

Pametna QR koda in bralnik, za temperaturno sledljivost izdelkov

Rok Hrovat¹, Aleksander Sešek¹

University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering
Ljubljana, Slovenia

E-mail: rh8968@student.uni-lj.si, aleksander.sesek@fe.uni-lj.si

Smart QR Code and scanner for product temperature tracking

The paper presents a QR code and its ability to maintain the information even when part of code is damaged, or in our case replaced with the "smart" field. This field can carry another type of information, which can be again, coded. As QR codes are used for the advanced labels of products, links, menus etc., the additional information can give an important dynamic information about the product. Main issue solved with the presented paper is, how to keep track of the temperature environment of a product and incorporate it in the QR code. The solution for temperature tracking are temperature irreversible pigments, which can be functionalized for different temperature ranges. The paper presents the QR code with functionalized central area, the reader for such code and information transfer to the server for future processing.

1 Uvod

V industriji je nadzor vseh vrst izdelkov zelo pomemben, še posebej pri masivni proizvodnji. Zato je bilo razvitih več nadzornih sistemov, od katerih je črna koda ena izmed najbolj razširjenih. Srečamo jo praktično na vsakem izdelku, ki je danes proizveden. Črna koda predstavlja enostavno rešitev za informacijo o izdelku samem, vendar ne more podajati dinamičnih informacij, na primer temperaturo skladiščenja, vlago, osvetljenost itd, predvsem če gre za pokvarljive izdelke v prehrabeni industriji.

Na kvaliteto izdelkov vpliva mnogo različnih dejavnikov kot so vlaga, osvetlitev, mehanska obremenitev, temperatura in podobno. Pri transportu izdelkov je potrebno zagotoviti ustrezne pogoje za ohranitev njegove neoporečnosti. Eno največjih težav pri tem predstavlja zagotavljanje temperaturne sledljivosti gibanja izdelka, saj ne sme preseči določenega temperaturnega območja. Tipičen primer je odmrznitev zmrznjenih živil in naprimer pregretje ali zamrznitev zelenjave med transportom. Nedopustno je, da bi se neko globoko zmrznjeno živilo med transportom odtajalo, kasneje pa bil bilo zopet zamrznjeno in prodano. Rešitev je v sledljivosti temperature živila v prodajni verigi, ki je vidna na embalaži izdelka. Ideja je v nadomestitvi klasične črne kode s QR kodo, ki ima poleg podatkov o produktu tudi dodatno informacijo o temperaturnem področju gibanja izdelka v obliki barve. S

tem zagotovimo sledljivost in hkrati nadzor nad temperaturnim profilom okolja, po katerem se je izdelek gibal. Predstavljeno rešitev lahko uporabimo pri vseh izdelkih občutljivih na temperaturne variacije.

2 Pametna QR koda

QR koda je nadgradnja klasičnih črtnih kod, ki lahko vsebujejo le majhno število informacij (približno 20 alfa numeričnih znakov). QR koda pa z dodatkom nove dimenzije ustvari dvodimenzionalen matrični zapis, ki ima veliko večjo gostoto informacij na dani površini. Količina vsebovanih podatkov je odvisna od različnih standardov in parametrov. V osnovi je QR koda razporeditev črnih točk na beli podlagi v kvadratni obliki. Poznamo več verzij QR kod, ki se delijo glede na velikost in posledično na maksimalno možno količino podatkov, ki jih koda lahko vsebuje: od najmanjše verzije 1, ki ima 21×21 slikovnih točk pa vse do verzije 40, ki lahko vsebuje največ informacij, v njej pa so podatki kodirani v matriki velikosti 177×177 slikovnih točk.



Slika 1: Verzije QR kode: na levi verzija 1 (21×21), v sredini verzija 2 (25×25) in desno verzija 40 (177×177)

Odlična lastnost QR kode je tudi odpravljanje napak. Za zagotovitev pravilnosti prebranih informacij obstajajo določeni razredi toleranc in korekcijskih faktorjev. S pomočjo **Reed - Solomonovega** algoritma se v kodo dodajo gesla, ki omogočajo branje informacije iz poškodovane QR kode, ki pri najvišji stopnji H znaša do 30 % neberljivega dela. Ta del pa mora biti seveda izven obveznih polj, ki so namenjena poziciji, poravnavi, ipd.. Na to možnost lahko gledamo tudi drugače in sicer tako, da v QR kodi lahko mesta, ki niso nujno potrebna za razpoznavo kod, uporabimo za dodatno kodirano informacijo. Taka QR koda torej, poleg osnovnega zapisa podatkov, vključuje še barvno kodo [1], [2], [3].

3 Barvna koda

V del QR kode, izbrano je bilo področje na sredini, kjer ni obveznih sestavnih delov QR kode, se je dodal barvni kvadrat, kjer je bila informacija o temperaturnem območju gibanja izdelka zapisana v odtenku določene barve. Primer take kode je prikazan na sliki 2.



Slika 2: QR koda z osrednjim barvnim področjem

Barva v kvadratu je izbrana glede na najboljšo sporočilno vrednost za človeka, glede na temperaturno območje, ali alarmno sporočilo. Tako so modri odtenki največkrat izbrani za hladnejše barve, zeleni za sobno temperaturo ter rdeči za višje temperature ter alarme. Največji izziv je nameščanje funkcionaliziranih barvnih področij na izdelke, ker morajo biti nameščeni v (za izdelek) ustreznem temperaturnem področju. To pomeni za zmrznjene izdelke v hladilnicah, oziroma mora biti funkcionalizacija tam ustrezno aktivirana.

Za izdelavo pigmentov se izkorišča posebna lastnost določenih materialov in sicer **termokromizem**. To je le en izmed mnogih tipov kromizma. Predstavlja proces spreminjanja odtenka barve pigmenta zaradi izpostavljenosti določeni temperaturi. Ta sprememba je lahko povratna ali nepovratna. Pri povratnem termokromizmu se izpostavljenemu delu ob povratku na izhodiščno temperaturo povrne tudi osnovna barva, pri nepovratnem pa se sprememba barve ohrani. Še več, iz odtenka barve lahko pri določenih pigmentih natančno določimo doseženo temperaturo. To lastnost v praksi izkoriščamo za aplikacije, kot na primer na skodelicah kot pokazatelj temperature napitka, pri baterijah kot indikator napolnjenosti baterije in podobno. V uporabi sta dve glavni skupini materialov, ki se izrabljajo za termokromni učinek, prva so tekoči kristali in druga so levko barvila [4], [5].

Z razvojem temperaturno odvisnih pigmentov se ukvarja podjetje **Mycol d.o.o.** [6], ki po želji uporabnika razvije, testira ter predlaga najugodnejšo rešitev za specifično transportno pot izdelka. Tam se je tudi porodila ideja za razvoj pametne QR kode in bralnika, ki bi omogočal zajem in nadaljnjo uporabo podatkov, ter po potrebi reakcijo operaterja.

4 Sistem za zaznavo in obdelavo pametne QR kode

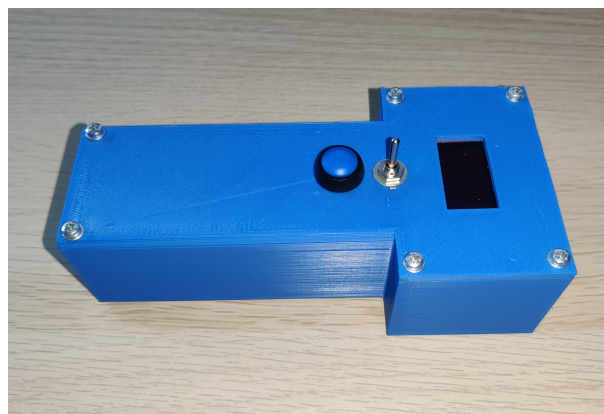
Glavni del sistema je razvojna platforma **ESP32-CAM** [7], [8], predstavljena na sliki 3. Ta vsebuje dvojedrni

procesor (frekvenca ure do 240 MHz), vgrajen vmesnik za kamero, WiFi in Bluetooth modul ter še mnogo drugih funkcionalnosti. Uporabljena kamera **OV2640** omogoča največjo ločljivost 2 megapiksla (1600×1200 pikslov) in podpira različne slikovne formate [9]. Za programiranje je bilo uporabljeno razvojno okolje **Arduino** [10].



Slika 3: ESP32-CAM modul

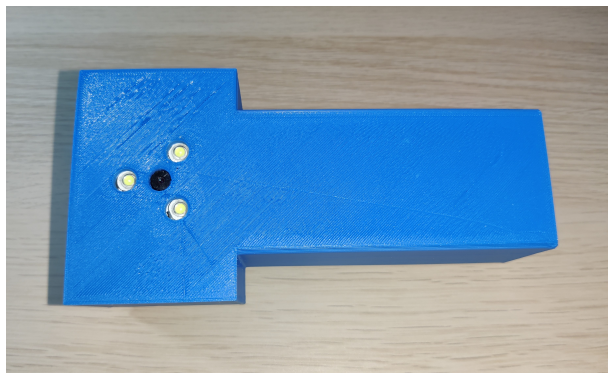
Sistem, ki deluje kot ročni optični čitalnik, poleg prej omenjenega ESP32 modula vsebuje še druge pomembne dele, kot so dvovrstični zaslon z 128×64 slikovnih pik za prikaz rezultata zajema ter modul za osvetlitev kode s tremi LED diodami (osvetlitev v območju 7000 K - 9000 K ter 100 - 110 lumnov svetilnosti). Za napajanje diod potrebujemo še gonilnik **LD24AJTA** [11]. Napajanje je zagotovljeno z akumulatorskimi baterijami **INR18650-29E**, ki jih polnimo z namenskim vezjem s čipom **TC40-56A** [12]. Ker ESP32 potrebuje stabilno napajanje 5 V, iz baterijske napetosti 3.7 V s pomočjo vezja **MT3608** [13] (pretvornik navzor) to zagotovimo. Podobno storimo tudi za napajanje LED diod, ki potrebujejo 12 V. Vsi našeti moduli so bili ločeno testirani, povezani v celoto ter nameščeni v zato načrtano in izdelano 3D plastično ohišje, predstavljeno na sliki 4.



Slika 4: Ohišje ročnega bralnika QR kode - pogled zgoraj

Bralnik ima stikalo za vklop tik pod zaslonom. Ob

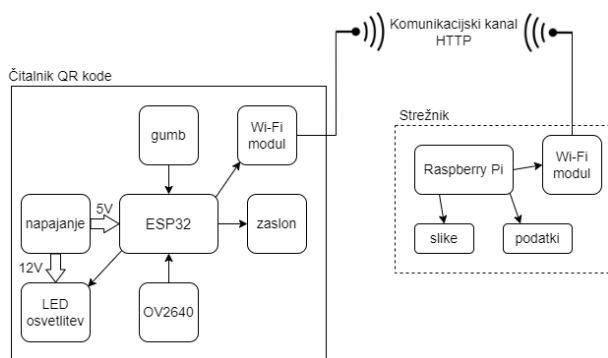
vklopu se inicializira in poveže preko Wi-Fi omrežja na strežnik ter stanje sistema sporoči na zaslonu. S tem je pripravljen na zajem slike. Ob pritisku na tipko, tik pod stikalom za vklop, se sproži vklop osvetlitve, nato pa ESP32 zajema sliko pod bralnikom. V primeru pravilne detekcije QR kode izklopi zajem ter predstavi zajete podatke na zaslonu, hkrati pa podatke posreduje tudi na server. Na sliki 5 je predstavljen spodnji pogled bralnika z LED diodami in kamero na sredini.



Slika 5: Ohišje ročnega bralnika QR kode - pogled spodaj

5 Delovanje

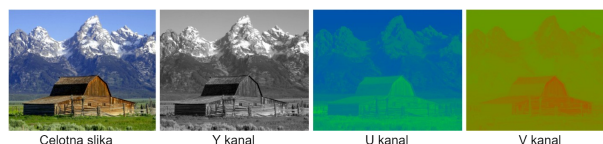
Blokovna shema sistema, prikazana na sliki 6, predstavlja osnovne sestavne dele bralnika in komunikacijo s strežnikom.



Slika 6: Blok shema sistema

Osnovna funkcija, ki jo mora bralnik opravljati, je torej razpoznava QR kode. Zato je uporabljena prosto dostopna programska knjižnica **ESP32QRCodeReader** [14], ki združuje tudi nekatere druge knjižnice, kot na primer za zajem slike, razpoznavanje vzorcev in matematične operacije. Knjižnica je služila za osnovo, potrebno pa jo je bilo prilagoditi našim potrebam. Dodati ji je bilo potrebno del za inicializacijo sistema, urediti pulzno-širinsko krmiljenje osvetlitve ter povezati sistem z Wi-Fi omrežjem. V primeru napake pri prej omenjenih programskih korakov, operater to informacijo prejme preko zaslona, hkrati pa se zopet zažene inicailizacija.

QR koda se v osnovi prebere v pomnilnik ESP kot črno-bela slika, saj je to pričakovano. Knjižnica tako potrebuje še dodatno razširitev za barvni zajem, kar izbrana kamera omogoča. Osnovni barvni zajem opravi zajem osnovnih **RGB** barv, kar bi v našem primeru pomenilo, da lahko zajamemo informacijo o barvi, ne pa tudi njene intenzitete, ki je pomembna za zaznavo temperature spremembe pigmenta. Zato je bil izbran **YUV** zapis. Le ta uporablja **Y-Cb-Cr** barvni prostor (ang. Y-luma, Chroma red, Chroma blue). Pri zajemu pa smo naredili še poenostavitev, saj je človeško oko mnogo bolj občutljivo na spremembe v osvetljenosti, kot na spremembe v barvi, zato barve podvzorčimo. Dopolnjena oznaka takega formata je **YUV422**, kar pomeni, da sta barvna kanala podvzorčena s faktorjem 2 - dve sosednji slikovni točki si delita U in V komponenti, Y komponenta pa ostaja unikatna za vsako slikovno točko, kar pomeni le dva podatka na slikovno točko. Primer razdelitve osnovne slike na kanale YUV je predstavljen na sliki 7.



Slika 7: Slika v YUV formatu

Po zajemu slike, se najprej zažene detekcija sivinske slike, kjer preberemo podatke o izdelku ter določimo središče QR kode. Nato okoli sredine izberemo 10 x 10 slikovnih točk, kjer zajamemo podatke U-V kanalov in jih povprečimo za boljšo homogenost zaznave. Rezultat je za lažje razumevanje operaterja oz. uporabnika pretvorjen v **RGB** format, informacija o intenziteti pa ostaja na voljo za nadaljnjo obdelavo. Rezultat zajema prikazemo na zaslonu bralnika, prav tako pa ga pošljemo tudi na strežnik. Izpis na zaslonu je prikazan na sliki 8.



Slika 8: Zaslon z informacijo o izdelku in zajeti barvi

Uporabljen strežnik je osnovan na **Raspberry Pi** platformi [15]. Podatke za prenos moramo v ESP32 pravilno pripraviti, da jih strežnik lahko prepozna in pravilno razporedi, zato so ločeni na dva dela - na tekst in sliko. V tekstu je informacija, ki je bila posredovana operaterju na zaslonu, dodatno pa se pošlje še YUV slika za nadaljnjo obdelavo. Poleg teh pa se seveda zapiše tudi datum in čas

zajema podatkov. Ker je YUV format na prvi pogled ne-uporaben za direktni pregled na serverju, mu je pripeta še datoteka **JPG** formata, ki jo strežnik zlahka prepozna.

Več o pametni QR kodi, uporabljeni programski kodi ter delovanju sistema kot celote, je opisano v diplomskem delu [16].

6 Nadalnji koraki

Predstavljen sistem za zajem je zgolj osnova za nadaljni razvoj. Ena od glavnih nalog v prihodnosti je zagotoviti homogeno osvetlitev z visokim **CRI** faktorjem, ki nam zagotavlja osvetlitev, primerljivo z naravnim virom - Soncem. Prav tako bi moral bralnik zagotavljati konstantno oddaljenost in kot za enako osvetlitev vseh kod. Veliko omejitev prestavlja tudi ločljivost kamere, ki nam ne omogoča uporabe QR kod višjih verzij. Prav tako pa bi zmoglivejši senzor kamere omogočil natančnejši zajem barve in njenega odtenka. Trenutno za vse funkcije bralnika izkoriščamo le eno jedro, na voljo pa imamo dve. Nalogo zajema in pošiljanja bi lahko ločili in s tem zagotovili prenos večje količine podatkov, brez prekinitev in napak, predvsem v primeru izpada brezžične povezave ter uporabe kamere z višjo ločljivostjo. Strežnik, ki je trenutno uporabljen, opravlja le osnovno nalogo hranjenja podatkov. Le ta bi nad podatki lahko izvajal tudi aktivno obdelavo in ob napakah reagiral z alarmi. Predvsem pa bi morali podatke na strežniku zaščititi pred vdorom in krajo, oziroma pred uničenjem. Nenazadnje je možno nadgraditi tudi samo QR kodo z dodatnimi informacijami na ostalih možnih mestih in jo izpopolniti tudi na način zaznave pravilnosti nanosa pigmenta ter uporabe za druge namene z drugače funkcionaliziranimi elementi (npr. magnetni zapis, osvetlitev, vlaga, ipd.).

7 Zaključek

V prispevku je predstavljena pametna QR koda, ki ima funkcionaliziran osrednji del z barvnim poljem. Polje se v primeru uporabe na produktu prelepi z realnim pigmentnim nanosom, ki reagira na spremembo temperature (termokromizem). Informacija o temperaturnem gibanju izdelka se ne skriva samo v barvi, temveč tudi v odtenku le te, zato je zajem in obdelava take kode zahtevnejša. Za branje je bil razvit ročni bralnik z osvetlitvijo, ki omogoča zajem slike QR kode in njeno obdelavo. Iz slike razbere podatke o izdelku ter ločeno informacijo o barvi in odtenku. Vse informacije prikaže na zaslonu bralnika, zajeto osnovno sliko ter podatke pa posreduje tudi strežniku. Tako QR koda kot bralnik sta že pripravljena na osnovno uporabo, potrebno pa ju je še nadgraditi v smeri optimizacije in zaščite podatkov.

8 Zahvala

Zahvaljujem se podjetju MyCol za informacije v zvezi z termokromnimi pigmenti.

Literatura

- [1] QR Code Error Correction. Dosegljivo : <https://blog.qrstuff.com/2011/12/14/qr-code-error-correction>
- [2] Tan Jin Soon. Qr code. *synthesis journal*, 2008:59–78, 2008. [Dostopano: 12. 4. 2022].
- [3] Sumit Tiwari. An introduction to qr code technology. In *2016 International Conference on Information Technology (ICIT)*, pages 39–44, 2016. [Dostopano: 12. 4. 2022].
- [4] Urška Bartol. *Izdelava pametne embalaže z vključitvijo indikatorja časa in temperature*. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, naravoslovno-tehniška fakulteta, Ljubljana, March 2020. [Dostopano: 23. 5. 2022].
- [5] Ondrej Panák, Barbara Šumiga, Boštjan Šumiga, Petra Stražar, Aleksander Sešek, and Marta Klanjšek Gunde. Colour measurements of thermo-chromic indicators with various colouration temperatures. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Circular Packaging: Slovenj Gradec and online, 9th and 10th of September 2021*, Proceedings of the 2nd International Conference on Circular Packaging: Slovenj Gradec and online, 9th and 10th of September 2021, page 261–268. Pulp and Paper Institute; Faculty of Polymer Technology, 2021.
- [6] MyCol – Temperaturni nadzor vsakega živila po željah vsakega kupca. Dosegljivo: <http://www.mycol.si/sl/home/>. [Dostopano: 23. 5. 2022].
- [7] ESP32-CAM. Dosegljivo: <http://www.ai-thinker.com/pro-view-24.html>. [Dostopano: 23. 5. 2022].
- [8] ESP32-CAM Development Board. Dosegljivo: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602_Web.pdf. [Dostopano: 23. 5. 2022].
- [9] OV2640: Specs, Camera, Datasheet & Alternative (2022 Report). Dosegljivo: <https://www.arducam.com/ov2640/>. [Dostopano: 23. 5. 2022].
- [10] Software. Dosegljivo: <https://www.arduino.cc/en/software>. [Dostopano: 23.5. 2022].
- [11] 30V, 1.2a step-down high brightness led driver with 5000:1 dimming. Dosegljivo: <https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2014/07/PT4115E-datasheet.pdf>. [Dostopano: 2. 7. 2022].
- [12] Tc4056a datasheet. Dosegljivo: <https://datasheetspdf.com/pdf/1309136/UMANELECTRONICS/TC4056A/1>. [Dostopano: 2. 7. 2022].
- [13] Mt3608 datasheet. Dosegljivo: <https://datasheetspdf.com/pdf/909246/AEROSEMI/MT3608/1>. [Dostopano: 2. 7. 2022].
- [14] Esp32qrcodereader. Dosegljivo: <https://github.com/alvarowolfx/ESP32QRCodeReader>. [Dostopano: 2. 7.2022]
- [15] Raspberry Pi Ltd. Buy a Raspberry Pi 3 Model B. Dosegljivo: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Dostopano: 2. 7. 2022].
- [16] Rok Hrovat. *Razvoj in detekcija pametne QR kode*. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, July 2022.