

**Zbornik šeste
Elektrotehniške in računalniške
konference ERK'97**

25.-27. september 1997
Portorož, Slovenija

Zvezek B

Računalništvo in informatika

Umetna inteligenca

Robotika

Razpoznavanje vzorcev - 3. letna konferenca SDRV

Biomedicinska tehnika

Močnostna elektrotehnika

Didaktika

Študentski članki

Uredil

Baldomir Zajc



IEEE Region 8

Slovenska sekcija IEEE

Ljubljana



Slovenija

Using Cellular Automata for Image Recognition Purposes <i>Bogdan Viher, Andrej Dobnikar, Damjan Zazula</i>	265
Razpoznavanje znakov z mehкими relacijskimi drevesi <i>Tomaž Savšek, Nikola Pavešić, Marjan Vezjak</i>	269
SEKC./SECT. PR.4	
Računalniški vid II. / Computer Vision II.	
Valčki - Matematične osnove <i>Gabrijel Tomšič</i>	273
Avtomatska poravnava slik z optimizacijo parametrov modela poravnave <i>Boštjan Likar, Franc Solina, Franjo Pernuš</i>	277
Obdelava globinskih slik z robustnimi algoritmi <i>Simon Nardin, Aleš Leonardis</i>	281
Kalibracija kamere <i>Janez Jeraj</i>	285
Uporaba neumerjenega sistema aktivnega stereo vida za robotsko doseganje predmetov v prostoru <i>Anton Pozne ml., Nikola Pavešić, Stanislav Kovačič</i>	289
An Approach to Visual Robot Control <i>Naser Prljača, Mevludin Glavić, Amir Nuhanović</i>	293
Optično merjenje dimenzij grelnih plošč <i>Franci Lahajnar, Rok Bernard, Franjo Pernuš, Stanislav Kovačič</i>	297
Določanje optimalnega lokalnega barvnega ključa - izločanje in barvanje las na fotografiji osebe <i>Iztok Lapanja, Nikolaj Zimic, Miha Mraz, Jernej Virant</i>	301
SEKC./SECT. PR.5	
Multimediji / Multimedia	
Improving MPEG-1 Video Compression Using Computer Vision <i>Damijan Vodopivec, Aleš Leonardis</i>	305
Network optimization for remote multimedia imaging applications <i>Urban Burnik, Jurij Tasič</i>	309
Testiranje algoritmov s področja računalniškega vida preko svetovnega spleta <i>Danijel Skočaj, Aleš Jaklič, Aleš Leonardis, Franc Solina</i>	313
Strategija shranjevanja povezanih dokumentov <i>Andrej Košir, Jurij Tasič</i>	317
Zajem slike s kamere in pošiljanje po računalniški mreži <i>Matjaž Kurent, Veselko Guštin</i>	321
Obdelava slike s pomočjo mehkega primerjalnika v realnem času <i>Aleš Lapajne, Veselko Guštin</i>	325
Hierarhični obsegajoči volumni in višinska polja <i>Arijan Šiška, Nikola Pavešić</i>	329
Razvitja plaščev teles <i>Marko Bajec</i>	333
Biomedicinska tehnika / Biomedical Engineering	
SEKC./SECT. BM.1	
Biomedicinska tehnika / Biomedical Engineering	
Arrangements of Fiber Types in Human Skeletal Muscle Fascicles <i>Franjo Pernuš</i>	339
Ugotavljanje pretrganosti sprednje križne vezi z optoelektronskim merilnim sistemom <i>Janez Jeraj, Uroš Stanič, Vane Antolič, Vinko Pavlovčič, Lora Demšar, Urška Puh</i>	343
Prenos geometrije kolka iz tomografskega sistema v sistem za računalniško podprto konstruiranje <i>M. Berce, Lucijan Miklavčič, Jadran Lenarčič, V. Pišot, D. Noe</i>	347
Vpliv nesferičnosti kolčnega sklepa na porazdelitev radialne napetosti v kolčni sklepni plasti <i>M. Ipavec, Aleš Iglič, Veronika Kralj-Iglič, Vane Antolič</i>	351

Avtomatska poravnava slik z optimizacijo parametrov modela poravnave

Boštjan Likar¹, Franc Solina², Franjo Pernuš¹

¹Fakulteta za elektrotehniko, ²Fakulteta za računalništvo in informatiko

Univerza v Ljubljani

Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

bostjan.likar@fe.uni-lj.si

Automatic image registration by optimising the parameters of the registration model

Image registration is a fundamental task in image processing used to match two or more images of the same scene taken at different times, from different sensors, or from different viewpoints. It is the process of finding the transformation that brings one image in precise spatial and optical density correspondence with the other image. The main goal of this work was to develop an efficient procedure for robust automatic registration of grey level images which may incorporate global and local dissimilarities. The registration was based on a registration model whose parameters were optimised by maximising the similarities between the images. For that purpose, a robust and computationally cheap similarity measure was developed and used as a criterion of the achieved registration during the optimisation process. The theoretical aspect and practical implementation of the proposed registration procedure are given. The procedure was tested on different real and artificial images. The obtained results indicated a high robustness and precision of the registration outcome. In conclusion, the model based registration seems feasible for different registration tasks due to its simplicity, robustness and adaptability.

1. Uvod

Zaznavanje sprememb oziroma razlik med slikami, ki so nastale v različnih časovnih obdobjih, je problem, ki se pojavlja na področjih kot so računalniški vid in razpoznavanje vzorcev, analiza biomedicinskih slik, daljinsko zaznavanje, itd. V ta namen je bilo razvitih več postopkov za zaznavanje in za prikazovanje dejanskih sprememb med vzorci. Najpogostejši postopek je odštevanje slik in prikazovanje razlik med njimi. Slike se poleg dejanskih sprememb razlikujejo tudi zaradi spremenjenih pogojev snemanja. S postopki poravnave slik, ki ohranijo dejanske razlike in hkrati zmanjšajo ali popolnoma izničijo vplive spremenjenih pogojev snemanja in odštevanjem poravnanih slik lahko prikazemo le dejanske razlike med njimi. Spremenjeni pogoji snemanja se na slikah lahko odražajo kot npr.

geometrijska translacija, zavrtitev in povečava ali kot sprememba kontrasta in svetlosti slike. Problem poravnave slik lahko razdelimo na dva podproblema: geometrijsko poravnavo ter poravnavo svetlosti. Pri geometrijski poravnavi skušamo najti čim boljše ujemanje med slikami s preslikavami v prostoru slike, medtem ko pri poravnavi svetlosti iščemo najboljše preslikave med slikami v prostoru svetlosti. V primerih, ko se ali geometrijski ali svetlobni pogoji snemanja ne spreminjajo lahko oba podproblema poravnave rešujemo ločeno. V splošnem pa moramo oba problema poravnave reševati skupaj kot enoten problem poravnave [1].

V prispevku predstavljamo avtomatski postopek za poravnavo sivinskih slik. Poravnava je izvedena na osnovi modela poravnave, ki dovoljuje translacijo, rotacijo, povečavo ter spremembo kontrasta in svetlosti slik. Optimalne vrednosti omenjenih parametrov poravnave dobimo z optimizacijo mere podobnosti med slikami.

2. Mera podobnosti

Pri reševanju problema poravnave uporabljamo mere podobnosti med slikami. Mera podobnosti je merilo podobnosti oziroma merilo poravnosti med slikami. Imejmo sliko $A(x,y)$ in sliko $B(x,y)$, med katerima želimo določiti podobnost P . Mera podobnosti MP je operator, ki dve sliki preslika v skalarno vrednost P :

$$A(x,y), B(x,y) \xrightarrow{MP} P \quad (1)$$

Skalarna vrednost P je kvantitativna ocena podobnosti med slikama.

Za mero podobnosti se najpogosteje uporabljajo: korelacijski koeficient, vsota absolutnih razlik ali vsota kvadratov razlik med dvema slikama. Ker je mera podobnosti ključnega pomena za postopek poravnave, mora izbira le te temeljiti na znanju o šumu, ki je v slikah prisoten ter na znanju o slikovnih neskladjih. Lokalna slikovna neskladja med slikami lahko pri uporabi zgoraj naštetih mer podobnosti povzročajo precejšnje napake pri določevanju parametrov poravnave. Da bi se temu problemu izognili, določimo mero podobnosti, ki bo neobčutljiva na možna lokalna

slikovna neskladja. Naj bo mera podobnosti med dvema slikama odstotek ali delež vseh tistih slikovnih elementov ene slike, ki se po sivinskih vrednostih od istoležnih elementov v drugi sliki razlikujejo za manj kot nek, v naprej določen, prag t . Podobnost P , med slikama A in B izračunamo po naslednjem postopku:

$$P=0;$$

preko vseh x in y

$$\text{če je } |A(x,y) - B(x,y)| < t$$

$$P = P + 1$$

$$P = P/x \cdot y$$

kjer prag t predstavlja neko majhno dovoljeno razliko med sivinami dveh slik in je za 8 bitne slike navadno na intervalu med 1 in 20 [1]. Taka mera podobnosti je hitro izračunljiva in uporabna za določevanje geometrijskih in svetlostnih parametrov modela poravnave. Mera podobnosti je tudi neobčutljiva na lokalna neskladja med slikami, ki se odražajo kot spremembe v sivinah večje ali enake pragu t .

3. Od modela poravnave do optimizacije

Namen modela poravnave je, da popravi razlike med slikami, ki so nastale zaradi spremenjenih pogojev snemanja oziroma zajemanja slik. S pravilnim modeliranjem lahko upoštevamo tako geometrijska kot svetlostna globalna neskladja med slikami. Model poravnave je lahko le ena preslikava, v splošnem pa je sestavljen iz množice zaporednih preslikav v slikovnem in svetlostnem prostoru. Model poravnave predstavlja vse dopustne načine preslikav slik. Preslikavo spreminjamo s spreminjanjem vrednosti parametrov posameznih preslikav. Pri poravnavi moramo poiskati optimalne parametre in s tem določiti najboljšo preslikavo.

Imejmo dve sliki $A(x,y)$ in $B(x,y)$, ki ju želimo poravnati. Kot kriterij podobnosti izberemo ustrezno mero podobnosti MP .

Bodi M model poravnave, ki predstavlja izbrano zaporedje m preslikav P_j s skupaj n parametri x_i . Parametre x_i modela poravnave združimo v vektor modela poravnave $\underline{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

Model poravnave je skupna preslikava, ki jo določa vektor parametrov \underline{X} :

$$M_{\underline{X}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_m \quad (2)$$

in preslika vsako sliko $B(x,y)$ v novo sliko $B'(x,y)$:

$$B'(x,y) = M_{\underline{X}}[B(x,y)] \quad (3)$$

Poiskati želimo tisti vektor parametrov \underline{X}_{opt} , ki preslika sliko $B(x,y)$ v sliko $B'(x,y)$ tako, da je ta kar najbolj podobna sliki $A(x,y)$. Podobnost P med slikama $A(x,y)$ in $B'(x,y)$ dobimo z mero podobnosti MP :

$$P(\underline{X}) = MP[A(x,y), M_{\underline{X}}[B(x,y)]] \quad (4)$$

Na ta način lahko za poljuben vektor parametrov \underline{X} določimo ustrezno podobnost $P(\underline{X})$ in s tem smo problem optimizacije parametrov prevedli na splošen matematični optimizacijski problem. Za n -dimenzionalno funkcijo $P(\underline{X})$ parametrov \underline{X} iščemo optimalne parametre \underline{X}_{opt} , ki dajo najboljšo podobnost P_{opt} .

4. Modeliranje

Modeliranje pri poravnavi slik je postopek izgradnje modela poravnave – določitev ustreznih geometrijskih in svetlostnih preslikav. Vzemimo model poravnave, ki vsebuje naslednje preslikave:

- translacijo $T_{x,y}$ za t_x in t_y slikovnih elementov po obeh koordinatah slike,
- zavrtitev R_r s kotom zavrtitve r stopinj,
- povečavo E s faktorjem povečave e , ter
- linearno preslikavo $L_{s,k}$ sivin, kjer je s parameter svetilnosti in k parameter kontrasta slike. Sama preslikava $L_{s,k}$ preslika vsak sivi nivo g v nivo $kg+s$.

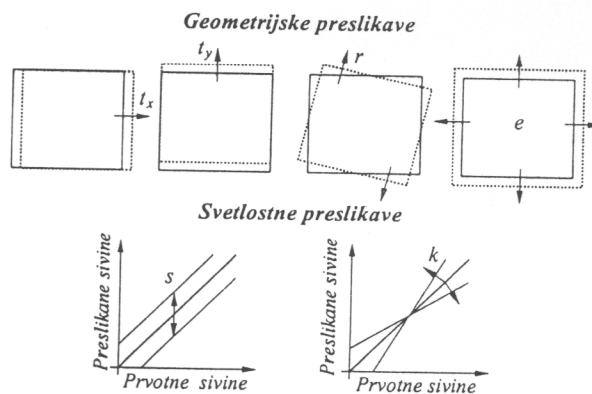
Model poravnave sestavimo z zaporedjem preslikav:

$$M_{\underline{X}} = L_{s,k} \cdot T_{x,y} \cdot R_r \cdot E \quad (5)$$

ki ima 6 parametrov združenih v vektor modela poravnave \underline{X} :

$$\underline{X} = (t_x, t_y, r, e, s, k) \quad (6)$$

Preslikave E , R_r , in $T_{x,y}$ so geometrijske preslikave v slikovnem prostoru. Preslikava $L_{s,k}$ pa je preslikava sivin v prostoru svetlosti (Slika 1).



Slika 1: Geometrijska in svetlobna preslikava, ki skupaj tvorta model poravnave s šestimi parametri.

Tak model preslika sliko $B(x,y)$ v sliko $B'(x,y)$:

$$(x,y,g) \Rightarrow (x',y',g') \quad (7)$$

kjer so x' in y' preslikane koordinate in g' preslikana sivina na sliki $B'(x,y)$ vsakega slikovnega elementa s koordinatami x in y in sivino g na sliki $B(x,y)$.

Strnimo geometrijsko in svetlostno preslikavo v vektorsko matrično obliko:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ g' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(r) & -\sin(r) & 0 \\ \sin(r) & \cos(r) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e & 0 & 0 \\ 0 & e & 0 \\ 0 & 0 & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ s \end{bmatrix} \quad (8)$$

Na ta način preslikamo vsak slikovni element vzorca, glede na parametre t_x , t_y , r , e , s in k modela poravnave. Dobili smo model poravnave slik s togo preslikavo, povečavo in linearno preslikavo sivin.

5. Optimizacija parametrov modela

Izbran model poravnave ima šest parametrov (6), katerih vrednosti moramo določiti pri vsaki poravnavi. S postopkom optimizacije skušamo določiti parametre modela poravnave (8) tako, da bo podobnost med slikama po poravnavi največja. Optimalne vrednosti parametrov lahko določimo s sistematičnim spreminjanjem vrednosti parametrov, preslikovanjem ene slike in računanjem podobnosti z drugo sliko. Parametre spreminjamo na določenem območju njihovih vrednosti z izbranim korakom. Če bi pri našem primeru s šestimi parametri vsak parameter lahko imel le deset različnih vrednosti bi pri sistematičnem iskanju optimalnih parametrov morali 10^6 -krat izvesti preslikavo in izračunati mero podobnosti. Sistematično iskanje optimalnih parametrov je računsko zahtevno in zaradi tega primerno le pri modelih poravnave z malo parametri. Pri modelih z več parametri moramo uporabiti ustrezne optimizacijske metode, ki zahtevajo manjše število računanj preslikav in mer podobnosti. V našem primeru smo uporabili poenostavljen postopek naključnega iskanja optimalnih parametrov [2].

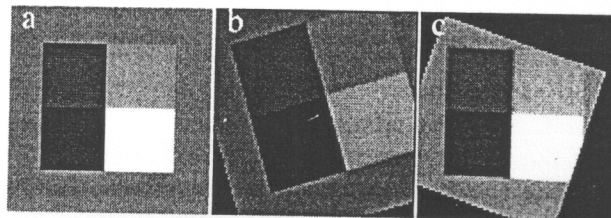
Naključno iskanje optimalnih parametrov spada med verjetnostne globalne optimizacijske metode, ki temeljijo na izračunavanju kriterijske funkcije (v našem primeru mere podobnosti) z naključno izbranimi vrednostmi parametrov. Uporabimo naslednji postopek:

1. za vsak parameter modela poravnave izberemo območje, v katerem se le ta lahko spreminja. Začetna območja \underline{O} parametrov poravnave so okolice nevtralnega vektorja parametrov preslikave $\underline{X}_N = (0, 0, 0, 1, 0, 1)$. Začetni optimalni vektor parametrov \underline{X}_{Opt} je nevtralni vektor parametrov \underline{X}_N .
2. določimo število N izračunavanj mere podobnosti,
3. $N/3$ - krat naključno generiramo vektor \underline{X} vseh parametrov na njihovih določenih območjih \underline{O} in za vsak vektor \underline{X} izračunamo mero podobnosti. Pri tem si zapomnimo tisti vektor \underline{X} pri katerem ima mera podobnosti največjo vrednost, $\underline{X}_{Opt} = \underline{X}$,
4. območja \underline{O} skrajšamo na tretjino in ponovimo korak 3,
5. območja \underline{O} skrajšamo na devetino in ponovimo korak 3,
6. \underline{X}_{Opt} je optimalni vektor parametrov modela poravnave.

S tem smo število izračunavanj mere podobnosti zmanjšali na N , območja iskanja parametrov pa smo razdelili na tri podobmočja. Optimizacijski postopek zahteva le vnos začetnih območij v katerih se parametri lahko spreminjajo in skupno število izračunavanj N . Skupno število izračunavanj je odvisno od velikosti območij parametrov in od slikovne vsebine. Za določena področja uporabe postopka ga eksperimentalno določimo.

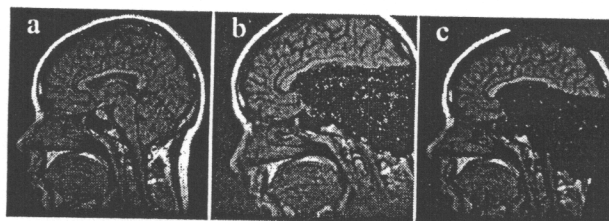
6. Preizkušanje postopka poravnave

Postopek avtomatske poravnave smo preizkusili na umetnih in realnih slikah. Na sliki 2.a je prikazana umetna testna slika, na sliki 2.b pa njena digitalna kopija, ki je po x in y osi premaknjena za 8 slikovnih elementov, zavrtna za $r=17^\circ$, povečana s faktorjem $e=1.2$ ter potemljena s faktorjem $k=0.8$. Na sliki 2.c je prikazana poravnana slika 2.b na sliko 2.a s postopkom naključne optimizacije parametrov modela poravnave.



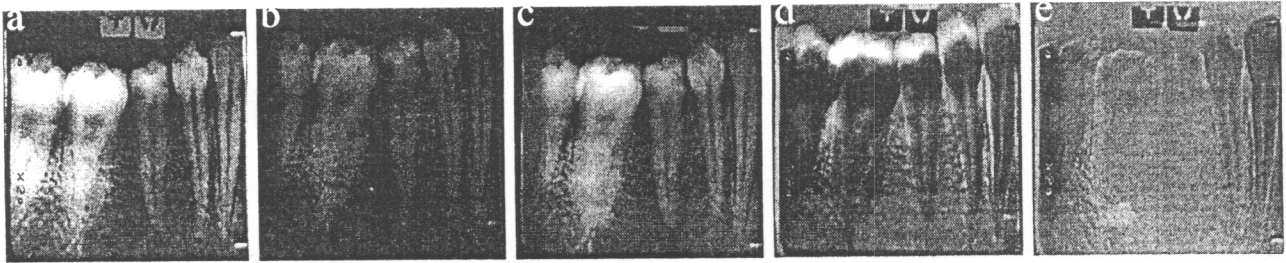
Slika 2: Primer poravnave dveh testnih slik a in b. Slika c je poravnana slika b na sliko a. Poravnava je bila izvedena z naslednjimi začetnimi območji parametrov poravnave: $t_x = \pm 10$, $t_y = \pm 10$, $r = \pm 25^\circ$, $e = 1 \pm 0.4$, $k = 1 \pm 0.4$, $s = 0$, $N = 10500$, $t = 4$.

Slika 3 podaja primer poravnave dveh slik dobljenih z jedrsko magnetno resonanco. Slika 3.b je digitalna kopija slike 3.a, ki je zavrtna, premaknjena in povečana po x in y osi ter svetlejša. Na sliki 3.b je umetno povzročena sprememba v strukturi, ki ni povzročila napak pri poravnavi. Rezultat poravnave je prikazan na sliki 3.c.



Slika 3: Poravnava dveh magnetno-resonančnih slik a in b. Na sliki b je umetno povzročena sprememba v strukturi, ki ni vplivala na rezultat poravnave c ($t_x = \pm 10$, $t_y = \pm 10$, $r = \pm 15^\circ$, $e = 1 \pm 0.2$, $k = 0$, $s = \pm 20$, $N = 5000$, $t = 4$).

Na sliki 4 je prikazana poravnava dveh intraoralnih rentgenogramov, 4.a in 4.b. Sliki se poleg geometrijskih in svetlobnih neskladij razlikujeta še zaradi dejanskih časovnih sprememb v tkivu, zaradi spremenjene geometrijske projekcije pri zajemanju slike 4.b ter zaradi



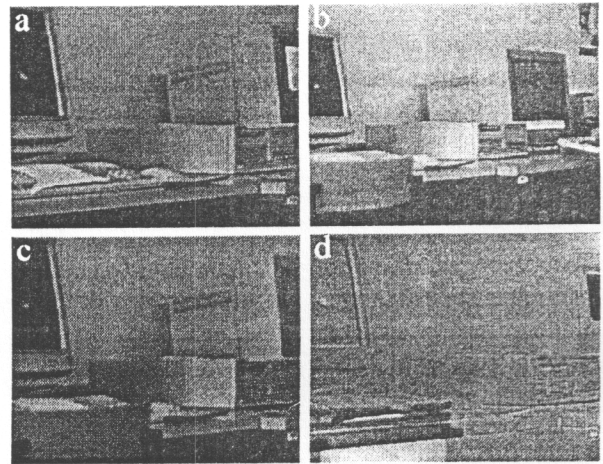
Slika 4: Poravnava dveh rentgenogramov, a in b. Slika c je poravnana slika b na sliko a. Slika d je razlika med sliko a in b. Slika e pa je razlika med sliko a in c ($t_x=\pm 10$, $t_y=\pm 20$, $r=\pm 3^\circ$, $e=0$, $k=1\pm 0.4$, $s=\pm 80$, $N=15000$, $t=4$).

prisotnosti dodatnih objektov na sliki 4.a. Slika 4.c je rezultat poravnave slike 4.b na sliko 4.a. Slika 4.d je slika razlik med slikama 4.a in 4.b pred poravnavo. Slika 4.e pa prikazuje razlike med slikama 4.a in 4.c, torej razlike med slikama po poravnavi. S postopkom poravnave smo uspešno izvedli globalno geometrijsko in svetlobno poravnavo. Lokalna neskladja med slikama niso povzročala napak pri poravnavi. Na sliki razlik 4.e lahko lokalna neskladja opazimo kot svetlejša oziroma temnejša področja na nevtralni sivi podlagi, ki predstavlja nespremenjeno slikovno vsebino vhodnih slik.

Na sliki 5 je podan primer poravnave dveh slik, zajetih s črno-belo video kamero. Slika 5.b se od slike 5.a razlikuje v velikosti, položaju, svetlobi, prisotnosti stola in v vsebini na monitorju računalnika. Slika 5.c ponazarja poravnavo slike 5.b na sliko 5.a. Na sliki 5.d je razlika med slikama 5.a in 5.c in podaja dejanska lokalna neskladja med slikama 5.a. in 5.b. Na sliki 5.d opazimo prisotnost naslanjača iz slike 5.b. Razlika med vsebino monitorjev slik 5.a in 5.b se odraža kot temnejše področje slike 5.d. Neodpravljene oziroma neodpravljive napake v geometrijskih in svetlobnih neskladjih slik 5.a in 5.b se na sliki 5.d kažejo kot manjša temnejša oziroma svetlejša področja.

7. Zaključek

V prispevku je predstavljen avtomatski postopek za poravnavo slik, ki temelji na modelu poravnave s šestimi parametri. Optimalne vrednosti teh določimo z naključno optimizacijo mere podobnosti med slikami. Podana je mera podobnosti, ki je hitro izračunljiva in neobčutljiva na lokalna neskladja med slikami. Model poravnave omogoča togo geometrijsko poravnavo s povečavo ter linearno poravnavo v prostoru svetlosti. Ker bi optimizacija parametrov modela poravnave s sistematičnim iskanjem optimalnih vrednosti zahevala izredno veliko število izračunavanj mere podobnosti smo optimizacijski postopek pohitrijo z uporabo globalne naključne optimizacije. Rezultati so pokazali, da je postopek robusten in daje zadovoljive rezultate. Da bi s postopkom dejansko našli globalni maksimum mere podobnosti moramo izbrati dovolj veliko število izračunavanj mere podobnosti (za model poravnave s šestimi parametri med 1000 in 15000).



Slika 5: Poravnava dveh slik zajetih z video kamero, a in b. Slika c je rezultat poravnave slike b s sliko a. Slika d je razlika med slikama a in c. ($t_x=\pm 50$, $t_y=\pm 10$, $r=0^\circ$, $e=1\pm 0.7$, $k=0$, $s=\pm 20$, $N=10000$, $t=4$).

Pri praktični uporabi postopka na določenem področju je smiselno uporabiti tak model poravnave, ki bo zmožgal odpraviti neželena globalna in ohraniti lokalna slikovna neskladja. V primeru manjših slikovnih neskladij tako dobimo enostaven model z malo parametri. Pri kompleksnejših odstopanjih med slikami, ki se kažejo kot npr. nelinearna popačenja geometrije in svetilnosti vzorca, moramo izbrati ustrežnejši model poravnave z več parametri. Pri optimizaciji parametrov modelov z velikim številom parametrov je smiselno uporabljati boljše optimizacijske metode, ki z manjšim številom izračunavanj kriterijske funkcije pohitrijo postopek poravnave.

Literatura

- [1] M. Herbin, A. Venot, J. Y. Devaux, E. Walter, J. F. Lebruchec, L. Dubertret, and J. C. Roucayrol. Automated registration of dissimilar images: Application to medical imagery. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 47:77-88, 1989.
- [2] L. Pronzato, E. Walter, A. Venot, J.F. Lebruchec. A general purpose global optimizer: Implementation and applications. *Mathematics and Computers in Simulation* 26:417-422, 1984.