
이중 문턱 값과 적분영상을 이용한 2차원 바코드 영상의 적응적 이진화

이연경* · 유훈**

Adaptive thresholding for two-dimensional barcode images using two thresholds
and the integral image

Yeon-Kyung Lee* · Hoon Yoo**

이 논문은 2012년도 상명대학교 연구비를 지원받았음

요 약

본 논문에서는 2차원 바코드 영상을 위한 적응적 이진화 방법을 제안한다. 적응형 이진화 방법은 조명의 영향을 최소화하여 이진화를 수행하는 기술이다. 적응적 이진화 방법은 주로 문서 영상에 맞게 발전되어 왔다. 기존 방법들은 적응적 이진화에서 사용되는 박스에 대한 크기 설정 문제를 가지고 있다. 이 문제로 기존 방법들은 이차원 바코드 영상 인식에 적용하기에 부적절하다. 문제점을 극복하기 위해 먼저 박스크기와 기존 방법들의 문제점을 분석하고, 이를 기반으로 적분영상을 사용한 새로운 적응형 이진화 방법을 소개한다. 제안한 방법의 성능 입증에 위해 기존의 방법과 속도, 성능 비교 실험을 수행하였고 실험 결과는 기존 방법보다 우수함을 입증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an adaptive thresholding method to binarize two-dimensional barcode images. Adaptive thresholding methods that minimize light effects convert an original image into a binary image. The methods are applied to document image binarization. The methods, however, have problems of determining box size used in adaptive thresholding. thus, they inappropriate to use in recognition of two-dimensional barcode images. To overcome the problem, we analysis the problem and propose a new adaptive threshold method using the integral image. To show the effectiveness of our method, we compared our method with the well-known existing methods in terms of visual quality and processing time. The experimental result indicates that the proposed method is superior to the existing method.

키워드

적응적 이진화, 이차원 바코드 영상, 적분영상, 박스 크기

Key word

Adaptive thresholding, Two-dimensional barcode image, Integral image, Box size

* 준회원 : 상명대학교 디지털미디어학부
** 종신회원 : 상명대학교 디지털미디어학부 (교신저자)

접수일자 : 2012. 09. 13
심사완료일자 : 2012. 09. 28

I. 서 론

2차원 바코드란 바코드의 데이터를 2차원적 형태로 나타낸 것을 2차원 바코드라 한다. 이 2차원 바코드는 기존의 1차원 바코드보다 데이터의 차원 수를 높여 보다 많은 정보를 포함할 수 있다. 이 뿐만 아니라 2차원 바코드는 어느 각도에서 보아도 인식될 수 있고, 정보가 훼손되어도 다시 복구 시킬 수 있다. 또 1차원 바코드는 문자 또는 숫자만 표현할 수 있었지만 2차원 바코드의 경우 문자와 숫자를 복합적으로 표현할 수 있다. 2차원 바코드의 종류는 그림 1과 같다[1]. 이 다양한 2차원 바코드는 현재 국제 표준, 국내 표준으로 지정되어 다양하게 사용되고 있다.

Database 2D barcodes			Index 2D barcodes	
QR Code	Data Matrix	VeriCode® (VScode®)	ShotCode	Visual Code
mCode	Trillcode	HCCB	ColorCode	Bee Tagg

그림 1. 2차원 바코드 종류
Fig. 1 Types of two-dimensional barcodes

일반적으로 2차원 바코드 영상을 인식하는 과정은 원영상의 이진화, 이미지의 기울기, 기하학적 보정, 이진화된 영상에서의 코드 영역 탐색, 코드 영역 내 표준에 따른 데이터 영역 구분, 데이터 추출, 디코딩과 같은 순서로 진행된다[2]. 이 과정 중 가장 먼저 수행되는 이진화 과정은 원 영상에서의 정보량을 변동 시킬 수 있기 때문에 중요하다.

이진화는 영상에서 물체와 배경을 구분하여 흑과 백, 두 색으로 영상을 표현하는 과정이다. 문턱값은 이진화 과정에서 물체와 배경을 구분하는 기준이다. 만약 한 위치의 값이 문턱값보다 큰 경우 물체로 인식하여 그 위치는 주로 흰색으로 표현되고, 반대로 위치의 값이 문턱값보다 작은 경우 배경으로 인식하여 검은색으로 표현된다. 그러므로 영상의 정보량을 변동시킬 수 있는 것이 문턱값이므로 영상의 정보를 잘 표현해 낼 수 있는 적당한 값으로 선택되어야 한다.

이진화에는 두 종류의 방법이 있다. 그 두 가지 방법

은 전역적 이진화(global thresholding)와 적응적 이진화(adaptive thresholding)이다. 전역적 이진화는 영상 전체에 대해서 하나의 문턱값을 가진 하나의 이진값으로 영상 전체를 이진화한다. 이와 다르게 적응적 이진화 방법은 영상 전체에 대해 여러 개의 문턱값을 가져 보다 정확한 이진화를 수행한다.

전역적 이진화는 영상 전체에 대해 하나의 문턱값을 얻어 적용하므로 영상의 히스토그램의 분석을 통해 구한다. 대표적인 방법으로 Otsu, KittlerMet, 히스토그램 중간 값과 같은 방법들이 있고, 영상의 히스토그램을 분석, 변형하는 다양한 방법들도 연구되었다. 전역적 이진화 방법은 하나의 문턱값을 가지고 영상 전체를 빠르게 이진화 할 수 있다. 하지만 영상 전체에 동일한 조명이 주어졌을 때는 전역적 이진화가 잘 이루어지지만 그 외의 동일하지 않은 조명이 주어졌을 때는 빛의 영향에 따른 결과가 나온다.

적응적 이진화는 영상에 일정하지 않은 조명이 있을 경우, 조명 효과를 줄여 효과적으로 이진화를 수행할 수 있다. 적응적 이진화는 블록의 개념을 적용하여 수행한다. 블록은 영상에 대해 혹은 픽셀에 대해 적용될 수 있으며, 각 블록 내의 연산을 통해 문턱값을 구한다. 이 문턱값은 속한 영상의 부분이나 픽셀에 대해 적용되어 이진화를 수행한다. 이와 같이 이진화를 수행하게 되면 밀집되어있는 주변 영역의 값을 가지고 이진화를 수행할 수 있어 조명효과를 배제한 이진화를 수행할 수 있게 된다.

하지만 적응적 이진화는 매 블록에 대해 문턱값을 구하므로 많은 연산량이 요구된다. 또 영상별로 적절한 블록 크기가 다르기 때문에 블록 크기를 정하는 문제가 있다. 마지막으로 적응적 이진화 방법은 광학 인식 분야와 함께 발전하며 연구되어왔다. 적응적 이진화의 대표적인 Bersen[3], Nibalck[4], Sauvola[5], Wellner[6], Bradley[7]와 같은 방법들은 모두 광학 인식 분야에 맞게 연구되었기 때문에 2차원 바코드 영상에 적용하면 결과가 만족스럽지 않다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 적응적 이진화의 연산량 문제를 해결하기 위한 방법인 적분영상(integral image) 혹은 Summed-Area Table을 소개하고, 기존의 적응적 이진화 방법들이 주로 문서 영상에 특화되어 개발된 점에서 발생하는 문제점을 제기하고 이와 더불어 블록 크기 설정 문제에서 벗어날 수 있는 새로운 방법을 제시한다. 또한 제시한 방법의 성능 판단을 위한 기존 방법의 비교 실험을 수행한다.

II. 적분 영상

적분영상이란 영상의 현재위치까지의 픽셀들의 합을 가지고 있는 영상이다. 적분영상을 사용하게 되면 영상의 어느 위치, 어느 크기든지 직사각형 영역의 합을 빠르게 구할 수 있다. 적분영상의 도입은 얼굴 인식분야에서 처음 도입되었으며[8], 그 후 물체 인식, 스테레오 정합 분야에 도입되었고, 이진화 분야에도 도입되어 이전까지의 방법들과 새로운 방법들에 사용되고 있다[7,9].

적분영상에서의 한 점 (x,y) 는 원 영상에서의 동일한 한 점 (x,y) 까지의 합을 가지고 있다. 그 식을 표현하면 다음과 같다.

$$II(x, y) = \sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y I(i, j), \quad (1)$$

여기서 $II(x, y)$ 는 적분영상이며, $I(x, y)$ 는 원 영상이다.

이 적분영상을 만드는 방법은 (x, y) 지점까지의 모든 픽셀의 합을 구하여 만드는 것이 아닌, 이미 구하여진 이전의 값으로 효율적으로 구할 수 있다. 아래 식은 적분영상 (x, y) 위치에서 $II(x, y)$ 의 값을 구하는 방법이다.

$$II(x, y) = I(x, y) + II(x-1, y) + II(x, y-1) - II(x-1, y-1). \quad (2)$$

그림 2의 영상에서 D영역의 합을 구한다고 하자, 이때 적분영상을 이용해 D영역의 합을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D = II(x_2, y_2) - II(x_2, y_1 - 1) - II(x_1 - 1, y_2) + I(x_1 - 1, y_1 - 1). \quad (3)$$

일반적으로 $n \times m$ 크기의 사각형의 합을 구하는데 걸리는 시간 복잡도는 $O(n^2)$ 이지만 적분영상을 도입하여 사용했을 경우 항상 일정한 연산만 수행하므로 그 시간 복잡도는 $O(1)$ 이다. 그러므로 적분영상을 사용하면 빠른 속도로 사각형 내의 합을 얻을 수 있고, 이를 활용하면 고속 이동 평균 필터 구현이 가능하다.

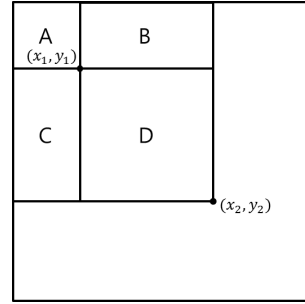


그림 2. 적분영상을 이용한 사각형 D영역의 합 계산
Fig. 2 Using the integral image to calculate the sum over rectangle D

III. 제안하는 방법

제안하는 방법은 적응적 이진화에서 필요한 문턱값 선정에 있어서 기존 방법과 다르게 두 개의 문턱 값을 이용하여 픽셀들에 대해 이진화를 수행한다. 적응적 이진화의 블록크기 설정문제와 기존 방법들의 문턱값 설정에서의 문제점은 그림 3을 통해서 알 수 있다. 그림 3(a)는 원 신호를 적응적 이진화 할 때 각각 다른 크기의 블록사이즈를 설정하여 계산된 문턱 값을 나타내었다. 잡음과 조명 효과가 들어간 원 신호(2차원 바코드의 일차원 형태)는 검은색 선으로 나타나고 있다. 이 신호에 대해 블록 크기를 작게 설정하여 문턱 값을 얻으면 그 문턱 값은 빨간색으로 나타난다. 얻은 문턱값의 모양은 원 신호의 흐름에 따라 비슷하게 움직여서 잡음에 민감하게 반응한다. 다음으로 초록색 선은 블록크기를 적절하게 설정하였을 때 얻어진 문턱 값이다. 원 신호의 흐름의 중앙부분을 따라 이상적으로 이진화가 됨을 알 수 있다. 마지막으로 블록크기가 클 경우 그 문턱값(파란색 선)은 조명효과로 인해서 이진화 품질이 저조함을 알 수 있다. 또한 다음의 그림3(b)는 기존 방법들에서 사용한 적응적 문턱 값을 보여준다. 기존 방법들은 문서 영상에 특화하기 위해서 구하여진 문턱 값보다 작은 수치를 사용한다. 이는 문서 영상의 배경이 흰색으로 상당히 높은 값을 갖는데 문턱 값이 높으면 문서 뒷면의 잔상이 남을 수 있기 때문이다. 하지만 이런 접근법은 문턱 값을 일괄적으로 낮춘 결과 2차원 바코드와 같이 조명 효과를 받은 검은 색 코드 영역에서 문제점을 야기한다.

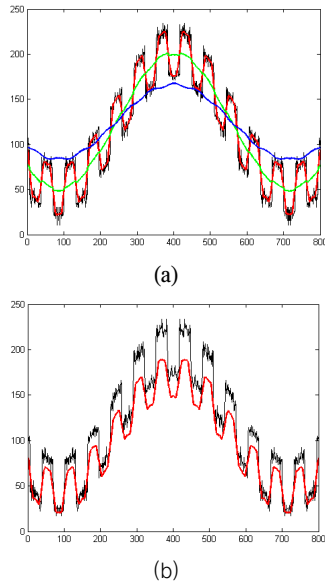


그림 3. 1차원 바코드에 대한 문턱값 (a) 박스크기가 다를 때 (b) 기존 방법에서 사용하는 문턱값[6,7]
 Fig. 3 Threshold values about one-dimensional barcode (a) Different box sizes (b) Threshold value used in existing methods [6,7]

기존 방법들(Bersen[3], Nibalck[4], Sauvola[5], Wellner [6], Bradley[7])은 2차원 바코드와 같은 영상에서는 앞서 토의한 바와 같이 문제점이 있고 또한 새로운 블록 크기를 설정하기가 어렵다. 따라서 제안된 방법은 기존의 방법들보다 빠르며 상대적으로 품질이 좋은 영상을 제공하는 Bradley방법에서 이중 적응적 문턱 값을 도입하여 개선한다.

Bradley방법은 Wellner방법을 개선한 방법으로써, Bersen, Nibalck, Sauvola 방법에서 사용되는 복잡한 연산식이 없는 간단한 구조이다. 또한 적분 영상을 도입하기 쉬운 구조로써 연산 속도도 상당히 빠르다. Bradley 방법에서 문턱 값을 구하는 식은 다음과 같다.

$$T(x, y) = (s \times (100 - k) / 100) / N, \quad (4)$$

여기서 s 은 박스 내의 합이고, 변수 k 는 문턱 값을 조절하기 위한 변수이다. N 은 박스 내의 픽셀 수를 의미한다. Wellner의 방법에서는 기본적으로 $k = 0.15$, 박스 크기를 영상 폭의 1/8로 한다. Wellner의 방법을 적용하여 개선한 Bradley는 기존의 k 값과 박스크기가 적절하지

않다고 말하였으나 특정한 값을 제시하지 않았다.

제안된 방법에서는 두 개의 적응적인 문턱 값을 도입한다. 이 두 문턱 값은 서로 다른 크기의 평균필터에서 얻어진다. 여기서, 평균 필터는 적분 영상을 토대로 얻어짐으로 제안된 방법은 고속 연산을 유지할 수 있다. 박스 크기가 큰 이동평균 값은 상대적으로 작은 박스 크기에서 얻어진 값보다 흰색 영역에서는 아래쪽에 검은색 영역에서는 위쪽에 위치한다. 이는 그림 3(a)에서 녹색 선과 빨간색 선에서 확인할 수 있다. 이 사실을 이용해서 작은 박스를 적용했을 경우에 발생하는 잡음의 영향을 문턱 값을 적절히 조절함으로써 해결할 수 있다. 제안된 방법에서는 아래와 같은 식으로 정리했다.

$$T(x, y) = \begin{cases} (1 - a_1) \times T_l & \text{if } (T_l > T_b) \\ (1 + a_2) \times T_l & \text{if } (T_l < T_b), \end{cases} \quad (5)$$

여기서 T_l 은 작은 박스 크기 내의 평균값을 나타내고 T_b 는 큰 박스 크기 내의 평균값을 나타낸다. a_1 과 a_2 는 문턱 값을 조정하여 잡음을 줄이는 변수들이다. 그림 4에서도 보여주듯이 제안하는 방법은 두 적응적 문턱 값을 구해서 서로 비교하여 현 위치가 흰색코드 영역인지 검은 코드 영역인지를 판단한 후 식(5)에 의해서 문턱 값을 조정하고 얻어진 값으로 최종적으로 이진화를 수행한다. 제안된 방법은 그림4의 절차대로 정리된다.

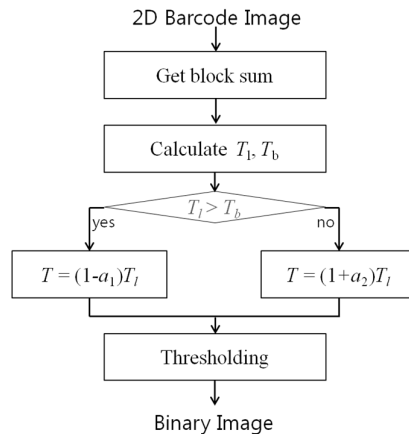


그림 4. 제안하는 방법
 Fig. 4 Proposed method

제안된 방법은 기존 방법들이 갖고 있는 검은 코드 영역에서의 잡음 영향을 최소화하고 또한 이중 박스 크기를 사용함으로써 박스 크기 결정 문제에 둔감할 수 있다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 나타내기 위해 다른 적용형 이진화 방법들과의 비교실험을 수행한다. 비교 기준이 되는 방법들은 논문[10]과 논문[11]에서 좋은 결과를 나타낸 Niblack방법, Sauvola방법, Bernsen방법, 그리고 Bradley방법을 대상으로 한다.

실험의 결과를 효과적으로 비교하기 위해 실험의 기준을 이진화의 성능과 속도 두 가지 면을 삼는다. 실험에 적용되는 영상은 ZXing-2.0의 영상과 논문[7]에서 실험 영상으로 사용된 영상이다. 각 방법에 적용되는 블록 크기는 기본적으로 지정한 블록 크기 15×15 를 사용한다. 제안된 방법은 크기가 다른 두 개의 블록을 사용하여 이진화를 수행하므로, 다른 방법들과 동일하게 기본 블록 크기를 15×15 로 설정하고, 다른 하나의 블록 크기는 127×127 로 설정한다.

각 방법의 성능 평가 실험 전 제안한 알고리즘의 a_1 값과 a_2 의 값을 설정한다. 이 두 변수는 통계적 실험을 통해 $a_1 = 0.15$, $a_2 = 0.05$ 로 정하였을 때 보다 이진화가 잘 수행됨을 알 수 있어 위와 같이 설정하였다.

그림 5는 200×200 크기의 그림 5(a)가 각 방법으로 이진화가 수행된 결과를 나타낸다. 그림 5(b)와 그림 5(c)는 코드 영역 안에서 적절한 이진화가 수행 되었지만 배경 영역에 잡음이 일어남을 볼 수 있다. 또한 그림 5(c)와 그림 5(d), 그림 5(e)는 코드 영역 내에 홀(hole)이 생기는 문제가 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 후에 이차원 바코드 인식률을 저하시킨다. 반면 그림 5(f)는 코드 영역 내에서도 적절한 이진화가 수행되었고, 배경 부분에서도 잡음이 적게 잘 나타난다는 것을 알 수 있다.

속도 면에서 각 방법의 측정된 값은 표 1을 통해 알 수 있다. 본 측정은 쿼드코어 CPU 2.66GHz의 성능을 가진 컴퓨터에서 수행되었다. 속도 측정 실험에 사용된 영상의 크기는 640×480 으로 5회의 반복적인 실험을 통해 평균을 취하였다. 그리고 비교 대상 방법 중 Niblack과

Sauvola방법은 적분영상을 도입하여 문턱값을 효과적으로 구할 수 있기에 속도 측정 기준에 추가하여 나타내었다. 표 1의 결과는 적분영상을 도입한 방법들은 도입하지 않은 방법들보다 10배 이상의 속도 차이를 내며 빠르게 수행됨을 알 수 있다. 제안하는 방법 또한 적분영상을 이용하여 이진화를 수행한다. 제안하는 방법이 다수의 블록을 사용함에도 불구하고 다른 방법들과 비교해도 속도에 우위가 있을 만큼 좋은 속도를 나타냄을 알 수 있다.

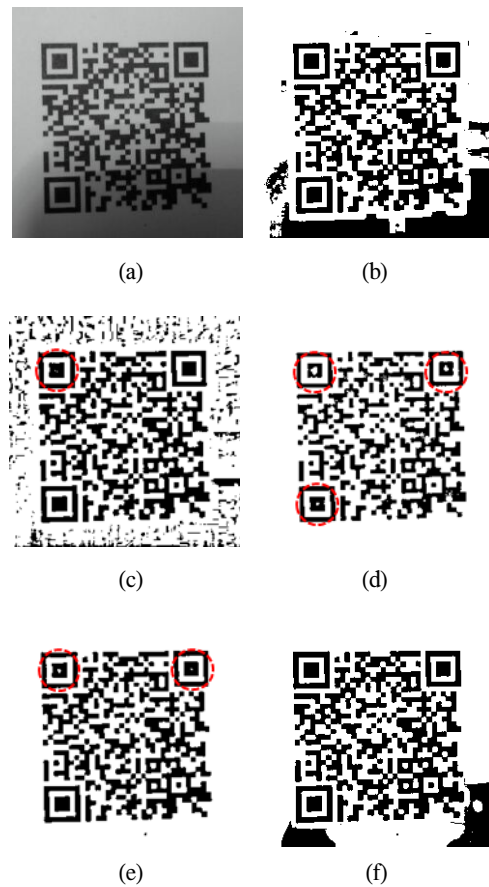


그림 5. 이진화 결과 영상
 (a) 원 영상 (b) Bernsen 방법 (c) Niblack 방법
 (d) Sauvola 방법 (e) Bradley 방법 (f) 제안한 방법
 Fig. 5 Resulting images after thresholding
 (a) Original Image (b) Bernsen method (c) Niblack method (d) Sauvola method (e) Bradley method (f) Proposed method

표 1. 이진화 방법의 수행 시간
Table. 1 Processing time for thresholding methods

Method	Time (msec)
Bernsen	188.2
Niblack	143.6
Fast Niblack	12.0
Sauvola	145.2
Fast Sauvola	13.2
Bradley	3.8
Proposed method	7.4

V. 결 론

본 논문에서는 적응적 이진화의 블록 사이즈 문제 해결과 연산량 문제를 해결하기 위해 적분영상을 도입한 새로운 방법을 제시하였다. 새로운 방법은 두 개의 박스를 사용하고, 그 두 개의 박스 내에서 계산된 두 값을 비교하여 이진화를 보다 적응적으로 만들었다. 제시한 방법의 성능을 비교하기 위해 기존 방법들과의 성능, 속도 두 측면의 비교실험을 수행하였고, 그 결과 제안한 방법이 성능과 속도 두 면에서 모두 이진화가 상대적으로 잘 이루어짐을 알 수 있었다. 이 결과로 이차원 바코드 영상의 이진화에 유용하게 쓰일 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] H. Kato, K. T. Tan and D.Chai. "Barcodes for Mobile Devices," Cambridge University Press,2010.
 [2] Y.Gu and W.Zhang, "QR Code Recognition Based On Image Processing," International Conference on Information Science and Technology(ICIST), 2011 International Conference, pp. 733-736. 2011.
 [3] J. Bernsen, "Dynamic thresholding of grey-level images," Proc. Eighth Int'l Conf.Pattern Recognition, pp.1,251-1,255, Paris, 1986
 [4] W. Niblack, "An Introduction to Digital Image Processing," pp.115-116. Englewood Cliffs, N.j.: Prentice Hall, 1989
 [5] J.Sauvola and M.Pietikinen, "Adaptive document

image binarization," Pattern Recognition, vol. 33(2), pp.225-236, 2000.

[6] P.Wellner, "Adaptive thresholding for the DigitalDest," Xerox Research Center Technical Report n. EPC-1993-110, 1993.
 [7] D.Bradley and G.Roth, "Adaptive Thresholding Using the Integral Image," Journal of Graphics, GPU, and Game Tools, Vol. 12, Issue 2, pp. 13-21, 2007.
 [8] P. Viola and M. Jones, "Robust real-time object detection," 2nd Intl. Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision, 2001.
 [9] F.Shafait and D.Keysers, T.M. Breuel, "Efficient Implementation of Local Adaptive Thresholding Techniques Using Integral Images," Document Recognition and Retrieval XY, San Jose, USA, January 2008.
 [10] O.D.Trier and A.K.Jain, "Goal-directed evaluation of binarization methods" IEEE Trans, Pattern Anal.Mach.Intell., vol. 17(12), pp.1991-1201, 1995.
 [11] M. Sezgin and B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," Journal of Electronic Imaging 13(1), pp. 146 - 165, 2004.

저자소개



이연경(YeonKyung Lee)

2012년 현재 상명대학교
디지털미디어 학·석사
연계 과정

※ 관심분야: 영상처리, 태그인식

유 훈(Hoon Yoo)

한국정보통신학회 논문지
제15권 제5호 참조