

# Spracovanie obrazu v reálnom čase – hardvér

Pri spracovaní obrazu sa treba zaoberať softvérom, hardvérom aj ich spoločnou

implementáciou, nakoľko každá z týchto častí hrá dôležitú úlohu pri spracovaní.

Osobitne treba venovať pozornosť problematike spracovania obrazu v reálnom čase.

## 1. Operácie pri spracovaní obrazu

Pri spracovaní obrazu v reálnom čase treba pracovať s veľkým objemom údajov v čase pri jednoduchej aj pri inteligentnej analýze. V systéme je potrebný veľký výpočtový výkon a pamäťový priestor [17]. Na ilustráciu zoberme obrázok s rozmermi  $N \times M$  s farebnou hĺbkou  $P$  bitov jedného obrazového elementu. Potom obraz obsahuje  $N \times M \times P$  bitov. Ak sa spracúva video, je potrebné, aby sa navyše uvažovalo s dátami za sekundu. Vtedy sa naskytá možnosť získavať informácie z postupnosti obrázkov, ktoré sa nachádzajú vo videu.

Kľúčom k spracovaniu veľkého množstva údajov je paralelné spracovanie. Faktom je, že efektívnosť spracovania obrazu závisí od dobrej implementácie hardvérovej aj softvérovej časti a aj od využívania paralelizmu v algoritmoch spracovania DLP (data level parallelism) alebo ILP (instruction level parallelism) [18], [5], [22].

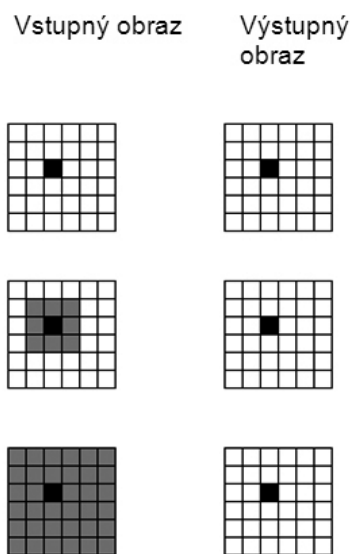
Pozrime sa na operácie v procese spracovania obrazu z hľadiska vstupu a výstupu. Tradične sú operácie rozdelené do troch úrovní: nízka, stredná a vysoká úroveň [17], [20], [21], [22], kde sa každá úroveň líši vstupno-výstupnou nadväznosťou údajov. Nízkoúrovňové operácie majú na vstupe aj na výstupe obraz, stredná úroveň má na vstupe obraz a na výstupe obrazové atribúty a vysoká úroveň má na vstupe obrazové atribúty a výstupom sú zvyčajne základné parametre potrebné na riadenie.



Obr.1 Operácie pri spracovaní obrazu

### Nízka úroveň

Tieto operácie majú vstup aj výstup obrazové elementy. Znamená to, že operácie sú vykonávané priamo s obrazovými elementmi v matici  $N \times M$ . Medzi takéto operácie možno zaradiť transformáciu farby, korekcie jas, lineárne alebo nelineárne filtrovanie, redukciu šumu, úpravu ostroti atď. Cieľom tejto úrovne spracovania je vyzdvihnúť niektoré rysy obrazu potrebné pre ďalšiu úroveň alebo niektoré rysy potlačiť.



a.) Bodové operácie

b.) Lokálne operácie

c.) Globálne operácie

Obr.2 Paralelné spracovanie nízkoúrovňových operácií

Možno medzi ne zaradiť napríklad hranové filtre (Robertsov operátor, Laplaceov operátor, Prewittov operátor, Sobelov operátor, Robinsonov operátor, Kirschov operátor). Tieto operácie sa dajú následne rozdeliť do globálnych, lokálnych a bodových. Bodová operácia je vtedy, ak je vstupom aj výstupom obrazový element a výstup nezávisí od okolitých obrazových elementov vstupného obrazového elementu, teda ide o najjednoduchšie operácie. Takéto operácie v sebe zahŕňajú aritmetické, logické, prahové operácie atď. Lokálne operácie sú zložitejšie ako bodové, pretože na spracovanie výstupného obrazu sú potrebné aj okolité obrazové elementy. Výstupný obrazový element je funkciou vstupného obrazového elementu a jeho susedov. A nakoniec globálne operácie sú tie, pri ktorých výstupný obrazový element závisí od každého obrazového elementu vo vstupnom obraze. Príkladom môže byť Fourierova transformácia. Všetky nízkoúrovňové operácie zahrnujú cyklus cez všetky obrazové elementy vstupného obrázka s vnútornou slučkou pre susediace obrazové elementy, čo je náročné na spracovanie údajov. Nízkoúrovňové operátory sú teda dobrým kandidátom na paralelné spracovanie, ktoré je zrejme z obr. 2.

### Stredná úroveň

Operátory strednej úrovne transformujú obrazové údaje trochu viac k abstraktnej forme informácií, zdôrazňujú atribúty alebo rysy záujmu z obrazu. To znamená, že operácie prebiehajú na úrovni obrazových bodov, ale rozdiel je v tom, že výstup má menší objem údajov. V prvom rade ide o segmentáciu obrazu do regiónov záujmu, extrahovanie okrajov alebo iných obrazových atribútov. Cieľom tejto úrovne je redukovať množstvo údajov a vytvoriť tak súbor parametrov pre ďalšiu úroveň. Táto úroveň je vhodným kandidátom na paralelné spracovanie údajov. Do strednej úrovne spracovania obrazu možno zaradiť napríklad segmentáciu (prahovanie, techniky založené na hranách či oblastiach, porovnávanie zo vzorom.)

## Vysoká úroveň

Operácie vysokej úrovne v sebe zahŕňajú klasifikáciu (rozpoznanie) objektov alebo rozhodovanie na základe určitých rysov. Operácie tejto úrovne sú charakterizované ako kontrolné alebo zložité operácie. Tieto operácie nie sú vhodné na paralelné spracovanie, avšak obsahujú variant maticových operácií, ktoré na to vhodné sú.

## Zhrnutie

Spracovanie obrazu má veľa rozmanitostí. Začína sa s časovo pravidelným a vysoko objemovým spracovaním údajov a končí sa pri spracovaní malého množstva údajov, ktoré sú časovo nepravidelné [1]. V závislosti od použitých operácií pri spracovaní obrazu možno vidieť, že klasický proces spracovania obrazu nie je vhodný na realizáciu v reálnom čase.

## 2. Definícia reálneho času

Pri spracovaní obrazu v reálnom čase treba vedieť, čo presne znamená reálny čas. V literatúre možno nájsť tri hlavné vysvetlenia reálneho času.

### Reálny čas – zmyslové vnímanie

Za spracovanie operácie v reálnom čase, v prípade zmyslového vnímania, možno považovať taký čas, za ktorý sa vykonanie operácie javí pre používateľa ako okamžité. Teda oneskorenie, ktoré je schopné človek akceptovať, pričom sa daný proces javí ako plynulý. Predstava maximálneho oneskorenia založeného na ľudskom vnímaní je relatívna [17]. Napríklad na obnovovanie automatického vyvažovania bielej farby v digitálnom fotoaparáte nie je potrebná obnovovacia frekvencia 33 ms pre 30 obrázkov za sekundu, ale úplne stačí 100 ms a oneskorenie sa používateľovi javí ako nepostrehnuteľné. Ak teda algoritmus bude spracúvať údaje pod 100 ms, možno povedať, že pracuje v reálnom čase. Treba však poznamenať, že ak má scéna slabé osvetlenie, pre lepší výsledný efekt sa čas vyhodnocovania predĺži. Otázkou teda je: Prijme používateľ lepší výsledok na úkor pomalšieho vyhodnotenia? Z uvedeného príkladu vidieť, že definícia reálneho času v tomto prípade závisí od úrovne oneskorenia akceptovateľnej používateľom.

### Reálny čas – softvérové inžinierstvo

Reálny čas v ponímaní softvérového inžinierstva je založený na ohraničení času reakcie. Výsledok, ktorý nie je logicky spracovaný procesorom, sa nedá využiť pri spracovaní obrazu, treba teda počkať na jeho dokončenie. Tu by sa dal pojem reálny čas rozdeliť na dve podskupiny, tvrdý čas a mäkký reálny čas [19]. Ak výsledok nebol spracovaný za čas určený na jeho spracovanie a dochádza ku kolapsu systému, potom možno hovoriť o tvrdom reálnom čase. Mäkký reálny čas znamená, že v prípade nestihnutia spracovania operácie pôjde o zníženie výkonu. Úlohou operačného systému pracujúceho v reálnom čase je uspokojiť spracovanie úloh v potrebnom čase.

### Reálny čas – spracovanie signálov

Ak je výsledok vypočítaný medzi dvoma vstupnými vzorkami, ide o reálny čas pri spracovaní signálov. Za reálne spracovanie obrazu teda možno považovať také spracovanie, keď spracovanie bude vykonané v intervale menšom, ako príde nasledujúca vzorka, v našom prípade obrázkov.

## Záver

Spracovanie obrazu v reálnom čase je výzva, pri ktorej treba kombinovať hardvérové a softvérové riešenia. V rámci hardvéru treba vybrať vhodné riešenie medzi existujúcimi platformami pre danú problematiku spracovania obrazu. Z algoritmického, resp. softvérového riešenia treba zabezpečiť potrebu spracovania v reálnom čase. V praxi sa prihliada na rýchlosť spracovania, presnosť, odolnosť, prispôsobivosť a cenu. Dá sa povedať, že pri spracovaní obrazu je rýchlosť na úkor presnosti a naopak presnosť na úrok rýchlosti.

## 3. Hardvérové riešenia pri spracovaní obrazu

Nárast výkonu osobných počítačov priniesol veľa možností v oblasti spracovania obrazu. Osobné počítače a vývojové prostredia poskytli pružný základ na spracovanie obrazu, či už po výkonnostnej alebo pamäťovej stránke, a vo veľa prípadoch je to postačujúce riešenie. Avšak pri situácii spracovania obrazu v reálnom čase nejde o jednorazové vyhodnotenie, ale o sústavný proces vyhodnocovania.

Pre lepší výber hardvéru je vhodné zodpovedať nasledujúce otázky:

- Aké sú dôležité rysy obrazu určeného na spracovanie?
- Aké sú výhody a nevýhody hardvéru?
- Aký hardvér sa už v danej aplikácii využíval?
- Ktorý hardvér je najvhodnejší pre danú aplikáciu?

### Základné rysy hardvéru

Ako bolo uvedené v 1. kapitole, spracovanie obrazu je náročné na objem údajov (operácie, ako napr. filtrácia, vyseknutie zóny záujmu pre nízku a strednú úroveň spracovania, triedenie pre vysokú úroveň). Väčšina pamäťových a výpočtových nárokov je v nízkej a strednej úrovni.

Hardvér určený na spracovanie obrazu možno rozdeliť podľa troch rysov na: jednoduché viacnásobné spracovanie inštrukcií (SIMD), veľmi dlhé slovo (VLIW) a pamäťový podsystem. Koncept SIMD je kľúčový pre spracovanie obrazu v reálnom čase [3], [4], [5]. Predstavuje zasielanie jednotlivých inštrukcií viacnásobným procesorom, ktoré ju súčasne vykonávajú, a tak sa dosiahne kratší čas spracovania. Tento spôsob realizácie sa hodí pre nízku a strednú úroveň spracovania obrazu. Samozrejme, SIMD je vhodné aj na spracovanie maticových a vektorových inštrukcií. Používanie tohto konceptu na spracovanie obrazu sa rozšírilo v roku 1980. Dopomohlo k tomu rozšírenie inštrukčnej zostavy pre viacúčelové procesory (GPP), a teda sa znížil čas potrebný na spracovanie. Dnes sa SIMD používa v GPP alebo v procesoroch určených na spracovanie multimediálnych dát.

Ak má obrazový element 8 bitov a v moderných procesoroch sú 64-bitové registre, v tom prípade možno v jednom časovom okamihu a pod jednou inštrukciou vyhodnotiť osem 8-bitových obrazových elementov (pixel). Nielenže takýto prístup zrýchľuje spracovanie údajov, ale aj znižuje nároky na pamäť, nakoľko čítanie viacerých obrazových elementov môže byť realizované naraz. Ak sa SIMD využíva na paralelnosť pri spracovaní údajov, VLIW sa využíva na paralelnosť na úrovni inštrukcií [5]. VLIW má schopnosť spracovať behom jedného cyklu procesora viacero inštrukcií, to znamená, že medzi spracúvanými údajmi nesmie byť žiadna závislosť. Táto vlastnosť VLIW je vynikajúca pri potrebe spracovať veľké množstvo údajov za sekundu. Samozrejme, SIMD a VLIW môžu pomôcť urýchliť spracovanie obrazu, avšak načo by bol ušetrený čas, ak by nebola možnosť rýchlo preniesť údaje cez systém? Preto sa zdatný pamäťový systém považuje za rozhodujúci komponent pri spracovaní obrazu, a to hlavne pri nízkych a stredných úrovniach spracovania. Koncepty, ako priamy prístup do pamäte (DMA) a vnútorná a vonkajšia pamäť, sú dôležité. DMA povoľuje priamy prístup do pamäte bez zaťaženia procesora. Využívanie pamäte priamo na plošnom spoji procesora môže byť rýchlejšie ako využívanie externej pamäte. Hlavný problém pamäti je, že boli vyvinuté na spracovanie údajov za sebou a nie pre dvoj-/trojdimenzionálne usporiadanie údajov.

### Aktuálny prehľad hardvérových riešení

Digitálne signálové procesory (DSP) sú výkonné, majú malé nároky na príkon a relatívne malé rozmery. DSP boli optimalizované na opakované spracovanie dát s rôznymi režimami adresovania pamäte, čo pomohlo urýchliť spracovanie údajov. V mnohých implementáciách možno pozorovať, že malé množstvo typov inštrukcií sa vykonáva vo veľkom percente výpočtového času, čo len zdôrazňuje fakt, že DSP sú určené na urýchlenie kritických slučiek, ktoré obsahujú malý riadiaci kód. DSP môžu mať pevnú alebo pohyblivú desiatinnú čiarku v závislosti od presnosti. Vo viacerých prípadoch spracovania obrazu je vhodná pevná desiatinná čiarka. Ďalej majú DSP možnosť determinis-

ticky určiť predpokladaný čas spracovania a majú paralelné architektúry s VLIW/SIMD rysmi, čo je ďalší dôvod ich využitia pri spracovaní obrazu v reálnom čase.

DSP má vhodnú správu pamäte, podporu na využívanie systémov pracujúcich v reálnom čase a sú kompletne programovateľné.

Programovateľné hradlové polia – pole programovateľných hradli (FPGA) sú polia zložené z nekonfigurovateľných logických blokov so sieťovo programovateľnými spojmi. FPGA povolluje vytvorenie špecifických aplikačných cyklov, ktoré sa dajú navrhnuť prostredníctvom programátorského jazyka známeho ako HDL (hardware language description). FPGA môžu byť konfigurované pre rôzne externé zariadenia. Aktuálna generácia FPGA môže byť plne alebo čiastočne rekonfigurovateľná s časom rekonfigurácie menším ako 1 ms, čo umožňuje dynamickú rekonfiguráciu. V prípade záujmu o FPGA a ich využitia pri spracovaní obrazu si možno preštudovať [2], [6], [7], [8], [9]. Pre ich programovateľný charakter možno naprogramovať FPGA tak, aby využívali viacero typov paralelného spracovania, čo vedie k vysokovýkonnému spracovaniu obrazu v reálnom čase pre všetky úrovne spracovania (nízka, stredná a vysoká). Všeobecne FPGA využívajú externú pamäť, následkom čoho možno využívať používateľsky nadefinované konfigurácie pamäte alebo adresovanie pamäti. V mnohých prípadoch sa FPGA vyrovnávajú alebo prevyšujú DSP. FPGA majú však jednu nevýhodu, a to je ich príkon. Momentálnym trendom je zlúčenie FPGA s GPP jadrom na jednom čipe.

Viacúčelové procesory (GPP) – sú dva druhy GPP, jeden na všeobecné využitie, ako sú osobné počítače, a druhý je smerovaný k integrovaným riešeniam (vnorené systémy). Dnešné procesory GPP sú extrémne výkonné s vysoko paralelnými architektúrami, používané na vysokej úrovni spracovania obrazu. Procesory majú zapracované aj SIMD rozšírenie, ktoré dovoľuje využívať DLP a umožňuje zrýchlenie multimedialných operácií korešpondujúcich na nízkej a strednej úrovni spracovania zobrazovacieho procesu. GPP sú tiež vybavené viacúrovňovým systémom vyrovnávacej pamäte. Tento systém poskytuje zníženie pamäťových nárokov pre často používané údaje. Tieto procesory tiež využívajú RTOS (Real Time Operating System) na garanciu spracovania údajov v reálnom čase. GPP v pracovnej stanici sú veľké a potrebujú oddelený integrovaný obvod na komunikáciu s externou pamäťou a perifériami. Keďže GPP majú veľký výpočtový výkon, majú aj veľký odber energie, a teda nie sú vhodné pre integrované aplikácie. V [11] je pracovná stanica označená ako štandard na priemyselné spracovanie obrazu v reálnom čase. Aj keď sú GPP výkonné, nie sú vytvorené na spracovanie veľkého kvanta údajov.

Grafická výpočtová jednotka (GPU) – začiatkom roku 2000 sa začala éra grafických procesorov. Hlavný cieľ týchto procesorov je urýchlenie zobrazovania trojrozmerného sveta požadovaného v počítačových hrách. Zatiaľ čo originálne GPU fungovali ako akcelerátory, momentálna generácia GPU má väčšiu flexibilitu vertexov. GPU s DLP možno použiť na zrýchlenie výpočtov. Pre ich schopnosť realizovať výpočty s pohyblivou desatinnou čiarkou, zväčšenej úrovni programovateľnosti a skutočnosti, že GPU možno nájsť skoro v každej pracovnej stanici, sa využívajú aj na iné účely ako zobrazovanie 3D grafiky, oblasť výskumu je zameraná na všeobecné využitie GPU (GPGPU). GPU bol použitý aj na spracovanie obrazu v komplexných PC systémoch [12], [13], napr. pri rekonštrukcii obrazu v magnetickej rezonancii (MRI – magnetic resonance image) či pri ultrazvukovom zobrazení vyžadujúcom rýchlu Furierovu transformáciu [14]. Nedávny prieskum zapracovania technológie GPGPU [15] tiež ukazuje na príklady využitia GPU aplikovaných na výpočet signálov a spracovanie obrazu vrátane identifikácie 3D povrchu začleneného do MRI obrazu. Tienistá stránka GPU bola v prenose dát cez PCI (Peripheral Component Interconnect), avšak tento problém bol čiastočne odstránený príchodom PCI Express. Tak ako pracovné stanice GPP, aj GPU majú vysoký príkon. Viac informácií možno nájsť na [10].

## Nové hardvérové riešenia

V deväťdesiatych rokoch minulého storočia bol vyvinutý podstatne iný prístup spracovania obrazu v reálnom čase, a to spojenie obrazového snímača s nevyhnutným modelom požadovaným na spracovanie obrazu. Toto bolo možné cez CMOS systémy, ktoré dovoľujú umiestenie snímača obrazu a prostriedkov spracovania obrazu na jednom mieste. Výsledkom nedávneho vývoja je SIMD Pixel procesor (SIMDPil) [22], ktorý je považovaný za mobilný multimediálny super počítač. Kombinácia vysokého výkonu s nízkym príkonom splnila požiadavky na začlenenie do mobilných zariadení. Simulácie ukazujú, že spracovanie vstupného 1 megapixelového obrázka môže byť vykonané za 1 ms na 500 MHz SIMDPil maticovom procesore s príkonom 2,8 W. SIMDPil procesor má odhadovaný vrchol operačnej výkonnosti 1,5 tera operácie za sekundu a pri spracovaní nemajú snímača a procesor SIMDPil vysoký nárok na pamäť, čo má za následok zníženie výslednej ceny. Pravdaže takéto zapojenie by muselo byť ešte doplnené o GPP na spracovanie na vysokej úrovni a systémovou kontrolou, aby spracovanie mohlo podávať výstupy vhodné na riadenie.

## Záver

V článku je uvedený úvod od spracovania obrazu, ktorého výstup je využitý na riadenie. V článku sa tiež nachádza prehľad hardvéru používaného na spracovanie obrazu.

## Podakovanie

Tento článok vznikol za podpory Grantovej agentúry MŠ VEGA pri riešení grantu VEGA 1/3120/06.

## Literatúra

- [1] ACKENHUSEN, J.: Real-Time Signal Processing: Design and Implementation of Signal Processing. NJ: Prentice-Hall: Englewood Cliffs, 1999
- [2] AKIL, M.: Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging Conference on Real-Time Imaging. 2002
- [3] H. BROERS, W. CAARLS, P. JONKER, AND R. KLEIHORST: Architecture Study for Smart Cameras, Proceedings of the European Optical Society Conference on Industrial Imaging and Machine Visio. 2005
- [4] DAVIES, E.: Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. San Francisco: Morgan Kauffmann Publishers, 2005
- [5] MORENO, H., HUNTER, J.: A New Look at Exploiting Data Parallelism in Embedded Systems, Proceedings of the International Conference on Compilers, Architectures, and Synthesis for Embedded Systems. : 2003
- [6] E. BOURENNANE, C. MILAN, M. PAINDAVOINE, AND S. Bouchoux: Real-Time Image Rotation Using Dynamic Reconfiguration, Journal of Real-Time Imaging. 2002
- [7] AUDSLEY, A., CARTER, N.: Architecture for Dynamically Reconfigurable Real-Time Lossless Compression, Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging Conference on Real-Time Imaging. 2004
- [8] L. KESSAL, N. ABEL, AND D. DEMIGNY: Real-Time Image Processing with Dynamically Reconfigurable Architecture, Journal of Real-Time Imaging. : 2003
- [9] ARIAS-ESTRADA, C., TORRES-HUITZIL, M.: Reconfigurable Vision System for Real-Time Applications, Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging Conference on Real-Time Imaging. 2002
- [10] : General-Purpose Computation Using Graphics Hardware. www.gpgpu.org
- [11] J. MARTINEZE., COSTA, P. HERREROS, X. S'ANCHEZ, AND R. BALDRICH: A Modular and Scalable Architecture for PC-Based Real-Time Vision Systems, Journal of Real-Time Imaging. : 2003

- [12] FELDMAN C. BRUYNS AND B.: Image Processing on the GPU: A Canonical Example, Computer Architecture Course Project, Department of Computer Science, University of California Berkeley. : 2003
- [13] FUNG, J.: Computer Vision on the GPU, in GPU Gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General-Purpose Computation, Matt Pharr, Ed. Reading. 2005
- [14] LIU T. SUMANAWEEERA AND D.: Medical Image Reconstruction with the FFT, in GPU Gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General-Purpose Computation. : 2005
- [15] J. OWENSD. LUEBKE, N. GOVINDARAJU, M. HARRIS, J. KRUGER, A. LEFOHN, AND T. PURCELL: A Survey of General-Purpose Computation on Graphics Hardware, Eurographics State of the Art Reports. : 2005
- [16] A. GENTILE, S. VITABILE, L. VERDOSCIA, AND F. SORBELLO: Image Processing Chain for Digital Still Cameras Based on the SIMPIL Architecture, Proceedings of the International Conference on Parallel Processing. 2005
- [17] BOVIK, A. C.: Introduction to Digital Image and Video Processing. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005
- [18] K. DONG, M. HU, Z. JI, AND B. FANG: Research on Architectures for High Performance Image Processing. 2001
- [19] LAPLANTE, E., DOUGHERTY, P.: Introduction to Realtime Imaging. IEEE Press, 1995
- [20] CROOKES, A., DOWNTON, D.: Parallel Architectures for Image Processing. Electronics & Communication Engineering Journal, 1998
- [21] S. KYO, S. OKAZAKI, AND T. ARAI: An Integrated Memory Array Processor Architecture for Embedded Image Recognition Systems. Proceedings of the 32nd International Symposium on Computer Architecture, 2005
- [22] SOVIANY, C.: Embedding Data and Task Parallelism in Image Processing Applications. Delft University of Technology, 2003
- [23] KONIAR, D., HARGAŠ, L., IZÁK, P., HRIANKA, M.: Spracovanie bronchoskopickéj videosekvencie použitím LabVIEW. In: XXXV. Sešit katedry teoretické elektrotechniky, VII. Workshop doktorandov, Ostrava, Česká republika, 7. február 2007. ISBN 978-80-248-1323-3, s. 46 – 50.

**Ing. Tomáš Surovčík,**  
**prof. Ing. Ladislav Jurišica, PhD.**

**Slovenská technická univerzita v Bratislave**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Ústav riadenia a priemyselnej informatiky**  
**Ilkovičova 3, Bratislava**  
**e-mail: tomas.surovcik@stu.sk**

63