



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

POČÍTAČOVÁ PODPORA KLASIFIKACE A ROZPO- ZNÁVÁNÍ RODOVÝCH ERBŮ

COMPUTER AIDED RECOGNIZATION AND CLASSIFICATION OF COAT OF ARMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR MATHER

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. FRANTIŠEK ZBOŘIL, Ph.D.

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav inteligentních systémů

Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Mather Petr**

Obor: Informační technologie

Téma: **Počítačová podpora rozpoznávání a klasifikace rodových erbů**
Computer Aided Recognition and Classification of Coat of Arms

Kategorie: Umělá inteligence

Pokyny:

1. Seznamte se jednak se základy heraldiky, strukturou rodových erbů a dále se současnými metodami softwarové dekompozice a klasifikace obrazů.
2. Zvolte vhodné metody pro počítačové zpracování obrazů obsahujících rodové erby. Tyto metody mají umožnit na patřičně transformovaných a normalizovaných obrazech erbů jejich dekompozici na základní části - štít, přilbu, točenič, příkrývadla a klenot.
3. Realizujte metody, které po provedení dekompozice provedou klasifikaci jednotlivých částí podle daných heraldických pravidel a zvyklostí.
4. Implementujte tyto metody a ověřte jejich funkčnost pro zvolenou množinu příkladů.
5. Vytvořte plakát formátu A1, na kterém budou demonstrovány podstatné výsledky tohoto projektu.

Literatura:

- Rusell, S., Norvig, P.: Artificial Intelligence: A Modern Approach, Pearson, 2003
- Studijní opora kurzu Základy umělé inteligence
- Studijní opora kurzu Základy počítačové grafiky

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Bez požadavků.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Zbořil František, doc. Ing., Ph.D., UITS FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2015

Datum odevzdání: 18. května 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav inteligentních systémů
602 00 Brno, Božetěchova 2

doc. Dr. Ing. Petr Hanáček
vedoucí ústavu

Abstrakt

Práce provádí rozbor problematiky analýzy rodových erbů, heraldických pravidel a způsobu jejich detekce pomocí počítačového vidění. Využívá se zde knihovna OpenCV. Součástí práce je návrh a experimentální ověření některých metod pro analýzu a ukázkový program.

Abstract

This thesis focuses on use of computer vision for Coat of Arms recognition and classification. Work includes analysis of appropriate algorithms and their experimental evaluation using demonstration program. Program uses OpenCV library.

Klíčová slova

erby, rozpoznání obrazu, opencv

Keywords

Coat of Arms, image recognition, opencv

Citace

MATHER, Petr. *Počítačová podpora klasifikace a rozpoznávání rodových erbů*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Zbořil František.

Počítačová podpora klasifikace a rozpoznávání rodových erbů

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Františka Zbořila, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Petr Mather
18. května 2016

© Petr Mather, 2016.

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	3
2	Heraldika	4
2.1	Historie	4
2.2	Znak	5
2.2.1	Tinkтуры	5
2.3	Štít	6
2.3.1	Heroldské figury	6
2.3.2	Obecné figury	7
2.4	Přilba	7
2.5	Přikryvadla	8
2.6	Klenot	8
2.7	Točenice, koruny	8
2.8	Honosné kusy	8
2.9	Blasonování	9
3	Rozbor problému	10
3.1	Barvy	10
3.1.1	RGB	11
3.1.2	HSV/HSL	11
3.2	Štít a ostatní prvky	11
4	Použité technologie a algoritmy	13
4.1	Počítačové vidění	13
4.1.1	OpenCV	14
4.2	Algoritmy a postupy pro vyhodnocování erbů	15
4.2.1	Prahování	15
4.2.2	Vyhledávání hran	15
4.2.3	Histogram barev	16
4.2.4	Práce s konturami	17
5	Nalezení štítu	18
5.1	Pomocí hran	18
5.2	Pomocí kontur	19
5.3	Aproximace tvaru a výběr kontur	19

6	Výsledná aplikace	21
6.1	Průběh aplikace	21
6.2	Výsledky aplikace, testování	22
7	Závěr	23
	Literatura	24
	Přílohy	25
A	Popis aplikace	26
	k	

Kapitola 1

Úvod

Heraldika, konkrétně rodové erby tvoří zajímavou skupinu symbolů s rozsáhlou historií. V některých zemích si drží silnou tradici, v jiných takřka vymizela a udržuje se pouze jako jedna z řady pomocných věd historických, případně jako koníček malých skupin zájemců.

V poslední době je obor počítačového vidění na výrazném vzestupu užití, aplikace zpracovávající obrazová data jsou dnes k nalezení i na mobilních zařízeních a mají silný potenciál využití. Objevují se v různých obměnách a specifických účelech např. v průmyslu či zdravotnictví. Stále se rozšiřuje rozsah problémů a úkonů řešených pomocí automatizovaného rozpoznávání objektů. S tímto se váže i rozeznávání různých symbolů a značení.

Rodové erby mohou tvořit zajímavou skupinu symbolů ke studiu z hlediska počítačového vidění. Mají jasně určená pravidla (ač zejména v dnešní době nepříliš dodržována), definovaný systém popisu a v neposlední řadě také velký rozsah informací a zdrojů, které často nejsou k dispozici v elektronické podobě.

Tato práce se věnuje rozpoznávání statického obrazu konkrétně rodových erbů, jejich rozkladem na základní části a následně popisem podle heraldických zvyklostí. Na následujících stránkách se čtenář seznámí s teoretickými možnostmi a metodami analýzy těchto obrazů, návrhem řešení této otázky a v příloze také ukázkou implementace vybraných metod jejího řešení. Druhá kapitola práce dává čtenáři základní informace o heraldice a zmiňuje pojmy, se kterými se dále pracuje. Následuje rozbor získaných informací, doplněný o nástin možností dalšího postupu. Dále se věnuji teorii počítačového vidění a používaným analytickým metodám. Kapitola obsahuje základní úvod do této problematiky, krátký popis knihovny OpenCV a také popis principů využitých nebo zmíněných ve zbytku práce. Zbylé kapitoly se pak zabývají návrhy řešení dílčích problémů. Objasňují myšlenkový postup směřující k výslednému návrhu a některá úskalí s nimiž se setkáváme. Rozebírá se zde postup rozdělení štítu a ostatních objektů obsažených v erbu a rozbor štítu a heraldických figur v něm obsažených. Následně je popsána demonstrační aplikace některých těchto vybraných algoritmů a popsány praktické postupy používané v ní.

V závěrečné kapitole je konečně shrnutí výsledků práce, jejích úspěšných i méně úspěšných částí a návrhy, kterými směry by se mohly ubírat další práce či rozšíření.

Kapitola 2

Heraldika

Úkolem této kapitoly bude čtenáři nastínit vznik a účel heraldiky, její současnou podobu a užití. Zaměřena je zejména na rozdělení a popis jednotlivých částí erbu a způsobu jejich pojmenování. Text se zabývá výhradně rodovou heraldikou, odlišnosti v jiných částech heraldiky nejsou řešeny nebo jsou jen okrajově zmíněny.

Pojem heraldika má větší množství výkladů. Podle některých jde o druh užitého umění, které je omezeno určitými pravidly a zvyklostmi. Také je ale vědou zabývající se symbolikou osobní, rodovou i místní. V současné podobě heraldika často figuruje ve výčtu pomocných věd historických.

„Můžeme tedy říct, že heraldika je nauka obsahující souhrn základních pravidel a zvyklostí, podle nichž se znaky tvoří a také učící znaky popisovat, určovat a kreslit. Heraldika však není jen naukou o znacích (jejich vzniku, tvorbě, vývoji a užívání), ale zabývá se vším, co se znaky souvisí, tedy také prapory, rády, odznaky a všemi ostatními symboly.“[5]

2.1 Historie

Již starověcí válečníci užívali na svých štítech různá znamení. Setkáváme se s nimi u národů Persie, Babylonie a Egypta. Také starověcí Řekové používali na štítech znamení zvířat, starověcí Římané zase užívali podobná znamení jako odznaky svých legií. Na dochovaných památkách z 11. století nalézáme vyobrazení bojovníků se znaky na štítech. Toto období, tzv. předheraldické, se však vyznačuje tím, že štítová znamení mají pouze dekorativní účel. Neplní totiž jeden z hlavních účelů heraldiky, a to že určité znamení identifikuje jednu osobu, případně jednu rodinu v níž se dědí.

K rozvoji heraldiky výrazně přispívá vývoj tělesné ochrany rytířů. Zbroj se v době 10. a 11. století stává těžší a pokrývá stále větší část těla nositele. Navíc se začínají používat uzavřené přilby, které zamezují identifikovat rytíře. Proto vzniká potřeba rozpoznávat jednotlivé rytíře i v plné zbroji v boji. Do této doby jsou štíty a jejich znamení čistě osobní věci a je na jejich majiteli, zda na nich užije nějaké znamení či kdy a jak jej změni. Počátky heraldiky se vážou s křížovými výpravami a spadají převážně do 12. století. Z tohoto období pocházejí první známé znaky. Erby původně patřily jen vyšší šlechtě, až později, počátkem 13. století se rozšířili také ke šlechtě nižší.

Heraldika se uplatňovala v celé škále funkcí. Většina pánů té doby byla negramotných a pro stvrzování listin často sloužila pečeť s jejich znakem. Také sloužila pro rozlišování při rytířských turnajích, kdy rytíř bojoval za čest svého rodu. V této době začíná být nutností,

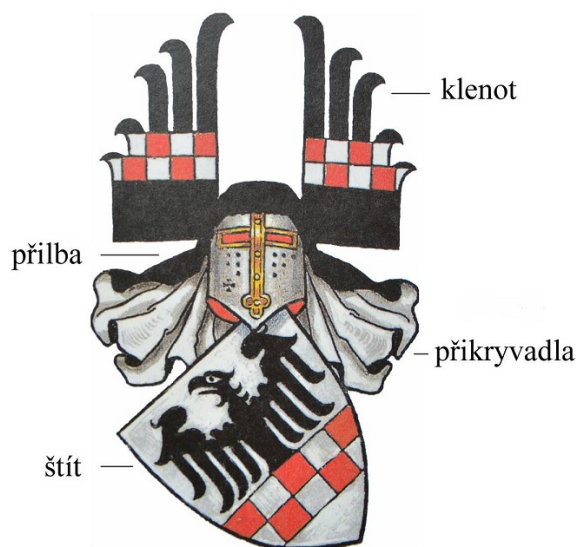
aby erby byly dědičné. Také přibývá jejich nositelů, které je třeba rozlišovat. Zhruba ve 13. století proto vzniká úřad heroldský. Úkolem heroldů je sloužit jako vyjednaváči, soudci, poslové, později i organizaci státních ceremonií. Také jim náleželo znát rytíře, jejich jména a znaky, ty kreslit, popisovat a také udržovat jejich neopakovanost. Heroldi byli sdružováni do úřadů zvaných heroldie.

Kolem 16. století, s rozvojem palných zbraní, význam rytířů klesá. Heraldika tímto ztrácí svoji vojenskou funkci. Základní prvky erbu zůstávají, ale znaky se stávají dekorativnější, užívají se na pečetích, branách a podobně. V této době také klesá výsadní mocenské postavení šlechty a vznikají také znaky měst, cechů a církevních institucí.

2.2 Znak

„Jde o trvalé znamení ve štítě, vytvořené podle ustálených heraldických pravidel, které určují fyzickou či právnickou osobu na základě vžitého nebo uděleného práva.“[4]

Typický šlechtický znak se skládá z více částí. Obvykle jimi bývají štít, přilba, přikryvadla, koruna nebo točnice a klenot. Takový erb se nazývá úplný. Může také obsahovat tzv. honosné kusy, například heslo, řády, trofeje nebo štítonoše. Jediný z těchto znaků, který nesmí chybět je štít. Pokud je znak tvořen pouze štítem, jde o znak neúplný.



Obrázek 2.1: Rozdělení erbu. Převzato z [2]

2.2.1 Tinkтуры

Pro popis barevnosti erbů se používají tzv. tinkтуры. Ty se dělí na barvy, kovy a kožešiny. Toto rozdělení je dáno z historického hlediska materiálem, kterým byla daná část erbu pokryta. Z praktického hlediska jsou pak voleny tak, aby od sebe byly zrakem jasně a nezaměnitelně odlišitelné. Neexistuje mezi nimi žádný vztah nadřazenosti a všechny tyto „barvy“ jsou rovnocenně významné.

Mezi kovy se řadí stříbro a zlato (ty bývají běžně znázorňovány žlutou a bílou barvou). Z barev se používají červená, modrá, zelená, černá, purpurová, oranžová, tmavorudá a hnědá. Z kožešin se používá hermelín, sobol, kunina a popelčina. Sobol se zobrazuje jako černá barva, kunina jako barva červená. Zobrazení ostatních je značně složitější. Hermelín je znázorněn jako tři černé tečky, ze kterých vybíhají ze společného bodu tři černé čárky. Popelčina pak jako mozaika střídavých proti sobě obrácených stříbrných a modrých zvonků (jde o zpodobnění kožešin z více šedých veverek).

Jiné barvy a materiály se používaly velice zřídka a v dnešních normovaných pravidlech heraldiky se nevyskytují. Dále je ustáleným pravidlem, že by se nemělo používat barvy na barvu, kožešiny na kožešinu a kovu na kov. Toto pravidlo bývá ale v některých případech porušováno, často z důvodu setkání více prvků (obecné figury na pruzích, složité dělení části erbu).

2.3 Štít

Jedná se o hlavní a jedinou nevynechatelnou část znaku. Jeho tvar není jednotný, v průběhu historie se často měnil. V současné heraldice je dán většinou stylem štítu který se používal v době vzniku rodu, případně udělení nebo změny erbu. Také bývá v erbu umístěn dvěma způsoby. Buď je kreslen kolmo, nebo bývá lehce sešikmen. Všechny znaky, které štít obsahuje, se nazývají figury. Ty můžeme rozdělit do dvou kategorií. Ve velice výjimečných případech také štít figury obsahovat nemusí, pak jej nazýváme prostý.

2.3.1 Heroldské figury

Tyto figury jsou tvořeny jednoduchými geometrickými útvary. Mohou také dělit štít na více částí které dále obsahují další figury. Základní heroldské figury vznikly čarami vedenou od hrany k protější hraně. Tyto čáry jsou pojmenovány podle umístění.

- Polcení je svislá středová čára.
- Dělení je vodorovná čára uprostřed.
- Dělení pokosem je šikmá čára z pravé strany dolů k levé.
- Dělení pošikem je z levé strany dolů k pravé.
- Čtvrčení je kombinace svislé a vodorovné středové čáry.
- Čtvrčení pokosem je kombinace dělení pokosem a pošikem.
- Špice je dvojice šikmých čar které se setkávají na horní hraně (tedy jimi ohraničený prostor se nahoře zužuje).
- Klín je pak dvojice šikmých čar, které se potkávají na dolní straně.

Také některé výjimky a specifická dělení mají vlastní označení. Volná čtvrt je označení oddělení pravé horní čtvrtiny štítu. Hlava je dělení v horní polovině štítu, pata pak v dolní polovině. Štít může mít také zdvojený okraj v jiné tinktuře, pak se nazývá lem. Nakonec ve štítu bývají umístěny menší štíty, většinou do jeho středové osy. Ty se popisují podle jejich výškového umístění a mají při popisu přednost před hlavním štítem.

Heroldská znamená vznikají kombinacemi těchto čar. Mezi nejjednodušší patří zdvojení těchto čar. Tento útvar se označuje jako břevno. Břevno se umísťuje vodorovně. Může být

umístěno také pokosem nebo pošikem, pak nese označení umístění. Polcení břevnem se nazývá kůl. Kříž vytvořený břevnem a kulem je označen jako heraldský. Kombinace břevna pokosem a pošikem je pak svatoondřejský kříž. Zdvojená špice se nazývá krokev.

Tyto čáry je možno libovolně opakovat, je ale potřeba jasně určit jejich počet. Štít dělen stejným počtem svislých a vodorovných čar bývá označován jako šachovnice. Pokud převládá polcení, útvar se nazývá šindele. Pokud dělení, pak se nazývá cihly. V případě, že je štít čtvercěn a zároveň dělen pošikem i pokosem, je vzniklý útvar nazýván štenýř.

Útvary nemají pevné stanovené poměry velikostí, ani provedení. Používají se různé provedené čáry, například vlnité či pilovité. Šířka břevna také není jasně dána. Je ale třeba odlišovat břevno, které odděluje jednou tinkturou dvě stejné barvené části, od dvojího dělení, kde se nacházejí tinktury tři.

2.3.2 Obecné figury

Jedná se o heraldicky stylizované objekty světa. Pro tyto figury obecně platí, že by měly vyplňovat co největší část štítu a zároveň nezasahovat do jeho okrajů. Dají se obecně rozdělit podle zpodobňovaného motivu.

Jednou z kategorií jsou osoby, nebo jejich části. Sem patří například různé typické osoby jako mnich, rytíř, divý muž nebo také části těla ve zbroji či části těl pobitých nepřátel.

Další často využívanou kategorií jsou zvířata. Do této kategorie spadají zpodobnění převážně ptáků či různých dravců. Je kladen důraz na jejich bojovnost, protože sloužily dříve i k zastrašování nepřítelů. Části těl využitelné k boji, jako drápy nebo zobák, jsou často kreslené jinou tinkturou. Také se, převážně u čtyřnohých zvířat, rozlišuje poloha a zda se dívá jinam než vpřed. Pokud má takové zvíře všechny nohy na zemi, zveme jej sedící. Když má jednu vztyčenou, nazývá se krácející. Zvíře které zdánlivě vzpřímeně stojí, je ve skoku. Toto zpodobnění je nejméně časté a ani se neuvádí.

Na erbech se také objevují bájná tvorové. Do této kategorie spadají svatí, božstva (převážně antická) a také různá monstra. Ty většinou sdílí některé rysy s osobami či zvířaty, nebo dokonce vznikají jejich kombinací a popisují se obdobně.

Některé znaky obsahují figury, které by se daly obecně shrnout jako neživé nebo umělé. Objevují se zbraně, části zbroje, oděvy nebo jejich části, pracovní či hudební nástroje a podobně. Také se užívají různé motivy staveb, ať už kusy jako brány a věže, nebo celé stavby. Speciální kategorií těchto předmětů jsou kříže, které se pohybují na hranici mezi obecnými a heraldickými znameními.

2.4 Přilba

Přilba patří mezi další části úplného erbu. V heraldice se užívají tři typy gotických přileb, hrncovitá, kbelíková a cylindrová, které označujeme jako zavřené. V pozdějším období se začala používat přilba turnajová, ta je otevřená. Mimo rodovou heraldiku se setkáváme s nahrazováním přileb například kloboukem. Přilby se do erbu kreslí posazené na štítě, nesmí se nad ním vznášet. Součástí erbu může být jedna či více přileb, ale některé erby také neobsahují žádnou.

Přilba je vždy kolmo umístěna na štítě. Pokud je štít nakloněn, může erb obsahovat pouze jednu přilbu a ta je posazena na jeho vyvýšeném rohu. V případě rovného štítu je umístění přileb závislé na jejich počtu. Jedna přilba je umístěna na střed horní hrany štítu a může být obrácena k pozorovateli nebo otočena vpravo či vlevo. Větší počet přileb se kreslí po stranách a přilby jsou přivrácené ke středové ose štítu, tedy jsou obrácené

na přilby na druhé straně. Pokud je přileb lichý počet, jedna z nich se kreslí na střed přivrácena k pozorovateli. Obvyklá velikost přilby je přibližně polovina velikosti štítu, ale není to pravidlem, hlavně při větším počtu přileb.

2.5 Přikryvadla

Další běžnou součástí štítu jsou přikryvadla (též označovány jako pokrývky). Jsou zpodobněním pláště, nošeného z praktických důvodů přes zbroj. Jejich podoba se v průběhu času měnila z původní podoby celistvého pláště až do podoby nařasených cípu rozevlátých kolem štítu. Zpravidla bývají tvořeny dvěma hlavními tinkturami štítu, přičemž zvenčí bývá barva a zevnitř kov. Ale i zde existují výjimky, kdy je použito dvou barev nebo v případě dělených štítů mohou na každé straně mít jinou kombinaci tinktur. V tomto případě je v popisu zmíněna každá strana zvlášť.

2.6 Klenot

Klenot je v heraldice vrchní ozdoba přilby. Dříve další možnost rozlišování rytířů bez možnosti vidět štít, zůstal nutnou součástí úplného znaku. Klenoty bývaly nedílnou součástí přilby, byly k ní přišroubovány či přivázány. Z toho plyne pravidlo, že klenot musí na přilbě v erbu pevně spočívat, nesmí na ní být umístěn pouze "volně" nebo se jí vůbec nedotýkat.

Narozdíl od znamení ve štítu se klenot kreslí plasticky a většinou sleduje směr přilby. Nejčastěji se využívají rohy, křídla a pera. Další běžně využívanou variantou jsou figury znázorňující postavy lidí nebo zvířat. Může být nakreslena celá figura, v tom případě se rozlišuje její poloha, zda je sedící nebo stojící. Není-li zobrazena celá, určuje se její poloha podle zobrazené části. Pokud je vidět z poloviny, pak vyrůstá, když je vidět více, tak vyskakuje, když naopak méně, vyráží. Teoreticky patří klenot ke štítu a tedy pokud je štít dělený na více polí, mělo by být i více klenotů. I zde existují výjimky, kdy některé rody neužívají klenotu vůbec, případně se erby jeho jednotlivých členů liší pouze klenotem.

2.7 Točnice, koruny

Jejich původním účelem je zakrývat napojení klenotu na přilbu. V případě točnic se jedná o zatočené konce přikryvadla, které jsou umístěny na přilbě a klenot na ně nasedá. Později se rozšířilo nahrazování této části znaku korunami. V případě užití koruny z ní klenot vystupuje vzhůru. Tyto koruny původně měly ve znaku pouze královské rody a vyjadřovaly i hodnotu nositele, ale později tento účel ztratily. Některé erbovní koruny zpodobňují skutečnou korunu jejich nositele, ale to je spíše výjimečné.

2.8 Honosné kusy

V některých erbovních znameních se vyskytují i tzv. honosné kusy. Jde buďto o určité hodnoty nositele, například odznaky rytířských řadů či hodnostní koruny královských rodů, nebo o zkrášlující prvky jako hesla, štítonoše apod. Tyto části mají zpravidla vlastní terminologii, která není zcela ustálená a jejich popisování nemusí být jednoduché.

2.9 Blasonování

Znamená popisování obsahu znaku pomocí ustálené terminologie. Popis znaků by měl být úplný a výstižný a mělo by být možné nakreslit znak podle popisu. Je nutno zmínit, že veškeré označování stran se děje z pohledu nositele štítu, tedy levá a pravá strana jsou z pohledu na obraz erbu opačně. Začíná od tinktury štítu, případně dělení štítu a popis jeho jednotlivých částí. Po tinktuře se popisují erbovní figury podle důležitosti (dá se určit podle velikosti). Popisuje se od čestných štítků, dále heraldicky zprava doleva, shora dolů. Poté se popisuje hodnostní koruna, případný řád a přilby. Pak se popisuje klenot, a nakonec i další prvky znaku jako štítonoši, hesla, pokřík, obecná korunu, užití půdy a podobně.

Kapitola 3

Rozbor problému

Tato kapitola se zabývá specifiky rozeznání erbu oproti rozeznání jiných objektů například na fotografiích. Dále rozvádí některé poznatky z kapitoly věnující se heraldice v kontextu rozpoznání erbu a také uvádí některé další informace, které se váží k jednotlivým řešeným problémům a nejsou uvedeny předchozí kapitole. V první části rozebere problém barev používaných v heraldice, následně pak rozbor jednotlivých částí erbu.

3.1 Barvy

Jedním z hlavních prvků popisu erbu je popsání jeho barevnosti. Barvy použité v erbu jsou jasně specifikovány a naším úkolem je popsat princip vnímání barev, jejího záznamu v počítačových systémech a následný rozbor na diskrétní množinu určenou heraldickými pravidly.

Vnímání barev je založeno na světle. Světlo je elektromagnetické záření v určitém rozsahu vlnových délek nebo frekvencí. Určitá část tohoto spektra viditelná lidským okem se označuje jako viditelné světlo. Šíří se ze světleného zdroje v rozsahu vlnových délek, jednotlivé části spektra viditelného světla určují barvu světla. Bílé světlo pak vzniká smícháním všech vlnových délek světla. Pokud dopadá na objekt světlo, podle jeho vlastností se část rozsahu odrazí a část je pohlcena. Odražené světlo pak určuje naše vnímání jeho barvy. Lidské oko vnímá zelenou, červenou a modrou barvu. Zbylé barvy vznikají smícháním těchto základních barev. Jakoukoliv barvu tedy můžeme popsat jako poměr základních barev a také hodnotou jasu (tedy intenzitou světla) a její sytostí, která je určena rozsahem spektra.

Vnímání a popis barevných odstínů je subjektivní záležitostí, hlavně u minimálních rozdílů v jasu nebo sytosti. Z hlediska heraldiky se uplatnil seznam barev, které by měly být snadno odlišitelné a jednoznačně popsatelné pouhým okem i za špatných podmínek. Cílem by tedy mělo být použít co nejjasněji odlišitelné odstíny pro zobrazení jednotlivých barev, bohužel tento postup značně podléhá vnímání barev autora, v případě dochovaných starších zdrojů často také zkreslení z důvodů použitého materiálu nebo jeho barevné nestálosti v průběhu času. Dalšími komplikacemi jsou šum v případě nekvalitního převodu dokumentu do elektronické podoby, případně snaha autora použít stínování apod. nebo umělý šum a zkreslení pro „realistický“ efekt, což přidává problémy pro jasné rozdělení barev.

Z hlediska počítačové grafiky pak je záznam barev vyjádřen v několika barevných modelech. Projdeme si některé základní ve snaze najít takový, ve kterém lze jednoznačně rozdělit barevné body do skupin podle heraldických pravidel.

3.1.1 RGB

Je základním barevným modelem v počítačové technice. Odpovídá skládání světelných složek ze zelené, červené a modré barvy. Určitá barva je popsána jako bod v krychli, na které každá osa odpovídá jedné barevné složce.[10]

Z pohledu našeho problému není příliš vhodný, protože jednotlivé barvy jsou určeny třemi proměnnými. Jasně nastavení hranic mezi barvami tedy není triviální záležitostí, jejich rozdělení na diskrétní množinu by odpovídalo určení objektů v této krychli. Další nevýhodou je nemožnost přímo pracovat s jasem a sytostí barvy při zachování stálého odstínu. Naopak výhodou je fakt, že černá, bílá a odstíny šedé se nacházejí na tělesové úhlopříčce krychle mezi bodem s nulovou hodnotou všech barev a bodem s jejich maximální hodnotou. Odstíny šedé mají stejnou hodnotu všech barevných složek, vyfiltrování černých a bílých ploch je tedy jednoduché.

3.1.2 HSV/HSL

Jde o barevné modely orientované na intuitivní práci s barvou. Liší se v modelu barevného rozsahu, HSV je zobrazován šestiboký jehlan, kdy vrcholy základny jehlanu jsou maximální hodnoty základních barev a jejich kombinací, vzdálenost od vrcholu určuje jas a vzdálenost od středové osy sytost barvy. Model HSL je popisován jako dva spojené kužely. Místo hodnoty má jas, při minimálním jasu je barva černá, nezávisle na ostatních hodnotách, naopak při maximálním je bílá. V těchto barevných modelech hodnota H určuje barevný tón (hue), S označuje sytost barvy (saturation), V pak hodnotu (value) a v případě HSL modelu určuje hodnota L jas (lightness).[10]

Pro naše účely jsou vhodnější pro rozdělení barev, protože už podle hodnoty barevného tónu (hue) lze rozdělit základní barvy nezávisle na jejich sytosti nebo jasu. Pro účely rozdělení barev, které spadají do podobného rozsahu hue, například oranžové a hnědé barvy už se situace komplikuje. Také je problém rozlišit pohledově černou a bílou, protože odpovídají minimální sytosti barvy a minimálnímu resp. maximálnímu jasu, ale z hlediska tónu mohou být umístěny kdekoliv, takže jsou určeny více proměnnými.

3.2 Štít a ostatní prvky

Skupinu vstupních obrázků můžeme rozdělit na dvě skupiny. První variantou je erb obsahující pouze štít, druhou pak erb úplný, tedy včetně helmy, přikryvadla a dalších prvků. V případě osamocené štítu je pak úkolem pouze popsat jednotlivé figury vyobrazené na štítu. V úplném erbu je úkol složitější. Jednotlivé prvky mají určené pořadí popisu a některé svoje charakteristiky.

Štít samotný není nijak přesněji vymezen tvarem. Literatura uvádí, že tvar se nepopisuje a závisí na vůli autora kresby. Ten by ale měl respektovat sloh doby udělení nebo vzniku erbu, což také není podmínkou, styl erbu se ale v jednotlivých dobách značně liší. Nejčastěji v literatuře zpodobňovaným tvarem štítu je štít gotický, vycházející z praktické podoby v té době užívaného štítu. Pozdější štíty nabývají nejrůzněji ozdobných tvarů, které jsou komplexněji a nikterak společně geometricky popsatelné. Pro účely této práce se budeme zabývat aproximací štítu gotického, případně jeho obdoby z jiných období které se drží alespoň základů jeho tvaru.

Přilba je další výraznou částí úplného erbu. Používá se několik typů přileb, které vycházejí opět z doby vzniku erbu, jejich vyobrazení se různí, ale popis typu se blíže nespecifikuje.

Naopak se určuje její natočení, v případě více přileb jsou pak pravidla striktnější. Umístěna bývá na horní straně štítu, pokud je ten natočen, pak na vrcholu směřujícím vzhůru. V obou případech lze pak nalézt v umístění nad středem plochy štítu. U otočených přileb lze pozorovat časté podrobnější vykreslení obličejové části, případně částečné zakrytí týlové strany přikryvadly.

Točenice bývá posazena na přilbě, graficky odděluje přilbu od případného klenotu barvami přikryvadel. Nijak se nepopisuje a pro rozpoznání erbu nehraje výraznější roli.

Přikryvadla bývají ve většině případů tvořeny hlavními tinkturami ve štítě. Toto ale nemusí být pravidlem a pokud se ve znaku nacházejí, musí být popsána jejich barva. Nabývají velmi nepravidelných tvarů, často tvoří různé smyčky a řasení. Dá se na ně pohlížet jako na doplňkový prvek a vzhledem k náročnosti jejich cíleného hledání podle např. tvaru je praktické je určovat jako poslední prvek erbu.

Klenot může nabývat libovolného tvaru a tinktury. Jeho jedinou stabilně určující vlastností je jeho umístění na vrcholu přilby, případně posazení na točenici.

Z možností využitelných pro rozdělení erbu na tyto prvky je potřeba také zmínit možnosti využití symetrie některých částí erbu. V případě erbu se štítem umístěným v přímé ose autoři často vyobrazují obě strany erbu symetricky podle středové osy štítu. Také pokud je přilba přivrácena k pozorovateli, je nezřídka také vyobrazena symetricky podle osy symetrie, kterou sdílí se štítem. V tomto případě bývají symetrická i přikryvadla a tohoto faktu lze využít pro určení středu štítu nebo nalezení pravidel vedoucím k určení jeho částí. Tato možnost je bohužel narušena podmnžinou štítu pootočených ze svislé osy. U těch štítů stále může být symetrický, ale již se nelze spoléhat na symetrii celého znaku. Dalším prvkem je určitá nepravidelnost ve štítě, nejčastěji daná výřezem na dřevec ve tvaru štítu. V určité aproximaci tvaru štítu na mnohoúhelník lze ale tuto nepravidelnost potlačit.

Z nabytých informací je patrné, že štít tvoří hlavní prvek erbu (nebo také jediný) a zbylé prvky erbu jsou na něj svým umístěním vázané. Také určuje hlavní tinktury použité ve znaku, z nichž se dá vycházet při hledání přikryvadel. Prvním krokem rozkladu erbu na jeho části je tedy nalezení části vstupního obrázku, který obsahuje štít.

Kapitola 4

Použité technologie a algoritmy

Tato kapitola si klade za cíl čtenáře seznámit s technologiemi a postupy při řešení samotné praktické části práce. V úvodu zmiňuje obecně pojem počítačového vidění a následně uvádí základní informace o zvolené knihovně OpenCV. V dalších částech popisuje některé algoritmy pro dekompozici obrazu a jejich implementaci v OpenCV. Také možnosti jejich použití v našem případě. Při popisu návrhu postupu se sem budu z následujícího textu odkazovat.

4.1 Počítačové vidění

Počítačové vidění (computer vision) se zabývá strojovým zpracováním vizuální informace. Vidění obecně můžeme charakterizovat jako postup, při kterém získáváme z vizuálního vjemu nějakou informaci, které následně doplníme kontext. Cílem konkrétně počítačového vidění je získat z obrazových dat hledané informace dále využitelné v kontextu aplikace, případně pozměnit obrazovou informaci z hlediska postupu k nějakému cíli. Příkladem může být využití v průmyslu, kdy se pomocí senzorů kontroluje kvalita výstupního výrobku a nekvalitní se automatizovaně vyřadí. Jedná se ale pouze o jeden z mnoha příkladů, na které je možné počítačové vidění aplikovat.

Počítačové vidění se ale zabývá mnoha různými problémy a úlohami. Příkladem takových úloh může být např. rozpoznávání (objektů - klasifikace, identifikace specifického objektu v obrazu, detekce - např. automobil při průjezdu mýtnou branou). Pro tyto úlohy se můžeme často setkat i s použitím algoritmů neuronových sítí, které umožňují přiblížit se způsobu vnímání lidmi. Dalším příkladem řešených problémů může být např. analýza pohybu (třeba sledování objektů na videu).

Protože lidé mají značnou část mozku věnovanou zrakovému vjemu, mají značně mylnou představu o úskalích rozeznávání informací z vizuálního vjemu. Kupříkladu rozpoznat auto je velice snadné, nezávisle na jeho značce, velikosti, tvaru, osvětlení a dalších parametrech. Z hlediska počítačového vidění ale máme k dispozici pouze vstup, zpracovaný do vícerozměrného pole hodnot (matice tzv. pixelů). V doplnění kontextu, potřebném pro zjištění cílové informace, postrádáme postupy rozpoznání objektů, cvičené roky pozorováním okolního světa. Musíme tedy navrhnout kroky, kterými získáme z těchto vstupních hodnot určitý popis nebo model, který nám poskytne dost informací pro výsledné rozhodnutí. [1] [3]

V případě této práce se zabýváme rozkladem a vyhledáváním „objektů“ v obraze. Kontextem je v tomto případě popis očekávaných jevů, se kterými se můžeme na vstupu setkat,

rozebranými v předcházející, resp. následující kapitole. Drobným specifikem našeho zadání je fakt, že vstupní obrazy nejsou přímým záznamem objektů reálného světa (např. fotografie), ale záznam podoby specifického vizuálního díla, u kterého se snaha o ztvárnění trojrozměrných objektů běžně ani nevyužívá. Využití počítačového vidění tedy bude v našem případě množina prvků v obraze (konkrétně části erbu) a jejich vztahů, na základě kterých budeme schopni sestavit heraldický popis výsledného nálezu.

4.1.1 OpenCV

OpenCV je open source knihovna zabývající se počítačovým viděním. Je napsána v programovacím jazyce C, její verze 2 pak v jazyce C++. Existují ale také rozhraní pro její použití např. v jazycích Python nebo Java. Tyto rozhraní fungují tak, že využívají nativní knihovnu OpenCV (naprogramovanou v C++) a nativní knihovnu, která funguje jako mezivrstva (např. v Javě pomocí standardu JNI). Jazyk poté využívá svou nativní knihovnu, která funguje jako proxy mezi samotnou knihovnou OpenCV a tímto jazykem. Nevýhodou tohoto řešení je ovšem závislost na nativním kódu, knihovna OpenCV a pomocná knihovna musí být k dispozici na dané platformě (což u jazyků jako je Python či Java omezuje přenositelnost výsledného programu). Další možností je přeimplementace knihovny OpenCV do cílového jazyka, tím by byla zajištěna plná přenositelnost v dané technologii a její lepší integrace. Nevýhodou by ovšem byla velmi pracná reimplementace všech algoritmů a struktur, proto se v současné době této možnosti nevyužívá.

Knihovna si klade za cíl poskytnout snadno použitelné nástroje pro vytváření i značně rozsáhlých aplikací využívajících počítačového vidění. K tomuto účelu obsahuje škálu vysoce optimalizovaných funkcí pokrývajících potřeby širokého rozsahu oblastí využívajících počítačové vidění, často i přesahujících samotný obor počítačového vidění, např. samostatnou podknihovnu zabývající se strojovým učení (Machine Learning Library).

Původ OpenCV lze najít ve vývojových týmech společnosti Intel, zabývajících se optimalizací výpočetně náročných operací. Tam se také zrodil nápad vytvořit jednotnou knihovnu pro práci s obrazem, která by byla k dispozici veřejnosti zdarma. To by umožnilo snadnou přenositelnost aplikací zabývajících se počítačovým viděním a také využívání již zpracovaných algoritmů v optimalizované podobě bez nutnosti je znova implementovat. Licence BSD je pak zvolena tak, aby umožňovala využití knihovny nekomerčních i komerčních projektech a motivovala (ale nezavazovala) vývojáře ke zveřejňování možných rozšíření a postupů. Její úspěch v tomto směru lze podložit například informací, že v současné době jsou staženy řádově stovky tisíc kopií každý měsíc.

Knihovna je standardně dostupná pro platformu Windows, UNIXové platformy (Linux, *BSD, Mac OS X). Ale je dostupná i pro mobilní zařízení (Android, iOS a Maemo).

Standardně OpenCV používá na výpočet CPU, což je samozřejmě nejjednodušší a nejlépe dostupné. Nicméně z důvodu rozmahu využívání grafických karet pro výpočty a analýzu obrazu (což je této knihovně velmi blízké), vznikly i portace využívající platformu CUDA (modul gpu) a OpenCL (modul ocl). Výhodou řešení OpenCL je možnost portace na různé grafické karty, nevzniká zde závislost na rozhraní jednoho výrobce, API CUDA je k dispozici sice delší dobu, ale pouze pro grafické karty společnosti NVidia. Pomocí ocl modulu můžeme využívat rozhraní OpenCL, které je nezávislé na výrobci. Velkou výhodou těchto řešení je možnost potenciálně velmi zásadně urychlit zpracování obrazu (zejména díky vysokém paralelismu výpočetního jádra grafické karty). Nevýhodou je samozřejmě nutnost specifického využití tohoto rozhraní, nemožnost transformace algoritmů bez jejich přepsání a přizpůsobení programu. Obecně platí, že tyto moduly poskytují lepší výkon, ale nemáme k

dispozici všechny možnosti v OpenCV, příp. musíme využít trochu jiné API a architekturu. [1]

4.2 Algoritmy a postupy pro vyhodnocování erbů

4.2.1 Prahování

Jde o jednu ze základních operací nad pixely. Rozdělí obraz na dvě hodnoty (dají se popsat jako 0 a 1, případně maximum a minimum) porovnáním každé hodnoty s hodnotou prahu. Tedy pokud bychom uvažovali obraz v úrovních šedi, pak pro každý pixel s hodnotou rovnou nebo vyšší prahu jej nastavíme na 1, jinak na 0. Dá se popsat jako funkce

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases}, \quad (4.1)$$

kde $g(x, y)$ je hodnota ve výstupním obraze, $f(x, y)$ je hodnota vstupu a t je hodnota prahu. Strategii volby prahu je několik, např. se dá určit z histogramu rozložení odstínů šedi v obraze. Výsledný obraz nemá vzhledem ke svému rozsahu hodnot výrazné využití pro další zpracování. Lze ale použít v mnoha algoritmech jako binární maska oblasti, nad kterou chceme provádět komplikovanější algoritmy.

Můžeme na jeho bázi také odvodit obecnou funkci, která rozděljuje pixely podle splnění podmínky (nebo výčtu podmínek). Například oddělit z obrazu ve formátu RGB body odpovídající černé (resp. bílé) barvě.

4.2.2 Vyhledávání hran

Další potřebnou množinou algoritmů pro dekompozici obrazu je vyhledávání hran. Optimální algoritmus pro vyhledávání hran je několika parametry:

- Maximalizací pravděpodobnosti nalezení hrany a minimalizací šance falešného nálezu.
- Výsledná vyznačená hrana by měla co nejvíce odpovídat středu hledané hrany.
- Každá hrana ve zdrojovém obraze by měla odpovídat právě jedné výsledné.

Pro tento účel lze využít Cannyho detektor hran, který je považován za optimální vyhledávač hran.[9] Jeho činnost je popsána v pěti krocích. V prvním je potřeba odfiltrovat šum, který představuje pro detektory hran problém (vytváří falešné nálezy). V druhém kroku se vyhledávají gradienty intenzity sousedních pixelů pomocí matice, podobně jako u jiných detektorů hran, např. Sobelova operátoru. V tomto kroku se kromě rozdílu intenzity sousedních pixelů ukládá také úhel změny. Ten slouží v následné části, odstraňování nemaximálních hodnot. Gradient se porovná se sousedními pixely ve směru úhlu změny (který se pro tyto účely zaokrouhluje v úhlech 45, 90, 135 a 180 stupňů, tedy vždy odpovídá jednomu pixelu z 8-okolí) a ponechá se jen ten s nejvyšší hodnotou gradientu, tedy jen ten s nejvyšší hranou. Gradienty jednotlivých pixelů se pak prahují pomocí dvou prahů. Vyšší z nich značí hranu, nižší je podmíněn existencí hrany podle vyššího v některém okolním pixelu. To zajišťuje zachování málo výrazných hran za současné možnosti odstranit osamocené „hrany“ na šumových pixelech. [8]

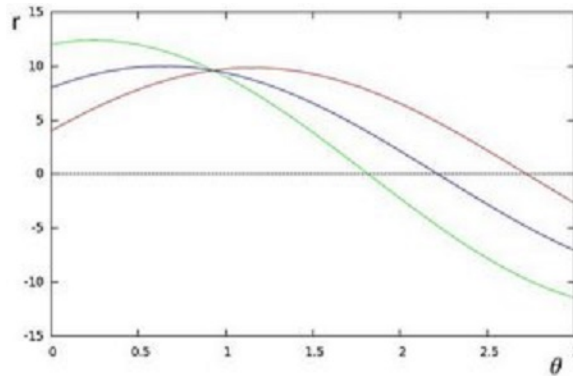
Pro naše řešení je podstatné zmínit, že vstupem tohoto algoritmu je obraz ve stupních šedi. Převod barevného obrazu na stupně šedi ale přináší problémy v podobě stejného

odstínu šedi u pixelů zcela odlišné barvy, ale podobné intezity. V našem případě je ale cílem dosáhnout co nejvyšší přesnosti odlišení barev. Můžeme ale rozdělit vstup na tři „černobílé“ obrazy odpovídající barevným kanálům, provést hledání hran pro každý zvlášť a následně prahovat sumu výstupů pro každý pixel vstupu.

Nutným krokem k řešení geometrických vlastností vstupního obrazu je detekce základních tvarů, jako přímek a kružnic. K těmto účelům můžeme využít Houghovu transformaci. Vyhledává objekty popsatelné matematicky, nejjednodušším příkladem je přímka. Tu můžeme popsat dvěma parametry. V implementaci v knihovně OpenCV se využívá polárních souřadnic, tedy určujeme přímku rovnicí

$$y = \left(-\frac{\cos\theta}{\sin\theta}x + \frac{r}{\sin\theta}\right) \quad (4.2)$$

kde r je vzdálenost průsečíku přímky a její normálové úsečky vycházející z počátku a θ je úhel sevřený touto úsečkou a osou x . Algoritmus funguje na principu tzv. akumulátoru. Z každého bodu vstupních dat se vypočítá skupina přímek jím procházejícím a zakreslí se jako sinusoida do akumulátoru. V případě křížení křivek v akumulátoru pak souřadnice jejich průsečíku určují parametry přímky, na které oba body leží. [1] [11]



Obrázek 4.1: Příklad akumulátoru. Tyto tři body leží na přímce určené parametry danými průsečíkem křivek. Převzato z [11]

V knihovně OpenCV je tento algoritmus implementován funkcí `cv::HoughLines`, resp. `cv::HoughLinesP`. Druhý případ pak vrací jako výsledek úsečky v podobě souřadnic jejích koncových bodů, určených z extrémů nalezených přímek.

Tento postup „sdužuje“ body v binární matici. Vstupem bývá obvykle výstup hranového detektoru, ale může jím být také obraz s vykreslenými mnohoúhelníky (viz další sekce).

4.2.3 Histogram barev

Histogram obecně popisuje rozložení hodnot v množině. Jeho běžným využitím je získání statistiky věnující se rozložení barev nebo odstínů šedi v obraze.

V případě analýzy prvků erbů je histogram velmi důležitým nástrojem, který můžeme použít např. pro zjištění barevnosti dané kontury (majoritní barva v histogramu oblasti konturou definovanou). Popis erbu je dán množinou povolených barev. Cílem je zjištění hlavních barev použitých pro popisované části. Na základě výstupu histogramu lze snadno určit převažující hodnoty. Jednou z možností, které histogram nabízí, je také sdružení možných

hodnot do více agregovaných skupin výsledků, např. hlavních a vedlejších barev některého barevného modelu.

4.2.4 Práce s konturami

Kontury můžeme obecně popsat jako mnohoúhelníky nebo případně seřazené seznamy bodů (tak vystupují i v implementaci). Ty slouží k popisu tvaru objektů, které si předtím pomocí metod zpracovávajících obrazová data rozdělíme na oblasti zájmu (tzv. region of interest, často zkracován na ROI) a chceme z nich získat ohraničení hledaných objektů. Jejich vyhledávání v OpenCV je založeno na jednoduchém principu procházení binárního obrazu (např. z detektoru hran, viz výše). Při nálezů objektu je postupováno po jeho hraně a v případě nálezů smyčky se výsledek aproximuje na mnohoúhelník popisující tvar nalezeného objektu. Toto je implementováno v `cv::findContours`. Knihovna také implementuje jejich vykreslení a další funkce pro analýzu dat / ladění algoritmu. [7] [6]

Nutným krokem vedoucím k dalším možnostem popisu nebo porovnání tvaru kontury jsou možnosti její aproximace. Umožňují zjednodušit mnohoúhelník na nižší počet bodů na základě různých strategií, čímž mohou poskytnout výhody pro další práci s tvarem. První variantou je obalující obdélník. Vytvoří nejmenší možný obdélník rovnoběžný s osami, který obsahuje všechny body kontury. Je možné jej využít např. pro ořez vstupního obrazu nebo určení v jakém rozsahu souřadnic se vyskytuje, ale jinak nepřináší výrazné výhody. Jinou variantou je sestavení otočeného obdélníka. To pracuje pouze s množinou bodů, nejedná se o operaci nad konturou. Uvádím jej ale z důvodu jeho lepší využitelnosti pro aproximaci plochy zabíranou štítem i v případě jeho umístění v erbu v pootočené pozici. Další skupinou jsou aproximace na polynom. Jedna z nich je určená maximální vzdálenosti hran polynomu a původních hran kontury. Ta může najít použití pro vyhlazení okrajů kontur způsobených šumem nebo jako přípravný krok pro následné porovnávání objektů. Je také možné využít tzv. konvexní obálky. Ta lze využít pro zjištění nejmenšího konvexního mnohoúhelníka obalujícího zjišťovaný tvar. Jednou z metrik jednotlivých kontur, využitelnou v našem návrhu může být poměr obsahu konvexní obálky kontury a obsahu kontury samotné, případně její základní aproximace na polynom.

Kapitola 5

Nalezení štítu

Kapitola popisuje navržené varianty hledání štítu v erbu. V první části je zmíněna varianta, kterou jsem po určité době testování a dohledávání dalších informací a vzorků vyhodnotil jako neúspěšnou. V dalších částech je pak popsáno řešení použité i ve výsledné aplikaci. Zmíněné algoritmy a postupy jsou pro přehlednost shrnuty v kapitole [4.2](#).

5.1 Pomocí hran

První varianta řešení, na které jsem pracoval vycházela z hledání hran a následné aproximace tvaru štítu na mnohoúhelník. Ten měl být předpokládaně jasně geometricky odlišitelný od tvaru ostatních částí erbu.

V první fázi této varianty je na vstupní obraz aplikován hranový detektor. Ten je pro efektivní rozdělení barev podobného jasu ale rozdílného odstínu použit na každou barevnou složku zvlášť. Ze sumy výsledných hodnot pro každý pixel je pak určeno jasné umístění všech hran v obraze. Následně jsou pomocí Houghovy transformace ([4.2.2](#)) hledány jednotlivé úsečky. V první fázi je cílem najít horní hranu erbu a také hrany, které s ní svírají pravý, případně podobný úhel a tvoří boční strany erbu. V případě úspěšného nálezu těchto by se pak v rozsahu vymezeném bočními okraji štítu hledala lomená čára vymezující jeho dolní hranu. U tohoto kroku se dá výhodně využít symetrie štítu podle středové osy pro určení rozsahu, kdy má hledaná čára růst a následně kdy klesat. Navíc může opravit nebo zpřesnit chybné hledání.

Už z návrhu tohoto konceptu jsou patrné některé výrazné chyby. První z nich jsou problémy při hledání erbu s nakloněným štítem. Nejvýraznějším problémem ale jsou štíty, u kterých se autor rozhodl nepoužít rovné boční hrany, případně je zobrazil s výrazným výkrojem. V tomto případě pak musí řešení spoléhat na parametry určující aproximaci čar, které ještě algoritmus pro jejich hledání určí jako úsečky. V tomto případě ale narůstá poměr chybně určených hran. Další problém pak zakládají dělení a polcení štítu. Ty mohou být chybně určeny jako okraje štítu. V průběhu vývoje se navíc projevilo další zkreslení způsobené případným výrazným obrysem obrazu, který byl určen jako dvojí hrana a způsoboval další nestabilitu řešení.

Po neúspěšných pokusech s tímto návrhem a projití dalších materiálů jsem se rozhodl tento směr postupu zcela opustit pro jeho nedostatečně obecné zaměření a nestabilitu.

5.2 Pomocí kontur

Druhý návrh řešení je založen na ploše vyhrazené prvky jednotlivých barev. Vychází z předpokladu, že erb je složen z jasně odlišitelných ploch v barvě povolených tinktur.

Úvod to tohoto řešení předkládá část věnující se rozboru barev 3.1. Prvním krokem je nalezení masky kompletního erbu. Předpokladem je erb na bílém (nebo výrazně světlém, např. naskenovaném z písemného dokumentu) pozadí s kontrastním obrysem. Ten načteme ve formátu RGB. Následně vyprahováním všech pixelů s nižším jasnem získáme konturu erbu. Ta nám tvoří masku pro další operace s obrazem.

V tuto chvíli je potřeba rozdělit obraz na části v barvách jednotlivých tinktur a pro ty pak určit jejich celkovou zabíranou plochu. Pro rozdělení barev kombinujeme výhody obou barevných modelů (popsaných v 3.1.1 resp. 3.1.2). Nejprve pomocí prahování (viz část 4.2.1) oddělíme černou a bílou barvu. Následně převedeme obraz na model HSV a rozložíme jej na jeho jednotlivé kanály. Z nich využijeme barevného tónu a vytvoříme si histogram četnosti barev (4.2.3) podle jejich hodnoty. Na jeho základě jsme schopni určit nejčetnější barvy erbu, která odpovídá hlavním tinkturám.

Vzhledem k pravděpodobné přítomnosti šumu ve zdrojovém obraze najdeme i množství pixelů v nedominantních barvách, proto musíme nastavit minimální hranici podílu v histogramu, kterou musí určitá část spektra splňovat, abychom ji vybrali. Tuto hranici bychom neměli nastavovat fixně, ale určit ji buď podílem nejvíce zastoupené barvy, nebo přidávat barvy, dokud suma jejich zastoupení nepřekročí rozhodující podíl celku. Také mohou nastat komplikace v případě, kdy se autor vstupního vrazu rozhodne využít barvy, které budou v případě rozdělení jednotlivých položek histogramu na hraně dvou skupin. Tehdy se může stát, že se rozdělí pixely spadající do jedné kontury mezi dvě hodnoty histogramu a také se rozdělí kontury. Lze potlačit rozumným návrhem výsledných množin histogramu.

Nyní si můžeme vykreslit pixely každé dominantní barvy do nového obrazu a pomocí hledání kontur (viz 4.2.4) si vytvořit množinu všech prvků erbu jako mnohoúhelník ohraničující jeho okraje a barvu. Výstupem tohoto kroku je tedy seznam kontur, doplněných o jejich barvu. Také využíváme možnosti určit její geometrický střed pro popis její pozice.

5.3 Aproximace tvaru a výběr kontur

Ve chvíli, kdy máme určeny tvar a barvu všech součástí, nacházejících se v erbu, se navracíme k úkolu odlišit štít od ostatních částí erbu. Po problémovém rozboru geometrie štítu (popsaném na začátku této kapitoly) potřebujeme vytvořit sadu pravidel, která budou určovat štít s minimální závislostí na nepravidelnosti jeho tvaru. Při návrhu tohoto postupu jsem vycházel z kontur a možností jejich aproximace. Pokud maximálně aproximujeme tvar štítu, získáme jeho nejmenší obalující obdélník. Druhou možností je pak štít aproximovat na trojúhelník, postavený na vrchol. Můžeme říci, že tvar štítu bude vždy větší než trojúhelník, spojující jeho nejvýraznější vrcholy, ale vždy bude menší než jeho nejmenší obalující trojúhelník. Pokud bychom hledali „průměr“ těchto dvou aproximací, dostaneme se k pětiúhelníku, který v horní části kopíruje tvar obalujícího obdélníka, a v dolní části se pak sbíhá do vrcholu určeném středem jeho dolní hrany (nebo dolním vrcholem trojúhelníku). Uvažujme tedy, že si tento obdélník sestrojíme nad určitou částí množiny kontur. Pak hledáme část množiny kontur, pro kterou platí:

- vyplňuje největší část obdélníka,
- dolní hrany se dotýká pouze uprostřed,

- nejvíce se blíží celé šířce horní hrany.

Tento návrh pravidel vychází ze sekce 3.2. Tato pravidla můžeme kvantifikovat jako podíl sumy obsahu kontur dělenou obsahem obdélníka (resp. jeho horní části). V reálné aplikaci nemůžeme pokrýt všechny kombinace kontur. Musíme nastavit rozhodující hranici, kterou prohlásíme za úspěch, nebo maximální počet opakování.

Tento problém můžeme pro účely aplikace navrhnout jako iterační algoritmus. Pro minimalizaci počtu kroků vedoucích k řešení přidáváme zaokrouhlený poměr vyplněné části v levé a pravé půlce obdélníka, rozděleného podle jeho středové osy. Musíme ale navrhnout skupinu kontur jako vstup prvního kroku. Na základě rozboru jednotlivých prvků (opět sekce 3.2), můžeme za nejpravděpodobnější umístění štítu určit střed znaku, v případě erbu obsahujícím rozsáhlý klenot nebo přikryvadla pak prostor pod středem. Zvolíme tedy objekty nacházející se ve středové části v ose x a ve středové části nebo níže v ose y. Dalšími možnostmi je využít ostatních vědomostí, které máme o konturách získaných z kroku 6.1. Při návrhu aplikace jsem zkoušel využít např. staticky vyšší „konvexity“ kontur obsažených ve štítě, jejich vzájemnou nízkou vzdálenost, nebo vycházet z kontur, které jsou v hlavních barvách erbu, nebo začít od největší z nich. Problémem je, že pro každý z těchto přístupů je možné nalézt množinu erbů, které mu nebudou odpovídat.

V každém kroku pak ověříme pravidla. Pokud vyhodnotíme výsledné hodnoty jako dostatečné, prohlásíme kontury v současné iteraci za štít. V opačném případě musíme přidat nebo odebrat konturu podle pravidla, které má nejhorší hodnocení výsledku. Klíčovým měřítkem efektivity tohoto řešení je návrh kroku. V ploše pod umístěním štítu neočekáváme žádný další prvek. Pokud nesplňujeme pravidlo zužování štítu k dolní hraně, pravděpodobná příčina chyby je chybějící dolní část štítu ve výběru kontur. Jestliže máme výrazně odlišný podíl vyplnění polovin štítu, pak naopak zúžíme štít na straně s nižším vyplněním kvůli předpokladu, že plochy uvnitř štítu jsou výrazně „kompaktní“ a nejčastější chyba je nadměrné rozšíření rámu o objekt mimo něj. Při nedostatečné „blízkosti“ horní hrany pak odebíráme kontury z prostoru nad štítem, kde lze očekávat nejvyšší míru výskytu kontur nepatřících do štítu. Při přihlédnutí k faktu, že jeden krok sestává s přechodu mezi množinou kontur a následným obdélníkem, resp. pětiúhelníkem, je potřeba zvolit velikost kroku. Toto se ukázalo jako největší překážka návrhu, přes kterou jsem se bohužel nedokázal dostat. V případě že úpravu na další krok budeme sestavovat z množiny kontur, je potřeba zajistit, aby případný odebraný prvek nebyl přijat zpátky na základě rozšíření obalujícího obdélníku jiným prvkem. Vhodnější se může zdát postup na základě návrhu změny tvaru obdélníku. Tato varianta ale naopak vyžaduje strategii určení velikosti změny.

Kapitola 6

Výsledná aplikace

Aplikace byla naprogramována v programovacím jazyku C++ a s pomocí knihovny OpenCV. Jazyk C++ byl zvolen z důvodu, že celý program je postaven na knihovně OpenCV a díky využití stejného jazyka, je možné dosáhnout optimální a nejjednodušší integrace s touto knihovnou. Jako prostředí byl zvolen operační systém Windows a jako překladač Visual C++. Aplikace nicméně používá z drtivé většiny pouze API z OpenCV, ze kterého využívá i velké množství datových struktur, což usnadňuje implementaci a umožňuje jednoduše volat jednotlivé implementace grafických algoritmů z knihovny. Díky tomu by bylo velmi jednoduché portovat aplikaci i na jiné operační systémy než je Microsoft Windows (krom OpenCV aplikace využívá pouze standardní knihovny jazyka C++ jako je STL).

Aplikace funguje v základních fázích:

1. Načtení obrazových dat pomocí OpenCV
2. Normalizace rozlištění obrazových dat
3. Prahování nebilých pixelů
4. Nalezení kontur
5. Hledání prvků štítu
6. Blasonování

6.1 Průběh aplikace

Po načtení vstupních obrazových dat aplikace postupuje způsobem detailněji rozebraným v sekci . Následně bylo cílem implementovat vyhledávání částí štítu na základě návrhu . Tato část implementace bohužel nakonec nebyla úspěšná z důvodů nevhodných návrhů strategie kroků. V aplikaci je ponechána pro zachování návrhnu její architektury a případnou možnost náhlednout do postupu vývoje, její funkce ale byla potlačena.

Pro účely blasonování jsem se rozhodl vyjít z dosud získaných informací a určovat typ erbu podle vzájemné polohy hlavních kontur. Tento přístup se drží směru návrhu nezávislého na tvaru štítu, případně jeho částí. Výhodou tedy může být např. rozpoznávání kontur, které jsou rozděleny způsobem nezaloženým na jednoduchých úsečkách (v literatuře se setkáváme s metodami dělení erbu pomocí rozličně pilovitých, zvýrazněných a jiných čar). Také nám to umožňuje určit obecné figury jako kontury obsažené v jiné, hlavní, kontuře. Základním

krokem rozhodování o vzájemné poloze kontur je sestavení virtuální matice 3x3 nad štítem, která popisuje různé souřadnicové části. Matice tedy definuje následující regiony:

1. Horní část (0 - 40 %) - levá (0 - 40 %), střed (40 - 60 %), pravá (60 - 100 %)
2. Střední část (40 - 60 %) - levá, střed, pravá
3. Spodní část (60 - 100 %) - levá, střed, pravá

Také je třeba určit středy jednotlivých kontur. Podle pozice jednotlivých středů přiřadíme kontury do této matice (resp. jejich indexy). Využíváme zde faktu, že proces dělení štítu je poměrně specificky definovaný a typicky pracuje s těmito regiony. To nám umožní usnadnění procesu blasonování v následujícím kroku.

Blasonování využívá dat z přechozích kroků. Základním postupem pro popis je detekce počtu oblastí (dle kontur), poté identifikujeme typické případy rozdělení (např. půlení). Výstupem je řetězec, který program vypíše na obrazovku.

U popisu obrazu používám pro přehlednost řešení popis stran (levá, pravá) z pohledu diváka a nikoliv z pohledu osoby držící štít (jak je bylo historicky běžné v heraldice).

V případě blasonování v aplikaci využíváme znalosti heraldických zvyklostí. Barvy jsou zde definovány jako fixní výčet, který je jasně dán používanými barvami v heraldice. Pro účely zachování kontinuity výsledků histogramu jsem ponechal i barvy, které nejsou v heraldice obvyklé. Výslednými zpracovávanými barvami tedy jsou červená, oranžová, zlatá, žlutozelená, zelená, zelenotyrkysová, tyrkysová, tyrkysovomodrá, modrá, fialová, růžová, růžovočervená, bílá, černá.

6.2 Výsledky aplikace, testování

Vzhledem k rozhodnutí neimplementovat v plném rozsahu část aplikace rozdělující erb na jednotlivé prvky mimo štít jsem navrhl jako množinu vstupů erby složené pouze ze štítu obsahujícího geometrické heraldické figury. Na této množině vstupů je patrné, že aplikace je výrazně závislá na úspěchu rozdělení kontur vstupního znaku. V případě, kdy jsou jednotlivé kontury určeny korektně, aplikace správně popíše erb. V případě selhání vyhledání kontur, např. v případě, kdy se dva na sobě nezávislé prvky výrazně blíží a naruší si tvar, případně se spojí v jeden apod. aplikace selže v určení tvaru erbu.

Kapitola 7

Závěr

V rámci teoretické části práce byla provedena rešerže heraldické tematiky, typických prvků rodových erbů a způsobu jejich popisů (blasonování). Zároveň jsem se v rámci práce seznámil se základními algoritmy a postupy pro počítačové rozpoznávání obrazu a s možností využití knihovny OpenCV pro tyto účely.

Byl proveden rozbor problému, provedena analýza výběru vhodného barevného modelu pro analýzu (HSV / HSL) a možných podob štítu pro analýzu (úplný a erb obsahující pouze štít), byly diskutovány možné prvky na úplném štítu a následně zvoleno řešení, že základním krokem je nalezení masky samotného štítu v obraze (bez překryvad, helmy a dalších prvků).

Poté byly stanoveny a experimentovány vhodné algoritmy pro provedení analýzy. Prvním krokem bylo zvoleno prahování obrazu (u nebílých pixelů). Následuje krok vyhledávání hran pomocí Houghovy transformace. Následně se provede nalezení kontur pomocí knihovny OpenCV. Pomocí histogramu barev následně určíme barvu oblasti definované konturou (ačkoliv samozřejmě heraldika říká, že v této oblasti musí být jedna barva, musíme pracovat s nedokonalostí obrazu a případně obrazovou kompresí).

Vybrané algoritmy byly následně implementovány do ukázkového programu v C++ s využitím knihovny OpenCV. Při implementaci bylo zjištěno množství poznatků o reálném rozpoznávání obrazů. Byla zcela zavržena možnost hledání štítu pomocí hran, jelikož se na reálných obrazech neosvědčila. Naproti tomu druhá diskutovaná metoda (získání masky erbu pomocí prahování, poté hledání kontur a z toho plynoucích oblastí štítu) se ukázala jako mnohem vhodnější (zejména při vhodném filtrování dat).

Program celkově demonstruje dobrou použitelnost algoritmů rozpoznávání obrazu pro heraldiku. Program provádí detekci kontur ve znaku a oblastí v štítu. Tyto oblasti jsou výsledně popsány pomocí modulu blasonování - zejména svou barvou, typem a umístěním prvku. Implementovány byla detekce typických prvků jako je dělení, polcení, pokos a pošik.

Analýza dat z OpenCV (zejména detekce kontur a ploch) nicméně jasně ukazuje možnost dalšího rozvoje, kdy bylo možné rozšířit modul blasonování (popis i méně typických či více komplexních situací), např. jej rozšířit pro komplexnějšími dělenými erby. Dále by bylo možné rozšířit filtrování vstupních dat a samotnou detekci štítu pro řešení různých komplexních situací na reálných erbech. Modul hledání prvků ve znaku pomocí kontur nabízí další prostor pro návrh strategií výběru kontur skládajících štít.

Literatura

- [1] Adrian Kaehler, Gary Bradski: *Learning OpenCV, 2nd Edition*. O'Reilly Media, 2014, ISBN 978-1449331955.
- [2] Carl-Alexander von Volborth: *Heraldika, Úvod do světa erbů*. Blesk, 1996, ISBN 80-85606-87-9.
- [3] Linda Shapiro, George Stockman: *Computer Vision*. Prentice Hall, 2001, ISBN 978-0130307965.
- [4] Milan Buben: *Heraldika*. Albatros, 1987, ISBN 13-721-86.
- [5] Milan Buben: *Encyklopedie heraldiky*. Libri, 1997, ISBN 80-85983-31-1.
- [6] Robert Laganière: *OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook*. Packt Publishing, 2011, ISBN 978-1-849513-24-1.
- [7] Simon J. D. Prince: *Computer Vision*. Cambridge University Press, 2012, ISBN 978-1107011793.
- [8] WWW stránky: *Canny Edge Detection*. [Online; navštíveno 12.5.2016].
URL <http://www.cse.iitd.ernet.in/~pkalra/csl783/canny.pdf>
- [9] WWW stránky: *Canny Edge Detector*. [Online; navštíveno 5.3.2016].
URL http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/canny_detector/canny_detector.html
- [10] WWW stránky: *Color Models*. [Online; navštíveno 8.5.2016].
URL <http://cs.brown.edu/courses/cs092/VA10/HTML/ColorModels.html>
- [11] WWW stránky: *Hough Line Transform*. [Online; navštíveno 5.3.2016].
URL http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough_lines/hough_lines.html

Přílohy

Příloha A

Popis aplikace

Ukázková aplikace je implementována v prostředí Microsoft Visual Studio 2012. Součástí odevzdání řešení v podobě pro otevření vhodné v této aplikaci (případně jiné její verzi). Tato verze je dostupná zdarma ze stránek společnosti Microsoft.

Pro spuštění projektu je také potřeba mít nainstalovanou knihovnu OpenCV, dostupnou pod licencí BSD ze stránek opencv.org.

Samotná aplikace je navržena jako konzolová, kdy přijímá jeden parametr příkazové řadky s cestou ke zdrojovému obrázku a vypisuje do konzolového okna blason příslušného erbu. Ukázkové vstupy jsou součástí elektronických příloh.