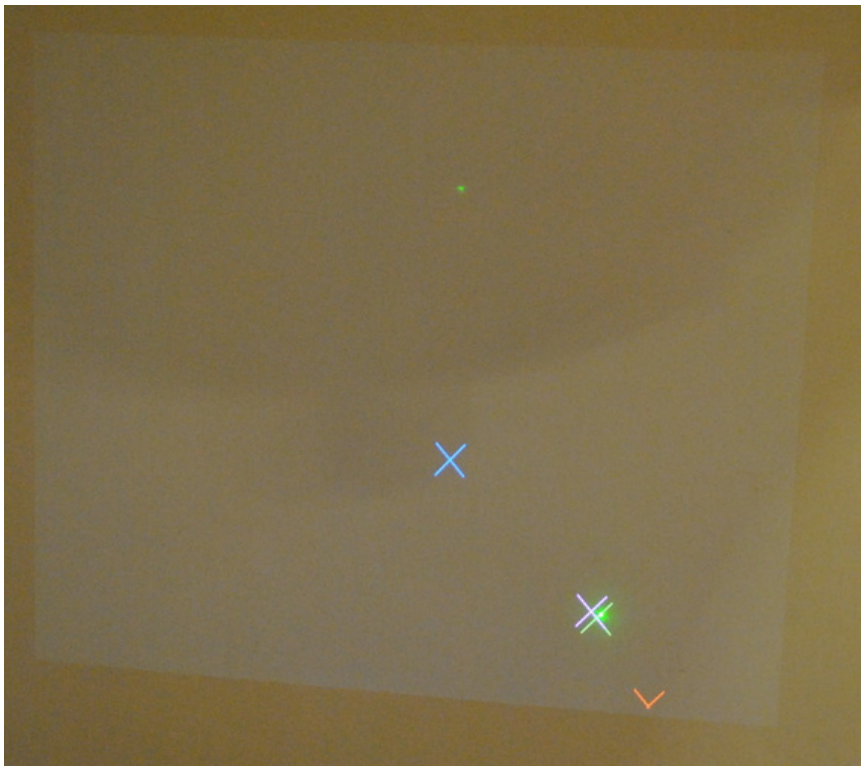
Počítačové zpracování obrazu

Projekt Učíme se navzájem

Tomáš Pokorný, Vojtěch Přikryl
Jaroška • 15. ledna 2010



Obsah

Abstrakt 4

Začátky 5

M&M 5

Původní cíle 5

Programové vybavení 5

První kroky 6

Teorie 7

Snímání a zpracování obrazu 7

Aktuální systém 7

Kalibrace 7

Transformace 8

Poměrová transformace 8

Grafická transformace 8

Další transformace 9

Zobrazení 9

Implementace 10

Snímání obrazu 10

Kalibrace 10

Transformace 11

Poměrová transformace 11

Grafická transformace 11

Zobrazení 11

Aktuální stav 12

Aktuálně fungující 12

Rozpracované 12

Problémy 12

Budoucnost 13

Přepsání do Objective-C 13

Možné aplikace 13

Kreslení 13

Střílení balonků 13

Ovládání myši 13

Odkazy a zdroje 14

Poděkování 14

Poster z M&M 15

Abstrakt

Projekt Počítačové zpracování obrazu si klade za cíl pomocí kamery a projektoru připojeného k počítači umožnit uživateli, aby laserového ukazovátka mohl používat jako ukazatele na objekty zobrazené na projektoru. Aplikace zpracovávající obraz a transformující souřadnice je napsána v Objective C. Pro vykreslování obrazu je použit Python a Python Image Library. Funkce aplikace jsou tyto: kalibrace webkamery pro dané umístění, zachycení a načtení obrazu z webkamery, analýza a hledání nasvíceného bodu, transformace snímaného obrazu pomocí transformační funkce a kalibračních dat a finální vykreslení nasvíceného bodu na projektoru. Rozpracováno je rychlejší transformace a zobrazení obrazu a v budoucnu jsou plánovány aplikace a hry tento software využívající.

Začátky

M&M

Na soustředění korespondenčního semináře M&M jsem se s touto problematikou setkal v rámci tzv. konfery, což byla několika odpolední práce s následnou prezentací výsledků. Zde jsme dostali již předpřipravenou část softwaru pro snímání obrazu a pro promítání výsledků a dále jsme se zabývali zpracováním tohoto obrazu a jeho správným vykreslováním. Zde vznikly všechny dosud používané transformace a velká většina aktuálního kódu.

PŮVODNÍ CÍLE

Zadání znělo takto:

> *Cílem tématu je vybrat vhodnou detekovanou charakteristiku obrazu, vymyslet algoritmus na detekci vlastnosti v obrazu a pak naprogramovat a testovat na počítači s webkamerou, možná v kombinaci s projektorem.*

Cíl je možné si vybrat, možnosti jsou např. detekce barevné tečky, sledování více teček či trajektorie pohybu tečky či jiného objektu. Bude potřeba z obrazu odstranit pozadí a perspektivní zkreslení. K tomu bude potřeba i geometrické počítání a transformace spolu s měřením či odhadem toho zkreslení. Pokud se povede dobrá kalibrace a odstranění zkreslení, může se promítat zpětná vazba přímo na snímané objekty.

Původně jsme mysleli, že zpracování půjde snadno a že se za chvíli dostaneme k detekci pohybu a vykreslování čáry, ale ukázalo se, že transformace není vůbec jednoduchá a tak jsme u ní prakticky skončili, částečně vlivem její obtížnosti, částečně vlivem začátečnické chyby.

PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Na M&M jsme pracovali na Linuxovém notebooku, ke kterému byla připojena webkamera a projektor, snímání probíhalo pomocí MPlayeru, ke zpracování sloužil Python s PIL a Tk pro zobrazování výsledků.

Nynější vybavení je notebook s Mac OS X vybavený integrovanou webkamerou iSight, připojovaný k projektoru. Snímání je realizováno pomocí frameworku CocoaSequenceGrabber v programu HledaniBodu. Tento program je napsán v Objective C a v něm rovněž probíhá hledání nejsvětlejšího bodu a transformace jeho souřadnic. Ty jsou dále předávány Pythonu k zobrazování přes Tk. Postupně probíhá přechod plně do Objective C.

PRVNÍ KROKY

Ze začátku jsme se učili pracovat s Pythonem, protože jsme ho nikdo pořádně neuměli, a poté jsme přistoupili k vlastnímu zpracování obrazu. Zjišťovali jsme, jak obrázek vypadá, co se v něm všechno dá najít, jak je charakteristický nasvícený bod a zkoušeli jsme ho hledat. Poté přišla na řadu transformace obrazu z kamery, na které jsme strávili dlouhý čas. Vzniklo několik konkurenčních algoritmů, avšak žádný nefungoval nijak zvlášť přesvědčivě. Nakonec se nám podařilo zprovoznit dvě transformace s relativně dobrými výsledky a úspěšně zprovoznit vykreslování.

Teorie

SNÍMÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Aktuální systém

Obraz je snímán pomocí frameworku CocoaSequenceGrabber v programu HledaniBodu. Program snímá obrázky tak, jak jsou poskytovány kamerou a na vyžádání Pythonu v nich hledá nejsvětlejší bod a říká mu jeho souřadnice. Hledání probíhá tak, že je obrázek převeden na pole bytů a nad ním se vždy počítá součet 5x5 pixelů po jednotlivých barevných složkách. Před tímto výpočtem můžou být nastaveny omezující podmínky, kdy je zbytečné výpočet provádět, protože jsou body příliš tmavé než aby na ně bylo svíceno.

Z jednotlivých blokových součtů je zjištěno maximum hodnoty součtu hledané barevné složky a definitivně je vybrán ten bod, který má tento součet nejvyšší. U tohoto maxima jsou ještě kontrolovány součty jednotlivých složek, aby se omezily artefakty kdy pokud na projektor nesvítím se nezachytávaly zobrazené křížky.

Tato metoda se ukázala být velmi spolehlivá, ale je potřeba najít vhodné nastavení konstant pro zahazování bodů, protože obzvláště při denním osvětlení či osvětlení různými zdroji světla jsou snímané body různých barev a je potřeba co nejvíce špatných zahodit, ale nezahodit s nimi i ty, co chceme najít.

KALIBRACE

Kalibrace je prvním z dějů souvisejících s transformací. Cílem kalibrace je zjistit, v jakých bodech na snímaném obraze se zobrazují rohy obrazu zobrazovaného dataprojektorem. To je důležité proto, abychom dokázali přepočítat bod nalezený na obrazu webkamery na bod, který zobrazíme na projektoru. Nyní k funkci kalibrace. Program postupně rozsvítí 4 čtverečky v rozích obrazu projektoru a vždy chvíli počká, aby se kamera přizpůsobila, pak je sejme již popsaným způsobem a najde je. Tímto získáváme 4 kalibrační body, se kterými již můžeme počítat v transformacích.

TRANSFORMACE

Toto je nejdůležitější a matematicky nejobtížnější část celého projektu, která zajišťuje správné zobrazení bodu na projektoru. Co to je a proč je potřeba?

Předpokládejme, že máme projektor, který promítá na plátno obdélníkový obraz. Pokud by ho promítal zkreslený, má své vlastní funkce ke korekci tohoto zkreslení. Pokud nyní obraz snímáme kamerou, získáme nějaký útvar. Optimální situace nastává, pokud kamera snímá ze stejného bodu, jako promítá projektor. V tom případě je snímaný útvar obdélník se stejným poměrem stran k promítanému obrazu. Tady nám stačí úplně základní transformace a to jednoduché přinásobení konstantou odpovídající poměru délky strany snímaného a promítaného obrazu. Toto je ale situace, která nastane velmi zřídka. Většinou snímáme kamerou obraz zkreslený, protože pokud si představíme to, co snímá kamera, jde o jakýsi nekonečně vysoký čtyřboký jehlan. Pokud ovšem snímáme útvar mimo osu projektoru, bude snímaný útvar určitým řezem daného jehlanu, tudíž to bude docela obecný čtyřúhelník. My potřebujeme tento čtyřúhelník roztáhnout vhodně tak, abychom získali obdélník, který bude odpovídat obdélníku promítanému projektorem, abychom mohli tento obdélník zobrazit. To je právě záležitost transformace

Poměrová transformace

Toto je nejlepší námi naprogramovaná transformace. Základem je fakt, že i ve zkresleném útvaru zůstanou zachovány poměry vzdáleností a to speciálně poměrů vzdáleností nalezeného osvíceného bodu od stran. Pokud tuto úvahu zobecníme na dva rozměry, získáme rovnice, pomocí kterých můžeme získané souřadnice nalezeného bodu přepočíst na souřadnice bodu na obrazovce.

Grafická transformace

Tato transformace dává nejlepší výsledky. Je postavena na funkci z knihovny PIL, která umí převést zadaný čtyřúhelník na obdélník. To je přesně to, co potřebujeme, ovšem má to jednu poměrně zásadní nevýhodu. Protože je to funkce z grafické knihovny, znamená to, že tuto transformaci umí provést pouze s obrázkem, nikoli jen daty. Je tedy potřeba vytvořit obrázek, zakreslit do něj nalezený bod, obrázek transformovat a opět transformovaný bod nalézt. To jsou hlavní 2 důvody, proč je transformace pomalá, což je její hlavní nevýhoda. Musí provést transformaci bitmapy, tzn. přepočítat každý pixel a pak my ji ještě musíme projít, abychom transformovaný pixel nalezli.

Další transformace

Během vývoje vznikly ještě 2 další transformace a to transformace přibližná, která vždy předpokládala, že útvar je lichoběžník a to postupně v obou rozměrech a výsledek pak zprůměrovala. Toto byla nejúspěšnější transformace z námi naprogramovaných, než jsme přišli na chybu v transformaci poměrové a nebo než jsme zvětšili úhel mezi osou promítaného obrazu a kamerou.

Druhá ze vzniklých transformací byla založena na úhlech a postupném posouvání kalibračních bodů do vrcholů promítaného čtyřúhelníka. Při nasimulování její činnosti ale bylo zjištěno, že byly úvahy chybné a tato transformace nemůže fungovat.

ZOBRAZENÍ

Poté, co je nalezen bod, který se má vykreslit na projektoru, ho již stačí jenom vykreslit. Obraz se vykresluje do černého okna o velikosti obrazu promítaného projektorem. Tato část nepotřebuje nijaké zvláštní komentáře, jediné, na co je třeba si dávat pozor, je, abychom křížek v místě vykreslovaného bodu vykreslovali správnou barvou, kterou nevyhodnotí program jak nasvětlený bod ukazovátkem.

Implementace

SNÍMÁNÍ OBRAZU

Původní systém byl přes MPlayer, jehož příkaz `mplayer tv:// -tv driver=v4l2:device=/dev/video:width=320:height=240:noaudio -vo jpeg` zajistil, aby se ukládaly z kamery obrázky ve formátu JPEG do zadané složky. MPlayer na Mac OSu si ale nedokázal s integrovanou webkamerou poradit a tak přišel na řadu program BTV, který dělal v tomto případě to stejné, co MPlayer, akorát s 5x vyšší náročností na výkon. Nakonec jsem se začal věnovat Objective C a naprogramoval program HledaniBodu, který pomocí frameworku CocoaSequenceGrabber zachytává přímo snímky z kamery.

ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Obraz je převeden na pole bytů, z nichž každý udává jednu složku barvy pixelu. Program proto skáče po 4 prvcích pole (složky obrazu jsou "RGBA") a pro každý pixel spočítá pomocí metody `getSumSquareAtIndex` součet jednotlivých složek ve čtverečku 5x5. Každý pixel je ověřován, jestli má dostatečný jas a pokud nemá, sumační čtverec se nepočítá. Filtrování je i na výstupu "čtverečkovací" metody, určuje minimální jas nejjasnějšího sumačního čtverce, nastavuje se pomocí posuvníků v GUI.

KALIBRACE

Kalibrace funguje tak, že je Pythonu poslán znak `c`, což je zpráva Pythonu, že má zobrazit první kalibrační bod. Po jeho zobrazení a počkání na přizpůsobení se kamery pošle Python znak `w` a hlavní program si zapamatuje jako kalibrační bod poslední nejsvětlejší bod a pošle Pythonu opět znak, že je připraven hledat další bod. Python počká, překreslí bod a opět to pošle hlavnímu programu. Takto je to pro všechny 4 body. Poté je zavolána metoda `initWithCalibrationArray:(int *)andSize:(NSSize)`, kde `int *` je ukazatel na první prvek pole s kalibračními body a `NSSize` je velikost zobrazované plochy. tato metoda připraví pomocné pole kalibračních konstant `PTK` a tím je vše připraveno k transformaci.

TRANSFORMACE

Poměrová transformace

Tato transformace je počítána metodou `transformPoint:(NSPoint)z` třídy `ZOTransform`, kde `NSPoint` je struktura obsahující dvojici souřadnic nalezeného bodu v útvaru. Třída obsahuje potřebné výpočty pro dané kalibrační body a nalezený bod v útvaru.

Grafická transformace

Tato transformace je realizována voláním knihovní funkce `transform((x, y), Image.QUAD, dd)`, kde (x,y) je dvojice rozměrů výstupního obrázku a dd je pole vrcholů nalezeného útvaru

ZOBRAZENÍ

Zobrazení je řešeno posíláním souřadnic k zobrazení Pythonu, který je jen vezme a vykreslí na dané místo na obrazovce křížkem dané barvy.

Aktuální stav

AKTUÁLNĚ FUNGUJÍCÍ

Aktuálně funguje zachytávání obrazu pomoci CocoaSequenceGrabberu, jeho zpracování a transformace souřadnic v Objective C, v Pythonu je napsáno vykreslování, které používá okno využívající Tk z původního projektu.

ROZPRACOVANÉ

Aktuálně čeká na otestování transformace v Objecitve C. Poté se budu snažit ji zpřesnit a popřípadě zrychlit. Také snad přejdu na plné rozlišení kamery a projektoru pro přesnější zobrazování.

PROBLÉMY

Prvním, zásadním a nejhloupějším problémem byl problém s poměrovou transformací. Jeho podstata byla v odlišném číslování rohů obdélníka při kalibraci a při transformaci. Tato chyba nás zdržela o jedno odpoledne, kdy jsme mohli pokračovat v programování. Byla odhalena až asi v polovině prezentace konfery na soustředění M&M.

Problémy byly také při přepisování do Objective C, ale byly úspěšně překonány.

Budoucnost

PŘEPSÁNÍ DO OBJECTIVE-C

Nejdůležitějším cílem do budoucnosti je dokončit přechod na Objective C, což je jeden pilíř, který by měl urychlit zpracování a zrychlit transformaci obrazu, aby byla rychlá v 320x240 a použitelná v rozlišení VGA. Tím by se stalo zpracování použitelné pro další aplikace, vyžadující rychlejší odezvu.

MOŽNÉ APLIKACE

Kreslení

Místo toho, aby se zobrazoval jen křížek pod nasvíceným bodem bude laser za sebou zanechávat barevnou stopu. Tímto způsobem bude možné kreslit jednoduché obrázky a může být i možnost změny barvy. Opět je ale potřeba, aby barva čáry kreslené laserem nebyla stejná jako nasvícený bod, aby nebyla chybně zachycena jeho poloha.

Střílení balonků

Jednoduchá hra pro 1, v budoucnosti 2 hráče s různě barevnými laserovými ukazovátky, kteří budou pomocí svícení na balonky zobrazené na projektoru na tyto balonky střílet a získávat za ně body.

Ovládání myši

Pomocí laserového ukazovátka bude možné ovládat kursor myši. Zde je problém s barvou oken, která musí být diametrálně odlišná od barvy ukazovátka, aby nedocházelo k chybným detekcím. Rovněž by bylo potřeba detekovat kliknutí, například pomocí bliknutí laserem.

Odkazy a zdroje

Seminář M&M: http://mam.mff.cuni.cz/

Referenční příručka Python Image Library

Mac OS X Reference Library

Zdrojové kódy programu a jeho stránky: http://code.google.com/p/zpracovaniobrazu/

Blog se zprávami z aktuálního postupu: http://zpracovaniobrazu.blogspot.com/

Poděkování

Tomáši Gavenčakovi za vedení konfery na M&M

Karlu Královi a Lukáši Langerovi za vymyšlení poměrové transformace

Petrovi za spolupráci na konfeře

Mgr. Marku Blahovi za technické zázemí a podporu při pokračování projektu

A všem dalším, kteří mě svými radami nasměrovali na správnou cestu

Poster z M&M


ZPRACOVÁNÍ OBRAZU
LASER
Užité vybavení:
• webkamera
• zelené laserové ukazovátko
• dataprojektor
• PC - Python + PIL
Rozpoznání barevného bodu
I. Počáteční filtr:
1) Zjištění spektra hledaného bodu
→ zelený laser - vysoký jas
- nízký podíl červené barvy
2) Odfiltrování nevyhovujících bodů
→ jas zelené < 60%
→ jas červené > 60%.
II. Skenování čtverečkem:
- bod osvícený laserem se zobrazí jako barevný čtvereček o straně ≈6px
- čtverečkem projedeme body zbylé po I.
- vybereme ten, který:
→ má vhodný poměr zelené a červené barvy
→ má nejvyšší celkový jas zelené složky
- za hledaný bod prohlásíme jeho střed
Transformace obrazu
- chceme dataprojektorem zobrazit křížek kolem osvíceného bodu
- protože ale kamera nesnímá obraz z bodu, odkud ho promítá projektor, vzniká zkreslení, které potřebujeme korigovat
- obdélník promítaný dataprojektorem kamera snímá jako obecný čtyřúhelník
- musíme dokázat transformovat ∀ bod tohoto čtyřúhelníku na jeho odpovídající bod v obdélníku
- u všech typů kalibrací užíváme kalibrační body v rozích promítaného obrazu
I. Poměrová transformace
- vychází ze zachování poměrů při zkreslení
II. Úhlová transformace
a
b
- vychází z posunutí kalibračních bodů do jejich skutečné polohy a odpovídajícího posunutí bodu
III. Průměrová transformace
- souřadnice bodu
IV. Grafická transformace pomocí knihovny
- čtyřúhelník s nalezeným bodem transformujeme pomocí knihovní fce
- v transformovaném obrázku najdeme hledaný bod