 다중 생성에 대해 연구했다.

2장에서는 멀티미디어 데이터마이닝 시스템의 프로토타입 디자인을 제안하며 3,4장에서는 멀티미디어 데이터베이스로부터 다차원 데이터큐브의 구축하는 방안과 이 데이터큐브를 다중화방식으로 생성하는 내용을 다루며 5장에서는 데이터큐브를 통해 구현되는 데이터마이닝 기술에 대해 설명하고 마지막으로 6장에서는 결론과 향후 연구방향에 대해 설명한다.

2. 멀티미디어 데이터마이닝 시스템 프로토타입

멀티미디어 데이터 마이닝은 컴퓨터비전, 칼라인식, 이미지프로세싱, 이미지분류, HCI(Human Computer Interface)등 이미지처리분야 기술과 마이닝분야 기술을 총합하여 이루어내는 복합학문영역이다.

멀티미디어 데이터 마이닝은 이미지데이터를 내용기반으로 추출하는 내용기반 이미지 추출시스템과 OLAP(On-Line Analytical Processing)기술, 그리고 데이터간의 특징화, 분류, 클러스터링, 연관관계등의 규칙을 찾아내어 일련의 데이터로부터 지식을 구축하는 마이닝 기술을 근간으로 한다[2].

본 논문에서 제안하는 멀티미디어 마이닝 시스템은 이미지, 비디오 저장소로부터 필요한 멀티미디어 정보를 가져오는 검색에이전트와 이 검색 에이전트가 가져온 멀티미디어 데이터를 내용기반의 컨테츠로 필터링하고 변환하여 압축하는 전처리기모듈과 전처리기를 통해 의미 있는 정보만을 추출하여 개별적인 속성을 가진 데이터요약과 정보추출 내용으로 구성된 데이터베이스와 데이터베이스의 개별속성을 이용하여 구축한 데이터큐브와 멀티미디어 데이터큐브에서 드릴다운(Drill-down), 롤업(Roll-up), 슬라이스(Slice), 다이스(Dice)같은 OLAP 분석 절차를 거쳐서 데이터간의 상호연관 관계를 찾아내고 분류하며 클러스터링한 후 예측하는 데이터마이닝 기술을 적용하는 분석 모듈과 이용자가 원하는 지식을 탐구할 수 있도록 웹브라우저로 명확하게 보여주는 사용자 인터페이스 등으로 구성된다. 제안시스템은 그림 1과 같다.

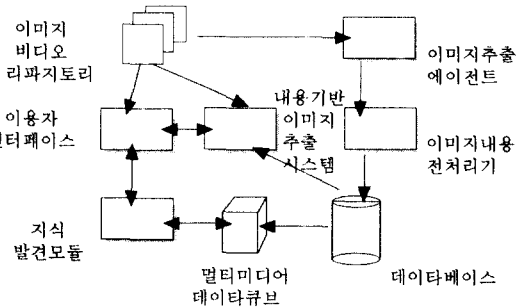


그림 1. 멀티미디어 데이터마이닝 시스템의 구조

3. 내용기반 이미지추출 시스템

제안된 멀티미디어 데이터마이닝 시스템은 웹 자체를 이미지와 비디오 데이터의 저장소로 본다. 이곳에서 대용량 멀티미디어 데이터를 추출하여 처리하는 내용기반 이미지추출 시스템을 이용하여 데이터 검색과 처리 그리고 데이터베이스 구축을 한다. 멀티미디어 데이터 처리를 위해 적용되는 내용기반 이미지 추출시스템은 이미지 추출에이전트, 이미지내용 전처리기, 사용자 인터페이스, 데이터베이스에서 이

미지,비디오특성을 쿼리와 매칭하는 검색커널 등으로 구성된다. 이미지 추출에이전트는 인터넷에서 이미지와 비디오를 찾아내는 역할을 담당한다. 즉 멀티미디어 데이터 저장소인 디스크등에서 저장된 정지영상이나, 장면탐지 알고리즘 [3]을 이용하여 비디오스트림에서 프레임을 추출하여 정지영상으로 만들어낸 이미지들을 추출한다. 이미지 추출은 언어적인 설명으로 이미지를 연관하거나 이미지를 포함하는 웹페이지로부터 키워드를 검색하여 이 키워드를 이용하여 이미지를 찾아내는 방법[4]과 찾고자 하는 이미지와 연관한 모델 이미지를 주어 이 모델 이미지의 성분을 분석한 후 매칭하는 이미지들을 찾아내는 방법이 있다. 후자인 경우에는 이미지내 특성벡터와 모델이미지에서 추출한 특성벡터(또는 서명)를 비교함으로써 데이터베이스에서 비슷한 이미지를 찾아낸다[5].

이미지가 추출되면 이미지들은 이미지 전처리기의 입력(input)값으로 주어지고 전처리기에서 칼라, 엣지특징과 같은 영상내용특성이 추출된다. 멀티미디어 이미지가 추출될때는 실제 영상특성과 인덱스 이미지를 추출하는 방법이 여러 가지가 있는데 칼라, 질감, 모양, 칼라 레이아웃, 세그멘테이션 등 특성추출기법을 이용한 방법과 차원 인덱싱 기법을 이용한 방법이 있다. 이외 칼라성분 분포도나 칼라성분 히스토그램으로 칼라를 특징화하는 히스토그램 검색과 모양, 위치, 질감 특성을 포함하는 칼라의 해상도에 의한 칼라레이아웃 검색 그리고 Netrea 시스템, Blobworld시스템 등 이미지를 분해하여 이미지성분을 개별 영역화하여 그 상관성을 따지는 영역기반검색 등이 있다[6][7][8].

전처리기가 뽑아낸 영상특성과 이미지에이전트가 추출한 이미지 URL, 이미지를 포함하는 웹페이지의 URL 등 컨텍스트 특성이 같이 데이터베이스에 저장된다. 그리고 이미지 집단과 이미지 특성 추출내용은 먼저 사용자로부터 쿼리가 주어지기 전 오프라인 상태에서 처리된다. 쿼리가 주어지면 원천 이미지 데이터 자체는 필요하지 않고 이 데이터베이스에 저장된 전개산된 데이터가 메타데이터 형태로 이미지특성 매칭에 사용된다.

데이터베이스는 수집된 각 이미지 및 비디오에 대해 이미지 설명정보, 특징, 레이아웃 정보를 가지고 있다. 즉 원천 이미지가 직접 데이터베이스에 저장되는 것은 아니고 특성을 설명한 메타 데이터 정보가 저장된다. 이 정보는 이미지 파일이름, 이미지URL, 이미지와 비디오 타입, 이미지를 참조하는 웹페이지의 URL, 키워드리스트, 사용자인덱스 등을 통해 보여지는 웹브라우저 내용정보 등으로 이루어져 있으며 사용되는 내용 설명자(descriptor)는 영상특성을 설명한 벡터들의 집합이다. 메인벡터는 칼라 히스토그램 양자화한 256칼라를 포함한 칼라벡터와 MFC(Most Frequent Color) 벡터, MFO(Most Frequent Orientation) 벡터이다. MFC와 MFO는 5개 MFC와 MFO를 위한 5개 칼라중심과 엣지방향 중심정보를 가진다. 레이아웃 설명자는 칼라레이아웃 벡터와 엣지레이아웃 벡터 정보를 가진다. 원이미지 크기와는 상관없이 이미지는 8 X 8 그리드로 할당하는데 해상도가 낮은 경우에는 1x1, 2x2, 4x4도 가능하다. 각 64셀의 MFC는 칼라레이아웃 벡터에 그리고 각 셀의 방향에 대한 예지수는 예지레이아웃 벡터에 저장한다. 칼라레이아웃 그리드는 다른 해상도 수준을 가진 칼라간의 공간적 관계성을 추론하는데 사용된다.

4. 멀티미디어 데이터큐브

4.1 데이터큐브

멀티미디어 데이터베이스에 데이터큐브 개념을 도입하여 멀티미디어 차원값을 데이터큐브의 속성으로 표현한다. 데이터큐브[9]는 다중어레이 구조로써 다중차원으로 데이터를 저장하고, 저장된 여러 데이터 레벨 정보에서 가장 중요한 주제를 통합하여 보여주는 구조로 이루어지는데 이 구조는 사용자가 던지는 쿼리를 통해 매치값을 찾아주는 역할을 한다. n차원 데이터큐브 C[...] A₁ A_n]는 n-D데이터베이스로 A₁, A_n은 n차원이다. 큐브의 각 차원에서 A_i는 속성을 표현하고 | A_i | + 1 줄을 포함하는데 | A_i |는 A_i 차원에서 구별되는 값의 수를 말한다. 첫번째 | A_i | 줄은 데이터 줄이다. A_i의 개별값은 한 개 데이터 줄을 취한다. 함께 줄인 마지막 줄은 상위줄 해당칼럼에 해당하는 카운트의 합계를 저장하는데 사용된다. 큐브에서의 데이터셀인 C[a₁, i₁..., a_n, i_n]는 초기관계 r (A_i = a₁, i₁, A_n = a_n, i_n, Count) 튜플에 해당하는 카운트를 저장한다. 큐브의 합계 셀 C[sum, a₂, i₂..., a_n, i_n]에서 * 또는 all 키워드

에 의해 표현되는 합계는 sum_i을 저장한다. 생성된 튜플의 카운트 합계는 n번째 칸 r (A₂ = a₂, i₂, A_n = a_n, i_n, Count)의 두번째에 대해 동일한 값을 공유한다. 개념적으로 데이터큐브는 육면체의 격자로 표현된다. n-D공간(기본육면체)은 모든 데이터셀로 구성된다. (n-1)-D 공간은 어떤 차원에서 r (A_i = a₁, i₁,

A_n = a_n, i_n, Count) 등과 같은 단일 * 와 함께 모든 셀을 구성한다. 마지막으로 0-D 공간은 r(*,*,*,*, sum_i) 과 같은 n * d 차원으로 한가지 셀을 구성한다. 그림2는 다차원 데이터큐브를 3D 형태로 보여준다, 데이터 큐브는 데이터를 처리하는데 유연성을 줄 뿐만 아니라 다른 각도에서 데이터를 볼 수 있도록 한다. 합계셀은 차원속성에서 정의한 서로 다른 레벨의 다단계에서 합계값을 빨리 처리해낼 수 있도록 하기 때문에 각 차원도메인에 모든 속성값을 합친 다차원 데이터큐브를 빨리 구축할 수 있다. 이와 같이 멀티미디어 데이터의 칼라,질감 속성벡터 등으로 구성된 데이터베이스를 다차원 인덱싱하여 데이터큐브로 표현하면 OLAP와 데이터마이닝이 용이하다[10][11].

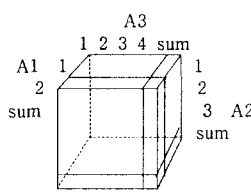


그림 2 3D 형태의 데이터 모델

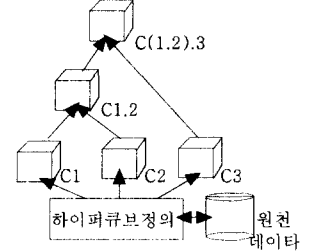


그림 3 다중 데이터큐브 모델

4.2 멀티미디어 데이터 차원

멀티미디어 데이터베이스에 적용된 데이터큐브의 각 차원은 속성값을 가진 필드로 이루어 진다. 멀티미디어 데이터베이스에서 선택하는 차원은 1) 자동적으로 생성되는 숫자형 다단계로 된 이미지,비디오 바이트의 크기, 2) 자동적으로 생성되는 숫자형 다단계로 된 2차원의 높이와 넓이를 가진 프레임, 3) 이미지와 비디오가 생성된 날짜를 시간대 따라 구성한 다단계 4) 정지 이미지 포맷을 가진 2단계의 이미지,비디오 포맷, 5) 숫자형 다단계로 이루어진 초당 프레임 시퀀스, 6) 미리 정의한 도메인 다단계를 가진 이미지,비디오 인터넷 도메인, 7) 미리 정의한 도메인 다단계를 가진 이미지와 비디오를 참조하는 인터넷도메인 참조페이지, 8) 다단계로 구성된 키워드 9) 미리 정의한 칼라 다단계로 구성된 칼라차원 : 0-255 범위로 인덱스 및 양자화된 칼라. 10) 미리 정의한 엣지 방향 : 이미지 엣지방향의 확률이 주어진 경계선(thresh)을 넘으면 특정 엣지방향을 포함하는 것으로 판단, 11) 숫자 다단계를 가진 이미지와 비디오의 참조 인기도 12) 숫자 다단계를 가진 웹페이지 데이터의 용량, 등과 같은 멀티미디어의 속성으로 이루어진다. 각 차원의 속성은 차원속성간의 다단계구조를 표시하는 순서에 의해 연결되어 있다.

4.3 다중 데이터큐브 생성 모델

데이터큐브의 크기가 차원수와 함께 지수적으로 커지기 때문에 디스크에 저장되어야 하는 물리적인 의미의 데이터큐브가 주어진 차원의 수보다 더 높은 차원을 갖기는 어렵다. 차원이 증가하면 데이터큐브는 새로운 차원에서 필요한 값때문에 그 크기가 증가한다 이 때문에 디스크 저장시 실제적으로는 물리적인 메모리 크기로 인한 한계가 존재한다. 이것이 차원성이 갖는 어려움이다. 그래서 전체적으로 한 개 큐브만을 생성하기보다는 다른 차원의 새로운 데이터큐브 집단을 생성하는 것을 고려해야 한다. 개별큐브에서 데이터를 꺼내어 실제화할때 큐브에서 표현할 데이터차원을 선택하는 것은 쉬운 일이 아니다. 그리고 OLAP 상호작용과 데이터마이닝에서는 한번에 하나의 큐브를 다루는 것이 중요하다. 다른 데이터큐브간의 두가지 차원사이의 상호연관성을 발견하는 것이 쉽지 않을 뿐 아니라 그 속성이 서로 겹치지 않은 두개 큐브를 만들어내는 통합규칙을 생성하는 것은 더욱 어렵다. 결국 데이터큐브를 선택적으로 실제화하는 것은 모든 뷰를 형태화하기보다는 적절한 육면체를 선택하는 것을 의미하는 것이기 때문에

이유자쿼리에 따라 데이터큐브 구축을 최적화하기 위해 이용자에게 보여지는 뷰사이의 중속성을 표현하는 것이 가장 효율적이라고 판단된다. 그래서 데이터큐브 구축에서 이용자가 선택한 데이터집합을 참조하여 이것을 미리 계산하여 4개 육면체를 형태화하는 방법을 고려해 본다. 이렇게 하면 큐브가 빠른 속도로 병렬적으로 쉽게 구축된다.

각 자원 집합을 내용기반의 자원집합(색깔, 질감), 크기 기반의 자원집합(크기, 넓이, 높이 등), 자원기반의 자원집합(인터넷도메인, 인기도 등)과 같이 3개의 하위 집합으로 분리한다. 각 집합은 다른 육면체로 형태화된다 그리고 4번째 육면체는 3개 자원집합으로부터 자원을 받아 형태화된다. 육면체사이에 겹쳐진 부분을 만들어내기 위해 인터넷도메인과 크기 차원은 모든 4개 육면체에 그 속성을 반영한다. 데이터큐브의 각 셀은 합과 같은 총계값을 포함하고 있다. 큐브에서 필요한 계산을 할 경우에는 큐브의 차원보다는 메모리사이즈를 많이 차지하지 않는 축점값과 같은 숫자속성값을 주로 형태화한다.

멀티미디어 데이터 마이닝 시스템의 데이터베이스에서는 특정한 목적을 가진 구조로 전체 데이터큐브를 개념화하는데 이 구조는 모든 차원과 큐브형태화에 필요한 값을 합한 것을 포함하고 있다. 이 구조는 그 자체로는 데이터큐브가 아니지만 육면체의 형태화속도를 높이는 '하이퍼큐브'라고 할 수 있다. 하이퍼큐브로부터 쿼리에 필요한 차원에 따라 육면체가 빨리 형태화되고, 다계층화한 데이터베이스 기술로부터 빌어온 개념으로 차원의 다단계를 따라 육면체 집합을 생성한다. 육면체는 가장 높은 개념단계에서 다른 육면체의 차원을 더하기도 한다. 이 모델은 차원수를 제한하지 않고 데이터큐브의 생성과 증가를 허용하면서 원 데이터에서 다차원 선택도 가능하게 한다.

다중 데이터큐브 모델을 사용하면 전체 데이터를 한 개의 데이터큐브로 구축해 처리하는 것보다 마이닝 실행 속도 증가 및 정확한 결과를 추출하는데 효과적이다. 그림3은 하이퍼큐브의 정의로부터 육면체가 형태화되는 방법을 설명하고 있다.

5. 데이터큐브에 적용되는 마이닝 기술

데이터큐브는 마이닝을 위해 대용량 데이터베이스에 쿼리가 발생했을 때 응답시간을 줄이기 위해 만들어졌다. 모든 차원은 큐브로 표현되지만 큐브에서 모든 차원을 표현하는 것이 필요한 것은 아니다. 어플리케이션과 이용자의 필요에 따라 어떤 차원은 형태화하지 않기도 하고 데이터베이스에서 원데이터로 유지하기도 한다. 이것은 데이터큐브의 크기를 줄이는 방법이다. 멀티미디어데이터 다차원 큐브 구축에는 OLAP(On-line Analytical Processing) 응용기술을 적용한다. 이 기술들은 강력한 데이터검색과 분석환경을 만들어줌으로써 다양한 통계를 추출하는데 필요한 계산엔진 기능 등 멀티미디어 데이터 유형에 대한 분석적 모델링 가능성을 제공한다. 제안 멀티미디어 데이터 마이닝시스템에서 이 기능을 담당하는 지식발전 모듈은 다차원 데이터베이스 구조, 통계 데이터베이스 분석, 관계형 데이터베이스와 데이터웨어하우스로부터 다른 종류의 규칙 마이닝을 담당한다.

멀티미디어 데이터큐브에서 추출된 데이터를 간단으로 구현되는 마이닝 모듈은 Characterizer, Comparator, Associator, Classifier, Clusteror로 데이터큐브 구축과 검색, 속성 지향 추론, 마이닝 다중레벨 연관규칙등의 데이터 마이닝 기술이 사용된다.

- Characterizer : 멀티미디어데이터베이스에서 관련 데이터집합으로부터 다중추출레벨의 특징집합을 찾아낸다. 이 모듈은 다단계로 정의한 상위레벨 주제 키워드에 기반하여 이미지 시퀀스의 일반적 특성을 설명한다. 이렇게 하면 주제 차원에 따라 더 구체적인 주제도 이미지시퀀스의 특성을 찾기 위해 드릴다운할 수 있다.
- Comparator : 이 모듈은 멀티미디어의 다른 클래스로 대비되는 특성을 가진 것끼리 데이터베이스에서 관련 데이터집합을 비교하여 구별한다. 비교클래스라고 부르는 다른 데이터집합으로부터 타겟 클래스로 알려진 데이터집합의 일반적 특성을 구분하고 비교한다.
- Associator : 이 모듈은 이미지 비디오데이터베이스에서 관련 데이터 집합으로부터 연관규칙집합을 찾아낸다. 연관규칙은 데이터베이스의 데이터아이템집합에서 발생하는 패턴을 감지한다 전형적인 연관규칙은 $X \rightarrow Y(s\%,c\%)$ 이다.
- Classifier : 이 모듈은 멀티미디어데이터를 주제어 등 제공되는 클래스레벨로 분류한다.
- Clusteror : 이 모듈은 이미지를 색깔, 질감,엣지방향과 같은 멀티미디어특성과 키워드, URL정보, 진행시간과 같은 관계적특성을 포함하여 다차원 특성에 기반한 다른 클러스터로 그룹화 한다.

각 마이닝 모듈은 차원에 따라 정리된 다단계 개념의 규칙, 테이블, 차트, 그래프, 웹네일과 같은 이용자인터페이스로 표현되는데 웹 브라우저를 이용하여 정의된 컨셉에 따라 드릴다운과 롤업이 되도록 하며 인터페이스상에서는 이미지 자체 또는 이미지를 포함한 웹페이지를 원 이미지 크기로 보여줄 수 있도록 한다.

6. 결론

본 논문에서는 멀티미디어데이터를 데이터마이닝하기 위한 프로토타입 시스템을 설계하고 필요한 각 모듈을 개념화하였으며 특히 데이터베이스로부터 다차원 멀티미디어데이터 데이터큐브를 구축하여 마이닝을 통해 지식을 추출하는 방안을 제안했다. 또한 데이터큐브를 다중화하여 데이터큐브 집합을 형성하면서 마이닝속도를 빠르게 하는 방안도 제시했다. 기존 대부분의 관계형 데이터큐브는 관계적으로 구별되는 작은 값 수를 가진 분류별 차원만을 포함하고 있지만 데이터큐브구축 방법을 이용하면 데이터마이닝 알고리즘은 원천 데이터베이스와 큐브로 형태화된 데이터 모두에 접근할 수 있어서 마이닝의 결과값을 개선할 수 있다고 판단된다. 향후 계속되어야 할 연구로 내용기반 데이터 검색시스템의 세부기능 즉 이미지의 명확한 성분추출 프로세싱 기술, 정교한 데이터마이닝을 위한 데이터의 상세화가능성(Granularity)등 연구를 통한 시스템의 실제 구축 및 성능 측정의 문제와 멀티미디어 데이터큐브와 데이터마이닝 모듈을 개선하는 방법등이 있다.

참고문헌

1. I. Bhandari, E. Colet, J. Parker, Z. Pines, R. Pratap, Advanced scout: Data Mining and knowledge discovery in NBA data. Data Mining and Knowledge Discovery, (191):121-125, 1997.
2. S. Chaudhuri, U. Dayal. An overview of data warehousing and OLAP technology. SIGMOD Record 26:65-74, 1997.
3. J. Wei, M. S. Drew, Z. N. Li. Illumination invariant video segmentation by hierarchical robust thresholding. In Proc. IS&T/SPIE. on Electronic Imaging'98 Storage & Retrieval for Image and Video Database VI. SPIE vol. 3312, pages 188-201, 1998.
4. R. Beckwith, C. Fellbaum, D. Gross, K. Miller, and R. Teng. Five pagers on WordNet. Special Issue of Journal of Lexicography, 3(4):235-312, 1990.
5. M. Flicker, H. Sawhney, W. Niblack, J. Ashley, Q. Huang, B. Dom et al., Query by image and video content: The QBIC system, IEEE Computer, vol28, no.9, 1995.
6. S. F. Chang, J. R. Smith, M. Beigi, A. Benitez. Visual information retrieval from large distributed on-line repositories. Communications of ACM, Special Issue on Visual Information Retrieval, pages 12-20, Dec. 1997.
7. V. Athitsos, M. J. Swain and C. Frankel, Distinguishing photographs and graphics on the world wide web. In Proc. IEEE Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries, 1997.
8. Y. Rubner, W. Chang, A. Zhang, Semantic clustering and querying on heterogeneous features for visual data. In Proc. ACM Multimedia, pp. 3-12, Bristol, UK, 1998.
9. J. Z. Wang, J. Li, R. M. Gray, G. Wiederhold, Unsupervised multiresolution segmentation for images with low depth of field, IEEE Trans. on PAMI vol. 23, no.1, pp 85-91, 2000.
10. R. Kimber, J. Han, J. Y. Chiang. Metarule-guided mining of multi-dimensional association rules using data cubes. In Proc. 3rd Int. Conf. Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'97), pages 207-210, California, August, 1997.
11. Y. Zhao, P. M. Deshpande, J. F. Naughton. An array-based algorithm for simultaneous multidimensional aggregates. In Proc. ACM-SIGMOD Int. Conf. Management of Data, pages 159-170, 1997.
12. O. R. Zaiane, J. Han, and H. Zhu, "Mining Recurrent Items in Multimedia with Progressive Resolution Refinement". Proc. 2000 Int. Conf. on Data Engineering (ICDE'00), San Diego, CA, pp. 461-470, Feb., 2000.