

움직임 보상을 이용한 MPEG 비디오의 통계적 장면전환검출

(A Statistical Approach to Scene Change Detection using Motion Compensation in MPEG)

장 동 식[†] 권 도 경^{**} 이 만 희^{***}
(Dong Sik Jang) (Do Kyoung Kwon) (Man Hee Lee)

요 약 본 논문에서는 MPEG 비디오의 급진적 장면전환검출을 위한 효과적인 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 각 프레임들의 DC 계수만을 디코딩하여 DC 영상을 추출한다. 그리고 두 DC 영상 사이에서 움직임 예측을 시행함으로써 크기가 줄어든 DC 영상에 적합한 움직임 벡터를 찾아내며, 얻어진 DC 영상과 움직임 벡터를 이용하여 프레임 사이의 유사도 측정치를 구함으로써 장면전환을 검출한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 인접한 프레임 사이의 유사도 측정치, 즉 움직임 보상된 프레임간 상관계수를 계산하고 이를 시퀀스에 관계없이 동일한 값을 가지는 임계값과 비교함으로써 장면전환을 검출한다. 실험 결과, 제안된 알고리즘은 대부분의 시퀀스에서 90% 이상의 'recall'과 'precision'을 나타내었으며 시퀀스에 따라 서로 다른 임계값을 사용하는 기존의 알고리즘들보다 더 좋은 결과를 나타내었다.

Abstract This paper discusses an effective algorithm which is proposed for abrupt scene change detection in MPEG bitstream. The proposed algorithm restores DC images by decoding only DC coefficients and estimates the new motion vectors between adjacent DC images and detects scene change by similarity measure between frames.

The proposed algorithm calculates similarity measure between adjacent frames, i.e motion compensated inter-frame correlation, and detects scene change by comparing this similarity measure with threshold value independent of sequences. Experimental results show that the proposed algorithm has more than 90% 'recall' and 'precision' in almost sequences and these results can be considered better than other algorithms using threshold value dependent of sequences.

1. 서 론

데이터 압축 기술의 급속한 발전과 대용량 저장매체 저 가격화, 프로세서 성능의 고속화, 그리고 인터넷의 확산 등 통신, 정보 기술 등의 발전으로 멀티미디어 검색 시스템의 개발 및 사용이 증가되고 있으며 주문형 비디오(VOD), 전자도서관, 교육, 출판 등에서 점점 그 중요성이 증대되고 있다. 그 중에서 디지털 영상 데이터

는 멀티미디어 검색시스템을 구성하는 가장 핵심적인 요소로 자리잡아 가고 있다. 이에 따라 영상 데이터에서 유용한 정보를 자동으로 추출하고 정지 영상이나 비디오 형태로 효율적으로 검색할 수 있도록 하는 것이 멀티미디어 검색 시스템에 있어서 중요한 특징으로 대두되고 있으며 국제표준협회(ISO)에서도 이러한 요구에 따라 1998년부터 음성, 영상, 비디오 등의 멀티미디어 데이터 검색의 표준을 위한 MPEG-7의 국제 표준화 작업에 착수하기 시작하였다[1][2].

정지영상 분야에서는 내용을 기반으로 한 영상 검색(content-based image retrieval) 기술에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 비디오의 경우 연속된 장면들을 대표하는 대표 프레임(key frame)을 추출하는 방법에 관한 연구가 이루어지고 있다. 즉, 비디오에 있어

[†] 정 회 원 : 고려대학교 산업공학과 교수

jang@korea.ac.kr

^{**} 비 회 원 : 미국 USC 전자공학과

sup2nova@dreamwiz.com

^{***} 비 회 원 : (주)뷰웬 개발팀 연구원

manhee@korea.ac.kr

논문접수 : 2000년 1월 11일

심사완료 : 2001년 7월 12일

서 멀티미디어 검색 시스템 구축을 위한 첫 번째 단계는 비디오를 여러 개의 'shots'으로 분할하는 것이다.

장면 사이의 경계점을 찾음으로써 대표 프레임으로 분할된 비디오는 비디오 검색을 위한 수단으로 사용될 수 있는데 다음과 같은 이점과 응용분야가 존재한다. 첫째, 비디오로부터 중요한 정보를 쉽고 빠르게 찾아낼 수 있는 장면검색(scene browsing)이 가능해지고 둘째, 여러 비디오들이 가지고 있는 'shots'의 특성들을 분석함으로써 같은 종류의 비디오별로 자동 분류할 수 있으며 셋째, 검출된 대표 프레임들을 이용하여 내용 기반 검색 시스템을 제공할 수 있는 등 digital library 응용분야에서 가장 핵심이 되고 기본이 되는 부분이다[3].

비디오 데이터는 필요로 하는 저장 공간이 너무 크기 때문에 모든 멀티미디어 시스템에서는 MPEG, H.26X 등의 압축방법을 이용하여 압축된 비트열(bitstream)의 형태로 비디오 데이터를 저장하고 전송한다. 이런 이유로 최근 들어 압축된 상태의 데이터를 직접 이용하는 압축영역(compressed domain)에서의 장면전환검출 방법에 관한 연구가 진행되고 있다[3][4][5][6][7]. 압축되어 있는 비디오를 여러 개의 'shots'으로 분할하기 위해서는 먼저 디코딩 과정을 거쳐야 하는데 이를 완전히 디코딩 하기 위해서는 많은 디코딩 시간이 소요되고 그에 따라 장면전환검출 알고리즘을 적용하기 위해 다루어야 할 데이터 양이 많아지기 때문에 효율적이지 못한 단점이 있다. 이와 반대로, 압축된 데이터를 직접적으로 이용하여 장면전환검출을 시행할 경우에는 필요한 데이터를 얻기까지 최소한의 디코딩만을 시행하기 때문에 상당한 디코딩 시간이 절약될 수 있으며 또한, 상대적으로 적은 양의 데이터를 가지고 시행되기 때문에 알고리즘의 효율적 적용이 가능해진다.

본 논문에서는 비디오 검색 시스템 구축의 첫 단계인 장면전환검출을 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 압축영역에서 이루어지는데, 블록의 DC 계수만을 디코딩하여 DC 영상을 복원하고, 인접한 DC 영상간의 움직임 벡터를 추정한 후 두 영상 사이의 움직임 보상된 상관관계를 이용하여 장면전환을 검출한다. 제안된 알고리즘은 여러 종류의 장면전환 중 급격한 장면전환을 검출하기 위해 적용되며, 또한 이를 통하여 압축영역에서의 데이터가 어떻게 영상의 전체 정보를 나타낼 수 있는지, 그리고 장면전환검출을 위해 어떠한 방법으로 적용될 수 있는지 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

1 장에서는 연구의 배경과 목적이 기술되었으며 2 장에서는 기존의 장면전환검출 알고리즘들을 고찰하고 그

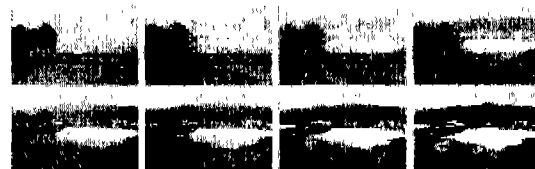
문제점과 원인이 제시되며 3 장에서는 움직임 예측과 프레임간의 상관계수를 이용한 본 논문에서 제안하는 장면전환검출 알고리즘에 대해서 설명한다. 4 장에서는 제안된 알고리즘을 적용한 실험결과를 보여주고 기존 알고리즘과의 비교, 평가가 이루어지며 마지막으로 5 장 결론에서는 본 연구의 내용을 정리, 종합하고 앞으로 연구, 발전되어야 할 부분에 대해서 제시한다.

2. 장면전환검출

'Shot'이란 연속적으로 기록된 일련의 장면을 의미하는 것으로서 하나의 'shot'에서 다른 'shot'으로 바뀌는 것을 장면전환(scene change)이라고 하며 장면전환이 이루어지는 'shot'의 경계점을 찾는 것을 장면전환검출(scene change detection)이라고 한다[4]. 장면전환이 이루어지는 방법에는 여러 가지가 있지만 그림 1의 (a)와 같이 하나의 프레임을 경계로 장면전환이 이루어지는 급격한 장면전환(abrupt scene change)과 이를 'cut'이라고 한다. (b)와 같이 여러 프레임에 걸쳐 장면전환이 이루어지는 점진적 장면전환(gradual scene change)의 두 가지로 분류될 수 있다.



(a) 급진적 장면전환



(b) 점진적인 장면 전환(dissolve)

그림 1 장면전환의 예

장면전환을 검출하기 위한 방법 또한 크게 두 가지로 분류될 수 있는데 비트열을 모두 디코딩하여 완전한 이미지를 복원한 후 검출 알고리즘을 적용하는 비압축영역(uncompressed domain)에서의 방법과, 필요로 하는 만큼의 비트열만을 선택적으로 디코딩한 후 얻어진 데이터를 이용하여 검출 알고리즘을 적용하는 압축영역(compressed domain)에서의 방법이 있다. 비압축영역에서의 장면전환검출 방법은 디코딩 시간이 오래 소요되고 알고리즘에서 사용하는 데이터 양이 너무 많아 비

효율적인 단점이 있는 반면, 압축영역에서의 방법은 디코딩 시간을 줄일 수 있고 데이터 양이 적어지기 때문에 좀 더 복잡한 알고리즘을 효율적으로 적용할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 필요할 경우 나머지 비트열을 모두 디코딩하여 완전한 이미지를 복구할 수 있는 유연성을 가지고 있다.

검출 알고리즘도 급진적 장면전환과 점진적 장면전환에 따라 각각 다른 방법으로 접근되어야 한다. 점진적 장면전환의 경우에는 여러 프레임에 걸쳐 서서히 일어나는 특징이 있기 때문에 상대적으로 많은 요소들이 고려되어야 하며 급진적 장면전환보다 검출 성능이 떨어진다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 급진적 장면전환검출에 적용되며 따라서 이 장에서는 급진적 장면전환검출을 위한 기존의 연구에 대해서 고찰해 본다.

2.1 기존의 장면전환검출 알고리즘

장면전환검출을 위한 알고리즘은 비압축 영역에서는 화소 단위로, 압축 영역에서는 블록 단위로 이루어지는 것이 일반적이다. 가장 간단한 방법으로는 연속된 두 프레임의 휘도 및 색차 화소값들의 차이값(MAD, MSE 등)을 구해서 하나 또는 두 개의 임계값(threshold value)과 비교하는 방법과 두 프레임의 히스토그램을 비교하는 방법이 있다. 압축 영역에서는 화소값 대신에 휘도 및 색차 블록의 DC 계수값을 이용한다.

화소값 또는 DC 계수값들의 차이를 이용하는 경우에는 식 (1)과 같이 전체 영역에 대해서 두 프레임간의 차이를 구한 후 이를 임계값과 비교하는 방법이 있으며 [4], m_k , v_k 를 각각 프레임의 평균과 분산이라고 할 때, 식 (2)와 같이 프레임을 몇 개의 영역으로 분할한 후 likelihood를 구하는 방법이 있다[2][3]. 두 경우 모두 얻어진 값이 임계값 이상이면 장면전환이 선언된다.

$$d(k, k+1) = \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} |X_k[i][j] - X_{k+1}[i][j]| \quad (1)$$

where, $X_k[i][j]$: k 번째 프레임의 (i, j) 위치의 화소값

W, H : 프레임의 가로, 세로 길이

$$d(k, k+1) = \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{q=0}^{Q-1} I(k, k+1) \quad (2)$$

where, $I(k, k+1) = 1$ if $L(k, k+1) > T$
 0 otherwise

$$L(k, k+1) = \frac{\left[\frac{v_k + v_{k+1}}{2} + \left(\frac{m_k - m_{k+1}}{2} \right)^2 \right]^2}{v_k \times v_{k+1}}$$

$L(k, k+1)$: likelihood ratio, $P \times Q$: 프레임내 영역 수

히스토그램을 비교하는 방법도 두 가지로 구분되어

질 수 있는데 전체 영역에 대해서 히스토그램을 비교하는 방법과(global histogram comparison) 프레임을 몇 개의 영역으로 구분하여 비교하는 방법(local histogram comparison)이 있다[4][5][6]. 식 (3)과 식 (4)는 각각 global histogram comparison 방법과 local histogram comparison 방법을 공식화한 것이다. 히스토그램 빈(bin)의 개수 G 는 화소값의 레벨과 같은 256개로 사용하는 경우보다는 영상에 포함된 잡음의 영향을 줄이기 위해 몇 개의 레벨을 하나로 묶어 빈의 수를 줄이는 방법을 많이 사용하며 주로 64개의 빈을 사용한다. 두 경우 역시 얻어진 값이 임계값보다 큰 경우에 장면전환이 선언된다.

$$d(k, k+1) = \sum_{l=0}^{G-1} |h(k, l) - h(k+1, l)| \quad (3)$$

where, $h(k, l)$: k 번째 프레임의 레벨 l 의 히스토그램 값

$$d(k, k+1) = \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{q=0}^{Q-1} H_{af}(k, k+1, p, q) \quad (4)$$

where,

$$H_{af}(k, k+1, p, q) = \sum_{l=0}^{G-1} |h(k, p, q, l) - h(k+1, p, q, l)|$$

$h(k, p, q, l)$: k 번째 프레임의 영역 (p, q) 에서 레벨 l 의 히스토그램 값

이와 달리, Sethi는 I-프레임만을 사용하여 장면전환 검출 문제를 통계적 가설, 점검의 방법으로 접근하였는데[7], 'Kolmogorov-Smirnov 검정', 'Yakimovsky likelihood ratio 검정', ' χ^2 -검정' 등 세 가지 방법을 적용하였으며 식 (5)의 ' χ^2 -검정'을 이용한 방법이 가장 좋은 결과를 나타낸다는 것을 보였다.

$$\chi^2 = \sum \frac{(HP_i - HC_i)^2}{HP_i + HC_i} \quad (5)$$

where, HP_i : 이전 I-프레임의 레벨 i 의 히스토그램 값

HC_i : 현재 I-프레임의 레벨 i 의 히스토그램 값

화소값 이외에 움직임 정보를 비롯한 여러 특징치를 함께 고려하여 장면전환검출 방법에 관한 연구도 이루어졌는데, Meng과 Chang은 DC 계수와 움직임 벡터의 크기, 개수를 이용하여 I, P, B-프레임에 따라 각기 다른 장면전환검출 방법을 사용하는 알고리즘을 제안하였다[3]. Yeo와 Liu는 MPEG 비트열에서 효과적으로 P, B-프레임의 DC 영상을 추정하는 방법을 제안하고 제안된 방법으로 얻어진 DC 영상을 이용하여 장면전환검출 알고리즘을 적용하였으며 색차 성분 없이 휘도 성분만으로도 좋은 결과를 얻을 수 있다는 것을 실험적으로 증명하였다[8][9].

압축 영역에서 에지 영상을 구하여 장면전환을 검출하는 방법 역시 연구되었다. [10]에서는 식 (6)과 같이 AC 계수들 중 저주파에 해당하는 5개의 계수를 이용해 저주파 에지 강도(edge power), P_L 를 계산하고 이를 임계값과 비교해 에지 블록을 구함으로써 에지 영상을 얻어내었으며, 식 (7)에서와 같이 움직임이 보상된 참조 프레임의 수평, 수직방향의 에지 히스토그램, P_H' , P_V' 와 현재 프레임의 수평, 수직 방향의 에지 히스토그램, P_H , P_V 를 비교하여 장면전환검출을 시행하였다. DCT 계수의 특성상 AC 계수를 이용하여 에지 영상을 복원하는 방법은 DC 계수를 이용하여 복원하는 경우보다 더 정확한 에지 영상을 얻을 수 있고 따라서 장면전환검출 결과가 좋은 장점이 있다.

$$P_L = F_{01}^2 + F_{10}^2 + F_{02}^2 + F_{20}^2 + F_{11}^2 \quad (6)$$

where, $F_{ij} : (i, j)$ 위치의 DCT 계수

$$d(k, k+1) = \sum_{x=0}^{M-1} |P_H'(x+u) - P_H(x)| + \sum_{y=0}^{N-1} |P_V'(y+v) - P_V(y)| \quad (7)$$

where, M, N : 에지 영상의 가로, 세로 크기

u, v : 수평, 수직 방향의 움직임 벡터

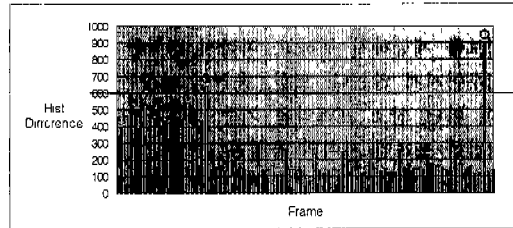
[11]에서는 밝기 값이 변하는 블록에서는 DC 계수의 코드길이(MPEG 신택스에 포함되어 있는 dct_dc_size)가 길어진다는 특징을 이용해 dct_dc_size의 크기를 디코딩하여 에지 블록을 구한 후 에지 영상을 복원하고 이를 장면전환검출에 적용하였다. 이 방법은 알고리즘에 사용되는 데이터를 얻기 위한 디코딩 과정이 상당히 줄어드는 장점이 있다.

2.2 기존 알고리즘의 문제점

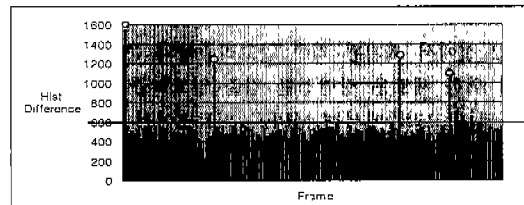
장면전환을 검출하기 위해서는 최종적으로 알고리즘에 의해 얻어진 측정치(difference 또는 similarity)를 임계값과 비교해야 되는데 장면전환이 발생하는 전, 후 프레임의 유형이 매우 다양하기 때문에 실질적으로 모든 시퀀스에 공통으로 적용되는 하나의 임계값을 설정하기가 어렵다. 또한, 프레임의 통계적 성격은 그것이 포함되어 있는 'shot'에 따라 변하기 때문에 동일한 시퀀스에서도 전체적으로 적용되는 임계값을 구하기가 어려운 문제가 있다.

그럼에도, 대부분의 기존의 연구들은 임계값 설정에 대한 문제는 간과하고 있으며 설명 시퀀스의 유형에 따라 적용적으로 적용되는 임계값 설정 기술이 제안되었다 하더라도 그것 또한 장면전환의 다양성 때문에 정확하지 못한 단점이 있다. 기존 알고리즘들에서 임계값 설정이 어려운 이유는 측정치의 범위가 시퀀스의 종류에 따라 다르고, 같은 시퀀스 내에서도 장면전환이 이루어

진 부분과 이루어지지 않은 부분에서의 측정치의 편차가 충분히 크지 않기 때문이다.



(a) Tennis.mpg(Frame 70-150, 352X240)



(b) Pepsi.mpg(Frame 70-260, 352X240)

그림 2 두 시퀀스의 histogram difference 값

그림 2 는 두 시퀀스의 histogram difference를 나타내는데, (a) 시퀀스에서는 임계값이 600으로 설정되어 야 장면전환을 정확하게 검출할 수 있음을 보여준다. 또한, 70 -89 프레임 사이의 difference 값과 90-150 프레임 사이의difference 값의 편차가 크기 때문에, 즉 같은 시퀀스 내에서도 다른 'shots' 사이의 편차가 크기 때문에 서로 다른 임계값을 적용하는 것이 효율적임을 알 수 있다. 그러나, (a)와는 달리 (b) 시퀀스에서는 만약 임계값을 600으로 설정 할 경우 잘못 검출하게 되는 false alarm이 많아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 (a) 시퀀스와 (b) 시퀀스의 통계적 성질의 차이로 인해 difference의 분포가 서로 다르기 때문이다. 다시 말해, 임계값의 설정이 가장 중요함에도 불구하고 기존의 연구들에서는 이를 간과하고 있으며, 따라서 시퀀스에 영향을 적게 받는 측정치의 사용이 필요하다.

기존 연구들의 또 다른 문제점은 압축영역에서 움직임 벡터를 이용하여 장면전환을 검출함으로써 생기는 문제이다. 움직임 정보를 이용하는 기존의 연구에서는 MPEG 비트열에 포함되어 있는 움직임 벡터값을 얻어 내 움직임 보상을 하여 알고리즘을 적용하는데 이러한 방법은 비압축영역에서는 문제가 되지 않지만 이미지 크기가 원 이미지보다 작아지는 압축영역에서는 적합하

지가 않다. 예를 들어, DC 계수만을 이용하여 영상을 복원한다고 가정하는 경우 원 영상의 1/8×1/8 로 크기가 작아지기 때문에 비트열에서 얻어낸 반 화소(half-pixel) 단위의 움직임 벡터값은 크기 변화가 고려된 정보를 제공하지 못하고, 따라서 정확한 움직임보상이 이루어지지 않는다. 또한, 움직임 보상은 인접한 프레임이 아닌 참조 프레임을 기준으로 이루어지기 때문에 인접한 프레임 사이의 움직임 값으로는 적합하지 않은 경우가 있으며 I-프레임에서는 움직임 값을 얻지 못하는 문제점이 있다.

3. 움직임 보상된 상관계수에 의한 장면전환 검출

2.2 절에서 제기된 기존 알고리즘들의 문제점을 해결하기 위한 새로운 장면전환 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서는 MPEG 비트열에서 휘도 블록의 DC 계수만을 디코딩하여 영상을 추정, 복원하고 DC 영상에서 적합하게 적용될 수 있는 움직임 벡터를 구하기 위해 인접한 두 DC 영상 사이의 움직임 예측이 이루어진다. 최종적으로, 복원된 DC 영상과 새로 얻어진 움직임 벡터를 이용하여 '움직임 보상된 프레임간 상관계수(Motion Compensated Inter-frame Correlation : MCIFC)'를 계산하여 이를 임계값과 비교함으로써 장면전환검출이 이루어지게 된다.

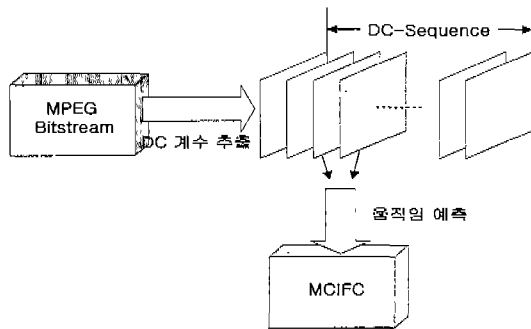


그림 3 장면전환검출 알고리즘의 흐름도

그림 3은 본 논문에서 제안하는 장면전환검출 알고리즘의 흐름을 도식화 한 것이다.

3.1 DCT 계수의 복원

제안된 알고리즘은 압축영역에서 DC 계수만을 이용하여 복원되는 DC 영상에 적용되기 때문에 DCT 계수의 정확한 복원방법이 알고리즘의 성능에 절대적인 영

향을 미친다. I-프레임의 경우엔 참조프레임 없이 화면 내 부호화 되기 때문에 DCT 계수를 직접 얻을 수 있지만 P 와 B 프레임은 움직임 예측을 이용하여 부호화 되기 때문에 DCT 계수 역시 참조 프레임으로부터 움직임 보상을 통하여 얻어내야 한다.

P, B-프레임에서 참조 프레임으로부터 DCT 계수를 예측하는 방법 중 가장 간단한 방법은 움직임 예측된 블록의 계수값을 4개의 참조 블록 중 가장 많이 겹쳐진 블록의 값으로 대체하는 방법이다. 이 경우, 그림 4에서 현재 프레임의 B_c 블록의 계수들의 값은 참조 프레임의 B₂ 블록과 동일한 값을 갖게된다.

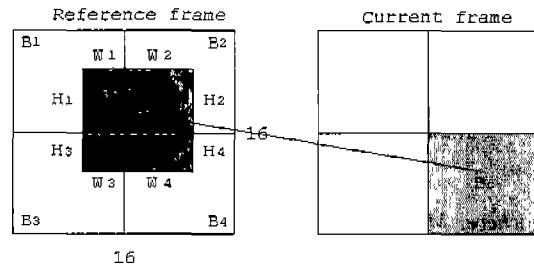


그림 4 DCT 계수의 예측

그러나, 겹쳐진 4개 블록의 계수를 모두 고려함으로써 좀 더 정확함 DCT 계수의 복원이 이루어질 수 있는데, 식 (8)과 같이 현재 블록의 DCT 계수들의 값은 4개의 참조 블록의 가중치 합으로 추정될 수 있으며 따라서, 블록의 DC 계수값 $DCT(B_c)_{ij}$ 를 얻을 수 있다. 이때, 가중치 $h_k w_k$ 는 각 참조 블록과 겹쳐진 면적의 비와 같다[8].

$$DCT(B_c)_{ij} = \sum_{k=1}^4 \frac{h_k w_k}{64} DCT(B_k)_{ij} \quad (8)$$

3.2 상관계수에 의한 프레임 유사도 측정치

제안된 알고리즘에서는 임계값 설정이 시퀀스의 종류에 영향을 적게 받는 유사도 측정치인 '프레임간 상관계수(Inter-frame Correlation : IFC)'의 사용을 기본으로 한다.

W 와 H 가 각각 프레임의 가로와 세로 길이를 나타내고 k 번째 프레임의 평균과 분산을 각각 m_k, σ_k 라고 할 때, 연속된 $k, k-1$ 번째 프레임 사이의 상관계수, IFC는 식 (9)와 같이 계산되어진다.

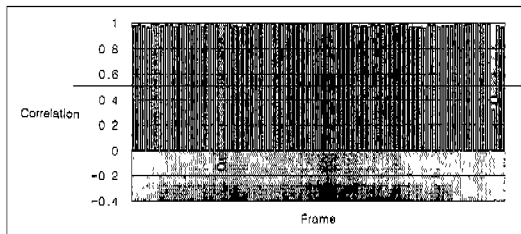
$$S_{IFC} = \frac{\sum_{i=0}^{H-1} \sum_{j=0}^{W-1} (X_k[i][j] - m_k)(X_{k+1}[i][j] - m_{k+1})}{\sigma_k \sigma_{k+1}} \quad (9)$$

$$-1 \leq S_{IFC} \leq 1$$

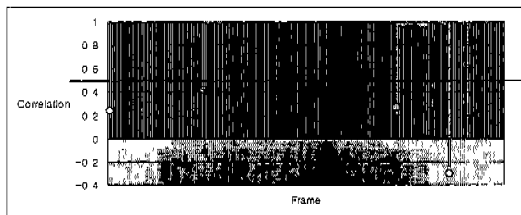
이때, 상관계수 S_{IFC} 가 임계값, T_{IFC} 보다 크면 장면

전환이 선언된다.

그림 5는 서로 다른 두 시퀀스의 IFC 값의 변화를 보여준다. 그림 2와 비교해 볼 때, IFC에 의한 유사도 측정치는 같은 'shot' 내에서의 값과 장면전환이 이루어지는 경우의 값의 편차가 크고, 시퀀스에 관계없이 같은 'shot' 내에서는 거의 비슷한 값(0.8 이상)을 가지며, 또한 범위가 -1, 과 1 사이이기 때문에 거의 모든 시퀀스에 공통적으로 적용되는 하나의 임계값을 설정하기가 용이하다는 장점이 있다.



(a) Tennis.mpg(Frame 70-150, 352X240)



(b) Pepsi.mpg(Frame 70-260, 352X240)

그림 5 두 시퀀스의 IFC 값의 변화

3.3 압축 영역에서의 움직임 예측

IFC에 의한 장면전환점출은 움직임이 심한 'shots'에서는 잘못 검출하는 경우가 많아지는 단점이 있다. 그러므로 이러한 움직임의 영향을 줄이기 위해서 적절한 움직임 보상이 이루어져야 한다. 2.2 절에서 기술된 바와 같이 압축영역의 크기가 줄어든 영상에서(DC 계수로만 복원된 DC 영상의 경우 원 영상의 1/8×1/8) MPEG 비트열에 포함되어 있는 움직임 정보를 이용하여 움직임 보상을 하는 것은 적합하지 않기 때문에 본 논문에서는 압축영역에서 인접한 두 프레임 사이의 움직임 벡터를 이미지 크기에 적합하게 새로 추정하여 움직임을 보상함으로써 좀 더 정확한 결과를 유도할 수 있는 방법을 사용하며 I-프레임에서도 움직임 벡터를 얻을 수 있기 때문에 좀 더 일관된 알고리즘을 구현할 수 있다.

본 논문에서는 움직임예측 방법 중의 하나인 TSS (Three Step Search)[12]를 수정한 움직임예측 방법을 사용한다. 이로부터 알 수 있듯이 TSS를 이용한 움직임 예측은 3단계로 이루어지는데 IFC를 이용하여 구한 유사도 값은 작은 움직임에 대해서는 큰 영향을 받지 않기 때문에 항상 정확한 움직임 값을 구할 필요가 없다. 따라서, 제안된 알고리즘은 인접한 두 DC 영상 사이에서 이루어지고 새로운 정지규칙(stopping rule)을 사용하는 수정된 TSS 방법을 이용한다.

그림 6은 수정된 TSS 방법에서의 움직임 검색순서를 나타낸다. 그림에서 하나의 블록은 원 영상의 8×8 블록의 DC 계수값으로 이루어진 화소를 나타내며, 따라서 16×16 크기의 매크로블록을 단위로 이루어지는 움직임 예측이 제안된 알고리즘에서는 2×2 블록 단위로 이루어지고, 또한 검색영역(search window) 역시 6×6 크기의 작은 영역 안에서 이루어진다.

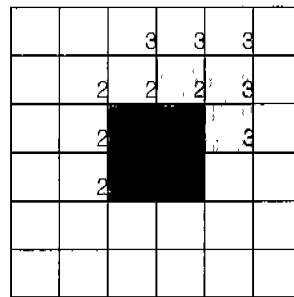


그림 6 수정된 TSS 움직임예측 방법의 검색 순서

제안된 알고리즘에서 사용하는 수정된 TSS 움직임예측 방법은 다음과 같이 3번의 절차를 거쳐서 이루어진다.

STEP-1 :

그림 6의 'point-1'을 중심으로 전, 후 프레임 사이의 MAD를 구한다. 즉, 이전 프레임을 이차원 배열 $X_k[][]$ 라고 하고 현재 프레임을 이차원 배열 $X_{k+1}[][]$ 이라고 할 때,

$$MAD = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 |X_k[i][j] - X_{k+1}[i][j]| \quad (10)$$

만약, $MAD_1 = MAD \leq T_{ME}$ 이면 움직임 예측을 중지하고 이때의 수평, 수직 방향의 움직임 값 $mux = mvy = 0$ 이 된다. 반대로, $MAD_1 > T_{ME}$ 이면 STEP-2로 넘어간다. T_{ME} 은 정지규칙을 적용하기 위해 사용되는 임계값이다.

STEP-2:

'point-1' 주변의 8개의 'point-2'를 중심으로 대한 전,

후 프레임 사이의 MAD를 구한다. n번째 'point-2'를 중심으로 하는 MAD는 다음과 같이 계산된다.

$$MAD_n = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 |X_k[i+MVX_n][j+MVY_n] - X_{k+1}[i][j]| \quad (11)$$

$MAD2 = \min(MAD_1, \dots, MAD_8) \leq T_{ME}$ 이면 움직임 예측을 중지하고 이때의 수평, 수직 방향의 움직임 값 mux 와 mvy 는 각각 $MAD2 = MAD_n$ 를 만족하는 MVX_n, MVY_n 이 된다. $MAD2 > T_{ME}$ 이면 STEP-3로 넘어간다.

STEP-3:

$MAD2 = MAD_n$ 을 만족하는 'point-2' 주변의 8개 'point-3'을 중심으로 하는 MAD를 구한다. m번째 'point-3'의 MAD는 다음과 같이 계산된다.

$$MAD_m = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 |X_k[i+MVX_m][j+MVY_m] - X_{k+1}[i][j]| \quad (12)$$

$MAD3 = \min(MAD_1, \dots, MAD_8) \leq T_{ME}$ 이면 이때의 수평, 수직 방향의 움직임 값 mux 와 mvy 는 각각 $MAD3 = MAD_m$ 을 만족하는 MVX_m, MVY_m 이 된다.

$MAD3 > T_{ME}$ 이면 $MAD1, MAD2, MAD3$ 중 최소값을 갖는 수평, 수직 방향의 움직임 값이 각각 mux, mvy 가 된다. 예를 들어, $\min(MAD1, MAD2, MAD3) = MAD2$ 이면 $mux = MVX_n, mvy = MVY_n$ 이 된다.

MPEG 인코딩(encoding)시에 시행되는 움직임 예측은 엄청난 계산량으로 인해 인코딩에서 가장 많은 계산시간이 소요되는 과정이다. 하지만 본 알고리즘에서 사용하는 수정된 TSS 움직임예측 방법은 DC 영상에서 2x2 블록 단위로 움직임 예측이 이루어지고, 6x6 크기의 탐색영역에서 검색이 이루어지며, 또한 새로운 정지규칙으로 인해 움직임이 아주 큰 경우에만 움직임 보상이 이루어지기 때문에 계산량이 많지 않다는 장점이 있다.

3.4 움직임 보상된 상관계수에 의한 프레임간 유사도 측정치

최종적으로 본 논문에서는 움직임이 보상된 유사도 측정치인 MCIFC를 사용하여 장면전환검출을 시행하게 된다.

k번째 프레임의 평균과 분산을 각각 m_k, σ_k 라고 할 때, 연속된 k, k+1 번째 프레임 사이의 움직임 보상된 상관계수, MCIFC는 아래의 식 (13)과 같이 계산된다.

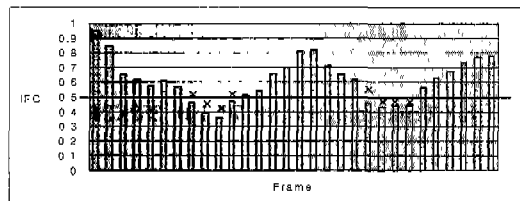
$$S_{MCIFC} = \frac{\sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (X_k[i+mvy][j+mux] - m_k)(X_{k+1}[i][j] - m_{k+1})}{\sigma_k \sigma_{k+1}} \quad (13)$$

$-1 \leq S_{MCIFC} \leq 1$

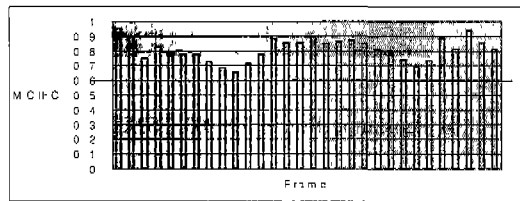
위의 식에서 mux 와 mvy 는 수정된 TSS 방법으로 구

한 각 화소가 속한 2X2 블록의 수평, 수직 방향의 움직임 값이며, 만약 S_{MCIFC} 가 임계값, T_{MCIFC} 보다 크면 장면전환이 선언된다. 그런데, MCIFC로 구한 유사도 값은 움직임 보상이 이루어진 값이므로 IFC를 사용하여 구한 유사도 값, S_{IFC} 보다 전체적으로 높은 값을 갖게된다. 따라서 T_{MCIFC} 는 IFC를 사용할 때의 임계값, T_{IFC} 보다 조금 높게 설정되어야 좋은 결과를 얻을 수가 있다.

그림 7은 움직임이 많은 뮤직 비디오에서의 IFC와 MCIFC 값을 보여준다. 그림에서 보노바와 같이 움직임이 많은 부분에서 IFC는 동일한 'shot' 내에 있는 프레임에도 불구하고 낮은 값을 나타내는 반면 MCIFC는 높은 값을 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉, MCIFC는 IFC가 움직임에 민감한 단점을 효과적으로 보완해 주는 것을 알 수 있다.



(a) IFC에 의한 상관계수의 변화



(b) MCIFC에 의한 상관계수의 변화

그림 7 IFC와 MCIFC 값의 비교(뮤직비디오.mpg)

4. 실험 및 결과

제안된 장면전환검출 방법은 압축영역에서 이루어지기 때문에 비트열 전체를 디코딩 할 필요가 없이 휘도 블록의 DC 계수까지를 얻을 때까지만 디코딩을 실시하여 알고리즘을 적용하지만 필요한 경우에는 완전하게 복원된 프레임 영상을 얻을 수 있어야 한다. 즉, 장면전환이 이루어졌을 경우 검출된 프레임은 완전하게 복원된 영상으로 얻어져야 할 필요가 있으며, 따라서 본 논문에서는 각 프레임들을 휘도 블록의 DC 계수만 디코딩하여 알고리즘을 적용하고 장면전환이 검출되었을 경우 검출된 프레임의 정보를 가지고 있는 GOP의 I-프레

입까지 다시 이동하여 휘도 성분과 색차 성분, Cb, Cr 을 모두 디코딩 함으로써 완전한 영상을 얻어내는 디코딩 과정을 적용한다.

그림 8은 본 논문에서 구현한 MPEG 비트열의 디코딩 흐름을 나타낸다. 장면전환이 검출된 프레임이 I-프레임인 경우에는 그 프레임만 다시 디코딩을 하여 완전한 프레임 영상을 얻어낼 수 있으며 검출된 프레임이 P 또는 B-프레임인 경우에는 바로 이전의 I-프레임까지 이동하여 디코딩 함으로써 완전한 영상을 얻어낼 수 있다. 하지만, 비트열의 나열 순서(coding order)로 볼 때 I 프레임 바로 뒤에 존재하는 B-프레임들은 이전 GOP의 I-프레임까지 이동, 프레임을 디코딩 하여야 완전한 영상을 얻어낼 수가 있다. 이는 임의의 GOP의 처음 B 프레임들이 이전 GOP의 I 프레임에 의존적이기 때문이다.

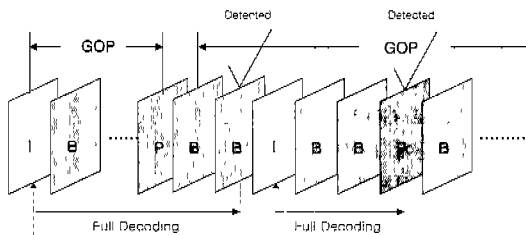


그림 8 제안된 알고리즘의 디코딩 흐름

이러한 디코딩 방법을 이용함으로써, 압축영역의 데이터를 이용하여 빠르게 장면전환검출 알고리즘을 적용할 수 있으며 필요에 따라 언제든지 전체 프레임 정보를 얻어낼 수 있는 융통성을 가지게 된다.

4.1 실험의 개요

제안된 알고리즘의 성능을 측정하기 위해서 서로 다른 성질을 가진 352×240 크기의 비트열 2개와 320×160 크기의 비트열 1개를 이용하여 실험을 하였다. 그 중 하나는 'shots' 사이의 변화가 다양한 광고 비디오이

고 또 하나는 움직임이 많은 뮤직비디오이며, 나머지 하나는 드라마 비디오이다. 광고 비디오는 1783개의 프레임과 37개의 'cut'으로 이루어져 있으며 빠른 움직임과 다양한 'shot' 사이의 장면전환이 존재한다. 뮤직비디오는 움직임이 큰 부분이 많이 존재하는데 3929개의 프레임과 35개 'cut'으로 이루어져 있고 드라마 비디오는 7862개의 프레임과 57개의 'cut'으로 이루어져 있는 움직임이 적은 장면전환이 상대적으로 쉽게 검출될 수 있는 평이한 비트열이다.

표 1 실험에 사용된 이미지 시퀀스

	Frame	Size	Cut	Motion
뮤직비디오.mpg	3929	320X160	35	많음
드라마.mpg	7862	352X240	57	적음
광고.mpg	1783	352X240	37	보통

시스템 하드웨어는 펜티엄II 233, 64메가 메모리를 부착한 PC를 이용하였다. 실험은 먼저 휘도 성분을 완전히 디코딩하여 IFC를 사용한 방법의 결과와 휘도 성분과 DC 계수만을 디코딩하여 IFC를 사용한 방법의 결과를 수행시간과 함께 비교해 보았으며, 3개의 비트열에 대해서 IFC와 MCIFC, 그리고 기존의 방법을 이용한 결과를 각각 비교해 보았다.

4.2 실험 결과 1 : 전체 영상과 DC 영상의 비교

표 2는 임계값을 0.5로 설정한 후 휘도 성분을 완전히 디코딩하여 복원한 이미지 시퀀스와 DC 계수만으로 복원한 이미지 시퀀스에 IFC를 적용하여 실험한 장면전환검출 결과이다. 표에서 보는바와 같이 전체 휘도 영상에 IFC를 적용한 경우 recall은 DC 영상에 적용한 결과와 같지만 잘못 검출하게 되는 false alarm이 더 많아지는 것을 알 수 있다. 따라서, precision이 DC 영상에 적용한 경우보다 낮게 나오는데 그 이유는 DC 계수의 성질에서 찾을 수 있다.

표 2 DC Image와 Full Image에 IFC를 적용한 결과

	Image Sequence	Cut	Correct	Missed	False	Recall	Precision	Time(Frm/Sec)
뮤직비디오.mpg	Full Image	35	34	1	9	0.97	0.79	25.0
	DC Image		34	1	5	0.97	0.87	42.4
드라마.mpg	Full Image	57	57	0	14	1.00	0.80	15.1
	DC Image		57	0	5	1.00	0.91	25.3
광고.mpg	Full Image	37	34	3	9	0.91	0.79	13.9
	DC Image		34	3	8	0.91	0.81	19.7

즉, DC 계수는 8X8 블록의 평균값을 대표하기 때문에 원 영상에 평균값 필터(average filter)를 적용한 것과 동일한 결과를 갖고, 따라서 영상을 평활화(smoothing)시키는 효과가 있어 작은 물체나 카메라 움직임 등에 영향을 덜 받으며 결과적으로 장면전환 검출에는 더욱 효과적이다.

실제로 비압축 영역에서 장면전환 검출 알고리즘의 경우 잡음이나 카메라 움직임 등에 효과적으로 대응하기 위해서 사전 작업(pre-processing)으로 중간값 필터(median filter), 평균값 필터 등의 저주파 필터를 적용하거나 화소값을 양자화 하는 경우가 있는데 DC 영상을 적용하는 경우에는 이러한 작업이 필요없기 때문에 수행 시간면에서 볼 때 더욱 효과적이라고 할 수 있다. 또한, 실험 결과에서 볼 수 있듯이 DC 영상을 이용한 장면전환검출 알고리즘은 전체 휘도 영상을 복원한 경우보다 30% 가량 계산시간이 줄어드는 것을 알 수 있다.

4.3 실험 결과 II : IFC와 MCIFC의 비교

표 3은 DC 시퀀스에 IFC와 MCIFC를 각각 적용하여 얻은 장면전환검출 결과를 나타낸다.

표 3 IFC와 MCIFC를 적용한 결과

	Algo.	Correct	Missed	False	Recall	Precision	Time (Frm/Sec)
뮤직 비디오	IFC	34	1	5	0.97	0.87	42.4
	MCIFC	33	2	0	0.94	1.00	42.3
드라마	IFC	57	0	5	1.00	0.91	25.3
	MCIFC	55	0	1	1.00	0.98	25.1
광고	IFC	34	3	8	0.91	0.81	19.7
	MCIFC	34	3	4	0.91	0.89	19.7

임계값은 IFC의 경우엔 0.5를 사용하였고 MCIFC의 경우는 0.6을 사용했는데, 그 이유는 3.4 절에서 기술된 것처럼 MCIFC에서는 움직임 보상이 이루어져 프레임간 상관계수가 전체적으로 높게 나타나기 때문이다. 따라서, 임계값이 IFC의 경우보다 약간 크게 설정되어야 장면전환이 이루어진 부분에서 검출을 못하게 되는 missed cut을 줄일 수 있다. 표에서 보는 바와 같이 MCIFC를 사용하여 얻은 결과가 IFC로 얻은 결과보다 recall은 약간 떨어지지만 precision에 있어서는 더 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있으며, 결과적으로 recall이 감소하는 크기보다 precision이 증가하는 크기가 더 크기 때문에 trade-off 관점에서 볼 때 MCIFC가 IFC보다 더 좋은 결과를 나타낸다고 결론지을 수 있고 움직임이 많은 경

우에 효과적으로 이를 보상해 주고 있음을 알 수 있다.

수행시간을 비교해 볼 때, 두 알고리즘 사이에 별로 차이가 나지 않는데 이는 IFC를 사용하는 경우 잘못 검출하는 경우가 많아 I-프레임까지 이동하여 완전 디코딩 하는 시간이 MCIFC에서 움직임 예측하는 시간과 비슷하기 때문이다. 정확히 움직임 예측에 소요되는 시간을 정확히 계산하지 않았지만 위의 결과에서 미루어 볼 때 움직임 예측에 시간이 많이 소요되지 않다는 것을 알 수 있다.

4.4 실험 결과 III : MCIFC와 기존 알고리즘의 비교

MCIFC 알고리즘을 기존의 통계적 방법인 Sethi가 제안한 알고리즘을 이용한 장면전환검출 방법과 비교하였다. Sethi가 제안한 알고리즘은 히스토그램의 빈(bin)의 개수를 32개로 하고 휘도 블록의 DC 계수만을 복원한 후 식 (5)에 의한 유사도 값을 이용하여 적용되는데, 차이점이 있다면 본 논문에서는 I-프레임에만 적용하는 것이 아니고 연속된 모든 프레임을 적용하여 장면전환 검출을 실시하였다.

일반적으로 GOP가 12 또는 15개의 프레임으로 이루어졌기 때문에 I-프레임만 이용하더라도 문제가 없지만, 장면전환이 실제로 발생한 프레임을 검출되지 못하는 단점이 있다. 또한 MCIFC가 모든 프레임에 적용되기 때문에 실험의 일관성을 위해 I, P, B 세가지 타입의 프레임을 모두 이용하여 Sethi가 제안한 알고리즘을 적용하였다. 그리고, 빈(bin)의 수를 32개로 줄이기 위해서 연속된 8개 레벨(level)의 DC 값을 하나의 값으로 양자화한다.

표 4는 Sethi가 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다. 3개의 비트열 각각에 대해서 검출 결과가 가장 좋은 2개의 임계값에 대한 결과를 보여주는데, 2 장에서 제기된 문제점과 같이 Sethi가 제안한 알고리즘도 이미 지 시퀀스에 따라 임계값의 영향을 많이 받기 때문에, 좋은 결과를 얻기 위해서는 각기 다른 임계값을 설정해 주어야한다.

표 4 Sethi가 제안한 알고리즘에 의한 장면전환 검출 결과

	Threshold	Correct	Missed	False	Recall	Precision
뮤직 비디오	135	33	2	10	0.94	0.87
	140	33	2	8	0.94	1.00
드라마	110	56	1	8	0.98	0.91
	115	55	2	6	0.96	0.98
광고	120	27	10	9	0.73	0.81
	125	28	9	11	0.76	0.89

위의 표에서 보느냐와 같이 각각의 시퀀스는 각기 다른 임계값에서 가장 좋은 결과를 갖게되는데, 뮤직비디오.mpg는 135-140, 드라마.mpg는 110-115, 광고.mpg는 120-125 사이의 임계값을 가질 때 가장 좋은 결과를 나타낸다. 그러나 이를 표 3의 결과와 비교해 보면, MCIFC에 의한 방법이 recall 과 precision 모두 Sethi가 제안한 알고리즘보다 향상된 결과를 나타냄을 알 수 있다. 특히 precision의 경우 더욱 좋은 결과를 나타내는데, 이는 Sethi가 제안한 방법에서는 움직임 보상이 이루어지지 않기 때문이다.

이상의 실험결과에서 각 블록의 DC 계수로부터 복원된 연속된 두 DC 영상 사이의 상관계수를 이용하는 장면전환검출 방법은 이미지 시퀀스에 무관한 임계값의 설정을 가능하게 하고, 또한 MCIFC를 이용하는 경우 움직임이 많은 시퀀스에서 효과적으로 이를 보상해줌으로써 향상된 검출 결과를 나타낸다고 결론지을 수 있다.

5. 결론

최근 블록의 DC 계수와 DC 영상에서 새롭게 추정된 움직임 벡터를 이용한 장면전환검출 알고리즘이 제안되었다. 제안된 알고리즘은 급격한 장면전환검출에 적용되고 인접한 DC 영상간의 움직임 보상된 상관계수를 구한 후 이를 임계값과 비교함으로써 장면전환을 검출한다.

DC 계수로부터 복원된 DC 영상은 원 영상의 전체적인 정보를 적은 양의 데이터에 포함하고 있으며, DC 영상 자체에 내포되어있는 평활화 작용때문에 오히려 잡음이나 움직임이 많은 경우에 더욱 효과적이다. 또한, 제안된 알고리즘에서 사용되는 움직임 추정방법은 많지 않은 계산량으로 크기가 줄어든 DC 영상에 적합한 움직임 정보를 제공함으로써 움직임이 심한 비트열에서도 정확한 장면전환검출을 가능하게 한다.

실험 결과, 제안된 알고리즘에 의한 장면전환검출에서는 비트열의 종류에 관계없이 하나의 임계값이 적용될 수 있었고 비트열에 따라 각각 다른 최적의 임계값을 적용한 기존의 알고리즘보다 향상된 결과를 나타내었다.

기존의 알고리즘을 비롯하여 제안된 알고리즘의 단점은 조명의 영향을 많이 받는다는 것이다. 그 결과 조명이 심하게 변화하는 경우 잘못 검출되는 경우가 많으며 전체적으로 영상이 어두운 경우에 검출 결과가 좋지 않은 단점이 있다. 따라서, 제안된 알고리즘의 장점을 유지하면서 조명의 영향을 효과적으로 감소시킬 수 있는 장면전환검출 알고리즘 개발에 관한 연구가 이루어져야 한다.

또한, 비디오에서는 dissolve, wipe 등 다양한 편집기술에 의한 점진적인 장면전환이 많이 이루어지기 때문에 완전한 장면전환검출 시스템을 위해서는 점진적 장면전환검출에 관한 연구도 동반되어야 한다. 이러한 장면전환을 검출하기 위해서는 연속적인 여러 프레임들이 동시에 고려되어야 하는데 장면전환방법의 다양성 때문에 프레임들의 통계적인 특성을 이용하는 방법으로는 정확한 결과를 얻기가 힘들다. 이를 해결하기 위해서 앞으로는 신경망 이론과 같은 학습 알고리즘에 의한 점진적 장면전환검출 방법에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Joan L. Mitchel, Willaim B. Pennebaker, Chad E. Fogg and Didied J .LeGall, "MPEG Video Compression Standard," Champman & Hall.
- [2] Barry G. Haskell, Atul Puri, Arun N. Netravali, "Digital Video : An Introduction to MPEG-2," Champman & Hall.
- [3] Jianhao Meng, Yujen Juan, Shih-Fu Chang, "Scene Change Detection in a MPEG Compressed Video Sequence," IS&T Symposium Proceedings Vol. 2419, February 1999.
- [4] John S. Boreczky and Lawrence A. Rowe, "Comparison of Video Shot Boundary Detection Techniques," SPIE Vol. 2670, pp.170-179, 1996.
- [5] Wei Xiong, John C. Lee and Man C. Ip, "Net Comparison : A Fast and Effective Method for Classifying Image Sequences," SPIE Vol. 2420, pp.318-328, 1995.
- [6] M.S. Toller, P.H. Lewis and M.S. Nixon, "Video Segmentation using Combined Cues," SPIE Vol. 3312, pp.414-425, 1997.
- [7] Ishwar K. Sethi and Nilesh Patel, "A Statistical Approach to Scene Change Detection," SPIE Vol. 2420, pp.329-338, 1995.
- [8] Boon-Lock Yeo and Bede Liu, "Rapid Scene Analysis on Compressed Video," IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology, Vol.5, No.6, December, pp.533-544, 1995.
- [9] Juenhwa Song and Boon-Lock Yeo, "Spatially Reduced Image Extraction from MPEG-2 Video : Fast Algorithms and Applications," SPIE Vol. 3312, pp.93-107, 1997.
- [10] 박영경, 최윤석, 지은석, 김운정, 고성계, "에지 영상 추출을 이용한 MPEG 비디오의 장면 전환 검출", 제 11 회 신호처리합동학술대회, 제 11 권, 제 1 호, Oct. 1998.
- [11] Chee Sun Won, Dong Kwon Park and Seong Joon Yoo, "Extracting Image Features from MPEG-2 Compressed Stream," IS&T Symposium on

Electronic Imaging : Science and Technology,
January 1998.

- [12] S. Kappagantula and K.R. Rao, "Motion Compensated Interframe Image Prediction," IEEE Transactions on Communication, September, pp.1011-1015, 1985.



장 동 식

고려대학교 산업공학과 학사. 1985년 Texas 주립대 석사. 1988년 Texas A&M 대학교 산업공학과 박사. 현재 고려대학교 산업공학과 교수. 관심분야는 자동검사 시스템, 패턴인식, 영상검색



권 도 경

1994년 동국대학교 산업공학과 학사. 1999년 고려대학교 산업공학과 석사. (주)한국IBM 근무. 현재 미국 USC 전자공학 석사과정. 관심분야는 Video Coding, Video Segmentation, 패턴인식



이 만 희

1993년 고려대학교 산업공학과 학사. 1995년 고려대학교 산업공학과 석사. 현재 (주)뷰엘 개발팀 근무중. 관심분야는 패턴인식, 반도체 검사, 문서인식