
만화화 파라미터 튜닝을 위한 대화형 유전자 알고리즘

Interactive genetic algorithm for cartooning parameter tuning

이선영, Sun-Young Lee*, 유민준, Min-Joon Yoo**,
윤종철, Jong-Chul Yoon**, 이인권, In-Kwon Lee***

요약 본 논문에서는 필터링 기반으로 한 이미지 만화화를 위한 파라미터 조절을 위해 대화형 유전자 알고리즘을 이용한 시스템을 제안한다. 만화화의 스타일은 사람마다 주관적이고, 비전문가가 파라미터를 직접 조절하는 데에는 시그널 프세싱에 대한 이해가 요구되므로 쉽지 않은 일이다. 우리는 이러한 문제점을 해결하기 위해 사용자에게 직접 평가함수를 받고 사용자가 원하는 방향으로 해를 찾아주는 대화형 유전자 알고리즘 기법을 이용하는 인터페이스 기술을 제안한다. 이 방법을 이용하면 비전문적인 사용자도 원하는 스타일의 만화화를 생성하는 파라미터를 비교적 빠른 시간 안에 설정해 줄 수 있었다.

Abstract We introduce an interactive image cartooning system based on personal subjectivity. To effectively tune various parameters needed to adjust image style, our system uses interactive genetic algorithm. By selecting several pre-stylized image samples using simple user interface, the user can easily achieve the desired result without having any signal-processing knowledge. Our system reduces the parameter tuning time drastically compared to the conventional system, which involves manual parameter setting.

핵심어: *Image Cartooning, Interactive Genetic Algorithm*

본 연구는 문화체육관광부 및 정보통신연구진흥원의 IT원천기술 개발사업 (2008-F-031-01, 영상 및 비디오 콘텐츠를 위한 계산사진학 기술개발)의 연구결과로 수행되었음

*주저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정 e-mail: shepherd@cs.yonsei.ac.kr

**공동저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정 e-mail: debussy@cs.yonsei.ac.kr

**공동저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정 e-mail: media19@cs.yonsei.ac.kr

***교신저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수; e-mail: iklee@yonsei.ac.kr

1. 서론

영상 프로세싱 및 컴퓨터 그래픽스 분야에서 비사실적 렌더링(NPR, Non-Photorealistic Rendering) 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이는 예술적인 효과뿐만 아니라 효과적인 정보 전달을 위해서도 유용하게 사용되고 있다. NPR 기술은 영상의 정보를 더욱 명확하고 흥미롭게 만들어 준다. 이러한 이유로 비사실적 렌더링 기술은 영화나 비디오 게임, 광고 산업에서도 다양하게 사용되고 있다.

필터 기반의 이미지 프로세싱 기법은 빠른 속도와 효율성의 장점을 가지고 있어 NPR 분야에서 자주 쓰이는 기법이다. 특히 이미지 스타일화를 위한 자동 시스템을 위해 다양한 필터들이 개발되었는데 이는 아직까지 몇몇 한계점을 가지고 있다. 그 중 대표적인 것이 스타일화는 개개인에게 매우 주관적이라는 점이다. 사람마다 스타일에 대한 취향이 다르기 때문에 스타일에 대한 표준이 있을 수 없다. 따라서 스타일화 결과에 대한 평가를 내리는 기준 또한 모호하다. 게다가 필터 효과는 여러 파라미터에 의존적이고, 같은 파라미터를 사용한다 하여도 입력 영상에 따라 결과가 다르게 나타나므로 영상마다, 그리고 사용자의 취향에 따라 파라미터가 달라져야 한다.

본 논문에서는 영상 처리 시그널 프로세싱에 대한 전문적인 지식이 없는 비전문가도 직관적으로 파라미터를 조절할 수 있는 인터페이스 시스템을 제안하고자 한다. 이를 위해 대화형 진화 연산 알고리즘을 도입하여 사용자가 원하는 스타일로 이미지를 변환해주는 방법을 소개한다. 처음에는 사용자의 입력 영상에 대해 랜덤하게 파라미터를 적용한 결과를 보여주고 사용자는 각각의 결과에 대해서 평가를 내린다. 사용자의 평가를 반복적으로 받으면서 사용자에게 만족스러운 결과가 나올 때까지 파라미터를 진화 시킨다.

우리는 이 방법의 효율성을 증명하기 위해 영상의 NPR 스타일화 기법의 대표적인 방법인 양방향 필터(Bilateral Filter)[1]와 일관된 라인 드로잉(Coherent Line Drawing, CLD)[2]을 사용한 영상의 만화화 기법에 대해 실험을 하였다. 파라미터를 손으로 직접 튜닝하는 기존의 시스템과 비교하기 위해 사용자 설문조사를 실시하였다. 전문가 집단과 비전문가 집단에 대해 설문조사의 결과를 분석하였을 때 우리의 시스템은 비전문가들에게 거의 같은 만족도를 보이면서 훨씬 빠른 튜닝 속도를 보여 이 시스템의 효율성을 증명할 수 있었다.

2. 관련 연구

2.1 대화형 유전자 알고리즘

대화형 유전자 알고리즘(Interactive Genetic Algorithm,

IGA)은 사람의 주관에 최적화된 해를 구하는 알고리즘이다. 이는 예술이나 공학 분야에서 사람의 주관적인 기준에 적합한 해를 효율적으로 구해주는 방법으로 다양하게 사용되어 왔다[3]. 이를 사용한 다양한 논문이 출판되었는데, Cho[4,5]는 이미지, 음악, 비디오 등 다양한 멀티미디어 데이터의 검색을 위해 IGA를 사용하였다. Jaksal[6]와 Takagi[7]은 간단한 선형 커브 필터를 사용해서 이미지를 증강시키는데 IGA를 소개하였다. 이들의 시스템은 우리의 시스템과 비슷하지만, 이들은 이미지의 컬러 분포에만 IGA를 적용하였지만 본 논문은 이미지 만화화에 적용하였다는 점에서 차별성이 있다.

2.2 이미지 스타일화

여기서는 기존의 이미지 스타일화 방법들에 대해 파라미터 설정 측면에서 설명하고자 한다. Decarlo[3]는 Mean-Shift 기법을 이용해서 사진을 추상화하는 기술을 제안하였다. 이 기술은 인지적 접근 방법으로 사람이 영상을 볼 때에는 집중점이 있다는 것을 가정하여 영상을 추상화하였다. 이 논문에서 파라미터는 고정된 파라미터를 사용하였고, 논문에서 사용한 파라미터의 고정된 값을 추천하였다. Wang[4]은 Mean-Shift에 의한 비디오 세그멘테이션을 적용하여 비디오를 만화화 하는 기술을 소개하였는데, 각각의 사용된 파라미터에 대해 일정한 범위를 추천하였다. Holger[5]는 빠른 시간에 비디오를 단순화하는 알고리즘을 제안하였는데 GPU 렌더링을 위한 파라미터에 대해서는 값의 일정 범위를 추천하였고, 양방향 필터에 대해서는 고정된 값을 제안하였다.

스타일화의 또 다른 접근으로는 영상의 스케치를 그려주는 라인 드로잉이 있다. CLD[2]는 이미지 스타일화를 위해 안정적인 에지를 추출해 주는 기법이다. CLD는 에지의 탄젠트 플로우 벡터를 계산하고 이를 이용해서 플로우 기반의 가우시안 차(FDoG, flow-based difference of Gaussians) 필터를 통해 에지를 검출한다. 그러나 CLD의 결과도 여러 파라미터들에 의존적이고 이 또한 특정 지식이 필요한 영역이다.

위에서 소개한 여러 이미지 스타일화에 대한 연구들은 기본 파라미터 고정값이 주어지거나 값의 일정 범위를 추천하고 있다. 그러나 필터 기반의 영상 처리 프로세싱은 파라미터의 값과 영상의 특징에 민감하기 때문에 이는 충분하지 않다. 본 논문에서는 IGA를 사용한 방법을 통해 이 문제를 해결하였다.

3. 대화형 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘[6]이란 자연계에 존재하는 적자생존의 원리에 따라 세대가 지나면서 우성의 형질을 지닌 개체로

진화되는 과정을 모방한 알고리즘으로 최적화 문제나 탐색 문제의 해를 찾는 데 적절하게 사용된다. 집단이라는 해의 탐색 공간이 초기화되고 이 집단의 각 개체는 평가함수에 의해 우수성을 평가 받는다. 이 평가값에 의해서 다음 세대에 선택될 개체의 선택 확률이 정해진다. 이 과정에서 교차나 돌연변이의 발생을 통해 더 다양한 개체의 탐색이 가능해진다. 이렇게 세대가 반복되면서 적합한 해를 찾아 간다. 다음은 간단한 유전자 알고리즘의 수도코드가 되겠다.

- 1단계 : 집단의 각 개체의 유전자 초기화
- 2단계 : 각 개체의 평가 함수 계산
- 3단계 : 각 개체의 평가 함수에 따라 다음 세대 재생산
 - 베스트 랭킹에 의해 재생산에 사용할 개체 선택
 - 교차 및 돌연변이를 통해 다음 세대 생성
- 4단계 : 원하는 조건 검사하여 만족할 때까지 2단계로 돌아가 위의 단계 반복

대화형 유전자 알고리즘 [7]이란 일반적인 유전자 알고리즘의 평가 함수를 사용자가 직접 평가 하도록 부여하는 방식이다. 이 방식은 감정적 또는 주관적인 요인과 관련 있는 문제의 해를 구할 때 유용하다. (그림 1. 참고) 우리는 개인의 취향에 따르는 이미지 만화화를 위해 이 방법을 적용하였다. 집단의 각 개체를 단순한 인터페이스를 통해 보여주고 사용자가 각 개체의 점수를 받는다. 이 점수는 평가함수를 계산하는데 사용된다. 그리고 교차 및 돌연변이 같은 유전자 연산을 적용하여 다음 세대를 생산한다. 이 과정을 사용자의 특정 조건을 만족시킬 때까지 반복하며 만화화의 파라미터를 튜닝 해 나간다.

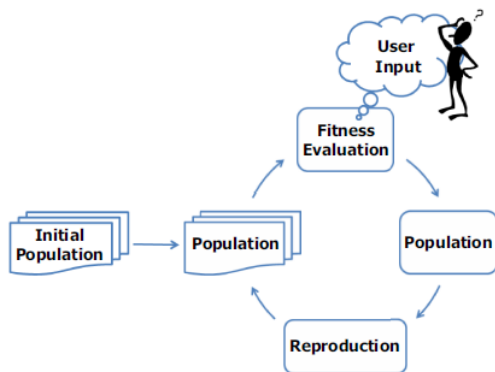


그림 1. 사용자 대화형 유전자 알고리즘

4. 대화형 이미지 만화화

Video Abstraction[5]에서 양방향 필터와 DoG 에지 검출을 사용하여 이미지 및 비디오를 빠르고 효율적으로 카툰 스타일화 하는 방법을 소개하였고 이후 다양하게 응용되어 왔다. 본 논문에서는 [5]과 비슷한 방식으로 이미지의 색상을 단순화 시키고 밑그림을 스케치 하는 형태의 만화화 기

법을 이용하여 이미지를 비사실적으로 생성하였다. 이를 위한 IGA에는 추상화 정도를 컨트롤하는 총 7개의 파라미터가 사용되었다.

4.1 개체 인코딩

양자화 필터 (Bilateral Filter)는 영상을 부드럽게 하면서 영상의 경계는 유지해주는 특성을 갖는 비선형 필터이다. 식은 다음과 같다.

$$BF[I]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(|p - q|) G_{\sigma_r}(I_p - I_q) I_q$$

픽셀 거리에 대한 가중치 함수 G_{σ_s} 와 픽셀 컬러값에 대한 가중치 함수 G_{σ_r} 로 구성된다. p, q 는 픽셀 위치가 되고 q 는 p 의 이웃 픽셀이다. W_p 는 정규화 값이 된다. 여기서는 추상화 정도를 조절하는 3가지의 파라미터가 있다. 첫 번째 파라미터는 필터의 적용 횟수 p_1 이고, 두 번째 파라미터는 윈도우 크기 p_2 이다. 윈도우의 크기가 커질수록 필터가 참조하는 픽셀의 범위가 넓어지므로 더 부드러워지는 결과를 보여준다. 세 번째 파라미터 p_3 은 σ 로, 가우시안 스무딩 함수의 편차값이다. 우리는 양자화 필터의 가속을 위해 [11] 방법을 구현하였다. p_3 을 조절함으로써 에지 보존의 정도를 조절할 수 있다.

본 논문에서는 픽셀의 RGB 컬러를 사람의 인지에 적합한 컬러 공간인 CIELab 공간으로 변환하여 필터를 적용하였다. 양자화 필터는 가중치 함수 $G_{\sigma_s}, G_{\sigma_r}$ 에 따라서 결과가 달라지는데 G_{σ_s} 는 크면 클수록 영상의 색깔이 뿌옇지는 효과를 갖고 G_{σ_r} 는 크면 클수록 영상의 색상이 단순해지는 효과를 갖는다. 그러나 이 효과는 입력으로 받은 영상의 특성에 따라 사람의 눈으로 볼 때는 다르게 느껴진다. 우리는 양자화 필터를 여러 번 반복하여 효과적인 영상 추상화를 수행한다.

양방향 필터를 적용하고 나면 명도 기반의 양자화 방법을 적용하여 중간 결과를 도출해 낸다. 양자화의 단계는 톤의 개수를 결정하는 파라미터 p_4 가 된다. 양자화의 단계가 적을수록 더 만화 같고 비현실적인 결과를 생성한다.

다음은 CLD[2] 방법으로 스케치를 생성한다. CLD 방법은 에지 검출을 위해 많이 사용되던 DoG 필터의 변형인 FDoG 필터를 적용하기 전에 에지 탄젠트 플로우를 계산한다. DoG 필터는 두 개의 파라미터를 가지고 있는데, 하나는 에지의 두께를 결정하는 두 가우시안 커널의 비율 p_5 이고, 하나는 바이너리 문턱값 p_6 이다. FDoG 필터는 또 하나의 파라미터 p_7 를 갖는데 이는 에지의 연속성을 결정하는 플로

우 기반 참조 영역을 의미한다. 수차례의 실험을 통해 만화화 효과를 충분히 커버하는 각 파라미터의 도메인을 설정하였다. 다음 표 1, 과 그림 2. 는 파라미터 각각의 도메인과 개체를 인코딩하기 위한 비트수를 나타낸다.

5 bits	6 bits	3 bits	4 bits	4 bits	4 bits	2 bits
Number of the iterations	Window size of the filter	Deviation of the intensity quantization	Level of quantization	Edge thickness	Binary threshold	Edge continuity

그림 2. 개체 표현

표 1. 개체 인코딩

파라미터	최저값	최고값	비트수
p_1 : 필터링 반복 횟수	1	33	5
p_2 : 양방향 필터 윈도우 크기	1	65	6
p_3 : 가우시안 필터 편차	3	11	3
p_4 : 양자화 단계	15	31	4
p_5 : 에지 두께	0.36	3.55	4
p_6 : 바이너리 문턱값	0.74	0.9	4
p_7 : 에지 연속성	0.96	1.0	2

4.2 대화형 진화 과정

전체적인 대화형 이미지 만화화의 과정은 다음과 같다. 우선 사용자에게 총 8개의 랜덤한 파라미터 값을 적용한 만화화 결과를 보여준다. 그러면 사용자는 각 이미지에 대해서 주관적인 평가를 점수로 매기게 된다. 여기서 점수는 2 레벨로 정의했다. 시스템은 이 점수를 가지고 점수가 높은 4개의 개체만을 선택하여 교차 및 돌연변이의 유전자 연산을 수행한다. 이렇게 다음 세대의 8개 개체들을 생성한다. 교차 연산을 위해서 선택된 부모 개체의 한 비트를 랜덤하게 선택하여 스와핑을 한다. 잘못된 해로 수렴하는 것을 방지하기 위해 부모 개체 중의 65%만 선택하였고 랜덤성을 부과하기 위해 개체들 중 2%에는 돌연변이가 연산을 수행하였다. 새롭게 생성된 개체들을 가지고 다시 만화화 기법을 적용하여 8개의 새로운 결과를 사용자에게 보여준다. 사용자가 만족하는 결과가 나올 때까지 이 과정을 반복하게 된다. 그림 3. 은 이 과정을 표현한 것이고, 표 2 는 IGA의 각 조건이 요약 되어 있다.

표 2. 시스템에서 사용한 IGA 조건

선택	엘리트주의의 룰렛 휠에 의해 4개 선택
교차 비율	0.65
돌연변이 비율	0.02
초기화	랜덤
집단 크기	8
평가 함수	2 단계의 사용자 평가

그림 4 는 이미지 만화화의 진화 단계를 나타낸 예제이

다. 사용자가 노란 오리들의 눈의 흰자가 보이지 않을 정도로 두꺼운 스케치와 단순한 셰이딩을 원하였다고 하자. 각 단계에서 사용자는 원하는 목표에 근접한 4개의 결과에 대해 점수를 주었고, 총 3번의 반복 이후 원하는 스타일의 만화화 이미지를 얻을 수 있었다. 이로써 진화의 단계가 완성 된다.

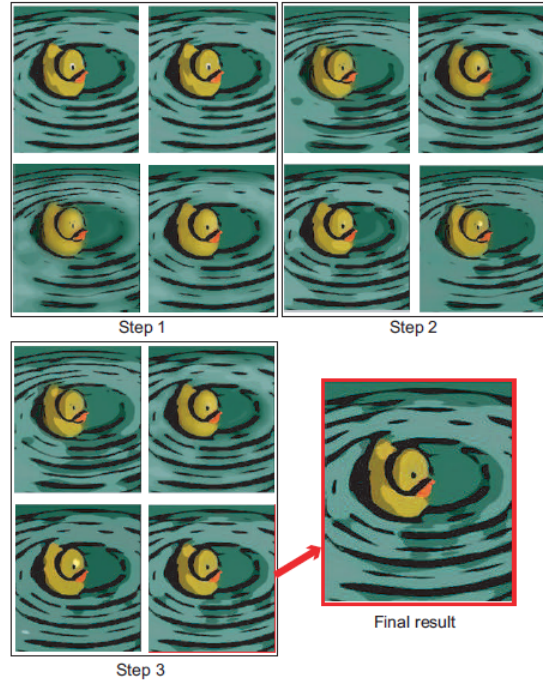


그림 3. 이미지 만화화의 진화 단계

4.3 사용자 인터페이스

대화형 유전자 알고리즘에서는 사용자 인터페이스가 중요하다. 너무 많은 집단을 생성하여 많은 이미지 결과를 보여주면 사용자가 모든 이미지를 평가 하는데 지치게 된다. 그러나 너무 적은 수의 이미지를 보여주면 다양하게 비교를 할 수 없어서 평가 하는데 한계가 있다는 관계가 있다. 본 시스템에서는 슬라이드바를 조절하여 쉽게 평가값을 결정할 수 있도록 하였고 모든 이미지를 평가한 후 버튼을 눌러 다음 세대를 생성하게 된다. 다음 그림 4는 본 논문에서 구현한 시스템의 사용자 인터페이스이다.

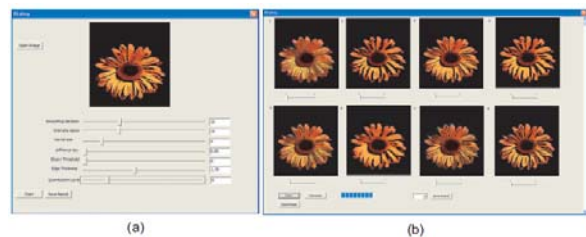


그림 4. 실험에 사용된 사용자 인터페이스 (a) 기존의 파라미터 튜닝 방식 (b) 우리의 시스템

5. 실험 결과

우리 시스템의 효율성을 증명하기 위해 기존의 파라미터 튜닝 방식 시스템과 비교해 보았고, 사용자 설문조사를 실시하였다. 총 28명의 사용자 (20명의 비전문가와 8명의 전문가)가 설문조사에 참여하였다. 전문가와 비전문가에 대한 구분은 필터 기반 영상 처리 프로세싱에 대해 경험의 정도에 따라 구분하였다.

우리는 실험을 위해 총 5개의 이미지를 사용하였다. (그림 6 참고) 이 이미지들은 각각 꽃, 건축물, 고층 빌딩, 오리, 플라스틱 오리 인형으로 다양한 사물의 사진이다. 우리는 기존의 시스템과 비교하기 위해 파라미터 튜닝에 걸리는 시간과 결과의 사용자 만족도를 측정하였고 100점 만점으로 점수를 받았다. 그림 5는 설문조사의 분석 결과가 되겠다. 결과의 분석을 보면 비전문가가 본 시스템을 이용하여 파라미터 튜닝에 걸리는 시간이 58% 정도 짧은 것을 확인할 수 있었다. 게다가 사용자 만족도는 거의 기존 방식의 것과 비슷함을 알 수 있었다. 그림 6은 설문조사에 응답한 사용자들이 만든 결과 이미지들이다. 이는 비교를 하기 위해서 파라미터의 평균값을 가지고 결과를 생성한 것이다. 우리는 기존의 파라미터 튜닝 시스템과 본 시스템의 결과가 크게 다르지 않다는 것을 알 수 있다. 그러므로 우리 시스템은 빠르게 파라미터 튜닝을 하면서도 높은 품질의 결과를 만들어 낼 수 있음을 알 수 있다.

그러나 전문가들은 아주 세밀한 파라미터 튜닝을 원할 수 있다. 그런 경우 이 시스템은 도리어 더 많은 시간을 요구할 수 있다. 그러나 비전문가에게는 세밀한 파라미터 튜닝보다는 원하는 결과를 빨리 얻는 것이 더 선호 되므로 이 시스템이 더 유용할 수 있다고 볼 수 있다.

우리 실험은 8개의 개체를 사용하였지만, 더 많은 개체수를 사용하여 더 큰 사용자 만족도를 가져올 수 있다. 그러나 개체수를 늘리면 사용자 입력이 더 많아짐으로 사용자에게 부담을 줄 수 있다는 트레이드-오프가 발생한다. 교차율과 돌연변이 비율을 낮추면 더 빠른 수렴이 가능하지만 이는 랜덤성이 줄어든다는 점을 가져온다. 우리는 향후에 본 시스템의 수렴에 대한 분석을 수행하고 다양한 영상 NPR 기법에 확장 시킬 예정이다.

6. 결론

본 논문에서는 본 논문에서는 필터링 기반의 이미지 스타일화를 위한 파라미터 조절을 위해 대화형 유전자 알고리즘을 이용한 시스템을 제안하였다. 이미지의 스타일은 사람마다 주관적이고, 비전문가가 파라미터를 직접 조절하는 데에는 시그널 프로세싱에 대한 이해가 요구되므로 쉽지 않은 일이다. 우리는 이러한 문제점을 해결하기 위해 사용자에게

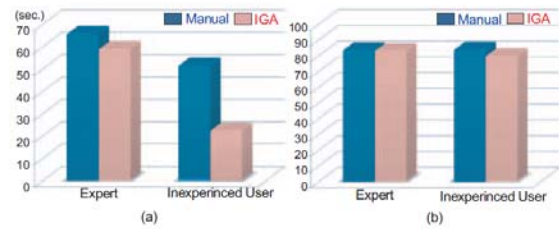


그림 5. 사용자 설문조사 결과 (a) 파라미터 튜닝에 걸리는 시간 (b) 사용자 만족도

직접 평가함수를 받고 사용자가 원하는 방향으로 해를 찾아주는 대화형 유전자 알고리즘 기법을 이용하는 기술을 사용하였다.

이 방법의 효율성을 증명하기 위해 전문가와 비전문가 집단에 대해 사용자 설문조사를 실시하였다. 설문조사 분석에 의하면 비전문가 집단의 경우 기존의 시스템에 비해 약 58%의 시간이 걸리면서 비슷한 만족도의 결과를 만들어 낸 결과가 나왔다. 따라서 이 시스템은 빠른 시간 내에 원하는 스타일의 만화화 효과를 내는 인터페이스로써 비전문가들의 활용도를 높이 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] Holger Winnemoller, Sven C. Olsen and Bruce Gooch, "Real-time video abstraction," ACM Transaction on Graphics, vol. 25, no. 3, pp. 1221-1226 (2006)
- [2] Henry Kang, S. Lee and Charles K. Chui, "Coherent Line Drawing," in Proceedings of ACM Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR), pp. 43-50 (2007)
- [3] H. Takagi, "Interactive evolutionary computation: fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation, in Proceedings of the IEEE, vol. 89, no. 9, pp. 1275 - 1296 (1998)
- [4] S.-B. Cho, "Emotional image and musical information retrieval with interactive genetic algorithm," in Proceedings of the IEEE, vol. 92, no. 4, pp. 702-711 (2004)
- [5] H.-W. Yoo and S.-B. Cho, "Video scene retrieval with interactive genetic algorithm," Multimedia Tools and Applications, vol. 32, no. 3, pp. 317-336 (2007)
- [6] Holland, J. H. and Ann Arbor, "Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence," University of Michigan Press (1975)
- [7] Takagi Hideyuki and Ohsaki Miho, "Interactive Evolutionary Computation-Based Hearing Aid Fitting," A IEEE Transaction on Evolutionary Computation, vol. 11, no. 3, pp. 414-427 (2007)

- [8] Doug DeCarlo and Anthony Santella, "Stylization and abstraction of photographs," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 21, no. 3, pp. 769–776 (2002)
- [9] Jue Wang, Yingqing Xu, Heung-Yeung Shum and Michael F. Cohen, "Video tooning," *ACM Transaction on Graphics*, vol. 23, no. 3, pp. 574–583 (2004)
- [10] Ben Weiss, "Fast median and bilateral filtering," *ACM Transaction on Graphics*, vol. 25, no. 3, pp. 519–526 (2006)



그림 6. 시스템에 의한 결과물 (a) 입력 영상; (b) 전문가가 기존 시스템으로 만들어낸 영상; (c) 전문가가 본 시스템을 사용한 결과; (d) 비전문가가 기존 시스템으로 만들어낸 영상; (e) 비전문가가 본 시스템을 사용한 결과