

Digitalna procjena svojstava krošnje jabuka sorte 'Gala' u voćnjaku s LIDAR-ovim mjernim sustavom

Sažetak

U praktičnom eksperimentu u voćnjaku zasađenom jabukama sorte 'Gala' ocijenjena je površina lišća na tri različita segmenta krošnje s lijeve i desne strane. Rezultati ručnih mjerenja uspoređeni su s laserskim (LIDAR) mjerenjima primjenom vlastitog algoritma koji je omogućio digitalnu rekonstrukciju krošnje pojedinačnih stabala. Pomoću regresijske metode, odnos između ovisne varijable (digitalni broj oblaka točaka) i neovisne varijable (površina lista, ručno mjereno) procijenjen je za pet segmenata krošnje. Analiza na pet nasumično odabranih voćnjaka u voćnjaku pokazala je maksimalnu vrijednost koeficijenta korelacije $r = 0,73$ za lijevu polovicu i $r = 0,72$ za desnu polovicu krošnje.

Ključne riječi: algoritam, sredstvo za zaštitu bilja, kontrola, krošnja, mjerenje

Uvod

Širenje digitalizacije na poljoprivredna gospodarstva u svrhu organizacije voćarske proizvodnje zahtjeva razvoj nove voćarske prakse, koje trebaju na precizan način izmjeriti površinu lišća u različitim razvojnim stadijima jabuka u voćnjaku. Zbog zahtijevanog smanjenja uporabe količine fitofarmaceutskih sredstava (FFS) u trajnim nasadima u skoroj budućnosti potrebno je točno poznavanje karakterističnih svojstava krošnje stabala jabuka u voćnjaku.

Najznačajniji čimbenik koji definira uporabu količine FFS u voćnjaku predstavlja površinu lišća pojedine krošnje stabla jabuke, koju je moguće izmjeriti senzorima, odnosno ručno. Ručno mjerenje destruktivan je, dugotrajan i skup proces u kojem se svo lišće ručno odvaja od svakog pojedinačnog stabla. Prepoznavanje karakteristike voćaka prirodnog stabla vrlo je složen zadatak. Stoga su u prošlosti pojedini istraživački timovi počeli koristiti elektroničke mjerne sustave za rekonstrukciju krošnje stabala koji su djelovali na principu ultrazvučnih, stereoskopskih ili optičkih mjernih sustava.

Ultrazvučni mjerni sustavi djeluju pomoću ultrazvučnih mjernih senzora koji se sastoje od prijemne komponente i komponente za prijenos ultrazvučnog signala u okolno područje. Ti sustavi omogućuju bezkontaktno mjerenje udaljenosti objekata od senzora na sličan način kao i radari, tako da se mogu procijeniti svojstva krošnje stabala (Ladd i Reichard, 1988; Giles i sur., 1989; Balsari i Tamagnone, 1998; Doruchowski i sur., 1998; Stajniko i sur., 2012; Molto i sur., 2001; Berk i sur., 2016). Međutim, ultrazvučni senzori su jako osjetljivi na prisutnost vodnih kapljica odnosno magle.

Stereoskopski mjerni sustav djeluje na temelju zračnih fotografija (zračna fotogrametrija) izvedenih pomoću aviona. Ti sustavi su osmišljeni tako da omogućuju odrediti točan položaj točaka na Zemljinoj površini, sa koordinatama slike određene lokacije točaka objekta (krošnja stabla) i mogu se lako pohraniti (Meron i sur., 2003; Shimborsky, 2003). Postoji nekoliko različitih optičkih mjernih sustava koji djeluju na principu optičkih mjernih senzora i mogu vrlo precizno rekonstruirati svojstva krošnje stabala. Optički mjerni sustavi djeluju na osnovi svjetlosti koja svjetlo odbija od objekta natrag u prijemnik sa optičkim senzorom.

U slučaju da objekt nije prisutan ispred senzora, prijemnik senzora ne prima svjetlost, a u prisutnosti objekta, svjetlost se od objekta odbija u prijemnik, a senzor otkriva objekt. Laserska

¹ dr. Peter Berk, prof. dr. Denis Stajniko, Maribor, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Pivola 10, 2311 Hoče-Maribor, Slovenija
Autor za korespondenciju: denis.stajniko@um.si

tehnologija zasnovana na LIDAR-u nudi rješenja za širok raspon primjena u geodeziji, arheologiji, geografiji, geologiji, geomorfologiji, seizmologiji, šumarstvu i poljoprivredi. Na temelju laserskih mjernih sustava bilježe se podaci o dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim geometrijskim oblicima objekata. Za eksperimente u voćnjaku, vinogradu ili laboratoriju obrađuju se podaci mjerenja u realnom vremenu, što je glavna prednost LIDAR mjernog sustava (Escolà i sur. 2007; Sanz i sur. 2011).

Materijal i metode rada

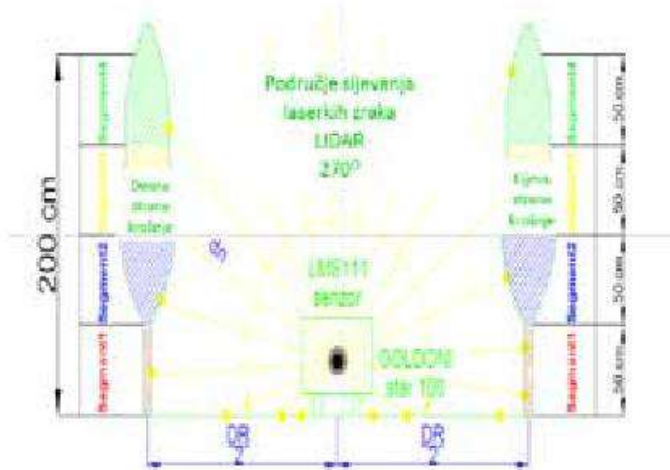
Istraživački rad obuhvatio je dva glavna dijela. U prvom dijelu površina lišća na krošnji jabuka digitalno je snimljena pomoću laserske tehnologije LIDAR. U drugom dijelu istraživanja ručno se obralo lišće iz nasumice odabranih stabala u voćnjaku, odredili njihov broj i površinu u laboratoriju te su dobiveni rezultati uspoređeni s brojem reflektiranih laserskih zraka (oblak točaka).

Voćnjak

U eksperimentalne svrhe korišten je voćnjak 'Pod blokovima IV', Univerze v Mariboru, Fakultete za kmetijstvo in biosistemske vede. Veličina voćnjaka iznosila je 41.000 m², mjesto pokusa 46° 30'9.01" N, 15° 37'38.94" E. U voćnjaku intenzivne sadnje posađene su cijepljene sadnice jabuka na slaboj osnovi M9, koja ograničuje rast nadzemnog dijela tako da brzo ulaze u plodno razdoblje i omogućuju manji uzgojni oblik krošnje stabla za optimalan prinos. Oblik uzgoja jabuka u voćnjaku bio je usko vreteno. U pokusu voćnjaka za procjenu površina lišća uključena je sorta jabuka 'gala' u starosti 5 godina, u fenološkoj fazi rasta BBCH91 prema Fleckingeru (Štampar i sur., 2005).

Rekonstrukcija stabla jabuka u voćnjaku

Za rekonstrukciju krošnje jabuka u voćnjaku, površina lišća s desne i lijeve strane krošnje odvojeno je izmjerena laserskom mjernom tehnologijom, koja je postavljena na traktor GOLDONI 100 (Slika 1). Podaci su snimljeni u realnom vremenu na tvrdi disk prijenosnog računala. Iz oblaka točaka određen je broj točaka pojedinačno za četiri pojedinačna segmenta lijeve i desne strane krošnje što iznosi 8 segmenata. Pojedinačne vrijednosti broja točaka u oblaku su zatim uspoređene sa stvarnim površinama listovima, koja su određene na ručnim mjerenjem svakog pojedinog segmenta stabla odvojeno. Za analizu površine lišća odabrano je 5 stabala jabuka.



Slika 1. Shema rekonstrukcije krošnje pojedinog stabla u voćnjaku primjenom laserske mjerne tehnologije LIDAR

Figure 1. Scheme of the canopy reconstruction of an individual tree in an orchard using LIDAR laser measurement technology

Nakon mjerenja površine lista laserskom mjernom tehnologijom, na istim krošnjama ručno je određen broj listova i njihova površina. Ručna mjerenja površine lišća u pokusu obavljena su rezanjem svih listova s lijeve i desne strane krošnja pojedinog stabla jabuke u pojasu širine 50 cm i visine 200 cm od svakog krošnja stabla (slika 2). Odabrana su četiri blok segmenta za lijevu i desnu stranu krošnje koja se podudaraju s rasporedom i radnim kutom mlaznica postavljениm na okviru orošivača. Širina pojedinog segmenta na krošnji stabla iznosila je 50 cm, a mjere visine 50 cm. Broj listova i veličina površine lista u laboratoriju određivani su za svaki pojedini segment pomoću automatiziranog Optomax (Optomax, Hollis, City, NH, USA), slikovnog sustava. Optomax se sastoji skenera, monitora za kontrolu slike koja analizira te računala. Površinska rezolucija bila je 1/417600 po vidnom polju (1720 × 1580 piksela), a dubina slike 256 razina sive boje. Prije statističke analize svi podaci preneseni su s Optomax-a na formatirane računalne proračunske tablice (Microsoft Excel).



Slika 2. Lijeva polovica stabla s listovima (lijevo), isto stablo nakon otklanjanja lišća za potrebe ručnog mjerenja (desno)

Figure 2. Left half of the leaf tree (left), the same tree after removing the leaves for manual measurement (right)

Na temelju principa rada laserske tehnologije LIDAR sustava, snimanja u voćnjaku izvodi la su se kod najmanjeg kuta (rezolucije mjernog sustava) od $0,5^\circ$ koja je omogućila preciznu digitalnu rekonstrukciju prirodnih oblika krošnje stabala u virtualnom 3D prostoru. Pomoću korisničkog sučelja koje je razvijeno u softveru NI LabVIEW 2015 zabilježena su laserska mjerenja u stvarnom vremenu i spremljena u Excel datoteku. Podaci laserskih mjerenja obrađivani su algoritmom zapisanim u softverskom programu Matlab R2015. 3D digitalna rekonstrukcija lijeve i desne strane krošnje prikazana je putem grafičkog korisničkog sučelja u obliku digitalnog broja točaka u oblaku.

Za svaki pojedinačni segment krošnje stabla određen je broj točaka u oblaku i uspoređen s ručno izmjerenom površinom lišća na pojedinim segmentima krošnje. Za analizu linearne regresije korišten je Excel softver (funkcijom CORREL).

Rezultati i rasprava

Broj listova u pojedinom segmentu krošnje stabla

U tabeli 1 prikazani su rezultati ručnog brojanja listova te mjerenja površine listova na pet krošnji stabala sorte 'gala' s lijeve strane. Kao što se vidi, najmanji broj listova nalazi se u najdonjem S1 segmentu u kojem je bilo od 0 (stablo broj 1 i 5) te najviše 227 listova kod stabla broj 4.

U segmentu 2 i 3 izbrojeno je najviše listova kod svih krošnji, međutim s tom razlikom da je kod stabla broj 1 i 2 najviše listova u segmentu 2 a kod ostalih stabala u segmentu 3. U četvrtom segmentu broj listova ponovo je manji nego u prethodna dva i iznosi od 80 listova u krošnje stabla broj 3 do najviše 379 u stabla broj 4.

Tablica 1. Broj listova i njihova površina s lijeve strane stabala u usporedbi sa LIDAR izmjerom
Table 1. The number of leaves and leaf area surface on the left side of crowns compared to LIDAR measurements

<i>Lijeva polovica krošnje stabla/ The left half of the tree canopy</i>			
<i>Oznaka segmenta/ Segment tag</i>	<i>Broj listova/Number of leaves [n]</i>	<i>Površina listova/ surface of leaves / [cm²]</i>	<i>LIDAR, broj točaka u oblaku/ the number of points in the cloud [n]</i>
Stablo broj 1/ Tree number 1			
D1-S1	0,00	0,00	13
D1-S2	322,00	10419,60	1476
D1-S3	250,00	6314,00	924
D1-S4	214,00	5904,05	30
Stablo broj 2/ Tree number 2			
D2-S1	39,00	536,17	124
D2-S2	427,00	14089,72	1426
D2-S3	232,00	6533,82	1020
D2-S4	223,00	5239,83	13
Stablo broj 3/ Tree number 3			
D3-S1	25,00	481,70	197
D3-S2	112,00	2779,62	671
D3-S3	301,00	7230,02	1023
D3-S4	80,00	1653,84	15
Stablo broj 4/ Tree number 4			
D4-S1	227,00	6185,98	372
D4-S2	368,00	11311,22	1336
D4-S3	466,00	14021,47	1551
D4-S4	379,00	11858,91	66
Stablo broj 5/ Tree number 5			
D5-S1	0,00	0,00	15
D5-S2	180,00	5503,14	1025
D5-S3	311,00	9409,93	1274
D5-S4	176,00	4106,26	125

U tabeli 2 prikazani su rezultati ručnog brojanja listova te mjerenja površine listova na pet krošnji stabala sorte 'gala' s desne strane. Kao što se vidi najmanji broj listova ponovo se nalazi u najdonjem S1 segmentu u kojem je bilo od 0 (stablo 3) te najviše 349 listova kod stabla broj 5. U segmentu 2 najviše listova bilo je kod stabla 1 (484) te stabla broj 5 (443) dok je kod ostalih stabala bilo najviše listova u segmentu 3. U četvrtom segmentu broj listova bio je najmanji (170) kod stabla 5, i najviši (330) u stabla broj 3.

Tablica 2. Broj listova i njihova površina s desne strane stabala u usporedbi sa LIDAR izmjerom
Table 2. The number of leaves and leaf area surface on the right side of crowns compared to LIDAR measurements

<i>Desna polovica krošnje stabla/ The right half of the tree canopy</i>				
<i>Oznaka Segment tag</i>	<i>segmenta/ leaves [n]</i>	<i>Broj listova/Number of leaves [n]</i>	<i>Površina listova/ surface of leaves / [cm²]</i>	<i>LIDAR, broj točaka u oblaku/ the number of points in the cloud [n]</i>
Stablo broj 1/ Tree number 1				
D1-S1		128,00	3621,25	373
D1-S2		484,00	14172,49	1024
D1-S3		356,00	9799,61	941
D1-S4		277,00	7818,88	875
Stablo broj 2/ Tree number 2				
D2-S1		83,00	2096,91	362
D2-S2		141,00	4189,96	800
D2-S3		298,00	8993,64	1018
D2-S4		310,00	7883,61	925
Stablo broj 3/ Tree number 3				
D3-S1		0,00	0,00	226
D3-S2		171,00	4637,35	853
D3-S3		116,00	3207,17	536
D3-S4		330,00	8239,11	796
Stablo broj 4/ Tree number 4				
D4-S1		143,00	3433,43	224
D4-S2		246,00	6228,97	926
D4-S3		246,00	8328,08	1003
D4-S4		333,00	9872,45	744
Stablo broj 5/ Tree number 5				
D5-S1		349,00	10124,84	611
D5-S2		443,00	12790,30	769
D5-S3		393,00	10073,38	888
D5-S4		170,00	4472,36	618

Površina listova u pojedinom segmentu krošnje stabla

U tabeli 1 također su prikazani rezultati mjerenja površine listova na pet krošnji stabala sorte 'gala' s lijeve strane. Najmanja površina listova podudara se s brojem listova i izmjerena je u najdonjem S1 segmentu te iznosi od 481,70 cm² (stablo broj 3) do najviše 536,17 cm² (stablo broj 2). U segmentu 2 najveća površina listova (14089,72 cm²) izmjerena je kod krošnje broj 2, a u segmentu 3 (14021,47 cm²) kod krošnje broj 4. U četvrtom segmentu izmjerena površina listova manja je od prethodna dva i iznosi od (1653,44 cm²) u krošnje stabla broj 3 do najviše (11858,91 cm²) u stabla broj 4.

Iz tabele 2 može se utvrditi da se najmanja površina listova podudara s brojem listova i izmjerena je u najdonjem S1 segmentu stabla broj 2 (2096,91 cm²) a najveća 10124,84 cm² kod stabla broj 5. U segmentu 2 najveća površina listova (14172,49 cm²) izmjerena je kod krošnje broj 1, a u segmentu 3 (10073,38 cm²) kod krošnje broj 5. U četvrtom segmentu izmjerena površina listova manja je od prethodna dva i iznosi od (4472,56 cm²) u krošnje stabla broj 5 do najviše (9872,45 cm²) u stabla broj 4.

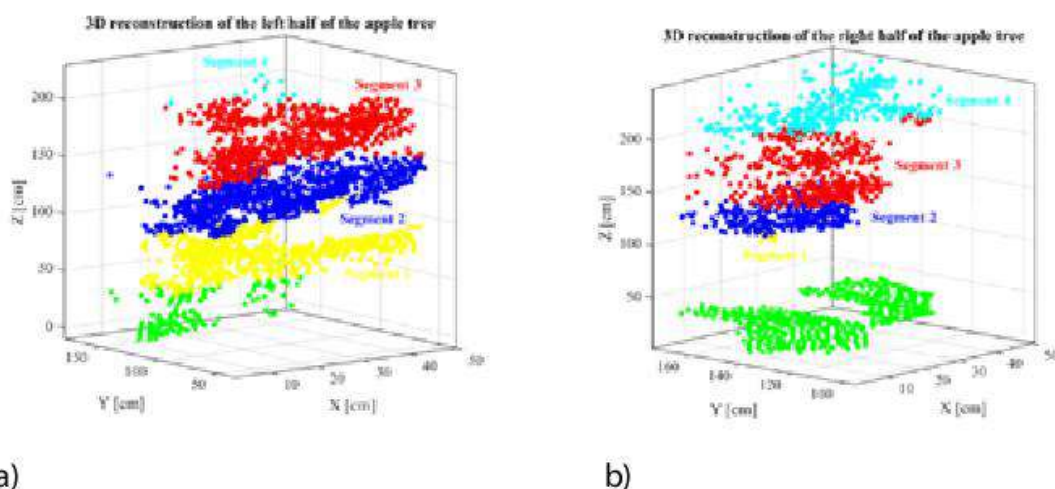
Rezultati mjerenja sustava LIDAR

Rezultate mjerenja sustava LIDAR prikazani su s brojem reflektiranih laserskih zraka odnosno oblakom točaka. Kao što se vidi iz tabele 1 najmanji broj točaka u oblaku s lijeve strane stabala izmjeren je najdonjem S1 segmentu i iznosi od 13 (stablo broj 1) do 372 (stablo broj 4). Najveći broj točaka u oblaku izmjeren je u segmentu 2 kod stabla broj 1 (1476) dok je segmentu 3 najveći kod stabla broj 4 i iznosi 1551 točaka. U četvrtom segmentu broj točaka u oblaku najmanji je kod stabla broj 5 (125), a najmanji kod stabla broj 2 (13).

Izmjereni oblaci točaka s desne strane podudaraju se s rezultatima lijeve strane što znači da je najmanji broj točaka u oblaku izmjeren u najdonjem S1 segmentu stabla broj 4 i iznosi 224 točaka a najveći je kod stabla 5 sa 611 točaka. U srednjem segmentu S2 najveći broj točaka 1024 izmjeren je kod stabla broj 1, a u segmentu S3 kod stabla broj 3 (1003). U četvrtom segmentu broj točaka ponovo se smanjuje, što odgovara manjem broju listova u tom segmentu i najmanji je kod stabla broj 5 (618) a najveći kod stabla broj 2 (925 točaka).

Usporedba mjerenja sustav LIDAR i rezultata izmjerene površine lišća

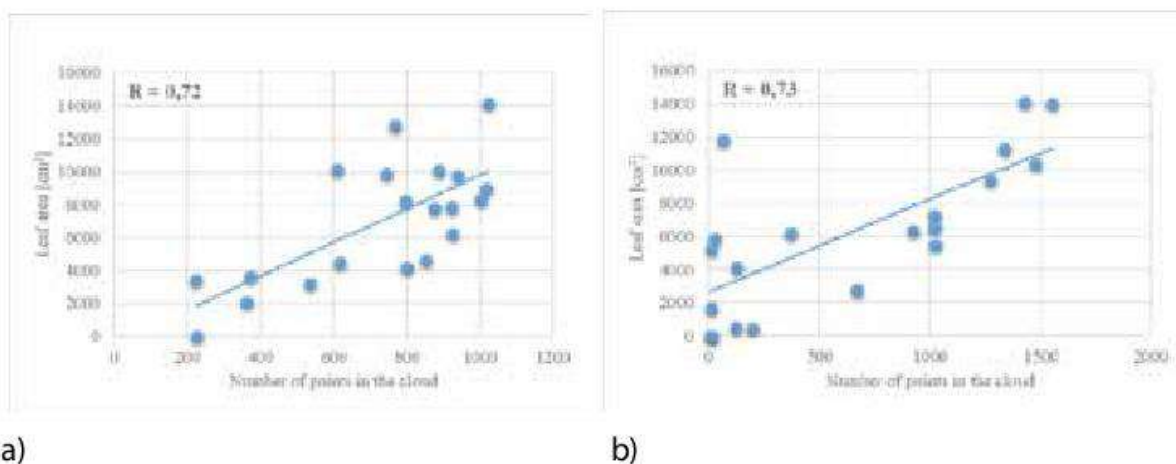
Slika 3 a, b prikazuje 3D digitalnu rekonstrukciju krošnje stabla jabuke za lijevu i desnu stranu prvog nasumično odabranog stabla iz pokusu u voćnjaku. Slično je izrađena 3D rekonstrukcija krošnje za preostale četiri krošnje. 3D rekonstrukcija odlično je oruđe za digitalizaciju krošnje stabala jabuka i može služiti kao mapa za ciljno tretiranje voćnjaka. Međutim trenutačni postupak vremenski je zahtjevan i ne može se uporabiti u realnom vremenu.



a)

b)

Slika 3. 3D rekonstrukcija krošnje jabuka za lijevu (a) i desnu (b) polovicu stabla
Figure 3. 3D reconstruction of the left (a) and right side of the tree crown



Slika 4. Korelacija povezanosti broja točaka u oblaku i površine lišća za sva četiri segmenta lijeve (a) i desne (b) strane stabla u voćnjaku

Figure 4. Correlation between the number of points in clouds and leaf areas for all four segments of the left (a) and right (b) sides of the tree in the orchard

Studija je utvrdila da je vrijednost koeficijenta korelacije za lijevu stranu pet stabala $r = 0,73$, a za desnu stranu $r = 0,72$ (Slika 4). Iz vrijednosti koeficijenata korelacije može se zaključiti da u ovom slučaju postoji pozitivna visoka korelacija između dviju varijabli. Iz rezultata mjerenja može se zaključiti da je automatizirana tehnologija mjerenja LIDAR usporediva ili čak bolja od rješenja drugih istraživača. Npr. Llorens i sur., (2011) izmjerili su maksimalnu vrijednost koeficijenta korelacije $r = 0,409$ u odnosu na omjer broja odraženih laserskih zraka i površine lista). Na taj način predstavljaju dobru osnovu za kontrolu doziranja FFS u voćnjaku.

Međutim ustanovljeni su i određeni problemi tijekom mjerenja koje bi trebalo u budućnosti detaljnije proučiti. Među najznačajnije čimbenike se ubrajaju: (1) prednji listovi gustih krošnja stabala koji sprečavaju prodiranje laserskih zraka LIDAR senzora; (2) neravnomjeran položaj LIDAR-a prilikom vožnje s lijeve / desne strane redova zbog ne idealnog pomicanja traktora u nekim slučajevima sprečava pravilnu 3D rekonstrukciju krošnje stabala između redova; (3) utjecaj kolotečina na nagibu traktora također sprečava dobru 3D rekonstrukciju stabala, (4) sustav LIDAR ima ponekada poteškoće u otkrivanju početka i kraja segmenata krošnje stabala u smjeru vožnje zbog neujednačenosti krošnji, (5) promjene brzine vožnje traktora koje utječu na rezoluciju skeniranja stabala, (7) LIDAR senzor osjetljiv je na jaku sunčevu svjetlosti koja može poremetiti mjerenja.

Zaključak

Digitalna rekonstrukcija krošnje stabala jabuka predstavljena je u trodimenzionalnom virtualnom prostoru programske opreme Matlab R2015, u kojem je određeno grafičko korisničko sučelje. Digitalna rekonstrukcija krošnje omogućila je analizu prirodnih karakteristika stabla jabuke, o čemu svjedoči pozitivna visoka korelacije između digitalnog broja oblaka točaka na četiri pojedinačna segmenta lijeve i desne strane krošnje i stvarne izmjerene površine lista. U slučaju lijeve strane, procijenjena je vrijednost koeficijenta korelacije $r = 0,73$, a u slučaju desne strane $r = 0,72$.

Nesumnjivo, optički mjerni sustavi poput LIDAR-a, koji uključuju laserski mjerni senzor za elektroničku definiciju krošnje, nudi najtočnije i detaljnije informacije o strukturi prirodnog oblika krošnje u voćnjaku. Pravilnim algoritmom može se kontrolirati rad optičkog mjernog sustava i stvoriti 3D virtualno okruženje uz nisku cijenu instaliranja mjernog sustava na traktor.

Iz svih ovih razloga na prototipovima traktora treba instalirati optičke mjerne sustave u komercijalne svrhe; djeluju na principu laserske mjerne tehnologije koja će u skoroj budućnosti na temelju pametnih modela donošenja odluka pružiti ravnomjerniju kontrolu doza prskanja raspršivačem kroz cjelokupnu strukturu stabla jabuke u voćnjaku.

Digitalna rekonstrukcija krošnje stabala u bliskoj budućnosti bit će moćan alat za kontrolu doziranja FFS orošivačima u voćnjacima i vinogradima. Podaci u obliku procijenjene površine lista na pojedinačnom stablu jabuke u voćnjaku bit će zabilježeni pomoću modela fuzzy-logic koji će kontrolirati doze prskanja raspršivačem u rasponu od 0 % do 100 %. Budućnost procesa doziranja FFS vidi se u brzjoj obradi krošnji stabala jabuka koja će se generirati pomoći moćnih LIDAR mjernih sustava u kombinaciji s nelinearnim logičkim upravljačkim sustavima brzog odgovora (fuzzy-logic), temeljenim na brzjoj regulaciji mlaznica kako bi se moglo selektivno kontrolirati doziranje FFS. Štoviše, na ovaj način nadoknaditi je moguće slabosti LIDAR-ovih mjernih sustava, poput zasjenjenja listova u gornjem dijelu biljke. S ovakvim pristupom upravljanja, doziranje FFS u voćnjaku moguće je selektivno primijeniti čak na četiri segmenta krošnje stabala, čime se može istovremeno značajno smanjiti i negativan učinak na okoliš i ljude.

Zahvala

Autori zahvaljuju Ministarstvu poljoprivrede, šumarstva i prehrane te Agenciji za istraživačko djelovanje Slovenije (ARRS) za dodjelu programa CRP-V4 1815 u sklopu kojeg se izveo dio predstavljenog rada.

Literatura

- Balsari, P., Tamagnone, M. (1998) The necessity to determine the correct amount of air to use in airblast sprayer. In Proc. Intl. Conf. Agric. Eng. Aas, Norway: Norges Landbrukshøgskole; NLH, Paper 98-A-075.
- Berk, P., Hočevár, M., Stajniko, D., Belšák, A. (2016) Development of alternative plant protection product application techniques in orchards, based on measurement sensing systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124: 273–288.
- Doruchowski, G., Jaeken, P., Holownicki, R. (1998) Target detection as a tool of selective spray application on trees and weeds in orchards. *SPIE Conference on Precision Agriculture and Biological Quality*, 1998: 290–301.
- Escolà, A., Camp, F., Solanelles, F., Llorens, J., Planas, S., Rosell, J. R., Gràcia, F., Gil, E., Val, L. (2007) Variable dose rate sprayer prototype for dose adjustment in tree crops according to canopy characteristics measured with ultrasonic and laser LIDAR sensors, *Proceedings ECPA-6th European Conference on Precision Agriculture*, 2007: 563–571.
- Giles, D. K., Delwiche, M. J., Dodd, R. B. (1989) Sprayer Control by Sensing Orchard Crop Characteristics: Orchard Architecture and Spray Liquid Savings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 43: 271–289.
- Jejčič, V., Godeša, T., Hočevár, M., Širok, B., Malneršič, A., Štrancar, A., Lešnik, M., Stajniko, D. (2011) Design and testing of an ultrasound system for targeted spraying in orchards. *Strojniški vestnik*, 57 (7/8): 587–598.
- Ladd, T. L., Reichard, D. L. (1988) Photoelectrically-operated intermittent sprayers for insecticidal control of horticultural pests. *Journal of Economic Entomology*, 73: 525–528.
- Llorens, J., Gil, E., Llop, J., Escolà, A. (2011) Ultrasonic and LIDAR Sensors for Electronic Canopy Characterization in Vineyards: Advances to Improve Pesticide Application Methods. *Sensors*, 11 (2): 2177–2194.
- Matlab R2015, The MathWorks, Inc.
- Meron, M., van de Zande, J. C., van Zuydam, R. P., Heijne, B., Sharagai, M., Liberman, J., Hetzroni, A., Andersen, P. G., Shimborsky, E. (2003). Tree shape and foliage volume map guided precision orchard sprayer – the PRECISPRAY FP5 project, In: *Precision Agriculture '03, Papers presented at the 4th European Conference on Precision Agriculture*, Berlin, 2003: 411–416.
- Molto, E., Martin, B., Gutierrez A. (2001). Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78: 35–41.
- Optomax Image Analysis system (Optomax, Hollis, City, NH, USA).
- Sanz Cortiella, R., Llorens Calveras, J., Escolà, A., Arnó Satorra, J., Ribes Dasi, M., Masip Vilalta J., Camp, F., Gràcia Aguilà, F. J., Solanelles Batlle, F., Planas de Martí, S., Pallejà Cabrerè, T., Palacín Roca, J., Gregorio López, E., Del Moral Martínez, I., Rosell, P. (2011) Innovative LIDAR 3D Dynamic Measurement System to Estimate Fruit-Tree Leaf Area. *Sensors*, 11: 5769–5791.
- Shimborsky E. (2003) Digital tree mapping and its applications. *Precision Agriculture*, 2003: 645–650.
- Stajniko, D., Berk, P., Lešnik, M., Jejčič, V., Lakota, M., Štrancar, A., Hočevár, M., Rakun, J. (2012) Programmable ultrasonic sensing system for targeted spraying in orchards. *Sensors*, 12, 11: 15500–15519.
- Štampar, F., Lešnik, M., Veberič, R., Solar, A., Koron, D., Usenik, V., Hudina, M., Osterc, G. (2005) *Sadjarstvo*, Ljubljana, Kmečki glas: 416 p.

Prispjelo/Received: 19.11.2019.

Prihvaćeno/Accepted: 5.12.2019.

The digital evaluation of canopy properties of 'Gala' in the orchard with the LIDAR measuring system

Abstract

In practical experiment in the orchard, the leaf area of 'Gala' apple trees was evaluated on three different tree canopy segments from left and right side. The results of manual measurements were compared with laser (LIDAR) measurements by applying our own algorithm, which enabled digital reconstruction of individual tree canopy. By using regression method the relationship between dependent variable (digital number of point clouds) and independent variable (leaf area, manually measured) were evaluated for five segments of tree canopies. The analysis on five randomly selected tree orchards in the orchard showed the maximum value of the correlation coefficient $r = 0.73$ for the left half and $r = 0.72$ for the right half of the crown.

Keywords: algorithm, plant protection product, controlling, tree canopy, measurement

S vama već 40 godina!
1979.-2019.

Brajkovići 1g, Pazin | tel: 0527 691 200
koplast@koplast.hr | www.koplast.hr

KOPLAST d.o.o.
proizvodnja, trgovina i prijevoz

- proizvodnja plastičnih vaza
- plastični kontejneri za sjetvu i sadnju cvijeća i povrća
- profesionalni i hobby STENDER supstrati
- SOPARCO termoformirane vaze

Blagoslovljen Božić i sretna nova
2020. godina!

