

# 격자 기반의 디지털 사진 시각화와 계층적인 클러스터링 방법

## (A Grid-based Digital Photo Visualization and Hierarchical Clustering Method)

류 동 성 \* 정 우 근 †

(Dong-Sung Ryu) (Wookeun Chung)

조 환 규 \*\*

(Hwan-Gue Cho)

**요 약** 일반적으로 대부분의 사람들은 많은 수의 디지털 사진을 관리하기 위해서, 이벤트 혹은 날짜에 따라 각 사진들을 폴더별로 분류하는 방법을 사용한다. 그러나 관리해야 할 사진의 개수가 수백에서 수천 장으로 증가함에 따라, 사진 관리에 많은 시간과 비용이 소모된다. 본 논문에서는 촬영 시각과 사진의 색상 차이를 이용하여, 유사한 사진들을 서로 가깝게 배치하는 2D 격자 공간 기반의 사진 관리 시스템을 제안한다. 그리고 2차원 격자 공간에 배치된 각 사진들을 계층적으로 클러스터링 함으로써, 사용자가 원하는 수준의 세부 단계별 분류 기능을 지원한다. 제안한 시스템의 성능을 평가하기 위해서, 배치된 사진들에 대한 시간 일관성과 사용 공간 효율성을 측정하였다.

**키워드**: 사진 관리, 사진 클러스터링, EXIF

**Abstract** Generally, most people use the photo mana-

\* 본 연구는 지식경제부, 문화체육관광부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업 원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음(2008-F-031-01, 영상 및 비디오 콘텐츠를 위한 계산사진학 기술 개발)

· 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 '격자 기반의 디지털 사진 시각화와 계층적인 클러스터링 방법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과  
dsryu99@pusan.ac.kr  
wkchung@pusan.ac.kr

\*\* 정 회 원 : 부산대학교 컴퓨터공학과 교수  
hgcho@pusan.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 23일

심사완료 : 2010년 2월 12일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며, 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제5호(2010.5)

gement method which clusters lots of photos into each folders according to photo shooting time and date.

However, since the number of photos to manage is getting more increasing, it takes much time and burdensome work. This paper describes PHOTOLAND, a system that visualizes hundreds of photos on a 2D grid space to help users manage their photos. It closely places similar photos in the grid based on temporal and spatial information. Most photograph management systems use a scrollable view based on a sequential grid layout that arranges the thumbnails of photos in some default order on the screen. Our system decreases drag and drop mouse interaction when they classify their photos into small groups comparing to the sequential grid layout. We conducted experiments to evaluate temporal coherence and space efficiency.

**Key words**: Photo Management, Photo Clustering, EXIF

### 1. 서 론

최근 들어 보급형 디지털 카메라의 확산과 메모리 기술의 발전으로 인한 사진 저장 용량의 확대는 일반 카메라 사용자들이 손쉽게 수백 장 혹은 수천 장의 사진을 촬영할 수 있게 하였다[1]. 그러므로 이전의 필름 카메라를 사용하였던 시절과는 달리 일반 사람들이 일상생활에서 수백에서 수천 장의 사진을 관리해야 하는 일이 많아졌다[2,3]. 그러나 이 작업은 많은 수의 사진들을 일일이 살펴보고 사진의 종류를 판별해야 하기 때문에, 많은 시간이 소모되고 작업상의 불편함이 존재한다[3].

대부분의 사진 관리 프로그램은 썸네일 기반의 격자 기반의 인터페이스를 사용한다. 이 인터페이스는 순차적인 격자 기반의 레이아웃에 각 사진들의 썸네일을 배치한 후, 사용자의 스크롤링에 따라 사진을 보여주는 기능을 수행한다. 그러나 이러한 순차적인 격자 기반의 레이아웃은 사진들을 시간 순서에 따라 일렬로 배치하기 때문에, 공간적인 정보와 시간적인 정보를 동시에 고려할 수 없다. 그러므로 사용자가 각 사진 집합들의 시간적인 흐름 파악이 없거나 시간 흐름이 희미한 경우, 사진 관리에 있어서 많은 시간과 비용을 소모하게 된다.

본 논문에서 제안한 사진 관리 방법은 시간적인 정보와 공간적인 정보를 동시에 고려하여, 각 사용자가 시간적인 문맥(촬영 시각 차이) 뿐만 아니라 공간적인 문맥(25가지 색상의 유사도)을 이용하여 각 사진을 관리할 수 있는 레이아웃을 제안한다. 제안한 시스템은 사진의 촬영 시각과 색상 차이가 작아 서로 유사하다고 생각되는 사진들을 2차원 격자 공간에서 인접한 위치에 서로 배치한다. 그리고 사용자가 원하는 수준의 세부적인 사진 분류 기능을 지원하기 위해서, 2차원 격자 공간에 배

치된 각 사진들의 계층적인 클러스터링 기법을 제공한다. 이 때, 클러스터링의 분류 기준은 각 사진들의 시간적인 유사도이며, 사용자가 지정한 분류기준에 따른 계층적인 탐색은 이진트리 자료 구조로써 구현된다.

## 2. 관련 연구

많은 수의 디지털 사진들을 관리하기 위해, 최근까지 많은 연구가 이루어졌다. 먼저, Bederson은 영상 줄인 브라우저인 PhotoMesa를 개발하였다[1]. PhotoMesa는 Quantum Treemap과 Bubble map을 사용하여, 사용자가 지정한 특성(년도, 달, 서랍)에 따라 그룹별 시각화 기능과 설정한 각 그룹을 폴더로 나누어 정리해주는 기능을 제공한다.

Girgensohn에 의해 제안된 MediaGLOW는 스프링 레이아웃을 사용하여, 클러스터링 된 사진들의 대표 사진을 배치한다. 그리고 각 노드 사이의 거리는 사진의 촬영 시각에 기반을 둔 최소에너지의 스프링 레이아웃에 의해 결정된다[4]. 각 사진의 GPS 정보(위도와 경도)와 촬영 시각을 이용하여, 스토리텔링 보드를 작성할 수 있는 연구 또한 진행되었다.

상업적인 툴로써, 최근까지 꾸준히 개발되고 있는 ACDSee Photo Manager[5]와 Picasa Web Album [6]은 사진 관리에 있어서 편리한 기능들을 사용자에게 제공한다. 본 논문에서는 사진 관리 시스템에 대한 관련 연구로써, 표 1과 같이 정리하였다.

표 1 사진 관리 시스템과 레이아웃에 관련된 최근 연구 정리

연구	특징	레이아웃
PhotoMesa [1]	Quantum Treemaps과 Bubble map	썸네일 기반의 격자 공간
Graham [3]	계층적 브라우저와 달력 인터페이스	썸네일 기반의 격자 공간
MediaGLOW [4]	시간 문맥 고려와 줄인 인터페이스	최소 에너지 기반 스프링 모델
PhotoTOC [7]	Kullback-Leibler 척도 사용	썸네일 기반의 격자 공간

## 3. 사진 배치알고리즘

### 3.1 시간적-공간적 문맥의 유사도

두 사진의 유사도를 비교하기 위해 고려한 속성은 식 (1)과 같으며, 촬영 시각 유사도( $S_T$ )와 색상 유사도( $S_C$ )로 구성된다. 여기서  $t_a$ 는 두 사진의 유사도 결정시, 시간과 공간적인 기여도 값으로 사용자가 지정한다.

$$S(P_i, P_j) = (t_a \cdot S_T(P_i, P_j) + (1 - t_a) \cdot S_C(P_i, P_j)) \quad (1)$$

$$S_T(P_i, P_j) = 1.0 - \left( 1 + \exp\left(\frac{\mu_t - |ts(P_i) - ts(P_j)|}{L_s}\right) \right) \quad (2)$$

촬영 시각 유사도는 식 (2)와 같이 계산되며, 로지스틱 함수를 사용한다. 식 (2)에서  $\mu_t$  와  $ts$  그리고  $L_s$ 는 사용자가 지정한 분류 시간(예를 들어, 30분, 2시간 혹은 하루), 사진 파일의 EXIF로부터 추출한 촬영 시각 그리고 로지스틱 함수의 경사도를 각각 의미한다. 로지스틱 함수는 평균값 근처에서 그 값의 차이가 확실히 큰 함수이며, 사용자는 사진을 분류할 때 적용하고자 하는 시간 차이를  $\mu_t$  에 설정함으로써, 그 분류 기준을 충분히 반영할 수 있다.

$$S_C(Q_i, Q_j) = 1.0 - \frac{\sqrt{(x_k(Q_i) - x_k(Q_j))^2}}{|Q_i|}, k = 1, \dots, 25 \quad (3)$$

두 사진의 색상 유사도는 Prasad가 제안한 25가지의 인지적인 색상 정보[8] 사용하여, 식 (3)과 같이 유사도를 계산한다. 여기서  $x_k$ 는 각  $k$  색상별 픽셀 수를 의미한다. 먼저, 각 사진의 파일을 메모리상에 로드할 때, 썸네일을 양자화를 수행하는데, 이 때 사용되는 색상 거리  $C_d$ 는 식 (4)와 같다.  $|Q|$ 는 양자화된 사진 Q의 전체 픽셀 개수를 의미하며,  $p_r$ 과  $p_g$ ,  $p_b$ 는 썸네일 영상의 R, G, B 픽셀 값을 의미하며,  $C_{ir}$ 과  $C_{ig}$  그리고  $C_{ib}$ 는 양자화된 25가지 색상의 각 R, G, B 값을 각각 의미한다.

$$C_d = \min_{i=1, \dots, 25} \left\{ \sqrt{(p_r - C_{ir})^2 + (p_g - C_{ig})^2 + (p_b - C_{ib})^2} \right\} \quad (4)$$

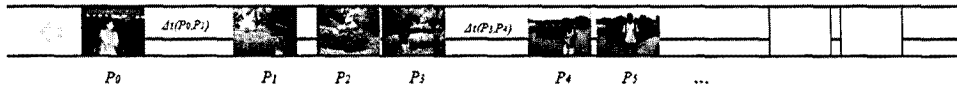
### 3.2 사진 배치 알고리즘

두 사진의 유사도를 결정한 후, 각 사진을 2차원 격자 공간에 배치한다. 이를 위해, 먼저 각 사진들을 로드한 후, EXIF로부터 각 사진의 촬영 시각을 추출하고, 추출한 시각에 따라 정렬된 사진 리스트  $P$ 를 생성한다. 그 후, 첫 번째 사진은 격자의 중간 위치에 배치하며, 다음 사진의 배치를 위해서, 다음 사진이 배치 가능한 후보 영역  $N$ 을 이미 배치된 사진의 이웃한 경계 위치로 갱신한다. 즉, 다음에 배치될 사진은 후보 영역  $N$  내에 있는 위치들 중에서 선택되며, 식 (5)에 의해 계산된 가장 유사한 위치에 다음 사진을 배치한다. 제안한 사진 배치 알고리즘은 그림 1에서 예제와 함께 상세한 과정이 설명된다.

$$Si(B_k) = \sum_{B_p \in N(B_k)} \{S(B_p, P_i)\} + AR(B_k) + H(B_k) + G(B_k) \quad (5)$$

여기서,  $B_k$ 는 그림 1에서 보는 것과 같이, 이미 배치된 사진들의 이웃에 위치하고 다음 사진이 배치 가능한 후보 위치들을 의미하며,  $N(B_k)$ 는 이미 배치된 사진들 중에서,  $B_k$ 에 인접한 사진들의 집합을 의미한다. 그리고  $AR$ 과  $H$ , 그리고  $G$ 는 각각 격자의 위치에 대한 기하적인 제약 조건을 의미한다.

촬영 시간순서로 정렬된 사진 리스트:  $P = \{P_0, P_1, P_2, \dots, P_n\}$ .



$N$ : 이미 배치된 사진의 경계 셀들의 집합

$M$ :  $N$ 의 범위를 결정하기 위한 직경( $P_i$ 과 새로 배치될 사진에 의해 결정)

$\Delta t(P_i, P_{i+1})$ :  $P_i$ 와  $P_{i+1}$  사이의 촬영 시간 차이

□ 다음 사진이 배치 가능한 위치 ( $N$  리스트에서 밑줄로 표현)

■ 사진이 배치되기에 가장 적합한 위치 ( $N$  리스트에서 붉은색 폰트로 표현)

□ 가장 최근에 배치된 사진,  $P_i$ .

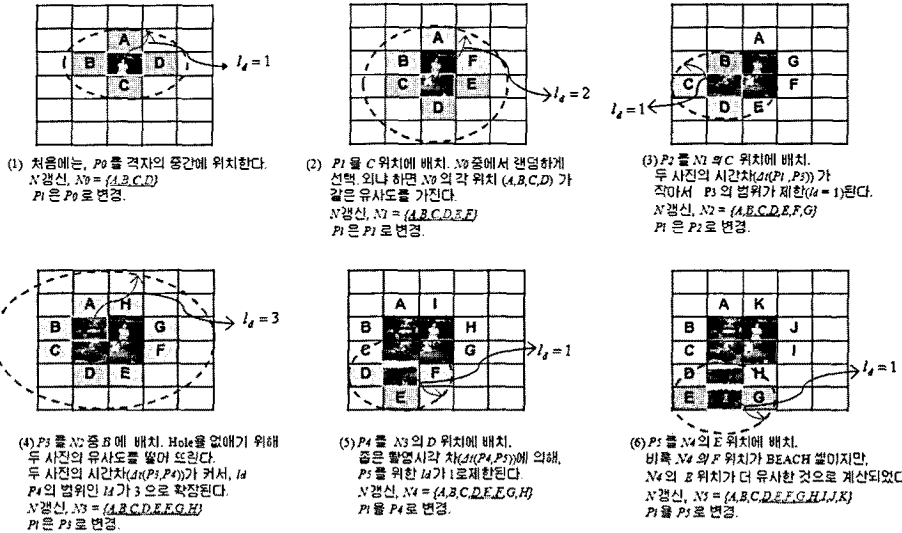


그림 1 제한한 사진 배치 알고리즘. 최근에 배치된 사진과 새로 배치될 사진의 촬영 시간 차이에 의해, 새로 배치될 사진의 후보 영역이 결정된다.

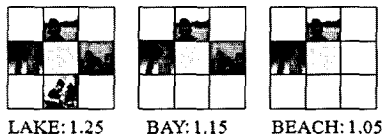


그림 2 사진 배치 시 빈칸 방지를 위한 이웃 영역별 상태에 따른 추가 가중치

$AR$ 은 이미 배치된 사진들이 화면에서 차지하는 가로 세로 비율을 의미하며, 사진들이 한 방향으로 치우치게 배치되는 것을 억제함으로써, 화면의 중형비를 유지하는 역할을 수행한다.  $H$ 는 각 격자 공간에서 비어 있는 셀의 형성을 억제하는 역할을 한다. 각 후보 격자의 상태에 따라  $H$ 에 의해 설정되는 가중치는 그림 2와 같다.

마지막 기하적인 제약조건  $G$ 는 이미 배치된 사진들의 무게 중심을 고려하여, 무게 중심이 벗어나게 배치될 경우, 이를 억제하는 역할을 한다. 즉  $G$ 는  $AR$ 과 마찬가지로 한 화면에 가능한 한 많은 수의 사진들을 렌더링하기 위한 역할을 수행한다.

### 3.3 계층적인 클러스터링

격자에 배치된 각 사진들은 계층적인 클러스터링 방법으로 각 단계별 클러스터가 구성된다. 이 때 사용하는 자료 구조는 최종적인 리프 노드가 사진이며, 리프 노드를 구성하는 각각의 클러스터가 노드인 이진트리 자료 구조를 사용한다. 그리고, 각 클러스터를 구성할 때 사용되는 유사도 거리는 식 (6)에 의해 결정된다. 식 (6)은 "최대값을 이용한 두 군집간의 비교" 혹은 "두 군집 사이의 가장 먼 이웃(The farthest neighbor)"의 클러스터링 판별 기준이며, 두 사진의 유사도에 의해 그 거리가 결정된다.

$$F_d(C_i, C_j) = \max_{\{P_a \in C_i, P_b \in C_j\}} \{1.0 - S_T(P_a, P_b)\} \quad (6)$$

계층적인 이진트리의 자료 구조가 구성된 후, 사용자가 지정한 레벨에 따라 각 클러스터링 결과를 시각화하기 위해서, 본 논문에서는 클러스터별로 시간 차이의 분산을 고려한다. 현재 분기된 하위 클러스터 노드 중에서, 시간차이에 대한 분산이 가장 큰 노드를 중심으로 각 자식들에게 구분된 레이블을 할당하여, 계층적 클러

스터링을 수행한다.

각 클러스터별 대표 사진은 지정된 시간 간격이내에 배열된 각 사진들의 개수가 가장 많은 사진을 각 클러스터의 대표 사진으로 선택한다. 그리고 대표 사진의 렌더링 위치는 클러스터별 무게 중심과 가장 가까운 격자를 기준으로 한 4 사분면에서, 시간 궤적(붉은색 화살표)에 중첩되는 면적이 최소화 되는 사분면 영역에 배치한다.

3.4 배치 결과

본 논문에서 제안한 사진 배치 알고리즘의 중요 목표 중의 하나는 시간일관성과 색상 정보를 평가해서, 유사한 사진들을 가깝게 배치하는 것이다. 이러한 결과를 시각화하기 위해서, 가상의 사진 집합으로써, 60개에 해당하는 사진들을 그림 3과 같이 선별하였다. 가상의 사진 집합은 총 6개의 그룹으로 나누어져 있으며, 같은 색상을 지닌 사진들로 각각 10개씩 구성하였다.

그림 4는 그림 3의 가상 사진 집합이 제안한 알고리즘에 의해 배치된 결과를 보여준다. 그림 (a)는 식 (1)에서  $t_a$ 를 0.0으로 설정하여, 색상 정보만을 고려한 배치 결과이며, 그림 (b)는  $t_a$ 를 1.0으로 설정하여, 촬영 시각 정보에 따라 배치한 결과이다. 그림에서 보는 것과 같이 제안한 사진 배치 알고리즘은 사용자가 지정한  $t_a$ 에 의해, 각 사진들의 유사도가 결정된다. 그림 5는 논문에서 제안한 시스템의 사진 렌더링 결과이다.

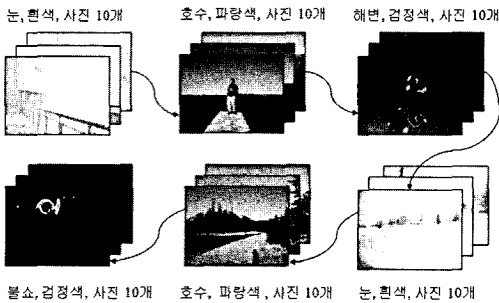


그림 3 시스템 배치 결과를 보여주기 위해 설정한 가상의 사진 집합. 총 6개의 집합과 60개의 사진들로 구성되어 있으며, 각 집합들은 충분히 구분되는 촬영 시각 차이가 있다.

4. 실험

본 논문에서는 제안한 시스템의 배치 성능을 평가하기 위해서, 순차적인 격자 레이아웃과 비교한다. 순차적인 격자 레이아웃은 각 사진의 썸네일을 왼쪽에서 우측으로 촬영된 시각 순서로 배열하는 레이아웃이다. 시간 일관성 평가 기준은 Cooper가 제안한 두 사진의 시간적인 유사도를 사용하였다[2].

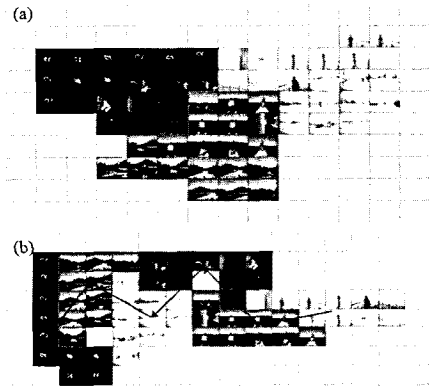


그림 4 가상의 사진 집합(그림 3)을 제안한 알고리즘으로 배치한 결과. (a)  $t_a$ 를 0.0으로 설정하여, 유사한 사진들이 한 군대로 모이게 배치된다. (b)  $t_a$ 를 1.0으로 설정하여, 각 사진들의 시간 순서가 유지되게 배치된다.

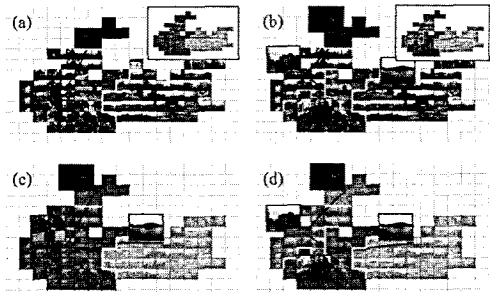


그림 5 계층적인 클러스터링 결과와 제안한 시스템의 사진 렌더링 결과. 사용한 사진의 개수는 89장이며, 여행 중에 찍은 사진들로 구성된다. (a) 초기에 구성된 클러스터링 결과(클러스터링 개수는 3). (b) (a)에서 한 단계 진행된 클러스터링 결과(클러스터링 개수는 4). (c)와 (d)는 각각 (a)와 (b)의 클러스터별 컬러링과 각 클러스터의 대표 사진을 렌더링한 결과이다.

그림 6은 순차적인 격자 레이아웃과 제안한 시스템을 비교한 실험 결과이다. 순차적인 격자의 경우 가로 세로 종횡비가 각각 3:2 그리고 2:3인 경우를 고려하였다. 제안한 시스템의 경우, 식 (5)에서 고려한 기하적인 제약 조건들 중 화면의 종횡비( $AR$ )에 해당하는 제약 조건을 각각 달리 설정하였다. 화면의 종횡비는 각 사진이 배치될 때, 그 화면의 종횡비를 벗어나지 않게 배치하기 위한 제약조건으로, 본 논문에서는 0.5와 1.0인 경우를 고려한다.

그림 6의 (a)는 순차적인 격자 레이아웃과 제안한 시스템 레이아웃의 시간 일관성 평가 결과이다. 순차적인 격

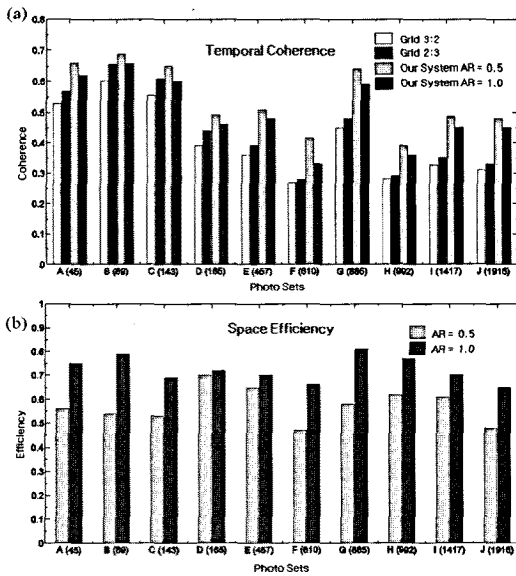


그림 6 배치된 사진의 시간 일관성과 공간 효율성 평가 결과 (a) 10개의 사진 집합에 대한 2차원 격자 기반의 시간 일관성 측정. (b) 기하적인 제약 조건인 AR에 의한 공간 효율성 측정 결과

자 레이아웃의 경우, 왼쪽에서 오른쪽의 시간 일관성은 강하지만 위, 아래 방향으로의 시간일관성이 부족하기 때문에, 제안한 시스템보다 시간 일관성이 떨어지는 것으로 평가된다. 그리고 제안한 시스템의 기하적인 제약 조건이 강할 경우, 기하적인 제약 조건에 의해 강제로 사진들이 배치되는 경우가 발생하기 때문에, 배치된 사진들의 시간 일관성이 손상된다( $AR=1.0$  vs.  $AR=0.5$ ). 그림 6의 (b)는 제안한 알고리즘의 공간 효율성을 측정 한 결과이다. 시스템에서 측정한 공간효율성은 단순한 화면에 배치된 사진의 수와 한 화면에 최대한 배치 가능한 사진 수의 비로 계산하였다. 실험 결과 화면의 종횡비에 대한 가중치가 높을 경우, 좀 더 공간을 효율적으로 사용할 수 있지만, 배치된 사진들의 시간 일관성은 떨어지는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

대부분의 사진 관리 시스템은 썸네일 기반의 순차적인 격자 레이아웃을 사용한다. 그러나 순차적인 격자 레이아웃은 시간적인 문맥이나 공간적인 문맥을 동시에 고려하지 않는다. 본 논문에서 제안한 시스템은 공간적 그리고 시간적인 문맥을 동시에 고려하여, 사진들을 배치한다. 또한 2차원 격자 공간에 배치된 각 사진들을 계층적으로 클러스터링 함으로써, 사용자가 원하는 수준의 계층적 분류 기능을 지원한다. 본 논문에서 제안한 시스

템의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시간적 그리고 공간적인 문맥을 동시에 고려하는 사진 배치 알고리즘을 제안하였다.
- 2) 한 화면에서 가능한 많은 수의 사진을 보여주기 위해서, 종횡비나, 무게 중심 그리고 홀(Hole) 가중치와 같은 기하적인 제약 조건을 고려하였다.
- 3) 2차원 격자 공간에서 계층적인 클러스터링 기능을 지원하여, 사용자가 원하는 수준의 분류 기능을 제공한다.

그러나 격자 공간에 배치된 사진의 수가 많을 경우 각 클러스터들의 경계가 모호하게 표현되며, 세분화된 클러스터의 대표 사진을 렌더링한 경우, 각 대표사진들 사이의 중첩 배치와 같은 문제점이 발생한다. 이 문제들은 사용자의 사진 탐색시 혼란스러움을 유발하기 때문에, 대표사진들을 도식화(예를 들어, 스프링 모델을 이용한 레이아웃[4])하고 각 대표 사진들의 중첩 문제들을 해결하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 배치된 사진의 수가 많을 경우, 각 대표 사진들을 추출하고 이것을 적절하게 배치하는 문제를 향후 연구과제로 제시한다.

## 참고 문헌

- [1] Benjamin B. Bederson. "PhotoMesa: a zoomable image browser using quantum treemaps and bubblemaps," In *Proc. of UIST*, pp.71-80, 2001.
- [2] Matthew Cooper, Jonathan Foote, Andreas Girgensohn, and Lynn Wilcox, "Temporal event clustering for digital photo collections," *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, vol.1, no.3, pp.269-288, 2005.
- [3] Adrian Graham, Hector Garcia-Molina, Andreas Paepcke, and Terry Winograd, "Time as essence for photo browsing through personal digital libraries," In *Proc. of JCDD*, pp.326-335, 2002.
- [4] Andreas Girgensohn, Frank Shipman, Lynn Wilcox, Thea Turner and Matthew Cooper, "MediaGLOW: organizing photos in a graph-based workspace," In *Proc. of IUI*, pp.419-424, 2009.
- [5] ACDSsystems. ACDSsee photomanager. <http://store.acdsee.com/>
- [6] Google. Picasa Web Albums. <http://picasa.google.com/features.html>, September, 2006.
- [7] John C. Platt, Mary Czerwinski, and Brent A. Field, "PhotoTOC: automatic clustering for browsing personal photos," In *Proc. of the 4th IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia*, vol.1, pp.6-10, December, 2003.
- [8] B.G.. Prasad, K. K. Biswas and S. K. Gupta, "Region-based image retrieval using integrated color, shape, and location index," *Computer Vision and Image Understanding, Special Issue: Color for Image Indexing and Retrieval*, vol.94, no.1-3, pp.193-233, 2004.