

Određivanje putanje bespilotne letelice kao dela evakuacionog puta

Srđan Tegeltija, Branislav Tejić, Nikola Đukić, Gordana Ostojić, Stevan Stankovski
Katedra za mehatroniku, robotiku i automatizaciju / Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
Novi Sad, Srbija

srkit@uns.ac.rs, tejic@uns.ac.rs, nikoladj@uns.ac.rs, goca@uns.ac.rs, stevan@uns.ac.rs

Sadržaj— Planiranje evakuacionog puta je važna komponenta upravljanja vanrednim situacijama sa ciljem da se povrede i mogući gubici života svedu na najmanju moguću meru. U ovom radu opisan je sistem za određivanje putanje bespilotnih letelica kao dela evakuacionog puta. Iskorišćena je mogućnost bespilotnih letelica da slikaju, odnosno mapiraju teren. Pomoću ovog rešenja moguće je pomagati ugroženim osobama prilikom evakuacije, vođenjem do bezbednih lokacija. Uz konstantan nadzor ugroženih osoba bi se eliminisale panične reakcije. Konstantnim nadzorom terena bi se izvršila korekcija putanje evakuacije ukoliko je potrebno.

Ključne reči - određivanje putanje; bespilotna letelica; evakuacioni put;

I. UVOD

Prirodne nepogode ili nesreće izazvane ljudskom greškom, kao što su poplave, šumski požari, ili industrijske nesreće, često utiču na velika naseljena područja, preteći životima i dobrobiti čitave populacije. Kao jedan aspekt reagovanja u vanrednim situacijama, evakuacija se može definisati kao uklanjanje stanovnika iz oblasti koja se smatra opasnom zonom po bezbednost što je brže moguće i sa najvećom pouzdanošću [1]. Planiranje evakuacionog puta je važna komponenta upravljanja vanrednim situacijama sa ciljem da se gubici života i povrede svedu na najmanju moguću meru. Otežavajuća okolnost prilikom evakuacije je panika koja se javlja kod osoba koje su u opasnosti [2], [3].

Razne studije bavile su se sa dva tipa evakuacija, evakuacija ljudi u zgradama i regionalna evakuacija. Specifičnost evakuacije u zgradama je ta što je prostor za kretanje ograničen, stepenice moraju da koriste i spasioci i osobe u opasnosti, razne prepreke (npr zidovi, vrata, itd.). U radovima [4]-[6] date su analize evakuacija u zgradama. Specifičnosti regionalnih evakuacija su te što se rade na većim površinama, uključen je veoma veliki broj ljudi (problem upravljanja velikim gužvama), vremenski uslovi (noć, kiša, vetrovi, dim i otrovni gasovi ako su u pitanju veliki požari, itd.). U radovima [7]-[10] date su analize regionalnih evakuacija.

U poslednje vreme bespilotne letelice postaju sve popularnije. Bespilotne letelice iako prvobitno zamišljene i razvijane za upotrebu u vojne svrhe, poslednjih godina imaju veliku primenu i u civilnom sektoru [11]. Danas na tržištu postoje bespilotne letelice namenjene za zabavu i koje mogu da

stanu na dlan čoveka [12], kao i komercijalno dostupne bespilotne letelice koje mogu da ponesu veliki teret i različitu opremu mase od par kilograma do par desetina kilograma [13]. Oprema kojom se mogu opremiti bespilotne letelice je raznolika, kamere, različiti senzori, hvataljke i mnoge druge komponente u zavisnosti od oblasti primene. Primeri primene bespilotnih letelica su nadzor i snimanje [14], prikupljanje podataka o zagađenju [15] [16], u poljoprivredi za hemijsku zaštitu useva (primena pesticida, herbicida i insekticida) i prihranu biljaka veštačkim đubrivima [17].

Bespilotne letelice imaju veliku primenu prilikom prirodnih nepogoda i nesreća, kao što su praćenje situacije [18] [19], detekcija osoba u opasnosti i dostava sredstava za prvu pomoć, hranu i vodu [20], kao i mapiranje terena pružajući spasiocima uvid u stanje i izgled terena [21].

U ovom radu dat je predlog sistema za pomoć prilikom evakuacije osoba iz zona opasnosti. Bespilotna letelica vodila bi osobe od mesta opasnosti do bezbedne lokacije. Opisan je predloženi sistem za određivanje putanje kretanja bespilotnih letelica kao dela evakuacionog puta, odnosno za evakuaciju od mesta opasnosti do bezbedne lokacije, odakle se evakuisane osobe mogu dalje prevoziti do bolnica ili skloništa.

II. BESPILOTNE LETELICE

Bespilotne letelice predstavljaju letelice bez prisustva pilota. U literaturi najčešće se pominju kao UAV (eng. Unmanned Aerial Vehicle). Bespilotne letelice mogu biti autonomne letelice i letelice upravljane od strane operatera korišćenjem daljinskih komandi. Iz tog razloga ovakvi sistemi se u literaturi mogu naći i kao RPV (eng. Remotely Piloted Vehicle), U literaturi postoje i druge oznake uvedene za ovakve sisteme, kao što su: dron (eng. Drone), ROA (eng. Remotely Operated Aircraft), UVS (eng. Unmanned Vehicle System). Na Sl. 1 nalaze se primeri bespilotnih letelica.



Slika 1. Primeri bespilotnih letelica

Međunarodna organizacija „UVS International“ [22] izvršila je kategorizaciju bespilotnih letelica prema dometu, visini leta, autonomiji leta i masi. „UVS International“ predstavlja udruženje proizvođača bespilotnih letelica, proizvođača podsistema i ključnih komponenti i prateće opreme za bespilotne letelice, kao i kompanija koje pružaju usluge sa ili za bespilotne letelice. U Tabeli 1 prikazana je kategorizacija bespilotnih letelica.

TABELA I. KATEGORIZACIJA BESPILOTNIH LETELICA

Kategorija	Domet (km)	Visina leta (m)	Autonomija (h)	Masa (kg)
Micro	< 10	250	1	< 5
Mini	< 10	150-300	< 2	150
Close Range (CR)	10-30	3000	2-4	150
Short Range (SR)	30-70	3000	3-6	200
Medium Range (MR)	70-200	3000-5000	6-10	150-500
Long Range (LR)	200-500	5000	6-13	-
Endurance (EN)	>500	5000-8000	12-24	500-1500
Medium Altitude, Long Endurance (MALE)	>500	5000-8000	24-48	1000-1500
High Altitude, Long Endurance (HALE)	>2000	15000-20000	24-48	2500-12500

U zavisnosti od tipa izvedbe postoje bespilotne letelice sa fiksnim krilima i letelice sa rotirajućim krilima. Krila su oblikovana tako da vazduh struji brže preko gornje površine krila nego što struji preko donje površine krila. Kada vazduh struji brže, pritisak vazduha opada. Strujanjem vazduha pritisak na donju površinu krila je veći od pritiska vazduha na gornju površinu krila. Razlika u pritisku stvara uzgonsku silu na krilu koja podiže letelicu i omogućava joj da leti [23]. Tipičan predstavnik letelice sa fiksnim krilima je avion. Strujanje vazduha preko krila izaziva kretanje letelice koje je omogućeno pogonskim motorom (mlazni motor, motor sa elisom). Bez kretanja letelice ne dolazi do stvaranja uzgonske sile, odnosno da bi mogle leteti potrebno je da se kreću određenom brzinom koja zavisi od oblika i površine krila, maksimalne težine letelice, itd. Kod letelica sa rotirajućim krilima strujanje vazduha preko krila izazvano je rotiranjem krila odnosno elise koju pokreće pogonski motor. Tipičan predstavnik letelice sa rotirajućim krilima je helikopter. Da bi letelica mogla leteti potrebna je određena brzina rotacije elise koja zavisi od mase letelice, oblika i površine elise, itd. Oba tipa izvedbe bespilotnih letelica poseduju određene prednosti i ograničenja, koje ih čine više ili manje pogodnim za različite primene.

Letelice sa fiksnim krilima, odnosno avione, karakteriše relativno jednostavnija struktura i efikasna aerodinamika koja im omogućava duže letove pri većim brzinama. Letelice poput „Trimble Gatewing X100“ mogu leteti 45 minuta sa brzinom krstarenja od 80 km/h. Letelice sa fiksnim krilima pogodne su za primene kao što su snimanja iz vazduha sa georeferenciranim snimcima velikih područja. Ograničenje letelica sa fiksnim krilima je ta da za postizanje minimalne

brzine potrebne za let zahtevaju lansiranje sa specijalizovanih lansera i postojanje pisti koje bi služile za poletanja (ukoliko se ne koristi lanser) i sletanja, što može imati uticaj na vrstu tereta koji nose. Da bi letelica poput „Trimble Gatewing X100“ mogla bezbedno sleteti potreban je prostor dimenzija 150 x 30 m.

Letelice sa rotirajućim krilima podrazumevaju veću mehaničku kompleksnost, koja utiče na manje brzine i kraće letove. Rotiranjem elise stvara se moment sile koji teži da okreće letelicu u suprotnom smeru od smera rotacije elise. Kako bi se ovaj moment poništio najčešće se ovakve letelice izvode sa parnim brojem elisa, tako da se polovina elisa rotira u jednom smeru a druga polovina elisa rotira u drugom smeru. Najčešći broj elisa je dva, četiri, šest i osam, međutim postoje i izvedbe sa neparnim brojem elisa kao što su letelice sa tri elise [24]. Generalno ovakve letelice su poznate i kao multitorotori. Primer letelice sa rotirajućim krilima je „Aibotix X6“, koji poseduje šest elisa, i ima autonomiju leta od oko 30 minuta sa maksimalnom brzinom od oko 60 km/h. Prednosti letelica sa rotirajućim krilima su njihova mogućnost za vertikalno poletanje i sletanje, mogućnost da lebde (održavaju fiksnu poziciju u vazduhu) i obavljaju agilno manevrisanje. To ih čini pogodnim za primene kao što su inspekcije objekta, koje zahtevaju manevrisanje na malom prostoru kao i sposobnost održavanja vizuelnog kontakta na jedan cilj tokom dužeg perioda. Ovakve letelice imaju i veću fleksibilnost što se tiče tereta koju mogu nositi.

Kako bi bespilotne letelice bile autonomne. Potrebno je imati namenski kontroler koji bi upravljao bespilotnom letelicom. Jedan od poznatijih kontrolera „APM Autopilot Suite“ [25]. „APM Autopilot Suite“ predstavlja platformu koja obuhvata hardver i softver namenjen upravljanju kako bespilotnim letelicama tako i vozilima na zemlji. Sam hardver čini univerzalni kontroler sa različitim senzorima. Jednostavnom izmenom firmvera ovaj kontroler se prilagođava upravljanju kako letelicama, sa fiksnim krilima i sa rotirajućim krilima, tako i za upravljanje vozilima. Prateći softver predstavlja interfejs ka hardveru, omogućava početno podešavanje sistema, konfiguraciju sistema, testiranje sistema, planiranje misija (planiranje putanje kojom letelica treba da se kreće jednostavnim klikovima na mapu) i analizu rezultata. Pored „APM Autopilot Suite“ platforme veliku primenu imaju i kontroleri za upravljanje bespilotnim letelicama kompanije DJI (serija Naza, serija WooKong, itd) [26].

III. PREDLOG SISTEMA

Sistem za pomoć prilikom evakuacije zasnovan je na korišćenju bespilotnih letelica. Bespilotna letelica bi doletela do osoba kojima preči opasnost i navodila bi ih do bezbedne lokacije na kojoj bi ih preuzeli drugi učesnici u postupku evakuacije (npr. medicinske službe) i transportovale ih do bolnice ili skloništa. Na Sl. 2 prikazan je algoritam rada sistema.

Nakon dojava na kojoj lokaciji se nalaze osobe kojima preči opasnost, ili detekcije lokacije osoba u opasnosti, kako bi se odredila optimalna i sigurna putanja do bezbedne lokacije potrebno je izvršiti slikanje terena ili mapiranje terena na osnovu koje bi se dobio uvid u izgled terena [27], i omogućilo

Slika 3. Primer određene putanje evakuacije

Tokom postupka evakuacije, odnosno kretanja ljudi potrebno je stalno nadgledati i stanje na terenu. Ukoliko se radi o većoj površini jedna bespilotna letelica bi mogla da navodi osobe koje se evakušu, a druga bespilotna letelica, ili više njih, bile bi zadužene za praćenje stanja terena kako bi se u slučaju nepredviđenih promena na terenu mogla izvršiti korekcija putanje. Primeri evakuacija sa promenama na terenu mogu biti iznenadna pojava klizišta, u slučaju poplavljenih područja nanošenje drva i granja na putanju kojom treba da se kreće čamac, u slučaju požara promena smeru i jačine duvanja vetra koja bi mogla usmeri vatru i dim na putanju kretanja ljudi.

Kada bespilotna letelica dovede ljude do bezbedne lokacije evakuacija se završava ili se postupak ponavlja ukoliko ima još ljudi koje je potrebno evakuisati.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je sistem za određivanje putanje bespilotne letelice kao dela evakuacionog puta. Sistem je pogodan za pomoć prilikom evakuacije osoba kojima preči opasnost. Prilikom evakuacije bespilotna letelica bi izvršila slikanje (mapiranje) terena, obradom slika odredila bi se putanja evakuacije koja bi bila što kraća i bezbedna kako se osobe u opasnosti ne bi dovele u veću opasnost. Prilikom evakuacije osobe u opasnosti bi pratile bespilotnu letelicu do bezbedne lokacije. U zavisnosti od situacije osobe bi letelicu pratile peške (nepristupačan planinski teren) ili vozilom (čamci u slučaju poplavljenih područja). Tokom evakuacije stalno bi se nadzirale osobe koje se evakušu kako bi se reagovalo pravovremeno (npr. korekcija brzine kretanja bespilotne letelice). Pored toga stalno bi se pratila situacija na terenu i u slučaju promena po potrebi bi se menjala putanja evakuacije.

U budućem radu planiran je dalji razvoj sistema za određivanje putanje bespilotnih letelica kao dela evakuacionog puta i izrada prototipa sistema. Ispitivaće se različiti tipovi bespilotnih letelica kako bi se uvidelo koje letelice bi bile optimalne za postupak evakuacije (brzina leta, autonomija leta, nosivost). Ispitivaće se različiti algoritmi za obradu i segmentaciju slike (prepoznavanje vode, šume, požara, dima, itd.), i različiti algoritmi za određivanje putanje kako bi se efikasno i pouzdano odredile putanje evakuacije.

LITERATURA

[1] S. Shekhar, K. Yanga, V. M. Gunturia, L. Manikonda, D. Olivera, X. Zhou, B. Georgeb, S. Kimc, J. M. R. Wolffa and Q. Lua, "Experiences with evacuation route planning algorithms," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 26(12), pp. 2253-2265, 2012.

[2] D. Helbing, I. J. Farkas, P. Molnar and T. Vicsek, "Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations," *Pedestrian and evacuation dynamics*, vol. 21, pp. 21-58, 2002.

[3] G. A. Frank, C. O. Dorso, "Room evacuation in the presence of an obstacle," *Phys. A: Stat. Mech. Appl.*, vol. 390(11), pp. 2135-2145, 2011.

[4] N. Pelechano and N.I. Badler, "Modeling crowd and trained leader behavior during building evacuation," *IEEE Comput. Graphics Appl.*, vol. 26(6), pp. 80-86, 2006.

[5] N. Pelechano and A. Malkawi, "Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches," *Autom. Constr.*, vol. 17(4), pp. 377-385, 2008.

[6] N. Dimakis, A. Filippoupolitis and E. Gelenbe, "Distributed building evacuation simulator for smart emergency management," *Comp. J.*, vol. 53(9), pp. 1384-1400, 2010.

[7] G. Köster, D. Hartmann and W. Klein, "Microscopic pedestrian simulations: From passenger exchange times to regional evacuation," In *Operations Research Proceedings 2010*, pp. 571-576, 2011.

[8] T. J. Cova and R. L. Church, "Modelling community evacuation vulnerability using GIS," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 11(8), pp. 763-784, 1997.

[9] Y. C. Chiu, H. Zheng, J. A. Villalobos, W. Peacock and R. Henk, "Evaluating regional contra-flow and phased evacuation strategies for Texas using a large-scale dynamic traffic simulation and assignment approach," *J. Homeland Secur. and Emergency Manage.*, vol. 5(1), 2008.

[10] V. Pillac, P. Van Hentenryck, and C. Even, "A Path-Generation Metaheuristic for Large Scale Evacuation Planning," In *Hybrid Metaheuristics*, pp. 71-84, 2014. [Proc. 9th Int. Workshop, HM 2014, Hamburg, Germany, June 11-13, 2014.]

[11] <http://tangosix.rs/2013/11/06/civilni-dronovi-blagoslov-prokletstvo/> (pristup Januar 2015.).

[12] <https://droneflyers.wordpress.com/best-quadcopters-for-2014-holiday-gift-giving/cheerson-cx-10-nano-quadcopter-review/> (pristup Januar 2015.).

[13] <http://www.schiebel.net/products/unmanned-air-systems/camcopter-s-100/system.aspx> (pristup Januar 2015.).

[14] N. Nigam, S. Bieniawski, I. Kroo and J. Vian, "Control of multiple UAVs for persistent surveillance: algorithm and flight test results," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 20(5), pp. 1236-1251, 2012.

[15] W. Zang, J. Lin, Y. Wang, and H. Tao, "Investigating small-scale water pollution with UAV remote sensing technology," In *World Automation Congress (WAC)*, pp. 1-4, 2012.

[16] O. Trieschmann, "Oil spill issue and the capability of monitoring the problem by remote sensing," *Compendium of Summaries*, pp. 169-176, 2008.

[17] F. G. Costa, J. Ueyama, T. Braun, G. Pessin, F. S. Osório and P. A. Vargas, "The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications," In *IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp. (IGARSS)*, pp. 5045-5048, 2012.

[18] S. M. Adams, and C. J. Friedland, "A survey of unmanned aerial vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management," In *9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response*, 2011.

[19] G. Zhou, C. Li, and P. Cheng, "Unmanned aerial vehicle (UAV) real-time video registration for forest fire monitoring," In *IEEE Proc. Int. Geosci. Remote Sens. Symp. (IGARSS'05)*, vol. 3, pp. 1803-1806, 2005.

[20] P. Doherty and P. Rudol, "A UAV search and rescue scenario with human body detection and geolocalization," In *AI 2007: Adv. Artif. Intell.*, pp. 1-13, 2013.

[21] R. Hirokawa, D. Kubo, S. Suzuki, J. I. Meguro and T. Suzuki, T, "A small UAV for immediate hazard map generation," In *AIAA2007-2725. AIAA Infotech@ Aerospace 2007 Conf. and Exhibit*, pp. 7-10, 2007.

[22] UVS International, <http://uvs-international.org> (pristup Januar 2015.).

[23] <http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/UEET/StudentSite/dynamicsoflight.html> (pristup Januar 2015.).

[24] Y. Dong-Wan, O. Hyon-Dong, W. Dae-Yeon and T. Min-Jea, "Dynamic modeling and stabilization techniques for tri-rotor unmanned aerial vehicles," *Int. J. Aeronaut. Space Sci.*, vol. 11(3), pp. 167-174, 2010.

[25] <http://ardupilot.com> (pristup Januar 2015.).

[26] <http://www.dji.com/products/flight-controllers> (pristup Januar 2015.).

[27] F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni and D. Sarazzi, "UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – current status and

future perspectives,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. and Spatial Inf. Sci.*, vol. 38(1), 2010.

- [28] G. J. Hay, G. Castilla, M. A. Wulder and J. R. Ruiz, “An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 7(4), pp. 339-359, 2005.
- [29] J. R. Martínez-de Dios, B. C. Arrue, A. Ollero, L. Merino and F. Gómez-Rodríguez, “Computer vision techniques for forest fire perception”, *Image Vision Comput.*, vol. 26(4), pp. 550-562. 2008.
- [30] J. Smeeckaert, C. Mallet, N. David, N. Chehata and A. Ferraz, “Large-scale classification of water areas using airborne topographic lidar data”, *Remote Sens. Environ.*, vol. 138, pp. 134-148, 2013.
- [31] P. Santana, R. Mendonça and J. Barata, “Water detection with segmentation guided dynamic texture recognition,” In *IEEE Int. Conf. Rob. Biomimetics (ROBIO)*, pp. 1836-1841, 2012.
- [32] T. Lozano-Pérez and M. A. Wesley, “An algorithm for planning collision-free paths among polyhedral obstacles,” *Commun. ACM*, vol. 22(10), pp. 560-570, 1979.
- [33] A. T. Rashid, A. A. Ali, M. Frasca and L. Fortuna, “Path planning with obstacle avoidance based on visibility binary tree algorithm,” *Rob. Autom. Syst.*, vol. 61(12), pp. 1440-1449, 2013.

ABSTRACT

Planning of evacuation route is an important component of disaster management in order to reduce injuries and possible loss of life to a minimum. This paper describes a system for determining trajectory of unmanned aerial vehicle as a part of the evacuation route. The possibility of unmanned aerial vehicles to take photos or map terrain is utilized. By using this solution, it is possible to help endangered persons during the evacuation process, guiding them to a safe location. With constant monitoring of endangered persons, panic reactions could be eliminated. Constant monitoring of the area would provide corrections in evacuation route, if needed.

DETERMINATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE TRAJECTORY AS PART OF EVACUATION ROUTE

Srđan Tegeltija, Branislav Tejić, Nikola Đukić, Gordana
Ostojić, Stevan Stankovski