스마트 학습지: 미세 격자 패턴 인식 기반의 지능형 학습 도우미 시스템의 설계와 구현

심재연, 김성환
서울시립대학교 컴퓨터과학부
e-mail: simpo@uos.ac.kr, swkim7@uos.ac.kr

Design and Implementation of Smart Self-Learning Aid: Micro Dot Pattern Recognition based Information Embedding Solution

Jae-Youen Shim and Seong-Whan Kim
Dept. of Computer Science, University of Seoul

Abstract

In this paper, we design a perceptually invisible dot pattern layout and its recognition scheme, and we apply the recognition scheme into a smart self learning aid for interactive learning aid. To increase maximum information capacity and also increase robustness to the noises, we design a ECC (error correcting code) based dot pattern with directional vector indicator. To make a smart self-learning aid, we embed the micro dot pattern (20 information bit + 15 ECC bits + 9 layout information bit) using K ink (CMYK) and extract the dot pattern using IR (infra-red) LED and IR filter based camera, which is embedded in the smart pen. The reason we use K ink is that K ink is a carbon based ink in nature, and carbon is easily recognized with IR even without light. After acquiring IR camera images for the dot patterns, we perform layout adjustment using the 9 layout information bit, and extract 20 information bits from 35 data bits which is composed of 20 information bits and 15 ECC bits. To embed and extract information bits, we use topology based dot pattern recognition scheme which is robust to geometric distortion which is very usual in camera based recognition scheme. Topology based pattern recognition traces next information bit symbols using topological distance measurement from the pivot information bit. We implemented and experimented with sample patterns, and it shows that we can achieve almost 99% recognition for our embedding patterns.

1. 서론

교육산업은 우리 생활에 있어 가장 큰 관심사 중에 하나이다. IT 기술이 발달해 오면서 교육에 있어서도 여러 많은 과학 기술들이 도입되고 있다. 인터넷을 이용한 자가 학습, 다양한 휴대기기를 이용한 학습 법 들이 개발되어 실행 되고 있다. 하지만 대부분의 학습법은 강의 형태의 정보전달 시스템이 대부분이며 학습자에 대한 정보, 학습 상태 등을 파악하기 힘들다. 최근 오프라인 저작물에 패턴을 삽입하여 지능형 저작물을 제공하는 사례가 많아지고 있다. 하지만 이 또한 학습자의 학습 상태에 대한 정보를 얻기에는 무리가 있다. 따라서 본 논문에서는 학습지 문제에 숨겨진 코드를 삽입하여 학습자가 문제 풀이를 했을 때 그에 따른 정보를 토대로 정답 혹은 오답에 대한 문제 풀이 방식을 제공 하는 시스템을 제안한다. 학습자의 문제풀이 방식을 통해 학습패턴을 분석하고 취약부분에 대한 정보를 얻을 수 있도록 제안한다. 이를 위해, 기존의 다양한 코드모형을 분석하고 각 코드에 대한 장점 및 단점을 파악하여 본 논문에서 제안 하는 시스템을 위한 코드 설계의 요구사항을 파악하였다. 또한 기존의 코드 시스템에서 문제로 제기되는 2 가지 특성인 데이터의 저장 용량과 잡음에 민감한 특성을 보안하기 위한 Mesh 형태의 점 패턴을 제안하고, 패턴의 오류에 대한 추정이 가능하도록 CRC 를 패턴에 삽입하며 시스템 특성상 요구되는 코드의 비가시성에 대해서는 CMYK 잉크 모델에서 K 잉크의 특성을 이용한 방법을 적용한다. 제안된 코드의 위상변화와 잡음에 대한 인식률을 실험의 결과를 통해 확인 하였다 [1].

본 논문의 2 장에서는 기존의 패턴 코드들을 소개하고 분석하며, 3 장에서는 본 논문에서 제안하는 패턴 코드와 패턴 인식 기법을 설명하며 4 장에서는 제안된 기법을 적용한 시스템에서의 패턴 인식률에 대한 실험 결과를 제시하고 마지막으로 제안된 기법의 개선 사항 및 발전 방안에 대한 토의로 결론을 맺는다.

2. 관련연구

본 논문에서는 대표적인 선형패턴인 1 차원 바코드 와, Afaya 사의 Pen 코드와 U-Learning 시스템에 대해서

알아보고 기존의 시스템들을 통해 제안하는 시스템의 고려 사항에 대해 살펴본다 [2].

2.1. 선형 바코드의 인식 기법

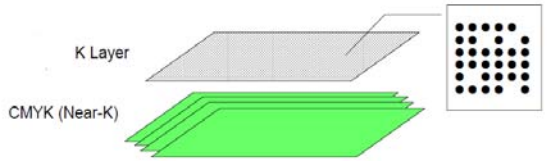
1 차원 바코드는 그림 1 에서 보는 바와 같이, 컴퓨터가 판독할 수 있도록 고안된 굵기가 다른 흑백 막대의 조합으로 이를 선형 바코드라고도 한다 [3]. 선형 바코드는 굵거나 가는 검은 막대와 흰 막대의 조합에 의해 영문, 숫자, 특수 기호 등이 광학적으로 판독하기 쉽게 부호화 함으로 정보에 대한 처리를 가능하게 한다. 검은 막대와 흰 막대는 그 폭에 따라 2 진 비트로 구성되며 이를 사용하여 숫자 데이터로 표현되는 ASCII 코드 값을 통해 데이터를 저장한다.

(그림 1) 선형바코드의 심벌구조

이러한 1 차원 바코드의 구조는 선형으로 만들어져 있기 때문에 바코드 스캐너를 인용하여 인식 할 때 검은 막대에 대해 직각으로 스캔 하지 않으면 인식률이 떨어지거나 인식 되지 않는 경우가 발생 한다. 또한 바코드 스캐너에 따라 일정 길이 이상의 막대길이를 유지 해야 하며 입력 정보량이 늘어 날수록 바코드의 크기가 커진다..

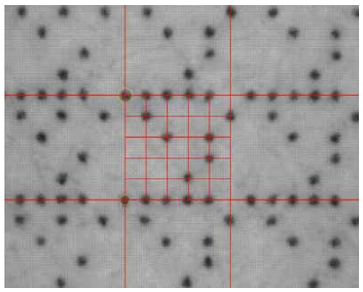
2.2. Afaya 사의 Pen 코드와 U-Learning 시스템

그림 2 는 Afaya 의 코드 인쇄 방식을 보이고 있다 [4]. Afaya-Pen system 에서는 CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) 잉크 중에서, K 잉크를 사용하여 데이터 패턴을 생성하고 그 위에 K 잉크를 제외한 나머지 CMY 잉크를 사용하여 그림 및 글자를 인쇄한다. 이때 CMYK 잉크는 IR (infrared) 필터를 통과할 경우 K 를 제외한 다른 색은 보이지 않는다. 엄밀히 말하자면 IR 필터는 주로 탄소에 반응하고, K 잉크를 제외한 다른 잉크에는 탄소가 포함 되지 않기 때문에 IR 필터를 사용한 이미지 센서에서는 K 잉크만 인식 한다. Afaya 에서는 이를 Two-Printing 프로세스라 하여 CMY or CMY + Near-K Layers 와 K Layers 두 개의 Layers 를 이용한 인쇄 저작물을 생성한다.



(그림 2) Two Layers Printing 프로세스

그림 3 은 IR 필터를 사용하여 인식된 Afaya 사의 6x6 Dot point U-Learning Pen 코드이다. Afaya 시스템의 인쇄는 K Layer 에 2400 dpi Image Setter 를 설정하며, 하나의 패턴은 6×6 dot 크기를 가지며 상하 5 개의 연속된 점 패턴을 통해 패턴의 위치를 파악 하며 각 패턴 간에는 좌우 한 dot point 간격의 guide space 를 설정 하여 간 패턴 간의 간섭을 방지 하였다.

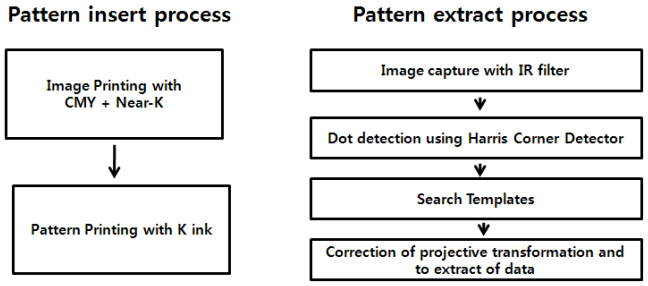


(그림 3) 6x6 Dot point U-Learning Pen 코드 패턴

원활한 인식을 위해 적절한 인쇄 강도가 요구되며 CMY or CMY + Near-K Layers 인쇄가 마른 후 K Layer 에 대한 인쇄가 요구되며 Art Coated Paper 가 권장 된다. 코드 구조상의 문제로 인해 많은 용량의 데이터를 저장 할 수 없다는 단점이 있다.

3. 제안하는 시스템

제안하는 시스템의 저작 물을 제작 하기 위하여 먼저 인쇄물의 내용을 CMY 와 Near-K 로 정의 된 잉크를 사용하여 인쇄 한다 [5]. 인쇄물의 내용이 적용된 후 그 위에 정보가 필요한 위치에 패턴 데이터를 K 잉크를 사용하여 인쇄함으로 인쇄물에 점 패턴을 삽입 한다. 그림 4 는 점 패턴의 삽입 및 추출의 프로세스를 보여준다.

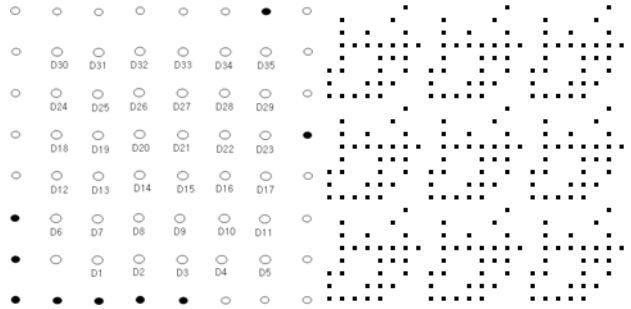


(그림 4) 패턴 삽입&추출 프로세스

인쇄물의 점 패턴의 추출 및 인식은, (1) IR 필터를 통한 영상 촬영, (2) Harris Corner Detector 를 이용한 점 검출, (3) 템플릿 검색, (4) 사영변환의 보정 및 데이터 추출의 4 단계로 순차적으로 이루어 진다.

3.1. 최대 정보용량 제공을 위한 점 패턴의 설계

제안하는 Mesh 기반의 코드는 그림 5(a)와 같은 워터마크의 구성으로 검은 점과 흰 점은 각각 해당 위치에 점이 찍혔는지 여부를 표시한다. 본 워터마크는 8x8 크기의 격자를 사용하며, 그 중 외곽선 영역은 템플릿으로서 Projective Transformation 을 보정하기 위한 용도로 사용한다. 이 정보는 촬영 위치에 의한 영상의 회전이나 뒤틀림을 감지하고 인식하는 부분이며, 내부의 데이터를 추출하는 기준이 되는 정보를 제공한다. 구체적으로, 왼쪽 아래 부분의 " L" 형태를 템플릿으로 사용하여, 오른쪽 상단의 검은 점 2 개는 추출한 템플릿이 정확한 것인지 확인하는 용도로 사용한다.

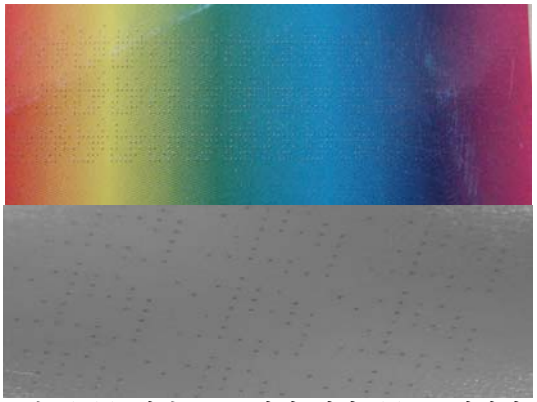


(그림 5) (a) 제안하는 코드 구성, (b) 0x53F24 의 값 구성 예

내부의 6x6 의 영역 (36bit)은 데이터 영역으로 20 비트의 데이터와 함께, 15bit 의 FEC (Forward Error Correction)을 추가하여 35bits 를 삽입한다. 이 때 1 을 삽입하기 위해서는 해당 위치에 점을 찍고, 0 을 삽입하기 위해서는 해당 위치를 비운다. 데이터의 삽입 순서는 20bit 의 데이터를 순차적으로 4bits 블록으로 나누어 각각 3bit 씩 CRC 를 추가하여 35bit 의 결과를 그림 5(a)와 같이 아래부터 오른쪽으로 순차적으로 삽입한다. 그림 5(b)는 0x53F24 의 20bit 데이터를 표현하기 위한 코드 구성을 표시하고 있다. 그림은 가독성을 위하여 점의 크기를 크게 하였는데, 실제로 점의 크기는 프린터가 찍을 수 있는 가장 작은 크기로써, 실험에 사용한 실제 점의 크기는 반지름이 0.032mm 로 구성하였다.

3.2. K 잉크 기반의 점 패턴 삽입

본 논문을 통해 제안하는 학습 시스템은 Afaya 사의 U-Learning Pen 시스템에서도 적용된 Two-Printing Process 를 사용 하였다. CMYK 잉크는 IR 필터를 통과할 경우 K 를 제외한 다른 색은 보이지 않는 특성이 있다. 이를 이용하여 미세한 크기의 코드 패턴을 삽입하여 학습자의 눈을 통한 패턴의 인지를 최소화 하였다. IR 필터는 주로 탄소에 반응하고, 검은색을 제외한 다른 색의 잉크에는 탄소가 포함되어 있지 않기 때문에 IR 필터를 사용하는 CCD 에서는 검은색 잉크만 인식한다. 그림 (a)는 일반적인 인쇄물에 점 패턴을 적용한 결과이고 그림 6(b)는 이를 IR pass 필터를 이용하여 촬영한 영상이다.

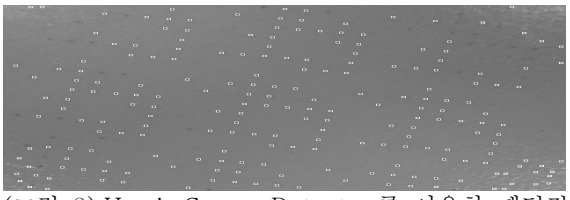


(그림 6) (a) 패턴 코드 삽입 영상, (b) IR 필터영상

3.3. Projective Transformation 기반의 점 패턴 추출

코드의 스캔 위치에 따라 영상이 기하학적으로 뒤틀렸을 때 정확한 코드정보 획득을 위하여 위치 정보에 대한 보정이 필요 하다. 코드의 위치정보를 보정 하기 위하여 먼저 각 점 패턴을 검출하여 그 위치 정보를 토폴로지 기반의 그래프를 생성하여 이를 통해 위치 정보를 보정할 수 있는 템플릿을 찾아 이를 이용하여 Projective Transformation 을 통해 정보 데이터를 얻는다.

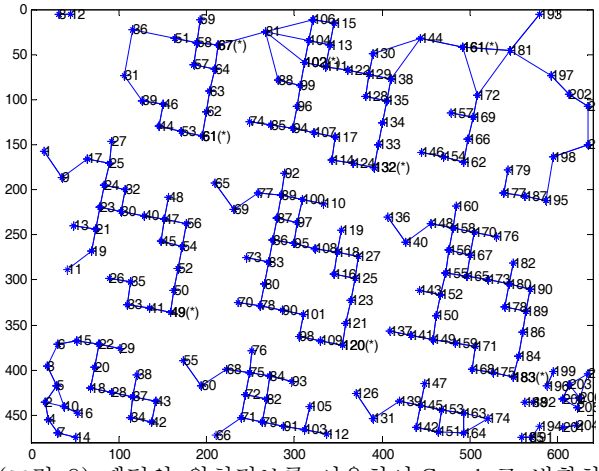
먼저 패턴검출을 위하여 Harris Corner Detector 를 사용하여 각 점에 대한 위치정보를 파악 한다. 그림 8 은 Harris Corner Detector 를 통하여 얻어진 위치 정보를 흰색 사각형의 형태로 표현 한 것이다.



(그림 8) Harris Corner Detector 를 이용한 패턴검출

Harris Corner Detector 는 영상의 특징 점을 추출 하는 방법중의 하나로 코너 점을 영상의 특징 점으로 파악하고 이를 이용하여 영상 및 카메라의 위치 보정에 사용된다. 각 점의 위치정보를 X 축과 Y 축으로 하는 도표상의 점으로 표현하여 서로간의 거리 및 이웃 점간의 거리에 대한 임계값을 구할 수 있으며 이웃 점과의 관계 정보를 통하여 템플릿을 확인 할 수 있다.

그림 9 는 Harris Corner Detector 의 결과로 나온 위치정보를 토대로, Graph 를 구성하고 템플릿을 검색한 결과이다. Graph 의 생성 방법은 임의의 한 점과 가장 가까운 점과, 최소 거리의 1.2 배 이하인 점을 인접행렬 형태로 구성하였다. 이유는 위와 같은 정보가 없는 경우, 임의의 한 점이 템플릿인지 아닌지 판단하기 위해서는 다른 모든 점들간의 관계를 확인해야 하지만, 위 정보를 토대로 검색 영역을 줄일 수 있기 때문이다. 자세한 방법은 앞 단계에서 구성한 Graph 를 이용하여, 깊이 우선탐색 (DFS: Depth First Search)을 하는 것이다. 이때 하위 노드가 여러 개 존재하는 경우, 원점과 현재 노드의 기울기와 원점과 하위 노드의 기울기 차가 가장 적은 노드를 추가하고 검색한다.



(그림 9) 패턴의 위치정보를 이용하여 Graph 로 변환하고 템플릿을 검색한 결과

임의의 점이 템플릿의 기준점으로 판단하면, 템플릿의 현재 모양을 기준으로, 수직으로 얼마, 수평으로 얼마씩 떨어져서 점들이 분포하고 있는지 확인할 수 있다. 이때, 수직 수평의 기준은 영상을 촬영한 결과가 아니라, 원래 초정

밀 점 패턴을 기준으로 하기 때문에, 왼쪽 아래에 수평으로 존재하는 5 개의 점으로부터 수평 증가분을, 왼쪽에 수직으로 있는 3 개의 점으로부터 수직 증가분을 계산한다. 수평으로 존재하는 점의 집합을 H{h(1), h(2), h(3), ~ h(n)}라 하고 수직으로 존재하는 점을 V{v(1), v(2), ~ v(m)}라 하고 템플릿의 기준범을 P, 수평 증가분을 LH, 수직 증가분을 LV 라 했을 때 다음과 같은 알고리즘으로 표현 할 수 있다.

Algorithm: Template based Data Decoding
If (H == 5 && V == 3) then
    LH = [h(5) - h(1)]/4
    LV = [v(3) - v(1)]/2
End

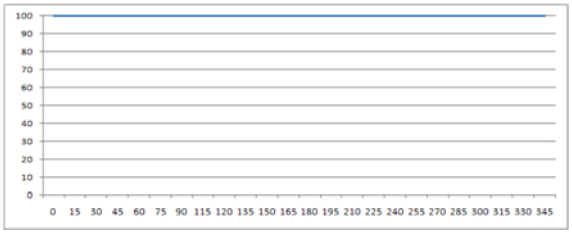
수직/수평 증가분을 통해서, 원하는 위치에 데이터를 획득할 수 있게 되는데, 예를 들어 설명하면, 그림 5(a)의 D8의 위치에 해당하는 데이터를 가져오기 위해서는 다음 식과 같이 해당 위치를 구할 수 있다. Find(D8) = P + LH*3 + LV *2 이와 같은 방법으로 D1~D35 까지 순차적으로 점의 위치를 추출하고, CRC 코드를 이용하여 에러를 정정한 20bit 를 출력으로 보낸다.

4. 성능 실험

제안된 코드의 성능 검사를 위해 위상 변화에 따른 코드 패턴 인식률과 Salt and Pepper Noise 를 코드에 삽입하여 코드의 오염에 따른 인식률의 변화에 대하여 실험 하였다. 실험환경은 Intel Xeon CPU E5506, 8GB RAM, Window7 64bit 의 사양에 MATLAB R2009 을 통하여 환경설정 하였다.

4.1. 위상변화에 따른 코드 패턴인식

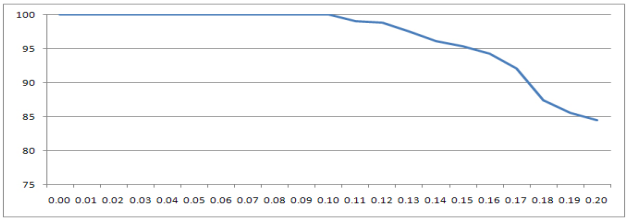
제안된 코드를 다양한 각도로 코드를 로테이션 한 후 생성된 코드 정보가 로테이션 되기 전의 코드와 일치 하는지를 실험 해 보기 위하여 임의의 데이터가 삽입된 코드를 만개씩 생성하여 MATLAB 함수를 이용하여 위상을 변화 시킨 후 degree 15 의 단위로 변화를 주었을 때의 생성된 데이터의 값이 정확하게 인식 되는지에 대한 인식률을 확인해 보았다. 그림 10 에서 보듯이 제안된 코드는 어떠한 위치에서 코드를 스캔 한다 하여도 100%의 인식률을 유지 하였다. 이는 토폴로지 기반의 템플릿을 이용하여 코드의 위상이 변화 된다 하여도 원래의 위치정보를 복원하여 정확한 데이터를 추출해 낼 수 있기 때문이다.



(그림 10) 위상 변화에 따른 패턴 코드 인식률

4.2. 이미지 손상에 따른 코드 패턴인식

제안된 코드에 Salt and Pepper Noise 를 삽입하여 패턴 코드 이미지에 손상을 준 후 이를 보정하여 엄마나 정확한 데이터를 얻을 수 있는지 검증 하는 절차이다. 실험을 위해 임의의 데이터가 삽입된 코드를 만개씩 생성하여 Noise 밀도를 0 에서부터 0.01 씩 증가 시켜 변화되었을 때, 생성된 데이터의 값이 정확하게 인식 되는지에 대한 인식률에 대해 확인했다. 그림 11 에서 보듯이 밀도가 0.10 까지는 100%의 인식률을 보이나 점차 인식률이 급격히 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 Noise 의 양이 패턴에 적용된 오류 정정범위와 필터링 범위를 초과 했기 때문에 코드를 정확하게 인식 하지 못하는 경우가 생기게 된다



(그림 11) Noise 에 따른 패턴 코드 인식률

5. 결론

본 논문은 미세한 코드 패턴을 종이 학습지에 입혀 코드에 따라 정의된 데이터를 이용하여 학습자의 학습에 도움을 주는 시스템을 설계 하였다. 특이 기존에 사용되던 종이 인쇄물에 코드 패턴만 인쇄하여 적용 할 수 있는 장점이 있다. 제안 된 시스템을 사용하여 학습을 할 경우 학습자의 정보와 데이터 베이스 상의 정보를 토대로 학습자의 학업 성취도와 학습상태 취약점 등을 파악 할 수 있다. 제안된 패턴 코드는 교육뿐만 아니라. 패턴 코드를 통한 정보 검색 및 정보 전달을 통하여 여러 다른 매체에 적용 할 수 있다. IR 필터의 특성상 탄소를 포함한 물질에 대해서 인식을 함으로 잉크가 아닌 다를 물질을 사용하여서도 패턴의 표현이 가능할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 중소기업청 중소기업기술혁신개발사업 통신/방송 융합형 기기를 위한 인터액티브 기술 개발과제 ㈜ 제노젠 주관)의 연구결과로 수행되었음

REFERENCES

[1] Keinosuke and Fukunage, “ Introduction to Statistical Pattern Recognition”, (Computer Science and Scientific Computing Series), Academic Press, 1990, pp. 300-364.

[2] Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stork, “ Pattern Classification”, Wiley Interscience, 2000, pp. 215-281.

[3] 이원찬, 김정철, 홍기천, "이미지 캡처 시스템을 이용한 바코드 데이터 분석", 한국정보과학회 가을 학술발표 논문집 Vol. 31, No. 2, pp. 799-801, 2004. 10.

[4] www.afaya.com.tw

[5] Ming Fu and Oscar Au, “ Data Hiding Watermarking for Halftone Images”, IEEE Transactions on Image processing, Vol.11, No. 4, pp. 477-484, 2002. 4.