

# 물리적 모션 분석을 이용한 만화 스타일의 비디오 생성

## (Cartoon-Style Video Generation Using Physical Motion Analysis)

이 선 영<sup>†</sup>      윤 종 철<sup>†</sup>  
(Sun-Young Lee)      (Jong-Chul Yoon)

이 인 권<sup>\*\*</sup>  
(In-Kwon Lee)

**요약** 본 논문에서는 일반적인 비디오의 모션을 만화와 같은 스타일로 자동으로 변환해주는 시스템을 제안한다. 이 시스템은 비디오의 물리적인 상황에 맞게 자연스러운 변형을 손쉽게 적용할 수 있는 새로운 비디오의 만화화 방법이다. 선택된 비디오 오브젝트의 운동량, 운동방향, 힘과 같은 물리적인 요인들을 분석하여 물리적으로 타당한 변형을 적용함으로써 자연스러운 효과를 적용한다는 것이 장점이다. 전통적인 애니메이션에서 사용하는 몇 가지 전형적인 디포메이션 시나리오를 구축하고 사용자가 손쉽게 원하는 효과를 선택하여 적용한다. 타이밍 컨트롤과 카툰 렌더링을 사용하여 최종적으로 역동적이고 만화 같은 비디오를 만들어 낸다.

**키워드** : 비디오 프로세싱, 만화화

**Abstract** In this paper, we propose a system to convert a video motion into cartoon-style animation automatically. Our system is a new video cartoon

· 본 논문은 2005년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2005-D00699)

· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '물리적 모션 분석을 이용한 만화 스타일의 비디오 생성'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과  
shepherd@cs.yonsei.ac.kr  
media19@cs.yonsei.ac.kr

\*\* 정 회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
iklee@yonsei.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 6일

심사완료 : 2008년 3월 26일

Copyright © 2008 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제5호(2008.7)

stylization method that can apply natural transformation with satisfying physical constraints. It applies physically reasonable transformation to a selected video object with considering physical information such as momentum, movement direction and force. We construct several deformation scenarios which correspond with traditional animation techniques, then a scenario can be easily selected to apply the effects. Finally, this system generates a dynamic cartoon-style video by timing control and a cartoon rendering technique.

**Key words** : Video Processing, Cartoon Stylization

### 1. 서론

전통적인 애니메이션에서 전문적인 애니메이터들은 캐릭터의 동작을 역동적이고 생동감 있게 표현하기 위해 여러 가지 특별한 기법들을 사용하였다. "The Illusion of Life"[1]와 Lasseter[2]가 애니메이터들의 경험에 의한 여러 테크닉들을 정리했는데 스퀴시-스트레치, 기대효과, 팔로우-쓰루 등이 있다. 그러나 이는 전문적인 경험과 기술을 요구하므로 시간과 비용이 많이 드는 어려움을 가지고 있었다.

이러한 기법들이 컴퓨터 그래픽스 분야에 소개되면서 이에 관련된 많은 연구가 이루어져 왔다. 비디오의 만화화에 대한 연구 중 렌더링에 대한 연구는 많이 있었지만[3,4] 오브젝트의 형상 변형을 이용한 것은 많지 않았고, 결과도 여전히 미비한 실정이다. 또한 물리적인 요소를 무시한 채 단순히 수학적 또는 기하학적인 틀을 이용한 연구가 대부분이었다[5-7]. 이를 해결하기 위해서는 실제 물리적 현상 정보를 추출하여 물리적인 상황에 맞게 자연스러운 변형을 손쉽게 적용할 수 있는 새로운 비디오의 만화화 방법이 필요하다.

본 논문에서는 비디오 오브젝트의 물리적인 현상을 분석하여 전통적인 애니메이션 기법을 손쉽게 적용시킬 수 있는 시스템을 제안한다. 비디오의 물리적인 상황을 분석하기 위해 비디오 오브젝트를 모션 트래킹하여 운동량, 운동방향, 가속도 정보를 추출하고, 이 정보에 따른 오브젝트의 변형률을 조절한다. 즉, 운동을 일으키는 힘에 의해 변형이 일어나도록 하여 물리적으로 타당한 디포메이션 효과를 적용 시키는 것이다. 손쉬운 디포메이션 적용을 위해 전통적인 애니메이션에서 주로 사용하는 몇 가지 디포메이션 시나리오를 구성하고 사용자가 원하는 시나리오를 선택하도록 한다. 이 시나리오는 특정 진동 패턴에 의한 모델의 디포메이션을 나타내는 모드 형상과 전통적인 애니메이션 기법과 매칭하여 디포메이션 만화화 룰을 성립한 것이다. 또한 슬로우-인 슬로우-아웃과 같은 타이밍 조절 기법과 카툰 렌더링을 이용하여 최종 결과물을 얻어낸다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서는 만화화에 관련된 연구들을 소개하고, 3절에서는 제안하는 시스템의 비디오 만화화의 방법에 대해 기술한다. 4절에서는 제안한 방법에 대한 실험 결과를 분석하고 검증하며 5절에서는 마지막으로 결론과 향후 계획으로 끝을 맺겠다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 캐릭터 애니메이션의 만화화

3D 캐릭터 애니메이션에서는 모션 캡처 데이터를 재 사용하여 스타일라이징 하는 연구가 활발하게 이루어졌다. 특히 시그널 프로세싱에 의한 모션의 과장 및 만화화에 대한 연구가 좋은 결과를 보였다. Bruderlin과 Williams[6]에 의해 소개된 모션 에디팅 툴은 모션 캡처 데이터의 진동수 영역에서 다해상도 분석을 적용하여 존재하는 모션을 다양하게 편집하는 것이다. Wang 등이 소개한 카툰 애니메이션 필터[7]는 가우시안-라플라시안 필터를 모션 시그널 데이터에 적용하여 자동으로 캐릭터 애니메이션에 기대효과, 팔로우-스루 효과를 생성하였다. Kim 등[5]은 캐릭터 애니메이션의 기대효과를 자동으로 생성해주는 방법을 제안하였다.

### 2.2 비디오의 만화화

비디오 분야에서도 컴퓨터 비전 테크닉을 이용하는 비디오 데이터의 만화화에 대한 연구가 많이 있었다. Video Paint Box[8]는 비디오를 여러 독립적인 오브젝트로 세그멘테이션한 후 다양한 사용자 파라미터를 필요로 하는 여러 알고리즘을 도입하여 기대효과와 팔로우-스루 효과를 생성하였다. 또한 오브젝트의 디포메이션을 통한 스퀴시-스트레치도 제공하고 있다. Video Paint Box는 비디오 스타일라이징에 좋은 결과를 보여 주었지만 저차원 레벨의 사용자 입력을 많이 필요로 하므로 일반인이 손쉽게 사용하기에는 한계가 있다. Wang의 카툰 애니메이션 필터[7]는 비디오에도 적용할 수 있는데 시스템이 간단하지만, 단순한 스퀴시-스트레치만 가능하기 때문에 다양한 형태의 디포메이션을 적용할 수는 없었다.

## 3. 물리적 운동 분석을 이용한 비디오 만화화

본 논문의 시스템은 그림 1과 같이 크게 세 단계로 구성되는데 전처리 단계와 런타임 단계, 후처리 단계가 되겠다. 전처리 단계에서는 사용자에게 편집을 원하는 오브젝트와 시나리오를 선택받는다. 런타임에서는 사용자 입력에 따른 오브젝트 디포메이션과 운동 속도를 조절을 한 만화화를 비디오의 각 프레임에 이미지 와핑을 수행하여 편집한다. 후처리 단계에서는 오브젝트와 배경을 분리하고 원본 배경 이미지와 합성한다. 좀 더 만화같은 결과물을 위해서 카툰 렌더링을 하여 최종 결과물을 얻어낸다.

### 3.1 비디오 오브젝트의 물리 정보 분석

비디오 오브젝트의 물리 정보를 분석하기 위해서 비디오 오브젝트의 움직임에 대한 물리 데이터를 추출해야 한다. 본 연구에서는 비디오 오브젝트가 정지 상태에 있다가 출발하고 정지하기까지인 전형적인 동작의 경우만을 고려하여 모션을 분석하였다(그림 2). 이 데이터를 통해 모션의 운동량, 운동방향, 가속도, 힘을 측정할 수 있다. 그리고 시나리오 작성을 위해 가속도가 갑자기 크게 변하는 지점을 기준으로 예비 동작 - 액션 - 마무리 동작의 세 단계로 나눈다.

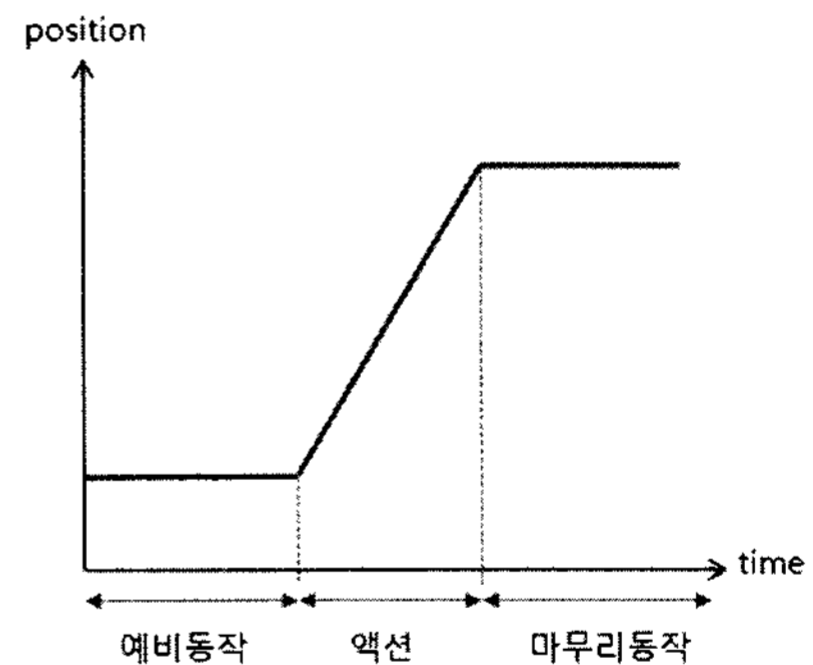


그림 2 입력으로 들어오는 모션 데이터

### 3.2 디포메이션 시나리오

몇 가지의 일반적인 카툰 스타일의 디포메이션에 의한 애니메이션을 생성하여 비디오에 적용한다. 비디오

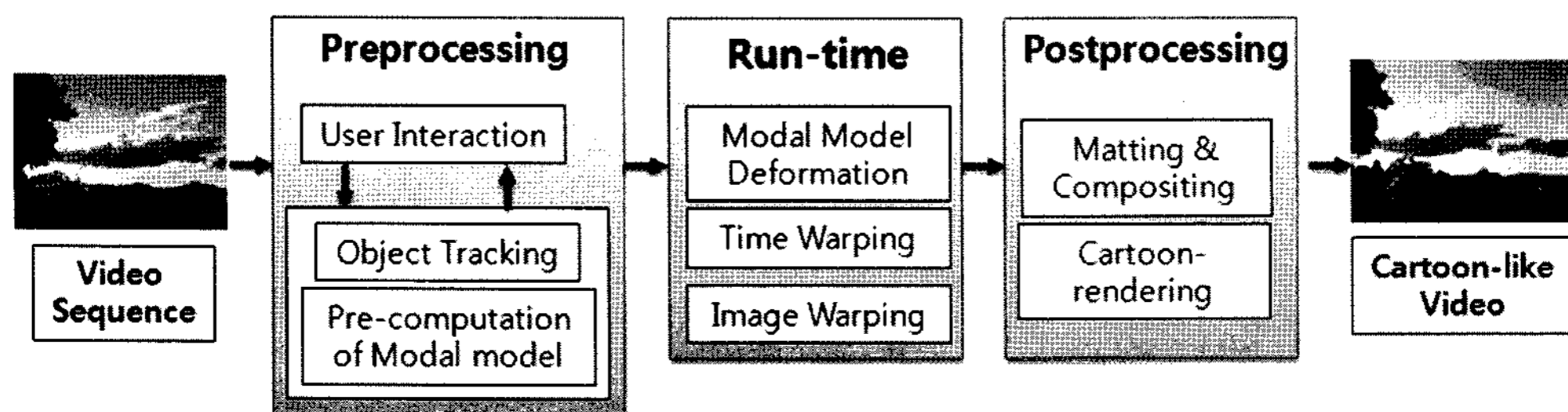


그림 1 시스템 개괄도

오브젝트는 간단히 직사각형 형태의 모델만을 가정했다. 연속체 이론을 기반한 유한요소법[9]을 도입하여 탄성체 디포메이션을 수행한다. Petland와 Williams[10]이 빠른 계산을 위해 소개한 모달 분석(modal analysis)을 이용하면 특정한 진동수 영역대의 진동 패턴을 나타내는 모드 형상을 구할 수 있는데, 이 모드 형상과 만화 스타일의 형상 변형을 매칭 시킬 수 있다.

모드형상을 구하는 방법을 간단히 소개하겠다. 우리는 사면체(tetrahedron)를 요소로 이루는 체적 모델(volumetric model)을 사용하여 FEM 시뮬레이션 시스템을 구축하였다. FEM 모델의 지배방정식은 다음과 같다.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f \quad (1)$$

$M, C, K$  행렬은 각각 질량 행렬, 댐핑 행렬, 강성 행렬로  $3n \times 3n$  크기를 갖는다.  $u$ 와  $f$ 는  $3n$  차원의 벡터로 각각 변위 벡터, 힘 벡터를 나타낸다.  $M, C, K$ 는 정지 상태에서 계산 할 수 있고 일반화된 아이젠-밸류(eigen-value) 문제,  $K\Phi = M\Phi\Lambda$ 로 모드 형상 행렬  $\Phi$ 와 대각 행렬을 구한다. 행렬  $\Phi$ 는  $\Lambda$ 는  $\Phi^T M \Phi = I$ 와  $\Phi^T K \Phi = \Lambda$ 를 만족 시킨다. 우리는 일반적으로 컴퓨터 그래픽스 분야에서 간단하게 사용하는 대각행렬인 럼프(lumped) 질량 행렬을 사용하였고, 댐핑 행렬은 Rayleigh 댐핑 행렬에 따라  $M$ 과  $K$ 의 선형 조합을 사용하였다. 모드 형상 행렬  $\Phi$ 의 열 벡터는  $3n$  차원 공간의 기저를 이루고 모드 형상을 표현하는 변위 벡터는 다음과 같이 계산 할 수 있다.  $q$ 는 진폭을 나타내는 벡터이고 sin함수 형태의 주기함수이다.  $\phi_i$ 는  $\Phi$ 의  $i$ 번째 열 벡터를 의미한다.

$$u = \Phi_i q \quad (2)$$

이렇게 구한 여러 개의 모드 형상은 만화 모션 효과와 매칭하여 만화화 룰을 성립할 수 있다(그림 3). 즉, 각각의 모드는 만화 모션 효과의 요소가 될 수 있고 최종적으로 여러 개 모드의 합성으로 쉽게 다양한 만화 효과를 만들 수 있다. 전처리 단계에서 모드 형상 행렬을 미리 계산하고 나서 사용자는 적용할 모드와 각 모드의 가중치만 선택하면 된다. 사용자의 선택 요소들은 직관적인 값들이기 때문에 시스템을 자동화 하는데 어려움이 없다고 볼 수 있다.

사용자의 선택된 여러 가지 모드를 합성하는 방법은 다음과 같다. 모드 형상 행렬의 선택된 모드 열 벡터를 뽑아 온 것으로 행렬  $P$ 를 구성하고, 벡터  $q$ 는 각 모드의 가중치와 진폭의 곱으로 이루어진 벡터이다. 결과로 나온  $u$ 는 변위 벡터가 된다.  $w_i$ 는 해당 모드의 가중치와 속도의 곱으로 구해진 값이다. 이렇게 하여 속도가 빠를 때 더 크게 변형되는 효과를 표현할 수 있다.


그림 3 모드 형상과 전통적인 애니메이션 기법과의 매칭 - 첫째 줄은 스위치-스트레치, 둘째 줄은 휨, 셋째 줄은 뒤틀림, 넷째 줄은 기울이기 시나리오를 표현한다.

우리는 변형이 크게 일어날 때 생기는 왜곡을 줄이기 위해 Choi 등[11]이 제안한 모달 와핑의 방법을 도입하였다.

$$\begin{aligned} P &= [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_M] \\ Q &= [w_1q_1, w_2q_2, \dots, w_Mq_M]^T \\ u &= PQ \end{aligned} \quad (3)$$

디포메이션의 타임 스텝을 조절하여 디포메이션 애니메이션의 타이밍을 컨트롤 할 수 있다. 한 번 모드의 애니메이션을 실행하는데 타임 스텝은 일반적으로 0부터  $2\pi$ 까지 증가시키는데 기하급수적으로 증가시킴으로 디포메이션이 빠르게 시작되어 천천히 끝나도록 할 수도 있고, 반대로 느리게 디포메이션이 시작되었다가 점점 빨라지게 할 수도 있다. 이는 애니메이션을 좀 더 역동적이고 생동감 있게 만드는데 좋은 효과를 발휘한다.

### 3.3 타임 와핑

트래킹을 통해 얻은 모션 시그널 데이터에 이즈 커브(ease curve)를 적용하여 타이밍을 컨트롤 한다. 우리는 애니메이션의 동작이 주로 슬로우-인 슬로우-아웃 인 것을 착안하여 모션 데이터를 조작한다. 기대효과와 경우 액션 동작 이전과 이후의 스테이지에서 뒤로 가는 등의 또 다른 액션을 천천히 취하여 관객의 인식도를 높여 슬로우-인 슬로우-아웃 효과를 낸다. 그러므로 우리는 예비 동작과 마무리 동작에 기대효과 기법을 취해 주고 중간 액션 부분에 가속화하는 타이밍 컨트롤을 한다.

액션 단계에 이즈 커브를 적용하는 방법은 다음과 같다. 여기서 사용한 이즈 커브의 생성함수는 다음과 같다.  $C$ 는 모션 커브 액션이 시작되는 지점의 파라미터  $t=0$ , 끝나는 지점에서  $t=1$ 이다. 이것은 스테이지가 시작할 때 속도가 빠르게 변하여 가속 운동을 하다가 천천히 정지하는 것을 의미한다. 원래의 동작과 이즈커브를 적용하여 만화한 동작과의 타이밍 차이를 비디오 오

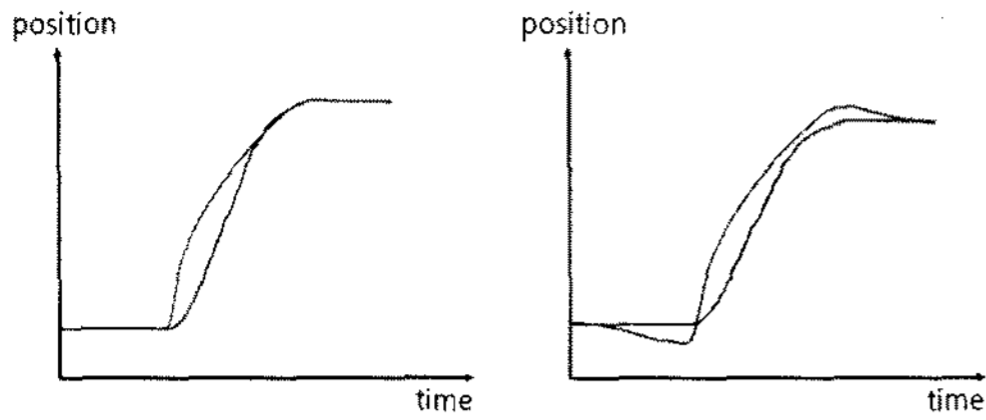


그림 6 왼쪽은 이즈 커브만 적용한 모션 커브이고, 오른쪽은 카툰 애니메이션 필터를 적용한 후 이즈 커브를 적용한 결과 모션 커브이다. 파란 선이 원본이고 빨간 선이 결과 데이터이다.

브젝트에 적용하여 만화적인 모션 효과를 낸다.

$$C(t) = \text{ease}(t) = \text{sqrt}(t) \quad t \in [0,1] \quad (4)$$

또한 사용자의 선택에 따라 카툰 애니메이션 필터[4]를 적용할 수 있게 하였다. 각 결과의 모션 시그널 커브는 그림 6과 같다. 예비동작에 디포메이션을 통한 특별한 효과를 크게 주었다면 오히려 카툰 애니메이션 필터 효과와 중첩되면서 효과가 떨어질 수 있기 때문에 선택적으로 적용한다.

### 3.4 후처리 및 비디오 생성

최종적으로 각 프레임 이미지에 디포메이션과 모션의 변위 정보를 사용하여 이미지 왜곡을 실시한다. 왜곡은 디포메이션 모델이 가지고 있는 노드를 이미지 오브젝트 위에 특징점으로 가져와서 노드의 디포메이션 변위를 각각 적용하고 모션 변위 정보는 모든 특징점에 대해서 일괄적으로 적용해 준다. 왜냐하면 우리가 적용한 모션 커브는 비디오 오브젝트를 하나의 강체로 보고 분석한 정보이기 때문이다. 이미지 왜곡은 Lee 등[12]이 제안한 방법을 사용하였고 shake 툴을 사용하여 비디오 오브젝트를 매칭하여 배경 이미지를 합성한다. 필요에 따라 Holger 등[13]이 제안한 Video Abstraction 테크닉으로 카툰 렌더링을 수행한다.

## 4. 실험 결과

본 연구에서는 자동차가 정지했다 출발하여 달리다가 정지하는 내용의 입력 비디오에 대해서 모션 효과를 적용시켜 보았다. 일반적으로 애니메이션의 자동차에서 보이는 형태인 그림 7과 같이 예비 동작과 마무리 동작에서 기울임 모드, 구부림 모드, 액션 스테이지에서 스트레치 모드가 적용하였다. 또한 예비동작과 마무리 동작 스테이지에서 사용자에게 의해 디포메이션의 지역 컨트롤을 고정 제약을 주었다. 결과는 그림 8과 같다.

본 시스템은 다양한 응용이 가능하다. 비디오의 내용을 간단하게 보여주는 썸네일(thumbnail)에 응용되는

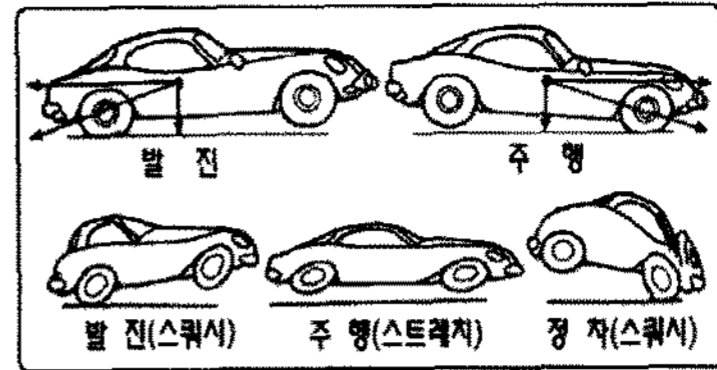


그림 7 일반적인 애니메이션의 자동차 변형[14]



그림 8 자동차 애니메이션 예제 : 총 100 프레임 중 3, 17, 25, 91, 96 프레임, 왼쪽의 그림은 모션 만화화 효과가 적용된 것이고 오른쪽의 것은 적용되지 않은 것이다.

예를 보이겠다. 우리가 제안하는 시스템은 모션을 분석하여 비디오를 여러 스테이지로 나누었는데 이를 이용하여 각 스테이지의 프레임을 뽑아 비디오를 N컷 만화와

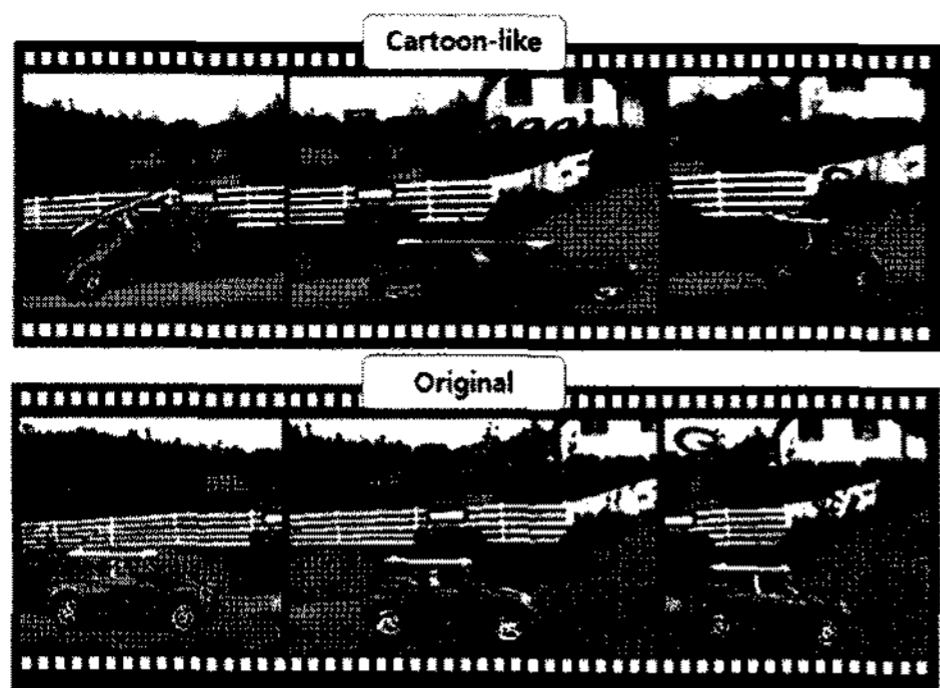


그림 9 비디오 요약 - 위의 것은 만화화 테크닉을 사용한 경우이고 아래의 것은 사용하지 않고 프레임을 뽑아 생성한 결과이다.

같이 요약할 수 있다. 각 스테이지에서 가장 디포메이션율이 최고인 지점을 뽑으면 가장 두드러지는 모션을 보여줄 수 있다. 또한 기존의 맛있는 모션을 만화화 하여 보여줌으로 좀 더 역동적이고 생동감 있게 비디오의 내용을 보여줄 수 있다. 결과 이미지는 그림 9와 같다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 비디오 모션의 만화화를 하는 새로운 방법을 제시하였다. 모션의 물리적인 정보를 추출하여 물리적으로 타당한 디포메이션 효과를 줌으로써 비디오의 상황에 잘 어울리고 자연스러운 효과를 줄 수 있었다. 비디오 오브젝트에 디포메이션 효과를 주는 외형적 변형과 전체적인 동작에 타이밍 컨트롤 만화 기법 중 하나인 슬로우-인 슬로우-아웃 효과를 주어 역동적이고 익살스러운 동작을 생성하였다. 우리가 제안한 비디오 오브젝트 모션의 만화화 테크닉은 지금까지 제시된 다른 연구들과 같이 단순하게 늘어나고 줄어드는 변형에서 벗어나 보다 다양하고 역동적인 효과를 보여준다. 휘는 효과, 뒤틀리는 효과, 찌그러지는 효과 등이 다양하게 존재할 뿐만 아니라 이것들을 사용자가 간편하게 여러 개의 모드를 선택하여 합성할 수 있다는 것이 장점이다.

그러나 우리의 시스템은 몇 가지 한계를 가지고 있다.

각 모드의 가중치를 적절한 값으로 넣지 못한 경우 부자연스러운 변형을 보여준다. 또한 비디오 오브젝트의 동작이 전형적인 정지-출발-정지의 경우가 아닌 경우 모션 분석에서 기대하지 않은 결과를 가져와 이즈 커브 적용시 손으로 적용 구간을 정해주어야 한다. 우리는 추후 정지-출발-정지의 경우가 아닌 비디오 시퀀스에 대해서도 자동으로 구간을 나누어 시나리오를 생성할 수 있는 시스템으로 확장시킬 계획이다. 충돌이 일어난 구간을 인식하는 등의 다양한 방법으로 구간을 나눌 수 있을 것이다. 또한 비디오의 관절 오브젝트에 대해서도

이 기술을 확장시킬 수 있다. 이미지 세그멘테이션 기법을 통해 캐릭터를 각 관절마다 나누고 트래킹하여 모션을 분석하고 캐릭터 만화화 룰에 의한 디포메이션 시나리오를 적용시킬 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] JOHNSTON, O., AND THOMAS, F., "The Illusion of Life : Disney Animation," Disney Editions, 1995.
- [2] LASSETER, J., "Principles of traditional animation applied to 3d computer animation," In Proceedings of ACM SIGGRAPH '87 pages 35-44, 1987.
- [3] WINNEMOLLER, H., Olsen, S. C. and GOOCH, B., 2006. "Real-Time Video Abstraction," In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006 pages 1221-1226, 2006.
- [4] WANG, J., XU, Y., SHUM, H., COHEN, M. F., "Video Tooning," ACM Transaction on Graphics, 23(3) pages 574-583, 2004.
- [5] KIM, J., CHOI, J., SHIN, H., AND LEE, I. "Anticipation Effect Generation for Character Animation," In Proceedings of CGI 2006. Jun 26-28, 2006.
- [6] BRUDERLIN, A., AND WILLIAMS, L., "Motion signal processing," Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 95), pp. 97-104, 1995.
- [7] WANG, J., DRUCKER, S. M., AGRAWALA, M., COHEN, M. F., "The Cartoon Animation Filter," ACM Transaction on Graphics, 25(3), 1169-1173, 2006.
- [8] COLLOMOSSE, J.P., HALL P. M., "Video Paint-box: the fine art of video painting," Computers & Graphics 29, pages 862-870, 2005.
- [9] O. C. Zienkiewicz, "The Finite Element Method," McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, Maidenhead, Berkshire, England, 1977.
- [10] A. Pentland, J. Williams, "Good vibrations: model dynamics for graphics and animation," Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 89), Volume 23, Number 3, July 1989 pages 215-222, 1989.
- [11] Min Gyu Choi and Hyeong-Seok Ko, "Modal Warping: Real-Time Simulation of Large Rotational Deformation and Manipulation," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 11(1):91-101, 2005.
- [12] S. Lee, G. Wolberg, and S. Y. Shin, "Scattered data interpolation with multilevel B-splines," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 3(3):228-244, 1997.
- [13] Holger Winnem'oller, Sven C. Olsen, and Bruce Gooch, "Real-time video abstraction," In Proc. SIGGRAPH '06, pages 1221-1226. ACM Press, 2006.
- [14] 이남국, 경병표, 유석호, "탄성이 애니메이션 캐릭터에 미치는 영향에 관한 연구", 한국콘텐츠학회논문지 제6권 제3호 pages 135-142, 2006.