

# Klasifikátor textúr

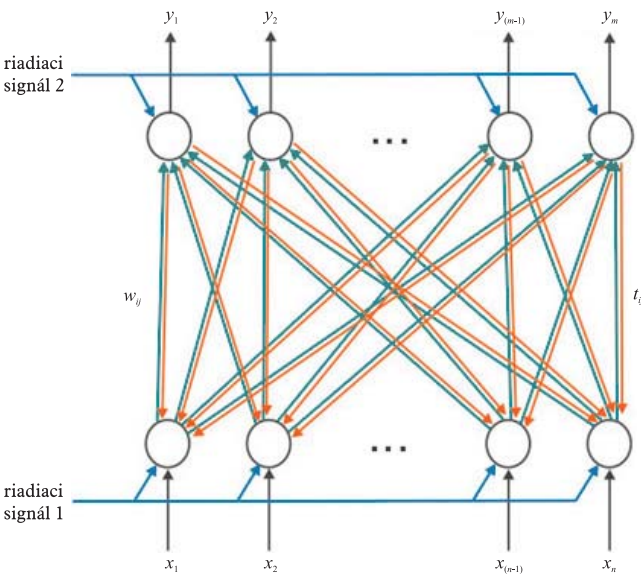
Peter Bombiak, Ladislav Jurišica, Peter Hubinský

Kvalita riadenia, ako aj miera umelej inteligencie robotického systému sa zakladá predovšetkým na kvalite informácií získaných zo sensorického subsystému. Za sensorický prvok možno považovať kameru, ktorá poskytuje množstvo informácií. Rozpoznávanie textúr je dôležité pri rozpoznávaní nasnímaných objektov (textúry pokrývajú značnú časť plochy). V tomto článku sú uvedené dosiahnuté výsledky navrhnutého klasifikátora textúr, ktorý sa učí nové vzory bez poškodenia už naučených, je invariantný voči osvetleniu textúry a je možná jeho hardvérová realizácia schopná pracovať v reálnom čase.

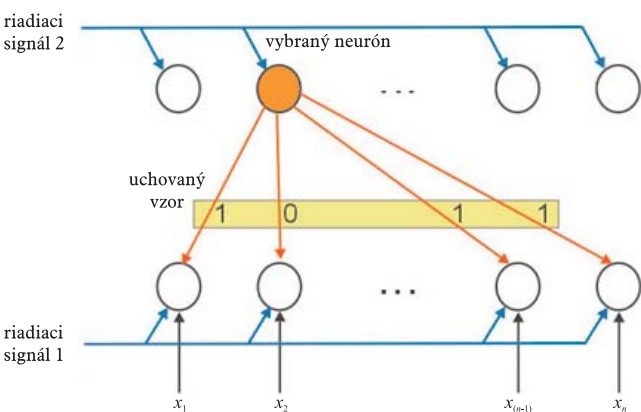
## Úvod

Veľký pokrok v oblasti umelej inteligencie priniesol objav ART sietí (obr. 1), ktorých objaviteľ Grossberg vychádzal z ľudského vizuálneho systému. Siete tohto typu majú niekoľko výhod oproti ostatným sieťam a sú výpočtovo jednoduché.

Uplatnenie ART sietí sa od roku 1987 význačne rozšírilo, svedčí o tom aj skutočnosť, že vzniklo mnoho ich verzií. Pomocou teórie adaptívnej rezonancie (ART) môžeme vyriešiť problém nazývaný „problém premennej stability“, t. j. učenie nového vzoru bez poškodenia už naučených vzorov. Tento druh sietí má schopnosť prepínať sa medzi učiacim (dochádza k modifikácii váh) a stabilným módom (dochádza ku klasifikácii textúry na základe modifi-



Obr.1 Sieť ART1



Obr.2 Uschovanie vzoru

kovaných váh). Na obr. 1 vidieť, že každý neurón vstupnej vrstvy je spojený s každým neurónom výstupnej vrstvy pomocou dvoch typov váh: dopredné váhy ( $w_{ij}$ ) a spätné váhy ( $t_{ij}$ ).

Princíp teórie adaptívnej rezonancie v tomto prípade znamená, že je aplikovaná opakovaná výmena vstupného vektora medzi vstupom a výstupom cez príslušné váhy. Váhy sú adaptované pri každej výmene vzorov medzi vrstvami, až kým nie je nájdený stabilný stav. Správanie siete je opísané v piatich fázach:

1. **Inicializačná fáza** – spätné a dopredné váhy sú nastavené na konštantné hodnoty podľa vzťahu („ $n$ “ je počet neurónov vo vstupnej vrstve):

$$t_{ij} = 1 \quad w_{ij} = \frac{1}{1+n} \quad (1)$$

2. **Rozpoznávací fáza** – vybratie víťazného neurónu vo výstupnej vrstve, ktorý bude vhodný kandidát na reprezentáciu naučeného vzoru (textúry). Na určenie kandidáta  $y_j^*$  použijeme tieto vzťahy:

$$y_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i \quad y_j^* = \max_j \{y_j\} \quad (2)$$

3. **Porovnávacia fáza** – úlohou v tejto fáze je generovanie porovnávacieho čísla  $z_j^*$ , a podiel tohto čísla s číslom súčtu vstupných hodnôt musí byť väčší ako určitý prah bdelosti  $\phi$  (ten môžeme meniť).

$$s = \frac{\sum z_j^*}{\sum x_i} = \frac{\sum t_{ij} \cdot x_i}{\sum x_i} > \phi \quad (3)$$

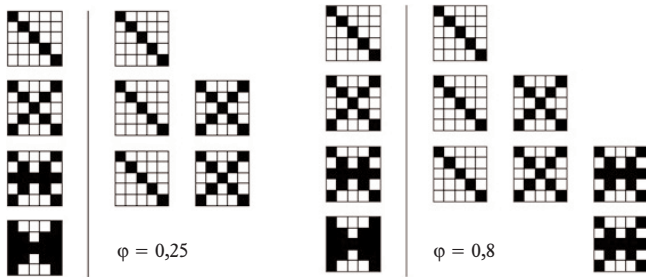
Za tohto predpokladu je neurón  $y_j^*$  absolútny víťaz, ktorý reprezentuje určitú triedu; v tom prípade budeme realizovať adaptačnú fázu. V opačnom prípade realizujeme vyhľadávaciu fázu.

4. **Vyhľadávacia fáza** – pôvodný vybraný víťazný neurón (neprešiel testom bdelosti – nebol splnený vzťah 3) pomocou riadiaceho signálu vypneme, nebudeme s ním už ďalej počítať. Fázy rozpoznávania, porovnávania a vyhľadávania opakujeme dotedy, kým určitý zvolený neurón neprejde testom bdelosti, potom sa realizuje adaptačná fáza. Ak testom bdelosti neprejde ani jeden výstupný neurón, potom vytvoríme novú triedu pomocou vstupného vektora v adaptačnej fáze.

5. **Adaptačná fáza** – pre víťazný neurón sa adaptujú dopredné aj spätné váhy takto:

$$t_{ij}^{nova} = t_{ij} \cdot x_i \quad w_{ij}^{nova} = \frac{t_{ij} \cdot x_i}{0,5 + \sum_{i=0}^{N-1} t_{ij} \cdot x_i} \quad (4)$$

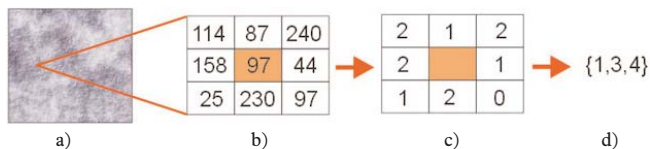
Na obr. 3 môžeme vidieť správanie siete pri rôznych prahoch bdelosti, kde na ľavo od čiar je predkladaný vzor a na pravo naučené vzory [2].



Obr.3 Ukážka správania ART siete pre dva rôzne prahy bdelosti

### Predspracovanie vzoru

Nasledujúci algoritmus transformácie textúr opísal Wang He v roku 1990. Algoritmus je založený na hľadaní vhodných príznakov, ktoré sa opierajú o tzv. spektrum textúry, a spočíva v opise každého pixelu pomocou susedných pixelov, a to relatívnymi hodnotami. Tým je zabezpečená dostatočná odolnosť proti zmene intenzity celej textúry (pracujeme s relatívnymi hodnotami) a proti šumu. Každý pixel teda ohodnotíme ôsmimi hodnotami susedných pixelov takto: „0“ pre tú istú intenzitu pixelu, ako je stredový pixel, „1“ pre menšiu intenzitu, „2“ pre väčšiu intenzitu. V zjednodušenej verzii spočítame počet núl, jednotiek a dvojek. Následne dostaneme maticu  $n \times n \times 3$  (obr. 4).

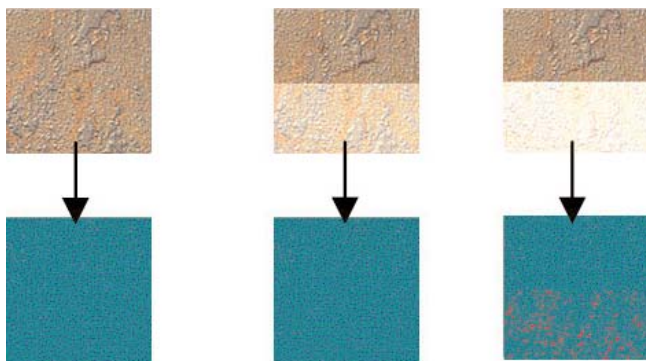


Obr.4 Ukážka opisu pixelu pri klasifikácii textúry:

a) textúra, b) intenzita susedných pixelov v okolí jedného pixelu, c) rozdielový opis susedných pixelov, d) zjednodušený zápis

### Experiment

Pre zrozumiteľnú interpretáciu výsledku tejto metódy využijeme na predspracovanie vzoru funkciu RGB v programovacom prostredí VC++ takto: Nech vypočítaný vektor (zjednodušený zápis susedných pixelov) pixelu  $P_{(x,y)}$  je  $[a, b, c]$  (pozri obr. 4d), pričom  $a, b, c \in \{1, 2, \dots, 8\}$  a farebné  $r-g-b$  zložky vo VC++ sú v rozsahu  $\langle 0 - 255 \rangle$ . Normalizácia bude pomocou konštanty  $k = 31$ . Funkcia „RGB“ (vo VC++) je typu long, takže pre daný vektor troch čísel  $(r, g, b)$  vypočíta číslo z rozsahu  $\langle 0 - 16777215 \rangle$ , pričom hodnota 0 zodpovedá čiernej farbe a hodnota 16777215 bielej. Uvedeným spôsobom vznikne transformovaný obraz (obr. 5).



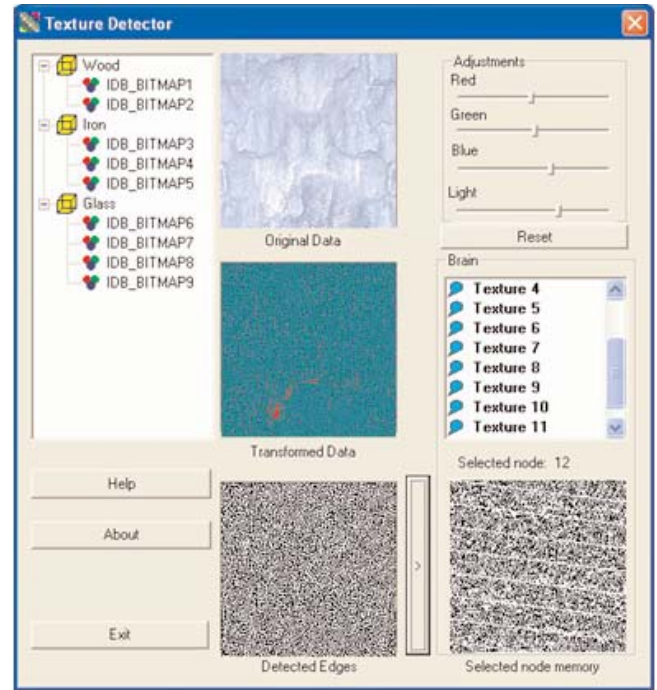
Obr.5 Testovanie transformácie pre návrh ďalšieho spracovania



Obr.6 Tieňový efekt

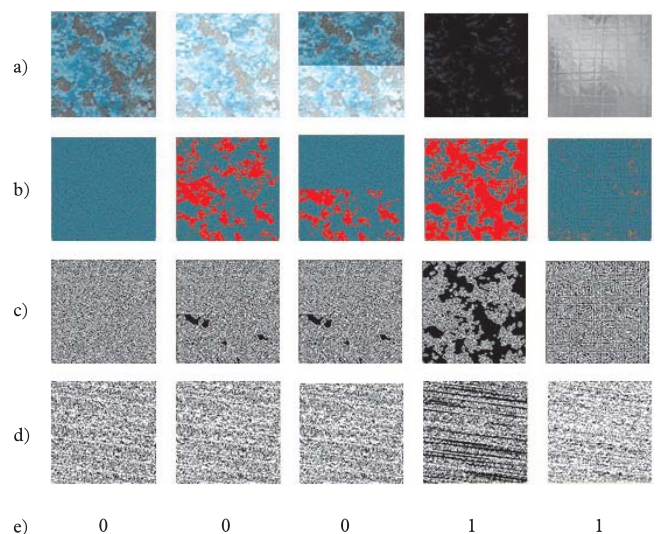
Testovaním transformácie, ktorá zaručuje invariantnosť osvetlenia textúry v širokom spektre intenzít osvetlenia predurčuje kvalitné výsledky rozoznávania textúr. Chyba vnesená nadmerným osvetlením (na obr. 5, vpravo) je spôsobená nelinearitami.

Táto metóda minimalizuje aj závislosť tieňového efektu od danej textúry. Ako vidieť na obr. 6, tieňový efekt spôsobuje po transformácii chybu  $\Psi$ , ktorá je pomerne malá, pretože vznikne len na okraji tieňa. Znížením hodnoty bdelosti ART siete budeme môcť však zaručiť, aby tento tieňový efekt nemal vplyv na celkové správanie ART siete.



Obr.7 Ukážka vytvoreného programu pre klasifikáciu textúr

Môžeme si predstaviť, že vzor s veľkosťou  $100 \times 100 = 10\,000$  pixelov bude mať pri tieňovom efekte maximálne  $100 \times 3 = 300$  skreslených pixelov (obr. 6), pretože sa počítajú rozdiely intenzít susedných pixelov – ovplyvní výsledok aj susedné pixely (tri riadky, t. j.  $100 \times 3 = 300$  pixelov). V tomto prípade vznikne 3 % skreslenie vzoru. Správnosť uvedených predpokladov si ukážeme nasledujúcim experimentom použitia siete ART 1, ktorá pracuje



Obr.8 Experiment klasifikácie textúr

navrhnutým riešením klasifikátora:

a) predkladaný vzor textúry, b) transformovaná textúra invariantná na zmenu osvetlenia, c) detegované hrany transformovanej textúry, d) obraz pamäte neurónu opisujúci danú textúru, e) index neurónu opisujúci predkladanú textúru

s binárnymi vstupmi. Aplikujme preto na tieto transformované dáta Laplaceov operátor na detekciu hrán. Takto spracovaný obraz použijeme ako vstupné dáta do siete ART 1. Predkladané vzory, ako aj výsledky experimentu sú znázornené na obr. 8.

Nenaučenej ART sieti sme postupne predkladali textúry (obr. 8a). Prvú predloženú textúru klasifikátor ohodnotil triedou 0, podobne aj druhú a tretiu textúru, ktoré sa líšia len osvetlením. Štvrtá textúra je už veľmi málo osvetlená, preto klasifikátor textúru klasifikoval novou triedou 1, pričom v spätných váhach ART sietí si uložil mnoho binárnych jednotiek (čierna farba predstavuje hodnotu 1, biela hodnotu 0). Preto ju pri klasifikácii novej (osvetlenej) textúry klasifikátor zaradil do triedy 1 (obr. 8a, piaty stĺpec), pri každej klasifikácii sa vždy jednotlivé váhy adaptujú.

## **Záver**

Uvedeným spôsobom klasifikácie textúr je možné dosiahnuť kvalitné výsledky, treba však pripomenúť, že táto metóda nie je invariánna voči rotácii alebo posunutiu textúry.

## **Literatúra**

- [1] MAŘÍK, V. a kol.: Umělá inteligence (2). Praha, Academia Praha 1997, ISBN 80-200-0504-8.
- [2] MAŘÍK, V. a kol.: Umělá inteligence (4). Praha, Academia Praha 2003, ISBN 80-200-1044-0.
- [3] Center for machine perception, internet:  
<<http://cmp.felk.cvut.cz>>
- [4] Žára, J. a kol.: Moderní počítačová grafika. Praha, Computer Press 1998, ISBN 80-7226-049-9.

### **Ing. Peter Bombiak**

**Katedra automatizácie a regulácie  
FEI, STU Bratislava  
e-mail: peter.bombiak@stuba.sk**

### **prof. Ing. Ladislav Jurišica, PhD.**

**Katedra automatizácie a regulácie  
FEI, STU Bratislava  
e-mail: ladislav.juristica@stuba.sk**

### **doc. Ing. Peter Hubinský, PhD.**

**Katedra automatizácie a regulácie  
FEI, STU v Bratislave  
e-mail: peter.hubinsky@stuba.sk**