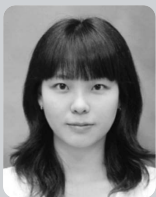


비디오 리타겟팅 (retargeting) 기술 동향

I. 서론

최근 몇 년간 휴대전화, 태블릿, PDA, e-book과 같은 다양한 모바일 기기의 기술 발전 및 보급 확대로 오늘날에는 멀티미디어 콘텐츠가 다양한 비디오 포맷, 해상도, 크기, 화면 비율 등 각 모바일 기기의 특성에 맞추어 재생 되어야 할 필요성이 커지고 있다. 일반적으로 영상의 획득 단계에서는 촬영카메라의 성능에 의해 영상의 해상도가 결정된다. 이렇게 일정한 해상도에서 획득한 비디오 콘텐츠를 다양한 디스플레이 크기에 맞게 조절하기 위해 일반적으로 스케일링(scaling), 잘라내기(cropping), 레터박스(letterboxing)방법을 사용한다. 스케일링 방법은 목표가 되는 화면 비율에 맞추어 균일하게(uniform) 영상을 샘플링(sampling) 하여 크기를 조절한다. 따라서 주요 관심 영역 객체가 지나치게 작아지는 경우 시청 경험이 저하된다. 잘라내기 방법은 화면 중앙 내 주요 관심 영역을 디스플레이 하고자 하는 화면의 크기에 맞게 잘라내는 방법으로, 화면의 외각에 관심 객체가 존재할 경우, 이 부분이 잘려나갈 수 있으므로 부득이한 정보의 손실이 발생한다. 레터박스 방법은 화면 비율을 유지하기 위해 영상의 위, 아랫부분에 검은 화면을 삽입하는 것으로 화면 공간의 낭비를 유발한다. <그림 1>은 일반적인 영상 리사이징 방법의 예를 보여주고 있다. 앞서 언급한 방법들이 유발하는 시각적 정보의 손실을 줄이기 위해 최근에는 내용 인지(content-aware) 기반의 리사이징(resizing) 방법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 내용 인지 리사이징(content-aware resizing), 혹은 리타겟팅(retargeting)이라고 불리는 기술은 영상의 크기 변환 과정에서 주요(major) 시각 콘텐츠는 보존하고 상대적으로 덜 중요한 영역에 대해 리사이즈 함으로써 시각 정보의 손실을 최소화하면서 영상의 크기를



최지원
한국과학기술원



김창익
한국과학기술원



〈그림 1〉 16:9 비율에서 4:3 비율의 리사이징 예. (a) 16:9 비율 영상 (b) 스케일링 방법을 이용한 리사이징 결과 (c) 잘라내기(cropping) 방법을 이용한 결과 (d) 레터박스 삽입 결과

변화하는 것이다. 정지영상의 리타겟팅 방법에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔고 그에 따른 양질의 결과를 산출하였다. 그러나 정지영상 기반의 리타겟팅 방법을 비디오에 적용하는 것은 대부분 시간 비일관성(temporal incoherence) 문제를 일으킨다. 왜냐하면, 정지영상에 사용되는 리타겟팅 기법은 연속된 프레임간 상관관계(temporal correlation)를 고려하지 않기 때문이다. 그러므로 비디오 리타겟팅에서는 시간 일관성(temporal coherence)을 고려하는 것이 가장 큰 기술적 이슈이다. 또한, 비디오 영상에서의 카메라 움직임(camera motion)과 객체 움직임(object motion)은 각각 독립적이며 예측하기가 어렵기 때문에 시간 일관성을 유지하는데 상당한 어려움으로 작용하고 있다. 본 고에서는 비디오 리타겟팅 방법의 동향에 대해 살펴보고자 한다.

II. 본 론

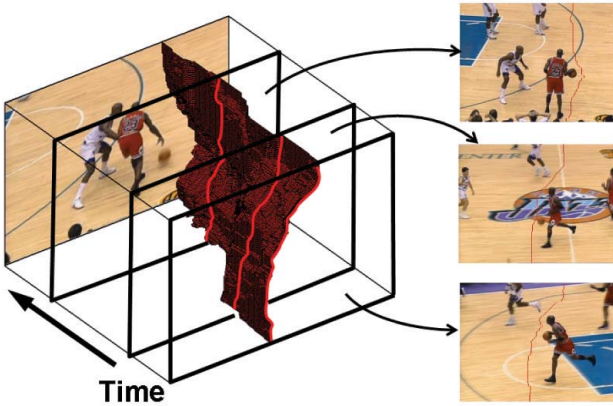
비디오 리타겟팅의 과정은 크게 2단계로 나뉘어 수행된다. 먼저 영상 내 콘텐츠의 중요도를 분석하여 에너지 함수를 생성한다. 영상 내 콘텐츠의 중요도 분석에는 그래디언트(gradient), 얼굴 또는 객체 검출, 관심영역(saliency) 검출, 움직임 정보 등을 두루 사용한다. 그 다음 생성된 에너지 함수를 기반으로 리사이징을 수행한다. 리사이징 방법을 크게 3가지로 나누면 픽셀 기반 방법, 영역 기반 방법, 객체 기반 방법으로 나눌 수 있다. 픽셀 기반 방법은 각 픽셀의 중요도를 판단하여 상대적으로 덜 중요한 픽셀을 제거 또는 삽입함으로써 원하는 크기에 맞게 비디오 프레임의 크기를

조정하는 방법이다. 영역 기반 방법은 비디오 프레임 내의 중요 콘텐츠가 포함된 고정된 윈도우를 탐색하거나 중요도에 따라 분할하여 해당 영역의 콘텐츠를 목표 크기에 맞게 리사이징 하는 방법이다. 객체 기반 방법은 비디오 프레임을 전경의 객체(foreground object)와 배경으로 구분(segment)하여 객체와 배경에 대해 리사이징 방법을 각기 다르게 하는 것이다. 이어지는 절에서는 각각의 리사이징 방법에 대해 자세히 살펴본다.

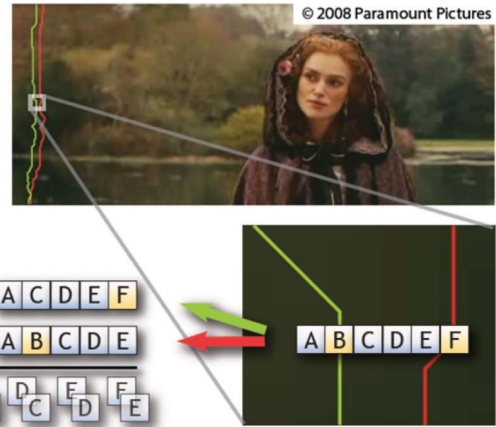
1. 픽셀 기반 리타겟팅 방법

Avidan과 Shamir에 의해 제안된 Seam carving^[1] 기법은 내용 인지 기반의 대표적인 리사이징 방법이다. 이는 그래디언트 기반의 에너지 함수를 구하여 낮은 에너지를 가지는 seam을 찾은 뒤, 이를 구성하는 픽셀을 연속적으로 제거 또는 삽입함으로써 원하는 목표 크기에 맞게 리사이징 한다. 최근 비디오 리타겟팅에서는 계산 복잡도를 줄이고 결과 화질을 개선하기 위해 다양하게 변형된 seam carving 방법이 제안되었다.

[2]에서는 〈그림 2〉에 나타난 바와 같이 비디오 시퀀스를 3차원 시-공의 볼륨(volume)으로 인식하여 2차원 seam 표면(surface)를 찾은 뒤 이를 삽입 또는 제거하는 방법을 제안하였다. [1]에서는 seam 표면을 제거 또는 삽입한 뒤에 나타나는 왜곡을 고려하는 forward energy 함수를 제안하였다. 최적의 seam 표면을 찾기 위해 각 픽셀을 노드(node)로, 픽셀간 에너지 항(term)을 에지(edge)로 하는 그래프컷(graph-cut) 알고리즘을 이용하였다. 그러나 원하는 크기의 영상을 만들기 위해 반복적으로 seam 표면을 찾고 이를 제거해야 하므로 수행 시간이 오래 걸리고, seam 표면



〈그림 2〉 비디오 시퀀스에서 2차원 seam 표면을 나타낸 결과^[2]. 그래프컷 알고리즘을 이용하여 단조(monotonic), 연속(connected)적인 seam 표면을 찾는다



〈그림 3〉 시간일관성 측정 예^[4]. 이전프레임에서 획득한 seam(붉은색)을 현재 프레임에 적용한 것과 현재 프레임에서 검출한 seam(초록색)을 적용하였을 때의 차이를 계산한다

의 특성인 단조성(monotonicity)과 연속성(continuity)에 의해 움직임이 빠른 비디오에서는 적합하지 않은 단점이 있다.

[3]에서는 비디오 시퀀스에서 그래프 이론을 기반으로 하여 한 번에 하나의 seam을 연속적으로 찾는 대신에 다수의 seam을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. [3]에서는 시간·공간적 특징을 나타내기 위해 그래디언트와 optical flow를 결합하는 에너지 함수를 이용하였다. S-t 그래프컷을 통해 전역적 최적화 과정을 거쳐 전체 에너지가 최소화되는 다수의 seam을 동시에 찾는다. 이렇게 구한 다수의 seam을 제거 또는 삽입함으로써 내용 인식 기반의 비디오 리사이징 결과를 얻는다. 그러나 제안하는 방법은 구조적인(structural) 객체에 대해 왜곡을 유발할 수 있으며 상대적으로 수행시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

[4]에서는 프레임간 시공간적으로 불연속적인 seam을 찾는 방법을 제안하였다. 이를 위해 각 픽셀의 관심영역(saliency) 검출과 시간 일관성, 공간 일관성 값을 선형 조합(linear combination)하여 에너지 함수를 구한다. 이를 기반으로 최소값을 가지는 seam을 동적 프로그래밍(dynamic programming)을 이용하여 찾는다. 먼저 외형(appearance) 기반의 시간 일관성(temporal coherence)을 측정하기 위해, 이전 프레임에서 획득한

seam을 현재 프레임에 그대로 적용한 뒤, 현재 프레임에서 검출한 seam을 제거했을 때와 비교하였다. 〈그림 3〉에서 시간 일관성을 측정하는 예를 나타내었다. 공간 일관성을 측정하기 위해 [1]에서 제안한 forward energy와 유사한 개념으로 수평, 수직 방향으로 픽셀을 제거했을 때의 그래디언트의 변화를 계산하였다. 제안하는 방법은 매 프레임 리타겟팅을 수행함으로써 재생 시간이 긴 비디오나 스트리밍 비디오에 적용 가능하고 객체 움직임을 고려한 비연속적인 seam을 찾음으로써 객체의 왜곡을 줄일 수 있다.

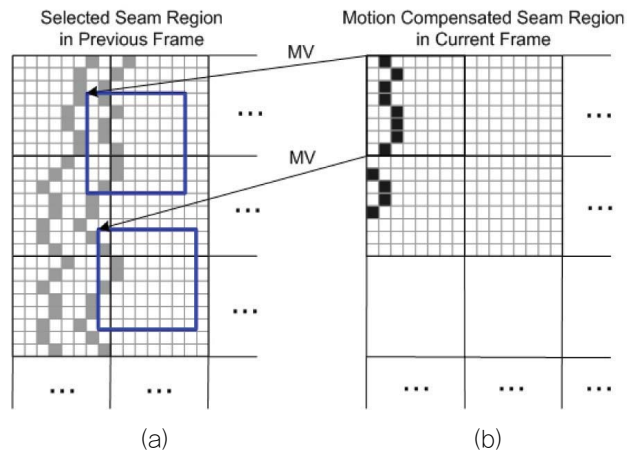
[5]에서는 비디오 시퀀스의 장면(scene) 단위로 seam carving을 수행하였다. 먼저 같은 장면 내 연속된 프레임에 대해 카메라 움직임 보상을 수행한 뒤, 장면을 구성하는 프레임 중, 중간 프레임을 참조 프레임으로 하고 이를 기준으로 다른 모든 프레임을 정렬(alignment)한다. 배경 이미지는 중간값(median) 필터를 거쳐서 구축되고 전경(foreground) 객체 이미지는 배경 이미지와 각 정렬된 프레임을 비교하여 구축된다. 〈그림 4〉는 배경이미지와 전경 객체 이미지 결과를 나타낸다. 강건한 seam을 찾기 위한 에너지 함수는 배경 이미지의 그래디언트크기 값을 이용한다. 이때, 강건한 seam이란 모든 프레임 내에 존재하는 같은 시각적 콘텐츠를 표현하는 seam을 뜻하며, 움직이는 전경 객체



〈그림 4〉 위: 비디오 시퀀스 중 3개의 표본(sample) 프레임. 아래: 배경 이미지(왼쪽)와 전경 객체(오른쪽)

를 피해 강건한 seam이 검출되면 역변환 과정을 거쳐 모든 프레임 내의 같은 영역이 제거되므로 시간 일관성을 유지할 수 있게 된다. 그러나 객체 움직임 궤적이 큰 경우나 카메라 움직임이 빠른 경우 등의 상황에서는 화질 저하가 발생할 수 있다. 이 경우, 자체적으로 결과 화질을 측정하여 다른 대체 기법(스케일링 또는 잘라내기 방법)을 사용할 수 있도록 하였다. 제안하는 방법은 빠른 카메라 움직임에 의해 카메라 파라미터 계산에 오류가 발생하면 배경 이미지 생성에 영향을 미치게 되어 결과 영상에 왜곡이 발생할 수 있다.

[6]에서는 모바일 기기에 적합한 저복잡도(low complexity)의 내용 기반 비디오 리타겟팅 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 픽셀의 중요도를 판단하기 위해 두 가지 형태의, 즉 intra 프레임과 inter 프레임에서의 에너지 함수를 제안하였다. 에너지 함수 계산 효율성을 위해 압축 도메인에서 획득 가능한 DCT 계수와 움직임 벡터를 이용하였다. Intra 프레임에 대해, DCT 계수를 이용하여 블록을 5개의 에지(edge) 패턴(에지없음, 0 , $\pi/4$, $\pi/2$, $3\pi/4$)으로 분류한다. 그러므로 Intra 프레임의 에너지는 에지의 방향 및 강도를 나타낸다. intra 프레임에서는 에지 지도와 함께 현재 블록과 인접 블록 간의 움직임 대비(contrast)를 측정, 이를 결합하는 에너지 함수를 생성한다. [5]에서는 동적 프로그래밍을 이용하여 매 프레임 독립적으로 1차원 seam을 찾을 뿐 아니라, 움직임 벡터를 이용하여 객체 움직임을 고려한 seam을 찾는다. 〈그림 5〉에서는 이전 프레임에서 제거된 1차원 seam을 움직임 벡



〈그림 5〉 (a) 이전 프레임에서 제거된 seam
(b) 현재 프레임에서 움직임 보상을 한 뒤의 seam 위치

터를 이용하여 현재 프레임에서 seam 위치를 보상하는 예를 나타내었다. 제안하는 방법은 움직임 정보를 이용하여 결과 비디오의 시간일관성을 향상시켰으나 에너지 함수로 에지의 방향성 정보만을 이용하므로 객체의 훼손을 유발할 수 있다.

[7]에서는 seam을 찾는 동적 프로그래밍을 시간 정보와 결합하기 위해 2단계 기법(coarse-to-fine), 즉 움직임 가중치 예측(motion weight prediction)과 픽셀 기반 최적화(pixel-based optimization)를 제안하였다. 에너지 함수는 얼굴 검출, 관심영역 검출, 그래디언트와 forward energy[2]를 결합하여 구성하였다. 이전 프레임에서 제거되었던 픽셀을 현재 프레임에서도 제거하기 위해 움직임 벡터 정보를 이용하였다. 움직임 가중치 예측은 블록 기반의 움직임 예측과 가우시안 마스크를 이용하여 현재 프레임 내 seam의 위치를 대략적(coarse)으로 예측하고 동적 프로그래밍의 탐색 범위(search range)를 줄인다. 픽셀 기반의 최적화는 optical flow를 이용하여 동적 프로그래밍을 통해 정확한 seam의 위치를 찾는다. 제안하는 방법은 움직임 정보를 사용함으로써 동적 프로그래밍의 탐색 범위를 좁혀 계산 복잡도를 줄이고 시간일관성을 향상하였다.

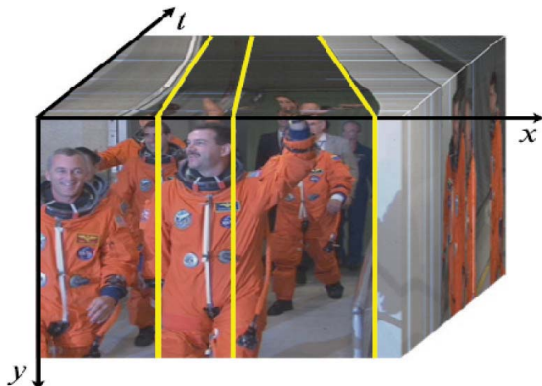
2. 영역 기반 리타겟팅 방법

[8]에서는 비디오 프레임을 여러 개의 영역(strip)으

로 분할하여 푸리에 분석(Fourier analysis)을 통해 각 영역의 스케일링 계수(scaling factor)를 다르게 리사이징 하는 방법을 제안하였다. 먼저 영상의 그래디언트를 이용하여 <그림 6>에서와 같이 여러 개의 영역으로 분할 한 뒤, 각 영역의 중요도에 따라 적응적(adaptive) 스케일링을 위해 라그랑주승수법(Lagrange multiplier)을 이용하여 최적의 스케일 계수를 찾는다. 객체 움직임을 고려한 비디오 리타겟팅을 위해 전체 비디오를 먼저 두 개의 부분 볼륨으로 나눈다. 수평 방향 리사이징을 예로 들면 <그림 7>과 같이 x-t 축에 수직인 방향으로 분할한다. 각 부분 볼륨은 반복적으로(recursive) 미리 설정한 수의 부분 볼륨으로 나누는데, 이때 각 볼륨내의 복잡도는 최소화하면서 볼륨 간 차이는 최대화한다. 그러나 제안하는 방법은 객체 움직임이 빠른 영상의 경우, 객체 내 스케일링 결과가 다르게 되어 왜곡이 발생한다.



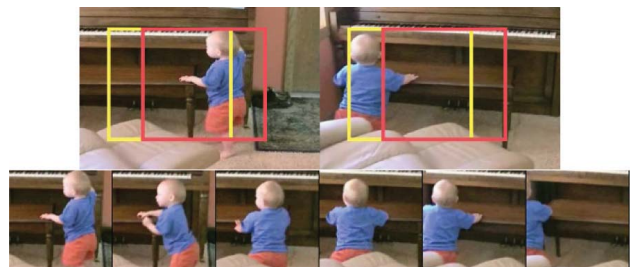
(a) (b)
 <그림 6> (a) 원본 영상을 여러 개의 영역으로 나눈 결과
 (b) 리타겟팅 결과^[8]



<그림 7> 수평 방향 리사이징을 위한 비디오 시퀀스의 분할 결과^[8]

[9]에서는 스케일링 방법과 잘라내기 방법을 결합한 비디오 리타겟팅을 제안하였다. 먼저 각 프레임 내 중요 영역을 잘라내기 한 뒤, 원하는 크기에 맞게 스케일링하였다. 프레임 내 중요하지 않은 정보는 잘라내기 과정에서 제외되고, 중요한 콘텐츠는 좀 더 크게 보이게 한다. 비디오 프레임의 중요도를 판단하기 위해 영상의 관심영역 검출, optical flow와 전역 움직임(global motion)을 결합한 motion saliency, 얼굴 검출 결과를 결합하여 에너지 함수를 생성하였다. 제안하는 방법은 영상을 장면(shot) 단위로 분할 한 뒤, 각 장면 단위로 리타겟팅을 수행한다. <그림 8>에 나타난 바와 같이, 각 장면에 대해 매 프레임 콘텐츠를 최대한 보존하는 방향으로 잘라내기 윈도우를 설정한다.

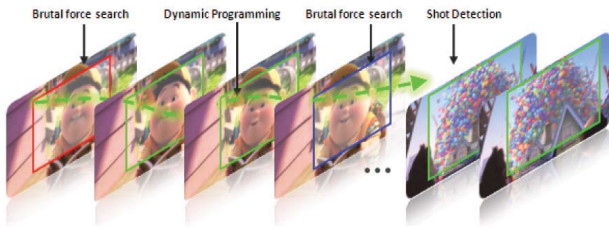
[10]에서는 잘라내기와 워핑(warping)을 결합한 비디오 리타겟팅 방법을 제안하였다. [10]에서 제안한 방법은 모든 중요 콘텐츠가 매 프레임 보존되어야 한다는 가정을 버리고 움직임 정보를 사용하여 비디오 콘텐츠의 시간 지속성을 판단한다. 또한, 움직임 흐름을 보존하면서 시간 일관성을 가지는 리타겟팅 결과를 도출한다. [10]에서는 잘라내기 과정에서 제거되어서는 안 되는 콘텐츠가 포함된 영역, 즉 critical region을 정의하였다. 이를 위해 optical flow를 이용하여 전체 비디오에 대해 critical region을 찾는다. <그림 9>는 프레임 내 critical region을 찾은 예를 보여준다. 워핑과정에서는 모든 critical region이 목표 크기 내에 변환되면서 시간 지속성을 유지하도록 하였다. 공간적 콘텐츠 보존을 위해 그래디언트 크기, 관심영역 검출, 얼굴 검출을 이용하였고 시간 일관성 보존을 위해 움직임 정보



<그림 8> (위) 원본 영상에서 잘라내기 윈도우(window)의 범위 (아래) 리타겟팅 결과



〈그림 9〉 두 개의 선 안의 영역이 critical region이다. 이 영역 내에 있는 콘텐츠는 리사이징 후에도 지속성이 유지되도록 한다



〈그림 10〉 부분영상 내 처음과 끝 프레임의 윈도우를 찾은 뒤, 나머지 프레임에 대해 동적 프로그래밍과 brut-force 검색을 이용하여 잘라낼 영역을 찾는다

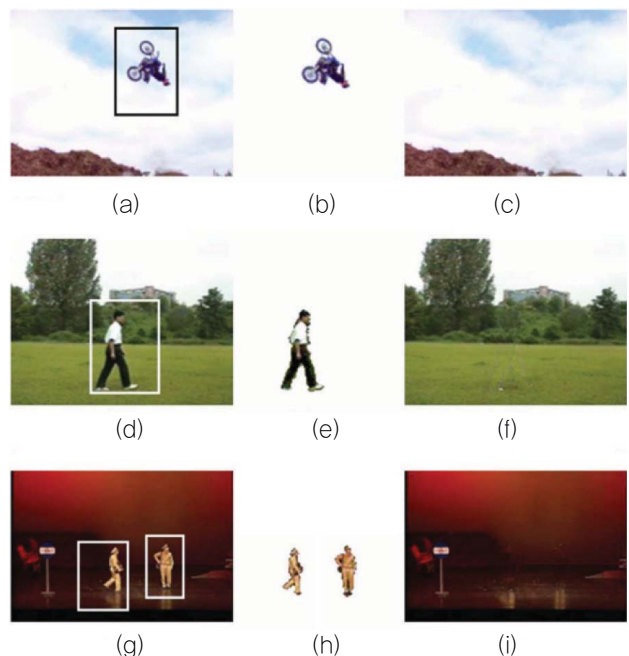
를 이용하여 에너지 함수를 구성하였다.

[11]에서는 비디오 리타겟팅을 위해 내용기반의 적응적 잘라내기 방법을 제안하였다. 먼저 비디오 영상을 장면 검출(shot detection) 알고리즘을 사용하여 각 장면에 대해 독립적으로 수행한다. 각 장면은 시각적 안정성과 계산 효율성을 위해 여러 개의 동일한 길이를 가지는 부분장면으로 나눈다. 각 프레임에 대해 3개의 파라미터, 즉 스케일과 위치 정보를 가지는 고정된(rigid) 윈도우가 관심영역을 선택하기 위해 정의된다. 먼저 원본 영상의 내용에 최대한 충실하기 위해 영상의 중요 정보 손실은 최소화하면서 〈그림 10〉에서와 같이 장면의 처음과 끝 프레임에 대해 잘라낼 윈도우(crop pan)를 찾는다. 그 다음, 동적 프로그래밍과 brut-force 검색을 이용하여 잘라낼 윈도우의 위치를 최소길이(shortest path) 문제로 모델링 하여 프레임간 연속성이 유지되도록 한다.

이와 같은 잘라내기 방법을 이용한 리타겟팅은 관심 객체의 수가 많거나 화면 전체에 고루 분포되었을 경우에는 불가피하게 잘라내기 과정에서 제거됨으로써 정보의 손실이 발생한다.

3. 객체 기반 리타겟팅 방법

[12]에서는 콘텐츠 재구성(content recomposition)을 기반으로 하여 디스플레이 크기에 맞게 비디오 크기를 조정하는 알고리즘을 제안하였다. [11]에서는 배경 컨텍스트(context)는 유지하면서 영상 내 중요한 부분을 강조하고자 하였다. 세 가지 형태의 시각 중요도 특징(visual attention feature), 즉 밝기(intensity), 컬러, 움직임 정보를 이용하여 사용자 관심 객체(user interest object, UIO)를 추출하였다. 먼저 영상 내 관심 영역(region of interest, ROI)를 판단 한 후, 사용자 관심 객체(UIO)를 추출한다. UIO 추출로 생긴 배경 영역의 홀(hole) 부분은 예제기반 인페인팅(exemplar-based inpainting) 알고리즘으로 복구한 뒤, 배경 영상



〈그림 11〉 비디오 객체 추출의 예^[11]
왼쪽부터 원본 영상과 관심영역, 추출된 UIO, 복원된 배경

의 크기를 줄이고, UI는 중요도에 따라 위치 및 크기 조절을 한 뒤 배경과 결합한다. 그러나 객체 기반 리타겟팅 방법은 부정확한 객체 추출이 이루어질 경우 화질 저하가 발생한다.

III. 결론

비디오 리타겟팅에 대한 관심은 콘텐츠의 왜곡 없이 다양한 해상도를 가지는 디스플레이에 재생하기 위해 크게 증가하고 있다. 특히 스마트 및 모바일 기기에 적용하기 위한 비디오 리타겟팅 연구가 진행되어왔다. 본 고에서는 다양한 비디오 리타겟팅 기법에 대해 살펴보았다. 시간일관성 및 공간일관성을 유지하면서 실시간으로 변환 가능한 리타겟팅을 목표로 활발히 연구가 진행될 것으로 본다.

참고 문헌

- [1] Avidan and Shamir, "Seam Carving for Content-Aware Image Resizing," ACM Transactions on Graphics, Vol. 26, No. 3, pp.267-276, 2007.
- [2] M. Rubinstein, A. Shamir, and S. Avidan, "Improved Seam Carving for Video Retargeting," ACM Transactions on Graphics, Vol. 27, No. 3, 2008.
- [3] D. Han, X. Wu, and M. Sonka, "Optimal Multiple Surfaces Searching for Video/Image Resizing-A Graph-Theoretic Approach," in Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1026-1033, 2009.
- [4] M. Grundmann, V. Kwatra, M. Han, and I. Essa, "Discontinuous Seam-Carving for Video Retargeting," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 569-576, June, 2010.
- [5] S. Kopf, J. Kiess, H. Lemelson, and W. Effelsberg, "FSCAV-Fast Seam Carving for Size Adaptation of Videos," in Proc. of the ACM International Conference on Multimedia, pp. 321-330, 2009.
- [6] H. Nam, K. Byun, J. Jeong, K. Choi, and S. Ko, "Low Complexity Content-Aware Video Retargeting for Mobile Devices," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 56, No. 1, Feb, 2010.
- [7] W. Chao, H. Su, S. Chien, W. Hsu, and J. Ding, "Coarse-to-fine temporal optimization for video retargeting based on seam carving," IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp. 1-6, 2011.
- [8] J. Kim, J. Kim, and C. Kim, "Adaptive Image and Video Retargeting Technique Based on Fourier Analysis," IEEE Conference on, Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1730-1737, 2009.
- [9] F. Liu and M. Gleicher, "Video Retargeting: Automating Pan and Scan," in Proc. of ACM International Conference on Multimedia, pp.241-250, 2006.
- [10] Y-S. Wang, H-C.Lin, O. Sorkine, and T-Y. Lee, "Motion-based Video Retargeting with Optimized Crop-and-Warp," ACM Transactions on Graphics, Vol. 29, No. 4, Article 90, 2010.
- [11] Z. Yuan, T. Lu, Y. Huang, D. Wu, and H. Yu, "Video Retargeting: A Visual-Friendly Dynamic Programming Approach," in Proc. of IEEE International Conference on Image Processing, pp. 2857-2860, 2010.
- [12] W-H. Cheng, C-W.Wang,and J-L. Wu, "Video Adaptation for Small Display Based on Content Recomposition," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 17, No. 1, pp. 43-58, 2007.



최 지원

2008년 2월 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 학사
 2008년 2월~현재 한국과학기술원 전기및전자공학
 과석박사통합과정
 2009년 1월~2009년 12월 한국전자통신연구원
 위촉연구원

〈관심분야〉
 3D 영상처리, 영상이해, 컴퓨터 비전



김 창 익

1989년 연세대학교 전기공학과 학사
 1991년 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
 2000년 University of Washington, Seattle, 전
 기공학과 박사
 1991년 ~ 1997년 주)SKC 중앙연구소 선임연구원
 2000년 ~ 2005년 Epson R&D Inc., Palo Alto,
 USA. Senior member of
 Technical Staff
 2005년 ~ 2009년 한국정보통신대학교 조교수,
 부교수
 2009년 ~ 현재 한국과학기술원 전기및전자공학과
 부교수

〈관심분야〉
 영상 이해, 3차원 영상처리