

D6.2 Izvještaj o validacijskim eksperimentima Scenarija 1

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet Elektrotehnike i Računarstva
Laboratorij za podvodne sustave i tehnologije

31. Prosinca 2018.



Sadržaj

Uvod.....	2
Validacija scenarija 1	2
Validacija izvodljivosti održavanja izgleda formacije	6
Validacija kvalitete upravljanja formacijom flote	7
Zaključak	8

Uvod

Ovaj dokument predstavlja rezultate validacije algoritama za kooperativno upravljanje bespilotnim površinskim plovilima/vozilima. Tehnički podaci vozila korištenih u CroMarX istraživanju i ovoj validaciji su predstavljeni u D6.1. Za eksperimentalnu provjeru algoritama za kooperativno upravljanje bespilotnim površinskim plovilima kreiran je Scenarij 1. Scenarij demonstrira funkcionalnosti upravljanja formacijom flote plovila u svrhu distribuiranog nadzora mora. On uključuje sastavljanje i održavanje proizvoljno odabrane formacije plovila uz implementirane algoritme za izbjegavanje kolizija.

Dokument predstavlja rezultat aktivnosti T6.3. „Scenarij 1: Upravljanje flotom USVova za distribuirani nadzor mora“ i potvrđuje ostvarenje kontrolne točke (milestone) MS6: „Scenarij 1 validiran“. Shodno tome rezultati validacije predstavljaju i važan korak u dostizanju cilja 5 „Eksperimentalna validacija razvijenih kooperativnih upravljačkih algoritama primijenjenih na flotu bespilotnih plovila i bespilotnu ronilicu“.

Validacija scenarija 1

Eksperimentima validiramo:

1. izvodljivost uspješnog sastavljanja i održavanja izgleda formacije više autonomnih površinskih vozila
2. kvalitetu upravljanja formacijom flote

Kao validacijsku metriku izvodljivosti uspješnog sastavljanja i održavanja izgleda formacije više autonomnih površinskih vozila za scenarij 1 koristimo pokazatelje:

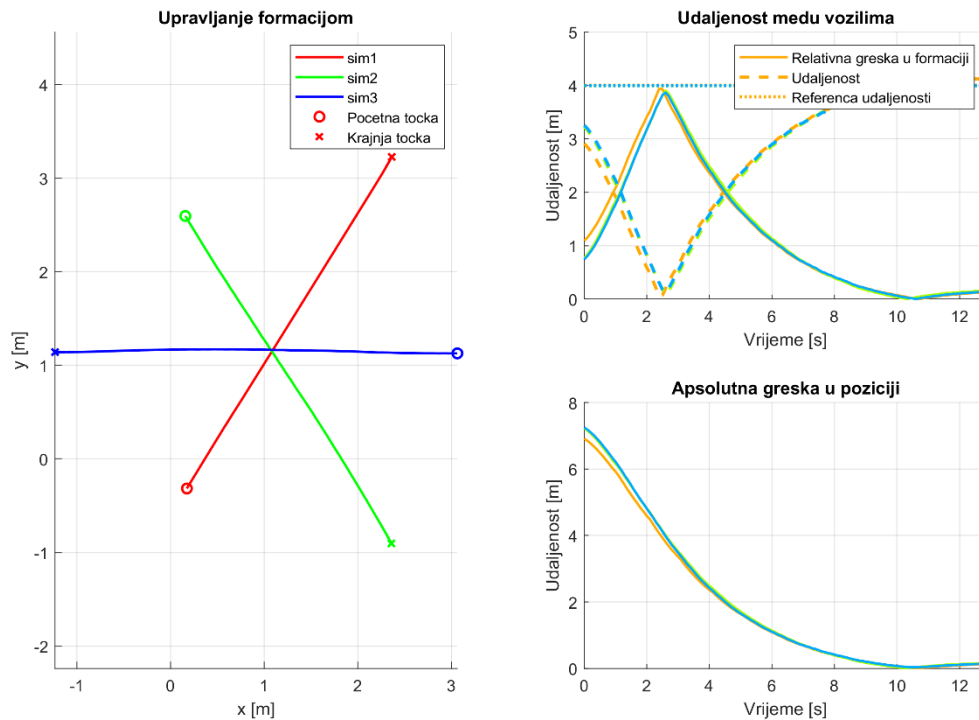
- a) uspješnost ulaska i održavanja referentne udaljenosti unutar 0.5m
- b) relativna udaljenost između bilo kojeg par vozila ne smije ući unutar 1m zbog mogućnosti kolizije

Kao validacijsku metriku kvalitete upravljanja formacijom flote za scenarij 1 koristimo pokazatelje:

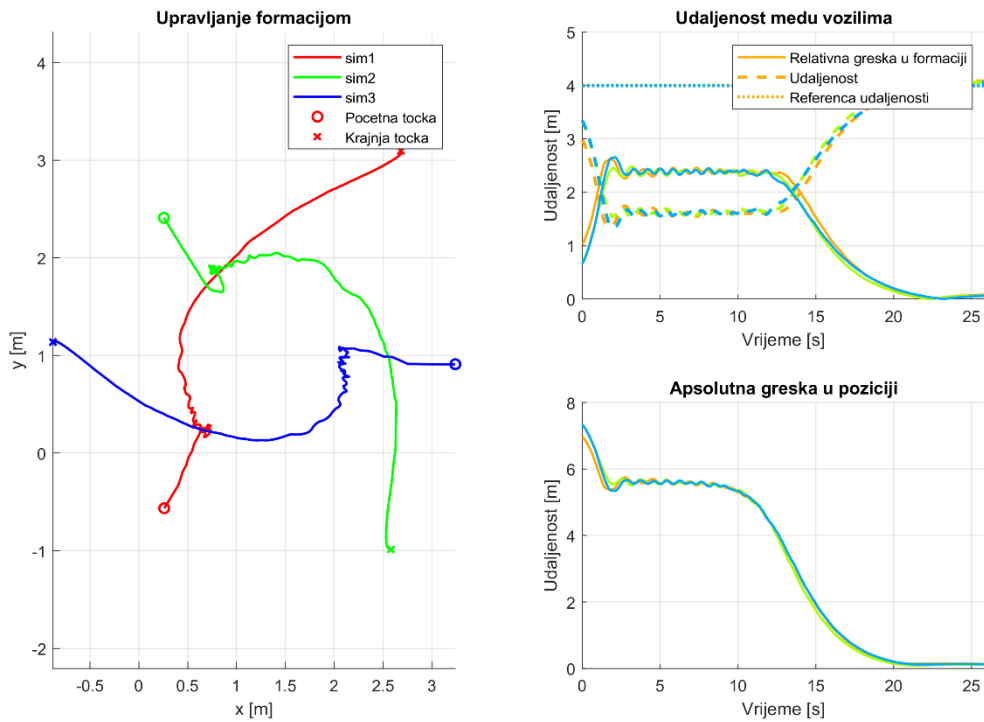
- a) vrijeme potrebno za promjenu izgleda formacije
- b) srednju kvadratnu pogrešku odstupanja trenutnih relativnih pozicija u odnosu na zadane relativne pozicije pojedinih vozila nakon ulaska unutar područja tolerancije

Na slikama 1. i 2. su prikazani simulacijski rezultati eksperimenata promjene i održavanja izgleda formacije tri autonomna površinska vozila. Slike 3. i 4. prikazuju rezultate stvarnih eksperimenata provedenih sa tri vozila. Slike 5. i 6. prikazuju

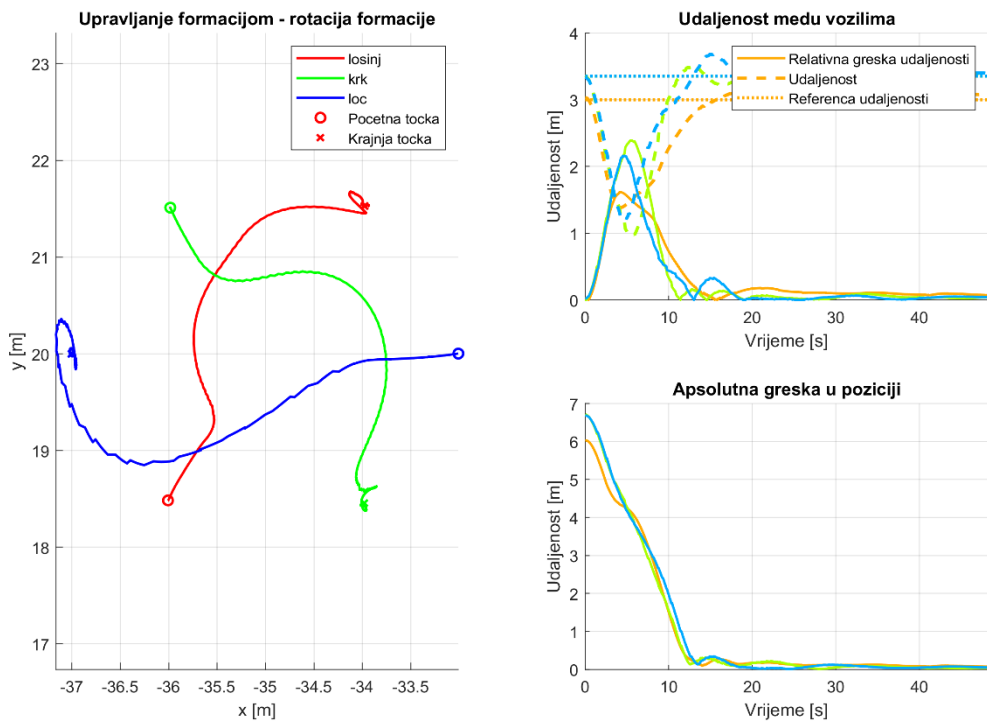
rezultate stvarnih eksperimenata provedenih sa četiri vozila. Snimka eksperimenata s četiri vozila može se pogledati na linku <https://www.youtube.com/watch?v=-HOWM5OUVXA>.



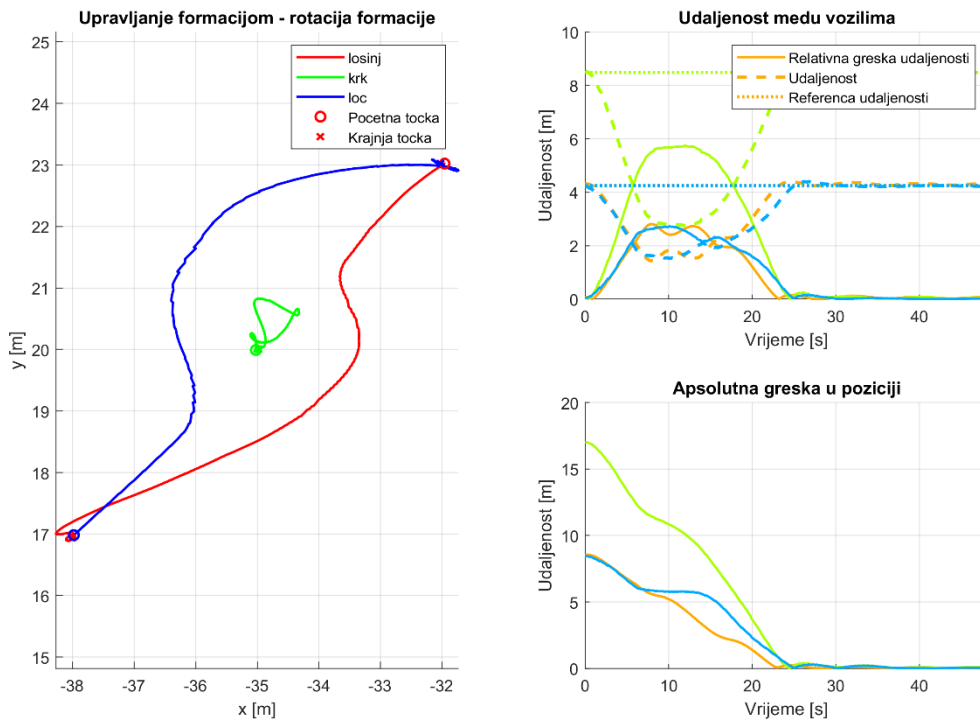
Slika 1. Simulacijski rezultati upravljanja formacijom bez algoritma za izbjegavanje kolizija – rotacija formacije trokut za 180°



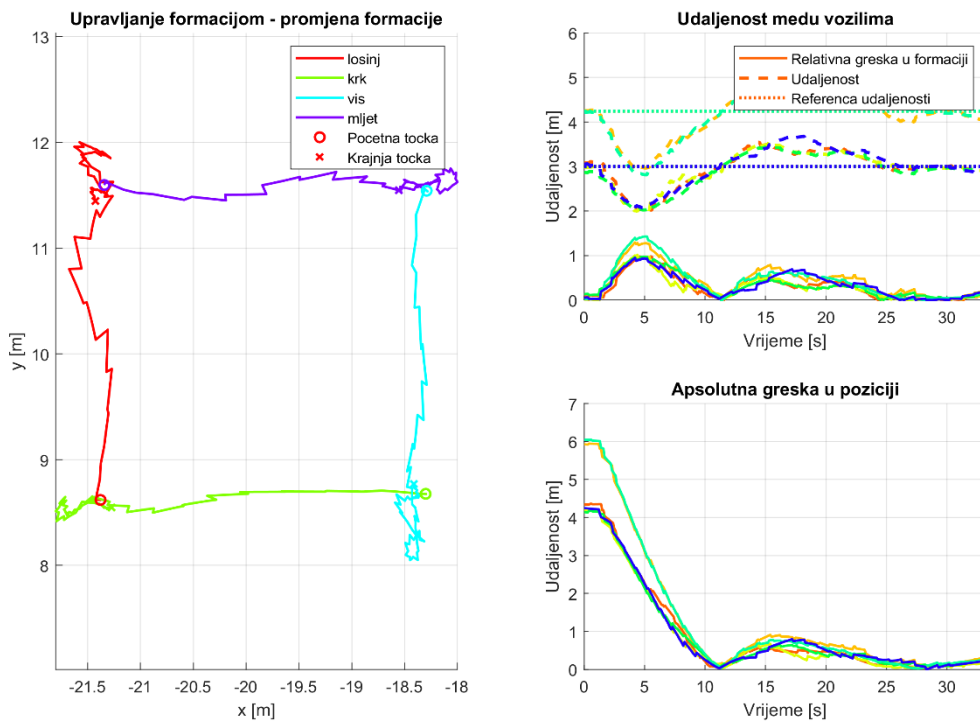
Slika 2. Simulacijski rezultati upravljanja formacijom s algoritmom za izbjegavanje kolizija – rotacija formacije trokut za 180°



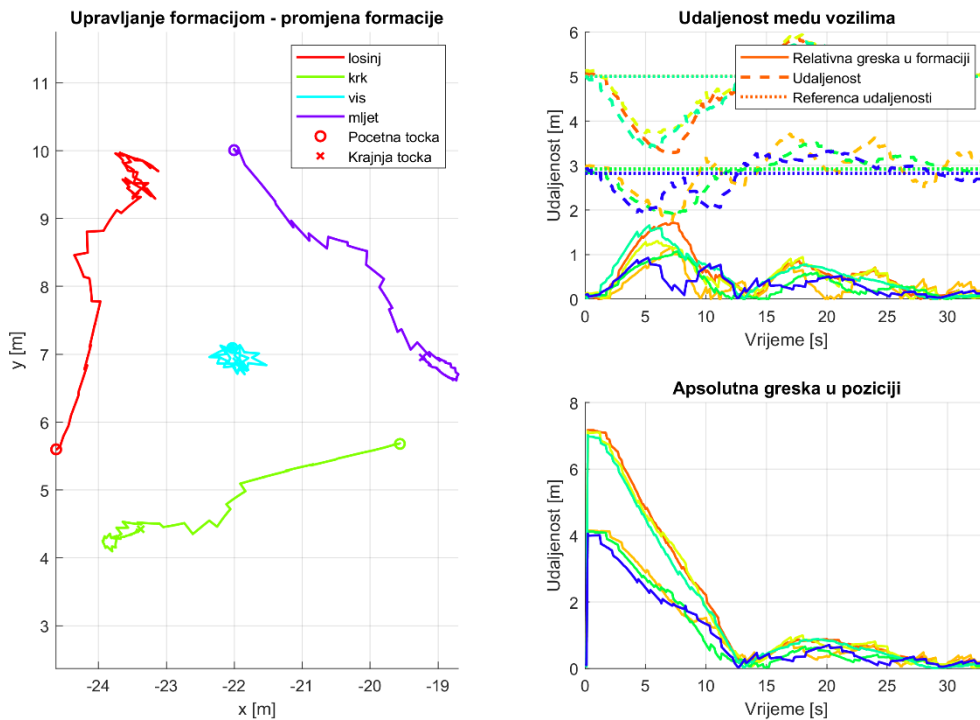
Slika 3. Stvarni rezultati upravljanja formacijom s algoritmom za izbjegavanje kolizija – rotacija formacije trokut za 180°



Slika 4. Stvarni rezultati upravljanja formacijom s algoritmom za izbjegavanje kolizija – rotacija formacije linija za 180°



Slika 5. Stvarni rezultati upravljanja formacijom s algoritmom za izbjegavanje kolizija – rotacija formacije kvadrat za 90°



Slika 6. Stvarni rezultati upravljanja formacijom s algoritmom za izbjegavanje kolizija – rotacija formacije trokut za 90°

Validacija izvodljivosti održavanja izgleda formacije

Kao jedan od pokazatelja izvodljivosti promjene i održavanja proizvoljnog izgleda formacije koristimo mjeru odstupanja udaljenosti vozila od referentne vrijednosti. Održavanje izgleda formacije je uspješno ukoliko je odstupanje unutar 0.5m. Drugi pokazatelj izvodljivosti vezan je za sigurnu promjenu izgleda formacije tijekom kojega ne smije doći do kolizije između vozila. Opasna zona tijekom koje može doći do kolizije je unutar 1m oko svakog vozila, iz čega zaključujemo da relativna udaljenost među vozilima tijekom izvođenja eksperimenata ne smije pasti ispod 1m.

Na slikama 1.-6. je vidljivo da nakon izvjesnog vremena sva odstupanja od referentne vrijednosti padnu unutar 0.5m, vidljivo na grafu „Apsolutna greška u poziciji“. Vrijeme ustaljenja prikazano u tablici 1. jednako je vremenu potrebnom da sve veličine unutar grafa „Apsolutna greška u poziciji“ padnu i ostaju unutar 0.5m. Svako vrijeme ustaljenja je manje od trajanja izvođenja eksperimenata, što znači da je formacija uspješno održana.

Tijekom izvođenja svih eksperimenata, sa grafa „Udaljenost među vozilima“ na slikama 1.-6. je vidljivo da udaljenost među vozilima ne pada unutar sigurnosnog radijusa od 1m, što nam govori da tijekom izvođenja eksperimenata nije moglo doći do kolizije među vozilima.

Eksperimentima je validirana izvodljivost održavanja izgleda formacije za simulirana i stvarna vozila koristeći tri ili četiri vozila.

Validacija kvalitete upravljanja formacijom flote

Kao validacijsku metriku kvalitete upravljanja formacijom flote koristimo vrijeme potrebno za promjenu izgleda formacije i srednju kvadratnu pogrešku odstupanja trenutnih relativnih pozicija u odnosu na zadane relativne pozicije pojedinih vozila nakon ulaska unutar područja tolerancije. U tablici 1. su prikazane sljedeće informacije o eksperimentima:

- a) Vrijeme ustaljenja
- b) Normalizirano vrijeme ustaljenja
- c) Srednja kvadratna pogreška odstupanja udaljenosti među vozilima od referentne vrijednosti

Vrijeme ustaljenja je definirano kao vrijeme potrebno da sve pogreške odstupanja udaljenosti među vozilima od referentne vrijednosti padnu i ostanu unutar radijusa tolerancije od 0.5m. Normalizirano vrijeme ustaljenja je uvedeno kako bi se mogli uspoređivati eksperimenti s različitim izgledima formacije. Ono je definirano kao vrijeme ustaljenja podijeljeno s maksimalnom euklidskom udaljenosti koje je jedno od vozila prevalilo tijekom izvođenja eksperimenta, odnosno najvećom udaljenosti između početne i krajnje pozicije jednog od vozila. Srednja kvadratna pogreška odstupanja udaljenosti među vozilima je definirana kao srednja kvadratna pogreška odstupanja udaljenosti nakon što sve pogreške odstupanja udaljenosti po prvi put uđu unutar radijusa tolerancije.

U tablici 1. su prikazane validacijski rezultati eksperimenata prikazanih na slikama 1.-6. Može se primijetiti da normalizirano vrijeme ustaljenja prikazuje efektivnu brzinu najsporijeg vozila tijekom izvođenja eksperimenta. Ta brzina ne odgovara brzini kojom se vozilo gibalo, već kojom brzinom bi se u prosjeku vozilo pravocrtno trebalo gibati kako bi došlo od početne točke do krajnje unutar vremena ustaljenja. Maksimalna brzina vozila iznosi oko 0.5m/s, što prikazuje kako vozilu treba 2s da prevali 1m.

Sa slike 1. se vidi da se vozila u simulaciji bez izbjegavanja kolizija nakon promjene referentnog izgleda formacije gibaju pravocrtno, što odgovara normaliziranom vremenu ustaljenja od 2s gibajući se maksimalnom brzinom od 0.5m/s. Uvođenjem algoritma za izbjegavanje kolizija uvodimo silu koja djeluje suprotno smjeru gibanja vozila koje usporava izvršenje promjene izgleda formacije. Iz tablice vidimo da je za simulacijski eksperiment sa slike 2. normalizirano vrijeme ustaljenja 4.4s/m čije povećanje u odnosu na eksperiment bez izbjegavanja kolizija odgovara postavljenoj pretpostavci. U eksperimentima na stvarnim vozilima s tri vozila normalizirano vrijeme ustaljenja je veće od onoga u eksperimentu u simulaciji bez izbjegavanja kolizija, ali manje od onoga u eksperimentu u simulaciji s izbjegavanjem kolizija. To je zbog toga što je za eksperimente sa stvarnim vozilima korišten poboljšani algoritam

koji dodatno generira virtualnu silu u lijevu stranu kako bi se vozila brže zaobišla. U eksperimentima s četiri vozila se vidi značajan šum u pozicijama vozila, što znatno povećava vrijeme ustaljenja. Vidljivo sa slika 5. i 6., povećanjem radijusa tolerancije normalizirano vrijeme bilo bi bliže ostalim eksperimentima.

Srednje kvadratna pogreška odstupanja udaljenosti među vozilima od referentne vrijednosti za provedene eksperimente prikazane su u tablici 1. Vrijednosti srednje kvadratne pogreške za simulacijske i stvarne eksperimente s tri vozila su slične po iznosu. Vrijednost pogreške je znatno veća za stvarne eksperimente s četiri vozila. Povećanje se može pripisati znatnoj zašumljenosti u pozicijama vozila. Unatoč tome, može se reći da je formacija uspješno promijenjena. Stoga zaključujemo da su vrijednosti srednje kvadratne pogreške unutar granica tolerancije.

Tablica 1. Validacijski rezultati algoritma za upravljanje formacijom

	3 vozila				4 vozila	
	Bez izbjegavanja kolizija	S algoritmom za izbjegavanje kolizija				
		Simulacija		Stvarni eksperiment		
Vrijeme ustaljenja (s)	8.5	19.2	12.2	23.8	23.2	25.0
Normalizirano vrijeme ustaljenja (s/m)	2.0	4.4	3.1	2.8	7.8	6.1
Srednja kvadratna pogreška	0.0161	0.0110	0.0165	0.0178	0.152	0.206

Zaključak

U ovom izvještaju prikazani su rezultati validacije scenarija 1 koji demonstrira funkcionalnosti upravljanja izgledom flote vozila bez međusobnih kolizija. Zahtjevi definirani u izvješću D3.1 „Zahtjevi, scenariji i validacijska metrika za flotu USV-ova u nadzoru mora“ su dodatno prilagođeni najkvalitetnijem prikazu informacija. Zahtjevi na algoritam za distribuirano upravljanje izgledom formacije koji uključuju uspješno sastavljanje, održavanje i promjenu formacije su uspješno validirani. Tijekom provođenja eksperimenata nije došlo do kolizije među vozilima čime je pokazan uspješan rad algoritma za izbjegavanje kolizija.