

논문 2004-41SP-1-9

PDF417 이차원 바코드 디코더의 구현

(Implementation of PDF417 Two-Dimensional Barcode Decoder)

한 희 일*, 정 정 구*

(Hee Il Hahn and Joung Goo Joung)

요 약

본 논문에서는 가장 널리 사용되는 이차원 바코드 체계인 PDF417 에 대하여 디지털 카메라를 통하여 입력한 영상으로부터 시작심볼 또는 종료심볼을 검색함으로써 이차원 바코드 영역을 찾아낸 다음, 그 영역으로부터 코드워드를 추출하여 디코딩하는 알고리즘을 설계하여 실시간으로 구현하였다. 코드워드를 추출하는데 있어서, 바코드 영상을 이진화하지 않고 영상을 스캔하면서 각 행의 프로파일에서 극점의 위치와 상대적인 거리 등을 분석함으로써 바-스페이스 패턴을 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 비 균일한 조명환경 하에서도 초점이 제대로 맞지 않거나 다양한 컨볼루션 왜곡이 있더라도 매우 강한 특성을 보여 줄 뿐만 아니라 처리속도가 매우 빠르므로 실시간으로 구현할 수 있는 장점이 있다.

Abstract

In this paper we present a barcode reader to decode two-dimensional symbology PDF417 and propose a novel method to extract the bar-space patterns directly from the gray-level barcode image, which employs the location and the distance between extreme points of each row or column of the barcode image. This algorithm proves to be very robust from the high convolutional distortion environments such as defocussing and warping, even under badly illuminating condition. If the scanned barcode image is a result of the convolution of a Gaussian-shaped point spread function with a bi-level image, popular image segmentation methods such as image thresholding can not distinguish between very narrow bar-space patterns. The proposed algorithm shows improved performance over current barcode readers.

Keywords: 이차원 바코드, 패턴인식, 세그멘테이션, 이미지와핑, 오류정정부호화

I. 서 론

현재 널리 사용되고 있는 일차원 바코드가 정보를 포함하고 있는 데이터베이스에 접근하는 데이터 키 역할을 하는 것이라면, 이차원 바코드는 다량의 데이터를 포함할 수 있고 고밀도의 데이터 표현이 가능하며, 호스트 컴퓨터의 데이터 베이스에 온라인으로 연결할 필요 없이 확인하고자 하는 사람이나 대상물에 대한 정보를 얻을 수 있

다. 바 (bar) 형태의 일차원 바코드는 수평방향만의 정보 밖에 갖고 있지 않지만, 이차원 바코드는

수평, 수직 두 방향의 정보를 수록할 수 있으며 일차원 바코드와는 비교할 수 없을 정도로 많은 최대 이천 자까지 문자를 수록할 수 있어 좁은 공간에 다양한 정보를 수록해야 하는 브라운관 공장이나 병원에서의 환자 이력관리 프로그램 등에 사용되는 첨단 바코드 체계이다^[3]. 또한, 일차원 바코드의 경우 영문과 숫자만을 기록할 수 있는 데 비해 이차원 바코드는 영어, 일어, 한자, 숫자 등 다양한 문자를 기록할 수 있으며 일차원 바코드의 20-40배 이상의 밀도를 갖고 있어 전체 30% 이상의 데이터 손상에 도 복원이 가능한 특징이 있다.

본 논문에서는 ARM9 코어를 이용하여 가장 널리 사

* 정희원, 한국외국어대학교

(Dept. of Information and Communications Eng., Hankuk University of Foreign Studies)

※ 본 논문은 2002년도 한국외국어대학교 학술연구비 지원에 의해서 연구되었음.

접수일자 : 2002년 9월 30일 수정완료일 : 2003년 12월 15일

용되고 있는 이차원 바코드인 PDF417 다층형 바코드와 Data Matrix 바코드를 동시에 해독할 수 있는 디코더를 구현하였는데, 이 중에서 PDF417 바코드에 초점을 맞춰, 바코드 영상을 이진화하지 않고 영상을 스캔하면서 각 행 별로 프로파일의 극점의 위치와 상대적인 거리 등을 분석함으로써 바-스페이스 패턴을 추출하여 코드워드를 구하는 알고리즘을 중심으로 설명하기로 한다.

II. PDF417의 심볼 구조

본 논문에서 채택한 PDF417 코드는 고밀도의 데이터 저장능력과 오류수정 기능이 포함된 다행의 가변 길이 심볼로지로서 선형 스캐너, 레이저 스캐너로 스캔할 수도 있지만, 본 논문에서는 CCD 디지털 카메라를 이용하여 바코드 영상을 입력하였다.

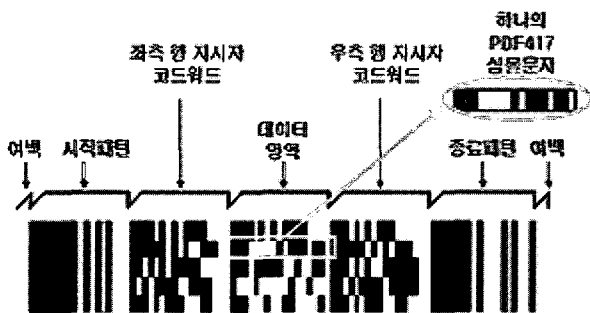


그림 1. PDF417 심볼구조
Fig. 1. Symbol structure of PDF417

PDF417 심볼은 최소 3개에서 90개 까지의 행으로 구성되어 있는데, 각 행은 그림 1 에 제시한 바와 같이, 시작 패턴, 종료 패턴, 좌우 행 지시자, 데이터 영역 등으로 나뉜다. 시작패턴과 종료패턴은 리더기가 바코드의 방향과 위치를 인식할 수 있도록 해준다. 시작 패턴은 바(bar)와 스페이스(space) 순서로 81111113 이고 종료 패턴은 711311121이다. 좌측, 우측 행 지시자와 데이터 영역을 구성하는 각 심볼 문자는 네개의 바와 네개의 스페이스의 조합으로 구성되며, 전체 모듈의 합은 17이다. 각 심볼 문자는 0-928까지의 값을 가지는데 이 심볼 문자의 값을 코드워드(codeword)라고 한다. 좌측과 우측 행 지시자의 코드워드는 데이터를 저장하지 않으며, 단지 행 번호, 행의 수, 데이터 영역의 열의 수, 오류수정 레벨 등의 정보를 나타낸다. 데이터 영역의 코드워드는 좌측에서 우측으로 위에서 아래로 심볼 길이 지시자, 데이터 코드워드, 패드

(pad) 코드워드, 오류 검출 코드워드 등의 순서로 배열되어 있다^[1]. 코드워드를 원래의 데이터로 복원하기 전에 코드워드에 오류가 있는지를 검사하고 수정하기 위해서 PDF417 심볼의 데이터 영역의 가장 뒷부분에는 오류수정 코드워드가 추가된다. 오류수정 코드워드는 널리 이용되고 있는 Reed Solomon 오류제어 코드 알고리즘으로 생성된다^{[1][6]}.

III. PDF417 이차원 바코드 디코딩 알고리즘

디코딩 알고리즘은 크게 바코드 영상으로부터 코드워드를 추출하는 과정과 추출된 코드워드로부터 원래의 인코딩한 데이터로 복원하는 과정으로 나뉘어 진다.

1. 데이터 영역의 검출

PDF417 바코드는 특정한 시작과 종료 패턴을 정의하고 있으므로 이러한 시작 패턴이나 종료 패턴을 찾아내면 영상에서 바코드의 위치를 파악할 수 있다. 그림 2 는 코드워드 추출 과정의 순서를 보여주고 있다.

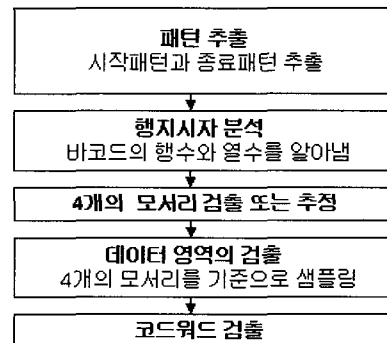


그림 2. 코드워드 추출과정의 순서도
Fig. 2. Flow chart for extracting codewords

본 논문에서는 스캔한 바코드 영상을 수평과 수직으로 스캔하면서 시작 패턴이나 종료 패턴을 찾아내고 이들의 시작점과 끝점을 저장한 다음, 그림 3 에 제시한 바와 같이 이 점들을 지나는 최적의 선의 방정식을 구하였다. 선의 방정식에 수직인 방향으로 스캔하면서 바코드의 모서리를 찾고, 찾은 모서리가 정확한 것인지를 확인하기 위해 모서리의 바로 위아래의 행 번호 정보를 추출하여 이를 검증하였다. 네개의 모서리의 위치를 구한 다음 이를 그림 4 에서 제시한 바와 같이 직사각형으로 와핑한다. 와핑된 데이터 영역을 수평으로 스캔하므로써 코드워드를 검출할 수 있다.

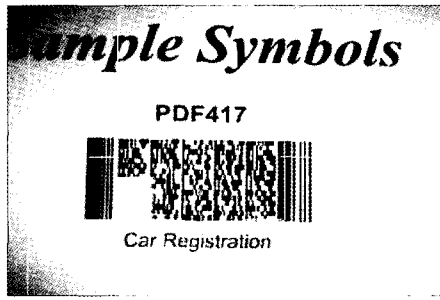


그림 3. 바코드의 위치 추출 및 모서리 검색
 Fig. 3. Segmenting barcode region and searching for its 4 vertices.

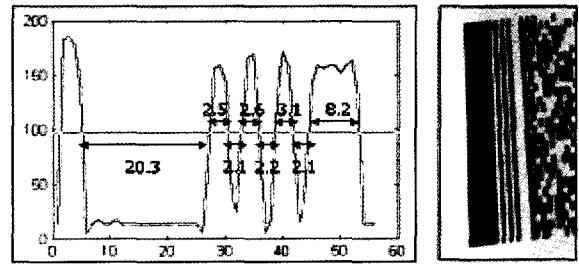


그림 5. 바와 스페이스의 너비측정
 Fig. 5. Measuring the widths of bars and spaces of the start pattern.

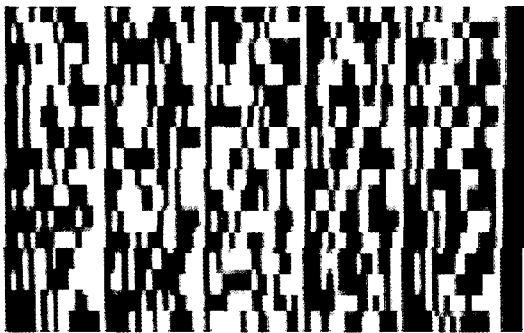
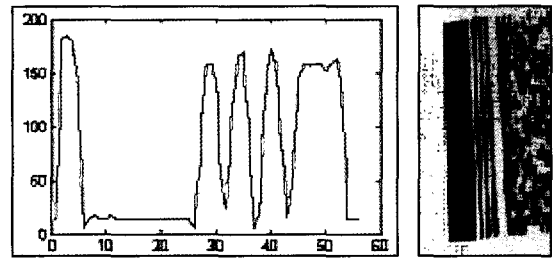
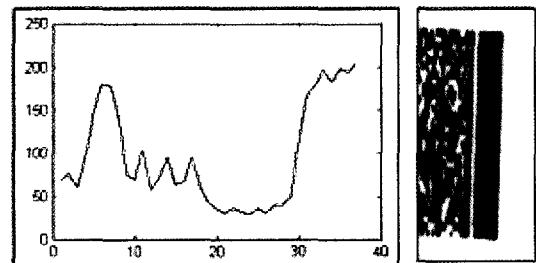


그림 4. 데이터 영역의 사각화
 Fig. 4. Warping of the data region of barcode



(a)



(b)

그림 6. (a) 초점거리에서 스캔한 바코드 이미지의 시작패턴 부분과 그 프로파일, (b) 초점이 제대로 맞지 않은 상태에서 스캔하여 블러링이 발생한 이미지와 그 프로파일

Fig. 6. The start patterns and their profiles extracted from (a) the focussed image, (b) the outfocused image.

2. 코드워드 검출 알고리즘

시작패턴, 종료패턴, 코드워드 등을 검출하기 위해서는 바와 스페이스의 너비를 측정해야 하는데, 카메라 렌즈의 특성, 영상과 카메라 간의 거리와 각도, 비 균일한 조명 등 다양한 원인으로 인해 너비 측정의 정확성이 떨어지게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 스캔 반사율 프로파일을 분석하여 특정 환경에서의 특성을 추출하였다. 그림 5는 시작 패턴의 경우를 예로 하여 바와 스페이스의 너비를 측정된 결과를 보여주고 있다. 바와 스페이스의 너비를 측정하기에 앞서, 스캔하는 부분이 바인지 스페이스인지를 구분해야 하는데 이를 에지 결정 (edge determination) 이라고 부른다. 그림 6-(a)에서 제시한 스캔 반사율 프로파일에서와 같이 정확한 초점거리에서 바코드를 스캔하면 단순한 이진화 알고리즘을 통해서도 쉽게 바와 스페이스의 두께를 측정할 수 있다. 하지만, 초점이 제대로 맞지 않거나 블러링 등의 다양한 컨볼루션 왜곡이 발생하면 그림 6-(b)에서 보는 바와 같이 바나 스페이스의 모듈이 작은 부분에서 특히 심한 왜곡이 발생하여 에지 결정이 쉽지 않다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 동일한 바코드에 대하여 초점거리에서 스캔한 바코드 영상과 그렇지 않은 바코드 영상에서 추출한 동일한 바-스페이스 패턴과 그 프로파일을 각각 보여주고 있다.

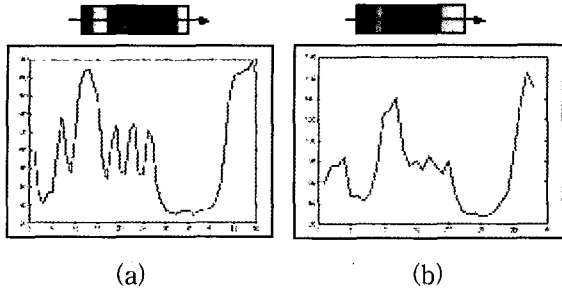


그림 7. (a) 초점거리에서 획득한 바스페이스 패턴과 그 프로파일, (b) 초점이 맞지 않은 상태에서 스캔한 바스페이스 패턴과 그 프로파일
 Fig. 7. Segmented bar-space patterns and their corresponding profiles obtained from (a) the focussed image, (b) the outofocussed image.

그림 6과 그림 7을 살펴보면, 초점이 제대로 맞지 않은 상태에서 바코드를 스캔한 경우에는 바와 스페이스의 경계에 대한 결정은 물론이고 이들의 구별조차 매우 어렵다는 사실을 알 수 있다.

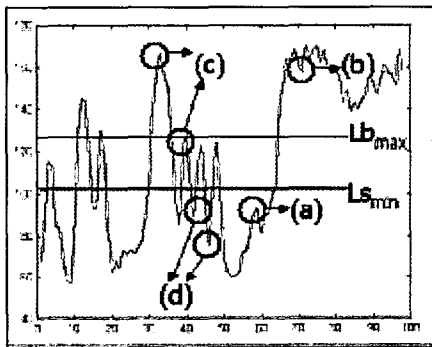


그림 8. 바와 스페이스의 경계결정
 Fig. 8. Edge determination between bars and spaces.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 스캔 반사율 프로파일에서 각 지역 극점을 구하여 이들의 특성을 분석함으로써 에지 결정을 하였다. 예를 들어, 그림 8과 같은 프로파일이 주어지면 그림의 (a), (b), (c), (d)와 같이 프로파일에서 여러 극점들을 찾아낸다. 여기에서 (a)의 경우는 흠(defect)에 의해 발생하였고, (b)는 스페이스의 극점주변에서 발생한 잡음 등의 영향으로 생겨난 극점에 해당된다. 그러므로 (a)는 스페이스의 극대점이 아니며, (b)는 바의 극소점이 될 수 없다. 본 논문에서는 바의 상한 한계인 Lb_{max} 와 스페이스의 하한 한계인 Ls_{min} 을 설정하여 (a)와 (b)를 극점의 후보지에서 제외시

켰다. 이와 같이 비 균일한 조명환경 하에서 획득한 바코드 영상의 경우에는, 변화하는 조명에 따라서 인식하고자 하는 프로파일에서 최대값과 최소값을 구하여 Lb_{max} 와 Ls_{min} 를 그 범위의 65%, 35%가 되는 점으로 각각 적응적으로 재설정하였다.

그림 9는 바와 스페이스가 각각 네 개로 구성되어 있는 코드워드 (824 : 1, 5, 1, 2, 1, 1, 5)의 프로파일과 함께 이들의 경계점들을 보여 주고 있다. 이 그림을 자세히 살펴보면, 바와 스페이스의 너비에 따라 반사율이 동적으로 변하기 때문에, 네 개의 바와 스페이스의 너비를 정확하게 측정하기 위한 단 한 개의 최적의 문턱치(threshold)를 구하는 것이 불가능하다는 것을 알 수 있다. 특히, 디지털 카메라로 바코드 영상을 입력하는 과정에서 가우시안 형태의 point spread function과의 컨볼루션 효과로 인해, 모듈의 너비가 좁은 바 또는 스페이스의 반사율은 동일한 조명환경 하에서도 모듈의 너비가 넓은 것 보다 더욱 심한 영향을 받게 된다^[9].

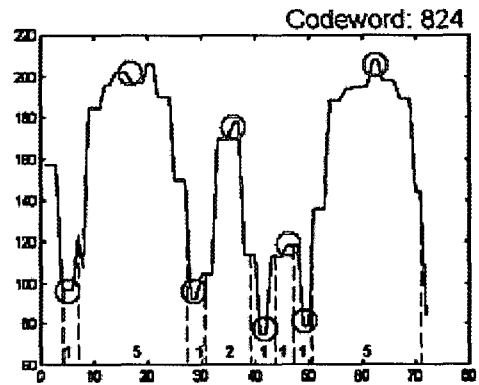


그림 9. 모듈의 너비가 작은 영상에서 추출한 심볼 문자의 스캔 반사율 프로파일
 Fig. 9. Scan reflectance profile of the sample symbol character extracted from the barcode image with narrow modules.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 문턱값을 구하여 영상을 이진화하는 방식 대신에, 그림 9에서 나타난 바와 같이 네 개의 바와 네 개의 스페이스에 해당하는 프로파일에서 8개의 극점을 찾아내어 에지 결정을 하고 반사율이 낮은 스페이스의 극점과 반사율이 높은 바의 극점을 그 기울기에 비례하여 보상해준다. 그런 다음, 보상된 극점 사이에 수평영역이 존재하면, 그 픽셀값과 인근의 양 극점 사이의 높이에 반비례하여 그 영역을 나눈 후에 바와 스페이스의 경계영역으로 선택한다. 여기서, 수평영역이란 그 프로파일이 여러 픽셀에 걸쳐 일정

한 값을 갖는 영역을 말하는데, 대부분의 바-스페이스 패턴에 대한 프로파일에서 이러한 영역을 포함하고 있음을 다음에서 설명한 실험 데이터로 확인하였다. 이를 이용하여 바와 스페이스의 두께를 측정하게 되는데, 이들의 두께는 따라서 정수가 아닌 실수 값을 갖게 되고 모듈의 값이 작은 바인 경우에는 그 주변의 값들을 고려하여 보상함으로써 보다 정확한 두께정보를 추정하고자 하였다.

3. 바코드 디코더의 설계

측정된 바와 스페이스의 너비가 주어지면 "edge to similar edge" 너비 추정 기법을 적용하여 구한 바-스페이스 패턴은 그림 10 에 설명한 바와 같이 바-스페이스 패턴 표를 참조하여 코드워드로 변환된다. 여기서 edge to similar edge 알고리즘은 인접한 바와 스페이스의 너비가 조명의 변화에 따라 바가 넓어지면 스페이스가 좁아지고, 스페이스가 넓어지면 바의 너비가 좁아진다는 사실에 기초하고 있다^[1].

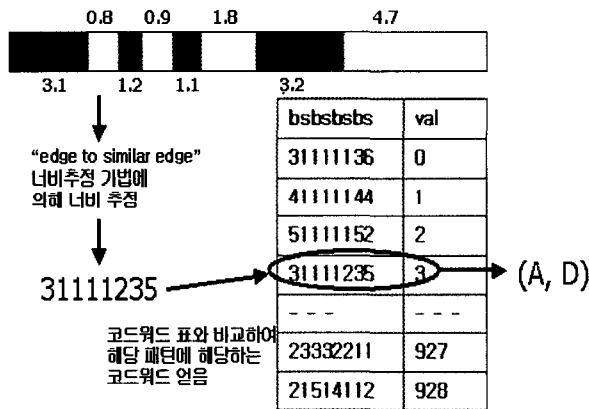


그림 10. 측정된 바와 스페이스의 너비로부터 코드워드를 얻는 과정
 Fig. 10. Obtaining codewords by measuring the widths of bars and spaces.

검출된 코드워드들은 Reed-Solomon 오류수정 알고리즘으로 오류를 수정한 후, 컴팩션 모드에 따라 데이터를 코드워드로 인코딩한 방식을 역으로 수행하여 원래의 데이터를 얻을 수 있다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 제작한 디코더의 성능을 확인하기 위하여 자체적으로 153개의 테스트 이미지를 제작하였다. 이 이미지들은 초점이 맞지 않거나, 다양한 각도에서 스캔함으

로써 와핑이 된 경우도 있고, 찢은 다음 어긋나게 붙이고 다양한 조명 환경 하에서 획득하는 등, 실제 환경에서 발생가능한 모든 상황을 반영하고자 하였다.

그림 11 은 대표적인 테스트 이미지들을 보여주고 있다.

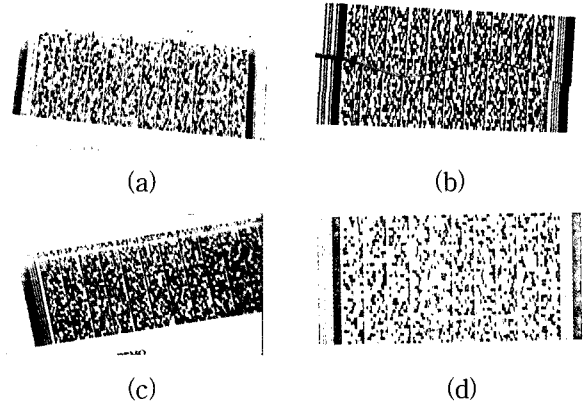


그림 11. 대표적인 테스트 이미지의 예
 Fig. 11. Sample images for measuring the performance of our decoder.

우선, 제한한 코드워드 검출 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 위와 같은 테스트 이미지에서 추출한 2000개의 프로파일을 이용하여 실험하였으며 이 중에서 1466개의 코드워드를 정확하게 인식하여 약 73%의 인식률을 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 위 알고리즘을 채택하여 바코드 디코더를 구현하였다. 그림 11-(a) 의 이미지는 바코드 영상에 대하여 복사를 여러 번 반복적으로 수행함으로써 화질을 크게 저하시킨 것으로 상단 부분에서는 화질이 심하게 손상되었음을 볼 수 있다. 이 영상을 본 디코더에 입력하면 329개의 코드워드 중에서 42개의 erasure와 32개의 error가 발생하게 되지만 Reed-Solomon 오류수정 알고리즘을 통하여 정확히 디코딩할 수 있다. 여기서, erasure는 해당위치에서 코드워드를 추출하지 못한 경우이고, error는 코드워드를 추출하기는 하였으나 오류가 발생한 경우를 말한다. 그림 11-(b) 의 이미지는 찢은 다음 어긋나게 오려 붙인 경우이고, 그림 11-(c) 는 일부가 잘린 이미지이며 그림 11-(d)는 조명이 너무 밝은 상태에서 초점이 잘 맞지 않아서 블러링이 발생한 이미지를 보여주고 있다. 이와 같이 다양한 조건 하에서 획득한 153개의 테스트 이미지에 대하여 본 논문에서 제안한 디코더로 실험한 결과 138개의 영상을 정확히 해독하였다. 공인된 벤치마크 테스트용 이미지 데이터 베이스가 존재하지 않아서 정확하고 객관적인 인식률을 얻기는 어려우나

COMDEX나 CEBIT 등의 국제전시회에 출품하여 미국의 Symbol 사 제품이나 일본의 Tohoken 사 제품 등과 성능 비교를 통하여 전문가들로부터 평가를 받는 상태에 있다.

그림 12는 본 디코더 알고리즘을 ARM9 코어를 이용하여 하드웨어로 실시간 구현한 회로와 금형을 각각 보여 주고 있다.

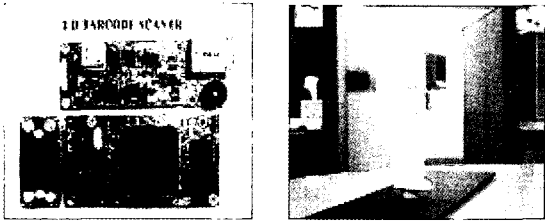


그림 12. Arm 코어를 이용하여 구현한 이차원 바코드 디코더 (a) 내부회로 (b) 금형

Fig. 12. (a) Electronic ircuitus of our decoder implemented using ARM core and (b) its prototype.

V. 결 론

본 논문에서는 CCD 디지털 카메라로 입력한 PDF417 바코드 이미지로부터 바코드 영역을 추출한 후에 바-스페이스 패턴을 추출하고 이를 코드워드로 변환한 다음, 원래의 데이터로 디코딩하는 알고리즘을 제안하고 이를 실시간으로 구현하였다. 특히, 코드워드를 추출하는데 있어서 바코드 영상을 이진화하지 않고, 영상을 스캔하면서 각 행 별로 그 프로파일에서 극점의 위치와 상대적인 거리 등을 분석하여 바-스페이스 패턴을 추출하는 알고리즘을 적용함으로써 인식률이 상당히 개선되었음을 실험을 통해 확인하였다.

아직까지는 이차원 바코드 디코더의 성능을 비교분석하기 위한 벤치마크 테스트용 데이터베이스가 존재하지 않아서 객관적인 성능평가가 어려운 현실에 있지만, 공인된 전문업체에 의뢰하여 벤치마크 테스트를 실시하여 검증받음으로써 세계적으로 유명한 타 제품과 성능비교를

하고자 한다. 본 논문에서 제안한 디코더 알고리즘은 조명이 너무 밝거나 초점거리에서 크게 벗어난 상태에서 스캔하면 블러링이 심하게 발생하여 인식률이 저하되는 문제점을 안고 있다. 따라서, 이를 해결하여 성능을 보다 개선하면 국제시장에 진출하여 세계 유명제품과 충분히 견줄 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Uniform Symbology Specification PDF417, AIM-USA.
- [2] 정정구, 한희일, "PDF417 이차원 바코드 영상에서 심블 정보를 추출하는 알고리즘의 구현", 2001년도 한국지능정보시스템학회 춘계정기학술대회 논문집, pp. 341 345, 2001년 6월.
- [3] Understanding 2D Symbologies a detailed overview and technical introduction, AIM USA
- [4] 정정구, 한희일, "PDF417 이차원 바코드 디코딩 알고리즘의 구현", 2001년도제14회 신호처리합동학술대회 논문집, 제14권 1호, pp. 289 292, 2001년 9월.
- [5] Eugene Joseph and T heo Pavlidis, "Waveform Recognition with Application to Barcodes", Symbol Technologies Inc. 116 Wilbur Place, Bohemia, NY 11716., 1991.
- [6] Morelos-Zaragoza, Robert, "The Art of Error Correcting Coding", John Wiley & Sons, 2002년
- [7] J.R. Parker, "Gray level thresholding in badly illuminated images", IEEE Trans. On PAMI, vol. 13, No. 8, Aug., 1991.
- [8] Hee Il Hahn, Jung Koo Jung, "Implementation of Algorithm to Decode Two-Dimensional Barcode PDF-417", 6th International Conference on Signal Processing ICSP'02, August, 200

저 자 소 개

한 희 일(정회원)

1984년 서울대학교 제어계측공학과 학사. 1986년 서울대학교 제어계측공학과 석사. 1995년 아리조나대학교 전기및컴퓨터공학과 박사. 1987년 1월 ~ 1998년 2월 한국전자통신연구원 재직. 1998년 3월 ~ 현재 한국외어대학교 정보통신공학과 재직

정 정 구(학생회원)

2000년 한국외국어대학교 정보통신공학과 학사. 2002년 한국외국어대학교 컴퓨터및정보통신공학과 석사. 2002년 3월 ~ 현재 한국외국어대학교 컴퓨터및정보통신공학과 박사과정