J-Code: 타일링하여 배경으로 사용할 수 있는 2차원 닷 코드*

한창훈[O1], 현호혁[1], 우승문[1], 박행운[2], 이정준[1]
[1]한국공학대학교 컴퓨터공학부, [2]㈜더코더
han.chang.hoon@tukorea.ac.kr, henry@thecoder.co.kr, {2023156036, smwoo529, jjlee}@tukorea.ac.kr

J-Code: A Tileable 2D Dot Code for Backgrounds

Changhoon Han[O1], Hohyuk Hyeon[1], Seungmoon Woo[1], Henry Park[2], Jeong-Joon Lee[1]
[1]Department of Computer Engineering, Tech University of Korea,
[2]The Coder Co., Ltd.
han.chang.hoon@tukorea.ac.kr, henry@thecoder.co.kr, {2023156036, smwoo529, jjlee}@tukorea.ac.kr

요 약

최근 제품 추적 및 가품 방지를 위해 다양한 형태의 2차원 코드 활용이 증가하고 있다. 그러나 기존 QR 코드, 데이터 매트릭스 등은 파인더 패턴의 이질성으로 인해 시각적 균일성이 떨어지며, DotCode는 여백 문제와 가로세로 비율 제한으로 확장하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 파인더 패턴과 데이터 영역 모두 동일한 형태의 닷(dot)으로 구성된 새로운 2차원 닷 코드 J-Code를 제안한다. 제안된 코드는 네 모서리에 각각 4개, 3개, 3개, 3개의 닷으로 구성된 고유한 파인더 패턴을 배치하여 코드의 위치와 방향을 식별하며, 데이터 영역은 닷의 유무로 2진 정보를 표현한다. 파인더 패턴과 데이터 닷의 형태가 동일하여 시각적 균일성이 뛰어나며, 코드 간 여백을 최소화하여 타일링(Tiling) 방식으로 매끄럽게 확장할 수 있다. 또한 가로 및 세로 비율을 자유롭게 설정할 수 있어 다양한 크기와 형태의 표면에 적용 가능하다. 본 논문에서는 J-Code의 설계 구조와 특징, 그리고 닷 기반 파인더 패턴을 효율적으로 검출하고 데이터를 디코딩하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 코드는 균일성과 확장성 측면에서 강점을 가지며, 다양한 산업 분야의 제품 추적, 보안, 디자인 통합 등에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

최근에는 2차원 코드 적용 대상이 단순 공산품을 넘어 화장품, 의약품, 정밀 부품, 심지어 식료품에 이르기까지 광범위하게 확대되고 있다[1][2][3][4]. 예를 들어, 고가의 화장품 용기나 의약품 포장에는 정품 확인 및 유통 경로 추적을 위한 코드가 필수적으로 적용되고 있으며, 자동차나 전자기기의 복잡한 부품에도 생산 정보 및 품질 관리를 위한 코드가 각인되고 있다. 그에 따라 다양한 크기와 모양의 제품의 표면에 표현 가능한 형태의 코드와 배경 이미지로 사용이 가능한 코드의 개발이 필요해지고 있다[5].

현재 널리 사용되는 QR 코드(Quick Response Code)는 높은 정보 밀도와 우수한 인식률을 제공하지만, 몇 가지 구조적인 한계점을 지닌다[6]. QR 코드의 세 모서리에 위치한 파인더 패턴은 코드 내부의 데이터 셀(모듈)과 형태 및 크기가 확연히 다르다. 이러한 이질적인 파인더 패턴은 코드 전체의 시각적 균일성을 저해하며, 특정 환경에서는 눈에 잘 띄어 타일링 배경 이미지로 사용하기에 부적합하다. 이러한 요구사항을 충족시키기 위해서는 코드 자체의 형태적 유연성이 중요하다. 예를 들어, 다양한 가로·세로 비율을 지원하고, 여러 개의 코드를 타일처럼 이어 붙여 넓은 영역을 균일하게 채울 수 있어야 한다. 더불어, 코드가 제품의 미관을 해치지 않거나 특정 디자인과 조화를 이루어야 하는 경우도 고려해야 한다.

점(Dot)으로만 구성된 DotCode는 QR 코드에 비해 파인더 패턴이 눈에 덜 띄는 장점이 있지만, 다음과 같은 제약 조건을 가진다. 첫째, 안정적인 인식을 위해 코드 주변에 최소 닷 크기의 3배 이상의 빈 여백(Quiet Zone)을 확보해야 한다. 이는 코드를 서로 가깝게 이어 붙이는 타일링을 어렵게 만들고, 결과적으로 코드 배열의 연속성과 공간 효율성을 떨어뜨린다. 둘째, 코드의 가로 및 세로 닷 개수 구성에 제약이 있다. 한 변의 닷 개수가 홀수이면 다른 한 변은 반드시 짝수여야 하는 규칙 때문에, 임의의 가로세로 비율을 자유롭게 구현하기 어렵다[7].

본 논문에서는 동일한 형태의 닷(Dot)으로만 데이터 영역을 비롯한 모든 요소를 구성하여 시각적으로 균일하며, 이질적인 파인더 패턴이 없고, 주변 여백이 불필요한 타일링 방식으로 자유롭게 확장 가능한 새로운 2차원 코드인 J-Code를 제안한다. 그리고 디코딩 알고리즘을 제안하여 실제 사용 가능성을 높이고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장 관련연구에서는 기존 2차원 코드들의 특장점을 비교 분석하고, 제 3장에서는 기존 2차원 코드의 단점을 극복하는 J-Code의 설계에 대해 설명하고, 제 4장에서는 J-Code의 디코딩 알고리즘을 제안한다.

* 본 논문은 '(주)더코더'의 지원을 받아 작성되었습니다.
* 본 연구는 2026 년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 'SW 중심대학사업 ' 지원을 받아 수행 되었습니다.(2025-0-00050)

2. 관련 연구

2.1. QR 코드

파인더 패턴의 이질성은 여러 개의 코드를 연속적으로 배열하는 타일링(Tiling) 방식 확장에 제약을 야기한다. [그림 1]과 같이 QR 코드를 이어 붙이면, 파인더 패턴이 위치한 부분과 데이터 영역이 반복되면서 전체적으로 매우 불규칙하고 비균일적인 패턴이 생성된다. 이는 넓은 영역을 일관된 패턴으로 채우고자 하는 요구사항을 만족시키기 어렵게 만든다.



그림 1. QR 코드의 타일링 배치

2.2. DotCode

DotCode는 코드의 안정적인 검출 및 디코딩을 위해 코드 주위에 최소 닷(Dot) 지름의 3배에 해당하는 빈 여백 공간을 요구한다. 이는 [그림 2]와 같이 여러 개의 DotCode를 배열할 때 코드 사이에 상당한 간격이 발생하게 만든다. 따라서 코드를 조밀하게 이어 붙여 연속적인 패턴을 형성하는 자연스러운 타일링 방식의 확장이 어렵다. 이는 공간 효율성을 저하시키고, 넓은 면적을 균일하게 코드로 덮는 응용에 부적합하다.

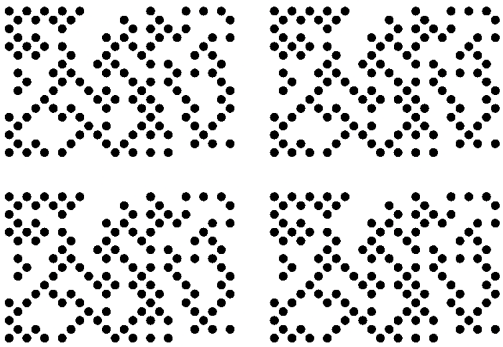


그림 2. DotCode의 타일링 배치

3. J-Code의 설계

3.1. 설계

설계는 다음 두 가지 핵심 원칙에 기반한다.

- 코드 내 모든 시각적 요소는 동일한 형태와 크기의 닷으로 구성한다. 파인더 패턴과 데이터 영역의 닷이 구별되지 않도록 하여 전체적인 패턴의 균일성을 확보한다.
- 코드 간의 여백 요구 사항을 최소화하여 타일링 방식으로 배열했을 때 자연스럽게 연결되도록 하며, 임의의 가로세로 비율 설정이 가능하도록 설계한다.

이러한 원칙에 따라 설계된 J-Code의 기본 구조는 [그림 3]과 같다. 그림은 가로 14개, 세로 14개의 닷으로 구성된 J-Code의 예시를 보여준다. 녹색으로 표시한 부분은 파인더 패턴이며, 좌상단은 4점, 나머지는 3점으로 구성된다. J-Code는 DotCode와 같이 코드 전체를 둘러싸는 넓은 전역 여백(Quiet Zone)을 요구하지 않으며, 파인더 패턴의 안정적인 검출을 위해 각 파인더 주변으로 한 칸의 국소 여백만을 확보한다. 파란색 영역은 데이터가 들어가는 영역으로, 숫자를 이진수로 변환하여 좌상단부터 우측 방향으로 순서대로 점이 배치된다. 빨간색 영역은 체크섬 영역으로, 데이터를 정상적으로 인식했는지 판단하며 데이터 영역의 값을 기반으로 생성된다. 모든 닷은 동일한 크기와 모양을 가진다.

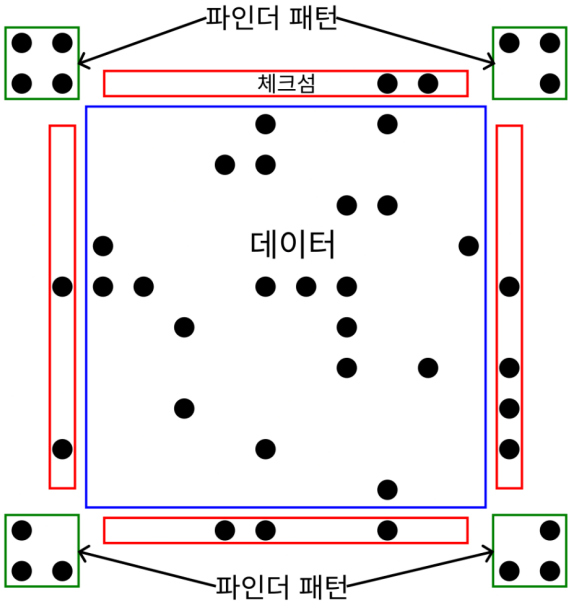


그림 3. J-Code의 구조

이렇게 만들어진 J-Code를 계속해서 이어붙이면 [그림 4]와 같이 여러 개의 J-Code가 거의 간격 없이 격자 형태로 배열된 모습을 보여준다. 파인더 패턴이 데이터 닷과 동일한 형태로 구성되어 있어, 전체적으로 균일하고 연속적인 패턴을 형성한다. [그림 1] 및 [그림 2]와 비교하여 시각적 균일하며 파인더 패턴 주변에 DotCode와 같은 눈에 띄는 여백이 없는 것을 확인할 수 있다.

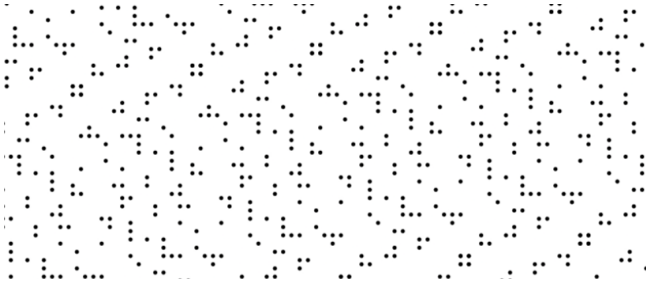


그림 4. J-Code의 타일링

4. J-Code 디코딩 방법

입력된 이미지에서 J-Code를 찾아내고 저장된 데이터를 추출하는 디코딩 과정은 크게 파인더 패턴 검출, 원근 변환, 데이터 추출 및 검증 단계로 구성된다. [그림 5]는 디코딩 과정의 흐름도를 보여준다.

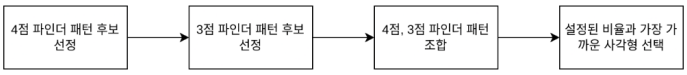


그림 5. 디코딩 흐름도

먼저 4개의 닷으로 구성된 클러스터 중에서, 네 점을 연결했을 때 정사각형에 가까운 모양을 가지는 클러스터를 좌상단(TL) 파인더 패턴 후보로 선정한다. 그 다음 3개의 닷으로 구성된 클러스터 중에서, 세 점을 연결했을 때 이등변 직각삼각형에 가까운 모양을 가지는 클러스터를 나머지 세 파인더 패턴(TR, BL, BR) 후보로 선정한다. 선정된 좌상단 후보(4점) 1개와 나머지 세 패턴 후보(3점) 3개를 조합하여 사각형을 형성하는 경우의 수를 탐색한다. 이때, 미리 설정된 코드의 가로세로 비율 정보를 활용하여 유효한 조합을 필터링한다. 예를 들어, (TL, TR, BL, BR) 네 점으로 형성되는 사각형의 변 길이 비율 (TR-TL) / (BL-TL) 이 예상 가로세로 비율과 유사한 조합을 우선적으로 고려한다.

이 비율 기반 필터링은 여러 J-Code가 여백 없이 인접하여 배열된 타일링 환경에서, 디코더가 인접한 다른 코드의 파인더 닷과 잘못 결합하는 것을 방지하는 역할도 한다. 즉, 단일 코드의 예상 비율에 부합하는 조합만이 유효한 사각형으로 채택되므로, 코드 간 경계가 명시적으로 분리되지 않더라도 각 코드를 독립적으로 식별할 수 있다.

여러 개의 유효한 사각형 조합 후보 중에서, 네 점이 가장 이상적인 사각형 형태를 이루는 조합을 최종 파인더 패턴 세트로 결정한다. 이후 원근 변환과 체크섬을 통해 최종 데이터를 추출한다.

5. 성능 평가

[그림 1]에서 보듯이 QR 코드를 타일링하면 이질적인 파인더 패턴이 반복되어 전체적으로 매우 불균일한 패턴이 생성된다. 이는 시각적으로 산만하여 특정 응용에는 부적합하다. J-Code는 파인더 패턴이 데이터 닷과 동일한 형태로 구성되어 있어, 타일링 시에도 전체 패턴의 균일성이 유지된다. 이는 디자인적 통합이나 대면적 코딩에 매우 유리한 특성이다.

또한 [그림 2]에서 볼 수 있듯이 DotCode는 안정적인 인식을 위해 코드 주변에 닷 크기의 3배 이상에 달하는 넓은 여백(Quiet Zone)을 필요로 한다. 반면, J-Code는 파인더 패턴이 코드 경계를 명확히 정의하므로 주변 여백 요구 사항을 최소화할 수 있다. 따라서 [그림 4]와 같이 코드를 매우 가깝게, 혹은 거의 틈 없이 이어 붙여 균질하고 연속적인 패턴을 형성하는 것이 가능하다.

디코더의 성능 측면에서, 예비 실험을 통해 카메라를 코드 평면에 대해 약 60도까지 기울인 상태에서도 인식이 이루어지는 것을 확인하였다. 이는 비스듬한 각도에서 발생하는 원근 왜곡 환경에서도 디코더가 코드의 기하학적 구조를 복원할 수 있음을 시사하며, 사용자가 코드를 정면으로 정확히 조준하기 어려운 실제 사용 환경에서 이점으로 작용할 수 있다.

또한 [그림 3]과 같이 J-Code는 네 모서리에 파인더 패턴을 배치하되, 좌상단에만 다른 세 패턴과 구별되는 고유한 4점 파인더 패턴을 두어 코드의 방향을 명확하게 정의한다. 이 비대칭적인 기준 패턴 덕분에 디코더는 코드가 회전되어 있더라도 좌상단 기준점을 식별하여 방향을 판별할 수 있다. 예비 실험에서 카메라를 임의로 회전시킨 상태에서도 코드가 인식되는 것을 확인하였다.

6. 결론 및 향후 연구

타 코드들의 배경 이미지 사용성의 한계를 극복하고자 동일한 닷을 이용하며 가로 세로 비율이 자유로운 타일링이 가능한 2차원 J-Code의 설계와 디코딩 알고리즘을 제안했다. 한 가지 종류의 닷을 이용하여 파인더, 데이터, 체크섬을 모두 표현하고 주변 여백이 불필요하여 타일링을 통한 확장을 통해 배경 이미지로 사용 가능한 코드를 제안하였다. 이것은 모양과 크기가 다양한 용기와 패키지 표면 배경 이미지로 사용 가능할 것으로 사료된다.

현재 디코더는 코드의 내부 데이터 영역 크기를 사전에 입력받아야 정상적인 디코딩이 가능하다. 즉 데이터 영역의 크기가 달라질 경우 해당 크기 정보를 디코더에 별도로 지정해 주어야 하며, QR 코드와 같이 코드 자체의 크기를 자동으로 판별하지는 못한다. 향후에는 파인더 패턴과 데이터 닷의 배치로부터 데이터 영역의 크기를 자동으로 추정하는 알고리즘을 연구하여, 사전 정보 입력 없이도 다양한 크기의 J-Code를 인식할 수 있도록 디코더를 개선할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 최용정, 정상윤, "제약 공급망에서 의약품 유통 이력추적에 관한 연구", 한국컴퓨터정보학회논문지, 제20권, 제2호, 197-208쪽, 2015.02.
2. 박선혜, "코로나19 속 RFID 전성시대...의료·약품서도 필수", 약업신문, 2020.10.05.
3. M. M. Aulia, N. Saha, and M. M. Rahman, "Protected QR Code-based Anti-counterfeit System for Pharmaceutical Manufacturing," arXiv, 2024.04.11.
4. 주형준, "QR코드로 식품표시 등 정보 제공부터 이력관리까지", 메디컬프라임, 2023.03.21.
5. 농촌진흥청, "형광실크 이용 정품인증 가능한 식별자 개발", 2022.08.02.
6. ISO/IEC, "Information technology — Automatic identification and data capture techniques — QR Code bar code symbology specification," ISO/IEC 18004:2024, International Organization for Standardization, 2024.08.15.
7. AIM, "ISS DotCode Symbology Specification 4.0," Association for Automatic Identification and Mobility, 2019.