

간단하고 빠른 실시간 연필 스트로크 알고리즘

(A Simple and Fast Algorithm for Real-time Pencil Strokes)

최 성 욱 [†]

(Sung-Wook Choi)

요약 본 논문은, 연필을 이용하여 종이에 선을 그렸을 때에 나타나는 효과를 모방하는 연필 스트로크 알고리즘을 제안한다. 비사실적 렌더링(NPR, Non-Photorealistic Rendering)에 대한 연구는 사람이 직접 그린 펜화나 수채화, 연필화, 파스텔화 등의 효과를 컴퓨터를 통해 자동으로 표현함을 목적으로 하고 있으며, 현재 그래픽스 분야에서 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 연필에 대한 효과에 대한 연구는 LIC(Linear Integral Convolution)를 이용하여 최초 입력영상을, 방향성을 가진 벡터 영역이 반영된 출력 영상으로 변환하는 방식에 대한 연구가 대부분이었다. 그러나 이러한 변환 방식은 후처리방식이므로 사용자가 실시간으로 그림을 그리는 드로잉 툴에 적용하기 불가능하다. 본 논문에서는 무름의 정도에 따라 6B에서부터 6H의 연필들에 의해 실제 선이 그려지는 것을 관찰하고 이를 모방한 새로운 실시간 연필 스트로크 알고리즘을 제시하였다. 본 알고리즘은 연필상수, 스트로크 상의 픽셀 위치에 따른 노이즈 발생 등을 이용한 간단한 형태의 알고리즘임에도 불구하고, 구현 결과, 사용자가 일반 그래픽 에디터와 같은 환경에서 실제 연필 스트로크와 유사한 형태의 스트로크를 실시간으로 그릴 수 있음을 확인할 수 있었다.

키워드 : NPR, 비사실적, 렌더링, 연필, 스트로크, 펜, 그리기, 실시간

Abstract In this paper, we present a new algorithm which imitate real pencil strokes. The purpose of research on NPR(Non-Photorealistic Rendering) is simulating automatically manmade artistic expressions such as pen-and-ink illustrations, watercolor paintings, pencil sketches and pastel drawings with computers. Recently, there has been a great deal of research works on NPR. One of them is researching in pencil illustration methods for NPR, and a lot of researchers have investigated into the LIC(Linear Integral Convolution) techniques which would change the initial images into the output images by directional vector field images for generating effects of pencil. However, the LIC techniques can not be applied to real-time drawing tools because they are post processing techniques. This paper presents a real-time pencil strokes algorithm which is based on an observation of how pencils(from 6B to 6H) draw lines. Although this algorithm using some pencil variables and noise generation is simple, it is fast and also can draw real-time pencil strokes similar to real manmade pencil strokes in a GUI drawing tool.

Key words : NPR, Non-Photorealistic, Rendering, Pencil, Stroke, Pen, Drawing, Real-time

1. 서론

컴퓨터 그래픽스 학문의 렌더링 기술은 렌더링 결과의 사실성(reality)에 따라 크게 사실적 렌더링(Photo-realistic Rendering) 기술과 비사실적 렌더링(NPR, Non-Photorealistic Rendering) 기술로 나뉠 수 있다. 기존의 컴퓨터 그래픽스의 기법에서는 광선추적법이나 래디오시티와 같이 3차원 데이터와 빛의 관계를 고려하

여 렌더링함으로써 사진과 같은(photo-realistic) 영상을 제작하는데 중점을 두고 있었다[1]. 그러나 최근에는 사실적인 렌더링 기법뿐만 아니라 비사실적인 렌더링 기법이 컴퓨터 그래픽스 학문의 가장 중요한 이슈로 떠오르며, 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다[2,3].

비사실적 렌더링 기술은 사진과 같은 사실적 영상을 얻어내는 것이 아니라 수채화, 펜화, 인상화 표현방법 등과 같은 전통적인 예술형태를 표현하는 렌더링 기법이다[4]. 즉, 컴퓨터를 통해 예술가가 직접 그린 작품과 같은 효과를 주자는 것이 바로 비사실적 렌더링의 목적이다. 비사실적 렌더링 기법은 크게 2D 브러쉬 페인팅

[†] 정 회 원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과
csucom@paran.com
논문접수 : 2005년 10월 10일
심사완료 : 2006년 2월 16일

과 2D/2.5D 후처리 시스템으로 나눌 수 있으며[5], 3D 모델에 대한 후처리 기법으로서의 비사실적 렌더링 기법들에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다[6,7]. 또한 사용자의 개입이 어느 정도로 요구되었는가에 따라 자동적 기법과 비 자동적 기법으로 분류된다[4].

본 논문에서는 이러한 비사실적 렌더링의 표현 도구 중의 하나인 연필의 스트로크 효과를 실시간으로 나타내는 알고리즘을 제시한다. 기존의 연필 관련 연구들은 대부분이 LIC(Linear Integral Convolution)를 통하여 벡터 영역을 생성한 후, 이를 이용하여 기존 이미지를 연필화 형태로 변형시키는 후처리 시스템에 관한 것이 많았다[8,9]. 그러나 이러한 기법은 마우스를 통하여 사용자가 실시간으로 그림을 생성해 나가는 드로잉 툴에서는 적용하기 곤란하다. 본 논문에서는 실시간으로 연필 스트로크를 표현할 수 있는 간단한 형태의 알고리즘을 제안하고 구현해본다.

제2장에서는 관련 연구로서 그동안 연구되었던 연필 스트로크와 관련된 비사실적 렌더링 기법들에 대해 소개한다. 제3장에서는 본 논문에서 제안하는 실시간 연필 스트로크 알고리즘의 설계 및 구현을, 제4장에서는 구현 결과 분석과 기존 시스템과의 비교분석을 해보고 제5장에서는 결론과 향후 연구과제를 제시한다.

2. 관련 연구

본 논문에서 제안한 알고리즘은 연필의 종류마다 부여한 연필 상수와 백색 노이즈를 이용하여 실제 연필 스트로크의 흔적을 모방하고 또한 이를 실시간으로 묘사하는 것이다. 본 논문과 같이 연필 스트로크의 모방을 목적으로 한 잘 알려진 관련 알고리즘들은 크게 LIC를 이용한 방법과 Sousa와 Buchanan이 사용한 연필 스트로크 모델로 나뉜다.

2.1 LIC를 이용한 연필 효과

LIC(Line Integral Convolution)는 벡터 필드의 시각화 기법을 이용한 텍스처이다[8]. 그림 1과 같이 실제 연필의 이미지와 LIC 이미지는 매우 유사한 형태를 띤다.

실제 연필의 이미지는 연필과 연필이 그려지는 종이의 재질에 따라 스트로크의 방향이나 픽셀의 강도의 변

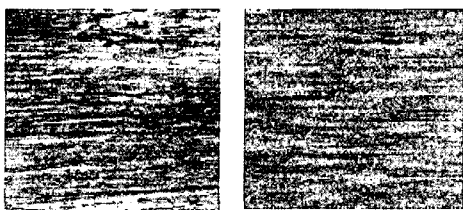


그림 1 연필 이미지(a)와 LIC 이미지(b)[2]

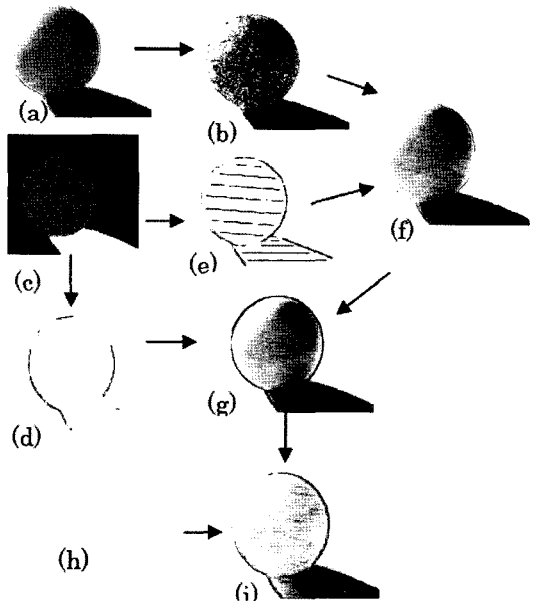


그림 2 연필 이미지 생성 절차[2]

화가 임의적이며, LIC 이미지 또한 저역필터링(low-pass filtering)을 통한 백색 노이즈(white noise)으로 인해 픽셀의 강도가 임의적으로 변한다[2]. 이러한 유사성으로 인해 컴퓨터를 통한 연필 효과를 자동 생성하기 위해 LIC 기법을 사용하는 많은 연구가 이루어져 왔다. 이 기법의 가장 큰 장점은 완전하게 자동화된 기법이라는 것이다[2]. 그림 2는 LIC 기법을 이용하여 실제 이미지를 연필화로 바꾸는 절차이다.

먼저 실제 이미지 (a)를 준비한 후, 여기에 백색 노이즈(white noise)을 발생시켜 (b)를 만든다. 그리고 이미지 (a)를 텍스처와 강도에 따라 각 영역으로 분할하여 (c)를 만든 후, 이것을 이용하여 외곽선 이미지 (d)를 추출한다. 또한, (e)와 같이 스트로크의 방향을 표현하는 벡터 필드를 이미지 (c)로부터 생성한다. 이제 LIC를 노이즈가 적용된 (b)와 (e)에 적용하여 이미지 (f)를 생성하고, 이 이미지에 (d)를 적용하여 외곽선을 그린다. 최종적으로 종이 이미지 (h)를 적용하여 연필 효과가 적용된 이미지 (i)를 완성한다[2].

2.2 연필 스트로크 모델

일반적으로 연필 스트로크는 그것을 표현하는 요소로서 연필의 강도, 연필과 종이의 접점, 그리고 연필이 종이에 어떻게 표현되는가를 생각할 수 있다. Sousa와 Buchanan은 연필 스트로크는 수많은 선의 조각들, 스트로크의 궤도, 특정 함수로 구성되어 있다고 정의하였다[6]. 그림 3은 그러한 연필 스트로크 모델의 파라미터들과 일례를 나타낸 것이다.

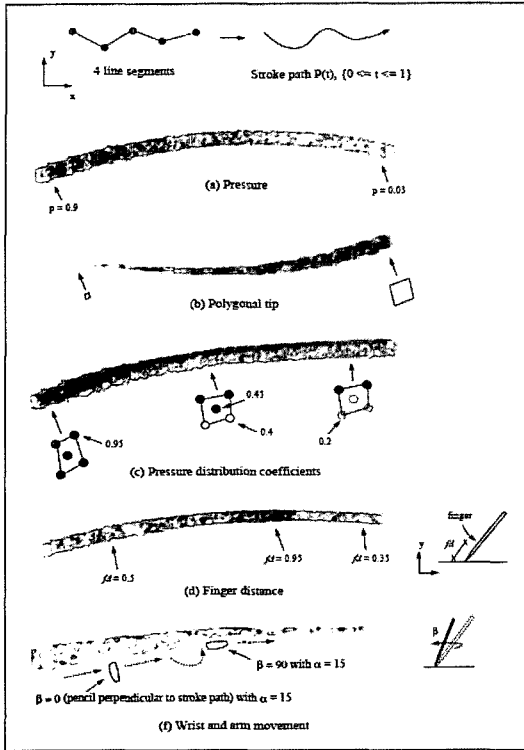


그림 3 연필 스트로크 모델의 파라미터들과 일례[6]

스트로크의 궤도 $P(t): [0,1] \rightarrow R^2$ 은 스트로크를 표현하는 선의 조각들에 가까운 곡선으로 표현된다. 이 때 곡선을 만드는 여러 가지 근사 함수가 적용될 수 있는데, Sousa와 Buchanan의 모델에서는 베지어 곡선과 B-스플라인(B-Splines)을 사용하였다[6]. Winkenbach와 Salesin은 펜과 잉크 모델에서 특성 함수를 $C(t) = (C_w(t), C_p(t))$ 로 표현하며 $C_w(t)$ 와 $C_p(t)$ 는 각각 휘어짐의 정도와 압력의 정도를 나타내는 파라미터이다 [9]. Sousa와 Buchanan의 모델에서는 특성 함수를 확장시켜 파라미터를 5개 늘린 7개로 정의하였으며, 각 7개의 파라미터는 휘어짐의 정도와 압력의 정도를 나타내는 $C_w(t)$ 와 $C_p(t)$ 이외에 접점의 모양인 $C_{ps}(t)$, 압력 분배 계수 $C_{pdc}(t)$, 손가락과의 거리를 나타내는 $C_{fd}(t)$, 연필의 기울기인 $C_\alpha(t)$, 그리고 손목과 팔의 움직임을 나타내는 $C_\beta(t)$ 등이다[6].

Sousa와 Buchanan의 스트로크 모델에서 연필 스트로크는 연필과 종이가 만나는 접점의 복사본이 길게 늘어서는 형태이며, 이 때 접점은 각 픽셀마다 특성 함수 $C(t)$ 에 의해 변화되며, 스트로크의 궤도는 웨이브 함수가 적용된 곡선에 의해 결정된다[6]. 웨이브 함수를 적용하는 것은 곡선을 변화시킴으로써 손의 움직임을 모

방하기 위함이며 Sousa와 Buchanan의 모델 이전에 이미 많은 연구자들에 의해 사용되어 왔다.

3. 실시간 연필 스트로크 알고리즘의 설계

기존의 연구들은 대부분이 사실적인(Photorealistic) 이미지를 연필로 그린 비사실적인(Non-Photorealistic) 이미지로 변환하는 기법에 대한 연구들이었다. 보다 자연스러운 연필화로 변환시키기 위해 복잡한 계산을 하게 되었으며, 앞서 언급하였던 LIC를 이용한 연필 렌더링과 같은 방식은 후처리 기법이므로 연필화를 그리기 위해 반드시 입력으로 들어오는 원본 이미지가 존재하지 않으면 안되었다.

본 논문은 앞서 살펴본 비사실적인 렌더링 분야의 하나의 요소인 연필에 대한 연구이며, 포토샵(Photoshop)이나 페인터(Painter)와 같은 인터랙티브한 환경의 그래픽 툴에서 사용자가 실시간으로 연필화를 그릴 수 있도록 하기 위한 간단한 실시간 연필 스트로크 알고리즘을 제안한다.

3.1 연필의 특성 조사

새로운 연필 스트로크 알고리즘을 고안하기 위하여, 먼저 실제 연필의 동작에 대한 관찰을 통해 연필의 특성을 조사하였다. 본 논문에서 연구 대상으로 삼은 연필은 무름의 정도에 따라 나뉘는 6B, 4B, 2B, B, HB, H, 2H, 4H, 6H 등 총 9개의 연필이며, 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 일반 연필을 사용하였다.

3.1.1 스케치 샘플 분석

각 연필들의 특성을 분석을 하기 위해 먼저 디자이너의 도움을 받아 실제로 각 연필을 통해 스케치 샘플을 그리도록 한 후 결과물을 이용하여 분석을 진행하였다.

아래 그림 4는 위의 연필들을 이용하여 그려진 실제 스케치 샘플을 스캐닝한 것이다. 실제 연필을 통해 그려진 그림 4의 스케치 샘플의 일부를 확대하여 면밀히 관

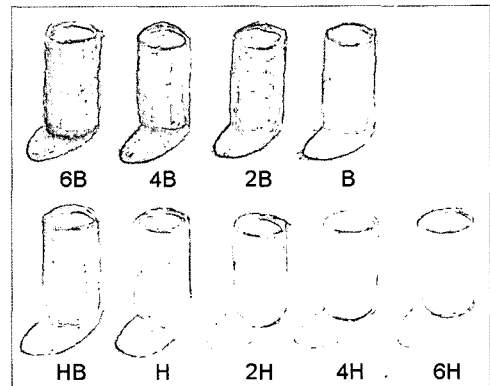


그림 4 실제 연필을 이용하여 그린 스케치 샘플

찰한 결과 다음과 같은 연필의 4가지 특성을 얻어낼 수 있었다.

- ① 그림 5에서도 볼 수 있듯이 동일한 사람이 같은 손으로 같은 압력(pressure)을 통해 그린 그림이라도 연필의 무름의 정도(hardness)에 따라 명함도(intensity)가 달라진다.

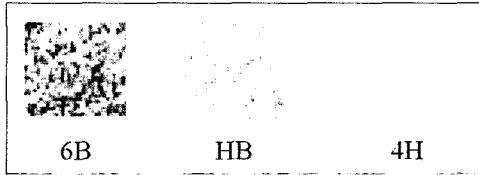


그림 5 스케치 샘플의 일부를 확대한 모습

- ② 6B로 갈수록 진해진다. 즉, 6B가 가장 명암도(intensity)가 높으며, 6H가 가장 낮았다.
- ③ 전체적으로 색의 밝기(brightness) 변화량이 작다.
- ④ 6B로 갈수록 빈공간이 불규칙해지고 넓어진다.

3.1.2 스트로크 샘플 분석

이번엔 연필 스트로크 알고리즘을 고안하기 위한 사전조사로서 실제 디자이너가 그린 연필 스트로크 이미지를 관찰하였다. 표 1은 디자이너가 각 연필을 이용하여 압력의 강약에 따라 그린 연필 스트로크의 샘플을 스캐닝한 것을 나타낸 것이다.

실제 연필을 통해 그려진 위의 표 1의 연필 스트로크 샘플의 일부를 확대하여 관찰한 결과 다음과 같은 2가지 특성을 얻어낼 수 있었다.

표 1 각 연필을 이용한 스트로크 샘플 비교

연필 \ 선의 종류	강한 직선	보통 직선	약한 직선	강한 곡선	보통 곡선	약한 곡선
6B						
4B						
2B						
B						
HB						
H						
2H						
4H						
6H						

- ① 그림 6에서도 볼 수 있듯이 6B로 갈수록 스트로크의 굵기가 두껍고 진하다. 무른 연필일수록 지탱하는 힘이 있어야 하기 때문에 연필심이 굵다.



그림 6 스트로크 샘플의 일부를 확대한 모습 : 6B로 갈수록 굵기가 두껍고 진하다.

- ② 그림 7과 같이 스트로크의 중심일수록 색이 진해지며, 대체적으로 바깥쪽으로 갈수록 색이 옅어지는 경향을 보인다. 점층법(gradation)이나 계단현상 방지(anti-alias) 효과와 유사하다.

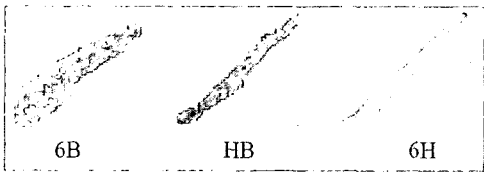


그림 7 스트로크 샘플의 일부를 확대한 모습 : 스트로크 중심으로 갈수록 진해진다.

3.2 실시간 연필 스트로크 알고리즘

앞 절의 내용을 종합하여 제안하는 실시간 연필 스트로크 알고리즘이 적용되어 나타내게 되는 연필 스트로크의 도식화된 구조를 그림 8에 나타내었다.

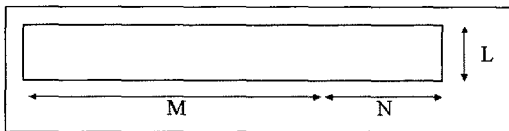


그림 8 본 논문의 실시간 연필 스트로크를 위한 연필 스트로크의 도식화

그림 8에서 회색으로 표시된 영역이 연필 스트로크를 나타내며, 오른쪽 가로 방향으로 스트로크가 진행되는 것을 나타내었다. L은 연필마다 갖게 되는 스트로크의 두께 상수이며, M은 밝기(brightness)가 어느 정도 일정한, 즉 변화량이 적은 구간을 나타낸다. N은 손이 연필에 가하는 압력에 급격한 변화가 일어나는 구간으로서, 손의 압력이 줄어들기 시작하여 결국 압력이 0이 되어 스트로크의 진행이 종료되는 구간이다. N은 인간이 어떠한 선을 그릴 때 압력에 변화를 주어 선이 점점 흐

려지게 만드는 효과를 모방하기 위한 구간이다.

위에서 나타낸 L과 M, N을 파라미터로 하여 고안한 실시간 연필 스트로크 알고리즘의 규칙은 다음과 같다.

- ① 각 pixel의 농도 I_p = 연필의 고유농도상수 I_f + Noise값 f - 농도변화상수 I_c
(단, 본 식에서 농도 값은 255에 가까울수록 밝아지며, 0에 가까울수록 어두워진다.)
- ② 노이즈 값 R은 일정한 범위의 값 중에서 무작위로 선택되는 임의(random)의 값이다.
- ③ 선분 L의 중심을 T라고 하고 그림 9와 같이 중심 T의 위쪽 pixel을 S_1 부터 S_n (n은 중심 위쪽의 픽셀의 개수)이라고 하고 아래쪽을 T_r 부터 T_1 (r은 중심 아래쪽의 픽셀의 개수)이라고 할 때, S_n 의 n 값이 작을수록, 그리고 T_r 의 r 값이 작을수록 각 픽셀의 농도변화상수 I_c 와 노이즈값 f 은 커진다. 그러므로 중심의 픽셀일수록 어두워진다.

이러한 스트로크의 표현 방식을 이용하게 되면 한 점을 표현하는데 있어 수가 적은 파라미터들의 단순한 산술 계산과 1회의 무작위 함수 호출만이 존재하기 때문에 실시간으로 사용자와 인터랙티브한 그래픽 드로잉 툴로의 적용이 가능하게 된다.

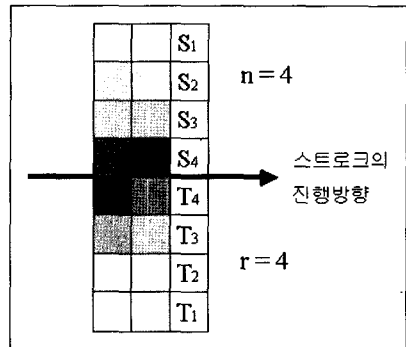


그림 9 스트로크 상 각 픽셀의 위치 명명

위에서 나타낸 스트로크의 두께 L과 연필의 고유농도 상수 I_f 는 표 2와 같이 연필의 종류마다 고유한 수치를 갖도록 설정하였다.

3.3 실시간 연필 스트로크 알고리즘을 이용한 이미지 변환

본 논문에서 제안된 실시간 연필 스트로크 알고리즘의 제작 목적은 드로잉 툴에서 사용자의 직접적인 조작을 통해 연필 스트로크를 표현하는 데에 있으나, 본 알고리즘을 사실적인(Photorealistic) 이미지에 적용하여 연필화 형태의 비사실적인(Non-Photorealistic) 이미지로 변환하는 것도 가능하다. 다음은 본 논문에서 사용된

표 2 각 연필마다 설정한 고유 상수표

연필	항목	스트로크의 두께 (L)	고유농도상수 (f)
6B		9	30
4B		8	45
2B		7	60
B		6	75
HB		5	90
H		4	105
2H		3	120
4H		2	135
6H		1	150

사실적 이미지를 비사실적 이미지로 변화시키는 방안으로서, 변환 속도 향상에 주안점을 두었다.

[초기화] 변환에 앞서 미리 선택된 연필에 따라 생성된 13단계의 텍스처 이미지를 미리 준비한다. 이 때 텍스처는 본 논문에서 제안한 실시간 연필 스트로크 알고리즘을 이용하여 스트로크를 사선으로 그려서 완성한다.

- ① 기존에 알려진 외곽선 추출 필터를 이용하여 입력 이미지의 외곽선을 추출한다.
- ② 이미지의 그레이 스케일 레벨링 효과를 가져오는 필터를 통하여 이미지를 각 영역으로 분할한다.
- ③ 분할된 영역의 명암도(Intensity)에 맞게 미리 준비된 해당 강도의 텍스처를 복사한다.

4. 구현 결과 및 분석

4.1 연필 스트로크 드로잉 툴

앞 장에서 기술하였던 연필 스트로크 알고리즘을 적용하기 위해 그림 10과 같은 드로잉 툴을 제작하였다. 기본적으로 윈도우의 그림판과 비슷한 형태이며, 우측에는

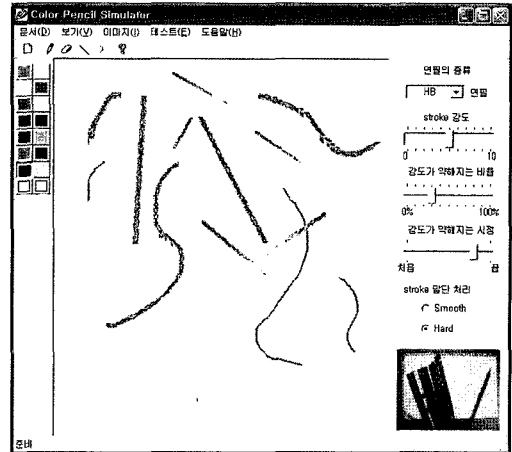


그림 10 연필 스트로크 드로잉 툴을 통한 그리기의 예

사용자의 입력을 위한 파라미터 설정 도구모음을 마련하였다. 사용자는 단순히 마우스를 이용하여 우측의 도구모음을 통해 연필의 종류나 스트로크의 강도와 같은 파라미터들을 설정한 후 캔버스에 그림을 그리면 된다.

4.2 파라미터에 따른 연필 스트로크의 변화

본 절에서는 연필의 종류 외에 스트로크의 강도, 강도 변화 관련 파라미터 등의 두 가지 추가적인 파라미터를 설정하여 실험한 결과를 나타내었다.

4.2.1 스트로크의 강도에 따른 결과

본 논문에서 제안하는 연필 스트로크 알고리즘을 적용한 연필 스트로크 드로잉 툴을 이용하여 사용자가 직접 각 연필의 종류마다 스트로크의 강도에 따라 연필 스트로크를 그린 결과를 표 3에 나타내었다. 본 표에서 스트로크의 강도는 사람이 연필에 힘을 주는 정도를 모

표 3 스트로크의 강도에 따라 생성된 연필 스트로크

연필	강도	0	20	50	80	100
6B						
4B						
2B						
B						
HB						
H						
2H						
4H						
6H						

방한 것으로, 값이 클수록 사람이 세계 힘을 주어 연필로 선을 그리는 것으로서 노이즈 값 R의 변화량이 작아지며, 값이 작을수록 연필에 힘을 적게 주어 선을 그리는 것으로서 노이즈 값 R의 변화량이 크도록 구현하였다. 또한 이 표에서의 연필 스트로크는 알고리즘 상의 M과 N의 비율이 100:0의 비율로 설정된 것이다.

4.2.2 압력 변화에 따른 결과

사람이 손으로 연필을 잡고 스트로크를 그릴 때 항상 같은 압력을 이용하여 그리지는 않는다. 본 논문에서는 이러한 현상을 모방하기 위해 일정 구간부터 서서히 압력이 낮아지도록 하는 현상을 구현하였다. 본 실험 결과에서는 연필 스트로크 알고리즘의 상의 M과 N의 비율을 70:30으로 설정하였다. 표 4는 이러한 설정을 토대로 나타난 각 연필마다 사용자가 드로잉 툴을 이용하여 직접 그린 연필 스트로크의 결과를 나타낸 것이다.

4.3 NPR 이미지로의 변환

앞에서 구현한 결과와 같이 본 논문의 연필 스트로크 알고리즘은 사용자가 실시간으로 연필로 그림을 그리는 듯한 효과를 위한 알고리즘이다. 그러나 3.3절에서 기술한 것과 같이 본 알고리즘을 통한 연필 이미지로의 변환도 가능하다. 다음의 그림 11과 그림 12, 그리고 그림 13은 그러한 후처리 기법의 이미지 변환 예이다.

본 변환 방식은 그림 12와 같이 같은 이미지라도 변환에 사용되는 연필의 종류에 따라 그 변화 결과가 다르다는 것이 본 변환 방식의 특징이다. 그러나 본 변환 방식은 빠르기는 하지만, LIC를 이용한 방식과는 달리



(a) (b)

그림 11 사진 이미지(a)에서 연필 스트로크 이미지(b)로의 변환의 예 : HB연필 선택 (274×320 24비트 이미지, 변환속도: 0.261초)

스트로크의 방향성이 잘 표현되어 있지 않는 것이 최고의 문제점이다.

또한, 그림 13의 이미지와 같이 외곽선 추출 필터를 통한 1차 변환을 하다보니 실제 연필이 가지고 있는 정교한 표현을 하지 못하는 문제점을 보이고 있다. 결국, 본 방식의 변환 방식은 미리 준비해두는 텍스처 이미지의 생성 부분을 제외한 이미지의 변환 속도가 빠르기는 하지만, 실제 연필 스트로크의 느낌을 주기 위해서는 앞으로 더 많은 연구가 필요하다.

4.4 기존 시스템과의 비교

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 실시간으로 스트로크를 그리는 선처리 방식과 기존의 이미지를 본 알고리즘을 이용하여 변환시키는 방식인 후처리 방식 모두 가

표 4 압력 변화 구간 설정이 추가된 연필 스트로크 결과

연필 \ 강도	0	20	50	80	100
6B					
4B					
2B					
B					
HB					
H					
2H					
4H					
6H					

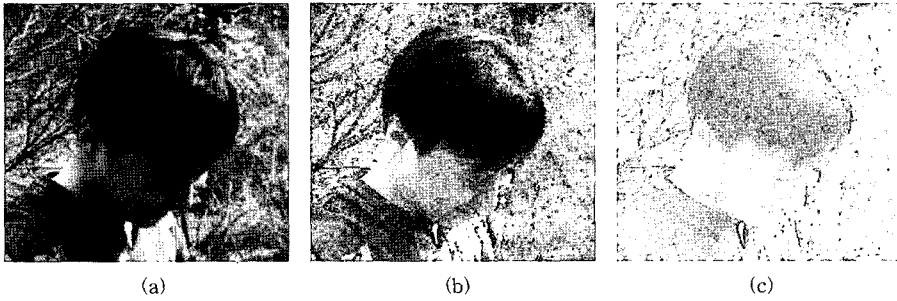


그림 12 원본 이미지(a), 4B연필 이미지(b), 2H연필 이미지(c)
 (400×300 24비트 이미지중 일부 발췌, 전체 이미지 변환속도: (b) 0.361초, (c) 0.380초)

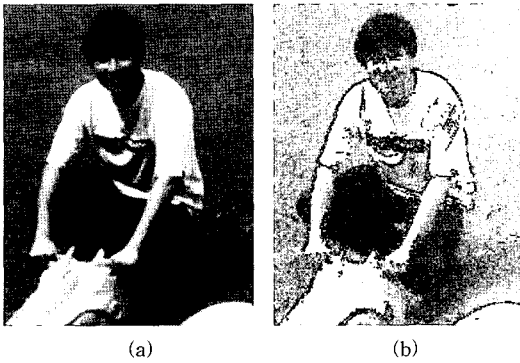


그림 13 원본 이미지(a), B연필 이미지(b) : 연필의 정교함에 대한 표현이 부족하다.

능하다. 그러므로 사용자의 입력이 실시간으로 반영되어

야 하는 드로잉 툴에 대한 적용이 가능하다. 그러나 LIC 방식은 기존의 이미지를 변환시키는 후처리 방식이므로 드로잉 툴에는 부적합하며, Sousa의 연구 또한 후처리에 초점이 맞추어져 있기 때문에 사용자의 입력에 대한 고려가 되어 있지 않다.

또한 속도의 측면에서도, Sousa의 연구에서 제안된 연필 스트로크 모델은 베지어 곡선이나 B-운행곡선 등을 이용하므로 상대적으로 계산량이 많으며, LIC 방식도 변환하고자 하는 이미지를 분석하는데 본 알고리즘에 비해 더많은 시간이 소요된다.

본 논문에서 제안하는 실시간 연필 스트로크 알고리즘을 드로잉 툴로의 적용에 대한 관점에서 기존의 타 연필 스트로크 관련 연구들과 비교한 내용을 표 5에 나타내었다.

표 5 타 연필 스트로크 관련 연구와의 비교

비교 항목	본 시스템	LIC 변환 방식[2]	Sousa의 연구[6]
처리 시점	선 / 후처리	후처리	후처리
드로잉 툴 적용 가능 여부	가능	불가능 (실시간 방식이 아님)	불가능 (적용 방안이 발표되지 않았음)
연필의 종류에 대한 고려	고려함 (연필의 종류에 대한 연필 상수가 설정되어 있음)	고려하지 않음	고려함 (연필의 종류에 대한 연필 상수가 설정되어 있음)
선 그리기 속도 ¹⁾	200픽셀 길이의 연필 선분을 긋는 시간 : 평균 0.005초(1개당)	단일 선그리기 불가	연필 선분을 긋는 시간 : 평균 0.03초(1개당) ⁴⁾
이미지 변환 속도 ²⁾	400×300 이미지 : 대략 0.36초~0.4초	352×228 이미지 : 1분 ³⁾	이미지 변환 불가 (3D모델에만 적용가능)
드로잉 툴로의 적용에 대한 고려	고려함 (사용자의 입력에 즉각적인 출력이 가능)	고려하지 않음 (사용자의 입력은 적용 대상이 아님)	고려하지 않음 (사용자의 입력은 적용 대상이 아님)
기타 사항	연필에 대한 압력 증가를 생략	반드시 입력으로 2D 이미지가 필요	주로 3D모델에 대한 렌더링에 적용하였음

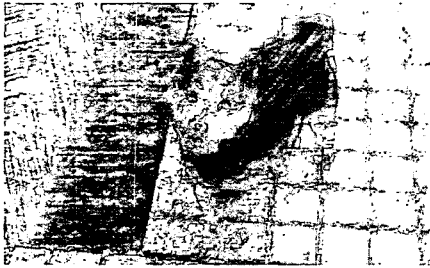
1), 2) 속도 란의 수치는 각 논문의 성능 자료를 인용한 것이며, 측정 환경은 각각 다르다. 본 알고리즘의 측정환경은 Pentium™ III 700MHz이며, LIC 변환방식의 측정환경은 Pentium™ III 933MHz 듀얼 CPU이다. 그리고 Sousa의 연구는 SGI Octane™ Power Desktop에서 측정되었다. 하드웨어의 성능면에서 본 알고리즘의 측정환경이 가장 떨어지나, 측정 수치는 가장 낮기 때문에, 본 알고리즘이 가장 빠르다는 것을 알 수 있다. 단, 본 알고리즘을 이용한 변환 과정에서 초기와 과정은 변환 이전에 미리 설정해 놓는 과정이므로 속도 측정에서 제외하였다.

3) 이 수치는 Mao의 LIC 연구 논문 내용 중에서 6페이지의 그림 6번 실험결과를 인용하였다(2). 본 그림을 그림 14로 발췌하였다.

4) 이 수치는 Sousa의 연구 논문 내용 중에서 6페이지의 그림 5번 실험결과를 이용하여 전체 소요 시간을 그려진 총 연필 스트로크 수로 나누어 작성되었다(6). 본 그림을 그림 15로 발췌하였다.



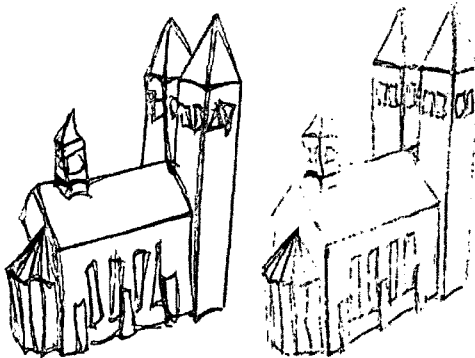
(a)



(b)

그림 14 2D 이미지를 연필화로 변환한 이미지(Mao의 연구 결과)

원본 이미지(a): 352×228, LIC를 이용하여 변환된 이미지(b): 변환속도 1분 [2]



(a)

(b)

그림 15 3D 모델링 데이터(선 298개, 면 100개)를 변환한 이미지(Sousa의 연구 결과)

2B연필 이미지(a): 변환속도 10초, 3B연필 이미지(b): 변환속도 7초 [6]

표 5에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 구조가 간단하여 속도가 빠른 반면에 실제 연필 스트로크의 효과를 어느 정도 모방할 수 있기 때문에 연필 스트로크 드로잉 툴의 적용이 가능하다. 그러나 연필의 압력에 대한 변화에 있어 단순히 감소에만 초점이 맞춰져 있다는 부분과 비록 이번 논문에서의 핵심

연구 내용은 아니지만 그림 13과 관련하여 지적한 이미지 변환시의 품질 개선 등은 앞으로 개선해 나가야 할 숙제이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 사용자가 연필을 이용하여 그림을 그리는 것을 컴퓨터를 사용하여 모방하기 위해 속도가 빠르고 간단한 구조의 실시간 연필 스트로크 알고리즘을 제안하고, 그러한 실시간 연필 스트로크 알고리즘이 적용된 드로잉 툴을 제작하여 실제 구현이 가능함을 확인하였다. 본 알고리즘의 특징이자 장점은 사용자가 마우스 입력을 통해 실시간으로 연필 스트로크를 그릴 수 있는 것이 가능하게끔 설계되어 있다는 점이며 또한 이를 위하여 최소한의 산술 계산을 통해 스트로크의 표현 속도를 높였다는 점을 장점으로 들 수 있다. 그리고 이러한 실시간 연필 스트로크 알고리즘을 이용하여 기존의 실제 이미지를 연필로 그린 이미지로 변환시킬 수 있다는 것을 실제 이미지 변환 실험을 통해 확인하였다.

그러나 현재 본 시스템의 이미지 변환 방식은 연필 스트로크의 방향성과 연필의 세밀한 표현력을 잘 표현하지 못하고 있다는 문제점을 지니고 있어 이 문제점들을 해결할 수 있는 개선 방안에 대한 연구가 필요하다. 그리고 향후에는 실시간 연필 스트로크 알고리즘 자체에 있어서도, 연필과 연필이 쓰여지게 되는 종이 재질과의 관계, 그리고 지우개 효과나 문지르기 효과 등의 실제 연필과 관련되는 현상에 대한 추가적인 연구가 수행되어 연필 스트로크 알고리즘에 반영되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 서상현, 박영섭, 윤경현, "자동화된 색종이 모자이크 렌더링", 정보과학회논문지, Vol.29, No.1, pp.1-9, Feb., 2002.
- [2] Xiaoyang Mao, Yoshiyasu Nagasaka and Atsumi Imamiya, "Automatic Generation of Pencil Drawing from 2D Images Using Line Integral Convolution," Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics CAD/GRAPHICS2001, pp.240-248, August 2001.
- [3] Max Mignotte, "UNSUPERVISED STATISTICAL SKETCHING FOR NON-PHOTOREALISTIC RENDERING MODELS," International Conference on Image Processing 2003 Proceedings, Vol.3, pp. 573-576, Sept., 2003.
- [4] Non-Photorealistic rendering, SIGGRAPH 99 Course #17.
- [5] Peter Litwinowicz, "Processing Images and Video for An Impressionist Effect," In SIGGRAPH'97 Proceedings, pp.407-414, 1997.

- [6] Mario C. Sousa, John W. Buchanan, "Computer-Generated Graphite Pencil Rendering of 3D polygonal Models," EUROGRAPHICS '99 Conference Proceedings, pp.183-193, 1999.
- [7] Robert D. Kalnins, Lee Markosian, Barbara J. Meier, Michael A. Kowalski, Joseph C. Lee, Philip L. Davidson, Matthew Webb, John F. Hughes, Adam Finkelstein, "WYSIWYG NPR: Drawing Strokes Directly on 3D Models," International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques Proceedings, pp.755-762, 2002.
- [8] Cabral B. and Leecom C., "Imaging Vector Field Using Line Integral Convolution," SIGGRAPH93 conference Proceedings, pp.263-270, 1993.
- [9] G. Winkenbach and D.H. Salesin, "Computer-generated pen-and-ink illustration," SIGGRAPH'94 Proceedings, pp.91-100, 1994.



최 성 욱

1999년 중앙대학교 컴퓨터 공학과 졸업(학사). 2001년 중앙대학교 대학원 컴퓨터 공학과 졸업(석사). 2003년 중앙대학교 대학원 컴퓨터 공학과 박사 수료(박사과정). 2003년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 강사. 2003년 서울여자대학교 정보통신공학부 겸임교수. 1999년~현재 소프트캠프(주) 정보보안기술연구소 선임연구원. 관심분야는 인공지능, 인공지능, 게임 S/W, 그래픽스, 인터넷 보안 등