
System FOTOM 2008 a vizualizace procesu měření

Lačezar Ličev¹

Anotace

The paper acquaints us with the area of scientific photogrammetry, especially with mining and digital photogrammetry. By making use of knowledge from this area, the system FOTOM 2008 was developed, which serves largely for measuring profiles of vertical mining holes using photogrammetry, newly, also for measuring data in other spheres. In the paper, the system is described along with its functions.

Key words: Objekt, objekty, vizualizace, proces, prezentace, odchylky, 2D model, 3D model, animace, snímky, segmentace obrazu, prahování, binární obraz, matematická morfologie, syntaktická analýza, příznaková analýza, atributy jasu, rozpoznávání, neuronová síť, zájmový bod, zájmový objekt, architektura.

1. Úvod

Hlavním úkolem vizualizace procesu měření je prezentovat naměřené údaje, a to zcela jiným způsobem než jsou výsledky měření zobrazovány v tabulkách nebo sestavách. Přímá řeč čísel je sice jasná, avšak vyjádření výsledků měření i grafickou formou může mít někdy větší vypovídací hodnotu. Článek se zabývá moderními metodami při zpracování snímku v rámci měření objektů na něm.

2. 2D modelování

Objekty:

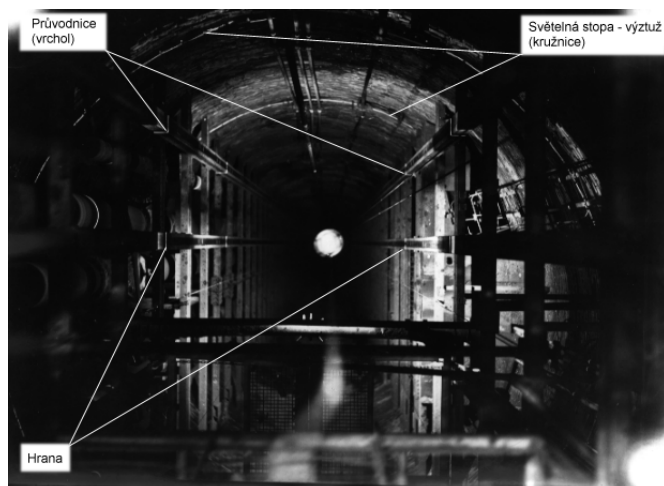
Je navrženo šest druhů zájmových objektů: samostatný bod, hrana, vrchol, kružnice, elipsa a polygon. Tyto objekty se definují v režimu editace bodů označením určitého počtu zájmových bodů a vyvoláním příkazu pro vytvoření určitého druhu objektu. Popis jednotlivých druhů zájmových objektů:

- **bod**
Nejjednodušší objekt, prostě bod. Sledovaným parametrem je souřadnicová poloha bodu na snímku.
- **Hrana**
Objekt daný dvěma body tvořícími úsečku. Sledovaný parametr je poloha středu této úsečky.
- **Vrchol**
Jedná se o průsečík dvou přímek, kde každá přímka je dána dvěma body. Vrchol je tedy definován čtyřmi body. Sledovaným parametrem je poloha tohoto vrcholu.
- **Kružnice**
Sledovanými parametry kružnice jsou poloha jejího středu, poloměr kružnice, plocha kružnice a také její intenzita. Kružnice je dána alespoň třemi body.
- **Elipsa**
Sledovanými parametry elipsy jsou poloha jejího středu, délka hlavní a vedlejší poloosy, úhel natočení hlavní poloosy od osy x, dále plocha elipsy a také její intenzita. Elipsa je dána pěti body.
- **Polygon**
Polygon je uzavřená hranice vytvořená spojením n bodů n-1 hranami. U polygonu sledujeme polohu jeho těžiště, plochu, kterou zabírá a také intenzitu polygonu. Křivost určuje prohnutí křivek, které prokládají hrany polygonu.

Společným parametrem všech zájmových objektů je pozice jejich středu v rámci snímku. Při práci s měřickým snímkem budeme nejčastěji využívat ty objekty, které mají vnitřní plochu (kružnice, elipsa a polygon). Tyto objekty jsou vhodné pro

označení světelné stopy na snímku. Tyto objekty mají svůj obsah, a proto je lze použít k výpočtu objemu, např. důlní jámy, jež zabírá v zemi. Tytéž objekty mohou mít definovány kromě obsahu i parametr intenzity, jehož využijeme v jiných oborech, a to např. v lékařství, kde můžeme určovat velikost a intenzitu novotvarů na rentgenovém snímku. V tomto případě pak jako interval měření používáme časový interval (datum nebo čas).

Příklad snímku, na kterém jsou zobrazené některé ze zájmových objektů uvádí *Obr. č. 1*.



Obr. č. 1: Snímek profilu jámy - druhy zájmových objektů.

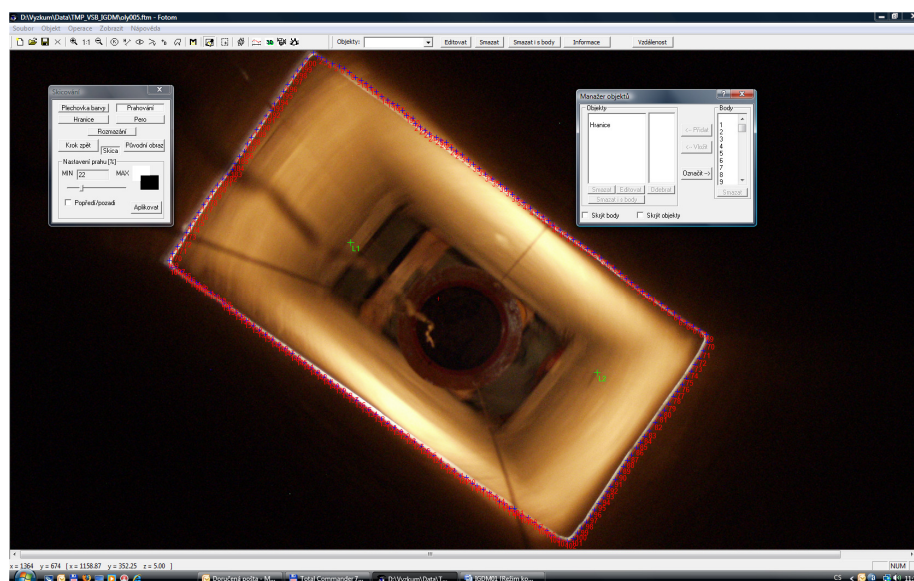
Relativní natočení objektů

Profil důlního díla má např. kruhový tvar. Pokud je jáma zdeformována ohybem a my se na ní díváme z boku, můžeme dojít k různým výsledkům. V takovémto případě záleží z jakého úhlu se díváme. Pokud se budeme dívat z mezního úhlu (0°), bude se i prohnutá kanálová plocha jevit jako nezdeformovaná. Proto by byla na místě možnost volby úhlu pohledu, ze kterého se na daný zájmový objekt díváme, tzv. **relativní natočení**.

Vzdálenosti mezi objekty

Neméně významnými ukazateli pro zjištění deformací důlního díla jsou **vzdálenosti mezi středy zájmových objektů** v jednotlivých profilech. Ty mohou přinést další údaje o celkové statice důlního díla. Parametry jednotlivých zájmových objektů poskytují informace o změně geometrických vlastností samotných objektů, rovinné vzdálenosti mezi různými objekty poukazují na změnu vzájemné pozice (středů) těchto objektů v rovině profilu. Pokud zobrazíme graf na jehož y-ové ose zobrazíme příslušnou vzdálenost mezi dvěma objekty pro každý měřený profil na ose x, získáme přehled o vzájemné změně polohy obou objektů v rámci všech profilů najednou.

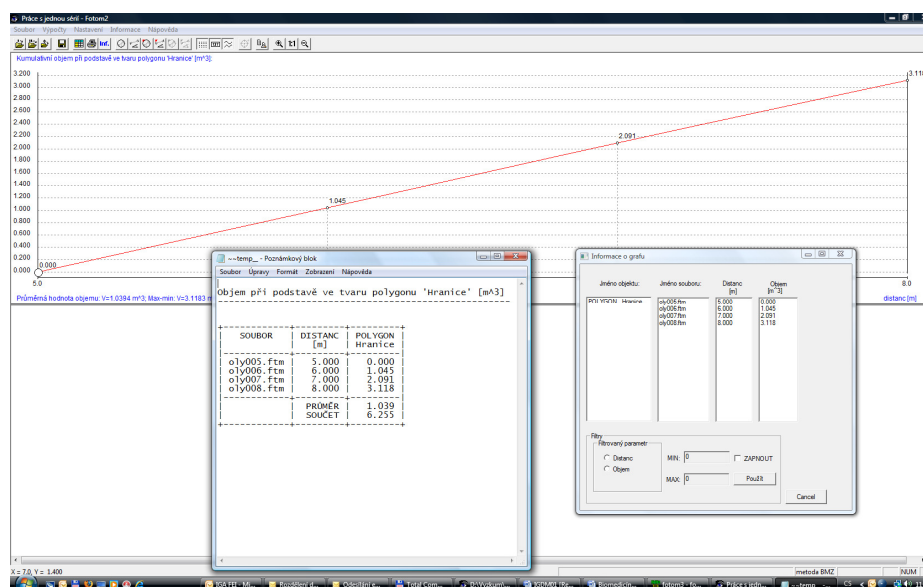
Moduly systému FOTOM 2008, které řeší problematiku 2D modelování jsou FOTOM1 a FOTOM2, viz. *Obr. č. 2*.



Obr. č. 2: Modul FOTOM1 – označení zájmových bodů a objektů.

2.1. Měření objektů na sérii snímků

V tomto modulu uživatel provádí syntézu více snímků. 3, (Židek R.: 2008). To znamená, že může sledovat změnu všech parametrů zájmových objektů v závislosti na hloubce pořízení snímku - má možnost „celkového pohledu“ na zájmové objekty v jámě v celé délce proměřovaného úseku.



Obr. č. 3: Modul FOTOM2 – 2D modelování procesu měření.

Na obr. č. 3 je zobrazeno hlavní okno modulu FOTOM2 - graf závislosti parametrů kružnice „kr3“ na hloubce pořízení sedmi snímků. V horní polovině okna jsou grafy vyjadřující polohu středu kružnice jako souřadnice x a y, v dolní polovině okna je graf poloměru této kružnice. Tento modul dále umožňuje tisk aktuálně zobrazených grafů, prohlížení tabulek hodnot těchto grafů a výstup těchto tabulek do textových souborů nebo tiskových sestav.

2.2. Měření odchylek objektů na sérii snímků

Provádíme-li měření jámy pomocí fotogrammetrických metod, vedle přímých hodnot parametrů zájmových objektů nás zajímají také i odchylky těchto hodnot od pevně stanoveného zvoleného průměru nebo projektových hodnot. Například odchylka od průměrné hodnoty může odhalit v důlní jámě místa deformace.

Při výpočtu odchylek je důležité určit správně průměrnou hodnotu, ke které se odchylka vztahuje. První a nejjednodušší možností je volba aritmetického průměru naměřených hodnot. Dále můžeme označit soubor charakterizující dané měření pro nás vhodným způsobem jako projektový soubor a za průměrnou hodnotu použít hodnotu parametru z tohoto souboru.

- **Odchylky od vypočteného aritmetického průměru**

Aritmetický průměr získáme dělením součtu hodnot parametrů v celé sérii snímků počtem snímků v sérii. Získáme tak střední hodnotu parametru, se kterou však většinou žádná z hodnot parametrů není shodná a vykazuje vůči ní odchylku. Tyto odchylky nabývají vždy jak kladných, tak i záporných hodnot. Jestliže použijeme aritmetický průměr pro výpočet odchylek, můžeme z jejich velikosti snadno zjistit například místa největších deformací v jámě apod.

- **Odchylky od projektovaných hodnot**

V tomto případě je místo průměrné hodnoty pro výpočet odchylek brána hodnota parametrů ze souboru charakterizujícího projektovaný stav. Tento soubor nazýváme *projektový* a hodnoty parametrů uložené v něm odpovídají hodnotám projektivím.

Při použití této metody je nutné přesně vytvořit projektový soubor tak, aby hodnoty v něm uložené určily skutečné hodnoty odchylek, ze kterých je možné zjistit změny stavu měřeného objektu apod.

2.3. Syntéza dvou měření

V některých případech nám ovšem ani odchylky od průměrných nebo projektových hodnot nestačí. Jestliže například potřebujeme zjistit změny hodnot parametrů zájmových objektů, které nastaly od minulého měření, a to v každém bodě měřicího intervalu. V tomto případě je vhodnější zobrazit parametry z aktuálního měření do jednoho grafu spolu s parametry z měření dřívějšího, oproti kterému chceme zjistit změny.

3. 3D modelování

K zobrazení trojrozměrné scény (3D) na monitoru počítače (Hlavaček, L., 2008), který má fyzickou schopnost zobrazovat pouze dvojrozměrné objekty, je nutno tuto 3D scénu převést. K tomuto účelu se v počítačové grafice užívá promítání. Promítáním rozumíme zobrazení vektoru (x',y',z') $\rightarrow (x,y)$.

Ve světě postupem času vznikaly také různé nástroje pro zobrazení dat do 3D prostoru. Některé z těchto nástrojů pro zobrazení, se vyvinuly v nástroje analytické. Jedním z takových nástrojů je Bioimage Suite vyvinutý na Yale University School of Medicine. Nástroj se specializuje na zobrazování a analýzu medicínských dat. Tento nástroj se stal inspirací k mnoha nápadům, které z modulu FOTOM 3 udělat analytický nástroj.

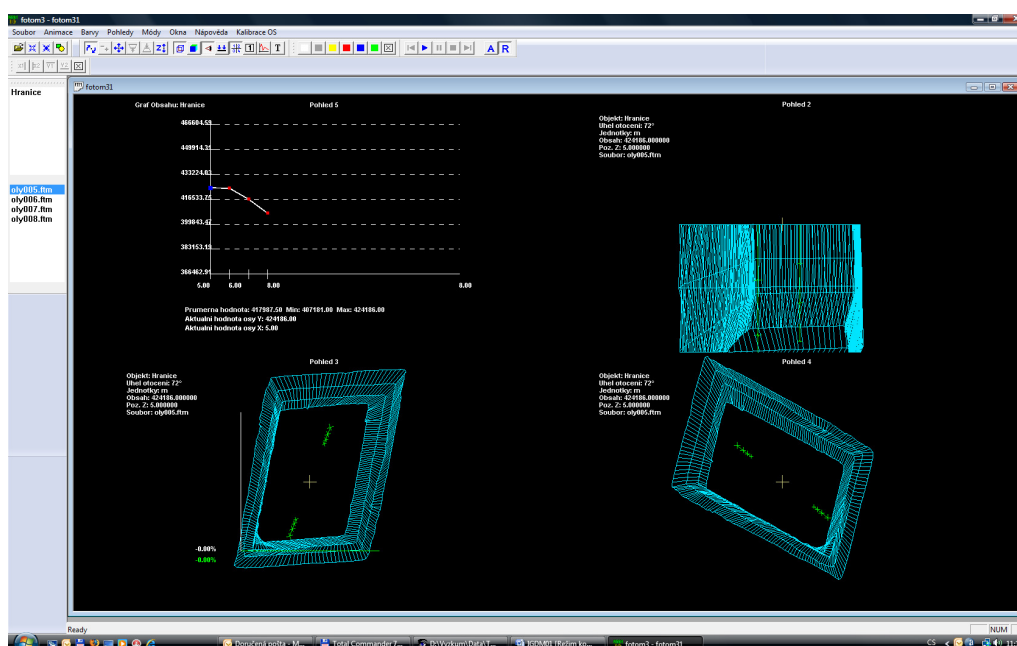
Přebudováním modulu FOTOM3 na plnohodnotný analytický nástroj, do kterého byly zabudované nové druhy pohledu na objekty. Ty pohledy dají lepší představu o tom, jak objekt vypadá a umožní nám provádět analýzu objektů. Neméně důležitým aspektem je zavedení do jednoho pohledu jistý stupeň analýzy pomocí grafů, který byl doposud možný jen v modulu FOTOM2.

Na těchto grafech by se měli zobrazovat hodnoty měření vybraného objektu v určitém počtu snímků. Toto je velmi důležitá vlastnost, protože nám dává možnost zjistit jaké má objekt reálné hodnoty. Doslova jsme tak schopni zanalyzovat objekt, který vidíme, aniž bychom museli spouštět jiný modul určený pro analýzu dat a složitě v něm hledat ony potřebné informace.

Dalším důležitým cílem je zavést zpětnou vazbu mezi jednotlivými pohledy a také mezi zobrazovanými objekty a snímky, ve kterých jsou data uložena. Tato vazba by měla být zajištěna vybíráním jednotlivých objektů pomocí myši. Vazba bude zajišťovat okamžitou aktualizaci dat do všech pohledů. V praxi to znamená, že pokud myší vybereme nějaký objekt, tak se nám o něm okamžitě zobrazí informace v ostatních pohledech a vykreslí se graf pro tento objekt. To nám umožní provádět již zmíněnou analýzu dat.

Jedním z cílů je také zabudovat procentuální měření odchylek vybraných objektů do jednoho z pohledů. Měření odchylek je především žádané při proměřování šachet v hornictví. Ovšem lze ho s úspěchem použít ve stavebnictví ale i v lékařství. Vedlejším cílem je zpříjemnit uživatelské rozhraní a rozšířit modul o další užitečné funkce zpříjemňující práci s programem.

Modul systému FOTOM 2008, který řeší problematiku 3D modelování je FOTOM3, viz. Obr. č. 4.



Obr. č. 4: Modul FOTOM3 – 3D modelování procesu měření.

4. Animace procesu měření

Počítačová animace obecně

Vznik oboru počítačové grafiky nazývaného počítačová animace se datuje do doby, kdy byly počítače poprvé použity jako pomocníci animátorů, kteří se zabývají klasickou dvojrozměrnou animací. Z tohoto důvodu by bylo vhodnější spíše než počítačová animace říkat počítačem podporovaná animace, protože počítač je používán jako nástroj, a ne něco, co samo aktivně tvoří (Beneš B., 1999).

Podle způsobu, jak jednotlivé algoritmy řeší úlohy pohybu, můžeme rozdělit počítačovou animaci na nízkoúrovňovou a vysokoúrovňovou. Na nižší úrovni se například zabýváme tím, jak se pohybuje hmotný bod po křivce, jak se chová látka, která pokrývá virtuální figurku, jak padají kapky vody z mraku na zem, jak se mezi sebou odrážejí kameny vyletující ze sopky, jaký tvar má oheň aj. Animace na vyšší úrovni je založena na animaci nízkoúrovňové tak, že dílčí úlohy jsou chápány jako jakési bloky, které se nemusejí řešit a z nichž se skládají pohyby komplikovanější. Na vyšší úrovni se zabýváme například tím, jak má nějaká ruka uchopit objekt, například virtuální panáček virtuální sklenici virtuálního nápoje. Řešení kolizí, výpočet dynamiky

pohybu atd. přenecháváme algoritmům nižší úrovně. Nejde tedy o dva oddělené světy, ale vyšší úroveň je přímo založena na úrovni nižší. Mezi vyšší animační techniky patří zejména inverzní a přímá kinematika.

Využití animace ve fotogrammetrii

Hlavním úkolem je pomocí animace prezentovat naměřené údaje, a to zcela jiným způsobem než jsou výsledky měření zobrazovány v grafech. Druhý případ snímkové animace má již praktičtější využití. Každý digitalizovaný měřický snímek je podroben rotaci, změně měřítka a nakonec při zobrazování i posunu v obou osách. Touto transformací zajistíme, že snímky budou na sebe navzájem správně navázány a při spuštění animace docílíme vjemu pohybu šachtou apod.

- **Animace objektů**

Animace objektů je stěžejní zobrazovací mód modulu pro animaci FOTOM4. Jedná se o zobrazování nebo animaci zájmových objektů na nějakém pozadí, kterým je často samotný zdigitalizovaný měřický snímek. Takto můžeme názorně analyzovat či prezentovat měření sledováním polohy nebo geometrických vlastností zájmových objektů, prozrazující deformace např. důlního díla a jiné.

Animace rychle za sebou jdoucích snímků měřených profilů spolu s jejich zájmovými objekty má význam hlavně ve spojitosti s výpočtem transformací, které provádíme kvůli zajištění správné vzájemné orientace zobrazovaných objektů. Stejně jako při animaci snímků se i zde jedná o transformace lokálních vlíčovacích bodů na pozici totožných lokálních vlíčovacích bodů v referenčním profilu. Jakmile tedy získáme rotaci, změnu měřítka a posun, použijeme je na transformaci bodů.

- **Animace snímků**

Pod pojmem animace snímků rozumíme zobrazování nebo animaci měřických snímků, ať už jsou transformovány či nikoli.

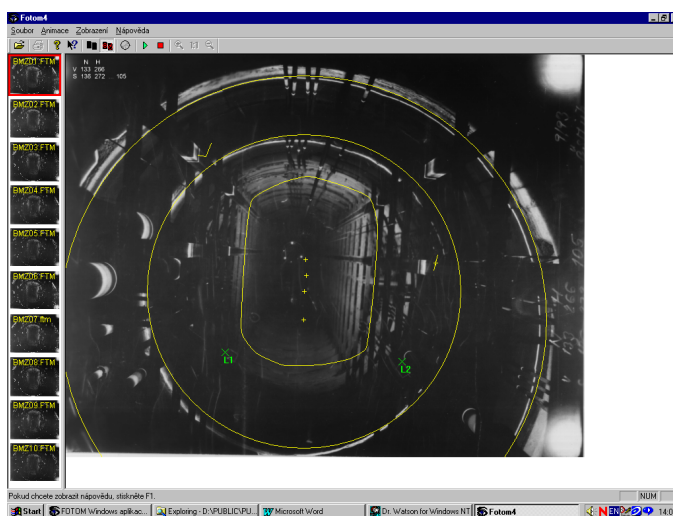
Samozřejmě, že využití animace snímků při prezentaci výsledků měření má smysl hlavně pokud transformace snímků provádíme. Avšak i když tomu tak není, můžeme si při takové animaci udělat základní představu o kvalitě jednotlivých snímků: např. o kvalitě jejich naskenování, také lze vidět rozdílné expoziční doby a přeexponování či podexponování snímků atd. I tady je tedy animace namístě, zvláště když si uvědomíme, že tak ihned dostaneme ucelený přehled o kvalitě celé sady měřických snímků a parametrů zájmových objektů.

Další zvýšení čitelnosti zobrazovaných dat

Pro větší názornost se také používá zobrazování více zájmových objektů z různých profilů současně. Vždy jsou zobrazovány totožné zájmové objekty (tj. jedná se vždy o objekt stejného typu, který je nadefinován ve všech analyzovaných profilech) – navíc profily, jejichž objekty jsou zobrazovány najednou, jsou často voleny tak, že spolu bezprostředně sousedí. Tím získáme ještě větší čitelnost zobrazených informací založenou na předpokladu přímého srovnání pozic anebo geometrických vlastností zájmových objektů z různých profilů. Zájmové objekty každého profilu jsou pak vykreslovány svou specifickou barvou, pro lepší odlišení od objektů z jiných profilů.

Jednou z neposledních možností zlepšení názornosti je cyklická změna pozadí zájmových objektů. Jistě by bylo praktické zobrazovat transformované zájmové objekty na pozadí, které by stále tvořil netransformovaný měřický snímek referenčního profilu. Tak bychom mohli vizuálně porovnat, zda např. vybraný zájmový objekt leží přesně na světelné stopě na snímku. Také však může být výhodné měnit snímky na pozadí častěji po každém n-tém zobrazeném profilu.

Modul systému FOTOM 2008, které řeší problematiku animace procesu měření je FOTOM4, viz. Obr. č. 5.



Obr. č. 5: Modul FOTOM4 – animace procesu měření.

5. Rozpoznávání zájmových bodů a objektů

Rozpoznávání zájmových bodů na snímku je činnost velmi důležitá, neboť na ni záleží efektivnost a rychlost zpracování fotografické informace. V předloženém příspěvku byly popsány metody a způsoby, jak rozpoznávat zájmové body nebo měřené objekty a následně stanovení jejich souřadnic.

5.1. Rozpoznávání zájmových bodů v původním modulu Fotom7 z roku 2001

Rozpoznávání zájmových bodů a objektů bylo realizováno dvěma způsoby a to:

- Rozpoznávání zájmových bodů přímo ze světelné stopy
- 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 souřadnici 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, z něhož byla vytvořena zájmová oblast, bod o souřadnici X_0, Y_0 .

• Stanovení zájmových bodů pomocí neuronové sítě

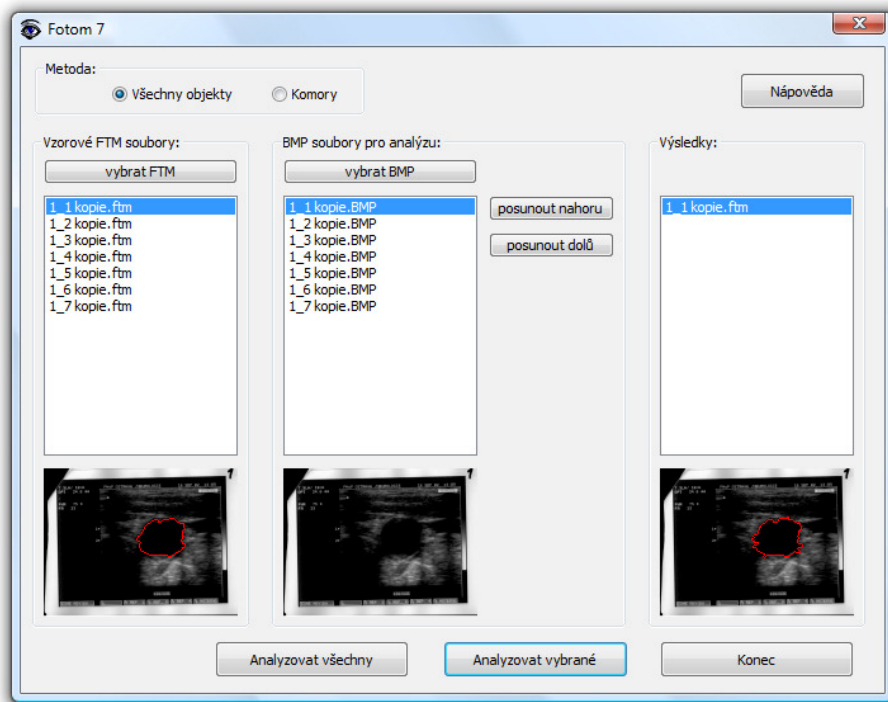
Tento způsob rozpoznání lze s úspěchem použít v případě, že měřený objekt lze dostatečně dobře separovat. Samotné stanovení zájmových bodů je provedeno tak,

že nejdříve je objekt na snímku rozpoznán a potom jsou zpětně z hraničních bodů stanoveny jednotlivé zájmové body rozpoznávaného objektu. I zde musíme nejdřív

provést zpracování obrazu. Vstupní vrstva neuronové sítě je tvořena příznaky popisující rozpoznány objekt a výstupní vrstvu tvoří neurony definující jednotlivé zájmové body a objekty.

5.2. Rozpoznávání zájmových bodů v původním modulu Fotom5/7 z roku 2008

Rozhraní nového modulu na rozpoznávání zájmových bodů a objektů (Sojka, Š. 2008) je následující:



Obr. č. 6: Modul FOTOM5 – Rozpoznávání zájmových bodů a objektů.

Cílem nově vytvářeného modulu je automatizovat zadávání zájmových bodů (Sojka, Š., 2008), a to tím způsobem, že body na novém snímku se budou vyhledávat automaticky na základě jejich polohy při předcházejícím měření. Tím se jednak zvýší objektivita a přesnost měření, jednak se usnadní a zrychlí práce uživatele.

Zadání, jak by měl postup práce s novým modulem vypadat, je následující: první analýzu pracovník provádí ručně a to využitím nástrojů skicování, onager objektů atd. obsazeně v modulu Fotom1. Je žádoucí, aby při prvním měření byly body pečlivě zadány, k tomu je možné využít různých pomůcek, například mřížku. Vytvoří se tak šablona k danému snímku daného místa, která pak slouží jako vodítko k dalším analýzám. U nových snímků se již provede automatické vyhledání bodů. Postup např. u komor je následující:

1. Načtení souřadnice bodů z předcházejícího měření. Body na novém snímku, které mají stejné souřadnice, jako ty z předcházejícího měření.
2. Těmito body proložíme přímkou.
3. Na místa, kde přímka protíná světelné stopy po analýze okolí, označíme nové zájmové body.

6. Architektura systému FOTOM 2008

Systém FOTOM 2008 vznikl doplněním a úpravou systému FOTOM 2007 o další funkci modulů. Tyto nové moduly byly taktéž vypracovány na katedře informatiky FEI VŠB TU Ostrava.

- Modul FOTOM1 – označení zájmových bodů a objektů,
- Modul FOTOM2 – 2D modelování procesu měření, měření odchylek a porovnání dvou měření,
- Modul FOTOM3 – 3D modelování procesu měření,
- Modul FOTOM4 – Animace procesu měření,
- Modul FOTOM5 – Rozpoznávání zájmových bodů a objektů.

7. Závěr

Příspěvek se zabývá moderními metodami použitými při zpracování snímku v rámci měření objektů na snímku.

V příspěvku je popsáno 2D modelování procesu měření. Zde byly stanoveny a popsány objekty na snímku. Interval měření může být podle charakteru měření v metrech nebo v čase (datum nebo hodiny). Dále je v rámci 2D modelování procesu měření vyřešena i otázka relativního natočení objektů. Vedle přímých hodnot parametrů zájmových objektů, nás zajímají také i odchylky těchto hodnot od vypočtených průměrů nebo od projektových hodnot parametrů. Nástroje umožňující měření a modelování těchto odchylek a porovnávání dvou měření na téhož objektu jsou součástí systému FOTOM 2008.

Nový modul na 3D zobrazení FOTOM3 se stal plnohodnotný analytický nástroj, ve kterém byly zabudované nové druhy pohledy na objekty. Ty pohledy dají lepší představu o tom, jak objekt vypadá a umožní nám provádět analýzu objektů. Neméně důležitým aspektem je zavedení do jednoho pohledu jistý stupeň analýzy pomocí grafů, který byl doposud možný pouze v modulu FOTOM2.

Dále je popsáno řešení problematiky počítačové animace a to animace objektů a animace snímků.

Literatura

- Beneš B.: 1999. Počítačová grafika od 2D do 3D – 11. část, CHIP, ročník IX/1999, číslo 3, ISSN 1210-0684
- Hlavaček, L., 2008. Analýza objektu z 3D modelu. Diplomový projekt VŠB-TU Ostrava.
- Kostuřík M., Kubiczek M. a Pospíšil J.: 2000-2001. Počítačové zpracování fotografie. Diplomový projekt VŠB-TU Ostrava.
- Ličev L. a Holuša T.: 1998. Nové řešení důlní fotogrammetrie na PC, 2/1998, URGP Praha.
- Ličev L.: 1998. New approaches to mining photogrammetry using PC, 5 nacionalna konferencija Varna '98, MGU Sofia.
- Ličev L. a Holuša T.: 1999. Fotogrammetrické měření důlních jam, Konference GIS '1999 VŠB-TU Ostrava, HGF.
- Ličev L.: 1999. Fotogrammetrie na PC, 4/1999, Acta montanistica slovac, Košice.
- Ličev L.: 2001. FOTOM 2000 a vizualizace procesu měření., Konference GIS '2001 VŠB-TU Ostrava, HGF.
- Ličev L.: 2001. Fotogrammetriční systémy i vizualizácia na procesa na merene., Konference SGEM Varna, Bulharsko.
- Ličev L.: 2001. Fotogrammetrické měření důlních jam., 7/2001, URGP Praha.
- Ličev L.: 2005. Podrobnější analýza snímků. 12. konference SDMG, Ostrava:VŠB HGF.
- Sojka E.: 1999. Digitální zpracování obrazu, skripta VŠB - TUO, FEI.
- Sojka Š.: 2008. Počítačové zpracování snímků ultrazvuku mozkových komor, dipl. projekt VŠB - TUO, FEI.
- Šejda P.: 2004. Počítačové zpracování fotografie. Diplomový projekt VŠB-TU Ostrava.
- Uhlářová, E. 2008. Rozpoznávání objektů na snímcích ultrazvuku, diplomový projekt, VŠB - TUO, FEI.
- Žára J. a kolektiv: 1992. Počítačová grafika – principy algoritmy, První vydání, Praha, GRADA, 1992. ISBN 80-85623-00-5
- Židek R.: 2008. 2D modelování objektů z fotografií na počítači, dipl. projekt VŠB - TUO, FEI.