

사과 수확 로봇의 개발(II)

- 화상처리를 이용한 사과의 인식 알고리즘 -

Development of Apple Harvesting Robot

- Algorithm of Apple Recognition Using Image-processing -

장익주*	김태한*	유경선**
정회원	정회원	비회원
I.J.Jang	T.H.Kim	K.S.You

1. 서론

사과수확로봇의 사과식별장치 제어를 위한 화상처리의 첫 단계는 사과의 정확한 위치와 특성을 인식하는 것에서 시작된다. 외계의 정보를 입력받기 위한 센서로는 인간의 시각을 대신할 수 있는 시각센서를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 시각 센서는 단일센서로서는 많은 정보를 빠르게 입력받을 수 있는 CCD 카메라를 사용하였다. 입력된 아날로그 데이터는 화상처리 모드에서 디지털 데이터로 변환되어 컴퓨터에서 직접적으로 정보처리를 가능하게 해준다.

컴퓨터에 의한 디지털 화상정보 처리는 다음과 같은 장점 특징이 있다.

1. 정확한 정보처리와 재현성: 컴퓨터 시스템내에서 처리하므로 정확성이 높고 반복처리에 따른 오류가 거의 발생하지 않는 완전한 재현성이 유지된다.
2. 제어의 용이성: 제어목적에 따라 프로그램에 의해 제어용의 각종 파라미터를 자유로 설정하거나 변경할 수 있다.
3. 처리의 다양성: 프로그램의 변경에 의해 각종 처리를 실현할 수 있으며, 새로운 환경에서도 지능적인 프로그램이 가능하다.

이러한 장점에도 불구하고 화상처리에 의한 대상물을 인식함에 있어서 다음과 같은 문제점들을 해결하여야만 했다.

1. 데이터량이 많다: 본 연구에서 사용한 화상은 한 프레임당 3MB의 정보가 입력되므로, 화상을 압축하고 색상의 레벨수를 줄여 속도를 향상시켰다.
2. 시간이 걸린다: 경제성 있는 제어가 되도록 많은 데이터의 처리시간을 단축할 수 있는 알고리즘이 요구된다.

본 연구는 '93년도 농촌진흥청 특정연구과제로 수행되었음

* 경북대학교 농업기계공학과

** 경북대학교 대학원 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

사과 인식을 위한 실험장치 구성은 그림 1과 같이 Data Input Unit와 Data Processing Unit로 구성된다. Data Input 장치로는 Sony사의 XC-711CCD 카메라를 사용하였고, Data Processing 장치로는 영상입력 장치로부터 데이터를 받아들이는 ITEX MFG Image Board와 화상을 분석하는 컴퓨터로 이루어진다.

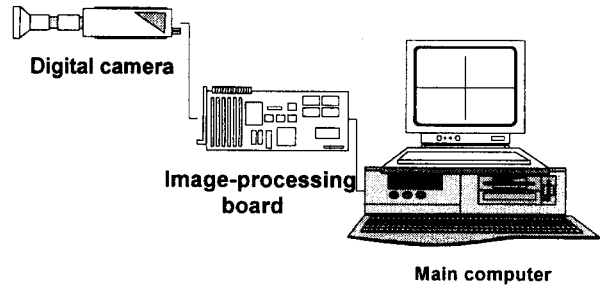


Fig 1. Vision system

나. 결정함수 결정

먼저 대상물인 사과를 인식하기 위해서 색상모델에 기초한 결정함수를 결정하였다. 일반적으로 색의 차이를 결정함수로 설정하여 대상을 인식하는 방법이 처리 속도가 빠르고, 수치적 분석이 용이하여 많이 쓰이고 있다. 일반적인 결정함수식은

$$Y = C_0 + C_1R + C_2G + C_3B + C_4R^2 + C_5G^2 + C_6B^2 + C_7RG + C_8GB + C_9BR + \dots$$

의 형태로 나타난다.

결정함수는 간략할수록 처리 속도를 높이는데 유리하므로 R, G, B, R-G, G-B, B-R을 화상에 적용하여 실험적으로 가장 인식율이 높은 결정함수를 찾았다. 사과화상에 대해서 위의 여섯 가지 결정함수를 적용한 결과 R-G가 가장 높은 식별율을 나타내는 것으로 나타났으며, 컴퓨터에 의한 처리속도 향상을 위하여 다음식과 같이 변환시켜 사용하였다.

$$X = \frac{R - G + 256}{2}$$

다. 사과의 위치결정 과정

사과의 위치결정 순서는 두 단계로 나누어진다. 첫 번째로는 화상에서 사과의 위치결정 과정이고, 두 번째로는 검출된 사과의 특징값계산과 위치보정과정이다.

사과의 위치결정과정은 2 단계 검색과정으로 이루어진다. 2차 정밀검색에서는 1차 검색에서 구해진 범위 내에서만 1화소씩 이동시켜서 매칭의 척도를 구하였다. 2차 검색에서 사용된 매칭의 척도는 상관계수를 이용하였다. 이와 같이 2차에 걸친 검색에 의해 대상 화상의 데이터량을 감소시키고 처리시간을 줄이려고 하였다. 특징값계산과 위치보정과정에서는 사과의 정확한 위치와 대상물의 특징값을 구하기 위해 화상을 이진화하였고, 이진화상을 다시 라벨링하여 사과의 중심위치를 보정하고 특징값을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 사과 검색 과정

사과의 검출은 그림 2와 같이 템플레이트 매칭 방법을 사용한다. 템플레이트는 검출 대상물인 사과를 나타내는 사과 이미지이다. 구체적인 템플레이트 매칭 방법은 아래와 같다.

- ① 검출하려고 하는 대상물 $t(x,y)$ 를 화상 $f(x,y)$ 중의 임의의 점 (i,j) 에 그 중심이 겹치게 한다.
- ② $t(x,y)$ 와 화상 $f(x,y)$ 의 겹쳐지는 부분 화상과의 유사도를 측정하여 그 값을 점 (i,j) 에 대상이 존재하는 확실성으로 한다.
- ③ ①~②의 조작을 화상 $f(x,y)$ 의 모든 점에 대해서 실시한다.
- ④ ①~③의 과정에서 구해진 유사도가 어떤 역치를 넘는 위치중에서 유사도가 최대가 되는 위치를 찾는다.

본 연구에서는 사과의 표본화상과 유사성을 측정하는 방법으로 상관계수를 사용하였다. 이는 자연광의 변화에 따라 색상의 절대값의 변화가 크므로, 잡음에 강하고 상대적인 유사성을 인식하는데 효과적이기 때문이다. 두 변수 X, Y 사이의 상관관계식은

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma \cdot \sigma'} \quad \text{또는}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\sigma \cdot \sigma'}$$

(\bar{x} : X의 평균값 \bar{y} : Y의 평균값 σ : X의 표준편차 σ' : Y의 표준편차)

이다

★ 상관계수 r 은 항상 $-1 \leq r \leq 1$ 을 만족하는 것으로 양의 상관 관계 일 때에는 $r > 0$ 이고 음의 상관일 때에는 $r < 0$ 이며, 상관이 없을 때에는 0 이다.

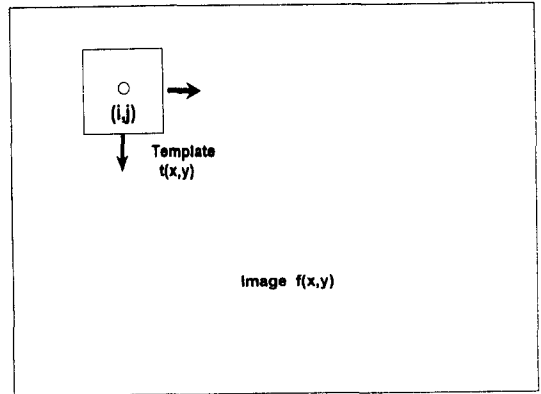


Fig 2. Template matching

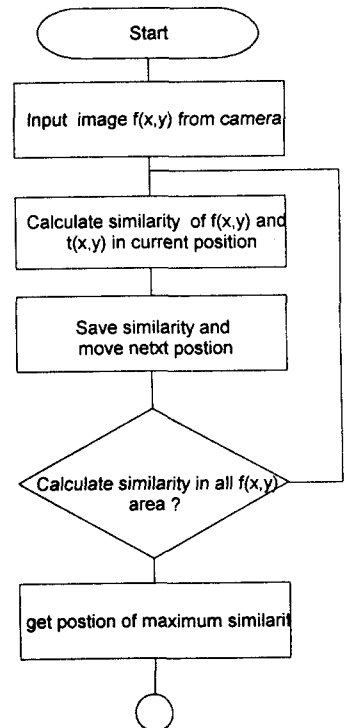


Fig 3. Algorithm of template matching

나. 사과 검색 방법의 개량

CCD카메라를 이용한 화상처리는 데이터 양이 많으므로 처리시간이 많이 소요된다. 신속한 제어를 위해서는 데이터량을 감소시켜 처리시간을 최대한 단축시켜야만 한다. 본 연구에서 사용된 화상은 상당히 크다(32x32 ~ 128x128 화소). 따라서 큰 화상에서 템플레이트와 가장 잘 일치하는 장소를 찾으려면 많은 계산시간이 소요된다. 이러한 시간을 줄이기 위해서, 템플레이트 이동을 거친 검색과 정밀 검색의 2단계로 나누어서 행하였다. 1차 검색에서 템플레이트를 1화소씩 물리는 것이 아니고, 몇 점의 간격을 두고 템플레이트를 화상에 겹쳐서 매칭의 척도를 계산하고, 사과가 존재할 만한 대략적인 범위를 구하였다. 또한 매칭의 척도를 상관계수대신 $\int \int |f-t| dx dy$ 를 사용한다. 다음 식은 임의의 점 (u,v)에서 f(x,y)와 t(x,y)에서의 비유사도 m(u,v)를 나타낸다.

$$m(u, v) = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^m |f(k+u-1, l+v-1) - t(k, l)|$$

m(u,v)의 특징은 다음과 같다.

① t(x,y)와 일치하는 패턴이 (u,v)에 있으면 값이 작고, 반대이면 큰 값을 취한다. ② t(x,y)와 화상이 전혀 일치하지 않는 경우는 t(x,y) 내의 각 화소에 있어서 화상과의 농도차의 절대값을 순차적으로 더해 가면 m(u,v)가 급격히 증대한다. ③ 덧셈 도중에 농도차의 부분합이 어떤 역치를 넘으면, t(x,y)와 일치하는 패턴이 없는 것으로 여기고 다음 장소로 m(u,v)의 계산을 이동할 수 있다.

이 방법은 대부분의 계산이 가감산이고, 계산도 대부분의 위치에서 도중에 중단되기 때문에 계산 시간이 단축된다. 2차 정밀 검색에서는 1차 검색에서 구해진 범위 내에서만 t(x,y)를 1화소씩 이동시켜서 매칭의 척도를 구하였다. 2차 검색에서 사용된 매칭의 척도는 상관계수법을 사용하였다. 이와 같은 2차에 걸친 검색에 의해 대상 화상의 데이터량을 감소시켰으며 처리 소요시간을 줄일 수 있었다. 그림 4는 사과 검색과정을 나타내는 화상들이다.

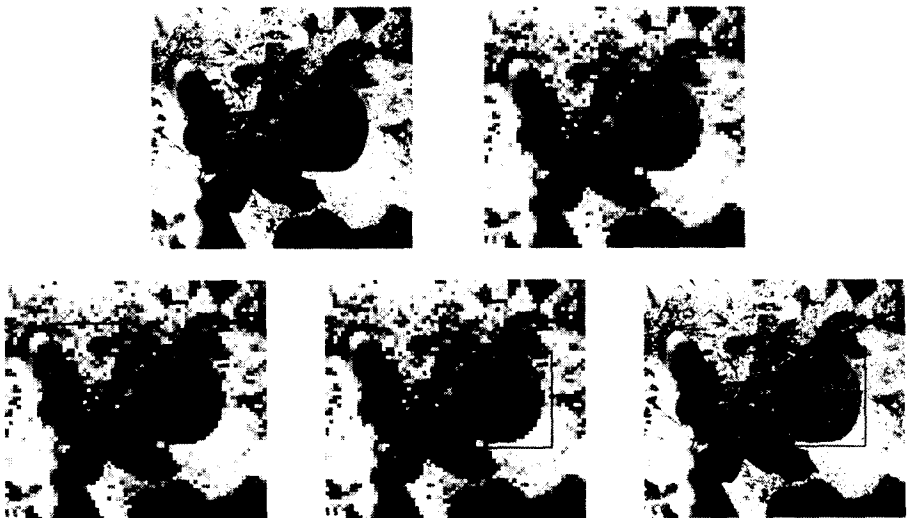


Fig 4. Images of template matching

다. 사과 중심위치 보정

그림 5는 이진화와 라벨링에 의해 특징값을 구하고 중심 위치를 보정하는 순서도이다. 사과수확을 위해서는 정확한 3차원 위치를 구해야 한다. 본 연구에서는 이를 위해서 스트레오 화상기법을 이용한 삼각측량법을 사용하고 있다. 스트레오 화상기법에서 각각 두 화상에서 사과의 정확한 위치를 구하는 것이 중요하다. 템플릿 매칭에서 구한 위치는 상관계수값에 기초한 위치이므로 사과의 중심위치와 반드시 일치하는 것은 아니다. 또한 원화상에 아무런 전처리를 하지 않았기 때문에 화상의 잡음에 의해 오차가 있다. 본 연구에서는 사과의 정확한 위치와 대상물의 특징값을 구하기 위해 화상을 이진화하였고, 이진화상을 다시 라벨링하여 사과의 중심위치를 보정하고 특징값을 구하였다

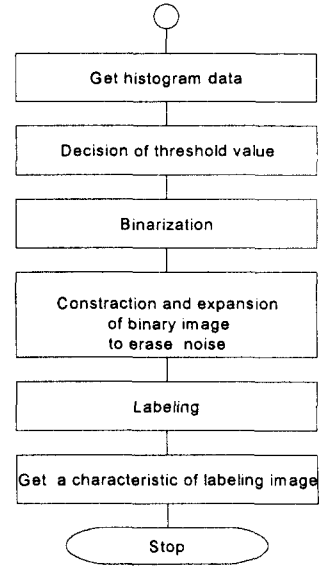


Fig 5. Algorithm of position calibration

라. 라벨링 화상의 특징값 계산과 중심위치 보정

라벨링 화상의 특징값으로는 면적, 주위의 길이, 원형도룰 들 수 있다. 라벨링화상의 원형도란 면적과 주위의 길이로 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$C = \frac{4\pi A}{L^2} \quad (C: \text{원형도}, A: \text{면적}, L: \text{주위길이})$$

따라서 원에 가까울수록 1.0에 가까워지고 도형이 복잡하게 될 수록 작은 값을 가지게 된다. 또한 라벨링화상에서 중심 위치는 아래 식으로 구할 수 있다.

$$\text{라벨화소의 위치 } (x_i, y_i) \quad (i=0, \dots, n-1) \text{의 평균값} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \right)$$

그림 6은 이진화와 라벨링 과정을 거쳐 사과의 중심위치를 보정하는 과정을 나타내고 있다.



Fig 6. Images of position calibration

마. 장애물의 검출

사과를 검출함에 있어서 잎과 가지에 의해서 사과 화상이 가려지는 경우가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 대상물의 색상비율을 구하여 장애물을 분할하였다. 그림 7은 색상 비율에 따라 화상에서 사과, 잎, 가지를 구분하는 것을 나타낸 것이다.

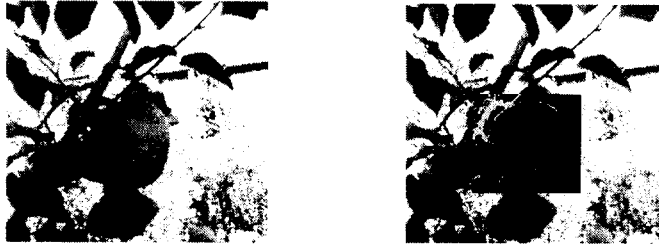


Fig 7. Image of leaf and branch detection

4. 요약 및 결론

사과수확로봇의 사과인식장치 제어를 위해서는 대상물 인식이 필요하다. 본 연구는 화상처리에 의한 대상물 인식과 위치 결정 알고리즘을 개발하였으며 대상물의 특징에 따른 새로운 색상 함수를 구함으로써 대상물을 인식하고 장애물을 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하여 사과수확로봇에 사용하였다.

가. 변환된 결정함수 $X=(R-G+256)/2$ 로 사과를 인식할 수 있었다.

나. 상관계수를 사용한 템플레이트 매칭으로 사과의 인식과 좌표를 결정할 수 있었다.

다. 화상처리를 거친검색과 정밀검색 두 번의 검색에 의해서 처리시간을 단축할 수 있었다.

라. 라벨링 화상으로 대상물인 사과의 위치 보정, 원형도, 중심위치, 크기 등을 수치화할 수 있다.

마. 장애물의 검출을 위해서 색상비율에 따라 가지와 잎의 장애물을 쉽게 검출할 수 있었다.

5.참고문헌

1. 日本工業技術센터, 컴퓨터 화상처리 입문: 178-182
2. 金太均, 화상처리기초: 150-157
3. 이성환, 패턴인식의 원리 I: 127-195
4. 金熙昇, 영상 인식: 93-98
5. Daniel B.Diner and Derer H.Fender, Humman Engineering in Stereoscopic Viewing Devices.
6. Rafael C. Gozales and Richard E. Wood Digital Image Processing.
7. T. W. Anderson and R. R. Bahadur, Classification into Two Multivariate Normal Distribution with Diffent Corvariance Matrices, Ann. Math. stat. Vol. 331962.