

Zaznavanje napak na pletenem plašču s prilagodljivim algoritmom

Miha PIPAN, Andrej KOS, Niko HERAKOVIČ

Izvleček: Pri proizvodnji pletenic za izdelavo visokotlačnih cevi lahko pride med proizvodnjo do napak, ki lahko povzročijo predrtje plašča visokotlačne cevi med uporabo in odpoved hidravličnega sistema. Visokotlačne cevi so različnih premerov, dimenzij in barv vlaken ter gostote opleta. Članek opisuje delovanje prilagodljivega algoritma, ki s pomočjo orodij za transformacijo in analizo slik omogoča zaznavanje napak na pletenici. Algoritem za zaznavanje napak je sestavljen iz treh sklopov. Prvi sklop vsebuje matematični algoritem za avtomatsko prilagoditev na različne dimenzije pletenic. Drugi sklop opravi analizo gostote opleta cevi in kalibracijo sistema za zaznavanje in javljanje napak. Zadnji sklop predstavlja analizo opleta med izdelavo in ustavitve stroja za opletanje ob zaznavi napake na pletenici. Razviti sistem strojnega vida za adaptivni nadzor je bil uspešno preizkušen in je pripravljen za uporabo v industrijskih aplikacijah.

Ključne besede: pletenica, strojni vid, zaznavanje napak, prilagodljiv algoritem, analiza

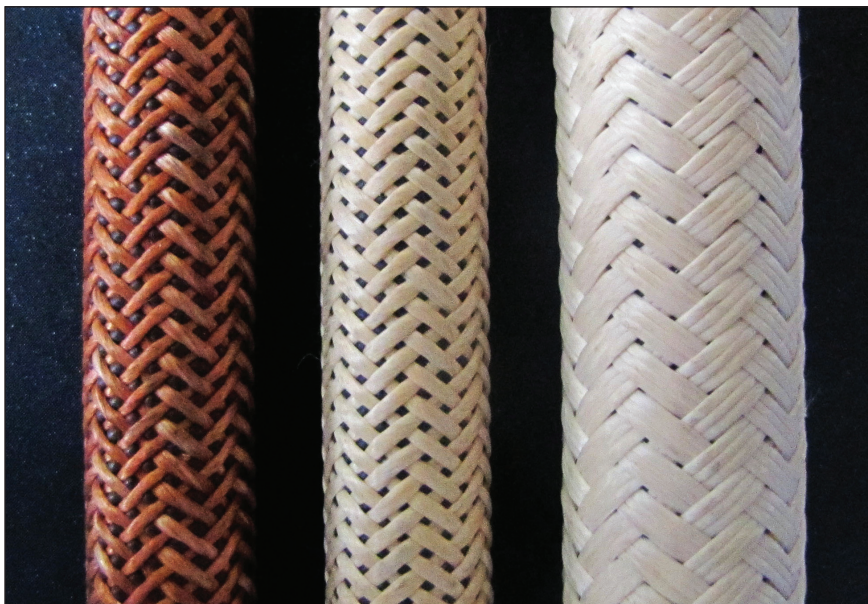
1 Uvod

Analiza napak na pletenici je pri izdelavi visokotlačnih cevi zelo pomembna. Cevi se izdelajo z navijanjem opleta na jedro in kasnejšim gumiranjem. Jedro se nato izvleče

in s tem je izdelava visokotlačne cevi končana. Zaradi visokega tlaka v ceveh na opletu ne sme biti napak, saj v nasprotnem primeru pride do porušitve plašča in poškodb stroja in ljudi. Algoritem za zaznavanje napak se mora prilago-

iti za zmanjšanje vpliva različnih barv opleta smo za osvetlitev uporabili infrardečo (IR) svetlobo. S tem smo dobili dober kontrast med vlakni in jedrom. Oplet brez napak pod IR-svetlobo je prikazan na *sliki 2*.

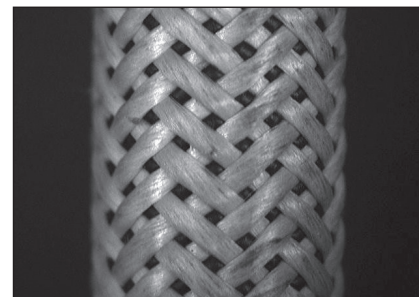
Vzrok za napake med proizvodnim procesom je predvsem zaplet vlaken med seboj ali v pletilni del naprave za opletanje. Ob pojavu na-



Slika 1. Različne vrste opletov za analizo napak

Miha Pipan, univ.dipl. inž., Andrej Kos, univ. dipl. inž., izr. prof. dr. Niko Herakovič, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

diti na različne dimenzije in gostoto opleta pletenega plašča in zaznati napake. Prav tako barva vlaken ne sme vplivati na zaznavanje napak. Na *sliki 1* so prikazani opleti različnih dimenzij, gostot in barv.

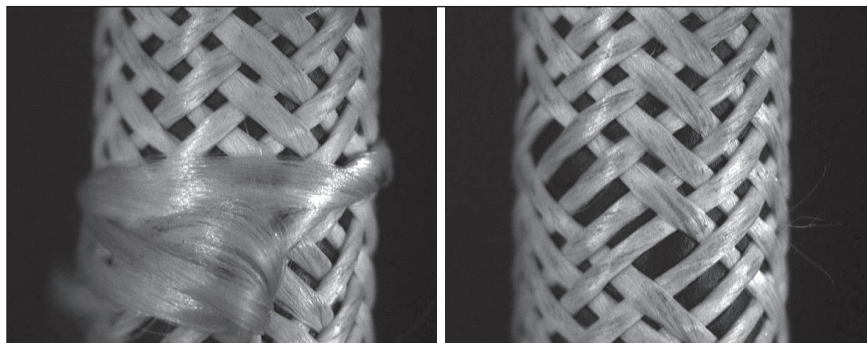


Slika 2. Oplet brez napak pod IR-svetlobo

pake se ta nadaljuje, dokler se proizvodni proces ne ustavi in sistem ponovno nastavi. Napaka se lahko pojavi v dveh oblikah, in sicer:

- vozeli ali ohlapne niti,
- manjkajoča vlakna.

Na *sliki 3* sta prikazani obe vrsti napak, ki sta vidni iz vseh smeri, tako da je napake mogoče odkriti samo z eno kamero.

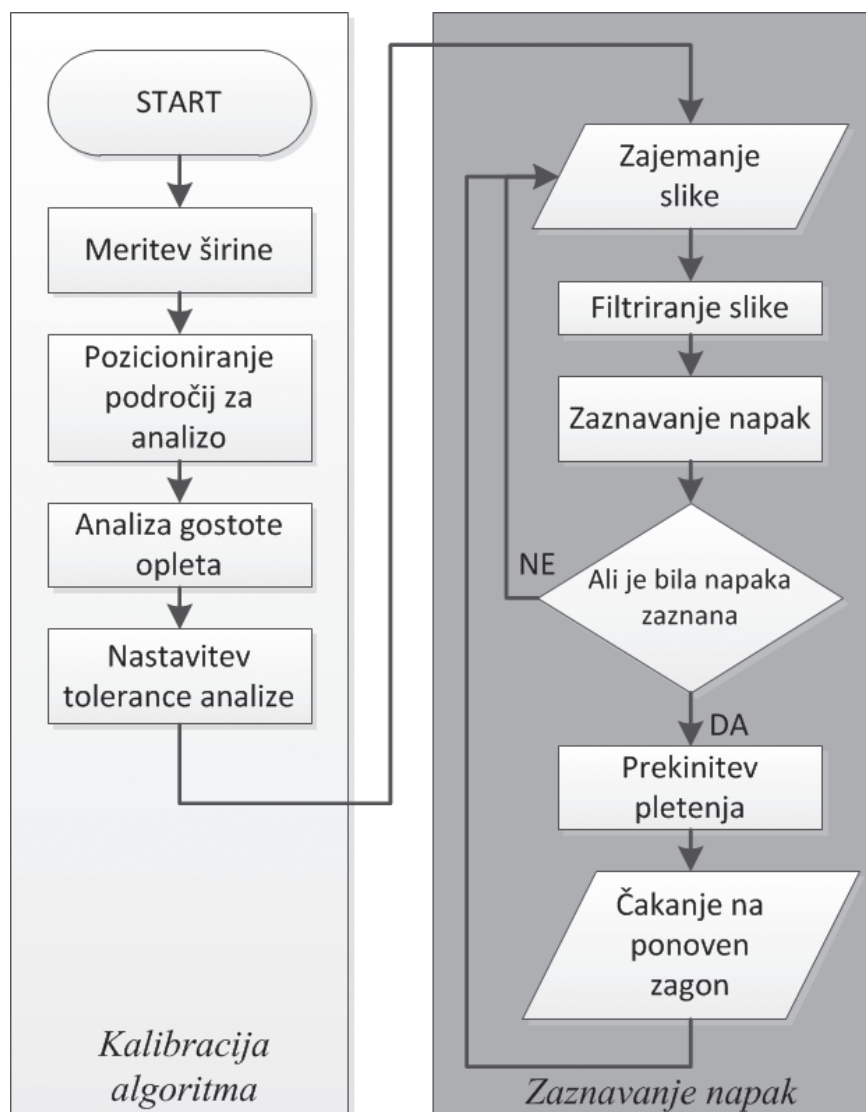


Slika 3. Obe vrsti napak, ki se pojavljata na pletenici

2 Algoritem za zaznavo napak

Sistemi za analizo s strojnim vidom v primerjavi z biološkimi sistemi niso fleksibilni in so skoraj vedno prilagojeni specifični nalogi [1]. Obstajajo različne metode za zaznavanje napak na vrveh, jeklenih pletenicah in tekstilu [2, 3]. Metode

odkrievanja napak bazirajo na statističnih analizah, uporabi matematičnih modelov za primerjavo slik in primerjavo slik s 3D-modeli. Algoritem je bil razvit z uporabo programskega orodja Matlab. Slika 4 prikazuje strukturo algoritma, ki analizira površino opleta. Sestavljen je iz dveh glavnih delov – kalibracija algoritma in zaznava napak.



Slika 4. Blokovna shema algoritma za zaznavo napak

a) Merjenje širine pletenice

Merjenje širine pletenice in njene lege smo izvedli tako, da smo zaznali robova pletenice na filtrirani sliki. Robove zaznavamo kot črte s pomočjo standardne Houghove transformacije [4]. Iz lege dveh zaznanih premic izračunamo razdaljo med njima in določimo središče pletenice na sliki.

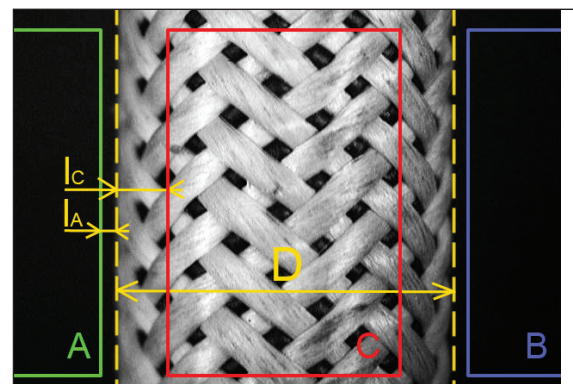
b) Izbira dela slike za analizo

Analizirali smo samo del slike, ki vsebuje koristno informacijo. Območja na sliki smo izbrali glede na lego zaznane pletenice. Uporabili smo tri pravokotna območja. Eno zajema srednji del pletenice. Drugi dve območji vsebujeta prostor na levi in desni strani pletenice. Srednje področje smo uporabili za zaznavanje manjkajočih niti, ki so se pretrgale. Levo in desno področje smo uporabili za zaznavanje niti, ki so visele stran od pletenice. S pomočjo algoritma smo avtomatično določili širino vseh treh območij slike glede na debelino pletenice, ki smo jo izmerili s strojnim vidom.

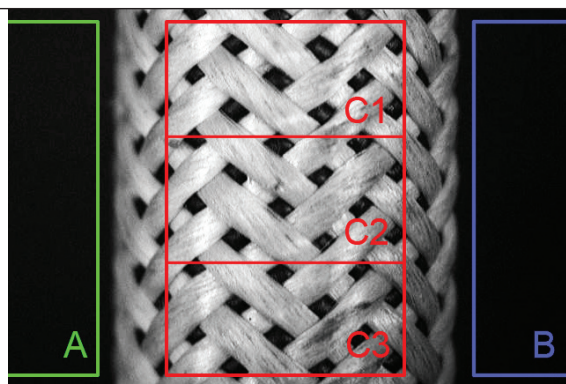
Razdalji l_A in l_C na sliki 5 sta bili določeni tako, da ni bilo napačnih zaznav napak zaradi upogibanja cevi, ki je bilo posledica delovanja stroja. Tako je bila l_A široka 3 mm. Največji izmerjeni pomik cevi zaradi upogibanja je bil 2 mm. Razdalja $l_C = 9$ mm določa robove cevi, kjer je zaradi ukrivljenosti površine struktura pletenice slabo vidna, zato tega dela ne analiziramo.

c) Merjenje gostote opleta

Preden prično meriti gostoto opleta, moramo določiti mejne vre-



Slika 5. Področja analize slike z označenima razdaljama l_A in l_C



Slika 6. Področja za merjenje osvetljenosti vzorca pletenice

dnosti za določen tip opleta, ki ga analiziramo. To naredimo tako, da najprej analiziramo en del opleta, ki pa ne sme vsebovati napak. Zato najprej preverimo, da vzorčni del nima napak. To storimo tako, da izmerimo jakost svetlobe na srednjem območju slike. Preverimo, ali je jakost svetlobe enaka na celotnem območju, tako da ga razdelimo na tri enako velike dele v smeri premikanja pletenice. Povprečno osvetljenost celotnega območja potem primerjamo s povprečno osvetlitvijo podobmočij C1, C2 in C3, da preverimo, če je začetni del pletenice ob zagonu stroja brez napak (slika 6). Če se katera izmed vrednosti močno razlikuje od vrednosti celotnega območja, vzorec vsebuje napako.

Vrednost osvetlitve območij A in B mora biti enaka 0. Če tudi v teh območjih ni napak, uporabimo povprečno vrednost celotnega območja C pri nadaljnjem zaznavanju napak.

d) Določanje tolerančnega območja

Tolerančno območje osvetljenosti izbranega dela slike se uporablja za določanje, ali je odstopanje osvetljenosti od referenčne vrednosti tako veliko, da gre za napako. Meje tolerančnega območja določimo ob meritvi vzorca pletenice. Izmerimo srednjo vrednost, hkrati pa tudi najmanjšo in največjo vrednost osvetljenosti vzorca. Meje tolerančnega območja smo postavili tako, da je razlika med povprečno vrednostjo in mejno vrednostjo 10 odstotkov večja kot razlika med povprečno vrednostjo in največjo vrednostjo pri izmerjenem vzorcu.

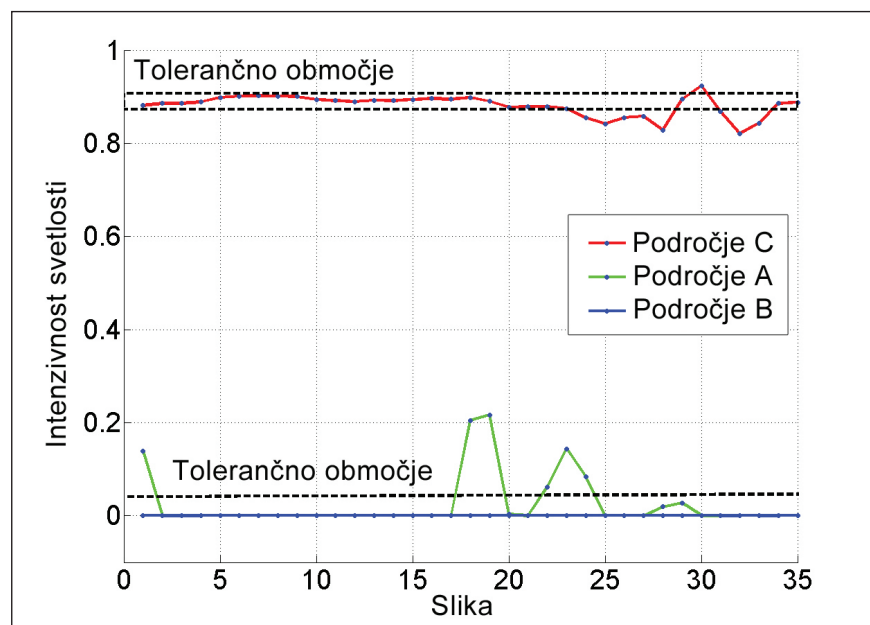
e) Zaznavanje napak opleta

Kadarkoli je razlika med merjeno gostoto opleta (osvetljenost merjenega območja slike) in gostoto vzorca večja od tolerančne meje, je napaka zaznana. Ko smo napako zaznali, smo pletilni stroj ustavili in napako sporočili operaterju stroja.

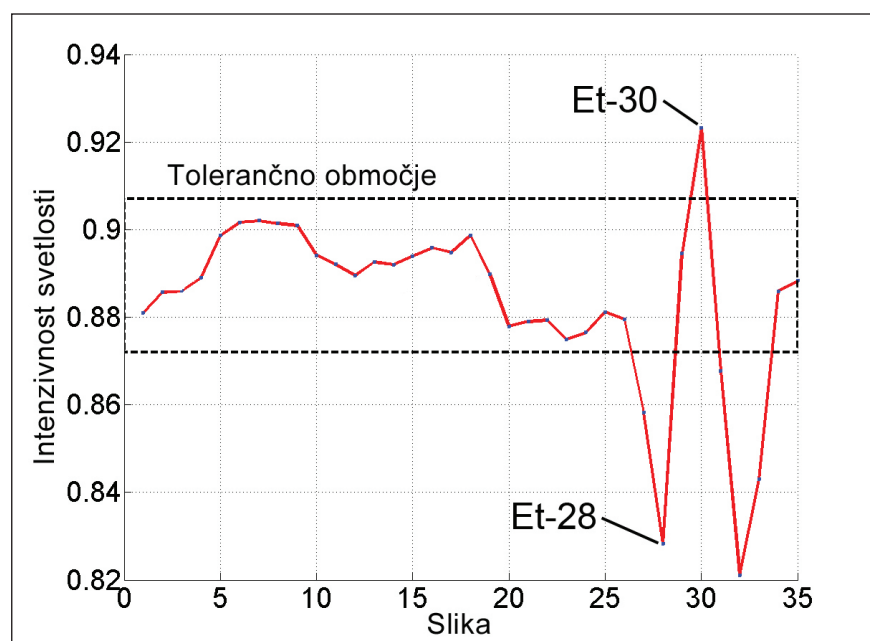
3 Rezultati

Izvedli smo test z zaporedjem 30 fotografij, ki smo jih naredi-

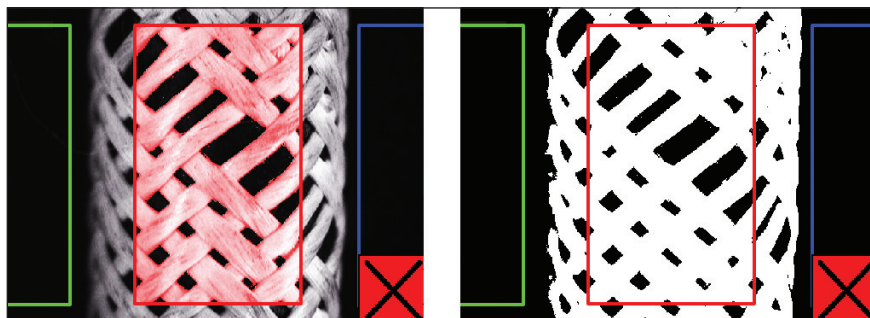
li s kamero, nameščeno na testni pripravi. Pred izvedbo testa smo določili ustrezne parametre I_A in I_C , da smo preprečili napačno zaznane napake zaradi zvijanja cevi. Za izračun tolerančnih mej smo uporabili vzorec pletenice brez napak. Osvetljenost območja C je bila zvezna z majhnimi odstopanji, kar je ključno za dobro zaznavanje napak. Odstopanja ob napakah so bila vsaj dvakrat večja. Vrednosti osvetljenosti so prikazane na grafu na sliki 7. Na grafu so označene tudi tolerančne meje.



Slika 7. Graf osvetljenosti treh področij slike in tolerančna območja med testiranjem algoritma



Slika 8. Osvetljenost območja C z napakama Et-28 in Et-30

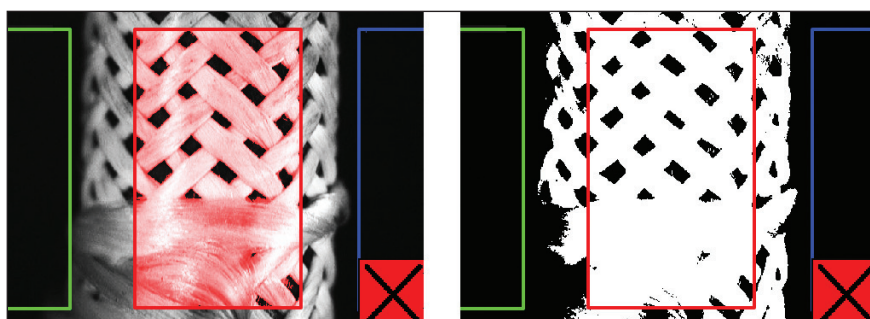


Slika 9. Zaznana napaka Et-28 zaradi manjkajoče niti. Na levi je prikazana fotografija pletenice z napako, na desni pa binarna slika, ki se je uporabila za izračun povprečne osvetlitve.

Na grafu je označena napaka Et-18, prikazana na *sliki 12*.

■ 4 Zaključek

Testiranje adaptivnega algoritma za odkrivanje napak z analizo svetlosti treh območij se je izkazalo za uspešno. Algoritem se avtomatično prilagodi na različne dimenzije in gostoto pletenja. Prav tako so bile zaznane vse napake na testnih opletih, kar pomeni, da je bila zanesljivost pri analizi testnih opletov 100 %. Z uporabo tega prilagodljivega algoritma v kombinaciji s CCD-kamero in krmilnikom lahko zmanjšamo izgube v proizvodnji, saj se pletenje ustavi takoj, ko pride do napake. Naša rešitev se lahko enostavno vgradi in je zanesljiva, če zagotovimo, da je pletenica dobro osvetljena in ne niha pravokotno na svoje gibanje.



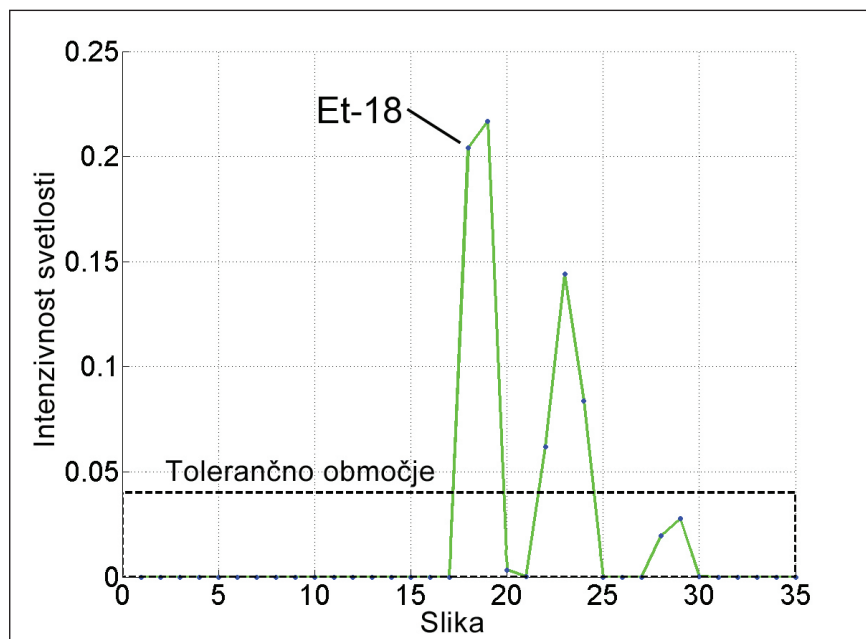
Slika 10. Napaka z vozlom (levo), binarna slika (desno)

V območju B ni bilo napak, zato je bila vrednost osvetljenosti enaka 0. V območjih C in A je bilo zaznanih več napak. Vsaka napaka je zaznana večkrat, ker je posamezna napaka pletenice vidna na več slikah, medtem ko se pletenica premika iz pletilnega stroja. Hitrost zajemanja slik s kamere je takšna, da se pri konstantni hitrosti pletenica pomakne za eno tretjino vidnega polja kamere. Na *sliki 8* je prikazan graf, na katerem sta označeni napaki na fotografijah 28 in 30 (Et-28 in Et-30).

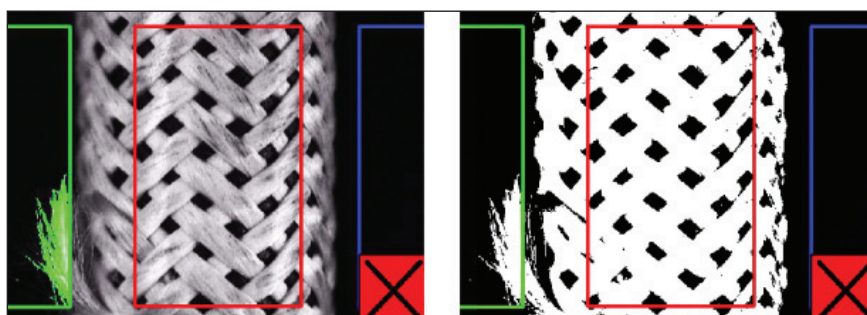
Osvetljenost pri napaki Et-28 je pod tolerančno mejo, ker je zaradi manjkajoče strgane niti področje temnejše. Na *sliki 9* je prikazana zaznana napaka.

Zaznali smo tudi napake, zaradi katerih se je povprečna osvetljenost opazovanega območja povečala. To se je zgodilo zaradi strgane niti, ki se je zavozlala okrog pletenice. Takšna napaka je prikazana na *sliki 10*.

Napake v območjih A in B zaznamo, ko je povprečna vrednost osvetljenosti večja od 0. Na *sliki 11* je prikazan graf osvetljenosti območja A.



Slika 11. Osvetljenost območja A in prva zaznana napaka Et-18



Slika 12. Napaka v območju A (levo), binarna slika (desno)

Reference

- [1] Iivarinen, J., Visa, A. (1998). An adaptive texture and shape based defect classification. *Proceedings of the 14th International Conference on Pattern Recognition (Volume:1)*, Brisbane, Aug 16–20, 1998.
- [2] Wacker, E., et al. (2013). Enhanced anomaly detection in wire ropes by combining structure and appearance, *Pattern Recognition Letters*, 34, 8, 1 June 2013, 942–953.
- [3] Platzer, E., et al. (2010). On the Suitability of Different Features for Anomaly Detection in Wire Ropes. *VISIGRAPP 2009*, 2010, 296–308.
- [4] Tetsuo Asano, Naoki Katoh, Variants for the Hough transform for line detection, *Computational Geometry*, 6, 4, July 1996, 231–252, ISSN 0925-7721.

Detection of defects in the braided sleeving with adjustable algorithm

Abstract: Braided sleeving is used for the production of high-pressure pipes. Errors may occur during the manufacturing process of sleeving. This errors can cause pipe rupture and failure of the hydraulic system will occur. High-pressure pipes come in different diameters, braiding densities and fiber colors. This article describes the adaptive algorithm that was developed for detection of defects on braided sleeving. Analyzed sleeveings have different dimensions, knitted fiber densities and colors. The algorithm for detecting errors consists of three main sections. The first part contains a mathematical algorithm for automatic adaption to different dimensions of the sleeving. The second part calculates the density of braiding and calibrates system for error detection. The last part is an operational mode that detects errors and stops the production during the production process. The developed algorithm has been successfully tested and is ready for use in industrial applications.

Keywords: braided sleeving, machine vision, fault detection, adaptive algorithm, analysis

I PRO ING d.o.o.

- Varilna oprema in varilni materiali vodilnega svetovnega proizvajalca **LINCOLN ELECTRIC**
- Varilna oprema proizvajalca **MERKLE** - Nemčija
- Širok izbor dodatnih materialov za varjenje
- Industrijsko odsesovanje in odpraševanje - **NEDERMAN**
- Hitro zaporne spojke za vse aplikacije in različne medije
- Avtomatizacija varjenja
- Implementacija in integracija varilnih sistemov in tehnologij na robotskih aplikacijah

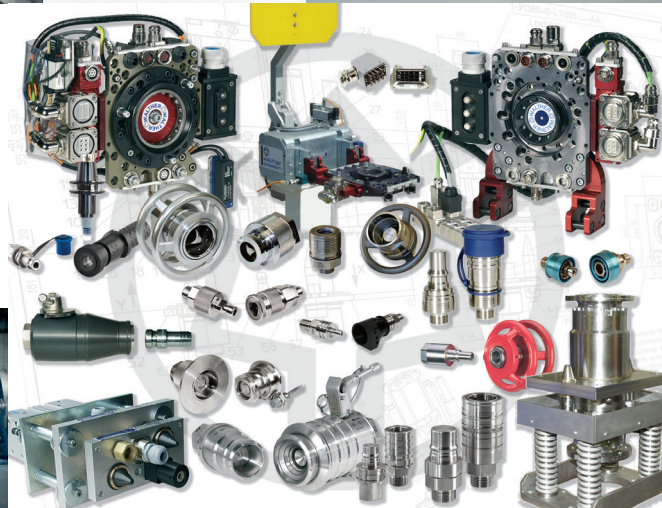
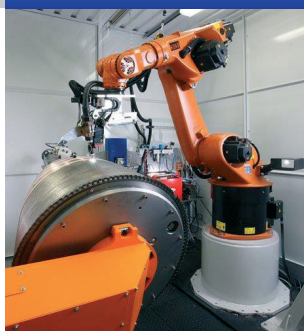
LINCOLN
ELECTRIC

Nederman

MERKLE

walther
präzision
Quick Coupling Systems

V SODELOVANJU Z NAJBOLJŠIMI



Servis varilne opreme

Pooblaščen zastopnik za Slovenijo:
I PRO ING d.o.o., Tel.: 01/56-11-045, info@ipro.si, www.ipro.si