

論文2003-40CI-3-2

샷 기여도와 왜곡률을 고려한 키 프레임 추출 알고리즘 (Key Frame Extraction using Shot Coverage and Distortion)

李重鏞*, 文泳植**

(Joong Yong Lee and Young Shik Moon)

요약

키 프레임 추출 알고리즘은 비디오 정보 검색분야에서 중요한 연구 대상의 하나로 인식되어 왔다. 그러나 그동안의 많은 연구에도 불구하고 대부분의 방식들이 추출된 키 프레임의 중요성을 정량적인 수치로 제시하지 못하는 경우가 많으며, 복잡하거나 또는 효율적이지 못한 단점이 있다. 본 논문에서는 샷 내의 프레임들에 대해 샷 기여도와 왜곡률을 고려하여 키 프레임을 추출해내는 방식을 제안한다. 제안하는 방법은 키 프레임 후보 추출 과정과 그 후보들을 이용한 키 프레임 추출 과정으로 이루어져 있다. 키 프레임 후보 추출 과정에서는 먼저 샷 내의 인접한 모든 프레임간의 유사도를 구하여 각각의 프레임의 전체 샷에 대한 기여도를 계산하며, 이 결과로 나온 각 프레임의 기여도에 따라 상위 10% 범위의 프레임들을 키 프레임 후보로 추출한다. 키 프레임 추출 과정에서는 후보 추출 과정에서 추출된 프레임들을 대상으로 샷 전체에 대한 왜곡률을 계산하여 가장 샷에 영향력이 많은 프레임을 키 프레임으로 추출한다. 키 프레임을 평가하는 과정은 주관적인 작업이기에 이를 입증하기 위해서 통계학적 조사방법으로 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였으며, 실제 동영상에 대한 실험을 통해 추출된 키 프레임과 다른 방식으로 추출된 키 프레임의 비교를 통해 기존의 방법들보다 13~50% 이상의 성능 향상이 있었음을 실험적으로 확인할 수가 있었다.

Abstract

Key frame extraction has been recognized as one of the important research issues in video information retrieval. Although progress has been made in key frame extraction, the existing approaches do not evaluate the importance of extracted frame quantitatively, and they are computationally expensive or ineffective. In this paper, we introduce a new algorithm for key frame extraction using shot coverage and distortion. The algorithm finds significant key frames from candidate key frames. When selecting the candidate frames, the coverage rate to the total frames from each frame is computed by using the difference between the adjacent frames in the shot. The frames within 10% from the top are selected as the candidates. Then, by computing the distortion rate of the candidates against all frames, pick the frames which are most representative are selected. The performance of the proposed algorithm has been verified by a statistical test. Experiments show that more than 13-50% improvement has been obtained by the proposed algorithm compared to the existing methods.

Keywords : key frame, shot coverage, distortion, statistical test

* 正會員, 大信證券 電算開發팀
(Daishin Securities co. Ltd.)

** 正會員, 漢陽大學校 電子計算學科

(Department of Computer Science and Engineering,

Hanyang Univ.)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00281-0)지원으로 수행되었음.

接受日字:2002年12月4日, 수정완료일:2003年4月25日

1. 서 론

근래와 같은 정보화 시대에는 멀티미디어 데이터들이 하루가 다르게 다양한 형태로 쏟아져 나오고 있으며, 수없이 많은 멀티미디어 데이터들은 방대한 양의 정보를 포함하고 있기 때문에 전체의 데이터를 조사하지 않고 주된 핵심을 알아내기란 매우 어려운 일이다. 또한, 제한된 전송대역폭과 저장 용량의 한계로 인해 멀티미디어 데이터는 작은 단위로 분할되어질 필요가 있으며 동영상에 대한 분석을 통해 체계적인 색인 체계를 갖추어야 한다^[1]. 이를 위해서는 동영상 데이터를 하나의 카메라에서 얻은 시간적 공간적으로 연속적인 프레임들의 집합인 샷 단위로 분할하고 분할된 샷에서 비디오 데이터의 요약과 브라우징, 검색 및 동영상의 유사성을 비교하는데 사용되어지는 대표 프레임을 추출하는 방법이 필요하다^[2, 3].

키 프레임이란 샷의 내용을 가장 잘 설명할 수 있는 프레임을 말한다. 하지만, 현재의 컴퓨터 비전의 기술은 의미론적인 정보를 포함하는 특징 값을 사용하여 키 프레임을 추출할 수 없기 때문에, 저 수준의 특징 값들을 사용하여 키 프레임을 추출하게 된다^[1, 4, 5]. 또한 키 프레임 추출은 주관적인 작업이기 때문에 사람마다 다를 수 있다는 점도 키 프레임을 추출하는 것을 어렵게 하는 요인이다.

이러한 키 프레임 추출 분야에 대하여 지금까지 많은 알고리즘이 제시되어 왔다^[1-11]. Nagasaka 와 Tanka 가 제안한 샷의 경계를 이용하는 방식^[6]은 분할된 샷의 경계에 있는 처음 프레임을 키 프레임으로 간주하는 방식으로, 매우 간단하고 빠른 반면 샷의 내용적인 측면은 전혀 고려되지 않고 하나의 샷에 하나의 키 프레임만으로 개수가 제한된다. Zhang 과 Smoliar는 각 샷의 여러 가지 시각적인 특징 값을 이용하여 키 프레임을 추출하는 알고리즘^[7]을 제시하였다. 이 알고리즘은 키 프레임 개수가 한 개로 한정되어 있지 않고, 여러 특징 값들을 사용하여 영상을 해석하고 키 프레임을 선정한다. Wolf는 중요한 프레임의 경우 카메라가 정지되어 있을 것이라는 가정 하에 Optical flow를 계산하여 움직임 정보를 이용한 키 프레임 추출 알고리즘^[8]을 제안하였다. 그밖에도 Dufaux가 제안한 activity에 기반하여 키 프레임을 추출하는 방식^[9], Han과 Tewfik이 제안한 교유벡터와 교유값을 이용하여 샷의 경계를 검

출하고 키 프레임을 선택하는 방식^[4, 10]이 있다.

본 논문에서는 MPEG 동영상에서 DC 정보를 이용하여 키 프레임을 추출하고자 하며, 기존 연구들에서 보여지지 않았던 키 프레임이 샷 내에서 차지하는 기여도를 정량적인 값으로 제시함으로써 키 프레임 선택의 타당성을 부여하고자 한다. 제안하는 알고리즘에서는, 먼저 샷 내의 인접한 모든 프레임간의 유사도를 구하여 각각의 프레임의 전체 샷에 대한 기여도를 계산하며, 이 결과로 나온 각 프레임의 기여도에 따라 상위 10% 범위의 프레임들을 키 프레임 후보로 추출한다. 후보 추출 과정에서 추출된 프레임들을 대상으로 샷 전체에 대한 왜곡률을 계산하여 가장 샷에 영향력이 많은 프레임을 키 프레임으로 추출한다.

II. 제안된 키 프레임 추출 방법

1. 키 프레임 후보 선정

본 논문에서 제안하는 키 프레임 추출 알고리즘은 크게 두 단계의 과정을 거친다. 첫째로, 샷 내의 각각의 프레임의 기여도를 구하여, 상위 10%에 있는 프레임을 키 프레임 후보로 설정한다. 둘째로, 설정된 후보 프레임들을 대상으로 전체 샷에 대한 왜곡률을 계산하여 최종 키 프레임을 추출한다.

먼저, 키 프레임 후보 설정 과정에서는 “동영상에서의 하나의 샷에서 데이터가 가지고 있는 본질적인 특성, 강조하고자 하는 내용들은 카메라가 많이 주시할 것이다” 라는 가정에서 출발한다^[1, 4]. 즉, 주된 내용은 샷에서 여러 프레임에 걸쳐 표현되기 때문에, 이러한 내용적인 측면에서의 기여도를 계산하여 기여도가 높은 프레임을 선정할 수 있다면, 그 프레임이 키 프레임이 될 확률이 매우 높다고 할 수 있다. 프레임의 기여도를 구하는 상세 과정은 아래와 같다.

1. 프레임간의 Correlation을 계산한다.

$$Corr(x, y) = \frac{Cov(x, y)}{SD(x) \times SD(y)} \quad \text{식(1)}$$

$Corr(x, y)$ 는 공분산을 의미하며, SD 는 표준편차를 의미한다.

2. 샷 내의 각 프레임에 대하여 평균 Correlation을 구한다.

$$E_x\{Corr\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Corr(x, i) \quad \text{식(2)}$$

N은 샷 내의 전체 프레임의 개수이다.

3. 식(1)과 식(2)에서 계산된 Correlation과 평균 Correlation을 이용하여 각 프레임과 관련성 있는 프레임의 개수를 카운트 한다.

$$I \in S_x \text{ if } \text{Corr}(x, I) > E_x\{\text{Corr}\} \quad I = x \dots N \text{ 식(3)}$$

I는 샷 내의 프레임이며, S_x 는 x번째 프레임과 관련성 있는 프레임의 집합이다.

4. 각 프레임에 대하여 전체 샷에 대한 기여도 P_x 를 계산한다.

$$P_x = \frac{n(S_x)}{N} \quad \text{식(4)}$$

위의 과정을 이용하면 모든 프레임에 대하여 각각의 기여도를 계산할 수 있다. 기여도가 높을수록 선택되어진 프레임과 상관관계가 있는 프레임의 개수가 많은 것이므로, 유사하고 많이 나오는 프레임의 대표라고 할 수 있으며, 강조되고 주된 내용은 그 내용을 담고 있는 프레임이 많이 나올 것이라는 초기의 가정에 부합하게 된다.

1단계에서는 각 프레임간의 유사성의 척도로 Correlation을 이용하였다^[11]. 2단계에서는 3단계에서 관련성 있는 프레임 여부를 판단할 때 사용될 문턱치를 설정하기 위하여 해당 프레임과 다른 프레임들간의 Correlation의 평균을 계산하였다.

3단계에서는 해당 프레임과 관련성이 있는 프레임들의 개수를 카운트 하였다. 이때, 거의 유사한 프레임들의 경우 단순히 샷 전체에서 관련성 있는 프레임의 개수를 카운트 하면 모두가 동일한 기여도가 나온다. 이는 이후 단계인 키 프레임 후보 선정에 있어서 동일한 관련성, 동일한 기여도의 프레임만을 후보로 선정하게 되는 경우가 발생하게 되는 원인이 될 수 있다. 따라서 관련성 있는 프레임을 카운트 할때 현재의 프레임부터 샷의 마지막 프레임까지의 범위에 대해서 카운트 하도록 한다. 이런 방식을 취함으로써, 관련성 있고 기여도가 높은 프레임들 중에서 가장 먼저 나오는 프레임이 확률적으로 키 프레임으로 선택될 가능성이 크며, 이러한 방식을 취하더라도 샷 전반에 걸쳐 관련성이 있는 프레임들이 존재하는 경우에는 관련성 있는 프레임들이 거의 후보로 모두 추출될 확률이 크므로, 의외의 프레임을 키 프레임으로 선택할 경우는 없어지게 된다.

4단계에서는 각 프레임에 대하여 3단계에서 구해진

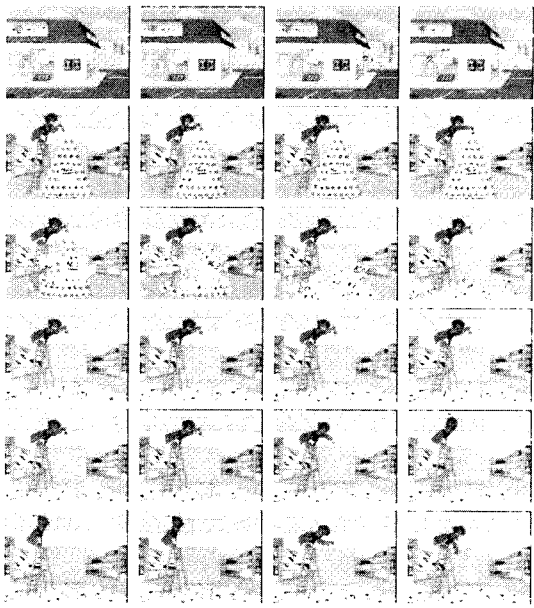


그림 1. 프레임 기여도를 이용한 키 프레임 후보 추출
Fig. 1. Extraction of candidate key frames extraction using shot coverage.

관련성 있는 프레임 개수를 이용하여 전체 샷 내에서의 기여도를 계산한다. 계산된 기여도에서 상위 10%에 있는 프레임들을 키 프레임 후보로 설정한다. <그림 1>은 음영색으로 표기된 프레임을 통하여 이와 같은 단계를 거친 후의 키 프레임 후보 추출 결과를 보여주고 있다.

2. 키 프레임 추출

본 논문에서는 Correlation을 이용한 기여도를 계산하여 키 프레임 후보를 설정한 후 키 프레임을 선택하는 방식을 취하였다. 이는 비슷한 기여도를 가지는 프레임이 존재할 경우, 어떤 프레임이 키 프레임으로 적절한지에 대한 척도를 제시하기 위함이다. 실제로, 전체 샷에서 기여도가 높은 몇몇 프레임들이 기여도가 비슷한 경우에는 어떤 프레임이 샷에 대해 지배적인 위치에 있는지를 판별하기가 모호하다. 특히 동일한 기여도를 가지는 여러 개의 프레임이 존재할 경우 그 문제는 더욱 심각하다. <그림 2>는 음영색으로 표기된 프레임들을 예로하여 이러한 경우의 예를 보여주고 있다.

<그림 2>는 실제 73개의 프레임 중, 샷의 흐름을 보이는 일정 간격의 24개의 프레임들을 별도로 추출하여 기여도에 대한 예를 보여주고 있다. 이 경우 기여도를 계산해 보면, 1번 프레임과 17번 프레임의 경우 동일한 기여도 0.48을 가진다. 물론, 후보 추출 과정에서 언급



그림 2. 동일한 기여도를 가지는 프레임이 존재하는 샷
Fig 2. An example of shot including same coverage rates.

했듯이 연속된 여러 프레임들의 기여도가 같을 경우 먼저 나오는 프레임에 우선권을 주어 후보로 추출하게 되지만, 이러한 방식으로도 동일한 높은 기여도를 가지는 프레임의 경우 함께 추출되게 된다. 키 프레임을 선택하는 과정에 있어 이러한 모호성을 배제하기 위하여, 본 논문에서는 기여도에 따라 상위 10%에 있는 프레임을 후보로 선정한 후 그 후보군들에 대하여 왜곡율을 계산하여 샷의 흐름을 최대한 적게 왜곡시키는 프레임을 키 프레임으로 선택하는 방식을 사용하였다. 왜곡률은 식 (5)와 같이 $p+q$ 차 모멘트 방정식을 이용하여 Central Moment를 사용하였다.

$$m_{pq} = x^p y^q f(x, y) \tag{5}$$

(140)

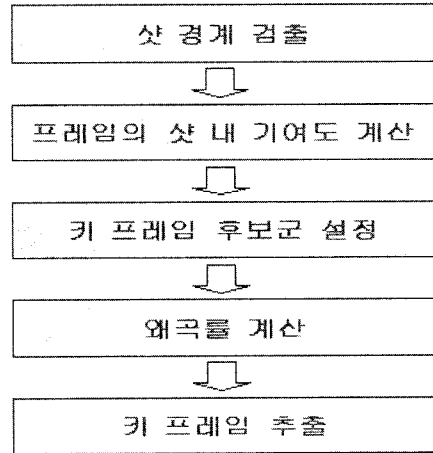


그림 3. 제안하는 알고리즘의 순서도
Fig. 3. Flow chart of the proposed algorithm.

계산에 의한 모멘트를 식 (6)에서와 같이 전체 샷의 모멘트에 대한 비율을 고려함으로써 키 프레임을 선택할 수 있다.

$$Arg \min \left\{ \frac{MOMENT_{partial}}{MOMENT_{shot}} \right\} \tag{6}$$

여기서 $MOMENT_{partial}$ 과 $MOMENT_{shot}$ 은 각각 해당 프레임과 그 프레임에 영향을 받는 프레임간의 모멘트와 전체 샷의 모멘트를 의미한다.

<그림 3>은 제안하는 키 프레임 추출을 수행하는 전체적인 과정에 대한 순서도이다.

III. 실험 결과 및 성능 분석

본 논문에서는 제안하는 알고리즘 외에 샷 구분 경계를 이용하는 방법에 따른 알고리즘들과 Tewfik가 제안한 고유값을 이용하는 알고리즘을 선택하였으며, 선택된 각각의 알고리즘들을 여섯 가지 종류의 카테고리의 동영상에 대해서 실험하였다.

1. 실험 환경

본 논문에서 동영상 키 프레임 추출을 위해서 제안된 시스템은 IBM Pentium III 500 MHz 컴퓨터를 사용하였고 프로그램 언어는 Visual C++ 6.0을 사용하였다. 실험에 사용된 동영상은 다음의 <표 1>과 같이 6종류의 동영상들이며 각각의 샷의 개수는 <표 1>과 같다.

<그림 4>는 실험에 사용된 동영상들의 샘플들을 보여주고 있다.

표 1. 실험에 사용된 동영상들
Table 1. Video samples used in the experiment.

동영상의 종류	샷의 갯수
광고	48
뉴스	52
드라마	45
만화	55
영화	50
캠코더 촬영 영상	30



그림 4. 실험에 사용된 동영상
Fig. 4. Video samples used in the experiment.

2. 실험 및 평가 방식

서론에서도 언급한 바와 같이 키 프레임 추출은 주관적인 작업이기 때문에 성능향상을 평가하는 방법이 정량적인 방법으로는 되기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 영상의 내용을 표현하기 위해서 분할된 샷의 전체 프레임을 제시하였고, 또 선택된 알고리즘과 제안된 알고리즘에 의해 추출된 키 프레임들을 제시하였다. 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 4학년 학생들 중 임의로 선정된 32명의 피실험자들에 대해서, 제시된 샷의 전체 프레임을 바탕으로 각 키 프레임들에 대하여 상(上), 중(中), 하(下)의 세 가지 단계로 평가를 하도록 하였다. 샷의 의미론적인 내용을 추출된 프레임으로 충분히 설

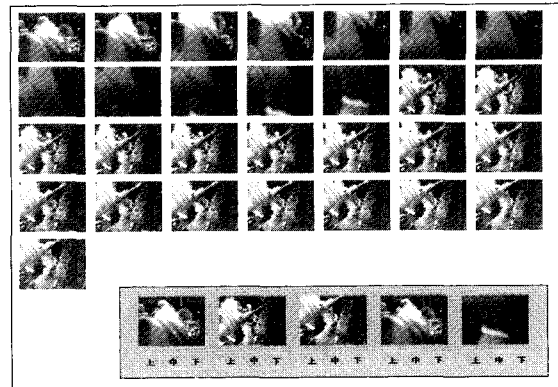


그림 5. 평가 설문지 양식
Fig. 5. Format of evaluation survey.

명하고 있다고 생각될 경우에는 상(上)을 기입하도록 하였고, 어느 정도 설명하고 있다고 생각될 경우에는 중(中), 키 프레임으로는 부족한 정보를 포함하고 있다고 생각될 경우 하(下)를 기입하도록 하였다. <그림 5>는 이와 같은 실험 설문 양식을 보여주고 있다. <그림 5>에서 별도의 5개의 그림은 각각 샷의 첫 번째 프레임을 키 프레임으로 선택하는 방법(A), 샷의 중간 프레임을 키 프레임으로 선택하는 방법(B), 샷의 마지막 프레임을 키 프레임으로 선택하는 방법(C), Tewfik이 제안한 고유값을 이용한 방법(D), 제안하는 방법(E)을 나타내며 이러한 실험 결과를 합산하여 각 알고리즘의 성능을 평가하였다.

3. 실험 결과 및 성능 평가

다양한 영상에 대한 키 프레임 추출 방법의 성능 평

표 2. 뉴스 동영상에 대한 실험 결과
Table 2. Performance result for news video.

	A	B	C	D	E
상(上)	824	1020	899	891	1022
중(中)	506	459	501	504	539
하(下)	334	185	264	269	103

표 3. 광고 동영상에 대한 실험 결과
Table 3. Performance result for advertisement video.

	A	B	C	D	E
상(上)	596	946	795	776	979
중(中)	514	464	476	489	459
하(下)	426	126	265	271	98

표 4. 드라마 동영상에 대한 실험 결과
Table 4. Performance result for drama video.

	A	B	C	D	E
상(上)	523	893	649	791	954
중(中)	489	501	484	484	455
하(下)	428	46	307	165	31

표 5. 영화 동영상에 대한 실험 결과
Table 5. Performance result for movie video.

	A	B	C	D	E
상(上)	577	811	622	706	928
중(中)	428	455	387	415	487
하(下)	595	334	591	479	185

표 6. 만화 동영상에 대한 실험 결과
Table 6. Performance result for animation video.

	A	B	C	D	E
상(上)	511	1087	836	827	1094
중(中)	629	549	596	593	551
하(下)	620	124	328	340	115

표 7. 캠코더 촬영 동영상에 대한 실험 결과
Table 7. Performance result for photograph video.

	A	B	C	D	E
상(上)	250	507	277	322	516
중(中)	281	298	324	328	328
하(下)	429	155	359	310	116

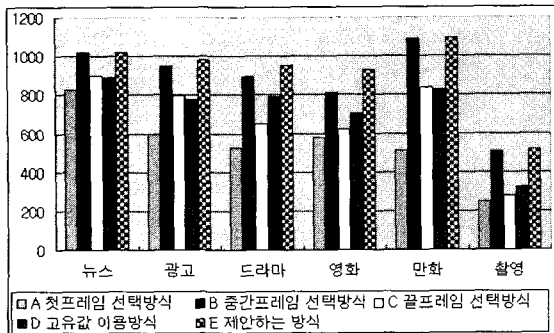


그림 6. 상(上)으로 평가된 프레임의 개수
Fig. 6. The number of frames as high grade.

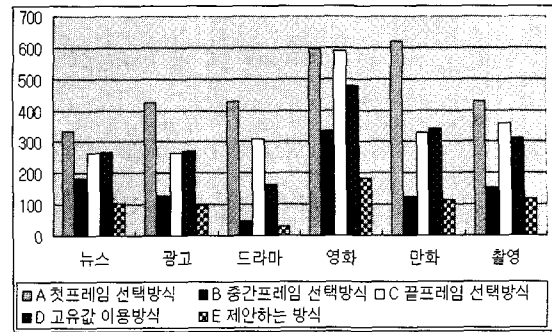


그림 7. 하(下)로 평가된 프레임의 개수
Fig. 7. The number of frames as low grade.

가 결과는 <표 2> ~ <표 7>에 나타난 바와 같다. 각 카테고리에 대해서 상(上)으로 평가된 프레임의 개수를 도표로 나타내면 <그림 6>과 같으며 하(下)로 평가된 것에 대한 도표는 <그림 7>과 같다. 제안한 방법의 성능이 기존의 방법들에 비해서 상으로 평가된 것은 4~67% 증가하였으며 하로 평가된 것은 33~77% 감소하여, 결과적으로 약 13~50% 정도 성능이 향상된 것을 알 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 동영상의 DC 정보를 기반으로 샷에 대한 기여도와 왜곡률을 이용하여 키 프레임을 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 기존의 알고리즘들은 추출된 키 프레임의 중요성을 정량적인 수치로 제시하지 못하는 경우가 많으며, 복잡하거나 또는 효율적이지 못한 단점이 있다. 본 논문에서는 샷 내의 프레임들에 대해 샷 기여도를 계산하여 키 프레임 후보를 추출한 후 왜곡률을 고려하여 키 프레임을 추출하였으며, 선택되어진 프레임의 평가를 피실험자에 의한 검증방법으로 상(上), 중(中), 하(下)의 세 가지 분류로 구분하여 평가하였다. 주관적인 측면이 포함되어 있기 때문에 실험에 대한 평가를 통계학적으로 정규분포를 따를 만큼 실행하였으며, 실험을 통하여 각 카테고리별 성능향상은 샷의 경계에 위치한 프레임을 선택하는 방식, 고유값을 이용한 방식들에 비해 약 13~50%의 성능향상이 있음을 확인할 수 있었다.

키 프레임 추출 알고리즘은 샷 경계를 검출하는 연구의 일부분으로 많이 연구되어 왔으며, 또한 알고리즘의 성능 자체가 샷 경계 검출의 성능에 영향을 많이 받게 된다. 일반적으로 최적의 경계검출의 가정 하에

키 프레임을 추출하는 알고리즘을 연구하고 있으나, 샷 경계 검출 알고리즘과 키 프레임 추출 알고리즘의 상관 관계에 대한 연구가 필요하다. 또한 최적의 키 프레임 개수를 자동으로 추출하는 방법과 영상을 인식하는 인간의 인식과정에 대한 연구가 키 프레임을 추출하는데 함께 연구되어 진다면 보다 명확한 성능 향상을 볼 수가 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] F. Idris and S. Panchanathan, "Review of Image and Video Indexing Techniques" Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 8, No. 2, June, pp. 146~166, 1997
- [2] Y. Zhuang, Y. Rui, T.S. Huang, S. Mehrotra, "Adaptive Key Frame Extraction Using Unsupervised Clustering," Proc. of Int. Conf. on Image Proc., Chicago, Oct. 1998.
- [3] P.O. Gresle and T.S. Huang, "Gisting of Video Documents: A Key Frames Selection Algorithm using Relative Activity Measure," Proc. The 2nd Int. Conf. on Visual Information Systems, 1997.
- [4] R. Brunelli, O. Mich, and C.M. Modena, "A Survey on the Automatic Indexing of Video Data", Journal of Visual Communication and Image Representation 10, 78~112, 1999.
- [5] X. Ju, J. Black, "Summarization of Videotaped Presentations: Automatic Analysis of Motion and Gesture" IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 8, No. 5, September 1998.
- [6] A. Nagasaka and Y. Tanaka, "Automatic Video Indexing and Full-Video Search for Object Appearances," Visual Database Systems II, 1992.
- [7] H. Zhang, J.Wu, D. Zhong, and S.W.Smoliar "An Integrated System for Content-based Video Retrieval and Browsing," Pattern Recognition, vol.30, no. 4, pp. 643~658, 1997.
- [8] W. Wolf, "Key Frame Selection by Motion Analysis," Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Proc., 1996.
- [9] F. Dufaux, "Key Frame Selection to Represent Video" Proc. International Conference Image Processing, pp. 275~278, June 2000.
- [10] K.J. Han and A.H. Tewfik, "Eigen Image Based Video Segmentation and Indexing," Proc. International Conference Image Processing, 1997.
- [11] T. Vlachos, "Cut Detection in Video Sequences Using Phase Correlation," IEEE Signal Processing Letters, Vol. 7, No. 7, July 2000.

저 자 소 개

李 重 鏞(正會員)

1998년 2월 : 인하대학교 통계학과 졸업(공학사). 2001년 8월 : 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 2001년 8월~2002년 8월 : 비트컴퓨터 기술연구소 연구원. 2002년 8월~현재 : 대신증권 전산개발팀 연구원. <주관심분야 : 동영상 분할, 영상처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 정보보호 등>



文 泳 植(正會員)

1980년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1990년 : University of California at Irvine Dept. of Electrical and Computer Engr. (박사). 1982년~1985년 : 한국전자통신연구소 연구원. 1989년~1990년 : Inno Vision Medical 선임연구원. 1990년~1992년 : 생산기술연구원 선임연구원. 1992년~현재 : 한양대학교 전자계산학과 부교수. <주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전, 패턴인식 등>