

특징기반 영상 워핑을 활용한 다양한 디지털 잎 모델링

김진모*

요약

본 논문에서는 다양한 디지털 잎을 효율적으로 생성하기 위하여 특징기반 워핑을 활용한 잎 모델링 방법을 제시한다. 제안하는 방법은 다수의 다양한 잎의 형상을 쉽고 직관적으로 제어하고 이를 통해 자연스러운 잎맥 패턴을 효과적으로 성장할 수 있도록 영상처리 응용 기술 중 하나인 워핑 방법을 활용한다. 먼저 잎몸 영상으로부터 잎몸의 형상을 판단할 수 있는 근사화된 컨투어 정보를 찾고, 이를 기반으로 특징기반 워핑에 사용되는 제어선을 자동으로 계산한다. 다음으로 제어선기반 워핑을 통해 잎몸 영상을 직관적으로 변형함으로써 다양한 형상을 갖는 잎을 자동으로 생성할 수 있다. 그리고 변형된 잎몸 영상의 컨투어 정보들로부터 컨투어기반 잎맥 성장 알고리즘을 적용하여 자연스러운 잎맥 패턴을 생성한다. 본 논문에서는 잎몸에 해당하는 샘플 이진영상 한 장을 사용하여 식물을 구성하는 다양한 형상의 잎을 효율적으로 생성 가능한지 여부를 실험을 통해 입증한다. 또한 워핑을 잎몸의 성장에 적용하여 잎의 자연스러운 성장을 표현할 수 있음을 확인한다.

키워드 : 디지털 잎, 특징기반 워핑, 잎몸 변형, 잎맥 패턴, 영상처리

Modeling of Various Digital Leaves Using Feature-based Image Warping

Jin-Mo Kim*

Abstract

This study proposes a leaf modeling method that uses feature-based warping for efficient generation of various digital leaves. The proposed method uses warping method, one of image processing application techniques that can control various shapes of leaves in an easy, intuitive way, and generate natural patterns of veins efficiently. First, information on approximated contour is detected from a leaf blade image to identify the shape of a blade. Based on this, control line is automatically calculated to be used for feature-based warping. Then, control line-based warping is conducted to modify forms of leaf blade images in an intuitive way, automatically generating leaves of various shapes. And natural vein patterns are generated by applying a contour-based venation growth algorithm from contour information of the modified leaf blade images. This study performs experiments to verify whether various shape of leaves that comprise plants can be efficiently generated using a sample binary image of a blade. Also, we demonstrate that express the natural growth of leaves by applying warping to the growth of the leaf blade.

Keywords : Digital Leaf, Feature-based Warping, Leaf Deformation, Leaf Venation Pattern, Image Processing

1. 서론

※ Corresponding Author: Jin-Mo Kim

Received : February 17, 2015

Revised : March 16, 2015

Accepted : April 17, 2015

* Catholic University of Pusan, Department of Software

Tel: +82-51-510-0645 , Fax: +82-2-510-0648

email: jmkim11@cup.ac.kr

■ 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국

디지털 식물은 게임, 애니메이션 그리고 시각적 특수효과(Visual Effects, VFX) 등의 분야에서 컴퓨터 그래픽스 기술을 사용하여 생성된 가상의 식물을 의미한다. 디지털 콘텐츠의 사실적

연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2014R1A1A2055834)

인 배경을 표현하기 위해서는 디지털 식물과 관련한 컴퓨터 그래픽스 분야의 연구들이 필요하기 때문에 이와 관련하여 규칙기반이나 절차적 모델링, 근사화된 조명 기술을 활용한 실시간 렌더링, 사실적인 디지털 식물의 표현을 위한 자연 현상과 움직임 등의 연구들이 진행되고 있다 [1,2,3].

디지털 식물을 모델링하는 대표적인 방법은 Linder Mayer [4]가 제안한 재귀적 구조의 생성 문법으로 구성된 L-system이 있으며, 1900년대 중반 이후부터 이를 활용한 연구들이 응용 수학 분야에서부터 컴퓨터 과학 분야까지 다양하게 연구되기 시작하였다. 또한 식물 성장에서의 상호작용, 성장 호르몬의 분포나 제어 등 식물학적 이론을 토대로 사실적인 디지털 식물을 생성하거나 [5,6] 통계적인 접근을 통해 잎의 성장 구조를 정의하는 등 다양한 접근의 연구들이 이루어지고 있다 [7]. 이밖에도 대화식 제어를 통한 디지털 식물 모델링 방법, 2차원 식물 영상을 토대로 3차원 정점(vertex) 집합을 계산하고 이를 통해 3차원 식물을 재구성하는 컴퓨터 비전 기술을 활용한 영상기반 디지털 식물 모델링 기술들도 있다 [8]. 하지만 대부분의 연구들은 다양한 디지털 식물들 가운데 나무 모델에 한정되어 연구가 진행되고 있는 상황이다.

본 연구에서 다루고자 하는 디지털 잎 생성과 관련한 연구들은 크게 잎을 구성하는 잎맥 패턴의 성장과 잎의 3차원 표면을 구성하는 연구로 나눌 수 있다. 하지만 두 방법 모두 하나의 잎을 사실적으로 표현하는데 초점이 맞추어져 있어 다수의 다양한 잎으로 구성된 식물에 적용하기에는 한계가 존재한다. 이로 인하여 대부분의 3차원 디지털 콘텐츠를 구성하는 가상 조경의 잎들은 하나의 잎을 반복처리하여 사용하는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구는 다양한 형상을 나타내는 디지털 잎을 효율적으로 생성하기 위한 방법으로 워핑기반의 잎맥 패턴 모델링 방법을 제안한다. 이는 Beier와 Neely [9]가 제안한 특징기반 영상 워핑 알고리즘을 잎몸 형상 변형에 적용함으로써 한 장의 잎몸 영상을 사용하여 유사한 패턴의 다양한 잎을 자동으로 생성하는 방법이다. Kim [10]이 제안한 근사화된 컨투어 구조를 토대로 특징기반 워핑에 사용되는 제어선을 자동으로 계산한다.

이때 잎몸 윤곽에 대응되는 제어선의 끝점들 중 중요 제어점들을 사용자가 원하는 형상이나 임의의 방향으로 움직이는 2차원 벡터를 적용하여 목적 영상의 제어선을 도출한다. 그리고 입력 잎몸 영상의 제어선과 목적 제어선을 활용하여 변형된 잎몸 영상을 자동으로 다양하게 만들어 낸다. 또한 잎의 성장 과정에 워핑 알고리즘을 적용함으로써 단계별로 잎의 형상이 변형되는 과정을 보다 쉽고 직관적으로 표현할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 디지털 잎과 관련된 연구 및 영상 워핑과 관련된 기존 연구들을 시작으로 3절은 제안하는 워핑기반 모델링 방법을 설명하고 제안하는 방법을 이용한 실험 결과는 4절에서 제시한다. 마지막으로 5장은 향후 연구 방향을 포함한 결론을 맺는다.

2. 관련연구

잎을 포함한 디지털 식물의 성장 과정을 고려한 절차적 모델링 방법으로 L-system이 대표적이며, 이는 다양한 자연물의 구조를 기술하고 식물의 성장 과정을 표현할 수 있도록 개발된 알고리즘이다. 프랙탈과 같이 재귀적인 구조를 기본으로 하며 자연스러운 식물 구조를 정의하는데 유용하다. 이러한 이유로 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 이를 활용하여 나무, 꽃과 마찬가지로 디지털 식물 중 잎의 자연스러운 성장을 구현하는 연구들이 현재까지 진행 중이다 [5,10].

Prusinkiewicz와 Hanan [11]은 잎 성장에 필요한 수치화된 매개변수들을 효율적으로 다루는 파라메트릭 (parametric) L-system을 설계하였고, Rodkaew 등 [12]은 유전자 알고리즘 기반의 L-system을 통해 주어진 형상에 적합한 잎의 구조를 설계하였다. 이외에도 L-system을 활용한 다양한 접근과 응용을 통해 디지털 식물의 형상, 구조 그리고 성장 과정을 묘사하는 등 자연스러운 디지털 식물을 모델링하기 위한 연구들이 진행되고 있다 [13].

Rodkaew 등 [14]은 파티클 시스템을 사용하여 잎맥 패턴을 정의하였다. 잎의 형상과 기본적인 잎맥 정점을 설정하고 이를 기반으로 잎몸 내에 파티클을 적용하여 잎맥이 생성되는 구조를 제안하였다. Runions 등 [5]은 잎을 생성하기

위해 식물학적 이론을 활용한 알고리즘을 설계하였다. 이는 주어진 잎 형상으로부터 잎 내부에 존재하는 호르몬의 분포를 시물레이션 함으로써 자연스러운 잎맥을 표현하는 방법이다. 이외에도 Quan 등 [15]은 사용자가 입력으로 제공하는 몇 장의 잎 영상으로부터 주어진 영상과 같은 형태의 잎을 반자동으로 생성하는 연구를 진행하였다. 영상에서 계산된 정보들로부터 잎 표면과 잎맥을 표현하는데 필요한 정점 집합(points cloud)을 계산하여 잎을 모델링하였다.

모델링뿐만 아니라 렌더링과 에이징 관련하여 디지털 잎에 대한 연구들이 진행되었다. 기존에 컴퓨터 그래픽스 분야에서 사실적인 렌더링을 위해 연구되어온 BRDF(bidirectional reflectance distribution function)와 BTDF(bidirectional scattering distribution function) 알고리즘을 식물 모델에 적합한 구조로 변형하여 적용하는 연구들이 진행되기도 하였다 [16,17]. Mochizuki 등 [18]은 광원과 잎의 색의 경험적인 정보들을 계산하는 방법 통해 잎의 색상이 시간에 따라 자연스럽게 변하는 과정을 시물레이션하였다. 이외에도 잎의 노화 과정을 시물레이션하는 방법들이 다양하게 연구되고 있다 [19].

하지만 디지털 잎과 관련한 대부분의 연구들은 잎이 갖는 구조와 특징에 초점이 맞추어져 식물학적 이론이나 규칙을 설계하고 있다. 따라서 다양한 다수의 잎으로 구성된 식물이나 가상 조경에 적용하여 많은 수의 잎을 효과적으로 표현하기에는 한계가 존재한다. 본 연구는 다양한 다수의 잎을 효과적으로 제어하기 위한 방법으로 영상처리 분야에서 활용되는 특징기반 영상 워핑방법을 활용하고자 한다.

워핑 기술은 스플라인(spline), 메쉬 워핑(mesh warping), 어파인 변환(affine transformation)을 이용한 워핑 등 여러 알고리즘이 연구되었다 [9,20]. 어파인 변환을 이용한 워핑은 이동, 회전, 크기 변환을 조합하여 비율을 보존하는 특징을 가지며, 메쉬 워핑은 영상을 여러 메쉬로 나누어 순차적으로 보간하여 목적 영상을 만드는 방법이다. Beier와 Neely [9]는 도형을 사용하지 않고 특징점에 대한 제어선을 통해 목적 영상을 생성하는 워핑 방법을 제시하였다.

본 연구는 잎몸 형상에 맞는 잎맥 패턴을 자동으로 생성하기 위해 컨투어기반 잎맥 모델링

[10] 방법을 활용하고 여기에 특징기반 영상 워핑 알고리즘 [9]을 적용하여 다양한 형태의 잎몸을 효율적으로 제어함으로써 다양한 잎을 쉽고 직관적으로 다루고자 한다.

3. 워핑기반 잎 모델링

본 장에서는 Beier와 Neely [9]가 제시한 특징기반 영상 워핑 방법을 활용하여 잎몸의 형상을 변형하고 Kim [10]의 방법을 기반으로 변형된 잎몸 형상에 최적화된 잎맥의 성장 패턴을 설계함으로써 다양한 다수의 잎을 효과적으로 표현하는 방법을 설명한다. 잎맥 패턴이 전체적인 균형과 조화를 이루기 위해서 잎몸 이진영상을 입력으로 하여 컨투어를 검출한다. 잎몸의 형상을 유지하면서 워핑에 적합한 형태의 컨투어로 근사화한다. 그런 다음 근사화된 컨투어로부터 특징기반 워핑을 수행하기 위해 필요한 제어선을 자동으로 계산한다. 계산된 제어선을 이용하여 워핑을 수행하면 원본 잎몸으로부터 다양한 형태의 변형된 목적 잎몸 영상이 생성되고 목적 잎몸 영상의 제어선이 컨투어가 되어 컨투어기반 잎맥 성장모델을 통해 완성된 잎을 생성한다.

3.1 컨투어 검출

잎은 크게 잎의 전체적인 형상을 결정하는 잎몸과 세부적인 조직을 나타내는 잎맥으로 구분할 수 있다. 이때 잎맥은 잎몸에 따라 성장 과정이 달라질 수 있기 때문에 우선 잎의 전체적인 형상을 판단하는 잎몸에 대한 컨투어를 검출한다. 그리고 이는 단순히 잎맥의 패턴뿐만 아니라 제안하는 워핑기반 방법을 통해 다양한 잎몸 형상을 생성하는데 중요한 요소로 활용된다.

우선 잎몸의 전체적인 형상을 판단하기 위한 윤곽선 검출은 3단계의 처리과정으로 구성된다. 1단계는 윤곽선 검출의 시작점을 탐색하는데 이는 영상의 맨 윗줄의 좌측 픽셀부터 시작하여 우측 방향으로 탐색하며 다음 조건을 만족하는 픽셀 $P(x,y)$ 를 선택한다.

- 1) $P(x,y)$ 의 값이 잎몸과 일치
 - 2) $P(x,y)$ 바로 위의 픽셀이 배경이거나 $P(x,y)$ 가 맨 윗줄 픽셀
- 2단계는 윤곽선 검출 시작점으로부터 물체의

가장자리 픽셀을 한 방향으로 따라가다가 원래 자리에 돌아오면 탐색을 종료하는 방식으로 잎몸 형상을 탐색하는 과정이다. 픽셀 $P(x,y)$ 가 잎몸 윤곽 픽셀인 경우에 인접한 가장자리 픽셀은 $P(x,y)$ 주위 8방향에 존재하는데 이는 다음의 조건을 만족하는 픽셀로 검출한다.

- 1) 인접 픽셀 중의 한 픽셀에서 검사를 시작
- 2) 픽셀값이 배경이면 계속해서 검사하고, 잎몸에 해당하면 그 픽셀을 인접한 윤곽 픽셀로 결정한 후 종료

이때 인접 픽셀의 검사는 (그림 1(a)) 와 같이 결정하고 주위 8방향 검사 과정에서 윤곽이 아닌 잎몸 내부로 검사 방향이 결정되는 것을 피하기 위해 인접 픽셀의 검사 시작 위치를 설정한다 (그림 1(b)). 마지막으로 윤곽 픽셀을 탐색해 나가는 과정에서 더 이상 연결된 가장자리 픽셀이 없는 경우 또는 탐색의 시작점을 만나는 경우에 탐색을 종료함으로써 잎몸 윤곽 정보에 해당하는 모든 픽셀을 검출한다.

(그림 1) 잎몸 윤곽 픽셀 탐색 정보

7	0	1
6	$P(x,y)$	2
5	4	3

selection position	next detection position
0	7
1	7
2	1
3	1
4	3
5	3
6	5
7	5

(a) adjacent pixels of $P(x,y)$ (b) detection start position of adjacent pixels

(Figure 1) Search information on contour pixel of leaf blade

검출된 모든 잎몸 윤곽 정보들은 잎의 전체적인 형상을 표현하는데 불필요한 정보들을 모두 포함하고 있기 때문에 선분으로 근사화를 통해 보다 간결한 정보들로 압축할 필요가 있다. 본 연구는 Doublas-Peucker 알고리즘 [21]을 활용하여 검출된 컨투어를 근사화하였다. 다음은 근사화 알고리즘을 정리한 것이다.

잎몸 윤곽 근사화 과정에서 선분 S^{seg} 의 양 끝점(A,B)과 먼 거리(d)의 점 X 를 구하는 과정은 다음과 같다. $A(x_1,y_1), B(x_2,y_2)$ 로 가정하

고 임의점 X 를 (x_0,y_0) 이라 할 때 거리 d 는

$$d = \frac{(y_2 - y_1)(x_0 - x_1) - (x_2 - x_1)(y_0 - y_1)}{\sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}} \quad (1)$$

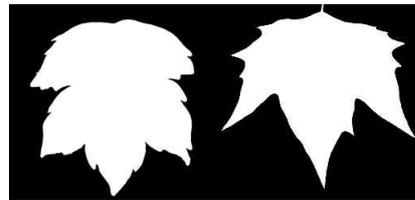
으로 계산된다. 그리고 거리(d)에 따라 근사화 유무를 결정하는 임계값(t)을 어떻게 설정하느냐에 따라 근사화의 정밀함이 다르게 정의된다.

Algorithm 1 잎몸 윤곽의 근사화

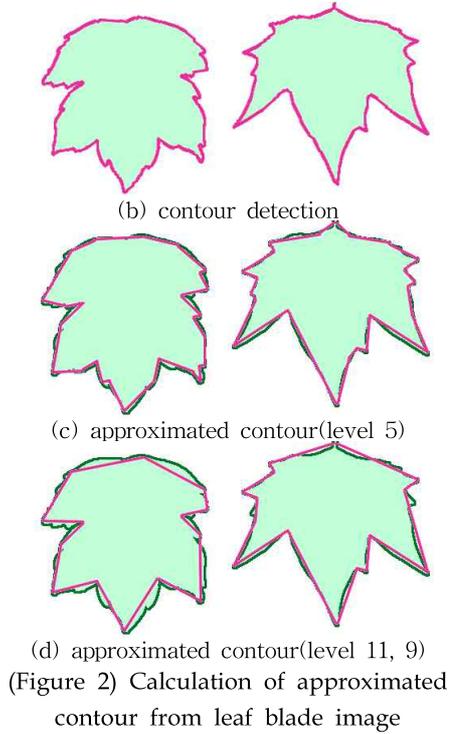
```

Input:  $C^b$ : 잎몸의 윤곽 정보들
Output:  $C^{approx}$ : 근사화된 컨투어 정보
1: for each pixel  $p$  in  $C^b$ 
2: 가장 먼 거리에 있는 두 점  $p^s, p^d$  탐색
3:  $p^s, p^d$ 를 기점으로  $C^b$ 를 두 개의 조각으로 분할하여 스택  $S$ 에 저장
4: while ( $S$ 에 윤곽 정보가 존재) do
5:  $S$ 로부터 잎몸 윤곽 조각 하나  $S^{seg}$ 를 가져와 점의 수  $n^{seg}$ 와 길이  $l^{seg}$ 를 검사
6: if  $n^{seg} \equiv 2$  then
7:    $S^{seg}$ 는 선분으로 근사화
8: else
9:    $S^{seg}$ 의 양 끝점을 잇는 선분  $AB^{seg}$ 와 이로부터 먼 거리( $d$ )의 점  $X$  계산
10:  if  $d < 임계값(t)$  then
11:     $AB^{seg}$ 를  $A, B$  두 점으로 근사화
12:  else
13:    점  $X$ 를 기점으로  $S^{seg}$ 를 2개로 분할 후  $S$ 에 저장
14: 근사화된 선분 정보들로부터  $C^{approx}$  계산
    
```

(그림 2) 잎몸 영상으로부터 근사화된 컨투어 계산



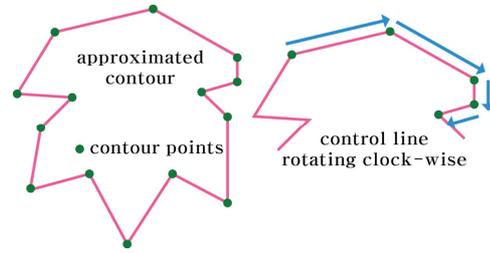
(a) leaf blade binary image



3.2 제어선기반 잎몸 영상 위핑

근사화된 컨투어 정보는 잎몸의 전체적인 형상을 대표하는 것으로 컨투어를 활용하면 사용자가 원하는 잎몸의 형상이나 유사한 패턴을 가지면서 불규칙한 형상을 갖는 다양한 잎몸을 효율적으로 생성할 수 있다. 이를 위해 본 연구는 Beier와 Neely [9]가 제안한 특징기반 영상 위핑 방법을 활용한다. 우선 근사화된 컨투어로부터 잎몸 형상에 대응되는 제어선을 자동으로 계산한다. 근사화된 컨투어는 윤곽 선분의 양 끝점을 저장하며 본 연구에서 필요한 제어선 역시 영상 위에 존재하는 두 점으로 구성되기 때문에 특별한 수학적 연산 없이 컨투어를 제어선으로 대응시킬 수 있다. 단, 제어선의 경우 선의 시작과 끝이 바뀔 경우 영상이 뒤집혀 꼬이는 현상이 발생할 수 있어 컨투어를 시계방향으로 정렬한 다음 제어선으로 설정한다 (그림 3).

(그림 3) 근사화된 컨투어로부터 제어선 설정



(Figure 3) Setting of control-line from approximated contour

제어선기반 영상 위핑은 원본영상 I^r 와 그 위에 존재하는 제어선 그리고 원본 제어선에 대응되는 목적영상 I^d 위의 제어선이 주어질 때 이로부터 변형된 목적영상을 계산하는 방법이다. 영상위의 두 점 P 와 Q 로 구성된 제어선을 \overline{PQ} 라 하면, 영상위의 한 픽셀 X 과 제어선 \overline{PQ} 와의 관계를 다음과 정의 정의할 수 있다.

$$X = P + u \frac{(Q-P)}{\|Q-P\|} + v \frac{(Q-P)^\perp}{\|Q-P\|} \quad (2)$$

여기서 u 는 제어선 \overline{PQ} 에 대한 픽셀 X 의 직교투영 성분이고 v 는 제어선 \overline{PQ} 에서 픽셀 X 까지의 수직 변위로 식은 다음과 같다.

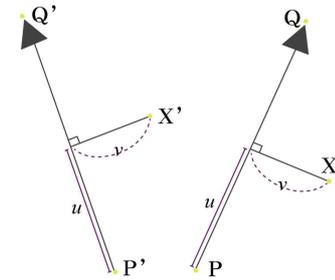
$$u = \frac{(X-P) \cdot (Q-P)}{\|Q-P\|}, \quad (3)$$

$$v = \frac{(X-P) \cdot (Q-P)^\perp}{\|Q-P\|}$$

여기서 직교투영 성분(u)과 수직 교차점 사이의 변위 정보(v)를 기반으로 역방향 사상을 통해 목적 영상의 픽셀을 원본 영상으로부터 유도한다. 그리고 잎몸 형상의 다수 제어선의 가중치 w 를 계산하기 위해 다음의 식을 적용한다.

$$w = \left(\frac{\|control-line\|^p}{(a + distance(X, PQ))} \right)^b \quad (4)$$

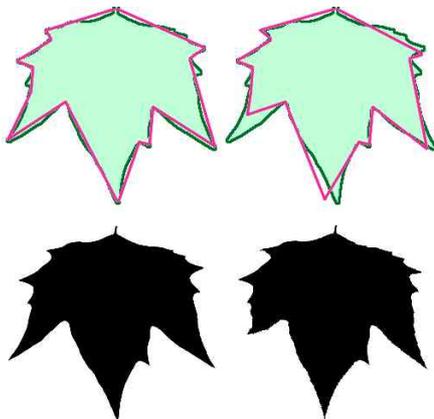
(그림 4) 제어선기반 워핑을 위한 기본 정보



(Figure 4) Fundamental information on warping based on control-line

p 값은 제어선의 길이의 가중치 정도로 0에서 1사이의 값을 가지며 a 는 분모가 0이 되는 것을 방지하기 위해 설정하는 극히 작은 값이다. 또한 b 는 제어선의 길이와 거리의 변화에 따라 가중치의 정도를 조절하는 값으로 0.5에서 2.0사이의 값으로 적절히 설정한다.

(그림 5) 제어선기반 워핑을 활용한 잎몸 형상 변형(단계 9)



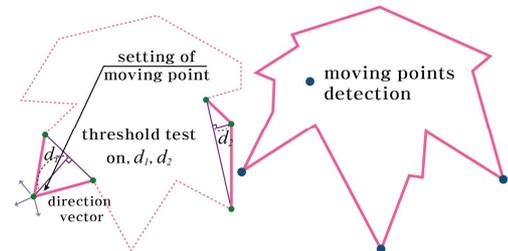
(Figure 5) Deformation of leaf blade shape using control-line based warping(level 9)

(그림 5) 는 제안하는 제어선기반 워핑을 통해 잎몸 형상을 원하는 형태로 재생성한 결과이다. 본 연구는 제어선의 이동, 회전 변환기능을 제공하여 사용자가 쉽게 편집 가능하도록 한다.

하나의 식물을 구성하는 다수의 잎들은 유사하지만 다른 다양한 잎으로 구성이 되어있기 때문에 제어선에 불칙적인 특징을 부여하여 전체적으로는 유사하지만 세부적으로 각기 다른 변

형된 잎몸 영상을 생성한다. 이를 위해 우선 제어선의 특징점들 중 워핑에 중요한 점들을 동점 (moving point)으로 선별하고 여기에 임의의 2차원 방향벡터를 적용함으로써 다양한 잎몸 형상의 변화 과정을 쉽게 제어한다. 이때 근사화된 컨투어의 모든 점들을 대상으로 세 개의 정점씩 묶어 첫 번째와 세 번째 점을 잇는 선분이 두 번째 점사이의 거리가 임계값 이상인 점들을 동점으로 정의한다 (그림 6). 여기서 안쪽으로 들어가는 점들은 동점에서 제외시킨다. 그리고 동점에 2차원 방향벡터를 적용시키면 동점 주위의 윤곽점들은 동점과 같은 방향으로의 움직임을 갖고 이때 벡터의 크기는 동점과의 거리에 따라 차등적으로 계산한다. 즉, 동점과 가까운 윤곽점은 동점과 같은 움직임을 갖고 상대적으로 먼 윤곽점은 적은 움직임을 갖도록 하는 것이다. 동점에 적용되는 무작위의 방향벡터를 통해 전체적으로 유사하지만 작은 차이를 갖는 잎몸 영상을 쉽게 생성할 수 있다.

(그림 6) 근사화된 컨투어를 기반으로 동점의 자동 계산



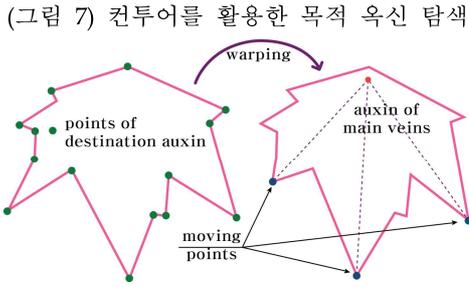
(Figure 6) Automatic calculation of moving points based on approximated contour

3.3 잎맥 패턴 모델링

잎의 외형을 나타내는 잎몸의 형상은 제안하는 제어선기반 워핑을 통해 원하는 형상이나 불규칙한 패턴으로 자동 생성이 가능하다. 다음으로 잎몸 형상과 자연스럽게 어울리는 잎맥 패턴을 모델링한다. 본 연구는 컨투어기반 잎맥 패턴 알고리즘 [10]을 활용하여 근사화된 컨투어로부터 주 잎맥, 곁 잎맥 그리고 3차 잎맥을 성장하여 잎을 생성한다.

컨투어를 활용한 절차적 성장 모델은 기본적으로 시작 옥신으로부터 후보 목적 옥신으로 잎맥이 성장하면서 패턴이 결정된다. 여기서 후보

목적 옥신은 잎몸 형상의 근사화된 컨투어로부터 자동 계산되며, 본 연구 역시 제어선을 위해 검출된 컨투어로부터 후보 목적 옥신을 설정 가능하다. 그리고 불룩한 형상의 잎몸을 갖는 잎이라면 앞서 계산한 동점들을 활용하여 주 잎맥의 목적 옥신을 대신한다 (그림 7).



(Figure 7) Search of destination auxin using contour

기존의 컨투어기반 잎맥 패턴 모델링의 결 잎맥 성장 과정 알고리즘 [10]은 불룩한 잎날을 갖는 잎에 대한 처리는 고려하고 있지 않다. 본 연구는 기존의 방법에 결 잎맥의 성장 과정에서 잎맥의 성장 방향과 잎날 컨투어와의 교차 검사를 추가하여 한쪽 잎날 위의 잎맥이 다른 잎날 위로 성장하지 않도록 설계한다.

4. 구현 및 분석

본 논문에서 제안한 워핑기반 잎 모델링 방법은 Visual C++ 2012, MFC, OpenCV 2.4 라이브러리를 이용하여 구현하였고, 실험 시스템 환경은 Intel(R) core(TM) i7-4710MQ, 8GB RAM, Geforce GTX 860M GPU를 탑재하고 있다.

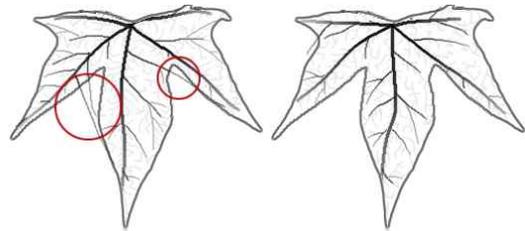
실험은 우선 제안한 방법을 사용하여 다양한 잎몸 형상을 효과적으로 변형하고 이를 통해 여러 패턴의 잎을 쉽고 직관적으로 생성 가능한지 여부를 확인한다. 그리고 워핑 과정을 잎몸의 성장에 대응시켜 잎몸 형상이 자연스럽게 변하며

성장하는 과정을 표현할 수 있는지 여부를 확인한다.

(그림 8) 은 하나의 잎몸 영상으로부터 전체적으로 유사하지만 세부적으로 다른 형상의 잎몸 영상을 생성한 결과이다. 근사화된 컨투어로부터 동점을 생성하고 방향 성분을 적용하여 쉽고 효율적으로 잎몸 형상을 재생산할 수 있음을 확인할 수 있다. 그리고 여기에 잎맥 패턴 성장 모델을 적용하여 잎몸 형상에 대응되는 잎맥을 자연스럽게 생성할 수 있음을 알 수 있다. 또한 여기에 추가로 색상 모델 [10]을 적용하면 잎의 다양성을 높일 수 있다.

이때 잎날을 갖는 잎몸 영상이 주어질 경우 기존 연구에서는 잎몸을 벗어나는 잎맥이 생성되는 반면 본 연구에서는 잎날을 벗어나서 잎맥이 성장하지 않는다는 것이다. (그림 9) 는 같은 잎몸 영상에 대해 기존의 방법 [10]과의 비교 결과를 나타낸 것이다.

(그림 9) 제안한 방법과 기존 연구의 비교 결과

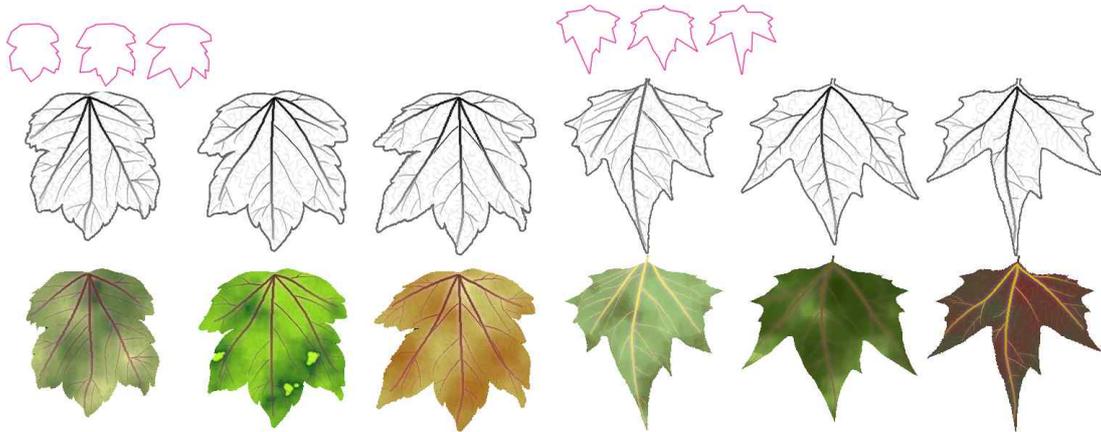


(a) previous method (b) proposed method

(Figure 9) Results of comparing the proposed method and the previous method [10]

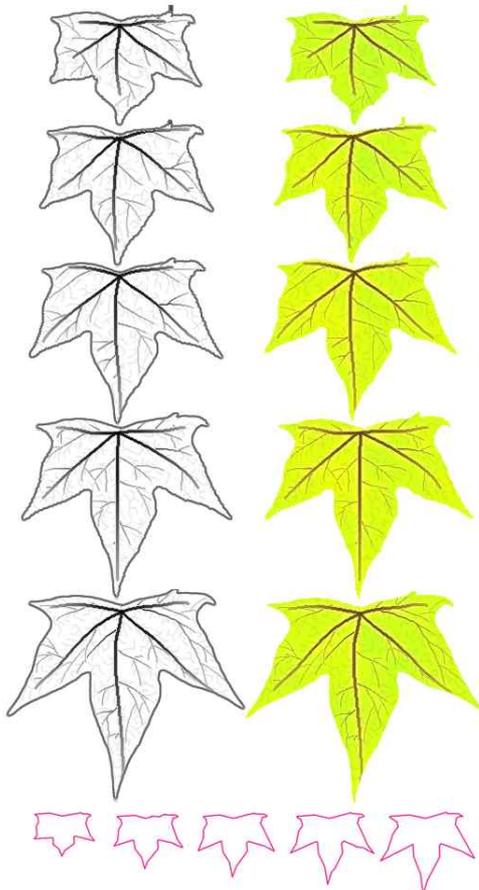
잎몸 영상의 워핑을 잎의 성장에 적용하면 시간에 따라 잎이 성장하는 과정을 크기뿐 아니라 잎몸 형상에도 쉽고 직관적으로 적용 가능하다. (그림 10) 은 이를 나타낸 것으로 근사화된 컨투어를 활용한 워핑만으로 잎몸 형상을 쉽게 변형할 수 있으며 여기에 잎몸에 맞는 잎맥 패턴을 생성하는 기존의 방법을 적용하여 효율적으로 잎의 성장과정을 표현할 수 있다.

(그림 8) 제안한 방법을 활용하여 다양한 잎들을 생성한 결과



(Figure 8) Results of creating various leaves using the proposed method

(그림 10) 제안한 방법을 활용한 잎의 성장 과정



(Figure 10) Process of growing leaf using the proposed method

5. 결론

본 논문에서는 특징기반의 워핑 알고리즘을 잎몸 형상 변형에 적용하여 다수의 다양한 잎을 효율적으로 생성하는 방법을 제안하였다. 특징기반 영상 워핑 가운데 제어선을 활용한 방법은 입력영상, 입력영상에 대응되는 제어선 그리고 목적영상에 대응되는 제어선으로부터 목적영상을 생성하는 방법으로 본 논문에서는 워핑에 사용되는 제어선을 잎몸 이진 영상으로부터 검출된 근사화된 컨투어로부터 자동으로 계산하였다. 그리고 컨투어 중 잎몸 형상 변형에 중요한 특징점을 동점으로 설정하여 이를 제어함으로써 유사하지만 다른 패턴을 갖는 다양한 잎몸 형상을 생성하였다. 재생산된 다양한 잎몸 영상으로부터 잎몸 형상에 적합한 잎맥 패턴을 절차적으로 성장하는 컨투어기반 잎맥 패턴 알고리즘을 적용하여 잎몸과 잎맥이 조화를 이루며 자동으로 자연스럽게 생성할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 과정에서 잎날을 갖는 잎의 성장 과정에서 잎맥이 잎 영역을 벗어나는 기존 알고리즘의 단점을 보완하여 보다 다양한 형상의 잎이 자연스럽게 성장할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안된 잎 모델링 기법은 디지털 식물이 필요한 다양한 컴퓨터 그래픽스와 디지털 콘텐츠 분야에서 매우 효과적으로 활용될 것으로 전망된다.

References

- [1] J. Kim and H. Cho, "Efficient modeling of numerous trees by introducing growth volume for real-time virtual ecosystems," *Computer Animation and Virtual Worlds*, Vol. 23, No. 3-4, pp.155-165, 2012.
- [2] S. Behrendt, C. Colditz, O. Franzke, J. Kopf, and O. Deussen, "Realistic real-time rendering of landscapes using billboard clouds," *Computer Graphics Forum*, Vol. 24, No.3, pp.507-516, 2005.
- [3] J. Kim, J. Kim, E. Kim and C. Kim, "Construction of library for 3D natural phenomena using 2D images," *Journal of Digital Contents Society*, Vol.9, No.3, pp.461-470, 2008.
- [4] A. Lindenmayer, "Mathematical models for cellular interaction in development," *Journal of Theoretical Biology*, Vol.18, pp.280 - 315, 1968.
- [5] A. Runions, M. Fuhrer, B. Lane, P. Federl, A.G. Rolland-Lagan and P. Prusinkiewicz, "Modeling and visualization of leaf venation patterns," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.23, No.3, pp.702-711, 2005.
- [6] W. Pałubicki, K. Horel, S. Longay, A. Runions, B. Lane, R. Měch and P. Prusinkiewicz, "Self-organizing tree models for image synthesis," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.28, No.3, pp.58:1-58:10, 2009.
- [7] P. Prusinkiewicz, M. James and R. Měch, "Synthetic topiary," In *Proceedings of SIGGRAPH 1994*, pp.351-358, 1994.
- [8] C. Li, O. Deussen, Y. Z. Song, P. Willis and P. Hall, "Modeling and generating moving trees from video," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.30, No.6, pp. 127:1-12, 2011.
- [9] T. Beier and S. Neely, "Feature-based image metamorphosis," *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol.26, No.2, pp.35-42, 1992.
- [10] J. Kim, "Contour-based procedural modeling of leaf venation patterns," *Journal of Korea Game Society*, Vol.14, No.5, pp.97-106, 2014.
- [11] P. Prusinkiewicz and J. Hanan, "Visualization of botanical structures and processes using parametric l-systems," *Scientific visualization and graphics simulation*, pp.183 - 201. John Wiley & Sons, 1990
- [12] Y. Rodkaew, C. Lursinsap, T. Fujimoto and S. Siripant, "Modeling leaf shapes using l-systems and genetic algorithms," In *International Conference NICORAPH*, pp.73-78, 2002.
- [13] A. Peyrat, O. Terraz, S. Merillou and E. Galin, "Generating vast varieties of realistic leaves with parametric 2GMap l-systems," *The Visual Computer*, Vol.24, No.7, pp.807-816, 2008.
- [14] Y. Rodkaew, P. Chongstitvatana, S. Siripant and C. Lursinsap "Modeling plant leaves in marble-patterned colours with particle transportation system," In *4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models*, pp.391-397, 2004.
- [15] L. Quan, P. Tan, G. Zeng, L. Yuan, J. Wang and S.B. Kang, "Image-based plant modeling," In *SIGGRAPH '06: ACM Transactions on Graphics*, Vol.25, No.3, pp.599 - 604, 2006.
- [16] G.V.G. Baranoski and J.G. Rokne, "Efficiently simulating scattering of light by leaves," *The Visual Computer*, Vol.17, No.8 pp.491-505, 2001.
- [17] L. Wang, W. Wang, J. Dorsey, X. Yang, B. Guo and H. Shum, "Real-time rendering of plant leaves," In *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*, Article 5, 2006.
- [18] S. Mochizuki, D. Cai, T. Komiri, H. Kimura and R. Hori, "Virtual autumn coloring system based on biological and fractal model," In *Proceedings of the 9th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, pp.348-354. 2001.
- [19] S. Jeong, S. Park and C. Kim, "Simulation of morphology changes in drying leaves," *Computer Graphics Forum*, Vol.32, No.1, pp.204-215, 2013.

[20] G. Wolberg, "Digital Image Warping," IEEE Computer Society Press, 1994.

[21] D. Douglas and T. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature," The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, Vol.10, No.2, pp.112-122, 1973.



김진모

2086년 : 동국대학교 영상대학원
멀티미디어학과 (예술공학
석사)

2012년 : 동국대학교 영상대학원
멀티미디어학과 (공학박사
-게임제작)

2012년~2014년: 동국대학교 영상문화콘텐츠연구원
전임연구원

2014년~현재: 부산가톨릭대학교 소프트웨어학과
조교수

관심분야 : 컴퓨터그래픽스(Computer Graphics), 영
상처리(Image Processing), 게임프로그래밍
(Game Programming) 등