

PRIJENOS ZNANJA I TEHNOLOGIJA HUMANITARNOG RAZMINIRANJA U DOMENU BORBE PROTIV IMPROVIZIRANIH EKSPLOZIVNIH NAPRAVA

TRANSFER OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGIES FROM MINE ACTION TO COUNTER IMPROVISED EXPLOSIVE DEVICES (C-IED) DOMAIN

Milan Bajić¹, Tamara Ivelja²

¹Znanstveno vijeće HCR - Centar za testiranje, razvoj i obuku d.o.o., Zagreb, Hrvatska

²Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

Sažetak

U okviru EU FP7 projekta TIRAMISU (2012.-2015.) za potrebe humanitarnog razminiranja, razvijeno je nekoliko alata.¹ Ovi alati namijenjeni su za izviđanje i detekciju minski sumnjive površine, njezinih indikatora, neeksplozivnih ubojnih sredstava te za uredsku rekonstrukciju bojišnice korištenjem podataka prikupljenih iz zračnih i zemaljskih platformi senzorima s različitim valnim područjima. U tom procesu korišten je vrlo širok spektar metoda obrade i interpretacije prikupljenih podataka, analiza terena, znanja, kontekstualnih i drugih informacija, itd. [1]. U periodu provođenja TIRAMISU projekta dolazi do rapidno rastućih sigurnosnih prijetnji u Europi te intenziviranja terorističkih napada s upotrebom improviziranih eksplozivnih naprava (IED). Ovo stavlja područje sigurnosti visoko na listu prioriteta kao i potrebu za pronalaskom i razvojem alata kojima bi se odgovorilo na ovu vrstu ugroza. U članku se, stoga, kratko komentiraju odabrani primjeri rješenja koji su razvijeni tijekom projekta [1] za potrebe protuminskog djelovanja i diskutira se njihov mogući prijenos u domenu borbe protiv IED-a. Osim toga, komentira se koncept jednog odabranog sustava za borbu protiv IED-a kao i nužna unapređenja i modifikacije kako bi se postigla njegova funkcionalnost za planiranu namjenu.

1 Alat je skupni naziv različitih rješenja koja su razvijena u [1] za protuminsko djelovanje: tehnički sustav, uređaj, usluga, tehnologija, softver itd.

The tool is a name for different solutions which have been developed in [1] for countermine action: technical system, equipment, service, technology, software, etc.

Ključne riječi: IED, neeksplozivna ubojna sredstva (NUS), hiperspektralno, dugovalno infracrveno, harmonički radar, TIRAMISU, bespilotni zrakoplov, helikopter, minsko polje.

Abstract

Within the EU FP7 Project TIRAMISU (2012-2015) for the purposes of humanitarian demining, several tools were developed. These tools are intended for the reconnaissance and detection of mine suspected area and its indicators, unexploded ordnance and battle area reconstruction in office by using different wavelengths sensor data collected from a variety of aerial and ground-based platforms. In this process very broad selection of processing and interpretation of data methods, terrain analysis, knowledge, contextual and other information were used [1]. During the project TIRAMISU implementation period, security threats in Europe rapidly grew and terrorist attacks with improvised explosive devices (IED) became more frequent. This prioritizes security and introduces the need for finding a tool that would provide response solution to this type of threat. Therefore in this article, the transfer of solutions derived for Mine Action is considered and possible transfer to the C-IED domain is discussed as well as one selected concept of the C-IED system and necessary improvements and modifications for achieving system's functionalities of the intended application.

Keywords: IED, unexploded ordnance (UXO), hyperspectral, longwave infrared (LWIR),

harmonic radar, TIRAMISU, unmanned aerial vehicle (UAV), helicopter, minefield.

1. Uvod

1. Introduction

Značajan doprinos EU FP7 projekta TIRAMISU, [1], ostvaren je primjenom različitih elektrooptičkih senzora, s posebnim naglaskom na nove matrične hiperspektralne kamere te metoda za obradu slika koje se mogu primijeniti u različitim domenama. Cilj projekta bio je osigurati protuminskoj zajednici niz alata, koji bi pomogli u rješavanju mnogih pitanja vezanih za humanitarno razminiranje, budući da eksplozivni ostaci rata predstavljaju veliki problem dugi niz godina nakon završetka ratnog sukoba.

U okviru ovog četverogodišnjeg projekta razvijeni su mnogi alati, no u toku tog razdoblja i nedugo nakon toga, nova prijetnja se pojavila u Europi - teroristički napadi i improvizirane eksplozivne naprave. Nakon terorističkih napada početkom 2015. godine u Parizu, Kopenhagenu i Bruxellesu, protuterorizam je postao najviši prioritet Europske unije, [2]. Republika Hrvatska je područje sigurnosti također prepoznala kao prioritetno te je uvršteno u Strategiju pametne specijalizacije² Republike Hrvatske za razdoblje od 2016. do 2020. godine kao domena razvoja industrijskih kompetencija.

Cilj ovog rada je komentirati kako bi se znanje, razvijeni alati, metode i usluge prikupljanja, obrade i interpretacije slika iz domene humanitarnog razminiranja mogli primijeniti u rješavanju ove iznenadne ugroze.

2. Pregled CRO-TIRAMISU

2. CRO-TIRAMISU overview

Centar za testiranje razvoj i obuku d.o.o. (HCR-CTRO) i Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu (GFZ) su dva partnera iz Hrvatske od ukupno

dvadeset i šest partnera projekta TIRAMISU [1]. HCR-CTRO je bio nositelj operativne validacije rezultata svih partnera u projektu (različite tehnike, tehnologije, metode, sustavi i usluge), a kao poseban zadatak je istraživao metode, tehnike i tehnologije hiperspektralnih daljinskih istraživanja [3]. Ciljevi ovog zadatka bili su razvoj tehnike i tehnologije hiperspektralnih izviđanja minski sumnjivih površina i minskih polja s posebnim naglaskom na razvoju i verifikaciji sustava za otkrivanje utjecaja ukopanih mina na travnatu vegetaciju unutar minskih polja. Problematika određivanja minski sumnjive površine uključivala je razvoj, evaluaciju i implementaciju hiperspektralnih sustava na različite zračne i zemaljske platforme, [4], [5], [6], [7], [8]. Integracija sustava za prikupljanje podataka uključivala je ove platforme: helikoptere (Mi8, Bell-206B, Gazela), daljinski upravljane bespilotne zrakoplovne sustave (BZ), zemaljska vozila (kamionet, traktor), (slika 1), (slika 2) i senzore (tablica 1).

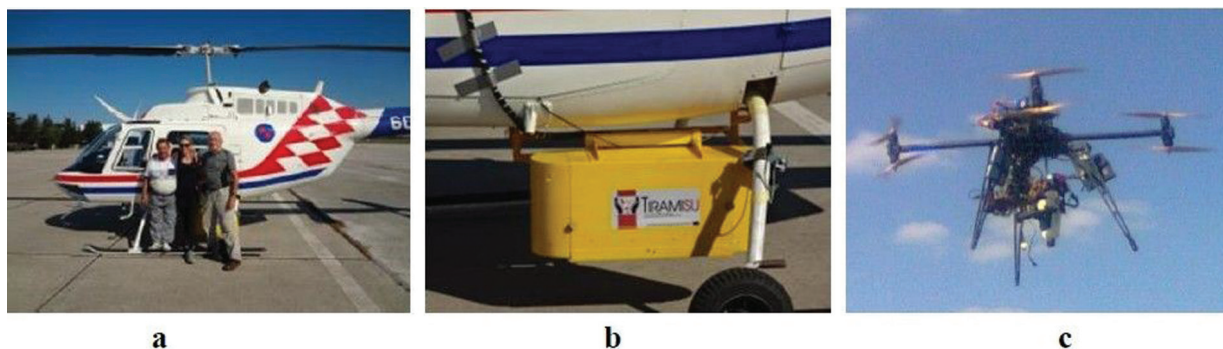
Tablica 1 Elektrooptički senzori

Table 1 Electro-optical sensors

Senzor	Valno područje (nm)	Broj kanala	Broj elemenata slike	Dubina boje (bit)
V9 - hiperspektralni linijski skener	430 - 900	95	1280	12
UHD 185 - matrična hiperspektralna kamera	450 - 950	125	1000 x 1000 (pan.) 50 x 50 (spekral.)	12
Photon 320 - dugovalna infracrvena kamera	8000 - 14000	1	320 x 240 324 x 256	8 ili 14
Sony alfa- kolor foto kamera	400 - 700	3	6000 x 4000	8
MS-4100- multispektralna kamera	400 - 1000	4	1920 x 1080	8 ili 10

Cijeli proces može se podijeliti u nekoliko faza: izviđanje i višesenzorsko prikupljanje podataka, predobrada, obrada, analiza i interpretacija podataka. Faze predobrade i obrade podataka sastoje se od velikog broja različitih postupaka kao što su: atmosferska i radiometrijska

² Strategija pametne specijalizacije Republike Hrvatske za razdoblje od 2016. do 2020. godine i akcijski plan za provedbu Strategije pametne specijalizacije Republike Hrvatske za razdoblje od 2016. do 2017. godine. Odluka Vlade Republike Hrvatske Klasa: 022-03/16-04/54, Urbroj: 50301-05/06-16-2, Zagreb, 30. ožujka 2016.



Slika 1 Konačne inačice sustava za snimanje iz zraka koji su razvijeni u HCR-CTRO u 2015. a) Helikopter Bell-206B i tim za hiperspektralna i multisenzorska snimanja. b) Hiperspektralni linijski skener V9 i matrična hiperspektralna kamera UHD-185 smještene su u žutom spremniku na helikopteru. c) Više-motorni daljinski upravljani bespilotni zrakoplov (BZ) s hiperspektralnom matričnom kamerom UHD-185.

Figure 1 The 2015 final versions of developed systems for aerial acquisition developed by HCR-CTRO in 2015. a) Helicopter Bell-206B and a team for a hyperspectral and multisensory survey. b) Hyperspectral line scanner V9 and hyperspectral full frame camera UHD-185 located inside of yellow pod on the helicopter. c) Multi-engine UAV with hyperspectral full frame camera UHD-185.

kalibracija, trijaža, geo-označavanje i orto-rektifikacija slika, izrada mozaika od hiperspektralnih i snimaka u boji, izrada digitalnih modela površina i digitalnih orto-foto mozaika, itd. Nakon čega slijedi analiza i interpretacija slike (kroz subjektivnu i kompjuterski potpomognutu identifikaciju indikatora), fuzija podataka (tematske karte, višekriterijalna analiza), itd.

3. Poveznica humanitarnog razminiranja i borbe protiv IED-a

3. Common ground mine action - C-IED

Otkrivanje IED-a, zbog ekstremno velike varijabilnosti, predstavlja velik problem sa snažnom potrebom za istraživanjem i unapređenjem, bilo da se radi o fizikalno mjerljivim značajkama IED-a i terena, odabiru senzorskih tehnologija, načinu prikupljanja podataka, metodama obrade i interpretacije. Kako obje domene zahtijevaju slične, a ponekad i iste faze rada, sa sigurnošću možemo tvrditi da mnoge od razvijenih, testiranih i validiranih tehnika, tehnologija, metoda, sustava i usluga mogu biti iskoristive i u domeni borbe protiv IED-a.

Nakon provedenog razvoja, ispitivanja i evaluacije različitih platformi i elektrooptičkih senzora za protuminsko djelovanje, dobiveni rezultati projekta pokazali su ova rješenja kao najbolja:

- Bespilotni zrakoplovi (BZ) s vrlo visokorazlučivom kamerom u boji (RGB) i hiperspektralnom matričnom kamerom (HS),

- Helikopter (Bell-206B) s visokorazlučivom kamerom u boji, hiperspektralnom matričnom kamerom i dugovalnom infracrvenom kamerom (Long Wave Infra Red - LWIR).

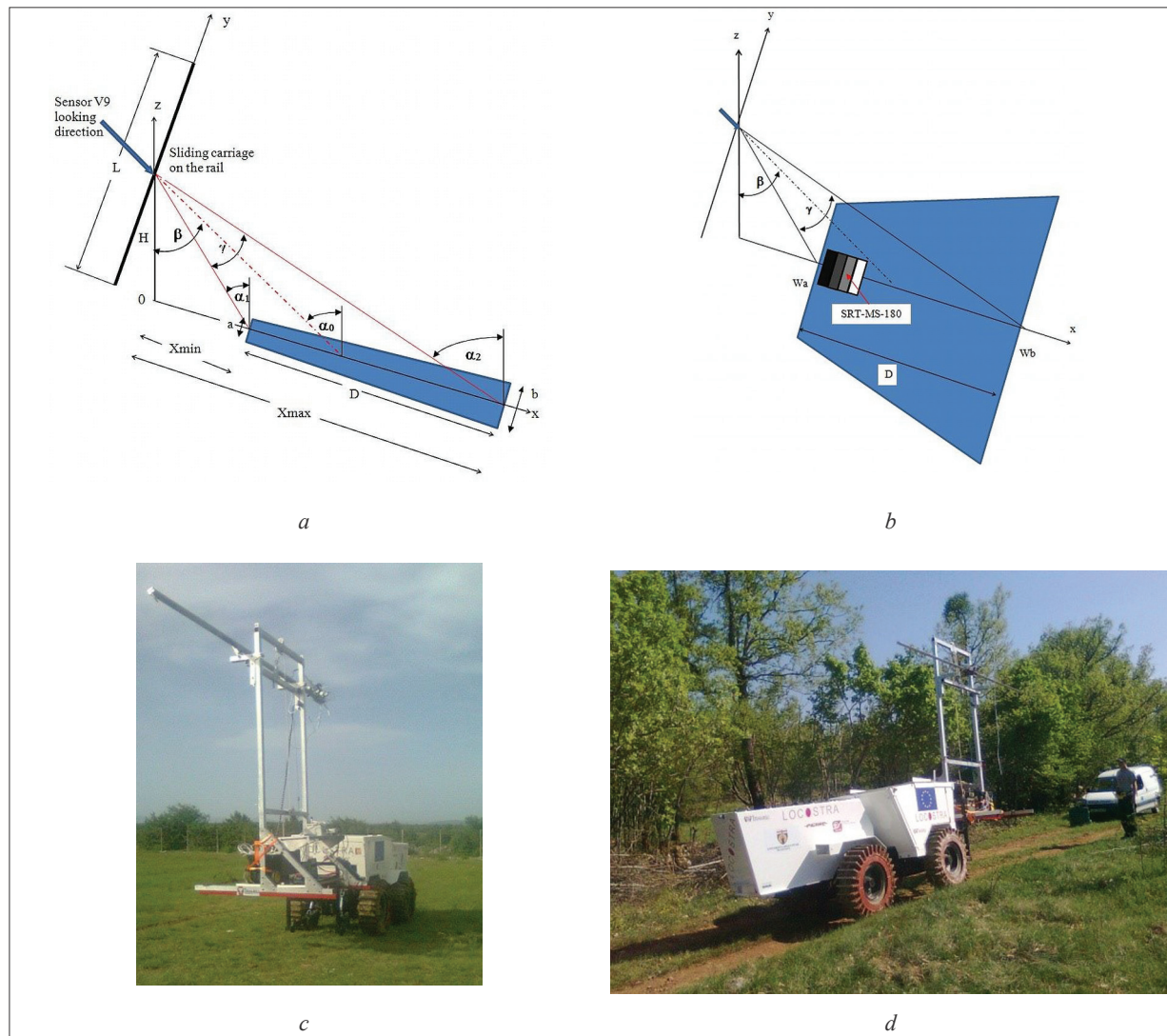
Navedeni sustavi uz određena unaprjeđenja, [9], mogu biti iskoristivi za novu, razmatranu domenu. Također, razvijeni i testirani zemaljski sustav za bočno snimanje s visokorazlučivim RGB, HS matričnim i LWIR kamerama dokazano može biti koristan kao model za razvoj zemaljskog sustava za prednje-koso snimanje i detekciju IED-ova, (slika 2), [8].

4. Hiperspektralna daljinska istraživanja

4. Hyperspectral remote sensing

Budući da su mnogi IED izrađeni od neeksplozivnih ubojnih sredstava (UXO), njihove spektralne karakteristike kao i karakteristike okolnog terena od izuzetne su važnosti. Zbog toga razloga, izvršeno je prikupljanje podataka i uspostava baze sa spektralnim karakteristikama UXO-a. Početni katalog sadržava podatke prikupljene 2012. i 2013. godine upotrebom zemaljskog sustava za snimanje s mehaničkim klizačem i instaliranom RGB kamerom, HS linijskim skenerom i LWIR senzorom, (slika 3).

Na prikupljenim, neobrađenim podatcima provedene su procedure predobrade i kalibracije kako bi se početno snimljena spektralna radijancija prevela u spektralnu refleksiju te postigla potrebna pouzdanost i kvaliteta istih, (slika 4).



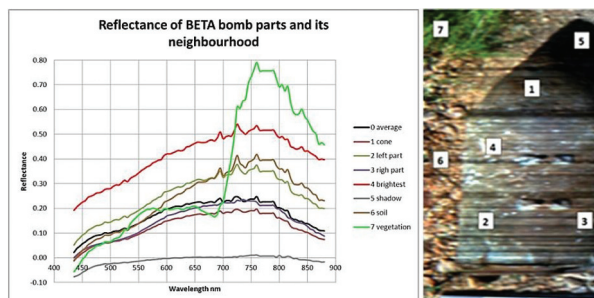
Slika 2 Geometrija i izgled hiperspektralnog linijskog skenera V9 - a), b), te matričnog senzora UHD-185 - c), d). Senzori su instalirani na zemaljskoj platformi za koso i bočno snimanje.

Figure 2 Geometry and view of hyperspectral line scanner V9 - a), b), and full frame UHD-185 camera - c), d). Sensors are installed on a ground-based platform for oblique side-looking imaging..



Slika 3 Senzori instalirani na mehaničkom klizaču dužine 4m.

Figure 3 Sensors installed on a 4m long mechanical slider.



Slika 4 Radijancija uzoraka BETA bombe i njezinog okuženja. Vizualizacija hiperspektralnog snimka odabirom hiperspektralnih kanala: crveno - 650 nm, zeleno - 550 nm, plavo - 450 nm.

Figure 4 Radiance of the BETA bomb parts and its surrounding. Image of BETA bomb derived from a hyperspectral cube and visualized in red (650 nm), green (550 nm), blue (450 nm) color.

Za podatke snimljene s HS linijskim skenerom V9 bilo je neophodno primijeniti posebne atmosferske i radiometrijske modele kalibracije. Primijenjena je Empirical line metoda s ranije posebno izračunatim kalibracijskim koeficijentima za svaki set podataka, kako bi se sirova radijancija prevela u refleksiju, [3]. Od iznimne je važnosti primijeniti odgovarajući kalibracijski postupak, jer se podatci reflektancije i radijancije značajno razlikuju, (slika 5), (slika 6), (slika 7), (slika 8). Osim toga, ovakvi skeneri zahtijevaju provođenje parametarskog geokodiranja i orto-rektifikacije kako bi se prikupljeni linijski segmenti, (slika 9), projicirali na ispravne pozicije digitalnog modela reljefa snimanog područja. Rezultat je „kompaktna slika“ snimanog područja. Procedurom parametarskog geokodiranja i orto-rektifikacije rekonstruirana se položaj za svaki element slike koristeći kutne nagibe (engl. roll, pitch, yaw), geografski položaj i podatke o visini senzora za vrijeme snimanja. Potrebni podatci osiguravaju se korištenjem inercijalnog mjernog sustava (engl. Inertial Measuring Unit) i GPS uređaja. Procedura se provodila uporabom softvera PARSE (ReSe), a često je vrlo složena i dugotrajna.

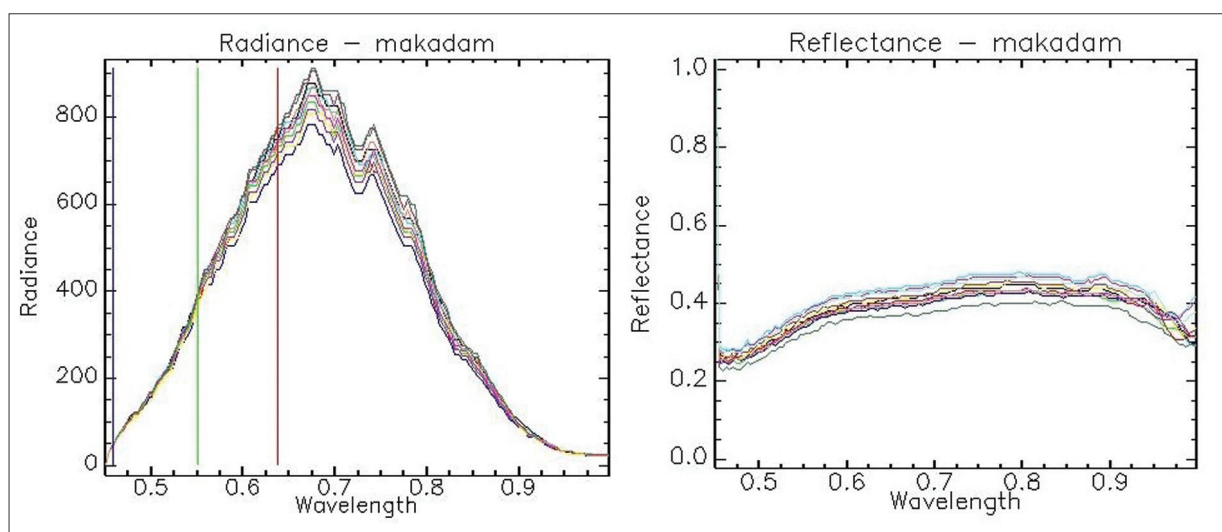
Tijekom 2015. godine izvršeno je prikupljanje spektralnih reflektancija neeksploziviranih ubojnih sredstava i okolnog terena na testnom, minskom poligonu Cerovac pomoću hiperspektralne matrične kamere UHD-185. Ova vrsta kamere ne zahtijeva kalibracijske procedure na snimljenim



Slika 5 Hiperspektralni snimak iz testnog, minskog poligona Cerovac snimljenog s BZ u srpnju 2015. godine.

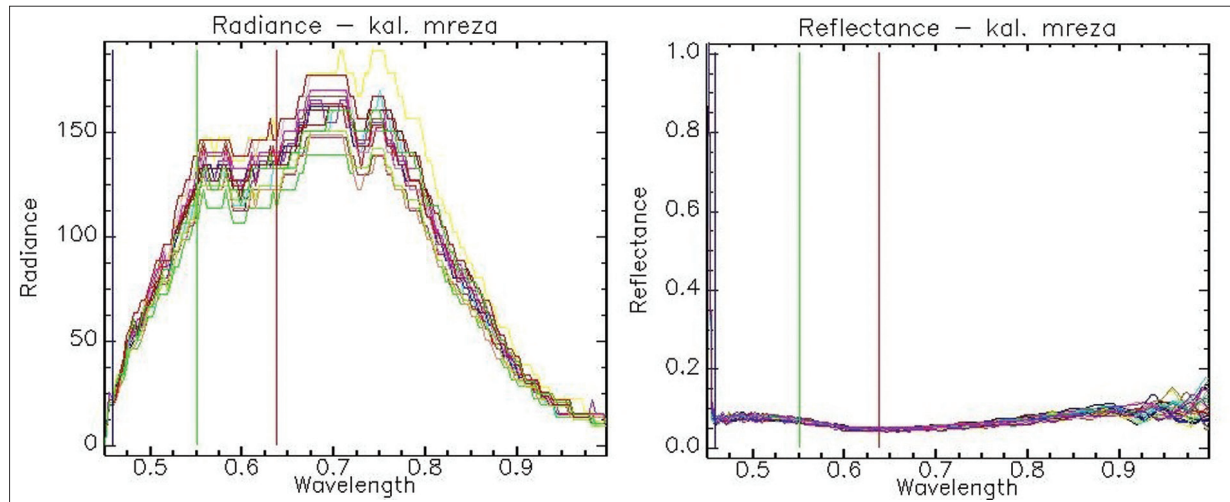
Figure 5 Hyperspectral image from test-minefield Cerovac collected in July 2015 from UAV.

podacima, već se kamera kalibrira prije početka snimanja. Nakon što se odredi iznos zasićenja intenziteta zapisa te oduzme iznos bez ulaska svjetla u senzor („tamna struja“), prikupljeni podaci daju informacije o spektralnim reflektancijama snimljene scene bez potrebe za predobradom, (slika 10). Za možebitnu buduću namjenu (otkrivanje anomalija na terenu, otkrivanje IED, terorista koji se sprema



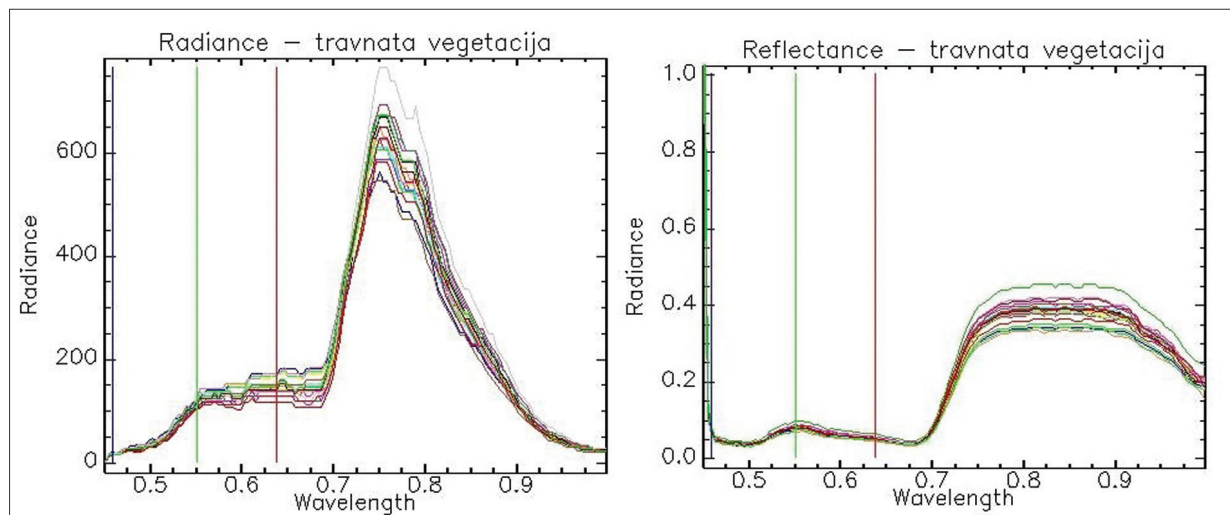
Slika 6 Spektar makadamskog puta iz testnog, minskog poligona Cerovac snimljenog u srpnju 2015. godine - prije kalibracije (radijancija) i nakon kalibracije (reflektancija).

Figure 6 Dirty road spectra from test-minefield Cerovac data collected in July 2015. Before calibration (radiance) and after calibration (reflectance).



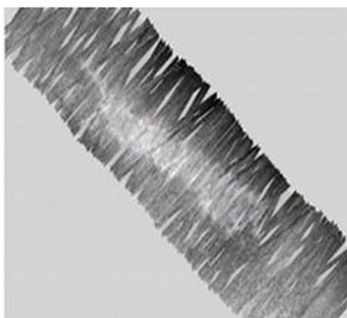
Slika 7 Spektar kalibracijske mreže na testnom, minskom poligonu Cerovac snimljenog u srpnju 2015. godine - prije kalibracije (radijancija) i nakon kalibracije (reflektancija).

Figure 7 Calibrating net spectra in test-minefield Cerovac data collected in July 2015. Before calibration (radiance) and after calibration (reflectance).



Slika 8 Spektar travnate vegetacije na testnom, minskom poligonu Cerovac snimljenog u srpnju 2015. godine - prije kalibracije (radijancija) i nakon kalibracije (reflektancija).

Figure 8 Grass spectra in test-minefield Cerovac data collected in July 2015. Before calibration (radiance) and after calibration (reflectance).

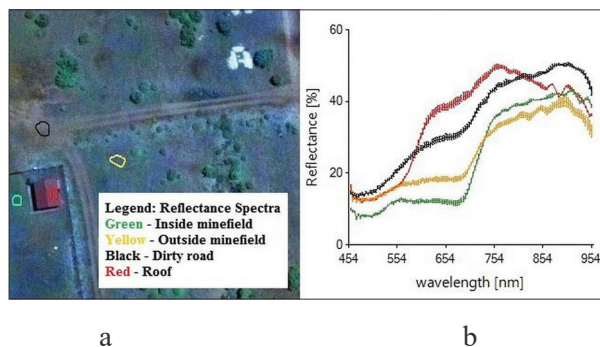


Slika 9 Pozicije snimljenih linijskih segmenata hiperspektralnog linijskog skenera V9.

Figure 9 Positions of collected line segments with hyperspectral line scanner V9.

aktivirati IED) posebno je važno što matične hiperspektralne kamere imaju mogućnost davanja podatke u približno stvarnom vremenu. Ta opcija verificirana je u 2015. godini za vrijeme snimanja iz helikoptera minskih polja Murgiči (sjeverno od Ličkog Osika). Osim prethodno spomenute, prednost ovih kamera je i tome što svojim matičnim načinom snimanja ne zahtijevaju proceduru parametarskog geokodiranja..

Na temelju projektnih iskustava može se zaključiti da hiperspektralna tehnologija može biti vrlo primjenjiva za razvoj metoda, sustava i tehnologija za potrebe borbe protiv IED.



Slika 10 a) Hiperspektralna snimka refleksije
b) dijagrami refleksije unutar i izvan minskog poligona Benkovac, prikupljeno 2015. godine s UHD-185 matričnom kamerom s BZ.

Figure 10 a) Hyperspectral reflectance image, b) diagrams of the reflectance inside and outside of Benkovac test- minefield collected in July 2015 from UAV with full frame camera UHD-185.

5. Dugovalna infracrvena daljinska istraživanja

5. Longwave infrared remote sensing

Metode, tehnike, tehnologije dugovalnih infracrvenih daljinskih opažanja i mjerenja su intenzivno istraživane za potrebe protuminskog djelovanja. Iako do 2016. godine ova istraživanja nisu dala operativno primjenljivu tehnologiju za humanitarno razminiranje (traži se otkrivanje mina koje su kopane u zemlji duže vremena), za potrebe borbe protiv IED ovaj potencijal je interesantan, budući da se radi se o objektima koji su postavljeni ili ukopani unutar jednog ili par dana ili najviše nekoliko sati prije vremena izviđanja [10].

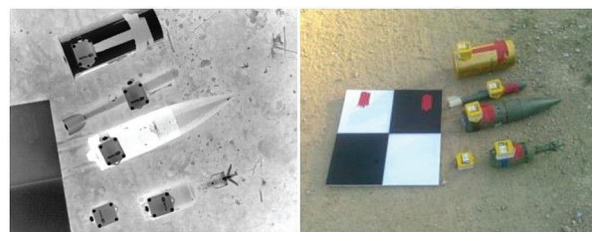
Kada se UXO snima s LWIR kamerom potrebno je uzeti u obzir emisivnost (ε),

$$\varepsilon = T_{LWIR}/T_{real}, \quad \varepsilon \leq 1 \quad (1)$$

gdje je T_{LWIR} temperatura izmjerena kamerom, a stvarna temperatura snimanog objekta i njegove okoline.

Za sustave namijenjene detekciji UXO-a, koji koriste LWIR senzore, poznavanje emisivnosti objekata je neophodna. Kako takvi podatci nisu dostupni, započelo se s inicijalnim aktivnostima prikupljanja. Tijekom srpnja 2015. i lipnja 2016. godine izvršeno je snimanje različitih vrsta minsko eksplozivnih sredstava, mogućih

detonatora te materijala za prikrivanje na testnom, minskom poligonu Cerovac, (slika 11). Osim prikupljanja podataka unutar dugovalno infracrvenog dijela spektra, istovremeno su mjerene temperature objekata od interesa, zraka i okolnog tla.



Slika 11 LWIR snimka UXO-a (lijevo) s pripadajućom kolor snimkom (desno). Kockasti predmeti na UXO su registratori temperature.

Figure 11 LWIR image of UXO samples (left) and corresponding color image (right). Boxes on UXO are digital temperature recorders.

Emisivnost i spektralna reflektancija presudne su u detekciji UXO-a u slučajevima kada su isti djelomično zaklonjeni, što je obično slučaj i s IED.

6. Aktivno otkrivanje električki nelinearnih spojeva harmoničkim radarom

6. Active detection of non-linear joints with harmonic radar

Detektor nelinearnih električkih pasivnih spojeva (Non-Linear Junction Detector - NLJD) pokazao se kao obećavajuća vrsta senzora za detekciju komponenata aktivacijskih sustava i samih IED [11]. Autori su tijekom 2016. godine vodeći proceduru testiranja za jedan ovakav uređaj potvrdili gore navedenu tvrdnju [12].

NLJD uređaj je harmonički radar, koji elektromagnetskim valovima “osvjetljava” metu na frekvenciji f_0 , a prima raspršene valove na dvostrukoj, $f_2=2f_0$ (drugi harmonik), ili na trostrukoj frekvenciji, $f_3=3f_0$ (treći harmonik). Elektromagnetski valovi na drugom ili trećem harmoniku nastaju na električki nelinearnoj karakteristici spojeva metalnih površina. Pasivni elektronički sklopovi (tipka za zvonce, pasivan mobilni ili pasivan radio-uređaj, pasivni prekidači i slično) generiraju elektromagnetske valove na drugom harmoniku, a metalne oksidirane

površine, koje su u kontaktu, generiraju treće harmonike. Tijekom testiranja, potvrđeno je da ova tehnologija uspješno otkriva niz vrsta predmeta od interesa na zemlji i iza prepreka. Ukoliko se predmeti od interesa nalaze na visini iznad 1m od terena detekcija je moguća i iz većih udaljenosti (primjeri u [12]).

7. Fuzija multisenzorskih podataka, informacija

7. Fusion of multisensory data, information

“Poremećaji” na površini tla, anomalije terena, raspoznavanje uzoraka i razne druge informacije mogu se izvući primjenom automatske i poluautomatske klasifikacije scene te isticanjem obilježja HS, LWIR snimaka i NLJD podataka. Računalno potpomognuta foto-interpretacija (CAPI) snimaka u boji, također, može biti od pomoći [8]. U kombinaciji s primjenom fuzije i višekriterijalne analize, ova vrsta informacija može biti korištena za situacijsko osvještavanje i taktičku pripremu u domeni borbe protiv IED-a.

8. Koncept sustava za borbu protiv IED-a

8. Concept of counter-IED system

Improvizirane eksplozivne naprave mogu biti postavljene bilo gdje - unutar gradova, na komunikacijama, također mogu biti prikazane na osobu ili životinju. Među ostalim metodama, mogu se aktivirati mobitelom, radio vezom, infracrvenom komunikacijom, pritiskom, žicom... Zbog neizmerno velikog broja varijacija nije moguće odgovoriti na sve njih te je, stoga, racionalno razmatrati sustave za borbu protiv IED-a za samo odabrane situacije i scenarije. Kao primjer odabrali smo koncept sustava za zaštitu konvoja vozila izloženog IED prijetnjama izvan naseljenih područja, [13]. Djelovanje ovakvog sustava započinje izviđanjem i nadzorom iz zraka pomoću daljinski upravljanih bespilotnih zrakoplova (BZ), koji služe za detekciju IED, aktivatora, grupe terorista, indikatora ugroze, kao i za nadzor prometnih pravaca, uzimajući u obzir različite vrste terena. *A priori* znanja

o značajkama terena, kontekstualni podatci, informacije o prethodnim IED aktivnostima, geografski podatci i novo prikupljeni podatci iz zraka međusobno se kombiniraju fuzijskim procesima kako bi se osigurala visoka vjerojatnost otkrivanja IED-a i/ili aktivatora i/ili skupina terorista koji pripremaju zasjedu. Implementacijom višekriterijalne i višeobjektne fuzije osigurava se korištenje svih dostupnih podataka, informacija i znanja.

Naprednu reakciju u približno stvarnom vremenu može omogućiti primjena kognitivnog stroja (eng. *cognitiveengine*) koji koristi umjetnu neuronsku mrežu za izračun sveukupne vjerojatnosti pojavljivanja IED koristeći podatke iz senzora te vanjske izvore referenci, uvažavajući njihova poznata ograničenja. Informacije dostavljene u približno stvarnom vremenu kontinuirano se unaprjeđuju kombiniranjem novo prikupljenih podataka, čime se poboljšava kvaliteta predviđanja pojavnosti IED-a. Procijenjeno je da se primjenom fuzijskih metoda i kognitivnog stroja smanjuje mjera lažnih uzbuna za 50-75% te značajno povećava pouzdanost detekcije. Primjeri u nastavku ilustriraju probleme koji bi se mogli riješiti predloženim sustavom te izviđanjem i nadzorom iz zraka s daljinski upravljanim, više-senzorskim zrakoplovnim sustavima: izbjegavanje svježeg kopanog tla na trasi kretanja, izbjegavanje vožnje preko nepoznatih predmeta te nakupina vegetacije, detekcija anomalije/a u neposrednoj blizini trase, definiranje promjena na ruti kretanja usporedbom svježih prostornih podataka s ranije prikupljenim, planiranje alternativnih ruta, itd., [13]. Iskustvo i reference stečene tijekom istraživanja za potrebe protuminskog djelovanja mogu biti korisne i za ovu domenu, uz nekoliko novih aspekata - otkrivanje IED, terorista, osiguravanje situacijske osviještenosti prije i tijekom napredovanja konvoja te dostavljanje informacija od značaja voditelju konvoja. Značajno unapređenje očekuje se u procesima prikupljanja i obrade višesenzorskih podataka, koji se trebaju odvijati u približno realnom vremenu definiranom brzinom kretanja konvoja.

9. Zaključak

9. Conclusion

U okviru EU FP7 projekta TIRAMISU istraživana su i razvijana tehnička rješenja za potrebe humanitarnog razminiranja u domeni protuminskog djelovanja. U radu su komentirana rješenja detekcije primjenom hiperspektralnih senzora u vidnom i bliskom infracrvenom području, termovizijskih senzora u dugovalnom infracrvenom području, harmoničkih radara u mikrovalnom području. Kratko su komentirani odabrani primjeri rješenja, koja su razvijena u projektu TIRAMISU za potrebe protuminskog djelovanja te njihov mogući prijenos u domenu borbe protiv improviziranih eksplozivnih naprava.

10. Zahvala

10. Acknowledgment

Istraživanje koje je dovelo do ovih rezultata financirano je iz sredstva Sedmog okvirnog programa Europske zajednice (FP7/2012.-2015.) po ugovoru n° [284747]. Posebna priznanja i zahvale idu za doprinose i priloge sljedećim kolegama: Marku Krajnoviću, Tihomiru Kičimbačiju, Dejanu Vuletiću, Anni Brook, pilotima helikoptera te firmi Geoarheo d.o.o., koji su BZ uvijek spremno modificirali prema različitim zahtjevima za vrijeme istraživanja i razvoja hiperspektralnog snimanja.

11. Reference

11. References

- [1] Toolbox Implementation for Removal of Anti-Personnel Mines, Sub-munitions and UXO – TIRAMISU, EU FP7 project 2012.-2015., Grant Agreement Number 284747; <http://www.fp7-tiramisu.eu/>; 15.11.2016.
- [2] EUROPOL - European law enforcement agency; European Union terrorism situation and trend report 2015. / Report 2015; <https://www.europol.europa.eu/eu-terrorism-situation2015>; 4.11.2016.
- [3] Borengasser M.; Hungate W.S.; Watkins R.; Hyperspectral Remote Sensing Principles and Applications, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton; ISBN 978-1-56670-654-4, p. 9; 2008.
- [4] Bajić M.; Ivelja T.; New technology for mine action - the hyperspectral Non - Technical Survey from UAV and helicopter, 13th International Symposium: „Mine Action 2016“, Book of Papers, ed. Jakopc D., pp: 179 - 183, ISSN 1849-3718, Biograd, Hrvatska 2016.
- [5] Ivelja T.; Bajić M.; Skelac G.; UAV deployment in survey with hyperspectral line scanner, 12th International Symposium: „Mine Action 2015.“, Book of Papers, ed. Jakopc D., pp: 37 - 42, ISBN 1849-3718, Biograd, Hrvatska 2015.
- [6] Bajić M.; Airborne Detection of UXO, Reconstruction of Former War Zone; The EOD Future in the Light of NATO EOD Demonstrations and Trials 2012, Publisher: NATO Centre of Excellence for Explosive Ordnance Disposal, Book of Papers, pp: 33 - 41, . Trenčín, Slovak Republic 2012.
- [7] Milan B.; Ivelja T.; Krtalić A.; Tomić M.; Vuletić D.; The multisensor and hyperspectral survey of the UXO around the exploded ammunition depot, of the landmines test site vegetation, 10th International Symposium: "Humanitarian Demining 2013", Book of Papers, ed. Jakopc D., pp: 91-96, ISBN 1848-9206, Šibenik, Hrvatska 2013.
- [8] Bajić M.; Krajnović M.; Brook A.; Ivelja T.; Ground vehicle based system for hyperspectral measurement of minefields, 11th International Symposium: "Humanitarian Demining 2014", Book of Papers, ed. Jakopc D., pp: 11-14, ISBN 1849-3718, Zadar, Hrvatska 2014.
- [9] Racetin I.; Krtalić A.; Methodology for semi-automatic interpretation of digital multisensor images for the purpose of detection and extraction of unexploded ordnances, South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics, Issue V03, No2S, 2014., pp: 567-572.

- [10] Anderson D. T.; Farrell; Stone K; Keller J. M.; Spain C; Fusion of Anomaly Algorithm Decision Maps and Spectrum Features for Detecting Buried Explosive Hazards in Forward Looking Infrared Imagery; 2011 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), pp: 1 - 8, ISBN 978-1-4673-0215-9; 2011.
- [11] Vernigorov H. S.; Neizvjesna nelinearna lokacija kao tehnologija dvojne namjene, Konfident, No. 6; 2003., (na ruskom), http://www.analitika.info/info1.php?page=1&full=block_article112; 15.11.2016.
- [12] HCR-CTRO; Report on the testing of detectors NR-900EK3M EAGLE, NR-2000 and NR-12C / Testing report - Russian detector 2016. HCR Centar za testiranje, razvoj i obuku d.o.o., Zagreb, 07.06.2016, pp: 16.-26., 32.-33., <http://www.ctro.hr/izvjestaj-s-ispitivanja-ruskih-detektora>; 4.11.2016.
- [13] Bajić M.; Orehovec Z.; Manda M.; Intelligent Counter IED/CBR System for convoy protection, CBRNE Applied Science & Consequence Management World Congress, CSCM 2015 - Zagreb, Hrvatska, 13.-17. April 2015. (Prezentacija)

AUTORI · AUTHORS



Milan Bajić

Dr. sc. Milan Bajić, puk. HV u miru, bivši profesor za daljinska istraživanja na Geodetskom i Prirodno matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, član Znanstvenog vijeća HCR-

CTRO. Znanstveni voditelj u sedam višegodišnjih projekata istraživanja i razvoja metoda i tehnika daljinskih istraživanja za potrebe humanitarnog razminiranja od 2001. do 2016. godine. U projektu TIRAMISU je vodio operativnu validaciju i istraživanje i razvoj hiperspektralnih metoda za izviđanje u protuminskom djelovanju.



Tamara Ivelja

Tamara Ivelja, rođena je 1986. godine u Splitu. Akademsku titulu mag. ing. geod. et geoinf. stekla je 2011. godine na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu obranom teme iz područja

daljinskih istraživanja pod mentorstvom Dr. sc. Milana Bajića. Po završetku fakulteta započinje rad na Europskom projektu FP7 TIRAMISU, gdje se prvenstveno bavila istraživanjem hiperspektralnih podataka za potrebe redukcije minski sumnjive površine. Sudjelovala na provođenju projekta "Protuminsko djelovanje nakon poplava, regionalni odziv u krizi, razvoj tehnologija i izgradnja kapaciteta", gdje je vodila koordinaciju snimanja minskih polja s dva bespilotna sustava te obradu prikupljenih podataka. Krajem 2015. godine zapošljava se na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu kao asistentica i suradnica u Projektnom uredu.

Korespondencija

tivelja@tvz.hr