

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

POLOAUTOMATICKÁ SEGMENTACE OBRAZU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

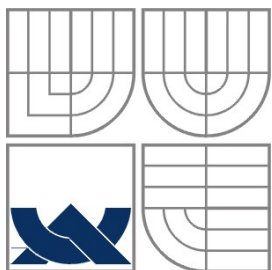
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

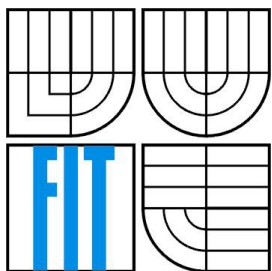
AUTHOR

BC. JAN HORÁK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

POLOAUTOMATICKÁ SEGMENTACE OBRAZU

SEMI-AUTOMATIC IMAGE SEGMENTATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN HORÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MICHAL ŠPANĚL, PH.D.

BRNO 2015

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a implementací nástroje pro tvorbu fotomontáží. Nástroj je postaven na metodách poloautomatické segmentace obrazu. Práce nastiňuje problematiku segmentace obrazových dat a výhody interakce s uživatelem. Podrobněji analyzuje různé přístupy k interaktivní segmentaci obrazu, vysvětluje jejich princip a ukazuje jejich kladné a záporné stránky. Dále ukazuje výhody a nevýhody aktuálně používaných aplikací pro úpravy fotografií. Navrhuje aplikaci pro tvorbu fotomontáží, která se skládá ze dvou kroků: Extrakce objektu z fotografie a jeho vložení do fotografie jiné. Pro první krok je využita metoda poloautomatické segmentace GrabCut postavena na teorii grafů. Součástí práce je i porovnání aplikace s jinými aplikacemi, ve kterých je možné fotomontáž vytvořit, a testování aplikace u uživatelů.

Abstract

This work describes design and implementation of a tool for creating photomontages. The tool is based on methods of semi-automatic image segmentation. Work outlines problems of segmentation of image data and benefits of interaction with the user. It analyzes different approaches to interactive image segmentation, explains their principles and shows their positive and negative aspects. It also presents advantages and disadvantages of currently used photo-editing applications. Proposes application for creating photomontages which consists of two steps: Extraction of an object from picture and insertion of it into another picture. The first step uses the method of semi-automatic segmentation GrabCut based on the graph theory. The work also includes comparison between application and other applications in which it is possible to create a photomontage, and application tests done by users.

Klíčová slova

Segmentace obraz, interaktivní segmentace poloautomatická segmentace, fotomontáž, extrakce objektu.

Keywords

Image segmentation, interactive segmentation semi-automatic segmentation, photomontage, object extraction.

Citace

Jan Horák: Poloautomatická segmentace obrazu, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2015

Poloautomatická segmentace obrazu

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Michala Španěla, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Jan Horák
27.5.2015

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce, Ing. Michalu Španělovi, Ph.D., za veškerou odbornou pomoc. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za jejich podporu.

© Jan Horák, 2015

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1 Úvod.....	2
2 Základy segmentace obrazu.....	3
2.1 Prahování.....	3
2.2 Detekce hran.....	4
2.3 Metody zaměřené na regiony.....	5
2.4 Segmentace rozvodím (Watershed).....	6
3 Poloautomatická segmentace obrazu.....	7
3.1 Metody založené na teorii grafů.....	7
3.2 Deformovatelné modely.....	11
3.3 Simple interactive object extraction (SIOX).....	14
3.4 Active Appearance Models.....	15
4 Možnosti segmentace v nástrojích pro úpravu fotografií.....	17
4.1 Software pro úpravu obrázků.....	17
4.2 Software pro segmentaci obrazu.....	21
4.3 Knihovny pro práci s obrazovými daty.....	22
5 Návrh nástroje pro tvorbu fotomontáží.....	24
5.1 Obecné cíle kladené na aplikaci.....	24
5.2 Výběr technologií.....	25
5.3 Uživatelské rozhraní.....	25
5.4 Shrnutí.....	27
6 Implementace.....	28
6.1 Struktura aplikace.....	28
6.2 Algoritmus GrabCut v knihovně openCV.....	30
7 Výsledky a testování.....	31
7.1 Výsledky.....	31
7.2 Porovnání aplikace s jinými.....	33
7.3 Testování na uživateli.....	38
7.4 Splnění stanovených cílů.....	42
8 Závěr.....	43
Literatura.....	44
A Obsah CD.....	46
B Plakát.....	47
C Uživatelská příručka.....	48

1 Úvod

Segmentace obrazu je rozdělení obrazu na části dle jejich významu (tzv. segmenty). Existuje velké množství způsobů segmentace obrazu, které můžeme rozdělit do tří kategorií: manuální, automatické a poloautomatické. Při manuálních metodách provádí celou segmentaci uživatel, pouze on určuje, kde jsou hranice mezi jednotlivými segmenty. Při auto-matické segmentaci uživatel do segmentace nezasahuje, provádí ji počítač. Tato práce je zaměřena na poloautomatickou segmentaci obrazu, ve které hrají svou roli počítač i uživatel. Segmentaci samotnou provádí počítač, ale uživatel jej navádí a předává mu vstupní informace o tom, kde přibližně se jednotlivé objekty nachází. Tyto metody tak mají výhody obou předchozích přístupů. Vědí, které objekty mají naleznout, stejně jako u manuálních metod a zároveň dokáží najít přesnou hranici těchto objektů jako metody automatické. Metody poloautomatické segmentace obrazu se uplatňují především v medicíně, neboť v této oblasti mohou být obrazová data často postižena šumem.

Cílem této práce bylo vytvořit aplikaci pro běžného uživatele. Jedná se program pro tvorbu fotomontáží, který umožňuje uživateli interaktivně nalézt objekt v obrázku či fotografii a vložit jej do jiného obrázku, kde je možné s tímto objektem provádět základní grafické úpravy. K nalezení hranice objektu v prvním obrázku aplikace využívá právě metodu poloautomatické segmentace GrabCut, která je postavena na teorii grafů.

Po úvodu následuje šest kapitoly a závěr. První kapitola je úvodem do segmentace obrazu a nastiňuje základy několika technik automatické segmentace obrazu. Druhá kapitola se zabývá poloautomatickou segmentací, jsou v ní vysvětleny její výhody a ukázány základy používaných metod. Třetí kapitola se věnuje existujícím nástrojům pro zpracování obrazu a jeho segmentaci. Její součástí jsou knihovny pro práci s obrazem, interaktivní segmentační nástroje a programy pro úpravy fotografií. Poslední kapitola se týká návrhu aplikace pro tvorbu fotomontáží, který bude využívat poloautomatické segmentace obrazu k nalezení objektu ve fotografii. Pátá kapitola se zabývá implementací této aplikace. V předposlední kapitole jsou shrnuty výsledky aplikace, její porovnání s jinými podobnými aplikacemi a výsledky testování s uživateli. V závěru je práce shrnuta a ukázán její přínos pro autora.

2 Základy segmentace obrazu

V počítačovém vidění nazýváme segmentací obrazu rozdělení digitálního obrazu na několik segmentů [1, 2, 10]. Segmenty jsou tvořeny sadou pixelů. Sumou všech pixelů všech segmentů vznikne původní obraz. Cílem segmentace je porozumět obsahu obrazu, například zjistit, zda se v něm nalézá určitý objekt. Vstupem segmentace je obraz, výstupem jednotlivé segmenty.

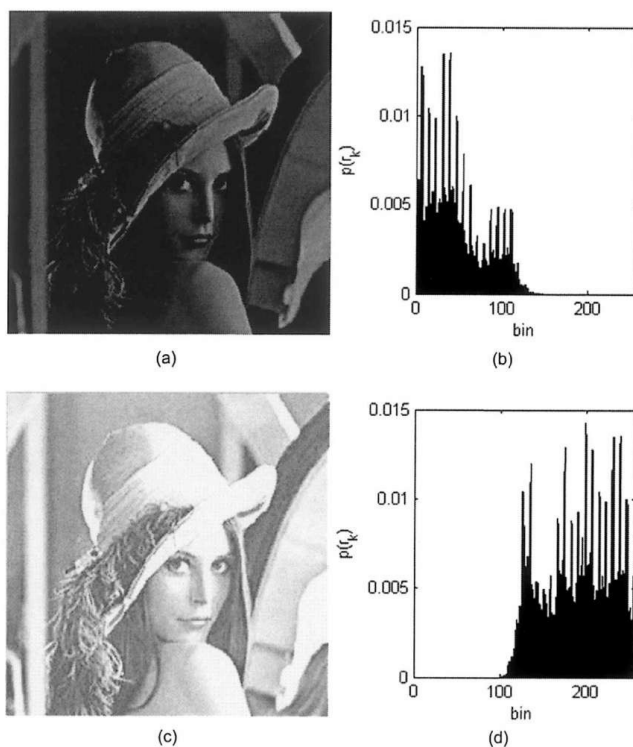
Metod segmentace obrazu je velké množství. Hlavním důvodem je neexistence jedné univerzální metody pro všechny druhy obrazu. Zatímco na některém obraze může dávat některá z metod lepší výsledek než jiná, u jiného obrazu tomu může být naopak.

2.1 Prahování

Tato metoda vychází z předpokladu, že pixely patřící do jednoho objektu mají podobnou intenzitu. Vstupem této metody je šedotónový obraz, výstupem obraz binární (černobílý). Hodnotu každého pixelu výstupního obrazu získáme způsobem uvedeným v rovnici 2.1:

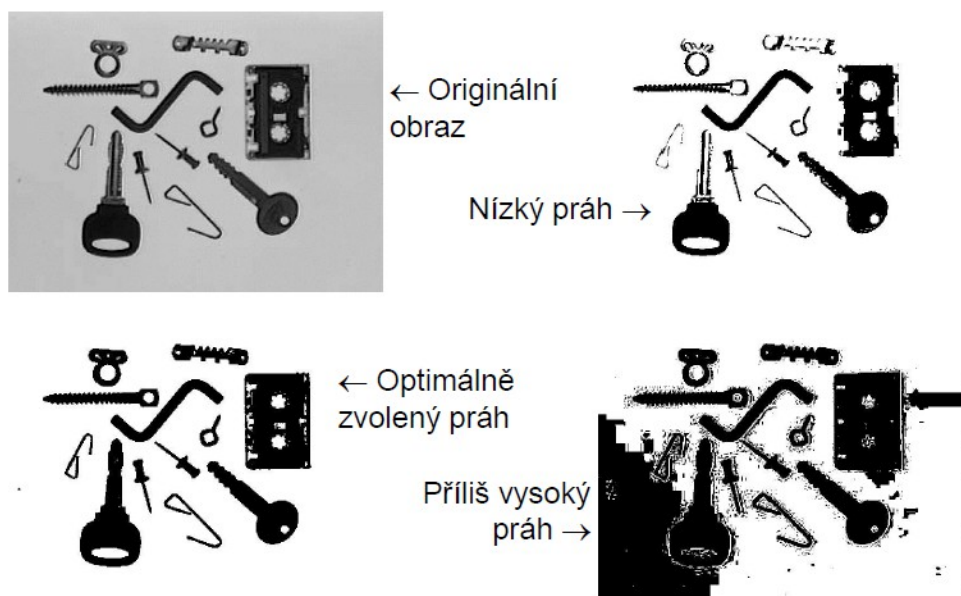
$$\begin{aligned} G(x, y) &= 1 \text{ pro } I(x, y) \geq T \\ G(x, y) &= 0 \text{ pro } I(x, y) < T \end{aligned} \quad (2.1)$$

Určení prahu není triviální záležitost. Nejčastěji se určuje pomocí histogramu. Histogram je grafické znázornění počtu pixelů obrazu pro různé intenzity šedi. Příklad histogramu je na obrázku 2.1.



Obr. 2.1.: Příklad histogramu. Převzato z [9].

Na obrázku je snadno pozorovatelné, že tmavší obrázek má více pixelů nižších hodnot, naopak světlejší těch vyšších. Tento obrázek je však pro segmentaci pomocí prahování nevhodný, z rozložení histogramu je velmi těžké určit vhodný práh. Vhodnější obraz pro tuto metodu je na obrázku 2.2.



Obr. 2.2: Obraz vhodný pro segmentaci metodou prahování. Převzato z [10].

Rozdíl mezi intenzitou objektů v obraze oproti intenzitě pozadí je velký, při správně zvoleném prahu jsou tudíž objekty nalezeny.

Existuje několik modifikací základního prahování, které mohou přinášet lepší výsledky. Jedná se například o band thresholding, u kterého jsou určité hodnoty intenzity určeny jako objekt a ostatní jako pozadí. Pravděpodobně nejpoužívanější metodou určování prahu je metoda Otsu. Mezi hlavní nevýhody prahování patří citlivost na šum.

Adaptivní prahování

Zatímco u běžného prahování sestavujeme histogram z celého obrazu, u adaptivního prahování bereme v potaz pouze lokální okolí, obraz tedy rozdělíme do oblastí a každé oblasti určíme vlastní práh nezávislý na pixelech z jiných oblastí. Práh je možné určit i pro každý pixel zvlášť v závislosti na jeho okolí.

Tento algoritmus nalézá uplatnění v případech, kdy není možné určit hodnotu prahu z histogramu celého obrazu, například při měnícím se jasu obrazu. Rozdělení do oblastí či velikost okolí pixelu je třeba volit tak, aby mezi pixely, ze kterých se práh určuje, byly přítomny jak pixely patřící do pozadí, tak pixely patřící do objektu.

2.2 Detekce hran

Tyto metody využívají pro segmentaci objektů informace o hranách v obraze. Hrany jsou body v obraze, u kterých se prudce mění hodnota jasu, což se velmi často děje právě u hranic objektů. Pro detekci hran se používají hranové detektory, například Sobelův operátor. Takto získaný obraz ovšem není výsledkem segmentace. Dalším krokem je spojení hran do sekvencí a odstranění nepotřebných hran. Hranové detektory lze obecně rozdělit na detektory první a druhé derivace.

Detektory první derivace

Odečteme-li od pixelu hodnoty okolních bodů v obraze, získáme tak první derivaci. Gradient určíme dle rovnice 2.2.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}, \quad (2.2)$$

kde G_x je gradient ve směru osy x a G_y gradient ve směru osy y . Orientace gradientu lze určit dle rovnice 2.3:

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (2.3)$$

Gradient lze vypočítat pomocí konvoluce, jednotlivé operátory se pak liší pouze v jádru konvoluce. Jádro konvoluce značí, jak velké okolí obrazu je bráno v potaz a jak velká váha je jednotlivým pixelům přiřazována. Větší jádra se používají zejména pro jejich větší odolnost vůči šumu.

Detektory druhé derivace

U detektorů druhé derivace hledáme průchod druhé derivace nulou. Jedním z nejpoužívanějších operátorů druhé derivace je Laplacián, který je definován v rovnici 2.4:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2.4)$$

Mezi nevýhody těchto funkcí patří velké vyhlazení obrazu či ztráta ostrých rohů.

Houghova transformace

Houghova transformace se používá především u objektů, které mohou být reprezentovány parametricky (např. přímky, kružnice či elipsy), při jejím zobecnění však lze detekovat i jiné tvary. Původně byla určena pro detekci přímek v obraze. Jedná se o transformaci mezi souřadnicovými systémy a to konkrétně z Kartézského do polárního. Metoda je poměrně robustní a je odolnější vůči šumu než hranové operátory první i druhé derivace.

2.3 Metody zaměřené na regiony

Metody z této oblasti jsou založeny na nalézání homogenních oblastí. Kritéria homogenity mohou být různá, např. úroveň šedi, barva, tvar či textura. Mezi největší výhody těchto metod patří vysoká odolnost vůči šumu.

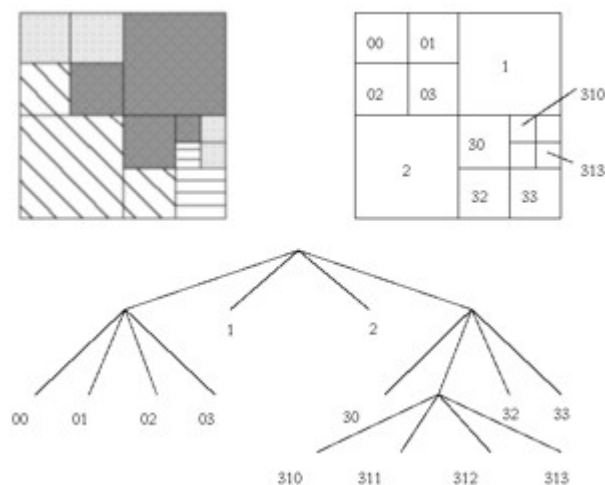
Metoda růstu regionů

Při použití metody růstu regionů (Region Growing) postupujeme zdola nahoru, od jednoho pixelu k celému obrazu [3]. Na počátku je zvoleno několik pixelů, tzv. seed points. Dalším krokem je prohledání okolí těchto pixelů. Pro každý pixel v okolí je určeno, zda patří do oblasti určené daným seed pointem či nikoliv. Algoritmus je iterativní, v dalších krocích je prohledáno okolí těch bodů, které byly v předchozím kroku přidány do dané oblasti. Algoritmus končí ve chvíli, kdy je každý bod přiřazen do některé oblasti. Druhou možností je přiřadit každému pixelu vlastní oblast. Poté spojujeme tyto oblasti do větších celků, pokud vyhovují danému kritériu. V obou případech jsou výsledné oblasti závislé na pořadí.

Split and Merge

Tato metoda je založena na reprezentaci dat pomocí struktury quad-tree. Quad-tree je stromová struktura, ve které má každý uzel buď právě čtyři potomky nebo žádného potomka. Podobraz je rozdělen na čtyři kvadranty, pokud je nehomogenní dle zadaných kritérií. V opačném případě se jedná o terminální uzel quad-tree. Ukázka algoritmu split and merge je graficky znázorněna na obrázku 2.3.

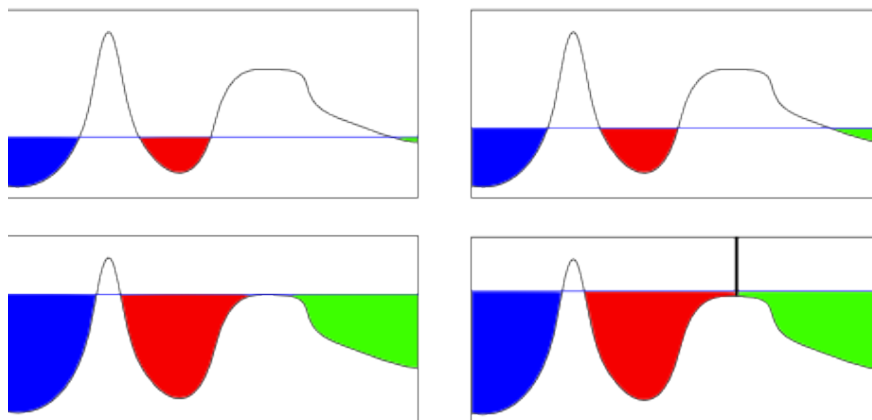
V pravém horním rohu je znázorněn vstupní obraz, v levém horním rohu rozdělení obrazu na regiony, ve spodní části obrazu pak struktura quad-tree.



Obr. 2.3: Grafické znázornění algoritmu Split and Merge. Převzato z [1].

2.4 Segmentace rozvodím (Watershed)

Tato metoda vychází z geografie. Šedotónový obraz si lze představit jako topografický reliéf, ve kterém jsou různé úrovně šedi znázorněny různou nadmořskou výškou [4]. Pokud na tento reliéf dopadne kapka vody, ukončí svoji cestu v lokálním minimu. Pro každé takto nalezené lokální minimum vytvoříme tzv. povodí. Postupně zaplavujeme celý obraz, dokud nedosáhneme vrcholků hor (tedy bodů s nejvyšší úrovní jasu). Pokud by hrozilo, že se dvě povodí spojí, vytvoříme mezi nimi hráz. Výsledkem je obraz rozdělený do povodí oddělených hrázemi. Grafické znázornění algoritmu Watershed je na obrázku 2.4. Na prvním obrázku jsou inicializována povodí, poté jsou postupně zaplňována vodou, mezi červeným a zeleným povodím bylo nutné vytvořit hráz.



Obr. 2.4: Ukázka segmentace rozvodím. Převzato z [11].

3 Poloautomatická segmentace obrazu

Hlavním rozdílem mezi automatickou a poloautomatickou segmentací obrazu je uživatelský vstup. Zatímco u automatické segmentace obrazu se jednalo pouze o samotný obraz a segmentace již probíhala bez interakce s uživatelem, metody poloautomatické segmentace vyžadují od uživatele další informace. Předpokládejme vstupní obraz zobrazený na obrázku 3.1.



Obr. 3.1: Obraz vhodný pro demonstraci výhod poloautomatické segmentace obrazu, neboť z něj není patrné, které objekty mají být výstupem segmentace.

Naším cílem může být segmentace nebe a kopců. Či segmentace bílého domu se zelenými okenicemi na pravém břehu řeky. Nebo segmentace hradeb stojících na úpatí kopce. U metod automatické segmentace obrazu neexistuje způsob, jakým bychom jim mohli tuto informace předat, proto pravděpodobně budeme výsledkem zklamáni. U metod poloautomatické segmentace dáváme počítači vědět, jaký výsledek očekáváme. Možností je vícero, například zakroužkování daného objektu či vyznačení několika pixelů reprezentující objekt a několika pixelů reprezentující pozadí.

Metody poloautomatické segmentace nalézají největší využití v medicíně a to především v chirurgii. Své uplatnění však nalézají i mezi běžnými uživateli (nalezení a extrakce objektu z obrazu) či v kriminalistice.

3.1 Metody založené na teorii grafů

Jak už název napovídá, metody z této kategorie jsou založeny na teorii grafů [2][5][6]. Graf je abstraktní reprezentace sady objektů, kde jednotlivé dvojice objektů mohou být spojeny čarami. Matematicky můžeme graf definovat dle rovnice 3.1:

$$G=(V,E), \quad (3.1)$$

kde V je sada vrcholů a E sada hran (dvojic). Graf G je vážený, pokud každou hranu z E můžeme ohodnotit kladným číslem (váhou). G je orientovaný, pokud je sada hran E sadou uspořádaných dvojic. G je tzv. s-t graf, pokud je vážený orientovaný graf se dvěma speciálními vrcholy – source s a sink t . S-t cut, značíme $c(s,t)$, v grafu G je sada hran E_{cut} taková, že při jejím odstranění neexistuje žádná cesta z s do t . Cena s-t cutu je součet cen všech hran patřících do E_{cut} . Flow $f(u,v)$ je zobrazení definované v rovnici 3.2:

$$f:E \rightarrow R^+, (u,v) \rightarrow f(u,v) \quad (3.2)$$

Hodnota flow je definovaná v rovnici 3.3:

$$|f| = \sum_{v \in V} f(s, v), \quad (3.3)$$

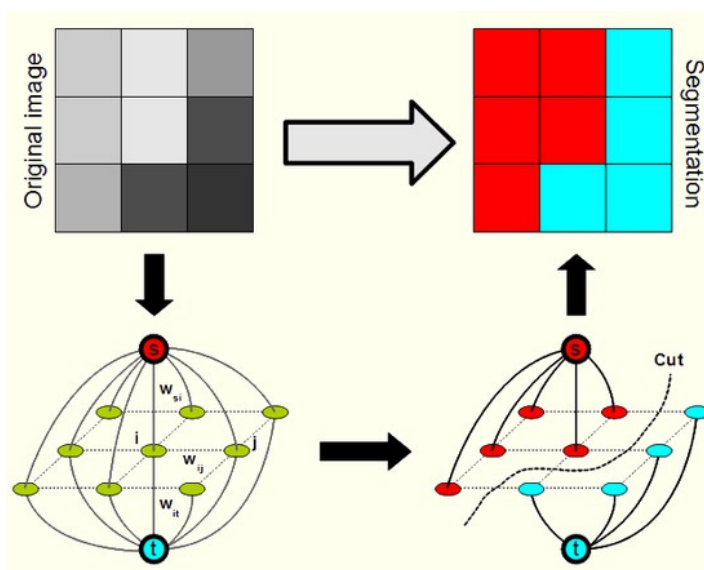
kde s je source grafu G . Reprezentuje hodnotu flow ze source do sink.

Segmentace řezem grafu

Metoda segmentace řezem grafu (graph cut) je založena na minimal cut problem a maximum flow problem [5]. Minimal cut problem je nalezení s - t cutu s minimální cenou. Maximum flow problem je transformace maxima flow ze source do sink. Cílem je sestavit graf znázorňující pixely obrazu tako-vý, aby našel právě ty hrany, které spojují vrcholy znázorňující pixely z různých objektů.

První krokem metody je označení několika pixelů jako objekt a několika pixelů jako pozadí. Tyto pixely se nazývají inicializační body a reprezentují tzv. tvrdá omezení (hard constraints). To v praxi znamená, že tyto pixely budou ve všech možných případech součástí objektu či pozadí. Ostatní pixely jsou rozděleny pomocí měkkých podmínek, které určují, zda určitý pixel reprezentuje objekt nebo pozadí. Výsledná segmentace je poté vypočtena jako globální optimum ze všech segmentací, které splňují tvrdá omezení.

Graf obsahuje jeden uzel pro každý pixel obrazu a dva speciální uzly, uzel S pro source a T pro sink. Každý uzel znázorňující pixel je propojen s uzly znázorňujícími okolní pixely a s těmito dvěma speciálními uzly. Hrany mezi uzly znázorňujícími jednotlivé pixely jsou ohodnoceny dle hraniční funkce pro jednotlivé pixely. Hrany mezi S (případně T) a uzly znázorňujícími jednotlivé pixely jsou ohodnoceny 0, pokud pixel splňuje tvrdé omezení řadící ho do opačného segmentu, konstantou, pokud pixel splňuje tvrdé omezení řadící ho do stejného segmentu či regionovou funkcí v ostatních případech. Ukázka vstupního obrazu, jeho grafu a výsledné segmentace je na obrázku 3.2.



Obr. 3.2: Ukázka metody řezu grafem. Převzato z [12].

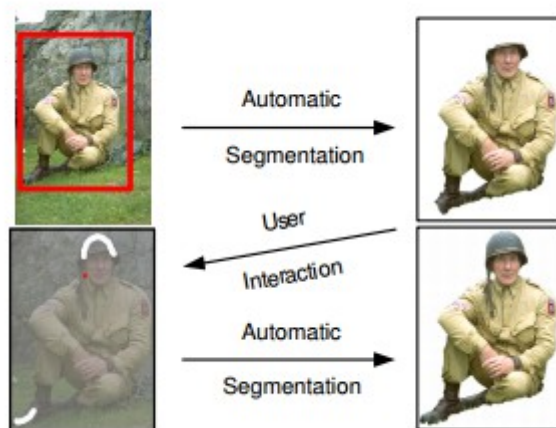
Uživatel u metody řezu grafem označí některé pixely reprezentující objekt a některé reprezentující pozadí a poté proběhne řez grafem. Je vhodné označovat pixely reprezentující objekt takovým způsobem, aby pokryly celé barevné spektrum objektu. Ukázka je na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Ukázka vstupu metody řezu grafem. Převzato z [13].

GrabCut

GrabCut je metoda poloautomatické segmentace obrazu postavená na řezu grafem [7]. V prvním kroku uživatel určí obdélník (tzv. bounding box) obsahující objekt. Algoritmus poté určí rozložení barev v objektu a v pozadí pomocí Gaussian Mixture Model. Dalším krokem je vytvoření Markovova náhodného pole a energetické funkce, které spojují do oblastí podobné pixely. Poté proběhne řez grafem pro optimalizaci rozdělení pixelů do oblastí. Výsledek může být upraven pomocí uživatelského vstupu. Ukázka interakce s uživatelem algoritmu GrabCut je zobrazena na obrázku 3.4.



Obr. 3.4: Ukázka interakce s uživatelem algoritmu GrabCut. Převzato z [7].

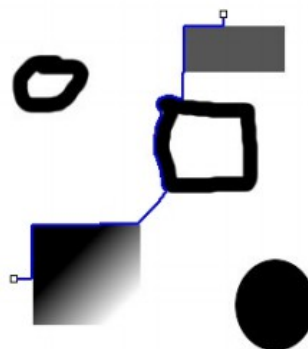
Chytré nůžky

Segmentační metoda chytré nůžky (Intelligent Scissors) je jinak též známa pod názvem Livewire [14]. Vstupem metody je obraz a seřazené pole souřadnic pixelů v obraze, které ohraničují objekt.

Metoda nejprve vyextrahuje z obrazu hrany některým z hranových detektorů. Z takto filtrovaného obrazu je sestaven graf, ve kterém je každý pixel reprezentován jedním uzlem. Uzly reprezentující sousední pixely jsou spojené hranami. Cena hran je určena intenzitou filtrovaného obrazu, tj. cesta mezi pixely s prudkou změnou intenzity v původním obraze je dražší než cesta mezi pixely s nižší změnou intenzity. Djiskrovým algoritmem je poté nalezena cesta, která by měla kopírovat hranice objektu. Některé myšlenky jsou tedy podobné jako u algoritmu Graph Cut, nicméně jejich použití je odlišné. Na obrázku 3.5 je zobrazeno označení bodů v obraze, na obrázku 3.6 je znázorněno vyhledání optimální cesty v obraze s vyextrahovanými hranami.



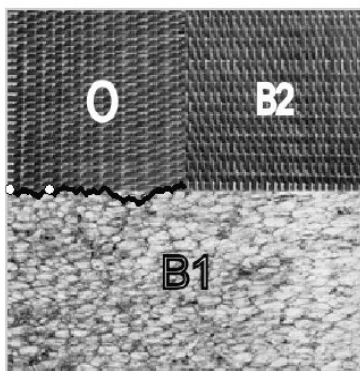
Obr. 3.5: Vstup metody Chytré nůžky.
Převzato z [14].



Obr. 3.6: Vyhledání cesty u metody Chytré nůžky.
Převzato z [14].

IT-SNAPS (Interactive Texture Segmentation)

Jak už název napovídá, metoda IT-SNAPS je zaměřená na segmentaci textur [8]. Jedná se o rozšíření metody Chytrých nůžek. Mezi nevýhody metody Chytrých nůžek může u určitých obrazů patřit počítání nejkratší cesty pomocí gradientu (tato nejkratší cesta je hranicí segmentů). U obrazů skládajících se z texturovaných oblastí může docházet k tomu, že nenalezneme žádný gradient nebo naopak jich naopak nalezneme příliš mnoho. Na obrázku 3.7 je ukázán neuspokojivý výsledek metody Chytrých nůžek v tomto případě.

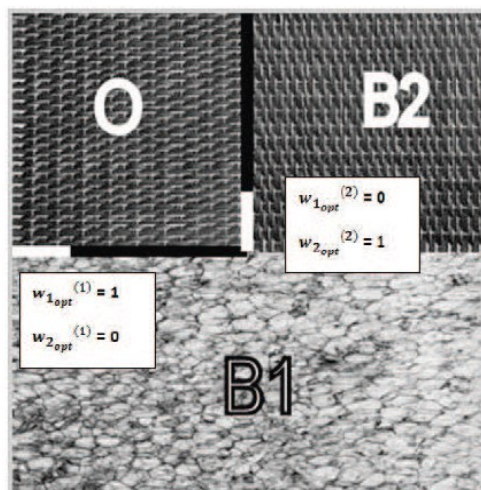


Obr. 3.7: Nevýhoda algoritmu Chytrých nůžek na texturovaných obrazech. Převzato z [8].

Základní myšlenkou algoritmu IT-SNAPS je fakt, že jakoukoliv segmentaci můžeme rozdělit na segmentaci dvou různých objektů. V případě situace na obrázku 9 chceme vysegmentovat oblast O. Tento problém lze tedy rozdělit na problém hranice mezi oblastmi O a B1 a hranice mezi oblastmi O a B2. Mějme sadu N vlastností pro každou hranici $f_1, \dots, f_N$. Pro tento příklad tedy vytvoříme dvě podsady f_{s1} a f_{s2} , první pro rozdíl mezi regiony O a B1, druhou pro rozdíl mezi regiony O a B2. Pokud uživatel rozděluje regiony O a B1, dává se větší váha vlastnostem podsady f_{s1} , naopak při dělení regionů O a B2 se přikládá větší váha vlastnostem podsady f_{s2} . Každé vlastnosti je přidělena optimální váha. Cílem algoritmu je maximalizovat tzv. Cost matrix, která se spočítá dle rovnice 3.4.

$$C = \sum_{i=1}^N w_{i_{opt}} * g(f_i), \quad (3.4)$$

kde $w_{i_{opt}}$ je optimální váha vlastnosti i a $g(f_i)$ je gradient této vlastnosti. Cost matrix je maximální ve chvíli, kdy jsou pixely nejvíce rozdílné dle kritérií vlastností. Algoritmus je demonstrován na obrázku 3.8.



Obr. 3.8: Ukázka algoritmu IT-SNAPS. Převzato z [8].

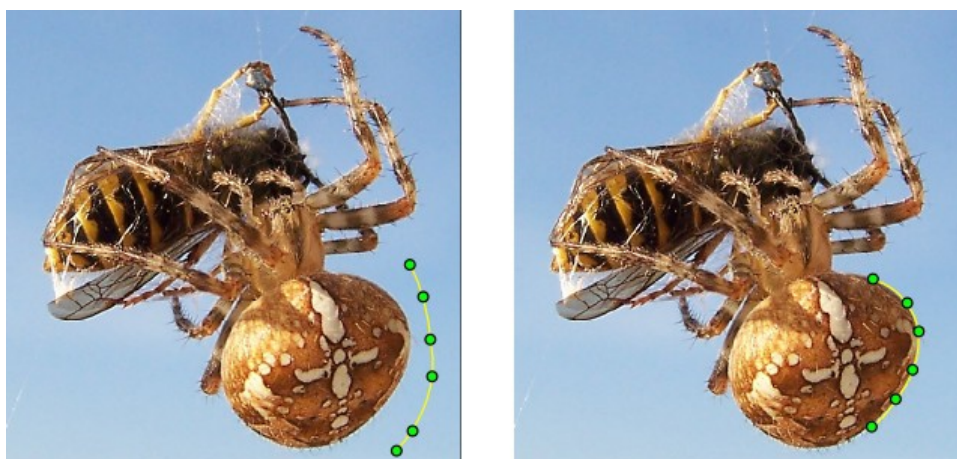
Pro hranici mezi objekty O a B1 nastavíme vysokou váhu vlastnosti f_1 a nízkou váhu vlastnosti f_{s2} , u hranice mezi objekty O a B2 tomu bude naopak.

3.2 Deformovatelné modely

Při použití metod z této oblasti je vstupem od uživatele křivka nalézající se v blízkosti dané hranice objektu. Poté proběhne iterativní proces, při kterém křivka mění tvar tak dlouho, dokud nekopíruje hranice objektu.

Aktivní kontury

Metoda aktivních kontur (jinak zvaná též snakes) má za vstup vyznačenou oblast, ve které se nachází celý segmentovaný objekt [1][2][15]. Tento proces je demonstrován na obrázku 3.9. Vlevo je vstup od uživatele, vpravo se kontura přisaje na hranu objektu.



Obr. 3.9: Ukázka algoritmu aktivních kontur. Převzato z [15].

Tato oblast se postupně zmenšuje, dokud nekopíruje hranice objektu. Cílem aktivních kontur je minimalizovat energii nynější kontury. Celková energie je soumou vnitřní a vnější energie.

Vnější energie by měla být minimální ve chvíli, kdy je kontura na hranách objektu. Skládá se ze dvou složek. Tou první je Energie obrazu, která znázorňuje přiblížení hranicím objektu. Tou druhou je energie omezení, která znázorňuje síly zadané uživatelem při vstupu. V některých imple-

mentacích může uživatel konturu za běhu navádět, mění pak právě tuto sílu. Vnitřní energie je minimální v případě, kdy má kontura tvar relevantní ke tvaru skutečného objektu. Mějme konturu reprezentovanou jako sadu n bodů: $v_i = (x_i, y_i)$, kde $i = 0 \dots n-1$.

Funkci energie pak můžeme vyjádřit rovnicí 3.5:

$$E = \int_0^1 (E_{\text{vnitřní}}(v(s)) + E_{\text{obrazu}}(v(s)) + E_{\text{omezení}}(v(s))) ds \quad (3.5)$$

Vnitřní energie se skládá z energie kontury a energie splinu. Vyjádřená je rovnicí 3.6:

$$E_{\text{vnitřní}} = (\alpha(s) * \|\frac{d\bar{v}}{ds}(s)\|^2 + \beta(s) * \|\frac{d^2\bar{v}}{ds^2}(s)\|^2) / 2 \quad (3.6)$$

První část rovnice 3.6 znázorňuje schopnost chovat se jako blána, druhá chovat se jako tenká deska. Vysoké hodnoty α znamenají vysokou elastičnost kontury, vysoké hodnoty β vysokou tuhost kontury.

Energie obrazu se skládá z energie čar, energie hran a energie ukončení. Její výpočet je znázorněn v rovnici 3.7:

$$E_{\text{obrazu}} = w_{\text{line}} * E_{\text{line}} + w_{\text{edge}} * E_{\text{edge}} + w_{\text{term}} * E_{\text{term}}, \quad (3.7)$$

kde w značí váhu, která je jednotlivým energiím přiřazována, a E energii samotnou. Funkce čar není nic jiného než intenzita obrazu. Její hodnota je tedy dána funkcí v rovnici 3.8:

$$E_{\text{line}} = I(x, y) \quad (3.8)$$

Energii hran pomáhá hledat gradient obrazu v rovnici 3.9:

$$E_{\text{edge}} = -|\nabla I(x, y)|^2 \quad (3.9)$$

Energie ukončení slouží k vyhlazení obrazu. Detekuje v obraze rohy či různá zakončení objektu.

Nechť $C(x, y) = G_{\sigma} * I(x, y)$ je lehce rozmazaná verze obrazu. Nechť $\theta = \arctan(\frac{C_y}{C_x})$ je úhel gradientu. Pak $n = (\cos(\theta), \sin(\theta))$ a $n_T = (-\sin(\theta), \cos(\theta))$ jsou jednotkové vektory rovnoběžné a kolmé s vektorem gradientu. Energie omezení pak může být reprezentována rovnicí 3.10:

$$E_{\text{term}} = \frac{\partial \theta}{\partial n_T} = \frac{\partial^2 C / \partial^2 n_T}{\partial C / \partial n} = \frac{C_{yy}C_x^2 - 2C_{xy}C_xC_y + C_{xx}C_y^2}{(C_x^2 + C_y^2)^{3/2}} \quad (3.10)$$

Energie omezení znázorňuje uživatelské vstupy do algoritmu. Není použita ve všech verzích algoritmu.

Metoda je hojně využívána jak u zpracování obrazu, tak u zpracování videa. Mezi její výhody patří hledání dynamických či dočasných objektů, díky rozmazání je vhodná i na obrazy s malým rozlišením a výsledek může být snadno změněn pomocí energie omezení. Nevýhodou bývá zaseknutí algoritmu v energetickém lokálním minimu či ztráta přesnosti a vytváření artefaktů na složitějších objektech. Tato nevýhoda se však dá odstranit použitím některé z modifikací, které ji odstraňují. Na obrázku 3.10 je vlevo znázorněn vstup od uživatele, uprostřed výstup standardní verze algoritmu a vpravo výstup modifikované verze.



Obr. 3.10: Nevýhoda algoritmu aktivních kontur a její odstranění. Převzato z [1].

Metoda level-set

Následující text byl převzat z [16].

Level sets je robustní metoda rodiny metod shape reconstruction a deformable models, kterou původně navrhli pánové J. A. Sethian a S. Osher [17]. Myšlenku použití LS na detekci tvaru uvedl jako první R. Malladi [18]. Teorie LS dále našla uplatnění i v jiných oblastech, jako crystal growth and dendritic solidification [19].

Hlavní přínos metody LS je v tom, že jde o od základu nový přístup rekonstrukce tvaru, který překonává omezení dosud známých technik v dané oblasti. Vyvíjející se povrch umí měnit svou topologii (rozdělit se, spojovat se), dokáže kopírovat různé komplexní geometrie tvarů a výsledek je méně závislý na inicializaci než jakákoliv jiná iterativní metoda [20]. Tento přístup byl použit již dříve v mnoha oblastech počítačového vidění. Byla navržena řada evolučních modelů, ale mnohé z nich vyžadují zadání několika parametrů jako iterativní krok, vážené parametry, propagaci fronty a další, přičemž nastavení těchto parametrů je klíčové pro úspěch metody. Metoda, kterou navrhl R. Malladi, nepotřebuje pro vývoj v prostoru téměř žádný parametr. Využívá parametry závislé na obrazových datech a na konkrétním stavu procesu segmentace [18].

Metoda LS je popsána obecně pro N -rozměrný prostor, a tudíž je vhodná pro řešení ve 2D a 3D prostoru. Základní myšlenkou LS je popsat pohyb hypersurface (nadplochy) $\Gamma(t)$ v $(N-1)$ dimenzionálním prostoru, která se šíří prostorem v ortogonálních směru vzhledem k povrchu silou F . Síla F může být odvozena od parametrů jako křivost povrchu, ortogonální směr, vlastnosti média, na kterém je definován model (obrazová informace). Hlavní myšlenkou LS je chápat tento vyvíjející se povrch jako nulový řez vícedimenzionální funkce Φ . Definujme Φ následovně. Necht' funkce $\Phi(x, t=0)$, kde x je bod patřící do R^N , je definována jako:

$$\Phi(x, t=0) = \pm d, \quad (3.11)$$

kde d je vzdálenost bodu x od povrchu $\Gamma(t=0)$ a znaménko plus (mínus) je vybrány na základě toho, zda je bod x mimo (uvnitř) počáteční hyperplochy $\Gamma(t=0)$. Máme tedy počáteční funkci

$$\Phi(x, t=0): R^N \rightarrow R \quad (3.12)$$

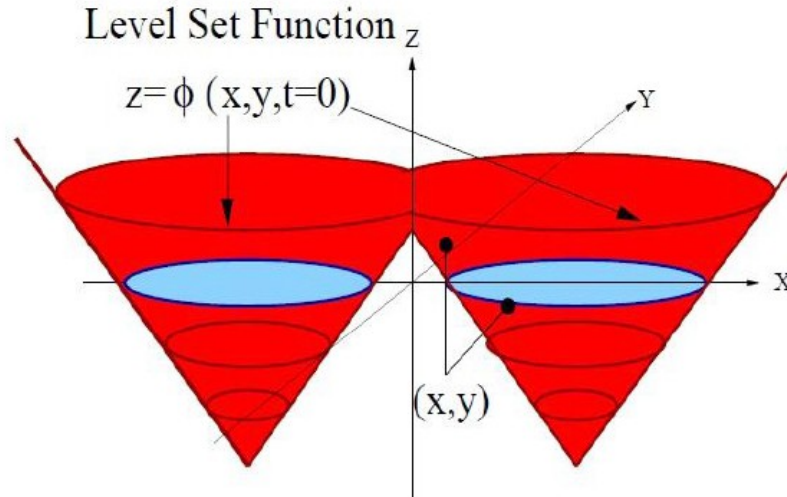
s vlastností

$$\Gamma(t=0) = [x \mid \Phi(x, t=0) = 0] \quad (3.13)$$

Cílem je rovnicí popsat vyvíjející se funkci $\Phi(x, t)$, která popisuje pohyb plochy $\Gamma(t)$ jako level set $\Phi = 0$ (situaci ilustruje obrázek 3.11). Každý level funkce Φ je určen gradientním polem s rychlostí F , což vystihuje rovnice

$$\Phi_t + F|\nabla \Phi| = 0, \quad (3.14)$$

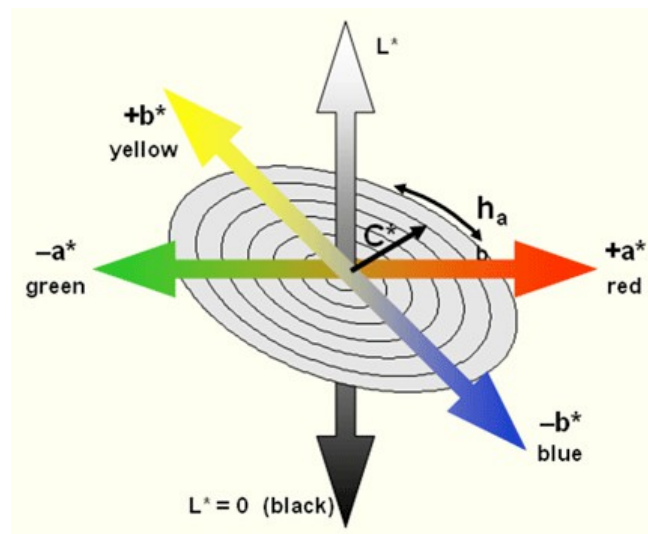
kde ∇ je gradient level setu. Pro konkrétní funkci rychlosti F třeba řešit standardní Hamilton-Jacobi rovnice. Důležité je, že propagující front může změnit svou topologii (rozdělení na několik částí) a stále bude splněna předchozí rovnice. To je rovnice LS navržená dle zakladatelů Sethian a Osher [20].



Obr. 3.11: Level set funkce (modrá) vykresluje vzdálenost každého bodu (x, y) od frontu (modrá).
Převzato z [16].

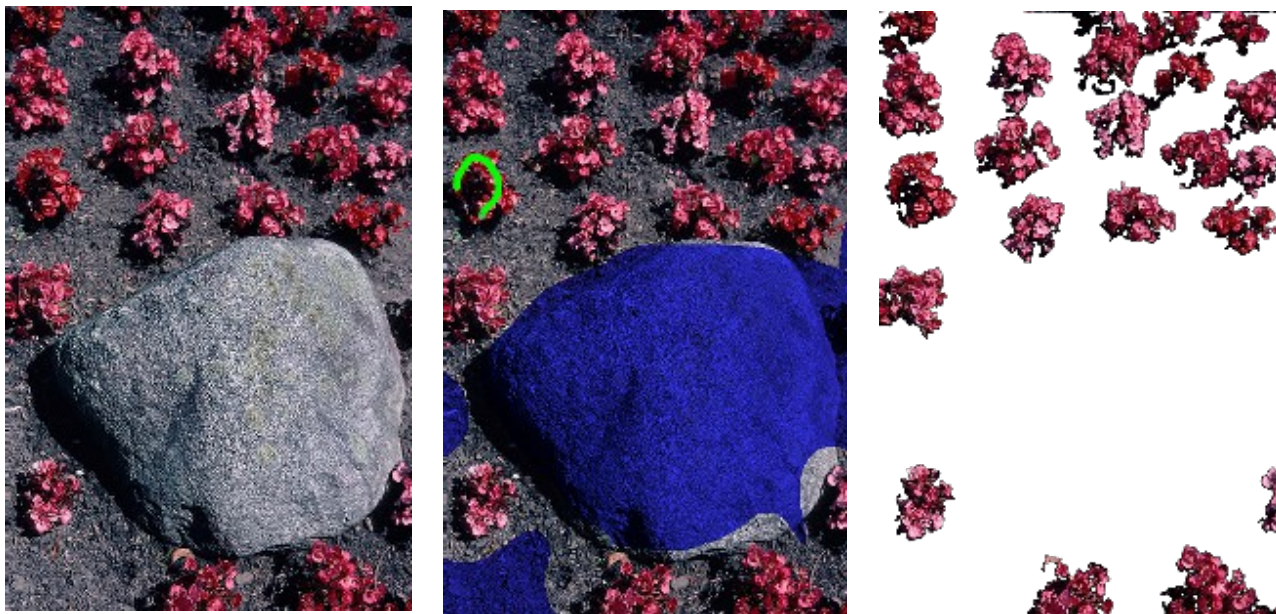
3.3 Simple interactive object extraction (SIOX)

Tento algoritmus se používá pro barevné obrazy a videa [21]. Uživatel nejprve v obraze vyznačí oblasti, které budou spadat ve výsledném obraze do popředí a které do pozadí. Zbývající oblasti jsou označeny jako neznámé, každý pixel má tak jednu ze tří hodnot (popředí, pozadí, neznámé). Celý obraz je poté konvertován do barevného prostoru CIELAB, který je založen na dvojicích barev stojících proti sobě v opozici. Barevný prostor CIELAB je znázorněn na obrázku 3.12.



Obr. 3.12: Barevný prostor CIELAB.

Jsou vytvořeny clustery znázorňující popředí a pozadí a jednotlivé pixely z neznámé oblasti jsou poté přiřazeny buď do popředí nebo do pozadí. Ve výsledku ovšem často můžeme mít v popředí některé pixely, které patří do pozadí. Postupně aplikujeme vyhlazování, erozi a dilataci tak dlouho, dokud nejsou v popředí pouze větší spojitě oblasti. Zajímavostí vlastností této metody je, že nalezne i více objektů při označení pouze jednoho z nich. Demonstrace této vlastnosti i funkce celého algoritmu SIOX je zobrazena na obrázku 3.13.



Obr. 3.13: Demonstrace metody SIOX. Nalevo původní obraz, uprostřed vstup metody a napravo výstup metody. Převzato z [21].

Algoritmus SIOX je implementován jako nástroj pro extrakci popředí v programu GIMP, je součástí indikačního nástroje v programu Inkscape a experimentální implementace existují i pro programy Blender a Krita.

3.4 Active Appearance Models

Active appearance models je metoda založená na statistickém modelu tvaru objektu [22]. Prvním krokem je natrénování dat. Vstupem je sada pojmenovaných obrázků, ve kterých jsou vyznačeny významné body. Ukázka jednoho vstupu pro natrénování obličeje je na obrázku 3.14.



Obr. 3.14: Vstup pro metodu Active appearance models. Převzato z [22].

Zvýrazněné body určují tvar objektu. Všechny obrázky v setu zarovnáme a každý z nich pak reprezentujeme vektorem x . Poté na data aplikujeme statickou analýzu Principal Component Analysis (PCA). Každý vstupní obraz je poté aproximován dle rovnice 3.15:

$$x = \bar{x} + P_s * b_s, \quad (3.15)$$

kde x je průměrný tvar, P_s je sada ortogonálních modelů variací a b_s sada parametrů tvaru.

Pro vytvoření statistického modelu provedeme operaci warp nade všemi trénovacími obrazy tak, aby se jejich kontrolní body shodovaly s kontrolními body průměrného obrazu. Tomuto obrazu říkáme shape-normalized image. Poté vybereme takové hodnoty úrovně šedi, které nejlépe odpovídají všem trénovacím obrazům.

Při vyhledávání obrazu se snažíme minimalizovat rozdíl mezi obrazem a vygenerovaným modelem. Nevýhodou této metody je především nutnost správné inicializace modelů.

4 Možnosti segmentace v nástrojích pro úpravu fotografií

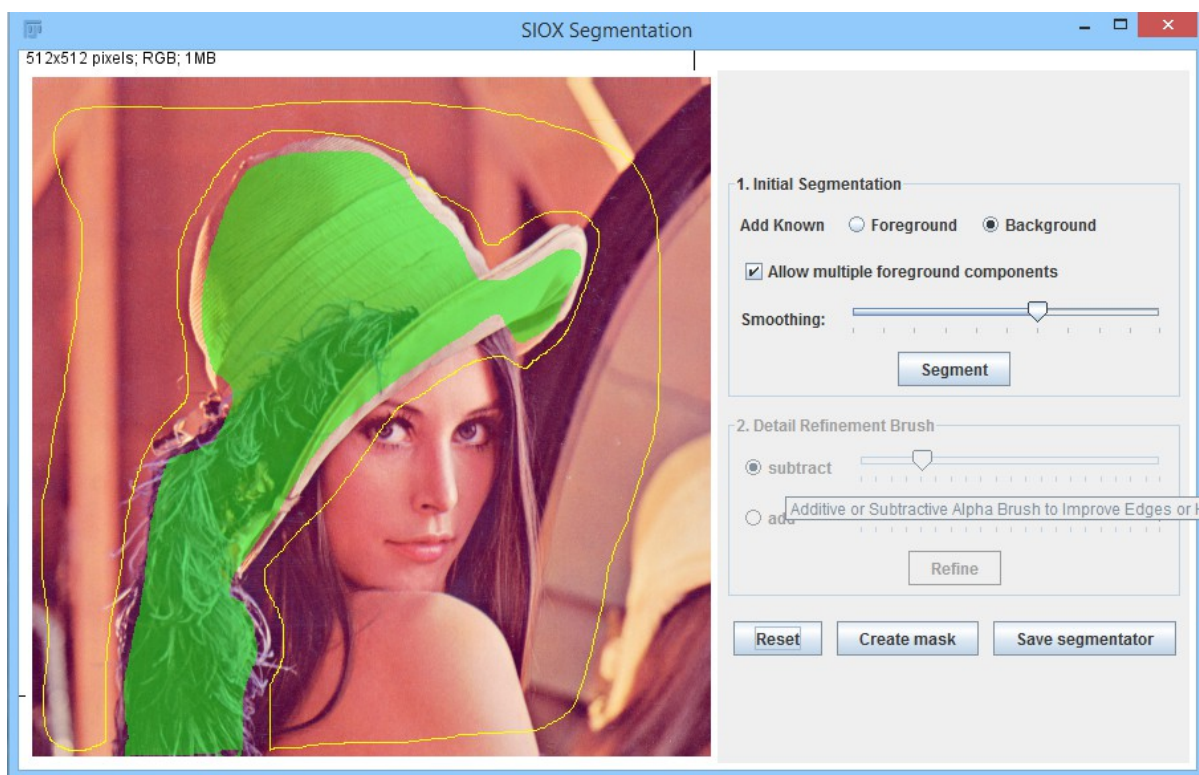
Tato kapitola je zaměřena na existující software, který se nějakým způsobem týká mé práce. Jedná se tedy o segmentační nástroje a o nástroje pro úpravy fotografií. V první podkapitole jsou zmíněny používané aplikace pro úpravu fotografií. V druhé podkapitole jsou ukázky existujícího softwaru, který je zaměřen na segmentaci obecných či medicínských dat. Třetí podkapitola se věnuje knihovnám pro práci s obrazovými daty či přímo se segmentací obrazových dat. Celá kapitola je zaměřena především na bezplatný software.

4.1 Software pro úpravu obrázků

Tato podkapitola je zaměřena na běžně používaný software pro úpravu obrázků a fotek. Zkoumá především jejich nástroje v oblasti fotomontáží. Jedná se o nalezení hranic objektu a jeho vyjmutí z obrazu.

ImageJ (Fiji)

ImageJ je software pro úpravu obrázků postavený na programovacím jazyku Java. Vyvíjí ho National Institutes of Health. Je navržen s otevřenou architekturou, díky tomu může být jednoduše rozšiřován pomocí Java pluginů. Fiji je balíček obsahující množství pluginů postavený na ImageJ. Součástí Fiji je i několik algoritmů pro segmentaci obrazu. Tyto algoritmy lze nalézt v menu **Plugins** → **Segmentation**.



Obr. 4.1: Ukázka segmentace pomocí algoritmu SIOX v programu ImageJ

Jedním z těchto algoritmů je i algoritmus SIOX prezentovaný v kapitole 3. Prvním krokem je vyznačení oblasti pro popředí a volitelně také pro pozadí. Vybíranou oblast lze zvolit přepínačem a poté nakreslit přímo do obrazu. Pokud jsme již zvolil obraz pro druhý vstup, je označen zelenou barvou pro popředí či červenou pro pozadí. Na obrázku 4.1 je zobrazen tento krok algoritmu. Oblast popředí již byla vyznačena a je zvýrazněna zelenou barvou. Oblast pozadí je aktuálně kreslena a je uzavřena žlutou čarou.

Po stisknutí tlačítka Segment proběhne segmentace a zobrazí se její výsledek. Pozadí je ztmaveno. V druhém kroku je možné přidávat či odebírat určité pixely z popředí. Pokud je uživatel spokojen, tlačítkem Create mask vytvoří masku, která odpovídá popředí objektu. Další krokem je aplikace této masky na vstupní obraz. Pomocí příkazu Edit → Selection → Create Mask se uloží získaná maska a použitím klávesové zkratky Shift + E se aplikuje na vstupní obraz. Maska aplikovaná na vstupní obraz u druhé testovací úlohy je zobrazena na obrázku 4.2.



Obr. 4.2: Ukázka použití masky v programu ImageJ

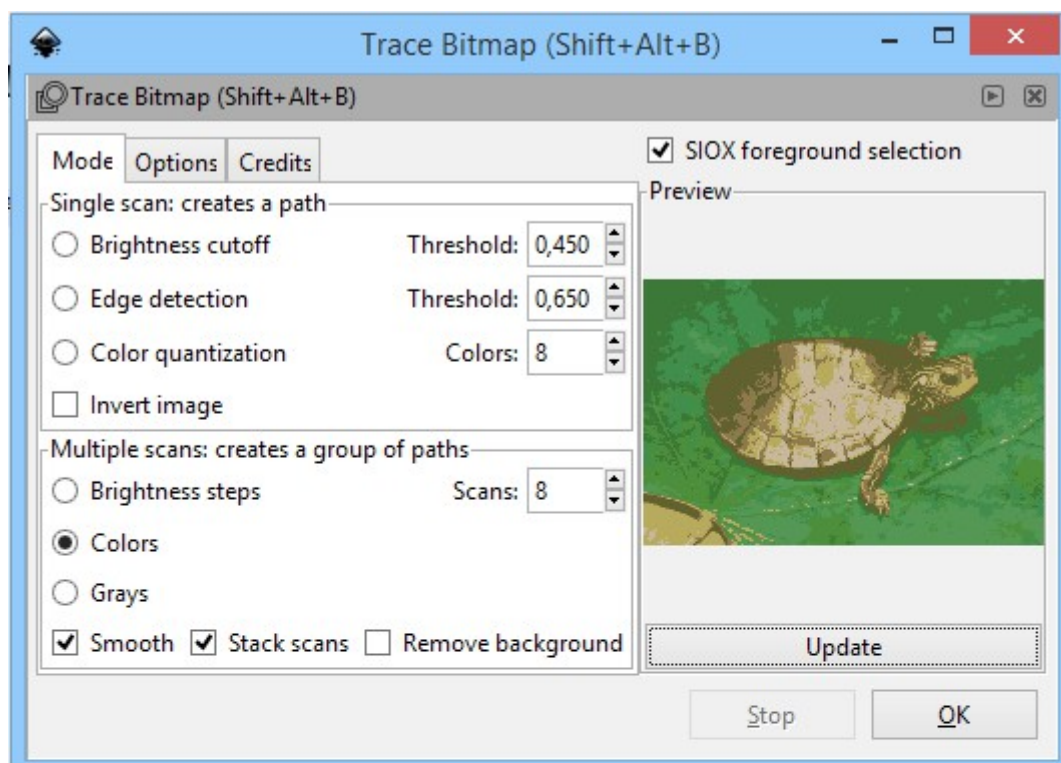
Po aplikaci masky lze tuto masku invertovat pomocí příkazu Edit → Selection → Make Inverse, čímž je vybráno pouze pozadí. V dalším kroku je možné aplikovat příkaz Edit → Fill a vniklý obraz exportovat.

Program podporuje kromě metody SIOX například metody Graph Cut a Level Sets. Vytvoření fotomontáže ve Fiji je poměrně snadné, lze totiž mnoha různými způsoby nalézt hranice objektu a s tímto objektem dále pracovat.

Inkscape

Inkscape je nástrojem pro vektorovou grafiku. Jakou svůj hlavní formát obrazu využívá svg. Jedná se o multiplatformní aplikaci, která je ovšem primárně zaměřená na operační systém Linux. Vznikl v roce 2003 jako sesterský projekt jiného vektorové editoru s názvem Sodipodi.

Vzhledem k tomu, že se jedná o vektorový editor, obraz je uložen jako kolekce objektů. Informace o hranicích těchto objektů máme k dispozici, není tedy třeba provádět segmentaci obrazu. Do programu je ovšem možné vložit i rastrový obrázek a v něm provést funkci trace bitmap, která v tomto obraze nalezne určitý objekt. Ukázka je na obrázku 4.3.



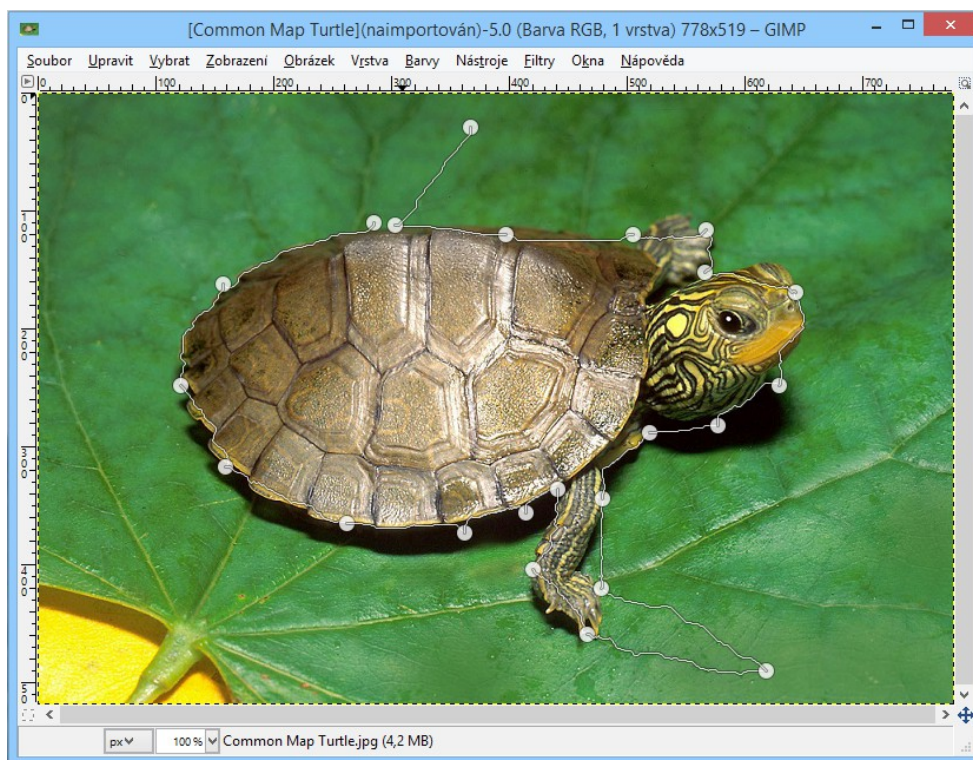
Obr. 4.3: Funkce trace bitmap v programu Inkscape

Tento nástroj rozdělí objekt v cílovém obrazu (v tomto případě celý obraz) dle kritéria zvoleného v dialogu. Jednou z možností je i detekce popředí pomocí algoritmu SIOX. Inkscape se jakožto vektorový editor používá spíše na obrázky než na fotografie. Nicméně vytvořit v něm fotomontáž je možné.

Gimp

Gimp (GNU Image Manipulation Program) je multiplatformní software pro tvorbu a úpravy rastrových obrázků. Podporuje většinu používaných rastrových formátů obrazu a vlastní formát obrazu xcf. Je možné do něj importovat vektorový obraz ve formátu svg či dokument ve formátu pdf. Gimp podporuje ve své základní verzi segmentaci obrazu metodou Livewire (zde pod názvem Intelligent Scissors). Nalézá se v horním menu v oblasti Tools (nástroje) → Selection Tools (nástroje výběru). Klikáním myši v obrázku poté udáváme záchytné body.

Extrakce objektu se skládá z pěti kroků. V prvním kroku uživatel vyznačuje hranici objektu klikáním myši. Poté co poslední bod připojí zpět na první, je možné kliknout na objekt a nalezená hranice se tím potvrdí. Dalším krokem je invertování výběru pomocí funkce Select → Invert. Pokud obraz neobsahuje alfa kanál, lze jej přidat pomocí příkazu Layer → Transparency → Add Alpha Channel. Stisknutím klávesy delete se smaže pozadí a zůstane pouze objekt s průhledným pozadím. Ukázka extrakce objektu v programu Gimp je na obrázku 4.4. Jedná se o stav po prvním kroku, tj. poté, co uživatel vyznačí hranici objektu klikáním myši okolo něj.



Obr. 4.4: Ukázka metody Intelligent Scissors v programu Gimp

Druhým algoritmem implementovaným v Gimpu je algoritmus SIOX, který se skrývá pod soulovím Foreground Select (selekce popředí). Uživatel nejprve vyznačí pozadí snímku, poté objekt. Nabídnou se mu spočítané hranice objektu a po stisknutí klávesy enter může s objektem manipulovat.

V oblasti selection tools jsou i jiné možnosti výběru, ty jsou ovšem triviální a s poloautomatickou segmentací obrazu nemají nic společného (např. výběr obdélníka či výběr všech pixelů dané barvy). Kromě těchto algoritmů, jež se nalézají v Gimpu samotném, existují plugíny například pro metodu graph cut.

Gimp je vhodným programem pro tvorbu fotomontáží, neboť nabízí nástroje pro nalezení hranic objektu i pro další práci s tímto objektem.

Picasa

Picasa je program pro ukládání, sdílení a úpravy fotografií od firmy Google. Dnes je pravděpodobně nejrozšířenějším programem pro práci s fotografiemi. Velkou výhodou je možnost roztřídění fotografií do alb a nahrávání do online galerie.

V oblasti editace fotografií nabízí Picasa méně služeb, než ostatní programy v této podkapitole. Tvorbu fotomontáže nenabízí, nejbližší k ní má tvorba koláže z fotografií, ve které je možné dát jednu fotografii na pozadí a přes ni jiné fotografie. Není však možné z fotografie vyjmout objekt zájmu.

Shrnutí

Možnosti nalezení objektu v jednotlivých zde zmíněných programech jsou shrnuty v následující tabulce.

Název	Možnost segmentace	Metody
ImageJ (Fiji)	Ano	Velké množství různých metod
Inkscape	Ano	SIOX
Gimp	Ano	Intelligent Scissors v základní verzi, další algoritmy pomocí pluginů
Picasa	Ne	

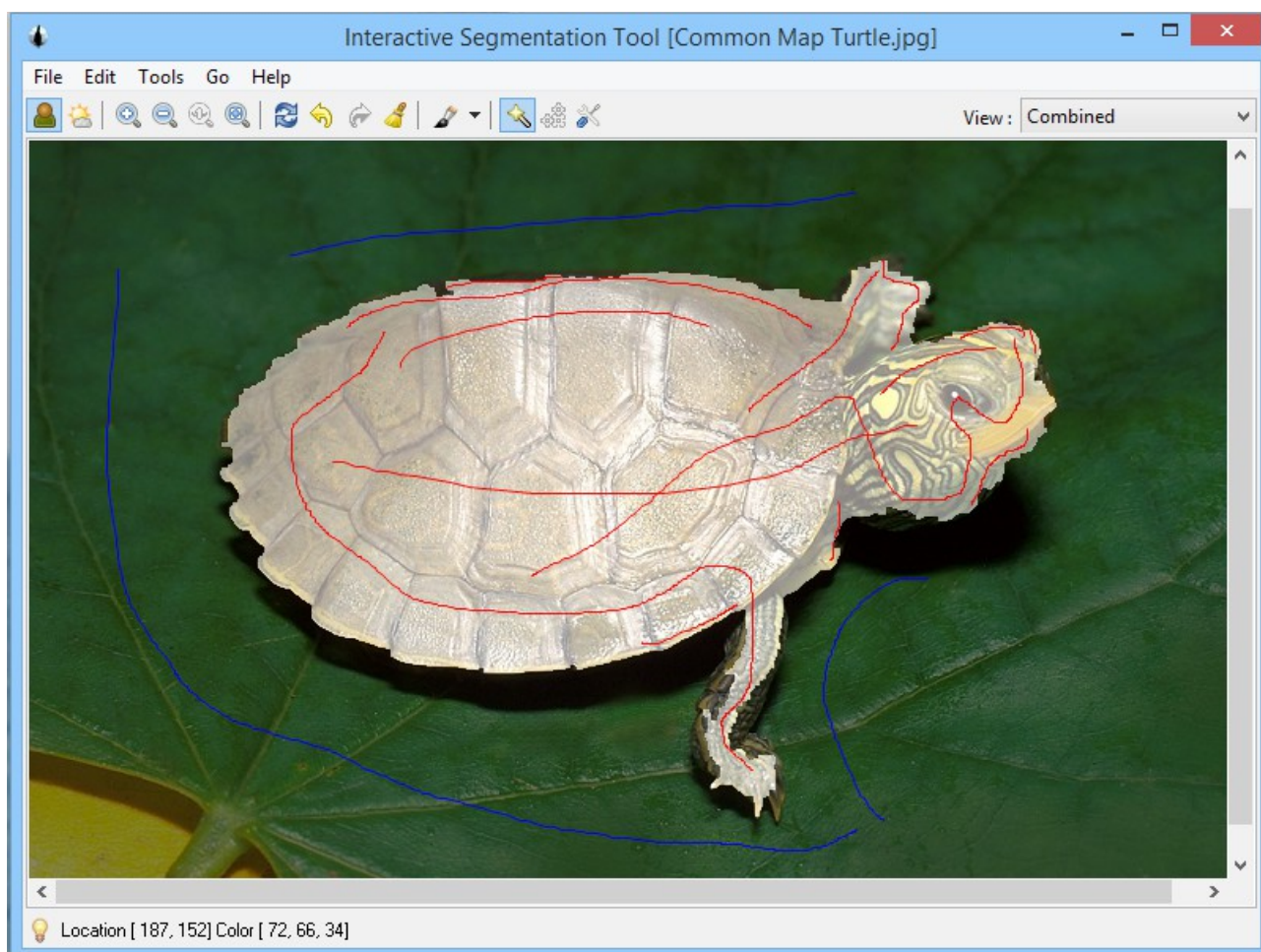
Tabulka 4.1: Shrnutí možností jednotlivých programů v oblasti nalezení hranic objektu.

4.2 Software pro segmentaci obrazu

Tato kapitola je zaměřena na software, jehož hlavní náplní je segmentace obrazu. Podrobněji je zde probrán jeden program na segmentaci obecných dat, zmíněny jsou i dva programy pro práci s medicínskými daty. Ty se mé práce přímo nedotýkají, nicméně právě segmentace medicínských dat je jednou z nejčastějších aplikací segmentace obrazu.

Interactive Segmentation Tool

Tento nástroj vyvinulo Center for Digital Video Processing na Dublin City University [23]. Je zaměřen na extrakci objektů z obecných obrazů. Uživatelské rozhraní je zobrazeno na obrázku 4.5.



Obr. 4.5: Ukázka programu Interactive Segmentation Tool

Na obrázku je ukázán výsledek segmentace pomocí metody graph cut. Červené a modré čáry znázorňují uživatelský vstup, červené objekt, modré pozadí. Segmentace se spouští automaticky po zadání alespoň jednoho vstupu pro objekt a alespoň jednoho vstupu pro pozadí. Pro segmentaci je možné vybrat jednu ze čtyř metod: Binary Partition Tree Segmenter, Seeded Region Growing Segmenter, Interactive Graph Cuts Segmenter či SIOX Segmenter. Program nabízí tři možnosti exportu. První možností je exportovat soubor tak, jak vypadá v programu samotném včetně zesvětleného objektu a zadaného uživatelského vstupu. Druhou možností je export do html obrázkové mapy, kdy po kliknutí na objekt jste přesměrováni na zadanou stránku. Poslední možností je export obrázku do png, přičemž místo pozadí je přítomna průhledná barva. Poslední, ale neméně důležitou možností je volba zobrazení v hlavním okně. Zobrazení combined je vidět na obrázku. Dále je možné zobrazit původní obrázek, pouze objekt, objekt a pozadí s nakreslenou hranicí mezi nimi, samotný uživatelský vstup a segmentační masku.

ITK-SNAP

ITK-Snap je program zaměřený na segmentaci medicínských dat postavený na knihovně ITK. Zaměřuje se především na 3D obrazová data. Z těchto důvodů nepodporuje běžné formáty uložení obrazu, ale pouze formáty zaměřené právě na ukládání 3D medicínských dat, například formát DICOM.

Turtleseg

Turtleseg je software podobný programu ITK-SNAP, je opět zaměřen na segmentaci 3D medicínských dat. Zajímavou součástí programu je tzv. Spotlight, který pomáhá uživateli zvolit správnou rovinu segmentace. Formáty vstupu jsou podobné jako u programu ITK-Snap.

4.3 Knihovny pro práci s obrazovými daty

V této podkapitole jsem se zaměřil na knihovny, které jsou použitelné pro moji práci. Jedná se o knihovny zaměřené obecně na zpracování obrazu i o knihovny zaměřené konkrétně na segmentaci obrazu.

OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) je knihovna zaměřená na zpracování obrazu a počítačové vidění. Knihovnu vyvíjí firma Intel od roku 1999. Je šířena pod licencí BSD a je zadarmo pro akademické i komerční užití. Napsána je v jazyce C/C++, je zaměřena na operace v reálném čase a je optimalizovaná pro vícejádrová zařízení. Kód je přenositelný mezi všemi běžně používanými platformami.

OpenCV je obecně zaměřena knihovna, nabízí tedy velkou variabilitu funkcí z oblasti zpracování obrazu jako například filtraci obrazu, detekci objektu, sledování pohybu ve videu či některé algoritmy strojového učení. Pokud je na zařízení povolena OpenCL, umí pro některé algoritmy využít k rychlejšímu běhu hardwarovou akceleraci. Obsahuje vlastní jednoduché uživatelské rozhraní. Druhou alternativou je možnost využít služeb knihovny QT. Umí pracovat s většinou běžné používaných formátů pro uložení obrazu jako PNG, GIF či JPEG.

Možnosti této knihovny v oblasti segmentace obrazu jsou poměrně velké. Z automatických algoritmů implementuje například prahování, většinu hranových detektorů či metodu rozvodů (Watersheds). Z poloaautomatických metod například metodu GrabCut.

ITK

ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit) je open source multiplatformní knihovna pro zpracování, segmentaci a registraci n-rozměrných dat. Zaměřuje se převážně na medicínská data, dá se však použít i na obecný obraz. Je napsána v jazyce C++ a pro překlad používá program Cmake. Obsahuje rozhraní, které ji umožňuje používat i v jazycích Java a Python. Součástí knihovny není žádné uživatelské rozhraní. Pro vizualizaci dat je možné využít například knihovnu VTK či OpenGL.

Knihovna je rozdělena do modulů. Z pohledu segmentace jsou zajímavé především moduly v Group Segmentation, do které spadají moduly pro jednotlivé segmentační metody. ITK obsahuje mimo jiné moduly pro metodu Level sets, metodu rozvodí (Watersheds) či metodu růstu regionů (Region Growing).

5 Návrh nástroje pro tvorbu fotomontáží

Tato kapitola je zaměřena na návrh nástroje pro jednoduchou tvorbu fotomontáží, který bude využívat poloautomatickou segmentaci obrazu k nalezení hranic objektu. Druhým krokem bude přesunutí tohoto objektu na jinou fotografii a uložení výsledného obrazu. Aplikace bude umožňovat rychlé nalezení hranic objektů pomocí metody GrabCut a základní ruční anotace. Segmentované objekty bude možné snadno exportovat do jiných programů nebo rovnou vytvořit jednoduchou fotomontáž přímo v aplikaci samotné.

5.1 Obecné cíle kladené na aplikaci

V této kapitole jsou definovány cíle aplikace takové, aby aplikace měla šanci zaujmout uživatele a zároveň plnila zadaný účel.

- Cílem je aplikace pro snadnou segmentaci objektů ve fotografiích, kde automatické nástroje většinou selhávají.
- Umožní základní tvorbu fotomontáží intuitivním způsobem i začínajícím uživatelům.
- Umožní export extrahovaného objektu či celé fotomontáže do profesionálních nástrojů.

Cílový uživatel

Aplikace předpokládá, že cílový uživatel bude běžný člověk se znalostí práce v běžně používaných aplikacích (internetové prohlížeče, textové editory). Pro aplikaci je tedy významné zejména intuitivní a jednoduché uživatelské rozhraní, které se nebude příliš lišit od programů, se kterými je takovýto uživatel zvyklý pracovat. Aplikace by neměla uživatele nutit do rozhodnutí, kterým nerozumí (např. případná volba segmentační metody by měla být určena jinak, než názvem metody). Někteří uživatelé však mohou určité znalosti z této oblasti mít a aplikace by neměla před těmito uživateli nic skrývat.

Základní funkce aplikace

V tomto seznamu se vyskytují základní funkce aplikace, které jsou pro ni důležité a bez nichž nemá moc smysl. Tyto cíle by měly být splněny na 100%.

- Cílem aplikace je vytvořit fotomontáž ze dvou fotografií. Z jedné fotografie bude vyňat objekt a poté bude přesunut do druhé fotografie.
- K nalezení hranic bude využívat metodu poloautomatické segmentace GrabCut.
- Nalezenou hranici bude možné upravovat pomocí dalších uživatelských vstupů.
- Bude možné měnit polohu objektu v druhé fotografii, do které bude vložen.
- Možnost exportu výsledné fotomontáže.
- Podpora většiny běžných formátů obrazu při importu i exportu.
- Multiplatformní aplikace, podpora minimálně operačních systémů Windows a Linux.
- Intuitivní a jednoduché uživatelské rozhraní.

Rozšiřující funkce aplikace

Tento seznam obsahuje funkce, jejichž implementace by učinila program pro uživatele zajímavějším, ale není nutná pro základní funkčnost programu.

- Implementace více metod poloautomatické segmentace.
- Manuální volba metody segmentace uživatelem.
- Automatická volba metody dle vstupních obrazových dat.

- Nápopvěda uživateli, kterou metodu by měl zvolit.
- Bude možné vyexportovat samotnou fotomontáž nebo pouze objekt s průhledným pozadím.
- Zjištění možností a případné využití hardwarové akcelerace segmentace pomocí OpenCL.
- Možnost úprav objektu (např. zkosení či rotace).
- Možnost vložení více objektů do jedné fotografie.
- Možnost zoomování fotografie.
- Podpora pro clipboard (klávesové zkratky ctrl+c a ctrl+v).
- Možnost upravovat fotomontáž, pak vytvořit jinou a poté se opět vrátit k úpravám původní fotomontáže.

5.2 Výběr technologií

Segmentační metoda: Jako segmentační metoda byla zvolena metoda GrabCut. Metody postavené na grafech jsou vhodné pro segmentaci obecných obrazů. Metoda GrabCut je postavena na metodě Graph Cut a oproti ní přináší lepší výsledky [7]. V knihovně OpenCV je navíc tato metoda implementována. Je však možné, že ve finálním programu bude metod více a uživatel si bude moci metodu segmentace zvolit.

Programovací jazyk: Jako programovací jazyk pro aplikaci byl zvolen jazyk C/C++. Hlavním důvodem pro toto rozhodnutí byl fakt, že obě knihovny, o kterých jsem se zmiňoval v kapitole 4 (OpenCV, ITK), jsou postaveny právě na tomto jazyku. Dalšími jazyky, které potenciálně připadají v úvahu, jsou jazyky Python, Java nebo C#.

Knihovna pro zpracování obrazu a segmentaci: Zvolenou knihovnou je OpenCV. Mezi její výhody patří to, že nabízí celou škálu funkcí z celé oblasti zpracování obrazu. Na druhou stranu také obsahuje metody zaměřené přímo na segmentaci. Nemalou roli hrálo i to, že se základy práce s OpenCV jsem již seznámil. Oproti tomu knihovna ITK je zaměřena pouze na segmentaci, bylo by tudíž nutné využít jinou knihovnu (například VTK) pro práci s obrazovými daty samotnými. Je specializovaná na medicínská data, což ovšem mému projektu žádnou výhodu nepřináší.

Knihovna pro grafické uživatelské rozhraní: Na tomto místě byla zvolena knihovna QT. Knihovna QT dobře spolupracuje s knihovnou OpenCV, její součástí je i kvalitní IDE QtCreator. S touto knihovnou navíc mám kladnou zkušenost.

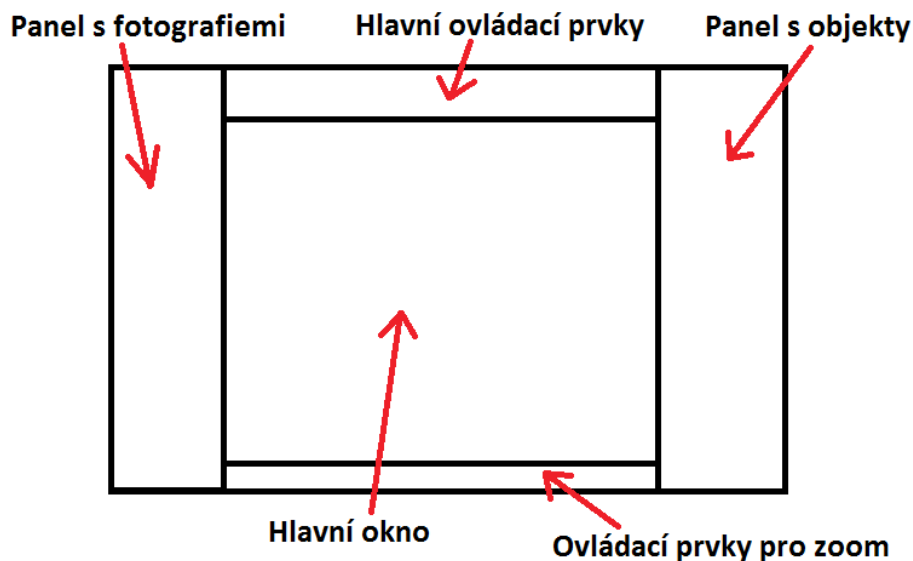
5.3 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní aplikace je jednou z nejdůležitějších částí návrhu, neboť z velké části rozhodne o úspěchu či neúspěchu aplikace u uživatele. Důležité jsou tyto aspekty:

- Aplikace musí uživateli připadat na pohled hezká.
- Aplikace musí mít intuitivní ovládání. Pokud uživatel hledá nějakou funkci, měla by být na místě, kde ji bude hledat.
- Aplikace musí obsahovat srozumitelnou a dobře strukturovanou nápovědu.

Rozdělení hlavních ovládacích prvků

Rozdělení hlavních ovládacích prvků je zobrazeno na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: Rozdělení hlavních ovládacích prvků aplikace.

Aplikace bude rozdělena na pět hlavních ovládacích prvků. Na levé straně bude obsahovat panel s fotografiemi, na pravé straně pak panel s objekty. Většina ovládacích prvků bude v horní části grafického rozhraní, prvky pro zoomování fotografie ve spodní části. Uprostřed bude upravovaná fotomontáž.

Panel s fotografiemi

Tento panel bude obsahovat list zdrojových fotografií a fotomontáží. Bude obsahovat prvky pro načtení fotografie ze souboru a uložení fotomontáže do souboru. Dále bude možné zvolit aktivní fotografii či fotomontáž, která se zobrazí v hlavním okně aplikace.

Panel s objekty

Tento panel bude obsahovat list objektů, které bude moci uživatel vložit do fotomontáže. Bude obsahovat prvky pro načtení objektu ze souboru a jeho uložení do souboru. Objekt lze získat buď načtením ze souboru nebo extrakcí z fotografie. V aplikaci bude možnost zvolit aktivní objekt, který se bude vkládat do fotomontáže.

Ovládací prvky

Tento panel bude obsahovat prvky, které budou ovlivňovat chování hlavní okna. Především bude obsahovat prvek pro změnu mezi módem extrakce a módem vkládání (více popsáno v sekci hlavní okno). V případě módu extrakce budou aktivní prvky pro změnu uživatelského vstupu metod (např. U metody GrabCut volba mezi obdélníkem, popředím či pozadím) či výběr z metod samotných, pokud bude implementováno více metod segmentace. Dalším nezbytným prvkem je potvrzení segmentovaného objektu a jeho vložení do listu objektů.

V případě módu vkládání bude panel obsahovat prvek na potvrzení fotomontáže, který vloží aktuální fotomontáž do listu fotomontáží. Dále bude obsahovat prvek pro zobrazení bounding boxů vkládaných objektů.

Ve spodní části aplikace se budou nacházet tlačítka pro zoomování fotografie v hlavním okně. V případě, že fotografie bude mít větší rozměry než hlavní okno, přidají se k hlavnímu oknu horizontální a vertikální posuvník.

Hlavní okno

Hlavní okno aplikace bude obsahovat vždy jednu fotografii či fotomontáž. Bude ovládáno ovládacími prvky zmíněnými v sekci ovládací prvky.

V módu extrakce bude mít uživatel možnost pomocí myši anotovat ve fotografii objekt, který chce extrahovat. Druh uživatelského vstupu bude ovládán pomocí ovládacích prvků, stisknutím, tažením a puštěním myši se určí jeho poloha. Vstupy budou zakresleny do fotografie a různé druhy vstupů budou barevně odlišeny. Po zanesení uživatelského vstupu dostačujícího pro běh metody segmentace automaticky tato metoda proběhne. V okně se poté zobrazí fotografie s odlišeným objektem od pozadí (například tmavší pozadí). Uživatel bude moci přidat další vstupy. Až bude spokojen, bude moci segmentaci potvrdit ovládacím prvkem.

V módu vkládání bude možné pomocí myši a případně i klávesových zkratk vkládat objekty na různé pozice. Jeden objekt bude aktivní, ten bude možné upravovat. V případě, že žádný objekt aktivní nebude, jedná se o vložení nového objektu. Bude možné zvolit aktivní objekt a s tím dále manipulovat. U aktivního objektu bude možné měnit polohu a případně další vlastnosti (např. Změna měřítka). Všechny tyto úkony bude možné provádět přímo v hlavním okně. Bude možné smazat aktivní objekt.

5.4 Shrnutí

Hlavním přínosem této aplikace pro uživatele oproti aplikacím v kapitole 4 by měla být jednoduchost tvorby fotomontáže. V ostatních aplikacích je tento úkol buď nemožný nebo musí uživatel provést několik kroků. Druhým přínosem by měla být segmentace pomocí metody GrabCut, která by pomocí velmi jednoduché interakce s uživatelem měla přinést velmi dobré výsledky.

Mezi nevýhody aplikace může patřit její zaměření na jeden účel a nemožnost dalších úprav. Uživatel by mohl chtít provést nad objektem některou složitější operaci (například warping), kterou aplikace neumožňuje, a až poté objekt vložit do druhé fotografie. Tento úkol vyžaduje extrahovat objekt, poté jej exportovat do jiné aplikace, kde bude provedena operace, poté importovat zpět do aplikace a na závěr vložit do fotomontáže. Tento postup již vyžaduje hodně kroků a je poměrně složitý.

6 Implementace

Tato kapitola se zabývá implementací aplikace. První podkapitola se zabývá strukturou aplikace, popisem tříd, vztahy mezi nimi apod. Druhá podkapitola stručně popisuje rozhraní funkce GrabCut v OpenCV a použití této funkce v aplikaci.

6.1 Struktura aplikace

Aplikace je implementována v jazyce C++. Skládá se z pěti tříd. Každá třída se skládá ze dvou souborů. Hlavičkový soubor obsahuje základní informace o třídě, její závislosti, seznam metod a atributů. Zdrojový soubor obsahuje definice jednotlivých metod. Knihovna QT umožňuje definovat u některých tříd ještě soubor s příponou ui, ve kterém je definováno grafické uživatelské rozhraní této třídy. Tato možnost byla využita u třídy MainWindow. Diagram tříd aplikace je zobrazen na obrázku 6.1. Diagram neobsahuje všechny metody, pouze ty důležité. Dále následuje stručný popis jednotlivých tříd. Přesnější popis jednotlivých metod a atributů lze nalézt v komentářích zdrojového kódu.

MainWindow

Třída MainWindow je hlavní třídou celé aplikace. Jedná se o rozšíření třídy QMainWindow knihovny QT. Hlavním úkolem této třídy je interakce s uživatelem. Obsahuje listenery tlačítek grafického uživatelského rozhraní či klávesových zkratk. Dále je v ní implementována práce se seznamy fotomontáží a objektů a práce se soubory (otevírání a ukládání).

DrawableLabel

Třída DrawableLabel reprezentuje hlavní okno aplikace. Rozšiřuje třídu QLabel. Poskytuje ostatním třídám informace o uživatelských vstupech v této oblasti. Nastavuje parametry třídy Segmenter v segmentačním módu a parametry třídy Photomontage v módu vkládání objektu do fotografie. Odchytává události myši a volá příslušné metody dalších tříd.

Photomontage

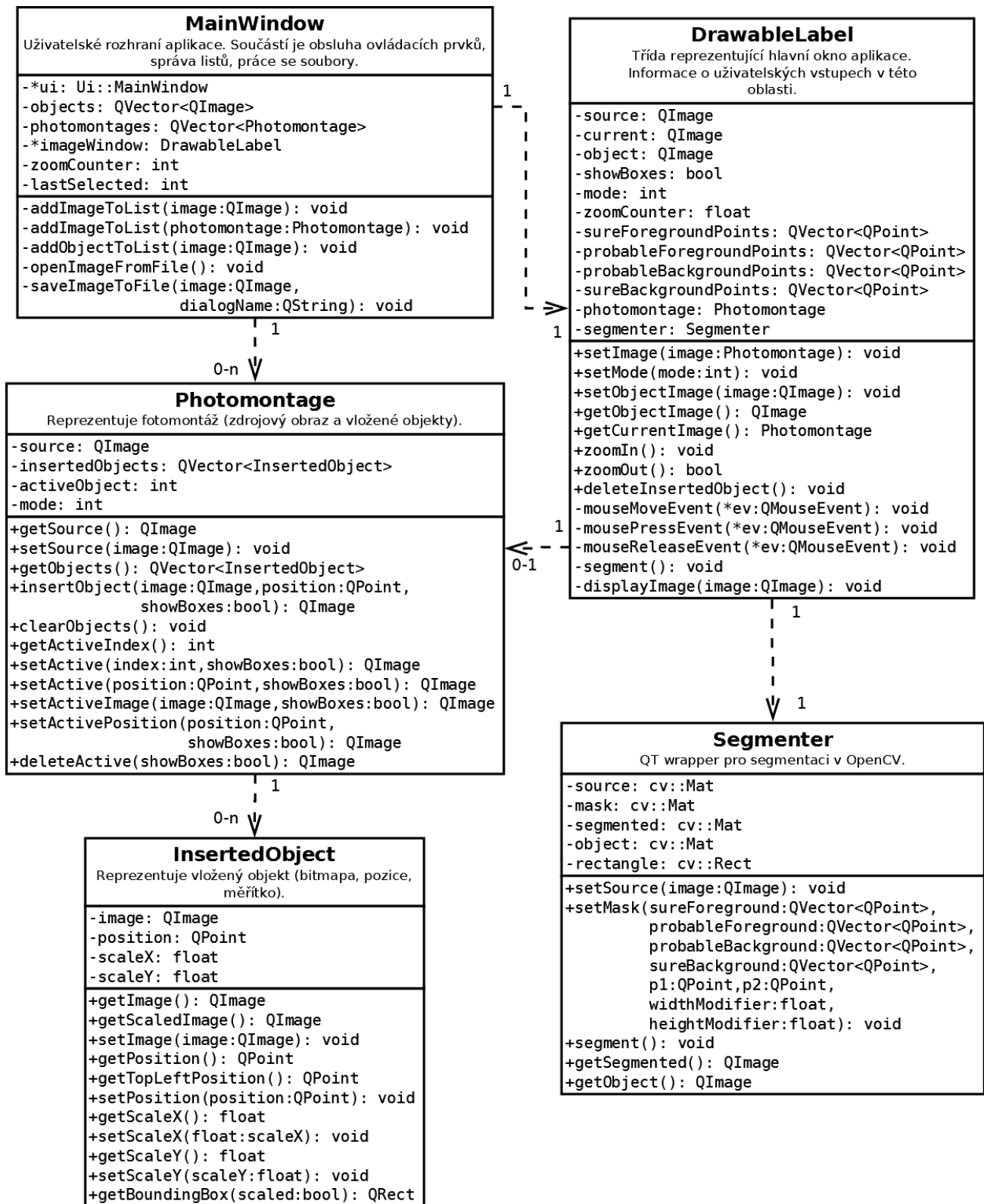
Třída Photomontage je obrazem pro fotomontáž. Skládá se ze zdrojového obrazu na pozadí a do něj vložených objektů na určitých pozicích. Obsahuje metody pro manipulaci s objekty (např. vkládání, rušení či změna pozice či změna měřítka). Po změně překreslí fotomontáž a vrátí zpět nový obraz. Jeden vkládaný objekt je aktivní, s tím třída manipuluje.

InsertedObject

Třída InsertedObject symbolizuje objekt vložený do fotomontáže. Obsahuje metody pro manipulaci s tímto objektem (změnu jeho atributů).

Segmenter

Třída Segmenter provádí segmentaci obrazu. Jedná se o jedinou třídu, která využívá knihovnu OpenCV. Obsahuje funkce, které ovlivňují parametry segmentace (vstupní a výstupní obraz, uživatelské vstupy). Argumenty těchto funkcí jsou objekty z knihovny QT, neboť jsou volány z jiných tříd, ve kterých OpenCV není přítomna. V těchto funkcích se převádí obrazy z objektu QImage na cv::Mat. Kromě těchto metod obsahuje ještě metodu pro samotný běh segmentace metodou GrabCut.



Obr. 6.1: Diagram tříd aplikace.

6.2 Algoritmus GrabCut v knihovně openCV

Pro segmentaci byla využita již existující implementace algoritmu GrabCut v knihovně OpenCV. Funkce GrabCut má 6 argumentů:

- InputArray img: Vstupní osmibitový obraz složený ze tří kanálů.
- InputOutputArray mask: Vstupní / výstupní osmibitová maska složená z jednoho kanálu. V této masce jsou na vstupu uživatelské vstupy, na výstupu pak výsledné rozdělení na popředí a pozadí. Pixel masky mohou nabývat jedné ze čtyř hodnot:
 - cv2.GC_BGD – Odpovídá hodnotě 0. Jedná se o tzv. sure background, tedy hodnoty, které na vstupu uživatel označil jako pozadí. Touto hodnotou jsou označeny i body mimo obdélník, pokud inicializujeme pomocí obdélníku i masky zároveň. Hodnota těchto bodů se nemění (při nekonečném počtu iterací budou mít vždy tuto hodnotu).
 - cv2.GC_FGD – Odpovídá hodnotě 1. Touto hodnotou jsou označeny tzv. sure foreground pixely, to jsou ty, které uživatel označí jako popředí. Stejně jako u cv2.GC_BGD se hodnota těchto bodů nemění.
 - cv2.GC_PR_BGD – Odpovídá hodnotě 2. Jedná se o tzv. propable background pixely. Na počátku jsou touto hodnotou označeny ty pixely, které uživatel označí jako pravděpodobné pozadí. Hodnota těchto pixelů se může měnit.
 - cv2.GC_PR_FGD – Odpovídá hodnotě 3. Body označené touto hodnotou jsou tzv. propable foreground. Na počátku se jedná o body, které uživatel označí jako pravděpodobné popředí. V případě inicializace pomocí masky a obdélníku mají navíc tuto hodnotu všechny body uvnitř obdélníků, které nemají hodnotu jinou. Hodnota se může měnit.
- Rect rect: Jedná se o obdélník, který ohraničuje oblast zájmu, v níž leží segmentovaný objekt. Objekt by měl celý ležet v obdélníku, neboť vše vně obdélníku je považováno automaticky za pozadí. Argument se používá v případě módu inicializace obdélníkem.
- InputOutputArray bgdModel: Toto pole používá algoritmus vnitřně pro model pozadí. Je potřeba je vytvořit a nemodifikovat v průběhu běhu algoritmu.
- InputOutputArray fgdModel: Toto pole používá algoritmus vnitřně pro model popředí. Platí pro něj to stejné jako pro předchozí argument.
- Int iterCount: Počet iterací algoritmu před vrácením výsledku.
- Int mode: Může nabývat tří hodnot. Hodnota GC_INIT_WITH_RECT inicializuje algoritmus obdélníkem, hodnota GC_INIT_WITH_MASK maskou a hodnota GC_EVAL pouze vrátí výsledek.

Použití algoritmu v aplikaci

- Inicializace masky. Nejprve všechny body masky obsahují hodnotu cv2.GC_BGD kromě pixelů uvnitř obdélníka, které obsahují hodnoty cv2.GC_PR_FGD.
- Do masky se zapíše veškeré uživatelské vstupy.
- Proběhne algoritmus samotný.
- Hodnoty cv2.GC_FGD a cv2.GC_PR_FGD jsou určeny jako popředí, hodnoty cv2.GC_BGD a cv2.GC_PR_BGD jako pozadí.
- Maska je poté aplikována na vstupní obraz. V místech pozadí jsou pixely nahrazeny transparentní barvou, v místech popředí zůstávají původní pixely.

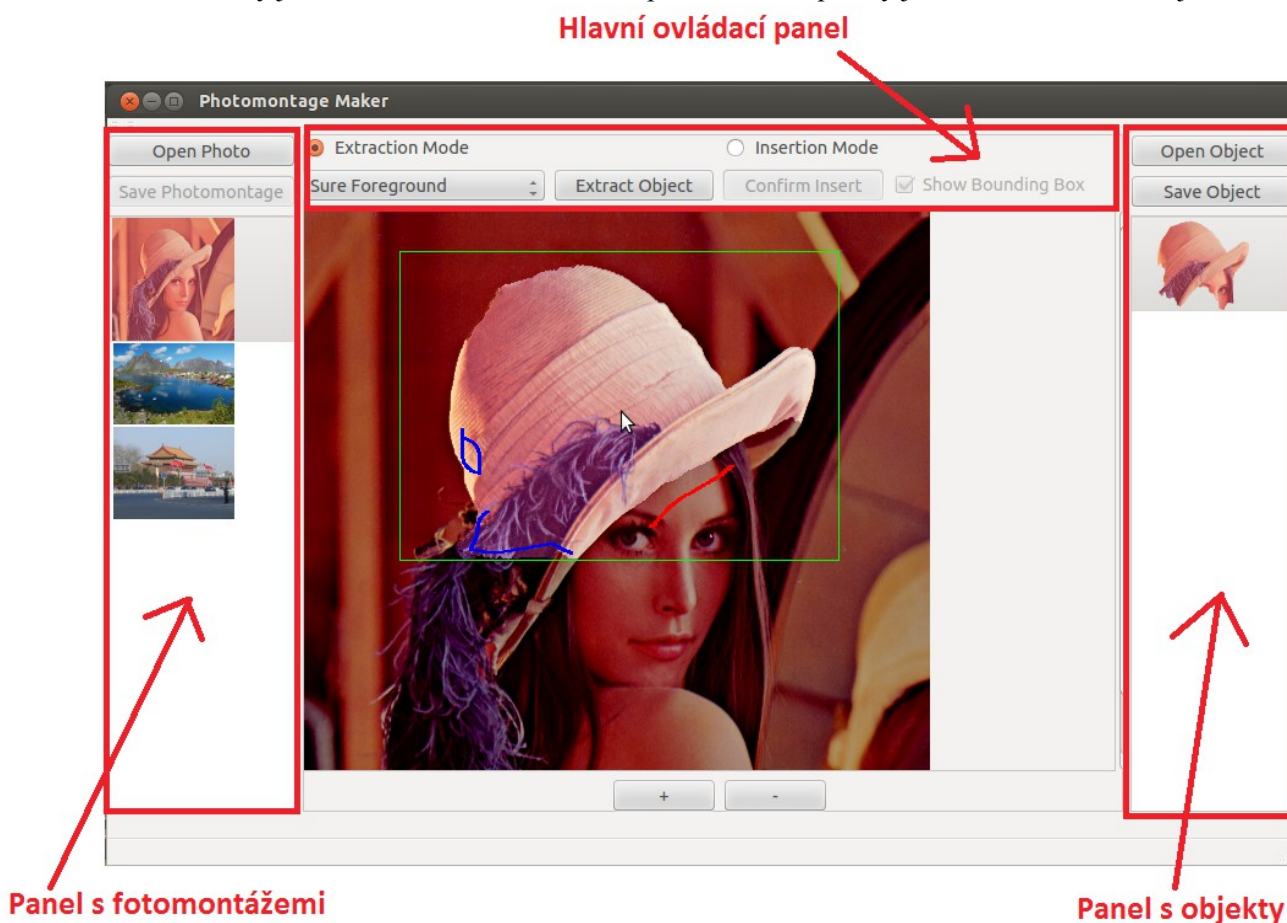
7 Výsledky a testování

V první podkapitole je prezentována výsledná aplikace a vysvětleny základní rysy jejího chování. Druhá podkapitola se zabývá srovnáním aplikace s jinými programy na úpravu obrázků a jejich možnostmi v oblasti tvorby fotomontáží. Ve třetí podkapitole je prezentováno testování aplikace mezi uživateli. Poslední podkapitola se zabývá zhodnocením stanovených cílů.

7.1 Výsledky

Výsledkem mé diplomové práce je aplikace pro tvorbu fotomontáží. Samotný proces se skládá ze dvou kroků. Prvním krokem je extrakce objektu z fotografie, druhým pak vložení objektu do fotografie. Cílem této podkapitoly je stručná prezentace aplikace. Přesnější popis ovládání lze nalézt v dodatku uživatelská příručka.

Grafické uživatelské rozhraní je zobrazeno na obrázku 7.1. Skládá se z pěti částí. Po stranách se nalézají panel s fotografiemi a panel s objekty. V horní části hlavní ovládací panel, v prostřední hlavní okno a ve spodní ovládací prvky pro zoomování hlavního okna. Aplikace pracuje ve dvou různých módech, módu extrakce objektu z obrazu a módu vkládání objektu do fotomontáže. Přepínat mezi těmito módy je možné v hlavním ovládacím panelu. Boční panely jsou v obou módech stejné.



Obr. 7.1: Ukázka grafického uživatelského rozhraní v módu extrakce.

Jak je z obrázku patrné, panel s fotomontážemi je umístěn vlevo a panel s objekty vpravo. Tyto panely se skládají vždy z tlačítek pro práci se soubory a ze seznamu příslušných obrázků. Je tedy možné načíst více fotografií a extrahovat více objektů a s nimi nadále pracovat. Panel pro zoomování obsahuje tlačítka pro přiblížení a oddálení fotografie v hlavním oknu.

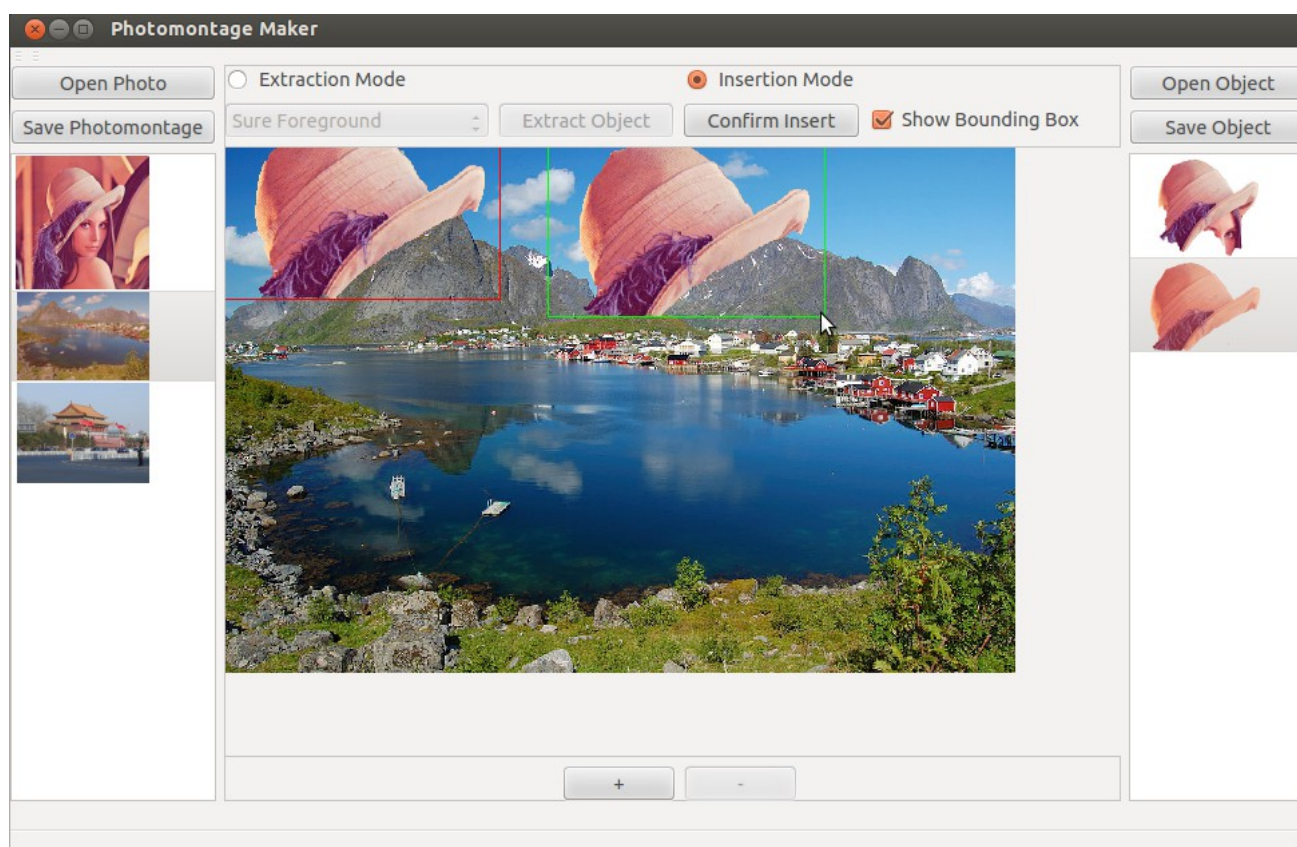
Mód extrakce

Cílem módu extrakce je nalézt přesné hranice objektu. V tomto módu je možné zvolit druh uživatelského vstupu (obdélník, popředí, pozadí) a poté tento vstup zanést do vstupní fotografie. Uživatelské vstupy se zakreslují přímo do fotografie. Po zanesení vstupu proběhne segmentace. Pozadí je ve fotografii ztmaveno. Pokud je uživatel spokojen, může segmentaci potvrdit a segmentovaný objekt se přidá do seznamu objektů.

Mód vkládání

Aplikace ve vkládacím módu je zobrazena na obrázku 7.2. Cílem tohoto módu je vložení objektu do fotografie. Objektů je možné vložit do jedné fotografie více. Jeden objekt může být označen jako aktivní. S tímto objektem uživatel pracuje. Je možné nemít označen jako aktivní žádný objekt, stejně tak objekt nový (tj. Vložení nového objektu). U aktivního objektu může uživatel měnit jeho polohu, velikost a obrázek (ze seznamu objektů), případně tento objekt smazat.

Aplikace obsahuje ovládací prvky pro zobrazení hranic objektů. Výhodou je jednodušší změna velikosti objektu a jednodušší označení aktivního objektu. Naopak pokud hranice zobrazeny nejsou, uživatel vidí pouze výslednou výslednou fotomontáž. Pokud je uživatel s fotomontáží spokojen, může ji potvrdit a tím se přidá do seznamu fotomontáží. K úpravám fotomontáže se lze kdykoliv vrátit.



Obr. 7.2: Ukázka grafického uživatelského rozhraní aplikace v módu vkládání.

7.2 Porovnání aplikace s jinými

Tato podkapitola pojednává o porovnání výsledku segmentace a jednoduchosti tvorby fotomontáže s jinými aplikacemi, které se zaměřují na úpravu obrázků. Je zaměřena především na první část, tj. extrakci objektu z fotografie.

Testovací sada

Pro účely testování bylo zvoleno několik úloh, které byly provedeny v jednotlivých aplikacích. Tyto úlohy byly provedeny na dvou obrazech, které jsou zobrazeny na obrázku 7.3.



Obr. 7.3: Testovací sada.

Zadání úloh

Úlohou bylo nalézt co nejlépe hranici zadaných objektů z testovací sady. Objekty byly tyto:

- Klobouk z prvního obrázku testovací sady
- Dopravní značka z druhého obrázku testovací sady
- Policista z druhého obrázku testovací sady

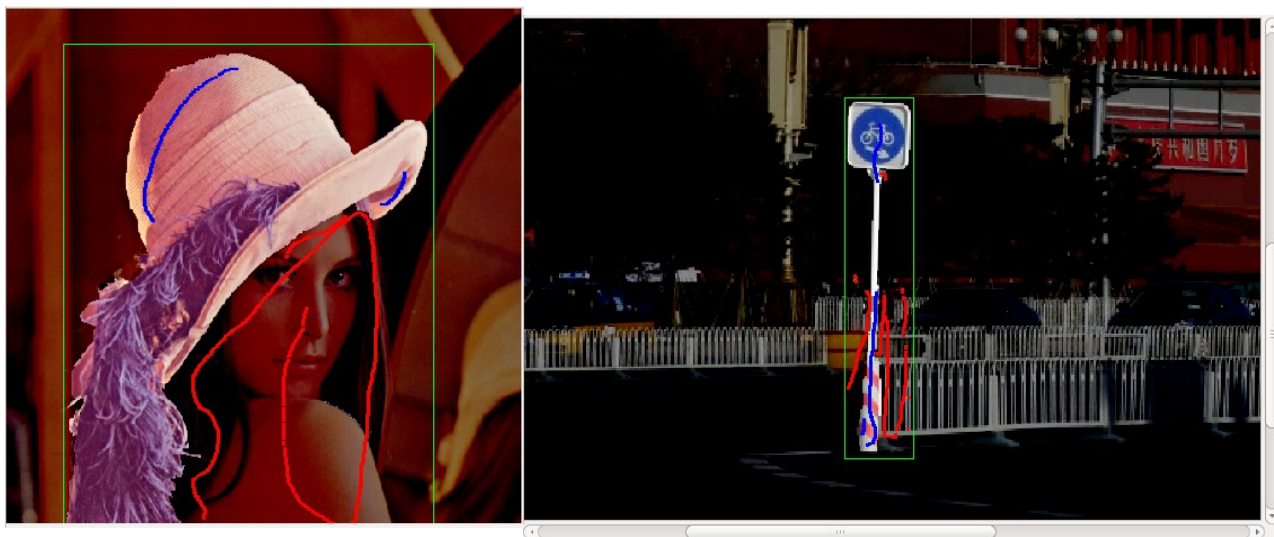
Testované nástroje

Moje aplikace byla porovnána s celkem třemi nástroji, které byly prezentovány v kapitole 4. Postup extrakce objektu z obrazu v těchto aplikacích je součástí kapitoly 4. Jedná se o tyto aplikace a funkce:

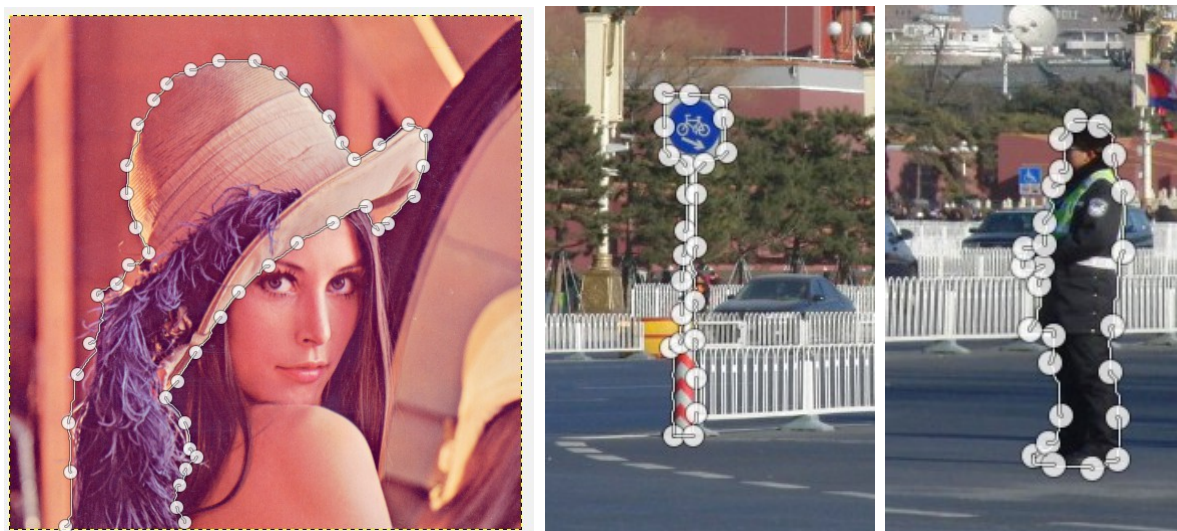
- Funkce Intelligent Scissors v aplikaci Gimp
- Funkce SIOX v aplikaci Fiji
- Funkce Graph Cut v aplikaci Interactive Segmentation Tool

Postup práce

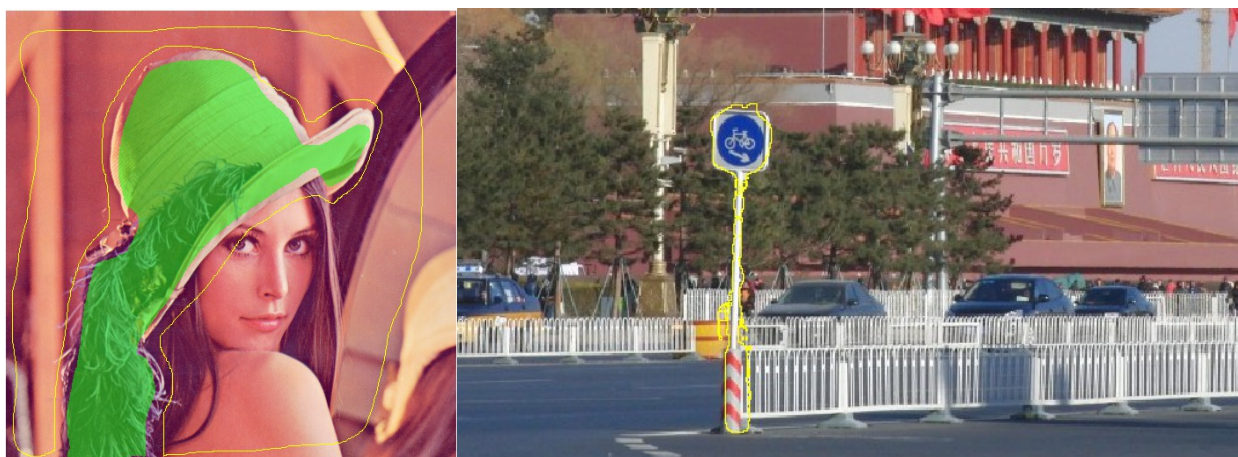
Na obrázcích 7.4 – 7.7 jsou pro ilustraci znázorněny uživatelské vstupy v různých srovnávaných aplikacích pro různé úlohy. Případné další vysvětlení je součástí kapitoly 4.



Obr. 7.4: Uživatelské vstupy pro první a druhou testovací úlohu v mé aplikaci.



Obr. 7.5: Uživatelské vstupy pro všechny testovací úlohy v aplikaci Gimp.



Obr. 7.6: Uživatelské vstupy první a druhé testovací úlohy v aplikaci Fiji.



Obr. 7.7: Uživatelské vstupy pro všechny testovací úlohy v aplikaci *Interactive Segmentation Tool*.

Výsledky testů

Z předchozí sekce a z popisu postupů v kapitole 4 vyplývá, že postup extrakce objektu z obrazu bývá jednodušší u konkrétněji zaměřených aplikací (moje aplikace, *Interactive Segmentation Tool*) než u obecně zaměřených aplikací (*Gimp*, *Fiji*).

Z hlediska tvorby fotomontáže je výhodou mé aplikace oproti aplikaci *Interactive Segmentation Tool* možnost extrahovaný objekt vložit do jiné fotografie. *Interactive Segmentation Tool* ovšem poskytuje export do průhledného png obrázku, tudíž lze objekt do fotografie snadno vložit v jiné aplikaci. Výhodou mé aplikace může být i to, že automaticky objekt ořezává, rozměry extrahovaného obrazu jsou tudíž menší.

Srovnání výsledků testovací úlohy policista je na obrázcích 7.8 a 7.9. Na obrázku 7.8 je celý policista. Moje aplikace a aplikace *Interactive Segmentation Tool* se chovají velmi podobně. Oproti tomu aplikace *Gimp* a *Fiji* sice lépe vyhodnotili oblast bot, selhávají však v okolí hlavy. Zobrazení hlavy z blízka je na obrázku 7.9. Zde přidávají aplikace *Gimp* a *Fiji* několik pixelů z pozadí, naopak policistovi chybí nos.



Obr 7.8: Srovnání výsledků třetí testovací úlohy. Zleva výsledky mé aplikace, aplikace *Gimp*, aplikace *Fiji*, aplikace *Interactive Segmentation Tool*.



Obr. 7.9: Detail hlavy třetí testovací úlohy. Vlevo nahoře výstup mé aplikace, vpravo nahoře výstup aplikace Gimp, vlevo dole výstup aplikace Fiji, vpravo dole výstup aplikace Interactive Segmentation Tool.

Na obrázcích 7.10 a 7.11 je srovnání extrakce klobouku. Detail na obrázku 7.10 ukazuje kvalitu extrahovaných hran. Aplikace Fiji i Gimp přidávají některé pixely z pozadí. U aplikace Interactive Segmentation Tool je výsledek podobný jako u mé aplikace, výsledná hranice je však mírně zubatější. Na obrázku 7.11 je celkové srovnání klobouku. Nejlépe si s výsledkem poradila nejspíše aplikace Interactive Segmentation Tool v závěsu s mou aplikací. Ta má problémy především ve fialové části klobouku. Na obrázku 7.12 je pak zobrazena testovací úloha s dopravní značkou.



Obr. 7.10: Srovnání nalezené hranice první testovací úlohy. Zleva výsledky mé aplikace, aplikace Gimp, aplikace Fiji, aplikace Interactive Segmentation Tool.



Obr. 7.11: Srovnání výsledků první testovací úlohy. Vlevo nahoře výstup mojí aplikace, vpravo nahoře výstup aplikace Gimp, vlevo dole výstup aplikace Fiji, vpravo dole výstup aplikace Interactive Segmentation Tool.



Obr 7.12: Srovnání výsledků druhé testovací úlohy. Zleva výsledky mé aplikace, aplikace Gimp, aplikace Fiji, aplikace Interactive Segmentation Tool.

7.3 Testování na uživateli

Druhým způsobem testování aplikace bylo představení aplikace uživatelům, po kterém si mohli s aplikací zkusit pracovat a poté vyplnili krátký dotazník. Toto testování mělo dva hlavní cíle. Tím prvním bylo zjistit celkový vztah uživatelů k aplikaci, druhým pak zjištění potřebnosti jednotlivých funkcí aplikace.

Definice testů

Test probíhal osobním pohovorem s uživatelem. V prvním kroku mu byla aplikace představena, vysvětlen její účel a ukázána práce s ní. Ve druhém kroku si uživatel vyzkoušel práci s aplikací sám, tj. Pokusil se vytvořit fotomontáž ze dvou fotografií dle svého vkusu. V posledním kroku vyplnil následující dotazník. Testu se zúčastnilo celkem 25 uživatelů.

Množina uživatelů se skládala ze 13 účastníků ve věku 15-30 let, 4 ve věku 30-40 let a 8 ve věku 40-60 let. Z této množiny 10 uživatelů občas pracuje s nějakým nástrojem pro úpravu obrázků jiným než malování (v jednom případě jde o Inkscape, ve zbylých o Gimp či Photoshop).

Dotazník se skládal z několika otázek, jež mohli uživatelé ohodnotit škálou od jedné do pěti, dále dvou otevřených otázek a jedné otázky s odpověďmi ano / ne. Otázky byly následující:

Znění otázky	Typ otázky
Jak hodnotíte vzhled aplikace?	Škála (1 – Velmi slabý, 5 – Vynikající)
Jak vám vyhovuje ovládání aplikace?	Škála (1 – Velmi slabý, 5 – Vynikající)
Jak důležité jsou pro vás různé funkce aplikace? Možnost vložit víc objektů	Škála (1 – Naprosto nepotřebné, 5 – Esenciální)
Jak důležité jsou pro vás různé funkce aplikace? Zoomování fotografie	Škála (1 – Naprosto nepotřebné, 5 – Esenciální)
Jak důležité jsou pro vás různé funkce aplikace? Možnost úpravy velikosti objektů	Škála (1 – Naprosto nepotřebné, 5 – Esenciální)
Jak důležité jsou pro vás různé funkce aplikace? Možnost vrátit se k předchozí fotografii a dále ji upravovat	Škála (1 – Naprosto nepotřebné, 5 – Esenciální)
Jak důležité jsou pro vás různé funkce aplikace? Možnost načíst objekt ze souboru	Škála (1 – Naprosto nepotřebné, 5 – Esenciální)
Postrádáte nějakou funkčnost?	Otevřená otázka
Co na aplikaci oceňujete nejvíce?	Otevřená otázka
Používal byste program, pokud by byl ke stažení zdarma?	Ano / Ne

Výsledky obecných otázek

Grafy s výsledky prvních dvou otázek jsou zobrazeny na obrázcích 7.13 a 7.14. Z grafů vyplývá, že se vzhledem je drtivá většina uživatelů spokojená a hodnotí je kladně. Ovládání shledává cca polovina uživatelů jako průměrně, druhá polovina jako nadprůměrně. V obou kategoriích pouze pár uživatelů označilo aplikaci pod průměrem.

Výtky ke vzhledu aplikace

- Nepěkný design tlačítek
- Aplikace po spuštění působí šedě a průměrně.

Klady vzhledu aplikace

- Rozložení aplikace (zejména boční panely s fotografiemi a objekty).
- Nízký počet ovládacích prvků.
- Rozčlenění prvků (prvky pro ukládání a otevírání objektu jsou součástí panelů s objekty, prvky používající se v módu extrakce jsou pod nápisem Extraction Mode).

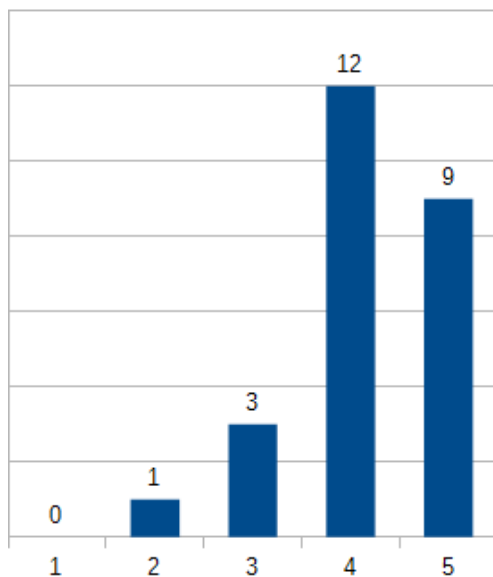
Výtky k ovládání aplikace

- Výběr uživatelského vstupu segmentace (obdélník, popředí, pozadí) není zcela intuitivní. Po bližším seznámení s ním se již však pracuje dobře.
- Pravé tlačítko myši je téměř nevyužité. Používá se pouze pro ztrátu aktivity objektu. Mohlo by nahradit některá tlačítka (např. Extract Object či Confirm Insert).
- Aplikace má málo klávesových zkratk.
- Při vkládání objektu je potřeba kliknout na objekt v seznamu objektů a poté kliknout do fotografie na správné místo. Intuitivnější by byla možnost přetáhnout objekt do fotografie (tj. tlačítko myši zmáčknout nad objektem v seznamu objektů a poté přetáhnout objekt do fotografie).
- Chybí krok zpět. Například při zadání špatných dat při extrakci objektu je potřeba zadat všechny uživatelské vstupy znovu.

Klady ovládání aplikace

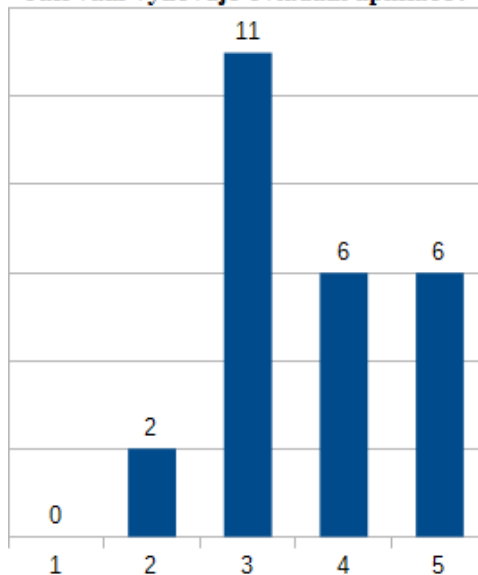
- Celkově intuitivní a rychlé ovládání. Tvorba fotomontáže se skládá z pár jednoduchých kroků.
- Naučit se v programu pracovat zabere poměrně krátký čas.
- Velkou část akcí lze provést přímo nad obrazem.
- Jednoduché přepínání mezi dvěma módy programu.
- Při vkládání objektu možnosti zapnout bounding boxy (lepší pro ovládání) či je vypnout (nepřekáží, pokud chce uživatel vidět výsledek).

Jak hodnotíte vzhled aplikace?



Obr. 7.13: Výsledky první otázky.

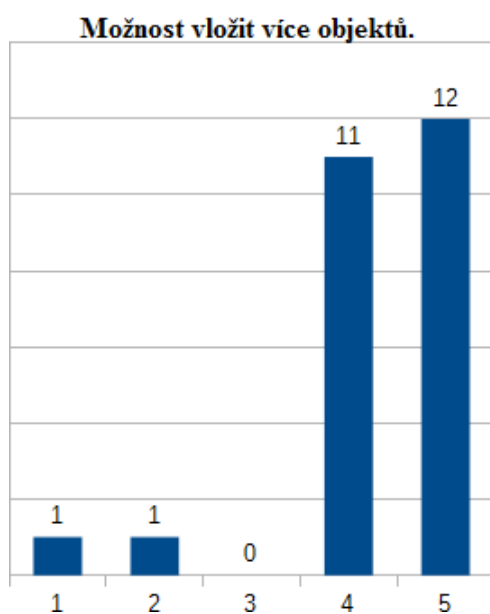
Jak vám vyhovuje ovládání aplikace?



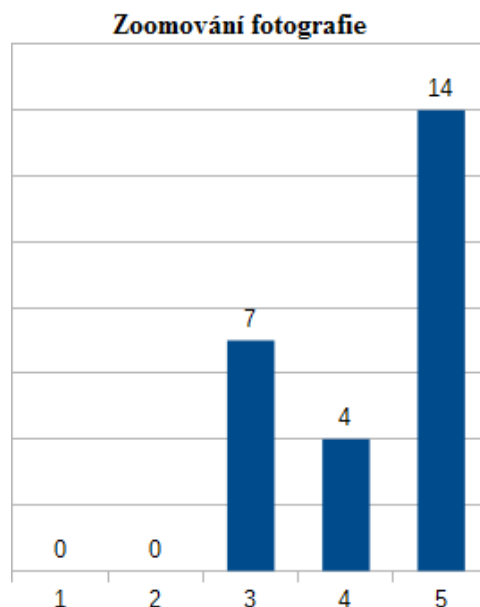
Obr. 7.14: Výsledky druhé otázky.

Výsledky otázek týkajících se potřebnosti jednotlivých funkcí

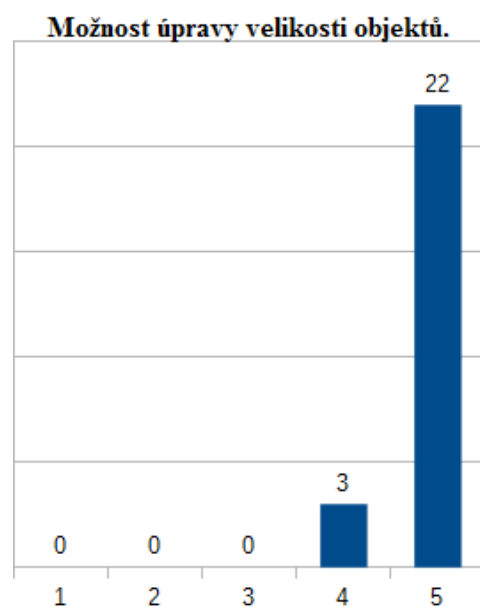
V následujících pěti otázkách uživatelé hodnotili, jak důležité jsou jednotlivé funkce aplikace. Všechny hodnocené funkce uživatelé označili za důležitou součást aplikace, bez nichž by byla výrazně méně použitelná. Jako nejvíce zbytná funkce se ukázala možnost načíst objekt ze souboru, i tu však přibližně třetina uživatelů považuje za esenciální. Téměř všichni uživatelé naopak označili za esenciální možnost měnit velikost objektu. Grafy odpovědí jsou znázorněny na obrázcích 7.15 až 7.19.



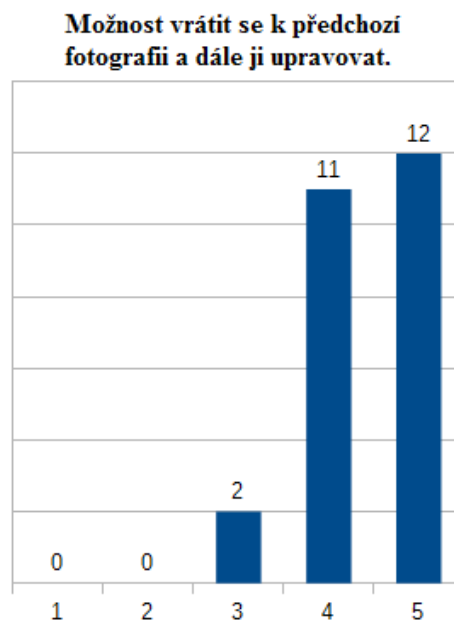
Obr. 7.15: Výsledky třetí otázky.



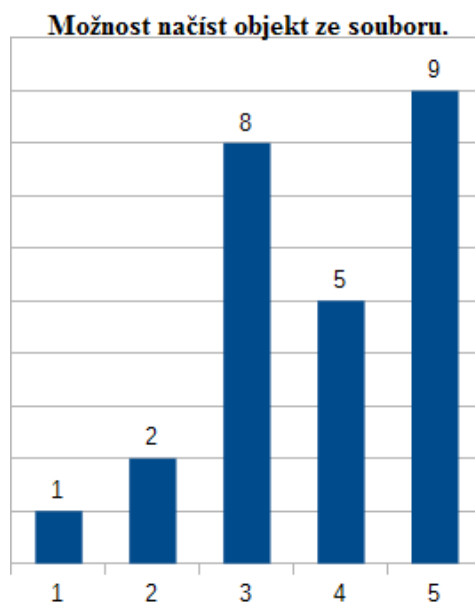
Obr. 7.16: Výsledky čtvrté otázky.



Obr. 7.17: Výsledky páté otázky.



Obr. 7.18: Výsledky šesté otázky.



Obr. 7.19: Výsledky sedmé otázky.

Výsledky otevřených otázek

Na otázku „Postrádáte nějakou funkčnost?“ uživatelé často zmiňovaly tyto dva aspekty:

- Aplikace by mohla být součástí nějaké již existující aplikace pro úpravu obrázků (konkrétně byly zmíněny aplikace Gimp a Malování v operačním systému Windows).
- Možnost kroku zpět (ať už pomocí tlačítka nebo klávesové zkratky).

Další zajímavé odpovědi:

- Možnost nalézt objekt ve fotografii a vyplnit jej určitou barvou.
- Možnost rozmazat ostrou hranici extrahovaného objektu.
- Možnost rotovat objekt.
- Klávesové zkratky (např. pro extrakci objektu a jeho přidání do pravého panelu).

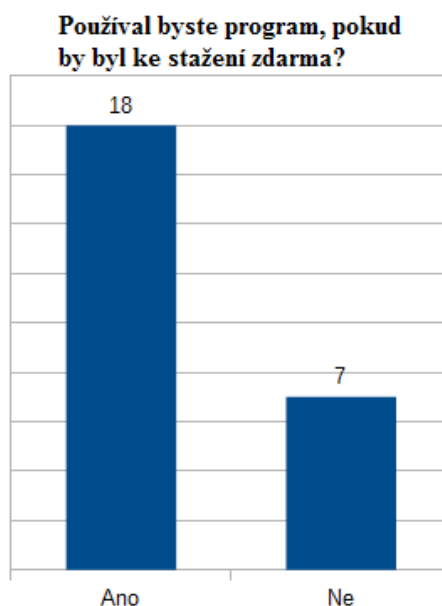
Téměř polovina uživatelů žádnou funkčnost nepostrádá.

Na otázku „Co na aplikaci oceňujete nejvíce?“ odpovídali uživatelé pouze dvě různé odpovědi:

- Kvalita nalezené hranice objektu. Někteří navíc oceňují, že k nalezení objektu bylo potřeba zadat poměrně malé množství vstupů. Dva uživatelé mají zkušenost s tímto typem úlohy v aplikaci Gimp a označili kvalitu nalezené hranice i nutnost interakce v aplikaci kladněji než v programu Gimp. Jeden uživatel má zkušenosti s tímto typem úlohy v aplikaci Adobe Photoshop a označil možnosti obou aplikací při extrakci objektu za srovnatelné. Tento aspekt zmiňuje 18 uživatelů.
- Intuitivní ovládání aplikace. Tento aspekt zmiňuje 6 uživatelů.

Výsledek otázky týkající se stáhnutí aplikace

Výsledky otázky „Používal byste program, pokud by byl ke stažení zdarma?“ jsou zobrazeny na obrázku 7.20. Většina uživatelů by si aplikaci stáhla a použila v případě, že by chtěla fotomontáž vytvořit. Menšina uživatelů by použila jinou aplikaci či nepředpokládá, že by v budoucna nastala situace, že by mohli podobnou aplikaci potřebovat.



Obr. 7.20: Výsledky desáté otázky.

7.4 Splnění stanovených cílů

Cíle aplikace jsou uvedeny v kapitole 5. Obecné cíle a základní funkce aplikace byly splněny. Aplikace umí vytvořit fotomontáž, umí exportovat objekt do jiných nástrojů, umožňuje vytvořit fotomontáž i začínajícím uživatelům.

Z rozšiřujících funkcí aplikace bylo implementováno zoomování, podpora pro clipboard, vložení více objektů do jedné fotografie, možnost vrátit se k dříve upravované fotomontáži a možnost měnit velikost objektu. Naopak chybí jiné možnosti úprav objektu (např. rotace), implementace více metod poloautomatické segmentace či aktivní využití hardwarové akcelerace.

8 Závěr

Práce se věnuje poloautomatické segmentaci obrazu pomocí metody založené na grafech. V rámci diplomové práce byly nastudovány různé přístupy k poloautomatické segmentaci obrazu a na jejich základu navržen a implementován nástroj pro tvorbu fotomontáží, který tyto poznatky využívá. Nástroj pomocí interakce s uživatelem nalezne hranici objektu v obrazu a tento objekt poté vloží do jiné fotografie. K prvnímu kroku využívá segmentační metodu GrabCut, která je postavena na teorii grafů. V průběhu návrhu bylo stanoveno několik požadavků na výslednou aplikaci, z nichž většina byla splněna.

Výsledná aplikace byla porovnána s jinými aplikacemi, které se zabývají úpravami obrazu a v nichž je možné vytvořit fotomontáž podobným způsobem. Porovnání bylo zaměřeno především na nutný počet kroků a kvalitu nalezení hranice objektu. Vytvoření fotomontáže v aplikaci je jednodušší a vyžaduje menší počet kroků, než u běžně používaných aplikací pro úpravu obrázků. To je dáno především jejím konkrétním zaměřením. Kvalita nalezené hranice u testovaných dat byla na vyšší úrovni než u aplikací Gimp a Fiji. Lehce zaostávala za kvalitou hranice v aplikaci Interactive Segmentation Tool.

Aplikace byla testována na množině uživatelů, kteří se pokoušeli s aplikací pracovat. Uživatelé oceňují na aplikaci především kvalitu nalezené hranice a jednoduchost a přívětivost uživatelského rozhraní. Vystaly i nějaké problémy, které jsou podrobněji popsány v předchozí kapitole.

Možností rozšíření aplikace je několik. První možností je předělat aplikaci jako plugin nějaké již existující aplikace pro práci s obrazovými daty (např. Gimp). Zajímavou zkušeností by mohla být i implementace více metod poloautomatické segmentace a srovnání jejich možností a vlastností na různých obrazových datech.

Literatura

- [1] ŠPANĚL, Michal a Vítězslav BERAN. *Obrazové segmentační techniky: Přehled existujících metod* [online]. Brno, 2005 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace>. FIT VUT v Brně.
- [2] ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. 3rd ed. Toronto: Thomson, 2008, xxv, 829 s. ISBN 978-0-495-08252-1.
- [3] MARSHALL, David. Region Growing. *Cardiff School of Computer Science & Informatics* [online]. 1997 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: http://www.cs.cf.ac.uk/Dave/Vision_lecture/node35.html
- [4] BEUCHER, Serge. The Watershed Transformation. *Centre de morphologie mathématique* [online]. 2010 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://cmm.enscm.fr/~beucher/wtshed.html>
- [5] SIMAYIJANG, Zhayida a Stefanie GRIMM. Segmentation with Graph Cuts. *Matematikcentrum: LUNDS UNIVERSITET*. 2010.
- [6] LIPTÁK, Jural: Segmentace medicínských obrazových dat, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2013.
- [7] ROTHER, Carsten, Vladimir KOLMOGOROV a Andrew BLAKE. GrabCut: Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts. MICROSOFT RESEARCH CAMBRIDGE, UK. 2004.
- [8] GURURAJAN, Arunkumar, Hamed SARI-SARRAF a Eric HEQUET. Interactive Texture Segmentation Via IT-SNAPS. In: IEEE Computer. *Image Analysis*. Piscataway: IEEE, 2010, 129 - 132. ISBN 9781424478019.
- [9] Spatial Transform Functions and The Image Histogram (Image Processing). *What-when-how* [online]. 2008 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/embedded-image-processing-on-the-tms320c6000-dsp/spatial-transform-functions-and-the-image-histogram-image-processing/>
- [10] ŠPANĚL, Michal. *Segmentace obrazu, analýza histogramu, analýza barev, shlukování: Prezentace přednášek předmětu Počítačové vidění na FIT VUT v Brně*. 2012.
- [11] LOTUFO, Roberto A. MICLab - Medical Image Computing Lab. *Adessowiki - Collaborative Scientific Writing and Programming* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://adessowiki.fee.unicamp.br/adesso/wiki/MICLab/view/>
- [12] DANĚK, Ondřej. Research. *Ondřej Daněk.net* [online]. 2006 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.ondrej-danek.net/en/research>
- [13] MALCOLM, James, Yogesh RATHI a Allen TANNENBAUM. A Graph Cut Approach to Image Segmentation in Tensor Space. 2007.
- [14] BAGGIO, Daniel L'elis. GPGPU Based Image Segmentation Livewire Algorithm Implementation. 2007. 108f. Thesis of Master in Science – Technological Institute of Aeronautics, São José dos Campos.
- [15] Active contour model. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Active_contour_model
- [16] Olša, Martin: Interaktivní segmentace medicínských obrazových dat, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2011.
- [17] J.A., SETHIAN: Level Set Methods: Evolving Interfaces in Computational Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science, University, 1996, ISBN 0521572029
- [18] R., MALLADI, J.A., SETHIAN, B.C., VEMURI: A Topology Independent Shape Modeling Scheme, *Proceedings of SPIE Volume*, Jun 23 1993.
- [19] D., TERZEPOULOS, J., PLATT, A., BARR, K., FLEISCHER: Elastically Deformable Models, *Computer Graphics*, Volume 21, Number 4, Jul 1987.
- [20] C., BAILLARD, C., BARILLOT: Robust 3D segmentation of anatomical structures

- with level sets, *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention Miccai*, 2000.
- [21] *SIOX* [online]. 2005 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.siox.org/>
 - [22] COOTES, T. F., G. J. EDWARDS a C. J. TAYLOR. *Active Appearance Models* [online]. Manchester, 2006. Wolfson Image Analysis Unit, Department of Medical Biophysics, University of Manchester.
 - [23] MCGUINNESS, Kevin. Interactive Segmentation Tool. *Center for Digital Video Processing, Dublin City University* [online]. 2010 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://web.archive.org/web/20110827170646/http://kspace.cdvu.ie/public/interactive-segmentation/index.html>

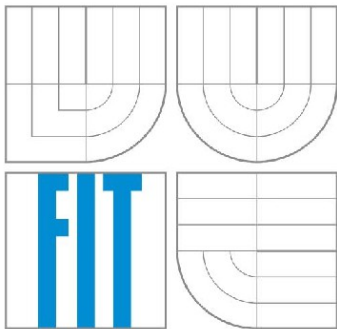
Dodatek A

Obsah CD

Přiložené CD obsahuje:

- bin – spustitelný soubor aplikace
- poster – plakát
- report – text práce (zdrojový soubor i pdf)
- src – zdrojové soubory programu
- readme – soubor s návodem na přeložení a spuštění aplikace

Plakát



POLOAUTOMATICKÁ SEGMENTACE OBRAZU

Aplikace

- program pro tvorbu fotomontáží
- mód extrakce objektu z obrazu
 - interaktivní nalezení hranice objektu
- mód vkládání objektu do obrazu

Segmentace

- používá se k nalezení hranic objektu
- metoda GrabCut
- bounding box okolo objektu
- body pro pozadí a popředí



Výsledky



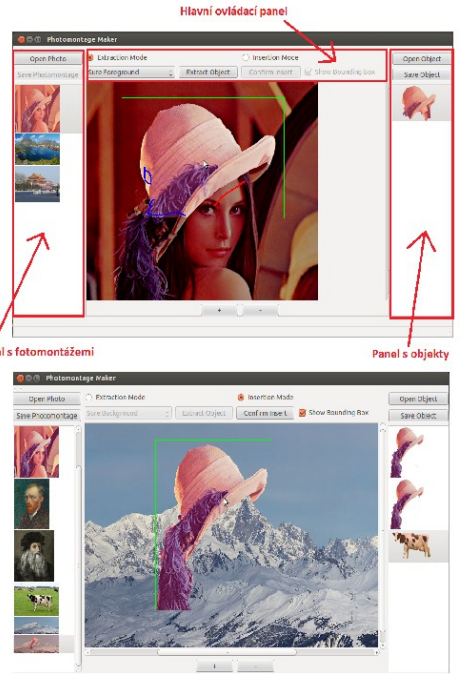
Funkce

- vložit více objektů
- měnit velikost objektu
- zoomování fotomontáže
- podpora clipboardu
- a další

Knihovny



Uživatelské rozhraní



Hlavní ovládací panel

Panel s fotomontážemi

Panel s objekty

při extrakci

při vkládání

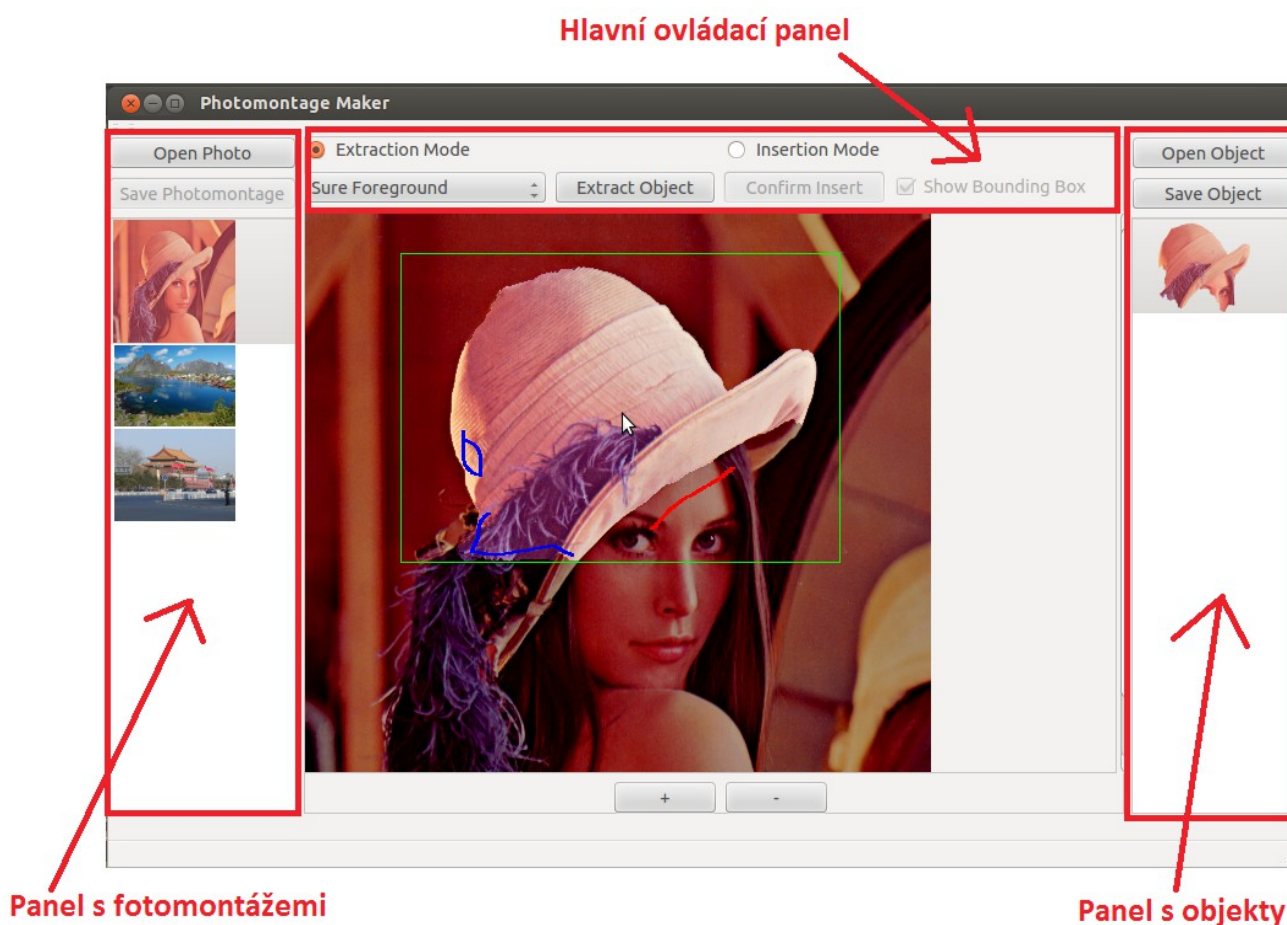
Autor: Bc. Jan Horák (xhorak34) -- Vedoucí: Ing. Michal Španěl, Ph.D. -- Diplomová práce 2015

Dodatek C

Uživatelská příručka

Grafické uživatelské rozhraní je zobrazeno na následujícím obrázku. Skládá se z pěti prvků:

- Panel s fotomontážemi
- Panel s objekty
- Hlavní ovládací panel
- Hlavní okno aplikace
- Ovládací prvky pro zoom



Aplikace pracuje ve dvou módech – v módu extrakce a módu vkládání. Tyto módy budou rozebrány dále. Mód aplikace ovlivňuje chování hlavního okna a hlavního ovládacího panelu, ostatní části gui nechává netknuté.

Panel s fotomontážemi

Skládá se ze tří ovládacích prvků: Tlačítka pro otevření fotografie, tlačítka pro uložení fotomontáže a seznamu fotografií / fotomontáží. Chování je následovné:

- Tlačítko pro otevření fotografie: Po kliknutí se otevře dialogové okno, ve kterém je možné vybrat fotografii. Ta se přidá do seznamu fotografií a stane se aktuální fotografií (objeví se v hlavním panelu).
- Tlačítko pro uložení fotomontáže: Uloží aktuální fotomontáž (tu, která je v hlavním okně) do souboru.
- Seznam fotografií / fotomontáží. Po kliknutí na fotografii / fotomontáž se stane aktuální (objeví se v hlavním panelu). V případě velkého množství prvků seznamu se objeví posuvník.

Panel s objekty

Skládá se ze tří ovládacích prvků: Tlačítka pro otevření objektu, tlačítka pro uložení objektu a seznamu objektů. Chování je následovné:

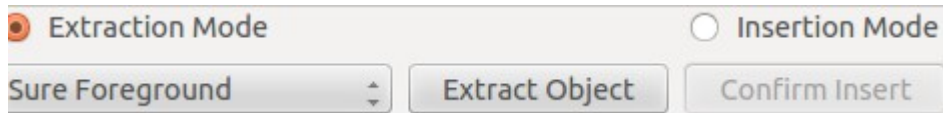
- Tlačítko pro otevření objektu: Po kliknutí se otevře dialogové okno, ve kterém je možné vybrat obrázek. Ta se přidá do seznamu objektů.
- Tlačítko pro uložení objektu: Uloží aktuální objekt (ten zvýrazněný) do souboru.
- Seznam objektů. Po kliknutí na objekt se stane aktuální (v módu vkládání se stane aktivním objektem). V případě velkého množství prvků seznamu se objeví posuvník.

Ovládací prvky pro zoom

Při kliknutí na tlačítko + přiblíží obsah hlavního okna, při kliknutí na tlačítko – jej oddálí.

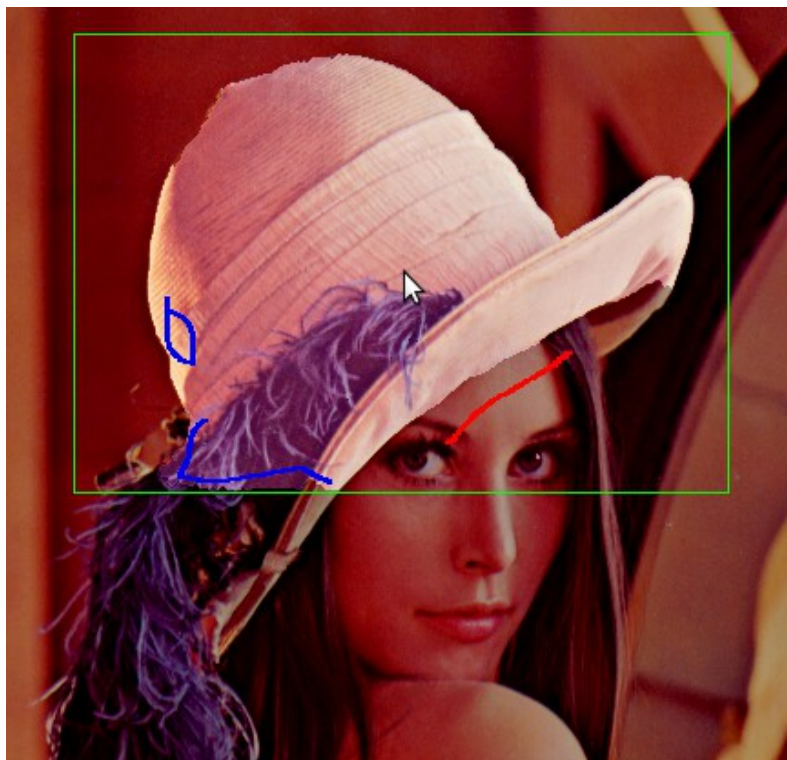
Mód extrakce

Při módu extrakce lze z fotografie extrahovat objekt a ten vložit do seznamu objektů. Z hlavního ovládacího panelu jsou v tomto módu zajímavé dva prvky, které jsou zobrazené na následujícím výřezu z grafického uživatelského rozhraní.



- Levým ovládacím prvkem je možné zvolit druh uživatelského vstupu. Těchto vstupů je celkem 5:
 - Obdélník (Rectangle). Jedná se o obdélník, který obklopuje objekt ve fotografii. Celý objekt musí ležet v něm.
 - Jisté popředí (Sure foreground). Označuje pixely, které určitě patří do objektu. Tyto pixely budou vždy součástí objektu.
 - Pravděpodobné popředí (Probable foreground). Označuje pixely, které pravděpodobně patří do objektu.
 - Pravděpodobné pozadí (Probable background). Označuje pixely, které pravděpodobně patří do pozadí.
 - Jisté pozadí (Sure background). Označuje pixely, které určitě patří do pozadí. Tyto pixely budou vždy součástí pozadí.
- Tlačítko Extract Object přesune vyřiznutý objekt do seznamu objektů. Přesnější popis jeho použití bude následovat.

Uživatelské vstupy se zanáší přímo do fotografie pomocí tažení levým tlačítkem myši. Obdélník se zobrazuje světle zelenou barvou, popředí modrou, pravděpodobné popředí tyrkysovou, pravděpodobné pozadí fialovou a pozadí červenou. Po zadání vstupu se aplikace pokusí určit hranice objektu a pozadí ztmavne. Celý tento proces včetně uživatelského vstupu je vidět na následujícím obrázku z aplikace.

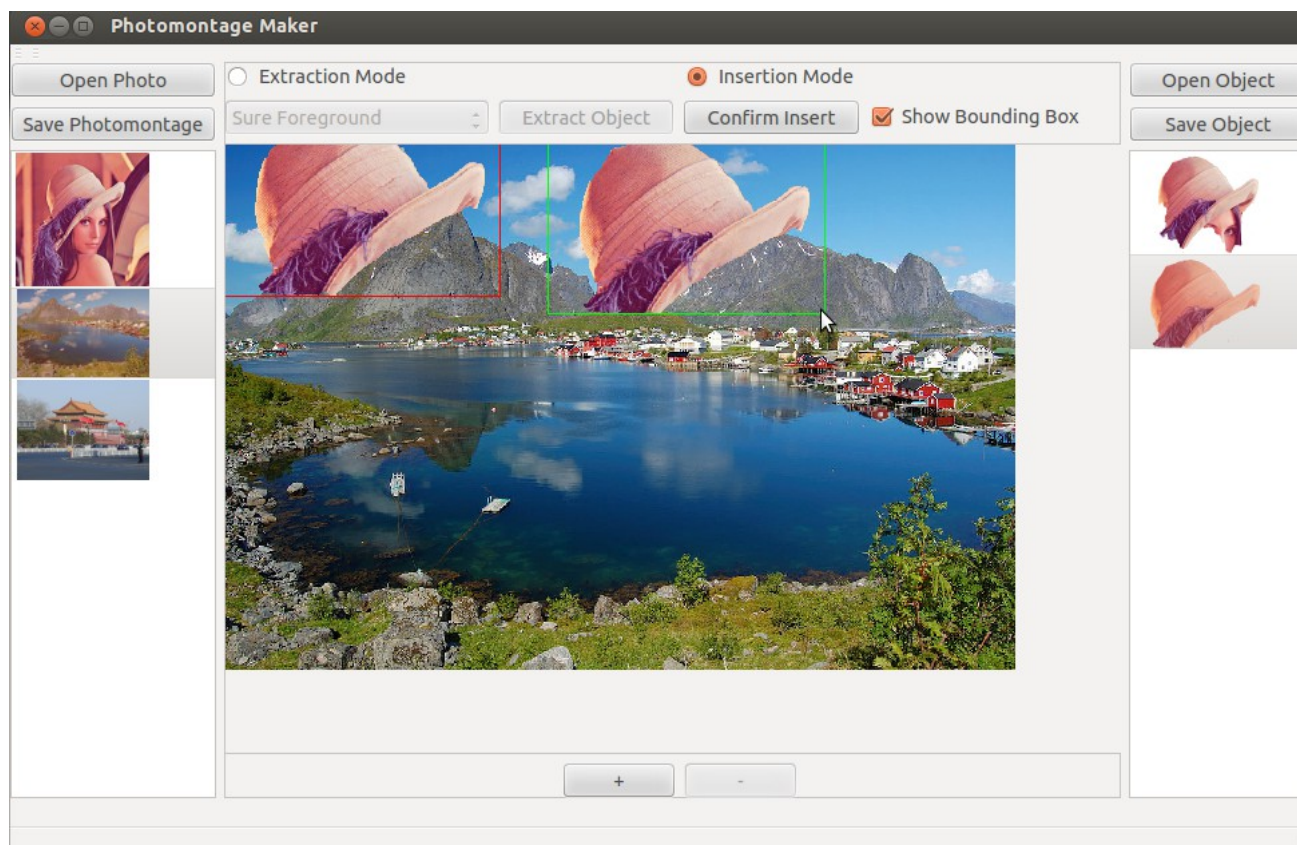


V případě, že jsme s nalezeným objektem spokojeni, je možné tento objekt přidat do seznamu objektů pomocí již zmíněného tlačítka Extract Object.

Mód vkládání

Na následujícím obrázku je zobrazena aplikace v módu vkládání. V tomto módu lze vkládat objekty do fotografie a vytvořit tak fotomontáž. Chování v tomto módu je následující:

- Důležitým pojmem je tzv. aktivní objekt. Jedná se o ten objekt, se kterým se aktuálně pracuje. Na počátku je aktivní objekt nový objekt, to znamená, že vkládáme nový objekt.
- Pokud je aktivní nový objekt, kliknutím levého tlačítka myši se vloží do fotografie. Pokud je aktivní již vložený objekt, kliknutím levého tlačítka myši se změní jeho poloha.
- Pokud není aktivní žádný objekt, kliknutím levého tlačítka myši na existující objekt se tento objekt stane aktivním.
- Pokud není aktivní žádný objekt, označením objektu v seznamu objektů se stane aktivním objektem nový objekt.
- Kliknutím pravého tlačítka myši přestane být objekt aktivní.
- Kliknutím na objekt v seznamu objektů se aktivnímu objektu přiřadí tento objekt.
- Kliknutím na hranice objektu a poté tažením myši je možné objekt zvětšovat a zmenšovat.
- Stisknutím klávesy delete se smaže aktivní objekt z fotomontáže.
- Kliknutím na tlačítko Confirm insert se přidá fotomontáž do seznamu fotomontáží.
- Checkboxem Bounding Box lze ovládat viditelnou obdélníků okolo objektů.



Klávesové zkratky

Kromě ovládání pomocí myši může uživatel některé úkony provést i pomocí klávesových zkratk. Jedná se o tyto zkratky a úkony:

- Ctrl + O: Otevře dialogové okno pro načtení zdrojové fotografie.
- Ctrl + S: V případě, že uživatel označil jako poslední prvek některého seznamu fotomontáž, otevře se dialogové okno pro uložení fotomontáže. Pokud takto označil naposledy objekt, otevře se dialogové okno pro uložení objektu.
- Ctrl + C: Funguje obdobně jako u Ctrl + S, nicméně místo otevření dialogového okna se příslušný obraz vloží do Clipboardu.
- Ctrl + V: Vloží obraz v Clipboardu do seznamu fotografií.
- Del: Ve vkládacím módu smaže aktivní objekt.