

특집논문-02-07-2-04

자막 정보를 이용한 야구경기 비디오의 자동요약 시스템

유기원*, 허영식*

An Automatic Summarization System of Baseball Game Video Using the Caption Information

Kiwon Yoo* and Youngsik Huh*

요약

본 논문에서는 자동으로 야구 비디오를 요약하는 방법과 이를 구현한 소프트웨어 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 빠른 수행 속도와 정확성 높은 요약 결과를 추구한다. 이를 위해 압축비디오상의 특징 값에 기반한 빠른 비디오 분할과 간단한 자막 인식을 수행하여 야구 경기에서 중요한 이벤트들을 검출한다. 또한, 본 시스템은 여러 레벨의 비디오 요약을 지원하기 위해 계층적 구조의 내용 기술을 지원한다.

Abstract

In this paper, we propose a method and a software system for automatic summarization of baseball game videos. The proposed system pursues fast execution and high accuracy of summarization. To satisfy the requirement, the detection of important events in baseball video is performed through DC-based shot boundary detection algorithm and simple caption recognition method. Furthermore, the proposed system supports a hierarchical description so that users can browse and navigate videos in several levels of summarization. In this paper, we propose a method and a software system for automatic summarization of baseball game videos. The proposed system pursues fast execution and high accuracy of summarization. To satisfy the requirement, the detection of important events in baseball video is performed through DC-based shot boundary detection algorithm and simple caption recognition method. Furthermore, the proposed system supports a hierarchical description so that users can browse and navigate videos in several levels of summarization.

I. 서론

디지털 영상 콘텐츠의 양적 증가와 이를 제작, 소비할 수 있도록 하는 장치 및 관련 여건의 성숙에 따라, 영상 콘텐츠를 자동으로 요약한 후 시청자가 원하는 내용을 쉽고 빠르게 찾아 볼 수 있도록 하는 시스템이나 장치/방법에 대한 요구가 증가해 왔다. 이에 부응하여 비디오 자동 요약을 위한 많은 기술들이 연구/제안되어 왔다^{[1]-[12]}. 그러나 모든 경우의 장르나 환경에 적용될 수 있는 범용의 기술은 아직 존재하지 않는다. 때문에 실용적인 접근을 하는 기술

들은 적용 범위를 특정 장르로 한정하고 해당 장르의 특성을 이용하고 있다. 스포츠는 그러한 대상 장르중의 하나로서 비디오 요약의 관점에서 다음과 같은 두 가지 특성이 있다.

일반적으로 상영시간이 길다. 인기 종목들 중 농구, 배구 등은 최소 한 시간, 축구는 2시간, 야구는 3시간 이상에 이른다. 이러한 이유에서 요약의 필요성이 부각된다. 이는 DVR(Digital Video Recorder)과 같은 가정용 기기의 부가 기능으로 고려될 수 있는 이유가 된다.

스포츠 비디오는 일정한 사건 패턴들을 반복하는 내용 구조를 가지고 있다. 또한, 많은 종목의 스포츠들에서는 점수 등의 수치와 문자를 통해 진행 상황이 객관적으로 기술

* 삼성종합기술원

Samsung Advanced Institute of Technology

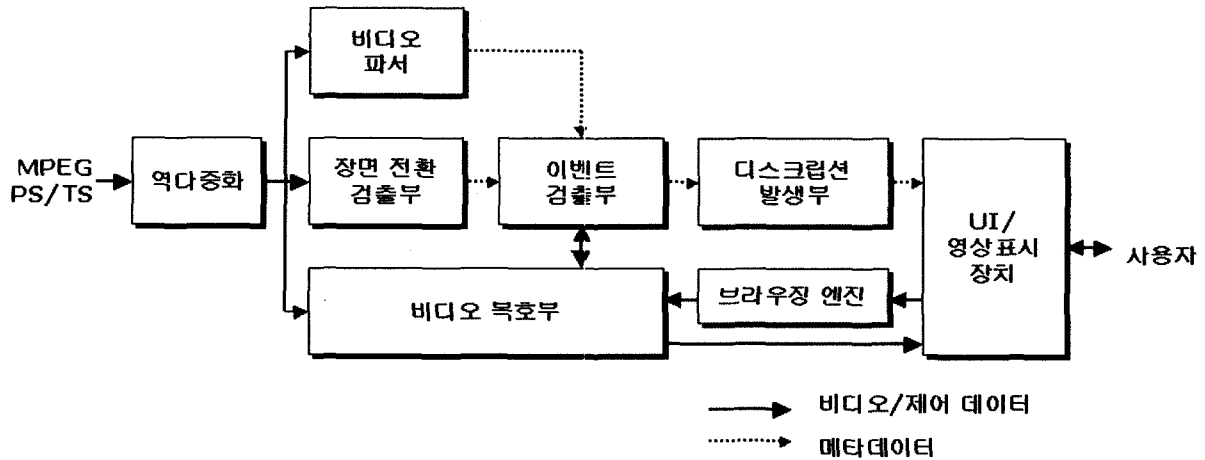


그림 1. 제안 시스템의 도식도

Fig. 1. The block diagram of the proposed system

된다. 더구나, 이러한 단순한 수치/문자들이 방송중계 시에 일정한 위치와 형식의 자막으로 나타나기 때문에, 이들이 빈번하게 갱신되는 경우(야구, 배구, 농구, 탁구 등) 작은 데이터 집합을 대상으로 하는 자막 인식만으로도 거의 모든 의미 있는 사건의 인식이 가능하다. 이러한 점들은 정확성 높은 자동 요약의 중요한 단서가 된다.

특히, 야구 비디오에서 자막은 스코어, 이닝, 주루상태, 볼카운트 정보를 포함하며 거의 항상 화면에 나타난다. 따라서 자막 정보의 변화만으로도 경기내의 모든 이벤트를 감지하여 요약할 수 있다. 카와시마(Kawashima) 등은 이러한 점에 착안한 야구경기 요약방법을 제안하였는데^[6], 제안된 방법은 장면단위의 비디오 분할(shot detection)과 각 장면의 첫 프레임에 존재하는 자막을 추출하고 인식하여 수행되는 이벤트 검출로 구성되어 있다. 이러한 방법에서는 비디오 분할과 자막 인식만 정확하다면 요약 결과의 정확성이 보장된다. 또한, 비디오 분할 속도와 자막 추출/인식의 수행속도는 위 방법의 실용적 적용에 중요한 요소이다.

본 논문에서는 위 방법의 근간을 따르되 압축비디오상의 DC영상의 특징치를 이용한 빠른 비디오 분할, 샘플 자막과의 매칭을 통한 간단한 자막인식을 적용한 야구 비디오 요약 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 빠른 수행속도와 정확성을 가진다. 제안된 시스템은 요약 내용을 계층적 구조로 보여주며, 요약 내용과 비디오를 연계하여 효율적으로 비디오를 브라우징(Browsing)할 수 있는 사용자 접속도구(User Interface)도 지원한다.

II. 비디오 요약과정

1. 시스템 개요

그림 1은 제안된 시스템의 구성도이다. 그림2에 보이는 제안 시스템에서의 요약과정은 장면단위의 비디오 분할(shot boundary detection), 각 장면의 첫 프레임에서 자막 추출/인식을 통한 이벤트 검출, 메타데이터 생성으로 구성된다.

비디오 분할에서는 MPEG 압축비디오에서 DC영상을 추출하고 DC영상의 특성 값을 이용한 장면 전환 검출을 시행한다. MPEG 비디오를 완전 디코딩하는 과정을 거의 생략할 수 있기 때문에 시스템의 전체적인 수행 속도가 향상된다.

이벤트 검색부분은 스코어를 나타내는 자막의 위치와 나타날 수 있는 모든 자막의 샘플을 가지고 있다는 전제 하에 수행된다. 각 장면의 첫 프레임에서 자막이 존재하는지 여부를 체크하고, 존재한다면 자막 영역을 추출한 후에 샘플들과 매칭하는 과정을 거쳐 스코어 정보를 얻어낸다. 나타날 수 있는 스코어 자막의 종류와 개수가 많지 않고 크기도 크지 않으므로, 샘플과 추출된 자막 영역간의 매칭은 화소 간 차이 계산과 같은 간단한 방법을 통해 수행될 수 있다. 다만, 방송용 자막의 아라비아 숫자 중 몇몇 개는 쉽게 구분되지 않는 것들이 있으므로 2차적인 구분 작업을 수행한다. 실험에 사용된 한국 프로야구 비디오의 경우,

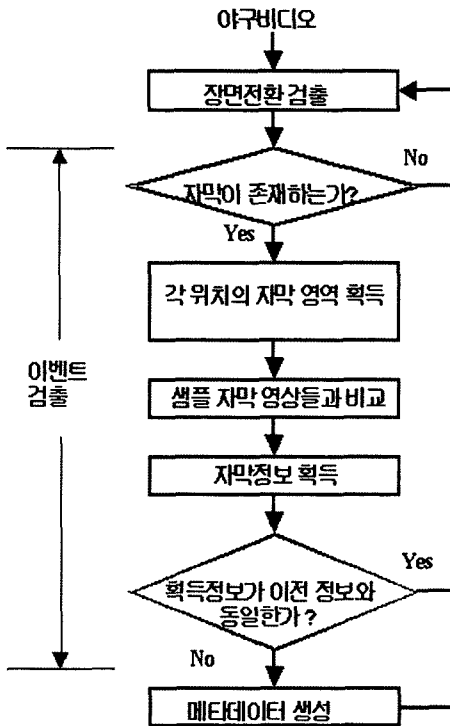


그림 2. 야구 비디오 요약과정
Fig. 2. The block diagram of the summarization of baseball game video

팀 이름(8개) + 3종류의 아라비아 숫자(10 X 3 = 30개)
+ 투상의 주자 정보(3개) + 이닝정보(초,말 2개)

총 23개의 샘플을 사용하며, 영역별 매칭의 후보가 되는 샘플은 10개 이하이다. 또한, 방송사별로 적어도 한 시즌동안은 자막의 종류와 위치가 변하지 않으므로 샘플의 빈번한 갱신은 필요치 않다.

메타데이터 생성부분은 스코어 자막으로부터 검출된 이벤트를 브라우저에 활용할 수 있도록 각각의 레벨에 따라 분류하고 해당 비디오 장면에 대한 앵커(Anchor)와 함께 기록한다.

2. 비디오 분할

야구 비디오에서 발생하는 대부분의 장면전환은 카메라 전환에 의해 발생한다. 이 밖에 디졸브(dissolve), 와이프(wipe) 등의 일부 편집효과가 있다. 디졸브는 이닝과 이닝 사이 또는 선수교체 중에 경기 외적인 관중, 풍경 등을 보일 때에 사용되며, 와이프는 하이라이트를 느린 화면으로

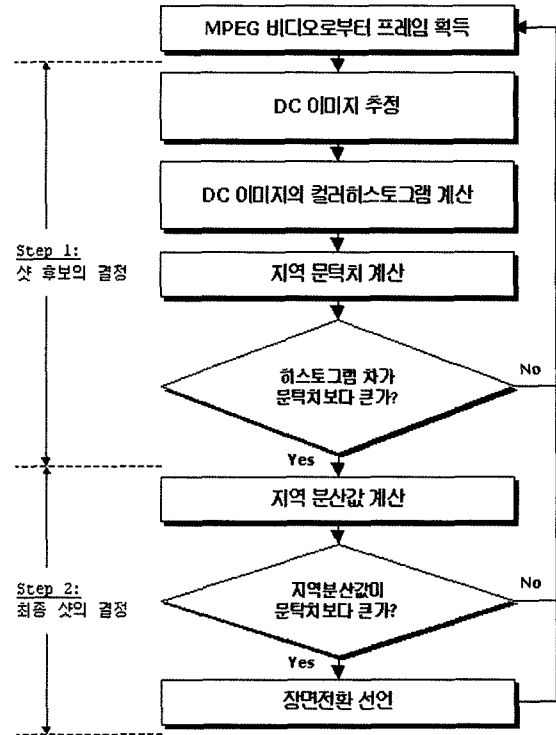


그림 3. 장면 검출 순서도
Fig. 3. The block diagram of shot-change detection

보여줄 때 일반화면에서 느린 화면으로 또는 느린 화면에서 일반 화면으로 전환할 때 사용된다. 이러한 편집효과 검출은 야구경기의 사건을 구분과 관련된 직접적인 요소는 아니며, 편집효과 검출을 위해서는 보다 복잡한 비디오 분할 알고리즘이 필요하게 된다. 이것은 수행시간을 지체시키며, 계산과 관련된 시스템의 부하를 높이는 원인이 된다. 따라서 제안 시스템에서 사용되는 비디오 분할은 카메라 전환에 의한 장면전환만의 검출을 목표로 한다.

그림 3에서 본 시스템에서 사용하는 비디오 분할알고리즘을 보인다^[13]. 사용된 비디오 분할 알고리즘은 2단계로 구성된다.

- 1단계: DC시퀀스의 칼라 히스토그램을 이용한 장면 경계 후보의 결정
- 2단계: 장면 경계 후보간의 로컬 프레임 분산을 이용한 최종 장면 경계의 결정

먼저 압축영역에서 추출한 DCT DC 시퀀스로부터 칼라 히스토그램(RGB)을 계산한 후^[14], 이웃한 DC 프레임의 칼라 히스토그램들 간의 L1-norm을 이용하여 차를 구한다.

후보 장면 경계는 현재 차분 값이 이웃한 히스토그램 차분 값들의 통계특성에서 계산된 국부 문턱 값보다 클 때 선언된다. 최종 장면 경계는 이웃한 두 후보 장면 경계에서, 앞선 장면의 마지막 프레임과 나중 장면의 첫 프레임사이의 로컬 프레임 분산의 차가 문턱 값보다 클 때 선언된다. 로컬 프레임 분산은 프레임을 2x2의 4개영역으로 분할한 후 각 영역에서 계산된 분산을 의미한다.

적용된 비디오 분할 알고리즘은 빠른 수행을 위해 MPEG압축영역에서 추출한 DCT DC시퀀스를 이용한다. 비디오 분할의 정확도가 개개의 비디오 컬러 특성에 독립적으로 일정하도록 하기 위하여, 장면 후보를 결정할 때, 이웃한 칼라 히스토그램 차분 값들에 대해 적응적으로 계산된 문턱 값을 이용한다. 최종장면은, 공간분포특성의 영향을 무시하는 컬러 히스토그램의 단점을 보완하기 위해, 로컬 프레임 분산을 이용하여 정확도를 높인다.

3. 이벤트 검출

앞서 언급된 것과 같이 이벤트 검출에 사용되는 자막영역 추출/인식은 자막영역의 크기 및 위치를 알고 자막 샘플을 가지고 있다는 전제 하에 수행된다. 그림 4는 스코어 자막의 예이다. 이벤트 검출은 다음과 같은 과정으로 진행된다.



그림 4. 스코어 자막의 예(KBS)
Fig. 4. An example of a score caption (in a video broadcast by KBS)

준비단계 - 샘플 자막 영역 구축: 동일한 방송사에서 제작한 야구비디오로부터 각각의 자막 정보별로 이들을 포함하는 직사각형의 영역들을 추출한다. 이렇게 얻어진 영상들을 샘플 자막영상이라 하

자. 각 자막 정보별로 얻어진 복수개의 샘플 자막영상들에 대해서 가우시안 분포 5%의 오차한계를 넘는 영상들을 제거한 후 남은 영상들의 평균에서 최종의 샘플 자막영상을 구한다. 이때 사용되는 메저(measure)는 각 화소 값들 간의 차로부터 얻어진 L1-norm으로 정의한다.

1단계 - 자막 영역의 인지: 각 장면(shot)의 첫 프레임에서 스코어 자막 전체를 포함하는 영역의 경계 또는 내부에 위치하는 복수개의 화소들의 화소 값들을 해당 샘플 자막상의 화소 값들과 비교하여 자막이 존재하는지 유무를 체크한다.

2단계 - 자막 정보의 인지: 입력 영상에서 자막 영역이 존재한다면 1단계에서 얻은 샘플 자막영상들과 비교하여 자막 정보를 인지한다. 이때도 메저는 준비단계에 사용된 L1-norm을 사용된다. 다만, 방송 자막의 경우 그 크기가 크지 않은 숫자들은 사용된 메저만으로는 구분되지 않는 경우가 있다. 그런데, 이들 자막에는 사람이 인지하기 좋도록 영역 내에 몇 개의 강조점들이 있으며 각각의 숫자마다 고유의 강조점-컨트라스트를 주는 들을 찾을 수 있다. 일차적으로 위의 L1-norm을 이용하여 문턱치내에 있는 후보들을 얻은 후 강조점 비교를 통하여 최종적으로 해당 숫자를 판별할 수 있다. 각 숫자들에 대한 강조점의 위치와 화소 값들도 사전 정보로서 필요하다.

3단계 - 이벤트 검출: 본 시스템에서는 야구경기의 이벤트를 이닝의 변화, 득점상황의 변화, 주루의 변화, 아웃카운터의 변화의 4가지 경우로 제한하였다. 이벤트 검출은 이전 자막 정보와의 비교에서 앞에서 언급한 4가지의 변화가 감지되었을 경우 선언된다. 이벤트는 볼카운트의 변화 수준까지 확장하여 선언할 수도 있을 것이다.

3. 메타데이터 생성

메타데이터는 그림 5에서 보이는 계층적인 구조로 정의되며 <Baseball>, <Inning>, <Event>, <Segment>의 4개 계층을 사용한다.

먼저 가장 상위 계층으로 <Baseball>을 정의한다. <Baseball> 계층은 요약 정보 생성 날짜, 비디오파일의 경로, 팀 이름, 경기 시작 프레임, 사용자의 의견 정보 등이 있으며, <Segment>와 <Inning> 계층을 하부에 포함한다. <Segment> 계층은 비디오 분할과정에서 새로운 장면이 선언될 때마다 정의되며, 자막 유무, 주루 상황, 득점 상황, 볼카운트의 자막 정보와 함께 장면의 시작 프레임, 사용자 주석의 부가 정보를 저장한다. <Inning>계층은 새로운 장면이 선언되었을 때 이전 <Segment>와 새로운 <Segment>의 자막 정보를 비교하여 이닝에서 변화가 있을 때마다 정의되며, 이닝 의회/말, 시작 프레임, 사용자 주석, 이닝의 득점 상황의 정보와 함께 <Event>계층을 저장한다. 마지막으로 <Event>계층은 새로운 장면이 선언되었을 때 <Segment>간의 자막 정보의 비교에서 이닝의 변화, 득점 상황의 변화, 주루의 변

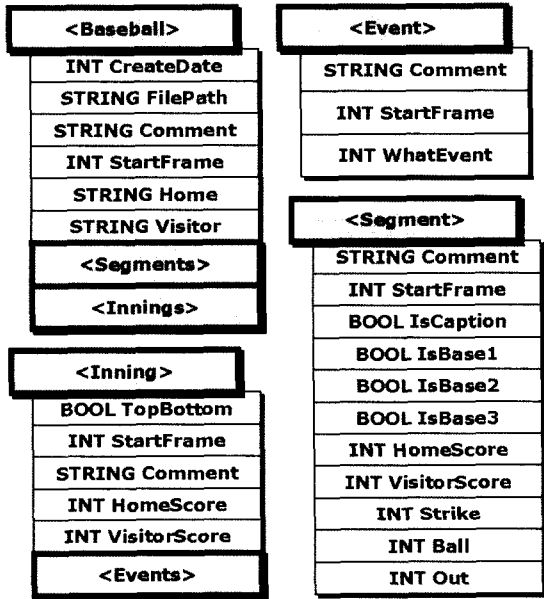


그림 5. 메타데이터의 계층구조
 Fig. 5. The structure of the metadata to describe the game information

화, 아웃 카운터의 증가가 있을 때에 정의되며, 사용자 주석, 시작 프레임, 발생 사건의 종류와 관련된 정보를 저장한다.

이러한 메타데이터는 UI/브라우저 엔진과 연계되어 동작되며, 생성과 동시에 파일로 저장이 되어 네트워크에 연결된 기기간의 메타데이터 파일의 교환으로 요약 정보의 공유가 가능하다.

Ⅲ. 시스템 성능

그림 6은 제안한 시스템내의 야구 비디오 브라우저를 위한 사용자 인터페이스이다.

제안한 시스템에서는 Berkeley MPEG-2 코덱을 사용하였다. 그리고 디코딩 처리속도의 개선을 위해 디더링 부분과 움직임추정/보상부분에서 코덱에 대한 최적화를 수행하였다. 샘플 자막영상은 2001년 KBS에서 방영된 다수의 야구 중계 비디오 클립으로부터 얻어졌다. 실험에 사용한 영상은 2001년 KBS에서 제작한 두산 대 한화의 192분 분량

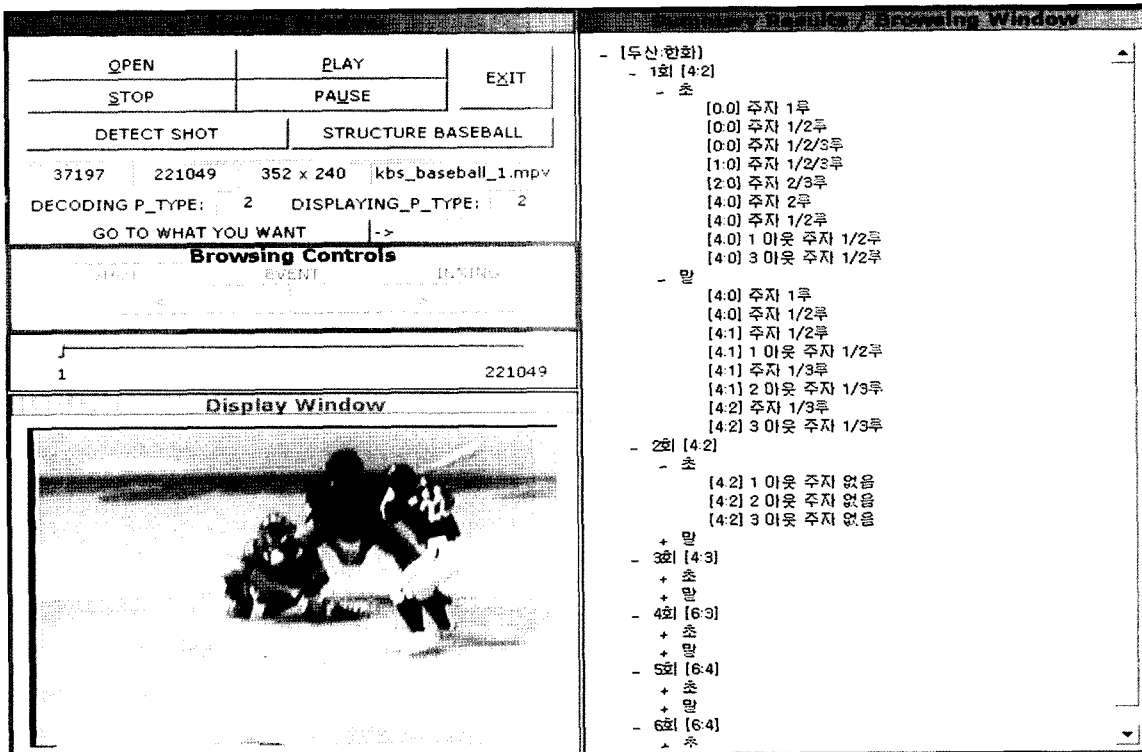


그림 6. 야구비디오 브라우저를 위한 사용자 인터페이스
 Fig. 6. An user interface for baseball game browsing

의 비디오로, Amber보드를 이용하여 MPEG-1 29.97 frame/s로 압축하였다. 이때 발생한 프레임의 수는 335,889 개였다. 실험은 Pentium 1.4GHz / 512RAM / Window2000 Pro에서 수행하였다.

제안 시스템의 성능은 요약과정의 속도와 정확도로 나누어 평가하였다. 실험 데이터를 대상으로 한 요약에 걸린 시간은 17분으로, 이것은 초당 330프레임을 처리하며, 한 프레임에는 3.03msec의 시간이 소모되었음을 보인다. 즉, 재생시간의 1/11안에 요약정보를 생성할 수 있다.

요약 정확도는 비디오 분할과 자막 검출/인식 그리고 이벤트 검출 결과의 측면에서 생각할 수 있다. 비디오 분할의 정확도는 수작업으로 실험 비디오에서 장면을 정의한 후 알고리즘을 통해 구한 장면과 비교하는 과정을 통해 측정하였다. 실험 비디오에서 검출되어야 하는 장면은 모두 1140개였으며, 제안된 시스템에서는 1174개의 장면을 검출하였다. 이중 1140개의 유효 장면을 모두 검출하였으며, 34개의 잘못된 장면을 검출하였다. 따라서 비디오 분할의 정확도는 오차를 무시하였을 때(Recall-수식(1)) 100%이며, 오차를 감안했을 때는(Precision-수식(2)) 97%가 된다.

$$Recall = \frac{Detected\ shots}{Detected\ shots + Missed\ shots} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{Detected\ shots}{Detected\ shots + False\ alarms} \quad (2)$$

비디오 분할 과정에서 발생한 오차의 원인은 특수 효과, 빠른 카메라 움직임, 자막의 등장/소멸 등에 의한 것이었다. 이러한 높은 비디오 분할의 정확도는 야구비디오에서 발생하는 장면의 대부분이 카메라 구분에 의한 것이며, 또한 장면 경계에서의 프레임 간의 차이가 비교적 명확한 것에 기인한다.

자막 검출/인식은 사전에 자막의 위치와 크기정보가 주어지고, 인식의 대상이 되는 후보 샘플들의 개수가 10개 이하이므로 높은 정확도를 보인다. 정확도의 측정은 1174개의 장면들의 첫 번째 프레임들을 대상으로 수행하였다. 이중 자막을 갖는 844개의 프레임을 대상으로 한 실험에서 자막 검출 정확도는 100%였다.

이벤트 검출의 정확성은 메타데이터의 <Event> 계층이 "비디오 내 모든 사건을 다 포함하는가?", "한 개의 <Event>가 2개 이상의 사건을 포함하지 않는가?" 하는 기준들로 가능할 수 있다. 본 실험에서는 두 기준이 모두 충

족되었다. 다만, 경기 진행상황이 시간적으로 즉시 자막에 반영되지 않는 경우, 2번째 기준이 충족되지 않을 수 있다.

표 1. 실험 결과의 요약

Table 1. The brief of the experimental result

Running Time of Source Video		192 min
Execution Time		17 min
Shot detection	Recall	100 %
	Precision	97 %
Recognition of Caption Info		100 %
Event Detection	Cover whole video?	Yes
	Each <Event> is non-divisible?	Yes

IV. 결론

본 논문에서는 야구 비디오 장르의 특성을 분석하고 이를 바탕으로 MPEG 비디오 상에서 빠른 수행속도와 정확한 요약결과를 보이는 야구 비디오 자동 요약 방법/시스템을 제안하였다.

본 시스템에 적용된 자막 인식 방법은 화면상에 점수 정보 자막의 위치와 자막 샘플들을 미리 알고 있다는 가정하에 구현된 것이다. 이는 요약 장치에 자막 위치/샘플에 관한 정보 공급이 이루어져야 함을 의미한다. 각 방송사의 자막 위치/모양은 거의 시즌 내내 일정하기 때문에 시즌 당 한번 정도의 정보 갱신만으로도 요약 장치는 독립적으로 작동할 수 있다. 특히, DVR과 같은 기기의 경우 프로그램 정보(EPG)의 수신을 가정하고 있기 때문에 EPG 공급 통로를 통해 본 시스템에 전제된 정보가 전달될 수 있을 것이므로 가정용 AV기기의 부가기능으로 본 시스템이 적용될 수 있을 것이다. 또한, 본 시스템은 방송국과 같은 콘텐츠 제작/공급자의 시스템에도 구현될 수 있을 것이다.

본 시스템은 비교적 간단하고 빠른 방법을 통해 좋은 요약 결과를 보장하지만, 이를 모든 스포츠 장르에 적용하기는 어렵다. 가령, 축구와 같은 장르는 스코어 자막 정보의 변화만으로는 경기 내에 존재하는 의미 있는 모든 사건들의 존재 시점을 유추하기 어렵다. 또한, 경기전체를 세밀한 단위의 구성단위로 구분하기도 어렵다. 그러므로 이와 같은 장르의 자동요약은 좀더 다양한 종류의 자막을 인식/해석하는 기능과 슬로우 모션인식과 같은 중요 장면 인식 기능들을 필요로 한다.^{[15]-[16]} 그러나, 궁극적으로는, 디지털/인터넷 방송의 데이터 전달 기능을 통해 경기 비디오와 함께 이에 시간적으로 동기화 된 경기 정보가 함께 방송되고 가

정용 미디어 기기가 이들을 해석/저장/방영하는 방식이 가장 이상적일 것이다.

참 고 문 헌

[1] Ajay Divakaran, Anthony Vetro, Kohtarō Asai and Hirofumi Nishikawa, "Video browsing system based on compressed domain feature extraction," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 46, No. 3, Aug. 2000

[2] J. Meng and S.-F. Chang, "CVEPS a compressed video editing and parsing system," *Proc. ACM Multimedia 96*, 1996

[3] M. R. Naphade, T. Kristjansson, B.J. Frey and T.S. Huang, "Probabilistic multimedia objects (Multijects): a novel approach to video indexing and retrieval in multimedia systems," *Proc. IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 5, Oct. 1998, Chicago, IL.

[4] Yihong Gong, Lim Teck Sin, Chua Hock Chuan, Hongjiang Zhang and Masao Sakauchi, "Automatic parsing of TV soccer programs" *Multimedia Computing and Systems, 1995., Proceedings of the International Conference on*, 1995

[5] D. Rees, J. I. Agbinya, N. Stone, Fu Chen, S. Seneviratne, M. de Burgh and A. Burch, "CLICK-IT: interactive television highlighter for sports action replay," *Pattern Recognition, 1998. Proceedings. Fourteenth International Conference on*, Vol. 2, 1998

[6] T. Kawashima, K. Tateyama, T. Iijima and Y. Aoki, "Indexing of baseball telecast for content-based video retrieval," *Image Processing, 1998. ICIP 98. Proceedings. 1998 International Conference on*, Vol. 1, 1998

[7] G. Pingail, Y. Jean and I. Carlbom, "Real time tracking for

enhanced tennis broadcasts," *Computer Vision and Pattern Recognition, 1998. Proceedings. 1998 IEEE Computer Society Conference on*, 1998

[8] N. Nitta, N. Babaguchi and T. Kitahashi, "Extracting actors, actions and events from sports video-a fundamental approach to story tracking," *Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on*, Vol. 4, 2000

[9] T. Lin and H-J. Zhang, "Automatic video scene extraction by shot grouping," *Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on*, Vol. 4, 2000

[10] N. Babaguchi, "Towards abstracting sports video by highlights," *Multimedia and Expo, 2000. ICME 2000. 2000 IEEE International Conference on*, Vol. 3, 2000

[11] B. Li and M. I. Sezan, "Event detection and summarization in sports video," *Content-Based Access of Image and Video Libraries, 2001. (CBAIVL 2001). IEEE Workshop on*, 2001

[12] H. Lu and Y-P. Tan, "Sports video analysis and structuring," *Multimedia Signal Processing, 2001 IEEE Fourth Workshop on*, 2001

[13] Kiwon Yoo and Youngsik Huh, "An adaptive method for automatic detection of scene cut changes in compressed video," preprint

[14] Boon-Lock Yeo and Bede Liu, "Rapid Scene Analysis on Compressed Video," *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, Vol. 5, No. 6, Dec. 1995.

[15] V. Kobla, D. DeMenthon and D. Doermann, "Detection of slow-motion replay sequences for identifying sports videos," *Multimedia Signal Processing, 1999 IEEE 3rd Workshop on*, 1999

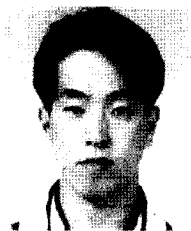
[16] H. Pan, P. van Beek and M. I. Sezan, "Detection of slow-motion replay segments in sports video for highlights generation," *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings. 2001 IEEE International Conference on*, Vol. 3, 2001

저 자 소 개



유 기 원

- 1998년 : 고려대학교 전자공학과 공학사
- 2000년 : 한국정보통신대학원 통신공학과 공학석사
- 2000년~2001년 : 삼성전자 중앙연구소 연구원
- 2001년~현재 : 삼성종합기술원 멀티미디어랩 연구원



허 영 식

- 1993년 : 한국과학기술원 수학과 이학사.
- 1995년 : 한국과학기술원 수학과 이학석사.
- 2000년 : 한국과학기술원 수학과 이학박사.
- 2000년~2001년 : 삼성전자 중앙연구소 책임연구원.
- 2001년~현재 : 삼성종합기술원 멀티미디어랩 전문연구원