

G06T 3/00 (2006.01)

G06T 5/00 (2006.01)

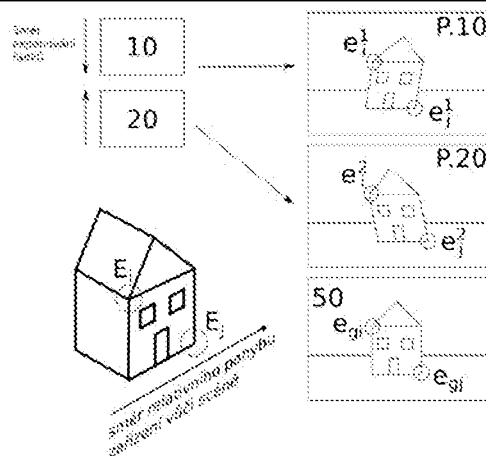
H04N 5/232 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKAÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2020-288
(22) Přihlášeno: 20.05.2020
(40) Zveřejněno: 01.12.2021
(Věstník č. 48/2021)
(47) Uděleno: 20.10.2021
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 01.12.2021
(Věstník č. 48/2021)

(56) Relevantní dokumenty:
US 2009153710 A1; US 2015271483 A1; US 2016050370 A1; WO 2018209103 A2.

(73) Majitel patentu:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,
Dejvice, CZ
ETH Zurich, 8092 Zurich, CH
(72) Původce:
Ing. Čeněk Albl, Ph.D., Vestec, CZ
RNDr. Zuzana Kúkelová, Ph.D., 92701 Šaľa, SK
doc. Ing. Tomáš Pajdla, Ph.D., Praha 10, Vršovice,
CZ
Viktor Larsson, 8048 Zurich, CH
Konrad Schindler, 8102 Oberengstringen, CZ
(74) Zástupce:
RNDr. Silvie Dokulilová, Ph.D., Bašného 279/51,
623 00 Brno, Kohoutovice



(54) Název vynálezu:
**Způsob využití efektů vzniklých v obrazech
v důsledku relativního pohybu zařízení pro
snímání obrazů vůči scéně nebo části scény a
zařízení pro provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:
Předmětem vynálezu je způsob využití efektů vzniklých v obrazech v důsledku relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně. Způsob zahrnuje nastavení odlišných směrů exponování čipů (10, 20). Pro alespoň jednu dvojici obrazů (P.10, P.20) nasnímaných po exponování čipů (10, 20) kamerami (1, 2) se detekuje alespoň jedna dvojice korespondujících oblastí v obrazech (P.10, P.20). Každé z těchto dvojic korespondujících oblastí odpovídá jeden z význačných 3D objektů (E_i) scény. Zjistí se polohy korespondujících oblastí v obrazech a zjistí se údaje o časech exponování světlocitlivých elementů čipů (10, 20), které odpovídají korespondujícím oblastem nebo o vzájemném posunu těchto časů. Zvolí se model relativního pohybu zařízení vůči scéně. Vypočtou se parametry modelu pohybu podle údajů a informací o vzájemné poloze a vzájemné orientaci kamer (1, 2) a směrech exponování čipů (10, 20). Způsob lze provádět v zařízení, kde směr exponování prvního čipu (10) první kamery (1) svírá úhel $90^\circ \pm 5^\circ$ se směrem exponování druhého čipu (20) druhé kamery (2).

Způsob využití efektů vzniklých v obrazech v důsledku relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény a zařízení pro provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Vynález se týká zařízení pro snímání obrazu s více kamerami a/nebo fotoaparáty s plovoucí závěrkou (anglicky rolling shutter, zkratka RS), například mobilních telefonů, robotických systémů, autonomních aut.

10

Dosavadní stav techniky

Deformace v obraze, které jsou způsobené elektronickou plovoucí závěrkou (zkráceně RS deformace nebo také RS efekt, přičemž pojmy RS deformace a RS efekt používáme v celém textu jako synonyma), jsou všudypřítomným jevem v situacích, kdy je obrazové záznamové zařízení, typicky kamera nebo fotoaparát, v pohybu vůči scéně nebo části scény při nahrávání videa či pořizování fotografií.

RS deformace přitom vedou nejen k vizuálnímu znehodnocení obrazu, ale znesnadňují také výpočetní metody počítačového vidění, které ze zdeformovaného obrazu vycházejí. Ze zdeformovaného obrazu se obtížně určují parametry modelu pohybu a polohy a orientace záznamového zařízení vůči scéně, které mohou být samy o sobě důležité pro různé aplikace, jež pro svou činnost vyžadují informace o pohybu zařízení. Příkladem z oblasti herního průmyslu může být, např. hra Pokémon GO, příkladem z oblasti zpracování obrazu, např. stabilizace videa dle reference [11] či odstranění rozmazání obrazu dle reference [12], ale vhodné aplikace jsou i v jiných oborech jako například virtuální a rozšířená realita. Přitom podaří-li se parametry modelu pohybu korektním způsobem získat, lze je využít nejen samy o sobě, ale též k odstranění deformací v obraze vzniklých RS efektem.

Správné zjištění parametrů modelu pohybu je tedy velmi důležité a je provázáno s RS deformacemi dvěma způsoby: RS deformace často brání správnému zjištění parametrů modelu pohybu, ale když se s RS deformacemi podaří vhodně pracovat, lze to využít nejen ke zjištění parametrů modelu pohybu, ale i k odstranění těchto deformací. Odstranění RS deformací způsobených plovoucí závěrkou se doposud nejčastěji řeší pomocí jednoho snímku z jedné kamery nebo pomocí sekvencí více snímků z jedné kamery pořízených v různém čase, mezi kterými se hledají vhodné klíče k popsání pohybu kamery a následnému odzkreslení obrazu, jak je popsáno, např. v publikacích [4, 5, 6, 7, 8].

Uvedené metody jsou zpravidla závislé na obsahu pořízených obrázků, šité na míru konkrétním situacím a pouze některým druhům pohybu nebo vyžadují znalost parametrů kamery, které lze spolehlivě získat pouze náročnou kalibrací.

Žádná z uvedených metod neobsahuje kroky, na jejichž základě by bylo možné dostatečně korektně a dostatečně nezávisle na typu scény spočítat parametry modelu pohybu a ty buď využít samy o sobě, nebo na jejich základě docílit vizuálně nerušivého odstranění obrazových deformací a/nebo kvalitně zrekonstruovat 3D hloubkovou mapu scény.

Existují i systémy s více kamerami, které se snaží problém řešit. V publikaci [1] je popsán systém dvou kamer s překrývajícím se zorným polem, jejichž vzájemná poloha je známá. Ze dvou obrazů pořízených těmito kamerami pak autoři odhadují pohyb objektu nebo kamer v okamžiku pořízení obrazů a pomocí parametrů tohoto pohybu pak rekonstruují 3D scénu. Polohu jednotlivých 3D bodů scény přitom vypočtou za pomoci dostatečné vzdálenosti mezi kamerami (jde o stereosnímání a za pomoci zjištěných parametrů modelu pohybu. Pomocí zjištěných parametrů pohybu pak dokážou tyto body promítnout do obrazu, jako by byl bez deformací.

55

Toto řešení ale v mnoha situacích selhává, například při konstrukčním řešení a nastavení, které je běžné pro mobilní telefony. V mobilních telefonech jsou středy kamer velmi blízko u sebe a kamery mají nastaven stejný směr exponování čipů. Kamery se stejným směrem exponování čipů jsou přitom v publikaci [1] explicitně ukázány, jiné nastavení autoři neuvažují. Za těchto okolností při malé vzdálenosti kamer od sebe není dostatek informací k triangulaci bodů a navržená metoda selže. V případě rovnoměrného translačního pohybu metoda selhává i pro kamery se vzdálenějšími středy.

Ke správnému zjištění pohybu, 3D rekonstrukci či odkreslení deformací obrázků pro případ obecného pohybu kamer vůči scéně a pro libovolnou konfiguraci kamer včetně konfigurace s kamerami tak blízko u sebe, jak je běžné u mobilních telefonů, je tato metoda nevhodná. Bez výrazně rozdílného směru exponování čipů obou kamer není totiž v případě kamer umístěných blízko sebe možné docílit správného zjištění parametrů pohybu, 3D rekonstrukce scény ani odkreslení deformací obrazů.

V publikaci [2] či v patentovém spisu US 10410372 autoři používají systém více kamer s plovoucí závěrkou pro detekci a sledování rychle se pohybujících objektů a výpočet parametrů modelu pohybu kamer. Za tímto účelem však využívají radiální zkreslení čoček kamer, které je pro jejich metodu nezbytné. Jejich řešení používá deset kamer, které mají značně rozdílné umístění a musí být ve stereo párech, tedy s dostatečnou vzdáleností od sebe vzhledem ke scéně. Autoři nenavrhují řešení, které by bylo aplikovatelné na kamery umístěné v malé vzdálenosti od sebe, a už vůbec ne pro kamery, které jsou umístěny těsně u sebe jako například u mobilních telefonů. Autoři také uvádějí, že jejich řešení nebude fungovat dobře pro dvě kamery.

V publikaci [3] jsou popsány kamery otočené vzájemně o 90 stupňů. Účelem této konfigurace je rozšíření úhlu záběru. Metoda umožňuje zjistit parametry modelu pohybu, avšak pro toto zjištění není využito výše popsané vzájemné pootočení kamer, naopak je k tomuto zjištění nutné radiální zkreslení čoček kamer. Metodu nelze aplikovat na některé jiné konfigurace kamer, například na dvojici kamer velmi blízko u sebe jako kamery používané na mobilních telefonech, jak autoři sami uvádějí.

Patentový dokument US 2015271483 popisuje vzájemnou synchronizaci dvou kamer ve směru exponování plovoucí závěrky. Tato synchronizace je pak využita k tomu, aby 2D panorama složené z obrazů obou kamer nebo 3D obraz složený z obrazů obou kamer nebyly rozmazané. V dokumentu ale není popsáno odstranění deformací v jednotlivých nesložených obrazech, ty odstraněny nejsou, pouze je díky synchronizaci závěrek obou kamer zajištěno, že se deformace ve složených 2D panoramatech nebo ve 3D obraze ještě nezhoršují.

V patentovém dokumentu US 2016050370 je popsána prostorová konfigurace kamer, jejichž plovoucí závěrky exponují čip v opačném směru. Cílem je, aby se překrývající se část obrazů obou kamer snímala v co nejpodobnějších časech, aby artefakty způsobené plovoucí závěrkou byly v obou kamerách podobné a obrázky se dobře spojovaly do panoramat. Ani tento dokument neřeší odstranění deformací obrazu, je zaměřen na spojování snímků do panoramat.

Z patentového dokumentu US 200915371 je rovněž známo zařízení s dvěma čipy s plovoucí závěrkou, přičemž první směr exponování je opačný než druhý směr exponování. Toto zařízení se používá pro korekci deformací vzniklých v obraze v důsledku pohybu objektu. Navržený způsob korekce deformací, ale nevyužívá modely pohybu, proto je výpočetně náročný. Popsaný způsob také neumožňuje získat hloubkovou mapu. Není navrženo ani zařízení, které by jednoduchou změnou exponování po řádcích na exponování po sloupcích v jedné z kamer umožnilo provádět korekce deformací obrazu.

Ze stavu techniky není známé žádné zařízení, které by dostatečně efektivně řešilo problém RS deformací například i v mobilních telefonech, kde není možné kamery rozestavovat ve větší vzdálenosti od sebe, a které by bylo aplikovatelné na libovolný typ pohybu.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky odstraňuje navržený způsob využití efektů vzniklých v obrazech v důsledku relativního pohybu tohoto zařízení vůči scéně nebo části scény a zařízení pro provádění tohoto způsobu. V tomto zařízení jsou obsaženy alespoň dvě kamery s plovoucí závěrkou, přičemž směr exponování prvního čipu první kamery je odlišný od směru exponování druhého čipu druhé kamery. Díky tomuto pootočení a RS efektu je při relativním pohybu zařízení vůči scéně nebo části scény rozdíl v deformacích v obrazech nasnímaných první kamerou oproti deformacím v obrazech nasnímaných druhou kamerou. Když se takto zkonstruovaným zařízením nasnímají obrazy scény, která je v relativním pohybu vůči zařízení, lze uvedené efekty v obrazech důvtipně využít, jak pro zjištění parametrů modelu pohybu zařízení vůči scéně nebo části scény, tak následně například i pro určení poloh a orientací čipů kamer vůči scéně nebo části scény, odstranění RS efektu a vytvoření hloubkové mapy scény, přičemž způsob je aplikovatelný dokonce i na mobilní telefony a na libovolný typ pohybu.

Způsob využití efektů vzniklých v obrazech v důsledku relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény podle předkládaného vynálezu se provádí v zařízení, které je osazeno alespoň dvěma kamerami s plovoucí závěrkou, z nichž každá má svůj čip se světlocitlivými elementy. Podstatou tohoto způsobu je, že zahrnuje:

- a) nastavení směru exponování čipů kamer tak, že směr exponování prvního čipu první kamery je odlišný od směru exponování druhého čipu druhé kamery;
- b) snímání obrazů kamerami při relativním pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, kde snímání obrazů zahrnuje exponování čipů, při němž mají první čip první kamery a druhý čip druhé kamery v podstatě neměnnou vzájemnou polohu a v podstatě neměnnou vzájemnou orientaci, a zpracování získaných dat do podoby obrazů, přičemž alespoň část scény v zorném poli první kamery obsahuje alespoň po část doby exponování prvního čipu první kamery alespoň jeden význačný 3D objekt scény, který je během alespoň části doby exponování druhého čipu druhé kamery také v zorném poli druhé kamery a který je také alespoň po část doby exponování čipů v relativním pohybu vůči zařízení pro snímání obrazů;
- c) pro alespoň jednu dvojici obrazů nasnímaných kamerou a kamerou na základě exponování čipů těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu
 - detekování alespoň jedné dvojice navzájem korespondujících oblastí, když každé z těchto dvojic navzájem korespondujících oblastí odpovídá jeden z význačných 3D objektů scény,
 - zjištění polohy korespondující oblasti v obraze nasnímaném první kamerou a zjištění polohy korespondující oblasti v obraze nasnímaném druhou kamerou a
 - zjištění alespoň jednoho údaje o čase exponování světlocitlivých elementů prvního čipu, které odpovídají korespondující oblasti v obraze nasnímaném první kamerou a zjištění alespoň jednoho údaje o čase exponování světlocitlivých elementů druhého čipu, které odpovídají korespondující oblasti v obraze nasnímaném druhou kamerou; nebo zjištění alespoň jednoho údaje o vzájemném posunu těchto časů;
- d) zvolení modelu relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, probíhajícího při exponování prvního čipu první kamery a druhého čipu druhé kamery, a výpočetní určení parametrů tohoto modelu pohybu na základě údajů o polohách korespondujících oblastí a údajů o časech exponování nebo o jejich vzájemném posunu zjištěných v kroku c) a na základě informací o vzájemné poloze a vzájemné orientaci první kamery a druhé kamery a o směrech exponování čipů nastavených v kroku a).

Je výhodné zvolit model pohybu buď z první skupiny modelů pohybu obsahující rotaci, translaci a jejich kombinace, nebo z druhé skupiny modelů pohybu obsahujících údaje o posunech poloh korespondujících oblastí v obrazech nasnímaných kamerami, kde posun polohy je pro každou dvojici navzájem korespondujících oblastí definován jako trajektorie, po které se při předpokládaném typu relativního pohybu kamer vůči scéně nebo části scény musí virtuálně posunout poloha korespondující oblasti v obraze nasnímaném první kamerou tak, aby se kryla s polohou jí odpovídající korespondující oblasti v obraze nasnímaném druhou kamerou.

Parametry modelu pohybu se mohou použít například k určení poloh a orientací každé z kamer vůči scéně nebo části scény v závislosti na čase během doby exponování čipů.

Parametry modelu pohybu se mohou také použít k odstranění deformací v obraze nasnímaném první kamerou a/nebo v obraze nasnímaném druhou kamerou, kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény.

V dalším výhodném provedení se polohy a orientace kamer vůči scéně nebo části scény v závislosti na čase během doby exponování čipů se použijí k odstranění deformací v obraze nasnímaném kamerou a/nebo v obraze nasnímaném kamerou, kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény.

Je rovněž možné provedení, v němž se pro alespoň jednu dvojici obrazů nasnímaných první kamerou a druhou kamerou na základě exponování čipů těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu se vybere alespoň jedna dvojice navzájem korespondujících oblastí v těchto dvou obrazech nasnímaných první a druhou kamerou a pro každou z těchto vybraných dvojic korespondujících oblastí se pomocí parametrů modelu pohybu spočte hloubka toho 3D objektu scény, který jim odpovídá.

Následně je možné hloubky jednotlivých 3D objektů scény se použít k vytvoření 3D hloubkové mapy scény.

Výhodná jsou provedení, v nichž krok nastavení směru exponování čipů zahrnuje otočení čipu v alespoň jedné z kamer a/nebo změnění pořadí, v jakém jsou exponovány řádky nebo sloupce čipu, v alespoň jedné z kamer a/nebo změnění typu exponování v jedné z kamer z exponování po řádcích na exponování po sloupcích nebo opačně.

Nastavení směrů exponování v kroku a) se může s výhodou provést tak, že úhel mezi směrem exponování prvního čipu první kamery a směrem exponování druhého čipu druhé kamery je 90 stupňů ± 5 stupňů.

V jiném výhodném provedení se nastavení směrů exponování v kroku a) provede tak, že úhel mezi směrem exponování prvního čipu první kamery a směrem exponování druhého čipu druhé kamery je 180 stupňů ± 5 stupňů.

Je výhodné, když jsou optické osy obou kamer navzájem rovnoběžné.

Rovněž je výhodné, je-li vzdálenost mezi středy kamer menší než 5 cm.

Výhodné je také provedení, v němž model pohybu obsahuje pouze rotaci.

V případě vzdálenosti mezi středy kamer menší než 5 cm a pokud model pohybu obsahuje pouze rotaci, je možné parametry modelu pohybu vypočtené pro kteroukoli dvojici nebo skupinu dvojic navzájem korespondujících oblastí v obrazech nasnímaných první a druhou kamerou použít pro odstranění deformací vzniklých v libovolném bodě nebo v libovolných bodech obrazu kterékoli z kamer, kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény.

Je možné rovněž provedení, v němž model pohybu sestává z údajů o posunech poloh navzájem korespondujících oblastí v obrazech nasnímaných kamerami a parametry modelu pohybu sestávají z množiny parametrů definujících trajektorii posunu polohy korespondující oblasti v obraze nasnímaném první kamerou, po které se tato korespondující oblast v obraze nasnímaném kamerou musí posunout pro překrytí s odpovídající korespondující oblastí v obraze nasnímaném druhou kamerou.

V posledně uvedeném provedení je možné pro alespoň jednu dvojici obrazů nasnímaných kamerou a kamerou na základě exponování čipů těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu vybrat dvojice navzájem korespondujících oblastí v těchto obrazech nasnímaných první a druhou kamerou a z parametrů modelu pohybu pro tuto vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí vypočíst korigovanou polohu, která odpovídá témuž význačnému 3D objektu scény jako vybraná dvojice korespondujících oblastí. Tato korigovaná poloha přitom odpovídá poloze projekce tohoto význačného 3D objektu scény v obraze s odstraněnými deformacemi vzniklými relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény. Následně se proces buď ukončí, nebo se pokračuje výběrem další dvojice navzájem korespondujících oblastí v téže dvojici obrazů nasnímaných první a druhou kamerou pro jiný význačný 3D objekt scény, dokud není zjištěna korigovaná poloha v obraze s odstraněnými deformacemi pro všechny 3D objekty scény, kterým odpovídají vybrané dvojice korespondujících oblastí.

V předešle uvedeném provedení je výhodné, když výpočet korigované polohy pro vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí v obrazech nasnímaných kamerami sestává z interpolace podél trajektorie definované parametry modelu pohybu pro tuto vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí.

V jednom výhodném provedení je zařízení pro provádění tohoto způsobu konstruováno tak, že úhel mezi směrem exponování prvního čipu první kamery a směrem exponování druhého čipu druhé kamery je $90 \text{ stupňů} \pm 5 \text{ stupňů}$.

Předkládaný vynález tedy poskytuje možnost využít efektů, speciálně deformací, vzniklých v obrazech v důsledku relativního pohybu zařízení vůči scéně nebo části scény a s tím spojeného RS efektu k získání parametrů modelu relativního pohybu zařízení vůči scéně nebo části scény, na jejichž základě je následně možné například korigovat uvedené deformace v obrazech nebo získat 3D mapu scény, a to i pro systémy kamer umístěných velmi blízko sebe, jak je tomu, např. v mobilních telefonech. Řešení známá ze stavu techniky tyto možnosti nenabízela.

Objasnění výkresů

Příklady provedení předkládaného vynálezu jsou uvedeny v přiložených obrázcích.

V obr. 1a až 1c jsou znázorněny příklady možností různých směrů exponování čipů v mobilním telefonu se dvěma kamerami na stejné straně zařízení.

V obr. 2 je ilustrace vzniku RS efektu.

V obr. 3 je ilustrace modelu pohybu obsahujícího údaje o posunech poloh korespondujících oblastí v obrazech P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2.

V obr. 4 jsou schematicky naznačeny rychlosti exponování čipů 10, 20, vybrané řádky těchto čipů a současně také těmito čipům odpovídající obrazy P.10, P.20 nasnímané kamerami 1, 2, to vše při translačním relativním pohybu soustavy kamer 1, 2 vůči scéně.

Příklady uskutečnění vynálezu

I když jsou níže popsána některé podrobná provedení vynálezu, je třeba mít na paměti, že jde pouze o příklady, které lze různě modifikovat, přičemž i modifikovaná řešení budou spadat do rozsahu ochrany definovaného přiloženými patentovými nároky. Níže podrobněji popsána provedení ukazují pouze některá z mnoha možných řešení, která spadají do ochrany vynálezu a ilustrují vynálezeckou myšlenku.

V následujícím textu budeme používat tyto pojmy a definice:

Zařízení pro snímání obrazů – jakékoli zařízení obsahující nějaké součásti schopné snímat obraz, speciálně tím v tomto textu rozumíme soustavu kamer, kterých může být různý počet a mohou být navzájem odlišně konstruované, vysvětlení termínu kamera viz níže.

Kamera – zahrnuje zařízení schopné pořizovat jednorázový statický záznam obrazu, typicky fotoaparát v režimu fotografie, či snímat video, typicky videokamera nebo fotoaparát v režimu video. Všechna tato zařízení označujeme souhrnným názvem kamera a mohou být v různých kombinacích osazena do zařízení pro snímání obrazu.

Plovoucí závěrka – termín je používán tak, jak je v oboru běžné, odpovídající anglický termín je rolling shutter, ve zkratce RS.

Čip – prvek umístěný v kameře obsahující světlocitlivé elementy, typicky polovodičové fotodiody, uspořádané do podélných pravoúhlých bloků, jejichž podélné osy jsou navzájem rovnoběžné. Takovým podélným blokem je typicky řádek nebo skupina řádků světlocitlivých elementů, případně sloupec nebo skupina sloupců světlocitlivých elementů. Kamera s plovoucí závěrkou exponuje různé bloky čipu v různém čase. Uspořádání čipů může být různé, obvykle se jedná o CCD nebo CMOS čipy.

Exponování čipu – v kameře s plovoucí závěrkou je čip exponován tak, že jsou postupně exponovány, tj. vystaveny světlu, jednotlivé bloky světlocitlivých elementů, tj. například řádky nebo sloupce. Ve světlocitlivých elementech typického čipu dochází při expozici ke konverzi světla na nosiče náboje. Kamera s plovoucí závěrkou exponuje různé bloky světlocitlivých elementů v různých časových intervalech, tj. například nejprve první řádek, pak druhý atd. až k poslednímu (nebo obdobně pro sloupce). Každý blok je přitom exponován najednou, tj. exponuje se najednou, např. celý řádek nebo celý sloupec, přičemž po část doby exponování jednoho bloku se už může, ale nemusí, exponovat také následující blok nebo bloky světlocitlivých elementů, tzn. exponování jednotlivých bloků se může částečně překrývat v čase. Při snímání videozáznamu jde o periodický proces v čase, kdy se postupuje od prvního bloku světlocitlivých elementů k poslednímu a následně se proces opakuje, a to opět od prvního bloku k poslednímu. Při exponování čipu nemusí být nutně využita celá jeho plocha ani všechny na něm umístěné světlocitlivé elementy. Termínem exponování čipu rozumíme i exponování částečné, tj. exponování pouze vybrané plochy čipu.

Rychlost exponování čipu – udává počet bloků se světlocitlivými elementy čipu, jejichž expozice je zahájena za jednotku času.

Směr exponování čipu dané kamery definujeme jako směr normálového vektoru k podélné ose bloku světlocitlivých elementů, kde tento vektor je orientován ve směru od dříve exponovaného bloku světlocitlivých elementů k následně exponovanému bloku světlocitlivých elementů během jedné sekvence exponování využití plochy čipu této kamery. V případě, že mluvíme o směru exponování dvou a více čipů dvou a více kamer, směry exponování čipů všech kamer jsou vyjádřeny vzhledem k jedné souřadné soustavě. V obr. 1a až 1c jsou uvedeny některé příklady směrů exponování čipů na příkladu schematicky zakreslené stěny mobilního telefonu se dvěma kamerami, a to první kamerou 1 a druhou kamerou 2. První kamera 1 má první čip 10, druhá kamera 2 má druhý čip 20. Směry exponování prvního čipu 10 a druhého čipu 20 jsou v každém

z provedení zakresleny jako navzájem protichůdné, tzn. vektor směru exponování prvního čipu 10, v obrazech vyznačený šipkou, je otočen o 180° oproti vektoru směru exponování druhého čipu 20, rovněž označenému šipkou. V obr. 1a je příklad uspořádání, v němž je první čip 10 první kamery 1 exponován po řádcích směrem shora dolů a druhý čip 20 druhé kamery 2 je exponován po řádcích směrem zdola nahoru, v obr. 1b je první čip 10 exponován po řádcích naopak směrem zdola nahoru a druhý čip 20 je exponován po řádcích směrem shora dolů. V obr. 1c je první čip 10 exponován po sloupcích směrem zleva doprava a druhý čip 20 je exponován po sloupcích zprava doleva. Z obrázků 1a, 1b jsou patrné také příklady některých možných vzájemných uspořádání kamer a čipů, možností je samozřejmě mnohem více.

Je zřejmé, že pojmy „sloupec“ a „řádek“ jsou použity jen pro větší jasnost, jinak jsou zaměnitelné podle orientace čipu. Při otočení čipu o 90° kolem osy kolmé na rovinu čipu se z řádků stanou sloupce a naopak. Není přitom ani v nejmenším nutné, aby „řádky“ byly orientovány, např. vodorovně a „sloupce“ svisle.

Protichůdných, tedy navzájem o 180° pootočených směrů exponování lze dosáhnout například těmito dvěma způsoby:

1) kamery, které mají směr exponování stejný, vzájemně otočíme tak aby směr exponování byl protichůdný,

2) u kamer, které mají směr exponování stejný, změníme pořadí exponování řádků či sloupců.

Obraz nebo nasnímaný obraz – signály ze světlocitlivých elementů, které jsou typicky analogové elektrické, se zpracovávají, typicky digitalizují, a takto vzniklý soubor digitalizovaných dat a/nebo převod tohoto souboru dat do podoby viditelné lidským okem (např. na displeji nebo při nějakém typu projekce nazýváme „obraz“, případně „nasnímaný obraz“. Pojmy obraz a nasnímaný obraz jsou používány jako synonyma. Přitom data z jednotlivých bloků světlocitlivých elementů odpovídají blokům pixelů v nasnímaném, obraze. Jeden nasnímaný obraz odpovídá jedné sekvenci exponování využitě plochy čipu, tj., např. sekvenci exponování od prvního po poslední řádek světlocitlivých elementů na využitě ploše čipu. Bloky pixelů digitálního obrazu jsou lineárně uspořádány podle času, v němž došlo k exponování jim odpovídajících bloků světlocitlivých elementů na čipu.

Řádek v obraze je řádek pixelů v obraze nasnímaném některou z kamer 1, 2.

Orientace čipu – je definována jako rotace z globální souřadné soustavy, spojené se scénou nebo částí scény, do souřadné soustavy spojené s čipem. Jako jednoduchý příklad souřadné soustavy spojené s čipem uveďme souřadnou soustavu, která má počátek například v jednom z rohů čipu a její osy jsou zvoleny například tak, že osa z je kolmá na plochu čipu a míří směrem od osvětlované části čipu, osa x je rovnoběžná s bloky světlocitlivých elementů čipu odpovídajících řádkům v obraze a osa y je položena tak, aby osy tvořily pravotočivou soustavu. Lze však zvolit i jakoukoli jinou souřadnou soustavu spojenou s daným čipem. Pro každý z čipů může být také souřadná soustava spojená s tímto čipem zvolena jiným způsobem, tzn., např. s počátkem v libovolném místě na čipu nebo dokonce i mimo něj nebo s libovolně orientovanými osami. Podstatné je, aby šlo o souřadné soustavy spojené s daným čipem. S jejich pomocí pak provádíme další výpočty a také snáze definujeme některé pojmy. Vzájemnou, tedy vůči sobě navzájem relativní, orientaci čipů 10, 20 kamer 1, 2 definujeme jako rotaci ze souřadné soustavy spojené s prvním čipem 10 první kamery 1 do souřadné soustavy spojené s druhým čipem 20 druhé kamery 2. Tato vzájemná orientace prvního čipu 10 a druhého čipu 20 zůstává při provádění způsobu podle předkládaného vynálezu během exponování čipů 10, 20 v podstatě neměnná.

Poloha čipu – je definována jako souřadnice počátku souřadné soustavy spojené s daným čipem, vzhledem ke globální souřadné soustavě. Vzájemnou, tedy vůči sobě navzájem relativní, polohu čipů 10, 20 kamer 1, 2 definujeme jako souřadnice počátku souřadné soustavy spojené s druhým

čipem 20 druhé kamery 2 v souřadné soustavě spojené s prvním čipem 10 první kamery 1. Tato vzájemná poloha prvního čipu 10 a druhého čipu 20 zůstává při provádění způsobu podle předkládaného vynálezu během exponování čipů 10, 20 v podstatě neměnná.

- 5 V podstatě neměnná vzájemná poloha a orientace čipu – vzájemná poloha a vzájemná orientace čipů 10, 20, jsou pokládány za v podstatě neměnné, pokud zůstávají v rámci tolerancí daných pohybem čipů 10, 20 uvnitř zařízení způsobených posuny součástí za pohybu. Za změnu vzájemné polohy ani za změnu vzájemné orientace čipů 10, 20 se také nepokládají případné drobné změny způsobené mechanickou stabilizací obrazu.

10

Orientace kamery – je definována jako rotace z globální souřadné soustavy, spojené se scénou nebo částí scény, do souřadné soustavy spojené s kamerou, kde souřadná soustava spojená s kamerou může mít například počátek v optickém středu kamery, a její osy jsou zvoleny například tak, že osa z je kolmá na plochu čipu a míří směrem od osvětlované části čipu, osa x je rovnoběžná s bloky světlocitlivých elementů čipu odpovídajících řádkům v obraze a osa y je položena tak, aby osy tvořily pravotočivou souřadnou soustavu. Orientace kamery je při takto zvolené souřadné soustavě spojené s kamerou a výše zmíněné volbě souřadné soustavy spojené s čipem shodná s orientací čipu. Orientaci první kamery 1 vůči scéně označujeme R_1 a orientaci druhé kamery 2 vůči scéně označujeme R_2 . Vzájemnou, tedy vůči sobě navzájem relativní, orientaci kamer 1, 2 definujeme jako rotaci ze souřadné soustavy spojené s první kamerou 1 do souřadné soustavy spojené s druhou kamerou 2 a budeme ji označovat R_r . Tato vzájemná orientace R_r první kamery 1 a druhé kamery 2 zůstává při provádění způsobu podle předkládaného vynálezu během exponování čipů 10, 20 v podstatě neměnná. Přitom je třeba mít na paměti, že pro provádění uvedeného způsobu není rozhodující, v jakém bodě zvolíme počátek souřadné soustavy spojené s danou kamerou, ani jak zvolíme polohu a orientaci os této souřadné soustavy. Důležité je jen to, aby šlo o souřadnou soustavu pevně spojenou s danou kamerou. Výpočty jsou ale nejjednodušší pro souřadné soustavy spojené s kamerami zvolené podle výše popsaného příkladu.

Poloha středu kamery neboli poloha kamery – je definována jako souřadnice optického středu kamery. V případě souřadné soustavy spojené s kamerou zvolené podle příkladu uvedeného v definici orientace kamery zde výše má optický střed kamery souřadnice počátku souřadné soustavy spojené s danou kamerou vzhledem ke globální souřadné soustavě spojené se scénou nebo částí scény. Polohu středu první kamery 1 označujeme C_1 a polohu středu druhé kamery 2 označujeme C_2 . Vzájemnou, tedy vůči sobě navzájem relativní, polohu kamer 1, 2 definujeme jako souřadnice počátku souřadné soustavy druhé kamery 2 v souřadné soustavě první kamery 1 a budeme ji označovat C_r . Tato vzájemná poloha C_r první kamery 1 a druhé kamery 2 zůstává při provádění způsobu podle předkládaného vynálezu během exponování čipů 10, 20 v podstatě neměnná.

Vzájemná poloha a orientace čipu a kamery – je definována jako transformace ze souřadné soustavy spojené s čipem do souřadné soustavy spojené s jemu příslušnou kamerou, tak jak jsou tyto soustavy definovány výše. Čipy 10 a 20 jsou pevnými součástmi kamer 1 a 2 a tudíž polohy a orientace čipů 10 a 20 jsou pevně svázány s polohami a orientacemi kamer 1 a 2 a v průběhu exponování obrazů P.10 a P.20 se vzájemná poloha a orientace čipu a kamery nemění. Díky znalosti vzájemné polohy a orientace čipů a kamer, která je obsažena například v parametrech kamery K, jak je definováno níže, můžeme při znalosti polohy a orientace kamery spočítat také polohu a orientaci čipu a naopak.

Korespondující oblast – oblast, které v obraze P.10 nasnímaném první kamerou a v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou odpovídá totožné části scény. Může jít o body, křivky i plochy.

Význačný 3D objekt E_i scény – obvykle nějaký snadno rozlišitelný objekt, např. roh domu, roh okna, zrna v omítce, oko. Objekt, který lze v obraze detekovat dostupnými metodami počítačového vidění, například SIFT, SURF, Harris etc.

55

Relativní pohyb zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, někdy zkracujeme jen na relativní pohyb – zahrnuje jak pohyb zařízení pro snímání obrazů vůči statické scéně, např. jedoucí zařízení pro snímání obrazů snímající krajinu, tak pohyb nějaké společně se pohybující části scény vůči zařízení pro snímání obrazů, např. jedoucí vlak před stojící kamerou. Relativní pohyb zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény navíc zahrnuje i kombinaci výše uvedeného, tzn. že se pohybuje jak zařízení pro snímání obrazů, tak alespoň některé elementy scény, například snímání běžců pohybující se kamerou. Příkladů je samozřejmě velmi mnoho. Rozmanité mohou být také typy pohybů zařízení pro snímání obrazů a/nebo objektů scény, může jít například o pohyby translační, rotační, jejich kombinace i různé další typy pohybů.

Pro úspornost je také někdy v následujícím popise spojení „relativní pohyb vůči scéně nebo části scény“ zestručněn na „relativní pohyb vůči scéně“, což může zahrnovat buď relativní pohyb zařízení vůči celé scéně, nebo jen relativní pohyb zařízení vůči části scény, která je z hlediska snímání zajímavá, např. pohybující se objekt okolním statickým prostředím.

Parametry kamery – parametry kamery lze rozdělit, jak je běžně používáno v literatuře, na interní a externí. Interní parametry jsou dané konstrukcí kamery samotné a nemění se v průběhu snímání. Interní parametry mohou obsahovat například hlavní bod projekce (anglicky principal point), zkosení čipu, ohniskovou vzdálenost a dále parametry zkreslení dané použitými optickými elementy, které se zpravidla dělí na radiální a tangenciální. Tyto interní parametry označujeme souhrnně K. Externí parametry popisují aktuální polohu a orientaci kamery v daném souřadném systému, který může být zvolen, např. jako relativní vůči scéně nebo části scény, a jsou popsány 6 parametry pro 6 stupňů volnosti – 3 pro orientaci a 3 pro polohu. Tyto parametry označujeme souhrnně P.

Střed kamery – středem kamery je ve shodě s literaturou označován optický střed kamery.

V předkládaném vynálezu navrhujeme zařízení pro snímání obrazů obsahující soustavu kamer zahrnující alespoň dvě kamery. V této soustavě kamer je obsažena první kamera 1 s plovoucí závěrkou a druhá kamera 2 s plovoucí závěrkou, přičemž každá z těchto dvou kamer 1, 2 má svůj čip se světlocitlivými elementy. Směr exponování prvního čipu 10 první kamery 1 je přitom odlišný od směru exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2. Takové zařízení může být osazeno například do mobilního telefonu, do auta s automatickým řízením, do zařízení pro snímání pohybu hlavy, do dronu, robotického systému apod. Při relativním pohybu takového zařízení vůči scéně nebo části scény dochází k deformacím v obrazech nasnímaných jednotlivými kamerami a díky odlišnému směru exponování prvního čipu 10 a druhého čipu 20 jsou tyto deformace v obrazech nasnímaných jednotlivými kamerami rozdílné. Tyto rozdíly se dají využít v následujících výpočtech. Čím je rozdíl mezi směry exponování prvního čipu 10 a druhého čipu 20 větší, tím je větší také rozdíl v deformacích v obrazech nasnímaných první kamerou 1 vůči deformacím v obrazech nasnímaných druhou kamerou 2. Úhel $180^\circ \pm 5$ stupňů mezi směry exponování prvního čipu 10 a druhého čipu 20 poskytuje nejvyšší poměr signál/šum pro následující výpočty.

Výhodné je také takové provedení zařízení, v němž směr exponování prvního čipu 10 první kamery 1 svírá úhel 90 stupňů ± 5 se směrem exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2. Při takovém provedení je poměr signál/šum stále dost vysoký k provedení následujících výpočtů a lze ho jednoduše dosáhnout pomocí změny typu exponování v jedné z kamer z exponování po řádcích na exponování po sloupcích. Další výhodná možnost dosažení tohoto provedení je mechanické otočení čipu jedné z kamer o 90 stupňů ± 5 stupňů, přičemž zmíněná výhoda spočívá ve faktu, že otočený čip zůstává rovnoběžný/kolmý k druhému čipu, což usnadňuje jiné metody zpracování obrazu, a zároveň rovnoběžný/kolmý k ostatním mechanickým částem zařízení, což vede ke snadnější montáži a úspoře prostoru.

Několik možných příkladů takové soustavy kamer je v obr. 1a, 1b a 1c. Vzájemná poloha a vzájemná orientace čipů 10, 20, které jsou v obrázcích vyznačeny, jsou známými parametry zařízení. Mohou být pevné nebo nastavitelné. Během exponování scény se ale tato vzájemná

poloha a ani vzájemná orientace čipů 10, 20 nemění. Směry exponování prvního čipu 10 první kamery 1 a druhého čipu 20 druhé kamery 2 svírají v příkladných provedeních zařízení dle obr. 1a, 1b, 1c, obr. 2 i dle obr. 4 úhel 180° , což však není pro fungování zařízení podmínkou, zařízení může fungovat i při jiných úhlech či v případě provedení, v němž čipy 10, 20 neleží v jedné rovině a také při jiných úhlech mezi směry exponování.

Ukázka deformací způsobených relativním pohybem zařízení pro snímání obrazu vůči scéně, neboli ukázka RS efektu, je schematicky zakreslena v obr. 2. Snímaná scéna je zde představovaná domem, který je v obrázku symbolicky zakreslen. Tato scéna je během relativního pohybu zařízení pro snímání obrazu vůči ní alespoň po část doby exponování prvního čipu 10 první kamery 1 v zorném poli této první kamery 1 a podobně je snímána scéna po alespoň část doby exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2 v zorném poli této druhé kamery 2. Čipy 10, 20 jsou v tomto příkladném provedení umístěny rovnoběžně s přední stěnou domu, což v obrázku pro jednoduchost není znázorněno, a zařízení pro snímání obrazu osazené kamerami s těmito čipy 10, 20 se pohybuje vodorovným směrem rovnoběžně s přední stěnou domu. Přitom první čip 10 se exponuje shora dolů a druhý čip 20 se exponuje vertikálně zdola nahoru, tyto směry exponování jsou symbolicky naznačeny v levé horní části obrázku. Pod snímanou scénou v podobě domu je naznačen směr relativního pohybu zařízení pro snímání obrazu vůči scéně. V pravé části obr. 2 je pak shora dolů nejprve obraz P.10 nasnímaný první kamerou 1, pod ním obraz P.20 nasnímaný druhou kamerou 2, vpravo dole je pak znázorněn také nedeformovaný obraz 50. Tento nedeformovaný obraz je možné získat pomocí parametrů modelu pohybu zjištěných podle předkládaného vynálezu, jak bude podrobněji vysvětleno níže. Takový nedeformovaný obraz by vznikl také při nasnímání téže scény kamerou s globální závěrkou (anglicky global shutter při dostatečně krátkém čase expozice vůči rychlosti pohybu).

Ukázka deformací v obrazech P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2, či jinak řečeno RS efektu, v obr. 2 je jen jedním možným příkladem pro jednu konfiguraci kamer a jeden typ relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně – translační pohyb, v obrázku jde o pohyb ve vodorovném směru rovnoběžném s přední stěnou domu. Je to jeden z mnoha možných příkladů, tento jsme zvolili pro názornou ilustraci.

Předkládaný vynález navrhuje způsob využití podobných efektů vzniklých v obrazech v důsledku relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, přičemž v uvedeném zařízení jsou umístěny alespoň dvě kamery 1, 2 s plovoucí závěrkou, z nichž každá má svůj čip se světlocitlivými elementy. Způsob podle předkládaného vynálezu zahrnuje:

- a) nastavení směrů exponování čipů 10, 20 kamer 1, 2 tak, že směr exponování prvního čipu 10 první kamery 1 je odlišný od směru exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2;
- b) snímání obrazů kamerami 1, 2 při relativním pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, kde snímání obrazů zahrnuje exponování čipů 10, 20, při němž mají první čip 10 první kamery 1 a druhý čip 20 druhé kamery 2 v podstatě neměnnou vzájemnou polohu a v podstatě neměnnou vzájemnou orientaci, a zpracování získaných dat do podoby obrazů, přičemž alespoň část scény v zorném poli první kamery 1 obsahuje alespoň po část doby exponování prvního čipu 10 první kamery alespoň jeden význačný 3D objekt scény, který je během alespoň části doby exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2 také v zorném poli druhé kamery 2 a který je také alespoň po část doby exponování čipů 10, 20 v relativním pohybu vůči zařízení pro snímání obrazů;
- c) pro alespoň jednu dvojici obrazů nasnímaných kamerou 1 a kamerou 2 na základě exponování čipů 10, 20 těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu
 - detekování alespoň jedné dvojice navzájem korespondujících oblastí e_i^1 , e_i^2 , kde e_i^1 je korespondující oblast v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 a e_i^2 je korespondující

oblast v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2, když každé z těchto dvojic navzájem korespondujících oblastí e_i^1 , e_i^2 odpovídá jeden z význačných 3D objektů E_i scény,

- zjištění polohy korespondující oblasti e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 a zjištění polohy korespondující oblasti e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2 a
 - zjištění alespoň jednoho údaje o čase exponování světlocitlivých elementů prvního čipu 10, které odpovídají korespondující oblasti e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 a zjištění alespoň jednoho údaje o čase exponování světlocitlivých elementů druhého čipu 20, které odpovídají korespondující oblasti e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2, nebo zjištění alespoň jednoho údaje o vzájemném posunu těchto časů;
- d) zvolení modelu relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, probíhajícího při exponování prvního čipu 10 první kamery 1 a druhého čipu 20 druhé kamery 2, a výpočetní určení parametrů M tohoto modelu pohybu na základě údajů o polohách korespondujících oblastí a údajů o časech exponování nebo o vzájemném posunu těchto časů zjištěných v kroku c) a na základě informací o vzájemné poloze C_r a vzájemné orientaci R_r první kamery 1 a druhé kamery 2 a o směrech exponování čipů 10, 20 nastavených v kroku a).

Pokud nastavení směrů exponování čipů 10, 20 podle kroku a) nebylo provedeno v rámci továrního nastavení zařízení pro snímání obrazů, krok a) nastavení směrů exponování čipů 10, 20 může být provedeno jako otočení čipu v alespoň jedné z kamer 1, 2 a/nebo jako změnění pořadí, v jakém jsou exponovány řádky nebo sloupce čipu v alespoň jedné z kamer 1, 2 a/nebo jako změnění typu exponování v jedné z kamer 1, 2 z exponování po řádcích na exponování po sloupcích nebo opačně. Jaká kombinace těchto operací se provede, závisí na výchozím vzájemném nastavení směrů exponování čipů 10, 20 a požadovaném výsledném vzájemném natočení těchto směrů exponování.

Nastavení směrů exponování v kroku a) se může s výhodou provést tak, aby směr exponování prvního čipu 10 první kamery 1 svíral úhel $90 \text{ stupňů} \pm 5 \text{ stupňů}$ se směrem exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2. V jiném výhodném provedení, které je znázorněno v obr. 1a až obr. 1c, se nastaví směry exponování tak, že směr exponování prvního čipu 10 první kamery 1 svírá úhel $180 \text{ stupňů} \pm 5 \text{ stupňů}$ se směrem exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2.

V nejčastějším výhodném provedení, které je znázorněno v obr. 1a až 1c a odpovídá mobilnímu telefonu, jsou optické osy obou kamer 10, 20 navzájem rovnoběžné, případně se osy kamer mohou takto nastavit, což je výhodné pro zjednodušení výpočtů, ale způsob bude fungovat i s nerovnoběžnými osami kamer.

Příkladem jednoho z význačných 3D objektů E_i scény může být, např. roh domu vyznačený v obr. 2 a v obr. 4. Jemu odpovídající a navzájem korespondující oblasti e_i^1 , e_i^2 jsou v obr. 2 a v obr. 4 rovněž znázorněny. e_i^1 je oblast v prvním obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1, přičemž tato kamera obsahuje první čip 10 a e_i^2 je oblast v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2, kde tato kamera obsahuje druhý čip 20, proto tuto oblast značíme horním indexem 2. Pro způsob podle tohoto vynálezu je v některých provedeních výhodné využít co nejvíce význačných 3D objektů scény, v tom případě bude mít každý takový objekt svůj index i , kde za písmeno i dosadíme pořadové číslo tohoto objektu, analogicky pak pro korespondující oblasti e_i^1 , e_i^2 odpovídající tomuto význačnému 3D objektu E_i scény.

V případě, že jde o kontinuální snímání videa, vyberou se v kroku c) vždy takové dvojice obrazů nasnímané kamerami 1, 2, které jsou získány z exponování prvního čipu 10 a druhého čipu 20, proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu. V takových dvojicích obrazů se pak hledají dvojice navzájem korespondujících oblastí e_i^1 , e_i^2 , kde každá z těchto oblastí

odpovídá stejnému význačnému 3D objektu E_i scény. Toto lze zopakovat pro všechny dvojice obrazů dané videosekvence a v každé dvojici obrazů pro více 3D objektů E_i scény s různým indexem i , a tedy i v každé dvojici obrazů pro více navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 . Tyto korespondující oblasti e_i^1, e_i^2 mohou mít podobu oblastí, křivek, přímek či bodů.

5

Obvykle se korespondující oblasti v každé zvolené dvojici obrazů nasnímaných kamerami 1, 2 aproximují souřadnicemi v obraze. Zjištění polohy korespondující oblasti e_i^1 v obraze nasnímaném první kamerou 1 a zjištění polohy korespondujících oblastí e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2 podle kroku c) pak pro každé i znamená přiřazení souřadnic x_i^1 a y_i^1 oblasti e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 a souřadnic x_i^2 a y_i^2 oblasti e_i^2 , v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2, kde x_i^1 a y_i^1 odpovídá sloupci, respektive řádce obrazu, kde se nachází oblast e_i^1 a x_i^2 a y_i^2 odpovídá sloupci, respektive řádce, kde se nachází oblast e_i^2 .

10

V obr. 4 a v dalším textu také pro jednoduchost budeme značit souřadnice obrazu stejně jako souřadnice čipu. Tedy v kartézské soustavě budou souřadnice korespondující oblasti e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 značeny x_i^1, y_i^1 a stejně, tedy x_i^1, y_i^1 , budou značeny i souřadnice světlocitlivého elementu prvního čipu 10 této první kamery 1, jejichž exponováním a následným datovým zpracováním se vytvořila oblast e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 aproximovaná souřadnicemi x_i^1, y_i^1 .

20

Podobné zjednodušení značení využijeme i pro druhou kameru, tedy v kartézské soustavě budou souřadnice pixelu nebo pixelů korespondující oblasti e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2 značeny x_i^2, y_i^2 a stejně, tedy x_i^2, y_i^2 , budou značeny i souřadnice světlocitlivého elementu nebo elementů druhého čipu 20 této druhé kamery 2, jejichž exponováním a následným datovým zpracováním se vytvořila oblast e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2 aproximovaná souřadnicemi x_i^2, y_i^2 .

25

Mezi sadami souřadnic pro obraz a sadami souřadnic pro čip může být obecně jistý převodní faktor. Obraz většinou není stejně velký jako čip, jednomu pixelu v obraze může odpovídat blok světlocitlivých elementů na čipu a oblast čipu použitá k vytvoření obrazu může být různě posunutá. V dalším textu pro jednoduchost předpokládáme, že souřadnice na čipu byly zvoleny tak, že souřadnice v obraze jsou identické se souřadnicemi na čipu.

30

V obr. 4 jsou v popředí čtyři obdélníčky, z nichž každý znázorňuje jak čip, tak obraz nasnímaný příslušnou kamerou na základě exponování tohoto čipu. Je třeba si uvědomit, že zpracování dat z exponování čipu do nasnímaného obrazu může být v čase libovolně posunutý proces, pro zpracování jsou proto důležité časy exponování jednotlivých řádků čipu, nikoli čas, kdy se z těchto dat vytváří obraz. Nasnímané obrazy, které odpovídají exponovaným řádkům, jsou ale v obr. 4 pro názornost, jak souvisí RS efekt s exponováním jednotlivých řádků čipu, zakresleny přímo do čipů, i když v realitě tomu tak není.

35

40

Zjištění údajů o časech exponování světlocitlivých elementů čipu v kroku c) znamená typicky pro každý z čipů 10, 20 zjištění času, kdy exponování těchto světlocitlivých elementů na daném čipu započne. Je ale možné použít i jiný údaj nebo údaje, který souvisí s časem exponování těchto světlocitlivých elementů, například zjištění času, kdy exponování těchto světlocitlivých elementů na daném čipu skončí. Údaje o čase mohou být i relativní, tzn., např. o jaký čas je posunuto exponování řádku y_i^1 na prvním čipu 10 vůči exponování korespondujícího řádku y_i^2 na druhém čipu 20.

45

Jelikož mezi exponováním čipu po řádcích nebo blocích řádků či sloupcích nebo blocích sloupců není z hlediska principu řešení žádný rozdíl, budeme se dále zabývat pouze případem exponování po řádcích, přitom se bude jednat o řádky značené totožně v čipu i v obraze kamery příslušející k tomuto čipu. Obvykle se takový řádek čipu exponuje tak, že na něj po určitý nenulový časový interval dopadá světlo. Tento nenulový časový interval, po který trvá exponování řádku čipu, bývá

50

zpravidla, ale nikoli nutně, pro každý řádek čipu stejný. Zjištění údaje o čase exponování těch světlocitlivých elementů prvního čipu 10 první kamery 1, které odpovídají korespondující oblasti e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1, pak typicky znamená zjištění času zahájení exponování řádku y_i^1 prvního čipu 10 první kamery 1, viz obr. 4 a podobně zjištění údaje o čase exponování těch světlocitlivých elementů druhého čipu 20 druhé kamery 2, které odpovídají korespondující oblasti e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2, pak znamená zjištění času zahájení exponování řádku y_i^2 druhého čipu 20 druhé kamery 2, opět viz obr. 4. Je nutné upozornit, že index i u řádků y_i^1, y_i^2 čipů 10, 20 neznačí číslo řádku ve smyslu pořadí řádku ve směru, např. shora dolů nebo zdola nahoru, ale že jde o index vztažený k význačnému 3D objektu E_i scény se stejným indexem jako má řádek, přičemž tento index zároveň označuje fakt, že na základě exponování řádku y_i^1 prvního čipu 10 byla zpracováním dat vytvořena korespondující oblast e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1, kde tato oblast e_i^1 odpovídá 3D objektu E_i scény, a že na základě exponování řádku y_i^2 druhého čipu 20 byla zpracováním dat vytvořena korespondující oblast e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2, kde tato oblast e_i^2 rovněž odpovídá význačnému 3D objektu E_i scény. Přitom řádek y_i^1 prvního čipu 10, který odpovídá 3D objektu E_i scény, může být na čipu 10 třeba pátý shora, zatímco řádek y_i^2 druhého čipu 20, který odpovídá témuž 3D objektu E_i scény, může být třeba patnáctý shora. Pořadová čísla týkající se pořadí řádků shora uvedená v předchozí větě jsou přitom uvedena pouze pro příklad a ilustraci toho, jak je volena indexace řádků a že nesouvisí s pořadím řádků na čipu. Při exponování po řádcích v sobě souřadnice y_i^1, y_i^2 nesou informaci o čase zahájení exponování daných řádků, alespoň v relativní časové ose, tj. v takové ose, kdy se časy zahájení exponování řádku y_i^1 prvního čipu 10 měří relativně vůči času zahájení exponování řádku y_i^2 se stejným indexem i na druhém čipu 20. Souřadnice řádků y_i^1, y_i^2 , což jsou obecně reálná čísla, lze převést pomocí lineární aproximace na pořadová čísla řádků představovaná přirozenými čísly.

V obr. 4 jsou také vyznačeny rychlost exponování v_1 prvního čipu 10 a rychlost exponování v_2 druhého čipu 20 vč. naznačení směrů exponování. Tyto rychlosti, případně poměr těchto rychlostí v_1/v_2 , jsou známé parametry zařízení, mohou být pevné nebo nastavitelné.

Informaci o rychlostech exponování v_1, v_2 , případně o poměru těchto rychlostí, lze spolu s údaji o čase započetí exponování každého z čipů nebo o relativním posunu času exponování jednoho čipu vůči druhému využít pro určení času nebo relativního času exponování kteréhokoli z řádků, známe-li údaje o souřadnici nebo pořadovém čísle daného řádku.

Například čas exponování řádku y_i^1 prvního čipu se může určit jako čas započetí exponování prvního čipu 10 + rychlost v_1 exponování prvního čipu 10 * pořadové číslo řádku y_i^1 * konst. V případě, že obě kamery 1, 2 začnou exponovat své čipy 10, 20 ve stejný čas, stačí k určení času započetí exponování řádků y_i^1, y_i^2 pouze znalost poměru v_1/v_2 rychlostí exponování obou čipů.

Počet řádků na každém z čipů 10, 20 je obecně různý. V některých příkladech provedení ale budeme pro jednoduchost pracovat se stejným počtem řádků obou čipů.

Termínem „model pohybu“ v následujícím textu označujeme zkráceně model relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény. Značíme ho symbolem M .

Model pohybu se může zvolit buď z první skupiny modelů pohybu obsahující rotaci, translaci a jejich kombinace, nebo z druhé skupiny modelů pohybu obsahující údaje o posunech poloh korespondujících oblastí v obrazech P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2, kde posun polohy je pro každou dvojici navzájem korespondujících oblastí definován jako trajektorie p , po které se při předpokládaném typu relativního pohybu kamer 1, 2 vůči scéně musí virtuálně posunout poloha korespondující oblasti v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 tak, aby se kryla s polohou jí odpovídající korespondující oblasti v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2. Model pohybu volí obvykle uživatel.

Ilustrace modelu pohybu z druhé skupiny modelů pohybu je v obr. 3. V tomto případě model pohybu sestává z údajů o posunech poloh navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 v obrazech P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2 a parametry M modelu pohybu sestávají z množiny parametrů definujících trajektorii p posunu polohy korespondující oblasti e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1, po které se tato korespondující oblast v obraze nasnímaném kamerou 1 musí posunout pro překrytí s odpovídající korespondující oblastí e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2. Tvar této trajektorie p je charakteristický pro daný model pohybu. Jsou vyobrazeny dva příklady modelu pohybu, kde se korespondující oblast e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 posunuje po trajektorii p směrem ke korespondující oblasti e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2. Tento pohyb je popsán parametry M modelu pohybu, které definují trajektorii p . V obr. 3. nahoře je trajektorii p přímka, v obr. 3 dole je to křivka. V obou případech lze po určení parametrů křivky trajektorie p spočítat polohu odzkreslené korespondující oblasti e_{gi} , kde toto odzkreslení znamená odstranění deformací vzniklých v obraze nasnímaném kamerami 1, 2 pohybem zařízení pro snímání obrazu vůči scéně nebo části scéně. Možné příklady parametrů trajektorie p , a tedy současně i příklady parametrů M modelu pohybu reprezentovaného touto trajektorií, budou blíže popsány níže.

Nyní podrobněji vysvětlíme pojem „parametry modelu pohybu“.

Zavedeme-li kartézskou souřadnou soustavu s osami x, y, z , první skupina modelů pohybu může být popsána následujícími parametry:

- V případě translačního pohybu parametry modelu pohybu mohou zahrnovat:
 - Vektor T_v jehož 3 složky T_{vx}, T_{vy}, T_{vz} určují rychlost relativního posunu soustavy kamer vůči scéně nebo části scéně v jednotlivých osách.
 - Vektor T_a , jehož 3 složky T_{ax}, T_{ay}, T_{az} určují relativní akceleraci soustavy kamer vůči scéně nebo části scéně v jednotlivých osách.
- V případě rotačního pohybu parametry modelu pohybu mohou zahrnovat:
 - Vektor W_v jehož 3 složky W_{vx}, W_{vy}, W_{vz} určují rychlost relativní rotace soustavy kamer vůči scéně nebo části scéně v jednotlivých osách.
 - Vektor W_a , jehož 3 složky W_{ax}, W_{ay}, W_{az} určují relativní akceleraci rotace soustavy kamer vůči scéně nebo části scéně v jednotlivých osách.
 - Interpolace mezi dvěma relativními orientacemi, kde parametry modelu pohybu zahrnují parametry počáteční a koncové relativní orientace, například kvaterniony q_1 a q_2 , Eulerovy úhly, osa-úhel, Cayleyho parametrizace nebo jiné známé parametrizace rotace.
- V případě kombinace translačního a rotačního pohybu parametry modelu pohybu zahrnují:
 - Vhodnou kombinaci parametrů modelu pohybu pro translační a rotační pohyb.
- Parametry modelu pohybu mohou také zahrnovat jakýkoliv jiný popis pohybu tělesa s až šesti stupni volnosti, popsány parametry $a_1, \dots, a_n$, kde n je celkový počet parametrů.

Pohyby z druhé skupiny modelů pohybu lze popsat pomocí parametrů libovolných parametrizací trajektorie p v rovině, například:

- Parametrická rovnice trajektorie $\underline{p}$, kde, např. v kartézské souřadnicové soustavě os x, y v rovině platí pro každý z čipů 10, 20: $x = x(t)$ a $y = y(t)$, kde t je čas exponování světlocitlivých elementů čipu. Dosazením $t = t_i^1$, což je čas začátku exponování řádku y_i^1 na prvním čipu 10, kde tento řádek odpovídá korespondující oblasti e_i^1 v obraze P.10 první kamery 1, získáme kartézské souřadnice aproximující korespondující oblast e_i^1 v obraze první kamery 1. Podobně dosazením $t = t_i^2$, což je čas začátku exponování řádku y_i^2 na druhém čipu 20, kde tento řádek odpovídá korespondující oblasti e_i^2 v obraze P.20 druhé kamery 2, získáme souřadnice korespondující oblasti e_i^2 v obraze druhé kamery 2. Parametry této trajektorie $\underline{p}$ můžeme označit obecně $b_1, \dots, b_l$ a tyto parametry jsou současně parametry modelu pohybu.
- Implicitní rovnice trajektorie $\underline{p}$, kde $F(x,y) = 0$, kde pro souřadnice x_i^1 a y_i^1 první korespondující oblasti e_i^1 a pro souřadnice x_i^2 a y_i^2 druhé korespondující oblasti e_i^2 je tato rovnice splněna. Parametry touto rovnicí určené křivky můžeme opět označit obecně $b_1, \dots, b_n$. a tyto parametry jsou současně parametry modelu pohybu.
- Jiné parametrizace 2D trajektorií jako například Bezierova křivka nebo Spline křivka.

Každá z dvojic korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 nese informaci o orientaci a poloze zařízení pro snímání obrazu ve dvou různých časech, neboť obecně bude daný význačný 3D objekt E_i scény zachycen v obou kamerách 1, 2 na různých řádcích příslušných čipů 10, 20 a tedy v různých časech. Při dostatečném množství dvojic korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 je pak možné určit parametry M modelu pohybu relativního pohybu zařízení vůči scéně nebo části scény, přičemž množství potřebných dvojic korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 a metoda určení parametrů závisí na volbě modelu pohybu. Při jednoduchých modelech pohybu, jako je, např. samotná translace, postačuje znalost jen jedné dvojice korespondujících oblastí.

Když známe polohy korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 a časy exponování těmito korespondujícím oblastem odpovídajících světlocitlivých elementů čipů 10, 20 těchto kamer 1, 2, můžeme přistoupit ke kroku d), tedy ke zvolení modelu relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, probíhajícího při exponování prvního čipu 10 první kamery 1 a druhého čipu 20 druhé kamery 2. Následně se výpočetně určí parametry M tohoto modelu pohybu na základě údajů o polohách korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 a údajů o časech exponování odpovídajících každé z těchto korespondujících oblastí nebo o vzájemném posunu těchto časů zjištěných v kroku c) a na základě informací o vzájemné poloze C_r a vzájemné orientaci R_r první kamery 1 a druhé kamery 2. Tato vzájemná poloha C_r a vzájemná orientace R_r kamer 1, 2 se během exponování v podstatě nemění, podobně jako se v podstatě nemění vzájemná poloha a orientace čipů 10, 20 těchto kamer.

Během pohybu se ale mění polohy C_1, C_2 i orientace R_1, R_2 kamer 1, 2 vůči scéně v závislosti na čase t , přičemž tyto polohy a orientace kamer 1, 2 vůči scéně závisí také na parametrech M modelu pohybu, což lze výhodně využít právě pro zjištění těchto parametrů M modelu pohybu.

Označme $C_k(t, M)$ průběh polohy k -té kamery vůči scéně v závislosti na čase t a parametrech M modelu pohybu a označme $R_k(t, M)$ průběh orientace k -té kamery vůči scéně v závislosti na čase t a parametrech M modelu pohybu, kde k nabývá pro první kameru hodnoty 1 a pro druhou kameru hodnoty 2.

Pro vypočtení poloh $C_k(t, M)$ a orientací $R_k(t, M)$ kamer 1, 2 vůči scéně v průběhu exponování lze využít například následující postup. Mějme funkci μ_k , která popisuje projekci význačného 3D objektu E_i scény do korespondující oblasti e_i^k v obraze nasnímaném kamerou k a závisí na externích parametrech P_k a interních parametrech K_k této kamery k tak, že

$$e_i^k = \mu_k(E_i, P_k, K_k) \quad (1).$$

Uvažujme nejprve případ, kdy se systém kamer vůči scéně nepohybuje. Externí parametry P_k kamery k lze rozdělit na parametry C_k popisující polohu kamery k vůči scéně a parametry R_k , popisující orientaci kamery k vůči scéně. V případě, kdy se systém kamer vůči scéně nebo části scény nepohybuje, tyto polohy C_k vůči scéně i orientace R_k vůči scéně jsou pro každou z kamer k v čase neměnné a ze stejného důvodu nezávisí ani na parametrech M modelu pohybu. Projekční funkci μ_k lze potom napsat jako

$$e_i^k = \mu_k(E_i, C_k, R_k, K_k) \quad (2).$$

Pro systém dvou spojených kamer lze polohu C_2 a orientaci R_2 druhé kamery $\underline{2}$ vůči scéně vyjádřit pomocí vzájemné polohy C_r a vzájemné orientace R_r vůči první kameře $\underline{1}$. Korespondující oblasti e_i^1 a e_i^2 , jež jsou v uvedeném pořadí projekcemi význačného 3D objektu E_i do obrazu nasnímaného první kamerou $\underline{1}$ a do obrazu nasnímaného druhou kamerou $\underline{2}$ lze pak vyjádřit jako

$$e_i^1 = \mu_1(E_i, C_1, R_1, K_1) \quad (3)$$

$$e_i^2 = \mu_2(E_i, C_1, R_1, C_r, R_r, K_2) \quad (4).$$

Dále uvažujme soustavu kamer pohybující se oproti scéně. Jak zmíněno výše, poloha C_1 a orientace R_1 první kamery $\underline{1}$ vůči scéně se budou v průběhu snímání měnit a lze je popsat v závislosti na čase t a na parametrech M modelu pohybu jako polohu $C_1(t, M)$ první kamery $\underline{1}$ vůči scéně a orientaci $R_1(t, M)$ první kamery $\underline{1}$ vůči scéně nebo části scény, kde čas t je současně časem započetí exponování právě exponovaného řádku na prvním čipu 10. Obdobně to platí i pro polohu $C_2(t, M)$ druhé kamery $\underline{2}$ vůči scéně a orientaci $R_2(t, M)$ druhé kamery $\underline{2}$ vůči scéně nebo části scény, které rovněž závisí na čase t a parametrech M modelu pohybu, přičemž čas t je i zde současně časem započetí exponování právě exponovaného řádku na druhém čipu 20.

Korespondující oblast e_i^1 v obraze první kamery $\underline{1}$ lze pak vyjádřit jako

$$e_i^1 = \mu_1(E_i, C_1(t_i^1, M), R_1(t_i^1, M), K_1) \quad (5).$$

Projekce význačného 3D objektu E_i scény do korespondující oblasti e_i^2 v obraze druhé kamery $\underline{2}$ nastane při expozici řádku y_i^2 a tedy v čase t_i^2 , který bude exponován obecně v jiný čas než řádek y_i^1 . Tato oblast je pak vyjádřena jako

$$e_i^2 = \mu_2(E_i, C_1(t_i^2, M), R_1(t_i^2, M), R_r, C_r, K_2) \quad (6).$$

Uvažujme dále, že máme k dispozici údaje potřebné pro určení časů t_i^1 a t_i^2 odpovídajících v tomto pořadí započetí exponování řádku y_i^1 a započetí exponování řádku y_i^2 , a to, např. díky známým časům započetí exponování čipů 10, 20 nebo známým posunům času započetí exponování prvního čipu 10 vůči času započetí exponování druhého čipu 20 díky informacím o rychlostech exponování těchto čipů v_1 , v_2 , nebo o poměru v_1/v_2 těchto rychlostí. Dále známe vzájemné orientace a pozice kamer R_r a C_r . V případě, že jsou rozdíly mezi $C_1(t, M)$ a $C_2(t, M)$ a $R_1(t, M)$ a $R_2(t, M)$ po celou dobu exponování čipů 10, 20 zanedbatelné, můžeme vzájemnou pozici kamer aproximovat jako $R_r = I$ a vzájemnou orientaci kamer aproximovat jako $C_r = 0$. V následujících příkladech provedení předpokládáme, že jsou známy interní parametry kamer K_1 , K_2 , které mohou být jednoduše zjištěny kalibrací při výrobě a nemění se v čase nebo jsou jejich změny zanedbatelné. Obecně však tyto parametry známé nemusejí být a dají se spočítat zároveň s parametry modelu pohybu. Pro známé K_1 , K_2 soustava rovnic (1) a (2) obsahuje neznámé pouze parametry M pohybu obsažené v $C_1(t, M)$, $R_1(t, M)$ a 3D polohy význačného 3D objektu E_i scény vzhledem k soustavě kamer. Každá korespondující oblast e_i^k nám dá 2 lineárně nezávislé rovnice pro 2 souřadnice v obraze, dvojice korespondujících oblastí e_i^1 a e_i^2 nám pro jeden význačný 3D objekt E_i scény dá celkem 4 rovnice, a tedy možnost zjištění jednoho parametru M modelu pohybu, jelikož význačný 3D objekt

E_i scény má 3 neznámé. Pro zvolený model pohybu lze určit minimální počet dvojic korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 potřebných k plnému určení všech parametrů M tohoto modelu pohybu.

5 Příklady provedení:

Uvažujme nyní případ, kdy kamery 1 a 2 jsou umístěny na jedné straně zařízení, například mobilního telefonu, přičemž jejich optické osy jsou už z výroby nastaveny jako navzájem rovnoběžné. Pokud jde o jiné zařízení je výhodné tyto optické osy kamer 1 a 2 jako rovnoběžné
10 nastavit, což zjednoduší potřebné výpočty. Výpočty níže se týkají právě kamer s rovnoběžnými optickými osami. Obdobné, ale složitější výpočty je ale možné provést i pro kamery s optickými osami nerovnoběžnými, bylo by to ale méně přehledné. Dále uvažujme, že interní parametry K_1 a K_2 kamer 1 a 2 jsou známy a byly použity k odzkreslení obrazu tak, že souřadnice ve výsledném obraze odpovídají kameře s jednotkovou ohniskovou vzdáleností, čtvercovými pixely, nulovým
15 zkosením, optickou osou procházející počátkem souřadného systému kamery a bez zkreslení čočky. Korespondující oblasti e_i^1 a e_i^2 lze pak v případě, že se zařízení pro snímání obrazu relativně vůči scéně nebo části scény nepohybuje, vyjádřit jako

$$\lambda_i^1 e_i^1 = \lambda_i^1 \begin{bmatrix} x_i^1 \\ y_i^1 \\ 1 \end{bmatrix} = R_1(X_i - C_1) \quad (7)$$

20

$$\lambda_i^2 e_i^2 = \lambda_i^2 \begin{bmatrix} x_i^2 \\ y_i^2 \\ 1 \end{bmatrix} = R_2(X_i - C_2) \quad (8).$$

Kde λ_i^1 a λ_i^2 jsou neznámé skaláry a X_i jsou neznámé 3D souřadnice význačného 3D objektu E_i scény. Pokud ztotožníme globální souřadný systém se souřadným systémem kamery 1 a tedy $R_1 = I$, kde I je jednotková matice a $C_1 = [0,0,0]^T$ a orientaci R_2 druhé kamery 2 vůči scéně vyjádříme pomocí matice R_r popisující vzájemnou orientaci kamer 1, 2 a polohu C_2 druhé kamery 2 vůči scéně, vyjádříme pomocí vektoru C_r popisujícího vzájemnou polohu kamer 1, 2, dostaneme
25

$$\lambda_i^1 \begin{bmatrix} x_i^1 \\ y_i^1 \\ 1 \end{bmatrix} = X_i \quad (9)$$

30

$$\lambda_i^2 \begin{bmatrix} x_i^2 \\ y_i^2 \\ 1 \end{bmatrix} = R_r(X_i - C_r) \quad (10).$$

V tomto příkladu se pro jednoduchost budeme soustředit na případ, kdy směry exponování obou
35 čipů 10 a 20 jsou ve směru shora dolů a R_r je rotace o 180 stupňů kolem osy z , čímž dosáhneme toho, že směr exponování prvního čipu 10 první kamery 1 svírá úhel 180 stupňů vůči směru exponování druhého čipu 20 druhé kamery 2.

Dále budeme uvažovat, že relativní pohyb zařízení pro snímání obrazu vůči scéně nebo části scény popisujeme kombinací rotačního a translačního pohybu s konstantní úhlovou rychlostí popsanou
40 vektorem W_v a konstantní posuvnou rychlostí popsanou vektorem T_v . Bez újmy na všeobecnosti budeme dále uvažovat, že čipy 10 a 20 exponují obraz po řádcích, mají stejnou rychlost expozice a stejný počet řádků a začaly exponovat obraz ve stejný čas. Poté lze časy t_i^1 a t_i^2 reprezentovat řádky y_i^1 a y_i^2 a korespondující oblasti e_i^1 a e_i^2 lze pak vyjádřit jako

$$\lambda_i^1 \begin{bmatrix} x_i^1 \\ y_i^1 \\ 1 \end{bmatrix} = R_w(y_i^1, W_v)X_i + T_v y_i^1 \quad (11)$$

$$\lambda_i^2 \begin{bmatrix} x_i^2 \\ y_i^2 \\ 1 \end{bmatrix} = R_w(y_i^2, W_v)R_r X_i + C_r + R_r T_v y_i^2 \quad (12).$$

- 5 Kde $R_w(y_i^2, W_v)$ je parametrizace rotace vůči scéně nebo části scény závislá na řádku y_i^k a úhlové rychlosti W_v . V tomto případě máme 6 neznámých parametrů M modelu pohybu $T_{vx}, T_{vy}, T_{vz}, W_{vx}, W_{vy}, W_{vz}$ a neznámé skaláry λ_i^1, λ_i^2 a 3D souřadnice X_i . Rovnice lze upravit tak, že se zbavíme neznámých λ_i^1, λ_i^2 a X_i a zbyde nám 6 neznámých parametrů M modelu pohybu. Vztah popisující závislost 6 neznámých parametrů M modelu pohybu na korespondujících oblastech e_i^1 a e_i^2 lze vyjádřit pomocí epipolární rovnice

$$e_i^{2T} F e_i^1 = 0 \quad (13)$$

Kde F je esenciální matice a T značí transpozici

15

$$F = [T(y_i^1, y_i^2)]_x R(y_i^1, y_i^2) \quad (14).$$

- 20 Kde $R(y_i^1, y_i^2) = R_r R_w(y_i^2, W_v) R_w(y_i^1, W_v)^T, T(y_i^1, y_i^2) = y_i^2 R_r T_v + R_r C_r - y_i^1 R(y_i^1, y_i^2)$ a $[T(y_i^1, y_i^2)]_x$ je anti-symetrická matice pro vektor $T(y_i^1, y_i^2)$ Pro každou dvojici korespondujících oblastí e_i^1 a e_i^2 získáme 1 rovnici ve tvaru (13) a tudíž pro nalezení všech 6 parametrů modelu pohybu potřebujeme alespoň 6 dvojic korespondujících oblastí.

- 25 Pokud by směry exponování prvního čipu první kamery byly stejné tak by rozdíly mezi deformacemi v obraze kamery 1 a obraze kamery 2 byly příliš malé nebo žádné a tudíž poměr vstupního signálu k šumu menší a vypočtené parametry modelu pohybu více tímto šumem zatížené, a tudíž méně přesné. Navíc by soustava rovnic by pro určité typy pohybu degenerovala, jak je zmíněno v [1], a nemohli bychom pak parametry pohybu jednoznačně určit.

- 30 Pokud je vzdálenost středů kamer 1 a 2 velmi malá, speciálně menší než 5 cm, což je typické, např. pro mobilní telefony, můžeme položit $C_r = [0, 0, 0]^T$ a tedy $T(y_i^1, y_i^2) = y_i^2 R_r T_v - y_i^1 R(y_i^1, y_i^2)$. Na tomto příkladu tedy ukážeme další zjednodušení výpočtů, i když výpočet lze ve složitější formě provést i pro kamery s větší vzdáleností středů kamer, případně lze též vzdálenost středů kamer zmenšit. V tomto případě malé vzdálenosti středů kamer, jelikož měřítko scény nelze pozorovat, můžeme translační pohyb parametrizovat pomocí $T_v = [T_{vx}, 1 - T_{vx}, T_{vz}]^T$. Tím se sníží počet
- 35 neznámých na 5 a můžeme parametry modelu pohybu spočítat z 5 nebo více dvojic korespondujících oblastí.

- Pokud dále předpokládáme, že model pohybu obsahuje pouze rotaci, můžeme tento pohyb popsat parametry $W_v = [W_{vx}, W_{vy}, W_{vz}]^T$ a T_v v tomto případě bude rovno nulovému vektoru $T_v = [0, 0, 0]^T$. V případě, kdy vzdálenost středů kamer 1, 2 od sebe je zanedbatelná a pohyb pouze rotační, deformace v obrazech nejsou závislé na hloubce scény a vztah mezi korespondujícími oblastmi e_i^1 a e_i^2 lze vyjádřit pomocí soustavy rovnic

$$[e_i^2]_x R_w(y_i^2, W_v) R_r R_w(y_i^1, W_v)^T e_i^1 = 0 \quad (15)$$

45

z nichž 2 rovnice jsou v obecném případě lineárně nezávislé. Počet neznámých parametrů M modelu pohybu je 3 a tudíž potřebujeme 3 rovnice k jejich spočtení a tím pádem alespoň dvě dvojice korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 . Pro urychlení výpočtu můžeme rovnice zjednodušit nahrazením rotačních matic $R_w(y_i^k, W_v)$ aproximací prvního řádu Taylorova rozvoje

5

$$R_w(y_i^k, W_v) = I + [W_v y_i^k]_x, \quad (16),$$

kde I je jednotková matice. Po dosazení (16) do (15) získáme kvadratické rovnice o 3 neznámých, pro něž existuje efektivní řešení, viz, např. reference [9].

10

Rovnice (13) – (16) určují parametry M modelu pohybu pro modely pohybu z první skupiny modelů pohybu.

V dalším příkladu budeme předpokládat, že matice R_r je jednotková matice, tedy že obě kamery mají stejnou orientaci, ale směr exponování prvního čipu 10 první kamery 1 je protichůdný, tj. otočený o 180° , ke směru exponování druhého čipu 20 kamery 2. V případě zvolení modelu pohybu z druhé skupiny modelů pohybu, tj. v případě, že model pohybu vyjádříme jako trajektorii p vedoucí z korespondující oblasti e_i^1 v obraze nasnímaném první kamerou 1 do korespondující oblasti e_i^2 v obraze nasnímaném druhou kamerou 2, přičemž pro jednoduchost v tomto příkladě předpokládáme, že trajektorie p je přímka, můžeme parametry trajektorie p a tedy i parametry M modelu pohybu spočítat

20

$$b = e_i^1 \quad (17)$$

25

$$a = \begin{bmatrix} y_i^2 - y_i^1 \\ x_i^2 - x_i^1 \end{bmatrix} \quad (18),$$

kde a, b jsou vektory koeficientů parametrického popisu 2D trajektorie p , tedy parametry M modelu pohybu, a x_i^1, y_i^1 jsou stejně jako výše souřadnice korespondující oblasti e_i^1 v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 a podobně x_i^2, y_i^2 jsou souřadnice korespondující oblasti e_i^2 v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2.

30

Parametry M modelu pohybu lze ale získat i pro složitější parametrické popisy trajektorie p než je přímka, například hyperbola nebo spline.

Takto získané parametry M modelu pohybu se mohou použít k odstranění deformací v obraze P.10 nasnímaném první kamerou 1 a/nebo v obraze P.20 nasnímaném druhou kamerou 2, kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer 1, 2 vůči scéně nebo části scéně.

35

Postup je následující: pro alespoň jednu dvojici obrazů nasnímaných první kamerou 1 a druhou kamerou 2 na základě exponování čipů 10, 20 těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu se vybere dvojice navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 v těchto obrazech nasnímaných kamerami 1, 2. Z parametrů M modelu pohybu spočtených pro tuto vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 , se vypočte korigovaná poloha, která odpovídá témuž významnému 3D objektu E_i scéně jako vybraná dvojice korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 , přičemž tato korigovaná poloha odpovídá poloze projekce tohoto významného 3D objektu E_i scéně v obraze 50 s odstraněnými deformacemi vzniklými relativním pohybem kamer 1, 2 vůči scéně nebo části scéně. Poté se proces buď ukončí, nebo se pokračuje výběrem další dvojice navzájem korespondujících oblastí e_j^1, e_j^2 v téže dvojici obrazů P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2 pro jiný významný 3D objekt E_j scéně, dokud není zjištěna korigovaná poloha v obraze s odstraněnými deformacemi pro všechny 3D objekty, kterým odpovídají vybrané dvojice korespondujících oblastí. Ukázka takové další dvojice navzájem korespondujících oblastí e_j^1, e_j^2 a

45

50

dalšího význačného 3D objektu $\underline{E}_i$ scény je v obr. 2. Parametry modelu pohybu M lze tedy pro každou dvojici navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 spočítat zvlášť, což nám dovolí odstranit deformace například pro 2 auta jedoucí různými směry.

- 5 V provedení, v němž jsou parametry M modelu pohybu určeny podle rovnic (17 a (18), výpočet korigované polohy pro vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 v obrazech nasnímaných kamerami 1, 2 sestává z interpolace podél trajektorie p definované parametry M modelu pohybu pro tuto vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 .
- 10 K interpolaci se použije rovnice trajektorie p v závislosti na čase t

$$p(t) = ta + b \quad (19),$$

- 15 kde a, b jsou parametry spočtené na základě rovnic (17) a (18). Parametr t této trajektorie odpovídající času určuje polohu bodu na této přímce, přičemž dosazením $t = t_i^1$ dostáváme korespondující oblast e_i^1 a v obraze první kamery 1 a dosazením $t = t_i^2$ korespondující oblast e_i^2 v obraze druhé kamery 2. Korigované souřadnice oblasti e_{gi} v obraze 50 s odstraněnými deformacemi získáme dosazením hodnoty lineárně interpolovaného parametru $t = (t_i^1 + t_i^2) / 2$ do vztahu (19).

- 20 Vypočítané parametry M modelu pohybu lze v případě modelů pohybu z první skupiny modelů pohybu použít k odstranění deformací také následujícím způsobem: Nejprve se parametry M modelu pohybu použijí k určení poloh $C_1(t, M), C_2(t, M)$ každé z kamer 1, 2 vůči scéně nebo části scény a k určení orientací $R_1(t, M), R_2(t, M)$ každé z kamer 1, 2 vůči scéně nebo části scény
- 25 v závislosti na čase t během doby exponování čipů 10, 20. Polohy a orientace určíme dosazením vypočtených parametrů M modelu pohybu, představovaných v případě, že model pohybu obsahuje translaci i rotaci, tedy je popsán parametry T_v, W_v .

- 30 Takto zjištěné polohy $C_1(t, M), C_2(t, M)$ a orientace $R_1(t, M), R_2(t, M)$ kamer 1, 2 vůči scéně nebo části scény v závislosti na čase během doby exponování čipů 10, 20 se mohou použít k odstranění deformací v obraze nasnímaném první kamerou 1 a/nebo v obraze nasnímaném druhou kamerou 2, kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény.

- 35 Nejprve se pro alespoň jednu dvojici obrazů P.10, P.20 nasnímaných první kamerou 1 a druhou kamerou 2 na základě exponování čipů 10, 20 těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu vybere alespoň jedna dvojice navzájem korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 v těchto dvou obrazech P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2, a pro každou z těchto vybraných dvojic korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 se pomocí parametrů M modelu pohybu spočtou metodou triangulace, viz, např. reference [10], 3D souřadnice $X_i = [X_{ix}, X_{iy}, X_{iz}]^T$ význačného 3D
- 40 objektu $\underline{E}_i$ scény, který jim odpovídá. V těchto souřadnicích je obsažena i hloubka 3D objektu $\underline{E}_i$ scény, který odpovídá uvedené dvojici korespondujících oblastí e_i^1, e_i^2 .

- Získání odzkreslených souřadnic e_{gi} korespondujících oblastí e_i^1 a e_i^2 , nebo jinak řečeno odstranění deformací v obraze nasnímaném první kamerou 1 a/nebo v obraze nasnímaném druhou kamerou
- 45 2, kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény, provedeme projekcí význačného 3D objektu $\underline{E}_i$ scény se souřadnicemi $X_i = [X_{ix}, X_{iy}, X_{iz}]^T$ do virtuální kamery, která se nepohybuje a odpovídá kameře s globální závěrkou pomocí rovnice

$$e_{gi} = \begin{bmatrix} \frac{X_{ix}}{X_{iz}} \\ \frac{X_{iy}}{X_{iz}} \end{bmatrix} \quad (20).$$

Tímto jsme ukázali další z příkladů, jak lze parametry M modelu pohybu použít k odstranění deformací v obraze nasnímaném první kamerou 1 a/nebo v obraze nasnímaném druhou kamerou 2.

- 5 3D souřadnice X_i význačného 3D objektu E_i scény lze také použít k vytvoření 3D hloubkové mapy scény, a to tak, že souřadnicím e_{gi} přiřadíme jako hloubku hodnotu X_{iz} , kde X_{iz} je třetí souřadnice vypočítaného bodu X_i . Když toto učiníme pro více význačných 3D objektů E_i scény, vznikne hloubková mapa scény.
- 10 Pro model pohybu obsahující pouze rotaci a pro malou vzdálenost mezi středy kamer 10, 20, typicky vzdálenost menší než 5 cm, se parametry M modelu pohybu vypočtené pro kteroukoliv dvojici nebo skupinu dvojic navzájem korespondujících oblastí e_i^1 , e_i^2 v obrazech P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2 mohou použít pro odstranění deformací vzniklých v libovolném bodě nebo v libovolných bodech obrazu kterékoli z kamer 1, 2. Přitom jde stále o deformace vzniklé
- 15 relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény. Konkrétně se to provede, např. tak, že po nalezení parametrů rotace W_v se provede odstranění deformací v kterémkoliv bodě obrazu, nehledě na to, zda má korespondující oblast a zda tuto korespondující oblast známe, za pomoci transformace určené z parametrů W_v . Pro obrazový bod u_i^1 v obraze z kamery 1 použijeme k získání odzkreslených souřadnic u_{gi} následující rovnici

$$20 \quad u_{gi} = R_w(y_i^1, W_v)^T u_i^1 \quad (19)$$

- 25 a pro obrazový bod u_i^2 z kamery 2 rovnici

$$u_{gi} = R_w(y_i^2, W_v) u_i^2 \quad (22).$$

- V tomto případě je tedy možné odstranit deformace z celého obrazu na základě parametrů modelu pohybu zjištěných třeba jen pro dvě dvojice navzájem korespondujících oblastí e_i^1 , e_i^2 a e_j^1 , e_j^2 v obrazech P.10, P.20 nasnímaných kamerami 1, 2, není tedy nutné zjišťovat parametry M modelu pohybu pro každou dvojici korespondujících oblastí e_i^1 , e_i^2 , pro něž chceme odzkreslit obraz. Toto lze s výhodou využít u mobilních telefonů, kde je už typicky nastavena z výroby vzdálenost středů kamer menší než 5 cm, případně u jiných zařízení je možné tato zařízení nastavit tak, aby se středy kamer dostaly do vzdálenosti menší než 5 cm.

- Všechny výše uvedené výpočty se mohou provádět v rámci zařízení pro snímání obrazů, ale i nebo mimo ně. Tzn. je-li nasnímana alespoň jedna dvojice obrazů v zařízení, v němž se nastaví odlišné směry exponování čipů 10, 20, další zpracování těchto obrazů podle předkládaného způsobu může proběhnout v tomto zařízení, částečně v tomto zařízení a částečně mimo toto zařízení, nebo i zcela mimo toto zařízení.

- Je tedy navržen vynález a způsob, který umožní díky nastavení směrů exponování čipů 10, 20, které je hardwarově velmi jednoduché, vypočítat parametry M modelu pohybu a s jejich pomocí případně provádět další užitečné výpočty, přičemž výpočty dle předkládaného vynálezu jsou rychlé a přesné, což umožňuje dosáhnout velmi kvalitních výsledků, např. v oblastech odstranění deformací obrazu, výpočtu 3D hloubkové mapy scény v reálném čase, odstranění rozmazání obrazu, stabilizace videa nebo oblastech virtuální a rozšířené reality.

Průmyslová využitelnost

Průmyslová využitelnost je především u mobilních telefonů, které nesou více než jednu kameru na jedné straně, u nichž je možné instalování kamer s rozdílnými směry exponování čipů, nebo HW změna směrů exponování. Využití je ale možné i v jiných vícekamerových systémech, pro příklad uveďme systémy pro navigaci a lokalizaci v robotice či automobilovém průmyslu, autonomní nebo částečně autonomní vozidla, zařízení pro snímání pohybu hlavy či v drony. Všechny tyto a podobné systémy s kamerami mohou těžit z odlišných směrů exponování čipů těchto kamer podle předkládaného vynálezu, například pomocí způsobu, který je rovněž součástí tohoto vynálezu.

Citovaná literatura

- [1] O. Ait-Aider and F. Berry, "Structure and kinematics triangulation with a rolling shutter stereo rig," *2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, Kyoto, 2009, pp. 1835-1840.
- [2] A. Bapat, E. Dunn and J. Frahm, "Towards Kilo-Hertz 6-DoF Visual Tracking Using an Egocentric Cluster of Rolling Shutter Cameras," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 22, no. 11, pp. 2358-2367, Nov. 2016.
- [3] A. Bapat, T. Price and J. Frahm, "Rolling Shutter and Radial Distortion Are Features for High Frame Rate Multi-Camera Tracking", *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2018, pp. 4824-4833
- [4] M. Grundmann, V. Kwatra, D. Castro and I. Essa, "Calibration-free rolling shutter removal," *2012 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP)*, Seattle, WA, 2012, pp. 1-8.
- [5] Lao, Yizhen and Omar Ait-Aider. "A Robust Method for Strong Rolling Shutter Effects Correction Using Lines with Automatic Feature Selection." *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2018)*: 4795-4803.
- [6] Vasu, Subeesh, R. Mohan M. MaheshMohanM. and A. N. Rajagopalan. "Occlusion-Aware Rolling Shutter Rectification of 3D Scenes." *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2018)*: 636-645.
- [7] Rengarajan, Vijay, Yogesh Balaji and A. N. Rajagopalan. "Unrolling the Shutter: CNN to Correct Motion Distortions." *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR (2017))*: 2345-2353.
- [8] V. Rengarajan, A. N. Rajagopalan and R. Aravind, "From Bows to Arrows: Rolling Shutter Rectification of Urban Scenes," *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, 2016, pp. 2773-2781.
- [9] Z. Kukelova, J. Heller and A. Fitzgibbon, "Efficient Intersection of Three Quadrics and Applications in Computer Vision," *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, 2016, pp. 1799-1808.
- [10] Richard Hartley and Andrew Zisserman. 2003. *Multiple View Geometry in Computer Vision* (2nd. ed.). Cambridge University Press, USA.
- [11] J. Mustaniemi, J. Kannala, S. Särkkä, J. Matas and J. Heikkilä. "Fast Motion Deblurring for Feature Detection and Matching Using Inertial Measurements." *24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2018, pp. 3068-3073.

[12] E. Ringaby and P.-E. Forssén. “Efficient Video Rectification and Stabilisation for Cell-Phones.” *International Journal of Computer Vision* 96, 2011, pp. 335-352.

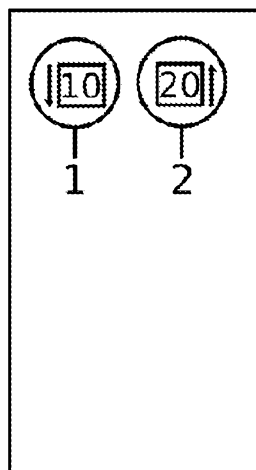
PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob využití efektů vzniklých v obrazech v důsledku relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, kde toto zařízení je osazeno alespoň dvěma kamerami (1, 2) s plovoucí závěrkou, z nichž každá má svůj čip se světlocitlivými elementy, **vyznačující se tím, že zahrnuje:**
- a) nastavení směru exponování čipů (10, 20) kamer (1, 2) tak, že směr exponování prvního čipu (10) první kamery (1) je odlišný od směru exponování druhého čipu (20) druhé kamery (2);
- b) snímání obrazů kamerami (1, 2) při relativním pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, kde snímání obrazů zahrnuje exponování čipů (10, 20), při němž mají první čip (10) první kamery (1) a druhý čip (20) druhé kamery (2) v podstatě neměnnou vzájemnou polohu a v podstatě neměnnou vzájemnou orientaci, a zpracování získaných dat do podoby obrazů, přičemž alespoň část scény v zorném poli první kamery (1) obsahuje alespoň po část doby exponování prvního čipu (10) první kamery alespoň jeden význačný 3D objekt scény, který je během alespoň části doby exponování druhého čipu (20) druhé kamery (2) také v zorném poli druhé kamery (2) a který je také alespoň po část doby exponování čipů (10, 20) v relativním pohybu vůči zařízení pro snímání obrazů;
- c) pro alespoň jednu dvojici obrazů (P.10, P.20) nasnímaných kamerou (1) a kamerou (2) na základě exponování čipů (10, 20) těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu
- detekování alespoň jedné dvojice navzájem korespondujících oblastí (e_i^1 , e_i^2), kde (e_i^1) je korespondující oblast v obraze (P.10) nasnímaném první kamerou (1) a (e_i^2) je korespondující oblast v obraze (P.20) nasnímaném druhou kamerou (2), když každé z těchto dvojic navzájem korespondujících oblastí (e_i^1 , e_i^2) odpovídá jeden z význačných 3D objektů (E_i) scény,
 - zjištění polohy korespondující oblasti (e_i^1) v obraze (P.10) nasnímaném první kamerou (1) a zjištění polohy korespondující oblasti (e_i^2) v obraze (P.20) nasnímaném druhou kamerou (2) a
 - zjištění alespoň jednoho údaje o čase exponování světlocitlivých elementů prvního čipu (10), které odpovídají korespondující oblasti (e_i^1) v obraze (P.10) nasnímaném první kamerou (1) a zjištění alespoň jednoho údaje o čase exponování světlocitlivých elementů druhého čipu (20), které odpovídají korespondující oblasti (e_i^2) v obraze (P.20) nasnímaném druhou kamerou (2); nebo zjištění alespoň jednoho údaje o vzájemném posunu těchto časů;
- d) zvolení modelu relativního pohybu zařízení pro snímání obrazů vůči scéně nebo části scény, probíhajícího při exponování prvního čipu (10) první kamery (1) a druhého čipu (20) druhé kamery (2), a výpočetní určení parametrů tohoto modelu pohybu na základě údajů o polohách korespondujících oblastí (e_i^1 , e_i^2) a údajů o časech exponování nebo o jejich vzájemném posunu zjištěných v kroku c) a na základě informací o vzájemné poloze a vzájemné orientaci první kamery (1) a druhé kamery (2) a o směrech exponování čipů (10, 20) nastavených v kroku a).
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že model pohybu se zvolí buď z první skupiny modelů pohybu obsahující rotaci, translaci a jejich kombinace, nebo z druhé skupiny modelů pohybu obsahujících údaje o posunech poloh korespondujících oblastí (e_i^1 , e_i^2) v obrazech (P.10, P.20) nasnímaných kamerami (1, 2), kde posun polohy je pro každou dvojici navzájem

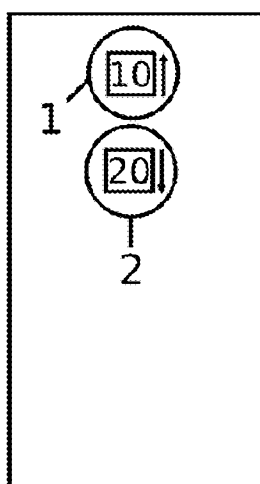
- 5 korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) definován jako trajektorie (p), po které se při předpokládaném typu relativního pohybu kamer (1, 2) vůči scéně nebo části scény musí virtuálně posunout poloha korespondující oblasti (e_i^1) v obraze (P.10) nasnímaném první kamerou (1) tak, aby se kryla s polohou jí odpovídající korespondující oblasti (e_i^2) v obraze (P.20) nasnímaném druhou kamerou (2).
- 10 3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že parametry modelu pohybu se použijí k určení poloh a orientací každé z kamer (1, 2) vůči scéně nebo části scény v závislosti na čase během doby exponování čipů (10, 20).
- 15 4. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že parametry modelu pohybu se použijí k odstranění deformací v obraze (P.10) nasnímaném první kamerou (1) a/nebo v obraze (P.20) nasnímaném druhou kamerou (2), kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer (1, 2) vůči scéně nebo části scény.
- 20 5. Způsob podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že polohy a orientace kamer (1, 2) vůči scéně nebo části scény v závislosti na čase během doby exponování čipů (10, 20) se použijí k odstranění deformací v obraze (P.10) nasnímaném kamerou (1) a/nebo v obraze (P.20) nasnímaném kamerou (2), kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény.
- 25 6. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že pro alespoň jednu dvojici obrazů (P.10, P.20) nasnímaných první kamerou (1) a druhou kamerou (2) na základě exponování čipů (10, 20) těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu se vybere alespoň jedna dvojice navzájem korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) v těchto dvou obrazech (P.10, P.20) nasnímaných kamerami (1, 2), a pro každou z těchto vybraných dvojic korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) se pomocí parametrů modelu pohybu spočte hloubka toho 3D objektu (E_i) scény, který jim odpovídá.
- 30 7. Způsob podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že hloubky jednotlivých 3D objektů (E_i) scény se použijí k vytvoření 3D hloubkové mapy scény.
- 35 8. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že krok nastavení směru exponování čipů (10, 20) zahrnuje otočení čipu v alespoň jedné z kamer (1, 2) a/nebo změnění pořadí, v jakém jsou exponovány řádky nebo sloupce čipu v alespoň jedné z kamer (1, 2) a/nebo změnění typu exponování v jedné z kamer (1, 2) z exponování po řádcích na exponování po sloupcích nebo opačně.
- 40 9. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že optické osy obou kamer (1,2) jsou navzájem rovnoběžné.
10. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 9, **vyznačující se tím**, že vzdálenost mezi středy kamer (1, 2) je menší než 5 cm.
- 45 11. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 10, **vyznačující se tím**, že model pohybu obsahuje pouze rotaci.
- 50 12. Způsob podle nároku 10 nebo 11, **vyznačující se tím**, že parametry modelu pohybu vypočtené pro kteroukoli dvojici nebo skupinu dvojic navzájem korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) v obrazech (P.10, P.20) nasnímaných kamerami (1, 2) se použijí pro odstranění deformací vzniklých v libovolném bodě nebo v libovolných bodech obrazu kterékoli z kamer (1, 2), kde tyto deformace vznikly relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény.
13. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 2 až 12, **vyznačující se tím**, že model pohybu sestává z údajů o posunech poloh navzájem korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) v obrazech (P.10, P.20)

- nasnímaných kamerami (1, 2) a parametry modelu pohybu sestávají z množiny parametrů definujících trajektorii (p) posunu polohy korespondující oblasti (e_i^1) v obraze (P.10) nasnímaném první kamerou (1), po které se tato korespondující oblast v obraze nasnímaném kamerou (1) musí posunout pro překrytí s odpovídající korespondující oblastí (e_i^2) v obraze (P.20) nasnímaném druhou kamerou (2).
14. Způsob podle nároku 13, **vyznačující se tím**, že pro alespoň jednu dvojici obrazů (P.10, P.20) nasnímaných první kamerou (1) a druhou kamerou (2) na základě exponování čipů (10, 20) těchto kamer proběhlých v alespoň částečně se překrývajícím časovém intervalu se vybere dvojice navzájem korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) v těchto obrazech (P.10, P.20) nasnímaných kamerami (1, 2) a z parametrů modelu pohybu pro tuto vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) se vypočte korigovaná poloha, která odpovídá témuž význačnému 3D objektu (E_i) scény jako vybraná dvojice korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2), přičemž tato korigovaná poloha odpovídá poloze projekce tohoto význačného 3D objektu (E_i) scény v obraze (50) s odstraněnými deformacemi vzniklými relativním pohybem kamer vůči scéně nebo části scény, načež se proces buď ukončí, nebo se pokračuje výběrem další dvojice navzájem korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) v téže dvojici obrazů (P.10, P.20) nasnímaných kamerami (1, 2) pro jiný význačný 3D objekt (E_j) scény, dokud není zjištěna korigovaná poloha v obraze s odstraněnými deformacemi pro všechny význačné 3D objekty scény, kterým odpovídají vybrané dvojice korespondujících oblastí.
15. Způsob podle nároku 14, **vyznačující se tím**, že výpočet korigované polohy pro vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí (e_i^1, e_i^2) v obrazech (P.10, P.20) nasnímaných kamerami (1, 2) sestává z interpolace podél trajektorie (p) definované parametry modelu pohybu pro tuto vybranou dvojici navzájem korespondujících oblastí.
16. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 15, **vyznačující se tím**, že nastavení směru exponování v kroku a) se provede tak, že směr exponování prvního čipu (10) první kamery (1) svírá úhel $90 \text{ stupňů} \pm 5 \text{ stupňů}$ se směrem exponování druhého čipu (20) druhé kamery (2).
17. Způsob podle kteréhokoliv z nároků 1 až 15, **vyznačující se tím**, že nastavení směru exponování v kroku a) se provede tak, že směr exponování prvního čipu (10) první kamery (1) svírá úhel $180 \text{ stupňů} \pm 5 \text{ stupňů}$ se směrem exponování druhého čipu (20) druhé kamery (2).
18. Zařízení pro provádění způsobu podle nároku 16, **vyznačující se tím**, že směr exponování prvního čipu (10) první kamery (1) svírá úhel $90 \text{ stupňů} \pm 5 \text{ stupňů}$ se směrem exponování druhého čipu (20) druhé kamery (2).

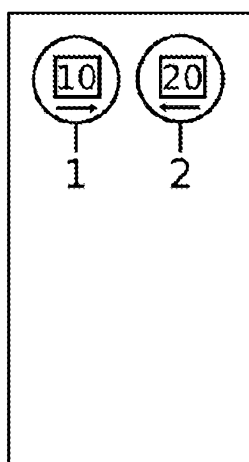
4 výkresy



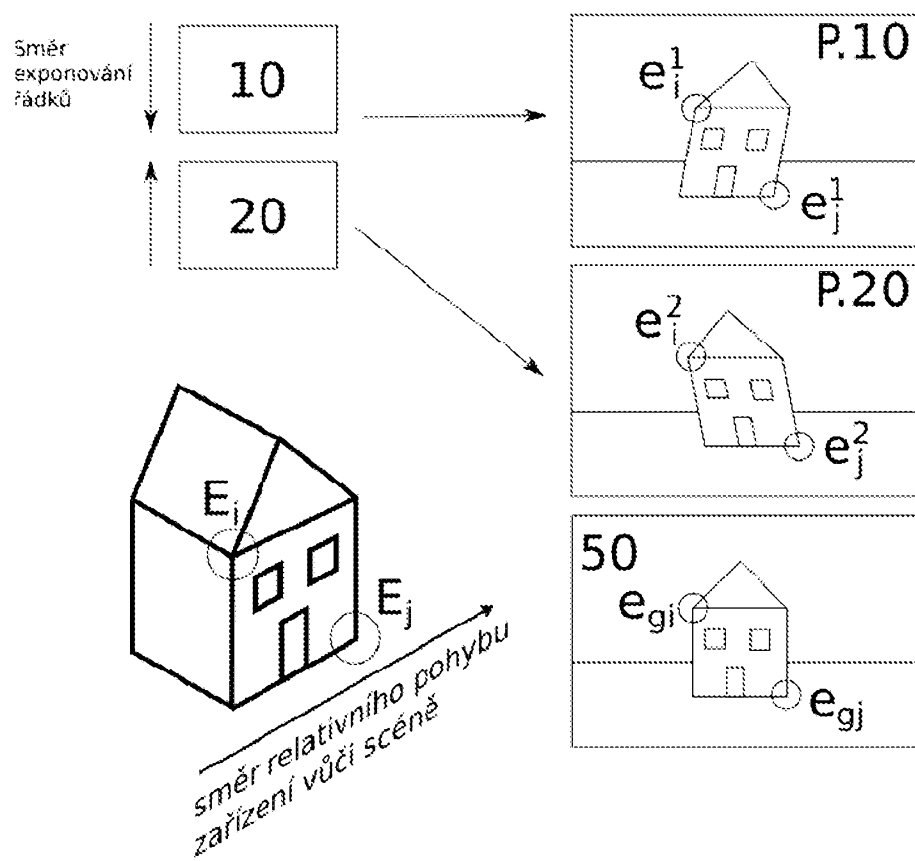
Obr. 1a



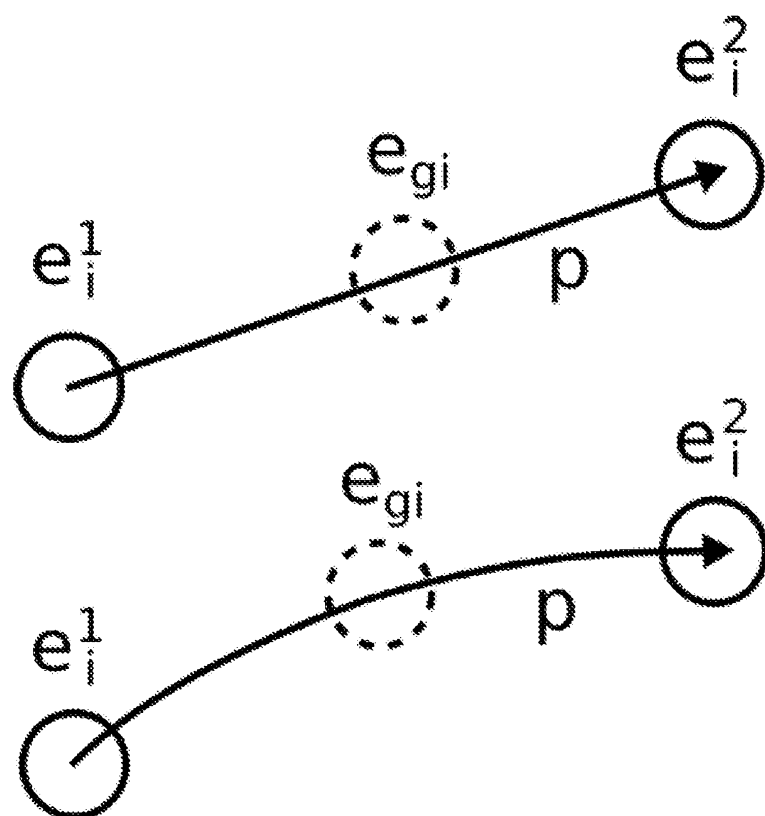
Obr. 1b



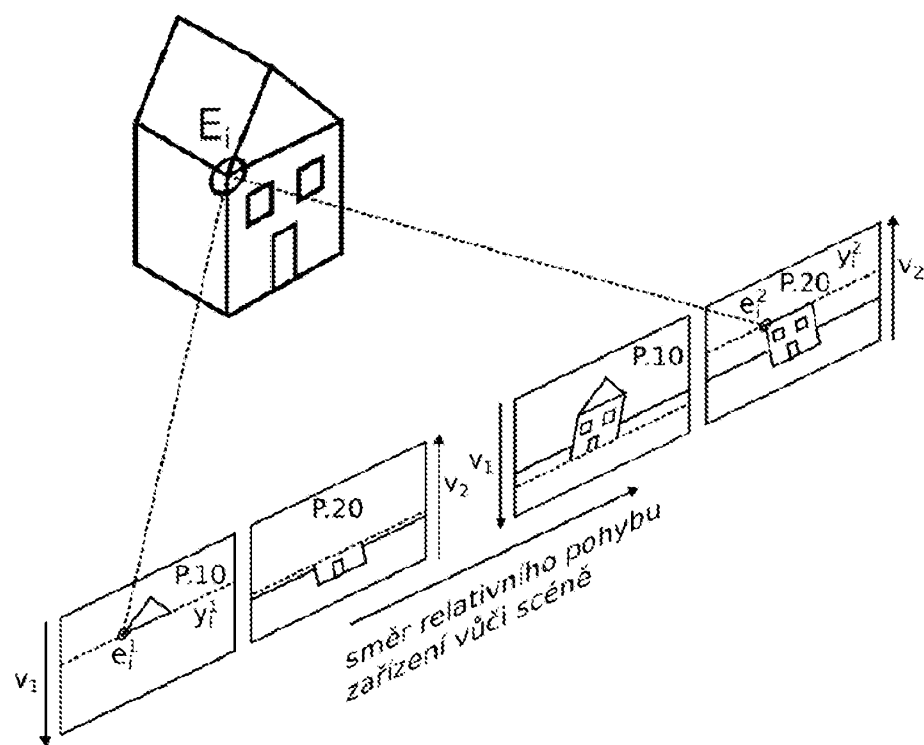
Obr. 1c



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4