

# Rozpoznávání zájmových objektu v systému FOTOM

Lačezar Ličev<sup>1</sup>

## Object Recognition in System FOTOM

*The recognition of points of interest leads to the detection and consequent specification of the values of  $X_i$  and  $Y_i$  coordinates. The result is a data file of the coordinates. The problem domain is divided into two parts.*

*The first part of the paper deals with the basic principles of figure segmentation. The main goal of the segmentation is to split the figure into parts, which closely cohere with the object or domains of real world. The result should be pictures of real objects located on the figure. Thresholding methods, mathematic morphology, Brightness attributes and others are mentioned here. The detection of points of interests on the light track and the determination of points of interest using neural networks are discussed at the end of the part.*

*The second part concentrates on the completion of the module FOTOM 1 by new functions. The design and realization of the module FOTOM7 is described too. These modules implement the detection of points of interests on the light track and the determination of points of interest using neural networks. The experience gained during the implementation of the module FOTOM 7 are presented at the end.*

**Key words:** Segmentace obrazu, prahování, binární obraz, matematická morfologie, syntaktická analýza, příznaková analýza, atribúty jasu, rozpoznávání, neuronová síť, zájmový bod, zájmový objekt, architektura

## Úvod

Cílem tohoto článku je seznámit čtenáře s aktuálním stavem vývoje fotogrammetrického systému FOTOM a nastínit způsob jakým bylo prostřednictvím nástrojů umělé inteligence vyřešeno rozpoznávání zájmových bodů a objektů při hodnocení měřických snímků.

Rozpoznávání zájmových bodů na snímku slouží k nalezení a pak následně k určení hodnoty souřadnic  $X_i$ ,  $Y_i$ . Výsledkem je datový soubor těchto hodnot. Na určování polohy jednotlivých bodů existuje řada algoritmů a metod. Celou tuto problematiku jsem rozdělil do dvou částí.

V první části se věnuji analýze snímku při rozpoznávání zájmových bodů a objektů. Zde popisují základní principy segmentace obrazu. Cílem této segmentace je rozčlenit obraz do částí, které mají úzkou souvislost s předměty či oblastmi reálného světa zachyceného na obraze. Výsledkem mají být obrazy reálných objektů, které jsou zachyceny na snímku. Zde se také věnuji metodám prahování, matematické morfologie, atributů jasu a jiným. V závěru této části se věnuji metodám rozpoznávání, a to rozpoznávání zájmových bodů přímo ze světelné stopy nebo stanovení zájmových bodů pomocí neuronové sítě.

V druhé části se zabývám doplněním modulu FOTOM1 o nové funkce a návrhem a realizací modulu FOTOM7 řešící problematiku nalezení hledaných zájmových bodů na světelné stopě nebo pomocí neuronové sítě. Na závěr uvádím konkrétní poznatky a zkušenosti z implementace modulu FOTOM7.

## Analýza snímku při rozpoznávání zájmových bodů a objektů

### Segmentace obrazu

Segmentace obrazu je nejdůležitějším a také nejsložitějším krokem v celém postupu vedoucím k analýze obsahů zpracovávaných obrazových dat. Snahou je rozčlenit obraz do částí, které mají úzkou souvislost s předměty či oblastmi reálného světa zachyceného na obraze. Výsledkem mají být obrazy reálných objektů, které jsou zachyceny v obraze.

Po provedení segmentace nastává další fáze, a to indexování oblastí. Indexování je důležité pro odlišení objektů od sebe a pro zjištění jejich počtu. Podrobnější popis uvádí (Sojka E., 1999).

### Prahování:

Prahování je jedna z nejstarších a nejjednodušších metod segmentace obrazu a patří také k jedné z nejrychlejších.

Ve většině případů „vystupují“ objekty z pozadí, čímž je myšleno, že jasové (barevné) hodnoty prvků obrazové funkce (pixelů) objektů jsou odlišné od pozadí. Na tomto předpokladu je založená metoda prahování. Jejím principem je najít vhodný práh (hodnota jasu)  $t$ , který by „oddělil“ objekty od pozadí. Výsledkem tohoto

<sup>1</sup> doc. Ing. Lačezar Ličev, CSc., Katedra informatiky FEI., VŠB TU Ostrava  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 4. 10. 2004)

procesu je obraz v binárním tvaru, ve kterém mají hodnotu 1 ty prvky obrazové funkce, které patří objektům a hodnotu 0 ty, které patří pozadí.

- Stanovení prahu metodou nejmenší chyby:

Hodnotu prahu je většinou těžké vhodně stanovit. Proto byly odvozeny některé metody, které se touto problematikou zabývají. Stanovení prahu metodou nejmenší chyby je založeno na využití minimalizace pravděpodobnosti chybného zařazení prvků obrazové funkce (tzn. že prvek obrazové funkce objektu bude chybně vyhodnocen jako prvek obrazové funkce pozadí a naopak).

Protože se jedná o statistickou metodu, musíme nejdříve uvést následující předpoklady:

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (1)$$

kde  $p(z)$  – normální rozložení pravděpodobnosti jasových úrovní pixelů objektu,

$\mu$  – matematická naděje,

$\sigma^2$  - disperze,

$$q(z) = \frac{1}{\tau\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z-\nu)^2}{2\tau^2}\right], \quad (2)$$

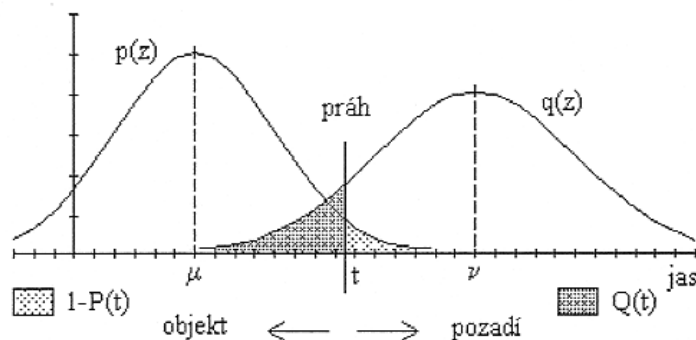
kde  $q(z)$  – normální rozložení hustoty pravděpodobnosti jasových úrovní pixelů pozadí,

$\nu$  – matematická naděje,

$\tau^2$  - disperze.

Uvedené předpoklady zavádějí normální rozložení hustoty pravděpodobnosti jasových úrovní pixelů objektu a pozadí. Zde se dopouštíme jisté nepřesnosti, protože hodnoty jasu pixelů jsou nespojitě a vyskytující se pouze na určitém rozsahu, který vyplývá ze zavedené implementace (ve většině případu 0-255).

Když podíl bodu objektů na obraze je  $\theta$  ( $0 < \theta < 1$ ), bude podíl bodu pozadí  $(1-\theta)$ . Předpokládáme, že pro matematické naděje platí  $\mu < \nu$ . Hledanou hodnotu prahu označíme  $t$ , (obr. 1).



Obr. 1. Normální rozložení hustot pravděpodobnosti pro objekty a pozadí.

Fig. 1. Normal distribution of the probability density for the objects and the background.

Pro další úvahy je nutno zavést následující:

- $P(t)$  - pravděpodobnost, že bod objektu bude vyhodnocen správně jako bod objektu. Potom pravděpodobnost jevu, že bod objektu bude vyhodnocen chybně jako bod pozadí, je  $1 - P(t)$ .
- $Q(t)$  - pravděpodobnost, že bod pozadí bude vyhodnocen chybně jako bod objektu. Potom pravděpodobnost jevu, že bod pozadí bude vyhodnocen správně jako bod pozadí, je  $1 - Q(t)$ .

Celková pravděpodobnost chybné detekce

$$\varepsilon = \theta(1 - P(t)) + (1 - \theta)Q(t) \quad (3)$$

Nejlépeších výsledků segmentace dosáhneme, když chyba  $\varepsilon$  bude nejmenší. Tato situace nastane v extrému, kterému odpovídá místo, kde je první derivace (3) nulová.

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -\theta \frac{\partial P(t)}{\partial t} + (1-\theta) \frac{\partial Q(t)}{\partial t} = 0, \quad (4)$$

Po úpravě dostaneme vztah

$$(1-\theta) \cdot q(t) = \theta p(t) \quad (5)$$

Dosažením (1) a (2) do (5), po úpravách logaritmování získáme vztah

$$t^2 (\tau^2 - \sigma^2) + 2t (\sigma^2 \nu - \tau^2 \mu) + \tau^2 \mu^2 - \sigma^2 \nu^2 + 2\tau^2 \sigma^2 \ln \frac{\sigma(1-\theta)}{\theta\tau} = 0 \quad (6)$$

Vyřešením této kvadratické rovnice získáme hodnotu prahu  $t$ . Rovnice má řešení, když jsou splněny následující podmínky:

$$\begin{array}{ccc} \sigma \neq 0 & & \theta \neq 0 \\ & a & \\ \tau \neq 0 & & \theta \neq 1 \end{array} \quad (7)$$

- Stanovení prahu zavedením iteračního procesu do metody nejmenší chyby:

Vylepšení proti předchozí metodě spočívá v tom, že tato metoda nepředpokládá znalost poměrného zastoupení bodu objektů v obraze  $\theta$  - tato hodnota se určí iteračním procesem. Musíme však znát hodnoty středních hodnot a směrodatných odchylek jasu pro objekty a pozadí.

Výsledky získané touto metodou jsou v stejné kvalitě jako výsledky metody určení prahu pomocí nejmenší chyby.

- Prahování proměnným prahem:

V případech. Kdy je obraz sice kontrastní, avšak v různých svých částech má nerovnoměrnou úroveň jasu (např. vlivem nerovnoměrného osvětlení), nelze najít jedinou hodnotu prahu tak, aby vyhovovala pro všechny části obrazu. V takovém případě lze použít úspěšně metodu prahování s proměnným prahem.

Princip této metody spočívá v rozdělení zdrojového obrazu na několik částí. V každé z těchto nově vzniklých částí se výpočet prahů pouze pro danou oblast jako průměr maximální a minimální hodnoty jasu v oblasti. Může ovšem také nastat situace pro některé oblasti, že rozdíl maximální a minimální hodnoty jasu bude malý. V takovéto oblasti by určení prahu nebylo přesné (v oblasti jsou pouze pixely pozadí nebo pixely objektů). V takovém případě se hodnota prahu stanovuje jako průměr prahů z okolních oblastí.

### Zpracování binárních obrazů:

Binárním obrazem nazýváme takový obraz, v němž obrazová funkce v každém bode (pixelu) nabývá jedné ze dvou možných hodnot. Binární obrazy jsou zpravidla výsledkem metod provádějících segmentace obrazu (v pixelech náležících objektů, např. obrazová funkce nabývá hodnotu 1, v pixelech pozadí nabývá hodnotu 0). Před tím, než jsou binární obrazy analyzovány, lze je zpracovat některým ze speciálních postupů.

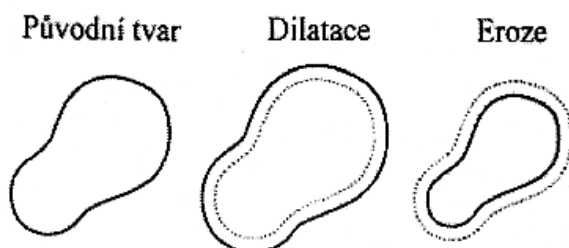
- Matematická morfologie:

Teorie matematické morfologie {Serra J., 1982, 1988, Sojka, 1999) je dosti obsáhlá. Základními operacemi matematické morfologie jsou eroze a dilatace. Tyto operace jsou definovány následujícími vztahy:

$$E = B \otimes S = \{x, y | S_{x,y} \subseteq B\}, \quad (8)$$

$$D = B \oplus S = \{x, y | S_{x,y} \cap B \neq \emptyset\}, \quad (9)$$

Erozi binárního obrazu (8) B za použití masky S vznikne obraz E, který je opět binární. Jednotlivé body binárního obrazu nesou hodnotu 0 nebo 1. V bode o souřadnicích (x, y) je v obraze E hodnota 1, jestliže je



v obraze B hodnota 1 alespoň na těch místech, je hodnota 1 v masce  $S_{x,y}$ . Jinak je v obraze E v bode o souřadnicích (x, y) hodnota 0. Ve vztahu jsou obrazy formálně reprezentovány jako množiny-jedná se o množiny pixelů nesoucích hodnotu 1. Analogicky by bylo možné interpretovat také vztah (9).

Obr. 2. Dilatace a eroze.

Fig. 2. Dilatation and the erosion of the image

Grafická interpretace dilatace a eroze je následující:

- Ztenčování:

Cílem ztenčování je reprezentovat objekty jako lineární útvary. Ztenčování může být realizováno např. pomocí opakované eroze (tj. opakovaným odstraňováním krajních pixelů z objektu). Postup provádění každého erozního kroku je přitom modifikován tak, aby nedošlo k porušení souvislosti objektu. Tutéž akci lze provést pomocí matematické morfologie nebo pomocí filtrace.

### Metody rozpoznávání objektu s využitím neuronových sítí

V souladu se současným trendem, aplikovat neuronové sítě, jsem se rozhodl využít neuronovou síť jako rozpoznávací mechanismus pro modul rozpoznávání zájmových bodů.

- Popis objektu:

Abychom mohli objekty rozpoznávat, musíme je nejdříve popsat. Způsobů popisu objektů je několik. Může to být např. syntaktická a příznaková analýza obrazu.

Syntaktická analýza obrazu používá k popisu objektu posloupnosti primitiv a jejich hierarchickou strukturu. Vytvořený popis se předkládá analyzátoru, který slouží k samotnému rozpoznávání. Analyzátor používá k rozpoznávání gramatiky. Gramatika musí být známa již před započítím rozpoznávání.

Příznaková analýza obrazu předpokládá, že máme k dispozici popis rozpoznávaného obrazu nebo jeho části ve formě vektoru příznaků  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ . Tyto vektory pak předkládáme k dalšímu zpracování, např. klasifikátoru nebo neuronové síti. Proměnné  $x$ , jsou příznakové proměnné a jejich hodnoty pak nazýváme příznaky. Každý příznakový vektor reprezentuje bod v  $n$ -rozměrném prostoru  $X^n$ , který je nazván příznakový prostor.

Příznaky, které lze použít při rozpoznávání, mohou být např. plocha, momentové atributy, obvod, Eulerovo číslo, nekompaktnost, projekce výšky, šířky, výstřednost, podlouhlost a pod.

Na rozpoznávání objektů, pro něž je charakteristické jisté rozložení jasu po ploše objektu lze zvolit jako příznaky odvozené z jasu rozpoznávaného objektu. Jasové atributy mají tu zvláštnost, že i když jsou tyto oblasti známy, jejich hodnoty jasu ukrývají jisté informace, které lze i dále využít. V následujících částech popisují jednotlivé jasové atributy, které lze implementovat.

- o Střední hodnota jasu na ploše objektu.

Jsou daný dva objekty stejného tvaru, velikosti, ale každý z nich má jinou úroveň jasu. Oba dva tyto objekty jsou detekovány metodou segmentace jako testované oblasti. Střední hodnota jasu však tento problém řeší. Jednoznačně odliší tyto objekty od sebe.

$$\mu_b = \sum_{(b)} b \cdot p(b), \quad (10)$$

- o Rozptyl hodnot jasu

Rozptyl hodnot jasu na ploše objektu. Máme dva testované objekty, které mají stejnou střední hodnotu jasu, ale u jednoho z nich jas kolísá a u druhého dosahuje skoro konstantní hodnoty. Použitím tohoto atributu je rozlišení těchto oblastí jasné a snadné.

$$\sigma_b^2 = \sum_{(b)} (b - \mu_b)^2 \cdot p(b), \quad (11)$$

Dále jsem implementoval jasové atributy, které jsou statistickými momenty vyšších řádů (šikmost) a dále atributy počítající energii a entropii. Definice těchto atributů jsou uvedena v následujících vztazích.

- o Šikmost jasu

$$s_b = \frac{1}{\sigma^3} = \sum_{(b)} (b - \mu_b)^3 \cdot p(b), \quad (12)$$

- o Energie jasu

$$E_b = \sum_{(b)} [p(b)]^2, \quad (13)$$

- o Entropie jasu

$$T_b = -\sum_{(b)} p(b) \log_2(p(b)), \quad (14)$$

Ve své práci jsem se rozhodl pro implementaci atributu založeném na Fourierove transformaci průběhu křivosti hranice objektu. Základem pro výpočet atributu je určení křivosti hranice objektu. Z diferenciální geometrie víme, že křivost jednoznačně určuje křivku (až na polohu). Tzv. přiřazená rovnice křivky je:  ${}^1k = {}^1k(s)$ , kde  $k(s)$  je průběh první křivosti (předpokládáme práci pouze s rovinnými křivkami).

Výpočet atributu založeného na Fourierove transformaci průběhu křivosti hranice se dá popsat následujícími kroky:

1. nalezení hranice objektu,
2. preložení křivek (případně úseček) hranici objektu,
3. určení křivosti hranice objektu.
4. Fourierova transformace křivosti hranice objektu.

Výsledkem tohoto procesu je vektor obsahující všechny segmenty proložené hranice. Tento vektor dále slouží jako základ pro výpočet Fourierovy transformace.

- Třívrstvá síť s učením „Back Propagation“:

Do vrstvy vstupních uzlů se zavádí jednotlivé složky vektoru příznaku, a proto je vstupních uzlů tolik, kolik je příznaků. Z výstupní vrstvy se odebírá identifikátor třídy. I když jsou možné i jiné způsoby, často se používá kódování 1 z n. V tomto případě je pak počet neuronů ve výstupní vrstvě roven počtu rozpoznávaných tříd. Počet neuronů ve střední skryté vrstvě (případně vrstvách) se zpravidla volí na základě zkušenosti.

- Kompetitivní síť a Kohonenovo učení:

Kompetitivní síť je tvořena dvěma vrstvami neuronů, kde spodní reprezentuje vstupní jednotky, které jsou propojeny se všemi neurony vrstvy výstupní, ve které jsou opět všechny neurony vzájemně propojeny. Každý neuron výstupní vrstvy je napojen sám na sebe tzv. sebeexcitující vazbou a inhibičními vazbami k ostatním neuronům. Tento způsob propojení vede k posilování excitace neuronu, který byl na začátku excitován nejvíce. Nakonec je tento neuron vyexcitován na maximum a ostatní jsou úplně potlačeny (tento jev se nazývá laterální, postranní inhibice). Každý neuron pak reprezentuje nějaký objekt nebo třídu objektu ze vstupního prostoru.

#### Rozpoznávání zájmových bodů

Postup při rozpoznávání zájmových bodů můžeme rozdělit na:

- o rozpoznávání zájmových bodů přímo ze světelné stopy,
  - o rozpoznávání zájmových bodů pomocí neuronové sítě.
- Rozpoznávání zájmových bodů přímo ze světelné stopy:
 

Tento postup je vhodný v případě, kdy nelze měřený objekt dostatečně dobře separovat, a proto je nutné postupovat opačně, tzn. určit zájmové body nebo body definující měřený objekt a potom z nich nadefinovat měřený objekt. K tomuto účelu je postupováno tak, že v místech, kde se bude nacházet předpokládaný zájmový bod určíme tzv. zájmovou oblast ve tvaru obdélníku pomocí standardních prostředků (použití myši, zvětšení snímku) anebo použijeme polohu zájmového bodu z předchozího snímku. Zájmovou oblast určujeme přidáním nebo odečtením určitého počtu pixelů po souřadnicích x, y. Takto nadefinovaná zájmová oblast obsahuje světelnou stopu, která představuje množinu potenciálních zájmových bodů.

Dále je zpracován obraz zájmové oblasti. K tomu jsou použity prostředky popsané v předchozích kapitolách, tzn. výpočet prahu a prahování oblasti, zpracování binárního obrazu - eroze světelné stopy. Takto zpracovaná světelná stopa obsahuje body, které mají nejvyšší jas. Novým zájmovým bodem se stane ten hraniční bod ze světelné stopy, který je nejbližší k výchozímu bodu. Budeme-li ale měřit objekty, které tvoří souvislou oblast, např. na rentgenových snímcích, postup je obdobný, ale s tím rozdílem, že světelná stopa, která vzniká, tvoří souvislé pole.
  - Stanovení zájmových bodů pomocí neuronové sítě:
 

Tento způsob rozpoznání lze s úspěchem použít v případě, že měřený objekt lze dostatečně dobře separovat. Samotné stanovení zájmových bodů je provedeno tak, že nejdříve je objekt na snímku rozpoznán a potom jsou

zpětné z hraničních bodů stanoveny jednotlivé zájmové body rozpoznávaného objektu. I zde musíme nejdřív provést zpracování obrazu. K tomu účelu použijeme prostředky popsané v předchozích kapitolách, tzn. výpočet prahu a prahování obrazu, zpracování binárního obrazu - ztenčení světelné stopy. Tento postup patří do příznakového rozpoznávání. Vstupní vrstva neuronové sítě je tvořena příznaky popisující rozpoznávaný objekt. Výstupní vrstvu tvoří neurony definující jednotlivé rozpoznávané objekty.

### Rozpoznávání zájmových bodů a objektů na fotografii v systému FOTOM

#### Modul FOTOM 1 - implementace prahování

Modul FOTOM 1 pracuje s naskenovanou fotografií důlního profilu a umožňuje na něm určovat polohu zájmových bodů a zájmových objektů, případně i další parametry. Následně pak do tohoto modulu byly přidány nové vlastnosti. Článek se zabývá právě doplněním systému o nové funkce.

- Určování zájmových bodů:

Modul FOTOM 1 používá k určení polohy zájmového bodu myš. Uživatel musel původně najít sám přesnou polohu zájmového bodu na světelné stopě (u systému FOTOM 2000). To se ovšem při velkém počtu snímků důlních profilů stává dosti pracné. Aby byla chyba měření co nejmenší musel uživatel najít tyto body co nejpřesněji. U modulu FOTOM 1 jsou zachovány všechny funkce, navíc byla přidána možnost výběru zájmového bodu pomocí označení oblasti, ve které se hledaný bod nachází. Systém po analýze dané oblasti, v místech, kde pomocí segmentace obrazu zjistil světelné stopy, sám vybere jeden z bodů na světelné stopě. V modulu FOTOM 1 ve verzi FOTOM 2001 je tato funkce nazvaná „speciální zadávání oblastí“.

Do nástrojové lišty modulu FOTOM 1 byla proto přidána další tlačítka a to pro režim speciální editace bodu a modul pro automatickou analýzu.

- Speciální zadávání bodů:

Pro zadání oblasti se opět využívá dvou tlačítková myš (obr.3). Stiskem levého tlačítka se určí výchozí bod obdélníku. Dále při stisknutí tlačítka a tažením myši si uživatel označí oblast, která je po uvolnění tlačítka automaticky zpracována.

Po zvolení tohoto režimu se určí práh pro celou oblast (tzv. globální práh), který může uživatel ponechat nebo změnit dle vlastního uvážení. Je-li po analýze nalezen zájmový bod, objeví se v dialogovém okně (obr. 3) jeho souřadnice a uživatel je může buďto ponechat nebo změnit. Pomocí daného dialogového okna lze navíc změnit lokální práh, který slouží k výběru světelných stop (objektu popředí), Taktéž lze zde měnit barvu označení vybraného bodu.

Při úspěšné analýze je vybraná oblast dočasně překreslená oblastí, jež vznikla po segmentaci obrazu. Je-li navíc vybraná oblast menší než 100 x 100 pixelů je následně nakreslena do zvláštního okna a dvojnásobně zvětšena.

Nad vybranou oblastí jsou prováděny tyto operace:

Prahování je zde použita metoda prahování s proměnným prahem. Jako první se určí globální práh pro celou fotografii a pak práh pro každou vybranou oblast - tzv. lokální práh.

Eroze v systému je začleněna s určitými úpravami. Eroze je prováděna jen jedním směrem, a to od výchozího vrcholu po úhlopříčce směrem k vrcholu protilehlému. Eroze se provádí tak dlouho, dokud lze z oblasti odstraňovat body tak, aby nedošlo k porušení souvislosti oblastí.

Výběr zájmového bodu po uskutečnění operací prahování a eroze je pak zájmovým bodem určen ten, který má od výchozího bodu nejmenší vzdálenost  $v$ . Ta se určuje podle klasického vztahu:

$$v = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (15)$$

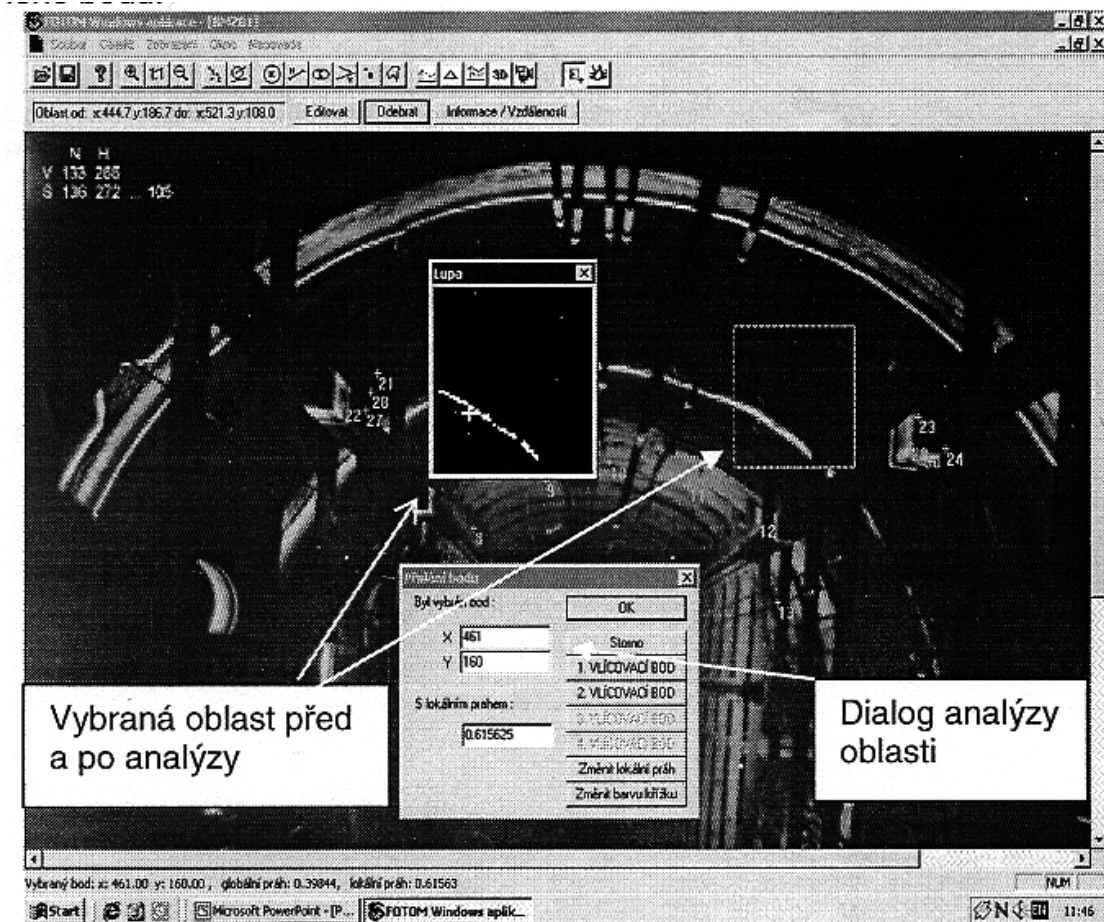
#### Modul FOTOM7

U důlní fotogrammetrie je při každém měření nafoceno velké množství snímků, cca 100 a více. Proto bylo snahou vyřešit pomocí automatického zpracování naskenovaných snímků definování zájmových bodů a objektů. To je úloha, kterou řeší modul FOTOM7.

- Funkce modulu:

Modul nejdřív načte výchozí hodnoty, které uživatel vytvořil nad jiným, již dříve zpracovaným snímkem. Pak provede nad zbývajících vybranými snímky analýzu, při které na novém snímku vyhledá polohu vřícovacích bodů, které jsou definovány z předchozích snímků. Systém tedy zná přibližnou polohu zájmového bodu a provádí pouze jeho dohledání v předem určené oblasti. Pokud najde bod, který vyhovuje, nastaví jej jako zájmový bod hledaného snímku. V případě, že bod není nalezen, je nastaven jako zájmový bod ten bod z předchozího snímku.

Celý proces je rozdělen do několika částí podle volby uživatele.



Obr. 3. Výběr a analýza oblasti.

Fig. 3. The selection and analysis of the area.

- Možnosti modulu:
  - o zkoumání světelných stop - pomocí prahování a eroze se určí oblast, která patří do popředí (čili světelné stopy) a pak se určí bod, který je nejbližší výchozímu bodu. V tomto případě se ale nejedná o jeden z vrcholů oblasti, výchozí bod tentokrát leží ve středu oblasti. Z tohoto důvodu už nelze dělat erozi jen jedním směrem, ale musí se provádět standardní metodou (eroze a dilatace). Prahování se provádí obdobně, jak je to uvedeno u předchozího modulu.
  - o pomocí neuronové sítě - nad obrazem se opět provede prahování a eroze, navíc se zde určuje hranice oblasti (krivka). Modul Těší určení hraniční krivky gradientní metodou s využitím první derivace. Následně se určí průběh křivosti této hranice a nakonec je pomocí Fourierovy transformace určená samotná hraniční křivka. Ta je vstupem do neuronové sítě. Výsledkem pak je zájmový bod, který leží na této křivce.

Dále u automatické analýzy můžeme nastavit, který naměřený snímek považujeme za výchozí pro další snímky. Opět se zde vyskytují dvě možnosti:

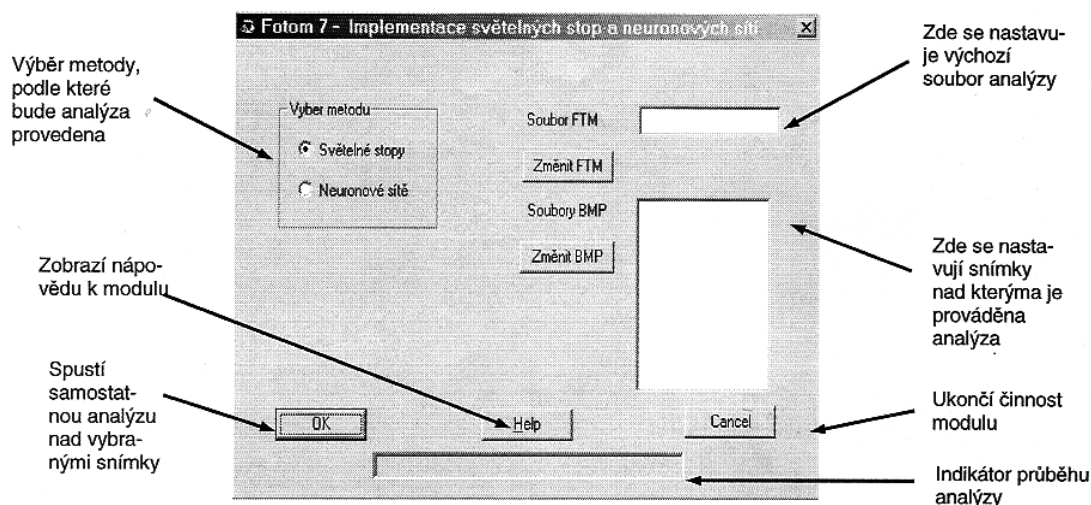
- o pro analýzu daného snímku se použijí naměřené hodnoty ze snímku předcházejícího,
- o pro analýzu všech snímku se použijí stejně naměřené hodnoty, a to z výchozího měření.

Metodu vybereme podle toho, zda jsou snímky dostatečně kvalitní. Mají-li snímky určité zkreslení, které se projevuje stále víc a víc s následujícími snímky, použijeme 1. metodu/zkoumání světelných stop/, která tyto chyby úspěšně eliminuje. Ale při chybném určení zájmového bodu u jednoho snímku se může tato chyba projevit i u snímku následujících. Při použití 2. metody /použití neuronové sítě/za předpokladu, že snímky jsou kvalitní a nevykazují velké zkreslení lze i při zamlžení určitého snímku odstranit vzniklou chybu a u ostatních kvalitních snímků eliminovat.

Tento modul slouží pouze k vytvoření měřičských souborů (mají příponu „.FTM“), které jsou kompatibilní se soubory, vytvořenými modulem FOTOM 1, pomocí kterého je lze prohlížet, či při chybě jednoduše opravit. Vzhled modulu je ukázán na obr. 4:

Po zmáčknutí tlačítka „OK“ se zobrazí další dialog, ve kterém je nutno zadat jméno souborů, které budou při analýze vytvořeny. Vytvořené soubory mají následující tvar: <zadané\_jméno+index>.FTM. Index je generován automaticky: buď je to číslo, které označuje pořadí analyzovaného snímku, nebo má tvar posloupnosti přiřazených čísel, začínajících 1. V tomto dialogu se také volí i výchozí naměřený snímek pro další snímky.

- Vnitřní chod modulu:
  - o Metoda světelných stop: Je zde použita obdobná metoda jako v modulu FOTOM 1, hlavní rozdíl je v tom, že velikost analyzované oblasti nezadává uživatel, ale je napevno zvolená (po mnoha pokusech byla zvolena oblast o rozměrech 40 x 40 pixelů). Druhý rozdíl spočívá ve volbě výchozího bodu analýzy, který je zde umístěn do středu zkoumané oblasti. Důvod je ten, že střed oblasti nám vlastně představuje zájmový bod z předchozího měření a je nutno najít nový, který by mu svou polohou vyhovoval - čili nejbližší bod.
  - o Neuronové sítě: na rozpoznání je zvolena metoda backpropagation. Funkci modulu lze charakterizovat následovně: hlavním cílem je najít opět zájmový bod, který by odpovídal zájmovému bodu z předchozího měření. Pro každý bod z předchozího měření máme zjištěno to, že tento bod leží na přímce nebo na křivce. Opět vycházíme z oblasti, která je pevně zvolená, a to 40 x 40 pixelů, jejímž středem je zájmový bod z předchozího měření. Po prahování a erozi se zjistí hranice oblasti, dále průběh křivosti této hranice a nakonec pomocí Fourierovy transformace hraniční křivka oblasti. Ta je vstupem do neuronové sítě, výstupem je pak informace, zdá se jedná o přímku či o křivku. Tato výstupní informace se pak porovná s údajem, uvedeným pro hledaný bod (leží buď na přímce nebo křivce). Jestli údaje souhlasí, znamená to, že jsme našli odpovídající oblast a určíme zájmový bod jako středový bod dané křivky. V případě, že údaje si neodpovídají, znamená to, že hledaná oblast neexistuje a nový bod je určen jako totožný s bodem z předchozího měření.



Obr. 4. Dialog modulu FOTOM7.

Fig. 4. The dialog box of the module FOTOM7.

- Poznatky z implementace modulu FOTOM 7:

Při použití prvního snímku měření, jako výchozího snímku, mohou nastat tyto případy: Světelná stopa je zřetelná a výrazná, na všech snímcích nenastává žádný problém při rozpoznávání (bod 3 na obr. 5a). V okamžiku, kdy je stopa zamlžena, může nastat chyba, jelikož systém nemůže žádný bod najít ponechá bod výchozí, tzn. je vysoká pravděpodobnost, že bude ležet jinde, než by měl (bod 3 na obr. 5b). Při analýze dalších snímků pak při světelné stopě dostatečně viditelné se tato chyba může automaticky opravit (obr. 5c). Jiný problém nastává v situaci, kdy je na snímku světelná stopa zamlžena, ale jiná je zřetelná. Pak je zájmový bod určen někde jinde a tato chyba se může odrazit i při analýze ostatních snímků.

Při použití předchozího snímku jako výchozího snímku. Největší problém spočívá v tom, že předchozí chyba v měření může ovlivnit následující měření. Najde-li se bod někde jinde, je pak tato informace použita pro následující měření a ostatní body mohou být nalezeny s toutéž systémovou chybou.

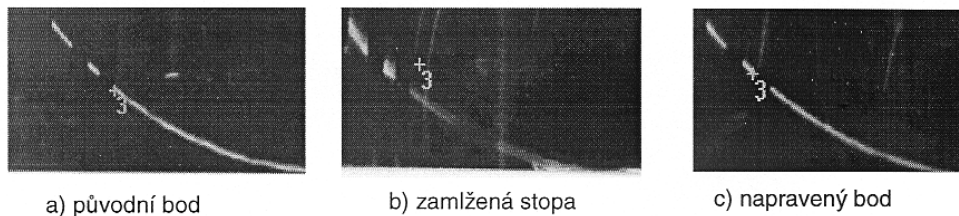


Při měření v případě, že máme více zájmových bodů v analyzované oblasti, může dojít k té chybě, že po analýze na více snímcích jsou tyto zájmové body uloženy jako totožné (obr. 6- body 21, 22, 27, 28). To se pak musí napravit ruční editací jednotlivých snímků. Tuto chybu lze snadno detekovat v modulu pro 2D modelování procesu měření.

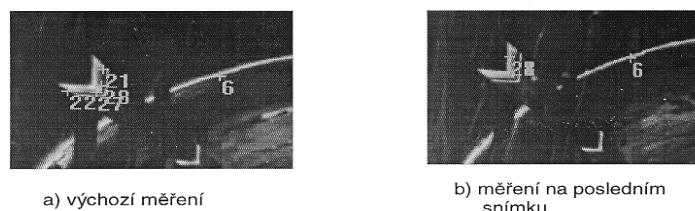
### Architektura systému FOTOM2001

System FOTOM 2001 vznikl doplněním systému FOTOM 2000 o modul FOTOM 1, o další funkci s další moduly FOTOM5, FOTOM6 a FOTOM7. Tyto moduly dovolují provádět tyto úlohy:

- Modul FOTOM1 - označení zájmových bodů a objektů.  
Modul FOTOM1 slouží ke zpracování snímku ve formátu BMP. Zde označuje na snímcích zájmové body, zájmové objekty, dále výpočty vzdáleností, uhlu atd. V panelu nástroje tohoto modulu jsou umístěny ikony pro spuštění ostatních pěti modulů aplikace.
- Modul FOTOM2 - 2D modelování procesu měření.  
V tomto modulu lze zobrazit hodnoty parametru, vzdálenosti a uhlu zájmových objektů na obrazovce ve formě grafu, tyto grafy lze vytisknout na tiskárně. Dále může prohlížet hodnoty z grafu v tabulkách a ty ukládat do souboru.
- Modul FOTOM3 - 3D modelování procesu měření.  
Tento modul slouží pro trojrozměrné zobrazení jámy v prostoru s možností další manipulace se zobrazeným modelem.
- Modul FOTOM4 - animace procesu měření.  
Modul slouží pro 2D animaci série snímků a objektu.
- Modul FOTOM5 - měření hodnot odchylek.  
Modul FOTOM5 byl vytvořen pro zobrazení a další zpracování hodnot odchylek parametrů zájmových objektů od průměrných nebo projektových hodnot vhodně zvolených pro dané měření.
- Modul FOTOM6 - porovnání dvou měření  
Modul FOTOM6 slouží pro porovnání dvou měření, skládajících se ze série snímků, převedených na stejném objektu, shodujících se počtem snímků, metodou měření, měřicím intervalem a posloupností vzájemně korespondujících snímků.
- Modul FOTOM7 - rozpoznávání zájmových bodu objektu na snímku.  
Modul FOTOM7 slouží na rozpoznávání zájmových bodu objektu a objektu na snímku.



Obr. 5. Automatické rozpoznání 1.metodou.  
Fig. 5. Automatic recognition by the method 1.



Obr. 6 Automatické rozpoznání 2.metodou.  
Fig. 6. Automatic recognition by the method 2.

### Závěr

Rozpoznávání zájmových bodů nebo zájmových objektů na snímku je činnost velmi složitá a důležitá, neboť na ni záleží efektivnost a rychlost zpracování fotografické informace. Výše uvedené metody a algoritmy

byly před implementací do systému experimentálně ověřeny. V předloženém článku je popsána jejich aplikace v prostředí systému FOTOM2001.

Dosažené výsledky potvrdily správnost postupu a takto vzniklý systém lze úspěšně využívat při měření objektu fotogrammetrickou metodou. Fotogrammetrický systém FOTOM2001 byl vypracován na Katedře informatiky FEI VŠB TU Ostrava.

Vývoj fotogrammetrického systému FOTOM přispívá k vyřešení konkrétních požadavků kladených na jednosnímkovou fotogrammetrii, jako ucelený systém na kvalitativně vyšší úrovni, než jsou stávající technické a softwarové prostředky.

#### Literatura - References

- Dudek, R, Pospíšil, J.: Počítačové zpracování fotografie., *Diplomový projekt VŠB-TU Ostrava, 2001.*
- Ličev, L., Holuba, T.: Nové řešení důlní fotogrammetrie na PC, 2/1998, *URGP Praha.*
- Ličev, L.: New approaches to mining photogrammetry using PC, 5 *nacionalna konferencija Varna'98, MGU Sofía.*
- Ličev, L., Holuša. T.: Fotogrammetrické měření důlních jam, *Konference GIS'99 VŠB TUO, HGF, 1999.*
- Ličev, L.: Fotogrammetrie na PC., 4/1999, *Acta Montanistica Slovaca, Košice, 2000.*
- Ličev, L.: Počítačové zpracování fotografie., *Habilitační práce, 2000, HGF VŠB TU v Ostrave.*
- Ličev, L.: Recognition of point and objects on the photography, International conference - Modern Management of Mine Producing, *Geology and Environment Protection, SGEM 2001, Varna, Bulgaria.*
- Ličev, L.: FOTOM2001 a rozpoznávání zájmových objektů, 9. ročník s mez. účastí GIS Ostrava 2002, *HGF VŠB TU Ostrava.*
- Serra, J.: Image Analysis and Mathematical Morphology, *Vol. 1, Academic Press. New York, 1982.*
- Serra, J.: Image Analysis and Mathematical Morphology, *Vol. 2. Academic Press. New York, 1988.*
- Sojka, E.: Digitální zpracování obrazu, *skripta FEI VŠB-TU Ostrava, 1999.*
- Šmidrkal J.: Fotogrammetrie I,II,III, *Teoretické základy, ČVUT Praha., 1985.*