Počítačové vidění pro informatiku Miroslav Uller, Michal Liška 17.5.2003

Úloha 1 - Panoramatický snímek

1 Zadání

Vytvořte ze dvou dodaných snímků (fotografií), které se překrývají, panoramatický snímek. Transformaci jednoho obrazu na druhý hledejte jak za pomoci bodových, tak i přímkových korespondencí.

Obr. 1. Snímky, ze kterých budeme vytvářet panoramatický snímek

2 Úvod

Vytváření panoramatických snímků je jednou z aplikací postupu nazývaného jako *mozaikování*, kdy se pokoušíme několik různých obrazů spojit do jednoho tím, že hledáme transformaci všech obrazů do společného souřadného systému a způsob, jak je do jednoho obrazu zkombinovat. V našem případě se pokusíme napézt takovou transformaci (pokud existuje), která by nám umožnila zobrazit jeden snímek do druhého. Vzhledem k tomu, že oba snímky jsou pořízeny ze stejného místa (měnil se jen směr pohledu fotoaparátu), víme, že jsou oba obrazy vázány projektivní transformací. Víme-li, že dva body u a u', které leží v různých obrazech, odpovídají stejnému bodu ve skutečnosti, můžeme vztah mezi nimi vyjádřit takto:

$$\alpha u' = \mathbf{H}u, \quad u = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}, u' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix},$$

kde $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{3,3}$ je tzv. matice homografie představující afinní transformaci bodů ze souřadné soustavy prvního obrazu do soustavy druhého obrazu a α je nenulové reálné číslo. V této rovnici jsou body u, u' obou obrazů vyjádřeny pomocí homogenních souřadnic. Vzhledem k tomu, že jednomu bodu $(x, y)^T$ v obrazových souřadnicích odpovídá nekonečně mnoho bodů v souřadnicích homogenních $(xt, yt, t)^T$, $t \in \mathbb{R}\backslash\{0\}$, které se liší jen na násobek nenulovým reálným číslem, nemusíme při hledání vztahů mezi obrazy určovat hodnotu α a stačí nám nalézt pouze matici homografie $\mathbf{H}$. Ukážeme si, jak lze nalézt tuto matici na základě dvojic korespondujících bodů, resp. přímek ze dvou obrazů.

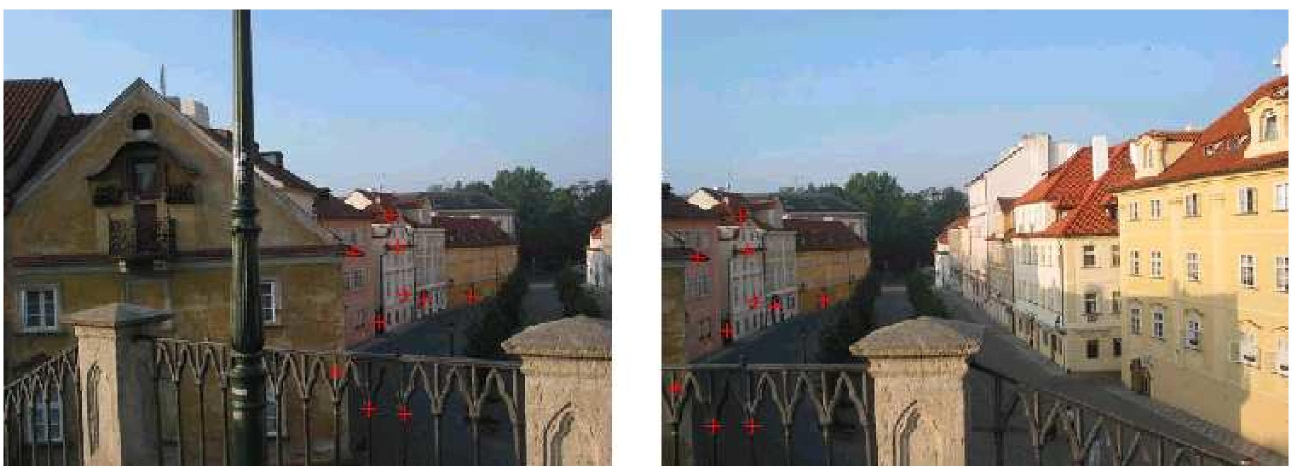
3 Bodové korespondence

Bod u jednoho obrazu koresponduje s bodem u' druhého obrazu, pokud tyto dva body odpovídají stejnému bodu v prostoru. Pokud máme k dispozici dostatečný počet korespondujících dvojic bodů (minimálně čtyři) můžeme získat matici homografie řešením následující soustavy rovnic:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_1x_1 & -x'_1y_1 & -x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -y'_1x_1 & -y'_1y_1 & -y'_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_2x_2 & -x'_2y_2 & -x'_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -y'_2x_2 & -y'_2y_2 & -y'_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_nx_n & -x'_ny_n & -x'_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -y'_nx_n & -y'_ny_n & -y'_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{pmatrix} = 0,$$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix}.$$

V našem případě jsme použili k nalezení řešení metodu singulárního rozkladu matice (SVD). Získanou matici potom použijeme k transformaci bodů jednoho obrázku do druhého.



Obr. 2. Body pro nalezení bodových korespondencí

4 Přímkové korespondence

Při sestavování obrazů do panoramatického obrazu se může stát, že se obrazy překrývají jen velmi málo. V těchto případech se hledají bodové korespondence obtížně a výsledné spojení obrazů často nedává valné výsledky. Řešením je použít místo korespondujících dvojic bodů dvojice přímek. Přímky můžeme vyjádřit rovnicemi:

$$l^T u = 0\,,$$

$$l'^T u' = 0\,,$$

kde u jsou body ležící na přímce l a u' jsou body ležící na přímce l'. Homogenní vyjádření přímek můžeme získat vektorovým součinem vektorů, reprezentujících dva body ležící na přímce (také v homogenních souřadnicích). Víme-li, že korespondující body u, u' jsou vázány vztahem $\alpha u' = \mathbf{H}u$, $\alpha \neq 0$, můžeme podobný vztah nalézt i pro přímky. Pro všechny korespondující body u, u' a příslušné přímky platí

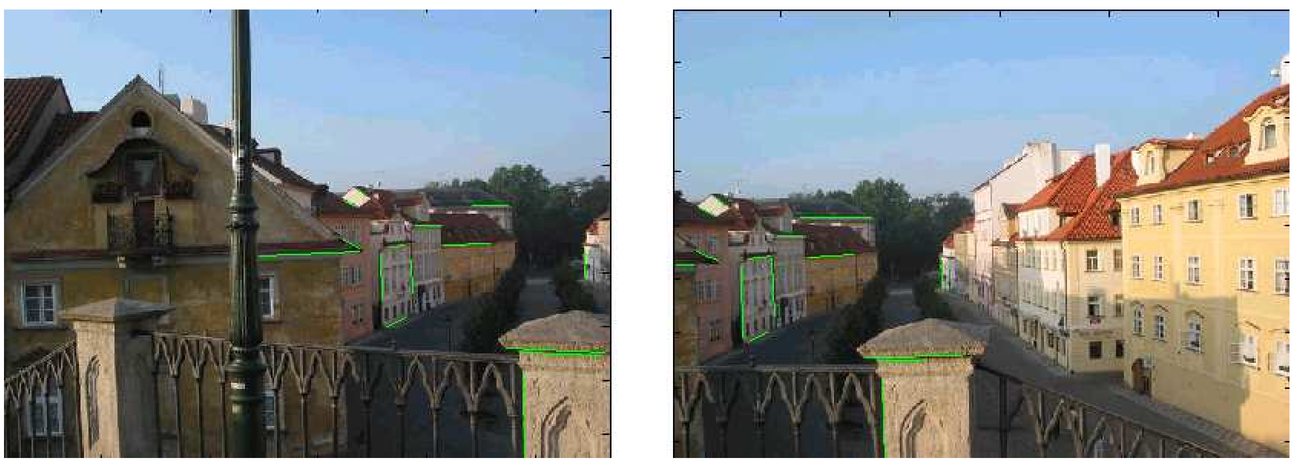
$$l'^T u' = \frac{1}{\alpha} l'^T \mathbf{H} u = 0 \Rightarrow (l'^T \mathbf{H}) u = 0\,,$$

$$l^T u = 0\,.$$

Vztahy $(l'^T \mathbf{H})u = 0$ a $l^T u = 0$ platí pro všechna u, z toho plyne vztah pro korespondující přímky:

$$\alpha l' = \mathbf{H}^{-T} l\,,$$

kde α je opět nenulové reálné číslo a $\mathbf{H}$ matice homografie. Princip jejího nalezení je v podstatě stejný jako u bodových korespondencí, s tím, že k sestavení soustavy rovnic použijeme souřadnice přímek místo místo souřadnic bodů.



Obr. 3. Přímky použité pro nalezení přímkových korespondencí

5 Závěr

Vyzkoušeli jsme oba dva popsané způsoby nalezení matice homografie implementací obou postupů v systému Matlab. Vzhledem k příznivém výběru bodových korespondencí vypadal výsledek sloučení obrazů velmi přijatelně (viz obr. 2); v případě přímkových korespondencí byla situace stejná. Porovnáme-li oba obrazy, vidíme, že u obrazu vyrobeného pomocí přímkových korespondencí nám trochu "ujíždí" pravý okraj obrazu (ač by teoreticky tato metoda měla dávat lepší výsledky než u bodových korespondencí). Důvodem bude pravděpodobně to, že body jsme hledali ručně, kdežto přímky jsme vybírali ze souboru přímek nalezených automaticky. Další malou vadou na kráse výsledných panoramatických snímků je viditelná hranice mezi oběma obrázky (obzvlášť patrný je tento jev na obloze). To může být způsobeno například poněkud odlišnými světelnými poměry v dobách expozice obou snímků. Tato hranice zcela nezmizela, ani když jsme místo původně použité metody zapisování bodů do výsledného obrazu (zaokrouhlování) použili bilineární interpolaci. V každém případě ale dává bilineární interpolace vizuálně lepší výsledky.

Obr. 4. Panoramatický snímek vyrobený pomocí bodových korespondencí

Obr. 5. Panoramatický snímek vyrobený pomocí přímkových korespondencí