

PDF417 이차원 바코드 디코더에서 코드워드 추출 알고리즘의 성능 개선에 관한 연구

정 정 구, 한 희 일
한국의외국어대학교 정보통신공학과
전화 : 031-330-4893 / 핸드폰 : 018-410-2746

A Study on Improved Codeword Extraction for Decoder of Two Dimensional Barcode PDF417

Joung-Koo Joung, Hee-il Hahn
Dept. of Information and Communications Engineering, Hankuk University of Foreign Studies
E-mail : jgchong@hanmail.net

Abstract

In this paper we present a barcode reader to decode two-dimensional symbology PDF-417 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 of the barcode image. This algorithm proves to be very robust from the high convolution 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 with a couple of pixels wide. The proposed algorithm shows improved performance over current barcode readers.

I. 서론

현재 널리 사용되고 있는 1차원 바코드가 정보를 포함하고 있는 데이터베이스에 접근하는 데이터 키 역할을 하는 것이라면, 2차원 바코드는 다량의 데이터를

포함할 수 있고 고밀도의 데이터 표현이 가능하며, 호스트 컴퓨터의 데이터 베이스에 온라인 연결할 필요 없이 확인하고자 하는 사람이나 대상물에 대한 정보를 얻을 수 있다. 바(bar) 형태의 1차원 바코드는 수평방향 만의 정보밖에 갖고 있지 않지만, 2차원 바코드는 수평, 수직 두 방향의 정보를 수록할 수 있으며 1차원 바코드와는 비교할 수 없을 정도로 많은 최대 2천 자까지 문자를 수록할 수 있어 좁은 공간에 다양한 정보를 수록해야 하는 브라운관 공장이나 병원에서의 환자 이력관리 프로그램 등에 사용되는 첨단 바코드 체계이다 [2][8]. 또한, 1차원 바코드의 경우 영문과 숫자만을 기록할 수 있는 데 비해 2차원 바코드는 영어, 일어, 한자, 숫자 등 다양한 문자를 기록할 수 있으며 1차원 바코드의 20~40배 이상의 밀도를 갖고 있어 전체 30% 이상의 데이터 손상에도 복원이 가능한 특징이 있다 [1].

본 논문에서는 가장 널리 사용되고 있는 2차원 바코드인 PDF417 다층형 바코드의 디코더를 구현하였는데, 이 중에서 바코드 영상을 이진화하지 않고, 영상을 스캔하면서 각 행 별로 프로파일의 극점의 위치와 상대적인 거리 등을 분석함으로써 바-스페이스 패턴을 추출함으로써 코드워드를 구하는 알고리즘을 제안하였다.

II. PDF417 바코드의 구조

본 논문에서 채택한 PDF417은 고밀도의 데이터 저장능력과 오류수정 기능이 포함된 다행의 가변 길이 심볼로 지로서 선형 스캐너, 레이저 스캐너로 스캔할 수도 있지만, 본 논문에서는 CCD 디지털 카메라를 이용하여 바코드 이미지를 입력하였다

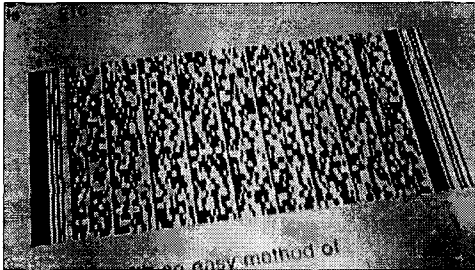


그림 3. CCD 디지털 카메라로 입력한 PDF417 바코드 이미지

그림 1. 은 CCD 디지털 카메라로 입력한 PDF417 바코드 이미지를 보여주고 있다. PDF417 심볼은 최소 3개에서 90개 까지의 행으로 구성되어 있는데, 각 행은 그림 2.에 제시한 바와 같이, 시작 패턴, 종료 패턴, 좌우 행 지시자, 데이터 영역 등으로 나뉜다. 행의 수와 길이는 바코드가 인쇄될 때 선택할 수 있어서, PDF417 심볼의 크기 비율은 가변적이다. PDF417의 심볼 캐릭터는 각각 4개의 바와 스페이스(space)의 배열로 표현된 17 모듈로 구성되어 있는데, 이로 인하여 PDF417이라는 이름을 갖게 되었다 [5]

그림 2. 에서 알 수 있는 바와 같이 PDF417 심볼은 여러 개의 열을 수직적으로 누적하여 배열하며 바코드의 주위에는 빈 여백(quiet zone)이 존재한다. 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 4개의 바와 4개의 스페이스의 조합으로 구성되며, 17모듈의 너비를 갖는다. 각 심볼 문자는 0-928까지의 값을 가지는데 이 심볼 문자의 값을 코드워드(codeword)라고 한다. 좌측, 우측 행 지시자의 코드워드는 데이터를 저장하지 않으며, 단지 행 번호, 행의 수, 데이터 영역의 열의 수, 오류수정 레벨의 정보 등을 가진다. 데이터 영역의 열의 수는 1-30까지 가능하며, 행의 수는 3-90까지 가능하다. 데이터 영역의 첫번째의 코드워드는 심볼 길이 지시자(symbol length descriptor)로서 데이터 코드워드의 총 개수를 나타내는데 그 값은 자신의 코드워드를 포함하

나, 오류 검출용 코드워드는 제외한다. 한 심볼 당 코드워드의 개수는 928을 초과할 수 없다. 데이터 영역의 코드워드는 좌측에서 우측으로 위에서 아래로 심볼 길이 지시자, 데이터 코드워드, 패드(pad) 코드워드, 오류 검출용 코드워드 순서로 배열한다[5].

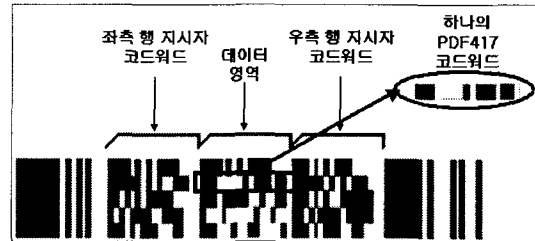


그림 4. PDF417의 심볼 구조

III. PDF417 코드워드 추출 알고리즘

3.1. 데이터 영역의 검출

PDF417 바코드는 특정한 시작과 종료 패턴을 정의하고 있으므로 이러한 시작 패턴이나 종료 패턴을 찾으면 이미지 상에서 바코드의 위치를 파악할 수 있다. 시작패턴과 종료패턴은 매우 독특한 바-스페이스 패턴이므로 이미지의 왜곡이 심한 경우에도 쉽게 검출이 가능하다. 본 논문에서는 그림3. 과 같이 스캔한 바코드 이미지를 수평과 수직으로 스캔하면서 시작 패턴이나 종료 패턴을 찾고 이들의 시작점과 끝점을 저장한 다음, 그림4. 에 제시한 바와 같이 이 점들을 지나는 최적의 선의 방정식을 구한다.



그림 5. 시작패턴과 종료패턴의 검출

카메라 렌즈의 특성, 이미지와 카메라 간의 거리와 각도 등에 따라 입력 이미지에 상당한 왜곡이 발생하므로 전처리 과정으로 이미지 왜곡을 수행하면 보다 높은 인식률을 얻을 수 있다. 이를 위해 네 개의 모서리를 찾아야 하는데, 위에서 구한 선의 방정식에 수직

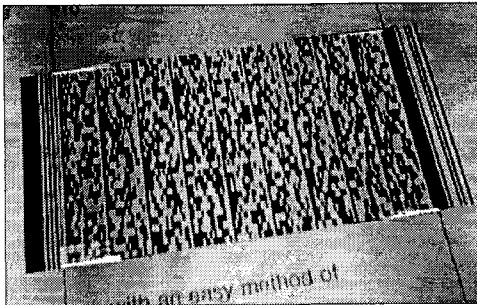


그림 6. 직선에 수직방향으로의 스캔을 통한 모서리 검출 및 행 지시자 정보 분석

인 방향으로 스캔하면서 바코드의 모서리를 찾는다. 찾은 모서리가 정확한 것인지를 확인하기 위해 모서리의 바로 위아래의 행 번호 정보를 추출하여 이를 검증한다. 만약 모서리를 찾지 못하였다면 행 지시자 정보를 분석하여 모서리의 위치를 추정한다. 네 개의 모서리를 찾아낸 후, Affine 변환으로 왜곡을 적용함으로써[4] 데이터 영역만을 추출한 결과는 그림 5. 에 제시한 바와 같다.

3.2 코드워드 추출 알고리즘

그림 5. 와 같이 데이터 영역을 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로 스캔하는 것을 통해 그림 6. 과 같은 이미지 밝기의 프로파일을 얻을 수 있다.

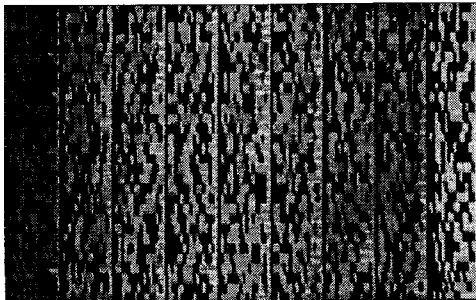


그림 7. 왜곡을 통해 추출된 영역의 스캔

이미지 밝기의 프로파일을 본 논문에서 제시하는 방법으로 분할하면 4개의 바와 4개의 스페이스를 가진 바-스페이스 패턴을 얻을 수 있다. 추출한 패턴을 바-스페이스 표와 비교하여 같은 패턴이 있으면 그것에 해당하는 값이 코드워드가 된다. 패턴의 너비를 측정할 때 좀더 나은 측정을 위해 "edge to similar edge" 측정 방법을 사용한다[5].

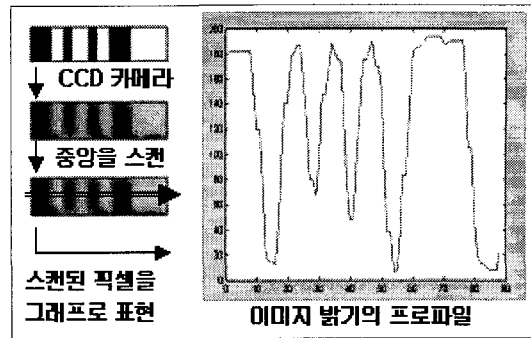


그림 8. 코드워드의 이미지 밝기의 프로파일

고밀도 바코드 이미지와 같이 인접한 바 또는 스페이스 간의 거리가 2 픽셀 이하인 경우에는 바와 스페이스를 구분하기 힘들어진다. 또는 초점이 잘 맞지 않거나 렌즈의 비선형성과 카메라와 바코드 이미지의 각도 등에 의하여 왜곡이 발생하여 컨볼루션 왜곡이 존재하게 되면 바와 스페이스를 구분하기 위한 문턱치가 조금만 변하여도 바 또는 스페이스의 두께를 정확하게 측정할 수 없어서 심각한 오류를 초래할 수도 있다. 그림 7. 는 바와 스페이스가 각각 4개로 구성되어 있는 코드워드 (824 : 1, 5, 1, 2, 1, 1, 1, 5)의 프로파일과 함께 이들의 경계점들을 보여 주고 있다. 이 그림을 자세히 살펴 보면, 바와 스페이스의 두께에 따라 픽셀 값이 동적으로 변하기 때문에, 네개의 바와 스페이스의 두께를 제대로 검출하기 위한 단 한 개의 최적의 문턱치를 구하는 것이 불가능하다는 것을 알 수 있다. 특히, 디지털 카메라로 바코드 영상을 입력하는 과정에서 가우시안 형태의 point spread function과 컨볼루션 효과로 인해, 모듈 값이 1에 해당하는 바 또는 스페이스의 두께는 동일한 조명환경 하에서도 넓은 모듈에 해당하는 것 보다 더 얇아지게 된다.

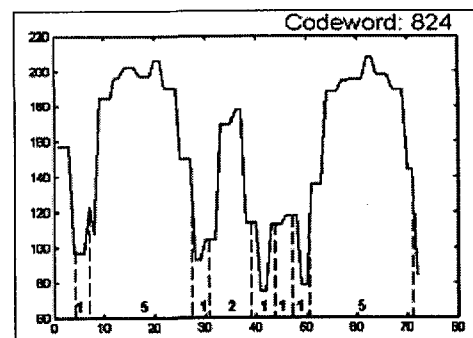


그림 9. 스캔된 코드워드의 이미지 밝기의 프로파일

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 네 개의 바와 네 개의 스페이스에 해당하는 프로파일에서 극점과 인접한 극점사이에 값의 변화가 가장 큰 영역을 구하여 이들의 위치 정보로부터 바와 스페이스의 두께 정보를 추출하는 방식을 채택하였다[3]. 그림9.를 예로 들면, 각 점 X_1, X_2, X_3, X_4 에서 X_1 과 X_4 는 각각 극소점과 극대점이고, $((X_n - X_{n-1}) + (X_{n+1} - X_n))$ 이 가장 큰 값을 가지는 X_n 인 점 X_2 가 바와 스페이스의 경계가 된다. 바와 스페이스의 경계점인 X_2 를 그림9.에서 나타낸 것 과 같은 비율로 나누어준 후 각각 바와 스페이스에 더해주어 바와 스페이스의 너비를 추정할 수 있다. 바와 스페이스의 너비는 정수가 아닌 실수 값을 갖게 되고 모듈 값이 작은 바의 경우에는 그 주변들의 값들을 고려하여 보상함으로써 보다 정확한 너비정보를 추정하고자 하였다. 이와 같이 바의 너비를 구하면 자동적으로 스페이스의 너비 정보를 얻을 수 있다.

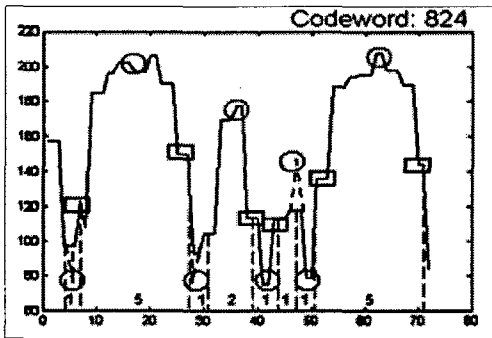


그림 10. 극대점, 극소점 및 극대점과 극소점 사이에 변화가 가장 큰 점 추출

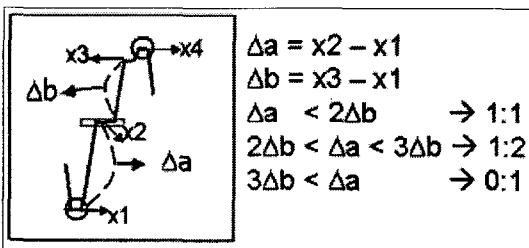


그림 11 극대점과 극소점 사이에 변화가 가장 큰 X_2 의 바와 스페이스에 할당될 분할 비율

IV. PDF417 디코딩 알고리즘

추출된 코드워드에 Reed-Solomon 오류수정 알고리즘을 적용하여 오류를 검출하고 복원할 수 있고, 오류

가 수정된 코드워드 열을 각각의 인코딩된 방식에 따라서 디코드를 하면 원래의 데이터를 얻을 수 있다[7].

V. 결론

본 논문에서는 CCD 디지털 카메라로 입력한 PDF417 바코드 이미지로부터 바코드 영역을 추출한 후에 바-스페이스 패턴을 추출하고 이를 코드워드로 변환한 다음, 원래의 데이터로 디코딩 하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 코드워드를 추출하는데 있어서 바코드 영상을 이진화하지 않고, 영상을 스캔하면서 각 행 별로 프로파일에서 극점의 위치와 상대적인 거리 등을 분석함으로써 바-스페이스 패턴을 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 바-스페이스 패턴을 추출하는데 있어서, 영상의 이진화를 통한 추출방식[7]에 비해 본 논문에서 제안한 추출 알고리즘으로 인식률이 상당히 개선되었음을 실험을 통해 확인하였다. 따라서, 바-스페이스 패턴을 추출하는 알고리즘을 개선하면 보다 안정적이고 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다

참고문헌

- [1] Roger C. Palmer, The Bar Code Book
- [2] 오호근, 바코드 기술 및 응용, 성안당, 1997.
- [3] Eugene Joseph and Theo Pavlidis, "Waveform Recognition with Application to Barcodes", Symbol Technologies Inc. 116 Wilbur Place, Bohemia, NY 11716., 1991.
- [4] R. C. Gonzalez, P. Wintz, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1987.
- [5] Uniform Symbology Specification PDF417, AIM USA.
- [6] J.R. Parker, "Gray level thresholding in badly illuminated images", IEEE Trans. On PAMI, vol. 13, No. 8, Aug., 1991.
- [7] 정정구, 한희일, "PDF417 이차원 바코드 디코딩 알고리즘의 구현", 2001년도 제14회 신호처리합동학술대회 논문집, 제14권 1호, pp. 289-292, 2001년 9월.
- [8] Understanding 2D Symbologies a detailed overview and technical introduction, AIM USA.
- [9] P.K. Saha and J.K. Udupa, "Optimum image thresholding via class uncertainty and region homogeneity", IEEE Trans. On PAMI, vol. 23, No. 7, July, 2001.