



KKY/ZDO

Semestrální práce - report

Jiří Belinger
Ondřej Sládek

FAV/GEM
2023/24

1 Zadání

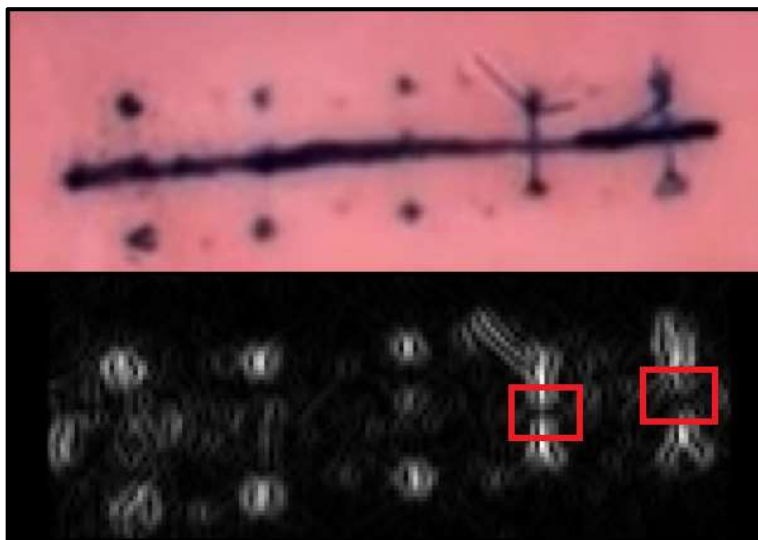
Určení a vizualizace počtu stehů na snímcích z nácviku lékařského šití, případně identifikace snímků, jež nelze zpracovat.

2 Původní návrh řešení

Původní plánované řešení bylo založeno na segmentaci vertikálních hran stehů (respektive horizontálních hran řezů) pomocí příslušných filtrů umožňujících hledání hran ve směru vybraných os (například Sobelův nebo Prewittův filtr), popřípadě s využitím frekvenční filtrace s odpovídající maskou. Postup byl prezentován v draftu semestrální práce.

Určení stehů (popřípadě i řezů) na snímcích tedy probíhalo na základě kombinace frekvenčních a hranových filtrů (vertikální filtry/masky pro stehy, horizontální filtry/masky pro řezy). Analogicky mělo být řešeno i případné určení nepoužitelných snímků (snímků s absencí řezu). Po filtraci bylo provedeno prahování obrazu s následnou skeletizací a detekcí objektů v obraze. Po detekci objektů byly vyselektovány objekty s dostatečnou délkou, přičemž délka byla určována na základě počtu pixelů objektu/skeletu a porovnávána s výškou, respektive šířkou obrazu pro stehy, respektive řezy. Objekt byl například považován za steh, pokud obsahoval větší počet pixelů, než byla polovina výšky obrazu. Objekty (stehy) odpovídající danému kritériu byly následně spočteny a jejich počet uložen do csv souboru. Navrhovaný postup identifikace nepoužitelných snímků pak byl podobný postupu při detekci stehů. Měly být určeny horizontální hrany (řezy), zjištěna jejich délka a dle ní mělo být rozhodnuto o výskytu/absenci řezu. Pokud by nebyl řez nalezen, měl být obraz považován za nepoužitelný, nicméně v rámci draftu nebyl tento přístup prakticky otestován.

Již při zpracovávání draftu semestrální práce bylo zjištěno, že hranová detekce má omezení v místech křížení stehů s řezy, kdy dochází k přerušení objektu při filtraci (podobný jas u řezu i stehů – absence hrany). Ukázka popsané situace je na obrázku 1. V původním návrhu řešení daného problému spočívalo v užití morfologických funkcí (dilatace, uzavření) nad binárním obrazem vystupujícím z prahování. Morfologické funkce však, zvláště při užití absolutní velikosti jader, obecně nezaručují korektní výsledky.



Obrázek 1: Chybné určení stehů v místě řezu

Konkrétní podoba vizualizace výsledků nebyla během návrhu řešení diskutována.

3 Výsledné řešení

V průběhu celého řešení byl zachován původní přístup v podobě užití hranové detekce a frekvenční filtrace, byla však upravována konkrétní podoba a pořadí filtrace a detekce. Dále bylo řešení doplněno o určení tenkých stehů a průsečíků stehů s řezem. V rámci výsledného řešení byla specifikována konkrétní podoba vizualizace výsledků a byla zhodnocena přesnost výsledků pro poskytnutá testovací data (porovnávána s anotacemi).

3.1 Postup řešení

Detekce je prováděna pro jeden či více snímků specifikovaných uživatelem (argument se seznamem názvů snímků), které musí být uloženy v příslušné složce adresáře se skriptem, ze které jsou následně dle jména iterativně načítány. Uživatel zároveň na základě argumentů specifikuje název výstupního csv souboru s výsledky detekce v textové podobě a také, zda si přeje provést vizualizaci výsledků detekce pro hodnocené snímky. Textové i obrazové výsledky jsou následně ukládány do nově vytvořené složky. Jednotlivé části řešení jsou popsány v následujících kapitolách.

3.1.1 Identifikace nepoužitelných snímků

Pro každý vstupní snímek bylo nejdříve nutné určit, zda jej lze využít k samotné detekci stehů (zda se v něm skutečně nachází obrazová informace o počtu stehů). Základním kritériem pro stanovení použitelnosti snímku byl zvolen výskyt dostatečně velké části řezu, jenž měl být zašíván, v oblasti snímku. Za účelem zjištění výskytu řezu bylo třeba provést jeho detekci.

Již při detekci řezu bylo využito hranové filtrace. Konkrétně byl využit Prewittův filtr detekující horizontální hrany, který byl vybrán na základě porovnání výsledků více testovaných filtrů (testován byl ještě Faridův, Sobelův a Scharrův filtr).

Dále byly provedeny jasové úpravy snímku. Byl zvýšen kontrast na základě minimální a maximální hodnoty jasu snímku (roztážení těchto hodnot mezi 0 a 1 pro normalizovaný jas). Při jasových úpravách je uživateli prostřednictvím odpovídající funkce (vytvořená funkce „rescaling“) dovoleno definovat poměrnou část spodních hodnot jasu, jež má být z obrazu zcela vyloučena (například pro vypuštění 25 % spodních hodnot jasu je zvolen koeficient 0,25). Doporučená základní hodnota koeficientu je 0.

Následně bylo přistoupeno k prahování snímku. V průběhu práce bylo otestováno více možností prahování, od pevného nastavení prahu, přes relativní prahování (z rozsahu hodnot jasů) až po automatické prahování s využitím Otsuovy metody. Žádná z popsaných metod však neposkytovala univerzálně korektní výsledky. Nakonec bylo přistoupeno k prahování s využitím statistických vlastností jednotlivých obrazů. Konkrétně byl práh nastaven na základě mediánu a standartní odchylky jasů. Zatímco u mediánu je vždy využita jeho přesná hodnota, v rámci prahovací funkce (vytvořená funkce „threshold“) je dovoleno nastavení koeficientu významu standartní odchylky. Principiálně tak lze nastavit počet hodnot σ u normálního rozdělení. Tento počet následně definuje okolí mediánu, v němž se ještě mohou při prahování nacházet hodnoty jasu, aby byly přijaty. Doporučená základní hodnota koeficientu je 1. Dále je třeba nastavit, zda se jedná o nastavení spodního či horního prahu hodnot (spodní = „l“, horní = „u“).

Jak funkce pro jasové úpravy, tak funkce pro prahování byly dále využívány i při samotné detekci stehů.

Po vytvoření binárního obrazu pomocí prahování nad byla nad tímto obrazem provedena morfologická operace uzavření s obdélníkovým jádrem s výškou jednoho pixelu a definovanou relativní šířkou (desetina celkové šířky aktuálního obrazu). Uzavření bylo využito pro spojení případně přerušené linie řezu, přičemž k přerušení mohlo dojít dvěma způsoby:

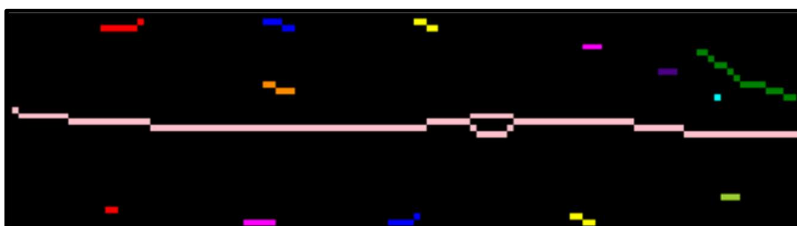
1. nenalezení hrany řezu v průsečíku se stehem,
2. proměnlivé hodnoty jasu řezu v obraze, viz obrázek 2.



Obrázek 2: Proměnlivý jas a tloušťka řezu v obraze

Je zřejmé, že v případě druhé příčiny přerušení by nebyla řešením ani detekce průsečíků, proto byla využita pouze při detekci stehů, nikoliv při detekci nepoužitelných snímků.

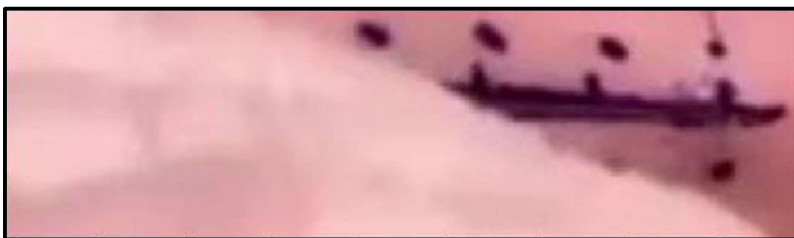
Po popsáních úpravách byl binární snímek oříznut na minimální rozsah obsahující všechny nenulové hodnoty (vytvořená funkce „focus“), skeletizován a byly v něm detekovány jednotlivé objekty, viz obrázek 3.



Obrázek 3: Detekce horizontálních hran

V dalším kroku bylo třeba zjistit délku nejvýznamnějšího objektu (předpokládaný řez/část řezu). Oproti původnímu návrhu bylo rozhodnuto o určování významu objektu nikoliv na základě celkové délky (počet pixelů linie), ovšem na základě délky ve směru dané osy (u řezu tedy horizontální délka – horizontální rozsah obálky objektu). Byl tedy vybrán objekt s největší délkou ve směru horizontální osy.

Na základě vybraného objektu poté bylo rozhodnuto o použitelnosti snímku. Jelikož ve vstupních datech byl předpokládán i výskyt snímků s částečně zakrytou oblastí řezu, viz například obrázek 4, byla minimální délka řezu pro rozhodnutí o použitelnosti obrazu nastavena na třetinu celkové šířky obrazu.



Obrázek 4: Částečně zakrytá oblast řezu v obraze

Kromě minimální délky řezu bylo oproti původnímu návrhu doplněno nové kritérium, a sice minimální rozsah jasů pro použitelnost obrazu k detekci. Minimální rozsah byl nastaven na 20 % celkového možného rozsahu šedotónového obrazu vytvořeného ze vstupního snímku. Při splnění obou kritérií je snímek považován za použitelný a je přistoupeno k detekci stehů, v opačném případě je počet stehů nastaven na hodnotu -1 značící neznámý počet stehů a k detekci nedochází.

3.1.2 Základní obrysy stehů

Jak již bylo naznačeno výše (kap. 3), detekce stehů se dělí na tři základní části, konkrétně:

- určení základních obrysů stehů,
- určení průsečíků stehů s řezem,
- určení tenkých stehů.

Nejvýznamnější vliv na přesnost detekce má právě určení základních obrysů stehů (viz kapitola 3.2). Toto určení probíhá formou kombinace frekvenční filtrace a hranové detekce. Nejdříve je provedena frekvenční filtrace vertikálních hran pomocí Fourierovy transformace s využitím vhodné masky. V průběhu práce bylo testováno větší množství masek a nejlepších výsledků bylo dosaženo s maskou znázorněnou na obrázku 5.



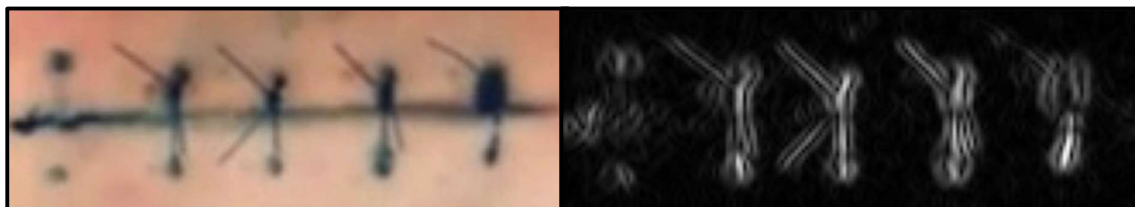
Obrázek 5: Maska pro vertikální frekvenční filtraci

Porovnání obrazu před a po provedení vertikální frekvenční filtrace je potom na obrázku 6.



Obrázek 6: Původní obraz (vlevo) a obraz po vertikální frekvenční filtraci (vpravo)

V návaznosti na frekvenční filtraci byla provedena detekce vertikálních hran opět s využitím Prewittova filtru (viz kap. 3.1.1) a následným určením velikosti gradientů (funkce „Gaussian_gradient_magnitude“). Ukázka výstupu určení obrysů stehů pro vybraný snímek je na obrázku 7.



Obrázek 7: Původní obraz (vlevo) a základní obrysy stehů v obraze (vpravo)

Z obrázku 7 je patrné vcelku dobré rozlišení jednotlivých stehů, ovšem u 2. a zejména u 1. stehu zprava je již poměrně patrné popisované přerušení v místě styku stehu s řezem, kde nedochází k náhlé změně jasu (řez má v obraze podobné hodnoty jasu jako steh). Zjištěný nedostatek v určení stehů bylo tedy třeba dále řešit.

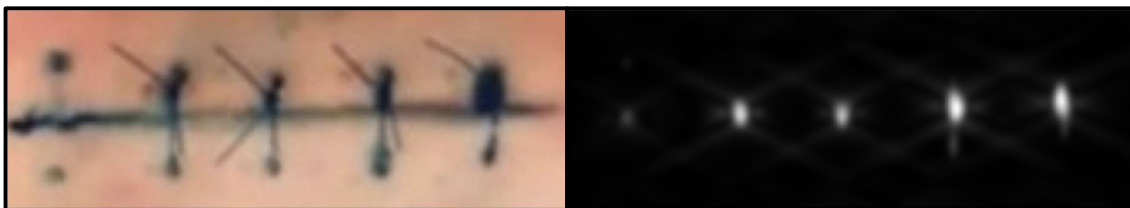
3.1.3 Průsečíky stehů s řezem

Řešení nedostatku popsaného v kapitole 3.1.2 spočívalo v určení průsečíků stehů vyskytujících se v obraze (přibližně vertikální linie) s řezem (přibližně horizontální linie). Tyto průsečíky nebylo možné nalézt pomocí detekce hran, jelikož se nevyskytují ve vertikálních ani horizontálních obrazech hran (nedochází zde ke změnám jasů).

Ovšem souvislé vertikální/horizontální linie bylo možné získat na základě potlačení druhého typu linií užitím konvoluce s vhodnou konvoluční maskou. Jako maska byl zvolen sloupec s hodnotami 1 pro potlačení horizontálních linií a řádek s hodnotami 1 pro potlačení vertikálních linií. Je zřejmé, že po provedení konvoluce byla délka zvýrazněných linií větší než délka skutečných linií v obraze, což ovšem nemělo na detekci průsečíků vliv. Nanejvýš mohl být určen průsečík v místě, kde se nenacházel steh, ovšem v takovém místě by steh při následném rozlišení objektů stejně detekován nebyl, jelikož by neměl dostatečnou délku.

Po provedení konvoluce byla dále užita frekvenční filtrace s odpovídajícími maskami. Maska pro vertikální filtraci byla shodná s maskou na obrázku 5 a maska pro horizontální filtraci byla oproti této masce pouze pootočená o 90° (střed rotace ve středu snímku). Při frekvenční filtraci byly definitivně odstraněny hrany potlačené konvolucí.

Hlavní částí detekce průsečíků bylo překrytí vytvořených horizontálních a vertikálních hran, přičemž základním předpokladem bylo, že v místech průsečíků budou překryté obrazy nabývat vyšších hodnot. Po překrytí byly provedeny jasové úpravy s vypuštěním nižších hodnot jasů (50 %) a byla provedena opětovná filtrace horizontálních linií. Zbytkové vertikální linie byly ponechány, jelikož z hlediska dalšího určení stehů byly výhodné. Ukázka průsečíků nalezených v původním obraze shodném s obrázkem 7 je k dispozici na obrázku 8.



Obrázek 8: Původní obraz (vlevo) a průsečíky stehů s řezem (vpravo)

3.1.4 Tenké stehy

Po zavedení opravy formou doplnění průsečíků bylo zjištěno, že velká část zbylých chyb v detekci spočívá v absenci tenkých a méně výrazných stehů. Typickým představitelem snímku obsahujícího popisované stehy je obrázek 9.



Obrázek 9: Snímek s tenkými/nevýraznými stehy (vlevo) a jejich rozlišení (vpravo)

Za účelem nápravy chyby byla doplněna třetí část detekce zaměřená na segmentaci daného typu stehů. Prvním krokem třetí části bylo prahování s vyšší tolerancí pro zahrnutí méně výrazných linií následované skeletizací. Až po skeletizaci byly konvolucí (maska pouze 2 ku 1 pro zachování délky linií) potlačeny horizontální hrany s následným provedením vertikální

filtrace a jasových úprav. Z obrázku 9 je však patrné, že výstupy popsané části je nutné kombinovat s výstupy určení průsečíků stehů s řezem.

3.1.5 Propojení částí a detekce stehů

Po vytvoření všech tří popisovaných základních částí bylo nutné propojit jejich výsledky. Pro omezení nepotřebného obsahu a možnost lepšího rozlišení při detekci bylo před propojením provedeno oříznutí okrajů výstupů všech tří částí, a to konkrétně ve formě:

- relativního omezení výšky (oříznutí horního a dolního okraje o padesátinu výšky),
- absolutního omezení šířky (oříznutí levého a pravého okraje na nenulový rozsah řezu).

V rámci propojení poté byly sečteny hodnoty všech tří základních částí, přičemž pro základní obrysy stehů byla uvažována dvojnásobná váha výstupu (největší význam). Nakonec došlo k jasové úpravě především za účelem normalizace hodnot a bylo provedeno prahování, po němž došlo k závěrečnému omezení rozsahu obrazu před vstupem do samotné detekce objektů.

Pro umožnění detekce byl obsah obrazu skeletizován a byly v něm odlišeny jednotlivé oddělené objekty. Určení stehů bylo závislé na vertikálním rozsahu jednotlivých objektů, podobně jako v kapitole 3.1.1. Jako stehy byly počítány takové objekty, jejichž vertikální rozsah byl větší než polovina výšky aktuálního (rozsahově omezeného) obrazu. Pokud byl odpovídající objekt nalezen, jeho ID bylo přiřazeno do seznamu pro případné budoucí vykreslení a byla zvýšena hodnota počtu stehů pro textový výstup.

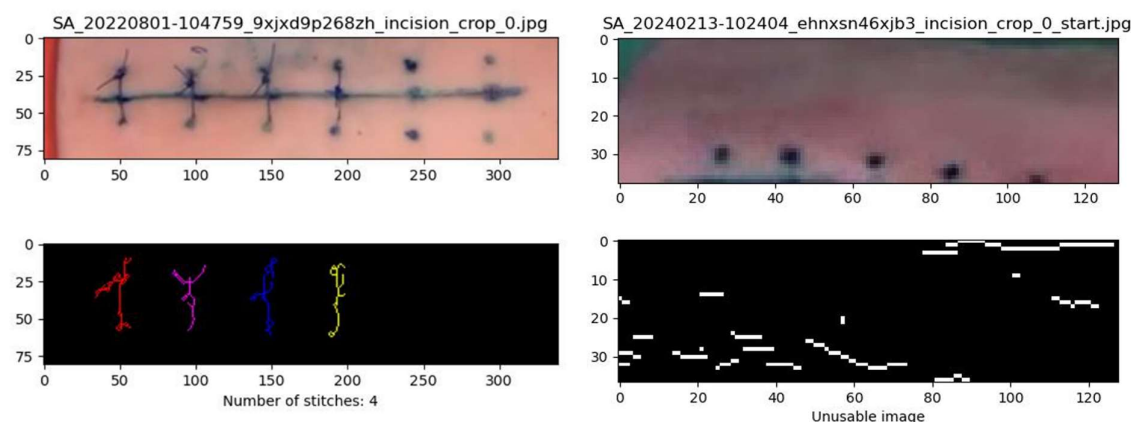
3.1.6 Vizualizace a textový výstup

V rámci vizualizace bylo třeba jednak vyčlenit a zobrazit objekty (stehy) vybrané při detekci a jednak obnovit původní velikost obrazu pro korektní porovnání se vstupním snímkem.

Objekty byly vyčleněny na základě ID zapsaného při detekci (kap. 3.1.5). Objektům se zaznamenaným ID byly ponechány původní hodnoty a u všech ostatních objektů byly hodnoty nastaveny na 0.

Pro obnovení původní velikosti obrazu musela být informace o průběžných úpravách velikosti přenášena formou proměnných, na základě proměnných mohla být stanovena pozice oříznutého obrazu (s výslednými objekty) v obraze původním. Výsledný obraz pak byl umístěn na tuto pozici, přičemž celé okolí výsledného obrazu má nulové hodnoty.

Obraz s vizualizovaným porovnáním původního snímku a výsledků detekce je pak pod názvem původního snímku uložen do složky s výsledky detekce. U nepoužitelných snímků je vizualizováno pouze porovnání původního snímku s obrazovým výsledkem detekce řezu. Ukázka vizualizace pro použitelný i nepoužitelný snímek je na obrázku 10.



Obrázek 10: Vizualizace detekce u použitelného snímku (vlevo) a nepoužitelného snímku (vpravo)

Tvorba textového výstupu probíhala dle zadaných argumentů, kdy bylo v argumentech přebíráno jméno výstupního csv souboru a názvy snímků. Názvy sloupců byly nastaveny jako konstanty s hodnotami dle zadání, jednotlivé řádky pak tvoří jména snímků doplněná dle čísla iterace a jim odpovídající počty stehů doplněné z výsledků detekce v dané iteraci. Textový výstup ve formě csv souboru je ukládán do složky s výsledky, stejně jako výstupy vizualizace.

3.2 Přesnost řešení

Přesnost byla hodnocena pro všechna dostupná testovací data (134 snímků). Z xml souboru vytvořeného v rámci anotací byla získána jména snímků s odpovídajícím počtem stehů pro porovnání. V průběhu kontroly chyb ve skriptu pro detekci však bylo zjištěno, že poměrně významná část anotací (konkrétně anotace pro 17 snímků) byla, alespoň dle uvážení autorů, zpracována chybně. Chybné anotace včetně předpokládaných správných počtů stehů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Chybně anotované snímky

Název snímku	Anotovaný počet stehů	Počet stehů dle autorů
SA_20220620-105545_tlmnker9sjlm_incision_crop_0_start.jpg	5	4
SA_20220620-110036_vp424rn48961_incision_crop_0.jpg	4	5
SA_20220707-185800_qz8chub67fgk_incision_crop_0.jpg	3	4
SA_20220801-104954_v54bjqlnnzat_incision_crop_0.jpg	4	5
SA_20220801-105601_x4cdxbxc41x5_incision_crop_0.jpg	3	5
SA_20220801-105601_x4cdxbxc41x5_incision_crop_0_start.jpg	2	4
SA_20230221-171945_q16boyyjsd92_incision_crop_0.jpg	2	4
SA_20230221-171945_q16boyyjsd92_incision_crop_0_start.jpg	1	3
SA_20230221-195759_f7pcqna517us_incision_crop_0.jpg	5	6
SA_20230221-195759_f7pcqna517us_incision_crop_0_start.jpg	-1	0
SA_20231010-205057_tztw2ntri8vk_incision_crop_0.jpg	3	4
SA_20231011-104231_e3sdqld32ut6_incision_crop_0_start.jpg	-1	2
SA_20240206-111518_9nbp4bns408e_incision_crop_0.jpg	2	5
SA_20240215-113735_s7d6x829ttl3_incision_crop_0.jpg	1	2
SA_20240220-180032_xb3bbhzbyebe_incision_crop_0_start.jpg	1	2
SA_20240223-234821_5mnv5n0fxzi8_incision_crop_0.jpg	-1	1-2
SA_20240223-234821_5mnv5n0fxzi8_incision_crop_0_start.jpg	-1	1-2

Hodnocení přesnosti pak bylo rozděleno na tři části:

- přesnost vůči původní anotaci,
- přesnost po vyloučení chybných anotací,
- přesnost po opravě chybných anotací dle autorů.

Konkrétní hodnocení přesnosti je v tabulce 2.

Tabulka 2: Přesnost skriptu pro detekci počtu stehů

Určení stehů	Původní anotace		Vyloučení chyb		Oprava dle autorů	
	Počet snímků	Poměr	Počet snímků	Poměr	Počet snímků	Poměr
Správné	84	62,7 %	83	70,9 %	91	67,9 %
Chybné	50	37,3 %	34	29,1 %	43	32,1 %

Dále byl hodnocen vliv každé ze tří základních částí detekce (kap. 3.1.2–3.1.4). Byla tedy sledována změna přesnosti při vynechání jednotlivých částí v jejich výsledném propojení před samotnou detekcí (kap. 3.1.5). Změny byly hodnoceny pro třetí soubor dat z tabulky 2, tedy pro anotace opravené dle autorů. Třetí soubor byl vybrán z důvodu již tak nízkého počtu testovacích dat, který nebylo žádoucí dále redukovat kompletním vyloučením 17 chybných anotací (téměř 13 % dat).

Při vypuštění vlivu části určující průsečíky stehů s řezem (kap. 3.1.3) byl zjištěn pokles celkové přesnosti detekce na 58,3 %, tedy o téměř 10 % oproti původním výsledkům. Při vypuštění vlivu části doplňující informace o tenkých stezích (kap. 3.1.4) byl zaznamenán pokles o 3 % na 64,9 %, který byl částečně způsoben nutnou kombinací s průsečíky stehů zmíněnou v kapitole 3.1.4, ovšem i při pominutí tohoto vlivu byla zjištěna poměrně nízká účinnost třetí části. Při vypuštění vlivu části určující základní obrysy stehů pak přesnost klesla o více než 25 %, což odpovídalo očekávání ohledně významu této části.

Kontrolou přesnosti lze potvrdit, že obě doplňující části (určení průsečíků stehů/určení tenkých stehů) mají pozitivní vliv na celkovou přesnost detekce stehů, přičemž první zmiňovaná část je přibližně třikrát významnější než část druhá, která stále neřeší velkou část případů, ve kterých nejsou detekovány tenké či méně výrazné stehy. Zjištěným přesnostem odpovídá i výsledná kontrola chybných výsledků, při které byly zjištěny 4 nejvýznamnější příčiny chyb:

- absence záznamu příliš tenkých či nevýrazných stehů,
- chybný záznam pro snímky s nízkým rozdílem jasu mezi stehy a pozadím (zpravidla přesvícené, nebo naopak velmi tmavé snímky),
- chybné započtení neexistujících stehů v místech s vyšší hustotou zákresů (zpravidla více než dva zakreslené body/tečky značící plánované umístění stehu, popřípadě i zákres krátkých čar),
- neočekávaný obsah snímku (2 řezy na snímku, jiný typ stehu, překrytí pinzetou/látkou).

4 Závěr

V rámci práce byl vytvořen skript pro detekci počtu stehů ve snímcích z nácviku lékařského šití. Skript se principiálně zakládá na hranové detekci a frekvenční filtraci ve směru vybraných os a následné identifikaci odlišených objektů na základě jejich geometrických vlastností.

Při hodnocení přesnosti skriptu pro 134 testovacích snímků (testovací data) byly zjištěny chyby v anotacích dat (kap. 3.2), nicméně i bez opravy těchto chyb dosahuje přesnost detekce více než 60 %. Při opravě chyb poté bylo dosaženo přesnosti 68,9 % a při celkovém vynechání chybných anotací došlo ke zvýšení přesnosti až na 70,9 %.

Potenciální nedostatky skriptu pro detekci stehů spočívají v chybách popsanych v kapitole 3.2 a v možném „overfittingu“ na testovací data způsobeném úpravami parametrů na základě empirických zjištění.