FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ČVUT V PRAZE

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Název:	Analýza a popis vzorku pneumatiky
Student:	Radka Vopatová
Vedoucí:	doc. RNDr. Ing. Marcel Jiřina, Ph.D.
Studijní program:	Informatika
Studijní obor:	Teoretická informatika
Katedra:	Katedra teoretické informatiky
Platnost zadání:	Do konce zimního semestru 2018/19

Pokyny pro vypracování

Cílem práce je analyzovat různé typy vzorků pneumatik a jejich otisků a následně navrhnout způsob jejich popisu (reprezentace) tak, aby se následně daly srovnávat různé vzorky a otisky mezi sebou a dále návrhnout vhodnou metriku pro srovnávání těchto vzorků a otisků, tj. stanovování míry jejich podobnosti. Součástí práce je i sběr snímků různých pneumatik a jejich otisků a jejich následné zpracování, tj. extrakce potřebných charakteristik pro jejich popis a srovnávání.

1) Proveďte rešerši stávajících metod popisu vzorku pneumatiky. Inspirujte se popisem otisku prstu.
2) Navrhněte způsob reprezentace vzorku, resp. otisku pneumatiky a způsob porovnávání vzorků (otisků) mezi sebou.
3) Navržené způsoby implementujte ve vhodném programovacím jazyce. Umožněte ruční, případně poloautomatický převod obrazových dat do navržené reprezentace.
4) Proveďte sběr obrazových dat vzorků a otisků pneumatik.
5) Navržené a implementované postupy ověřte na reálných datech a dosažené výsledky vyhodnoťte.

Seznam odborné literatury

Dodá vedoucí práce.

doc. Ing. Jan Janoušek, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. RNDr. Ing. Marcel Jiřina, Ph.D.
děkan

V Praze dne 23. března 2018

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií
Katedra teoretické informatiky

Bakalářská práce

Analýza a popis vzorku pneumatiky

Radka Vopatová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Ing. Marcel Jiřina, Ph.D.

15. května 2018

Poděkování

Děkuji doc. RNDr. Ing. Marcelu Jiřinovi, Ph.D. za vedení této práce, za jeho cenné rady a vstřícný přístup. Také děkuji rodině, přátelům a všem, kteří mě podpořili při tvorbě této práce i v samotném studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů, zejména skutečnost, že České vysoké učení technické v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 15. května 2018 .....

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií
© 2018 Radka Vopatová. Všechna práva vyhrazena.
Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Vopatová, Radka. *Analýza a popis vzorku pneumatiky.* Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2018.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou a popisem vzorku pneumatiky z fotografie otisku. Cílem práce je seznámit se s metodami popisu otisků používaných v současné době a návrh vlastního způsobu reprezentace vzorku. Reprezentace bude implementovaná v prostředí MATLAB a následně testována na reálných datech.

Klíčová slova analýza, pneumatika, dezén, běhoun, otisk pneumatiky, MATLAB

Abstract

This bachelor thesis deals with the analysis and description of tire tread imprint from photograph. The goal is to explore recent methods which are used for description of tire tread pattern and design own method for its representation. Selected representation will be implemented in MATLAB environment and then it will be tested on real data.

Keywords analysis, tire, tire tread, tread pattern, tread imprint, MATLAB

Obsah

Úvod **1**

1 Představení úlohy **3**
1.1 Pneumatika 3
1.2 Běhoun 5
1.3 Forenzní využití 8

2 Analýza **11**
2.1 Databáze 11
2.2 Algoritmy 11
2.3 Nástroje 17
2.4 Paralela s jinými otisky 23

3 Návrh **29**
3.1 Reprezentace otisku 29
3.2 Databáze 34
3.3 Aplikace 37
3.4 Algoritmus pro určení podobnosti 40

4 Realizace **41**
4.1 Volba jazyka 41
4.2 Uživatelské rozhraní 41
4.3 Databáze 44
4.4 Implementace 44

5 Testování a vyhodnocení **49**
5.1 Testování 49
5.2 Vyhodnocení 54

Závěr **55**

Literatura **57**

A Seznam použitých zkratek **61**

B Uživatelská příručka **63**

C Obsah přiloženého CD **67**

Seznam obrázků

1.1 Konstrukce pneumatiky[1] 4
1.2 Druhy pneumatik[2] 5
1.3 Názvosloví 6
1.4 Typy dezénu (zleva symetrický, asymetrický a směrový)[3] 8
1.5 Příklad sekvence úseků pro snížení hlučnosti[4] 9

2.1 Geometrické závislosti 2D Radonové transformace[5] 13
2.2 Vývojový diagram algoritmu Radon-DTCWT[6] 14
2.3 Frekvenční mapa Curvelet transformace[6] 15
2.4 Druhy vzorků pneumatiky (zleva vertikální, horizontální, diagonální a nepravidelný)[6] 16
2.5 Vývojový diagram algoritmu CEDA[6] 17
2.6 Databáze v EXCEL formátu[7] 18
2.7 Databáze v ACCESS formátu[7] 19
2.8 Ukázka GUI TreadMate[8] 20
2.9 Ukázka nalezených pneumatik[8] 21
2.10 Struktura a obsah databáze[9] 23
2.11 Rozhraní databáze[9] 24
2.12 Ukázka otisků podrážek z Forensic Science Service databáze 25
2.13 Vucetichova primární klasifikace[10] 27
2.14 Vucetichova sekundární klasifikace[10] 27
2.15 Základní typy otisku prstu [11] 27

3.1 Příklad tvarů drážek: (a) přímá, (b) lomená, (c) obecná 31
3.2 Počet bloků daného otisku 32
3.3 Definice středové části v rámci programu 32
3.4 Označené charakteristiky ve vyvíjené aplikaci 34
3.5 Konceptuální model databáze 37
3.6 Předzpracování: (a) originál, (b) po rotaci, (c) po vyříznutí 39

4.1 Rozhraní pro předzpracování 42

4.2 Rozhraní aplikace 43
4.3 Ukázka záznamu z databáze 45

5.1 Testované otisky 50
5.2 Množina možností pro otisk (a) 51
5.3 Množina možností pro otisk (b) 52
5.4 Množina možností pro otisk (c) 53

B.1 Příklad vstupu (zleva špatně, správně) 63
B.2 Příklad vstupu (zleva špatně, správně) 64

Seznam tabulek

3.1 Zastoupení prvků ve zkoumaném vzorku dat 30
3.2 Zastoupení prvků ve středu vzorků ve zkoumaném vzorku dat . . . 33
3.3 Popis jednotlivých pozic vektoru 33
3.4 Váhy a tolerance jednotlivých parametrů 35

5.1 Úspěšnost vyhodnocení shody 53

Úvod

V dnešní době jsou automobily všudypřítomné, téměř každá rodina alespoň jeden vlastní. Jen od roku 2006 do roku 2015 narostl počet celosvětově užívaných vozidel téměř o 30%.[12]

I když automobily značně ulehčují život v moderní společnosti, přináší to i svou daň. S nárůstem užívání vozidel roste i počet nehod zapříčiněných právě těmito výdobytky moderní doby. Mnohem více jsou vozidla zapojena i do kriminální činnosti, a proto vznikají databáze vozidel, které mají pomoci ve vyšetřování.

Identifikace otisků pneumatik z místa činu se v posledních 20 letech stalo velmi populární.[7] Identifikování specifického otisku je ovšem velice náročná disciplína. Vzhledem k množství druhů pneumatik na celosvětovém trhu, vyhledávání v tištěné databázi trvá dlouhou dobu. Ale díky pokroku IT technologií a elektronických zařízení, lze tento proces výrazně zefektivnit.

Tato práce se zabývá tématikou identifikace otisku pneumatiky. Snaží se co nejrychleji vyhledávat shodu v databázi s co nejvyšší přesností. V práci nechybí ani shrnutí současných způsobů řešení problémů a navržení vlastního postupu. Výstupem práce je funkční prototyp programu, který hledá shodu otisku ve vytvořené databázi.

Kapitola 1

Představení úlohy

Tato kapitola slouží k seznámení čtenáře se základními skutečnostmi, které budou tvořit stavební kameny pro tuto práci. Začíná u základních prvků z kterých je pneumatika tvořena a následně se blíže zaměřuje na běhoun pneumatiky. Je zde uvedeno základní rozdělení běhounu podle vzorků, a také je zde nastíněn význam jednotlivých prvků obsažených ve vzorku.

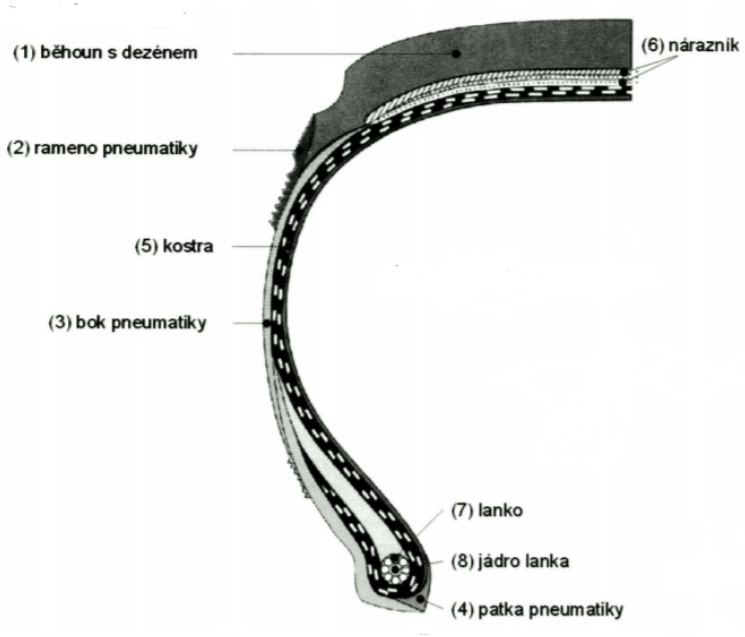
V poslední části této kapitoly je ukázáno k čemu slouží otisk běhounu z forenzního hlediska. A to sice podle jakých znaků dokáží kriminalisté přiřadit zkoumaný otisk ke konkrétní pneumatice.

1.1 Pneumatika

Pneumatikou je označován celek, který se skládá z pláště, duše a ochranné vložky. Konstrukce pneumatiky dělí její části na *8 prvků*:

1. běhoun s dezénem
2. rameno pneumatiky
3. bok pneumatiky
4. patka pneumatiky
5. kostra
6. nárazník
7. lanko
8. jádro lanka

Tato práce se bude především zabývat *běhounem* a to právě kvůli *dezénu* a jeho vzorům. Nicméně pro dokreslení obrazu celého problému budou okrajově zmíněny i další důležité prvky.



Obrázek 1.1: Konstrukce pneumatiky[1]

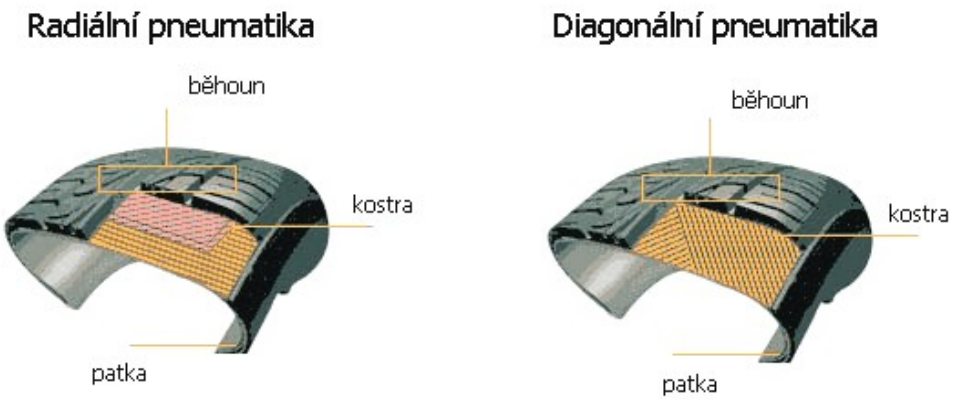
1.1.1 Druhy pneumatik

Kostra pneumatiky je tvořena z vložek bavlněných, plastových, polyesterových nebo ocelových vláken navzájem spojených pryží. Podle způsobu vedení těchto pásů rozeznáváme *3 druhy* pneumatik:

- **Radiální** – v kostře pneumatiky jsou jednotlivé kordy poskládány rovnoběžně od patky k patce a svírají s obvodovou kružnicí úhel 90 stupňů, kostra je vyztužená nárazníkovými pásy
- **Diagonální** – v kostře pneumatiky se kordy v jednotlivých vrstvách vzájemně kříží a svírají s obvodovou kružnicí úhel 30 až 40 stupňů
- **Smíšené** – kombinace dvou předchozích

V dnešní době je většina pneumatik u osobních vozidel *radiálních*, protože jsou účinější v redukci kroucení[1] povrchu v době používání (oproti smíšeným). Ale i tak stále můžeme *smíšené* pneumatiky najít např. u nákladních vozidel.

[1] smršťování a roztahování



Obrázek 1.2: Druhy pneumatik[2]

1.2 Běhoun

Běhounem se rozumí ta část pláště, která je opatřená vzorkem a zajišťuje kontakt kola s vozovkou. Tento vzorek nazýváme **dezénem** a slouží k přenášení hnací, brzdné a boční síly. Dezén pneumatiky je vzájemným uspořádáním *výstupků, žeber, rýh, lamel, podélných a příčných drážek.*

Každý prvek designu má svůj účel, který má zásadní vliv na správnou činnost pneumatiky. V literatuře se názvosloví prvků značně liší, proto zde autorka vymezí pojmy, které budou používány po zbytek práce. [13]

Obrázek 1.3: Názvosloví

Obvodové drážky jsou rýhy vedoucí po celém obvodu pneumatiky (ve směru otáčení kola). Zajišťují přenos příčných sil, čímž ovlivňují směrovou stabilitu vozidla při jízdě a hrají významnou roli při odvodu vody ze styčné plochy pneumatiky s vozovkou.

Příčnými drážkami také nazýváme rýhy, ale v tomto případě se jedná o rýhy, které nevedou po celém obvodu pneumatiky. Zajišťují přenos tažné síly na vozovku a přenos sil vznikajících při brzdění. Efektivně odvádějí vodu při jízdě na mokré vozovce a starají se o co nejlepší záběr ve sněhu.

Blok je menší část dezénu ohraničená obvodovými a příčnými drážkami.

Lamelami se rozumí jemné rýhování jednotlivých částí na pneumatice, které zvyšuje záběrové a brzdicí schopnosti. Při akceleraci či brzdění se rozevřou, čímž vznikne větší množství záběrových hran. Hlavní význam při jízdě na mokré vozovce spočívá v tom, že rozevřením se do vzniklých dutin může dostat voda, a tím se zmenší množství vody, které je nutno odvést ze styčné plochy pneumatiky s vozovkou. Při přenosu bočních sil se lamely zaklesnou a vytvoří tak blok s vyšší tuhostí, který je příčinnou lepší boční stability a nižšího opotřebení.

Žebro je pás táhnoucí se po celém obvodu pneumatiky, často vymezený obvodovými drážkami.

1.2.1 Druhy dezénu

V závislosti na typu vzorku dezénu řadíme pneumatiky do následujících kategorií:

- **Symetrické**
- **Asymetrické**
- **Směrové**

1.2.1.1 Symetrický dezén

Symetrické pneumatiky jsou v dnešní době standardním typem používaným především u nižší a střední třídy vozidel. Hlavní výhodou jsou vyvážené vlastnosti na každém povrchu, fungují dobře jak na suché, tak i na mokré vozovce.

Díky symetrii dezénu lze pneumatiku umístit na vozidle na libovolnou pozici.

Obrázek 1.4: Typy dezénu (zleva symetrický, asymetrický a směrový)[3]

1.2.1.2 Asymetrický dezén

Asymetrické pneumatiky jsou rozděleny do dvou odlišných částí, vnitřní a vnější. Vnitřní strana dezénu slouží k odvodu vody a přenosu záběrových a brzdných sil na vozovku. Oproti tomu strana vnější zajišťuje vedení v přímém směru a stabilitu v zatáčkách.

Při montáži musíme dbát na označení na bočnicích pneumatiky, tzn. strana s označením „outside“ patří na vnější stranu a „inside“ na stranu vnitřní.

1.2.1.3 Směrový dezén

Směrové pneumatiky můžeme vnímat jako jistou formou symetrického dezénu. Jsou charakteristické tzv. šípovým designem, který má velmi dobrý záběr po celé ploše. Tento vzorek výborně odvádí sníh i vodu z běhounu, a proto je nejpoužívanější u zimních pneumatik.

Při montáži je třeba dbát na směr otáčení, proto má každá pneumatika na bočnici šipku. Toto označení udává směr ve kterém má být pneumatika namontována. [14]

1.3 Forenzní využití

Zkoumání otisků, ať už od pneumatik, bot či otisků prstů je nedílnou součástí současné kriminalistiky. V této sekci jsou popsány parametry, které jsou zkoumané na otisku pneumatiky z místa činu.

Otisk pneumatiky je výsledkem přenosu detailu pneumatiky na podklad. V závislosti na podkladu rozlišujeme otisky na *3D* a *2D*. O 3D stopách mluvíme v případě otisknutí do půdy, písku či sněhu, oproti tomu 2D stopy vzniknou pokud pneumatika projede skrz prach, krev nebo jiný materiál.

Při odebírání otisků je nutné zaznamenat maximum informací jako šířku otisku, případně i hloubku otisku.

1.3.1 Charakteristiky otisku

Přenos vzorku, velikosti a dalších získaných rysů může sloužit jak k identifikaci podezřelého vozidla, tak i k eliminaci stop od vozidel záchranných složek. V této části, si podrobněji přiblížíme co vše může pomoci kriminalistům při identifikaci pneumatiky oproti danému otisku.

1.3.1.1 Design

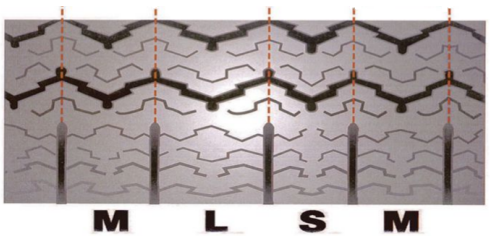
Design vzorku se skládá z velmi specifických a detailních uspořádání bloků, drážek a lamel. Některé vzorky mají podobný vzhled jako jiné, ale k závěru, že design odpovídá je potřeba, aby celá část vzorku viditelná na otisku byla totožná s otiskem zkoumané pneumatiky.[4]

1.3.1.2 Rozměr a vnější hlučnost

Většina pneumatik se vyrábí ve větším množství velikostí. Rozměr otisku ukazuje na fyzickou velikost běhounu, která může pomoci určit o jaký typ vozidla se jedná. Např. nákladní vozidla mají přirozeně pneumatiky širší než vozidla osobní.

Každá pneumatika je zařazena do určité **třídy vnější hlučnosti** podle množství hluku vydávaném za jízdy. Pro redukci tohoto hluku jsou po obvodu běhounu úseky různých velikostí. Na obrázku 1.5 je uveden příklad sekvence šířek úseků na pneumatice.

Pokud je z otisku zřetelná poloha **ukazatele opotřebení** v kombinaci s variací úseků, dostaneme tak další cennou informaci v procesu porovnávání.[4]



Obrázek 1.5: Příklad sekvence úseků pro snížení hlučnosti[4]

1.3.1.3 Znaky opotřebení

Třecí síly způsobují erozi na pryži pneumatiky, která ovlivňuje *viditelnost prvků* na blocích, lamelách a některých drážkách. Například nějaké lamely a dokonce i nějaké příčné drážky částečně zmizí.

Mnoho těchto znaků může být znatelných právě i na otisku. Tímto porovnáním se počet dalších možných pneumatik stejného rozměru a designu výrazně zredukuje.[4]

1.3.1.4 Individuální charakteristiky

Náhodné, individuální charakteristiky zahrnují *škrábance, řezy, praskliny a odřeniny* způsobené v průběhu užívání. Zároveň se jedná i o *objekty náhodně uvízlé ve vzorku*, jako jsou kamínky, sklo, hřebíky a další dočasně či trvale zachycené artefakty na běhounu.

Jejich velikost, tvar, orientace, stejně tak i přesná pozice v závislosti na jednotlivých prvcích pneumatiky je činí hodnotným přínosem při identifikaci pneumatiky.[4]

Kapitola 2

Analýza

Nalezení hledaného vzorku pneumatiky z databáze s mnoha záznamy v krátkém čase je kritické. Přestože bylo navrženo mnoho algoritmů k extrakci vzorků z obrazu, průzkum literatury ukazuje, že jen malé množství se specializuje právě na získávání vzorku z otisku pneumatiky.[6]

Kapitola se zaměřuje na rešeršní část práce, obsahuje tři části - algoritmy, nástroje a analogii s jinými druhy otisků. Jsou zde uvedeny příklady přístupů k dané problematice a představeny konkrétní nástroje, které se v současné době využívají. Na konci kapitoly je uvedeno několik příkladů reprezentace vzorků z jiných odvětví.

2.1 Databáze

Základním kamenem pro všechny metody je databáze, ve které se nacházejí fotografie známých vzorků společně s technickými parametry. Tyto databáze byli dříve pouze ve formě knížek a všechno bylo potřeba hledat manuálně.

Díky pokroku technologií se však toto zdlouhavé manuální vyhledávání přenechává počítačům. Databáze mají podobnou podobu, s jedním zásadním rozdílem, jsou elektronické a umožňují vyhledávání podle parametrů.

Existuje několik různých přístupů, jeden založený na digitálním zpracování obrazu, jiný na schopnosti člověka rozpoznat a vyhodnotit jednotlivé prvky. Příklady konkrétních v současnosti používaných algoritmů a nástrojů naleznete v následujících kapitolách.

2.2 Algoritmy

Většina algoritmů pracuje s předzpracovanými obrázky, kde se díky předzpracování zvýrazní linie důležité pro porovnávání. Stejně tak i pro algoritmus z článku v ruském deníku o nedestruktivních metodách testování *"Identification of a Tire-Tread Pattern from Its Track Using a Computer-Aided Video*

Technique"[15] je nutné fotografii předzpracovat použitím binarizace[2] s daným prahem[3].

Posléze se vybere z fotografie oblast, která obsahuje všechny hlavní identifikátory daného vzorku. Takto vybraná oblast je přikládána, bez změny orientace, na oblast stejných rozměrů do obrázku z databáze (se kterým testujeme shodu). Srovnávání probíhá pomocí techniky odečítání jednoho obrazu od druhého, a to pro všechna možná umístění. Jako nejpodobnější jsou tedy určena data s minimálním rozdílem.

Problémem nejen tohoto, ale i mnoha dalších algoritmů, je neflexibilita vůči rotaci obrazu. To je zapříčiněno tím, že algoritmus pracuje pouze s posunem obrazu, nikoliv s rotací. Je nezbytné, aby otisk byl ve stejné orientaci jako je obraz v databázi, protože v případě natočení hledaného obrazu, i o pouhých pár stupňů, nebude shoda nalezena.

Problémem identifikace vzorku nezávisle na jeho rotaci se zabývali v centru pro zpracování obrazu a informací na Xi'an univerzitě v článku *„Study on rotation-invariant texture feature extraction for tire pattern retrieval"*.[6]

Podrobněji se zde zabývali algoritmem **Radon-DTCWT** a algoritmem **CEDA**. Oba algoritmy budou hrubě nastíněny společně se základními technikami potřebnými pro jejich realizaci. Nejedná se o podrobný popis algoritmů, autorka se pouze snaží přiblížit princip těchto algoritmů, detailní popis lze nalézt ve výše zmíněném článku.

DT-CWT

Metoda je účinná v přístupu k posunutým obrazům, kromě toho má také lepší směrovou selektivitu při filtrování vícerozměrných signálů.[16]

Souhrn vlastností DT-CWT:

- přiměřená tolerance vůči posunu
- dobrá směrová citlivost
- výborná rekonstrukce pomocí lineárních filtrů
- omezená redundance[4] nezávislá na měřítku, 2 : 1 pro 1D (2^m : 1 pro m-D)
- efektivní výpočet N pořadí, 2-krát jednoduché DWT[5] pro 1D (2^m-krát pro m-D)

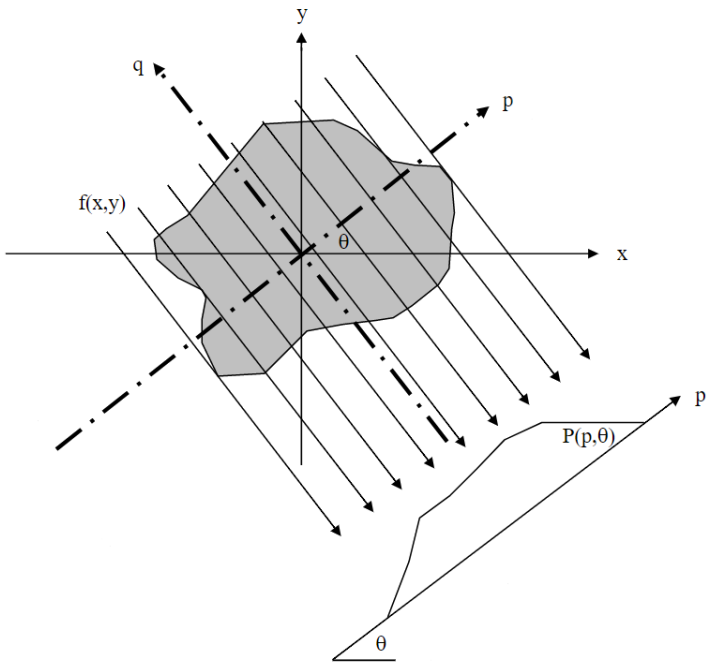
Radonová transformace

[2] převedení obrazu do dvou binárních hodnot
[3] hranice určující zlom mezi hodnotami
[4] nadbytečnost
[5] discrete wavelet transform

Radonová transformace počítá projekci obrazu ve specifickém směru. Projekce 2D funkce $f(x_1, x_2)$ je množina paralelních lineárních integrálů, pak funkce $f(x_1, x_2)$ v R^2 je definována vztahem:

$$R_f(\theta, t) = \int_R \int_R f(x_1, x_2)\delta(x_1 \cos\theta + x_2 \sin\theta - t)\,\mathrm{d}x_1\mathrm{d}x_2 \qquad (2.1)$$

kde $\delta(...)$ je funkce nerovná 0 pouze pro argument rovný 0, θ určuje směr otočení a R_f je integrální projekce pro každé θ.



Obrázek 2.1: Geometrické závislosti 2D Radonové transformace[5]

RT nabízí principy identifikace, které jsou neměnné v závislosti na rotaci a zrcadlení. Toho se dosáhne díky převedení souřadnic x a y na polární nebo semi-polární souřadnice.

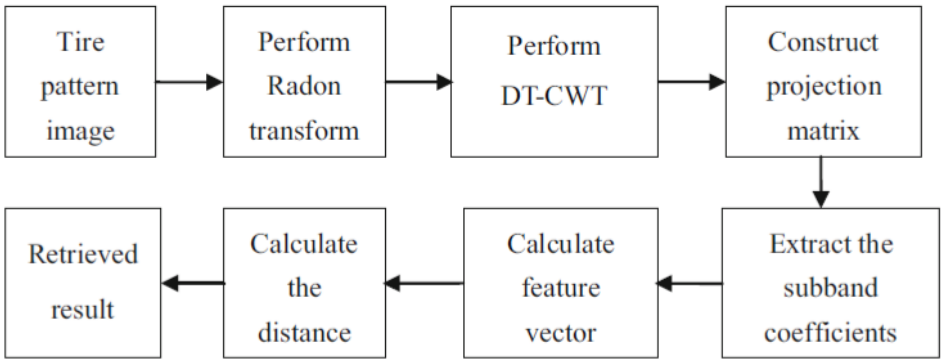
Klasifikace přímo ze sinografu[6] má mnoho výhod, např. nezáleží na rotaci ani na případné zrcadlové projekci funkce. Rotace je znázorněna jako posun v ose x a zrcadlení je promítnuto jako invertovaná data na osu y.[17]

2.2.1 Radon-DTCWT

Jedná se o kombinaci radonové transformace společně s komplexní vlnkovou transformací (DT-CWT).

Na diagramu2.2 je znázorněn průběh tohoto algoritmu.

[6]prostor se semi-polárními souřadnicemi



Obrázek 2.2: Vývojový diagram algoritmu Radon-DTCWT[6]

Jednotlivé kroky **Radon-DTCWT** algoritmu jsou následující:

1. Provedení radonové transformace u originálního obrázku a vytvoření projekční matice R_f.

2. Na každý řádek matice R_f je provedena 3-úrovňové DT-CWT, z nichž každá se skládá z 9 vysokofrekvenčních subpásem a 1 nízkofrekvenčního subpásma.

3. Pro každé subpásmo se spočítá střední hodnota (M), rozptyl (σ) a energie (E) pro každé i, z čehož nám vznikne příznakový vektor v následující podobě:
$$f = (M_1, \delta_1, E_1, M_2, \delta_2, E_2, ..., M_{10}, \delta_{10}, E_{10})$$

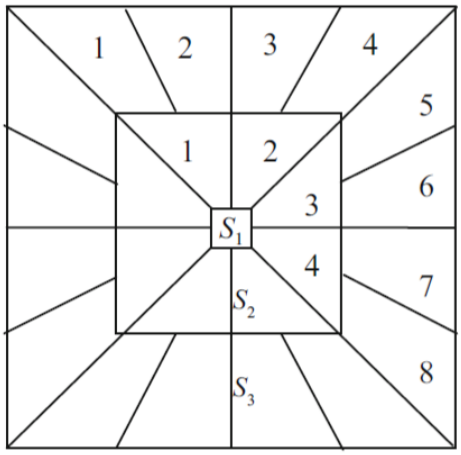
4. Příznakový vektor se normalizuje a spočte se Euklidovská vzdálenost mezi dvěma obrázky. Touto vzdáleností se měří podobnost obrázků a jsou tak získány obrázky s nejmenší vzájemnou vzdáleností.

2.2.2 CEDA

Základním kamenem tohoto algoritmu je **Curvelet transformace**, která si rozdělí obrázek do subpásem s kterýma následně pracuje. Rozdělení do úrovní a subpásem můžeme vidět na obrázku 2.3

V závislosti na frekvenci jednotlivých subpásem transformovaného obrázku se určí **směrové charakteristiky vzorků pneumatik**. Vzorky jsou klasifikovány do 4 kategorií:

- **vertikální** – subpásmo s největší energií je vertikální
- **horizontální** – subpásmo s největší energií je horizontální



Obrázek 2.3: Frekvenční mapa Curvelet transformace[6]

- **diagonální** – poměr energie vertikálního a horizontálního typu je podobný, největší energii má diagonální subpásmo
- **nepravidelné** – pokud neodpovídá žádnému z předcházejících typů

Obrázek 2.4: Druhy vzorků pneumatiky (zleva vertikální, horizontální, diagonální a nepravidelný)[6]

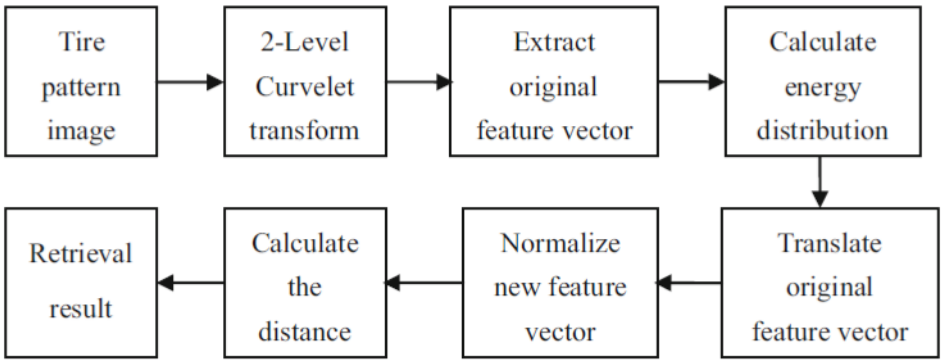
Pokud nastane u **Curvelet transformace** rotace obrázku, tak i koncentrace energie v subpásmu bude posunuta podle rotační osy. Tento posun může ovlivnit přesnost výsledku.

Aby se tomuto problému předcházelo, algoritmus **CEDA** rekonstruuje příznakový vektor a eliminuje tak vliv rotace. Pokud tedy obrázek vertikálního typu otočíme o 90°, otočený obrázek se změní na typ horizontální. Algoritmus může být popsán následujícími kroky:

1. Provedení 2-úrovňové Curvelet transformace obrázku vzorku pneumatiky.
2. Spočítá se střední hodnota a rozptyl pro 13 subpásem, které vytvoří příznakový vektor.

3. Spočítá se energie pro každou úroveň a subpásmo s největší energií je označeno jako referenční.

4. Kruhově se posouvá vektor příznaků, dokud se na první místo nedostane hodnota referenčního subpásma.



Obrázek 2.5: Vývojový diagram algoritmu CEDA[6]

Díky umístění subpásma s nejvyšší energií na prvním místě, nebude referenční subpásmo změněno vlivem rotace obrázku. Navíc vztahy a uspořádání mezi komponenty vektoru nejsou narušeny, což udržuje singularitu příznakového vektoru.

2.3 Nástroje

Tato sekce popisuje reálné nástroje, které se na dnešním trhu vyskytují. Jedná se většinou o finální produkt chráněný autorskými právy a tak není možné nahlédnout do kódu a zjistit na jakém přesném principu nástroj funguje.

Proto se v této sekci nezmiňují algoritmy vyhledávání v databázi, ale jen přístup daných rozhraní k reprezentaci vzorku a způsobu zadávání dat potřebných k vyhledávání.

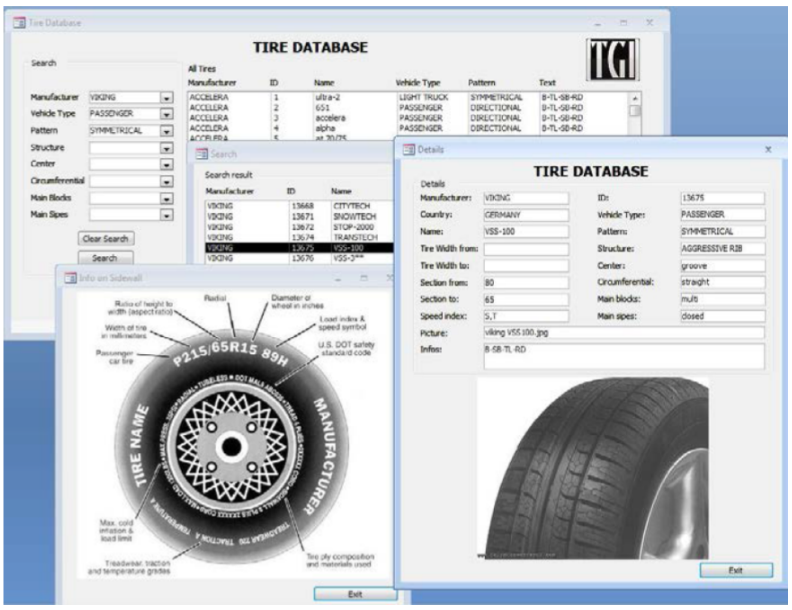
2.3.1 „Databáze pneumatik“

Tato databáze obsahuje vzorky všech světových značek, což je nezbytné, neboť cca 60% pneumatik je do USA dováženo z Evropy a Asie. Záznamy obsahují fotografie pneumatik i jejich otisků na nejrůznějších površích, některé dokonce i na lidské pokožce. V roce 2013 bylo v databázi 15 838 vzorků od 357 různých společností vyrábějících pneumatiky.

Pro snadnější použití celosvětově, je databáze ve formátu Microsoft Excel© a Microsoft Access©, náhled obou variant můžete vidět na obrázcích 2.6 a 2.7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	TIRE GLOBAL INFORMATION			TIRE DATABASE 2013 ©									HELP	PATH OF PHOTOS:		C:\DATEN\TIRES 2013				
2	COMPANY INFO		TIRE INFO		SIZE INFO					DATABASE-INFO			©	SEARCH						
3	MANUFACTURER	COUNTRY	ID	NAME	Tire Width from	Tire Width to	Section from	Section to	Speed index	DATABASE	CHANGES 2013	TEXT (if available)	LINK TO PHOTO	VEHICLE TYP	PATTERN	STRUCTURE	Center	Circumferential grooves (sipes)	main blocks	main sipes (fine cuts)
4	ACCELERA	INDONESIA	1	651			65	50	V	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	BLOCK/GROOVE	no	multi	no
5	ACCELERA	INDONESIA	2	accelera			70	65	H	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	rib	straight	SQUARE, DIS.	no
6	ACCELERA	INDONESIA	3	alpha			65	45	V,W	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	rib	straight	multi	no
7	ACCELERA	INDONESIA	4	alpha			75	70	S	2011		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	DIRECTIONAL	rib	straight	SQUARE, DIS.	no
8	ACCELERA	INDONESIA	5	beta			70	50	H,V,W	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	groove	straight	multi	no
9	ACCELERA	INDONESIA	6	delta			45	45	W	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	groove	straight	multi	no
10	ACCELERA	INDONESIA	7	epsilon			65	60	H,V	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	BLOCK/GROOVE	straight	multi	no
11	ACCELERA	INDONESIA	8	gamma			65	55	T,H	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	rib	straight	multi	curved
12	ACCELERA	INDONESIA	9	iota			55	50	V	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	UNI-EVEN	undefined	rib	straight	multi	no
13	ACCELERA	INDONESIA	10	phi			50	35	Y	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	UNI-EVEN	undefined	undefined	straight	no	no
14	ACCELERA	INDONESIA	11	phi_2			30		Y	2011		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	UNI-EVEN	un-even	undefined	straight	no	holes
15	ACCELERA	INDONESIA	12	rho			70	60	H,V	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	SYMMETRICAL	undefined	rib	straight	multi	no
16	ACCELERA	INDONESIA	13	sigma			35	35	W	2010		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	undefined	undefined	straight	undefined	no
17	ACCELERA	INDONESIA	14	snow						2011		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	SNOW TYPE	groove	straight	multi	curved
18	ACCELERA	INDONESIA	15	ultra-2			82		P	2011		B-TL-SB-RD	PHOTO	LIGHT TRUCK	SYMMETRICAL	LETTER DESIGN	groove	ZIGZAG	V-Shape	straight
19	ACCELERA	INDONESIA	16	x grip			65	40	T,H,V	2011		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	SNOW TYPE	groove	straight	multi	straight
20	ACHILLES	USA	17	ah sport			60	30	V,W	2012		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	DIRECTIONAL	rib	straight	multi	no
21	ACHILLES	USA	18	platinum			70	60	H	2012		B-TL-SB-RD	PHOTO	PASSENGER	DIRECTIONAL	DIRECTIONAL	rib	straight	multi	no

Obrázek 2.6: Databáze v EXCEL formátu[7]



Obrázek 2.7: Databáze v ACCESS formátu[7]

V databázi jsou k nalezení i otisky kol motocyklů. Vyhledávání lze realizovat pomocí jednoho ze dvou kritérií, podle jména vzorku či jména výrobce nebo s použitím 7 charakteristik vzorku.

- **Typ vozidla** - osobní, nákladní, přípojné, ...
- **Charakteristika vzorku** - směrový, symetrický, asymetrický
- **Struktura vzorku** - sněhová pneumatiky, letní pneumatika, ...
- **Střed vzorku** - drážka, žebro, bloky, ...
- **Obvodové drážky ve středu pneumatiky** - přímé, zigzag, ...
- **Tvar bloků** - čtverec, V-tvar, ...
- **Tvar lamel uvnitř bloku** - přímé, zakřivené, ...

Použití

Nejprve se musí klasifikovat specifické vlastnosti vzorku, což provádí operátor[7]. Operátor vyplní co nejvíce ze 7 charakteristik, které je schopný rozpoznat z fotografie a vloží do systému. Databáze navrátí něco mezi 1 a 15 000 záznamy, většinou ne více než 10. Pro tyto výsledky je potřeba, aby operátor provedl vizuální porovnání a nalezl tak shodu.

Tato databáze je používána i rozhraním **TreadMate**, kterým se zabývá následující podkapitola.

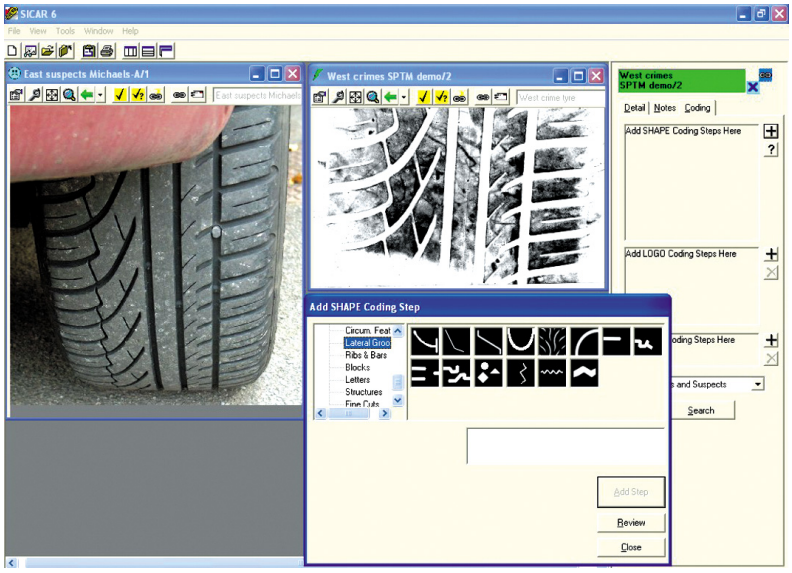
2.3.2 TreadMate

Jedná se o kolekci pneumatik udržovanou stejnou společností z Velké Británie, jako podobný systém jménem SoleMate[8]. V této databázi od **Foster & Freeman USA Inc.** se nachází informace o více než 8 500 pneumatikách a jejich vzorcích. Může být používána samostatně nebo s využitím systému SICAR (obr.2.8), evidenčního systému pro otisky od bot a pneumatik vyvinuté stejnou společností.[8]

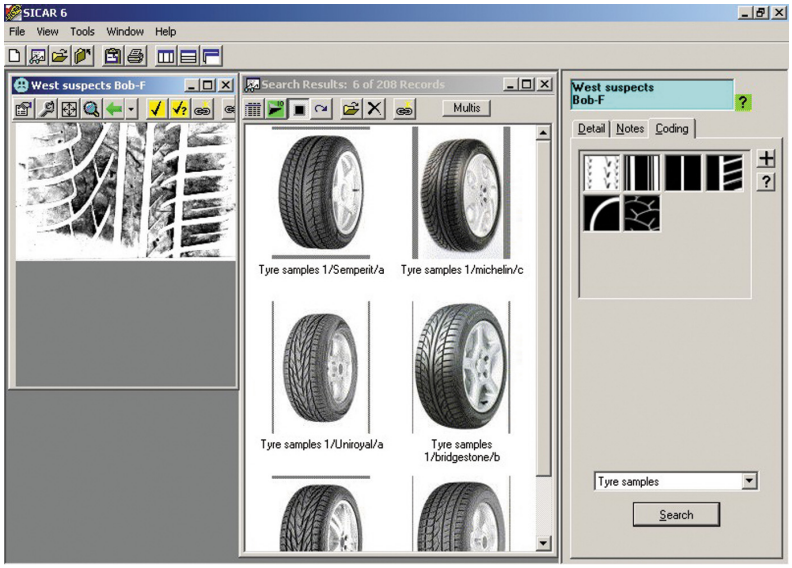
U každého záznamu je evidováno:

- výrobce
- datum uvedení na trh
- ukázka dezénu (fotografie)
- zakódovaný set charakteristických prvků na vzorku

[7] osoba obsluhující systém
[8] databáze otisků podrážek bot



Obrázek 2.8: Ukázka GUI TreadMate[8]



Obrázek 2.9: Ukázka nalezených pneumatik[8]

Protože výrobci někdy používají stejný design běhounu, může být nalezení přesné shody obtížné. Pro tyto případy jsou záznamy s takovouto shodou propojeny, tedy při hledání kritického otisku jsou tyto skutečnosti uvažovány.

Použití

Identifikace základních prvků probíhá operátorem, kde prvky jsou znázorněny graficky a operátor určuje nejlepší vizuální shodu.

V systému jsou tyto prvky zakódovány a použity jako kritéria pro hledání nejlepší shody. Výsledky jsou opět zobrazeny operátorovi, v klesajícím pořadí podle míry shody, výběr odpovídajícího exempláře závisí opět na vizuálním porovnání operátora (obr.2.9).

2.3.3 Studie (Wang 2005)

Poslední rozhraní se od předcházejících výrazně liší, jako jediné pracuje s šířkou drážek a žeber. Jedná se o program vyvíjený v rámci studie profesora Wanga *„A tire-mark identification scheme for suspected vehicle detection in hit and run accident“*.[9]

Autorka se snaží zrychlit a zpřesnit dosažení výsledků při identifikaci vozidla podle otisků pneumatik z místa nehody. Navrhuje prvky, které slouží jako identifikační znaky při porovnávání. Jím navržená struktura databáze se dá dělit na 3 hlavní pod-databáze:

- databáze pneumatik
- databáze vozidel
- základní informace o výrobci

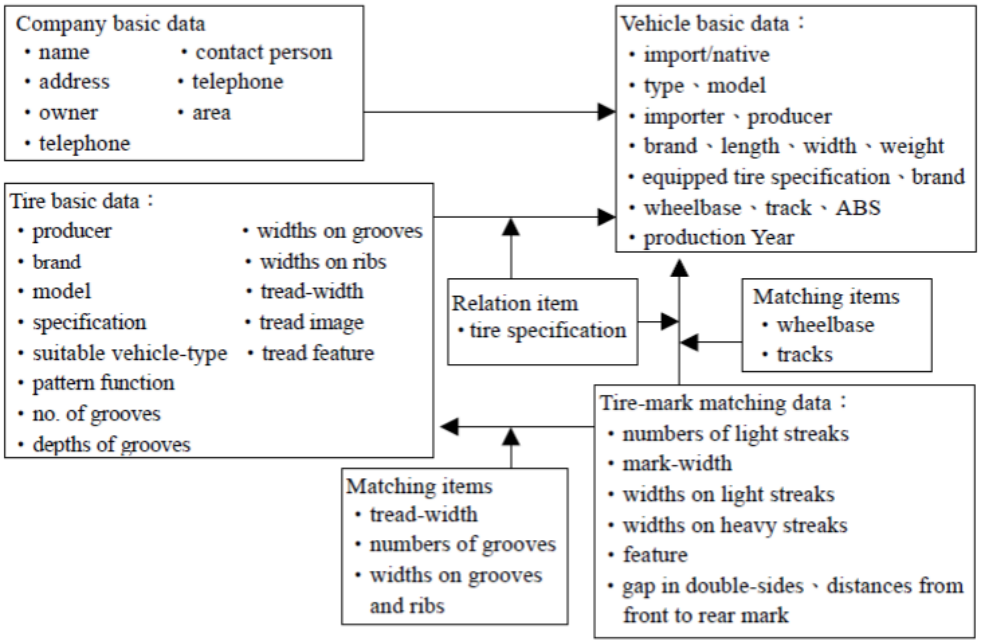
Na diagramu 2.10 je vyobrazená úplná struktura databáze včetně obsahu a parametrů, podle kterých se vyhledává shoda.

Databáze neslouží pouze k vyhledávání podle vzorku pneumatiky, ale i podle jiných parametrů (např. rozteč kol). Ty však v této práci nebudeme uvažovat.

Použití

Použití se výrazně neliší od předchozích, i u tohoto prototypu se musí data zadat manuálně. Operátor pracuje s rozhraním, které můžete vidět na obrázku 2.11. Po vyplnění známých hodnot přijde na řadu implementovaný srovnávací algoritmus. Systém vrátí několik záznamů s vyčísleným stupněm shody[9], ale konečné vyhodnocení je opět na operátorovi.

[9] pravděpodobnost shody



Obrázek 2.10: Struktura a obsah databáze[9]

Obrázek 2.11: Rozhraní databáze[9]

2.4 Paralela s jinými otisky

Sekce se zabývá rešerší podobné problematiky k otisku pneumatiky, konkrétně bude zmíněna reprezentace otisku podrážek a otisku prstu. U obou případů lze čerpat inspiraci a vylepšit tak zpracování návrhu reprezentace otisku pneumatiky, který je předmětem této práce.

2.4.1 Otisk podrážky od bot

S otiskem pneumatiky se blízce pojí i otisk podrážek bot, oba dva otisky se vyskytují ve stejných materiálech a zdrojích. Tyto otisky se totožně využívají při vyšetřování, jsou hlavními stopami z místa trestného činu. I u tohoto druhu otisku se vyskytují problémy s množstvím druhů a časovou náročností zpracování.

Příkladem může být komerční systém **TreadMark™**, který používá k reprezentaci příslušného otisku 4 parametry:

- vzorek podrážky
- velikost
- poškození
- všeobecné opotřebení

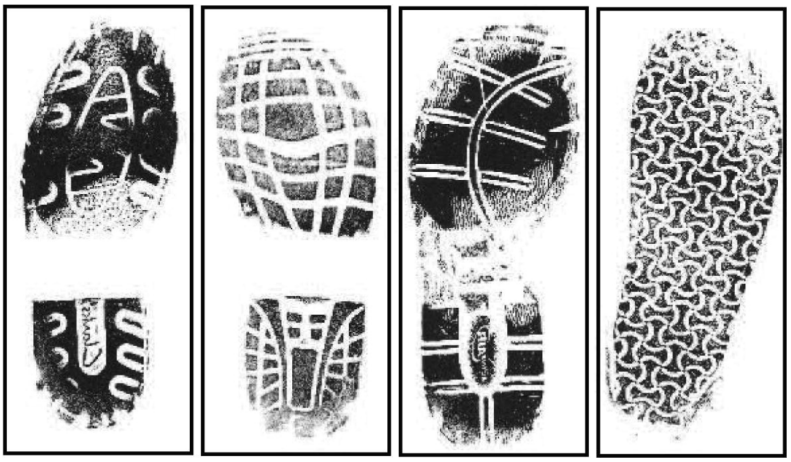
Systém umožňuje porovnání dvou otisků - z místa činu a otisku podezřelé osoby ve vyšetřování. Pro srovnávání příslušných otisků je zapotřebí fotografie otisků ve vysokém rozlišení, které se nahrají do příslušného systému. Za samotné srovnání je zodpovědný operátor, který je díky vysoké kvalitě fotografií schopný provést měření jednotlivých parametrů.[18]

Automatické hledání shody podrážek bylo v literatuře zmíněno jen pomálu. Dřívěji publikované práce [19, 20, 21, 22, 23] zkoumaly zejména poloautomatické metody, ve kterých uživatel manuálně zadával tvary a vzorce na snímku. Například se jednalo o geometrické obrazce, loga, drážky atd.

Hledání shody pak vyžaduje dekódování stejným způsobem, jaký byl použit v referenční databázi. Tento proces je pracný a může být zdrojem nepřesností a chyb, neboť uživatel může zadat tvary chybně. Navíc nezná-li uživatel způsob, jakým je vytvořena databáze, nemusí tvary zadávat správným způsobem.

I přes všechny tyto nevýhody je tato metoda stále **nejpoužívanější** u policejních služeb po celém světě. To zejména ze dvou hlavních důvodu, za prvé, při znalosti metodologie zadávání vzorků do systému je metoda velmi snadná a intuitivní a za druhé, nedostatek ověřených automatizovaných systémů, což způsobuje nedůvěru v plně automatizované systémy.[24]

Jedna z dřívějších studií [25] na plně automatické rozpoznávání vzorku uvedla návrhové schéma založené na rozpoznávání uzavřených tvarů na otisku



Obrázek 2.12: Ukázka otisků podrážek z Forensic Science Service databáze

podrážky pomocí různých obrazových morfologických operátorů.[10] Pozice a frekvence výskytu tvarů pak bylo použito pro klasifikaci neuronovou sítí. Autoři nicméně nepopisují žádné statistiky přesnosti jejich návrhu a jejich další práce nenavazovala na tento model, z čehož lze usoudit, že dosahovaná přesnost automatické shody nebyla vysoká.[24]

Reprezentace pomocí fraktálů založená na klasifikaci pomocí metody *mean square noise error* byla použita při rozpoznávání otisku podrážky a popsána v práci *„Application of fractals to the detection and classification of shoeprints“*.[26] Metoda vykazovala vysokou přesnost, nicméně použitá databáze nebyla příliš početná a neobsahovala žádná transformovaná data pomocí rotace či posuvu obrazu.

Jiný přístup je uveden v práci *„Automated processing of shoeprint images based on the Fourier Transform for use in forensic science“*[27], kde je použita Fourierova transformace ke klasifikaci jak částečného, tak úplného otisku. Problémy této metodě nepůsobí rotační transformace obrazu, ale kvalita obrazu a případný šum, na který je FT velmi náchylná.

Přesnost metody byla diskutována v podobné studii [28], kde byly při testování použity snímky, které byly použité za účelem trénování modelu. Proto není zcela jasné jaké výsledky by vykazovala metoda na neznámých datech nebo v případě opotřebení podrážky či horší kvality obrazu. Přesnost metody FT by tak byla mnohem nižší.

Složitost a komplexita většiny vzorků podrážky s mnoha oddělenými bloky vybízí k návrhu řešení na základě sestavení knihoven jednotlivých bloků a poté hledat shodu vzorku se záznamem v databázi pomocí histogramu. Tato metoda byla například navržena ve studii *„Automated encoding of footwear pat-*

[10] morfologické operace se mimo jiné používají pro předzpracování a zdůraznění struktury objektů

terns for fast indexing"[24]. Zde byla metoda plně automatizována pomocí automatického rozpoznávání obrazu, nicméně po načtení složek vektoru opět program jen hledal shody na jednotlivých pozicích vektoru se záznamem v databázi.

2.4.2 Otisk prstu

Popularita využívání otisků prstu k různorodým účelům sahá až do starověké Číny, vzniklo tak postupem času mnoho materiálů o otiscích prstů.[29] Díky množství informací může tato literatura dobře posloužit jako inspirace i pro popis vzorku pneumatiky, ačkoliv se jedná o diametrálně odlišné druhy otisku.

Tato vědní disciplína se nazývá **daktyloskopie** a podrobně zkoumá kožní papilární linie na prstech, dlaních a chodidlech člověka [29]. Největší rozmach zažívala daktyloskopie v 19. století, kde se klasifikací otisku se zaměřením na následné využití zabýval Jan Evangelista Purkyně, Henry Faulds a Francis Galton. Právě tyto významné osobnosti daktyloskopie položily základy k vzniku moderních metod klasifikace otisku prstu, které se využívají dodnes.[10]

Velké množství metod využívá popis pomocí tzv. **klasifikačního kódu**, který se skládá z hodnot primární a sekundární klasifikace. K sestavení příslušného kódu se vychází z tabulek pro danou metodu. Příklad těchto tabulek můžete vidět na obrázku 2.13 a 2.14.[10]

Pattern	Thumbs	Other Fingers
Arch	A	1
Internal loop	I	2
External loop	E	3
Whorl	V	4

Obrázek 2.13: Vucetichova primární klasifikace[10]

Primární klasifikace v této metodě tedy vymezuje obecnou kategorii otisku - s obloukem, se smyčkou nebo se spirálou. Základní dělení typů otisku je znázorněno na obrázku 2.15. Zatímco **sekundární klasifikace** se zaměřuje na speciální typy uvnitř dané kategorie.[10]

Mnoho dalších užitečných informací o reprezentaci otisku prstu, jeho postupném vývoji a všeobecných skutečnostech lze nalézt v knize *Fingerprint Sourcebook*.[10]

Pattern	Superscript	Description
Arch	5	Vaulted/Normal
	6	Left-inclined
	7	Right-inclined
	8	Tent-shaped
	9	All others
Internal loop	5	Normal flow
	6	Invaded
	7	Interrogatory
	8	Hooked
	9	All others
External loop	Designation same as Internal loop	
Whorl	5	Normal
	6	Sinuous
	7	Ovoid
	8	Hooked
	9	All others

Obrázek 2.14: Vucetichova sekundární klasifikace[10]

Obrázek 2.15: Základní typy otisku prstu [11]

Kapitola 3

Návrh

Návrh reprezentace vzorku je stěžejním bodem této bakalářské práce. Odrazovým můstkem pro samotný návrh je rešeršní část této práce, ve které se čerpá inspirace nejen ze stávajících řešení pro otisk pneumatiky, ale využívá se zde i znalosti reprezentace podobných vzorků jako např. klasifikace pro otisk prstu nebo podrážky.

U tvorby návrhu je dbáno na to, aby množina dat určená k naučení modelu byla odlišná, než data, která budou použita k testování funkčnosti. Výsledky testování by tak měly být průkaznější než, pokud by se testování provádělo na trénovacích datech.

Mimo samotnou reprezentaci vzorku je v této kapitole navrženo i rozhraní připravované aplikace, včetně jejího použití a samozřejmostí je i návrh funkce určující míru podobnosti vzorků mezi sebou.

Výsledkem této kapitoly je tedy návrh reprezentace otisku pneumatiky, návrh struktury databáze pneumatik, návrh uživatelského rozhraní aplikace a metrika pro určování podobnosti.

3.1 Reprezentace otisku

Jak již bylo zmíněno, při návrhu reprezentace je přihlíženo k podobné problematice týkající se reprezentace otisku podrážky a otisku prstu. Ačkoliv se mohou tyto otisky zdát příliš odlišné, aby z nich mohla být získána přínosná informace, existuje zde mnoho podobných rysů.

Nejedná se pouze o fakt, že ve všech příkladech se jedná o otisk získaný z povrchu nějakého objektu, a tak již přesun získaných dat do nástroje pro hledání shody je natolik podobný (až totožný), že i této informace se dá využít. Pro tuto práci je však nejdůležitější **analogie struktur** všech otisků.

Na každém z otisků lze určit prvek, který rovnou dokáže rozčlenit otisk do několika podkategorií a rozdělí tak jeden problém na několik menších problémů, které se dají řešit separátně. Příkladem může být rozdělení typů otisků

do tří kategorií podle tvaru papilárních linií - smyčka, oblouk, spirála (k nahlédnutí na obrázku 2.15).

Také fakt, že neexistuje nekonečné množství prvků vyskytujících se na otisku, jen jejich široké spektrum možného umístění v rámci otisku, umožňuje identifikaci založenou na **výskytu jednotlivých prvků**. Využívaje této skutečnosti autorka zvolila reprezentaci vzorku pomocí jisté formy **kódu**, kde každý znak kódového řetězce bude reprezentovat jednu danou skutečnost.

Tedy každý záznam bude kódován předem daným způsobem, kde jednotlivé prvky budou mít **odlišnou váhu průkaznosti**.

3.1.1 Volba identifikátorů

Volba jednotlivých prvků je provedena na základě analýzy vzorků pneumatik, které se vyskytují na dnešním trhu. Prvky vyskytující se na většině běhounech, budou ohodnoceny váhou, která bude vystihovat jejich vypovídající hodnotu.

Při volbě parametrů ze kterých se bude kódové slovo skládat je kladen důraz na **univerzálnost** použití. Snahou je navrhnout reprezentaci tak, aby nebyla závislá na reálných rozměrech, ale vystačila si pouze s relativním umístěním daného prvku v otisku. Díky tomuto přístupu by bylo umožněno hledání podobných vzorků i za předpokladu, že není známý přesný rozměr otisku.

Jediným parametrem, u kterého se neobejdeme bez absolutních hodnot je **šířka otisku** pneumatiky. Jedná se o tak významný údaj, že i když zcela nezapadá do konceptu relativních vzdáleností, je potřeba ho uvádět pro jeho vysokou vypovídající hodnotu.

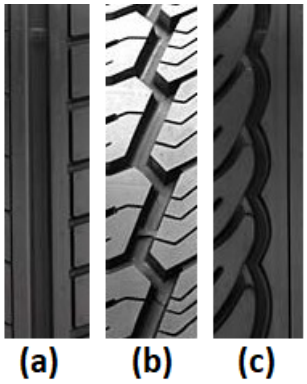
Zaměříme-li se na **základní prvky** vzorků a jejich **četnost**, zjistíme, že více než 85 % zaznamenaných vzorků pneumatik obsahuje 1 či více obvodových drážek, z čehož lze usoudit, že parametr související s tímto prvkem by neměl chybět při popisu vzorku. Údaje pro 3 hlavní prvky - **drážku, žebro a blok** - jsou zaznamenány v tabulce 3.1. Díky komplexitě vzorků, kde většina je složena z více různých prvků, nejsou řádky tabulky disjunktní.

Tabulka 3.1: Zastoupení prvků ve zkoumaném vzorku dat

Analyzovaný prvek	Zastoupení ve zkoumané množině vzorků
Drážky	> 85 %
Bloky	> 55 %
Žebra	> 50 %

Hlavními parametry kterými lze definovat **obvodová drážka** jsou:

- umístění na běhounu
- tvar
- počet



Obrázek 3.1: Příklad tvarů drážek: (a) přímá, (b) lomená, (c) obecná

Tvar drážek je v tomto návrhu dělen do 3 kategorií: přímé, lomené a obecné. Obecnými jsou označovány drážky, které nejsou tvořené pouze z přímých prvků, ale obsahují např. oblouky. Ukázku pro každou z kategorií naleznete na obrázku 3.1.

Počet drážek v určité části vzorku nám může také napovědět v určování, zda se jedná o **žebro**, které je z definice ohraničeno obvodovými drážkami. I tvar žebra je zaznamenáván pomocí obvodových drážek, kdy je do záznamu vztahujícímu k výskytu žebrového prvku přidána informace jakého tvaru jsou drážky, které žebro vymezují.

U **bloků** je zaznamenán jejich tvar a počet. Tvar bloků je dělen na 2 typy:

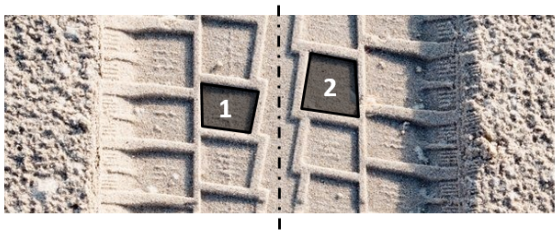
- bloky pouze s přímými hranami
- bloky s alespoň jednou stranou tvořenou obloukem

Dělení by bylo možné realizovat rozdělením na více kategorií založených např. na počtu úhlů daného bloku, ale při stávající velikosti databáze (cca 115 vzorků) by tento parametr stačil k určení shody a zkresloval by tak vypovídací schopnost reprezentace jako celku.

Počtem bloků je myšlen **počet bloků v jedné linii**, což lze popsat jako počet sousedních bloků v horizontálním směru, tak aby pokryly celou šíři části, kde se bloky vyskytují. Ramenní bloky nejsou do tohoto počtu zahrnovány. Pro lepší pochopení tohoto parametru je na obrázku 3.2 znázorněno, jakým způsobem se hodnota parametru určuje.

Výskyt **lamel** má také jistou vypovídací hodnotu, existují totiž i vzorky bez lamel. Lamely jakožto drobné drážkování nemusí být dobře viditelné, proto se zaznamenává pouze jejich existence, nikoliv tvar a jejich váha není při vyhodnocování tak vysoká jako váha ostatních prvků.

Vzorek pneumatiky je lépe identifikovatelný na různých částech otisku, což může být zapříčiněno např. špatně nahuštěnými pneumatikami a následnému zvýšenému opotřebovávání jedné části pneumatiky. Ve velkém množství



Obrázek 3.2: Počet bloků daného otisku

Tabulka 3.2: Zastoupení prvků ve středu vzorků ve zkoumaném vzorku dat

Prvek ve středu vzorku	Zastoupení ve zkoumané množině vzorků
Drážka	≈ 29 %
Žebro	≈ 48 %
Pás bloků	≈ 13 %
Nedefinováno	≈ 10 %

případů je dobře zachována středová část otisku, proto bude velké váha kladena právě na prvky umístěné **ve středu otisku**. Za střed je považována druhá třetina při rozdělení obrázku na třetiny v horizontálním směru, ilustrováno na obrázku 3.3.

Obrázek 3.3: Definice středové části v rámci programu

Středová část vzorku je klíčována pomocí typu prvku, přesněji jedná-li se o drážku, žebro či pás bloků. S čímž se pojí i záznam tvarů obvodových drážek vyskytujících se v této oblasti vzorku. Procentuální zastoupení každé varianty středu je uvedeno v tabulce 3.2.

3.1.2 Výsledná reprezentace

Ve výsledné reprezentaci vzorku jsou obsaženy údaje o středu pneumatiky, počtu a tvaru obvodových drážek a bloků, existenci lamel a v neposlední řadě šířka vzorku uváděná v milimetrech. Každý záznam má formu **vektoru o 11-ti složkách**. Jednotlivé složky vektoru jsou znázorněny v tabulce 3.3 včetně všech možných variant ohodnocení pro každou složku.

Tabulka 3.3: Popis jednotlivých pozic vektoru

Pozice	**Parametr**	**Možnosti**
1	šířka pneumatiky [mm]	1 ... n
2	prvek ve středu pneumatiky	0 - nespecifikováno 1 - drážka 2 - žebro 3 - bloky
3	tvar obvodových drážek ve středu	0 - nespecifikováno 1 - přímé 2 - lomené 3 - obecné
4	počet obvodových drážek	0 ... n
5	počet přímých drážek	0 ... n
6	počet lomených drážek	0 ... n
7	počet obecných drážek	0 ... n
8	počet bloků	0 ... n
9	výskyt lamel	0 - ne 1 - ano
10	počet hranatých bloků	0 ... n
11	počet zaoblených bloků	0 ... n

Podle stanovených pravidel je vzorek z obrázku 3.4 kódován do vnitřní reprezentace následovně:

```
record = [205   2   0   4   3   0   1   1   1   0   1]
```

3.1.3 Váhy jednotlivých parametrů

Po navržení reprezentace vzorku, přichází čas na zamyšlení ohledně priority každého prvku vektoru. V tabulce 3.4 jsou shrnuty jednotlivé váhy parametrů společně s tolerancí parametru vůči chybě. U nemetrických parametrů byla rovnou nastavena nulová tolerance vůči chybě.

První 3 parametry - šířka pneumatiky, prvek ve středu pneumatiky a tvar obvodových drážek ve středu pneumatiky - jsou považovány za **primární**, protože mají signifikantní vliv na míru podobnosti a eliminují tak velkou část

Obrázek 3.4: Označené charakteristiky ve vyvíjené aplikaci

Tabulka 3.4: Váhy a tolerance jednotlivých parametrů

Parametr	**Váha parametru**	**Tolerance chyby**
šířka pneumatiky	1.00	ne
střed pneumatiky	1.00	ne
tvar obv. drážek ve středu	1.00	ne
počet obv. drážek	0.75	ano
počet přímých obv. drážek	0.60	ano
počet lomených obv. drážek	0.60	ano
počet obecných obv. drážek	0.60	ano
počet bloků	0.75	ano
existence lamel	0.25	ne
počet hranatých bloků	0.50	ano
počet zaoblených bloků	0.50	ano

nepřípustných vzorků. Všechny 3 parametry jsou ohodnoceny **váhou 1.0** a ani u jednoho z parametrů není tolerována chyba.

Parametr na 4. a 8. místě - počet obvodových drážek a počet bloků - jsou další významné parametry, které dokážou vyfiltrovat podstatnou část vzorků. Jako druhé nejdůležitější parametry jsou ohodnoceny **váhou 0.75** a je u nich tolerována chyba.

Váha parametrů týkajících se počtu jednotlivých typů drážek je hodnocena vyšší vahou než parametry určující počet jednotlivých typů bloků, jelikož drážky jsou obsaženy na valné většině z vzorků pneumatik, zatímco bloky často chybí či jsou přítomny spolu s drážkami.

Nejméně důležitým parametrem v reprezentaci je existence lamel na vzorku, proto je tento prvek ohodnocen **váhou 0.25** a jelikož se jedná o parametr nemetrický (z binární škály) není tolerantní vůči chybě.

3.2 Databáze

K tvorbě jakékoliv databáze je zapotřebí dat, která jsou dostatečně kvalitní, aby se s nimi dalo pracovat. Data pro tuto práci jsou sbírána a zpracovávána hned několika způsoby, proto se tato sekce dělí na 2 části.

První část se zabývá vnitřní reprezentací záznamů, zaměřuje se na přípravu dat pro přímé použití v algoritmu. Popisuje způsob sběru dat a jejich zpracování do formy navrženého 11-ti prvkového vektoru.

V druhé části se diskutuje o formě databázových záznamů vhodných pro předkládání uživateli a je navržen možný konceptuální model pro danou problematiku.

3.2.1 Interní databáze

První část fotografií pneumatik je získána prostřednictvím internetových vyhledávačů, kde jsou vybírány fotografie pořízené kolmo k běhounu. Fotografií tohoto typu, se kterými tato práce manipuluje je kolem 40 kusů.

Nespornou výhodou u tohoto druhu fotografií je možnost jejich zpracování pomocí stejného softwaru, který je předmětem této práce. Fotografii lze vložit do navrženého uživatelského rozhraní, kde je malou obměnou kódu získán vektor parametrů, který je uložen do souboru se záznamy. Tedy po zadání všech viditelných parametrů bude namísto spuštění vyhledávání, záznam přidán do databáze na úrovni programu.

Tato funkce nebude však volně přístupnou pro uživatele aplikace. Což bude sloužit jako opatření proti neodbornému zásahu do databáze, které by mohlo nastat při přidávání záznamů nedostatečně kvalifikovanou osobou.

Databáze o pouhých 40 záznamech není dostačující, proto se přistupuje k druhé fázi sběru dat. Jedná se o reálná data pořízená v ulicích hl. města Prahy, konkrétně v okolí vilové čtvrti Hanspaulky. Tímto způsobem je získáno přes 100 vzorků pneumatik. Díky pořízení těchto snímků je zaručeno, že databáze obsahuje v současné době používané vzorky a může tak být následně testována na reálných datech.

Nevýhodou u takto pořízených záznamů však zůstává náročnost na zpracování do příslušné podoby. Každá fotografie je pořízena pod jiným úhlem a tak nelze použít žádnou automatizovanou metodu pro zpracování a je tedy zapotřebí manuálně zpracovat jednotlivé prvky obsažené na běhounu.

Během zpracování jsou postupně vyřazovány fotografie, které nejsou dostatečně kvalitní a nelze je zpracovat. Následně je potřeba provést kontrolu databáze na duplicitní záznamy, které mohli přidáním záznamů vzniknout.

Při hledání duplicit v databázi se rovnou i testuje kvalita zvolené reprezentace. Nejprve jsou záznamy zpracovány algoritmem, který záznamy rozdělí do skupin se shodným klasifikačním vektorem. Po zobrazení náhledů pneumatik jsou vyřazeny totožné vzorky na základě vizuální shody.

Z výsledků algoritmu lze nahlédnout, že více jak 45% vzorků má unikátní vektor, což naznačuje, že navržená reprezentace by mohla být dostatečná pro zadaný problém. Přesnějšímu testování se věnuje kapitola číslo 5 - Testování a vyhodnocení na konci práce.

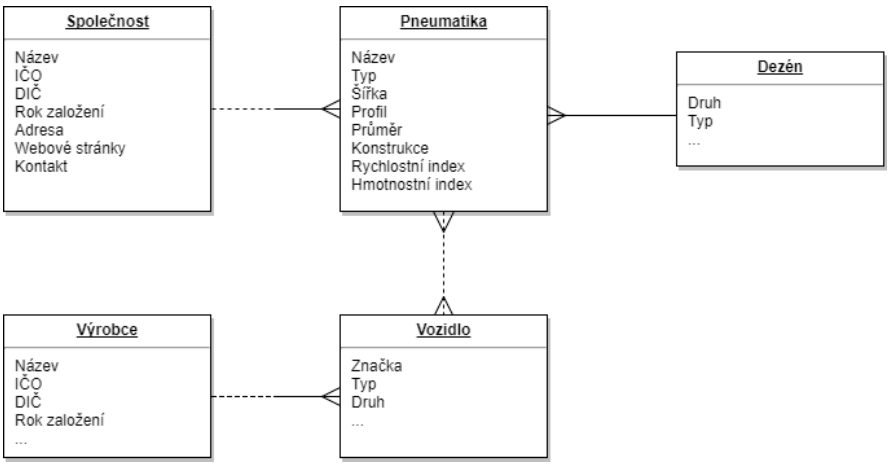
Shrnutí

- forma záznamu: vektor s 11 prvky
- velikost databáze: více než 100 záznamů
- zdroje dat: internet, vlastní fotodokumentace

3.2.2 Externí databáze

Databáze ve formě zobrazované uživateli musí být vytvořena separátně, protože vhodná reprezentace pro algoritmus není vhodnou pro uživatele. Evidovat by se měly nejen údaje o **vzorku**, ale i o **výrobci** pneumatiky a **vozidlech**, na které je tento typ pneumatiky umísťován v základní výbavě. Jednotlivé záznamy databáze musí být přehledné a snadno čitelné pro uživatele, a proto bude mimo jiné součástí záznamu i fotografie daného vzorku.

Na diagramu 3.5 můžeme nahlédnout na navrhovaný **konceptuální model** této databáze.



Obrázek 3.5: Konceptuální model databáze

Záznam zobrazovaný uživateli bude mít následující položky:

- Název společnosti výrobce pneumatiky
- Název vzorku

- Druh vzorku (letní, zimní nebo univerzální)
- Typ vozidla
- Šířka pneumatiky v milimetrech
- Profil
- Průměr
- Druh konstrukce
- Hmotnostní index
- Rychlostní index
- Typ dezénu

Problém, který vyvstává při tvorbě těchto záznamů vyplývá z nedostatku informací obsažených na fotografii. Z fotografie vzorku nelze přesně zjistit ani výrobce, ani upřesňující parametry pneumatiky, proto je zapotřebí vyhledat ke každému vzorku výrobce pomocí internetových zdrojů.

Tento přístup je velice komplikovaný a časově náročný, ale bohužel záznamy potřebného typu spadají pod ochranu autorských práv, kde přístup k ním je nutný zaplatit.

3.3 Aplikace

Aplikace je inspirována již existujícími nástroji v dané problematice. Nemanipuluje však s databází jednotlivých prvků, jak je tomu u zmíněných nástrojů (kapitola č. 2), ale snaží se o částečnou automatizaci. Operátor vyznačí na fotografii významné prvky a aplikace sama vyhodnotí o jaké tvary se jedná, není třeba je vybírat z databáze podle vizuální shody.

Bohužel je aplikace stále závislá na znalosti a rozlišovacích znalostech operátora, je třeba znát základy ohledně prvků vyskytujících se na běhounu pneumatiky (kapitola č. 1). Nedostatečná znalost může vést ke špatným či výrazně zkresleným výsledkům.

Posloupnost kroků navrhované aplikace lze popsat následovně:

1. předzpracování vstupu
2. vyznačení charakteristik na vzorku
3. vyhodnocení algoritmu
4. zobrazení podobných záznamů
5. výběr shodného vzorku

6. zobrazení záznamu z databáze

Každý z uvedených bodů je popsán v této kapitole, počínaje předzpracováním dat.

3.3.1 Předzpracování dat

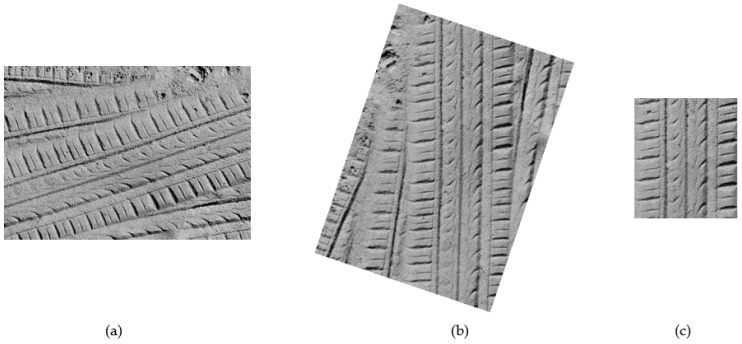
Aby bylo dosaženo správné funkce programu, je zapotřebí mít obrázek otisku v požadovaném formátu. Obrázky musejí splňovat 3 základní podmínky:

1. fotografie je pořízena **v kolmém úhlu** ke snímanému otisku
2. směr obvodových drážek na fotografii je **orientován vertikálně**
3. **šířka fotografie** odpovídá šířce hledaného otisku

Pro ulehčení práce uživateli lze v navrženém rozhraní provést rotaci a oříznutí obrázku. Na směřování vzorku u směrových pneumatik nezáleží, algoritmus je vůči této rotaci imunní za předpokladu, že je orientován tak, že šířka pneumatiky je souběžná s vodorovnou osou.

Hlavním důvodem pro ořezávání fotografie na šířku otisku je umožnit přepočet ze vzdálenosti na fotografii do reálné vzdálenosti v milimetrech. Z tohoto důvodu je uživatel vyzván k zadání alespoň jednoho rozměru fotografie - reálná velikost objektu zachyceného na fotografii. Rozměr je zadáván již ve fázi předzpracování, aby uživatel nemusel sám přepočítávat velikosti prvků po transformaci. Ukázka posloupnosti úprav je zobrazena na obrázku 3.6.

Dalším neméně důležitým důvodem pro oříznutí je parametrická práce s otiskem. Celý návrh je koncipován tak, aby se dalo pracovat s relativní vzdáleností na otisku (např. střed pneumatiky je definován jako 2. třetina), což u nevystředěného otisku není možné.



Obrázek 3.6: Předzpracování: (a) originál, (b) po rotaci, (c) po vyříznutí

3.3.2 Zpracování dat

Nejdůležitější funkcí navrženého rozhraní je zpracování obrázku ze vstupu. Po konzultaci s vedoucím práce je poloautomatické zpracování dat vypuštěno z důvodu překročení rozsahu této práce. Ruční zpracování je popsáno v několika dalších odstavcích.

Obrázek v přípustné formě je načten do rozhraní, kde je následně zpracováván operátorem. Operátor pomocí různorodých ovládacích prvků vyznačí charakteristiky na fotografii otisku. Aplikace si během celého procesu ukládá údaje nutné k převedení charakteristik do podoby vektoru, který je navržen pro reprezentaci otisku. Zadávané linky operátorem se v reálném čase vykreslují a slouží k vizuální kontrole zadaných dat.

Po zadání všech potřebných formalit aplikace zobrazí operátorovi podobné snímky seřazené podle koeficientu podobnosti od nejpodobnějších po ty nejméně podobné. Konečná volba vzorku, ke kterému otisk náleží je svěřena operátorovi, který má jisté zkušenosti a je schopný shodu vyhodnotit.

Pokud je operátorem shodný vzorek identifikován, označí jej a tím se vyvolá příslušný záznam z databáze. V případě, že shodný vzorek není nalezen, může si operátor alespoň zobrazit vzorek nejpodobnější a na základě informací o podobném vzorku odhadnout např. jaký výrobce by mohl být autorem hledaného otisku. Řešení takovýchto situací pak záleží na flexibilitě a zkušenostech operátora.

3.4 Algoritmus pro určení podobnosti

Navrženy jsou 2 algoritmy, kde každý se používá u jednoho druhu otisku. Důraz je kladen především na algoritmus určený pro celý otisk, z něj následně vychází i algoritmus pro otisk částečný.

3.4.1 Celý otisk

Algoritmus počítá míru podobnosti každého záznamu z databáze vůči hledanému otisku. Při počítání míry se bere ohled jak na váhu jednotlivých parametrů, tak i na toleranci chyby.

Výpočet koeficientu podobnosti (značeno Ψ) je prováděn podle vzorce:

$$\Psi = \sum_{i=1}^{11} w_i s_i, \tag{3.1}$$

kde w_i je váha daného parametru a s_i značí podíl hodnoty parametru u hledaného otisku ku hodnotě z databáze. Pokud $s_i > 1$, pak se tato složka z Ψ rovná 0.

Tato podmínka je zavedena, jelikož otisk s větším počtem prvků daného druhu než je počet prvků v databázi, nemůže být shodný. Reálné je, že otisk

není dobře viditelný a tak operátor zadá o prvek méně, opačný případ nastat nemůže.

3.4.2 Částečný otisk

Vyhodnocení částečného otisku není pevně svázáno s konkrétními parametry, protože není známo o jakou část otisku se jedná. Nelze proto použít informace o umístění jednotlivých prvků v rámci otisku, což znemožňuje pracovat se znalostí střední části vzorku jako s primárním parametrem.

Algoritmus pro částečný otisk pracuje pouze se sekundárními parametry a to stejným způsobem jako algoritmus pro celý otisk. Váhy a tolerance chyby jednotlivých parametrů zůstávají stejné.

V rámci aplikace se s částečným otiskem pracuje stejně jako s otiskem celé šíře, s tím rozdílem, že předzpracování není nutné.

Kapitola 4

Realizace

V této kapitole je čtenáři přiblíženo jakých prvků je při realizaci využito a jakým způsobem. Podrobněji je zde popsáno rozhraní aplikace a jednotlivé jeho prvky. Učiněna je i volba programovacího jazyka, kde se zmiňují jeho hlavní výhody. Kapitola je doplněna o ukázky kódu s vysvětlením jejich funkce a nechybí zde ani obrázky výsledné aplikace a všech jejích komponent.

4.1 Volba jazyka

Volba programovacího jazyka není pro tuto práci stěžejní, protože práce se především zaměřuje na koncepční řešení problému. Přesto jsou zde uvedeny hlavní výhody jazyka MATLAB, který byl pro implementaci autorkou zvolen na doporučení vedoucího práce.

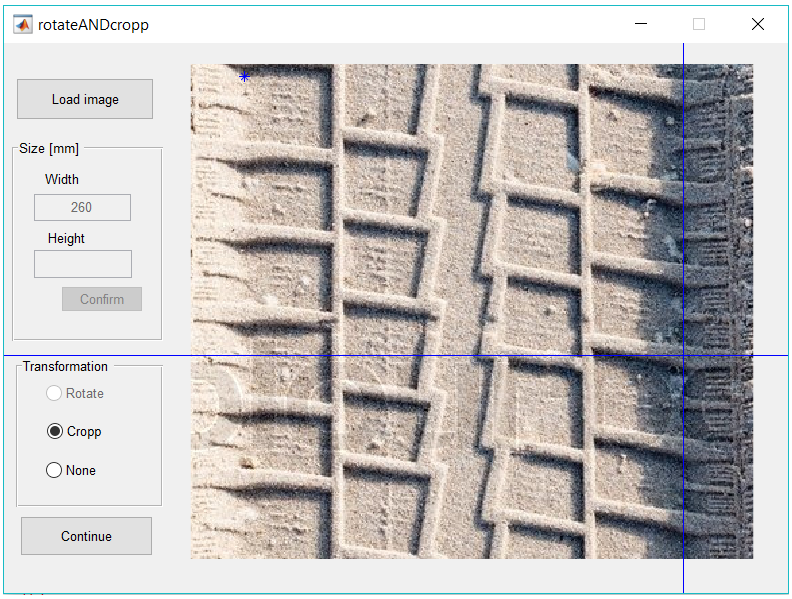
MATLAB disponuje velkou databází vestavěných funkcí, která roste každým dnem. Různorodé možnosti využití přináší i množství nástrojů specializovaných na jedno konkrétní odvětví. Příkladem může být například prostředí GUIDE, které je zvoleno pro vytvoření uživatelsky přívětivé aplikace.

Další bezespornou výhodou je interaktivní práce s daty s možností grafického výstupu. Jazyk umožňuje vykreslování grafů s možností jejich další optimalizace.

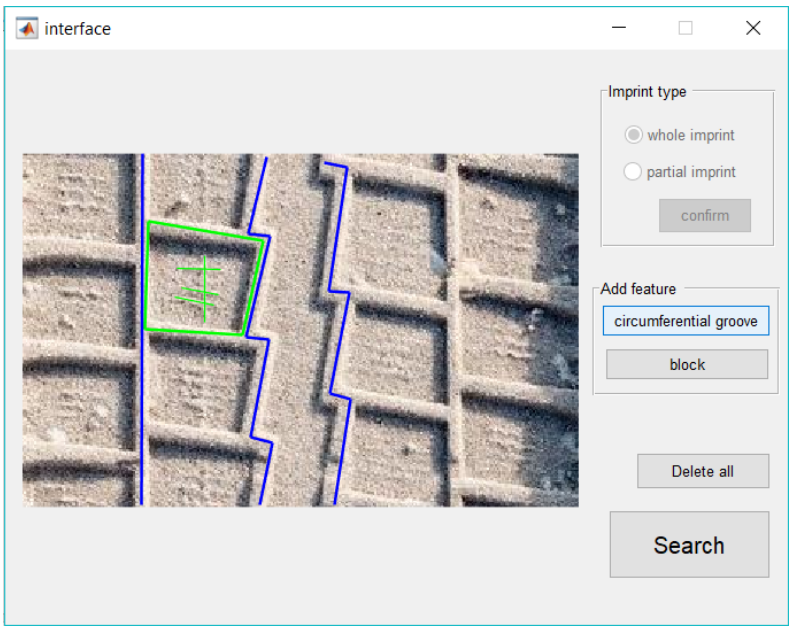
Za nejužitečnější však autorka považuje dobře zpracovanou a rozsáhlou nápovědu ve spojení s velkou uživatelskou komunitou sdílející své znalosti. Jedná se totiž o první kontakt autorky s daným jazykem.

4.2 Uživatelské rozhraní

Aplikace nabízí 2 uživatelská rozhraní, kde první slouží k transformaci obrazu v rámci předzpracování (obr. 4.1) a druhé k vyznačení a samotné hledání shodného záznamu (4.2).



Obrázek 4.1: Rozhraní pro předzpracování



Obrázek 4.2: Rozhraní aplikace

4.2.1 Rozhraní pro předzpracování

Uživatelské rozhraní musí umožnit načtení fotografie což je realizováno funkcí `imgetfile()`, která bude zavolána při stisknutí tlačítka Load image (*Push Button*). Při chybném vstupu aplikace zareaguje chybovou hláškou.

Další prvek potřebný v GUI je možnost zadat alespoň jednu hodnotu - **reálnou šířku** nebo **výšku** fotografie v milimetrech. Po vyplnění alespoň jednoho z rozměrů do připravených textových polí (*Edit Text*) je vyžadováno potvrzení stisknutím tlačítka Confirm. V tuto chvíli se zpřístupní nabídka Transformation, kde pomocí výběru z nabídky (*Radio Button*) je zpřístupněna vybraná transformace.

Rotace se zadává pomocí kurzoru, kde si uživatel vyznačí směr, který bude po rotaci vertikální.Vyznačení prostoru, který je třeba oříznout je provedeno rovněž kurzorem myši, kde je zapotřebí vyznačit protilehlé rohy obdélníku přes úhlopříčku. U obou transformací se výběr potvrdí stisknutím klávesy Enter.

Po provedení požadovaných transformací se pokračuje stisknutím tlačítka Continue. Samozřejmě je možné pokračovat i bez provedení jakékoliv transformace, výběrem možnosti None a potvrzením stejným tlačítkem.

4.2.2 Rozhraní aplikace

Vstupem do rozhraní je předzpracovaná fotografie, která se automaticky načte. První krok, který musí operátor učinit je rozhodnutí a zaškrtnutí zda se jedná o otisk celé šířky pneumatiky nebo jen částečný otisk. Po stisknutí tlačítka confirm se na základě této volby stanoví algoritmus, který se později použije pro vyhledávání.

V tuto chvíli je dovoleno začít graficky zvýrazňovat identifikační prvky otisku. Výběrem a stisknutím tlačítka (circumferential groove nebo block) začne uživatel zadávat konkrétní prvek. Uživatel se tak dostane do tzv. **módu zadávání**, který bude ukončen až po stisknutím konkrétní klávesy z klávesnice. Ukončit režim úprav bude možné stisknutím jedné ze dvou kláves:

- **Enter** (ASCII 03) - potvrdí konec zadávání jednoho prvku (drážky, lamely, bloku, ...)
- **Esc** (ASCII 27) - ukončí zadávání lamel bloku

Zadávání různých druhů křivek (přímé, lomené, obecné) je zajištěno stiskem různých tlačítek myši.

- **Levé tlačítko** slouží pro zaznamenávání bodů, které definují přímky mezi těmito body, pokud se do posloupnosti klikání levým tlačítkem nevmísí stisknutí pravého tlačítka myši.
- **Pravé tlačítko** indikuje zadávání obecné křivky. Pokud je detekován stisk pravého tlačítka, rozhraní nevykreslí spojnici bodů, ale čeká na

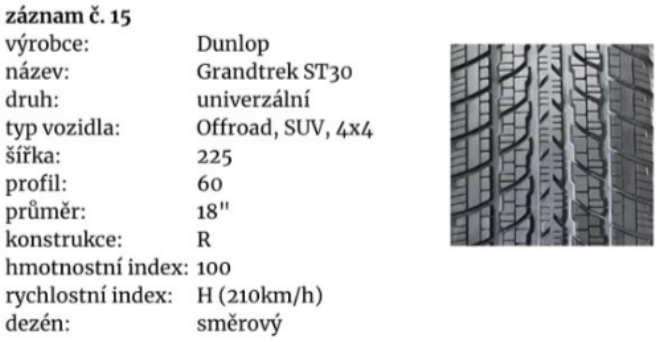
zadání koncového bodu (levé tlačítko myši). Obecně lze říci, že pomocí pravého tlačítka se tvoří záhyby křivky.

4.3 Databáze

Databáze je reprezentována **maticí** o rozměru $n \times 11$, kde n je počet záznamů databáze. Tato matice je uložena v samostatném souboru (database.mat), aby mohla být načtena z kterékoliv části programu, případně použita v jiném programu.

Použito je přes 40 fotografií z ukázkové knihovny vzorků pneumatik [30] a přes 100 fotografií z vlastních zdrojů. K těmto fotografiím bylo zapotřebí dohledat příslušné informace vhodné do uživatelské verze databáze. Tyto informace byly hledány v katalozích výrobců pneumatik na internetu, kde bylo nejprve nutné nalézt pneumatiku se stejným dezénem. Až v tuto chvíli se mohly do databáze **ručně vložit** nalezená data.

Vzhledem k takto časově náročným úkonům při tvorbě databáze, je databáze zjednodušená oproti původnímu návrhu. Jedná se pouze o **textové záznamy** bez prolinkování[11] s údaji o společnosti, výrobci automobilu a dalších. Ukázku jednoho takového záznamu naleznete na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3: Ukázka záznamu z databáze

4.4 Implementace

K tvorbě grafického rozhraní aplikace je použito vestavěné prostředí GUIDE. GUIDE poskytuje možnost grafického vytvoření uživatelského rozhraní, které automaticky generuje pro tento návrh MATLAB kód. Tento před-připravený kód grafického rozhraní lze následně modifikovat přidáváním vlastních funkcí k jednotlivým prvkům tak, aby se docílilo očekávaného chování aplikace.

[11] vzájemné propojení pomocí odkazů

Tělo aplikace je napsáno rovněž v jazyku MATLAB, popisem nějakých implementovaných funkcí se bude blíže zabývat další podkapitola 4.4.1.

Posledním krokem realizace je tvorba samostatně spustitelné aplikace, kde je opět využito toho, co MATLAB nabízí. Přímo pomocí editoru lze vytvořit aplikace spustitelná mimo prostředí MATLAB. Toho je dosaženo pomocí *Application Compileru* v podobě grafického rozhraní nebo pomocí příkazu `applicationCompiler` v příkazové řádce. V případě této práce bylo upřednostněno grafické rozhraní na úkor příkazové řádky.

Více o problematice samostatně spustitelné aplikace se můžete dočíst v bakalářské práci *„Tvorba samostatně spustitelných aplikací v MATLABu“* od Jindřicha Vlasáka[31].

4.4.1 Implementované funkce

K vykreslování prvků do otisku se používá upravená knihovní funkce MATLABu `ginput`. Tato funkce není dostatečná pro navrhovaný prototyp, proto již jako odrazový můstek byla použita přizpůsobená verze této funkce `ginputc`[32]. Tato funkce dovoluje programátorovi ovládat nejen tloušťku, styl a barvu vykreslované čáry, ale i mnoho dalších prvků.

Nicméně ani funkce `ginputc` nesplňuje všechny požadavky, proto autorka provedla potřebné změny v kódu. Konkrétně se jedná o přidání vstupního parametru `Block`, indikujícího zda se má první a poslední vyznačený bod spojit. Dále byla kvůli zadávání bloků společně s lamelami upravena podmínka pro ukončení zadávání.

Asi nejdůležitější obměnou tohoto kódu však zůstává přidání funkce na vykreslování obecných křivek `showSpline`. Tato funkce křivky jenom vykresluje, vstupní data jsou zpracovávána v nadřazené funkci.

```
function [] = showSpline( x, y, color, linewidth)
    t = 1:length(x);
    tt = linspace(t(1), t(end));
    xx = spline(t, x, tt);
    yy = spline(t, y, tt);
    plot(xx, yy, color,'LineWidth',linewidth);
end
```

Detekování kliknutí *pravého tlačítka myši* se považuje za impulz pro vykreslení křivky pomocí funkce `showSpline`. Díky této funkci je operátor schopen zadat nejenom přímé křivky, ale i křivky obecné.

```
function [chPar, grC, grS] = addGroove(finPar, I, oneMm)
```

Funkce slouží k označování *obvodových drážek* v GUI. Funkce si rovnou zpracovává některé údaje - zaznamenává styl jednotlivých drážek, jejich umístění a samozřejmě i jejich počet.

function [changeParams] = addBlock(finParams, I, oneMm)

Funkce slouží k zadávání *bloků* v GUI a k zpracování jejich parametrů. Určuje zda se jedná o blok přímých či zaoblených tvarů, jejich umístění i počet.

function [] = addSipe()

Funkce je volána z funkce `addBlock`, kterou tak doplňuje. Znázorňuje zadávání *lamel* v bloku (ze kterého je volána) a ukládá informaci o jejich existenci.

function [halfX, a, b] = getCenter(img)

Funkce spočítá mezní hodnoty *středového pásma* ze vstupního obrázku, které následně i vrátí. Funkce umožňuje i zobrazení pomocných čar - okrajové hodnoty středového pásma.

function [minX, maxX] = getMinMax(x)

Jak již název napovídá, jedná se o funkci hledající *minimum a maximum* v daném poli. Používá se při lokalizování určitých prvků (v jakém rozmezí se nachází), většinou využito pouze pro *x-ové* souřadnice.

function [output] = coefCounting(rec, imprint, w, err)

Funkce, která na základě vstupních parametrů vypočítá hodnotu shody pro konkrétní položku vektoru. V úvahu se bere jak tolerance vůči chybě daného parametru, tak i jeho váha.

function [] = showPossibles(s, pic, coeficients)

Funkce zobrazuje výsledky hledání seřazené sestupně od koeficientu s největší shodou.

function [] = findSimilar(finParams)

Hlavní funkce, která má na starost konečné zpracování načtených dat a *nalezení nejpodobnějších záznamů* v databázi. Nalezené vzorky zobrazí a umožní operátorovi vybrat odpovídající vzorek. K tomuto vzorku pak vyhledá záznam v databázi a zobrazí ho.

function [] = findPartSimilar(finParams)

Funkce určená pro částečný otisk, která vyhledává nejpodobnější prvky v databázi. Zobrazení výsledků je stejné jako u funkce předcházející.

Kapitola 5

Testování a vyhodnocení

Kapitola je věnována testování navržené aplikace, testování se zaměřuje především na správnost vyhodnocení shodných otisků. V celé kapitole se pracuje s otisky celé šířky, s částečným otiskem by testování probíhalo obdobně, ale výsledky by nebyly tak průkazné.

Vyhodnocení se zabývá analýzou údajů, které vzešly z testování. Hodnotí pozitiva i negativa vypozorovaná během fáze testování a navrhuje možnosti k zlepšení.

5.1 Testování

Nejprve se popisuje kontrola, která proběhla již v průběhu vývoje. Následně se pokračuje testováním správnosti vyhodnocování výsledků, v kterém jsou obsaženy i ukázky z průběhu testování.

5.1.1 Kvalita zvolené reprezentace

Jak již bylo zmíněno dříve v této práci, data pro tvorbu databáze byla sesbírána v terénu a tak není zaručeno, že databáze neobsahuje duplicitní záznamy. Aby se těchto duplicit vyvarovalo, byla provedena kontrola duplicitních reprezentací.

Pomocí jednoduchého cyklu byly všechny záznamy roztříděny do skupin se stejným charakteristickým vektorem. Postupně byly zobrazeny všechny záznamy z každé skupiny a bylo vizuálně zhodnoceno, zda skupina neobsahuje duplicity.

Celkový počet 136 záznamů bylo rozděleno do 60 skupin, z čehož 39 skupin bylo jednoprvkových, 9 skupin dvou prvkových a 2 skupiny obsahovaly více než 10 záznamů. Zbylé skupiny zahrnovaly v průměru 4 záznamy.

Již z těchto dat lze usoudit, že zvolená reprezentace poměrně **dobře separuje některé druhy vzorků**, ale také naznačuje, že u 2 typů se bude potýkat

s problémy. Po provedení kontroly na duplicity se počet záznamů zredukoval na 117.

5.1.2 Správnost výsledků

Testování je prováděno na odlišných datech, než která byla použita pro tvorbu databáze. Snahou je ověřit chování aplikace na neznámých datech, aby byla zachována objektivita.

V průběhu testování byl vypnut parametr šířka pneumatiky, protože jakožto primární parametr, u kterého je vyžadována absolutní shoda, zamezoval testování zbylých parametrů. I bez tohoto parametru jsou výsledky testování použitelné.

Na obrázku 5.1 jsou 3 otisky na kterých bude demonstrováno testování a zhodnocení výsledku.

Obrázek 5.1: Testované otisky

Otisk (a)

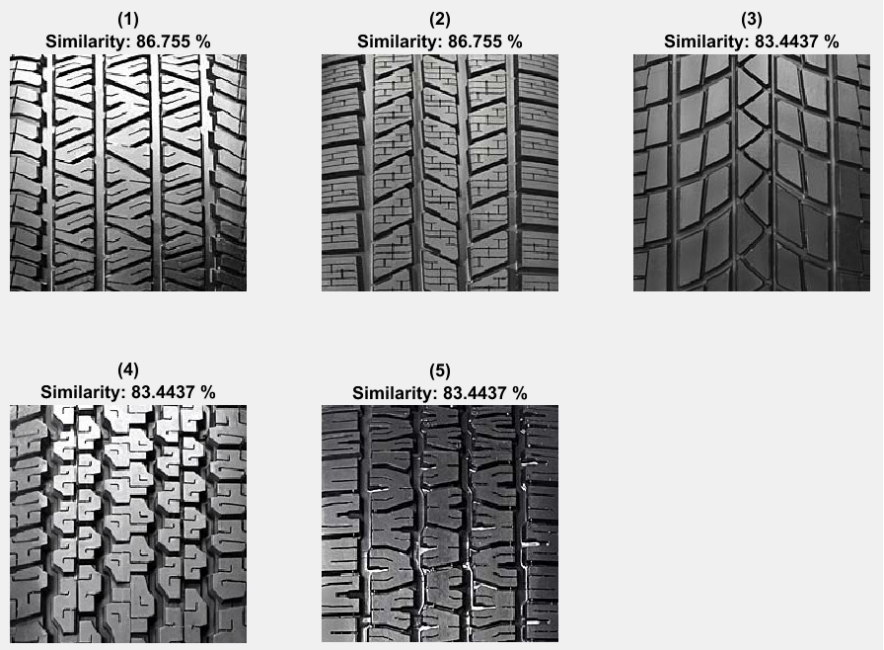
O otisku (a) víme, že se nachází v databázi, proto budeme sledovat, na jakém místě v seznamu možné shody se objeví. Hledaný vzorek se nachází ve skupině s nejvyšší mírou podobnosti, což mluví ve prospěch aplikace.

Zobrazené možnosti na obr. 5.2 ukazují, že při dostatečném počtu prvků ve vzorku, dostáváme relativně přesné výsledky - výsledek mezi 2 nejslibnějšími kandidáty.

Otisk (b)

Testování na shodu otisku (b) ku databázi dopadlo na první pohled úspěšně - vzorek byl nalezen. Při bližším zkoumání zjišťujeme, že shoda byla nalezena v kategorii s nejvyšším koeficientem shody, ale jak lze z obrázku 5.3 vidět, všechny zobrazené možnosti jsou ze stejné kategorie.

V případě většího počtu záznamů v databázi podobného typu - směrových vzorků, by mohla nastat situace, kdy se zobrazí tak velké množství záznamů, že by aplikace nepřinesla dostatečné zefektivnění práce.



Obrázek 5.2: Množina možností pro otisk (a)

Tabulka 5.1: Úspěšnost vyhodnocení shody

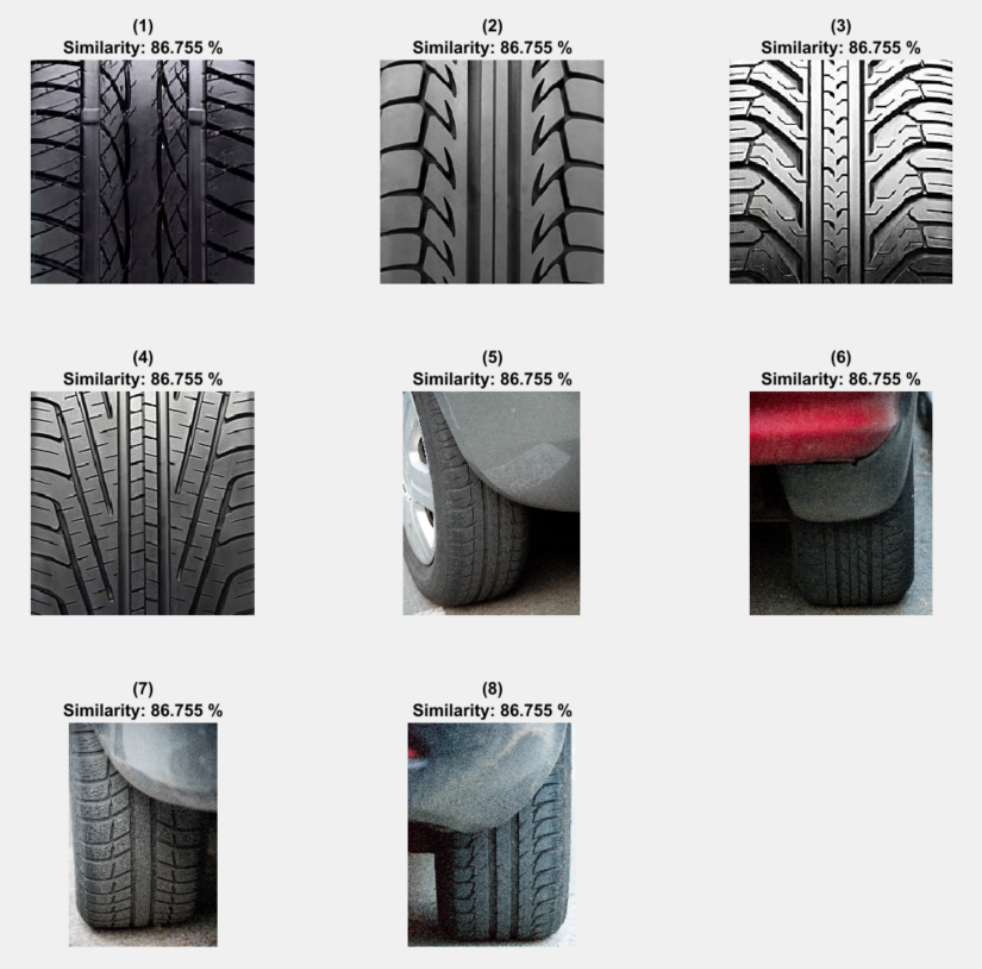
Druhy kategorií	**Počet zásahů**
Shoda v 1. kategorii[12]	8
Shoda v 2. kategorii[13]	6
Celková shoda ve zbylých kategoriích	2

Otisk (c)

Otisk (c) se v navržené databázi nenachází, tento otisk je vyhledáván, aby se ukázalo jak bude vyhodnocen, a který otisk bude navržen jako nejpodobnější. Nejpodobnější vzorek vyhodnocený aplikací lze vidět na obr. 5.4, i v tomto případě se dá tento vzorek považovat za dostatečně podobný.

Při testování správnosti zobrazovaných výsledků bylo použito 16 otisků a výsledky byly zaznamenávány do tabulky 5.1. Velkou roli pro přesnost programu hraje složitost otisku pneumatiky, čím je otisk členitější, tím spíše bude nalezen unikátní záznam.

[12]kategorie s nejvyšším koeficientem podobnosti
[13]kategorie s druhým nejvyšším koeficientem podobnosti



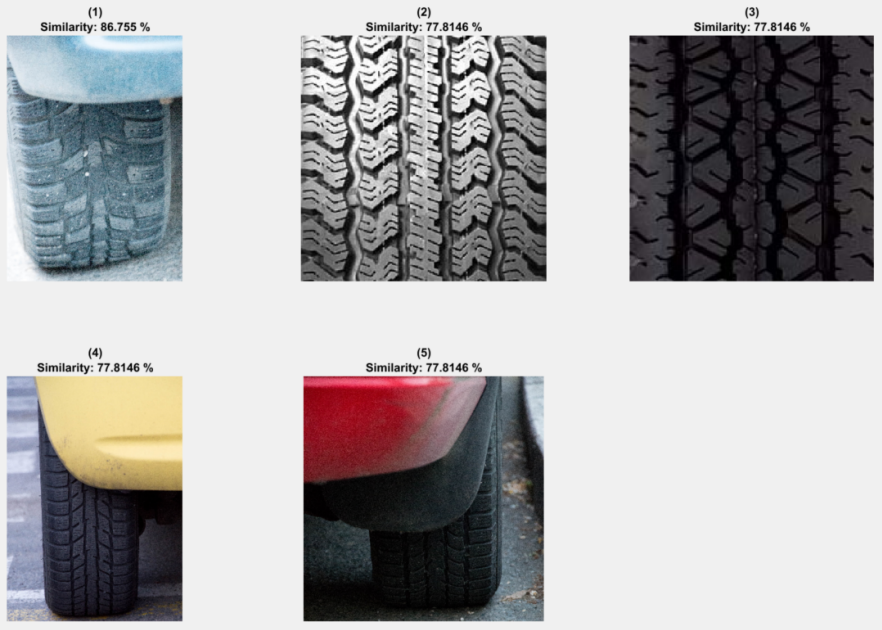
Obrázek 5.3: Množina možností pro otisk (b)

5.2 Vyhodnocení

Výsledky testování jsou uspokojivé, u více než 80 % byl daný vzorek v nabídnutých možnostech a z toho kolem 50 % v kategorii s nejvyšším koeficientem podobnosti.

Program by bylo možné doplnit o další upřesňující parametry, které by mohly pomoci k přesnějším výsledkům. Např. rozšířit parametr tvaru bloků ze 2 (hranaté, zaoblené) na trojúhelníkové, hexagonální atd. Nebo se pokusit lépe popsat směrové pneumatiky - zahrnout parametr, který by byl schopen alespoň částečně jednu od druhé odlišit.

K navrženým vylepšením by bylo potřeba podstatně rozšířit databázi, s malou databází by mohlo docházet k tendenci upravovat reprezentaci záznamu „na míru“ konkrétní databázi.



Obrázek 5.4: Množina možností pro otisk (c)

Závěr

Úvodem bakalářské práce byla provedena rešerše obdobných programů zabývajících se nalezením shody otisku pneumatiky s daným vzorkem. Podobnost byla nalezena i u programů pracujících ve forenzní analýze k nalezení pachatele pomocí otisku prstu či podrážky z místa činu.

Dále byl popsán vzorek pneumatiky a navržena reprezentace jednotlivých parametrů definujících vzorek pomocí 11-ti prvkového vektoru. Na základě této reprezentace pomocí vektoru byl navržen algoritmus hledající váženou shodu otisku se záznamem v databázi.

Tento algoritmus byl implementován v jazyce a prostředí MATLAB, který se ukázal jako všestranný nástroj schopný splnit všechny potřebné funkcionality pro danou aplikaci počínaje vytvořením GUI až po transformování do samostatně spustitelné aplikace. Aplikaci se podařilo implementovat bez větších problémů za použití pouze MATLABu, bez nutnosti využívání externích programů.

Databáze vzorků pneumatik byla vytvořena jak pomocí externí databáze získané z internetu, tak pomocí vlastní fotodokumentace z terénu. Databáze po odstranění duplicitních záznamů čítala 117 prvků. Otisky pneumatik byly získány z externí databáze z internetu.

Testování programu prokázalo jak funkčnost, tak jednoduchost aplikace. Největší hrozbou pro přesnost shody se ukázala nekvalifikovaná obsluha, která musí nejprve být dobře proškolena o způsobu zadávání prvků do GUI.

Automatické zpracování obrazu poskytuje v dnešní době velmi kvalitní výsledky, a tedy je nasnadě pro budoucí vývoj použít těchto metod. Tím by byl odstraněn problém nekvalifikovaného operátora a faktor lidské chyby při zadávání dat do programu. V používaném prostředí MATLAB je např. k dispozici *Image Processing Toolbox*, který by bylo možné pro automatické zpracování obrazu využít.

Literatura

[1] Zdeněk, J.; Ždánský, B.; Čupera, J.: *Automobily I – Podvozky*. AVID, 2010.

[2] Sajdl, J.: Diagonální pneumatika [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/diagonalni-pneumatika/

[3] Symetrické, asymetrické, směrové pneumatiky: jak si vybrat? [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: http://www.rezulteo-pneumatiky.cz/pruvodce-pnemautik/dobre-koupit-pneumatiky/symetricke-asymetricke-smerove-pneumatiky-jak-si-vybrat-23680

[4] Bodziak, W. J.: *Tire Tread and Tire Track Evidence: Recovery and Forensic Examination*. CRC Press, 2008, ISBN 9780849372476.

[5] Dhawan, A. P.: *Medical Image Analysis*. John Wiley Publications and IEEE Press, 2003.

[6] Liu, Y.; Yan, H.; Lim, K.-P.: Study on rotation-invariant texture feature extraction for tire pattern retrieval. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, ročník 28, č. 2, Apr 2017: s. 757–770, ISSN 1573-0824, doi:10.1007/s11045-015-0373-0. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s11045-015-0373-0

[7] Lux, F. H.: Tire Track Identification. *Journal of Forensic Research*, ročník 4, č. 4, 2013, doi:10.4172/2157-7145.1000198. Dostupné z: https://www.omicsonline.org/tire-track-identification-2157-7145.1000198.php?aid=19229

[8] A database of tyre tread patterns for the identification of crime scene marks [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: http://www.fosterfreeman.com/index.php/component/content/article/20-products/shoe-print-identification/119-treadmate

[9] Wang, Y.-W.: A tire-mark identification scheme for suspected vehicle detection in hit and run accident. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 01 2005.

[10] U.S. Department of Justice: *The Fingerprint Sourcebook*. 2011, [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/225320.pdf

[11] Walsh, S.; Pośpiech, E.; Branicki, W.: Hot on the Trail of Genes that Shape Our Fingerprints. *Journal of Investigative Dermatology*, ročník 136, č. 4, 2016: s. 740 – 742, ISSN 0022-202X, doi:https://doi.org/10.1016/j.jid.2015.12.044. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022202X16004528

[12] Number of passenger cars and commercial vehicles in use worldwide from 2006 to 2015 in (1,000 units). 2017, [cit. 2017-12-01]. Dostupné z: https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/

[13] Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce_funkce_a_vyroba_pneumatiky.html

[14] Valský, T.: Typy dezénu pneumatik [online]. 2013, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: https://www.pneumatiky.cz/info/typy-dezenu-pneumatik.html

[15] Usanov, D. A.; Kalinkin, M. Y.; Skripal', A. V.: Identification of a Tire-Tread Pattern from Its Track Using a Computer-Aided Video Technique. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, ročník 41, č. 6, Jun 2005: s. 382–386, ISSN 1608-3385, doi:10.1007/s11181-005-0180-z. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s11181-005-0180-z

[16] Kingsbury, N.: Complex Wavelets for Shift Invariant Analysis and Filtering of Signals. *Applied and Computational Harmonic Analysis 10*, 2001, ISSN 1063-5203, doi:10.1006/archa.2000.0343. Dostupné z: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.588.4232&rep=rep1&type=pdf

[17] Cervinka, L.; Cip, P.; Horak, K.: Characters classifications by Radon transform. *Annals of DAAAM & Proceedings*, Jan 2010, ISSN 1726-9679.

[18] Bowen, R.; Schneider, J.: Forensic Databases: Paint, Shoe Prints, and Beyond. *National Institute of Justice*, 10 2007, [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/cs/articles/diagonalni-pneumatika/

[19] Sawyer, N.: 'SHOE-FIT' A computerised shoe print database. 1995: s. 86–89.

[20] Ashley, W.: What shoe was that? The use of computerised image database to assist in identification. *Forensic Science International*, 1996: s. 7–20, [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0379073896019627

[21] Girod, A.: Computer classification of the shoeprint of burglars shoes. *Forensic Science International*, 1996: s. 59–65, [cit. 2018-04-12].

[22] Mikkonen, S.; Astikainen, T.: Databased classification system for shoe sole patterns identification of partial footwear impression found at a scene of crime. *Forensic Science International*, 1994: s. 1227–1236, [cit. 2018-04-12].

[23] Mikkonen, S.; Suominen, V.; Heinonen, P.: Use of footwear impressions in crime scene investigations assisted by computerised footwear collection system. *Forensic Science International*, 1996: s. 67–79, [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0379073896019688

[24] Pavlou, M.; Allinson, N. M.: Automated encoding of footwear patterns for fast indexing. *Image and Vision Computing*, ročník 27, č. 4, 2009: s. 402 – 409, ISSN 0262-8856, doi:https://doi.org/10.1016/j.imavis.2008.06.003. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885608001376

[25] Geradts, Z.; Keijzer, J.: The image-database REBEZO for shoeprints with developments on automatic classification of shoe outsole designs. *Forensic Science International*, ročník 82, č. 1, 1996: s. 21 – 31, ISSN 0379-0738, doi:https://doi.org/10.1016/0379-0738(96)01963-9, european Meeting for Shoeprint and Toolmark Examiners. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0379073896019639

[26] Bouridane, A.; Alexander, A.; Nibouche, M.; aj.: Application of fractals to the detection and classification of shoeprints. ročník 1, 2000.

[27] de Chazal, P.; Flynn, J.; Reilly, R.: Automated processing of shoeprint images based on the Fourier Transform for use in forensic science. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, ročník 27, č. 3, 2005: s. 341 – 350.

[28] Crookes, D.; Bouridane, A.; Su, H.; aj.: Following the Footsteps of Others: Techniques for Automatic Shoeprint Classification, Conference on Adaptive Hardware and Systems. *Second NASA/ESA*, 2007: s. 67 – 74.

[29] Jelínek, M.: *Daktyloskopie - historie, současnost a budoucnost.* Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, 2014.

[30] Library of Tire Tread Patterns [online]. [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: 'http://www.biologyjunction.com/tire%20tread%20patterns.html

[31] Vlasák, J.: Tvorba samostatně spustitelných aplikací v MATLABu. 2010, [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/handle/10195/37046

[32] The MathWorks, Inc.: *Custom GINPUT [online].* [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/38703-custom-ginput

Příloha **A**

Seznam použitých zkratek

1D jedno-dimenzionální

2D dvou-dimenzionální

3D tří-dimenzionální

GUI Graphical User Interface

MATLAB MATrix LABoratory

Radon-DTCWT Radon Dual Tree Complex Wavelet Transform

CEDA Curvelet Energy Distribution Algorithm

RT Radonová Transformace

GUIDE Graphical User Interface Development Enviroment

ASCII American Standard Code for Information Interchange

FT Fourierova Transformace

Příloha B

Uživatelská příručka

Požadavky na vstupní data

1. Šířka fotografie musí přesně odpovídat šířce otisku na fotografii (obr. B.1)

Obrázek B.1: Příklad vstupu (zleva špatně, správně)

2. Otisk musí být orientován kolmo k vodorovné ose - šířka pneumatiky se odečítá z vodorovné osy (obr. B.2)

Obrázek B.2: Příklad vstupu (zleva špatně, správně)

Posloupnost zadávání

Krok 1 - Nahrání fotografie

Pomocí tlačítka *Load image* se otevře průzkumník souborů. Vyhledejte požadovaný soubor, označte ho kliknutím myši a stiskněte tlačítko *Otevřít*.

Krok 2 - Zadání rozměrů

Alespoň do jednoho z polí v sekci *Size [mm]* zadejte skutečnou šířku (*Width*) nebo výšku (*Height*) fotografie v milimetrech. Zadání hodnoty potvrďte následným stisknutím tlačítka *Confirm*.

Krok 3 - Předzpracování fotografie

Pomocí nabídky *Transformation* zvolte jakou transformaci chcete provést (rotace vždy musí předcházet ořezu). V závislosti na této volbě se vybere nástroj transformace.

Volba **Rotate**: pomocí 2 kliknutími kurzoru vytvořte úsečku v požadovaném směru, který má být následně vertikální. Potvrďte stisknutím klávesy *Enter*.

Volba **Cropp**: pomocí vyznačení 2 rohových bodů obdélníku (na úhlopříčce) vytyčte ořezovou oblast. Potvrďte stisknutím klávesy *Enter*.

Volbu **None** zvolte pokud není potřeba žádné transformace nahrané fotografie.

Ukončení fáze předzpracování ukončíte stisknutím tlačítka *Continue*.

Krok 4 - Druh otisku

V nabídce *Imprint type* vyberte zda se jedná o otisk celý (*whole imprint*) či částečný (*partial imprint*) a potvrďte stisknutím tlačítka *confirm*.

Krok 5 - Vyznačování prvků

V sekci *Add feature* vyberte prvek, který chcete v otisku vyznačit. Kurzor myši se přepne do módu záznamu daného prvku. Vyznačit lze přímé i obecné křivky, kde se vše zadává pomocí krajních bodů vytvořených kliknutím myši (pravé či levé tlačítko).

Při stisknutí *levého tlačítka* myši se vykreslují body, které se propojují přímkou. Pokud chcete zakreslit oblouk klikněte levým tlačítkem (začátek oblouku) následně použijte *pravé tlačítko* myši na označení oblouku a opět levé tlačítko (konec oblouku). Při stisknutí pravého tlačítka myši se spojnice nevykresluje, čeká se na bod ukončující oblouk.

Volba **circumferential groove**: zadání drážky vždy ukončete stisknutím klávesy *Enter*.

Volba **block**: bloky nezavírejte manuálně, po stisknutí klávesy *Enter* se automaticky první a poslední bod spojí. Následně se dostanete do módu zadávání **lamel** (malých drážek) uvnitř bloku. Tyto lamely se zadávají stejným způsobem, každá je třeba potvrdit klávesou *Enter*. Po vyznačení všech lamel odejdete z tohoto módu stisknutím klávesy *Esc*.

Ve směru šířky otisku je třeba vyznačit všechny prvky postupně od levého k pravému okraji. Takto se získá počet a umístění jednotlivých prvků napříč otiskem pneumatiky.

Krok 6 - Hledání

Po zahájení hledání stisknutím tlačítka *Search* se zobrazí nabídka kandidátů na shodu v novém okně. Společně s touto nabídkou je zobrazeno i dialogové okno na zadání čísla pneumatiky, která odpovídá otisku. Po zadání a potvrzení volby (0 pro nenalezeno) se zobrazí příslušný záznam z databáze.

Volitelný krok - Smazání vyznačeného

Stisknutím tlačítka *Delete all* se z fotografie smažou všechny zadané prvky i uložená data z paměti.

Příloha C

Obsah přiloženého CD

- `readme.txt` ..... stručný popis obsahu CD
- `exe` ..... adresář se spustitelnou formou implementace
- `src`
  - `impl` ..... zdrojové kódy implementace
  - `thesis` ..... zdrojová forma práce ve formátu LaTeX
- `text`
  - `thesis.pdf` ..... text práce ve formátu PDF
  - `thesis.ps` ..... text práce ve formátu PS