

UDK 528.521.08:681.783.23:004.932
Stručni članak

Videoteodoliti i njihova primjena

Vladimir MOSER – Osijek¹, Miodrag ROIĆ – Zagreb²,
Damir VAREVAC – Osijek¹

SAŽETAK. Rad prikazuje videoteodolit, njegovu građu, računalni softver za obradbu slike kao najvažniji dio mjernog sustava. Radom su obuhvaćene i primjene pri izgradnji konkretnih građevinskih objekata.

Ključne riječi: videoteodolit, CCD kamera, softver za obradbu slike, primjene videoteodolita.

1. Uvod

Videoteodolit je kombinacija motoriziranog teodolita i CCD kamere, koja omogućava vrlo precizan, fleksibilan i automatiziran rad 3D mjernih sustava. U teodolit su ugrađeni motori za pokretanje oko horizontalne i vertikalne osi te izoštravanje durbina.

Videoteodolit je osnova mjernog robota. Robot je specijalna vrsta stroja (Kahmen 1991) koji ima sljedeća svojstva:

- može preuzeti aktivnosti koje inače izvodi čovjek,
- posjeduje jednu ili više translacijskih i/ili rotacijskih osi,
- dodatno je višestruko opremljen senzorima,
- u stanju je memorirati niz postupaka te ih poslije bez intervencije čovjeka ponoviti,
- u slučaju da posjeduje sposobnost učenja, može, na prije stečenim iskustvima, navedene postupke mijenjati.

Mjerni sustav čine dva ili više videoteodolita, koji omogućavaju visokoprecizno opažanje objekata bez označenih točaka te određivanje njihovih prostornih koordinata. Cilj je minimalizirati operaterov rad i ostvariti rezultate bolje od današnjih

¹Mr. sc. Vladimir Moser i mr. sc. Damir Varevac, Sveučilište J. J. Strossmayera Osijek, Građevinski fakultet, Drinska 16a, 31000 Osijek, e-mail: vmoser@gfos.hr i dvarevac@gfos.hr

²Prof. dr. sc. Miodrag Roić, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mroic@geof.hr

sustava. Takav je mjerni sustav primjenjiv u različitim industrijskim aplikacijama kao mjera kontrole ili tijekom građenja i korištenja različitih objekata.

U mjernim procesima s primjenom videoteodolita samo mali dio informacija koristi se upotrebom CCD kamere, dok je ključni dio mjernog sustava slikovni software koji omogućava točno opažanje neoznačenih točaka (Kahmen i Roić 1993).

2. Građa videoteodolita i mjerni sustav

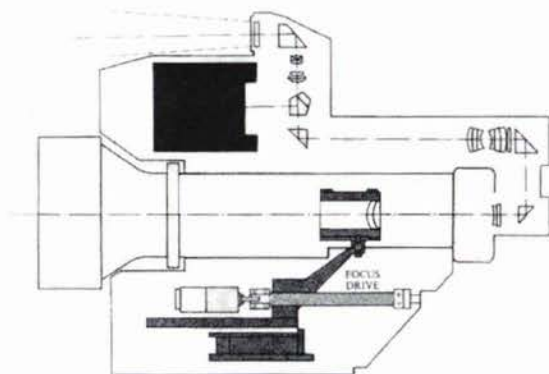
Kern E2-SE i Wild TM 3000 V elektronički su teodoliti s ugrađenom CCD kamerom koji su se do sada pojavljivali u komercijalnoj proizvodnji. U novije doba pojavljuje se primjena Leica TDM 5000 totalnih stanica s dodatkom CCD kamere.

Durbin videoteodolita u svom okularnom dijelu ima ugrađenu CCD (Charge Coupled Device) kameru. CCD područje veličine je $6,6 \times 8,8$ mm s 500×582 slikovnih elemenata. Na udaljenosti od 10 metara projicira se u CCD područje 2×3 cm područja objekta.

CCD senzor prvo je razvijen u laboratorijima AT i Bell u New Yorku 1970-ih godina (Flach 2000). CCD senzor mjeri intenzitet svjetlosti akumuliranim nabojem i prijenosom naboja na vrata senzora. Najveća prednost CCD senzora linearna je proporcija između jakosti upadnog zračenja i naboja koji se mjeri na izlazu. Akumulirani se naboj u CCD senzoru pretvara u električni napon (analogni signal), koji se filtrira niskopropusnim filtrom (postavljen na izlazu senzora). Nakon filtriranja analogni signal se pretvara u digitalne sive vrijednosti (moderni CCD mikroprocesori imaju ugrađene AD pretvarače, koji pretvara napon u digitalni signal).

Optički dio durbina može projicirati sliku u CCD područje ili se to može ostvariti sa specijalnog širokokutnog optičkog sustava kojega je vidno polje 9×12 stupnjeva. Širokokutni optički sustav upotrebljava se samo za približno traženje cilja. Cijeli je sustav vidljiv na presjeku kroz videoteodolit na slici 1.

Mjerni sustav sastoji se najčešće od dva videoteodolita, od kojih jedan (glavni) interaktivno skenira objekt a drugi (pomoćni) ga prati, odnosno vidno polje jednog teodolita mora biti automatski pokriveno drugime. Da bi se smanjio broj koraka



Slika 1. Presjek videoteodolita TM 3000 V s položajem CCD kamere (Benčić 1990).

(nekoliko stotina pa i tisuća) do poklapanja vizurnih ravnina za praćenje drugog teodolita, dodatna informacija o duljini između prvog teodolita i objekta skratit će taj postupak. Udaljenost do objekta može se dobiti iz podataka s CCD kamere i položaja leća za izoštravanje (Mischke i Wieser 1993). Optimalno izoštravanje slike je izvršeno kada je objekt projiciran u CCD područje s maksimalnom oštrinom. Maksimalna će se oštrina postići kada zbroj diferencija sive skale u svim smjerovima na CCD slici bude maksimalan. Istraživanje određivanja udaljenosti na osnovi leća za izoštravanje tom metodom dalo je rezultate koji se vide u tablici 1.

Tablica 1. *Rezultati dobivene udaljenosti daljinomjerom i primjenom autofokus funkcije (Mischke i Wieser 1993).*

Udaljenost s DI 1600	< 5m	< 10m	< 20m	< 30m	< 50m
Razlike s autofokus funkcijom	< 1cm	< 3cm	< 10cm	< 45cm	< 250cm

Linearni pomak leće za izoštravanje eksponencijalno rješava udaljenost. Do 10 metara razlika je 3 cm, što je dovoljna točnost za praćenje drugog teodolita. Najbolji su rezultati dobiveni opažanjem točaka s ekstremno velikim kontrastom.

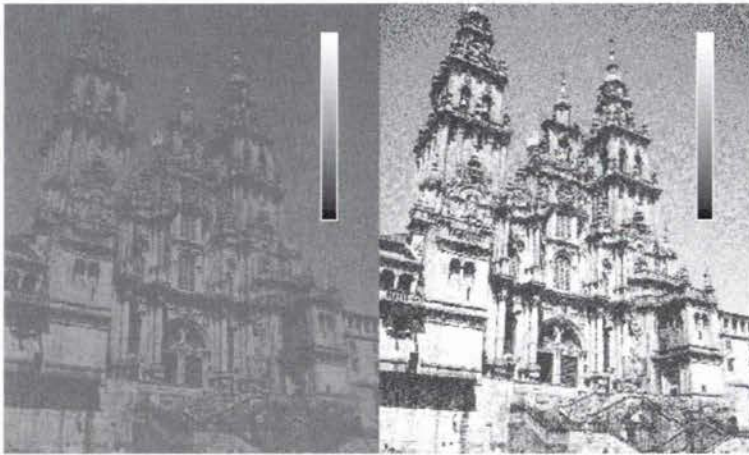
3. Videometrijski slikovni sustav

Videometrijski slikovni sustav videoteodolita sastoji se od: izvora svjetlosti, CCD kamere, komponenata za dopremanje i obradbu slike, komponenata za kontrolu sustava, izlaznih uređaja i dr. Sustavom upravlja računalo. Glavni su koraci videometrijskog sustava: formiranje slike, snimanje, predprocesiranje slike, ikonizirano procesiranje slike, segmentiranje, interpretacija i analiza slike.

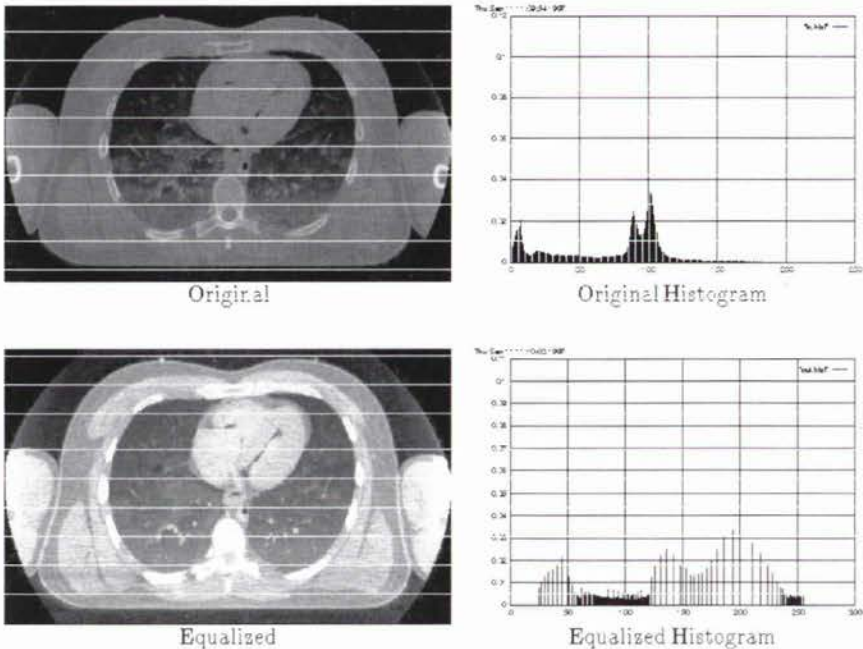
Snimanjem se optička slika pretvara u dvodimenzionalnu matricu sivih vrijednosti, a software za predprocesiranje podiže radiometrijsku kvalitetu slike. Primjenom offset funkcije može se dobiti optimalna svjetloća slike, tj. ona omogućava izjednačavanje sivih vrijednosti histograma. Ova metoda rasteže histogram sivih vrijednosti blizu maksimuma histograma, čime se poboljšava otkrivanje osamljenih slikovnih oblika. Učinak postupka histogramskog izjednačavanja vidljiv pokazuje primjer na slici 2. Lijeva slika je original, dok je na desnoj primijenjen postupak histogramskog izjednačavanja.

Postupak histogramskog izjednačavanja primjenjuje se također:

- u medicini (obradba medicinskih snimaka, u ovom slučaju magnetske rezonancije, a učinak histogramskog izjednačavanja vidi se na slici 3),
- u obradbi satelitskih snimaka,
- u digitalnoj fotogrametriji (Li 1997),
- u arhitekturi (Rodehorst 1997),
- u obradbi otisaka prstiju u kriminalistici (Greenberg 2000).



Slika 2. Učinak histogramskog izjednačavanja (URL 1).



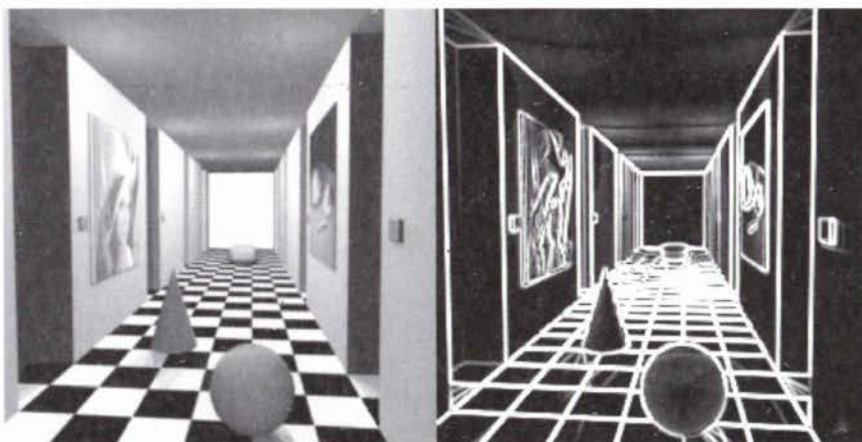
Slika 3. Učinak histogramskog izjednačavanja kod snimaka magnetne rezonancije.

Proces ikonske obradbe slike obuhvaća: povećavanje, razdjeljivanje i vađenje slike. Povećavanje slike omogućava veću geometrijsku kvalitetu slike, ali postupak uključuje šum, koji se može ukloniti filtriranjem. Tehnike digitalnog filtriranja, po izboru su visokopropusni, niskopropusni i Median filtar koji se mogu izabrati. Primjenu filtara pokazuje slika 4.



Slika 4. Primjena filtriranja: gore lijevo-originalna slika; gore desno primjena Median filtra; dolje lijevo primjena visokopropusnog filtra; dolje desno primjena niskopropusnog filtra (Roić 1996).

Da bi se jače istaknule određene točke od interesa, postoje tehnike pojačanja bridova (detekcije ruba). Rubovi su osobito važni jer određuju granice objekata, tj. oni su mjesta naglih promjena vrijednosti sivila točaka. Detekcija rubova postiže se s pomoću funkcijskih operatora, koji se još nazivaju i maske. Najčešće se primjenjuju operatori Laplace, Kirsch, Sobel i Roberts, a primjena ostalih može se vidjeti u (Koschan 1995). Primjenu operatora Sobel prikazuje slika 5. Današnja istraživanja



Slika 5. Primjena operatora Sobel na detekciju rubova (URL 2).

(TU Wien) već su bazirana na analizu, tj. segmentiranje objekata različite boje. Istraživanja se provode s kuglicama različite boje.

Metodom obradbe slike pojačavanjem bridova i primjenom histogramskog izjednačavanja obavljena su mjerenja (Kahmen i Roić 1993) na točkama fasade na udaljenosti od 33 metra. Primjenom slikovnog procesiranja dobivena je mjerna nesigurnost od 2 mm, a bez primjene slikovnog procesiranja ± 5 mm. Videometrijski sustav može se primjenjivati za vrlo točna mjerenja, a ovisno o definiranosti objekta može sezati i do 0,1 mm.

Zatim su obavljena i istraživanja točnosti viziranja s videoteodolitom (Mentes i Roić 1993) na marke različite veličine na različitoj udaljenosti. Veličine su mjernih marki od 1 do 20 mm na udaljenostima do 30 metara. Rezultati su potvrdili da se može dobiti mjerna nesigurnost od 0,1 mm na kraćim udaljenostima. I tu se pokazalo da se primjenom slikovnog procesiranja dobije dvostruko veća točnost.

4. Primjena videoteodolita

Videoteodoliti se mogu primjeniti ne samo za kontrolu određenih oblika, tj. statičnih objekata, već i za kontrolu vođenja određenih procesa. Takva dva primjera bit će prikazana u ovom dijelu rada.

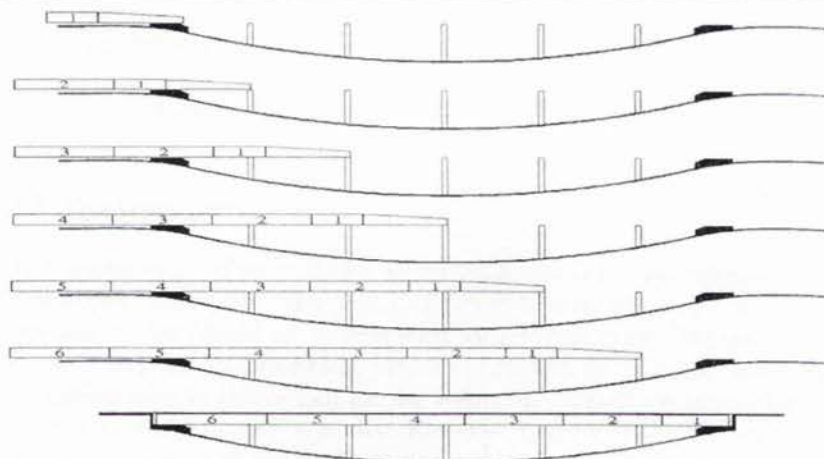
Prvi primjer odnosi se na automatsko vođenje stroja za bušenje tunela (Katowski 1995). Od mjernog sustava traže se informacije o položaju stroja u svakom trenutku, bez asistencije opservatora i podcentimetarskom točnošću.

Videoteodolit je spojen na računalo, a radio veza služi za komunikaciju između računala i procesora upravljačke jedinice stroja. Videoteodolit prvo obavi orijentaciju na referentne točke u tunelu, te se izračuna položaj teodolita. Nakon toga obavi se mjerenje na tri točke stroja, iz čega se računa koordinata središnje točke stroja i orijentacija osi stroja. Kako se stroj kreće tako će ga i teodolit pratiti, a kada stroj stane stat će i teodolit. Ako teodolit izgubi točke na stroju počat će traženje, o čemu će i strojar biti obaviješten. Nakon završetka mjerenja točaka na stroju podaci se prenose u procesor stroja i korigira se njegov položaj. Položaja stroja određen je s točnošću manjom od centimetra.

Drugi primjer odnosi se na postupak potiskivanja konstrukcije mosta (Varevac i Moser 1997). Pri postupku potiskivanja sklopa gredne konstrukcije, segmenti se izrađuju iza upornjaka. Kada je jedan segment završen, on se spaja s prethodnim i cijela se konstrukcija pomiče naprijed za dužinu novoga segmenta, što se vidi na slici 6. Tako se oslobađa mjesto za izradbu novoga dijela, koji se betonira na istoj oplati. Tijekom potiskivanja, greda je produžena privremenom čeličnom konstrukcijom koju nazivamo kljunom.

Tijekom potiskivanja može doći do kritičnih situacija koje u najgorem slučaju mogu dovesti i do rušenja konstrukcije. Razlozi mogu biti različiti, od ljudske pogreške pri projektiranju ili izvođenju, pa do nepredviđenih pomicanja ili slijezanja oslonaca. Svaka kritična situacija može se otkriti praćenjem sljedećih parametara:

- naprezanja, odnosno relativne deformacije na gornjem i donjem rubu konstrukcije,
- sile potiskivanja na prešama,
- vertikalnog položaja kljuna za potiskivanja, koji ćemo pratiti videoteodolitom.



Slika 6. Faze potiskivanja konstrukcije mosta (Varevac i Moser 1997).

Svaki od tih parametara ima svoju kritičnu točku koja je visoko iznad kritične točke u interakciji, što znači da se promatranjem svih triju parametara odjednom može donijeti kvalitetna odluka. No, ako se odlučivanje zasniva na ljudskom opažanju javlja se nekoliko problema (dislociranost mjernih uređaja, otežana komunikacija između stručnjaka, što za posljedicu može imati smanjenje brzine odlučivanja i mogućnost krive procjene).

Zbog svoje sposobnosti predviđanja i generaliziranja, neuralne mreže (neural networks) se mogu s velikom pouzdanošću upotrebljavati u nadgledanju procesa. Osnovna prednost koju neuralne mreže pružaju je nadgledanje procesa u stvarnom vremenu. Takav sustav za nadgledanje kojem je prepušteno odlučivanje mora ispuniti sljedeće zahtjeve:

- vrijeme reakcije na ulazne podatke mora biti kratko,
- sustav mora voditi računa o vremenu u kojem se određeni događaj nadgledanog procesa zbiva,
- sustav se mora ponašati nemonotono, odnosno mora biti sposoban odbaciti staru i donijeti novu odluku u skladu s novim podacima koji dopijevaju,
- vremenska fleksibilnost sustava mora biti osigurana, jer ulazni podaci ne dopijevaju kontinuirano, tj. nadgledani proces može biti zaustavljen iz bilo kojeg drugog razloga.

Sustav mora biti sposoban dijagnosticirati problem i ispravno reagirati tj. razlikovanje kratkotrajnog, bezopasnog kritičnog trenutka od opasnoga jedan je od ključnih zahtjeva koji se postavljaju pred sustav.

Ulazni podaci kojima se mreža koristi mogu se podijeliti u dvije skupine:

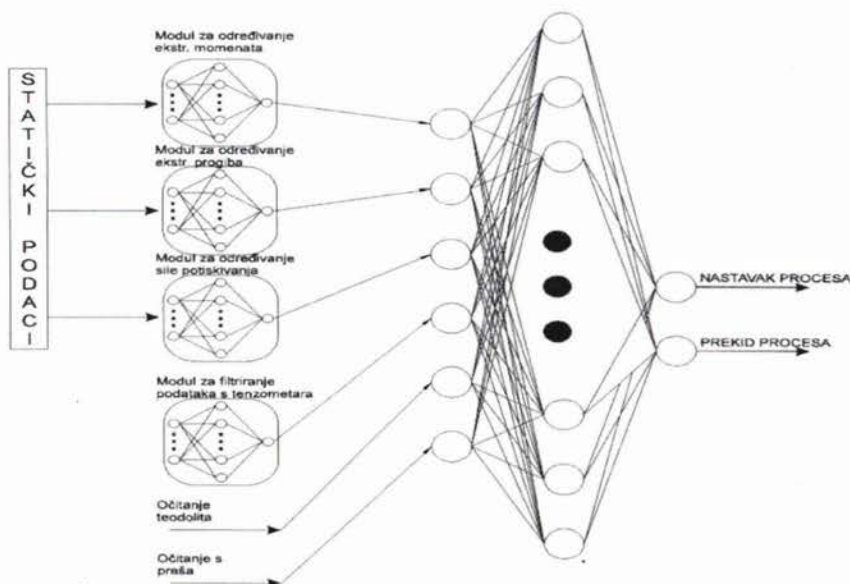
- statički (broj i duljina raspona, moment inercije poprečnog presjeka rasponskog sklopa, površina poprečnog presjeka rasponskog sklopa i kljuna za potiskivanje, duljina kljuna i dr.),

– dinamički (podaci o naprezanju s tenzometara, sila potiskivanja na prešama i progib kljuna).

Praćenje vertikalnog progiba može se provoditi na više načina primjenom odgovarajućih geodetskih metoda. Razvojem modernog instrumentarija, u ovom slučaju videoteodolita čovjek je isključen iz većeg dijela procesa mjerenja. Instrument se postavi na mjesto s kojeg će se vidjeti mjesto na kljunu koje ćemo pratiti tijekom cijelog postupka potiskivanja mosta. Progib ćemo dobiti iz podataka mjerenoga vertikalnoga kuta i duljine i pratit ćemo ga u odnosu na jedan referentni položaj kljuna na početku potiskivanja.

Podaci progiba šalju se u računalo te se uz ostale podatke prikupljene s konstrukcije (statički i dinamički podaci) obrađuju u živčevnoj mreži.

Kod ovog problema vođenja potiskivanja imamo velik broj ulaznih podataka, te bi standardna živčevna mreža s ulaznim, skrivenim i izlaznim slojem bila bi pregledna i zahtijevala bi velik broj primjera za učenje. Stoga se zadatak dijeli na više podproblema koje bi mreža lakše i brže učila. Na slici 7. prikazana je arhitektura takve neuralne mreže.



Slika 7. Arhitektura neuralne mreže za praćenje procesa potiskivanja (Varevac i Moser 1997).

Neuralna mreža napravljena je modularno. U neuralnoj mreži koja odlučuje o nastavku ili prekidu procesa potiskivanja nalazi se šest ulaznih neurona. Četiri ulazna podatka dolaze od manjih neovisnih modula, dok dva podatka dolaze od direktnih mjerenja sile na prešama za potiskivanje i očitavanja videoteodolita. Neuroni u skrivenom sloju povezani su sa svakim ulaznim i izlaznim neuronom. Veći broj skrivenih neurona znači veću fleksibilnost mreže, odnosno veći kapacitet učenja,

ali do određene granice, koja nije precizno određena. Prilikom učenja mreže krenulo se s brojem od 20 skrivenih neurona, ali se pokazalo da skriveni sloj sa 65 neurona daje najbolje rezultate. Izlazna su neurona dva tj. nastaviti ili prekinuti proces potiskivanja.

Videoteodolit je vrlo važan dio tog procesa ne samo sa zadovoljavajućom točnošću već i kontinuiranim praćenjem i dotokom podataka o progibu koji ulaze u prethodno objašnjenu neuralnu mrežu.

5. Zaključak

Primjenom videoteodolita mogu se rekonstruirati objekti bez učešća operatora u mjernom procesu. Najvažniji je dio cijelog mjernog postupka je slikovni softver (primjenom operatora, filtara i histogramskog izjednačavanja), koji omogućava vrlo visoku točnost viziranja tj. određivanja položaja točaka. Određivanje položaja točaka može se izvesti s milimetarskom (pa i točnije) točnošću, što ovisi o definiranosti objekta koji se vizira. Nadalje, videoteodoliti mogu kontrolirati različite procese u realnom vremenu sa zadovoljavajućom točnošću.

Literatura:

- Benčić, D. (1990): Geodetski instrumenti. Školska knjiga, Zagreb.
- Flach, P. (2000): Analysis of refraction influences in geodesy using image processing and turbulence models. PhD diss. ETH No 13844, Zurich.
- Greenberg, S., Aladyem, M., Kogan, D., Dimitrov, I. (2000): Fingerprint Image Enhancement using Filtering Techniques. 15th Int. Conf. On Pattern Recognition, Barcelona.
- Kahmen, H. (1991): Računarski potpomognuti postupci mjerenja i mjerni roboti za iskolčenje i kontrolu građevinskih objekata u mostogradnji i visokogradnji. Geodetski list, 10–12, 311–327.
- Kahmen, H., Roić, M. (1995): A New Generation of Measurement Robots for Object Reconstruction without Targeting. Optical 3D-Measurement Techniques, 251–262, Zurich.
- Kahmen, H., De Seixas, A. (1999): Object Recognition With Video-Theodolites Without Targeting the Object. 6th International Workshop on Accelerator Alignment – IWAA 99, Grenoble.
- Katowski, O. (1995): Automatic Theodolite Systems for Static and Dynamic Measurement Processes. Optical 3D-Measurement Techniques III, 119–128.
- Koschan, A. (1995): A Comparative Study On Color Edge detection. 2nd Asian Conference of Computer Vision ACCV 95, Vol. III, 574–578, Singapore.
- Li, C., Rodehorst, V., Wiedemann, A. (1997): Digital image processing for automation in architectural photogrammetry. Second Turkish-German Geodetic Days at Berlin, 541–548.
- Mentes, G., Roić, M. (1993): Pointing by means of CCD camera integrated in the telescope of motorized theodolite. AVN, 11–12, 429–434.

- Mischke, A., Wieser, A. (1993): Automatic Target-Area-kolimation with Video Theodolites. *Optical 3D-Measurement Techniques*, 263–271, Zurich.
- Rodehorst, V. (1997): Architectural Image Segmentation Using Digital Watershed. 7th Int. Conf. On Computer Analysis of Images and Patterns CAIP, Kiel.
- Roić, M. (1996): Erfassung von nicht signalisierten 3D-Strukturen mit Videotheodoliten. Technische Univesitat, Wien.
- Varevac, D., Moser, V. (1997): Izrada mostova vođenjem potiskivanja pomoću živčevne mreže. Hrvatsko društvo za sustave, 60–69, Zagreb.
- URL 1: <http://khoral.com> (25. 6. 2002.)
- URL 2: <http://northampton.av.uk> (25. 6. 2002.)

Video Theodolites and their application

ABSTRACT. The paper present Video Theodolit, his architecture, image processing software as major part of measurement system. Paper describes practical application at building construction.

Keywords: Video theodolite, CCD camera, image processing software, application of video theodolite.

Primljeno: 2002-7-2

Geodetski list

*Blagoslovljen Božić
i uspješnu 2003. godinu
želi Vam*

Uredništvo