

VILNIAUS UNIVERSITETAS  
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS  
KOMPIUTERIJOS KATEDRA

Baigiamasis magistro darbas

**Dvimačių brūkšninių kodų inžinerija**

Atliko: 2 kurso, 2 grupės studentas

Mantas Stankevičius

Darbo vadovas:

doc. Algirdas Bastys

Vilnius

2012

# Turinys

Anotacija.....	4
Annotation.....	4
Sutartiniai terminai:.....	5
1. Įvadas.....	6
2. Dvimačių brūkšinių kodų naudojimas.....	7
3. Brūkšinių kodų kategorijos.....	7
3.1. Vienmačiai brūkšniniai kodai.....	7
3.2. Dvimačiai brūkšniniai kodai.....	8
4. QR (Quick Response) brūkšninis kodas.....	9
4.1. Duomenų formatai.....	9
4.2. Talpa.....	10
4.3. Sandara.....	10
4.3.1. Padėties nustatymo ženklai.....	10
4.3.2. Lygiavimo ženklas.....	11
4.3.3. Sinchronizavimo šablonas.....	11
4.3.4. Tylioji zona.....	11
4.3.5. Formato informacija.....	11
4.3.6. Duomenų zona.....	11
4.4. Klaidų taisymo galimybės.....	12
4.5. Maskavimas.....	12
5. Populiariausi dvimačiai brūkšniniai kodai.....	13
6. Brūkšinių kodų atpažinimo eiga.....	14
7. Priežastys įtakojančios nuotraukos kokybę.....	15
7.1. Kontrastas ir atspindžiai.....	15
7.2. Moduliacija.....	15
7.3. Ašinis nevienodumas.....	16
7.4. Iškreipimo (kritimo) kampas.....	16
7.5. Sugadintas brūkšninis kodas.....	17
7.6. Kitos spausdinimo klaidos.....	17
8. Brūkšninio kodo apdorojimo priemonės.....	17
8.1. Šviesumo transformacijos.....	18

8.2. Geometrinės transformacijos.....	18
8.3. Lokalus apdorojimas (Lokalių kaimynų metodas).....	19
8.4. Atvaizdo atstatymas.....	19
9. QR brūkšninio kodo radimas.....	20
9.1. Binarizacija.....	20
9.1.1. Otsu metodas.....	20
9.1.2. Globalaus slenksčio metodas.....	21
9.1.3. Lokalaus slenksčio metodas (pasirinktas metodas).....	21
9.1.4. MinMax metodas.....	22
9.1.5. Medianos filtras.....	23
9.1.6. Laplaso filtras.....	23
9.1.7. Sobel operatorius.....	24
9.1.8. Canny briaunų aptikimas.....	24
9.2. Binarizacijos metodų palyginimas.....	25
10. QR brūkšninio kodo lokalizavimas.....	26
10.1. Požymių sekos ieškojimas viena kryptimi ir patikrinimas jai statmena kryptimi.....	26
10.2. Požymių sekų ieškojimas abiejomis kryptimis.....	27
10.3. Požymių sekų ieškojimas keturiomis kryptimis.....	27
11. Dinaminis koeficientų parinkimas.....	27
12. Apsišaukėliai.....	28
12.1. Apsišaukėlių eliminavimas.....	29
13. Sukurti algoritmai.....	30
13.1. Pirmas.....	30
13.2. Antras.....	30
14. Rezultatai.....	31
14.1. Testas naudojant 1000 QR brūkšninių kodų rinkinį.....	31
14.2. Testas naudojant 17 nestandartinių QR brūkšninių kodų.....	32
Išvados ir rekomendacijos.....	33
Literatūros sąrašas.....	34

## **Anotacija**

Darbo esmė giliau pažvelgti į brūkšninių kodų rūšis, panaudojimo galimybes ir išsiaiškinti jų privalumus bei trūkumus. Darbo tikslas išnagrinėti QR brūkšninio kodo sandarą, kiekvienos sudedamos dalies svarbą ir savybes. Taip pat sukurti programinę įrangą QR kodo lokalizavimui vaize ir palyginti su praktikoje naudojamais produktais.

## **Annotation**

This paper investigates different barcodes, use cases, advantages and disadvantages. Aim of this paper is to analyse structure and characteristics of QR code, develop software to locate QR code in picture, compare results with other software.

## **Sutartiniai terminai:**

Segmentas – viena spalva.

Segmento dydis – vienos spalvos plotis.

Požymių seka - juoda – balta – juoda – juoda – juoda – balta – juoda.

Lokalizavimas – brūkšninio kodo radimas nuotraukoje.

Galimas centras – taškas, kur kertasi požymių sekos abiem kryptimis.

# 1. Įvadas

Brūkšniniai kodai yra labai populiarūs ir yra matomi beveik ant kiekvienų plataus vartojimo gaminių. Brūkšniniai kodai aprūpina patikimą duomenų kaupimą ir greitą įvestį į kompiuterinę sistemą. Šiuo būdu kaina ir produkto apibūdinimas gali būti gautas labai greitai. Egzistuoja daug įvairių brūkšninių kodų rūšių. Šiame darbe apžvelgiama brūkšninių kodų nauda bei jų rūšys. Plačiau analizuojamas QR brūkšninis kodas. Lyginant tarpusavyje nagrinėjamos pagrindinės problemos, su kuriomis susiduriama naudojant brūkšninius kodus. Analizuojami binarizavimo metodai, pateikiamas kiekvieno algoritmo veikimo aprašymas, vaizdinis binarizacijos rezultatas. Lyginama binarizacijos metodų sparta ir kokybė. Aprašomi lokalizavimo algoritmai, jų privalumai ir trūkumai. Pateikiamas sukurtos programinės įrangos veikimo algoritmas, naudojami metodai skirti šalinti kūrimo procese iškilusioms problemoms.

## 2. Dvimačių brūkšinių kodų naudojimas

Mintis panaudoti brūkšinius kodus patikimam ir greitam duomenų įvedimui buvo išvystyta greitai po kompiuterio išradimo. Tačiau tuo metu trūko tinkamų skaitytuvų brūkšiniams kodams. Didelis prasiveržimas brūkšninio kodo sistemose įvyko 1960-aisiais ir 70-aisiais. Buvo siekiama suvienyti sistemas ir standartus:

- 1972 m. Coda bar.
- 1973 m. UPC (Universal Product Code).
- 1974 m. Code 39 (pirmas pramoninis brūkšninis kodas).
- 1976 m. EAN (European Article Number Code).

## 3. Brūkšinių kodų kategorijos

Brūkšiniai kodai yra skirstomi į dvi kategorijas:

- Vienmačiai.
- Dvimačiai.

### 3.1. Vienmačiai brūkšiniai kodai

Brūkšninis kodas yra vertikalių brūkšnelių serija (paprastai juodų) ant šviesaus fono (paprastai balto), jis gali būti nuskenuotas ir perskaitytas tiesiogiai į kompiuterį. Brūkšninio kodo skaitymo sistemos brūkšinius kodus interpretuoja faktiškai ir be klaidų. Tačiau, tradiciniai vienmačiai brūkšiniai kodai turi aiškų trūkumą – mažas koduojamos informacijos kiekis. Vertikalus stulpelis neneša jokios informacijos, bet yra ypač patogus, kai vartotojas skenuoja rankiniu lazeriniu skaitytuvu nekreipdamas dėmesio į brūkšninio kodo orientaciją (pasvyrimą). Daugumoje atvejų darbui su vienmačiais brūkšniniais kodais reikalinga duomenų bazė, kurioje yra saugoma visa papildoma informacija apie tam tikrą daiktą. Priklausomai nuo tipo brūkšninis kodas skirstomas į sektorius. Pavyzdžiui EAN-13 kodas gali būti padalytas į 5 sektorius:

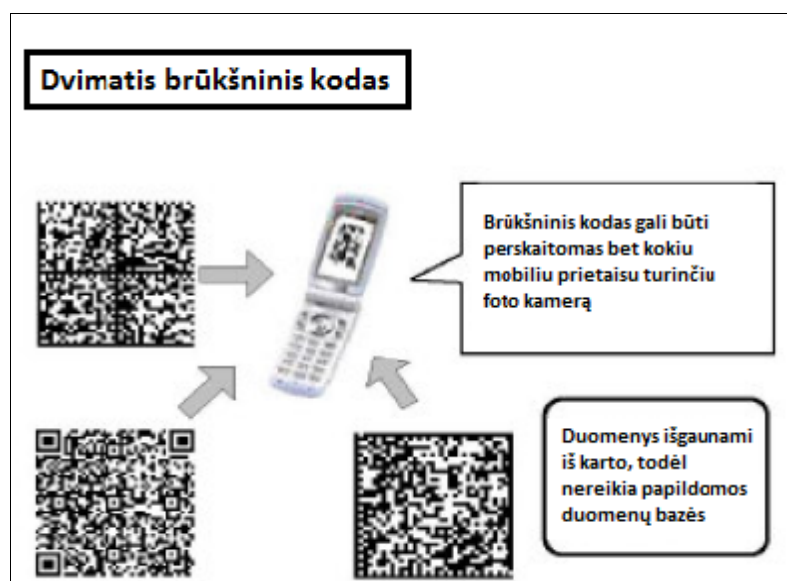
- Priešdėlis nacionalinės organizacijos numeris (3 vienaženkliai skaičiai);
- Gamintojo prekių registracinis numeris (4-6 vienaženkliai skaičiai);
- Produkto kodas (3-5 vienaženkliai skaičiai);
- Kontrolinis skaičius (1 vienaženklis skaičius);
- Papildomas laukas (laisvai pasirenkamas brūkšninio kodo laukas, kartais ten yra padėtas ženklas „>“, „zona be indikatorių“).

### 3.2. Dvimačiai brūkšniniai kodai

Vis labiau reikalingi brūkšniniai kodai nešantys didesnę kiekį informacijos, tokios kaip kaina, gaminio pavadinimas, gamintojas, funkcionalumas ir produkto galiojimo terminas. Todėl dvimačiai brūkšniniai kodai buvo suprojektuoti, kad neštų žymiai daugiau duomenų negu jo pirmtakai. Dvimačiuose brūkšniniuose koduose duomenys yra užkoduoti horizontaliai ir vertikaliai, todėl saugomas duomenų kiekis yra žymiai didesnis negu vienmačiuose brūkšniniuose kode. Daugiau kaip tūkstantis raidinių ar skaitinių simbolių gali būti saugomi viename didelio pašto ženkle dydžio paveiksliuke. Šiuolaikiniai mobilaus ryšio telefonai pirmiausia naudojami balso komunikacijai, tačiau, turėdami didelės skiriamosios gebos skaitmenines fotokameras, tampa potencialia platforma brūkšninio kodo atpažinimui. Didelis privalumas yra tai, kad brūkšninis kodas nuskaitymas ir jo duomenys išgaunami be tarpinio serverio ar duomenų bazės. Tai galima atlikti tiesiogiai mobiliuoju įrenginiu.



1 pav. Lazerinis skaitytuvas nuskenuoja vienmatį brūkšninį kodą ir siunčia jį serveriui, kuris jį iššifruoja ir atlieka tolimesnius veiksmus.



2 pav. Mobilus įrenginys, turintis skaitmeninę fotokamerą, nufotografuoja dvimatį brūkšninį



kodą ir jį iškoduoja. Rezultatai matomi iš karto.

## 4. QR (Quick Response) brūkšninis kodas

QR kodas buvo sukurtas 1994 m. Nippon Denso Company Japonijoje, kad pagerintų kompleksinių dvimačių brūkšninių kodų skaitymo greitį. Ši brūkšninio kodo rūšis pradžioje buvo naudojama transporto priemonių dalių gamybos inventoriaus sekimui. Dabar ji naudojama įvairiose pramonės šakose. Kūrėjai QR brūkšninį kodą suprojektavo taip, kad leistų jo turinį iššifruoti dideliu greičiu. Klasikinis (vienmatis) brūkšninis kodas turi tikrai vieną duomenų kryptį, tuo tarpu QR brūkšniniu kodu informacija saugoma vertikaliomis ir horizontaliomis kryptimis.

### 4.1. Duomenų formatai

QR brūkšniniame kode galima saugoti šiuos duomenų formatus:

- Paprastas tekstas.
- Vizitinė kortelė.
- URL.
- El. laiškas.
- SMS žinutė.

### 4.2. Talpa

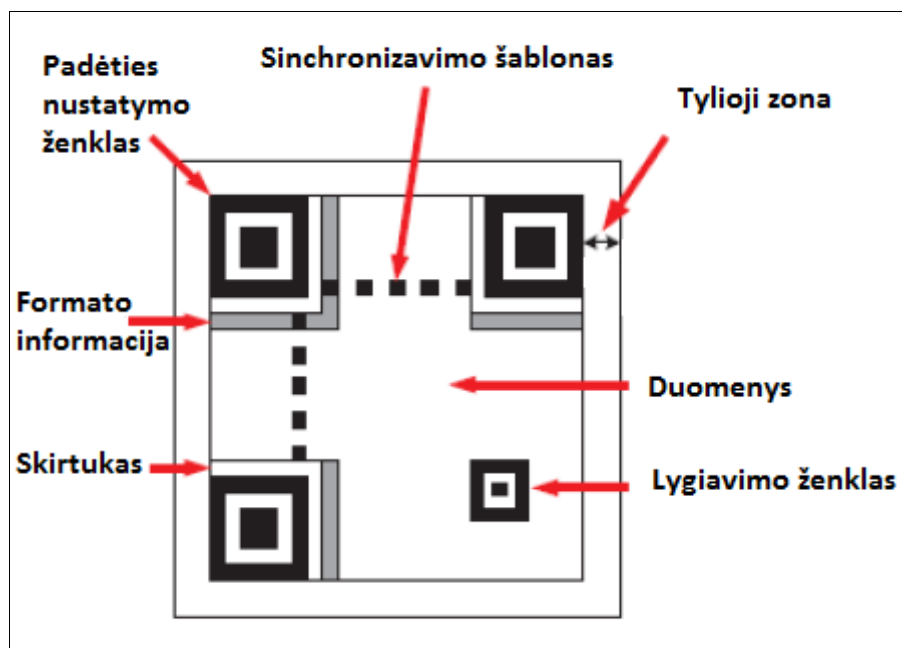
Pirmoje lentelėje pateikiama skirtingų duomenų formatų talpa.

1 lentelė. Talpa.

Duomenų formatas	Talpa
Skaitinės reikšmės	7 089 simboliai
Raidinės ir skaitinės reikšmės	4 296 simboliai
Binarinės reikšmės (8 bitai)	2 953 baitai
Kanji/Kana (Japoniški rašmenys)	1 817 simboliai

### 4.3. Sandara

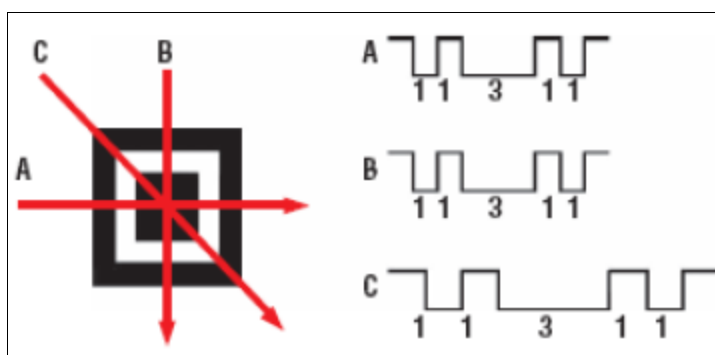
Trečiame paveikslėlyje pateikta QR brūkšninio kodo sandara.



3 pav. QR brūkšninio kodo sandara.

#### 4.3.1. Padėties nustatymo ženklai

QR brūkšniame kode yra trys padėties nustatymo ženklai (Finder Pattern). Jie yra išdėstyti trijuose kampuose. Suradus šiuos ženklus galima nustatyti brūkšninio kodo poziciją, dydį ir pasukimo kampą. Padėties nustatymo ženklų konstrukcija suprojektuota taip, kad ženklą būtų galima identifikuoti visomis kryptimis (360 laipsnių kampų).



4 pav. Padėties nustatymo ženklas. Juoda – balta – 3 juodos – balta – juoda (1 – 1 – 3 – 1 – 1) ląstelės.

#### 4.3.2. Lygiavimo ženklas

Lygiavimo ženklas skirtas QR kodo iškreipymams taisyti, efektyviausias taisant netiesinius iškreipimus. Centrinis lygiavimo ženklų segmentas esantis izoliuotame juodame

kvadrato yra atskaitos taškas taisant iškreipimus.

### 4.3.3. Sinchronizavimo šablonas

Sinchronizavimo šablonas – struktūra, kuri naudojama tam, kad identifikuotų kiekvieną duomenų segmento koordinatę. Šablonas naudojamas tam, kad pataisytų centrinę duomenų segmento koordinatę, kai brūkšninis kodas yra iškreipytas. Duomenų šablonas yra išdėstytas vertikalia ir horizontalia kryptimi.

### 4.3.4. Tylioji zona

Skaitant QR brūkšninį kodą būtina tylioji zona. Ši zona palengvina simbolio aptikimą nuotraukoje. Tyliajai zonai yra būtina keturių ar daugiau ląstelių pločio riba.

### 4.3.5. Formato informacija

Šioje zonoje laikoma klaidų taisymo informacija ir kaukės šablonas. Formato informacija perskaitoma ir analizuojama pirmiausiai.

### 4.3.6. Duomenų zona

Duomenų zonoje yra saugomi (užkoduojami) QR brūkšninio kodo duomenys. Duomenys yra užkoduojami ir paverčiami dvejetainiais skaičiais (0 ir 1). Dvejetainiai skaičiai paverčiami į juodas ir baltas ląsteles. Duomenų zonoje esantys duomenys naudoja Reed-Solomon klaidų taisymo metodus.

## 4.4. Klaidų taisymo galimybės

Reed-Solomon kodas yra pritaikytas, kad atkurtų duomenis, kai trūksta dalies QR kodo. Iš viso yra keturi klaidų atstatymo lygiai. Pavyzdžiui, jei yra sugadinta iki 15% viso brūkšninio kodo dydžio, jo duomenys gali būti atkurti naudojant M lygmens atstatymą.

2 lentelė. Klaidų atstatymo lygiai.

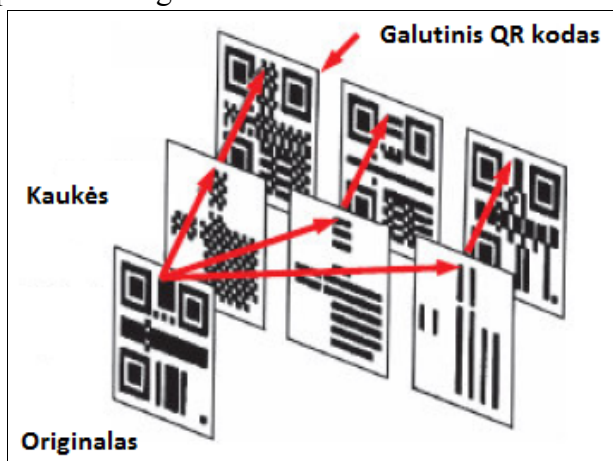
Lygis	Atkurimo galimybė
Level L	7%
Level M	15%
Level Q	25%

Level H	30%
---------	-----

Šaltinis: [http://en.wikipedia.org/wiki/QR\\_code](http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code)

#### 4.5. Maskavimas

Ši technika paskirsto juodas ir baltas lašteles paeiliui ir apsaugo nuo dubliavimosi. Tai padeda išvengti nesupratimų atpažinimo metu. Egzistuoja aštuoni maskavimo šablonai. Užkodavimo metu parenkamas geriausias.







5 pav. Maskavimas.

### 5. Populiariausi dvimačiai brūkšniniai kodai.

Trečioje lentelėje pateikiamas populiariausių brūkšninių kodų palyginimas.

3 lentelė. Populiariausių brūkšninių kodų palyginimas.

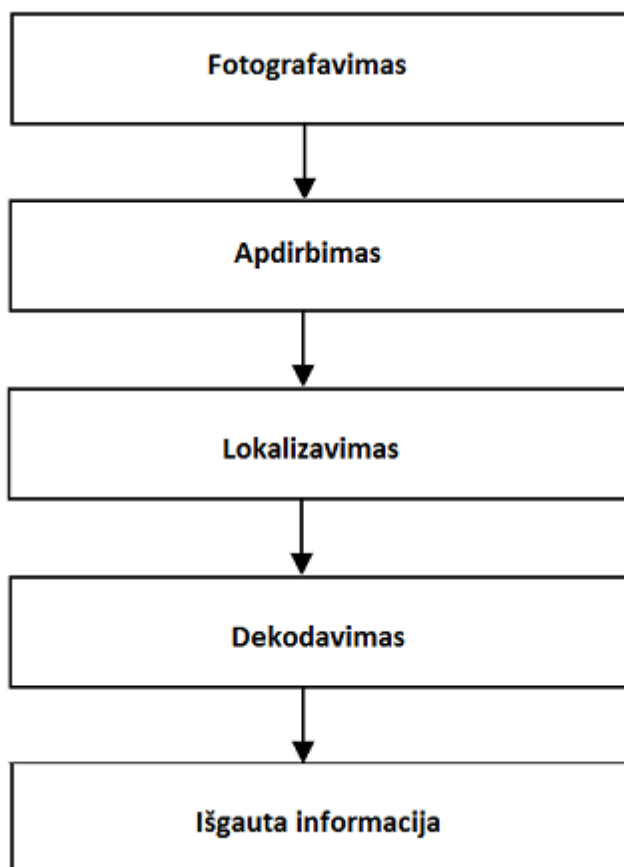
		QR Code	PDF417	DataMatrix	Maxi Code
					
Kūrėjai		DENSO (Japonija)	Symbol Technologies (JAV)	RVSI Acuity CiMatrix (JAV)	UPS (JAV)
Tipas		Matrica	Kombinuotas	Matrica	Matrica
Talpa	Skaičiai	7089	2710	3116	138
	Raidės - skaičiai	4296	1850	2355	93
	Binarinis	2953	1018	1556	
	Kanji	1817	554	778	

Privalumai	Didelė talpa, mažas dydis, greitas nuskaitymas	Didelė talpa	Mažas dydis	Greitas nuskaitymas
Standartai	AIM International JIS ISO	AIM International ISO	AIM International ISO	AIM International ISO

Šaltinis <http://www.denso-wave.com/qrcode/aboutqr-e.html>

## 6. Brūkšinių kodų atpažinimo eiga

Brūkšinių kodų atpažinimas yra sudėtingas procesas, kuris susideda iš daug labai svarbių žingsnių. Idealiomis sąlygomis užtektų nufotografuoti ir dekoduoti brūkšninį kodą, bet fotografuojant (skenuojant) atsiranda pašalinių trukdžių, kuriuos reikia eliminuoti.



6 pav. Brūkšninio kodo atpažinimo eigos schema.

## 7. Priežastys įtakojančios nuotraukos kokybę

Brūkšninis kodas gali būti deformuotas šių dėl priežasčių:

- Kontrastas ir atspindžiai.
- Moduliacija.
- Ašinis nevienodumas.
- Iškreipimo kampas.
- Sugadintas brūkšninis kodas.
- Kitos spausdinimo klaidos.

### 7.1. Kontrastas ir atspindžiai



7 pav. Žemas kontrastas.

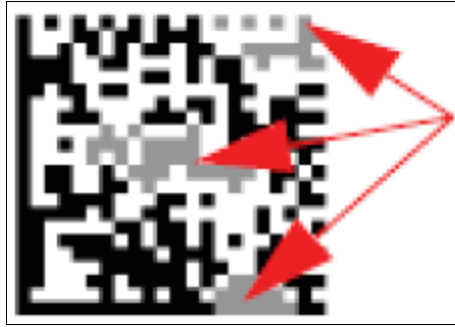
Kontrastas yra šviesumo skirtumas tarp tamsiausio ir šviesiausio taško nuotraukoje. Natūralus išblukimas arba prastas apšvietimas fotografavimo metu yra pagrindinės žemo kontrasto tarp fono ir laštelių priežastys. Blizgūs paviršiai įtakoja papildomų atspindžių susidarymą.

### 7.2. Moduliacija

Moduliacija – procesas, siekiant signalu perduoti tam tikrą informaciją.

Mažos moduliacijos priežastys:

- Šviesios dėmės juodose lastelėse ir tamsios dėmės šviesiame fone.
- Blizgus paviršius, rašalo pigmentacija.
- Nepilnai atspausdintos lastelės ir kitos spausdinimo klaidos.



8 pav. Nepilnai atspausdintos ląstelės.

### 7.3. Ašinis nevienodumas

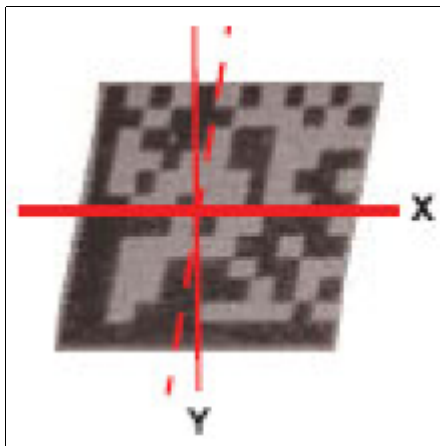
Ašinis nevienodumas rodo nuokrypį tarp pagrindinių ašių. Labiausiai tikėtina to priežastis yra spausdinimo klaida, kai popierius spausdintuve juda greičiau negu turėtų.



9 pav. Ašinis nevienodumas pavyzdys

### 7.4. Iškreipimo (kritimo) kampas

Atvaizdai yra gaunami skirtingose fotokameros padėtyse, tai sukelia atvaizdų pakreipimą.



10 pav. Iškreipimo kampo pavyzdys.

## 7.5. Sugadintas brūkšninis kodas

Dėl kokių nors priežasčių brūkšninis kodas gali būti mechaniškai pažeistas – trūkti kokios nors dalies.



11 pav. Sugadinto brūkšninio kodo pavyzdys.

## 7.6. Kitos spausdinimo klaidos

Yra žinoma, kad visi dvimačio brūkšninio kodo ląstelės turi būti vienodų matmenų. Tačiau spausdinant ląstelės gali būti šiek tiek deformuotos. Pavyzdžiui juodi segmentai platesni ir aukštesni už baltus. Taip gali atsitikti dėl įvairių priežasčių. Rašaliniu spausdintuvu atspausdinto paveiksluko rašalas paveiktas aplinkos veiksnių (pavyzdžiui drėgmė) gali pradėti plisti (išsilieti). Naudojant lazerinį spausdintuvą dažniausia problema yra netinkama spausdinimo galvutės temperatūra, kuri įtakoja per didelį arba per mažą patenkantį pigmento kiekį.



12 pav. Spausdinimo klaidos. Per didelis ir per mažas dažų kiekis.

## 8. Brūkšninio kodo apdorojimo priemonės

Prieš atpažinimo procesą paveiksluką reikia paruošti: panaikinti fotografavimo metu atsiradusį triukšmą, išsiliejimą, atstatyti moduliacijos pažeistas vietas.





13 pav. Skirtumas tarp nufotografuoto ir originalaus brūkšninio kodo.

## 8.1. Šviesumo transformacijos

Transformacija  $T$  originalų šviesumą  $p$  iš intervalo  $[p_0, p_n]$  paverčia į naują intervalą  $[q_0, q_n]$

$$q = T(p)$$

Yra du būdai pikselių šviesumui transformuoti: šviesumo korekcijos, juodai-balta (gray scale) transformacija.

Šviesumo korekcija keičia pikselio šviesumą pagal tam tikros etaloninės vietos šviesumą, žinomą kaip  $c$ . Tai yra naudojama siekiant normalizuoti paveiksluko šviesumą, t.y. kompensuoti nereguliarų apšvietimą.

Juodai-balta transformacija suvienodina ir tolygiai paskirsto spalvų reikšmes nepriklausomai nuo pikselių pozicijos paveiksliuke.

Dažniausiai šviesumo transformacijos susideda iš:

- Šviesumo slenksčio radimo.
- Histogramos.
- Logaritminio juodai-balta transformavimo.
- „Look up“ lentelės transformavimo.
- Pseudo spalvos transformavimo.

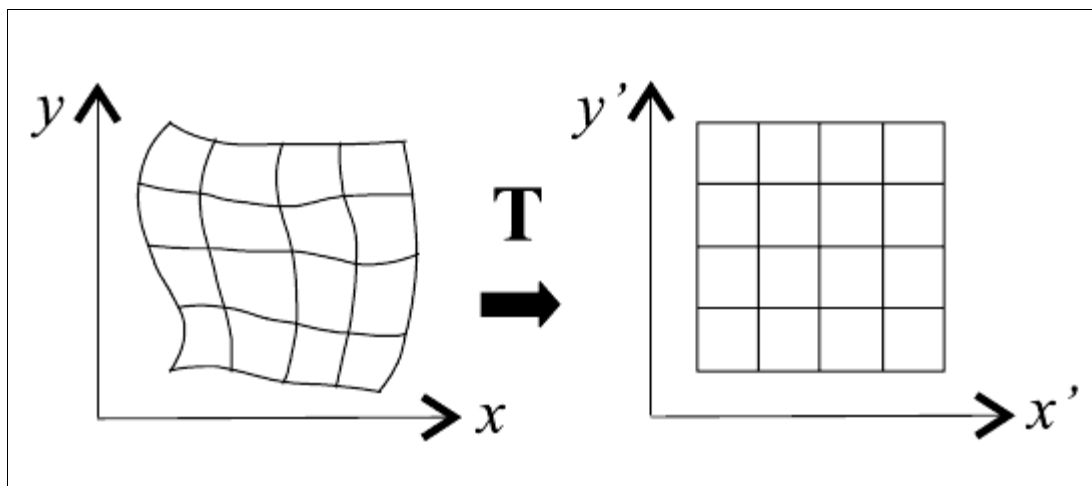
## 8.2. Geometrinės transformacijos

Transformacija  $T$  pakeičia esamas paveiksluko pikselių vietas  $(x, y)$  į naujas  $(x', y')$ .

$$x' = T_x(x, y)$$

$$y' = T_y(x, y)$$

Geometrinės transformacijos naudojamos dydžio keitimui, postūmiams, posūkiams, pakreipimui ir geometrinio iškraipymo atstatymui po fotografavimo. Geometrinės transformacijos dažniausiai susideda iš dviejų žingsnių: pikselio koordinatės transformacijos ir šviesumo interpoliacijos. Pradžioje nustatoma nauja pikselio koordinatė, po to nustatomas šviesumas. Šviesumas dažniausiai nustatomas naudojant kaimyninių taškų interpoliaciją. Populiariausios interpoliacijos: artimiausių kaimynų, bitiesinė ir bikubinė.



14 pav. Geometrinio iškraipymo atstatymas.

### **8.3. Lokalus apdorojimas (Lokalių kaimynų metodas)**

Lokalių kaimynų metodas nustato naujas šviesumo reikšmes naudojant aplinkinius taškus. Išskiriamos dvi šio metodo rūšys: lyginimas (smoothing) ir briaunų aptikimas (edge detection). Lyginimo tikslas yra numalšinti aukšto dažnio signalą. Briaunų aptikimo metodo tikslas yra nustatyti aukšto dažnio signalą. Briaunos yra pikseliai, kurių spalvinės reikšmės staigiai keičiasi.

### **8.4. Atvaizdo atstatymas**

Atvaizdo atstatymo metodų tikslas sumažinti išblukimą, išsiliejimą, triukšmą. Metodai gali būti skirstomi į dvi grupes: deterministinius ir stochastiškus. Deterministiniai metodai tinkami atvaizdams su mažu triukšmu ir žinoma iškraipymo funkcija. Stochastiniu metodu stengiamasi rasti geriausią variantą, pagal tam tikrą kriterijų, pavyzdžiui mažiausių kvadratų metodas. Mažiausių kvadratų metodas yra standartinis metodas apytikrio sprendinio ieškojimui.

## 9. QR brūkšninio kodo radimas

Tolesniuose skyriuose aprašomas nuotraukos, kurioje yra QR brūkšninis kodas, apdorojimas ir brūkšninio kodo lokalizavimas. Pateikiami:

- Binarizavimo metodai ir jų palyginimas.
- Lokalizavimo algoritmas.
- Algoritmo spartos ir kokybės rezultatai.

### 9.1. Binarizacija

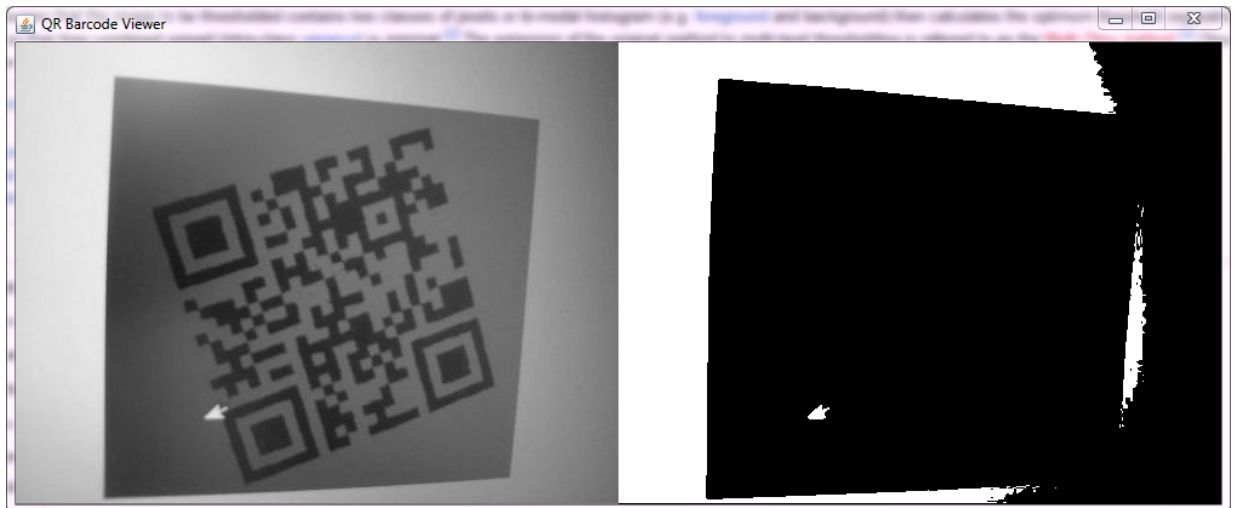
QR kodas yra tamsių ir šviesių pikselių rinkinys, tai nėra jokios prasmės dirbti su spalviniu paveikslėliu. Vertimas į pilkus atspalvius yra pirmas ir nesudėtingas, tačiau būtinas žingsnis. Antras, labai svarbus nuotraukos apdorojimo žingsnis yra binarizacija. Tinkamo binarizacijos metodo pasirinkimas yra svarbus momentas, nuo kurio priklauso apdorojimo laikas ir resursų sąnaudos.

#### 9.1.1. Otsu metodas

Otsu metodas plačiai naudojamas dėl paprastumo ir veiksmingumo. Tačiau šis metodas nėra tinkamas esant nepastoviom apšvietimo sąlygom. Slenksčio skaičiavimui Otsu metodas naudoja histogramą. Algoritmas iš histogramos išskiria dvi klases: pirmąjį planą (geriausiai matomą vietą) ir antrąjį planą (foną). Tos dvi klasės sudaromos taip, kad spalvų pasiskirstymas klasėje kuo mažiau varijuotų. Reikšmė tarp tų dviejų klasių yra optimalus slenkstis.

Praktiškai išbandžius rezultatai netenkino lūkesčių ir binarizacijos Otsu metodu buvo atsisakyta dėl:

- sąlyginai ilgo skaičiavimo laiko. Ilgai trunkanti binarizacija yra viena iš pagrindinių kliūčių norint algoritmą naudoti realiu laiku.
- binarizacijos kokybės. 15 pav. QR kodas turi ne dvi dideles klases (spalvų grupes), o tris. Algoritmas neteisingai padalina histogramą ir binarizuotas vaizdas nėra tinkamas tolimesniam darbui.



15 pav. Kairėje originalus paveikslas su QR kodu, dešinėje binarizuotas Otsu metodu.

### **9.1.2. Globalaus slenksčio metodas**

Globalaus slenksčio algoritmai apskaičiuoja slenkstį įvertindami visos nuotraukos pikselių reikšmes. Šis metodas labai gerai tinka didelio kontrasto nuotraukoms apdoroti, didžiausias metodo privalumas yra labai trumpas skaičiavimo laikas. Tačiau mažo kontrasto nuotraukoms šis metodas netinka, nes dažnai slenkstis yra parenkamas neteisingas. Taip pat algoritmas sunaudoja daugiau atminties lyginant su lokalaus slenksčio metodu. Šio binarizavimo metodo buvo atsisakyta.

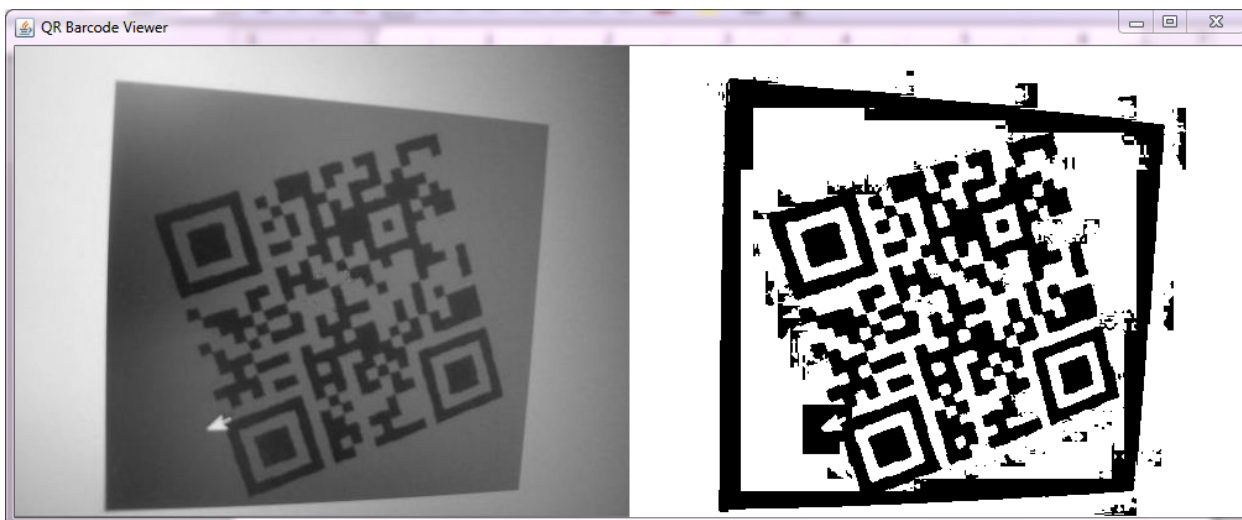


16 pav. Kairėje originalus paveikslas su QR kodu, dešinėje binarizuotas globalaus slenksčio metodu.

### **9.1.3. Lokalaus slenksčio metodas (pasirinktas metodas)**

Lokalaus slenkščio algoritmai apskaičiuoja slenkstį naudodami kaimyninių pikselių reikšmes - blokus. Blokai dažniausiai būna kvadrato, rečiau apskritimo formos. Šio metodo privalumas

mažas jautrumas kontrasto skirtumui. Metodas gali būti naudojamas tiek su mažu, tiek su didelio kontrasto nuotraukomis. Algoritmas sunaudoja mažiau atminties, nes nuotrauka yra skaitoma tik po bloką. Dažnai sunku nustatyti optimalų bloko dydį, to pasekoje binarizuotame vaizde matosi blokai.



17 pav. Kairėje originalus paveikslas su QR kodu, dešinėje binarizuotas lokalaus slenksčio metodu.

#### 9.1.4. *MinMax* metodas

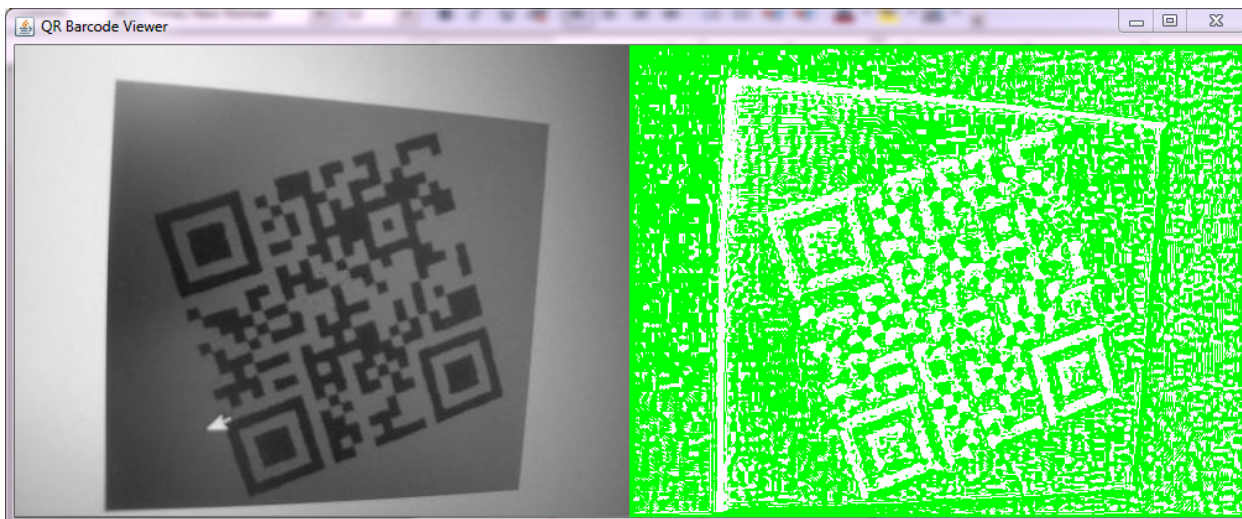
Metodas priklauso lokalaus slenksčio metodų tipui. Slenkstis apskaičiuojamas pagal paprastą formulę  $(\text{Max}-\text{Min})/2$ . Didžiausios reikšmės (Max) ir mažiausios reikšmės (Min) skirtumas padalinamas iš 2. Šio metodo atsisakyta dėl prastos binarizuoto vaizdo kokybės.



18 pav. Kairėje originalus paveikslas su QR kodu, dešinėje binarizuotas MinMax metodu.

### 9.1.5. Medianos filtras

Metodas priklauso lokalaus slenksčio metodų tipui. Visų kaimyninių pikselių spalvinės reikšmės yra surūšiuojamos. Slenkstis yra vidurinė reikšmė surūšiuotame sąrašė. Pvz. Turime surūšiuotą spalvinių reikšmių sąrašą: 0, 1, 2, 3, 4, 4, 4, 4, 4. Slenkstis bus 4. Šio metodo atsisakyta dėl prastos binarizuoto vaizdo kokybės.



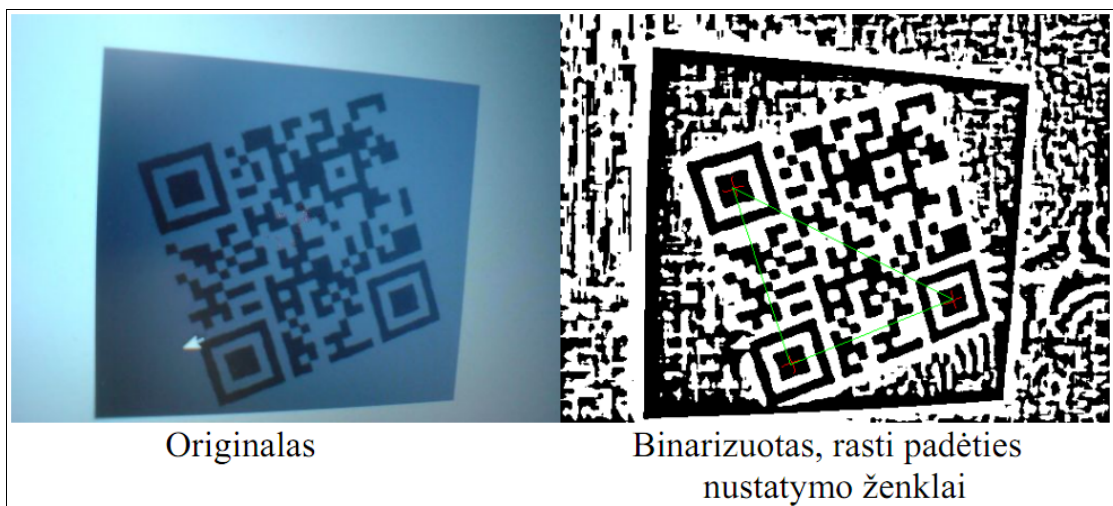
19 pav. Kairėje originalus paveikslas su QR kodu, dešinėje binarizuotas medianos metodu.

### 9.1.6. Laplaso filtras

Laplaso filtras susideda iš trijų pagrindinių žingsnių:

- Nuotraukos vaizdas yra vidurkinamas eilutėmis ir stulpeliais.
- Apskaičiuojamos antros eilės išvestinės naudojant vidurkintą vaizdą.
- Skaičiuojamas Laplaso įvertis iš antros eilės išvestinių reikšmių.

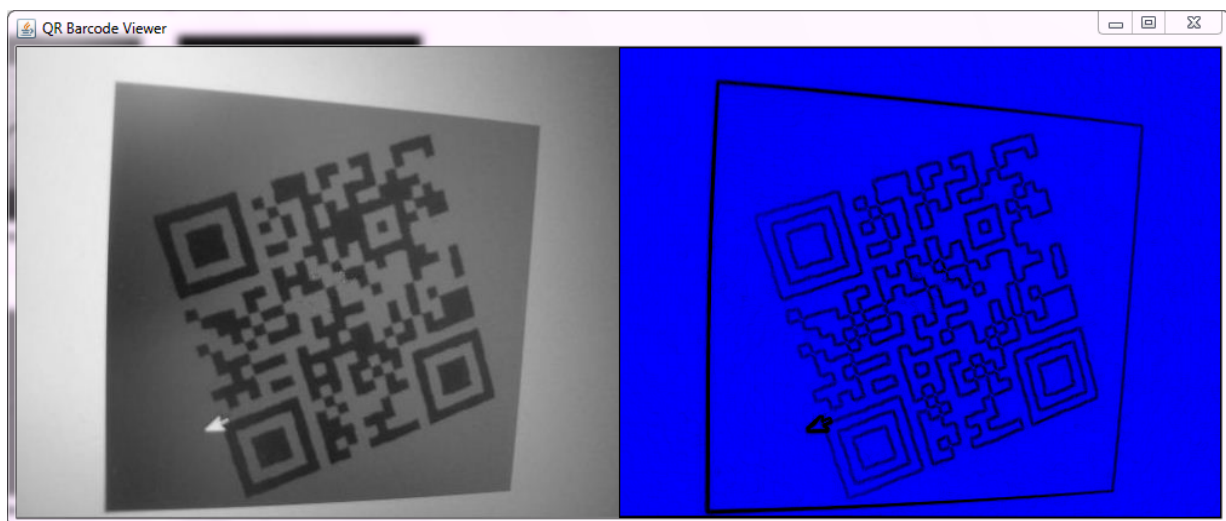
Laplaso vaizdo reikšmės gali būti neigiamos ir teigiamos. Teigiamos reikšmės vaizduojamos juodai, neigiamos baltai. Šio metodo atsisakyta dėl ilgesnio skaičiavimo laiko, lyginant su pasirinktu lokalaus slenksčio metodu.



20 pav. Originalus QR brūkšninis kodas ir binarizuotas Laplaso filtro metodu (su rasta padėties nustatymo ženklais).

### 9.1.7. Sobel operatorius

Sobel operatorius aproksimuoja vaizdo gradientą, skaičiuodamas suvidurkintas dalines išvestines horizontalia ir vertikalia kryptimi.[Ska10]. Šio metodo atsisakyta dėl ilgo skaičiavimo laiko.



21 pav. Originalus QR brūkšninis kodas ir apdorotas Sobel operatorium.

### 9.1.8. Canny briaunų aptikimas

Canny metodas filtruoja vaizdą keturiomis kryptimis, kad galėtų nustatyti horizontalius, vertikalius ir diagonalius kampus. Šio metodo atsisakyta dėl ilgo skaičiavimo laiko.



22 pav. Originalus QR brūkšninis kodas ir aptiktos briaunos naudojant Canny metodą.

## 9.2. Binarizacijos metodų palyginimas

Visiems binarizavimo metodams ištestuoti buvo naudomi tokie patys paveikslėliai, kurių raiška svyruoja nuo 322x322 iki 826x826. Tokioje raiškoje QR kodas gali būti pateiktas optimaliausiai (ne per mažas, kad sukeltų problemų atpažinimo kokybei, ir ne per didelis, kad smarkiai įtakotų atpažinimo laiką). Ketvirtoje lentelėje pateikiamas binarizacijos metodų palyginimas.

4 lentelė. Skirtingų binarizacijos metodų palyginimas.

Metodas	Vidutinis laikas (ms)	Pastabos
<b>Binarizacija</b>		
Lapas	164	Daugeliu atveju binarizacijos rezultatai yra labai geri.
Otsu	282	Vidutiniška. Marguose paveiksluose binarizacijos rezultatas yra netinkamas tolimesniam darbui.
Globalus slenkstis	14	Vidutiniška. Marguose paveiksluose binarizacijos rezultatas yra netinkamas tolimesniam darbui.
Medianos filtras	1488	Binarizacijos rezultatai labai prasti ir laiko sąnaudos labai didelės
MinMax filtras	994	Binarizacijos rezultatai geri, bet laiko sąnaudos labai didelės.
Lokalus slenkstis	18	Daugeliu atveju binarizacijos rezultatai yra labai geri.
<b>Briaunų aptikimas</b>		

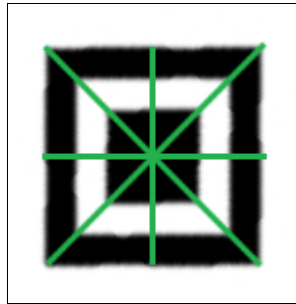


Canny briaunų aptikimas	1019	Laiko sąnaudos labai didelės
Sobel operatorius	555	Laiko sąnaudos labai didelės

Įvertinus binarizacijos rezultatus, pasirinktas lokalaus slenksčio metodas.

## 10. QR brūkšninio kodo lokalizavimas

Lokalizavimo tikslas rasti nuotraukoje esantį objektą (23 pav.) ir jo koordinatas.



23 pav. Padėties nustatymo taškas.

### 10.1. Požymių sekos ieškojimas viena kryptimi ir patikrinimas jai statmena kryptimi

1. Skenuojamas paveikslukas viena kryptimi (pvz horizontaliai)
2. Radaus požymių seką toje vietoje skenuojam kita kryptimi (vertikalčiai).
3. Tikrinama ar toje vietoje rasta vertikali seka.
4. Jeigu rasta - darome prielaidą, kad tai yra galimas centras.
5. Kartojami 1- 4 žingsniai, kol visas paveikslukas yra nuskenutas.
6. Grupuojami galimi centrai.
7. Trys grupės turinčios daugiausiai gretimų galimų centrų yra traktuojamos kaip tikrieji centrai.

Privalumai:

- Randama mažiau apsišaukėlių.
- Reikia mažiau skaičiavimų atrenkant tikruosius centrus.

Trūkumai:

- Jautrus triukšmui.
- Bendrai suranda mažiau taškų, todėl yra didelė tikimybė nesurasti tikrųjų centrų.
- Problematiškas pradžios ir pabaigos koordinatų rėžių nustatymas, kuriuose turi skenuojama kita kryptimi (2 žingsnis). Tai labiausiai jaučiasi, kai QR kodas yra pasuktas

45 laipsnių kampu.

## **10.2. Požymių sekų ieškojimas abiejomis kryptimis**

1. Ieškomos požymių sekos horizontaliai.
2. Ieškomos požymių sekos vertikalčiai.
3. Grupuojami taškai. Bent dvi požymių sekos (viena horizontaliai, kita vertikalčiai) esančios šalia bus traktuojamas kaip galimas centras.
4. Trys grupės turinčios daugiausiai gretimų galimų centrų yra traktuojamos kaip tikrieji centrai.

Privalumai:

- Mažiau jautrus triukšmui.
- Bendrai randa daugiau taškų.

Trūkumai:

- Randama daugiau apsišaukėlių.
- Reikia daugiau skaičiavimų atrenkant tikruosius centrus.

## **10.3. Požymių sekų ieškojimas keturiomis kryptimis**

1. Ieškomos požymių sekos keturiomis kryptimis: horizontaliai, vertikalčiai ir dvi įstrižai.
2. Grupuojami taškai.
3. Trys grupės turinčios daugiausiai gretimų galimų centrų yra traktuojamos kaip tikrieji centrai.

Privalumai:

- Randama daug taškų.
- Sugrupavus galimus centrus tikrieji centrai stipriai išsiskiria nuo apsišaukėlių.

Trūkumai:

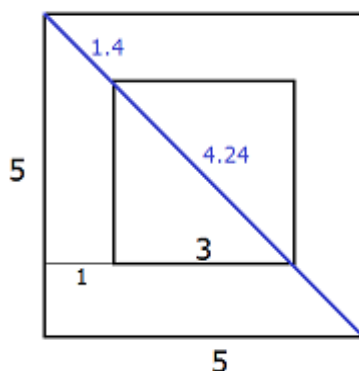
- Skaičiavimo užtrunka ilgiau, nes yra daugiau taškų, kuriuos reikia sugrupuoti.

## **11. Dinaminis koeficientų parinkimas**

Realizuojant lokalizavimo algoritmą buvo susidurta su koeficientų parinkimo problema. Kiekvienu atveju QR kodo dydis nuotraukoje yra skirtingas. Tam reikia apibrėžti minimalų ir maksimalų leistiną nuokrypį, kuris apibrėžia, ar taškas gali būti galimas centras, t.y. ar taškas yra padėties nustatymo ženkle. Praktika parodė, kad koeficientai turi būti griežtai apibrėžti.

Koeficientų „pritempimas“ norint pagerinti algoritmo efektyvumą su tam tikromis testinėmis nuotraukomis neatnešė naudos, nes su visiškai kitomis nuotraukomis algoritmo efektyvumas smarkiai smuko.

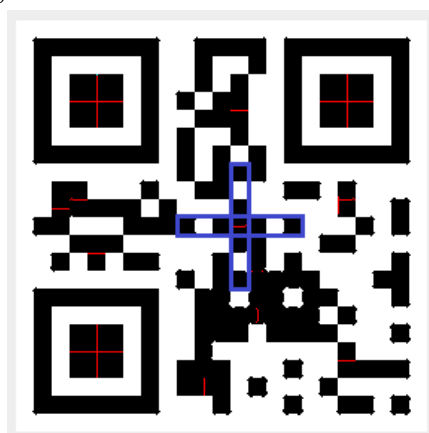
Vienetinio dydžio padėties nustatymo ženkle apskaičiuoti apytiksliai maksimalūs nuokrypio atstumai esant optimaliom sąlygom. Atsižvelgiant į galimas geometrines transformacijas, šie koeficientai turi būti dar šiek tiek padidinti. Praktiškai ir teoriškai pasitvirtino, kad optimalūs nuokrypio režiai yra  $1 \pm 0.5$  segmento. Esant vienetiniam dydžiui minimalus leistinas nuokrypis 0.5 segmento dydžio, o maksimalus 1.5 segmento dydžio.



24 pav. Vienetinio dydžio padėties nustatymo ženklas ir apytiksliai nuokrypiai.

## 12. Apsišaukėliai

Apsišaukėliai - tai tokios požymių sekos, kurios nėra tikrieji centrai, bet turinčios tikrųjų centrų požymius. Paveiksle raudonai pažymėti taškai, kurie bent viena kryptimi atitinka požymių seką. Mėlynai apvesta teritorija idealiai atitinka požymių seką abiem kryptimis ir yra stiprus kandidatas tapti tikroju centru, nors toks nėra.



25 pav. Apsišaukėliai.

## 12.1. Apsišaukėlių eliminavimas

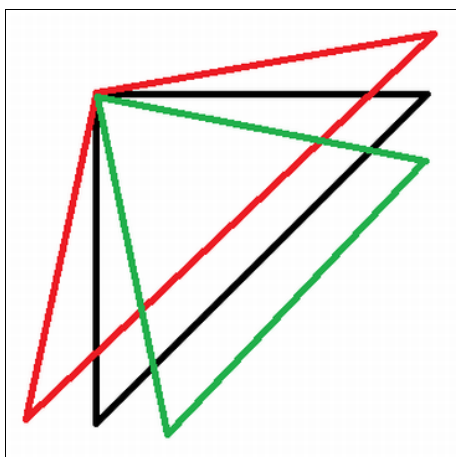
Atlikus galimų centrų grupavimą reikia eliminuoti apsišaukėlius ir išrinkti tikruosius centrus. Idealiu atveju tikrieji centrai yra tie, kurie turi daugiausiai gretimų požymių sekų. Tačiau realiomis sąlygomis taip yra ne visada. Apsišaukėlių eliminavimui padeda griežtai apibrėžta QR brūkšninio kodo struktūra. Trys padėties nustatymo ženklai esantys brūkšniniame kode sudaro įsivaizduojamą statųjį trikampį. Pasinaudoję gerai žinoma Pitagoro teorema galima nustatyti ar įsivaizduojamas trikampis yra status. Perrinkimų kiekis gali būti apskaičiuojamas naudojant derinius.

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

26 pav. Derinių skaičius randamas pagal tokią formulę.

Kintamasis  $k$  yra trikampio kraštinių skaičius. Kintamasis  $n$  yra visų kraštinių skaičius, tai  $n \geq 3$ . Perrinkimų skaičius greitai auga didėjant kraštinių skaičiui, todėl reikia atsakingai rinktis galimų centrų paieškos algoritmą, bei grupavimo kriterijus.

Praktikoje įsivaizduojamas trikampis nebus idealiai status, nes nuotrauką įtakoja 7 skyriuje (Priežastys įtakančios nuotraukos kokybę) aprašyti veiksniai. Tam reikia nustatyti minimalų ir maksimalų leistiną statumo nuokrypį, kuris dar bus laikomas stačiu trikampiu.



27 pav. Juodas status trikampis. Raudonas maksimalus, žalias minimalus nuokrypis.

Apsišaukėlių eliminavimas ir tikrųjų centrų atrinkimas naudojant Pitagoro teoremą su stačiais trikampiais pasiteisina, kai nuotraukoje yra vienas QR brūkšninis kodas. Tačiau praktikoje pasitaiko algoritmui neparankių išimčių, kai nuotraukoje yra du ir daugiau QR brūkšninių kodų. Visi QR brūkšniniai kodai (22pav.) yra vienodo dydžio, tai jų segmento dydžiai

bus vienodi arba labai artimi vienas kitam. Kadangi segmento dydis nieko nesako apie bendrą QR brūkšninio kodo dydį, tai trikampaiai gali susidaryti net iš skirtingų QR brūkšninių kodų.



28 pav. Daug QR brūkšninių kodų.

## 13. Sukurti algoritmai

Sukurti du algoritmai naudojant skirtingus metodus nuotraukos apdorojimui ir QR brūkšninio kodo lokalizavimui vaizde.

### 13.1. Pirmas

Nuotraukos binarizavimui naudojamas Laplaso filtro metodas. Lokalizavimui naudojamas algoritmas aprašytas 10.2 skyriuje. Algoritmas sėkmingai lokalizuoja 99% QR kodų, tačiau laiko sąnaudos yra didelės (5 lentelė), todėl algoritmas negali būti naudojamas realiu laiku. Tačiau algoritmas gali būti panaudotas QR kodų lokalizavimui prastose nuotraukose, kai laiko sąnaudos nėra svarbios.

### 13.2. Antras

Nuotraukos binarizavimui, kaip pagrindas, naudojamas lokalių kaimynų metodas. Šis metodas išplėstas papildomu funkcionalumu. Siekiant sumažinti nereikšmingų pikselių kiekį yra atsižvelgiama į bloko kontrastą. Jeigu bloke esančių spalvų kontrastas mažas ir tamsiausia reikšmė šviesesnė negu 127 (pusė grayscale intervalo) tai traktuojama, kad visas blokas yra

nereikšmingas ir jis nuspalvinamas baltai.

Lokalizavimo metodas susideda iš šių žingsnių:

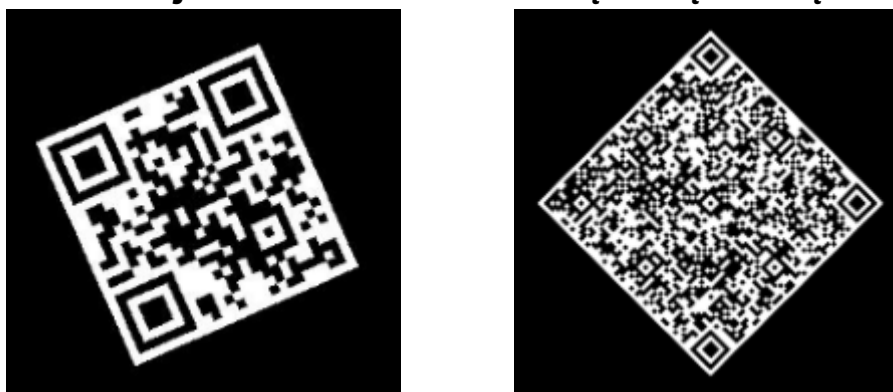
1. Ieškomos požymių sekos horizontaliai.
2. Radus požymių seką ji iš karto grupuojama su šalia rastom horizontaliom sekom. Koordinatės turi būti artimos ir segmento dydis gali skirtis minimaliai. Taip sudaromi potencialūs padėties nustatymo ženklų centrai.
3. Ieškomos požymių sekos vertikalčiai.
4. Radus vertikalią seką, ieškoma ieškoma horizontalios sekų grupė, prie kurios rasta vertikali seka labiausiai tinka.
5. Trys grupės turinčios daugiausiai gretimų horizontalių ir vertikalių sekų yra traktuojamos kaip tikrieji padėties nustatymo taškų centrai.

Šis lokalizavimo algoritmas yra algoritmo, aprašyto 10.2. skyriuje modifikacija ir laiko atžvilgiu greičiausias iš visų paieškos algoritmų pateiktų 10. skyriuje.

## 14. Rezultatai

Algoritmui tikrinti buvo sukurtas 1000 QR brūkšninių kodų rinkinys. Dirbtiniai QR brūkšniniai kodai sugeneruoti švariame fone iš atsitiktinio teksto, kurio ilgis atsitiktinai varijuoja nuo 1 iki 200 simbolių. Tai užtikrina, kad QR brūkšniniai kodai bus skirtingo dydžio (mastelio). Taip pat paveikslai yra pasukti atsitiktiniu kampu.

### 14.1. Testas naudojant 1000 QR brūkšninių kodų rinkinį



29 pav. Testiniai QR brūkšniniai kodai.

Naudojant vieną geriausių šiuo metu atviro kodo QR brūkšninių kodų skaitytuvą (ZXing) buvo nustatytos padėties nustatymo ženklų koordinatės. Šios koordinatės buvo naudojamos, kaip etaloniniai duomenys mano algoritmo tikrinimui.

5 lentelė. Kiek surasta padėties nustatymo ženklų.

	Sėkmingai surasta	Laiko sąnaudų vidurkis (ms)
Mano algoritmas #1	995	180 - 550
Mano algoritmas #2	963	92
ZXing	978	63

#### 14.2. Testas naudojant 17 nestandartinių QR brūkšninių kodų



30 pav. Nestandartiniai QR brūkšniniai kodai.

6 lentelė. Kiek surasta padėties nustatymo ženklų.

	Sėkmingai surasta	Laiko sąnaudų vidurkis (ms)
Mano algoritmas #1	12	333
Mano algoritmas #2	14	55
ZXing	13	26

## Išvados ir rekomendacijos

Darbe išnagrinėtas QR brūkšninis kodas, aprašyta svarba pramonėje bei kasdieniniame gyvenime. Lyginant tarpusavyje išnagrinėtos pagrindinės problemos, su kuriomis susiduriama naudojant brūkšninius kodus. Išanalizuoti binarizavimo metodai, pateiktas kiekvieno algoritmo veikimo aprašymas, vaizdinis binarizacijos rezultatas ir binarizavimo testo rezultatai. Testuojama buvo sparta ir kokybė. Aprašyti lokalizavimo algoritmai, pateikti jų privalumai ir trūkumai. Darbo tikslas pasiektas - sukurta programinė įranga skirta lokalizuoti QR kodą vaizde. Išsamiai aprašyti programinės įrangos veikimo algoritmai, naudojami metodai, skirti šalinti kūrimo procese iškilusias problemas. Sukurta programinė įranga buvo testuota ir rezultatai palyginti su vienu geriausiu šio meto algoritmu Zxing. Testų rezultatai rodo, kad mano sukurtas produktas nežymiai nusileidžia sparta, bet lenkia kokybe lyginant su ZXing programine įranga.



## Literatūros sąrašas

[Vhl] Brightness and geometric transformations. URL:

<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresEn/11ImageProc/18BrightGeomTxEn.pdf> 1.83MB

[Mmm93] An Efficient MRF ImageRestoration Technique Using Deterministic Scale-Based Optimization. URL:

[http://www.ll.mit.edu/publications/journal/pdf/vol06\\_no1/6.1.7.efficientmrf.pdf](http://www.ll.mit.edu/publications/journal/pdf/vol06_no1/6.1.7.efficientmrf.pdf) 6.26 MB

[Vid10] Vaizdų vidurkinimas ir požymių išskyrimas. A. Bastys, 2010 URL:

<http://www.mif.vu.lt/~bastys/academic/ATE/biometrika/Vidur.pdf> 2.45 MB

[Ska10] Automobilio numerio atpažinimas 2004 URL:

[https://kedras.mif.vu.lt/bastys/academic/ATE/skaiciai/skaiciu\\_atp.htm](https://kedras.mif.vu.lt/bastys/academic/ATE/skaiciai/skaiciu_atp.htm) 30.5KB

[Wqr11] QR code. URL:

[http://en.wikipedia.org/wiki/QR\\_code](http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code)

[Wim11] Image processing. URL:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_restoration](http://en.wikipedia.org/wiki/Image_restoration) 13KB

[Wbi11] Biometrics. URL:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Biometrics> 27KB

[Wik11] Штриховой код. URL:

[http://ru.wikipedia.org/wiki/Штриховой\\_код](http://ru.wikipedia.org/wiki/Штриховой_код) 28KB

[Dat] Two-Dimensional Bar Code Overview. URL:

<http://www.dataintro.com/lit/wp2dbarcodes.pdf> 100KB

[Wbr11] Brūkšninis kodas. URL:

[http://lt.wikipedia.org/wiki/Brūkšninis\\_kodas](http://lt.wikipedia.org/wiki/Brūkšninis_kodas) 10KB

[Den10] Bar code to 2D Code. URL:

<http://www.denso-wave.com/qrcode/aboutqr-e.html> 15KB

[Wde12] Deriniai. URL

<http://lt.wikipedia.org/wiki/Deriniai> 8 KB

[Qrb08] QR Code. URL:

[http://qrbcn.com/imatgesbloc/Three\\_QR\\_Code.pdf](http://qrbcn.com/imatgesbloc/Three_QR_Code.pdf) 759KB

[Wik11] Reed–Solomon error correction. URL:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Reed–Solomon\\_error\\_correction](http://en.wikipedia.org/wiki/Reed–Solomon_error_correction) 27KB

[Zxi12] ZXing ("Zebra Crossing"). URL:

<http://code.google.com/p/zxing/>

[Gya09] BER BASED FRR ANALYSIS OF LOW PARAMETER GRADE 2D BARCODES, GAURAV YADAV, 2009. URL:

[http://dspace.thapar.edu:8080/dspace/bitstream/10266/1027/3/1027Gaurav+Yadav\(80761010\).pdf](http://dspace.thapar.edu:8080/dspace/bitstream/10266/1027/3/1027Gaurav+Yadav(80761010).pdf)

[Mis08] A COMPUTER VISION BASED BARCODE READING SYSTEM, MEHMET İLHAMİ SAFRAN, 2008 URL: <http://acikarsiv.atilim.edu.tr/browse/257/270.pdf>

[Yml06] Automatic Recognition Algorithm of Quick Response Code Based on Embedded System, Yue Liu, Mingjun Liu, 2006: URL:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4021764>