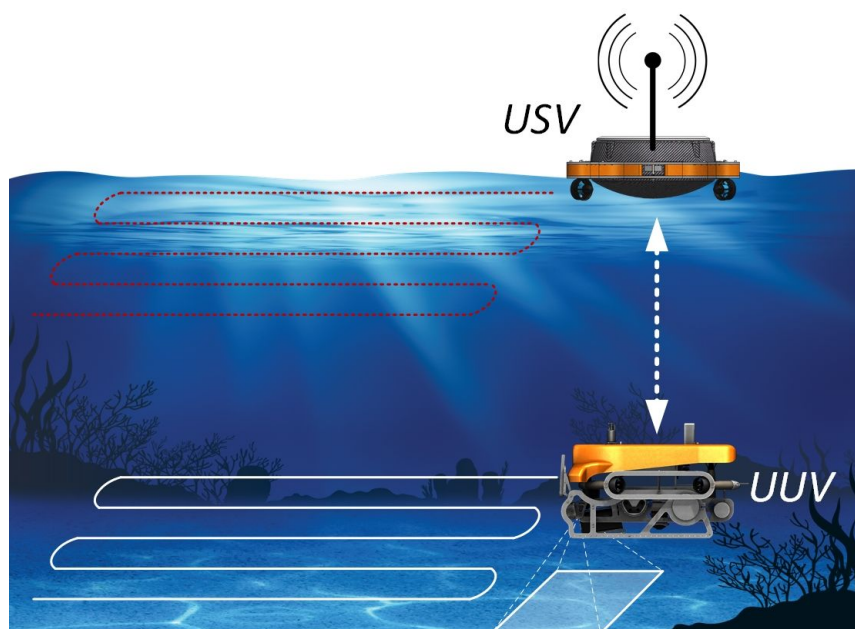




D4.1 Zahtjevi, scenariji i validacijska metrika za kooperaciju USV-UUV



Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva
Laboratorij za podvodne sustave i tehnologije

31. srpnja 2017.



Sadržaj

Uvod	2
Scenariji i validacija	3
Laboratorij	3
Testiranje akustičkog uređaja i protokola	3
Stabilnost vremenske sinkronizacije	4
Teren	5
Evaluacija trenutnog stanja navigacije i prikupljane podataka	5
Mapiranje morskog dna uz kooperativnu navigaciju	7
Zahtjevi	7
Senzori	7
Vozila	8

Uvod

Dokument analizira problematiku vezanu s **Ciljem 2** i definira osnovne scenarije, zahtjeve i metodologiju validacije algoritama. Problematika uključuje razvoj algoritama za kooperativno upravljanje bespilotnim površinskim plovilom (USV) te bespilotnom ronilicom (UUV).

Obzirom da globalna satelitska navigacija ne funkcionira pod vodom koriste se alternativne solucije. Klasični pristup koristi akustičku izmjenu podataka kao alternativu za podvodnu komunikaciju i podvodnu lokalizaciju. Nedostatak akustičke izmjene podataka je propusnost koja je kreće od 40 bps do nekoliko desetaka kbps. Zbog ograničene propusnosti, ni kod najboljih komercijalnih sustava nije moguć prijenos većih količina podataka kao npr. video snimke. Kod jeftinih i kompaktnih solucija prevladavaju brzine 40-100bps što zahtijeva posebnu pažnju kod dizajniranja komunikacijskih protokola kako bi se optimirala količina podataka i uneseno kašnjenje tokom prijenosa podataka. Kao primjer, geografska dužina i širina spremaju se unutar 128 bit-a na računalu. Uz brzinu prijenosa od 100bps minimalno kašnjenje podataka zbog akustičkog prijenosa bi bilo 1.28s. U slučajevima simultane lokalizacije i prijenosa podataka to kašnjenje raste na 2.5s. Zbog toga, konvencionalno spremanje i prijenos podataka nije primjenjiv u slučajevima akustičke komunikacije. To definira **prvi podcilj** kao: **protokol akustičke komunikacije** u svrhu efikasne izmjene podataka.

Uz postojeći prijenos podataka moguće je testirati distribuirane navigacijske i lokalizacijske algoritme. Kroz prethodno desetljeće, u postojećoj literaturi, predloženi su razni pristupi kooperativnoj navigaciji. Mnoga podvodna vozila oslanjaju se na široki spektar proprioceptivnih senzora koja im omogućuju simultano lokaliziranje i mapiranje područja u određenim kategorijama podvodnih okruženja. Veliki broj podvodnih senzora znatno poskupljuje vozilo, a time se otežava mogućnost skaliranja na više vozila. Zbog toga se dio literature fokusira na *udaljene* senzore koji nisu vezani za pojedinačno podvodno vozilo i čiji podatci su na raspolaganju svim vozilima. Ovim pristupom smanjuje se cijena i veličina podvodnih vozila obzirom da mogu biti opremljeni manjim brojem senzora bez gubitka preciznosti u navigaciji. Fuzijom proprioceptivnih i *udaljenih* mjerenja očekivano je poboljšanje ukupne navigacije podvodnog vozila čime se definira **drugi podcilj** kao: **distribuirani navigacijski i lokalizacijski algoritmi** korištenjem **fuzije proprioceptivnih i udaljenih senzora**.

Algoritmi za fuziju mjerenja mogu se provoditi naknadno, u fazi postprocesiranja mjerenja, i trenutno, tokom akvizicije mjerenja. U slučaju postprocesiranja, a-priori

su poznata sva mjerenja i njihovo točno vrijeme te je moguće direktno provesti fuziju senzora. Kod fuzije senzorskih podataka u realnom vremenu u podvodnim sustavima pojavljuje se problematika akustičke izmjene podataka. Akustička izmjena podataka unosi kašnjenje, a u slučaju vanjskih smetnji mjerenja mogu biti isprekidana uslijed korupcija podataka šumom. **Cilj 2** uključuje razmatranje obje vrste fuzije te se zbog toga definira **treći podcilj** kao: **distribuirani** navigacijski **algoritmi** uz **isprekidana** i **zakašnjela** akustička **mjerenja**.

Scenariji i validacija

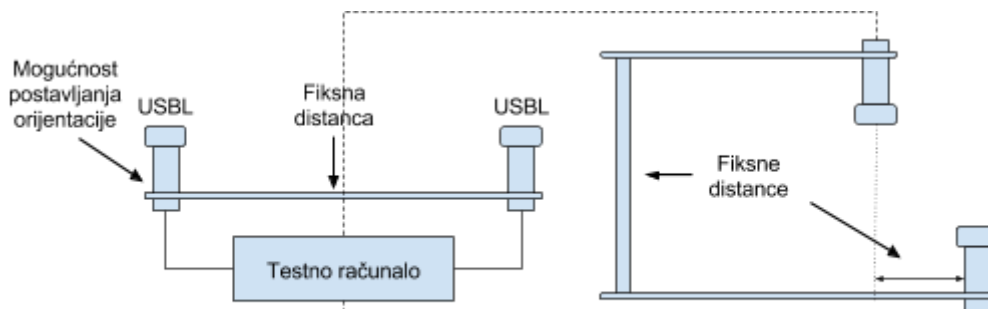
U svrhu testiranja i validacije osmišljeni su scenariji za pojedinačne podciljeve. Scenariji se dijele na laboratorijske i terenske ovisno o potrebama za izvršavanje eksperimenta.

Laboratorij

Laboratorijski scenariji imaju male zahtjeve i mjerenja su izvediva u raspoloživom nadgrađenom bazenu ili na kopnu.

Testiranje akustičkog uređaja i protokola

Osnovna funkcionalnost **protokola akustičke komunikacije** moguće je razviti i validirati uz software-in-the-loop (SIL) simulacije. Obzirom da je komercijalni uređaj za akustičku komunikaciju crna kutija, simulacije nisu u mogućnosti potpuno emulirati akustički podsustav. Zbog toga, mjerenja izvršena u SIL simulaciji su okvirna te je za realna mjerenja potrebno koristiti hardware-in-the-loop (HIL) simulaciju koja uključuje uređaj za akustičku komunikaciju. Scenarij je prikazan na *Slici 1*.



Slika 1. Postav za testiranje akustičke komunikacije. Lijevo je prikazan postav u slučaju horizontalne operacije, a desno u slučaju vertikalne operacije.

U scenariju akustički uređaji za lokalizaciju i simulaciju, Ultrashort baseline (USBL), su postavljeni na fiksnu udaljenost, azimut i elevaciju. Elevacijska razlika uređaja

može se dobiti horizontalnim pomicanjem u slučaju vertikalne operacije. Oba su spojena na isto testno računalo kako bi se izbjegli problemi s vremenskom sinkronizacijom mjerenja. Pomoću postava izvodi se nekoliko desetaka mjerenja kako bi se dobio relevantan uzorak. Provode se eksperimenti navedeni u Tablici 1.

<i>Tablica 1. Popis eksperimenata za testiranje akustičkog uređaja i protokola</i>		
Naziv	Mjerenja	Rezultat
Lokalizacija	<ul style="list-style-type: none"> ● udaljenost ● azimut ● elevacije 	<ul style="list-style-type: none"> ● razdioba mjerenja ● dodatna kašnjenja uslijed obrade ● razdioba kašnjenja
Komunikacija	<ul style="list-style-type: none"> ● udaljenost ● azimut ● elevacija ● kvaliteta podataka 	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>rezultati eksperimenta Lokalizacije</i> ● utjecaj podataka na lokalizaciju ● dodatna kašnjenja uslijed podataka ● razdioba kašnjenja ● map očekivanog kašnjenja za različite duljine podataka

Tablica definirana dva različita seta eksperimenata, jedan samo za lokalizaciju, a drugi za istovremenu lokalizaciju i komunikaciju. Usporedbom tih dviju eksperimenata može se dobiti potpuna slika o potencijalnom utjecaju duljine komunikacijske poruke na kvalitetu navigacije.

Dodatni rezultat eksperimenata je kvantizacija očekivanih kašnjenja i njihovih razdioba unesenih zbog korištenih softwareskih paketa i različitih duljina poruka u komunikaciji. Ovi rezultati će se direktno koristiti za **treći podcilj** gdje je potrebno izvršiti kompenzaciju zakašnjelih mjerenja u navigacijskom filteru. Mjerenja kašnjenja zahtijevaju poznavanje brzine zvuka u vodi kako bi se fiksna udaljenost mogla kompenzirati.

Validacijska metrika za ovaj laboratorijski scenarij je usporedba kvalitete mjerenja uređaja s očekivanim mjerama na temelju fiksne montaže. U slučaju komunikacijskog protokola validacija metrika je mjera uspješnosti ispravnog prijenos podataka i detekcija neispravnih poruka u slučaju akustičkog šuma.

Stabilnost vremenske sinkronizacije

Ovaj scenarij fokusira se na pripremu i validaciju sustava vremenske sinkronizacije među vozilima. Vremenska sinkronizacija među vozilima je potrebna kako bi se prikupljeni podatci mogli spremiti s ispravno vremenski kodirati. Indirektno,

distribuirani podaci koji su vremenski sinkronizirani mogu se koristiti za implementaciju **drugog podcilja**.

<i>Tablica 2. Popis eksperimenata za vremensku sinkronizaciju</i>		
Naziv	Mjerenja	Rezultat
GNSS+PPS	clock jitter	<ul style="list-style-type: none"> ● hardware upute za integraciju GNSS+PPS signala ● software upute za integraciju GNSS+PPS signala za stabilizaciju sata ● očekivana preciznost sinkronizacijske površinskih podataka
RTC+PPS	clock jitter	<ul style="list-style-type: none"> ● hardware upute za integraciju RTC+PPS signala ● software upute za integraciju RTC+PPS signala za stabilizaciju sata ● očekivani drift sata bez GNSS signal

Prvi eksperiment (GNSS+PPS) za vremensku sinkronizaciju koristi GNSS+PPS signal uz postojeću open-source softwaresku pogrešku za vremensku sinkronizaciju. Ova metoda je pogodna za vozila na površini koja imaju dostupan GNSS signal većinu vremena. Drugi eksperiment je namjenjen za podvodna vozila koja tokom misije nemaju dostupnost GNSS-u te moraju održavati vrijeme korištenjem samo oscilatora (npr. MI DS3231 RTC). Zbog nedostatka apsolutne sinkronizacije dolazi do razilaženja vremena na podvodnom vozilu od apsolutno sinkroniziranog vremena površinskih vozila. Zbog toga eksperiment će pokušati odrediti brzinu razilaženja satova kako bi se utvrdilo ograničenje na maksimalno trajanje podvodne misije.

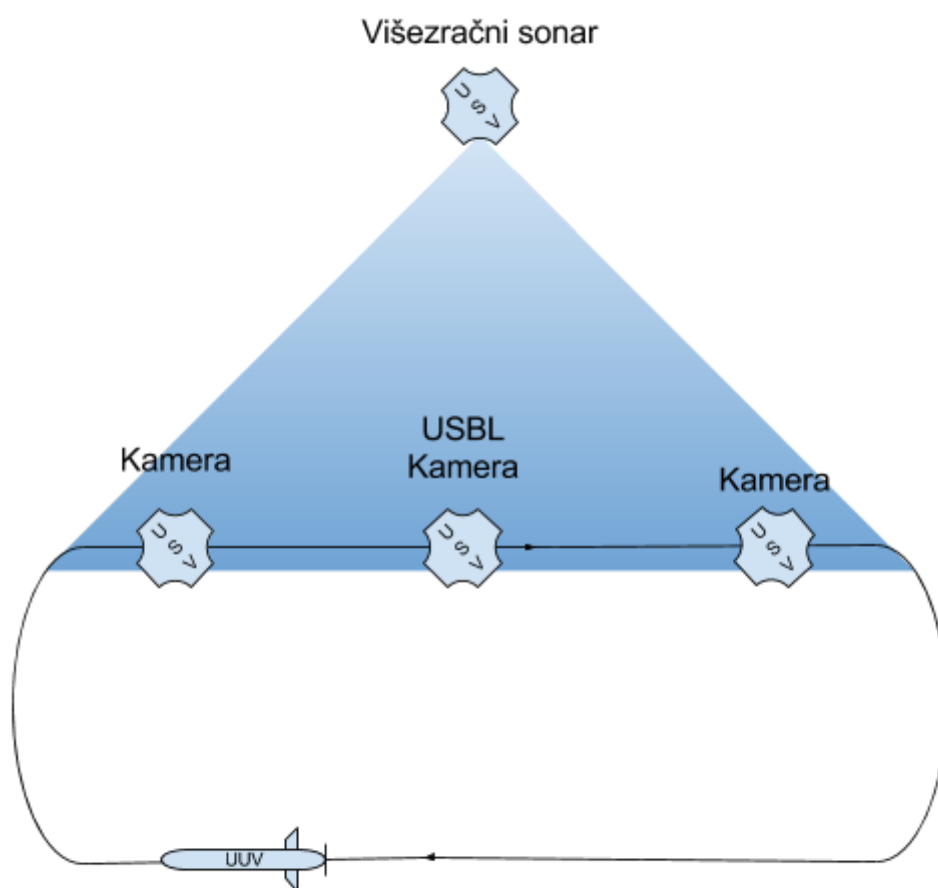
Teren

Terenski scenariji zahtijevaju mobilizaciju vozila i veće radno područje na moru. Ovi eksperimenti će se izvoditi u sklopu radnog paketa **WP6**.

Evaluacija trenutnog stanja navigacije i prikupljane podataka

Vozila na raspolaganju za terenska testiranja posjeduju osnovne navigacijske i lokalizacijske sposobnosti. Kako bi se utvrdila preciznost postojeće navigacije potrebno je prikupiti podatke na terenu i usporediti estimiranu lokaciju s istinitom lokacijom. Određivanje istinite lokacije je teško, ali je moguće uključiti senzore poput kamera, sonara i USBL-a kako bi se dobila alternativna mjerenja za usporedbu preciznosti navigacije. Obzirom da unutar projekta sudjeluje više površinskih vozila osmišljen je scenarij prikazan na slici 2.

Scenarij podrazumijeva korištenje više površinskih vozila opremljenih različitim sensorima. Vozila operiraju u formaciji, a širokokutne kamere postavljene iznad planiranog transekta snimaju prolaz vozila. Pozicije površinskih platformi poznate su s centimetarskom preciznošću. Također, dubina i veličina podvodnog vozila poznata s dobrom preciznošću. Na temelju pozicije, dubine i/ili veličine podvodnog vozila moguće je precizno odrediti poziciju podvodnog vozila temeljem mjerenja iz kamere. Takva pozicija biti će korištena kao istinska pozicija vozila. Ukoliko je odstupanje vozila od željene putanje veće formacije se može pomicati u smjeru odstupanja kako bi se podvodno vozilo zadržalo u slici.



Slika 2. Prikaz scenarija za evaluaciju kvalitete navigacijskih algoritama

Dodatni senzori su višezračni sonar i USBL akustički sustav lokalizacije koji se također namjeravaju koristiti kao *udaljena* mjerenja za navigacijske algoritme. Tokom prvog izvršenja scenarija ta mjerenja neće biti uključena u korekciju, ali će se mjerenja spremirati kako bi se stvorio set podataka sa svim mjerenjima za buduće testiranje i razvoj algoritama u **drugom i trećem podcilju**.

Nadalje, nakon što svi algoritmi budu implementirani eksperiment se može ponoviti kako bi se utvrdila preciznost poboljšanje navigacije i usporedila s prvobitnom navigacijom prije razvoja novih navigacijskih algoritama. Pregled eksperimenata je prikazan u tablici 3.

<i>Tablica 3. Popis eksperimenata za evaluaciju navigacijskih algoritama</i>		
Naziv	Mjerenja	Rezultat
Osnovna navigacija	UUV pozicija	<ul style="list-style-type: none"> • odstupanje osnovne navigacije od istinite pozicije • set USBL i sonar podataka
Potpomognuta navigacija	UUV pozicija	<ul style="list-style-type: none"> • odstupanje potpomognute navigacije od istinite pozicije • faktor poboljšanja navigacije u odnosu na prvi eksperiment

Metrika za evaluaciju kvalitete osnovne navigacije i poboljšanja korištenjem potpomognute navigacije iz *udaljenih* senzora je apsolutno odstupanje od istinskih mjerenja.

Mapiranje morskog dna uz kooperativnu navigaciju

Nakon integracije algoritama konačni scenarij je snimanje morskog dna korištenjem potpomognute navigacije. Za scenarij će biti odabrana podvodna lokacija s dobrom vidljivošću, a korištenjem kamere na podvodnom vozilu skupit će se georeferencirane snimke lokacije. Za snimanje će se koristiti klasične putanje kao putanja košenja (lawn-mower) i putanja šrafiranja (crosshatch). Korištenjem tih putanja isti podvodni markeri biti će pokriveni kroz više slika. Stabilnost pozicije statičkog marker biti će korištena kao metrika za validaciju i kvalitetu kooperativne navigacije kod snimanja morskog dna.

Zahtjevi

Prethodno opisani scenariji imaju niz materijalnih i razvojnih zahtjeva. U ovom poglavlju popisani su glavne materijalne potrebe i razvojni zadaci potrebni kao preduvjet korištenju u eksperimentima.

Senzori

Od strane senzora potrebni su CTD, GNSS, RTC, USBL, kamere, višezračni sonar. U tablici 4 prikazan je popis i model senzora s potrebnim razvojem.

<i>Tablica 4. Popis senzora potrebnih za izvođenje eksperimenata</i>	
Model	Potrební razvoj
Seatrac X150	<ul style="list-style-type: none"> • izgradnja eksperimentalnog postava • protokol za istovremenu komunikaciju i lokalizaciju • hardware integracija na površinsko i podvodno vozilo • software integracija u ROS-u
BlueView P900	<ul style="list-style-type: none"> • hardware integracija na površinsko vozilo • software integracija u ROS-u • polu-automatska detekcija podvodnog vozila u slici
Podvodne kamere	<ul style="list-style-type: none"> • hardware integracija na površinska vozila • hardware integracija na podvodno vozilo • software integracija kamera za akviziciju podataka • polu-automatska detekcija podvodnog vozila u slici
GNSS	<ul style="list-style-type: none"> • hardware integracija bazne GNSS stanice • software integracija za sinkronizaciju sata i pozicije
RTC	<ul style="list-style-type: none"> • odabir low-cost/high-accuracy RTC uređaja • hardware integracija na podvodno i površinsko vozilo • software integracija vremenske sinkronizacije
CTD	<ul style="list-style-type: none"> • osnovna software integracija za očitavanje brzine zvuka u vodi
DVL	<ul style="list-style-type: none"> • hardware integracija brzinomjera na podvodno vozilo • software integracija brzinomjera za akviziciju

Vozila

Zahtjev na vozila je u skladu s potrebnim vozilima unutar cijelokupnog projekta. Potrebno je 4 površinske platforme i dva podvodna vozila, a detalji su prikazani u tablici 5.

<i>Tablica 5. Popis vozila za izvođenje eksperimenata</i>	
Vozilo	Opis
USV1	<ul style="list-style-type: none"> ● akustično vozilo ● senzori: USBL, kamera, GNSS, RTC ● zahtjevi: <ul style="list-style-type: none"> ○ precizno dinamičko pozicioniranje ○ vremenska sinkronizacija
USV2	<ul style="list-style-type: none"> ● monitoring vozilo ● senzori: kamera, GNSS, RTC ● zahtjevi: <ul style="list-style-type: none"> ○ precizno dinamičko pozicioniranje ○ vremenska sinkronizacija
USV3	<ul style="list-style-type: none"> ● monitoring vozilo ● senzori: USBL, kamera, GNSS, RTC ● zahtjevi: <ul style="list-style-type: none"> ○ precizno dinamičko pozicioniranje ○ vremenska sinkronizacija
USV4	<ul style="list-style-type: none"> ● sonar vozilo ● senzori: sonar, GNSS, RTC ● zahtjevi: <ul style="list-style-type: none"> ○ precizno dinamičko pozicioniranje ○ vremenska sinkronizacija
UUV1	<ul style="list-style-type: none"> ● razvojno vozilo ● senzori: USBL, kamera, GNSS, RTC, DVL ● zahtjevi: <ul style="list-style-type: none"> ○ dinamičko pozicioniranje pod vodom ○ vremenska sinkronizacija pod vodom
UUV2	<ul style="list-style-type: none"> ● validacijsko vozilo za mapiranje ● senzori: USBL, kamera, GNSS, RTC, DVL ● zahtjevi: <ul style="list-style-type: none"> ○ vremenska sinkronizacija pod vodom

Preporuka je da se koriste dva podvodna vozila za ubrzani razvoj i lakšu integraciju. Prvo podvodno vozilo (UUV₁) trebalo bi imati mogućnost dinamičkog pozicioniranja podvodom i usporenog gibanja kako bi se mogli provoditi statički eksperimenti i analizirati dinamički eksperimenti bez potrebe za velikim radnim područjem. Drugo podvodno vozilo (UUV₂) bilo bi uobičajeno torpedno podvodno vozilo koje nema mogućnosti podvodnog dinamičkog pozicioniranja ili kretanje malim brzinama. Na taj način se konačni validacijski eksperiment mapiranja može provesti s uobičajenim modelom vozila za tu primjenu.