

## a) Postup prací

Práce na projektu proběhly **dle plánu** předloženém v jeho návrhu a to v následujících bodech:

### 1. rok úkol 1 **Formulace matematického modelu všesměrové kamery**

Dokončili jsme analýzu klasické epipolární geometrie dvojice centrálních panoramatických kamer, na které jsme pracovali již v předešlých letech. Výsledky byly publikovány v jedné kapitole monografie o panoramatickém vidění [1]. Otevřeli jsme nové otázky, které se týkají orientace paprsků všesměrových kamer a ukázali, že uvažování orientace vyžaduje zobecnění klasické epipolární geometrie. Zobecnění jsme popsali v práci [2]. Dále jsme ukázali, že uvažování orientace má praktický význam při hledání korespondence mezi orientovanými přímkami v obrazech [3].

Započali jsme analýzu geometrie všesměrových kamer, které se objevují při tvorbě mozaik [4]. Odvodili jsme vztah mezi skutečnými a rekonstruovanými souřadnicemi scény [5, 6]. Jako vedlejší výsledek jsme experimentálně identifikovali model širokoúhlé čočky a navrhli metodu její kalibrace [7].

Jako první v komunitě počítačového vidění jsme navrhli vypracovat teorii kamer, které nemají jeden střed promítání a podali jsme charakterizaci konfigurací jejich paprsků, které vedou na zobecněné epipolární geometrie [8, 9, 10, 11]. Popsali jsme extrémní případ dvojice kamer, které mají epipolární geometrii, přičemž paprsky žádné z kamer se neprotínají, procházejí všemi body a vyčerpají všechny směry v prostoru [12, 13].

### 1. rok úkol 2 **Analýza reálných panoramatických kamer na bázi zrcadel a čoček**

Analyzovali jsme chování okolí odpovídajících si bodů v panoramatických obrazech při změně polohy kamery a navrhli postup, který vede na korektní hledání korespondence korelací [14]. Prostudovali jsme triangulační metody pro rekonstrukci scény ze dvou obrazů a popsali druhy chyb, ke kterým dochází [15].

### 1. rok úkol 3 **Návrh a realizace kvalitní panoramatické kamery**

Vypracovali jsme metodu návrhu tvaru zrcadla tak, aby bylo dosaženo žádaného rozlišení [16, 17, 18, 19] a realizovali zrcadla s rovnoměrným rozlišením pro kamery s kartézským i log-polárním rozložením pixelů, Obrázek 1. Význam konstrukce kata-dioptrické kamery s rovnoměrným rozlišením jsme demonstrovali v aplikaci detekce pohybu ve střeženém prostoru [20].

Oproti původnímu plánu **jsme navíc** pokročili v některých úkolech plánovaných pro další léta:



Obrázek 1: Panoramatická kata-dioptrická kamera s rovnoměrným rozlišením.

- 3. rok úkol 1 Rozpracovali a publikovali jsme metodu robustního odhadu pohybu pozorovatele [14].
- 3. rok úkol 2 Publikovali jsme techniku lokalizace pozorovatele na základě podobnosti panoramatických obrazů [21] a studovali možnosti lokalizovat pozorovatele na základě malých panoramatických obrazů speciálních značek ve scéně [22, 23].

## b) Účast spoluřešitelů a dalších pracovišť

K projektu přispěli všichni spoluřešitelé i technický personál. Spoluřešitel Ing. Tomáš Svoboda, PhD. již spolupracoval na dálku z jeho nového působiště na ETH Zürich. V příštím roce ho v řešitelském týmu nahradí Prof. RNDr. Pavel Pták, DrSc., kterým již v tomto roce přispěl konzultacemi k teorii necentrálních kamer.

K projektu též významně přispěli doktorandi Mgr. Hynek Bakstein a Ing. Branislav Mičušík, student Josef Šivic a spolupracovník Ing. Tomáš Werner, PhD., který je v současné době na Oxford University.

## c) Využití technického a přístrojového vybavení

Z prostředků grantu byly pořízeny dvě kamery. Kvalitní černobílá kamera COOL-1300 za 220 tisíc Kč umožní snímat panoramatické mozaiky s vysokým rozlišením a fotometrickou kvalitou. Digitální fotoaparát Powershot G2 za cca 41 tisíc Kč v současné představuje kameru s největším rozlišením v CMP a dovolí snímat kata-dioptrické panoramatické obrazy s velkým rozlišením. Obě kamery budou též využity v dalších projektech Centra strojového vnímání.

## d) Dosažení dílčích cílů řešení projektu

Cílů vytčených v tomto roce bylo beze zbytku dosaženo, viz. rozbor v sekci a). Započali jsme práci i na úkolech vytčených pro další léta řešení.

## e) Zhodnocení výsledků a plnění záměrů

Podarilo se nám dosáhnout očekávaných výsledků. V prvním roce řešení jsme uzavřeli studium epipolární geometrie středových kata-dioptrických kamer a položili základ pro studium nestředových kamer. Analyzovali jsme některé vlastnosti kamer se zrcadly, které jsou důležité pro jejich použití při rekonstrukci scény. Vypracovali jsme techniku návrhu zrcadel tak, aby výsledná kamera splňovala prakticky libovolné požadavky na průběh vzorkování obrazu. Prototypy kamer jsme realizovali.

## f) Zpráva o zahraničních cestách

Z prostředků grantu byly hrazeny části následujících zahraničních cest.

1. Cestovné Tomáše Pajdly, cca 6 tisíc Kč, a Hynka Baksteina, cca 6 tisíc Kč, do Ljubljani kde byla přednesena přednáška [24].
2. Vložné, cca 17 tisíc Kč, a cestovné a diety, cca 36 tisíc Kč, Tomáše Pajdly na konferenci CVPR, kde byly předneseny příspěvky [5, 12].

## g) Publikace

O výsledcích projektu za první rok bylo sepsáno a publikováno v celkem 23 prací. Z toho jedna kapitola v monografii [1], 3 články na předních světových recenzovaných konferencích [2, 5, 12], 4 články na významných zahraničních konferencích [3, 14, 16, 21], 2 články na zahraničním workshopu [4, 8] a 13 technických zpráv [6, 7, 9, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 15].

Za nejvýznamnější publikace lze považovat práce [2, 5, 12], které byly publikovány na dvou ze tří vůbec nejprestižnějších konferencích v oboru. Práce [8], která předcházela práci [12], jako první charakterizovala důležité necentrální kamery a je citována v práci S. Seitze, která za stejný nezávisle získaný výsledek obdržela Marrovu cenu na konferenci ICCV'2001 (neprestižnější vědecká cena v oboru).

Výsledky dosažené v prvním a druhém roce projektu byly prezentovány na vyzvaných přednáškách na Oxford University [25], ETH Zürich [26], University of Ljubljana [24], Beijing Institute of Technology [27], NLPR Čínské akademie věd [28] na Computer Vision and Pattern Recognition Colloquium pořádaném CMP v Praze [29].

Panoramatická kamera byla prezentována na Mezinárodním strojírenském veletrhu 2001 v Brně, a na konferenci "IST'2001 - Technologies Serving People", pořádané Evropskou komisí v Düsseldorfu v prosinci 2001, kde byly výsledky projektu částí prezentace českého výzkumu.

V souvislosti s řešením projektu byla v roce 2001 odevzdána a úspěšně obhájena diplomová práce [15] Petra Doubka na Karlově univerzitě v Praze (vedoucí Tomáš Svoboda) a Master of Science Stefana Gächtera na EPFL Lausanne ve Švýcarsku (vedoucí Tomáš Pajdla). Doktorand Hynek Bakstein obhájil minimum dizertace s prací [6].

Veškeré publikace a další informace o projektu jsou průběžně zveřejňovány na internetové stránce <http://cmp.felk.cvut.cz/projects/omvi/>.

## Reference

- [1] Tomáš Pajdla, Tomáš Svoboda, and Václav Hlaváč. Epipolar geometry of central panoramic cameras. In Ryad Benosman and Sing Bing Kang, editors, *Panoramic Vision : Sensors, Theory, and Applications*, pages 85–114. Springer Verlag, Berlin, Germany, 1 edition, 2001.
- [2] Tomáš Werner and Tomáš Pajdla. Cheirality in epipolar geometry. In *Proceedings of International Conference on Computer Vision*, pages 548–553. IEEE Computer Society Press, July 2001.
- [3] Tomáš Werner and Tomáš Pajdla. Oriented matching constraints. In T Cootes and C Taylor, editors, *British Machine Vision Conference 2001*, pages 441–450, London, UK, September 2001. British Machine Vision Association.
- [4] Hynek Bakstein and Tomáš Pajdla. An overview of non-central cameras. In B Likar, editor, *Proceedings of Computer Vision Winter Workshop*, pages 223–233, Ljubljana, Slovenia, February 2001. Slovenian Pattern Recognition Society.
- [5] Hynek Bakstein and Tomáš Pajdla. 3D reconstruction from 360 x 360 mosaics. In A. Jacobs and T. Baldwin, editors, *Proceedings of the CVPR'01 conference*, volume 2, pages 72–77, Los Alamitos, USA, December 2001. IEEE Computer Society.
- [6] Hynek Bakstein and Tomáš Pajdla. Non-central cameras for 3D reconstruction – thesis proposal. Research Report CTU–CMP–2001–21, Center for Machine Perception, K333 FEE Czech Technical University, Prague, Czech Republic, August 2001.
- [7] Hynek Bakstein and Tomáš Pajdla. Omnivergent stereo-panoramas with a fish-eye lens. Research Report CTU–CMP–2001–22, Center for Machine Perception, K333 FEE Czech Technical University, Prague, Czech Republic, August 2001.
- [8] Tomáš Pajdla. Epipolar geometry of some non-classical cameras. In B Likar, editor, *Proceedings of Computer Vision Winter Workshop*, pages 223–233, Ljubljana, Slovenia, February 2001. Slovenian Pattern Recognition Society.
- [9] Tomáš Pajdla. Characterization of epipolar geometries of non-classical cameras. Research Report CTU–CMP–2001–05, Center for Machine Perception, K333 FEE, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, February 2001.
- [10] Tomáš Pajdla. Rotational hyperboloids as a class of oblique cameras with double ruled quadric visibility closures. Research Report CTU–CMP–2001–10, Center for Machine Perception, K333 FEE, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, March 2001.

- [11] Tomáš Pajdla. Oblique cameras generated by collineations. Research Report CTU–CMP–2001–14, Center for Machine Perception, K333 FEE Czech Technical University, Prague, Czech Republic, April 2001.
- [12] Tomáš Pajdla. Stereo with oblique cameras. In Bradski G.R and T.E Boulton, editors, *IEEE Workshop on Stereo and Multi-Baseline Vision*, pages 85–91, 10662 Los Vaqueros Circle, P.O. Box 3014, Los Alamitos, CA 90720-1314, USA, December 2001. IEEE Computer Society Press.
- [13] Tomáš Pajdla. Stereo with oblique cameras. Research Report CTU–CMP–2001–32, Center for Machine Perception, K333 FEE Czech Technical University, Prague, Czech Republic, October 2001.
- [14] Tomáš Svoboda and Tomáš Pajdla. Matching in catadioptric images with appropriate windows and outliers removal. In *Computer Analysis of Images and Patterns: Proceedings of the 9th International Conference*, pages 733–740, Berlin, Germany, September 2001. Springer Verlag.
- [15] Petr Doubek. Věsměrové vidění. Master’s thesis, Mathematics and Physics Faculty, Charles University in Prague, Ke Karlovu 3, Prague, Czech Republic, September 2001. Supervised by Tomáš Svoboda.
- [16] Stefan Gächter, Tomáš Pajdla, and Branislav Mičušík. Mirror design for an omnidirectional camera with a space variant imager. In *ICAR 2001 Proceedings and Overviews of the Workshops 1.Omnidirectional Vision 2.Medical Robotics*, pages 99–105, Egrý Jozsef u. 1, Budapest, Hungary, August 2001. IEEE, University of Technology and Economics.
- [17] Stefan Gächter and Tomáš Pajdla. Mirror design for an omnidirectional camera with a uniform cylindrical projection when using SVAVISCA sensor. Research Report CTU–CMP–2001–03, Center for Machine Perception, K333 FEE, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, January 2001.
- [18] Tomáš Pajdla and Stefan Gächter. Uniform resolution mirrors – test images. Research Report CTU–CMP–2001–08, Center for Machine Perception, K333 FEE, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, February 2001.
- [19] Branislav Mičušík and Tomáš Pajdla. Real uniform resolution of svavisca sensor—experimental validation. Research Report CTU–CMP–2001–16, Center for Machine Perception, K333 FEE Czech Technical University, Prague, Czech Republic, May 2001.
- [20] Stefan Gächter and Tomáš Pajdla. Motion detection as an application for the omnidirectional camera. Research Report CTU–CMP–2001–07, Center for Machine Perception, K333 FEE, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, February 2001.

- [21] Tomáš Pajdla and Václav Hlaváč. Image-based self-localization by means of zero phase representation in panoramic images. In S. Singh, N. Murshed, and W. Kropatsch, editors, *Advances of Pattern Recognition, Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Pattern Recognition*, volume 2013 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 24–33, Heidelberg, Germany, March 2001. IAPR, Springer-Verlag.
- [22] Tomáš Pajdla. Simulating SVAVISCA panoramic images of agam fiducials. Research Report CTU–CMP–2001–01, Center for Machine Perception, K333 FEE, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, January 2001.
- [23] Tomáš Pajdla. Localization using SVAVISCA panoramic images of agam fiducials—limits of performance. Research Report CTU–CMP–2001–11, Center for Machine Perception, K333 FEE, Czech Technical University, Prague, Czech Republic, March 2001.
- [24] Tomáš Pajdla. Stereo geometries of non-central cameras, Sep 2001. University of Ljubljana, Computer Vision Laboratory, Ljubljana, Slovenia.
- [25] Tomáš Pajdla. Image based compass with panoramic images, July 2001. Oxford University, Visual Geometry Group, Department of Engineering Science, Oxford, Great Britain.
- [26] Tomáš Pajdla. Stereo geometries - a generalization of epipolar geometry for non-central cameras, April 2001. Computer Vision Group of the Communication Technology Laboratory, Zurich, Switzerland.
- [27] Tomáš Pajdla. Non-classical cameras in computer vision, November 2001. Beijing Institute of Technology, Department of Computer Science, Beijing, China.
- [28] Tomáš Pajdla. Stereo-geometry of non-central cameras, November 2001. Chinese Academy of Sciences, National Laboratory for Pattern Recognition, Beijing, China.
- [29] Tomáš Pajdla. Stereo geometries of non-central cameras, May 2001. Czech Technical University in Prague, Department of Cybernetics.

## **Příloha DB Výkaz hospodaření za rok 2001 a požadavky na rok 2002**

### **Příloha DB.1 Komentář k čerpání v roce 2001**

Objem financí byl vyčerpán podle plánu v návrhu projektu.

#### **Příloha DB.1.1 Věcné náklady**

Při čerpání věcných nákladů jsme se drželi plánu až na drobný vyrovnávací přesun 700,- Kč z kapitoly provozní náklady do kapitoly cestovné, který kryl část kurzového rozdílu.

#### **Příloha DB.1.2 Investiční prostředky**

Investiční prostředky jsme utratili v plánované výši za kameru COOL-1300, která má oproti kameře PULNIX TMC 1000, plánované v návrhu grantu, lepší parametry.

#### **Příloha DB.1.3 Mzdové náklady**

Mzdové náklady včetně stipendií jsme vyčerpali přesně podle plánu s jediným rozdílem v tom, že z účetních důvodů byly mzdy pro technický personál vyplaceny jako odměny.

#### **Příloha DB.1.4 Finanční prostředky z jiných zdrojů**

Projekt byl podpořen dodatečnými institucionálními prostředky podle plánu v návrhu grantu v celkové výši 395 tisíc Kč.

### **Příloha DB.2 Komentář k plánu na rok 2002**

Čerpání prostředků plánujeme ve shodě s návrhem projektu s jediným rozdílem v tom, že mzdy pro technický personál budou vyplaceny jako odměny.

## Plán na rok 2002

Práce v příštím roce budou pokračovat v souladu s návrhem projektu s důrazem na teoretické výsledky. Zaměříme se na:

1. Studium geometrie všesměrových a necentrálních kamer pro rekonstrukci a reprezentaci vzhledu scény.
2. Návrh reprezentace geometrie a vzhledu scény obrazovými mapami a mozaikami.
3. Ověření a demonstraci teoretických konceptů v experimentech se získáním reprezentace reálné scény.