

칼라 QR코드의 패턴 종류에 따른 인식 성능 비교

(Comparison of Recognition Performance of Color QR Codes for Inserted Pattern Information)

김진수^{1)*}

(Jin-soo Kim)

요약 현재 광고 분야 등에 널리 사용되고 있는 흑백 QR코드의 정보 저장 용량을 증가시키기 위해 칼라 QR코드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 칼라 QR코드는 프린팅 또는 스캐닝 과정에 의해 복제가 될 수 있으며, 이 과정에서 불충분한 조도에 의한 색상 왜곡과 잡음, 카메라의 낮은 해상도와 기하학적 변형의 가능성이 있다. 이러한 일련의 복합적인 과정들은 품질 저하와 인식을 저하를 초래한다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 칼라 QR코드에 패턴 삽입을 고려하고, 이를 위한 효과적인 인식 방법을 제안한다. 또한, 제안한 방법을 통해 기존에 다루어진 대표적인 패턴을 도입하고, 인식을 측면에서 실험을 수행하여 그 결과를 비교 분석한다. 즉, 인식과정에 있어서 쉽게 초래되는 가우시안 잡음과 블러링, 기하학적 변형 등의 잡음을 고려하여 성능을 비교 분석한다. 다양한 실험을 통해 가우시안 잡음과 블러 측면에서 단순한 패턴의 칼라 QR코드가 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

핵심주제어: 칼라 QR코드, 패턴, 왜곡

Abstract Currently, the black-white QR (Quick Response) codes have been used widely in consumer advertising fields and the study of color QR codes have received a growing demand because of much higher data encoding capacity. Color QR codes can be reproduced by the printing and scanning processes, however, these encounter colors distortion caused by insufficient lighting, low resolution of camera and geometric deformation during the capturing processes. In order to overcome these problems, this paper proposes an efficient decoding algorithm for color QR codes with inserted patterns, which are dealt with conventional studies. These are evaluated in view of the recognition rate under different noise conditions, for example, Gaussian noises/blurring and geometric deformation. Experimental results demonstrate that the color QR codes with simple pattern can resist the distortion of Gaussian noises/blurrings.

Keywords: Color QR code, Pattern, Distortion

1. 서론

현재 실생활에 널리 사용되고 있는 흑백 QR (Quick Response) 코드는 1994년에 제안되어 2000년에 국제 표준으로 정의되었다. 스마트폰의

* Corresponding Author: jskim67@hanbat.ac.kr

Manuscript received April 27, 2022 / revised May 27, 2022 /
accepted June 02, 2022

1) 국립한밭대학교 지능미디어공학과, 제1저자

보급으로 빠른 속도로 디코딩될 수 있는 장점이 있어 현재 다양한 분야에 사용되고 있다. 최근에는 광고, 명함, 포스터, 상표 등으로 사용 영역이 크게 확대되었다. 그러나 흑백 QR코드는 흑과 백으로 1비트의 정보를 표현하기 때문에 포함할 수 있는 정보량은 매우 제한적이어서 이를 극복하기 위해 칼라 QR코드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Melgar et al, 2012).

그러나 칼라 QR코드는 기존 흑백 QR코드와 달리 디코딩 과정에서 색상 구분을 위한 추가적인 구현 복잡도, 속도 저하 그리고 색상 왜곡 등이 발생할 수 있다. 프로세서와 신호처리 기술의 발전에 의해 디코딩 속도 문제는 쉽게 해결되고 있다. EI-Sheraf et al (2020)은 RGB로 이진 정보의 다중화를 통해 정보 저장 용량을 늘리면서 고속 처리 알고리즘인 FMT (Fast Multiplexing Technique)를 제안하였다(Fu et al, 2020). 칼라 QR코드를 캡처해서 디코딩하는 과정에는 기하왜곡과 더불어 색상 왜곡은 필연적으로 초래되는데, Andre and Ferreira (2014)은 색상의 개수가 증가함에 따라 색상 간의 차이가 작아지고, 이에 따른 비트 인식률 특성을 분석하였다. Querini and Italiano (2014)은 칼라 표현에 따른 정보 저장 용량과 신뢰성 특성을 분석하였다. 이러한 분석은 온라인 환경에서는 색상 왜곡이 크게 문제되지 않으나, 인쇄 매체를 통한 칼라 QR코드 인식에 대한 연구는 제한적이다.

그런데, 인쇄된 매체를 통한 칼라 QR 코드의 인식에 대한 기존 연구의 특징은 색상 및 기하학적인 왜곡을 허용하면서 인식률 특성과 개선에 초점이 맞추어 있다. 최근에는 칼라 QR코드의 색상 왜곡이 최소가 되도록 하면서 많은 정보량 삽입에 대한 연구가 진행되고 있다. Melgar et al (2016)은 다양한 칼라 코드를 제시하였으며, 그중에서 HCCB (High Capacity Color Barcode) 코드는 기존의 정사각형이 아닌 삼각형과 역삼각형, 그리고 4가지 색을 혼합하여 많은 정보량을 저장할 수 있는 모델을 제시하였다(Grillo et al (2010), Xu et al(2021), Choi et al (2020)). Kim (2021)은 기존 정사각형의 8색 모델과 패턴을 갖는 4색 모델을 비교 분석하였다(Choi et al (2018), Kim (2018)).

그러나 이러한 기존의 연구들은 칼라 QR코드의 색상 왜곡과 더불어 기하학적 왜곡에 강인한 패턴 형태 분석을 수행하지 않았다. 본 논문에서는 기하학적 왜곡의 강인성을 갖는 기존의 흑백 QR코드의 성질을 이용하면서 동시에 색상 잡음에 강인한 패턴의 칼라 QR코드에 대해 분석한다. 이를 위해 패턴이 있는 칼라 정보를 효과적으로 디코딩하는 알고리즘을 제안하고, 이를 바탕으로 가우시안 잡음 및 블러링, 기하학적 변형 등에 따른 인식률 특성이 어떠한지 다양한 실험을 통하여 성능을 비교 분석한다.

2. 기존 연구의 특징

2.1 흑백 QR코드의 구성과 인식 방법

현재 널리 사용되고 있는 흑백 QR코드는 Fig. 1

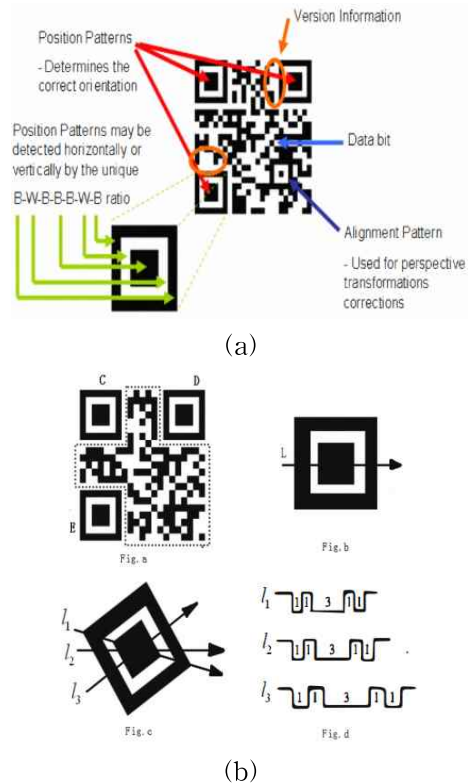


Fig. 1 QR Code Composition (Liao et al, 2010)
 (a) Position, Version, Alignment Patterns, and Data Bit
 (b) The Invariant Feature of Proportion of Detection Patterns

에 나타난 예시와 같이, 정사각형 모양의 영역에 흰색과 검은색으로 표시되는 이진 정보를 통해 포맷 정보, 버전 정보, 데이터 비트와 에러 보정 코드 등을 포함하는 구조를 갖고 있다(Liao et al, 2010). 현재까지 나와 있는 약 40종의 QR코드 버전은 좌상, 우상, 좌하에 있는 위치 패턴(Position Patterns)에 기초하여 QR코드 존재 여부를 결정하고 인식을 수행한다. Fig. 1(b)에서 위치 패턴은 C, D, E로 구성되며, l_1, l_2, l_3 등 다소 기울어진 방향으로 스캔하더라도 흑:백:흑:백:흑의 비율이 1:1:3:1:1 이 되는 조건을 만족하게 되면, QR코드의 국부화(Localization)와 데이터의 인식 과정이 진행된다. 이와 더불어 정렬 패턴(Alignment Pattern)은 원근 변환을 통한 보정에 사용함으로써 다양한 기하학적 왜곡이 발생하더라도 QR코드의 정보를 손쉽게 인식하고 추출할 수 있도록 한다.

2.2 기존 칼라 QR코드와 인식률 해석

기존의 흑백 QR코드는 흰색과 검은색을 이용하여 1비트의 정보를 나타내는 것에 반해, 칼라 QR코드는 다양한 색상으로 정보를 표현함으로써 단위 면적당 정보량을 증대시킬 수 있다. 예로써, 4가지 색을 사용하면, 단위 블록당 2비트의 정보 표현이 가능하고, 8가지 색으로 확장하면 3비트의 정보를 표현할 수 있게 된다. 그러나 Fig. 2에 나타난 것처럼, 칼라 QR코드는 캡처 및 인식 과정에서 매우 다양한 조도 환경과 잡음에 노출되어 인식 성능이 불안정하게 된다.



Fig. 2 Color QR Codes Captured by Different Snapshots (Melgar et al, 2012)

즉, 다양한 조도 환경에 따라 색상 잡음이 더해져 변이가 발생하고, 인식률 저하가 발생된다. Andre et al (2014)은 Fig. 3과 같은 색상 배치

(Color Constellation)를 구성하고, 각 색상에서의 변이, 색상 간의 거리 등의 정보를 활용하여, 백색 가우시안 잡음이 포함된 경우에 대한 비트 인식률을 최대 가능도 기준(maximum likelihood criterion)에 기초하여 해석하였다. (Andre et al, 2014)

$$r_p = erf_3\left(\frac{\epsilon}{\sigma\sqrt{32}}\right) \approx erf\left(\frac{\epsilon}{\sigma\sqrt{32}}\right) - \frac{2}{\sqrt{\pi}} erf\left(\frac{\epsilon}{\sigma\sqrt{32}}\right) \exp\left(-\left(\frac{\epsilon}{\sigma\sqrt{32}}\right)^2\right) \tag{1}$$

여기서, ϵ 은 Fig. 3의 색상 배치에서 인접한 색상 중심점 간의 최소 거리이고, $erf_3(.)$ 는 3차원 에러 함수를 나타내며, σ 는 각 색상의 잡음의 분산 값이다.

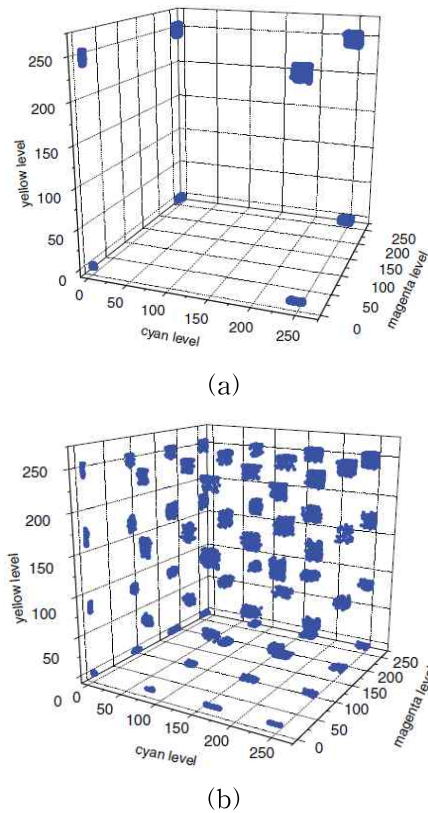


Fig. 3 Color Constellation Diagrams (Andre et al, 2014)
 (a) 8 Colors Multiplexing
 (b) 64 Colors Multiplexing

(1)에서 선택된 색상의 개수가 많아지면, 색상 중심점 간의 최소 거리 ϵ 은 작아져서 오인식은 증대되며, σ 는 캡처 장비와 조도 환경에 따라 매우 가변적이어서 예측이 쉽지 않다. 한편, Querini et al (2014)은 클러스터링 알고리즘과 기계학습 분류기를 포함하는 방법에 기초하여 색 성분 밀도와 신뢰성 사이의 절충점을 구하는 방법을 다양한 실험을 통해 분석하였다. 그러나 이러한 기존의 분석은 단순한 색상을 갖는 칼라 QR코드에 대한 연구로서 Fig. 1에 제시된 위치 패턴 및 정렬 패턴을 고려한 인식 특성은 반영되지 않았다 (Kim (2018), Kim (2021)).

3. 칼라 QR코드와 디코딩 알고리즘

3.1 패턴을 갖는 칼라 QR 코드

다수개의 색상으로 이루어진 칼라 QR코드는 캡처 장비, 조도 환경, 기하 왜곡 등에 따라 인식을 저하는 필연적으로 발생하게 된다. Fig. 4(a)는 전형적인 RGB 색상에 기초한 2비트 칼라 코드를 구성하는 예로써, 다양한 조도 환경에서 인식이 저하되는 문제점을 안고 있다. Fig. 4(b)는 기본적인 RGB 색상에 CMY (Cyan, Magenta, Yellow)와 BW(Black, White)를 포함하여 8가지 색을 추가한 3비트 코드의 예이다(Melgar et al, 2016). Fig. 3(a)에서 색상 배치에서 각 꼭지점에 해당되는 색상으로 구성되며, 색상간의 간섭에 의한 왜곡은 더욱 크게 발생할 가능성이 있다.

Fig. 4(c)에 나타낸 HCCB (High Capacity Color Barcode) 코드는 4개의 색상을 이용하되, 삼각형의 순방향과 역방향 패턴을 이용하여 8가지 (3비트) 정보를 표현하는 방법으로 고안되었다. 기존의 흑백을 이용한 1비트 정보 저장능력 개선에 초점이 맞추어졌다 (EI-Sheref et al, 2018). Fig. 4(d)는 RGB 색상과 십자모양의 색 채움과 비율 형태를 채용하여 기존의 정사각형 모양을 그대로 활용할 수 있는 방법으로 제시되었다. 이 방법도 8가지 (3비트) 정보를 표현하며, 정보 저장 능력의 개선에 주안점을 두고 있으며 효율성에 대해서는 검증되지 않았다 (Choi et al, 2020).

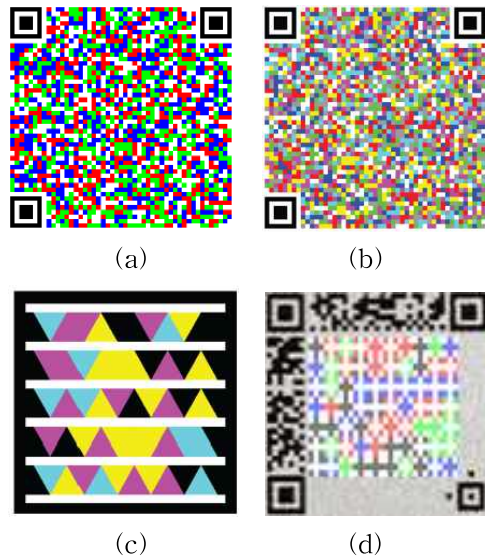


Fig. 4 Different Kinds of Color QR Codes

- (a) Typical RGB Color Code
- (b) RGB+CMY+BW Color Code (Melgar et al, 2016)
- (c) High Capacity Color Barcode (EI-Sheref et al, 2018)
- (d) Cross-type Color Code (Choi et al, 2020)

EI-Sheref et al (2020)은 다중화 색상의 개수에 따른 표현 가능한 비트량, 인코딩 및 디코딩 속도에 분석이 이루어졌으나 패턴이 있는 코드의 특성에 대한 분석은 이루어지지 않았다(Sabri et al(2020), Tsai et al(2020)). 본 논문에서는 패턴이 있는 칼라 QR코드에 대해 기하학적 왜곡, 색상 간섭, 블러링 왜곡 등에 따른 디코딩 알고리즘과 더불어 패턴의 인식 성능을 분석한다.

3.2 제안된 디코딩 알고리즘

Fig. 5에 나타낸 바와 같이, 패턴이 있는 칼라 QR코드에 대한 디코딩 과정은 기존의 흑백 QR코드에서 사용하는 절차와 유사한 과정으로 시작한다(Escriva et al, 2016). 먼저 칼라 QR코드가 캡처되면, 잡음 제거와 같은 간단한 전처리 과정이 적용된다. 전처리된 영상에서 3개의 꼭지점을 찾은 후에 방향 비율에 기초하여 3개의 위치 패턴을 탐색한다. 구해진 위치 패턴으로 데이터의 방향이 결정된다. 이렇게 해서 얻어진 사각형은

정사각형이 아니므로, bi-cubic 보간 기법의 원근 변환(perspective transform)에 기초해서 인식을 위한 정사각형 크기에 맞추어진다. 일정한 크기의 정사각형으로 변환되면, 데이터 정보는 색상과 패턴이 있는 기본 블록의 크기로 분할이 되며, 각 분할된 블록에 대해 패턴과 색상 비교에 의해 비트 정보를 추출하는 과정으로 구성된다.

패턴 정합(pattern matching)은 $R \times C$ 크기로 입력되는 기본 블록 I 에 대해 동일한 크기의 m 번째 샘플 패턴 P_m ($m=1, \dots, M$, M 은 패턴개수)에 대해 다음과 같이 피어슨 상관관계수 (Pearson Correlation Coefficient)를 구하여, 패턴 정보를 추출한다.

$$COR(I, P_m) = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (I^*(r,c) P_m^*(r,c))}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (I^*(r,c))^2} \sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (P_m^*(r,c))^2}} \quad (2)$$

여기서,

$$I^*(r,c) = I(r,c) - \mu_I \quad (3)$$

$$P_m^*(r,c) = P_m(r,c) - \mu_{P_m} \quad (4)$$

$$\mu_I = \frac{1}{RC} \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C I(r,c) \quad (5)$$

$$\mu_{P_m} = \frac{1}{RC} \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C P_m(r,c) \quad (6)$$

로 정의된다. 식(2)로 구해진 값들 중에 최대가 되는 인덱스 k 가 현재 입력되는 기본 블록의 패턴으로 선택된다.

$$k = \underset{m}{\operatorname{argmax}} COR(I, P_m), k \in \{1, \dots, M\} \quad (7)$$

입력된 기본 블록 I 에 대해 패턴이 결정되면, 색상 S_n ($n=1, \dots, N$, N 은 k 패턴의 색상개수)에 대해 유클리드 거리(Euclidean distance)를 측정하여 최소의 거리를 갖는 인덱스가 최종적인 부호 코드 (I_{code})로 얻어진다.

$$I_{code} = \underset{n}{\operatorname{argmin}} \|I - S_n\|, n \in \{1, \dots, N\} \quad (8)$$

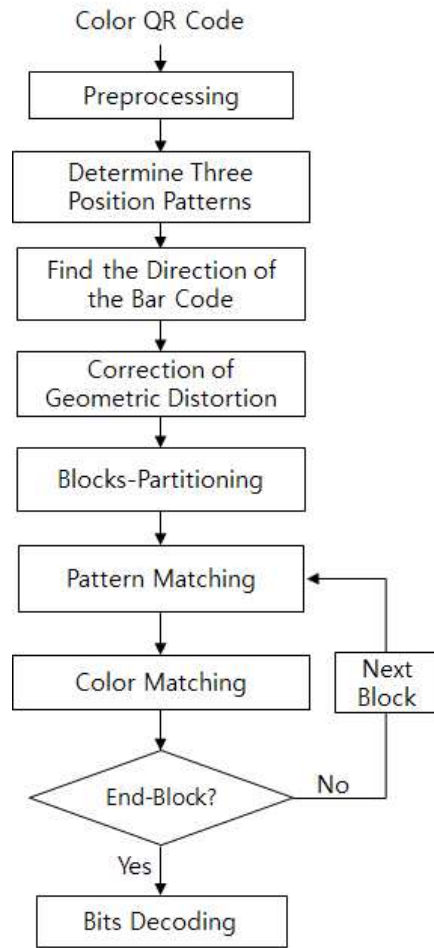


Fig. 5 Decoding Process with Pattern and Color Matching

4. 실험 결과 및 검토

패턴의 종류에 따른 컬러 QR코드의 성능을 분석하기 위해, 본 논문에서는 전형적인 세 가지 종류의 패턴을 정의하여 컬러 QR코드를 구성하였고, 가우시안 잡음 및 블러링, 시야각 특성 등의 관점에서 성능을 비교하였다.

4.1 패턴 구성과 실험조건

컬러 QR코드를 구성하는 가장 기본적인 블록 형태는 Fig. 4에 나타낸 기존 논문을 바탕으로 Fig.6과 같이 블록당 3비트의 정보를 포함하도록

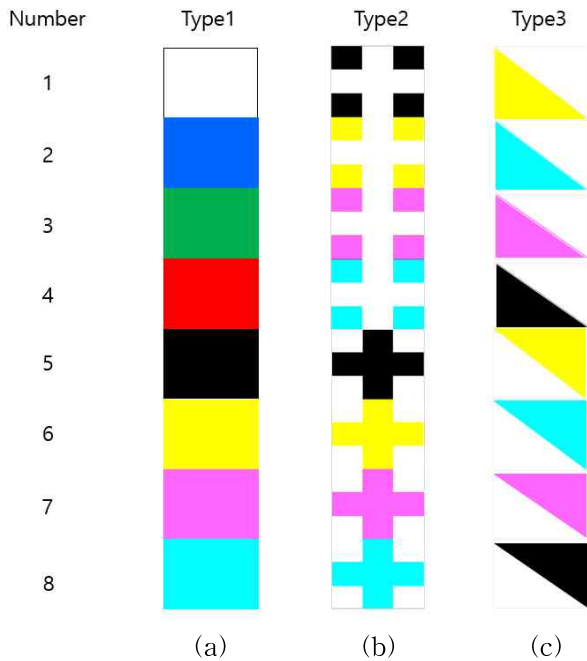
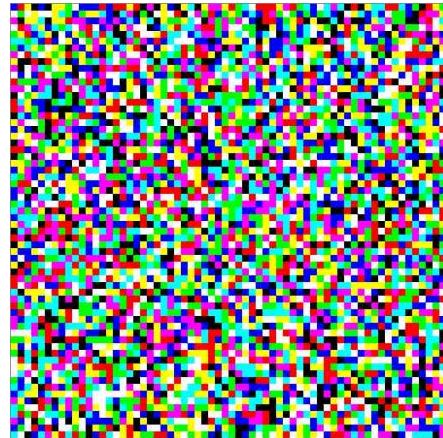


Fig. 6 3 Different Patterns for Color QR Codes
 (a) Type1: Square-type with 8 Colors
 (b) Type2: Cross-type with 4 Colors
 (c) Type3: Triangular-type with 4 Colors

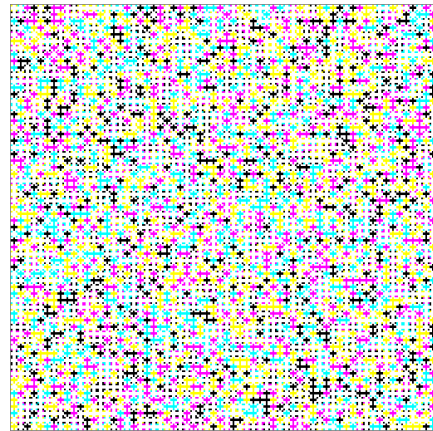
구성하였다. Type1은 정사각형 형태의 8색을 가지도록 하였으며, 기존에 가장 많이 다루어진 형태이다 (Melgar et al, 2016). 이에 비해 Type2는 색상 왜곡에 대응하기 위해 4색을 사용하되 Cross-type으로 구분하도록 구성하였다 (Choi et al, 2020). 그리고 Type3은 HCCB코드(EI-Sheref et al, 2018)와 유사하며, 가장자리에 공간적 정보를 위치시키기 위한 형태로 변형하여 취하였다. 이러한 세 가지의 패턴을 구성하는 컬러 QR코드에 대해 실험조건은 다음과 같이 진행하였다.

- Fig. 7은 Fig. 6에서 제시된 세 종류의 패턴을 이용하여 동일한 정보를 포함하는 데이터 비트 구성의 예를 나타내고 있다.

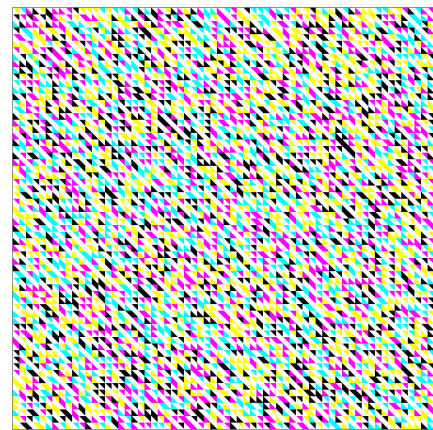
- 동일한 크기의 잡음 즉, 가우시안 잡음, 가우시안 블러링, 인위적인 시야각 왜곡은 직접 코드 작성하여 구현하여 프린팅하여 출력하였고, 출력된 컬러 QR코드의 캡처용으로 스마트폰 S20 (해상도 1920 x 1080), 아이폰11 (해상도 792 x 828)을 사용하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 An Example of 512 x 512 Image
 (a) Type1: Square-type with 8 Colors
 (b) Type2: Cross-type with 4 Colors
 (c) Type3: Triangular-type with 4 Colors

- Fig. 5의 전처리 이후에 기하학적 왜곡을 보정하기 위한 원근 변환된 데이터 영역의 크기는 정사각형의 512 x 512 화소의 해상도로 적용하였다.

4.2 가우시안 잡음에 대한 특성

QR코드를 캡처할 때는 가장 흔한 잡음으로 가우시안 잡음을 고려하였으며, 각 색상의 비트플레인 별로 평균값은 0, 주어진 분산 값의 범위 내에서 랜덤하게 잡음을 발생시켰다(Kaehler et al, 2021). 즉, 칼라 QR코드를 구성하는 각 화소의 비트플레인에 대해 평균 0, 분산 값은 0.01에서 0.2까지 변화량을 0.01씩 증가시키면서 가우시안 잡음을 더하여 인식률을 측정하였다. 이때 민감도는 각 패턴별로 측정된 오인식률이며, 그 결과는 Fig. 8에 나타내었다.

이 결과에서 알 수 있듯이, 8색을 사용한 방법은 Fig. 3에 대한 수식 (1)의 해석과 유사한 결과를 얻을 수 있는데, 분산 값이 증가함에 따라 색상 간의 간섭으로 인해 인식률 저하가 발생된다. 반면에 패턴을 갖는 형태는 잡음에 상대적으로 둔감한 특성을 관찰할 수 있다. Type2는 Type1에 비해 더 작은 크기의 블록으로 구성되므로, 조금 더 세밀한 연산이 요구되며, 이러한 과정으로 인해 Type3에 비해 가우시안 잡음의 분산 값 증가에 따라 인식률 저하가 더 크게 됨을 확인할 수 있다.

4.3 가우시안 블러에 대한 특성

QR코드 캡처에는 흔히 모션블러가 흔히 삽입되는데, 이러한 경우를 고려하여 가우시안 블러에 대한 성능을 테스트하였다. 가우시안 블러는 저역 통과 가우시안 필터를 3 x 3크기를 커널 반경이 0.5에서 6화소까지 변화량을 0.5 화소씩 증가시키면서 실험을 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다(Kaehler et al, 2021). 가우시안 블러가 발생함에 따라 이웃하는 블록간에 색상간의 간섭 효과로 인해 8색을 사용하는 형태가 가장 많은 인식률 저하가 발생하였다. 반면에 패턴을 갖는 형태는 작은 크기의 커널에서는 비슷하지만, 커널이 큰 경우에는 삼각형 형태가 다소 우

수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

4.4 시야각에 대한 인식 특성

본 논문에서는 QR코드를 캡처하는 과정에서 발생하는 기하학적 왜곡에 대한 인식 특성을 조사하기 위해 시야각(viewing angle)을 다르게 하여 테스트하였다. 시야각은 QR코드 캡처 각도를 수직(정면)에서 이탈한 각도로 나타내고, 이 각도를 10도에서 70도까지 10 만크의 왜곡 증가에 따른 인위적인 사각형 변형 형태는 원근 변환으로 구현하였다(Escriva et al, 2016). Fig. 5에 나타난 전처리 과정에서 캡처된 사각형을 정사각형으로의 복원은 bi-cubic 보간을 적용하여 인식률 특성을 관찰하였다. Fig. 10에서 확인할 수 있듯이, 패턴이 있는 경우에는 약 30도 부근에서부터 인식률 저하가 발생되기 시작하며, 시야각이 증대될수록 기하급수적인 형태로 인식률 저하가 발생된다. 특히, 삼각형 형태를 갖는 Type3은 가장 민감도가 크고, 다음으로는 cross-type이 크게 됨을 볼 수 있다. 반면에 8색 기반의 사각형 패턴은 상대적으로 시야각 특성에서는 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

5. 결론

현재 널리 사용되고 있는 흑백 QR코드의 제한적인 정보 저장 용량 문제를 해결하면서 색상 간의 간섭효과를 극복하기 위한 연구가 다양하게 시도되고 있다. 본 논문에서는 칼라뿐만 아니라 패턴 정보를 포함하여 더욱 안정적인 성능을 얻기 위한 시도로서 패턴이 있는 칼라 QR코드를 인식하기 위한 알고리즘을 제안하였고, 제안된 인식 알고리즘에 기초하여 기존에 알려진 대표적인 3종류의 칼라 패턴에 대한 인식률을 다양한 실험을 통하여 비교 분석하였다. QR코드 인식과정에서 흔히 초래되는 가우시안 잡음과 블러링, 시야각 왜곡 등을 통한 실험에서 복잡한 패턴을 갖는 형태는 가우시안 잡음과 블러링에 대해서 인식 성능이 우수하지만, 시야각 측면에서는 상

Comparison of Recognition Performance of Color QR Codes for Inserted Pattern Information

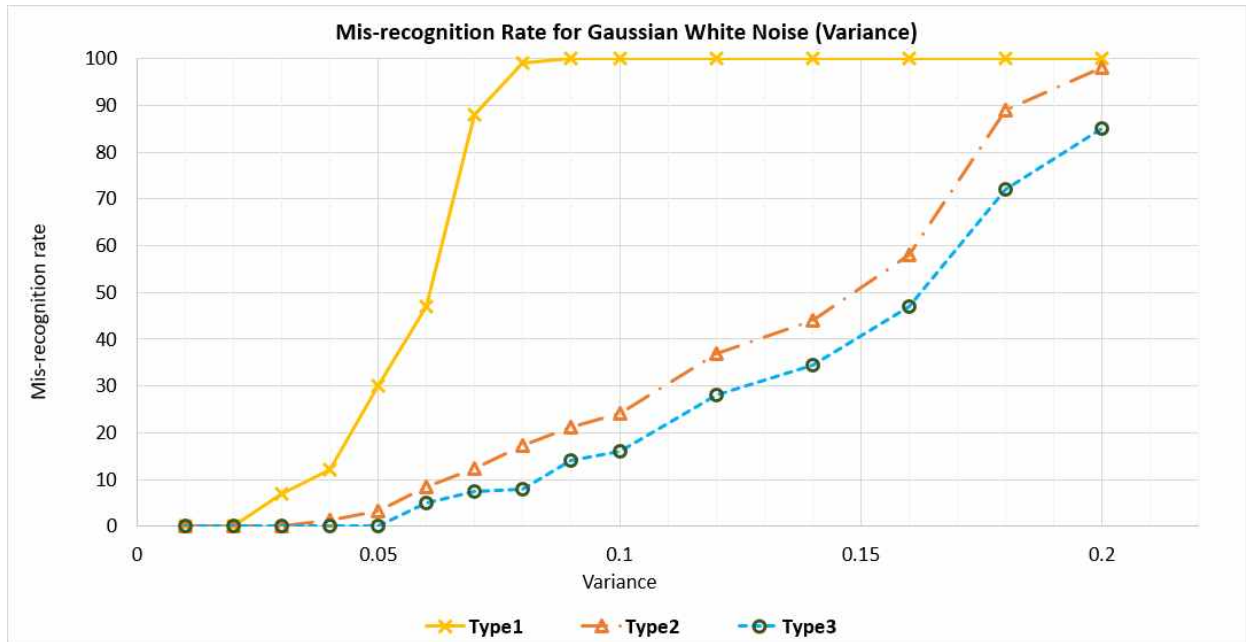


Fig. 8 Mis-recognition Rate for Gaussian Noise (Variance)

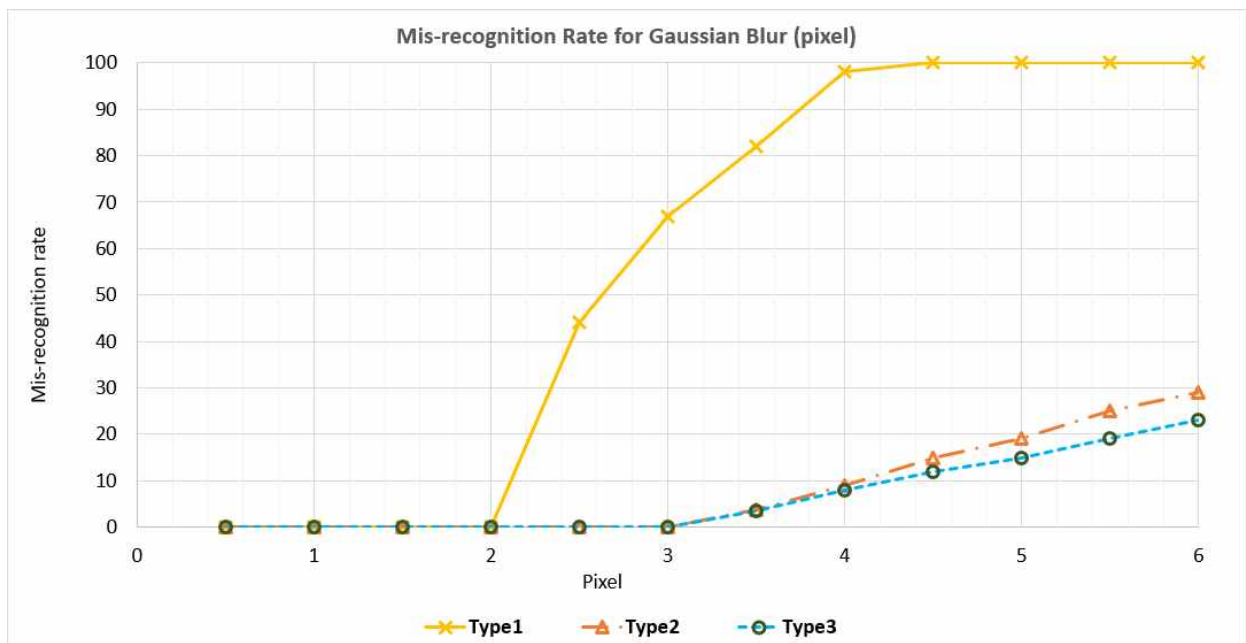


Fig. 9 Mis-recognition Rate for Gaussian Blur

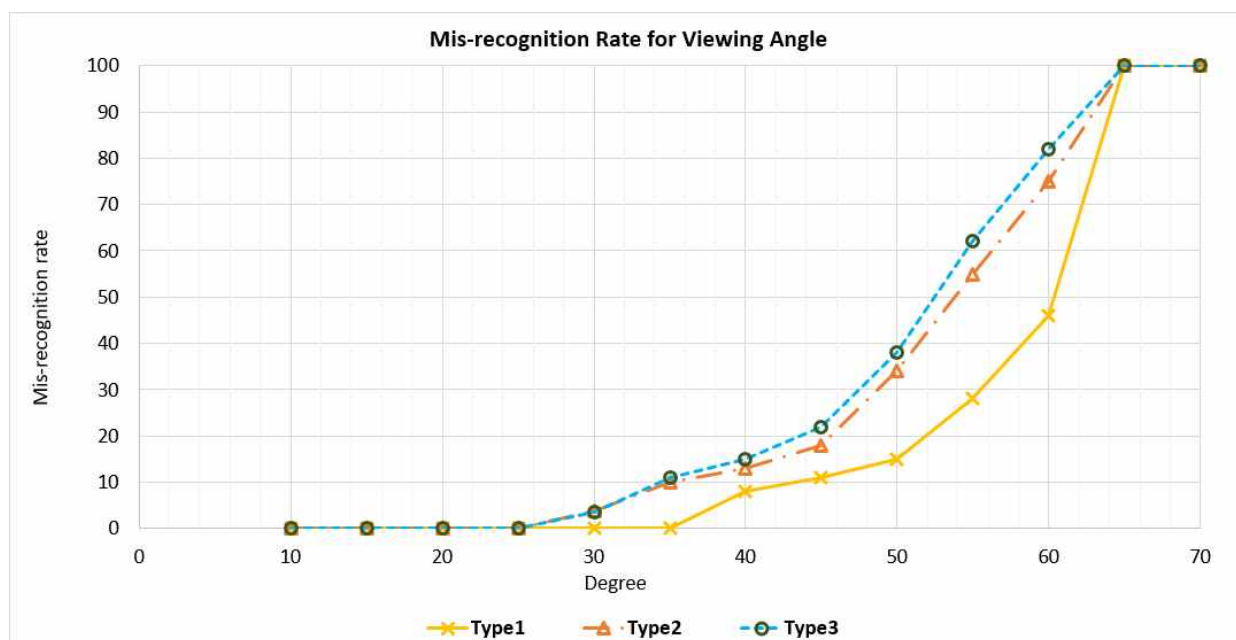


Fig. 10 Mis-recognition Rate for Viewing Angle

대적으로 낮은 성능을 보였다. 즉, 색상의 변화가 있는 장소에서의 응용에서는 단순한 패턴이 있는 형태가 우수함을 확인하였고, 조도변화가 없고 안정적인 시야각 확보가 가능한 경우에는 색상 중심의 칼라 코드가 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

본 논문에서 패턴을 갖는 칼라 QR코드의 인식 방법은 패턴 추출 및 색상 추출로 진행되었으나, 앞으로 SVM (Support Vector Machines), K-means, Decision Trees 등의 분류 기법 등의 다양한 분류기를 병행함으로써 성능 개선에 대한 연구를 추가로 진행할 필요가 있다.

References

- Andre, P., and Ferreria, R. (2014). Colour Multiplexing of Quick-Response (QR) Codes, *Electronics Letters (IET)*, 50(24), 1828-1830.
- Choi, D., and Kim, J. (2018). A Code Authentication System of Counterfeit Printed Image Using Multiple Comparison Measures, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 23(4), 1-12.
- Choi, D., and Kim, J. (2020). An Authentic Certification System of a Printed Color QR Code based on Convolutional Neural Network, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 25(3), 21-30.
- EI-Sheref, I., Asad, A., and EI-Licy, F. (2018). Improving Storage Capacity of QR Code: A Survey, *The 53rd Annual Conference on Statistics, Computer Science and Operation Research*, 227-248.
- EI-Sheref, I., EI-Licy, F., and Asad, A. (2020). Improving Performance of the Multiplexed Colored QR Codes, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(3), 202-206.
- Escriva, D., Mendonca, V., and Joshi, P. (2016), *Learn OpenCV 4 by Building Projects*, U.K. Packt.
- Grillo, A., Lentini, A., Querini, M., and Italiano, G. (2010), High Capacity Colored Two Dimensional Codes, *Proceedings of the International Multiconference on Computer*

- Science and Information Technology*, 709-716.
- Kaehler, A., and Bradski, G. (2021). *Learning OpenCV, Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*, CA, O'Reilly.
- Kim, J. (2018). Performance Improvement of Distributed Compressive Video Sensing Using Reliability Estimation, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 23(6), 47-58.
- Kim, J. (2021). Improvement of Bit Recognition Rate for Color QR Codes By Multiplexing Color and Pattern Information, *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 24, No. 8, 1012-1019.
- Liao, Z., Huang, T., Wang, R., and Zhou, X. (2010), A Method of Image Analysis for QR Code Recognition, *2010 International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems*, 250-253.
- Melgar, M., Zaghetto, A., Macchiavello, B., and Nascimento, A. (2012). CQR Codes: Colored Quick-Response Codes, *2012 IEEE Second International Conference on Consumer Electronics(ICCE)*, Berlin, Germany.
- Melgar, M., Farias, M., Vidal, F., and Zaghetto, A. (2016), A High Density Colored 2D-Barcode: CQR Code-9, *2016 29th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*, 329-334.
- Querini, M., and Italiano, G. (2014). Reliability and Data Density in High Capacity Color Barcodes, *Computer Science and Information Systems*, 11(4), 1595-1615.
- Sabri, P., Abas, A., and Din, R. (2020). Enhancing Data Storage of Colored QR Code Using C3M Technique, *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 07(08), 3805-3813.
- Tkachenko, I., Puech, W., Strauss, O., and Destruel, C. (2015) Rich QR Code for Multimedia Management Applications, *International Conference on Image Analysis and Processing*, 383-393.
- Tsai, M., and Hsieh, C. (2020). The Human Visual System Based Color QR Codes, *2020 Workshop on Computing, Networking and Communications (CNC)*, 46-50.
- Xu, M., Li, Q., Niu, J., Su, H., Liu, X., Xu, W., Lv, P., Zhou, B., and Yang, Y. (2021). Art-Up: A Novel Method for Generating Scanning-Robust Aesthetic QR Codes, *ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl.*, 17(1), 1-23



김진수 (Jin-soo Kim)

- 정회원
- 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 공학박사
- 한밭대학교 지능미디어공학과 교수
- 관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터비전, 기계학습