



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 byl 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 a 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

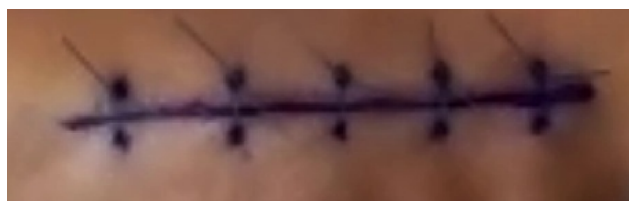
Po nalezení parametrů prahování, které poskytovaly použitelné výsledky alespoň u několika fotografií, bylo na řadě experimentování s morfologickými operacemi. Cílem bylo najít sekvenci morfologických operací takovou, která by z naprahovaného binárního obrázku odstranila chybně naprahované oblasti, vyhladila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

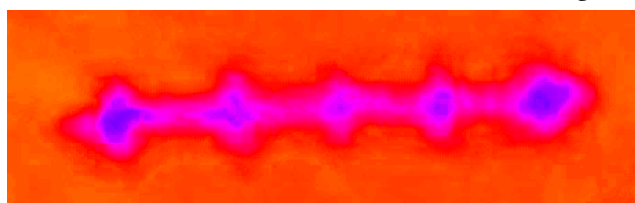
2.1.4 Využití HSV barevného prostoru

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.

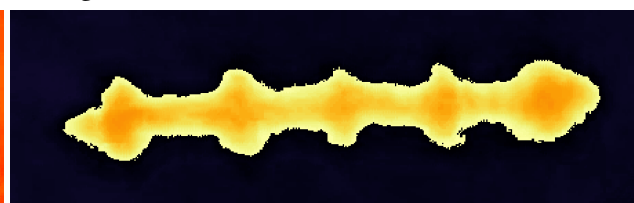
Obrázky byly tedy převedeny z RGB do HSV a jednotlivé kanály byly zobrazené vedle sebe. Jedna z fotografií byla vybrána a její HSV spektrum je zobrazené na Obrázku 1.



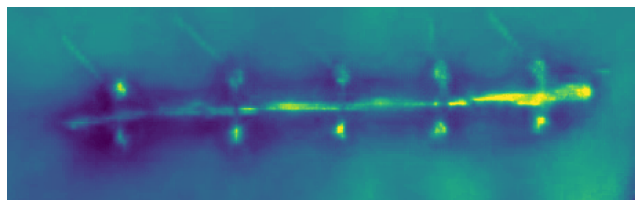
(a) Originální fotografie



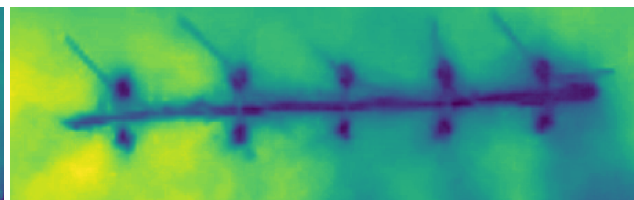
(b) Odstín (skutečná barva)



(c) Odstín (colormap „inferno“)



(d) Sytost



(e) Jas

Obrázek 1: Znázornění HSV spektra vybrané fotografie

Odstíny ve skutečné barvě jsou znázorněné na pod-druhém 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).

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.

První způsob zpracování sady obrázků, zobrazujících řezy a stehy provedené během chirurgického zákroku, umožňuje nalezení pouze hlavní přímký, 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.

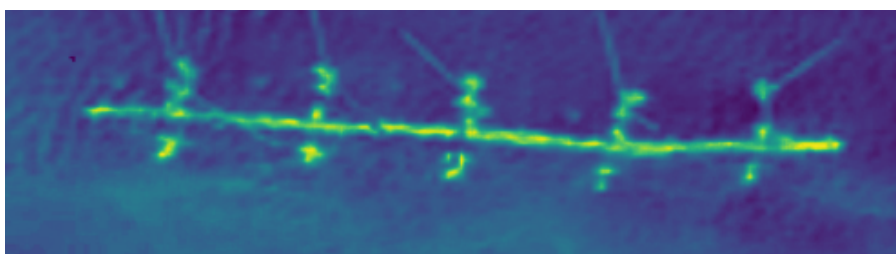
1. Převod obrázku z RGB do HSV
2. Prahování (pomocí Otsuovy metody)
3. Morfologická skeletonizace naprahovaného binárního obrázku
4. Houghova transformace \rightarrow čáry \rightarrow body (začátek a konec)
5. Lineární regrese (proložení bodů přímkou)
6. Zpracování a filtrace vzdálených bodů od přímky (prahování podle vzdálenosti)
7. Přepočítání přímky po odstranění vzdálených bodů
8. Výpočet lomené čáry \rightarrow 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

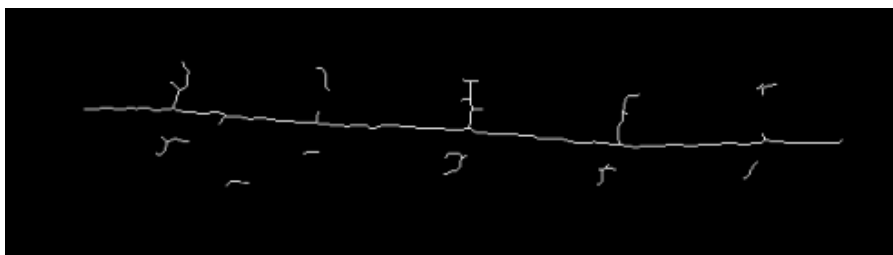
Po převodu do HSV obrázek projde prahováním, kde je práh zvolen automaticky pomocí Otsuovy metody. Výsledek prahování na jedné z fotografií je vidět na Obrázku 5.



Obrázek 5: Výsledek prahování jedné z fotografií

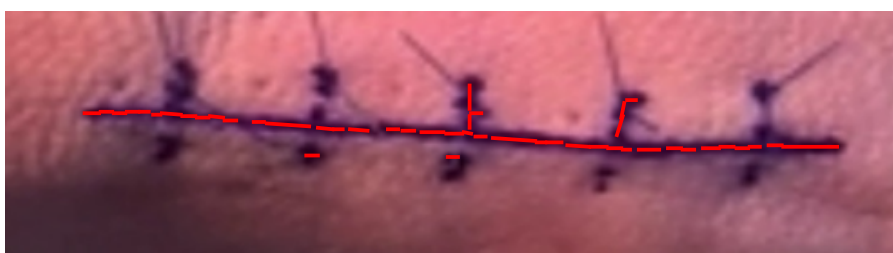
Výsledný naprahovaný binární obrázek je následně podroben morfologické skeletonizaci. Nabízí se zde možnost použít i jiné morfologické operace, ať už před nebo po skeletonizaci, jako je například eroze/otevření pro odstranění malých částí, nicméně to v tomto případě není potřeba. Výsledek skeletonizace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



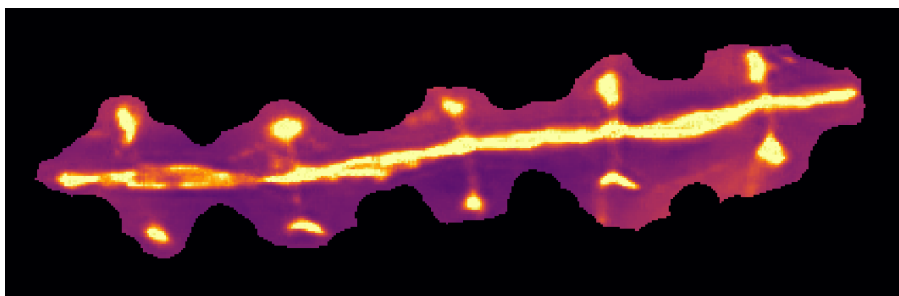
Obrázek 10: Vybraná fotografie (originál)

Dalším krokem je extrahování masky z prvního kanálu HSV (odstín). Díky vlastnostem tohoto kanálu (popsané výše) je velmi snadné obrázek naprahnout 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 (sytnost) a vzniká tak maskovaný obrázek, jeho ukázka je na Obrázku 11.



Obrázek 11: Výsledek maskování