

# 최대 클릭 찾기 알고리즘을 이용한 사진 클러스터링 방법과 사진 시각화 인터페이스

류동성<sup>o</sup>                      조환규

부산대학교 컴퓨터공학과

{dsryu99, hgcho}@pusan.ac.kr

Photo Clustering using Maximal Clique Finding Algorithm and Its Visualized Interface

Dong-Sung, Ryu<sup>o</sup>                      Hwan-Gue, Cho

Dept. of Computer Science, Pusan National University

## 요약

최근 디지털 사진의 보급으로 인해, 일반 사람들 또한 한번에 수백장의 사진을 촬영하는 일이 많아졌고 최근에 사진 관리에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 대부분의 사진 관리에 사용되는 썸네일 기반의 순차적인 격자 인터페이스는 사진의 한가지 특성에 따라 각 사진을 정렬하는 방식을 사용한다. 이러한 방식은 사용자가 많은 수의 사진을 관리하기에는 많은 스크롤링과 클릭을 요구하게 되므로 많은 시간과 집중력이 요구된다. 본 논문에서는, 색상 유사도와 촬영 시각을 이용하여, 각 사진을 클러스터링하고 촬영 시각의 흐름에 따라 배열하는 인터페이스를 제안한다. 제안한 인터페이스는 사진의 촬영시각에 따라 먼저 각 사진들을 클러스터링하고 한번 분류된 클러스터 사진들은 서로 유사한 색상의 사진들끼리 2차로 재분류한다. 이 때 사용한 2차 클러스터링 방법은 구간 그래프의 최대 클릭 찾기 알고리즘을 이용한 방법으로 25가지 색상의 히스토그램을 비교한다. 분류된 사진들은 클러스터의 순서에 따라 연속적으로 각 클러스터들을 배치한다. 제안한 클러스터링 기능과 사진 배치 인터페이스를 평가하기 위해서, 설문조사 기반의 사용자 평가를 수행하였다.

## Abstract

Due to the distribution of digital camera, many work for photo management has been studied. However, most work use a sequential grid layout which arranges photos considering one criterion of digital photo. This interface makes users have lots of scrolling and concentrate ability when they manage their photos. In this paper, we propose a clustering method based on a temporal sequence considering their color similarity in detail. First we cluster photos using Cooper's event clustering method. Second, we makes more detailed clusters from each clustered photo set, which are clustered temporal clustering before, using maximal clique finding algorithm of interval graph. Finally, we arrange each detailed clusters on a user screen with their overlap keeping their temporal sequence. In order to evaluate our proposed system, we conducted on user studies based on a simple questionnaire.

**키워드:** 사진 클러스터링, 구간 그래프, 클릭, 사진 시각화

**Keywords:** photo clustering, interval graph, clique, photo visualization

## 1. 서론

현재 디지털 카메라의 확산과 메모리 기술의 발전으로 많은 수의 사진을 촬영하는 사람들이 많아졌다. 예를 들어, 3박 4일

정도의 여행으로도 수백 장의 사진을 촬영하며, 일주일 일정의 외국 여행의 경우 1,000장 정도의 사진을 촬영하는 일도 종종 발생한다. 이렇게 촬영된 많은 수의 사진들을 관리하기 위한 작업들은 크게 사진을 선별하는 작업과 각 사진들을 시간이나

이벤트에 따라 분류하는 두 가지 작업으로 구성된다. 그러나 이와 같은 사진 관리 작업들은 많은 수의 사진들을 일일이 살펴보고 사진의 종류를 판별해야 하기 때문에, 많은 시간이 소모되고 작업상의 불편함이 존재한다. 사진 관리의 수작업을 자동화하기 위해 많은 수의 상용화된 프로그램의 개발과 연구가 진행되고 있으며, 대부분의 프로그램들은 사진의 촬영 시각과 내용 그리고 촬영 장소를 기준으로 각 사진들을 관리하고 분류하는 방법을 사용한다 [1]. 현재 개발되고 구현된 사진 관리 프로그램은 썸네일 기반의 격자 인터페이스를 사용한다. 이 인터페이스는 순차적인 격자 기반의 레이아웃에 각 사진들의 썸네일을 배치한 후, 사용자의 스크롤링에 따라 사진을 보여주는 시각화 방법을 채택한다 [2]. 그러나 이러한 순차적인 격자 기반의 레이아웃은 사진들을 시간 순서에 따라 일렬로 배치하기 때문에, 공간적인 정보와 시간적인 정보를 동시에 고려할 수 없는 한계점이 있다. 그러므로 사용자가 각 사진 집합들의 시간적인 흐름 파악이 없거나 그 흐름이 희미한 경우, 사진 관리에 있어서 많은 시간과 비용을 소모하게 된다. 사진의 배치 및 시각화와 관련된 대표적인 연구로써, Andreas가 제안한 MediaGLOW는 위에서 언급한 순차적인 그리드 레이아웃의 단점을 해소하기 위해서, 시간과 공간 정보에 따라 힘-척력 레이아웃을 이용하여, 2차원 공간상에 각 클러스터링된 사진들을 배치하였다 [3]. 그러나 이와 같은 방법 또한 각 사진들이 화면 공간상에 서로 중첩되게 배치됨으로써, 사진들의 사용자 접근성과 식별성이 저하되는 한계점이 있다. 그러므로 본 논문에서는 다음과 같은 사진 관리 프로그램의 개선점과 이를 해결하기 위한 방법에 대해 다음과 같이 논의한다.

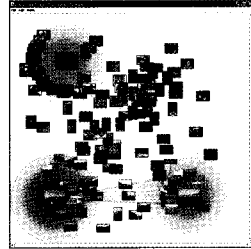
1. 색상 정보와 사진의 촬영시각 정보를 처리하기 위한 클러스터링 방법
2. 사진 촬영 시각의 흐름 파악이 가능한 사진 배치 방법
3. 화면 공간의 효율적인 사용 방법.

## 2. 문제 제기

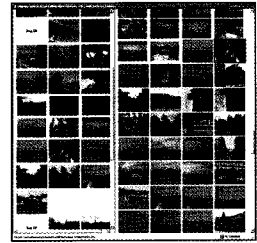
그림 1은 사진 시각화와 관련된 순차적인 격자 인터페이스와 2차원의 기하 공간을 이용한 대표적인 2가지 연구를 보여준다. 그림 (a)의 PhotoTOC는 책의 목차 인터페이스를 응용하여, 각 사진들을 클러스터링한 후, 각 클러스터의 대표 사진을 목차형태로 시각화하고 [4], 그림 (b)의 MediaGLOW는 Force-Directed 스프링 모델 기반의 레이아웃을 사용하여 각 사진들을 배치하는 인터페이스를 사용한다[3].

### 2.1 두 가지 사진 특성을 고려한 클러스터링 기법

각 사진의 촬영 시각과 색상 정보를 동시에 고려하기 위한 문제에 대해 많은 연구가 이루어졌다. PHOTOLAND [1]는 두 사진의 비교를 위해서 Cooper [5]의 이벤트 기반의 촬영 시각 유사



(a) PhotoTOC [4]



(b) MediaGLOW [3]

그림 1: 사진 시각화와 관련된 대표적인 2가지 연구(썸네일 기반의 순차적인 격자 레이아웃과 2차원의 기하 공간을 이용한 인터페이스). (a) PhotoTOC는 책의 목차 인터페이스를 응용하여, 각 사진들을 클러스터링한 후, 각 클러스터의 대표 사진을 목차형태로 시각화한다. (b) MediaGLOW는 Force-Directed 스프링 모델 기반의 레이아웃을 사용하여 각 사진들을 배치한다.

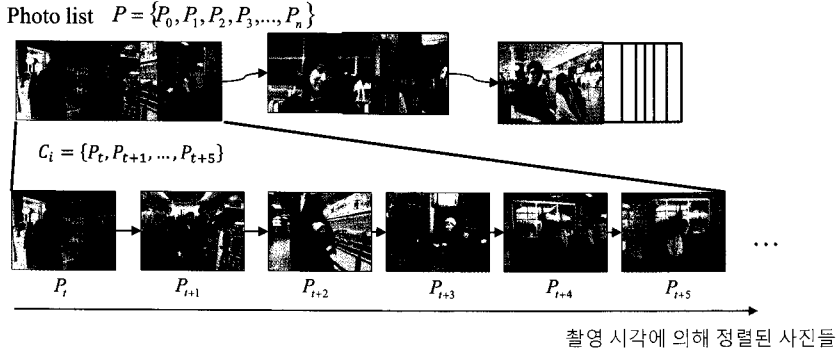
도와 25 가지 색상의 영상 유사도 [6]를 선형 보간한 유사도를 사용하여 2차원의 격자공간에 각 사진들을 배치하였다. 즉, 두 사진의 유사도  $S(P_i, P_j)$ 는 촬영시각 유사도  $(1-\alpha) \cdot S_T(P_i, P_j)$ 와 두 영상의 색상 유사도  $\alpha \cdot S_C(P_i, P_j)$ 로 기술된다. 그러므로 두 사진의 유사도 평가시, 최대한으로 색상유사도나 촬영 시각을 각각 따로 ( $\alpha = 0.0, \alpha = 1.0$ ) 고려할 수는 있지만, 두 유사도 전부를 동시에 고려할 수는 없다. 다시 말해  $\alpha$ 가 0.5인 경우, 두 유사도는 각각 반씩 고려되는 것이지 두 유사도를 전부 고려할 수 없다는 의미이다. 이를 해결하기 위해서, MediaGLOW [3]는 각 사진들을 노드로 하고 촬영 시각과 색상 유사도를 고려한 힘-척력 레이아웃(두 노드가 유사하면 각 노드들은 밀집되게 배치하고 유사하지 않으면 산발적으로 배치하는 레이아웃)으로 배치한다. 그러나 MediaGLOW의 경우, 시간적 순서의 유지 문제와 각 사진들이 많을 경우 중첩되게 배치됨으로써, 사용자가 사진을 접근하고 식별성이 저하되는 한계점이 존재한다.

### 2.2 촬영 시각 순서의 유지

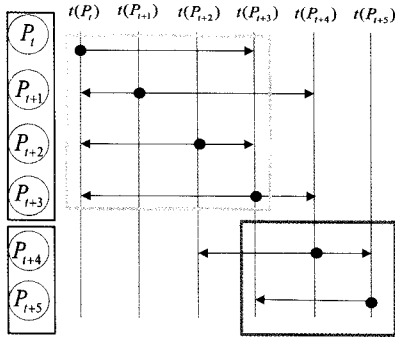
본 논문에서는 각 사진 클러스터들 사이의 시간적 순서는 전체적으로 사진의 촬영 과정이 시간 흐름에 맞게 순차적으로 배치되는 것을 의미한다. 즉, 시간적 순서는 사용자가 촬영된 사진들이 전체적으로 어느 시점에 촬영을 했는지를 파악하기 위한 청사진을 제공하는 중요한 정보이다. MediaGLOW는 각 사진들이 색상정보와 촬영 시각 정보를 고려하여 2차원 공간에 배치하는 알고리즘을 사용하게 되는데, 만약 MediaGLOW가 촬영 시각 정보만을 고려하여 각 사진들을 배치한다면, 전체 사진들의 시간적 순서를 유지할 수 있지만, 각 클러스터 사진들 사이의 색상 정보에 따른 응집성과 같은 것들은 포기해야 하는 단점이 있다.

전체적인 사진의 촬영 흐름 정보를 최대한 유지하기 위해서,

(a) 촬영시각 클러스터링



(b)  $C_i$  사진들의 구간 그래프



(c) 구간 그래프와 최대 클릭 찾기 알고리즘의 결과

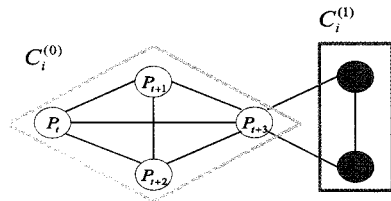


그림 2: Cooper의 촬영 시각에 따른 클러스터링과 구간 그래프를 이용한 세부 클러스터링. (a) 시간 순서에 따라 정렬된 각 사진들을 Cooper의 방법에 따라 클러스터링을 수행한다. (b) 촬영 시각 순서에 맞추어 연속적으로 사용자가 지정한 특정값 이상 유사한 색상의 사진들은 간격으로 할당하여 구간 그래프를 구성하며, 그래프에서 클릭을 찾는다.  $t(\cdot)$ 은 사진들의 촬영 시각을 의미한다. (c) (b)의 간격에 의해서 형성된 구간 그래프와 2개의 클릭.

PHOTOLAND는 각 사진 촬영 시각의 응집성(시간적 순서)을 고려하여 사진을 배치하였다. 그러나 각 사진들 중, 사진의 촬영 시각 차이와 사진의 색상 유사도가 큰 경우, PHOTOLAND는 각 사진 클러스터간의 시간적 순서를 보장하지 못한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서, 각 사진들의 시각화 과정에서 순차적인 격자 인터페이스와는 달리, 각 사진 클러스터들 사이의 시간적 순서를 유지한 격자 인터페이스를 제안하였다.

### 2.3 화면 공간의 효율적인 사용

각 사진들의 시각화 과정에서 화면에 렌더링 되는 공간을 효율적으로 사용하기 위한 연구 또한 많이 진행되었다. 순차적인 그리드 레이아웃을 사용하는 상용화된 프로그램과 연구들 중, 그림 1 (a)의 PhotoTOC [4]와 PhotoMESA[7]가 화면을 효율적으로 사용하기 위한 대표적인 연구이다.

PhotoMESA는 각 사진들의 썸네일을 작게 만들어서 클러스터별로 나열한 다음 사용자가 원하는 사진을 고성능으로 확

대하여 시각화하는 방법을 제공한다. PhotoTOC [4]는 왼쪽 편의 인덱스 뷰와 오른쪽의 내용 뷰를 화면을 제공함으로써, 사용자가 각 클러스터의 요약화된 대표 사진을 선택하고 각 클러스터의 세부 사진들을 볼 수 있는 인터페이스를 구현하였다. 그러나 이 방법은 전체적인 사진의 흐름을 각 클러스터의 대표 사진들로만 파악해야 하는 단점이 있으며 전체 사진들을 시각화하기에는 문제점이 존재한다.

### 3. 최대 클릭 찾기를 이용한 클러스터링

MediaGlow의 경우, 사진들의 색상과 촬영 시각을 동시에 고려한 유사도에 따라 2차원공간에 각 사진들을 배치하기 때문에, 인접한 사진들은 서로 색상만 유사한 사진들로 구성되지 않는다. 또한 사진 배치시 색상 유사도만을 고려할 경우, 시간인관성에 대한 정보가 깨어져, 사용자들에게 혼란을 줄 수 있는 한계점이 존재한다. 그러므로 본 논문에서는 사진의 촬영 시각과 색상 정보를 최대한 활용하기 위해서, 본 논문에서는

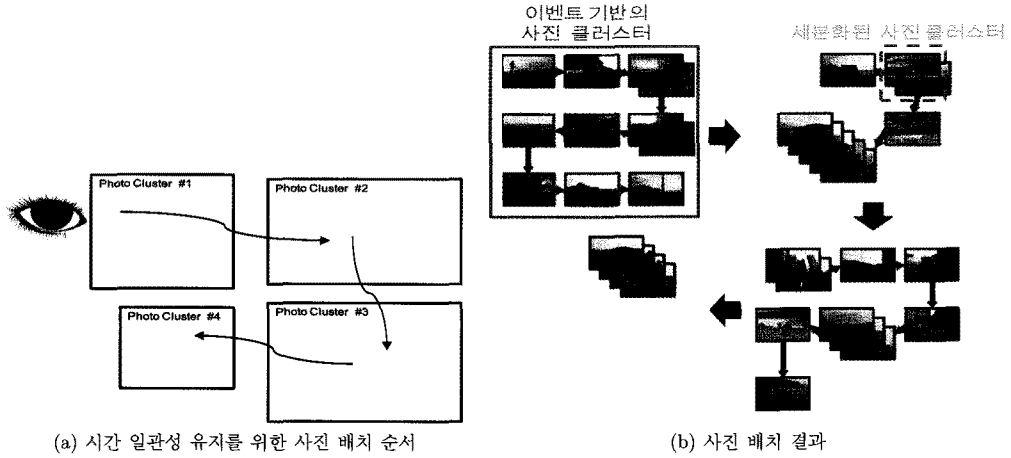


그림 3: 제한한 논문에서 사용한 사진 배치 순서. (a) 각 사진 클러스터의 시간 일관성을 유지하기 위해, 붉은색 화살표 방향의 순서로 사진 클러스터들을 배치한다. 촬영 시각이 이전 이후인 사진 클러스터들은 인접되게 배치하여 사진의 시간 일관성을 향상한다. (b) 본 논문에서 제안한 사진 배치 결과.

먼저 Cooper의 클러스터링 방법 [5]으로 각 사진들을 클러스터링 한다. 각 사진들의 촬영 시각 차이가 작다면 그 사진들은 동일한 장소에서 유사한 모델을 촬영할 가능성이 많기 때문에, 촬영 시각으로 나누어진 각 클러스터 사진들은 서로 유사한 사진들이 많이 존재하게 된다. 만약 나누어진 클러스터의 세부 사진들 중 서로 색상이 유사한 사진들의 쌍을 찾아 다시 세부적인 클러스터로 분류한다면, 촬영 시각과 색상 정보를 둘 다 고려할 수 있다. 일반 그래프  $G$ 에서 부그래프  $G_S$ 가 완전 그래프 (complete graph)를 구성할 때, 부 그래프  $G_S$ 를 클릭라 하며, 부 그래프  $G_S$ 를 구성하는 각 노드들은 서로 에지가 할당되어 연결 (완전 그래프) 된다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 사진 클러스터링 방법을 보여 준다. 먼저, Cooper의 방법으로 클러스터링된 각 사진 집합을 구간 그래프  $G$ 를 이용하여, 그래프  $G$ 의 클릭를 찾아서 각 클릭를 세부 클러스터로 분류한다. 구간 그래프를 구성하기 위해서는 각 노드 사이의 간격을 결정해야 하는데, 본 논문에서는 Prasad가 제안한 25가지 색상의 색상 유사도를 이용하여 [6], 구간 그래프  $G$ 의 간격을 설정하였다. 이 때,  $2Mb$ 가 넘는 원본 사진들을 25가지 색상으로 양자화하기에는 많은 시간 비용이 소모되기 때문에, 본 논문에서는 GPU를 이용한 CUDA의 병렬처리 기능을 사용하여, 각 사진들의 양자화 모듈 변환에 대한 시간 비용을 개선하였다 [8].

본 논문에서는 최대 클릭 찾기 알고리즘을 이용한 클러스터링 방법을 다음과 같이 예를 들어 설명한다. 촬영 시각에 의해 클러스터링된 사진들의 집합을  $C_i$ ,  $C_i$ 에 속한 사진들을  $P_t$ 부터  $P_{t+1}$ 에서 촬영 시각에 의해 연속되는 사진들이라고 가정하자 (즉,  $C_i = \{P_t, P_{t+1}, \dots, P_{t+5}\}$ ).  $C_i$ 의 각 사진들의 유사도가 표 1과 같다면, 색상 유사도에 따라 연속인 각 사진집합의 경우,

각 간격이 그림 2 (b)와 같이 구성되며, 그 결과 그래프 2 (c)와 같은 구간 그래프와 클릭 찾기에 의한 색상 유사도 클러스터 2개 ( $C_i^{(0)}, C_i^{(1)}$ )가 형성된다. 그림 2 (b)에서  $t(\cdot)$ 은 사진들의 촬영 시각을 의미한다. 그림 2은 촬영 시각 순서에 따라 정렬된 각 사진들을 그림 (a)와 같이 Cooper의 방법에 따라 클러스터링된 사진들을 보여주며, 촬영 시각에 의해 클러스터링된 각 사진들을 그림 (b)와 같이 최대 클릭 찾기 알고리즘에 의해 구성된 구간들과 형성된 구간 그래프 및 클릭들을 보여준다. 그림 (b)의 구간 그래프는 25가지 색상을 비교한 유사도가 사용자가 지정한 임계값보다 연속적으로 높을 경우 간격이 설정되게 되며, 그 최대 클릭 찾기 알고리즘 결과  $C_i$  클러스터는  $C_i^{(0)}$ 와  $C_i^{(1)}$ 의 두 클릭 (두개의 세부적인 클러스터)로 분류된다.

표 1: 촬영 시각에 의해 클러스터링된 사진 집합  $C_i$ 의 색상 유사도. 이 색상 유사도를 이용한 최대 클릭 찾기 알고리즘에 의해 2개의 세부 클러스터  $C_i^{(0)} = \{P_t, P_{t+1}, P_{t+2}, P_{t+3}\}$ 와  $C_i^{(1)} = \{P_{t+4}, P_{t+5}\}$ 를 구할 수 있다.

| $SC(C_i)$ | $P_t$ | $P_{t+1}$ | $P_{t+2}$ | $P_{t+3}$ | $P_{t+4}$ | $P_{t+5}$ |
|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $P_t$     | 1.00  | 0.85      | 0.92      | 0.75      | 0.68      | 0.87      |
| $P_{t+1}$ | 0.85  | 1.00      | 0.75      | 0.72      | 0.78      | 0.37      |
| $P_{t+2}$ | 0.92  | 0.75      | 1.00      | 0.84      | 0.58      | 0.77      |
| $P_{t+3}$ | 0.75  | 0.72      | 0.84      | 1.00      | 0.78      | 0.37      |
| $P_{t+4}$ | 0.68  | 0.78      | 0.58      | 0.78      | 1.00      | 0.82      |
| $P_{t+5}$ | 0.87  | 0.37      | 0.77      | 0.37      | 0.82      | 1.00      |

## 4. 시간 일관성을 고려한 사진 배치 및 사용자 평가

본 논문에서 구현한 각 클러스터의 사진 배치 알고리즘을 설명한다. 격자 공간의 사진 배치에서 각 행이 변경될 때마다 사람의 시선이 연결되도록 지그재그 형태로 그림 3의 (a)와 같이 배치한다. 각 사진의 클러스터들을 이와 같이 배치함으로써, 사용자가 다음 행을 탐색할 때 사용자의 시선에서 시간 일관성을 유지할 수 있다. 그리고 구간 그래프의 최대 클릭 찾기 알고리즘에 의해 클러스터링된 세분화된 사진 집합들은 그림 (b)와 같이 이벤트 클러스터 안에 그림 (a)와 같은 형태로 각 사진들을 배치한다.

본 논문에서 제안한 사진 클러스터링 및 시각화 결과를 평가하기 위해서, 기존의 순차적인 격자 레이아웃을 사용하고 자동 클러스터링 기능을 제공하지 않는 ACDSec Photo Manager[9]와 본 논문에서 제안한 인터페이스를 비교하는 사용자 평가를 수행하였다. 설문조사에 참여한 평가자의 수는 8명이며, 각자 자신이 촬영한 사진 집합에서 랜덤으로 선택된 사진을 찾고 분류하는 과정을 수행한 후, 각 설문조사의 항목들의 점수를 결정하였다. 각 설문조사 항목과 그 결과는 표 2과 같으며, 사진 관리에 있어서, 사진 탐색과 전체 사진의 흐름 파악 그리고 사진 분류 기능면에서 제안한 시스템이 우수한 것으로 평가되었다.

표 2: 설문 조사와 사용자 평가 결과. (0: Bad 5: Good)

| 질문              | ACDSec | 제안한 인터페이스 |
|-----------------|--------|-----------|
| 사진 분류를 위한 편의성   | 3.23   | 4.13      |
| 사진 탐색을 위한 효율성   | 3.12   | 4.26      |
| 전체 사진 집합의 흐름 파악 | 2.5    | 3.75      |

## 5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 사진의 촬영 시각 정보와 색상 정보를 동시에 활용하기 위한 클러스터링 방법을 제안하였다. 제안한 클러스터링 방법은 Cooper의 촬영시각에 근거한 이벤트 클러스터링을 수행하고, 클러스터링된 각 사진들의 구간 그래프의 클릭을 이용하여, 서로 색상이 유사한 사진들을 분류하는 방법을 제안하였다. 또한 기존의 사진 관리 시스템에서 사용하던 순차적인 격자 인터페이스를 변형하여, 사용자의 사진 탐색 시선이 연결되도록 시간일관성을 유지하는 사진 배치 방법을 적용하였다. 사진 관리에 있어서, 본 논문의 기여는 다음과 같다.

1. 사진 집합을 촬영 시각 기반의 이벤트 클러스터링을 수행하고, 클러스터링된 사진 집합을 색상 정보에 따라 세분화

함으로써, 촬영 시각 정보와 색상 정보를 활용한 클러스터링을 수행한다.

2. 각 사진 집합의 시간 일관성을 유지하기 위한 사진 배치 방법을 제안하였고, 색상 정보가 서로 유사한 사진 집합들을 중첩되게 배치함으로써, 사용자에게 할당된 화면 공간을 효율적으로 사용한다.
3. 두 사진의 색상을 비교할 때, 25가지 색상으로 양자화를 수행하였는데, 이 양자화 과정을 GPU를 이용한 CUDA 연산으로 구현함으로써, 클러스터링 수행시 소모되는 시간 비용을 절감하였다.

클러스터 사진들을 배치할 때, 각 클러스터가 화면 공간에 차지하는 면적을 고려하지 않았다. 그 결과 많은 수의 사진이 짧은 시간에 촬영되어, 클러스터링된 사진의 수가 많은 경우, 화면 공간에 사용하지 않는 비어 있는 공간이 생성된다. 본 논문에서는 클러스터의 사진 배치 시, 에너지 함수와 같은 목적함수를 이용하여, 여백을 최소화하기 위한 방법을 향후 연구과제로 제시한다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부, 문화체육관광부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [KI001820, 영상 및 비디오 콘텐츠를 위한 계산사진학 기술 개발]

## 참고 문헌

- [1] C. J. Dong-Sung Ryu, Woo-Keun Chung and H.-G. Cho, "PHOTOLAND: A new image layout system using spatio-temporal information in digital photos," in Proc. of the ACM SAC '10, pp. 1884-1891, 2010.
- [2] 류동성, 정우근, 조환규, "격자 기반의 디지털 사진 시각화와 계층적인 클러스터링 방법," in 제 36회 한국정보과학회 컴퓨터종합학술대회, pp. 208-209, 2009.
- [3] A. Girgensohn, F. Shipman, L. Wilcox, T. Turner, and M. Cooper, "MediaGLOW: organizing photos in a graph-based workspace," in Proc. of IUI . , pp. 419-424, 2009
- [4] J. Platt, M. Czerwinski, and B. Field, "PhotoTOC: automatic clustering for browsing personal photographs," in Proc. of the 4-th ICICS-PCM, vol. 1, Dec., pp. 6-10 Vol.1, 2003
- [5] M. Cooper, J. Foote, A. Girgensohn, and L. Wilcox, "Temporal event clustering for digital photo collections,"

ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications, vol. 1, no. 3, pp. 269–288, 2005.

- [6] B. G. Prasad, K. K. Biswas, and S. K. Gupta, “Region-based image retrieval using integrated color, shape and location index,” in Proc. of CVIU , vol. 94, no. 1-3, pp. 193–233, 2003.
- [7] B. B. Bederson, “PhotoMesa: a zoomable image browser using quantum treemaps and bubblemaps,” in Proc. of the 14th ACM UIST, pp. 71–80, 2001
- [8] Wiki, “Cuda,” <http://en.wikipedia.org/wiki/CUDA>.
- [9] ACDSsystems, “ACDSee photomanager.” <http://store.acdsee.com/>.

### 〈 저자 소개 〉



류동성

- 2004년 창원대학교 정보통신공학과 졸업 (학사)
- 2006년 창원대학교 정보통신공학과 졸업 (공학석사)
- 2006년 ~ 현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정(수료)
- 관심분야 : 3D 그래픽스, 가상실적렌더링



조환규

- 1984년 서울대학교 계산통계학과 졸업 (학사)
- 1986년 한국과학기술원 전자계산학과 졸업(공학석사)
- 1990년 한국과학기술원 전자계산학과 졸업(공학박사)
- 1990년 ~ 현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 정교수
- 관심분야 : 그래픽스, 생물정보학, 응용그래프이론