

Algoritmy spracovania dynamických obrazov

Ladislav Jurišica, Peter Hubinský, Juraj Knot

Oblasť spracovania obrazu je široká, rozmanitá a zahŕňa množstvo metód a postupov. Článok je venovaný metódam spracovania dynamického obrazu. Vo všeobecnosti opisuje základné postupy a hardvérové riešenia, ktoré sa využívajú pri detekcii pohybu v obraze a pri určovaní vlastností pohybu daných predmetov na snímanej scéne. V článku je opísaný projekt, v rámci ktorého bol riešený systém na detekciu kmitov prostredníctvom vizuálneho systému.

Úvod

V robotických, ale aj v iných aplikáciách sa stále častejšie vyžaduje použitie vizuálnych systémov. V nich sa okrem spracovania statického obrazu pre potreby kontroly kvality alebo detekcie a rozpoznania objektov na scéne využíva aj spracovanie dynamického obrazu. Informácia o pohybe je potrebná pri navádzaní robota, pri bezrezonančnom pohybe ramena a podobne. Na základe spracovania dynamického obrazu možno detegovať predmety v dráhe ramena robota a zároveň určiť aj čas zostávajúci do kontaktu s prekážkou (time to contact estimation) [4]. Inou aplikáciou je detekcia pohybujúceho sa predmetu v scéne kamery, určenie predchádzajúcej trajektórie jeho pohybu a predikcia následného pohybu. Na základe týchto údajov sa navádza rameno robota tak, aby sa uchopil daný predmet a ďalej sa s ním manipulovalo. V oblasti spracovania dynamického obrazu sa využívajú najmä tri algoritmy alebo metódy. Sú to metódy rozdielového obrazu, výpočtu optického toku a detekcie významných bodov.

1. Analýza pohybu

Vo všeobecnosti môžeme komplexný problém analýzy pohybu rozdeliť na dve časti. Prvou je korešpondencia, čiže určenie toho, ktoré elementy predchádzajúcej snímky zodpovedajú elementom súčasnej snímky. Druhým je rekonštrukcia, teda zistenie toho, čo vieme povedať o 3-D pohybe a štruktúre snímaného priestoru na základe daných korešpondujúcich elementov a prípadnej znalosti vnútorných parametrov kamery [4].

Pri analýze pohybu pomáha poznanie podmienok, napr.: či bol pohyb zachytený statickou alebo mobilnou kamerou, či je postupnosť obrazov snímaná v dostatočne krátkych časových intervaloch, aby mohla byť považovaná za spojitý pohyb a podobne. Na základe týchto podmienok potom môžeme zvoliť vhodnú metódu analýzy. Treba povedať, že pri analýze pohybu doteraz neexistujú všeobecné postupy, ktoré by komplexne opisovali a analyzovali pohyb, preto aj nami opisované metódy vyžadujú splnenie určitých predpokladov.

Z praktického hľadiska možno hovoriť o troch hlavných typoch úloh detekcie pohybu. Prvým typom je jednoduchá detekcia pohybu na princípe rozdielovej metódy analýzy pohybu. Táto skupina zvyčajne pracuje s nemennou polohou snímania a patrí k najrozšírenejším [1].

Druhá skupina úloh predstavuje zložitejší problém. Pri nej sa uvažuje statická kamera a scéna s pohybujúcimi sa objektmi alebo statická scéna a pohybujúca sa kamera. Cieľom je nájsť polohu pohybujúcich sa objektov, prípadne objekty rozpoznať a opísať. Ak je úlohou len detekcia pohybujúceho sa objektu, je možné použiť segmentačné metódy založené na informácii o pohybe. Zložitejšou úlohou je detegovať pohybujúci sa objekt a sledovať jeho trajektóriu, prípadne predpovedať jeho ďalšiu dráhu. Ide o porovnanie

obrazových dát, nájdenie významných bodov pohybujúcich sa objektov a hľadanie korešpondencie medzi nimi. Rovnako môže ísť o grafovú reprezentáciu objektov v obraze a porovnanie grafov. Praktickými príkladmi sú úlohy sledovania oblačnosti z postupnosti družicových snímok alebo analýza dopravných situácií. Iným prístupom je analýza pohybu na základe výpočtu optického toku, kde je predpokladom dostatočne malý časový interval medzi dvomi po sebe nasledujúcimi obrazmi postupnosti tak, aby v intervale nedochádzalo k významným zmenám v obraze. Na základe výpočtu vektora optického toku možno určovať ďalšie parametre pohybu. Kompromisom medzi metódami porovnávania a výpočtom optického toku je určenie rýchlostného poľa, čo je obdoba optického toku pre intervaly, kde dochádza k výrazným zmenám v obraze alebo keď je k dispozícii malé množstvo obrazov postupnosti. Najzložitejšie metódy tejto skupiny úloh umožňujú pracovať v prípadoch pohybu kamery aj snímanej scény [1].

Tretia skupina úloh, ktorá využíva informáciu o pohybe umožňuje určiť trojrozmerné vlastnosti objektov s využitím ich dvojrozmerných projekcií získaných v rôznych časových okamihoch pohybu.

1.1 Rozdielové metódy analýzy pohybu

Jednoduchú detekciu pohybu umožňujú zisťovanie rozdielov medzi obrazmi snímanými v rôznych časových okamihoch stacionárnou kamerou pri konštantnom osvetlení. Vzniknutý binárny obraz d nazveme rozdielovým, pričom hodnotu 0 v tomto obraze priradíme miestam, kde nedošlo k výraznej zmene jasovej úrovne medzi zodpovedajúcimi miestami dvoch po sebe idúcich obrazov f_1 a f_2 a hodnotu 1 v ostatných prípadoch.

$$d_{1,2} = \begin{cases} 0 & \text{pre } |f_1(i,j) - f_2(i,j)| < e \\ 1 & \text{inak} \end{cases} \quad (1)$$

kde e je vopred určené kladné číslo. Je zrejme, že pohyb jasovo odlišného objektu od nepohybujúceho sa pozadia bude týmto spôsobom detegovaný [1].

1.2 Optický tok

Zmeny spôsobené pohybom možno zisťovať pomocou optického toku, ktorý zachytáva všetky zmeny obrazu za čas dt . Každému bodu obrazu optického toku zodpovedá dvojrozmerný vektor rýchlosti, ktorý opisuje smer a veľkosť rýchlosti pohybu v danom mieste obrazu. Výpočet optického toku je nutným predpokladom pre spracovanie dynamického obrazu. Umožňuje určiť parametre pohybu, relatívne vzdialenosti predmetov v obraze a podobne.

Pri výpočte optického toku vychádzame z obrazovej funkcie $f(x, y, t)$, ktorá určuje hodnotu jasu v bode obrazu (x, y) v čase t . Hodnotu jasu v blízkom okolí tohto bodu určuje potom funkcia

$$f(x + dx, y + dy, t + dt) = f(x, y, t) + \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \frac{\partial f}{\partial t} dt = f(x, y, t) + \nabla_x v_x dt + \nabla_y v_y dt + \frac{\partial f}{\partial t} dt \quad (2)$$

Aby sme mohli v okolí daného bodu nájsť predchádzajúcu polohu tohto bodu, musí platiť:

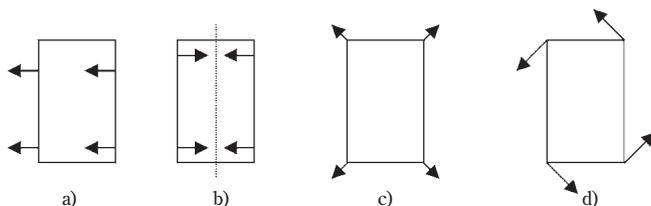
$$f(x, y, t) = f(x + dx, y + dy, t + dt)$$

z toho vyjadrením z (2)

$$\nabla_x v_x dt + \nabla_y v_y dt + \frac{\partial f}{\partial t} dt = 0 \quad (3)$$

kde v_x a v_y sú zložky vektora optického toku.

Druhy pohybu, ktoré sa môžu v dynamických obrazoch vyskytnúť, môžeme opísať ako kombináciu štyroch základných pohybov. Je to translačný pohyb v konštantnej vzdialenosti, translačný pohyb do dialky, rotačný pohyb v konštantnej vzdialenosti a rotačný pohyb okolo osi kolmej na os kamery. Na obr. 1 sú znázornené jednotlivé typy pohybu.



Obr.1 Základné typy pohybov: a) translácia v konštantnej vzdialenosti, b) rotácia kolmá na os pohľadu, c) translácia do dialky, d) rotácia v konštantnej vzdialenosti

Pri analýze pohybu z optického toku je možné všetky štyri pohyby vzájomne odlišiť aplikáciou pomerne jednoduchých diferenciálnych operátorov na optický tok [2].

1.3 Detekcia významných bodov

Detekcia významných bodov je sprístupnením metódy optického toku aj pre obrázky snímané v časových intervaloch, ktoré nemôžeme považovať za veľmi malé. Základom je opäť určenie korešpondencie zodpovedajúcich si častí pohybujúceho sa objektu v rôznych časových okamihoch. Ak poznáme vzájomnú korešpondenciu bodov v obrazoch, ktoré sú snímané v rôznych časových okamihoch, potom sa veľmi jednoducho dá vytvoriť obraz rýchlostného poľa [2].

Prvým krokom metódy je vo všetkých obrazoch postupnosti reprezentujúcej pohyb nájsť také miesta, ktoré sú význačné – sú čo najmenej podobné svojmu okoliu a predstavujú vrcholy alebo hranice objektov. Ďalšou úlohou je potom porovnaním zistiť korešpondenciu význačných bodov v postupnosti po sebe nasledujúcich obrazoch, a tak postupne vytvoriť obraz rýchlostného poľa.

2. Realizácia systému

Realizácia bola zameraná na vytvorenie pracoviska, ktoré umožňuje snímať obraz z kamery a na základe algoritmov dynamického spracovania obrazu detegovať v obraze pohyb a získané vlastnosti o pohybe využiť pri detekcii kmitov ramena robota.

Pracovisko na spracovanie obrazu je vybavené čiernobielyou kamerou AVC 301A. Uhlopriečka CCD snímača je 1/3". Počet zobrazovacích bodov kamery je 510 (H)/492 (V) pre normu CCIR. Rozlíšenie kamery je 380 TV riadkov a minimálna citlivosť 0,5 lux [3]. Kamera spolu s kartou na spracovanie obrazu predstavuje štandardné analógové riešenie. Treba povedať, že pre systémy s vyššou dynamikou je takéto riešenie nevhodné, pretože nie je možné vyhodnocovať snímky s vyššou frekvenciou ako 25 Hz. Pre systémy s vyššou dynamikou sa preto využíva neštandardné analógové alebo digitálne riešenie.

Kamera je osadená objektívom firmy Computar s manuálnou clonou a pevnou ohniskovou vzdialenosťou. Pri objektíve s manuálnou clonou možno ručne regulovať zmenu veľkosti otvoru v objektíve, a tým regulovať množstvo svetla, ktoré dopadá na svet-

lomitlivý snímač CCD. Ohnisková vzdialenosť tohto objektívu je 4,0 mm, čomu zodpovedá uhol záberu 62,7 stupňa. Okrem manuálnej regulácie otvorenia clony je možné objektív v prípade potreby manuálne doostriť, nie je však možné zmeniť jeho ohniskovú vzdialenosť [3].

Na spracovanie a digitalizáciu obrazu sa využíva PC, ktoré je osadené PCI kartou na spracovanie obrazu EzCapture® firmy AverMedia. Karta má dva analógové vstupy – „S Video“ a kompozitný videovstup. Pre danú aplikáciu sa využíva len kompozitný vstup. Karta umožňuje zachytávanie signálu v normách PAL, NTSC, SECAM. Využíva sa štandard prenosu PAL. Podporuje zachytávanie statických aj pohyblivých obrazov až do rozlíšenia 640 x 480 pre NTSC a 768 x 576 pre PAL. Výhodou je podpora nastavovania vlastností obrazu (jas, kontrast, farba) a možnosti voľby zdroja video signálu a formátu video signálu.

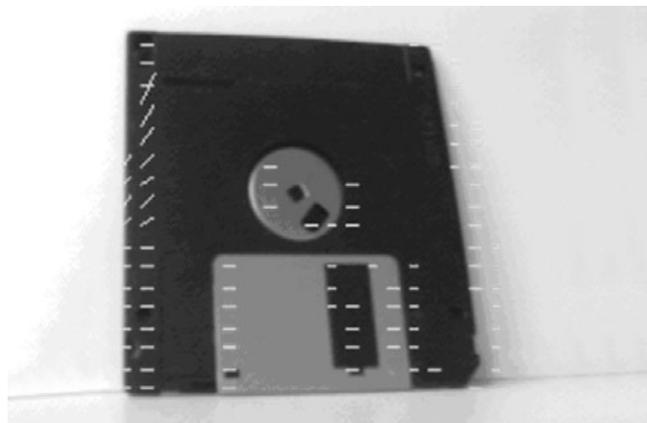
Pri realizácii pracoviska nebolo použité žiadne špeciálne osvetlenie. Pre danú aplikáciu by bolo vhodné použiť dopĺňajúce osvetlenie spredu, ktoré by umožnilo presnejšiu detekciu pohybujúceho sa predmetu.

3. Implementované algoritmy spracovania obrazu

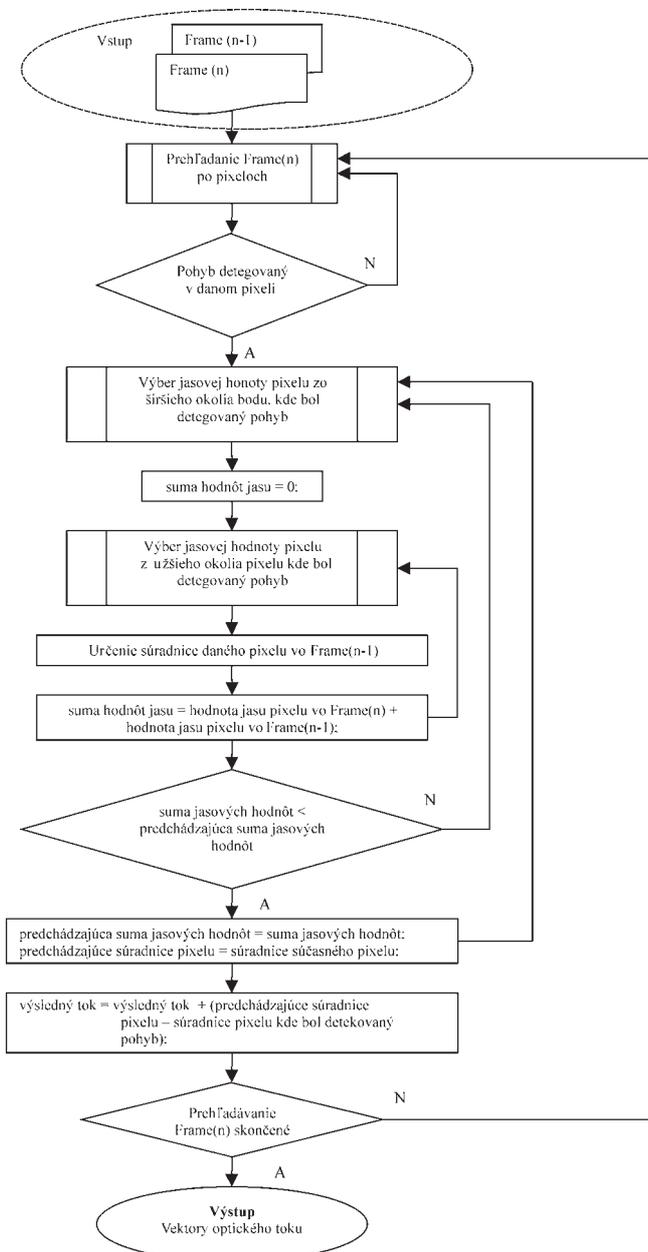
Na detekciu pohybu sa najskôr využije algoritmus rozdielového obrazu. Na základe zvoleného prahu sa naplní dvojrozmerné pole, ktorého prvky zodpovedajú jednotlivým pixelom obrazu. Ak je rozdiel hodnôt jasu medzi pixelmi dvoch po sebe idúcich snímok väčší ako zvolený prah, uloží sa do poľa na dané miesto hodnotu 1. Inak sú všade hodnoty pixelov alebo prvkov poľa 0. Takto sa získa určitý typ mapy pohybu, na ktorej možno jednoducho rozoznať časti obrazu, kde nastal pohyb a kde nie. Algoritmus je výpočtovo nenáročný, a preto sa využíva na jednoduchú detekciu pohybu. Na získanie väčšieho množstva informácií o pohybe, ako je napríklad rýchlosť alebo vzdialenosť, akú pohybujúci sa predmet prešiel, sa využijú ďalšie algoritmy. Tieto informácie sú dôležité napríklad na určenie amplitúdy a frekvencie kmitov ramena robota. Na určenie ďalších vlastností pohybu bol zvolený algoritmus výpočtu optického toku.

3.1 Algoritmus výpočtu optického toku

Keďže algoritmus optického toku je výpočtovo náročný, nasadzuje sa len v prípade, keď bol v obraze detegovaný pohyb metódou rozdielového obrazu, ktorá nie je výpočtovo tak náročná. Pri výpočte optického toku sa vychádza z poznania súradníc bodu, v ktorom bol zistený pohyb. Znamená to, že rozdiel hodnôt jasu medzi súčasnou a predchádzajúcou snímkom v tomto bode je väčší ako zvolený prah. Na základe znalosti súradníc tohto bodu sa zvolí okolie bodu, v ktorom sa bude hľadať výskyt daného bodu v predchádzajúcej snímke. Postupne sa prechádza celé okolie a vypočítavajú sa rozdiely hodnôt jasu medzi týmto bodom a bodmi okolia. Keď sa



Obr.2 Vektory optického toku pri pohybe kamery vodorovne so snímanou scénou



Obr.3 Náznak algoritmu výpočtu optického toku

podarí určiť najmenší rozdiel jasovej hodnoty, označí sa tento bod za predchádzajúci výskyt bodu, v ktorom bol detegovaný pohyb v súčasnej snímke [5]. Keďže súradnice bodu v súčasnej snímke a súradnice toho istého bodu v predchádzajúcej snímke sú známe, možno určiť vektor optického toku (obr. 2). Tento vektor potom opisuje jednak vzdialenosť, ktorú daný bod prešiel, ale možno z neho určiť aj rýchlosť, ktorou sa tento bod pohyboval. Je to možné, pretože je známy čas, ktorý bod potreboval, aby prešiel z daného miesta v predchádzajúcej snímke na miesto, kde sa nachádza v súčasnej snímke. Čas je daný frekvenciou snímania, teda počtom snímok zobrazených za sekundu (frame rate). Algoritmus výpočtu optického toku je na obr. 3.

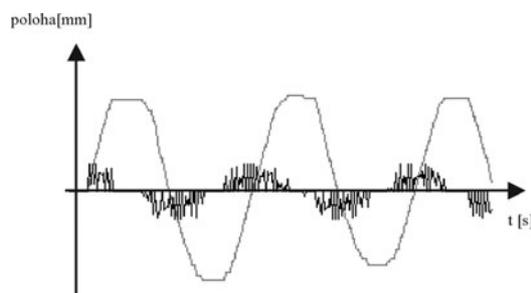
4. Výsledky detekcie kmitov

V rámci projektu sa realizovala úloha detekcie pohybu pomocou algoritmu rozdielového obrazu. V prípade, že je na snímanej scéne zaregistrovaný pohyb, určia sa ďalšie vlastnosti pohybu pomocou algoritmu výpočtu optického toku. Keďže predpokladáme kmitavý pohyb, výsledkom výpočtu optického toku je amplitúda a frekvencia týchto kmitov.

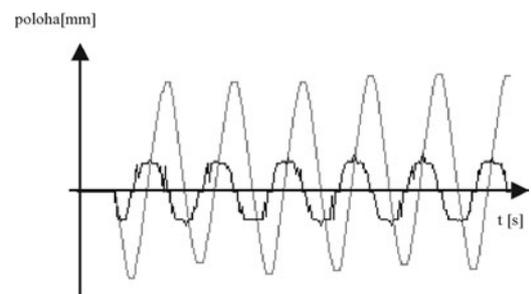
Na generovanie kmitov bol použitý zapisovač, na ktorého vstupy bola privedená žiadaná hodnota polohy. Pomocou kamery bol ten-

to pohyb snímaný a výsledky sa vykresľovali do grafu (obr. 4 až 7), kde je uvedená skutočná poloha a zmena polohy bodu medzi súčasnou a predchádzajúcou snímku – rýchlosť pohybu.

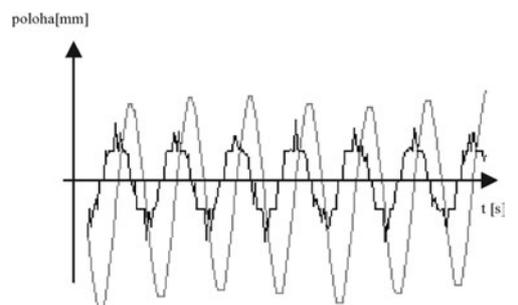
Pri detekcii kmitov je potrebné rátať s tým, že frekvencia signálu PAL je 25 snímok za sekundu a v reťazci spracovania signálu sú oneskorenia dané prevodníkmi a trvaním implementácie algoritmu, preto v praxi možno počítať s frekvenciou maximálne 5 Hz. Uvedená metóda pri danej realizácii je preto vhodná hlavne na meranie kmitov žeriavov alebo závesných dopravníkov, kde je predpoklad nižšej frekvencie kmitania. Pre vysoko dynamické aplikácie sa využíva neštandardné analógové alebo digitálne riešenie, ktoré umožňuje vyššiu frekvenciu snímania obrazu, a tým aj detekciu kmitov s vyššou frekvenciou, resp. rýchleho pohybu v scéne kamery. Pri vysoko dynamických aplikáciách sa využíva kamera s tzv. čipom progressive scan CCD, ktorý umožňuje generovať obraz naraz, a nie po polsnímkach ako pri bežnom čipe CCD. Tým sa frekvencia snímania zvýši dvojnásobne a rozlíšenie zostane zachované. Ak je však potrebná ešte vyššia frekvencia snímania, je možné použiť ďalšie metódy, ktoré takéto kamery ponúkajú. Je to jednak takzvaný modus „partial scan“, pri ktorom sa z čipu CCD



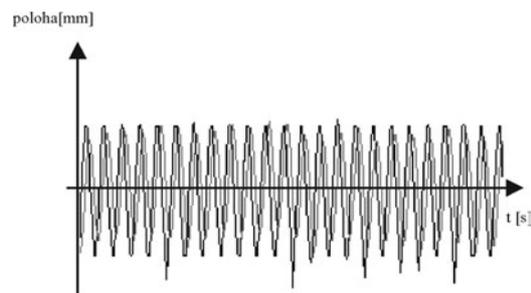
Obr.4 Amplitúda 45 mm, frekvencia 0,06 Hz



Obr.5 Amplitúda 45 mm, frekvencia 0,16 Hz



Obr.6 Amplitúda 45 mm, frekvencia 0,2 Hz



Obr.7 Amplitúda 25 mm, frekvencia 0,5 Hz

načíta len určitý riadok. Výsledná frekvencia snímania je potom funkciou počtu načítaných riadkov z CCD snímača. Čím je počet načítaných riadkov menší, tým je frekvencia snímania vyššia. V praxi sa využívajú pomery 1 : 2 alebo 1 : 3. To znamená, že vyberieme každý druhý, respektíve každý tretí riadok, čím sa frekvencia snímania môže ešte dvojnásobne, resp. trojnásobne zvýšiť. V porovnaní so štandardnou kamerou to potom znamená zvýšenie frekvencie snímania štvor- až šesťnásobne. Pri použití modu „partial scan“ však už dochádza k zníženiu rozlíšenia snímky. Inou možnosťou je využitie metódy „vertical binding“, ktorá umožňuje dvojnásobné zvýšenie frekvencie snímania. Princípom je spojenie dvoch po sebe idúcich riadkov do jedného [6]. Opäť však dochádza k strate rozlíšenia. Pri návrhu systému treba brať fakt zníženia rozlíšenia obrazu do úvahy a zvážiť, či zvýšenie rýchlosti na úkor rozlíšenia negatívne neovplyvní žiadaný výstup zo systému spracovania obrazu. Použitie kamier s čipom progressive scan si vyžaduje aj nasadenie kariet na spracovanie obrazu (frame grabber), ktoré tento spôsob snímania obrazu podporujú. Okrem výberu vhodnej kamery ovplyvňuje rýchlosť snímania aj použitý štandard prenosu obrazovej informácie medzi kamerou a frame grabberom. Okrem štandardného a neštandardného analógového riešenia sa v súčasnosti do popredia dostávajú digitálne riešenia systémov. Pre digitálny systém je možné použiť rozhranie IEEE 1394 (FireWire), USB alebo CamLink. Každé z týchto riešení má svoje výhody a nevýhody [7]. Ich podrobnejší opis však presahuje rámec tohto článku.

Záver

Algoritmy spracovania dynamického obrazu, a najmä výpočet optického toku, sú pomerne výpočtovo náročné. Pri požiadavke, aby výpočet prebiehal v reálnom čase a aby namerané, respektíve

vypočítané údaje boli použiteľné na riadenie, sa kladú vysoké požiadavky na použité hardvérové prostriedky. V prípade splnenia hardvérových požiadaviek však poskytujú silný nástroj na detekciu pohybu a zároveň aj na výpočet ďalších vlastností pohybu, ktoré môžeme využiť pri riadení pohybu mechanizmov.

Literatúra

- [1] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M.: Počítačové vidění. GRADA, Praha 1992.
- [2] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M., BOYLE, R.: Image Processing, Analysis and Machine Vision. Brooks/Cole Publishing Company, California 1999.
- [3] Express, s. r. o.: Cenník & katalóg. Bratislava 2001.
- [4] TRUCCO, E., VERRI, A.: Introductory Techniques for 3-D Computer Vision. Prentice Hall Inc., New Jersey 1998.
- [5] <http://www.fuzzgun.btinternet.co.uk/rodney/vision.htm>
- [6] <http://www.machinevisiononline.org>
- [7] KOTTELY, G.: Comprehensive Resource Tabulates Global Camera Products Vision Systems Design. Issue September 2003.

prof. Ing. Ladislav Jurišica, PhD.
doc. Ing. Peter Hubinský, PhD.
Ing. Juraj Knot

52

Katedra automatizácie a regulácie FEI STU
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
e-mail: juris@elf.stuba.sk
hubak@elf.stuba.sk
knot@multitron.de