

# Extrakcia krvného riečiska prstu s pomocou deterministických algoritmov

Vojtěch Fiala (xfiala61)  
xfiala61@stud.fit.vutbr.cz

Filip Brna (xbrnaf00)  
xbrnaf00@stud.fit.vutbr.cz

## I. ÚVOD

Táto dokumentácia opisuje proces extrakcie krvného riečiska z obrazu ruky. Bola implementovaná metóda Maximum Curvature. Na základe výsledkov implementácie Maximum Curvature bol následne vytvorený systém extrakcie príznakov na výpočet skóre porovnávajúceho dva rôzne obrazy.

## II. METÓDA MAXIMÁLNEHO ZAKRIVENIA

Metóda maximálneho zakrivenia (Maximum Curvature) je algoritmus, ktorý sa využíva aj na extrakciu krvného riečiska prstu z obrázku. Algoritmus využíva najmä druhé derivácie za účelom detekcie miest s najväčším zakrivením. Tieto detekované zakrivenia reprezentujú črty krvného riečiska.[1]

### Popis algoritmu

Algoritmus spočíva v analýze zakrivenia pixelov v obraze. V rámci tejto metódy je najskôr šedotónový obraz konvertovaný na hodnoty medzi 0 a 1, čím je zabezpečená jeho normalizácia. Následne sú počítané druhé derivácie obrazu vo viacerých smeroch (horizontálny, vertikálny a oba diagonálne smery) pomocou derivácií Gaussovských funkcií. Tieto derivácie identifikujú miesta s najväčším zakrivením v jednotlivých smeroch, kde sa krvné riečisko v obraze javí ako najvýraznejšie.

#### Krokový postup pre aplikáciu metódy:

- 1) **Vytvorenie Gaussovskej funkcie a jej derivácií:** Gaussovska funkcia a jej prvé a druhé derivácie sa aplikujú na obraz, čím sa získavajú derivácie obrazu vo vybraných smeroch (x, y, diagonálne).
- 2) **Výpočet zakrivenia:** Zakrivenie sa počíta v horizontálnom, vertikálnom a oboch diagonálnych smeroch pomocou vypočítaných druhých derivácií. Tieto výpočty slúžia na detekciu miest v obraze s vysokým zakrivením, kde sa s najväčšou pravdepodobnosťou nachádza krvné riečisko.
- 3) **Určenie maximálneho zakrivenia pre rôzne smery:** Identifikujú sa úseky s kladnými hodnotami zakrivenia a následne sú v týchto úsekoch hľadané najväčšie hodnoty zakrivenia.
- 4) **Uloženie maximálnych hodnôt:** Po zistení hodnôt maximálneho zakrivenia pre horizontálny, vertikálny a diagonálne smery sú tieto hodnoty uložené do matice  $V_L$ , ktorá reprezentuje extrahované krvné riečisko.

5) **Spájanie riečiska:** Spájanie krvného riečiska (vein connections), je dôležité na elimináciu šumu a tvorbu obrazca. Tento krok nasleduje po výpočte zakrivení vo všetkých smeroch. Získané centrá krvného riečiska sú následne prepojené tak, aby sa vytvorila súvislá reprezentácia riečiska.

6) **Binarizácia:** Vykonáva sa binarizácia obrázka, pri ktorej sú pixely rozdelené na tie, ktoré patria k žilovému vzoru, a tie, ktoré k nemu nepatria.

Výsledkom aplikácie tejto metódy je obrazová matica, v ktorej sú zachytené miesta s najväčším zakrivením – tj. pravdepodobné polohy žíl v prste. Tieto miesta s vysokou hodnotou zakrivenia zodpovedajú dominantným štruktúram krvného riečiska, ktoré sú vhodné na ďalšiu biometrickú analýzu.

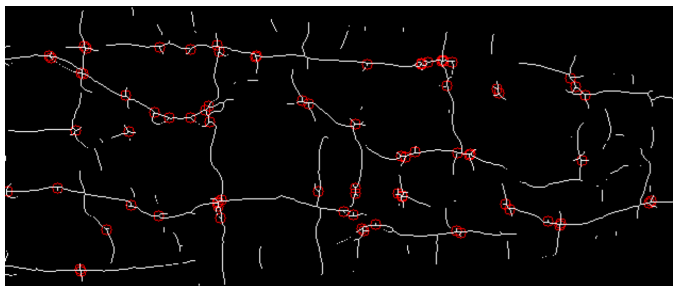
## III. DESKRIPTORY A POROVNÁVACIE METÓDY

Táto časť sa zaoberá postupmi pre extrakciu hlavných črt krvného riečiska a ich porovnanie medzi dvoma šedotónovými snímkami prsta. Tieto techniky sú navrhnuté s cieľom extrakcie dodatočných informácií zo snímku a následného využitia týchto deskriptorov na zvýšenie zabezpečenia biometrického bezpečnostného systému zameraného na identifikáciu pomocou riečiska.

### A. Deskriptory

Existujúce deskriptory popisujú hlavné body a vzory riečiska podľa štrukturálnych vlastností a lokálnych charakteristík obrazu, v práci sú použité:

- **Bifurkácia a križovanie:** Bifurkácie a križovanie predstavujú body, kde sa riečisko rozvetvuje (bifurkácia) alebo kde sa pretínajú cesty riečiska (križovanie). Sú robustné a stabilné, čo ich robí vhodnými na porovnávanie.
  - Výpočet: Analyzujú sa špecifické vzory v 3x3 oknách obrazu, ktoré zodpovedajú tvarom T, Y a X v rôznych smeroch natočenia.
  - Použitie: Bifurkácie a križovanie sa ukladajú ako body s konkrétnymi súradnicami a orientáciami, čo umožňuje ich neskôr presné porovnanie na základe euklidovskej vzdialenosti.
- **Lokálne histogamy:** Metóda rozdeľuje obrázok na menšie bloky a následne vypočítava histogamy, ktoré popisujú rozloženie intenzít v týchto blokoch. Týmto spôsobom poskytuje informácie o lokálnej textúre obrazu.
  - Výpočet: Obraz sa rozdelí na bloky a vypočíta sa histogram pre každý blok, čo poskytuje lokálne štatistiky.



Obr. 1: Na obrázku krvných riečisk sú červenými značkami zobrazené bifurkácie a križovatky.

- Použitie: Histogramy umožňujú presné lokálne porovnanie, ktoré zvýrazňuje podobné vzory.
- **Koncové body žíl:** Táto metóda identifikuje body, kde sa končia línie žíl, čo poskytuje dodatočné informácie o štruktúre vzoru.
  - Výpočet: V skeletonizovanom obraze je analyzované susedstvo jednotlivých pixelov v rámci matice 3x3. Pokiaľ sa v danom kerneli nachádza presne jeden biely bod, je tento bod považovaný za koncový bod žily.
  - Použitie: Koncové body sa ukladajú ako body s konkrétnymi súradnicami, čo umožňuje ich využitie na presné topologické porovnanie.

#### B. Porovnávacie metódy

Pri porovnávaní črt riečiska medzi dvoma obrazmi krvného riečiska sú používané nasledovné techniky:

- **Euklidovská vzdialenosť pre bifurkácie a koncové body:** Porovnanie získaných bifurkácií a koncových bodov na základe euklidovskej vzdialenosti. Hodnotí polohu vetvení riečiska medzi dvoma obrazmi, pričom využíva nastavený prah, aby eliminovala nesúvisiace bifurkácie a koncové body.
  - Použitie: Efektívne kvantifikuje podobnosť medzi bodmi bifurkácií a krížení prípadne koncovými bodmi, čím zohľadňuje variácie v polohách spôsobené snímaním alebo fyzickým rozstupom.
- **Histogramy:** Pri porovnaní histogramov sa analyzuje zhoda lokálnych histogramov v dvoch obrazoch. Metóda používa mieru korelácie medzi histogramami, ktorá umožňuje získať celkové skóre ich podobnosti.
  - Použitie: Porovnanie histogramov je výkonné na identifikáciu lokálnych zhodných vzorov v obrazoch, a tým pomáha zvýšiť presnosť pri porovnávaní na základe krvného riečiska.
- **Metóda prekrytia:** Táto metóda sa používa na porovnanie podobnosti dvoch obrazov krvného riečiska pomocou výpočtu prekrytia, ktorý ukazuje, do akej miery sa vzory v oboch obrazoch prekrývajú.
  - Použitie: Percento prekrytia poskytuje skóre podobnosti medzi dvoma obrazmi. Ak je prekrytie vysoké, obrazy sú si podobné. Týmto spôsobom je možné efektívne kvantifikovať, do akej miery sa dva obrazy krvného riečiska zhodujú.

## IV. POPIS SPRACOVÁVANIA VSTUPNÉHO OBRÁZU

Predstavuje sériu krokov, ktorými postupne prechádza vstupný obrázok a spracovávajú ho s cieľom extrahovania a analýzy vlastností krvného riečiska.

### A. Predspracovanie

Prvá časť pipeline sa zameriava na predspracovanie vstupného obrázka. Hlavné kroky v tejto časti sú:

- **Detekcia oblasti záujmu (ROI):** V tejto fáze je potrebné identifikovať oblasť obrázka, ktorá obsahuje prst. Táto oblasť sa označí ako ROI a zohrá kľúčovú úlohu v ďalších krokoch spracovania.
- **Aplikácia masky:** Po identifikovaní ROI je na obrázok aplikovaná binárna maska, ktorá odfiltruje pozadie a izoluje iba oblasť prsta. Ďalej je tak spracovávaná iba časť obrázku, ktorá obsahuje nasnímaný prst.
- **Zvýšenie kontrastu a filtrovanie šumu:** Následne sa použijú techniky, ako je kontrastne obmedzená adaptívna histogramová ekvalizácia (CLAHE) a filtre (napr. mediánový filter, Gaussovský filter a pridanie váh), ktoré po experimentálnom nastavení hodnôt zvyšujú kontrast a znižujú šum v spracovávanom obrázku.

### B. Maximum Curvature

Po predspracovaní nasleduje skôr popísaný krok - Maximum Curvature, ktorý má za úlohu zvýrazniť a detekovať vzory žíl v prste.

### C. Dodatočné spracovanie

Ďalší krok sa zameriava na dodatočné úpravy detekovaných vzorov riečiska:

- **Spojenie prerušených žíl:** Používaná je morfológická operácia *CLOSING* na spojenie prerušených úsečiek žíl, ktoré by inak mohli byť vnímané ako samostatné.
- **Odstránenie obrysu prstu:** Používaná je morfológická operácia *ERODE* na odfiltrovanie obrysu prstu a ponechanie iba krvného riečiska.
- **Skeletonizácia:** Ďalší krok zahŕňa ztenšenie riečisk na šírku jedného pixelu.
- **Odstránenie artefaktov:** Posledným krokom dodatočných úprav je odstránenie všetkých artefaktov, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť kvalitu žilového vzoru. Za artefakt je považovaná oblasť, ktorá bola klasifikovaná ako riečisko, ale jej dĺžka nepresahuje zadaný prah.

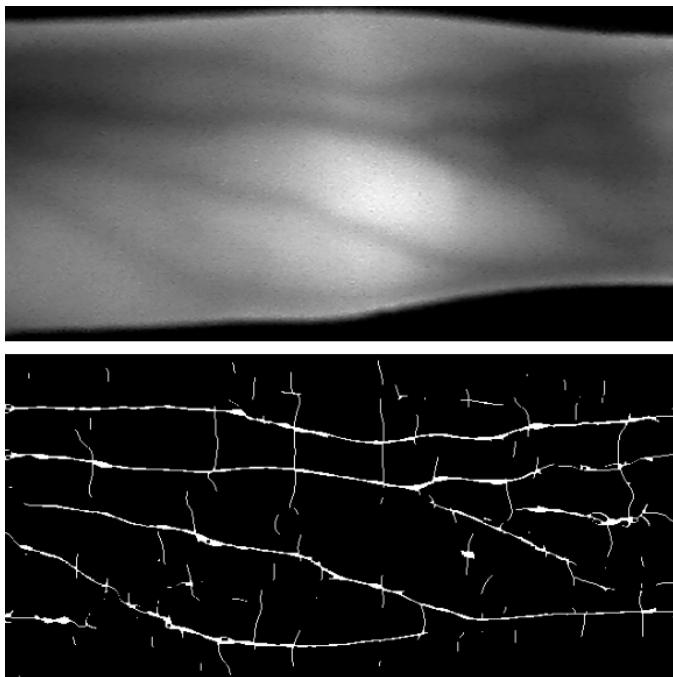
Vizualizáciu obrázku po dodatočnom spracovaní je možné vidieť na obrázku 2.

### D. Extrakcia rysov

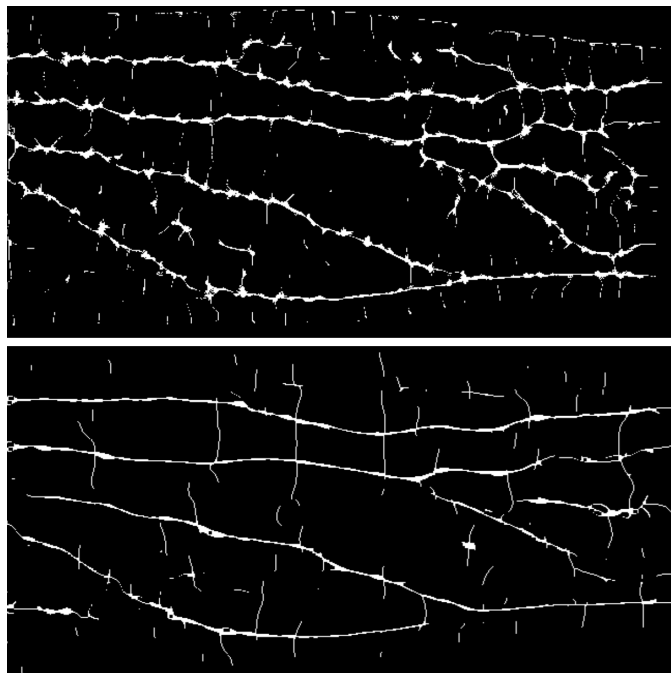
V tomto kroku sa extrahujú vyššie spomínané rysy z sekcie III-A.

### E. Porovnanie extrahovaných rysov

V tomto kroku sa porovnávajú extrahované rysy pomocou vyššie spomínaných metód z sekcie III-B.



Obr. 2: Porovnanie vstupného obrázku (vrchný obrázok) a toho istého obrázku po spracovaní (dolný obrázok).



Obr. 3: Na vrchnom obrázku sa nachádza výsledok spracovania pomocou referenčnej knižnice Bob a na spodnom obrázku sa nachádza výsledok spracovania nami pomocou implementovaného prístupu.

## V. EXPERIMENTY

Táto kapitola obsahuje popis a vyhodnotenie jednotlivých experimentov, ktoré boli vykonané. Pri výkonnostných experimentoch je dôležité nastavenie prahovej hodnoty. Kvalita zhody môže naberať hodnoty 0-100(0 reprezentuje perfektnú zhodu), kde hodnota je určená ako normalizácia súčtu výsledkov z jednotlivých porovnávacích metód.

### A. Porovnanie s referenčnou implementáciou

Tento experiment sa zameriava na porovnanie nami implementovanej metódy s referenčnou implementáciou Maximum Curvature z knižovny Bob<sup>1</sup>, aby sa overila jej presnosť a spoľahlivosť pri detekcii vzorov žíl.

#### • Zhodnotenie:

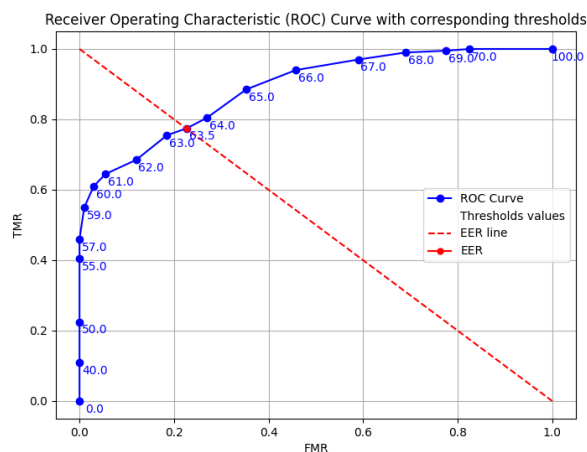
Porovnanie implementácií je možné vidieť na obrázku 4.

### B. Výkonnostný experiment

Cieľom tohoto výkonnostného experimentu je zhodnotiť úspešnosť implementácie v rámci klasifikácie vzorov žíl prostredníctvom štatistických metrík, ako sú True Match Rate (TMR) a False Match Rate (FMR) na základe prahovej hodnoty. Zo zvoleného datasetu<sup>2</sup> bolo vybraných 10 osôb, kde každá osoba má nasnímaných 6 prstov (prostredné 3 prsty ľavej a pravej ruky) a každý prst má vyhotovených 10 snímkov. Výkon znázorňuje ROC krivka na Obrázku ??.

#### • Zhodnotenie:

Z tabuľky I vyplýva, že aktuálna FMR je takmer nulová, čo znamená, že takmer nikdy sa nestáva aby systém



Obr. 4: Výsledky TMR a FMR pre rôzne hodnoty prahu.

Metrika	Hodnota
False Match Rate (False Positive)	0.03
False Non-Match Rate (False Negative)	0.39
True Match Rate (True Positive)	0.61
True Non-Match Rate (True Negative)	0.97

Tab. I: Výsledky pre threshold 60.

chybne spojil snímky, ktoré nepatria tej istej osobe, tomu istému prstu na tej istej ruke. Naopak, FNMR je vyššia, zhruba každý tretí pokus dochádza k neidentifikovaniu zhody u skutočne zhodných prstov na zhodnej ruke u zhodného človeka.

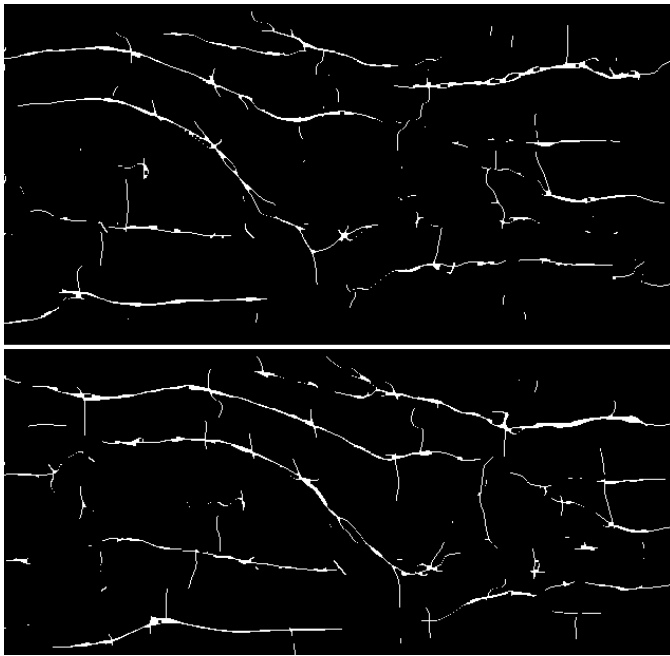
Vysoká miera FNMR je spôsobená tým, že prst nebol správne nasnímaný, konkrétne bol horizontálne posunutý, čo viedlo k nasnímaniu iných častí prsta. Metódy na

<sup>1</sup><https://idiap.ch/software/beat/docs/bob/docs/v4.0.1/bob.bio.vein/doc/index.html>

<sup>2</sup>[https://huggingface.co/datasets/luyu0311/MMCBNU\\_6000](https://huggingface.co/datasets/luyu0311/MMCBNU_6000)

extrakciu, napríklad bifurkácie, sú citlivé na vzdialenosť jednotlivých bodov, takže v týchto špecifických prípadoch výrazne zlyhávajú. Podobne zlyháva aj metóda prekrytia, pretože veľká časť prsta, ktorá by mala byť prekrytá, chýba. Toto je znázornené na obrázkoch 5.

Zvýšením prahovej hodnoty by bolo možné dosiahnutie nižšieho počtu False Negatives, ale naopak by to výrazne zvýšilo False Positives metriku. Zlepšenie výkonnosti je tiež možné dosiahnuť za predpokladu, že by oprávnení používatelia umiestňovali snímané prsty do senzora konzistentne na rovnaké miesto.



Obr. 5: Porovnanie dvoch obrazov extrahovaných žíl z rovnakého prsta, keď jeden prst bol inak horizontálne posunutý oproti druhému. Je vidieť že vrchný prst bol viac posunutý "do prava".

## VI. NÁVOD NA POUŽITIE

Návod je detailne popísaný v priloženom *README.md* súbore a obsahuje príklady spustenia. Aplikácia má čiastočne implementovaný frontend, ktorý umožňuje porovnanie dvoch zadanych snímkov. Výsledkom porovnania je miera hodnota podobnosti, hodnota prahu a výsledok, či došlo ku zhode alebo nie. Spustenie frontendu je taktiež popísané v *README.md*.

## LITERATURA

- [1] N. Miura, A. Nagasaka, and T. Miyatake, "Extraction of finger-vein patterns using maximum curvature points in image profiles," *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 90, no. 8, pp. 1185–1194, 2007.