



Zpracování digitalizovaného obrazu

KKY / ZDO

Pig leg surgery

semestrální práce

skupina 3: Petr Narovec, Eva Podzimková

skupina 4: Kristýna Císlerová, Josef Huml

Datum zpracování: 27. 5. 2022

Obsah

Návrh zpracování (skupina 3)	3
Návrh zpracování (skupina 4)	5
Zpracování (skupina 3 a 4).....	6
Závěr.....	14

Návrh zpracování (skupina 3)

Cílem semestrální práce je navrhnout a naprogramovat aplikaci, která bude řešit detekci chirurgických nástrojů. Naším cílem bude vyřešit detekci pro nástroj needle holder.

vstup: cesta k videu

výstup: soubor ve formátu json [název videa, id_snímku, id_objektu, x_pozice (x pozice obarvených hrotů v pixelech), y_pozice (y pozice obarvených hrotů v pixelech), čas anotace]

Návrh algoritmu:

Nejprve bude video rozděleno na jednotlivé snímky. Následně bude provedena segmentace (předpokládáme prahování) podle barvy. Bude využito cv2 (openCV). Bude nutné navolit několik variant červené barvy (tedy barva hrotu needle holderu), jelikož se barva mění s natočením nástroje či změně jasu (viz obr. 1).



Obrázek 1: Příklady barev hrotů nástroje needle holder

S využitím Object description (popisů objektu) budou rozlišeny jednotlivé nástroje. S největší pravděpodobností budou využity popisy hranice, jednoduché skalární popisy (např. podlouhlost a výstřednost). Jelikož needle holder může být i otevřen, bude využita i nekompaktnost, z čehož by mělo být patrné, zda je nástroj otevřen či uzavřen. Pokud bude nástroj otevřen, bude využit konvexní obal (je možné, že v průběhu implementace bude zjištěno, že bude výhodné, vzhledem k různým natočením nástroje, vytvořit konvexní obal i pro případ uzavřeného nástroje. Díky tomu získáme červenou oblast needle holderu, tedy hrot chirurgického nástroje. Jelikož je cílem celé úlohy získat souřadnice, je nutné reprezentovat hrot nástroje jedním bodem. K tomu bude využit centrální moment a následně střední hodnota červeného hrotu nástroje (případně konvexního obalu červené části). Pokud by bylo nutné posunout reprezentaci hrotu blíže ke středu, možnou variantou by mohlo být využití směru u podlouhlé oblasti červeného hrotu nástroje.

Při řešení určení polohy needle holderu, můžou nastat situace, kdy needle holder nebude navrženým algoritmem detekován. Taková situace může nastat nejspíše ve 3 případech. První případ je, pokud se stane, že needle holder je zcela mimo snímek. Druhý případ se stane, pokud se s needle holderem velice rychle manipuluje a tím pádem je na snímcích značně rozmazaný. Třetím případem je situace, kdy se nástroj na chvíli ztratí v obraze z důvodu zakrytí jiným předmětem.

První případ by šlo vyřešit pomocí znalosti polohy needle holderu na předešlých a následujících snímcích. Pokud se pohyboval v blízkosti okraje snímku a následně nebyl na několika po sobě jdoucích snímcích detekován a až po několika snímcích byl opět detekován nedaleko okraje, či

už nebyl detekován vůbec, tak lze říci, že se needle holder nacházel skutečně mimo snímek, a tudíž neměl být nalezen spuštěným algoritmem. Negativní detekce je tedy v tomto případě správná.

V případě druhém, lze využít znalost polohy needle holderu v předešlých a následujících snímcích. Pokud se nástroj nepohyboval v blízkosti okraje a zmizel pouze na jeden či pár snímků a poté se opět objevil mimo okraj, tak došlo k rozmazání, a tudíž chybě v detekci. Jeho polohu lze určit přibližně, a to jako střed mezi předešlou a následující známou polohou (pokud došlo k výpadku v rámci více snímků, bude vzdálenost mezi známými polohami vydělena počtem snímků bez detekce a bude vložen stejný počet bodů jako snímků bez detekce).

U třetího případu je složitější rozhodování o možném řešení. Otázkou totiž zůstává, zda zakrytý nástroj chceme stále detekovat (využít tedy opět okolních snímků a tvořit středy vzdáleností bodů určených úspěšnou detekcí) anebo nastavit, že v danou chvíli nástroj opravdu není vidět, a proto je na daných snímcích detekce přerušena (tedy detekce proběhla v pořádku, hrot nástroje na snímku není). Jelikož cílem úlohy je najít pozice obarvených hrotů nástrojů, budeme předpokládat, že pokud je hrot zakryt jiným předmětem, na snímku se vlastně nevyskytuje a detekce bude přerušena.

Pro kontrolu funkčnosti vytvořeného algoritmu budou využity připravené anotace v programu CVAT.

Návrh zpracování (skupina 4)

- vstup: jednotlivé snímky barevného videa
- výstup: souřadnice sledovaného bodu needle holderu na každém snímku ve formátu JSON

Každý snímek videa zobrazíme pouze v červeném kanálu, čímž sledujeme zvýraznění špičky needle holderu. Snímek bude moci být díky tomu nasegmentován prahem dle odstínů červené, který empiricky odvodíme a následně také olabelován. Tímto krokem bychom měli vyloučit pozadí, které obsahuje objekty jiné barvy, než je špička needle holderu.

Pokud by byl nástroj na snímku rozmazán, prahování čistě podle červené barvy by pravděpodobně nefungovalo dobře. Způsob, jak tento problém vyřešit, je pomocí interpolace za využití známe polohy nástroje na snímcích před a po a počtem snímků, na kterých nebyl nástroj detekován. Předpokládáme, že se s nástrojem nebude po celé video „zbytečně zuřivě máchat“, a proto většina snímků bude pro tuto metodu vyhovující. Stejně by se postupovalo, když bude nástroj na snímku zakryt.

Z takto nasegmentovaných objektů je nutné odlišit needle holder a nůžky (případně další objekty), které by mohly v rámci zatím provedených kroků vypadat podobně. Toho docílíme detekcí hran a otestováním objektů jednotlivými popisy (nekompaktnost, konvexní obal, podlouhlost, výstřednost). Tyto popisy byly zvoleny z toho důvodu, že se needle holder na videu pohybuje, naklápí, otevírá a jinak mění svoji polohu a orientaci. Needle holder se také vzhledem ke kameře přibližuje a oddaluje, což některé další popisy limituje (např. použití velikosti). Pro daný objekt, který bude splňovat popisy pro to, aby mohl být považován za needle holder, následně určíme jeho centroid a jeho souřadnice.

V případě detekování i ostatních nástrojů bychom vytvořili popisy i pro tyto nástroje. Po detekci hran, předpokládáme, že nástroje jsou obarveny stejnou barvou, by došlo k porovnání objektů se všemi uloženými popisy. Pokud by nastala shoda, výsledek bychom uložili do vhodné struktury (např. pole). Pro výsledky by se spočítal centroid a jeho souřadnice a ty bychom uložili do anotace.

Při zpracování bude využita knihovna openCV (cv2).

Zpracování (skupina 3 a 4)

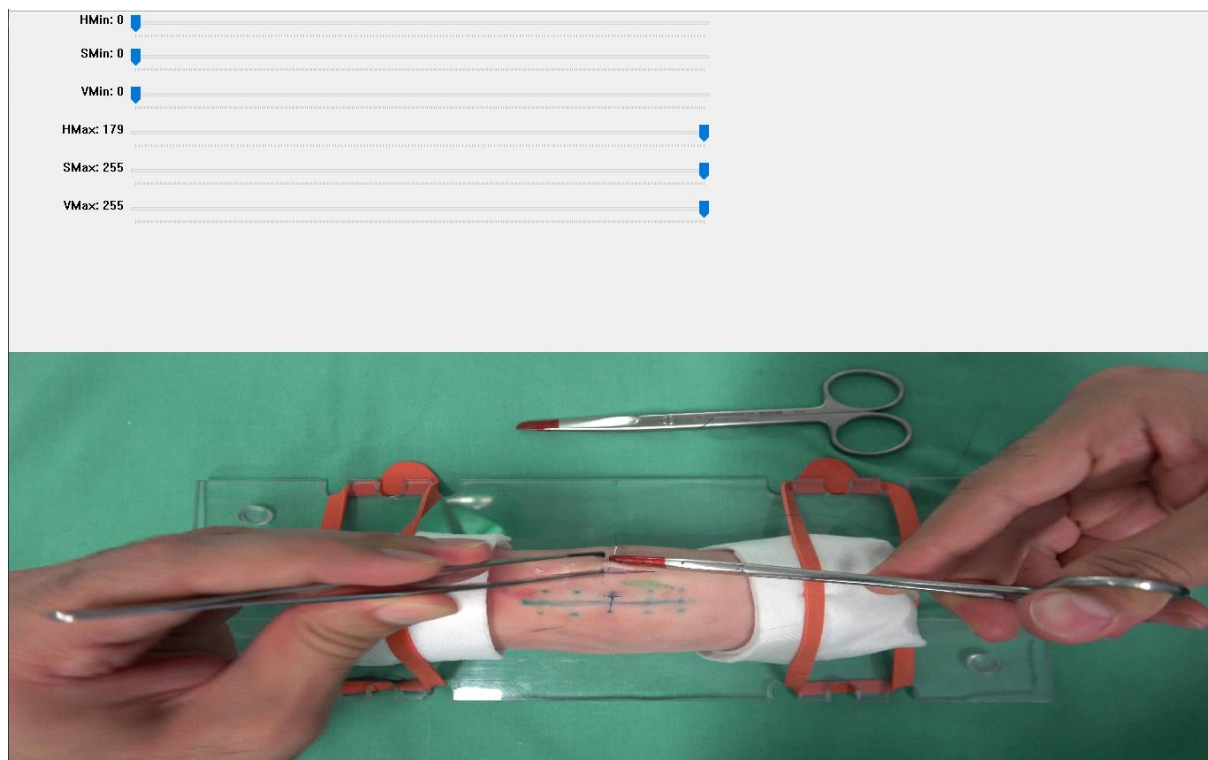
Předkládaná semestrální práce řeší pouze detekování *needle holderu* na videích. Detekování ostatních chirurgických nástrojů není v kódu implementováno.

Celý kód je vnořený ve třídě *InstrumentTracker* ve funkci *predict*. Na začátku je definováno pole anotací, které je algoritmem postupně plněno daty.

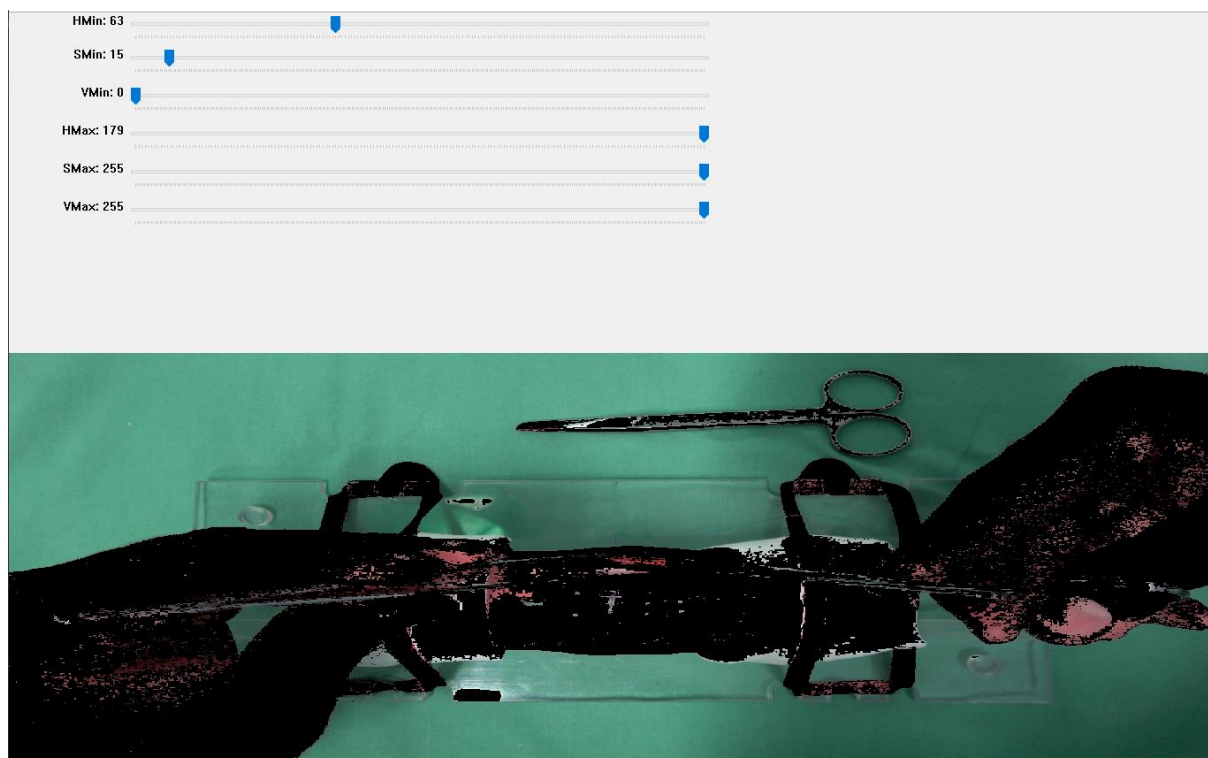
Poté je do algoritmu načteno video a vytvořeno počítadlo, které počítá jednotlivé snímky. Ty jsou procházeny postupně za sebou. Dojde-li počítadlo do konce videa, tedy když počet snímků v počítadle se rovná počtu snímků videa, je cyklus ukončen.

Protože je v předkládané semestrální práci řešeno jen detekování *needle holderu*, je parametrem ID objektu nastaven defaultně na hodnotu 0. Tento parametr vstupuje do předdefinovaného pole anotací.

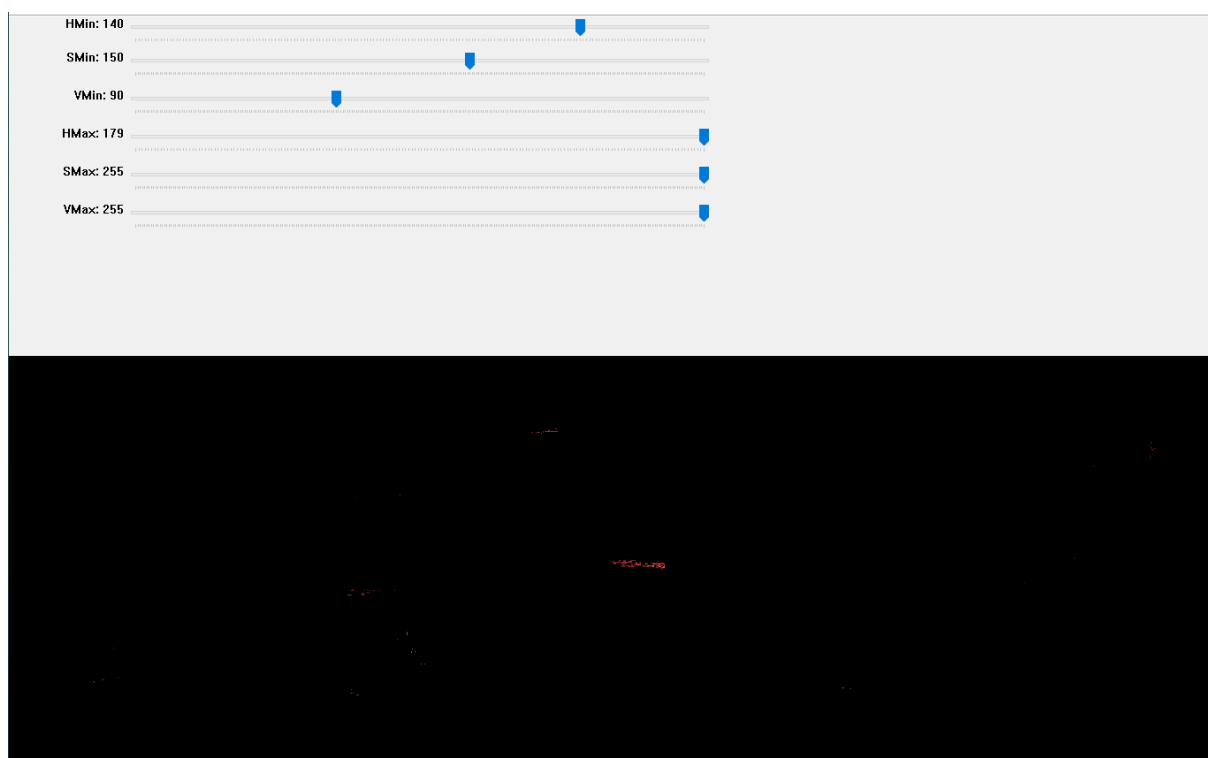
V návrhu zpracování bylo navrženo, že segmentace *needle holderu* se bude provádět v první řadě na základě červené barvy, a tak byl tento postup implementován do algoritmu. Barevné schéma snímků bylo nejprve změněno z RGB na HSV. Pro přesné určení červené barvy byl následně vytvořen kód, který umožňuje na zvoleném snímku nastavit viditelnost všech barevných kanálů. Rozsah červené barvy byl zvolen na základě barvy hrotu *needle holderu* na několika odlišných snímcích: od [140,150,90] do [180,255,255]. Na obr. 2 lze vidět původní snímek, na obr. 3 snímek s náhodou úpravou rozsahu barev a na obr. 4 snímek s požadovaným rozsahem barev pro segmentaci. Výsledný snímek je pak vrácen v binární formě.



Obrázek 2: Aplikace pro vizualizaci barevného rozsahu snímku - původní snímek



Obrázek 3: Aplikace pro vizualizaci barevného rozsahu snímku – náhodná úprava rozsahu barev snímku



Obrázek 4: Aplikace pro vizualizaci barevného rozsahu snímku – požadovaným rozsahem barev pro segmentaci

Dále je potřeba učinit krok v odlišení *needle holderu* od ostatních červených objektů na snímcích. Zejména je složité odlišit *needle holder* od *nůžek*, které se na některých videích také

vyskytují. K tomuto kroku bylo využito několik metod, které využívaly výstup segmentace dle červené barvy.

První metodou bylo využít jednoduché popisy:

- obsah – obsah plochy ohraničující konturou,
- obsah1 – obsah plochy ohraničující konvexním obalem,
- pevnost kontury („solidity”) – poměr obsahu plochy popsané konturou ku ploše popsané konvexním obalem,
- nekompaktnost – poměr druhé mocniny délky kontury (obvod plochy popsané konturou) ku obsahu plochy popsané konturou.

Pro určení prahových hodnot těchto popisů byly nejprve vypsány hodnoty pro testovací snímky. Prahové hodnoty pak byly zvoleny takto:

- obsah konturové plochy je větší než 1 000 px,
- pevnost kontury je větší jak 0,6,
- obsah (obsah1) plochy vytvořené konvexním obalem je větší jak 20 000 px a zároveň menší jak 50 000 px,
- nekompaktnost je menší jak 40.

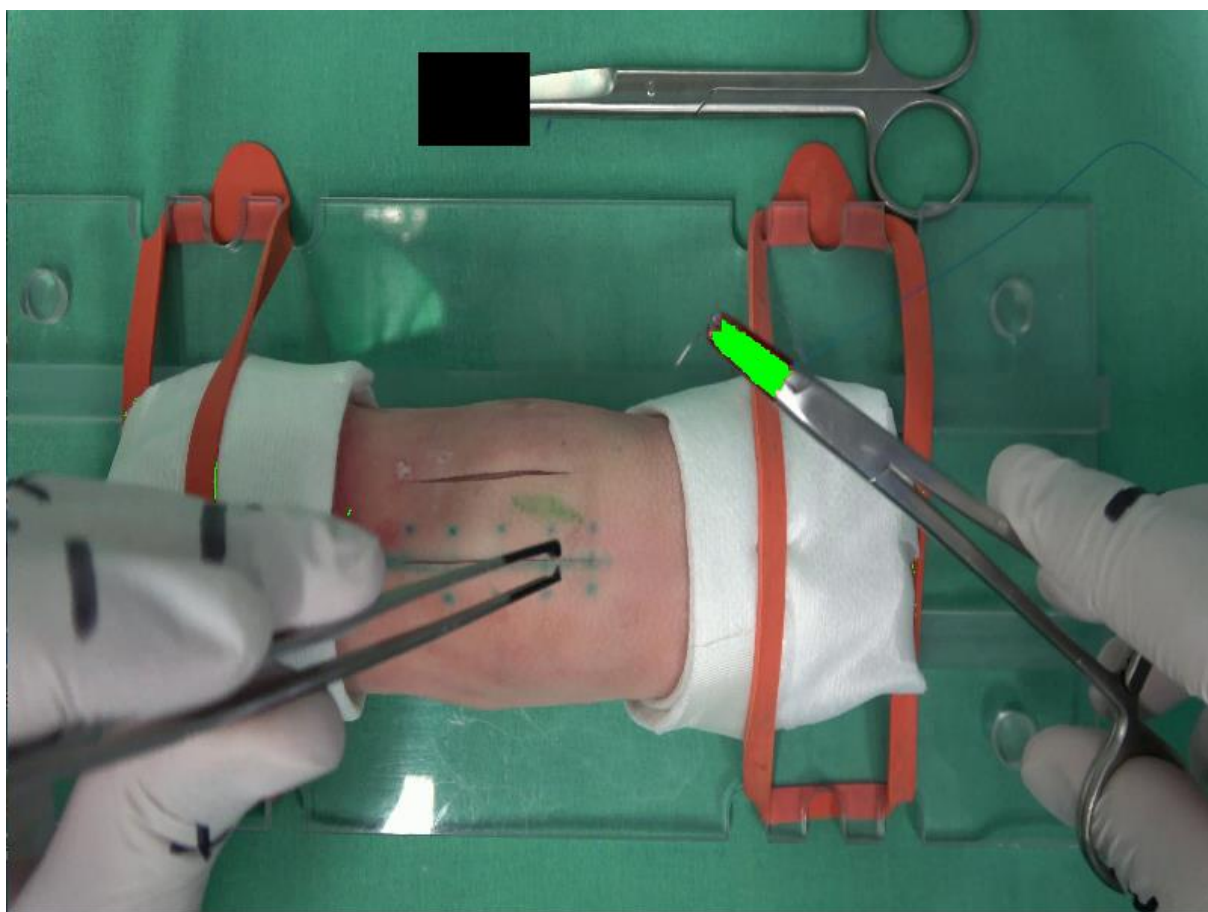
Při určování absolutních prahových hodnot jednoduchých popisů záleží na rozlišení vstupního videa, resp. vstupních snímků, a velikosti zaměřované scény. Protože vstupní videa nejsou v jednotném vstupním nastavení (snímání z různé vzdálenosti), mají jednotlivé objekty jiné vlastnosti. Nelze tedy použít statické prahové hodnoty na základě testovacích snímků.

Druhou metodou bylo aplikovat analýzu pohybu s využitím určení statického pozadí. K tomu byly využity algoritmy *MOG* nebo *GMG*. Výsledné snímky těchto funkcí však zachycovaly i statické objekty, jejichž jas se v průběhu videa měnil. Opačný problém nastal, pokud se *needle holder* v sekvenci snímků skoro nepohyboval – ani jedna ze zvolených funkcí ho nedokázala detekovat a považovala ho za statický objekt. Ke správné detekci nepomohlo ani upravování hodnot vstupních parametrů (počet framů a threshold). Výsledky byly tedy horší než při použití pouze samotné segmentace dle červené barvy.

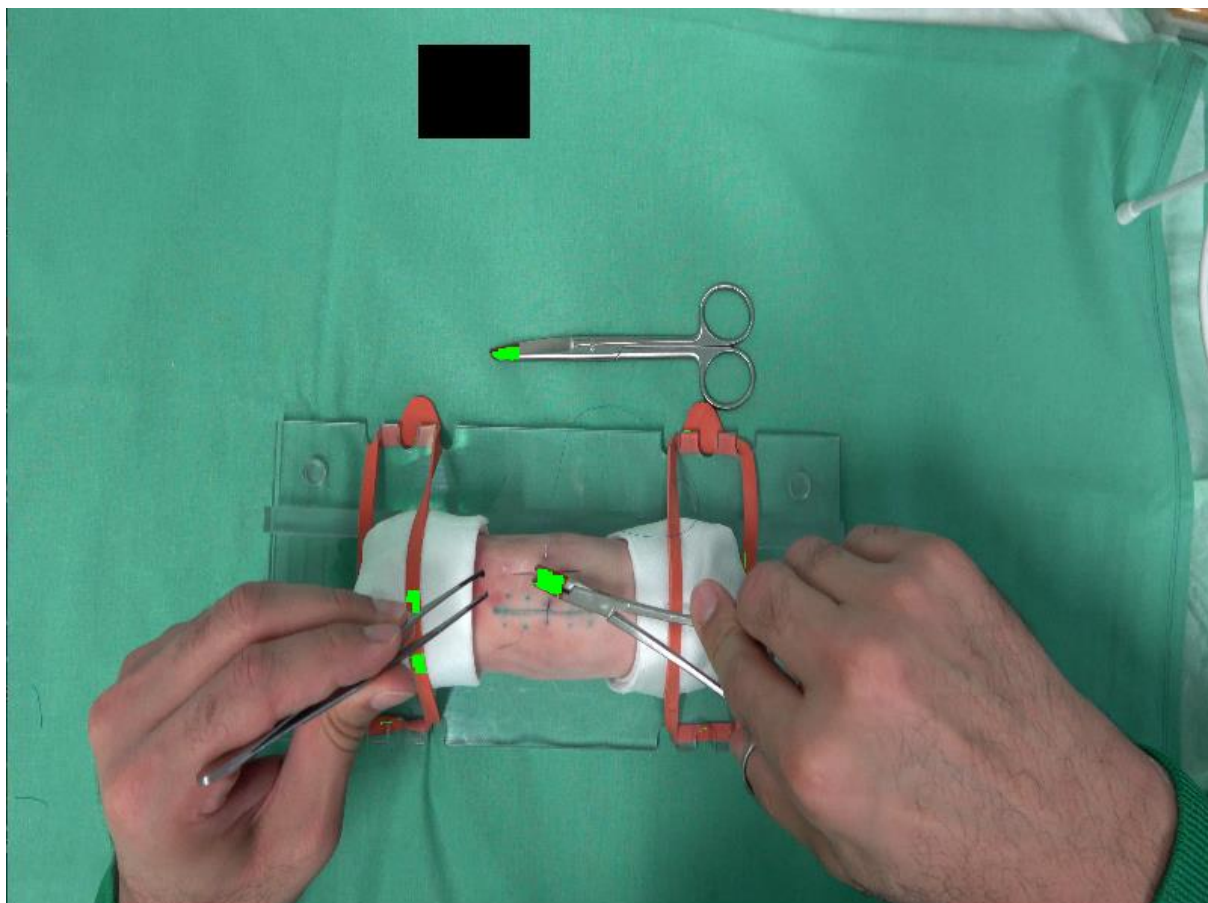
Ani jedna z výše zmíněných metod se tedy nejevila jako možnost, která by poskytovala vyhovující výsledky. Aby bylo zamezeno detekování *nůžek* místo *needle holderu*, byla zvolena třetí metoda s použitím „hrubé síly”. Do původního snímku byl umístěn černý obdélník, který dostatečně překrývá špičku *nůžek* a tím zabraňuje jejímu detekování. Velikost a poloha obdélníku byla určena na základě heuristického pozorování. Dostupná videa však nemají jednotné vstupní podmínky. Vytvořený obdélník se tak může nacházet v jiné pozici (nepřekrývá *nůžky*) a je tedy možné, že místo *needle holderu* budou vybrány *nůžky*. V případech, kdy *nůžky* mají jinou barvu, tato metoda ale funguje správně. Na většině videí, které byly pro vypracování semestrální práce zpřístupněny, leží černý obdélník ve správné pozici. Obdélník umístěný na hrotu *nůžek* se nachází na obr. 5, špatně umístěný obdélník na obr. 6.

Snímky, na které byly aplikovány výše zmíněné postupy, jsou předkládány k dalšímu zpracování.

Následně byl definován strukturní element o velikost 50x50 px, který je využíván v morfologické operaci uzavření. Některé pixely nemusely být totiž pomocí barevné segmentace vybrány, i když patří dle oka k červené oblasti. Proto je vhodné provést morfologickou operaci uzavření, která sjednotí jednotlivé vybrané části. Dojde tedy k zaplnění děr uvnitř vysegmentovaných objektů, které by mohly způsobovat problémy při další zpracování. Následně jsou k těmto objektům vytvořeny kontury. Vnitřní oblasti kontur, resp. detekovaných objektů jsou zeleně vykresleny na obr. 5 (kamera blíže ke snímanému povrchu) a na obr. 6 (kamera dál od snímaného povrchu).



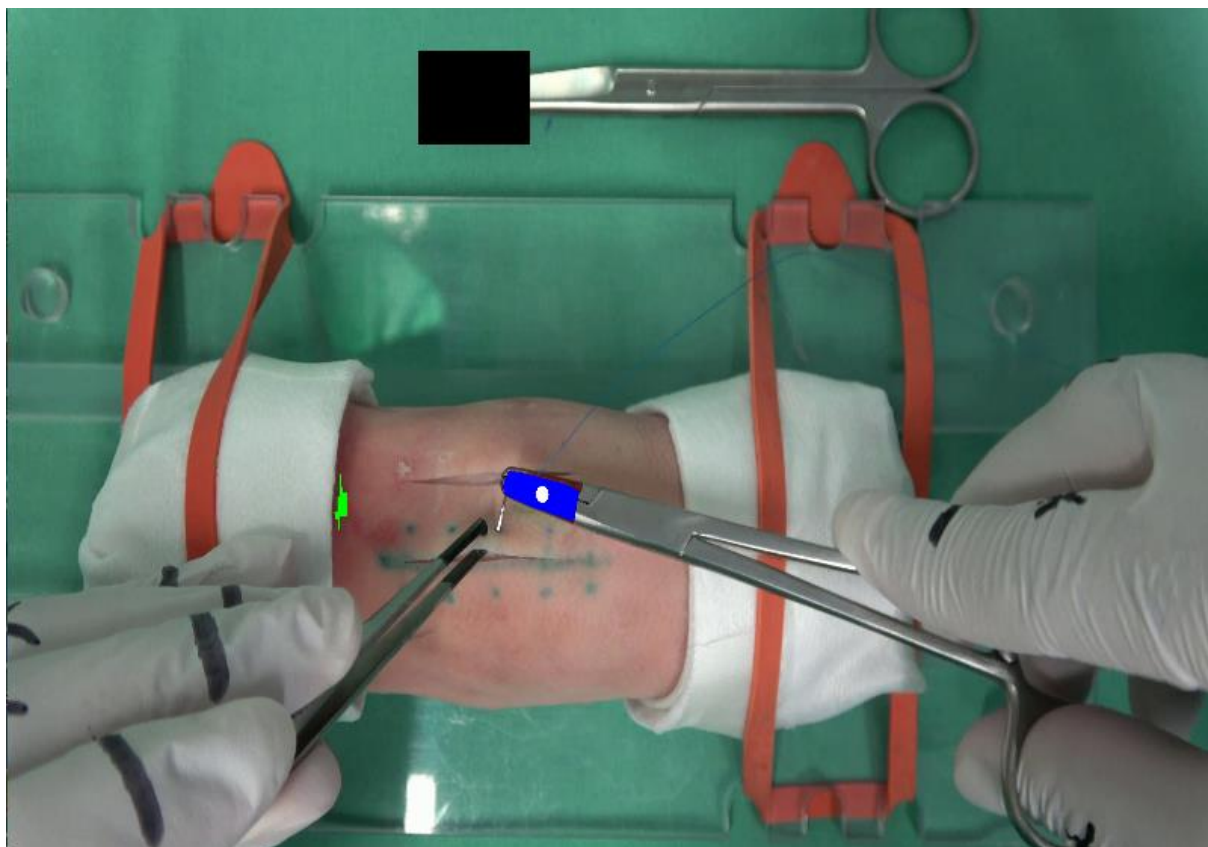
*Obrázek 5: Snímek s černým obdélníkem přes hrot nůžek a zeleně označenými plochami kontur
(kamera blíže ke snímanému povrchu)*



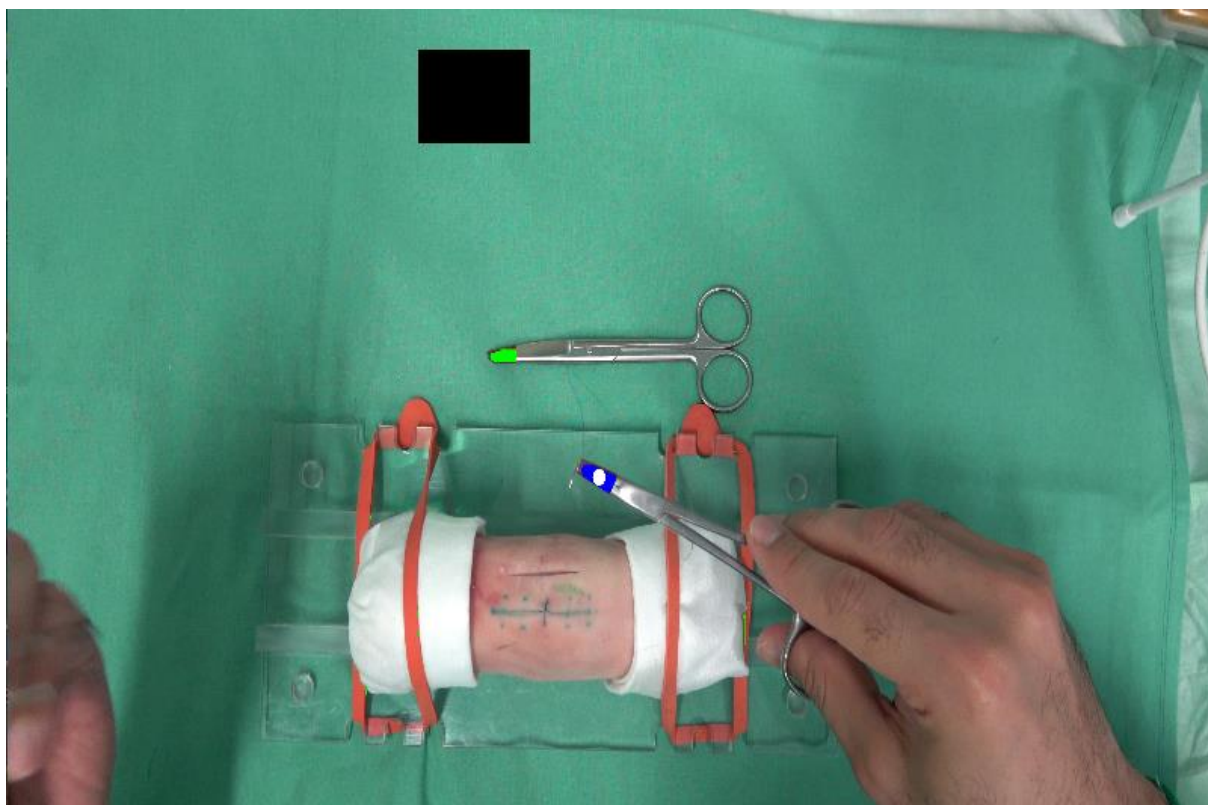
Obrázek 6: Snímek se špatně umístěným černým obdélníkem a zeleně označenými plochami kontur
(kamera dál od snímanému povrchu)

Aby se docílilo toho, že bude vybrána pouze kontura *needle holderu* a ostatní detekované objekty v předchozích krocích, byl použit jednoduchý popis (obsah popsany v první metodě výše). Pro každou konturu je ověřeno, že obsah její konturové plochy je větší než 750 a zároveň je největší ze všech kontur. Toto nastavení eliminuje vybrání malých detekovaných objektů (například dopad stínu na gumových páskách). Problém však nastává v případě, kdy je detekován ještě větší objekt, než je hrot *needle holderu*. Kdyby byly shodné vstupní podmínky (přibližně stejná vzdálenost kamery od povrchu, ruce v bílých rukavicích atd.), šlo by tento problém vyřešit jednoduchými popisy. Absolutní hodnoty vlastností by byly univerzální pro všechna videa, resp. snímky a byly by tak eliminovány chybně detekované objekty. V případě dostupných videí však vstupní podmínky nejsou jednotné a zvolené absolutní hodnoty jednoduchých popisů by odpovídaly pouze konkrétnímu videu.

Pro vybranou konturu je vytvořen konvexní obal, pro který je určen centroid. Pro jeho definování je použit centrální moment spočtený z konvexního obalu. Konvexní obal i centroid, získaný pomocí centrálního momentu, jsou ve vizualizaci barevně odlišeny od ploch kontur. Modře vybarvený konvexní obal s bíle označeným centroidem jsou vykresleny na obr. 7 a 8. Obr. 8 navíc zachycuje zeleně označenou plochu kontur nůžek, která nebyly správně detekovány.



Obrázek 7: Konvexní obal (označen modře) a centroid needle holderu (označen bílým puntíkem)
(kamera blíže ke snímanému povrchu)



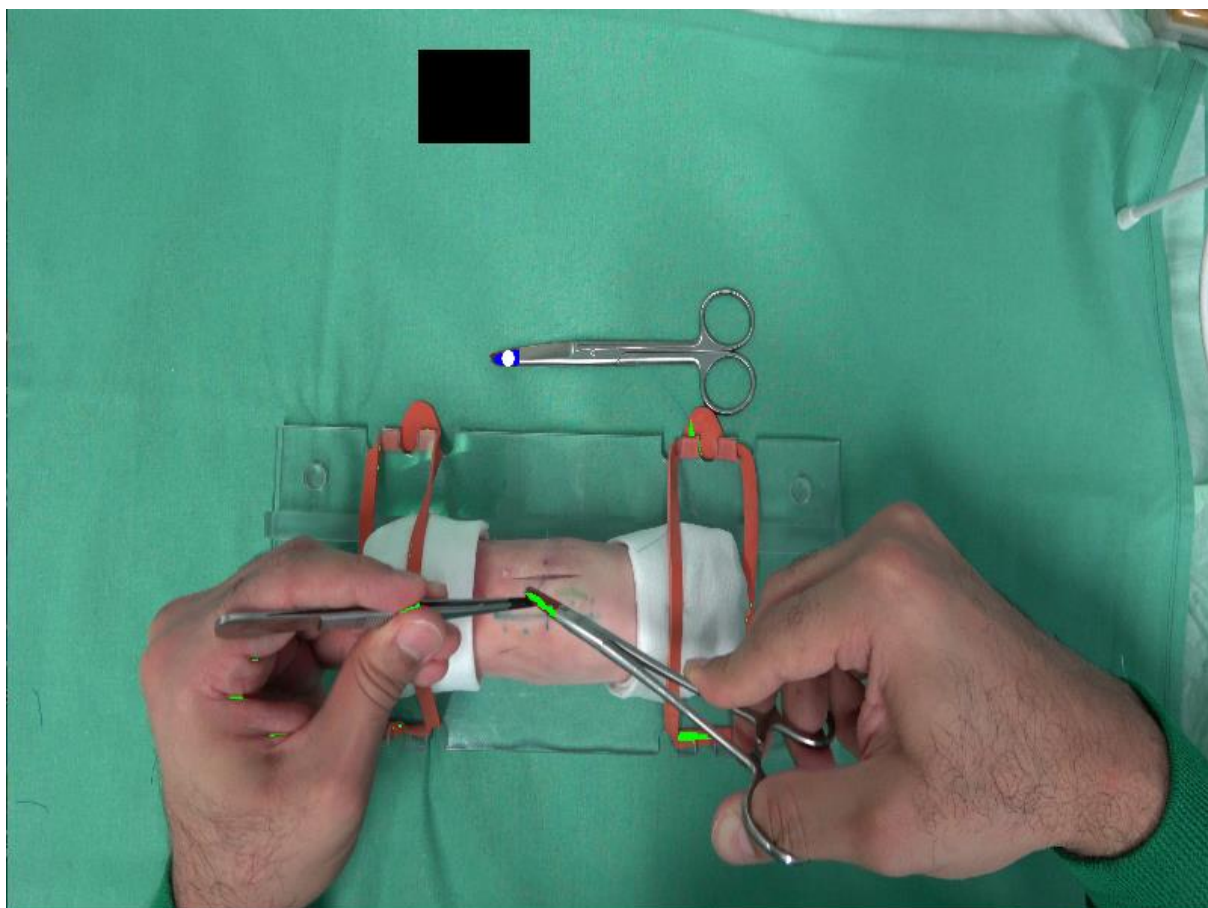
Obrázek 8: Konvexní obal (označen modře) a centroid needle holderu (označen bílým puntíkem)
(kamera dál od snímanému povrchu)

Centroidem je tedy určen bod, který má souřadnice x a y . Ty jsou následně zapsány do definované struktury pro anotace (x_px , y_px). V případě, že nebyl detekován vhodný objekt, vloží se při výpisu souřadnic centroidu na pozice obou souřadnic hodnota -1.

Výsledné anotace lze vizualizovat do konzole v podobě tabulky. K tomu slouží příkaz, který je v kódu zakomentován na řádce č. 119. Tabulka obsahuje tyto sloupce:

- *filename* – název vstupního videa,
- *frame_id* – číslo snímku, na kterém je detekován příslušný objekt,
- *object_id* – ID příslušného objektu (v našem případě vždy 0),
- *x_px* – x-souřadnice centroidu hrotu příslušného objektu,
- *y_px* – y-souřadnice centroidu hrotu příslušného objektu,
- *annotation_timestamp* – nastaveno na hodnotu *None*.

Pro provedení kontroly zpracovaného algoritmu pro dostupná videa bylo zjištěno, že námi navržený algoritmus nedetekuje vybraný chirurgický nástroj ve všech případech správně (viz obr. 9).



Obrázek 9: Chybně detekovaný needle holder

Může nastat situace, kdy i přes nastavené parametry vrací algoritmus souřadnice středu hrotu *nůžek* namísto požadovaného středu hrotu *needle holderu*. Vzhledem k vyskytujícím se stínům

se může objevit obdobná červená barva také v jiných místech, například na gumových páscích. Většina těchto zdánlivých detekovaných objektů bylo odstraněno nastaveným popisem, ale bohužel to nebylo dostačující pro veškeré snímky. Možným řešením by bylo využití složitějších popisů. Další nedostatek nastává na snímcích, kde bylo s *needle holdrem* pohybováno příliš rychle, a tím se obraz nástroje rozmazal. Není tedy možné ho segmentovat na základě nastavené červené barvy. Řešením by bylo využití interpolace pozic hrotů ze snímků s dobře určenými souřadnicemi. Souřadnice by byly přibližně určeny jako středy mezi předešlou a následující známou polohou (pokud došlo k výpadku v rámci více snímků, byla by vzdálenost mezi známými polohami vydělena počtem snímků bez detekce a byl by vložen stejný počet bodů jako snímků bez úspěšné detekce).

Závěr

V rámci této semestrální práce byl vytvořen program, který detekuje středy hrotů chirurgického nástroje *needle holder*. Z velké části byl při tvorbě programu dodržen vytvořený návrh algoritmu z návrhu semestrální práce.

Nejprve byla provedena segmentace dle červené barvy. Poté bylo aplikováno několik jednoduchých popisů a byly implementovány funkce pro analýzu pohybu, nic však nebylo dostatečně efektivní pro nalezení hrotu sledovaného nástroje. Proto se přistoupilo k heuristickému poznání o poloze dalšího chirurgického nástroje na snímcích. Následně byla aplikována morfologická operace uzavření, na jejíž výsledek byly vytvořeny kontury. Pro plochu ohraničenou konturou, která je větší než stanovená hodnota a zároveň je největší ze všech kontur, je vytvořen konvexní obal. Pro něj je pomocí centrálního momentu vypočten centroid, jehož souřadnice definují středy hrotů *needle holderu*. Nakonec jsou příslušné parametry uloženy do předem definované struktury pro anotace.

Při zpracování předkládané semestrální práce se naskytlo mnoho problémů, které jsou již popsány výše. Jejich společným indikátorem jsou však rozdílné vstupní podmínky. Pokud by byly jednotné, byl by výsledný kód mnohem efektivnější. Mezi jednotné vstupní podmínky se řadí např.:

- stejně vzdálená kamera od snímaného povrchu,
- barevné rozlišení *needle holder* od ostatní chirurgických nástrojů (každý by měl jinou barvu) - snazší by bylo i následné rozlišování objektů při přidělení příslušného ID,
- ruce v rukavicích.

Vypracovaný algoritmus je sdílen ve [veřejné složce ZDO](#) na GitHubu.