

## OPTOELEKTRONSKI SISTEM ZA PROCENU KVALITETA KARTONA U TOKU PROIZVODNOG PROCESA

Marko Barjaktarović<sup>1</sup>, Slobodan Petričević<sup>1</sup>, Branko Rašeta<sup>2</sup>, Jovan Radunović<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 11000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73  
<sup>2</sup>“UMKA” A.D Fabrika kartona, Umka, 13. Oktobar br. 1

**Sadržaj** – U ovom radu prezentovan je sistem za procenu kvaliteta proizvedenog kartona na bazi vrednosti koeficijenta korelacije koji se izračunava za trenutno snimljenu sliku i unapred definisan etalon. Sistem je realizovan za potrebe fabrike kartona “Umka”, uz pomoć industrijske firewire kamere, čiji je izbor izvršen u skladu sa konkretnim zahtevima procesa proizvodnje. Izračunavanje koeficijenta korelacije izvršeno je korišćenjem softverskog paketa LabView.

### 1. UVOD

Kvalitet kartona kontroliše se slikom sa 256 nijansi sive (8 bita po pikselu) veličine 1000\*1000 piksela što odgovara prirodnim dimenzijama od 1m\*1m, odnosno piksel ima dimenzije nekoliko mm<sup>2</sup>. Za proizvodni proces najznačajniji defekti su:

- nedostatak sloja poslednjeg premaza – površina kartona nije reflektivna kao u slučaju etalona
- nedostatak dela premaza – slično kao u slučaju nedostatka sloja stimo što to važi za deo površine kartona obuhvaćen jednom slikom
- linijski defekti – nastaju kao posledica preklapanja slojeva kartona usled nejednake vlage premaza duž poprečnog preseka kartona. Na slici kartona se mogu uočiti kao izrazita useklina
- veći krupni defekti kružnog oblika:
  - mrlje – izrazito tamne oblasti, skoro crne, u odnosu na okolne piksele, i
  - fleke – svetlije oblasti u odnosu na okolne piksele koje se jasno mogu uočiti na slici, posledica su lošeg vezivanja poslednjeg premaza.

Poređenjem trenutno proizvedenog kartona (pod kartonom podrazumeva se njegova crno-bela slika) sa unapred definisanim etalonom, moguće je utvrditi kojoj klasi kvaliteta pripada dobijeni karton. Unapred definisan etalon predstavlja karton bez uočljivih defekata, čiji kvalitet ocenjuje operater na osnovu svog iskustva.

Trenutno dostupan sistem za kontrolu kvaliteta kartona (WIS – Web Inspection System), razvijen od strane američke firme “Honeywell”, koristi linijski CCD senzor sa 1000-4000 piksela, pri čemu se može snimiti širina kartona od 600 mm. Ovaj sistem prepoznaje različite defekte, ali ih ne evidentira odvojeno, tako da nije moguće njihovo markiranje po tipu defekta.

### 2. OPIS OPTOELEKTRONSKOG SISTEMA

Sistem za procenu kvaliteta kartona sastoji se od firewire kamere (standard IEEE 1394), reflektora sa halogenom sijalicom i PC računara opremljenog PCI firewire karticom.

Kamera je izabrana na osnovu parametara procesa proizvodnje i zahteva za kontrolu kvaliteta. Naime, brzina karton mašine kreće se do 240 m/min, sa tendencijom povećanja na 500 m/min. To znači da je potrebno preneti do 4 MB/s (trenutna maksimalna brzina) od kamere do računara,

odnosno maksimalno 4 slike u sekundi, pri čemu svaka slika predstavlja 1 m<sup>2</sup> kartona. Slika jednog kartona sadrži milion piksela, pri čemu svaki piksel zauzima 1 bajt, pa cela slika ima veličinu od skoro 1 MB. Vremenski interval između dve uzastopne ekspozicije kamere potrebno je iskoristiti za obradu slike i alarmiranje u slučaju krupnih defekata.

Još jedan od kriterijuma pri izboru kamere predstavlja vreme ekspozicije (*shutter speed*) koje u ovom slučaju iznosi 1 ms što odgovara pomeranju kartona od 4 mm, pri trenutno najvećoj brzini izvlačenja kartona. Do ove vrednosti došlo se eksperimentalno, manji *shutter speed* proizvodi veći šum u slici, a veći dovodi do usrednjavanja više susednih piksela.

Kamera je postavljena na karton mašini, neposredno pri njenom kraju na kome se vrši namotavanje kartona u kotur kartona (*tamburu, rolnu*). U ovom delu procesa karton je već formiran, odnosno svi premazi su nanoseni i osušeni.



Sl.1. Izgled karton mašine zajedno sa kamerom i reflektorom.

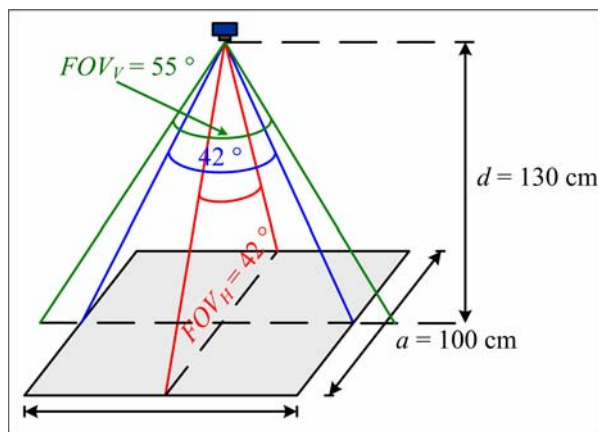
Montiranje kamere je izvršeno na visini od 1,3 m u odnosu na površinu kartona, kako bi slika predstavljala karton površine 1 m<sup>2</sup>, što se dobija iz sledeće jednačine:

$$d = \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \frac{FOV_H}{2} = 130 \text{ cm} \quad (1)$$

gde je  $d$  rastojanje kamere od kartona,  $a = 1$  m dimenzija kartona i  $FOV_H = 42^\circ$  vidno polje kamere po horizontali, koje je manje od vidnog polja kamere po vertikali  $FOV_V = 55^\circ$ , slika 2.

Drugi bitan problem u realizaciji sistema predstavlja izbor adekvatnog osvetljenja. Naime, upotreba neonskog svetla (kao i bilo kog drugog izvora svetlosti direktno napajanog iz mreže) nije dolazila u obzir, jer je perioda naizmeničnog napona (a time i generisanog osvetljenja) 20 puta veća od vremena ekspozicije. Kao posledica dobijaju se nejednako

osvetljene slike, zbog čega se vrednosti koeficijenta korelacije dve skoro identične slike kartona razlikuju za više od 0,2. Upotreba halogene lampe napajane jednosmernim naponom od 24 V, takođe nije dovela do dovoljno dobrih rezultata, jer je površina osvetljenje oblasti bila manja od 1 m<sup>2</sup>. Rešenje je ostvareno upotrebom reflektora sa halogenom sijalicom oblika štapića, pri čemu je izvršeno ispravljanje mrežnog napona kako bi intenzitet dobijenog svetla bio približno konstantan. Bilo je neophodno izvršiti peskiranje stakla na reflektoru, kako bi se dobio skoro Lamberov izvor. Naime, karton je izrazito glatka i svetlucava površina, odnosno odlično reflektuje vidljivu svetlost koju emituje reflektor. Usled toga, na slici kartona javlja se izrazito osvetljena oblast kao posledica direktne refleksije užarenog vlakna. Korišćenjem difuzora (peskiranog stakla) i osvetljavanjem kartona pod uglom (u odnosu na normalu) eliminisan je pomenuti problem.



Sl.2. Skica uz proračun mesta postavke kamere.

Nakon prenosa slike na računar vrši se njena obrada. Korišćeni računar je Intel Celeron na 2.4 GHz, sa 256 MB RAM memorije i Windows 2000 operativnim sistemom. Algoritam za upravljanje kamerama, obradu slike, generisanje izveštaja, alarmiranje, itd. razvijen je u softverskom paketu LabView 7.1 uz upotrebu softverskog paketa MS Visual C++ 6.0.

### 3. ALGORITAM ZA KLASIFIKACIJU DEFEKATA NA KARTONU

Algoritam je baziran na izračunavanju koeficijenta korelacije između trenutnog kartona i etalona, čija je vrednost data sledećim izrazom:

$$Cor(I, E) = \frac{\sum_i \sum_j (I(i, j) - \bar{I})(E(i, j) - \bar{E})}{\sqrt{\sum_i \sum_j (I(i, j) - \bar{I})^2} \sqrt{\sum_i \sum_j (E(i, j) - \bar{E})^2}} \quad (2)$$

gde je  $I$  – slika trenutnog kartona,  $I(i, j)$  – piksel sa koordinatama  $i$  i  $j$ ,  $\bar{I}$  – srednja vrednost piksela u slici  $I$ , dok  $E$  predstavlja sliku etalona.

Etalon je dobijen usrednjavanjem slika kartona u dužem vremenskom intervalu. Pri tome su u obzir uzete samo one slike kartona čiji je koeficijent korelacije sa predhodno snimljenom slikom kvalitetnog kartona veći od 0.997.

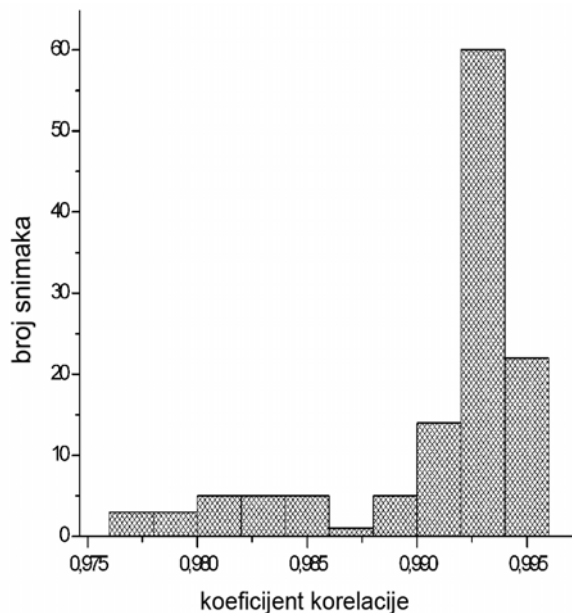
U slučaju da je vrednost koeficijenta korelacije trenutno snimljenog kartona i etalona manja od vrednosti koju zadaje operater, slika tog kartona se memoriše na hard disku računara, kako bi operater naknadno mogao da utvrdi koji tip defekta je izazvao manju vrednost koeficijenta korelacije od propisane. Takođe, uključuje se i rotaciona lampa koja signalizira operateru pojavu defekta. Lampa se gasi kada operater uoči rad lampe i aktivira predviđeni taster. Obaveštavanjem operatera omogućeno je vršenje korekcionih radnji kako bi se uklonili defekti, što sprečava bespotrebno trošenje repromaterijala, neproduktivan rad karton mašine i pojavu škarta.

### 4. KLASIFIKACIJA DEFEKATA NA OSNOVU KOEFICIJENTA KORELACIJE

U dosadašnjem procesu proizvodnje kartona uočeno je oko 40 tipova defekata. Od veličine i tipa defekta zavisi i vrednost koeficijenta korelacije. Za sada, posmatraju se oni defekti koji predstavljaju krupne nedostatke kartona kao što su: nedostatak dela premaza, nedostatak celog sloja, linijski defekti i veći krupni defekti kružnog oblika - mrlje (tamni defekti) i fleke (svetli defekti).

Da bi se utvrdilo kom tipu defekta odgovara određeni interval vrednosti koeficijenta korelacije snimljeno je oko 100000 slika kartona, koje su sortirane po kategorijama na osnovu tipa defekta i dobijeni su sledeći rezultati:

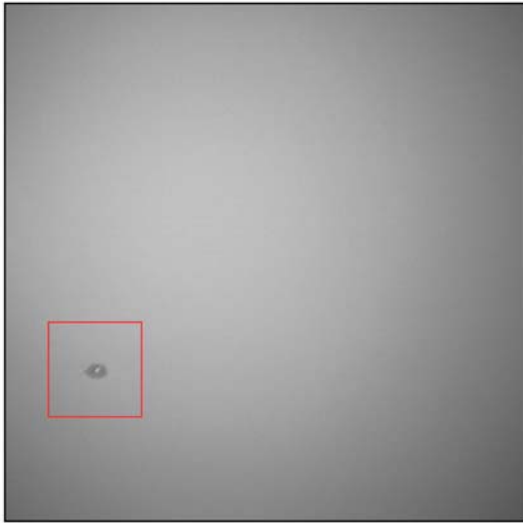
1. Tipični defekti su mrlje i fleke, koji ujedno predstavljaju i najčešći razlog reklamacije pri isporuci kartona. Na osnovu snimljenih slika, izabrano je 120 najuočljivijih defekata i formiran je histogram, prikazan na slici 3a. Kao primer jednog defekta, na slici 3b prikazana je slika kartona sa mrljom.



Sl.3a. Histogram raspodele koeficijenta korelacije za defekat tipa mrlja i fleka.

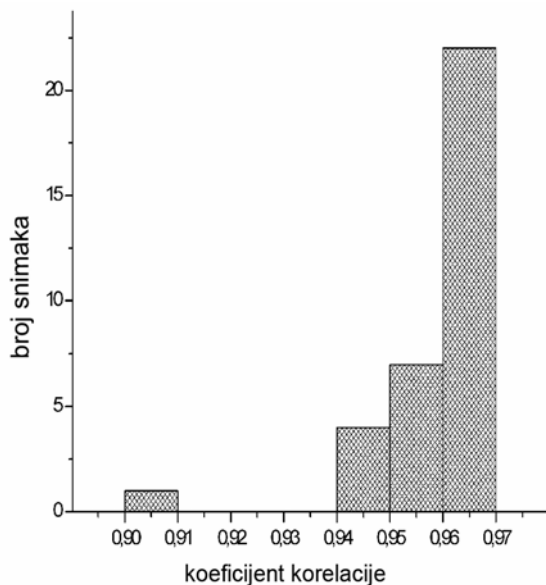
Vrednost koeficijenta korelacije za ova dva tipa defekta kreće se u opsegu od 0,949 do 0,977 (zavisno od površine defekta), pri čemu je nemoguće tačno utvrditi da li je u pitanju mrlja ili fleka, što je i razumljivo s obzirom na način računanja koeficijenta korelacije, izraz (2).

2. Linijski defekti se izrazito retko javljaju i pronađeno je svega njih 10 pri čemu se vrednost koeficijenta korelacije kreće od 0,970 do 0,972.



Sl.3b. Slika kartona sa mrljom.

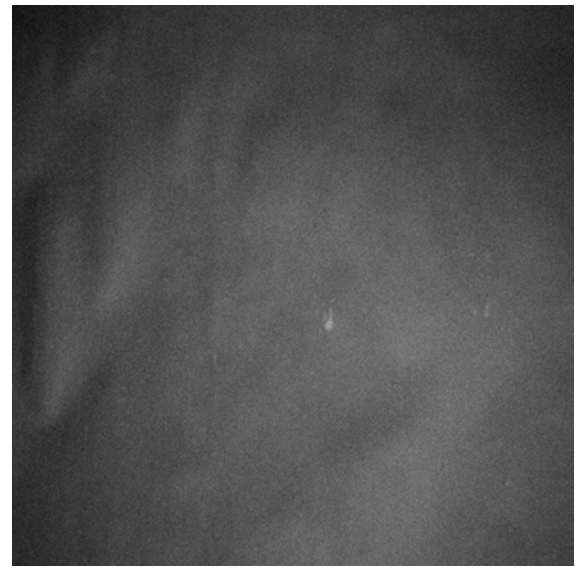
3. Nedostatak dela premaza nastaje pri menjanju tipa kartona koji se proizvodi ili pri lošem nanošenju sloja na podlogu kartona. Prvi uzrok, koji je posledica samog proizvodnog procesa, se ne može otkloniti. Drugi se eliminiše odsecanjem nekoliko metara pri odmotavanju kotura kartona i sečenju u unapred definisan format (*tabakiranje*). Pri pojavi ovog drugog uzroka neophodno je alarmiranje kako bi se pravovremeno reagovalo i otklonio kvar, čime se smanjuje količina škarta. Vrednost koeficijenta korelacije se kreće u opsegu od 0,909 do 0,968. Histogram koeficijenta korelacije za ovaj tip defekata prikazan je na slici 5.



Sl.5. Histogram raspodele koeficijenta korelacije u slučaju nedostatka premaza.

4. Odstustvo celog sloja je redak defekat. Nastaje prilikom grešaka u hemijskom procesu formiranja premaza za određeni sloj. Primećeno je da tada koeficijent korelacije može imati veoma različite vrednosti od -0,334 do 0,745. Ovako različite vrednosti dobijaju se usled "gužvanja" kartona, jer brzina namotavanja kartona zavisi od gramature, tj površinske gustine [ $g/m^2$ ] (što je veće masa, brzina izvlačenja mora biti manja). Kada nestane sloj, smanjuje se masa kartona, što prozrokuje sabijanje kartona usled

promene elastičnosti, tzv "gužvanje". Srećom, pomenuta pojava pozitivno utiče na otkrivanje defekta, jer izrazito smanjuje vrednost koeficijenta korelacije.



Sl.6. Izgled kartona pri nestanku celog sloja.

Ova analiza histograma defekata omogućila je da se procene vrednosti koeficijenta korelacije ( $Cor(I,E)$ ) za određen tip defekta i realizuje protokol za njegovo prepoznavanje prema sledećem algoritmu:

1.  $Cor(I,E) \geq 0,997$  – nema defekata
2.  $0,975 < Cor(I,E) \leq 0,997$  – defekat tipa mrlja ili fleka
3.  $0,970 < Cor(I,E) \leq 0,975$  – linijski defekti
4.  $0,800 \leq Cor(I,E) \leq 0,970$  – defekat prouzokovan nedostatkom dela premaza
5.  $Cor(I,E) < 0,800$  – nedostatak celog sloja kartona.

Rezultati ovog istraživanja omogućili su da se na osnovu dobijenih vrednosti koeficijenata korelacije formira izveštaj o kvalitetu kartona tako što će se evidentirati: rastojanje od početaka kotura na kome se javio defekat, vrednost koeficijenta korelacije, procena tipa defekta.

Ovako dobijen izveštaj omogućuje da naknadno, prilikom sečenja kartona automatski uklone uočeni defekti, čime će se postići optimalna iskorišćenost sečenja kartona iz kotura u unapred definisan format (npr 1000mm\*710mm).

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan realizovan optoelektronski sistema za procenu kvaliteta kartona u procesu proizvodnje, na osnovu koga se može izvršiti karakterizacija i markiranje defekata na koturu kartona. Izvršen je izbor adekvatnog osvetljenja i parametara kamere kako bi se postigla optimalna kontrola kvaliteta kartona. Kontrola kvaliteta je izvršena poređenjem slike trenutnog kartona i slike etalona, izračunavanjem

koeficijenta korelacije. Na ovaj način moguća je detekcija nekoliko najznačajnijih defekata u procesu proizvodnje kartona. Takođe, sistem signalizira pojavu defekta radi izvođenja korekcionih radnji kako bi se uklonio uzrok pojave većih defekata. Na osnovu razvijenog sistema biće realizovan informacioni sistem za automatsko uklanjanje defektnih kartona prilikom sečenja i tabakiranja.

## LITERATURA

- [1] National Instruments Home Page: [www.ni.com](http://www.ni.com)
- [2] Basler Vision Technologies Home Page: [www.basler-vc.com](http://www.basler-vc.com)
- [3] National Instrument Corporation, "LabView – User Manual", 2003.
- [4] National Instrument Corporation, "Using External Code in LabView", 2003.
- [5] National Instrument Corporation, "IMAQ Vision for LabView", 2003.
- [6] National Instrument Corporation, "IMAQ Vision Concepts Manual", 2003.

**Abstract** – This paper presents an industrial system for paper quality estimation using correlation function calculated from instantaneous paper image and reference paper image. System was developed for paper factory "Umka" using industrial firewire camera. Calculating correlation function value was accomplished using LabView software packet. System components have been selected in accordance with production requirements.

### **OPTOELECTRONICS SYSTEM FOR PAPER QUALITY ESTIMATION DURING PRODUCTION PROCESS**

Marko Barjaktarović, Slobodan Petričević, Branko Rašeta,  
Jovan Radunović