

## 테라바이트급 데이터를 축적·검색표시할 수 있는 문서관리 시스템\*

- 3D 그래픽과 화상검색 및 DVD 체인저 제어기술의 융합 -

### A Document Management System That Can Handle over Terabyte Order Data

-An Integration of Self Organized Picture Search, 3D Graphics and DVD  
Changer Control Technology-

森 吉弘\*\*, 新田 博之\*\*, 井上 充司\*\*, 木村 孝司\*\*,  
島本 出\*\*, 伊藤 浩晴\*\*, 北町 篤志\*\*

우 인 하\*\*\* 역

Tran. by Inha Woo

#### 지 례

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| 1. 서 론              | 5. 양적 한계를 해결하기 위하여    |
| 2. 시스템 개요           | 6. 공공시설에서 사용하는 경우의 이점 |
| 3. 해결해야 할 과제        | • 참고문헌                |
| 4. 효율적 한계를 해결하기 위하여 |                       |

#### 초 록

컴퓨터, 디지털 카메라, 스캐너 등을 이용하여 문서나 화상을 작성한다든지, 서류 데이터를 디지털 데이터로 만드는 것이 일반화되고 있다. 그 결과 축적된 디지털 데이터가 가속도적으로 증가하고 있다. 부서단위, 회사단위로 생성되는 방대한 디지털 데이터를 단순히 파일로서, 공유 서버에 축적하는 것은 양적으로도, 이용효율 면에서도 한계에 달하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 다양한 검색(자

\* 이 글은 일본 과학기술진흥사업단 과학기술정보사업본부 발행 「情報管理」, 제43권 제11호(2001. 2)에 실린 내용을 중심으로 편역하여 소개하는 것임을 밝힌다.

\*\* 원문의 연구자들은 쿠보타 콤프스(주) 정보 시스템부(Kubota Comps Corporation, Information System Division)에 소속되어 있다. 이들 연구자들의 일본 이름을 영문으로 표기하면 다음과 같다. Mori Yoshihiro, Nitta Hiroyuki, Inoue Mitsuji, Kimura Koji, Shimamoto Izuru, Ito Hiroharu, Kitamachi Atsushi.

\*\*\* 지식정보관리실 부연구위원(Junior Research Fellow, Information Resources Management Dept., KISTI)

기조직화 화상검색·전문검색(全文檢索)·관련검색) 기술과 DVD 체인저 제어기술, 3차원 그래픽 기술을 통합한 문서관리 시스템을 구축하였다. 이 시스템에 의해 테라바이트 급 데이터를 간단히 축적·검색·표시, 나아가서 Web을 통합하여, 광범위하게 데이터를 보낼 수 있게 되었다.

## 키 워 드

자기조직화, 전문검색, 화상검색, 데이터 베이스, DVD, 문서관리, Web

## AUTHOR ABSTRACT

Creating digital document by scanning paper or using a digital camera or using a computer is a daily task at every office. Digital document is increasing at high pace. The quantity of digital document is almost beyond the maximum capacity of the online storage and is destroying searching efficiency. To solve these problems, we developed a document management system(ChronoStar) by integrating various searching methods(Picture, Full-Text, Related), 3D graphic and a DVD changer.

## KEYWORDS BY AUTHOR

self-organization, full-text search, picture search, database, DVD, document management, Web

### 1. 서론

컴퓨터의 보급과 함께 문서나 화상이 디지털 데이터로서 축적되는 것이 일반화하고 있다. 하나의 부서나 회사에서 생성되는 디지털 데이터는 방대해지고 있고, 개개의 파일을 파일명만으로 부서·회사 내에 설치된 공유 서버에 축적하는 것은 양적으로도, 효율적으로도 한계에 달하고 있다.

본고에서는 양적인 한계를 해결하기 위해서 최대 9.6 테라바이트의 용량을 갖는 DVD 체인저를 설치하여, 효율적인 한계를 해결하기 위해 다양한 검색방법을 이용할 수 있게 한 문서관리 시스템(document management system)에 관하여 서술한다.

### 2. 시스템 개요

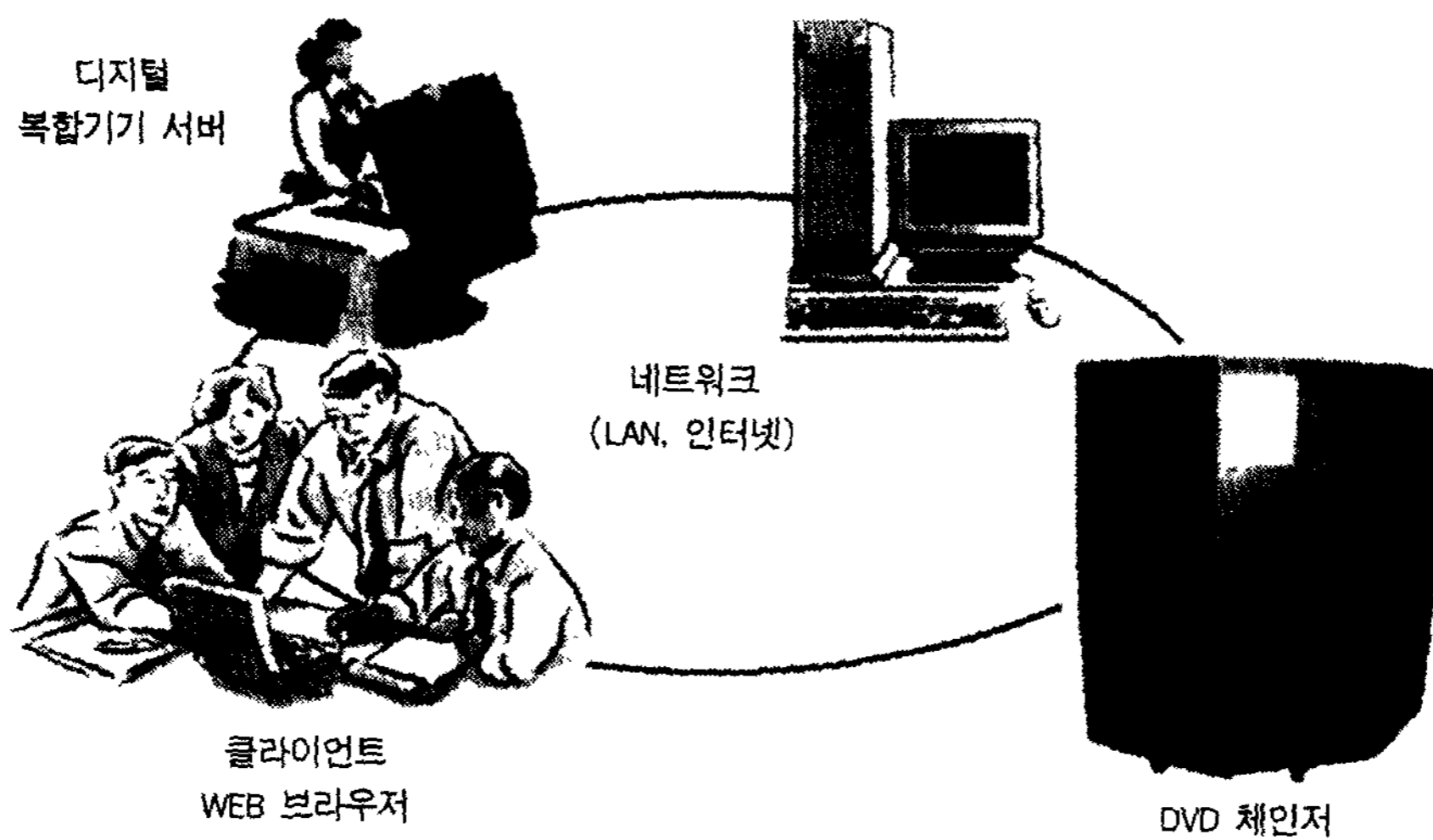
개발된 문서관리 시스템의 사양을 <표 1>에 나타낸다. 본 시스템은 구성도(<그림 1>)에 나타낸 것같이 클라이언트 서버 방식으로, 클라이언트로부터 서버에 데이터를 등록하여 검색한다. 검색 클라이언트는 Web 브라우저도 사용할 수가 있다.

### 3. 해결해야 할 과제

문서관리 시스템을 구축하는 데에 해결하지 않으면 안될 과제가 몇 가지 있는데, 다음의 4가지 점이 중요하다고 생각된다(<표 1>).

〈표 1〉 시스템 사양

데이터 용량	오프라인 기능에 의해 무한(채인저 안에서는 1,850매, 9.6 테라바이트)
클라이언트 수	5~1,000(서버 하드웨어 성능에 의존)
검색 방법	전문검색, 유사화상 검색, 속성(屬性) 검색, 관련검색
검색 시간	10만건부터 1건을 1초 이내
등록 데이터 종	Windows 상에서 생성되는 문서, 표계산, 화상, 동화, CAD 도면



〈그림 1〉 시스템 구성도

### 3.1 등록 코스트의 저감

효율적으로 검색하기 위해서는 검색을 위한 속성을 데이터에 부여하는 것이 필수이다. 그러나, 속성을 부여하는 데에 많은 노력과 시간이 들고, 데이터가 그렇게 증가하지 않아 사용하지 않게 되는 문서관리 시스템도 적지 않다. 입력 코스트를 낮추는 것은, 사용될 수 있는 문서관리 시스템을 구축하기 위해서 가장 중요한 과제이다. 본 시스템에서는 화상으로부터 자동으로 특징을 추출하여, 검색에 이용

하는 방법 및 간단한 조작으로 여러 개의 속성을 부여할 수 있는 계층 폴더를 개발하여, 입력 코스트의 대폭적인 삭감을 꾀하였다.

### 3.2 다양한 검색방법에 대한 준비

자기 이외의 사람이 등록한 방대한 데이터 중에서 필요로 하는 데이터를 발견하기 위해서는, 한 가지 방법으로 검색하여 실패할 경우에, 다른 검색방법으로 검색가능하지 않으면 안된다. 결국 다양한

방법으로 검색이 가능하여야 한다. 본 시스템에서는 속성검색, 관련검색, 전문검색, 화상검색 등 4종류의 검색을 이용가능하게 하였다. 본 논문에서는 관련 검색과 화상검색에 관하여 상세하게 기술한다.

### 3.3 급격한 데이터 증가에 대한 대응

하드웨어의 진화에 의해, 작성되는 디지털 데이터의 사이즈는 예상을 넘는 사이즈가 되고 있다. 특히, 동화상을 축적하면 컴퓨터의 온라인 기억영역에서는 완전히 지원하지 못한다. 본 논문에서는 어디까지나 확장가능한 리무버블 미디어를 데이터 저장영역으로서 사용할 것을 제안하고, 이 과제를 해결하였다.

### 3.4 광범위한 데이터 배포수단

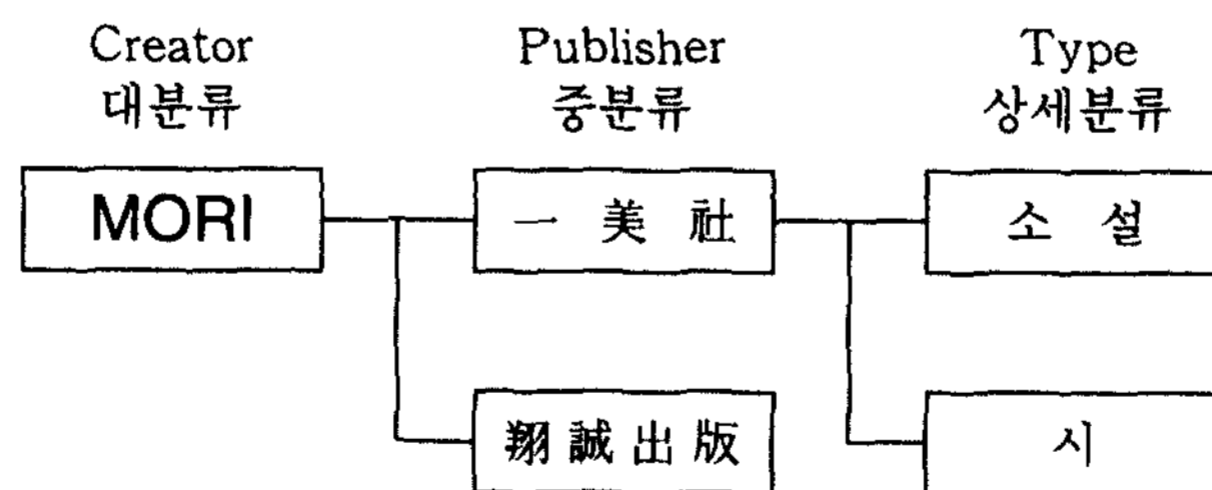
대량의 데이터가 축적될 수 있었다. 검색수단도 풍부해졌다. 남은 과제는 많은 사람이 이용할 수 있는 환경의 구축이다. 본 시스템은 Web 브라우저를 검색용 프로그램으로 이용가능하게 하고, 인터넷에

접속될 수 있으면 등록 데이터의 검색열람이 가능하도록 하였다. 본 논문에서는 이 기능에 대해서 상세한 설명을 하지 않는다.

## 4. 효율적 한계를 해결하기 위하여

### 4.1 속성계층 폴더

일반적으로 데이터 베이스 내의 데이터는 3단계(대분류, 중분류, 소분류) 정도의 계층으로 분류가 이루어진다. 사용자는 계층 트리를 찾아 가는 것으로 목적의 데이터를 찾아낸다. 종래의 시스템에서는 문서관리 시스템을 운용하기 전에 고정된 계층을 구축하고, 사용자에게 제공하여 왔다. 본 시스템으로는 데이터 베이스 관리자가 데이터 베이스 내의 속성 항목으로부터 속성을 선택하고, 그 선택한 속성을 계층 트리의 어느 층에 표시할 것인가를 결정하여 계층 트리를 구축한다. 예컨대, 도서관리를 할 경우에 Dublin Core<sup>1)</sup>의



〈그림 2〉 분류를 위한 계층 트리

15개 분류속성 중에서 Creator를 제1 계층에, Publisher를 제2 계층에, 그리고 Type을 제3 계층에 선택하면, 이 순번으로 찾을 수 있는 계층 트리(〈그림 2〉)를 구축할 수 있다.

데이터 베이스 내의 속성으로 분류 트리를 구축하는 것에서 다음의 2가지 이점이 생긴다.

#### 4.1.1 속성 자동 등록

본 시스템에서는 조작자는 데이터를 등록하기 위해 등록을 바라는 파일을 마우스로 선택하여 계층 트리 상의 폴더로 드래그 & 드롭(drag & Drop)한다. 이 조작에 의해 최상층으로부터 그 폴더까지의 경로 상에 있는 속성을 등록 중의 데이터에 설정한다. 즉, 드래그 & 드롭만으로, 검색에 사용할 수 있는 복수의 속성을 자동으로 데이터에 설정할 수 있게 된다.

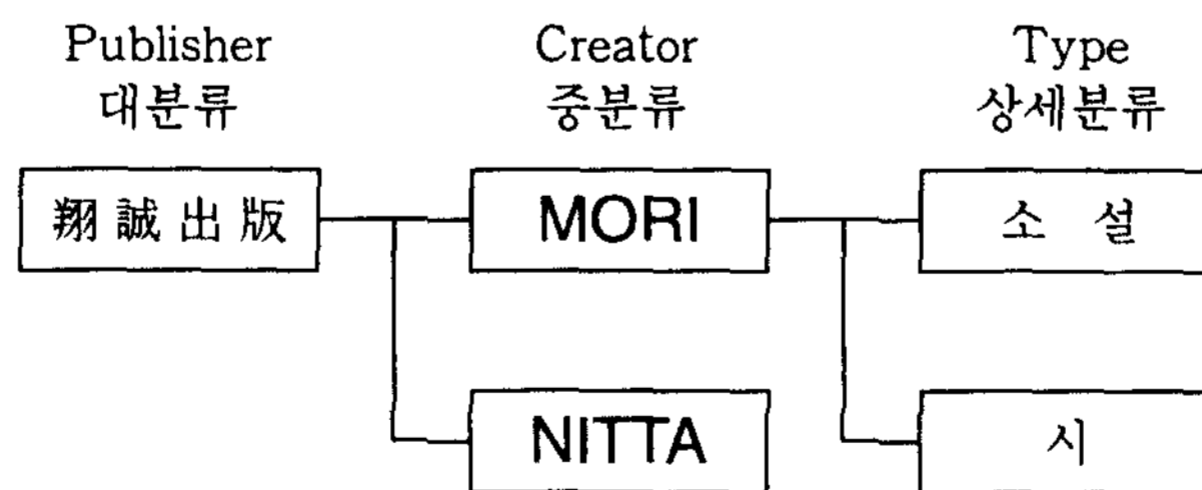
#### 4.1.2 속성 계층 교환

문서관리 시스템의 관리자는 데이터 베

이스 내에 존재하는 속성을 선택하여 계층 속성 트리를 구축한다. 이 기능은 운용이 개시된 후에도 실행할 수 있다. 〈그림 2〉의 분류체계의 대분류인 Creator를 제2 계층으로, 그리고 Publisher를 제1 계층으로 이동시킨 〈그림 3〉의 체계로 운용을 속행할 수 있게 된다. 이 운용 후에 체계를 변경할 수 있는 기능에 의해 운용개시까지의 시간을 대폭 단축할 수 있다.

#### 4.2 유사 화상 검색

검색 대상이 문서인 경우에는 문서관리 시스템에 등록시에 문서 내에 포함되는 단어를 추출기억하는 것으로, 속성을 부여하지 않고 문서의 검색을 가능하게 하는 전문검색 기술이 있다. 그러나, 화상에 관하여는 속성을 자동적으로 부여하는 방법이 확정되지 않아, 문서와 화상의 등록 효율에는 큰 격차가 있었다. 이것을 해결하기 위하여 자기조직화 유사화상검색 방식을 고안하여, 화상에 대해서도 속성을 부여하는 비용이 발생하지 않고, 등



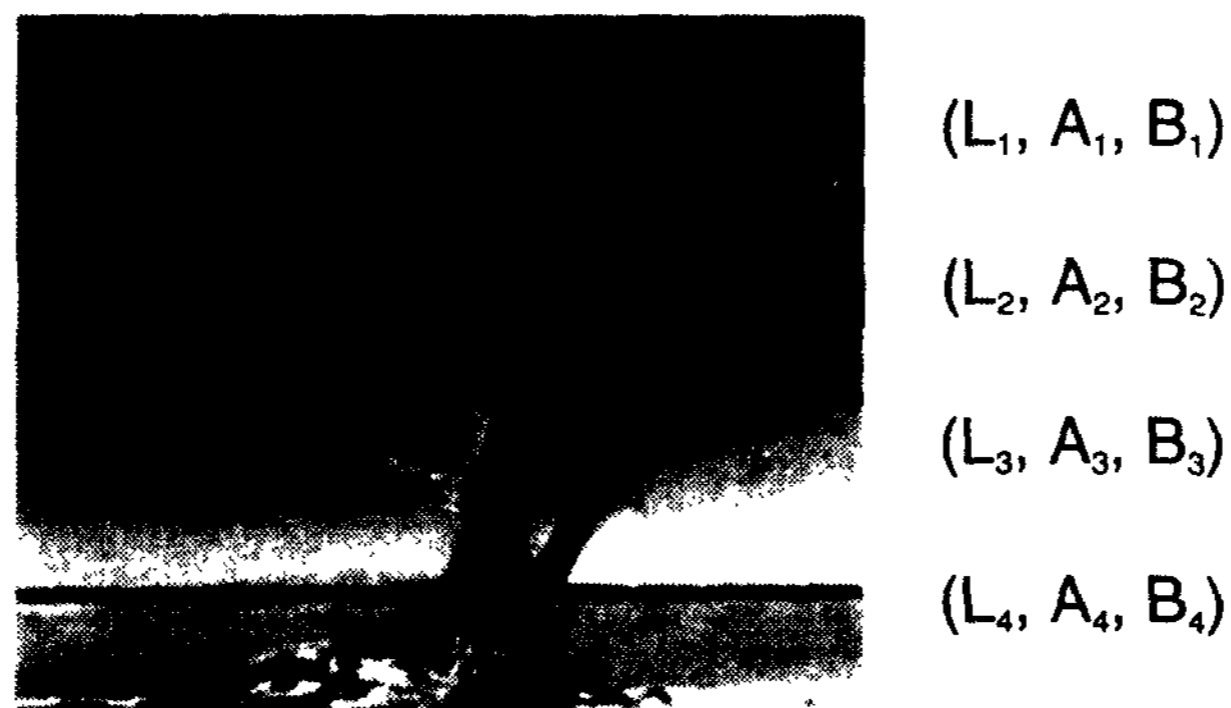
〈그림 3〉 계층변경 후의 분류 트리

록검색할 수 있게 되었다. 시스템에 설치(實裝)된 유사화상검색의 알고리즘을 다음에 설명한다.

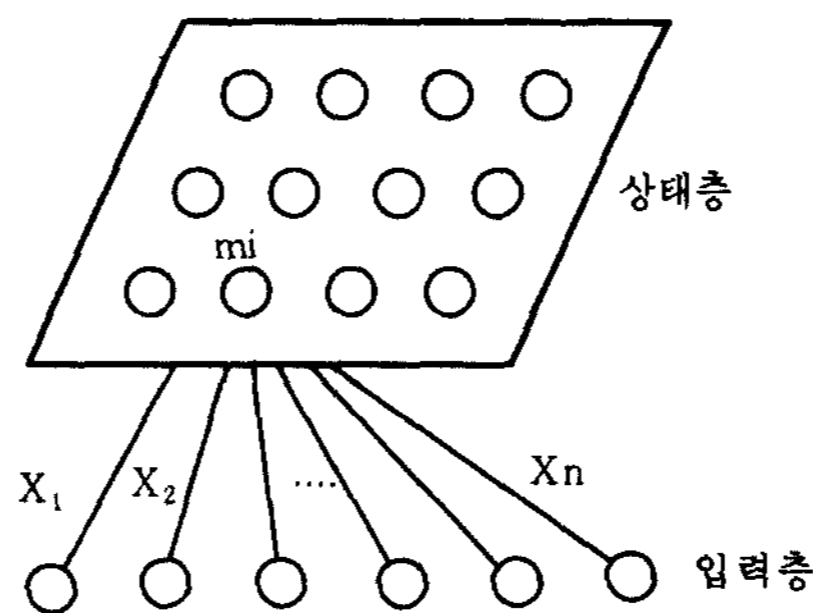
(1) 등록된 화상을 4분하고(〈그림 4〉), 각 영역 내의 RGB 정보를 평균화하여 LAB 정보로 변환한 후, 이것을 화상의 속성으로 하여 데이터 베이스 내의 LAB 테이블에 저장(格納)한다. LAB 테이블은 파일 ID, L, A, B 등 4개의 필드로 구성된다. 종방향으로도 같은 방식으로 처리하여, 4×3×2로 24차원(X1~X24)의 속성이 추출된다.

(2) 이 특징을 Kohonen<sup>2),3)</sup>이 제안한 식 [1]에서, 학습하는 세포를 2차원상으로 줄을 지어놓는 자기조직화 맵(〈그림 5〉)에 입력하고, 가장 입력에 가까운 상태를 가지는 세포와 그 근방의 세포를 학습시킨다. 반복 학습을 실시함으로써, 유사한 상태를 갖는 세포가 가까이 집합된다. 근방에 대한 정의(定義)는 주목되고 있는 세포로부터의 유클리드 거리에 있는 역치(閾值) 이하인 것으로 하였다.

(3) 변화가 처리된 곳에서 맵을 고정하고, 데이터 베이스 내의 각 화상이 맵의 어



〈그림 4〉 4분할



〈그림 5〉 자기조직화 맵

는 위치에 속하는가를 결정하여, 각 화상의 맵 위치로서 데이터베이스 내의 IP 테이블에 기억시킨다. IP 테이블은 파일 ID, X, Y 등 3개의 필드로 구성된다.

(4) 검색시에 이용자는 원하는 화상을 지정하고, 그 화상과 유사한 화상을 검색하도록 지시한다. 문서관리 시스템은 지정된 화상과 맵상에서 동일 위치에 속하는 화상을 IP 테이블에서 검색하여 유사화상으로서 결과를 알려준다.

$$mi(t+1) = mi(t) + \alpha(x(t) - mi(t)) \quad [1]$$

$mi(t)$  : 시각 t에 있어서 세포 i의 상태

$\alpha$  : 학습계수

$x(t)$  : 시각 t에 있어서 세포자극(細胞刺激) (입력)

이 인식방식을 제품에 적용하여, 인식정도(認識精度)를 유지한 채로, 이 학습이 야간에(최장 8시간) 종료되도록 하고, 다음과 같이 고속화하였다.

(1) 자기조직화 맵의 사이즈를 인식대상 파일 수에 따라서 가변적이게 하였다. 사이즈는 8×8에서 개시하고, 1 영역(area) 당 맵시키는 파일 수가 40 을 넘지 않도록 증가시켰다. 이 알고리즘에 의해 데이터 양에 비례한 최적의 맵 사이즈가 준비될 수 있게 된다. 즉, 적은 데이터 수인 경우에 큰 맵을 준비하는 것같은 비효율적인 계산을 회피할 수 있게 되었다. 또한, 맵의 크기를 데이터의 양에 비례하도록 하기 위해 맵의 영역 사이의 상호영향을 어떤 레벨 이상 유지할 수 있기 위해서, 치우치지 않는 맵 작성에 기여하였다. 설치(實裝)한 알고리즘에서는 완전히 데이터에 비례하여 사이즈를 가변적으로 하는 방법이 아니라, 인식대

상이 2,500매까지는 8×8로, 1만매까지는 16×16으로, 그 이상은 48×48로 대응하는, 단계적인 방식으로 하였다.

(2) 파일 등록시에 기존의 자기조직화 맵 상에서의 위치를 계산하고, 현재 위치로서 기억하고, 인식에 이용한다.

(3) (2)에서 계산하여 기억한 위치를 다음 번의 자기조직화시의 근방 계산개시 지점으로서 이용한다. 계산초기 단계에서 최소치에 가까운 값이 구해지고, 각 영역과의 거리 계산시에 이 값을 넘는 경우에 계산을 중단하여 계산량을 적게 한다.

이러한 것들을 고속화한 후에 Celeron 400MHz를 탑재하는 컴퓨터로 24차원의 특징 벡터를 가지는 1,000매의 화상을 16×16의 자기조직화 맵으로 1,000회 학습한 결과 400초를 요했다. 자기조직화에 필요한 시간은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

(계산시간) =

$$C \times TF \times VD \times MS \times MS \times LI \quad [2]$$

정수 : C

인식대상 화상수 : TF

특징 벡터 차원 : VD

맵 사이즈 : MS

학습 횟수: LI

10만매의 화상에 대해서 맵의 크기를 50×50으로 하여 학습을 실시하면, 약 1,000매의 계산량이 필요해지고, 약 108시간이 걸린다. 이것을 8시간 이내에 마치기 위해서는 10배 이상의 고속화가 필요하지만, 이 방법은 본질적으로 병렬계산되므로, 4CPU로 동작 클럭의 수배 빠른 서버를 준비하면, 거의 이것을 만족시킬 수 있다. 즉, 인식대상이 10만매 정도까지는 이 방법으로

대처할 수 있음을 의미한다. 또한, 이 방법의 인식에 요하는 시간은 인식대상수의 영향을 받지 않으므로, 사용자 입장에서는 인식대상수가 많아도 검색효율은 변하지 않는다고 하는 큰 이점이 있다.

본 기능에 의해, 화상에 대해서도 속성을 부여하지 않고 검색을 실행하는 것이 가능해지고, 대량의 화상 데이터를 검색가능한 데이터로서 낮은 비용으로 등록할 수 있게 되었다.

#### 4.2.1 관련검색

본 시스템에 등록되는 데이터는 관련 데이터를 지정할 수 있다. 예컨대, 어떤 화상 파일과 그 화상을 설명하기 위해서도 큐먼트 파일을 관련 있는 데이터로서 설정할 수 있다. 즉, 검색자는 등록자가 설정한 관련 사항을 추적할 수 있게 된다. 바꾸어 말하면, 등록자가 묻혀있는 지식을 추적할 수 있다.

### 5. 양적 한계를 해결하기 위하여

문서관리 시스템에 등록되는 데이터의 양은 비약적으로 증가하고 있기 때문에 그것을 유지하는 기억영역은 사용자의 요구에 따라서 간단히 증가되지 않으면 안된다. 이 요구를 만족시킬 수 있는 기억매체는 기억매체를 용이하게 교환할 수 있는 MO나 DVD의 리무버블 미디어이다. 본 시스템에서는 DVD 체인저를 다음과 같은 기능으로 통합하고, 데이터 양의 급격한증가에 대처하면서 그 보관된 데이터가 재이용가능한 상태로 보관되도록 하고 있다.

### 5.1 DVD 체인저 연계

#### 5.1.1 신뢰성 에이전트

미디어에 보관된 디지털 데이터가 수년 후에 읽혀지는 것은 미디어가 보증한다. 그러나, 그 읽어들이는 데이터가 확실히 재이용, 재배포될 수 있는가 하는 것은 보관된 포맷을 이해할 수 있는 어플리케이션이 존재하는가에 관련된다. 본 시스템에서는 등록시나 등록 후에 데이터 포맷을 체크하는 에이전트를 동작시켜, 이용할 수 없는 포맷이 데이터 베이스 내에 존재하는 것을 막는다. 에이전트로서는 다음의 3종류가 존재한다.

##### (1) 필터 에이전트

데이터의 보존시에 동작하는 에이전트로, 데이터 베이스 관리자가 설정한 데이터 변환 테이블을 참조하여, 보존에 적합한 데이터인가를 판단한다.

##### (2) 컨버터 에이전트

데이터의 변환을 실시하는 에이전트. 유저가 기동(起動)하는 경우와 필터 에이전트로부터 자동으로 기동시키는 경우가 있다.

##### (3) 워치(watcher) 에이전트

데이터 베이스 내를 순회하여, 관리자에 의해 설정된 변환을 실시한다.

#### 5.1.2 균질한 검색속도

체인저로부터 꺼내어, 실재의 선반에 두고 보관하는 DVD 미디어를 오프라인 데이터라고 부른다. 오프라인 데이터도 검색가능하게 하기 위해서 검색에 필요한 속성을 가지고 있다. 이것에 의해 본 시스템에서는 검색에 필요한 시간이 기록매체에 관계없이 균질해지고 있다.



### 5.1.3. 기억계층간 이동

검색에 필요한 시간은 전항의 기능에 의해 매체와는 무관하지만, 데이터를 여는 시간은 매체의존적이다. 필요한 데이터를 사전에 기억계층간에 이동시키는 것은 다수의 데이터에 액세스하는 경우에는 매우 중요한 기능이 된다. 예컨대, 내일 낚은 냉장고에 관한 칼럼을 집필한다면, 1997년 이전에 작성된 문서에서, “냉장고”라는 단어를 포함하는 문서가 고속으로 액세스할 수 있는 매체상에 모여지면, 매우 효율적으로 데이터에 액세스할 수 있을 것이다. 이것을 가능하게 하기 위해서 본 시스템에서는 어떤 검색조건에 합치하는 결과를 일괄하여 DVD 미디어로부터 하드 디스크 상으로 전송할 수 있게 되었다. 그 반대방향으로, 불필요해진 데이터를 하드 디스크로부터 DVD 미디어로 전송하는 것도 가능하다. 또한, 일괄전송을 실시하는 시간을 지정하여, 필요한 데이터를 비교적 컴퓨터의 부하가 낮은 야간에 전송할 수 있도록 하고 있다.

## 5.2. 3D 뷰어

대량의 데이터를 표시하기 위해서는 인간의 시각이 뛰어나고, 게다가 사용자에게 기억하기 좋은 형태로 표시하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 3차원 그래픽 기술을 활용한 3종류의 표시방법을 제안한다.

### 5.2.1. 슬라이더 뷰어

이 뷰어에서는 검색결과를 원통의 표면에 표시한다. 이와 같이 표시함으로써, 목표로 하는 데이터가 대량 데이터의 어

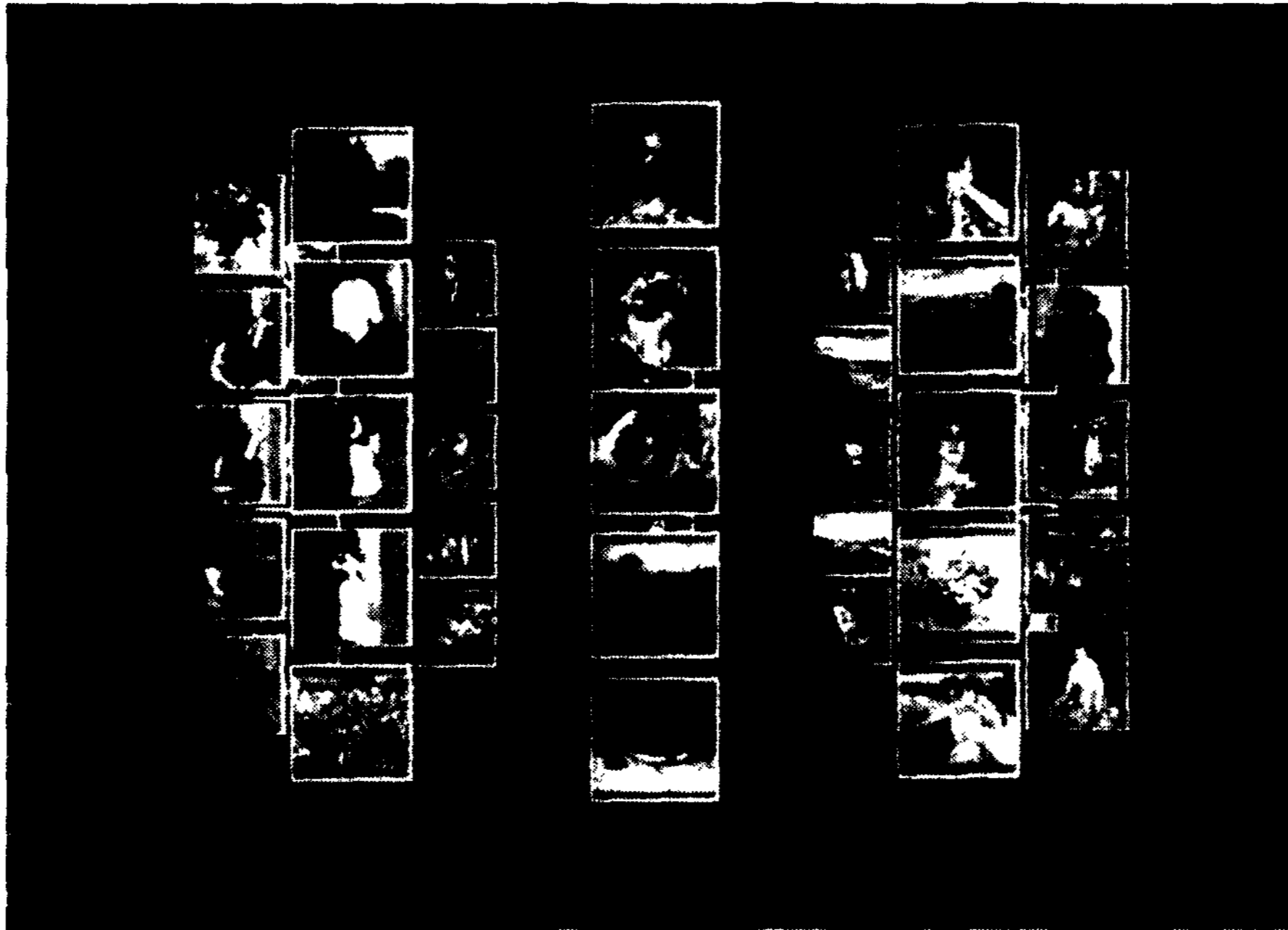
디에 존재하는지 기억하기 쉬워진다. 또한, 화면의 데이터를 상세하게 표시하고, 화면의 데이터를 작게 표시하여, 한 번에 대량의 데이터를 놓치지 않고 표시할 수 있다.

### 5.2.2. 북 뷰어

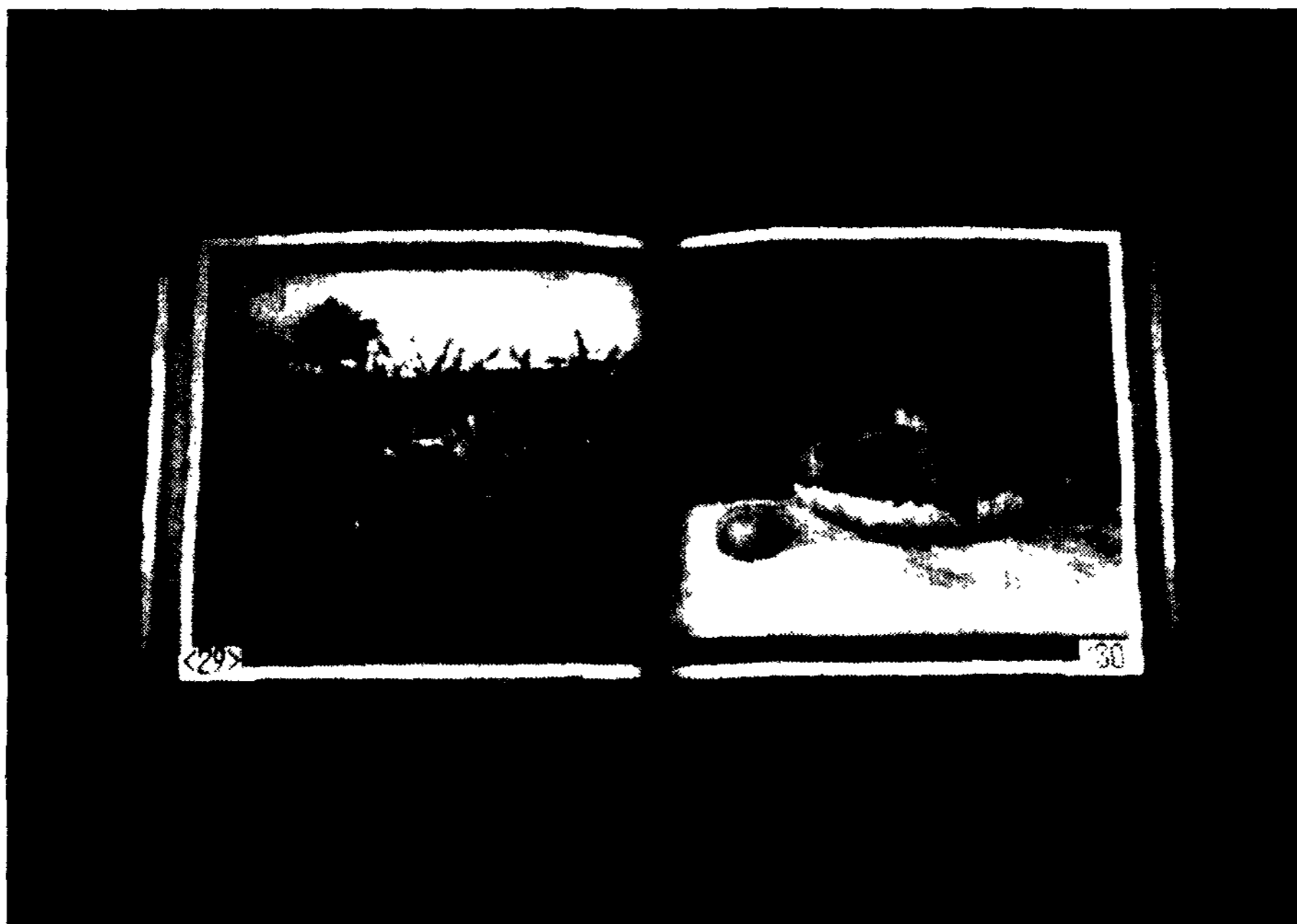
인간에게 우수한 표시란 보통의 생활에서 익숙해진 형태로 표시하는 것이다. 특히, 불특정 다수의 사람들이 모이는 장소(도서관, 미술관, 박물관, 역구내 등)에서 사용되는 경우에는 이것은 필수적인 기능이 된다. 본 시스템에서는 3D 그래픽에 의해 페이지를 넘길 수도 있는 버추얼 북을 표시하고, 처음으로 직감적으로 조작할 수 있도록 <그림 7>에 나타내는 북 뷰어를 내장하였다. 1페이지에 표시할 수 있는 데이터의 수는 1~16매로 가변적이고, 페이지를 넘기는 속도는 사용자가 고속·중속·저속 중에서 선택할 수 있도록 하였다. 또한, 자동으로 넘기는 모드를 준비하여, 방대한 데이터를 비용을 들이지 않고 체크할 수 있게 하였다.

### 5.3. 워크스루 뷰어(walkthrough viewer)

자기조직화 화상검색에서는 모든 화상은  $N \times N$ 의 2차원 맵의 어디에 속하는가가 결정되고 있다. 이 2차원 맵을 3차원 상에 표시한 것이 워크스루 뷰어이다. 조작자는 자신이 의도한 방향(상하·좌우)으로 이 3차원 공간을 움직여 나아갈 수 있다. 조작자의 주관적 유사성의 축에 따라서 화상의 가운데를 워크스루할 수 있다.



〈그림 6〉 원통상 슬라이더 뷰어



〈그림 7〉 북 뷰어

## 6. 공공시설에서 사용하는 경우의 이점

본 시스템을 도서관·미술관·박물관 등에서 운용하는 경우의 이점을 서술해 보기로 한다.

### 6.1. 이용자의 이점

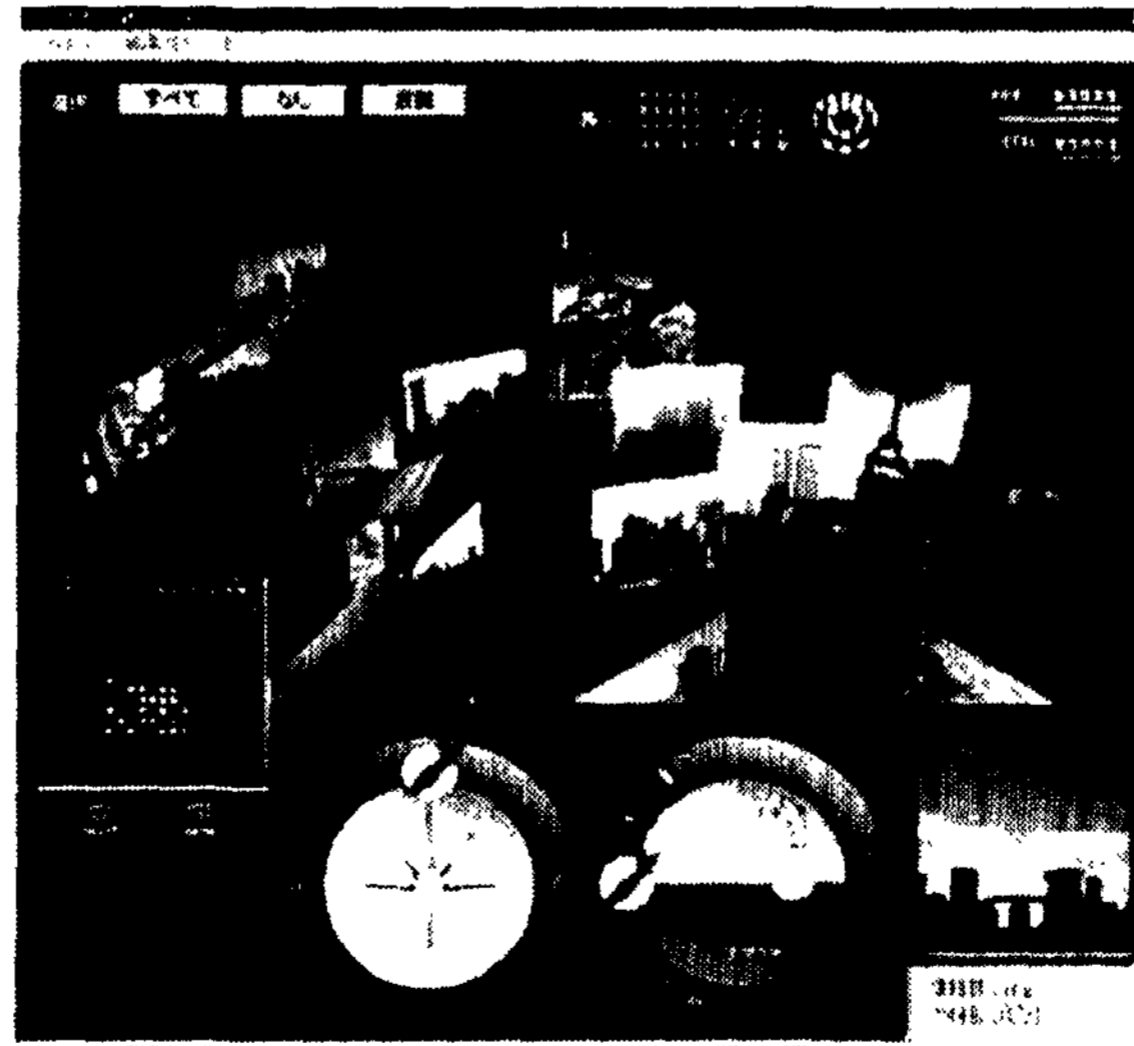
- (1) 멀티 미디어(문서, 이미지, 동화상, 음성)의 검색, 표시가 가능하다.
- (2) 다양한 검색(속성검색, 화상검색, 관련검색, 전문검색)에 의한 여러 관점에서 검색이 가능하다.
- (3) 현장감(臨場感)이 있는 표시(복 표시, 원통상 슬라이더 표시, 워크스루 표시)에 의해 처음 이용자라도 사용하기가 쉽다.
- (4) Web 기능에 의해 개방된 정보원이 된다.

### 6.2. 시스템 운용자의 이점

- (1) 디지털 복합기기와 연계되기 때문에 인쇄(문서) 데이터 입력이 매우 간단하다.
- (2) DVD 체인저와 연계되기 때문에 대량의 데이터를 장기 보존할 수 있다.
- (3) 관련 검색 기능을 참고 서비스로 이용하여, 등록자가 갖고 있는 지식을 공개할 수 있다.

## 7. 결 론

본 논문에서는 화상으로부터 추출한 색 정보 벡터를 기초로 자기조직화 맵을 작성하여 인식에 이용하는 것을 제안하는 동시에, 10만매의 화상을 실시간 인식할 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한 방대한 검색



〈그림 8〉 워크스루 뷰어

결과를 사람에게 효과적으로 표시하기 위해서 3차원 그래픽 기술을 응용한 3종류의 뷰어를 개발하고, 검색결과 데이터를 조작자의 주관유사축(主觀類似軸)에 따라 워크스루할 수 있음을 보였다.

현재는 워크스루 뷰어를 더욱 진전시켜 3차원 표시기능과 데이터 베이스의 통계정보를 결합한 3차원 내비게이션 기능을 개발중에 있다. 또한, 이번에 제안하는 시스템은 인식특징으로서 색정보만을 다루었지만, 인식 시스템의 특징추출 부분은 프로그램으로서 독립되어 있기 때문에, 다른 특징추출 방법으로 치환하는 것이 가능하며, 의료화상이나 CAD 도면을 인식하는 시스템 구축도 가능하다.

#### 참고문헌

- 1) *Dublin Core Metadata Element Set*. (<http://purl.org/dc/documents/rec-dces-19990702.htm>)
- 2) T.Kohonen, *Self-Organizing Maps*, vol. 30, Springer Info-Sciences.
- 3) ATR 國際電氣通信基礎技術研究所編, 「ニューラルネットワーク應用」, オーム社, 1995, 227p.
- 4) 森 吉弘, "PDPモデルによる手書き漢字認識", 「信學論」, vol. J 73-D-II, No. 8, 1990, pp. 1,268~1,274.