



## D4.2 Akustički komunikacijski protokol za USV-UUV kooperaciju

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

31. Ožujak 2018.



# Sadržaj

<b>UVOD</b>	<b>2</b>
<b>AKUSTIČKI KOMUNIKACIJSKI PROTOKOL</b>	<b>3</b>
<b>PRENOŠENI PODATCI I KVANTIZACIJA</b>	<b>5</b>
<b>SHEMA AKUSTIČKOG PROZIVANJA PODVODNOG AGENTA</b>	<b>6</b>
<b>ZAKLJUČAK</b>	<b>9</b>

## Uvod

Dokument definira protokol akustičke komunikacije između površinskog i podvodnog vozila. Kako je navedeno u D4.1, protokol akustičke komunikacije možemo smatrati kao prvi podcilj **Cilja 2**.

Propusnost akustičke komunikacije kreće se od 40 bps do nekoliko desetaka kbps. Jeftiniji akustički sustavi korišteni u CroMarX projektu imaju propusnost 100bps u slučaju čiste komunikacije. Uz akustičku komunikaciju moguće je provoditi paralelno i lokalizaciju vozila. U slučaju lokalizacije propusnost je smanjena jer je minimalno vrijeme trajanja lokalizacije 1.3s. Ukoliko se na to dodaje trajanje komunikacije, vremena izmjene podataka mogu se popesti do 5s. Zbog ograničene propusnosti, prijenos većih količina podataka, npr. video snimke, nije moguć u smislenom vremenu. Prijenos manje količine brojčanih podataka također zahtjeva posebnu pažnju kod dizajniranja komunikacijskog protokola kako bi se optimirala količina podataka i kašnjenje tokom prijenosa. 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. Optimiranjem prijenosa samo diferencijalne razlike podatci se mogu komprimirati u 20-24 bita čime se akustički prijenos smanjuje na 0.24s.

U D4.1 opisan je postupak za laboratorijsko testiranje, validaciju, te određivanje unesenog vremena kašnjenja za određeni protokol akustičke komunikacije. Zbog toga će u ovom dokumentu biti fokus na opis korištenih akustičkih uređaja te više razina razvijenih komunikacijskih protokola.

## Akustički komunikacijski protokol

Korišteni akustički sustav, prikazan na slici 1, je Seatrac X150 i X110 model. Za komunikaciju i mjerenje udaljenost koristi se X110 modem. Ovom uređaju fokus je komunikacija pa ne posjeduje lokalizacijske opcije. Seatrac X150 opremljen je dodatnim hidrofonomima za određivanje kuteva azimuta i elevacije u svrhu lokalizacije drugih akustičkih uređaja kao što su X110 ili drugi X150 modem.



Slika 1 X110 modem, b) X150 Ultrashort baseline (USBL) uređaj, c) dimenzije X150 modema

Uređaji koriste spread-spectrum ortogonalnu linearnu frekvencijsku modulaciju (OLFM) kako bi se postigla pouzdana komunikacija pri brzinama od 100bps. Uređaji koriste efikasni protokol za pristup mediju kako bi unosili što manje kašnjenja u simultano lokaliziranje i komunikaciju. Akustičke poruke počinju sa sinkronizacijskim pulsom (50ms frekvencijska rampa). Potom slijedi zaglavlje poruke koje sadrži podatke o pošiljatelju, primatelju i parametrima protokola. Nakon zaglavlja, 16 bita je iskorišteno za CRC16 kontrolni zbroj kako bi se osigurao integritet podataka već na najnižoj razini. Struktura akustičke poruke prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1 Struktura akustičkog paketa. Unešeno kašnjenje je 10 ms po bitu.

<b>SYNC Chirp</b>	<b>Message Header</b> (15 bits)	<b>Payload Header</b> (optional - 5 bits)	<b>Payload Data</b> (up to 31 bytes)	<b>Message Checksum</b> (16 bits)	<b>USBL Chirp</b> (optional)
-------------------	------------------------------------	--	---	--------------------------------------	---------------------------------

Tablica 2 Izgled zaglavlja akustičke poruke.

Bits 14:11	10:7	6:4	3:0
<b>DEST_ID</b> (4 bits)	<b>SRC_ID</b> (4 bits)	<b>MSG_TYPE</b> (3 bits)	<b>PAYLOAD_ID</b> (4 bits)

Podatci se svi šalju od najvažnijeg bita i byte-a (Big endian). Kod lokalizacije akustičku poruku prati i USBL rampa za poboljšanje lokalizacije u trajanju 50ms.

Zaglavlje, prikazano u Tablici 2, sadrži sljedeća polja:

- **DEST\_ID** – numerički kod uređaja za kojeg je poruka namijenjena. Specijalni slučaj je vrijednost 0x0 koja podrazumijeva objavu paketa svim jedinicama.
- **SRC\_ID** – numerički kod uređaja koji je poslao poruku. Specijalni slučaj je 0xF koji je rezerviran za anonimne uređaje ili one kojim kod nije dodijeljen.
- **MSG\_TYPE** – polje određuje tip poruke i koja akcija je očekivana od primatelja. Tipovi poruka su:
  - **OWAY** – indicira jednosmjernu poruku koja ne zahtijeva odgovor
  - **OWAYU** – jednosmjerna poruka koja ne zahtijeva odgovor, ali ima priložen USBL paket za lokalizaciju.
  - **REQ** – poruka koja zahtijeva odgovor
  - **REQU** – poruka koja zahtijeva odgovor i USBL paket kako bi se mogla izvršiti lokalizacija
  - **RESP** – odgovor na poruku zahtijevanu s REQ tipom
  - **RESPU** - odgovor na poruku zahtijevanu s REQU tipom.
- **PAYLOAD\_ID** – identifikacija vrste komunikacijskih podataka koji slijede nakon akustičkog zahtjeva. U slučajevima kad je PAYLOAD\_ID različit od 0x0 (čista lokalizacija) dodatno se dodaje 5 bitova koji specificiraju duljinu komunikacijskih podataka (u ovom slučaju moguće je prenijeti do 31bit podataka).

Komunikacijski podatci se dekodiraju na višoj razini protokola koja je specificirana u sljedećem poglavlju. Komunikacijski podatci, kad postoje, također sudjeluju u kontrolnoj sumi te zbog toga nije potrebno uključivati dodatnu kontrolnu sumu na višoj razini.

## Prenošeni podatci i kvantizacija

Prethodno je napomenuto da je zbog male propusnosti potrebno komprimirati podatke ili primjeniti slični postupak za smanjivanje količine podataka. Kao prvi korak izabrana je kvantizacija podataka. Kako bi mogli odrediti razinu kvantizacije potrebno je definirati sve podatke koji će se izmjenjivati akustičkim protokolom. Podatci se u grubo mogu podijeliti na navigacijske i ostale podatke.

Navigacijski podatci koji će se prenositi su: pozicija u horizontalnoj ravnini, dubina, zaošijanje/kurs, brzina, udaljenost, apsolutni azimut te inicijalna pozicija u horizontalnoj ravnini. Od ostalih podataka mogu se prenositi status baterije, misije, sigurnosni indikatori o detekcije propuštanja vode itd.. Kvantizacija za pojedini podatak prikazana je u Tablici 3.

Tablica 3 Kvantizacija pojedinih vrijednosti koje se mogu prenositi akustičkom komunikacijom.

Podatak	Tip	Min	Max	Bit	Kvant	Opis
Pozicija	double	-51.2m	51.1m	10	0.1m	Jedna koordinata.
Dubina	double	0	25.5	7	0.2m	Uobičajena dubina za testiranja.
Zaošijanje, Kurs, Azimut	double	-180°	180°	9	0.7°	Za vozilo ili sonar mjerenje.
Brzina	double	0	2	5	0.0625 m/s	Brzina vozila povezana s kursem.
Udaljenost	double	0	51.1	9	0.1m	Maksimalna očekivana udaljenost sonara.
Inicijalna pozicija	uint8_t	-180°	180°	22	1"	Jedna koordinata.
Status misije	uint8_t	0	7	3	1	Broj trenutne misije.
Propuštanje vode	bool	0	1	1	1	Detekcija vode u podvodnom vozilu.
Status baterije	uint8_t	0	100%	3	12.5%	Napunjenost baterije.

Kvantizacija pozicije pretpostavlja da će oba vozila operirati unutar kvadrata od 100x100m što je slučaj u normalnoj operaciji gdje površinsko vozilo nastoji biti što bliže podvodnom vozilu čiju navigaciju podpomaže. Kvadrat se inicijalizira slanjem

geografske pozicije ishodišta kvadrata. Inicijalizacija se izvodi periodički tokom misije kako bi se osiguralo da su vozila uvijek unutar kvadrata.

Ovisno o postupku akustičkog prozivanja moguće je slati i kombinacije podataka kako bi se smanjila ukupna količina po jednom prozivanju. Obzirom da postoji više kombinacija potrebno je iskoristiti nekoliko bitova koji će definirati koja vrsta podataka se nalazi u paketu.

## Shema akustičkog prozivanja podvodnog agenta

Obzirom na definirane scenarije moguće je koristiti akustičku komunikaciju i lokalizaciju u više oblika: a) klasični USBL pristup, b) invertirani USBL, c) modemska objava.

Klasični USBL pristup pretpostavlja da je površinsko vozilo (USV) opremljeno X150 senzorom te da se jedno ili više podvodnih vozila prozivaju sekvencijalno. Informacija o lokaciji podvodnih vozila dostupna je na površinskom vozilu. Ovaj pristup je koristan u slučajevima kad je operatoru na površini potrebno poznavanje aktualne pozicije. U slučaju potpomognute lokalizacije izmjeren položaj podvodnog vozila prenosi se u sljedećem prozivanju. Zbog toga je mjerenje zakašnjelo obzirom da je potrebno dva ciklusa kako bi mjerenje došlo na podvodno vozilo.

Pristup s invertiranim USBL-om mnogo je pogodniji za lokalizaciju. U ovom slučaju podvodno vozilo je opremljeno X150 senzorom, a površinsko vozilo može biti opremljeno i X110 modemom. Podvodno vozilo predvodi akustičko prozivanje i pomoću USBL-a dobiva relativnu lokaciju površinskog vozila. Površinsko vozilo preko akustičke poruke šalje svoju apsolutnu poziciju čime je moguće izračunati apsolutnu poziciju podvodnog vozila uz znatno manje transportno kašnjenje nego li u slučaju klasičnog USBL-a. Nedostatak ovog pristupa je što je, u slučaju više podvodnih vozila, potrebno izvršiti sinkronizaciju prozivanja kako bi se izbjegla interferencija u slučaju istovremenog prozivanja površinskog vozila od više podvodnih vozila.

U slučaju korištenja sonara, treća opcija za lokalizaciju vozila je jednosmjerna modemska objava gdje se šalje lokacija površinskog vozila te izmjerena udaljenost i azimut u sonarskoj slici. Na taj način moguće je na podvodnom vozilu izračunati poziciju bez dvosmjerne komunikacije.

Scenariji predloženi u D4.1 podržavaju sve tri opcije, ali će fokus biti na potpomaganje navigacije invertiranim USBL-om. Također, pristup b) i c) mogu se kombinirati u slučaju da površinsko vozilo ima sonar i USBL. Prozivanje s invertiranim USBL-om prikazano je na slici 2, a paketi su definirani u tablici 4 i 5.

Tablica 4 Navigacijski i informativni podatci koje šalje podvodno vozilo (max 54 bit-a)

Podatak	Tip	Min	Max	Bit	Kvant	Opis
inited	bool	0	1	1	1	Zastavica pokazuje da je postavljena inicijalna pozicija.
origin_lat	double	-90	90	22	1"	Šalje se samo kad je inited zastavica 0.
origin_lon	double	-180	180	22	1"	Šalje se samo kad je inited zastavica 0.
north	double	-51.2	51.1	10	0.1m	Pomak od ishodišta.
east	double	-51.2	51.1	10	0.1m	Pomak od ishodišta.
depth	double	0	25.5	7	0.2m	Dubina vozila.
altitude	double	0	7.75	5	0.25m	Visina od dna.
course	double	-180	180	9	0.7°	Kurs vozila.
speed	double	0	2	5	0.0625m/s	Brzina vozila.
battery	uint8_t	0	100%	3	12.5%	Raspoloživa energija.
mission	uint8_t	0	7	3	1	Trenutna misija koja se izvodi.
leak	bool	0	1	1	1	Detekcija puštanja vode.

Obzirom da predvodi prozivanje, podvodno vozilo određuje kad je potrebno ponovo inicijalizirati ishodište kvadrata. U slučaju inicijalizacije ne šalju se podatci o poziciji obzirom da ona potencijalno neće biti ispravno interpretirana na površinskom vozilu. Podatci o poziciju, brzini i kursu potrebni su kad želimo u realnom vremenu pratiti podvodno vozilo, a ukoliko to nije potrebno, moguće je ove podatke slati iz sigurnosnih razloga svakih N prozivanja kako bi operater dobio uvid u napredovanje misije. Nadalje, dodan je i podatak visine iznad dna kako bi se vidjelo da vozilo slijedi zadanu visinu i ne postoji rizik od sudaranja s dnom. U tablici 5, prikazani su podatci koje šalje površinsko vozilo. Uz svoju poziciju vozilo šalje i misiju koju želimo da izvrši podvodno vozilo. Također, kad je na raspolaganju mjerenje sonara, taj podatak se šalje za dodatno poboljšanje navigacije podvodnog vozila. Ova mjerenja se kontinuirano šalju



u modem kako bi modem u slučaju prozivanja mogao poslati instantno najsvježije podatke. Dakle, poruka se ne šalje zasebno nego kao dio istovremene lokalizacije i komunikacije kako bi se smanjilo kašnjenje.

Tablica 5 Navigacijski podatci i komandiranje misije koje se šalje s površinskog vozila (max 42 bit)

Podatak	Tip	Min	Max	Bit	Kvant	Opis
north	double	-51.2	51.1	10	0.1m	Pomak od ishodišta.
east	double	-51.2	51.1	10	0.1m	Pomak od ishodišta.
has_range	bool	0	1	1	1	Indikator da se šalju podatci o udaljenosti i azimutu.
range	double	0	51.1	9	0.1m	Udaljenost u sonaru.
azimuth	double	-180°	180°	9	0.7°	Apsolutni azimut u sonarskoj slici.
mission	uint8_t	0	7	3	1	Komanda misije koje bi podvodno vozilo trebalo izvršavati.

Ukupna duljina dviju poruka, temeljem prethodnih tablica, iznosi maksimalno 96 bita odnosno 12 bytea. Obzirom da svaki byte uzima 80 ms možemo zaključiti da izmjena podataka unosi 0.96s u prozivanje. Uz bazno vrijeme prozivanja s lokalizacijom do 1.3s to čini 2.26s za kompletni ciklus između jednog površinskog i jednog podvodnog vozila.

U slučaju da se koristi pristup c) moguće je odašiljati samo poruku površinskog vozila te će u tom slučaju biti poslano maksimalno 42 bit-a što će vremenski iznositi 0.48s. Dakle, moguće je pružati potpomaganje navigaciji s čak 2Hz, s nedostatkom da ne postoji dvosmjerna komunikacija s podvodnim vozilom što može predstavljati problem u slučaju kad se izgubi vozilo iz sonara pa njegova pozicija više nije poznata. Također, nemoguće je utvrditi je li vozilo zaista primilo jednosmjerne poruke, pa zbog tih nedostataka treba istražiti hibridno rješenje.

## Zaključak

Dokument je prikazao pregled komunikacijskog protokola između površinskog vozila (USV) i podvodnog vozila (UUV). Fokus je zadržan na jedno podvodno vozilo koje vodi akustičko prozivanje površinskog vozila. Također, moguće je uključiti više površinskih vozila (npr. jedno sa sonarom i modemom, a drugo samo s modemom) bez da se mijenja akustička komunikacija. Poznatim vremenima prijenosa utvrđeno je da će podatci za potpomaganje navigacije dolaziti najviše svakih 2.26 s, a ovisno o količini podatka koje želimo slati s podvodnog vozila moguće je ubrzati potpomaganje.