



Hodnocení kvality řezu

Semestrální práce ZDO

1 Zadání

1.1 Úvod

Vzdělávání na dálku prostřednictvím on-line prostředků se v minulosti osvědčilo a epidemiologický a energeticko-ekonomický přínos nadále zvyšuje jeho význam. Některé předměty se však zdají být téměř nemožné vyučovat prostřednictvím videa. Mezi takové předměty patří výuka chirurgie. Cílem naší aplikace je vytvořit program, který by napomáhal výuce právě tohoto předmětu.

Pomocí nástrojů umělé inteligence a strojového učení se snažíme snížit nároky na učitele a usnadnit objektivní hodnocení správnosti výkonu studentů. Výuka pak probíhá prostřednictvím videochatu a měření na základě umělé inteligence doplňuje hodnocení výsledků.

1.2 Úkol

Cílem této úlohy je vyhodnotit kvalitu chirurgického šití na základě obrazu řezu a stehu. Studentům bude poskytnuta sada obrázků zobrazujících řezy a stehy provedené během chirurgického zákroku. Úkolem studentů bude pomocí metod počítačového vidění extrahovat a segmentovat obrazová data, poté pomocí metod strojového učení provést kvalitativní analýzu šití. Studenti budou hodnotit kvalitu šití na základě parametrů, jako je rovnoměrnost a kolmost. Výsledky analýzy budou prezentovány pomocí grafických vizualizací a metrik kvality sešívání.

- Očekává se, že odevzdaná práce bude mít podobu odkazu na git repozitář.
- Název úložiště obsahuje identifikaci vašeho týmu.
- Závěrečná zpráva ve formátu PDF je v kořenovém adresáři úložiště.
- V úložišti je soubor `src/run.py`.
- Prvním argumentem je vždy výstupní soubor `.json`
- Druhým argumentem může být `-v`, který spustí vizuální režim s ladicími obrázky.
- Soubor `src/run.py` přijímá jako argumenty názvy souborů s obrázky.

Struktura výstupního souboru popisuje linii řezu a její křížení se stehy. Polohy křížení se měří v pixelech od levého začátku linie řezu.

2 Řešení

V první části byly zkoumány různé nápady a způsoby, které by umožnily efektivní extrakci užitečných informací. Nejednalo se přímo o pokusy úlohu vyřešit, spíše testování různých počátečních nápadů. Mezi těmito nápady byly různé pokusy o prahování, experimentování s různými barevnými reprezentacemi a testování Houghovy transformace na různě předzpracované obrázky.

Protože úloha byla zadána do dvojice, bylo možné vyvíjet paralelně dva nezávislé postupy. Každý člen týmu rozvíjel vlastní nápad a postup, za vzájemné spolupráce a sdílení informací o tom, které nápady fungují lépe a které hůře.

Cílem tohoto postupu bylo zvýšit pravděpodobnost nalezení funkčního řešení v kratším čase. Na závěr bylo v plánu použít lepší z obou postupů a nebo jejich kombinaci.

2.1 Počáteční experimenty

2.1.1 Prahování podle odstínů šedi

Prvním a nejjednodušším pokusem bylo převést obrázek do odstínů šedé a poté provést prahování. Dle očekávání tento způsob nepřinesl dobré výsledky a to i při použití složitějších způsobů prahování (Otsuova metoda a adaptivní prahování).

Ačkoli bylo možné najít pro většinu fotografií parametry prahování, které přinesly dostatečně dobré výsledky pro jeden daný obrázek, tak hledání obecného nastavení, které by přineslo dostatečně dobré výsledky pro většinu fotografií (nebo metody, která by dokázal toto nastavení odhadnout podle vstupního obrázku), bylo poměrně rychle odsouzeno jako extrémně obtížné, ne-li nemožné.

2.1.2 Prahování podle jednotlivých RGB kanálů

Dalším experimentem bylo testování prahování s jednotlivými RGB kanály. Myšlenkou za tímto krokem bylo to, že většina obrázků je z drtivé většiny barveně blízká nějaké průměrné růžové (barvě kůže) a tak by nějaký konkrétní RGB kanál mohl poskytnout lepší podklad pro prahování, než jejich kombinace v odstínech šedé.

Po prozkoumání jednotlivých barevných kanálů se ukázalo, že pro většinu fotek jsou výsledky prahování o něco lepší než při použití pouze odstínů šedé, nicméně problém hledání obecných parametrů funkčních pro alespoň většinu obrázků byl stále velmi obtížný.

2.1.3 Testování morfologických operací

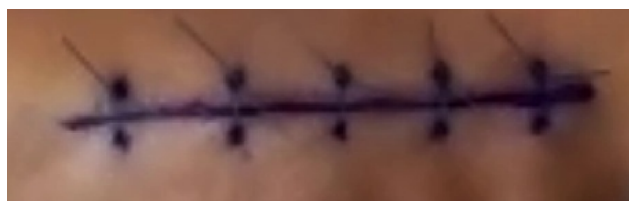
Po nalezení parametrů prahování, které poskytovaly použitelné výsledky alespoň u několika fotografií, bylo na řadě experimentování s morfologickými operacemi. Cílem bylo najít sekvenci morfologických operací takovou, která by z naprahovaného binárního obrázku odstranila chybně naprahované oblasti, vyhladila okraje a obecně připravila obrázek lépe pro další zpracování.

Hlavními operacemi bylo morfologické otevření a uzavření, jejichž kombinací bylo možné odstranit většinu problémů z prahování. Výsledky tohoto experimentu byly uznány za dostatečně dobré pro použití ve finálních algoritmech.

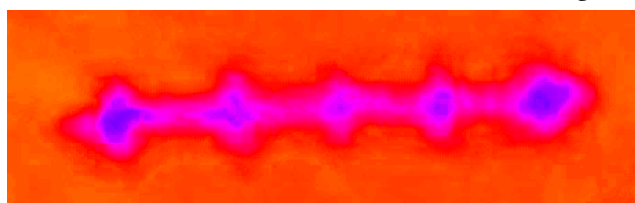
2.1.4 Využití HSV barevného prostoru

Po ověření vhodnosti morfologických operací bylo experimentováno ještě jednou s prahováním. Původem tohoto experimentu byl nápad spočívající v uvědomění si toho, že kůže je na fotografiích růžová (odstín červené), zatímco stehy a vpichy jsou tmavě modré nebo fialové - tedy prakticky na opačném konci spektra. Z toho plynula naděje, že by HSV barevný prostor mohl poskytovat lepší rozlišení mezi jizvou+stehem a kůží.

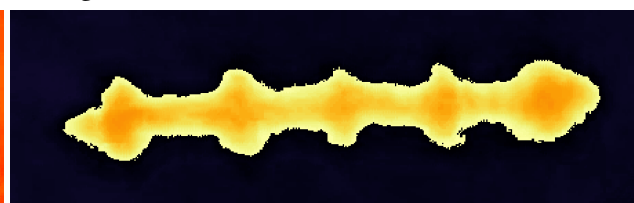
Obrázky byly tedy převedeny z RGB do HSV a jednotlivé kanály byly zobrazené vedle sebe. Jedna z fotografií byla vybrána a její HSV spektrum je zobrazené na Obrázku 1.



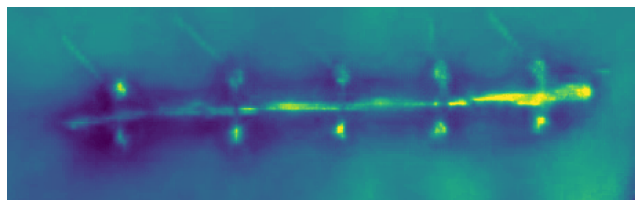
(a) Originální fotografie



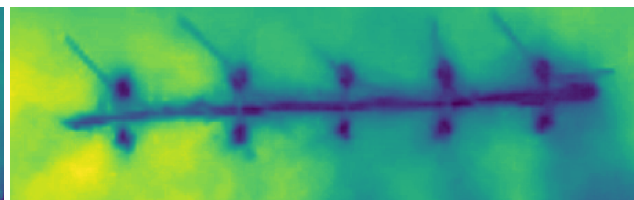
(b) Odstín (skutečná barva)



(c) Odstín (colormap „inferno“)



(d) Sytost

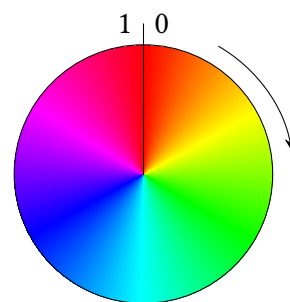


(e) Jas

Obrázek 1: Znázornění HSV spektra vybrané fotografie

Jak je možné na Obrázku 1 vidět, tak využití odstínu (Hue kanál v HSV) poskytne poměrně kvalitní (a velmi snadno prahovatelnou) informaci o tom, kde se nachází jizva a stehy. Je vhodné zdůraznit, že na vizualizaci není třetí pod-obrázek 1c naprahovaný.

Odstíny ve skutečné barvě jsou znázorněné na druhém pod-obrázku na vizualizaci, kde je vidět, že odstín přechází na fotografii z červené do modré a do fialové. Lidské oko tento přechod vnímá jako plynulý, nicméně numerické hodnoty budou tvořit ostrý skok (jsou přeskočené žluté, zelené a tyrkysové barvy, viz Obrázek 2).



Obrázek 2: Odstínové kolo

Dalším pozitivním efektem, který měl za následek přechod do HSV prostoru je to, že u většiny obrázků v kanálu sytosti dochází ke snížení hodnot kolem jizvy a stehů (a poté prudkému zvýšení v místě stehu/jizvy). Toto je dobře vidět na čtvrtém pod-obrázku 1d.

Dále byly zkoumány i další různé barevné prostory, nicméně HSV se ukázal jako nejlepší. Použité byly první a druhý kanál, detailnější využití bude rozepsáno u jednotlivých způsobů řešení později.

2.2 První způsob řešení

První způsob zpracování sady obrázků, zobrazujících řezy a stehy provedené během chirurgického zákroku, umožňuje nalezení pouze hlavní přímky, která představuje řez. Původně bylo v plánu postup rozšířit i na hledání stehů, ale mezitím byl nalezen paralelně způsob (popsaný později), který umožňuje nalezení řezů i stehů najednou a s dobrou přesností u většiny obrázků.

K nalezení hlavní přímky se využívá především Houghova transformace. Metoda aproximuje řez pomocí 1 nebo 2 přímk. Základní postup algoritmu je možné charakterizovat takto:

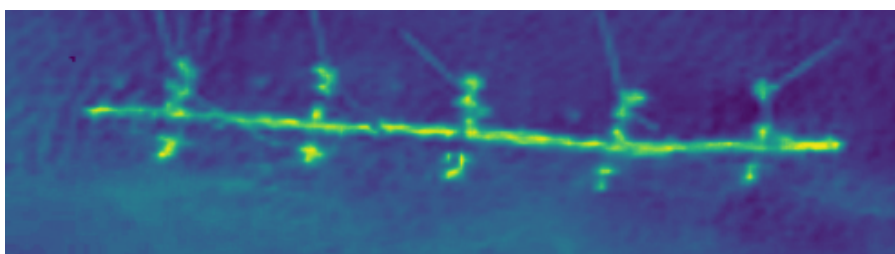
1. Převod obrázku z RGB do HSV
2. Prahování (pomocí Otsuovy metody)
3. Morfologická skeletonizace naprahovaného binárního obrázku
4. Houghova transformace → čáry → body (začátek a konec)
5. Lineární regrese (proložení bodů přímkou)
6. Zpracování a filtrace vzdálených bodů od přímky (prahování podle vzdálenosti)
7. Přepočítání přímky po odstranění vzdálených bodů
8. Výpočet lomené čáry → aproximace jizvy 2 přímkami
9. Finální reprezentace jizvy - výběr výsledku podle kritériální funkce J

2.2.1 Detailní popis algoritmu

Nejprve je obrázek převeden z RGB do HSV, pro lepší rozlišovací schopnosti a vhodnější data na prahování (u většiny obrázků). Pro lepší výsledky bylo experimentálně zjištěno, že kombinace všech tří HSV kanálů poskytuje lepší výsledky, než každý z kanálů samostatně. Výsledná kombinace byla stanovena jako $Y = 0.15H + (0.7H + 2) \cdot S - 0.7V$, kde H , S , V jsou kanály odstínu, sytosti a jasu.



Obrázek 3: Originální fotografie



Obrázek 4: Předzpracování pomocí HSV kanálů

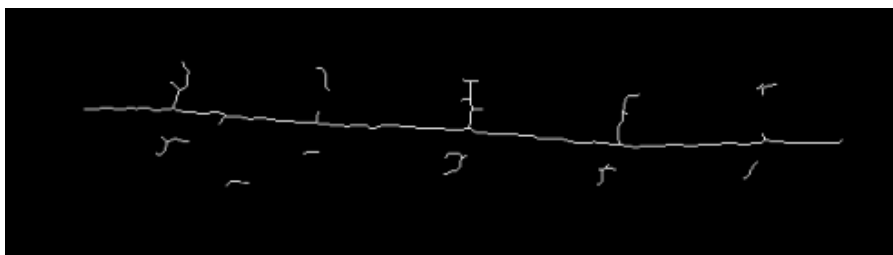
Po převodu do HSV obrázek projde prahováním, kde je práh zvolen automaticky pomocí Otsuovy metody. Výsledek prahování na jedné z fotografií je vidět na Obrázku 5.



Obrázek 5: Výsledek prahování jedné z fotografií

Výsledný naprahovaný binární obrázek je následně podroben morfologické skeletonizaci. Nabízí se zde možnost použít i jiné morfologické operace, ať už před nebo po skeletonizaci, jako je například eroze/otevření pro odstranění malých částí, nicméně to v tomto případě není potřeba. Výsledek skeletonizace je na Obrázku 6

Skeleton obrázku je použit pro Houghovu transformaci, konkrétně tedy pro pravděpodobnostní Houghovu čáru (*probabilistic hough line*). Tato metoda se snaží najít čáry, které jsou nejvíce pravděpodobné. Lze zde nastavovat několik parametrů, hlavními parametry je délka čáry a největší možná



Obrázek 6: Skeletonizace naprahaného obrázku

mezera mezi body pro hledání čáry. Nejprve byla snaha nastavovat parametr délky čáry co možná největší, protože to představuje hlavní (nejdelší) přímku (řez), nicméně později se ukázalo, že efektivnější je hledat menší čáry, a později si odfiltrovat čáry, respektive body, které nejsou součástí hlavní jizvy.



Obrázek 7: Výstup Houghovy transformace

Výstupem Houghovy transformace jsou čáry reprezentované počátečním a koncovým bodem. Z těchto bodů je pomocí lineární regrese vypočítána přímka. Následně se pro každý bod vypočítá vzdálenost daného bodu od přímky a pomocí prahování se odstraní příliš vzdálené body.

Důvodem je to, že nalezené přímka aproximuje řez, nicméně z Houghovy transformace lze dostat i čáry, respektive body, které reprezentují např. vpich. Tyto další body snižují přesnost aproximace linie řezu a proto je snaha je odstranit a izolovat tak pouze řez samotný. Práh je nastavený automaticky pomocí histogramu (lokální minimum) a navíc jsou přidány konstanty pro minimální a maximální práh.

Po odstranění nepotřebných bodů se přepočítá pomocí lineární regrese přímka, která představuje jedno z možných finálních řešení. Protože některé jizvy nejsou příliš rovné, je vhodnější je aproximovat dvěma přímkami. Toho lze dosáhnout tím, že z dostupných bodů, kromě počátečního a koncového bodu jizvy, se postupně zkouší rozdělit seřazené body na dvě části. Dále se z těchto dvou částí aproximují dvě přímky a vypočte se celková vzdálenost bodů od daným přímek (= kritériální funkce J), tento postup se pro každý bod opakuje. Výsledkem je aproximace dvou přímek, pro které je nejmenší hodnota J .



Obrázek 8: Výsledná aproximace jizvy pomocí 1 přímky



Obrázek 9: Výsledná aproximace jizvy pomocí 2 přímek

Finálním výsledkem je 1 nebo 2 přímky, které aproximují jizvu podle toho, jestli je rozdíl kritériální funkce $J \geq 25$, potom je jako finální výsledek 2 přímky, jinak 1 přímka. Hodnota 25 představuje penalizaci rozdělení přímek, protože je v tomto případě snaha o co nejjednodušší aproximaci.

2.3 Druhý způsob řešení

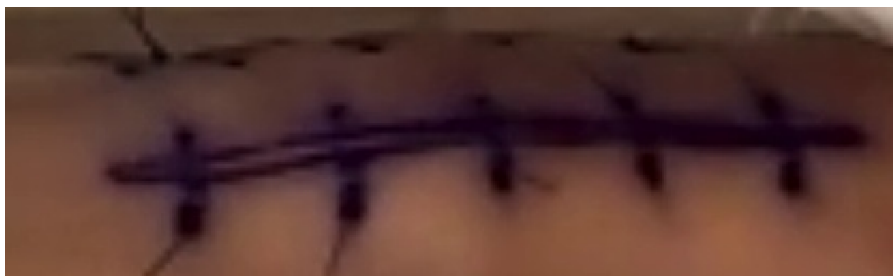
Druhý způsob řešení umožňuje nalezení lomené čáry reprezentující jizvu a přímek reprezentujících stehy. Při zpracování jsou využity metody prahování, statistiky, teorie grafů, morfologické operace a další doplňkové metody pro získání co nejlepších výsledků. Většina hodnot a konkrétních postupů byla nalezena kombinací experimentů a apriorních znalostí o úloze.

Během vývoje došlo k několika iteracím tohoto postupu, nicméně finální verze lze shrnout takto:

1. načtení fotografie a převod z RGB do HSV
2. extrahování souřadnic kontrolních bodů, masky a dalších upravených verzí obrázku
3. zpracování kontrolních bodů (převod ze souřadnic na objekty a ohodnocení)
4. napočítání délek a sklonů úseček mezi všemi kontrolními body
5. ohodnocení úseček podle sklonu a maskovaného obrázku na pozadí
6. detekce jizvy z ohodnoceného grafu
7. detekce průsečíků na jizvě s využitím statistiky
8. hledání přímek stehů skrz nalezené průsečíky

2.3.1 Detailní popis algoritmu

Prvním krokem je načtení fotografie a její převedení z RGB barevného prostoru do prostoru HSV, důvody byly popsány výše. Dále je provedena kontrola orientace a v případě, že je fotografie na výšku, tak je překllopena tak, aby její vodorovná osa byla delší než svislá. To je z toho důvodu, že algoritmus v některých místech pracuje se sklonem přímek a předpokládá, že hlavní přímka (jizva) bude vodorovně.



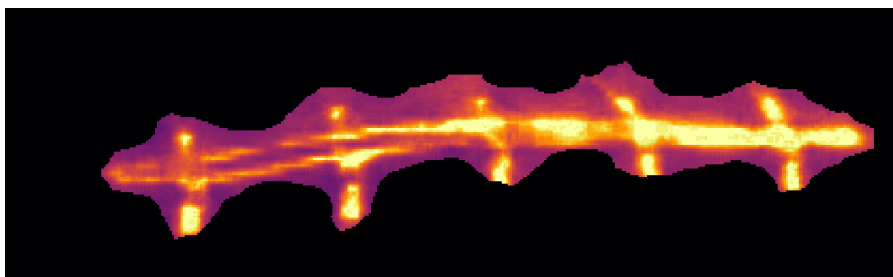
Obrázek 10: Vybraná fotografie (originál)

Dalším krokem je extrahování masky z prvního kanálu HSV (odstín). Díky vlastnostem tohoto kanálu (popsané výše) je velmi snadné obrázek naprahotvat a pro většinu fotografií je toto již dostatečně dobrá maska, která blíže specifikuje oblast řezu. Pro zvýšení robustnosti řešení jsou ale navíc poté ještě prováděné následující morfologické operace, jejichž cílem je odstranit chyby prahování a vyhladit okraje masky

1. binární uzavření diskovým kernelem o velikosti 8
2. binární eroze diskovým kernelem o velikosti 3
3. odstranění malých částí s hranicí 70
4. odstranění všech oblastí, které se dotýkají okrajů obrázku (pokud je na obrázku pouze jediná oblast, tak je tento krok přeskočen)
5. binární uzavření diskovým kernelem, jehož velikost je dána jako jedna dvacetina menšího z rozměrů obrázku

Protože u některých fotografií (zejména málo kvalitních nebo špatně nasvícených) tento postup produkoval masky, které byly pouze několik desítek pixelů velké a vůbec neodpovídaly pozici stehu. Proto je provedena kontrola, zda je maska dostatečně velká - pokud není, tak je celý dosavadní postup zahozen a pokračuje se dále bez masky (maskou je celý obrázek). Dobře získaná maska má pozitivní vliv na výpočetní efektivitu dalšího postupu a výslednou přesnost, nicméně algoritmus může pokračovat i bez ní.

Nalezená maska je použita na překrytí druhého HSV kanálu obrázku (sytost) a vzniká tak maskovaný obrázek, jeho ukázka je na Obrázku 11.

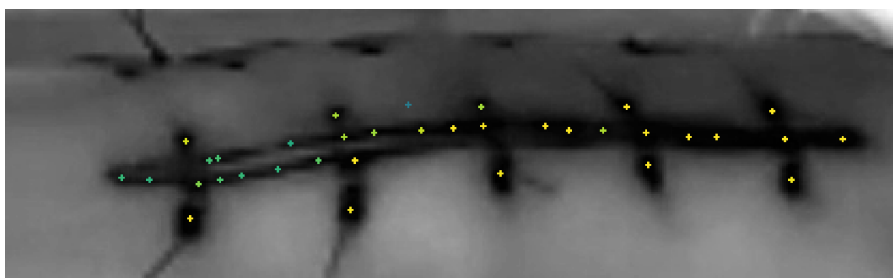


Obrázek 11: Výsledek maskování

Dalším krokem je nalezení kontrolních bodů na maskovaném obrázku. K tomuto kroku je využita metoda `skimage.feature.peak_local_max()`, která nalezne lokální maxima na daném obrázku. Pro lepší výsledky je předtím ještě maskovaný obrázek rozmazán Gaussovským filtrem, intenzita rozmazání byla experimentálně stanovena na hodnotu 2. Výstupem je pole dvojic přirozených čísel, které reprezentují souřadnice kontrolních bodů v obrázku.

Následně je provedeno jejich zpracování, které spočívá primárně v převodu datových typů (vytvoření objektů) a výpočtu ohodnocení. Body jsou hodnoceny tak, že je provedena konvoluce mezi Gaussovským kernelem o velikosti 5 pixelů (získáno experimentálně) a maskovaným obrázkem na pozadí.

Vizualizace tohoto kroku je na Obrázku 12, kde jsou zobrazené kontrolní body jako křížky a jejich barva odpovídá jejich ohodnocení (žluté body mají vyšší ohodnocení než modré a zelené). Jak je možné vidět, tak většina bodů je velmi dobře rozmístěna v klíčovách místech stehů (převážně vpichy) a podél hlavní jizvy.



Obrázek 12: Kontrolní body

Dále je provedena kontrola počtu kontrolních bodů a v případě potřeby ($\# > 100$) je provedena filtrace v podobě prahování podle ohodnocení s využitím Otsuovy metody. Tento krok byl zaveden kvůli tomu, že pro vysoké počty kontrolních bodů roste výpočetní náročnost dalších kroků algoritmu a v některých případech dokonce i klesá výsledná přesnost.

Dalším krokem je vytvoření pomyslných úseček mezi všemi kontrolními body a výpočet jejich délek (Euklidovská vzdálenost krajních bodů), úhlů a ohodnocení. Ohodnocení jednotlivých úseček je počítáno ve třech etapách:

1. Výpočet skóre podle hodnoty na pozadí:

Tato hodnota je získána jako konvoluce mezi maskou úsečky (rozmazanou Gaussovským filtrem) a maskovaným obrázkem na pozadí. Hodnota je pak normalizována délkou úsečky. Ve výsledky pak úsečky, které jsou celkově ve výraznějších místech (podle Obrázku 11) mají vyšší skóre než ty, které jsou v méně výrazných částech.

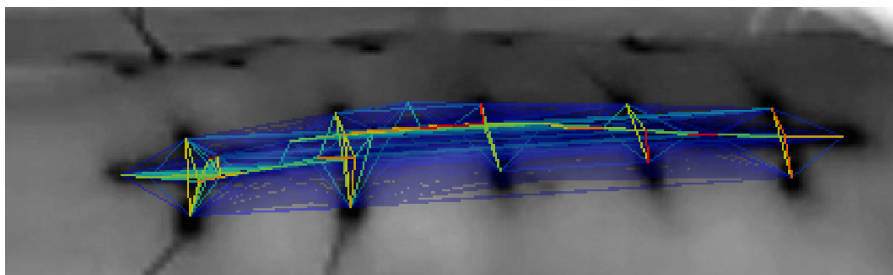
2. Výpočet skóre podle sklonu:

Tato hodnota je počítána podle odchylky od horizontálního nebo vertikálního směru. Ve výsledku pak úsečky, které jsou vodorovné nebo svislé mají vyšší skóre než ty, které jsou sklonem blíže 45° .

3. Výpočet finálního skóre:

Tento krok je pouze kombinace předchozích dvou hodnot. Hodnoty jsou mezi sebou vynásobené a výsledek je považován za výsledné skóre pro danou úsečku. Tímto krokem získají vysoké skóre ty úsečky, které jsou ve více výrazných oblastech a zároveň mají sklon blízký horizontálnímu nebo vertikálnímu směru.

Celkově tak vzniká neorientovaný graf, který má ohodnocené hrany i uzly. Vizualizace tohoto ohodnoceného grafu je na Obrázku 13.



Obrázek 13: Ohodnocený graf

Následuje samotné hledání lomené čáry, která odpovídá řezu/jizvě. Postup je poměrně přímočarý, spočívá v postupném procházení ohodnoceného grafu a hledání takové spojnice, která bude maximalizovat celkové skóre. Postup je následující:

1. Nalezení počátečního bodu:

Počáteční bod je určen jako bod s n -tou nejvyšší hodnotou (n začíná na 1). Tento bod je nastaven jako levý a pravý okraj spojnice.

2. Nalezení kandidátů na expanzi:

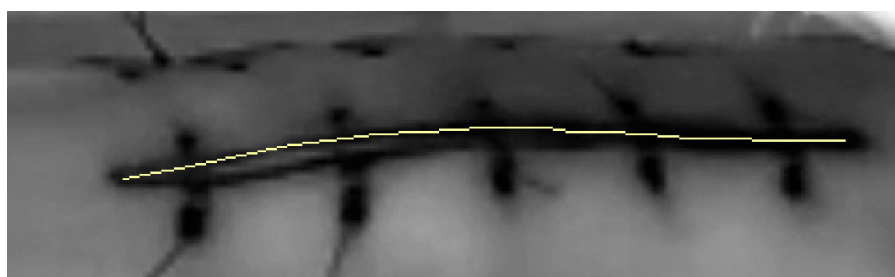
Všechny ostatní body jsou profiltrovány tak, aby zůstaly pouze ty, které jsou nalevo od levého okraje a napravo od pravého okraje a zároveň aby spojnice od bližšího okraje k danému bodu nepřesahovala daný sklon.

3. Expanze spojnice:

Ze zbývajících bodů je na každé straně vybrán takový, jehož spojnice k bližšímu okraji doposud existující spojnice má nejvyšší hodnotu. Spojnice se tak prodlouží.

4. Cyklus se opakuje, dokud po filtraci ve druhém kroku zůstávají nějaké body.

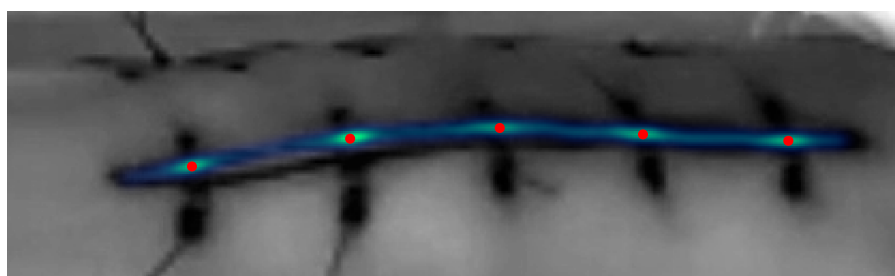
Aby tento postup dobře aproximoval jizvu lomenou čarou, je potřeba, aby byla úspěšná detekce kontrolních bodů a aby byl počáteční bod zvolen uvnitř jizvy. Pro zvýšení robustnosti druhé podmínky je celý postup opakován několikrát pro různé počáteční body a na konci je zvolena ta spojnice, jejíž celkové skóre je nejvyšší. Experimentálně bylo ověřeno, že tento postup najde kvalitní aproximace pro téměř všechny fotografie. Vizualizace výsledku pro vybranou fotografii je na Obrázku 14



Obrázek 14: Vizualizace lomené čáry reprezentující jizvu

Dalším krokem je nalezení míst na právě nalezené lomené čáře, kde se vyskytují průsečíky se stehy. Pro každý pixel na nalezené lomené čáře je spočtena míra pravděpodobnosti toho, že tímto bodem bude procházet jizva. Hodnota je počítána jako suma všech pixelů nad a pod daným bodem v pásu o šířce 5 pixelů. Pointa spočívá v tom, že v místech, kde jsou stehy bude celková suma vyšší, protože se nad a pod daným bodem vyskytují výraznější místa (viz Obrázek 11).

Tímto jsou všechny body na přímce ohodnocené. Dále je provedeno Gaussovské vyhlazení, čímž je získána mapa, jejíž lokální maxima odpovídají (ve většině případů) místům, kde dochází ke křížení jizvy a stehu. Výsledek této operace je zobrazen na Obrázku 15, kde jsou červenými tečkami zvýrazněná lokální maxima. Jak je možné pozorovat, tato metoda funguje poměrně přesně a experimentálně bylo ověřeno, že na většinu fotografií.

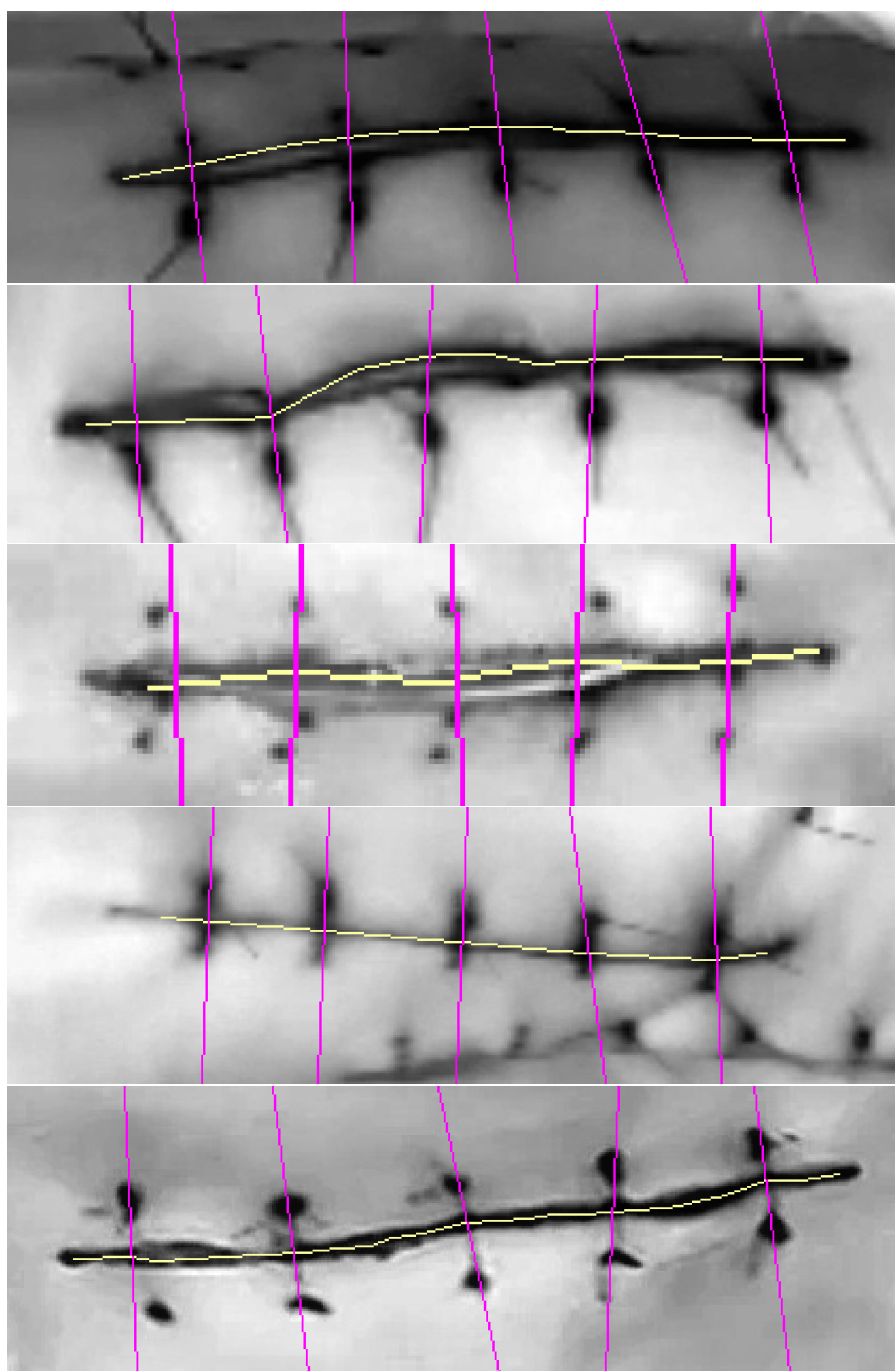


Obrázek 15: Detekované průsečíky

Následujícím krokem je nalezení přímek, které reprezentují stehy. V tento okamžik jsou již známy průsečíky s hlavní lomenou čarou, stačí tedy určit pouze úhly, pod kterými přímky-stehy vedou.

Postup je opět poměrně přímočarý, postupně je vyzkoušeno pro každý průsečík 20 úhlů rovnoměrně rozmístěných mezi 45° a 135° a pro každý z nich je spočteno skóre. Skóre je počítáno tak, že je zkonstruována maska reprezentující přímku, ta je rozmazána Gaussovým filtrem a je provedena konvoluce s intenzitami původního maskovaného obrázku. Výsledkem je tedy to, že přímky, které procházejí výraznějšími částmi mají vyšší hodnocení. Nakonec je zvolen takový úhel, který měl nejvyšší skóre a proces se opakuje pro další průsečík.

Posledním krokem je pak výběr až pěti nejlepších přímek a průsečíků (protože téměř všechny fotografie mají 5 stehů), uložení výsledků a případná vizualizace. Finální výsledek pro vybraných několik fotografií je na Obrázku 16



Obrázek 16: Finální výsledek vybraných fotografií

3 Závěr

Cílem semestrální práce bylo aplikovat metody umělé inteligence a zpracování obrazu pro vytvoření aplikace, která by pomáhala v hodnocení chirurgických zákroků. Byla vytvořena aplikace, která umožňuje extrahování a segmentaci obrazových dat a následnou kvalitativní analýzu šití. Kvalita šití je hodnocena na základě rovnoměrnosti a kolmosti stehů. Výsledky analýzy jsou prezentovány pomocí grafických vizualizací a numerických metrik.

První způsob zpracování sady obrázků se zaměřuje na nalezení hlavní přímky, která představuje řez. K tomuto účelu byla využita Houghova transformace, která aproximuje řez pomocí jedné nebo dvou přímek. Postup algoritmu zahrnuje převod obrázku do prostoru barev HSV, prahování, morfologickou operaci skeletonizaci, Houghovu transformaci pro nalezení čar a bodů představujících začátek a konec přímek, lineární regresi pro aproximaci bodů přímkou a zpracování a filtrace vzdálených bodů od přímky na základě zvoleného prahu. V případě, že byla použita metoda s dvěma přímkami, byla provedena aproximace jizvy pomocí lomené čáry. Na závěr byl vybrán výsledek, který nejlépe odpovídá kritériální funkci J . Tento první způsob zpracování umožňuje pouze nalezení hlavní přímky, která představuje řez.

Druhý způsob řešení zahrnuje nalezení lomené čáry aproximující jizvu a také nalezení přímek představujících stehy. Tento způsob využívá prahování a morfologické operace pro prvotní předzpracování a extrakci hrubších dat, poté hledání lokálních extrémů a statistickou analýzu pro získání detailnějších informací. Následně je využito teorie grafů pro získání lomené čáry procházející jizvou. Dále jsou opět použité statistické metody pro nalezení nejpravděpodobnějších míst průniku stehů s jizvou a nalezení přímek, které těmito body procházejí.

První způsob řešení byl ponechán pouze jako způsob hledání jizvy, jelikož byl paralelně nalezen druhý způsob, který produkoval průměrně lepší výsledky.

Druhý způsob byl testován na poskytnuté sadě fotografií a z heuristického hodnocení člověkem bylo usouzeno, že pro většinu fotografií poskytuje velmi dobré výsledky. I přes snahu najít univerzální nastavení parametrů a algoritmů však existují obrázky, kdy tento algoritmus selže a výsledky jsou použitelné jen částečně nebo vůbec, zejména pro fotografie velmi špatné kvality (rozlišení nebo nasvícení). Některé části v tomto algoritmu by bylo možné ještě rozšířit o více komplexní metody a algoritmy, nicméně pro účely této práce bylo usouzeno, že dosavadní výsledky jsou dostačující.