

농산물 및 미립자의 기하학적 특성 분석을
위한 컴퓨터 시각 시스템(II)
—기하학적 특성 분석 알고리즘—

Computer Vision System for Analysis of Geometrical Characteristics of Agricultural Products and Microscopic Particles(II)
—Algorithms for Geometrical Feature Analysis—

이 중 환*, 노 상 하*
J. W. Lee, S. H. Noh

Summary

The aim of this study is to develop a general purpose algorithm for analyzing geometrical features of agricultural products and microscopic particles regardless of their numbers, shapes and positions with a computer vision system.

Primarily, boundary informations of an image were obtained by Scan Line Coding and Scan & Chain Coding methods and then with these informations, geometrical features such as area, perimeter, lengths, widths, centroid, major and minor axes, equivalent circle diameter, number of individual objects, etc, were analyzed.

The algorithms developed in this study was evaluated with test images consisting of a number of randomly generated ellipsoids or a few synthesized diagrams having different features.

The result was successful in terms of accuracy.

1. 서 론

輪廓의 座標나 체인코드 등과 같은 輪廓 情報을 抽出하기 위한 방법은 다음과 같은 3가지의 기본 개념으로 나누어 생각할 수 있다^{7), 11), 12), 13),}

¹⁶⁾ 1) 映像 全領域을 TV 走査 方向으로 탐색하면서 背景에서 物體로, 物體에서 背景으로 轉移되는 轉移點들의 座標를 調査하고, 이웃하는 두

주사선(scan line)에 대한 各 轉移點 座標들 간의 이웃정도(connectivity)를 조사하여 동일한 물체에 해당하는 畫素들을 얻는 방법, 2) 일단 TV 走査 方向으로 探索하다가 背景에서 물체로 轉移되는 畫素를 만나면 그 畫素를 시작 畫素(starting pixel)로 하여 해당물체의 모든 輪廓 要素에 대한 체인코드를 구한 후 다음 물체를 위해 TV 주사 방향으로 탐색을 계속하는 방법,

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

3) 첫 단계에는 영상내에 존재하는 모든 물체에 대하여 물체에 포함되는 한 畫素(seed point)씩을 일괄적으로 찾은 후, 다음 단계에서 그 畫素로부터 각 物體의 輪廓 座標를 얻는 방법이 있다.

이 연구에서는 위의 3가지 윤곽 정보 추출 개념 중에서 첫번째 개념을 走査線 코딩 方法(Scan Line Coding Method), 두번째 개념을 스캔 및 체인 코딩 方法(Scan & Chain Coding Method)이라고 명명하였으며 이를 이용하여 윤곽 정보를 추출하고자 한다. 세번째 개념은 각 물체에 대하여 물체에 포함되는 한개의 畫素를 일괄적으로 찾는 것이 쉽지 않으며 그 畫素로부터 각 物體의 輪廓 座標를 얻어야 하는 단계가 요구되는 등, 복잡한 일면을 가지므로 윤곽 정보 추출을 위한 알고리즘 개발에서 제외하였다.

한편, 어떤 대상체의 幾何學의 特性은 대상체로부터 추출된 윤곽 좌표를 이용하여 분석할 수 있다^{3), 5), 9)}. 각종 幾何學의 特性을 분석하기 위한 방법으로 모멘트 특징 方法(Moment Feature Method) 등이 있으며^{2), 6), 9), 10), 17)}, 특성 항목에 따라서는 개념이 매우 간단하여 특별한 기법을 요구하지 않는 경우도 있다¹⁾. 한편, 정확성을 조금 잃더라도 시간을 단축하기 위한 알고리즘을 개발할 수 있다.

개발하고자 하는 윤곽 정보 추출 및 기하학적 특성 분석을 위한 알고리즘들의 기본적인 개념은 이미 널리 알려져 있으며 상품화된 컴퓨터 팩키지에서 이용되고 있기도 하다. 그러나, 기본적인 개념만으로는 범용적인 알고리즘 개발이 어려우며 경우에 따라서는 노우하우가 밝혀지지 않고 있으므로, 적용 분야와 이용 목적에 부합하도록 알고리즘의 개념을 확장하고 개선하는 것은 의미가 크다고 사료된다.

이 연구는 농산물 및 미립자의 기하학적 특성을 분석하기 위한 컴퓨터 시각 시스템 개발을 위한 일련의 연구의 하나로서, 연구 목적에 부합되고 범용적으로 이용될수 있는 윤곽 정보 추출 및 기하학적 특성 분석 알고리즘을 개발하고자 수행되었다. 즉, 주어진 영상에서 분석 대상이 되는 대상체의 갯수, 크기, 형태 및 위치가 임의 이더라도 모든 대상체의 輪廓 座標 등을 알아내

고 동시에 이를 이용하여 면적, 주변장, 장단축 등 대상체의 각종 幾何學의 特性을 分析하는 알고리즘을 開發, 評價하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

실험장치는 “농산물 및 미립자의 기하학적 특성 분석을 위한 컴퓨터 시각 시스템(I)”에서와 동일한 映像 貯藏, 處理 및 出力 裝置部로 구성되는 컴퓨터 영상 처리 장치를 이용하였다. 그런데, 이 연구에서는 그래픽 영상 데이터를 이용하여 합성한 2치화된 도형 영상(이하 “합성영상”이라고함)을 대상 영상으로 하였기 때문에 조명 장치 및 카메라와 같은 영상 입력 장치부는 필요하지 않았다.

나. 합성영상

실제 대상체 영상을 가지고 윤곽 정보 추출 알고리즘 및 기하학적 특성 분석 알고리즘을 개발할 경우, 영상 전처리 과정에 의한 영향으로 알고리즘의 정확성을 평가하는데 문제가 있을 것으로 판단하여, 이 연구에서는 ① 모양, 크기, 위치, 갯수에 따른 윤곽 정보 추출 알고리즘의 반응을 평가하기 위한 영상(이하 “합성영상I”)이

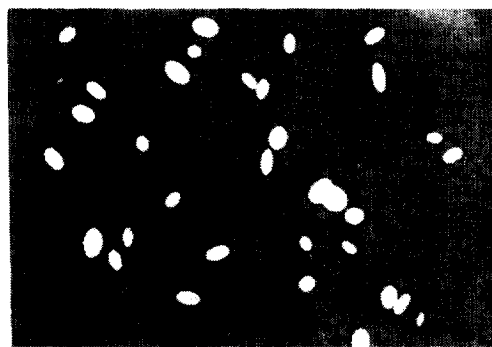


Fig. 1. An synthesized image for evaluation of algorithms extracting boundary information(“Synthesized image I”).

라고함), 윤곽 정보 추출 알고리즘 및 기하학적 특성 분석 알고리즘의 정확성을 분석하기 위한 영상(이하 “합성영상II”이라고함)을 알고리즘의 평가에 이용하였다.

그림 1은 합성영상I의 한 예인데, 중심좌표, 장단축비, 장축 길이 등 4개의 변수를 난수 발생 함수(random number function)를 이용하여 임의 발생하였으며 그에 따라 타원을 만들었다. 타원의 중심 및 크기를 임의로 발생시켰기 때문에 여러개의 타원이 겹쳐진 다양한 형태의 도형이 얻어진다.

그림 2는 합성영상II인데, 미립자 및 농산물의 모양을 고려하여 원, 타원, 사다리꼴, 굽은 형태

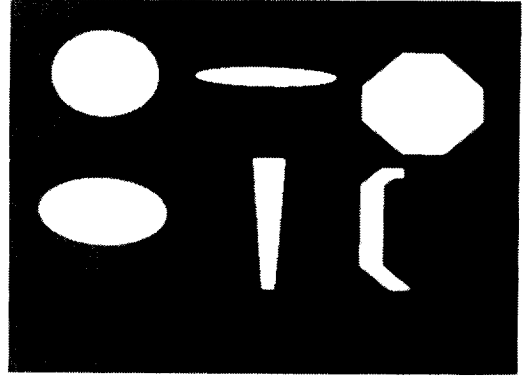


Fig. 2. Synthesized image for evaluation of algorithms analyzing geometrical characteristics (“Synthesized image II”).

Table 1. Geometrical characteristics of synthesized figures.

Figure	Area	Perimeter	Length of major axis	Length of minor axis	Direction of major axis	Minor/major axis length ratio
Circle	—	—	100*	100*	—	1.0
Ellipse # 1	—	—	140	20	0°	0.143
Ellipse # 2	—	—	120	80	0°	0.667
Octagon	11200	386	127	127	—	1.0
Rectangle	3200	361	—	—	—	—
Polygon	3050	387	—	—	—	—

*) Diameter of circle

의 도형 등으로 구성하였다. 표 1은 합성영상II에 포함된 도형에 대한 幾何學의 特性이다. 이들 도형은 IMAGER-AT 라이브러리⁴³⁾가 제공하는 그래픽 함수를 이용하여거나(원, 타원) 해당 도형을 고의로 입력(팔각형, 사각형, 다각형)하여 얻었다. 그런데, 영상 시스템의 분해능에 의하여 제약을 받기 때문에 면적과 둘레 길이 등 幾何學的 特性의 실제값 결정이 어렵다. 이 연구에서는, 예를 들면 원의 경우 수학적인 원이 아닌 수학적 근에 가까운 다각형 도형을 출력하기 때문에 원도형에 대한 각종 기하학적 특성치는 수학적식을 이용하지 않고 원도형에 해당하는 영상 화소를 조사하여 구하였다.

다. 기하학적 특성 분석 알고리즘 개발

1) 輪廓 情報 抽出 알고리즘

커피, 우유 및 비의 경우, 대상체의 수는 많고 각 대상체의 주변장이 짧으며, 사과, 감자, 오이의 경우에는 대상체의 수는 적고 각 대상체의 주변장이 길다. 따라서, 윤곽 정보 추출 및 幾何學的 特性 分析을 위한 알고리즘이 모든 경우에 적용되도록 하기 위해서는 動的 메모리 割當에 의한 컴퓨터 메모리 管理가 要求된다. 여러가지 동적 메모리 관리 기법이 있으나⁴⁴⁾ 이 연구에서는 주사선 코딩 방법에 대해서는 이중 연결 리스트(doubly linked list)에 의하여, 스캔 및 체인

코딩 방법에 대해서는 단일 연결 리스트(singly linked list)에 의한 동적 메모리 관리 기법을 이용하였다.

가) 走査線 코딩 方法

각종 농산물의 선별 장치에는 컨베이어로 대상물을 이송시키면서 라인 센서(line sensor)를 이용하여 처리하는 경우가 많다. 이 경우, 받아들인 대상물에 대한 정보는 일차원(하나의 선)인 반면에 처리 대상은 이차원 또는 삼차원이므로 윤곽 정보의 추출이나 幾何學의 特性 分析을 위한 알고리즘은 그러한 특성에 부응할 수 있도록 개발 되어야 한다.

주사선 코딩 방법은 입력량이 적으므로 영상 메모리의 문제에서 장점을 가진다. 이 방법의 기본 개념을 이용하여 대상물의 갯수나 면적을 분석하는 소프트웨어 또는 하드웨어가 많이 개발 되어있다. 그러나, 대상물의 다양한 형태에 대한 분석을 위한 소프트웨어나 하드웨어는 많지 않다. 그 이유는 대상물의 형태가 복잡할수록 알고리즘은 더욱 복잡해지기 때문이라고 사료된다.

이 알고리즘의 장점으로는 일차원 영상 입력 장치에 의하여 입력된 영상 데이터를 처리할 수 있고, 런 길이 코딩(run length coding)이 동시에 가능하며, 하드웨어의 구현이 용이하다는 것 등이다.

(1) 기본개념

대상체와 배경을 구분할 수 있는 문턱값을 미리 알고 있으면, TV 주사 방향으로 진행하면서 배경에서 물체로, 물체에서 배경으로 轉移되는 座標를 조사할 수 있다.

화면을 주사했을 때, 하나의 주사선에 의해 얻어진 화소열을 구하면 계속하여 배경이 이어지는 열과 물체가 계속되는 열로 나누어 생각할 수 있다. 이 때, 배경이나 물체의 화소가 계속되는 길이를 런 길이(run length)라 한다¹³⁾.

이 연구에서는 走査가 배경에서 시작되고 런 길이가 1 인 화소를 배경으로 취급한다면, 동일 주사선에서 홀수번째 轉移點이면 물체 영역이 시작되고 짝수번째이면 물체의 영역이 끝남을

나타낸다. 그리고 이웃한 주사선에서 조사된 轉移點들의 좌표끼리를 비교하여 같은 물체에 해당하는 轉移點인지를 조사한다. 이 때, 같은 물체에 해당하는 轉移點이라면 같은 레이블(label)을 부여하며 동시에 두 라인의 홀수번째 또는 짝수번째 轉移點끼리의 좌표값 차이에 따라 체인 코딩한다.

(2) 알고리즘의 內容

알고리즘의 흐름순서는 다음과 같다. 아래의 표기 중에서 (A, B)의 형태에서 A는 홀수번째 轉移點의 좌표, B는 짝수번째 轉移點의 좌표이다.

① 해당 走査線(old line이라 함)에서 홀수번째와 짝수번째 轉移點들의 좌표, $(X_i, X_j)_{old}$ 를 조사하고 컴퓨터 메모리에 저장한다. 만일 轉移點이 없다면 다음 라인을 주사한다.

② 다음 走査線(new line이라 함)에서의 홀수번째와 짝수번째 轉移點들의 좌표, $(X_k, X_l)_{new}$ 를 조사한다. 만일 轉移點이 없으면 ⑥을 수행한다.

③ $(X_k)_{new}$ 와 $(X_i)_{old}$, $(X_l)_{new}$ 와 $(X_j)_{old}$ 의 좌표값 차이를 비교하고 절대 차이가 1 이하인 轉移點에 대하여 같은 레이블을 부여한다.

④ 절대 차이가 2 이상이면 새로운 물체이거나 급작스럽게 변하는 단면을 가진 물체이므로, 앞뒤 轉移點의 레이블링(labeling) 상황을 고려하여 레이블링 한다.

⑤ old line에서는 부여되었지만 new line에서는 부여되지 않는 레이블이 있다면 그 레이블에 해당하는 물체가 더이상 존재하지 않거나 하나의 동일물체로 합류하는 경우에 해당된다.

⑥ 마지막 주사선이 아니면 new line를 old line으로 하고 ②를 수행한다.

입력 항목은 배경과 물체를 구분하기 위한 문턱값이며, 출력 항목은 각 물체의 시작좌표, 주변장, 면적, 배경물체 여부, 윤곽 좌표 및 체인코드, x 또는 y 축에 대한 0, 1, 2 차 면적 모멘트이다. 여기서, 배경물체란 물체내부에 존재하는 배경부분을 의미한다.

어떤 레이블이 i 번째 주사선까지 존재하다가 i+1 번째 주사선부터 존재하지 않는다면, 레이

불에 해당하는 물체가 더이상 존재하지 않음을 의미한다. 이 때, 해당 레이블의 i 번째 주사선에서의 홀수번째 轉移點의 바로 좌측과 마지막 짝수번째 轉移點의 바로 우측에 있는 轉移點의 레이블이 서로 다르면 해당 대상체의 내부에 배경 물체를 포함하지 않은 일반적인 물체인 반면, 같으면 배경물체로 간주한다.

그림 3은 레이블링(labeling)의 간단한 예이다.

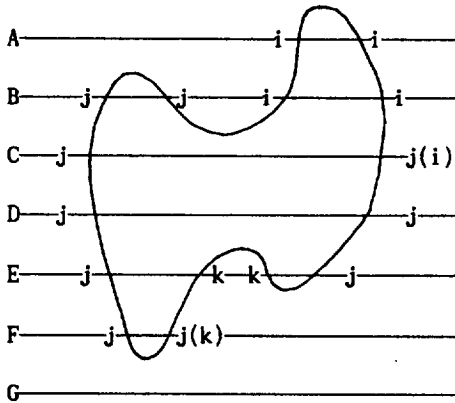


Fig. 3. Example of labeling in Scan Line Coding Method

하나의 도형에 레이블이 i, j, k 로 세가지인 것은 B와 E에서 수렴(convergence)과 분기(divergence)가 일어났기 때문이다. B 주사선의 j 의 짝수번째 轉移點과 i 의 홀수번째 轉移點에 대응하는 轉移點이 C 주사선에서는 없으므로 일단 C 주사선에서 j 와 i 는 하나씩만 레이블링된다. 이 때, 하나씩만 있는 레이블을 짝지어주는 과정이 필요하다. 즉, i 를 j 로 바꾼다. F 주사선에서도, E 주사선의 j 의 짝수번째 轉移點과 k 의 짝수번째 轉移點에 대응하는 轉移點이 없으므로 k 를 j 로 바꾼다.

위의 경우에는 B와 E 주사선에서 체인코드의 정렬이 요구된다. 즉, i, j 또는 j, k 로 각각 체인코드가 연결되어 있었으나, i 또는 k 에 해당하는 체인코드를 j 의 체인코드와 연결하여야 한다. 이 때, 연결 체인코드(linked chain code)의 머리

(head)와 꼬리(tail)의 연결 상태에 따라서는 각 체인코드들의 방향을 180°회전 방향으로 변환한다든지, 아니면 머리와 꼬리를 바꾸고 연결순서를 그에 따라 재정렬해야 하기도 한다. 연결 체인코드의 머리와 꼬리를 바꾸기 위해서는 이중 연결 리스트에 의한 메모리 관리가 요구된다.

F 주사선의 j 는 G 주사선에서는 더이상 존재하지 않으므로 물체 하나가 더이상 존재하지 않음을 의미한다. 이와 같이 어떤 레이블의 홀수번째 및 짝수번째 轉移點이 동시에 없어지면 그 물체에 대한 연결 체인코드를 윤곽 데이터 화일에 저장한다.

입력 영상이 여러개의 대상체를 포함하고 있거나 대상체가 복잡한 형태일 경우에는 여러가지 레이블이 부여됨으로 레이블의 관리가 어렵다. 이 연구에서는 ①레이블의 수가 곧 물체의 수이며, ②동일 주사선에 있는 동일 레이블의 수는 항상 2개이어야 한다는 것을 레이블 관리 원칙으로 하였다.

나) 스캔 및 체인 코딩 方法

주어진 영상내에 있는 물체의 윤곽중에서 한 화소로부터 시계 방향 또는 반시계 방향으로 물체 윤곽에 대한 체인 코딩을 수행한다면 한 물체에 대한 윤곽 정보를 일련적으로 얻을 수 있기 때문에 데이터 관리가 용이해진다.

본 알고리즘의 핵심은 여러개의 대상체가 포함되어 있을 때, 탐색이 완료된 대상체에 대해서는 탐색을 다시 하지 않도록 하는 것이다.

(1) 기본개념

처음에는 TV 주사 방향으로 진행하면서 배경에서 물체로 전이되는 좌표를 조사한다. 일단 轉移點을 만나면 그 점의 좌표를 저장하고 해당 물체의 윤곽에 대한 체인 코딩을 수행한다. 체인 코딩과 함께 윤곽 화소의 화소치를 일정한 화소치로 변환한다. 여기서, 일정한 화소치란 주어진 영상에는 없는 화소치로 결정하여야 하는데 탐색이 완료된 물체에 대해서는 탐색을 다시 하지 않도록 하기 위하여 필요하다. 체인 코딩이 끝나면 다음 물체를 만나기 위해 TV 주사 방향으로 다시 진행을 계속한다.

(2) 알고리즘의 내용

스캔 및 체인 코딩 알고리즘의 흐름순서는 다음과 같다.

① TV 주사 방향으로 진행하면서 배경에서 물체로 전이되는 좌표를 조사한다.

② 轉移點을 만나면 시작좌표로 저장하고 해당 물체의 윤곽에 대한 반시계방향으로 체인 코딩을 수행한다. 체인 코딩과 동시에 윤곽 화소의 화소치를 254로 변환한다.

③ 시작좌표로 다시 돌아오면 체인 코딩을 마치고 다시 TV 주사 방향으로 진행하면서 다음 물체의 轉移點을 조사한다. 그리고 ②를 반복한다.

④ 화소치 254가 탐색이 되면 완료된 물체의 윤곽이므로 다음에 만나는 화소치 254를 가진 화소까지는 물체를 배경으로, 배경을 물체로 취급하면서 주사를 진행한다. 이 때, 254의 화소치를 가지는 화소를 만나기 전에 배경 부분(물체로 취급)이 탐색되면 이는 배경물체에 해당하는 부분이므로 이를 반시계 방향으로 체인 코딩하고 동시에 배경물체의 윤곽 화소의 화소치를 253으로 변환한다.

⑤ 모든 영상에 대하여 반복한다.

입력 항목(input)은 배경과 물체를 구분하기 위한 문턱값이며, 출력 항목(output)은 각 물체의 시작좌표, 주변장, 배경물체의 여부, 윤곽 좌표 및 체인코드이다.

2) 幾何學의 特性 分析 알고리즘

그림 4는 幾何學의 特性을 분석하기 위한 알고리즘의 개요이다. 각 幾何學의 特性 항목은 영상의 縱橫比와 畫素當 實際 水平 길이를 고려하여 분석하였다. 모멘트 계산은 모멘트 특징 방법(Moment Feature Method)에 의하여 幾何學의 特性을 분석하는 경우에 필요하다.

가) 도심

$m_{10} = \sum_x \sum_y x \cdot g(x, y)$ 는 y축에 대한 1차 모멘트이고, $m_{01} = \sum_x \sum_y y \cdot g(x, y)$ 는 x축에 대한 1차 모멘트이다. m_{00} 가 개체 영역내의 화소수일 때, 개체의 중심좌표는 $(m_{10}/m_{00}, m_{01}/m_{00})$ 가 된다.

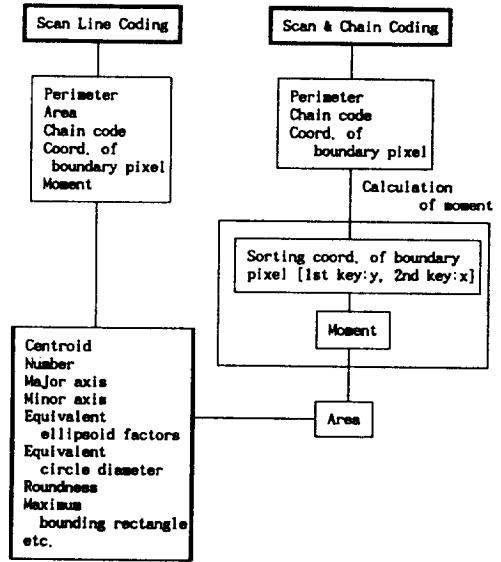


Fig. 4. Flow diagram for analyzing geometrical characteristics.

고속으로 개체의 중심을 구하는 방법은 윤곽 좌표들, (X_i, Y_i) 에 대한 평균 X값, 평균 Y값으로 할 수 있다. 개체의 모양이 불균일할수록 모멘트에 의하여 얻은 중심과의 차이는 커진다.

나) 둘레길이

윤곽의 총길이 즉, 둘레길이는 각 윤곽 요소의 방향이 수직, 수평 또는 대각선인지에 따라서 영상의 종횡비와 화소당 실제 수평 길이를 고려하여 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{둘레길이} = & (\text{수직 방향 체인코드의 총 갯수}) \\ & \times \text{DSF/ASP} \\ & + (\text{수평 방향 체인코드의 총 갯수}) \\ & \times \text{DSF} \\ & + (\text{대각선 방향 체인코드의 총 갯수}) \times \text{DSF}/(1.0 + \text{ASP}^2)^{1/2} \end{aligned}$$

여기서, ASP : 영상의 종횡비

DSF : 화소당 실제 수평 길이

둘레길이는 윤곽의 요철에 매우 민감하다. 이

연구에서는 이웃하는 체인코드의 방향이 90도 이상 차이가 나는 경우가 8회 이하가 될 때까지 대상 물체의 윤곽을 평활화(smoothing)하였다.

3) 면적

각 개체에 속하는 화소의 총 갯수를 구하고 화소당 면적을 곱하여 개체의 면적을 계산한다. 여기서, 화소의 총 갯수는 다음과 같이 구하였다.

y 좌표를 1차 인자(key)로 하고 x좌표를 2차 인자(key)로 하여 각 개체의 윤곽 좌표를 정렬(sorting) 하면 같은 x 좌표를 가지는 y좌표들이 순서대로 나열된다. 이웃하여 나열된 두 y좌표의 중심좌표의 화소치를 조사하여 배경에 해당하는 화소치가 아니면 두 좌표 간의 거리를 계산하고 누적하였다. 모든 개체 영역을 통하여 누적된 값을 각 개체에 속하는 화소의 총 갯수로 하였다.

$$\text{면적} = (\text{화소의 총 갯수}) \times (\text{DSF}^2 \times \text{ASP})$$

라) 장단축

장단축은 여러가지로 정의될 수 있는데, 장단축의 길이는 다음과 같이 정의되는 두 윤곽 좌표를 잇는 선분의 길이에 해당된다. 즉, 개체 도형의 면적 모멘트를 최소화 하는 선분(이하에서, 이 정의에 의하여 장축을 얻는 방법을 “모멘트 방법”이라고 함), 개체의 중심을 지나는 모든 선분 중에서 길이가 가장 긴 선분(이하에서, 본 정의에 의하여 장축을 얻는 방법을 “중심 방법”이라고 함), 또는 모든 선분 중에서 가장 긴 선분(이하에서, 본 정의에 의하여 장축을 얻는 방법을 “탐색 방법”이라고 함) 등으로 목적에 따라서 달리 정의할 수 있다. 한편, 단축은 장축과 90°의 기울기 차이가 있으며 장축의 정의에 따라 단축의 정의도 달라진다. 모멘트 방법의 경우에는 중심을 지나는 선분 중에서 가장 긴 선분을, 중심 방법 또는 탐색 방법에서는 해당 장축과 90°의 기울기 차이가 있는 선분 중에서 가장 긴 선분을 단축으로 정의하였다. 이 연구에서는 위 3가지 정의에 의하여 장단축을 분석하였다.

모멘트 방법(Moment Method)에 의한 장축은 선대칭의 면도형일 때, 중심 방법(Centroid

Method)에 의한 장축은 무게 중심을 고려할 때, 그리고 탐색 방법(Search Method)에 의한 장축은 가장 긴 길이를 얻고자 하는 경우에 의미가 있으며 농산물 및 미립자의 실제 장축에 해당하는 것으로 사료된다.

한편, 주축의 방향이나 장축의 방향은 장축에 해당하는 선분의 x축에 대한 기울기로 정의하였다.

마) 최대 외접 사각형

주어진 개체의 모든 윤곽 좌표 중에서 최대, 최소가 되는 x, y 값을 이용하여 최대 외접 사각형(maximum bounding rectangle)의 4개 모서리의 좌표를 구하였다.

바) 굽은 물체의 中心線 抽出

오이, 고추, 가지 등에는 굽은 것이 많다. 이 경우 농산물의 길이는 직선이 아닌 曲線 形態의 中心線의 길이로 할 수 있다. 또한, 中心線의 曲率 半徑은 굽은 農産物의 形狀을 표현하는 데 유용할 것이다.

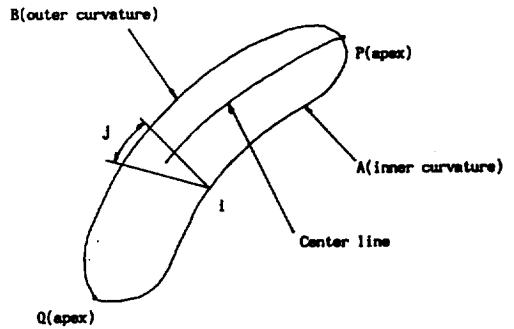


Fig. 5. Determination of center line for bended object.

그림 5에 굽은 물체(bended object)에 대한 중심선의 추출 과정을 보였다. 굽은 물체의 중심선을 추출하기 위하여, 영상에서 물체의 양 꼭지점(점 P와 점 Q)좌표를 찾고 꼭지점(P)과 꼭지점(Q)을 잇는 두갈래 꼭선의 길이를 각각 계산하면 짧은 쪽은 짧은 호(A)에 해당하고 긴 쪽은 긴 호(B)에 해당한다. P에서 A를 따라 Q를 향하여 윤곽 요소(i)를 하나씩 옮기면서, P에서 B

를 따라서 Q를 향한 윤곽 요소(j)와 대응시켜 거리를 계산한다. 여기에서, i는 윤곽 요소를 하나씩 이동하지만 j는 대응 거리가 가장 짧은 윤곽 요소를 결정하기 위하여 어느 범위를 가지고 이동한다.

가장 짧은 윤곽 요소가 결정되면 두 윤곽 좌표를 잇는 선분상에서 중간이 되는 지점을 중심선의 좌표로 하였다.

사) 기타 분석 항목

등가 타원의 장단축 길이는 $\alpha = \text{면적} / (\pi \times \text{장축 길이} \times \text{단축 길이})$ 라고 정의할 때, 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \text{등가 타원의 장축 길이} &= \text{장축 길이} \times (\alpha)^{1/2} \\ \text{등가 타원의 단축 길이} &= \text{단축 길이} \times (\alpha)^{1/2} \end{aligned}$$

이들 항목은 장단축의 정의에 따라 여러가지 값으로 나타날 수 있다.

등가 원의 지름은 $(\text{면적} \times 4.0/\pi)^{1/2}$, 원형도는 $4.0 \times \pi \times \text{면적} / (\text{둘레길이})^{1/2}$ 로 계산하였다.

라. 알고리즘 평가 방법

1) 윤곽 정보 추출 알고리즘

우수한 윤곽 정보 추출 알고리즘은 대상 물체의 형태, 위치, 갯수에 무관하게 항상 윤곽 정보 추출이 가능하고 정확하며 고속이어야 한다. 이 연구에서는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 합성영상I(synthesized image I)을 만들고 대상 물체의 형태, 위치, 갯수에 무관하게 윤곽 정보를 정확하게 추출하는지를 분석하였다.

영상 출력 화면에 윤곽 정보 추출 알고리즘을 통하여 얻은 윤곽을 그에 해당하는 합성 물체 영상(synthesized objects image)과 함께 표시한 후, 육안에 의하여 중복되었거나 추출되지 않은 윤곽이 있는지를 조사하였다. 한편, 윤곽의 방향은 육안으로 판단하기에는 불가능하기 때문에, 윤곽 정보를 알고 있는 合成映像-합성영상II-을 입력하여 각 도형의 윤곽 방향과 윤곽 정보 추출 알고리즘에 의하여 얻은 윤곽의 방향이 일

치하는지를 조사하였다. 한편, 합성영상II를 대상으로 윤곽 정보 추출 알고리즘의 수행시간을 분석하였다.

2) 기하학적 특성 분석 알고리즘

각종 幾何學的 特性을 이미 알고 있는 합성영상II에 포함된 각 도형에 대하여 幾何學的 特性分析 알고리즘을 적용하여 얻은 결과를 입력된 결과와 비교함으로써 幾何學的 特性分析 알고리즘의 정확성을 평가하였다. 이 때, 영상의 종횡비와 화소당 실제 수평 길이는 각각 1.0으로 하였다.

또한, 이 연구에서는 영상내의 개체의 수, 형태 등이 상이한 몇가지 도형을 대상으로 幾何學的 特性을 분석하는 데 소요되는 시간을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 윤곽 정보 추출 알고리즘의 정확성

주사선 코딩 방법과 스캔 및 체인 코딩 방법에 의한 윤곽 정보 추출이 개체의 형태, 위치, 갯수에 무관하며, 정확하게 이루어지는지를 육안에 의하여 평가하였다. 난수 발생 함수를 프로그래밍하고¹⁵⁾ 이를 이용하여 얻은 임의의 타원 도형이 겹치면 타원의 특성을 잃어버리고 다양한 형태의 도형이 된다.

그림6 및 그림 7에서와 같이 영상 출력 화면의

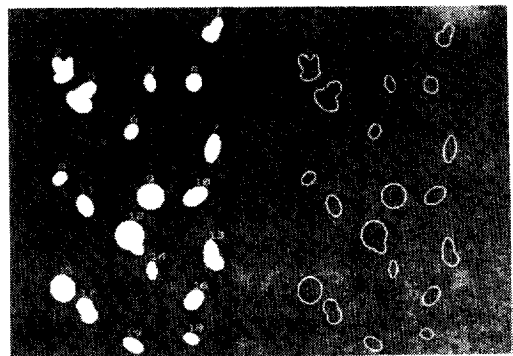


Fig 6. An example of boundary extraction by Scan Line Coding Method.

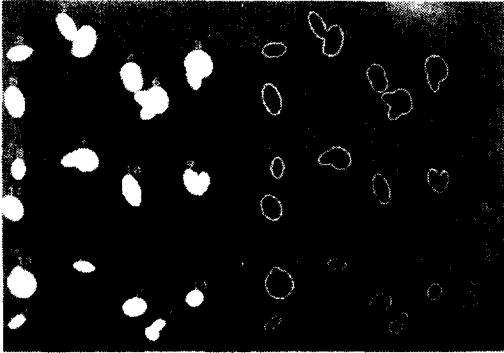


Fig. 7. An example of boundary extraction by Scan & Chain Coding Method.

좌측에는 난수 발생 도형을, 우측에는 알고리즘을 적용하여 얻은 각 도형에 대한 윤곽을 표시하고 중복되거나 추출되지 않은 경우가 있는지를 육안으로 조사하였다. 많은 합성영상에 대하여 조사한 결과, 모든 경우에 있어서 두 알고리즘은 정확하게 윤곽을 추출하였다.

幾何學의 特性 分析 알고리즘을 평가하기 위하여 만든 合成映像은 각 도형 영상의 윤곽 정보를 알수 있으므로 이를 이용하여 윤곽 정보 추출 알고리즘의 정확성을 평가한 결과, 두가지 알고리즘 모두가 표 2에서 알수 있듯이 정확하였다.

Table 2. Accuracy in analysis of boundary pixel orientation(BPO) by Scan Line Coding Method (SLCM) and Scan & Chain Coding Method (SCCM) depending on type of figure.

Figure	Code	No. of BPO of the given figures							No. of BPO analyzed by SLCM and SCCM								
		0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
Circle		-	-	-	-	-	-	-	42	29	42	29	42	29	42	29	
Ellipse #1		-	-	-	-	-	-	-	121	9	2	9	123	9	2	9	
Ellipse #2		-	-	-	-	-	-	-	64	28	24	28	64	28	24	28	
Octagon		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
Rectangle		10	10	150	0	30	0	150	0	10	10	50	0	30	0	150	0
Polygon		30	10	110	30	20	20	100	30	30	10	110	30	20	20	100	30

나. 기하학적 특성 분석 알고리즘의 정확성
 合成映像에 있는 각 도형의 幾何學의 特性은 이미 알고 있으므로 - 표 1. 참조 - 이미 알고 있는 각 항목의 특성치를 기준값으로 하여, 각 항목별로 幾何學의 特性 分析 알고리즘에 의하여 얻은 결과값의 상대 오차를 구하였다.

표3~표5에서 알수 있듯이, 모든 항목에 대하여 2가지 윤곽 정보 추출 알고리즘간의 정확성 차이는 없었다.

장단축의 길이에 대한 상대 오차는 그들을 구하는 방법에 관계없이 4% 이하로 나타났다(괄 각형을 모멘트 방법으로 분석하는 경우는 제외). 면적의 경우에는 약 -1.3%~2.6% 범위의 상대

오차를 보였으며, 주변장은 0%~2.2% 정도로 나타났다. 이러한 오차는 영상 처리 시스템의 분해능과 영상 출력 화면에 출력된(그림 2) 각 도형을 관찰한 결과를 고려할 때, 허용 범위이내로 판단된다.

다. 수행시간

수행시간을 알아 보기 위하여, 몇가지 영상을 대상으로 주사선 코딩 방법과 스캔 및 체인 코딩 방법을 이용하여 윤곽 정보 추출에 소요되는 시간과 윤곽 정보를 추출한 후 각 도형의 기하학적 특성치를 얻어내는 데 소요되는 시간을 측정하고 그 결과를 표 6과 표 7에 나타냈다. 여기서,

대상 영상은 커피 및 사과의 표준영상, 합성영상 II 등 세 종류였다. 윤곽 정보 추출에 소요된 시간의 비교에서, 주

사선 코딩 방법은 도형의 갯수나 형태 등에 따라서 차이를 보이지 않았으나, 스캔 및 체인 코딩 방법은 약간의 차이를 보였다. 주사선 코딩 방법

Table 3. Relative error in analysis of geometrical characteristics by Moment Method with boundary information obtained by Scan Line Coding Method(SLCM) and Scan & Chain Coding Method(SCCM).(1)

Unit : %

Item Figure	Algorithm	Area	Perimeter	Length of maj. axis	Length of min. axis	Direction of maj. axis	Min./maj. axis length ratio
Circle	SLCM	-	-	0.02*	0.00*	-	0.02
	SCCM	-	-	0.02*	0.02*	-	0.00
Ellipse # 1	SLCM	-	-	0.00	0.00	0.00	0.03
	SCCM	-	-	0.00	0.00	0.00	0.03
Ellipse # 2	SLCM	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00
	SCCM	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00
Octagon	SLCM	0.71	-0.01	-5.51	-5.51	-	-0.01
	SCCM	0.71	-0.01	-5.51	-5.51	-	-0.01
Rectangle	SLCM	-1.22	2.13	-	-	-	-
	SCCM	-1.22	2.13	-	-	-	-
Polygon	SLCM	2.52	0.00	-	-	-	-
	SCCM	2.52	0.00	-	-	-	-

*) Diameter of circle

Table 4. Relative error in analysis of geometrical characteristics by Centroid Method with boundary information obtained by Scan Line Coding Method(SLCM) and Scan & Chain Coding Method(SCCM).(2)

Unit : %

Item Figure	Algorithm	Length of major axis	Length of minor axis	Direction of major axis	Minor/major axis length ratio
Circle	SLCM	1.41	0.44	-	-0.96
	SCCM	0.98	0.98	-	0.00
Ellipse # 1	SLCM	0.00	0.00	-3.56	0.03
	SCCM	0.00	0.00	-3.56	-2.00
Ellipse # 2	SLCM	0.35	0.27	-1.15	-0.07
	SCCM	0.35	0.27	-1.15	-0.75
Octagon	SLCM	0.40	-1.15	-	-0.75
	SCCM	-0.40	-1.15	-	-0.75

Table 5. Relative error in analysis of geometrical characteristics by Search Method with boundary information obtained by Scan Line Coding Method(SLCM) and Scan & Chain Coding Method (SCCM).(3)

Unit : %

Figure \ Item	Algorithm	Length of major axis	Length of minor axis	Direction of major axis	Minor/major axis length ratio
Circle	SLCM	1.61	0.62	—	-0.97
	SCCM	0.98	0.98	—	0.00
Ellipse # 1	SLCM	0.00	0.00	0.00	-2.00
	SCCM	0.00	0.00	0.00	-2.00
Ellipse # 2	SLCM	0.35	0.27	5.33	-0.07
	SCCM	0.35	0.27	5.33	-0.07
Octagon	SLCM	-0.40	-1.15	—	-0.75
	SCCM	-0.40	-1.15	—	-0.75

Table 6. Sample images and execution time in extraction of boundary information by Scan Line Coding Method(SLCM) and Scan & Chain Coding Method(SCCM).

Sample image \ Item	Type and no. of figures in each sample image			Algorithm	
	Circle	Ellipse	Miscell.	SLCM	SCCM
Synthesized	1	2	3	16.5 sec	16.2 sec
Coffee	—	—	15*	22.0 sec	52.0 sec
Apple	—	—	1	20.0 sec	50.0 sec

*) No. of droplets in sample image.

Table 7. Sample images and execution time in analyzing geometrical characteristics which are including major and minor axes by Moment Method, Centroid Method and Search Method.

Sample image \ Item	Type and no. of figures in each sample image			Algorithm for analyzing major and minor axes		
	Circle	Ellipse	Miscell.	Moment	Centroid	Search
Synthesized	1	2	3	254.0 sec	225.5 sec	301.6 sec
Coffee	—	—	15*	65.3 sec	56.4 sec	79.0 sec
Milk	—	—	15*	91.8 sec	87.6 sec	101.8 sec
Apple	—	—	1	117.6 sec	99.2 sec	135.2 sec

*) No. of droplets in a sample image.

은 전체 영상을 TV 주사 방향으로 주사하면서 윤곽 정보를 추출하므로 대상체의 갯수나 형태에 거의 무관하지만 스캔 및 체인 코딩 방법은 일단 어느 물체에 대한 윤곽 정보를 추출한 이후에도 이미 추출된 윤곽 좌표를 다시 탐색해야 하는 알고리즘 특성 때문에 사료된다.

분석하고자 하는 幾何學의 特性 項目의 총 갯수나 각 항목의 정의 방법에 따라서 대상물체의 幾何學의 特性을 분석하는 데 소요되는 수행시간에 차이가 있었다. 즉, 추출된 윤곽 정보로부터, 장단축 및 등가 타원의 장단축을 포함하여 그림 4에 나타난 각종 幾何學의 特性을 모두 분석하는 데 소요되는 시간은 기하학적 특성 항목 중에서 장축을 어떻게 정의하느냐에 따라서 차이가 있었다(표 7 참조).

4. 결론

대상체의 갯수, 크기, 형태 및 위치에 관계없이 윤곽 정보를 추출하고 동시에 이를 이용하여 대상체의 각종 幾何學의 特性을 분석하는 알고리즘을 개발하고 평가하였다.

윤곽 정보 추출을 위해 주사선 코딩 방법(Scan Line Coding Method)과 스캔 및 체인 코딩 방법(Scan & Chain Coding Method)을 이용한 알고리즘을 개발하였으며, 면적, 주변장, 장단축, 등가 타원 인자, 등가원 지름 등, 각종 幾何學의 特性 分析을 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 특히, 장단축은 모멘트 방법(Moment Method), 중심 방법(Centroid Method) 및 탐색 방법(Search Method) 등 3가지의 방법으로 분석할 수 있도록 하였다.

개발된 윤곽 정보 추출 및 幾何學의 特性 分析 알고리즘에 대한 평가 결과는 다음과 같다.

가. 주사선 코딩 방법과 스캔 및 체인 코딩 방법이 대상체의 갯수, 크기, 형태 및 위치에 무관하게 윤곽 정보 추출이 정확하게 이루어지는지를 合成映像을 대상으로 육안과 윤곽 방향 분석에 의하여 평가한 결과, 모든 경우에 있어서 두 알고리즘은 정확하게 윤곽을 추출하였다.

나. 이미 幾何學의 特性을 알고 있는 각 도형

영상을 대상으로 幾何學의 特性 分析 알고리즘을 평가한 결과, 모든 기하학적 특성 항목을 정확하게 분석하였다.

다. 윤곽 정보 추출에 소요되는 수행시간을 비교한 결과, 수행시간의 비교 결과, 주사선 코딩 방법은 도형의 크기, 형태 및 갯수에 따라서 차이를 보이지 않았지만, 스캔 및 체인 코딩 방법은 약간의 차이를 보였다.

라. 幾何學의 特性 分析에 소요되는 시간은 장단축의 정의 방법과 대상체의 크기, 형태 및 갯수에 따라 차이를 보였다.

參 考 文 獻

1. 강석호. 1990. 분체공학. 회중당. pp. 21-81.
2. 노상하, 이종환. 1990. 영상 처리 기술의 농업적 이용. 한국농업기계학회 주최 심포지엄 발표문 "농업 생산 시스템의 자동화와 첨단 기술", pp. 99-147.
3. 노상하, 류관희, 김일용. 1990. 화상 처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회지, 15(1) : 23-27.
4. 신진섭 편역. 1991. C 언어의 이해. 도서출판 기문사. pp. 61-82, pp. 291-310.
5. Ashkar G.P. and J.W. Modestino. 1978. The contour extraction problem with biomedical applications. Computer Graphics, and Image Processing, 7 : 331-355.
6. Ballard, D.H. and C.M. Brown. 1982. Computer vision. Prentice-Hall. pp. 231-263.
7. Chakravarty, I. 1981. A single-pass, chain generating algorithm for region boundaries. Computer Graphics and Image processing, 15 : 182-193.
8. Diller, K.R. and S.J. Aggarwal. 1987. Computer automated cell size and shape analysis in cryomicroscopy. Journal of Microscopy, 146(2) : 209-219.
9. Gonzalez, R.C. and P. Wintz. 1987. Digital image processing. Addison Wesley. pp. 391-428.

10. Jain, A.K. 1989. Fundamentals of digital image processing. Prentice-hall.
11. Kim, S., J. Lee and J. Kim. 1988. A new chain-coding algorithm for binary images using run-length codes. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 41 : 114-128.
12. Lauzon, J.P., D.N. Mark, L. Kikuchi, and J.A. Guevara. 1985. Two-dimensional run-encoding for quadtree representation. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 30 : 56-69.
13. Marsh, D.J., P.K. Jensen and K.R. Spring. 1985. Computer-based determination of size and shape in living cells. Journal of Microscopy, 137(3) : 281-292.
14. Matrox. 1989. IMAGER-AT MS DOS software library for the MVP-AT video digitizer. Matrox, Canada.
15. Microsoft. 1987. Microsoft C 5.1 Optimizing compiler. Microsoft Corporation, Washington.
16. Pavlidis, T. 1978. A minimum storage boundary tracing algorithm and its application to automatic inspection. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybern., SMC-8(1) : 66-69.
17. Rosenfeld, A. and C.K. Avinash. 1982. Digital picture processing. Academic Press. pp. 55-84, pp. 130-152, pp. 219-275, pp. 286-290.



學位取得

姓 名 : 李 宗 桓
生 年 月 日 : 1960年 11月 19日
取 得 學 位 名 : 농학박사
學 位 授 與 大 學 : 서울대학교
學 位 取 得 年 月 日 : 1992年 2月 26日
學 位 論 文 : 농산물 및 미립자의 기하학적 특성 분석을
위한 컴퓨터 비전 시스템

