

통합 영상 특징에 의한 지폐 분류 시스템의 구현

강 현 인[†] · 최 태 완^{††}

요 약

본 논문에서는 블록화된 영상의 관심영역 가중치 비교 알고리즘과 형상특징 가중치 비교 알고리즘을 결합하여 지폐를 실시간으로 분류하는 시스템을 하드웨어로 구현하였다. 구현된 시스템은 영상획득부, 전처리 및 영상처리부로 구성되어 있다. 영상획득부는 CIS(contact image sensor)에 의해 영상이 얻어지고, A/D 변환기와 PLD에서 전처리를 한다. 영상처리부는 전처리된 영상을 제안된 알고리즘에 의해 DSP에서 수행한다. 제안한 방법은 시뮬레이션을 통해 질의영상과 비교영상간의 식별율을 높일 수 있고 오염되거나 회전, 이동된 지폐에서도 향상된 성능을 가진다. 그리고 제안 방법은 영상의 블록화 효과에 따른 계산량의 감소와 병렬처리를 할 수 있는 시스템으로 구성할 수 있어서 검색율을 높이거나 검색시간을 줄일 수 있는 장점이 있다.

System Implementation of Paper Currency Discrimination by Using Integrated Image Features

Hyun-Inn Kang[†] · Taewan Choi^{††}

ABSTRACT

In this paper, we implemented a real-time system improving the performance of the paper currency discrimination by integrating a weighted region of interest matching algorithm with a weighted shape feature matching algorithm of the blocked image. The system classifies the paper currency by comparing a query image with compared images based on the database that contain images of paper currency. Especially, the system has good efficiency at the contaminated, rotated, and translated paper currency. The system hardware consists of three parts as follows: the paper currency image acquired by CIS(contact image sensor) is applied to the pre-processing part with A/D converter and PLD. Finally the pre-processed image data are classified by the main image processing part with a high-speed DSP based on the proposed algorithm.

키워드: 지폐 분류 시스템(paper currency discrimination system), 블록화된 영상(blocked image), 관심영역(region of interest), 형상 특징(shape feature), 영상획득(image acquisition), CIS(contact image sensor), 지폐영상(paper currency image), 질의영상(query image), 비교영상(compared image), 검색율(discrimination ratio)

1. 서 론

지폐 분류기는 지폐의 영상을 획득하여 높은 신뢰도의 영상처리 기법으로 지폐를 식별하는 시스템이다. 이 시스템은 실시간 영상처리를 할 수 있는 빠른 처리 속도와 분류의 정확도가 가장 중요한 사양이다[1]. 지폐 분류 시스템은 지폐의 종류별 영상이나 특징을 데이터베이스로 하여 새로 읽은 질의영상과 가장 많이 닮은 비교영상을 검색한다.

영상검색의 방법에는 컬러[2], 텍스처(texture)[3], 형상(shape) 정보를 이용하는 방법[4], 그리고 이 특징들을 복합적으로 사용하는 방법 등이 있다[5]. 영상의 컬러 정보는 조명 변화나 관측 위치, 크기 변화 등에 관계없이 적용이 가능한 장점이 있으며 처리가 간단하여 가장 많이 사용되는

방법 중의 하나이다. 컬러 특징을 추출하는 대표적인 방법은 컬러 히스토그램(histogram)을 이용하는 것이다. 컬러 히스토그램을 특징 정보로 사용하면 컬러 수 만큼 해당하는 크기의 저장 공간이 필요하므로 효율적인 영상검색을 위해서는 유사한 컬러별로 군집화하는 컬러 집합을 사용하게 된다[2]. 텍스처는 영상 내부에 동일한 패턴을 가지는 영역에 대한 특징으로써 영상 내부의 객체 표면이 가지는 특성을 표현하고 있기 때문에 매우 중요한 특징이 된다. 텍스처의 특성을 표현하는 요소에는 텍스처의 미세 정도를 나타내는 거침(coarseness), 명도의 높낮이 분포를 나타내는 대비(contrast), 텍스처가 가지고 있는 방향성(directionality) 등이 있다. 그러나 영상 내부의 한 점이 아닌 어떤 일정한 범위의 영역에서 텍스처 특징을 추출해야 하는 점이 텍스처 정보의 추출을 어렵게 만들고 있지만 텍스처 분석을 위해 많은 연구가 진행되고 있다[3]. 또 형상 정보를 이용한

[†] 정 회 원 : (주)인팩 대표이사

^{††} 정 회 원 : 전주산업대학교 산업자동화공학과 교수

논문접수 : 2002년 7월 6일, 심사완료 : 2002년 7월 26일

영상검색은 영상의 내용을 파악하기 위해 영상에 포함된 형상특징을 추출하여 이용한다. 그러나 자연영상에서 객체의 형상을 배경으로부터 완벽하게 추출해내는 일은 현재의 기술로 불가능하다[6].

영상의 컬러, 형상, 텍스처 등의 특징과 위치 정보 등에 의해 인식되는 복합적인 척도의 하나는 유사도이다. 특히 표본 집합의 요소값을 컬러 히스토그램으로 나타낸 후 유사성을 추정하는 방법이 많이 이루어졌다[7]. Hannah는 요소별 상호상관관계(cross-correlation)를 구하여 유사도의 척도로 사용하였으나 다양한 데이터베이스를 통한 안정성의 검토가 미흡하였다[8]. Barnad와 Thompson은 밝기 차(intensity difference)를 이용하여 정교한 영상을 검색하였다[9]. 그리고 Swain과 Ballard는 컬러를 영상의 특징으로 사용하였으며 오염된 영상과 이동 및 회전된 영상에 대한 평가를 통하여 제안한 방법의 정확도를 보였다[10]. 영상을 형상으로 표현하는 방법은 분류 코드나 트리 구조 등이 있는데 부호화된 데이터베이스나 도식적인 기호의 조합에 의해 표시되며 수식으로 표현하기 어렵다[11].

여러 가지 특징 중 하나의 특징만으로 영상의 유사도(similarity)를 결정할 경우는 판별의 정확도가 떨어진다. 따라서 세 가지의 특징 중에서 두 가지 이상을 조합하여 사용하는 방법이 많이 연구되어 왔다[12]. 결국 수행 속도에 제한을 받지 않을 경우에 영상의 많은 특징을 조합하여 사용한 방법일수록 유사도 판정의 정확도는 더 높아진다. Gray는 컬러 히스토그램과 에지 맵(edge map)을 이용하여 유사도를 구하였다[13]. 또 정원일과 Kankanhalli 등은 영상을 블록화한 후 각 블록의 특성을 검색 특성으로 사용하면서 컬러 히스토그램에서 얻은 컬러 정보를 같이 사용하는 방법을 제안하였다[14, 15].

본 논문에서는 블록화된 영상의 관심 영역 가중치 비교 알고리즘과 블록화된 영상의 형상 특징 가중치 비교 알고리즘을 결합하여 지폐 분류의 성능을 개선하고, 이 알고리즘을 이용하여 지폐 분류기를 구현하고자 한다[16, 17]. 지폐의 식별율은 지폐의 종류에 관계없이 개선되며 오염되거나 회전 및 이동된 지폐에 대해서도 향상된 성능을 보인다. 제안한 방법은 지폐와 같이 동일한 규격과 동일한 밀도로 구성된 데이터베이스를 대상으로 다양한 질의영상에 대해 높은 유사도를 가진 지폐를 검색한 후 순서별로 나열함으로써 원하는 지폐를 찾아내는데 목적을 두고 있다. 따라서 구현된 시스템은 영상의 블록화 효과 때문에 계산량이 감소되고 병렬 처리의 구성이 가능하므로 검색율을 높이고 검색시간을 줄이는 것이 가능하다. 시스템의 제어부는 영상 획득부와 처리부로 구성되어 있다. 영상획득부는 CIS에 의해 영상이 얻어지고, A/D 변환기와 PLD(programmable logic device)에서 전처리 과정을 거친다. 영상처리부는 전처리된 지폐 영상이 제안된 알고리즘에 의해 고속으로 분류되도록 DSP(digital signal processor)에 의해 구성된다.

2. 이론적 배경

영상검색의 일반적인 기법은 영상의 컬러나 텍스처, 형상 등의 특징을 사용한다. 지폐 영상에서도 이러한 특징이 사용되어 유사도를 산출하고, 비교영상의 특징은 미리 추출되어 원영상(original image)과 함께 데이터베이스에 저장된다. 질의영상에 의한 질의결과는 가장 근접한 영상들의 집합이 추출된다.

2.1 영상의 특징

영상의 유사도는 영상간 닮은 정도를 표현하는 척도이다. 유사도를 표현하는 수식에 포함된 영상의 특징에 따라 유사도에 반영된 의미가 다르게 나타난다. 실제로 영상 매칭과 검색은 고려중인 영상의 특징을 근거로 하고 있다.

$\{F(x, y) : x, y = 1, 2, \dots, N\}$ 를 2차원 영상 화소(pixel)라 할 때, $F(x, y)$ 는 컬러 영상일 경우 화소 (x, y) 에서 컬러값을 나타낸다. 영상의 함수는 $F(x, y) = \{F_R(x, y), F_G(x, y), F_B(x, y)\}$ 로 쓰여질 수 있다. 또 흑백 영상인 경우에 $F(x, y)$ 는 해당 화소 (x, y) 의 그레이 밀도값(gray density value)을 나타내며, $F_R(x, y) = F_G(x, y) = F_B(x, y)$ 로 표현될 수 있다. n -차원의 영상특징 공간, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 에 사상(mapping)한 것을 \vec{f} 로 나타내면, 즉

$$\vec{f} : F \rightarrow X \quad (1)$$

이다. 여기서 n 은 영상을 표시하는데 사용된 특징 수이다.

Swain과 Ballard는 컬러 히스토그램의 매칭에 의한 히스토그램 인터섹션(intersection) 법을 제안하였다. 이 방법은 다음 식으로 표현된다[10].

$$H(I, Q) = \frac{\sum_{j=1}^n \min(I_j, Q_j)}{\sum_{j=1}^n Q_j} \quad (2)$$

여기서 I, Q 는 각각 n 개의 구간으로 구성된 질의영상과 데이터베이스의 비교영상에 대한 히스토그램을 나타내고, $\min(I_j, Q_j)$ 는 두 영상간의 히스토그램 중 작은 값이고 $H(I, Q)$ 는 매칭값이다. 식 (2)는 질의영상의 히스토그램 내 화소수로 정규화되어 구간 $[0, 1]$ 의 값을 가진다. $H(I, Q) = 1$ 은 같은 영상일 때의 값이다. 거리 측정법(distance measure)에서 컬러 정보를 얻는데 사용된 특징은 영상의 세 컬러 성분의 각각에 대한 1차원 히스토그램의 중앙값(mean value) μ 이다. RGB 영상의 특징 벡터는

$$\vec{f} = (\mu_R, \mu_G, \mu_B) \quad (3)$$

이고, 거리 측정법은

$$D_{q,i}^E = |\vec{f}_q - \vec{f}_i| = \sum_{R,G,B} |\mu_q - \mu_i| \quad (4)$$

로 표현된다. 여기서 $D_{q,i}^E$ 는 질의영상과 데이터베이스 영상 간의 유클리디안(Euclidean) 거리, \vec{f}_q 는 질의영상의 컬러 특징벡터, \vec{f}_i 는 데이터베이스 영상의 컬러 특징벡터이다.

식 (2)를 영상의 정규화된 컬러 히스토그램 인터섹션의 유사도로 다시 정의하면, 즉

$$S_c^{HI}(I, Q) = H(I, Q) \quad (5)$$

이다. 여기서, $S_c^{HI}(I, Q)$ 은 구간 [0, 1]의 값이다. 질의영상과 비교영상 중에서 어느 하나가 다른 하나에 완전히 포함될 때 $S_c^{HI}(I, Q)$ 의 값은 1이다. 유클리디안 거리가 특징벡터 사이에 계산 척도로 이용되는 식 (4)를 식 (5)와 동일한 크기로 표현되도록 정규화하고, 컬러 밝기를 특징으로 $D_{q,i}^E$ 를 구하면 유사도는

$$S_f^{CR}(I, Q) = 1 - D_{q,i}^E \quad (6)$$

이다. 에지 특징벡터를 이용하여 $D_{q,i}^E$ 를 구하면 유사도는

$$S_f^{ED}(I, Q) = 1 - D_{q,i}^E \quad (7)$$

이다. 여기서 $S_f^{CR}(I, Q)$ 과 $S_f^{ED}(I, Q)$ 는 구간 [0, 1]의 값이고, 질의영상과 비교영상이 같을 때 $S_f^{CR}(I, Q) = S_f^{ED}(I, Q) = 1$ 이다. 컬러 히스토그램 사용의 중요한 장점은 일정한 배경에 대해 회전, 이동 불변인 것이다. 그러나 식 (6)과 식 (7)의 컬러 강도나 에지 벡터에 의한 유사도는 회전과 이동에 대하여 취약하다. 이에 대한 보완은 두 영상간의 상호상관관계법에 의해 이루어진다[18]. 컬러 히스토그램 인터섹션법은 회전과 이동에 불변이며 수행 속도가 빠르나 영상의 공간 정보를 반영하지 못한다. $S_f^{CR}(I, Q)$ 는 $S_c^{HI}(I, Q)$ 보다 효율이 우수하지만 다른 컬러의 동일한 영상을 컬러가 틀린 동일한 물체로 인식하기 위한 식별력은 전혀 지니지 못한다. 반면에 $S_f^{ED}(I, Q)$ 는 동일한 유사도를 나타내어 기대치를 만족한다.

2.2 영상특징의 조합

하나의 영상특징에 근거한 검색은 정보가 충분하지 않을 수 있고 크거나 회전 변화를 조정할 수 없다. 특징검색에 관한 연구는 관련된 유사도 값을 조합하여 형상과 컬러 기반 검색의 결과를 통합하여 사용하였다. 이와 같이 식 (5)과 식 (6)에서 정의한 컬러 히스토그램 인터섹션이나 컬러 영상의 밝기 차를 조합한 유사도는

$$S_{cr} = \frac{w_c S_c^{HI} + w_r S_f^{CR}}{w_c + w_r} \quad (8)$$

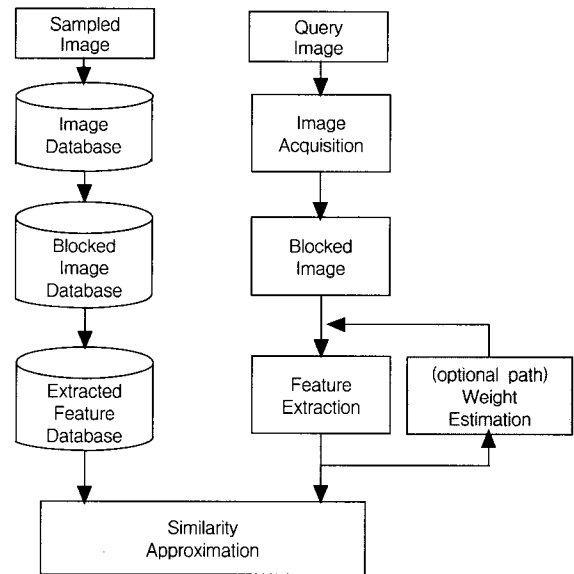
로 정의된다. 여기서 w_c 는 컬러 히스토그램 인터섹션의 유사도에 할당된 가중치이고, w_r 은 컬러 특징 기반의 유사도에 할당된 가중치이다. 그리고 $w_c + w_r = 1$ 이며, S_{cr} 는 [0, 1]사이의 값을 가진다. 또 컬러 명도 차와 에지 벡터의 차를 조합한 유사도는

$$S_{re} = \frac{w_r S_f^{CR} + w_e S_f^{ED}}{w_r + w_e} \quad (9)$$

이다. 여기서 w_e 은 형상 특징 기반의 유사도에 할당된 가중치이고 $w_r + w_e = 1$ 이며, S_{re} 는 [0, 1]사이의 값을 가진다. 동일한 검색대상 영상그룹에서 하나의 질의영상과 닮은 영상을 찾고자 할때 여러 가지 알고리즘의 식별율은

$$\mu_{ps} = \frac{S_1}{S_2} \quad (10)$$

이다. 여기서 S_1, S_2 는 1순위와 2순위 유사도이다. 이러한 유사도는 (그림 1)의 흐름도에 따라 구해진다.



(그림 1) 제안한 알고리즘에 대한 흐름도

3. 지폐 영상 처리

영상처리에 의한 지폐의 분류는 지폐의 중요한 특징이나 금액을 나타내는 글자를 기준으로 할 수 있으며 고해상도의 영상을 획득해야 하므로 고속처리에 어려움이 있다. 또 지폐의 수축이나 확대, 비틀림, 찢어짐 등 다양한 형태가 지폐 전체에 불규칙적으로 발생되므로 부분적인 영상 특징에 의한 분류는 특징 그 자체의 오염 때문에 어려울 수 있다. 따라서 정확한 좌표의 이동과 회전에 의해 비교영상과 질의영상은 서로 같은 화소의 특징을 비교하는 것이 매우 중요하다.

3.1 영상의 블록화 방법

영상의 블록화 방법[19]에서 적절한 해상도의 선택은 시뮬레이션에 의해 결정되고 해상도를 줄이는 과정은 간단한 계산에 의해 처리된다. 블록크기의 확대로 인한 해상도 감소는 영상이 지닌 특징을 잃지 않는 범위에서 이루어지도록 다음과 같이 처리한다. 비교영상은 영상 데이터베이스로 미리 작성해 둔다. 비교영상과 질의영상의 블록화 과정은 유사도가 수렴되는 블록 크기를 결정하여야 한다[16].

- (i) 처리 과정의 변수를 $\delta=0.024, L=1, I_n=0, I_{max}=6$ 으로 설정한다. 여기서 δ 는 실험에 의해 결정된 유사도 편차의 제한량이고 0.01~0.1사이 값일 때 반복 회수는 6회 이내에 끝난다. L 은 블록 크기의 제한값으로써 $2^k \times 2^k$ 로 나타낸 블록 배열의 갯수에서 K 값의 초기값이다. I_n 는 반복회수이고, I_{max} 는 허용 최대 반복회수이다.
- (ii) $n \times n$ 화소인 질의영상과 비교영상을 블록 크기 $M \times N$, 블록 배열의 수 $2^k \times 2^k, K=1, 2, \dots, n$ 으로 나누고 각 블록별 평균 명도 Q_{ij} 와 C_{ij} 를 구한다. 즉 $2^1 \times 2^1, 2^2 \times 2^2, \dots, 2^k \times 2^k, k \leq \log_2 n$ 의 블록 배열이 구해진다.
- (iii) $2^k \times 2^k, K=L$ 블록으로 나누어진 질의영상과 비교영상의 유사도 $S_{I(i)}$ 는 식 (5)에 의해 구한다.
- (iv) $I_n \geq I_{max}$ 이면 과정 (vi)으로 간다.
- (v) $|S_{I(i)}^m - S_{I(i-1)}^m| \leq \delta$ 이면 과정 (vi)으로 가고, 아니면 I_n 을 1 증가시키고 $K=K+1$ 을 대입하여 블록 배열을 늘인 후 과정 (iii)으로 되돌아간다. 즉 현재의 유사도 $S_{I(i)}^m$ 와 이전의 유사도 $S_{I(i-1)}^m$ 차이가 지정한 유사도 편차 제한량 δ 보다 작아질 때까지 과정(iii)~(v)를 반복 수행한다.
- (vi) 결정된 블록 크기에서 유사도를 산출한다.

3.2 이동 및 회전된 지폐의 분류

본 논문에서는 미세한 이동 및 회전된 지폐의 분류를 위해 상호상관관계법을 사용한다. 지폐는 네 변이 2~5mm의 흰 여백으로 되어 있으므로 이 특징을 이용하여 이동 및 회전된 양을 찾아낸다. (그림 2)는 지폐영상의 이동 및 회전을 검출하는 과정이다. 먼저 L_1, L_2, L_3 선상의 좌우 검색에 의해 각 선의 길이를 구하고 선의 평균 길이로부터 x 축의 중심좌표 PC_x 는

$$PC_x = x_{im} + \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n L_k \right) / 2, \quad n=3 \quad (11)$$

에 의해 구한다. 여기서 x_{im} 은 $L_1 \sim L_3$ 의 좌측 검색좌표의 메디안(median) 값이다. 이 방법에 의해 지폐영상의 훼손에 관계없이 정확한 좌표를 구할 수 있다. PC_y 는 PC_x 좌표 위

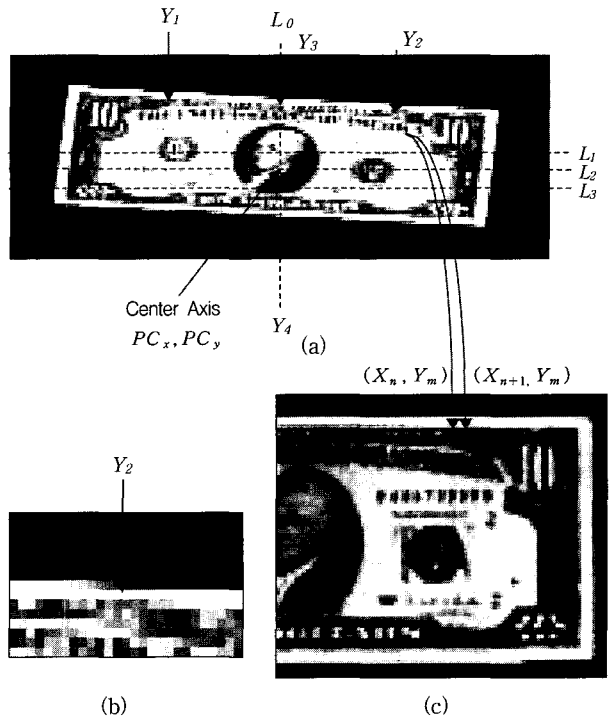
의 L_0 상하 검색에 의해 구해진다. PC_y 의 좌우에 Y_1, Y_2 의 두 선상을 검색하여 비트맵 내에 놓인 지폐의 윤곽 위치를 기준으로 회전각 θ 를 계산한다. 획득된 영상이 회전 또는 이동되었을 경우 PC_x, PC_y 와 θ 에 의해 회전 위치는

$$\begin{cases} x' = x \cos \theta - y \sin \theta \\ y' = x \sin \theta + y \cos \theta \end{cases} \quad (12)$$

에 의해 구한다. (그림 2(a))는 12.5×25 DPI의 질의영상이고, (b)는 Y_2 의 검색 부분을 확대한 것이다. (그림 2(a))와 같이 질의영상이 기울어져 있을 때 지폐영상 주변의 테두리는 회색 밝기변화로 나타나므로 밝기변화의 차 때문에 경계지점을 찾을 때 오차가 생긴다. 문턱값(threshold)에 의한 테두리의 밝기에 대한 오차 기대값 $P(error)$ 은

$$\theta(error) = \tan^{-1} \frac{P(error)}{Y_2 - Y_1} \quad (13)$$

에 의해 계산된다. 여기서 Y 좌표는 약 2mm의 해상도이므로 $P(error)$ 는 최대 2mm의 오차가 생길 수 있다. $Y_2 - Y_1$ 이 100mm일 경우 약 3° 오차로 나타나며 그 결과 식 (12)는 최대 5mm의 오차를 만든다. θ 값의 오차는 (그림 2(c))와 같이 비교영상과 서로 비교되는 화소가 달라져서 정확한 좌표값 (X_n, Y_n) 에서 벗어난 (X_{n+i}, Y_{n+j}) 값이 될 수 있다. 이 경우의 유사도는 상호상관관계법을 이용하여 최소 오차 범위 내에서 구해진다.

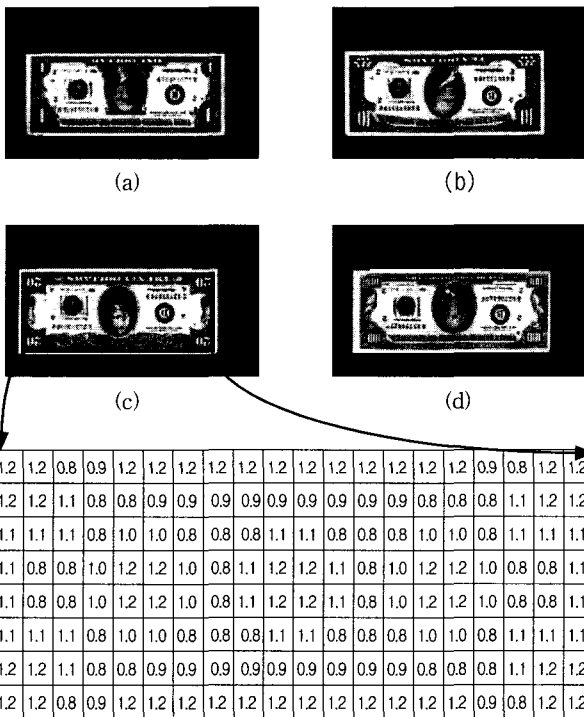


(그림 2) 지폐영상의 이동 및 회전과 비교 화소의 위치 오차 : (a) 이동과 회전된 질의영상, (b) Y_2 점 검색, (c) 비교영상

3.3 영상의 특징조합에 의한 지폐분류

3.3.1 관심영역별 가중치

오염된 지폐의 식별율을 높이기 위해서는 관심영역별 가중치를 부가하는 방법을 이용한다. 처리과정은 먼저 영역을 나누고 영역별 가중치를 부가한다. 그 다음, 영역별 회색 밝기를 기준으로 화소별로 비교한 결과의 유사도 $S_{f(i)}^{CR}$ 을 계산한 후 관심영역별 가중치 유사도 S_{fw}^{RI} 를 구한다. 본 논문에서는 영역을 나눌 때 영역의 크기나 모양을 결정하는 것과 가중치를 부가할 때 가중치의 단계별 크기나 단계의 수등을 몇 차례의 실험을 통하여 결정하였다. 관심영역의 분류는 인간의 판단에 따라 분류 대상의 지폐를 종류별 차이 가 큰 영역과 작은 영역을 표시한다.



(그림 3) 지폐영상의 관심영역 가중치 : (a) 1 달러, (b) 10 달러, (c) 20 달러, (d) 100 달러, (e) 영역별 가중치

(그림 3(a)~(d))는 비교영상으로써 1달러, 2달러, 5달러, 10달러 지폐의 앞면이다. 지폐의 중심 140×56[mm] 영역을 7×7[mm] 크기의 80개 영역으로 균등하게 나누고 영역별 가중치를 주관적인 판단에 의해 결정한다. 영역별 가중치는 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2의 다섯 단계 중 하나가 부가된다. 비교 대상 지폐에 가중치를 부가한 후 유사도 S_{fw}^{RI} 를 계산하고 식별율 $\mu_{ps}(S_{fw}^{RI})$ 을 구한다. S_{fw}^{RI} 는

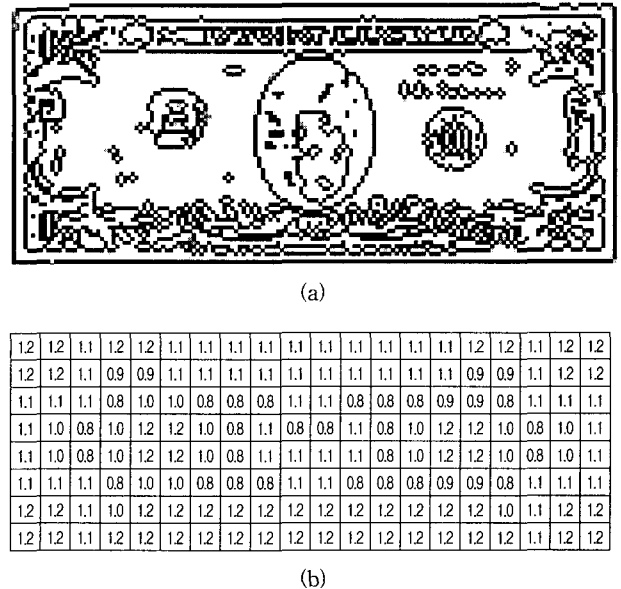
$$S_{fw}^{RI} = \frac{\sum_{i=0}^N w_{(i)} S_{f(i)}^{CR}}{N}, \quad N = 80 \quad (14)$$

이다. 여기서 $w_{(i)}$ 는 영역별 가중치이다. 이 식별 $\mu_{ps}(S_{fw}^{RI})$

는 가중치가 없는 동일한 영상의 식별율 $\mu_{ps}(S_f^{CR})$ 과 비교했을 때 $\mu_{ps}(S_{fw}^{RI}) > \mu_{ps}(S_f^{CR})$ 가 되어야 식별율이 개선된다.

3.3.2 영역별 형상특징 가중치

지폐분류에서 지폐영상의 공간 정보를 반영하기 위한 특징으로 영상의 에지를 이용한다. 히스토그램 구간의 거리 산출에 의한 비교 방법으로써 특히 오염된 지폐분류에 강한 유사도 산출 알고리즘으로써 형상 가중치를 사용할 수 있다. 이 알고리즘은 영상을 같은 간격의 영역으로 나누고 에지가 있는 영역에 가중치를 부가함으로써 형상 정보를 반영한다. 처리 과정은 다음과 같다. (i) (그림 4(a))와 같이 DoG 연산자를 이용하여 에지를 추출한다[20]. (ii) 영상을 7×7[mm] 크기로 균등하게 나눈다. (iii) 영역별 가중치 테이블을 만든다. (그림 4(a))의 20달러 지폐에 대한 에지의 가중치는 (그림 4(b))이다. (iv) 영역별 유사도 $S_{f(i)}^{ED}$ 를 구하고 가



(그림 4) 지폐의 형상특징 가중치 : (a) 20달러 지폐의 에지, (b) 가중치 표

중치 테이블의 해당 가중치를 곱한다. (v) 구해진 $S_{f(i)}^{ED}$ 전부를 평균하여 블록화된 형상 가중치 유사도 S_{fw}^{ED} 는

$$S_{fw}^{ED} = \frac{\sum_{i=0}^N w_{(i)} S_{f(i)}^{ED}}{N}, \quad N = 80 \quad (15)$$

에 의해 계산한다[18].

3.3.3 영상의 특징조합

영상검색에서 컬러와 형상특징을 조합하여 한 가지 특징에 의한 식별율의 한계를 보완한 방법이 제안되었다[12, 19]. 두 가지 특징을 조합하여 만든 알고리즘의 유사도는

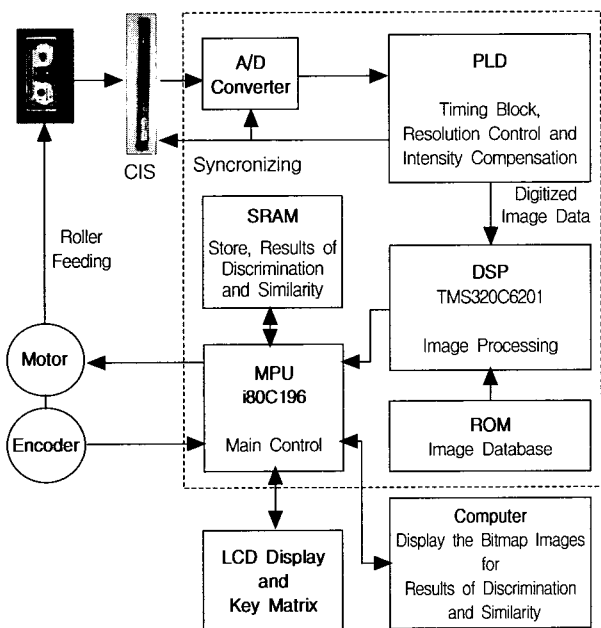
$$S_{bre} = \frac{w_{br} S_{fw}^{RI} + w_{be} S_{fw}^{ED}}{w_{br} + w_{be}} \quad (16)$$

로 정의된다. 여기서 w_{br} 과 w_{be} 는 블록화된 영상에서 각각 관심영역별 가중치와 형상특징 유사도에 할당된 가중치이다. 그리고 $w_{br} + w_{be} = 1$ 이며, S_{bre} 는 [0, 1]사이의 값이다.

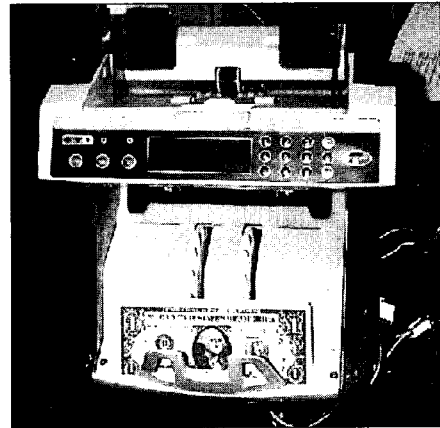
S_{fw}^{RI} 와 S_{fw}^{ED} 를 조합하여 식 (16)의 유사도 인덱스에 할당된 가중치 w_c, w_r, w_e 값은 실험적으로 결정된다. 본 논문에서는 $w_c = w_r = w_e = 1$ 로 하여 식별율을 계산하고 유사도를 산출한다. 가중치를 같게 부가한 경우는 두 가지 특징의 각 유사도를 평균한 것과 같다. 그 결과 한 가지 특징을 기반으로 한 판정 오류는 피할 수 있다. 특히 이 유사도는 $S_{fw}^{RI} = S_{fw}^{ED}$ 일 때 최대값이고 유사도 S_{bre} 에 대한 식별율 μ_{ps} 는 높아진다.

4. 지폐 분류 시스템의 구현

1점식 센서에 의한 권중 구별은 지폐의 길이에 의해서만 이루어지고 지폐의 오염도는 제한된 영역의 부분적인 데이터에 의해 해석되므로 권중 식별 능력이 떨어진다. 본 논문에서는 이것을 개선하기 위해 제안 알고리즘을 이용하여 정상적이거나 오염된 지폐의 권중을 영상처리에 의해 검색할 수 있는 실시간 시스템을 하드웨어로 구현하였다[21]. 이 시스템은 (그림 5)와 같이 지폐를 이동시키는 롤러 급지(roller feeding)의 기구부[18]와 주 MPU(microprocessor), 디스플레이 및 키-보드, CIS, PLD와 DSP로 구성되어 있다. 구현된 이권종(異卷種) 지폐 분류 시스템은 (그림 6)과 같다.



(그림 5) 구현된 시스템의 구성도



(그림 6) 지폐 분류기의 외형

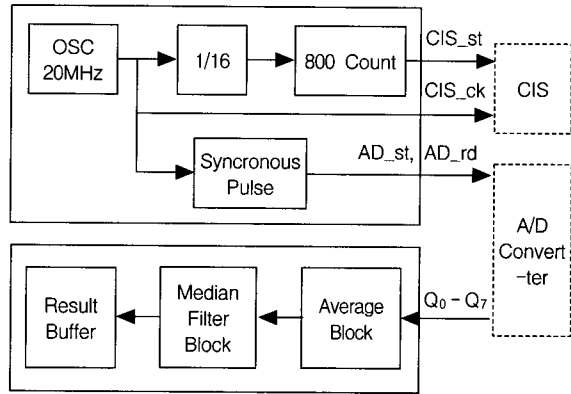
4.1 영상획득부

시스템의 영상획득 소자는 CIS로 화소 간격이 50~200 μ m로 넓게 배치되어 있으며 이 간격이 획득된 영상의 해상도가 된다. CIS는 화소간의 큰 전하 분포로 인하여 빠른 영상획득이 어렵고 CIS의 출력시간 보다 획득된 영상처리 시간은 훨씬 더 걸리게 된다. 본 논문에서는 일본 Canon사의 CIS인 BN-20216F 모델을 사용하였다. 이 CIS의 주사 속도는 0.84ms/line로 실용적인 처리 속도인 지폐를 100매/6초의 속도로 급지할 경우 지폐 폭 76mm를 약 38회 주사하게 되어 해상도가 약 12.5DPI인 영상이 획득된다[22]. CIS에 의한 스캔은 지폐의 스캔 유효영역 검출의 신호로부터 시작된다. CIS의 스캔 데이터 출력 신호는 시스템의 한 클럭에 2화소(pixel)가 출력되어 1,728dots의 데이터가 된다. 이 출력 신호를 증폭하여 0~2V 신호로 만들고 A/D 변환기를 이용하여 256 그레이 레벨의 디지털 신호로 변환시킨다. CIS의 클럭 속도가 1.25MHz일 때 주기 800nsec의 아날로그 신호가 나오고 이 신호는 200DPI의 화소 밀도를 만든다. 이 해상도는 A/D 변환에 의해 100DPI의 영상으로 된다. A/D 변환기는 Analog Devices사의 AD7822를 사용하였고 [23], DSP와 연결된다. 총 길이 1,728화소인 CIS의 유효 영상 구간 중 실효 길이 200mm에 해당되는 1,600 화소에서는 1.25MHz에 동작시키고, 나머지 구간에서는 2.5MHz에서 동작시킨다. 그 결과 한줄 당 약 0.67msec의 주사시간이 걸린다. CIS의 클럭은 기준 클럭 20MHz을 8분주하여 사용하며 한 화소의 영상획득에 소요되는 시간은 800nsec로써 고속 처리가 요구되므로 하드웨어로 구성된 동기 회로를 사용한다.

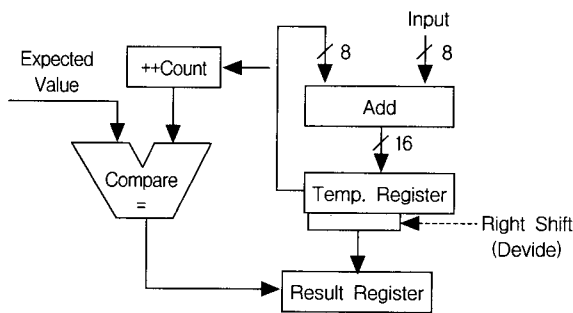
4.2 전처리와 영상처리부

대용량 영상을 효율적으로 처리할 수 있는 고속 영상처리를 위해서 사용된 PLD의 전체 구성도는 (그림 7(a))와 같다[21]. (그림 7(a))의 위쪽 블록은 CIS와 A/D 변환기에서 필요한 동기회로로 구성되고, 아래쪽 블록은 A/D 변환기에서 나오는 디지털 영상신호의 해상도 변환과 필터링

및 버퍼 역할을 한다. PLD는 (그림 7(b))와 같이 4개의 출력을 평균하여 연산효율을 높이기 위해 25DPI의 영상을 만든 후 메디안 필터링을 한다. 전처리부의 논리 구성은 Lattice社의 PLD ispLSI5384VE[24]를 사용하였다.



(a)



(b)

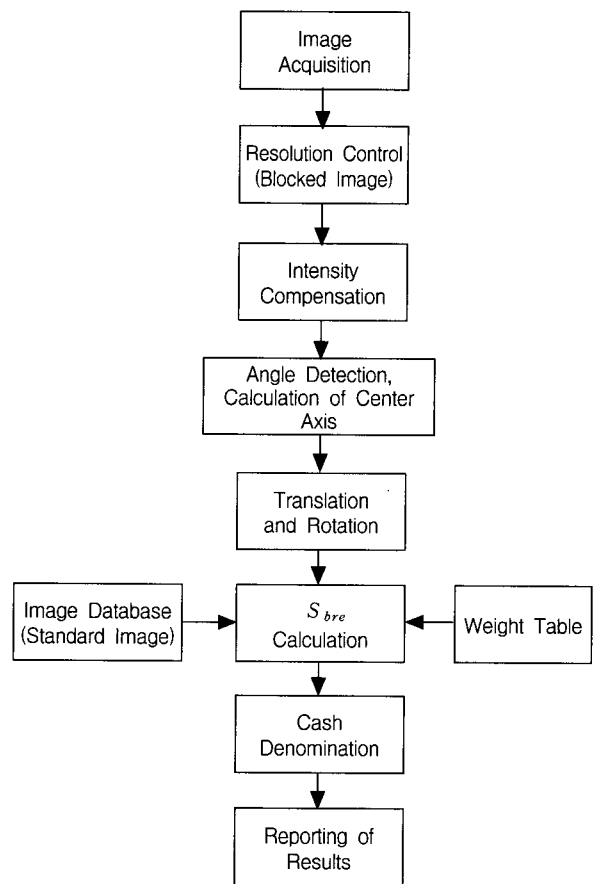
(그림 7) PLD의 구성 : (a) 전체 블록도, (b) 평균화 블록도

영상처리부는 전체 처리시간을 단축시키고 식별 오류율을 낮추는 것을 목표로 하여 구현한다. 전체 처리 시간은 하드웨어 구성과 영상처리의 주 연산 소자인 DSP의 수행 시간과 영상처리 알고리즘에 의존된다. 영상 주처리부에 사용되는 DSP의 빠른 연산속도에도 불구하고 처리 시간은 충분치 않다. 그러므로 국가별 데이터베이스에 지폐영상과 함께 대상 영상군을 근거로 한 가중치를 미리 만들어 저장해 둔다. 본 시스템에서 목표하는 최소 신호처리 시간은 한 장 당 60msec이므로 영상획득 및 영상의 이동, 회전, 레벨 보상, 상호상관관계 계산 및 몇 단계의 영상처리는 고속의 DSP에 의해서 수행되어야만 가능하다. 영상 주처리부는 Texas Instrument社 DSP인 TMS320C6201이 중심이 되어 구성된다[25]. 구동 프로그램과 표준 데이터베이스 영상은 EP-ROM에 저장된다. 파워 온 리셋(power on reset) 후 구동 프로그램은 내부 프로그램 메모리 영역에 이동되고 이어서 표준 데이터 중 일부는 외부 데이터 메모리 영역에 저장된다. 외부 데이터 메모리 영역의 표준 데이터와 내부 데이터 메모리 영역의 영상획득 데이터는 상호 비교되어 처리된 후, 그 결과를 주 제어 프로세서에 보낸다.

5. 실험 및 결과

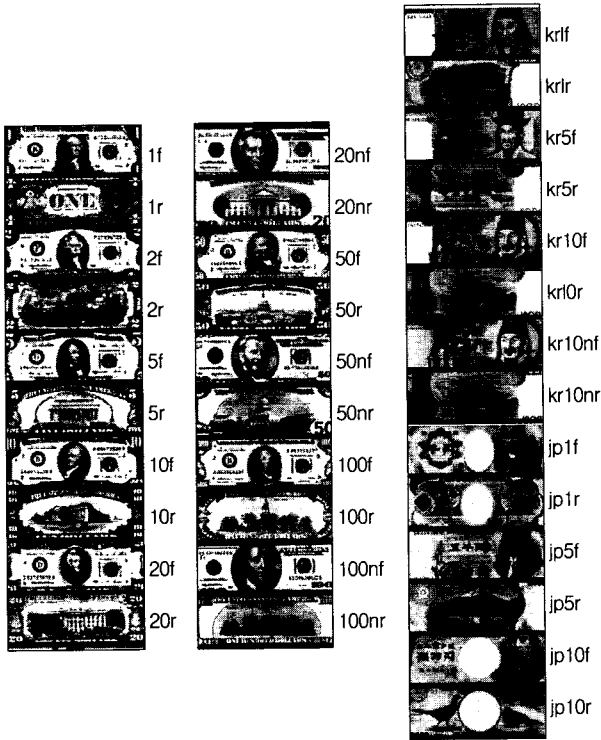
5.1 지폐 영상처리 및 분류과정

급지로를 흑색으로 착색해 둠으로써 지폐가 없는 배경은 검은색으로 채워지고 이에 대비되어 지폐의 네 변의 여백이 지폐의 가로, 세로 혹은 중심 좌표를 산출하는 기준이 된다. 지폐는 섬세하고 컬러 변화가 있는 도안으로 구성되어 있기 때문에 권종의 식별을 위해 심볼이나 글자를 인식하는 알고리즘을 이용하기 어렵다. 그러므로 이 문제를 해결하기 위한 제안한 알고리즘의 권종 식별 과정은 (그림 8)과 같다.

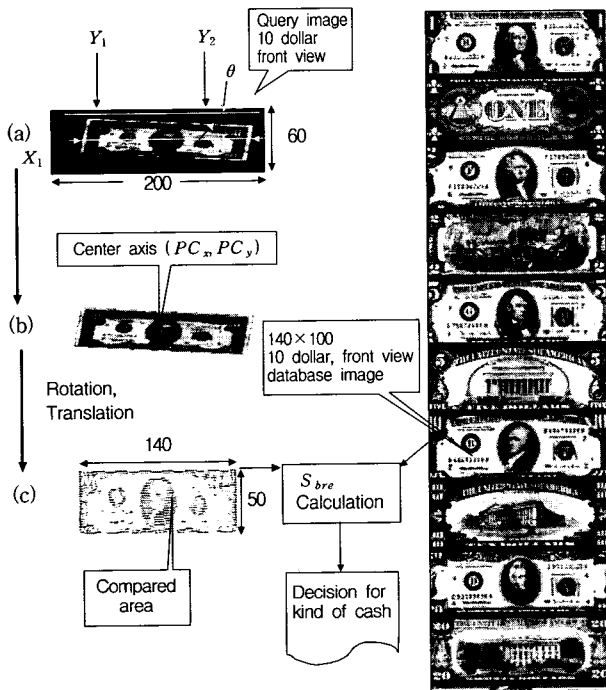


(그림 8) 권종 식별에 사용한 영상처리 과정

지폐 영상처리에서 먼저 해야 할 일은 미국 달러화, 한국 원화, 일본 엔화의 권종 분류가 목적이므로 각 국가별 깨끗한 지폐를 선별하여 일반 지폐 계수기를 이용하여 표준 데이터로 등록한다. 획득한 각 권종의 앞면과 뒷면의 지폐영상은 컴퓨터에 전송되어 하나의 파일로 저장된다. 획득된 영상은 영상처리의 대상 영역인 140×50 화소 영역만 선택된다. 이 영상은 ROM에 저장되며 이 데이터베이스는 (그림 9)와 같이 지폐의 권종 마다 앞면, 뒷면, 회전된 앞면과 뒷면의 네 가지 영상이 필요하다. 등록된 지폐의 앞면과 뒷면 영상의 유사도는 전치(transpose) 계산에 의해 구한다. (그림



(그림 9) 지폐 영상의 데이터베이스



(그림 10) 영상의 회전 및 이동과 비교 영상의 영역 : (a) 질의 영상, (b) 비교영역, (c) 회전과 이동 및 y축 보정에 의한 영상

10)은 영상이 회전되고 위치가 이동된 경우에 비교대상이 되는 과정을 나타낸다. (그림 10(a))는 획득영상으로써 가

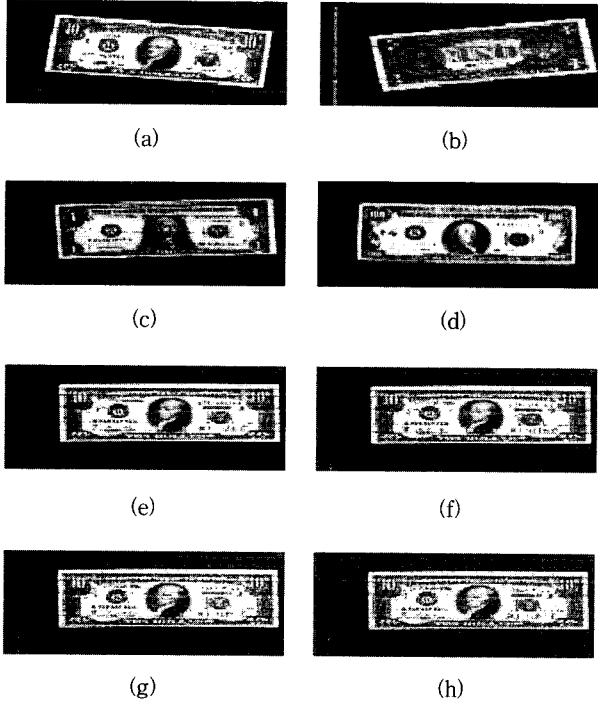
로, 세로의 크기가 200×60 화소이다. 가로축의 해상도는 획득된 200DPI의 영상을 평균하여 구한 25DPI이고 세로 축의 해상도는 12.5DPI이다. (그림 10(b))는 가로와 세로의 해상도가 서로 다른 영상이다. 질의영상과 달리 표준 데이터는 200×120 화소 크기로 가로, 세로 모두 25DPI의 해상도이다. 표준 데이터를 만들 때 영상획득은 질의영상을 스캔한 속도 보다 2배 느린 속도를 유지하고 엔코더 주기를 2배로 유지하여 25DPI의 세로 축 해상도를 얻는다. 한 영상의 1/2이 획득된 후 스캔 라인의 좌우 끝으로부터 중심 방향으로 검색하여 지폐의 좌우 에지의 좌표를 검출하고 PC_x, PC_y 와 θ 에 의해 획득영상의 회전과 이동이 이루어진다. (그림 10(c))는 회전과 이동의 결과로 나타난 유효영역을 나타낸다. 이 유효영역 내 비트맵의 화소 좌표는 표준 내 화소 좌표와 1:1로 일치되도록 재배치된 것이다. 목표 처리 속도에 맞추기 위하여 60msec당 한 장의 급지 속도가 유지되어야 하며 데이터베이스의 영상과의 y축 방향은 한 라인씩 건너 뛰어 비교된다. 이 유효영역내의 영상 데이터와 데이터베이스의 영상은 제안한 방법에 의해 유사도가 계산된 후 지폐의 식별이 이루어진다.

5.2 지폐 분류 결과

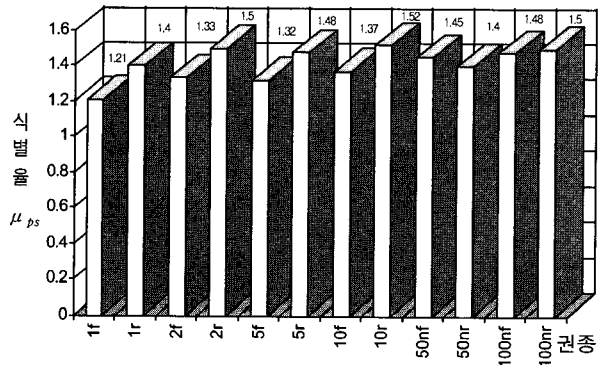
두 가지 방법을 결합한 알고리즘인 $S_f^{CR}, S_f^{FD}, S_f^{HI}$ 는 높은 식별율을 가지고 있다. 본 시스템에서는 이 세 가지 방법을 이용한 유사도 S_{cr}, S_{br} 와 제안한 알고리즘인 S_{bre} 로 실험한 후 결과를 비교하였다. 영상처리에서 하드웨어와 디지털화에 따른 오차를 검토하면, x축의 영상은 100DPI이므로 길이 오차는 0.25mm이하이다. 반면 y축 방향은 2mm 간격으로 화소가 놓여 있으므로 최대 ±1mm의 위치 오차를 가진다. 또 지폐의 이동과 회전의 보상에 따른 오차가 있고 이동량에 따른 x축과 y축의 오차량이 다르다. 그리고 회전된 지폐를 위치 보정할 때 계산 결과의 정수(integer) 처리에서 오차가 발생되어 회전각도가 15° 일 때 유사도는 7.5% 낮아진다.

질의영상에 사용되는 시험용 지폐는 (그림 11)과 같다. (그림 11(a))은 시중의 유통권에서 획득된 영상으로써 오염의 정도가 다양하고 오염량을 정량화 할 수 없다. 따라서 새 지폐를 기준으로 임의의 오염 권종을 재작성하여 (그림 11(b))와 같은 영상을 작성한 후 오염의 정도를 실험하였다. 그 결과 질의영상에 오판되는 오염도는 S_{cr}, S_{br}, S_{bre} 알고리즘에 대해서 각각 29%, 34%, 46%로 나타난다. 질의영상의 유효영역내 화소와 각각의 비교대상이 되는 표준영상의 대응 화소를 비교하여 유사도를 산출한다. 영상처리 대상의 지폐 중 권종별 유사도의 차이가 작게 나타나는 달러화의 권종별 식별율을 (그림 12)에 나타내었다. 본 시스템의 구성에서 블록화의 효과는 영상획득에서 이루어짐으로 별도의 블록화 처리는 불필요하며 $S_f^{CR}, S_f^{FD}, S_f^{HI}$ 의 각 알고리

증별 처리 화소의 양이 동일하다. 그 결과 처리 속도 면에서 S_c^{H} , S_f^{ED} , S_f^{CR} 의 순서가 된다.



(그림 11) 질의영상의 예 : (a)~(d) 획득영상, (e)~(h) 10%, 20%, 30%, 40% 잡음을 인가한 영상



(그림 12) 달러의 권종별 식별율

실험에 의하면 S_{re} 의 처리 시간은 S_{cr} 보다 38% 더 소요된다. 식별율의 척도는 $\mu_{ps}(S_{cr}) = 1.32$, $\mu_{ps}(S_{re}) = 1.45$, $\mu_{ps}(S_{bre}) = 1.76$ 이므로 S_{bre} 알고리즘이 가장 우수하다. 달러의 권종별 처리시간을 <표 1>에 나타내었다. 미국 달러의 경우 S_{bre} 알고리즘은 영상획득에서 10msec, 영상처리에서 44msec가 소요되어 처리 속도는 총 54msec가 된다. 영상획득과 영상처리 시간은 증첩되어 설계 목표에 적합한 한 장당 60msec의 처리가 원활하게 수행된다. 실험한 결과 제안 알고리즘에 의한 지폐식별은 심한 오염권에 대하여도 안정되

게 수행된다. 물론 46% 이상 오염된 지폐는 권종 식별이 어렵고 다른 권종으로 잘못 판정된다. 이를 방지하기 위하여 유사도 순위를 나열하고 식별을 μ_{ps} 값과 1순위 유사도 $S_{bre(1)}$ 값이 일정한 값(α) 이하이면 비록 1순위로 검색된 영상이라도 동일한 영상으로 인정하지 않는다. 즉 $S_{bre(1)} > \alpha$ 이고, $\mu_{ps}(S_{bre}) > \beta$ 이어야 한다. 이 때 α, β 값은 실험에 의하여 결정되며, 본 실험의 지폐영상 데이터베이스에서는 $\alpha = 0.82$, $\beta = 1.30$ 의 임계치에서 검색 오류가 발생하지 않았다.

<표 1> 처리 시간

항목 지폐종류	Data-base	Database 내 개별 표준 영상의 크기	Size in bytes	영상 획득 시간 ^{*1}	S_{bre} 에 의한 영상처리 시간	총 처리 시간
Dollar(\$)	20종 ^{*1}	7,000	140,000	10msec	44msec	54msec
Won(₩)	8종 ^{*2}	7,000	56,000	10msec	16msec	26msec
Yen(¥)	6종 ^{*3}	7,000	42,000	10msec	12msec	22msec

- *1 : 1, 2, 5, 10, 10new, 20, 20new, 50, 50new, 100new 달러의 앞뒷면 영상
- *2 : 1000, 5000, 10000, 10000new 원화의 앞뒷면 영상
- *3 : 1000, 5000, 10000 엔화의 앞뒷면 영상
- *4 : 명령어 수행시간 기준으로 한 소요시간. 실제 영상획득의 시작과 끝은 지폐의 급지속도와 동기되어 있으므로 24msec에 걸쳐 이루어짐.

6. 결론

본 논문에서는 영상 특징을 기반으로 한 검색을 위해 블록화된 영상의 관심영역 가중치 비교 알고리즘과 블록화된 영상의 형상특징 가중치 비교 알고리즘을 조합하여 실시간 처리 지폐 분류 시스템을 구현하였다. 시스템에 사용한 알고리즘은 컬러와 형상의 특징을 반영함으로써 영상의 공간 정보를 보존하는 효과가 있어서 유사도를 산출하는데 효율적이다. 지폐를 연속적으로 공급하기 위해 기존의 지폐계수기의 기계구조를 활용하였으며 영상획득을 위해 CIS를 사용하였다. CIS에서 읽은 영상데이터는 A/D 변환기와 PLD에서 디지털화 된 후 해상도 조정과 밝기보상, 잡음제거 등의 전처리가 이루어지고 고속 DSP에서 지폐의 권종을 식별하도록 하였다. 구현한 시스템으로 실험을 한 결과 지폐 분류의 처리속도는 60ms 이내로 목표가 달성되었으며 제안한 방법의 식별율은 $\mu_{ps}(S_{bre}) = 1.76$ 으로 다른 알고리즘에 비해 성능이 우수하였다. 또 46% 이상 오염된 지폐는 권종 식별이 어렵고 다른 권종으로 잘못 판정되었다. 따라서 향후 이에 대한 보완과 유사도에 대한 고효율의 알고리즘 개발은 여전히 큰 과제로 남아 있다. 그리고 질의영상의 특징에 추종하고 오염에 의해 생성된 특징을 배제하는 능동적인 알고리즘의 개발에 대한 지속적인 연구가 요구된다. 이를 위한 방법은 쉽게 검색할 수 있는 개별 특징의 결합이 보다 효율적이다. 또 제안한 알고리즘이 비가시 영역의 영상에 적용되어 고속 및 고성능의 위폐 감별에 대한 적용이 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] 齊藤民雄, 密着イメージセンサと應用技術, トリケップス, 1987.
- [2] Y. Gong, C. H. Chuan and G. Xiaoyi, "Image Indexing and Retrieval Based on Color Histogram," *Multimedia Tools and Applications*, Vol.3, No.3, pp.133-156, 1996.
- [3] J. R. Smith, *Integrated spatial and feature image system : retrirval, comparession and analysis*, Ph. D. Thesis, Graduate School of Arts and Science, Columbia Univ., Feb., 1997.
- [4] S. Loncaric, "A Survey of Shape Analysis Techniques," *Pattern Recognition*, Vol.31, No.8, pp.983-1001, 1998.
- [5] Guang-Ho Cha and Chin-Wan Chung, "Content-Based Indexing and Retrieval in Large Image Databases," *J. of Elec. and Info. Science*, Vol.6, No.2, pp.134-143, 1996.
- [6] Paul A. Lynn and Wolfgang Fuerst, *Introductory Digital Signal Processing*, John Wiely & Sons, 1989.
- [7] H. Lu, B. C. Ooi, and K. L. Tan, "Efficient image retrieval by color contents, Applications of Databases," *First Int'l Conf. ADB-94, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.819, pp.95-108, 1994.
- [8] M. J. Hannah, *Computer Matching of Areas in Stereo Images*, Ph. D. Diss., Stanford Univ., CA, Report STAN-CS-74-483, 1994.
- [9] S. T. Barnard and W. B. Thompson, "Disparity Analysis of Images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.PAMI-2, pp.333-340, 1980.
- [10] M. J. Swain and D. H. Ballard, "Color Indexing," *Int'l J. Computer Vision*, Vol.7, No.1, pp.11-32, 1991.
- [11] T. S. Chua, S. K. Lim and H. K. Pung, "Content-based Retrieval of Segmented Images," *ACM Multimedia'94*, pp. 211-218, 1994.
- [12] A. K. Jain and A. Vailaya, "Image Retrieval using Color and Shape," *Pattern Recognition*, Vol.29, No.8, pp.1233-1244, 1996.
- [13] R. S. Gray, *Content-based Image Retrieval : Color and Edges*, Dartmouth PCSTR95-252, 1995.
- [14] 정원일, 박정찬, 최기호, "컬러 특징을 이용한 내용기반 영상 검색 시스템의 설계 및 구현", *대한전자공학회논문지*, 제33권 제6호, pp.111-118, Jun., 1996.
- [15] M. S. Kankanhalli, B. M. Methre and J. K. Wu, "Cluster-based Color Matching for Image Retrieval," *Pattern Recognition*, Vol.29, No.4, pp.701-708, 1996.
- [16] 강현인, 주용완, 백광렬, "컬러 히스토그램과 형상 기반 특징 추출을 이용한 내용 기반 영상 검색", *대한전자공학회논문지*, 제36권 S편 제10호, pp.113-122, Oct., 1999.
- [17] 강현인, 백광렬, "가변 블록 크기와 블록 매칭 알고리즘의 조합에 의한 내용 기반 영상 추출", *대한전자공학회논문지*, 제35권 제8호, pp.111-118, Aug., 1998.
- [18] 강현인, "영상특징 조합에 의한 지폐분류시스템의 성능 개선 및 구현", *부산대학교 대학원 박사학위논문*, Aug., 2000.
- [19] V. Seferidis and M. Chanbari, "Generalized Block Estimation," *SPIE, Visual Communications and Image Processing '92*, Vol.1818, pp.110-118, 1992.
- [20] D. Marr and E. C. Hildreth, "Theory of Edge Detection," *Proc. R. Soc. London B207*, pp.187-217, 1980.
- [21] 강현인, 주용완, 백광렬, "Contact Image Sensor를 위한 영상 처리 보드 구현", *제어자동화시스템공학회논문지*, 제5권 제6호, pp.691-697, Aug., 1999.
- [22] 太田, "イメージ 스캐ナー", *畫像電子學會誌*, 第15卷 第2号, pp.125-137, 1986.
- [23] Analog Device, *Designer's Reference Manual*, 1996.
- [24] Lattice Semiconductor Corp., *ispLSI5384VE Technical Brief*, <http://www.latticesemi.com>.
- [25] Texas Instruments Inc., *TMS320C62xx Technical Brief*, Custom Printing Co., 1997.

강 현 인



e-mail : jiwon123@chollian.net

2000년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1995년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1984년 동아대학교 전자공학과 졸업(학사)

1983년~1989년 삼성전자(주) 기술연구소 주임연구원
 1989년~1991년 삼성중공업(주) 기계전자연구소 선임연구원
 1991년~1994년 IGM Robot Co., Ltd., 기술부장
 1994년~2000년 하나정보기술(주) 상무
 2000년~현재 (주)인팩 대표이사
 관심분야 : 영상처리, 영상검색, 대화면 display, 자동화 등

최 태 완



e-mail : twchoi@jinju.ac.kr

1996년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
 1985년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1983년 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1984년~1991년 (주)LG전자 중앙연구소 선임연구원, 팀장
 1991년~1993년 부산대학교 전자공학과 조교
 1993년~1997년 부산대학교 전자공학과 시간강사
 1997년~현재 진주산업대학교 산업자동화공학과 조교수
 관심분야 : 영상처리, Computer vision, Motion estimation, 영상통신 등