Autonomno kretanje besposadnog vozila po zadatoj putanji primenom algoritma sa aktivnim potiskivanjem poremećaja

Momir Stanković i Stojadin Manojlović

Apstrakt—U radu je predložen algoritam autonomnog kretanja besposadnog vozila po zadatoj putanji primenom koncepta upravljanja sa aktivnim potiskivanjem poremećaja. Nelinearnosti kinematike kretanja i poremećaji linearne i ugaone brzine vozila su formulisani u vidu totalnog poremećaja. Za estimaciju stanja nominalnog modela i totalnog poremećaja, kao dodatne promenljive stanja, projektovan je prošireni opserver stanja. Na bazi estimacija i dostupnih merenja formulisan je upravljački zakon za aktivno potiskivanje totalnog poremećaja u realnom vremenu i upravljanje kretanjem vozila sa definisanom dinamikom praćenja zadate putanje. Simulacionom analizom predloženog algoritma sa tipičnim modelom pogona guseničnog besposadnog vozila je pokazana efikasnost predloženog rešenja u različitim scenarijima praćenja zadate putanje.

Ključne reči—Autonomno kretanje; Besposadno vozilo; Upravljanje sa aktivnim potiskivanjem poremećaja; Prošireni opserver stanja;.

I. UVOD

Iako su ideje o automatizovanim pokretnim platformama bez ljudske posade (eng. Unmanned Vehicles - UVs) postojale još početkom prošlog veka, tek njegovim krajem došlo se do tehnoloških mogućnosti za njihovu realizaciju. Osnovna namena besposadnih platformi je delimična ili potpuna zamena čoveka u napornim, rizičnim, nepristupačnim i sl. civilnim ili vojnim misijama. Uz tehnološki napredak u oblastima senzorskih i aktuatorskih komponenti, obrade signala i algoritama vođenja (navigacije) i upravljanja, zbog potencijalnih mogućnosti ovih specifičnih platformi, poslednjih godina se poklanja sve veća pažnja njihovom razvoju i primeni. Posebnu grupu automatizovanih platformi predstavljaju besposadna vozila (eng. Unmanned Ground Vehicles - UGVs) projektovana za kretanje po uređenom ili neuređenom terenu. Razvoj besposadnih vozila u početku je bio zasnovan na automatizaciji kretanja postojećih vozila kojima je upravljao čovek. Međutim, zbog povećanja ekonomičnosti, mobilnosti i manevrabilnosti, danas se besposadna vozila projektuju kao posebna klasa vozila sa točkovima ili gusenicama, sa potpuno automatizovanim funkcijama kretanja i, najčešće, nezavisnim upravljanjem pogonskim točkovima [1].

Sistem za autonomno kretanje besposadnog vozila se, u opštem slučaju, može razdvojiti na tri celine: sistem za analizu terena, sistem za planiranje (proračun) trajektorije i sistem upravljanja kretanjem. Sistem upravljanja kretanjem treba da obezbedi praćenje zadate trajektorije uz minimalna odstupanja. Funkcionalno se može razdvojiti na upravljanje uzdužnim kretanjem, odnosno upravljanje intenzitetom brzine kretanja i na upravljanje ugaonim kretanjem (uglom skretanja) [2]. Algoritam upravljanja treba da obezbedi robusnost i stabilnost kretanja, uzimajući u obzir dinamičko ponašanje i konstruktivna ograničenja samog vozila kao i uticaje poremećaja. Rešenja ovog problema variraju od primene klasičnih do inteligentnih tehnika upravljanja [3].

U ovom radu analiziran je algoritam upravljanja ugaonim kretanjem guseničnog besposadnog vozila za praćenje zadate putanje, primenom koncepta sa aktivnim potiskivanjem poremećaja (eng. Active Disturbance Rejection Control -ADRC). Ovaj koncept se pokazao kao veoma robusan, efikasan i praktičan u potiskivanju kako spoljašnjih (ambijentalnih), tako i unutrašnjih (sistemskih) poremećaja [4]. Pri modelovanju sistema, sva odstupanja od nominalnog uključujući modela, greške modelovanja (neodređenost/promene parametara, nemodelovana dinamika) i spoljašnje poremećaje, tretiraju se kao totalni poremećaj sistema. Potiskivanjem totalnog poremećaja preko unutrašnje povratne sprege, za kompenzovani (nominalni) sistem, u vidu redne veze integratora, projektuje se kontroler zatvaranjem povratnih sprega po stanjima. Klučna komponenta ADRC kontrolera je prošireni opserver stanja (eng. Extended State Observer - ESO), koji se projektuje za nominalni model, a totalni poremećaj se uvodi kao dodatno stanje sistema. Od kvaliteta estimacija ESO-a u najvećoj meri zavisi efikasnost ADRC kontrolera [5].

U radu je projektovan ADRC kontroler na osnovu kinematičkog modela kretanja besposadnog vozila, uz pretpostavke da je intenzitet brzine kretanja konstantan i da se praćenje referentne putanje ostvaruje kontrolisanjem ugaone orijentacije vozila. Pri tome se svi poremećaji koji mogu nastati u toku kretanja vozila usled proklizavanja, neravnog terena ili neadekvatnog odziva pogonskih motora, modeluju kao poremećaji intenziteta brzine vozila i poremećaji ugaone brzine njegove orijentacije. S obzirom da poremećaji intenziteta brzine vozila ne deluju na istom ulazu gde i upravljački signal (eng. *mismatched uncertainty*) model

Momir Stanković – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: <u>momir_stankovic@yahoo.com</u>).

Stojadin Manojlović – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: colemanojle@yahoo.com).

sistema je formulisan u pogodnom obliku kako bi se svi poremećaji uključili u totalni poremećaj.

Za estimaciju stanja nominalnog modela i totalnog poremećaja projektovan je linearni ESO. Koristeći estimacije i dostupne merene veličine, formulisan je zakon upravljanja za minimizaciju normalne komponente greške praćenja (eng. *cross-track error*), pri čemu se besposadno vozilo približava zadatoj putanji zahtevanom dinamikom.

II. KINEMATIČKI MODEL KRETANJA VOZILA PO ZADATOJ PUTANJI

Kinematički model autonomnog kretanja vozila u inercijalnom koordinatnom sistemu se može opisati jednačinama:

$$\dot{x}(t) = (v_s(t) + v_d(t))\cos\theta_s(t)$$

$$\dot{y}(t) = (v_s(t) + v_d(t))\sin\theta_s(t)$$

$$\dot{\theta}_s(t) = \omega_s(t) + \omega_d(t)$$
(1)

gde su x(t) i y(t) koordinate a $\theta_s(t)$ ugaona orijentacija vozila. Linearna brzina vozila v_s se smatra poznatom uz pretpostavku da je konstantna, a ugaona brzina vozila $\omega_s(t)$ predstavlja upravljačku veličinu, koju treba proračunati tako da vozilo izvrši zahtevani manevar. Uticaj proklizavanja, neravnog terena ili neadekvatnog odziva pogonskih motora na kretanje vozila modelovani su poremećajima linearne $v_d(t)$ i ugaone brzine $\omega_d(t)$. Poremećaji $v_d(t)$ i $\omega_d(t)$ predstavljaju osnovni uzrok odstupanja vozila od zadate putanje pri autonomnom kretanju vozila.

Na Sl. 1 prikazana je zadata putanja kao pravac definisan uglom θ_{ref} u inercijalnom koordinatnom sistemu. U tom slučaju je greška ugaone orijentacije vozila u odnosu na zadatu putanju:

$$\theta_e(t) = \theta_s(t) - \theta_{ref} \tag{2}$$

Poziciono odstupanje vozila definisano je greškom $e_d(t)$ kao normalno rastojanje vozila od zadate putanje.



Sl. 1. Zadata putanja kretanja vozila i greške praćenja.

Problem praćenja zadate trajektorije se može definisati kao regulacioni problem minimizacije greške $e_d(t)$ u prisustvu poremećaja $v_d(t)$ i $\omega_d(t)$ primenom odgovarajućeg upravljačkog signala $\omega_s(t)$. Na osnovu Sl. 1 i primenom izvoda na jednačinu (2), dobijaju se izrazi za dinamiku grešaka pozicionog odstupanja i ugaone orijentacije vozila u odnosu na zadatu putanju:

$$\dot{e}_d(t) = \left(v_s + v_d(t)\right)\sin\theta_e(t) \tag{3}$$

$$\dot{\theta}_e(t) = \omega_s(t) + \omega_d(t) \tag{4}$$

Imajući u vidu da je ugaona brzina rotacije vozila $\omega_s(t)$ upravljačka veličina, iz (3) se može uočiti da poremećaj $v_d(t)$ ne deluje na istom ulazu kao i $\omega_s(t)$ (eng. mismatched uncertainty), za razliku od poremećaja $\omega_d(t)$ (eng. matched uncertainty) [6].

Diferenciranjem (3), i uvrštavanjem (4), dobija se model dinamike greške $e_d(t)$:

$$\ddot{e}_{d}(t) = \omega_{s}(t)(v_{s} + v_{d}(t))\cos(\theta_{e}) + \omega_{d}(t)(v_{s} + v_{d}(t))\cos(\theta_{e}) + \dot{v}_{d}(t)\sin(\theta_{e})$$
(5)

u kome je uticaj oba spoljašnja poremećaja sveden na zajednički ulaz sa upravljačkim signalom $\omega_s(t)$ (eng. *matched uncertainty*).

Iz (5) se vidi, da je dinamika greške $e_d(t)$, čak i u odsustvu poremećaja $(v_d(t) \equiv \omega_d(t) \equiv 0)$, nelinearna. Ako se pretpostavi postojanje početne greške pozicioniranja $e_d(t_0) \neq 0$, željena dinamika minimizacije greške se može definisati kao:

$$\ddot{e}_{d}^{*}(t) + k_{2}\dot{e}_{d}^{*}(t) + k_{1}e_{d}^{*}(t) = 0$$
(6)

gde se pomoću $k_1 i k_2$ definišu parametri prelaznog procesa. Prema tome, zadatak praćenja zadate putanje predstavlja projektovanje upravljačkog signala $\omega_s(t)$ kojim se obezbeđuje da greška $e_d(t)$ sa zadovoljavajućom tačnošću prati zadatu dinamiku, definisanu sa (6).

III. PROJEKTOVANJE ADRC REGULATORA ZA AUTONOMNO KRETANJE VOZILA

U skladu sa konceptom ADRC-a, izraz (5) se može zapisati u formi:

$$\ddot{e}_d(t) = v_s \cos(\theta_e(t)) \cdot \omega_s(t) + f(t)$$
⁽⁷⁾

gde je:

$$f(t) = \cos(\theta_e) v_d(t) \omega_s(t) + \omega_d(t) (v_s + v_d(t)) \cos(\theta_e) + \dot{v}_d(t) \sin(\theta_e) ,$$
(8)

totalni pormećaj, koji obuhvata nelinearnost modela i pretpostavljene spoljašnje poremećaje. Ako se f(t) usvoji kao dodatno stanje sistema, (7) se može predstaviti modelom u prostoru stanja:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\boldsymbol{\omega}_{s}(t) + \mathbf{E}f(t)$$
(9)

gde je $\mathbf{x}(t) = [e_d(t) \dot{e}_d(t) f(t)]^T$ vektor stanja, pri čemu matrice u modelu imaju formu:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \ \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ v_s \cos(\theta_e(t)) \\ 0 \end{bmatrix}, \ \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$
(10)

Na osnovu modela (9) linearni prošireni opserver stanja se projektuje na osnovu relacija:

$$\hat{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{B}\boldsymbol{\omega}_{s}(t) + \mathbf{L}(y - \hat{e}_{d})$$
(11)

gde je $\hat{\mathbf{x}}(t) = [\hat{e}_d(t) \ \hat{e}_d(t) \ \hat{f}(t)]^T$ vektor estimiranih stanja, a matrica $\mathbf{L} = [\beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3]^T$ sadrži pojačanja opservera. Koristeći estimacije stanja sistema i totalnog poremećaja, uz učešće merene veličine θ_e , može se formirati upravljački zakon:

$$\omega_{s} = \begin{cases} -\omega_{s\max} , \theta_{e} \leq -\pi/2 \\ \frac{-k_{1}\hat{e}_{d} - k_{2}\hat{e}_{d} - \hat{f}}{v_{s}\cos(\theta_{e}(t))} , |\theta_{e}| < \pi/2 \\ \omega_{s\max} , \theta_{e} \geq \pi/2 \end{cases}$$
(12)

gde je ω_{smax} maksimalna ugaona brzina vozila. Uz pretpostavku da su estimacije zadovoljavajuće, tj. $\hat{e}_d(t) \approx e_d(t), \hat{e}_d(t) \approx \dot{e}_d(t), \hat{f}(t) \approx f(t)$, primenom upravljačkog zakona (12) se kompenzuje uticaj totalnog poremećaja, a nelinearna dinamika greške (5) se svodi na zadatu formu (6), gde se dinamika približavanja vozila zadatoj putanji podešava parametrima k_1 i k_2 .

Izbor parametara k_1 i k_2 se može izvršiti primenom metode podešavanja polova. Ako se za oba pola sistema sa zatvorenom spregom usvoji da su realni i isti, odnosno $p_{1,2} = -\omega_c$, ($\omega_c > 0$), pojačanja regulatora se mogu odrediti iz jednakosti karakterističnih polinoma:

$$(s + \omega_c)^2 = s^2 + k_2 s + k_1, \qquad (13)$$

gde je sa ω_c definsan propusni opseg sistema sa regulatorom (12). Zadavanjem propusnog opsega opservera $\omega_o = k\omega_c$, gde je k > 1, pojačanja opservera se mogu odrediti na sličan način, iz jednakosti karakterističnih polinoma:

$$(s + \omega_o)^3 = s^3 + \beta_1 s^2 + \beta_2 s + \beta_3.$$
(14)

Imajući u vidu mehanizam upravljanja kratnjem besposadnog vozila, treba napomenuti da su linerana brzina v_s i ugaona brzina rotacije vozila ω_s rezultat ugaonih brzina pogonskih točkova. Model kretanja guseničnog vozila sa dve gusenice i dva pogonska točka (za levu i desnu gusenicu) može se predstaviti u obliku:

$$v_s = \frac{r}{2}(w_D + w_L)$$

$$\omega_s = \frac{r}{m}(w_D - w_L)$$
(15)

gde su r prečnik pogonskog točka, m normalno rastojanje između gusenica, w_D i w_L ugaone brzine desnog i levog pogonskog točka, respektivno. Ukoliko uzmemo u obzir poremećaje usled proklizavanja gusenica, model (15) se može zapisati u obliku:

$$v_s + v_d = \frac{r}{2}(a_D w_D + a_L w_L)$$

$$\omega_s + \omega_d = \frac{r}{m}(a_D w_D - a_L w_L)$$
(16)

gde se koeficijentima $a_D i a_L$ modeluje klizanje desne i leve gusenice, respektivno. Koeficijenti $a_D i a_L$ su u opsegu [0,1], pri čemu se za vrednosti manje od 1, generišu poremećaji v_d i ω_d . Odgovarajuće brzine pogonskih točkova w_D i w_L se direktno proračunavaju na osnovu zadatih vrednosti v_s i ω_s primenom izraza (15).

IV. SIMULACIONA ANALIZA

Simulaciona verfifikacija predloženog rešenja autonomnog kretanja je realizovana u programskom paketu MATLAB/Simulink na dinamičkom modelu vozila sa parametrima m = 1.4 m i r = 0.1 m.

U okviru prvog scenarija razmatrano je kretanje vozila po zadatoj trajektoriji, definisanoj uglom $\theta_{ref} = \pi/3$ rad. Početni položaj vozila je definisan koordinatama x(0) = 0.3 m, y(0) = 0m i uglom $\theta_s(0) = \pi/4$ rad. Pretpostavljeno je postojanje proklizavanja obe gusenice, odnosno:

$$a_D(t) = 0.85 + 0.15\sin(2t + \pi/4)$$

$$a_L(t) = 0.85 + 0.15\cos(3t)$$
(17)

Pored toga simulirano je postojanje šuma merenja signala $e_d(t)$, koji je uključen od 3 sekunde simulacije. Dobijeni rezultati praćenja zadate trajektorije, za tri ADRC regulatora (12) sa istim propusnim opsegom u zatvorenoj sprezi $\omega_c = 3 \operatorname{rad/s}$ i različitim vrednostima propusnog opsega opservera ($\omega_o = 4\omega_c$, $\omega_o = 8\omega_c$ i $\omega_o = 16\omega_c$), su prikazani na Sl. 2. Kakakteristike praćenja u odnosu na idelanu putanju definisanu izrazom (6) su dati na Sl. 3, dok su vrednosti zahtevanih upravljačkih signala, odnosno brzina desnog i levog točka prikazane na Sl. 4. Kvalitet estimacija totalnog poremećaja za analizirane vrednosti propusnog opsega opservera je prikazan na Sl. 5.



Sl. 2. Karakteristike praćenja zadate putanje za različite vrednosti propusnog opsega opservera



Sl. 3. Uporedne karakteristike praćenja u odnosu na idelanu putanju za različite propusne opsege opservera

Na osnovu rezultata sa Sl. 2 i Sl. 3 vidimo da vozilo, za sve tri vrednosti propusnog opsega opservera, uspešno prati zadatu putanju u uslovima postojanja pormećaja. Kao što je i očekivano, sistem sa najvećim propusnim opsegom opservera ostvaruje putanju najpribližniju idealnoj, što je posledica najmanje greške u estimaciji totalnog poremećaja (Sl. 5). Međutim, sa Sl. 4 se može uočiti da povećanje propusnog opsega opservera dovodi do porasta zahtevanih ugaonih brzina pogonskih točkova, kao i povećanja osetljivosti sistema

na merni šum.



Sl. 4. Signali upravljanja pogonskim točkovima za različite vrednosti propusnog opsega opservera.



Sl. 5. Estimacije totalnog poremećaja za različite vrednosti propusnog opsega opservera.

U drugom scenariju analizirano je praćenje putanje definisane uglom $\theta_{ref} = \pi/4$ rad. Početni položaj vozila je definisan koordinatama x(0) = 0.3m, y(0) = 1m i $\theta_s(0) = 0$ rad. Parametri regulatora su podešeni usvajanjem $\omega_c = 3$ rad / s i $\omega_o = 8 \omega_c$, a simulirana su tri slučaja za različite dinamike proklizavanja gusenica. U prvom (S1) pretpostavljeno je da nema proklizavanja, odnosno, $a_D = 1, a_L = 1$, dok je u druga dva slučaja proklizavanje modelovano sa:

S2:
$$a_D = 0.85, a_L = 0.95;$$

S3: $a_D(t) = 0.85 + 0.15 \sin(2t + \pi/4), a_L(t) = 0.85 + 0.15 \cos(3t);$

Trajektorije vozila, greške praćenja normalne na trajektoriju $e_d(t)$ i estimacije totalnog poremećaja su

prikazane na Sl. 6, Sl. 7 i Sl. 8, respektivno. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da projektovani sistem ostvaruje zadovoljavajuće performanse praćenja u sva tri razmatrana slučaja. Kao što je i očekivano, najbolje performanse se dobijaju kada nema proklizavanja (*S*1) a vrednost totalnog poremećaja nula. U slučaju kada je proklizavanje gusenica konstantno (*S*2), putanja vozila odstupa od idealne u toku prilaska zadatoj trajektoriji, a nakon toga greška praćenja postaje nula, što je rezultat nulte greške estimacije totalnog poremećaja u stacionarnom stanju (Sl. 8). U trećem slučaju (*S*3) se uočava da, usled sinusoidalnog oblika proklizavanja, primenjeni prošireni opserver stanja ne može da estimira totalni poremećaj bez greške u stacionarnom stanju, (vidi Sl. 7), što dovodi do izvesnog odstupanja od zadate putanje.



Sl. 6. Karakteristike praćenja zadate putanje za različite dinamike proklizavanja gusenica.



Sl. 7. Uporedne karakteristike praćenja u odnosu na idelanu putanju za različite dinamike proklizavanja gusenica.

V. ZAKLJUČAK

Autonomno kretanje besposadnog vozila po zadatoj putanji, uz poremećaje linearne i ugaone brzine kretanja, realizovano je primenom kontrolera sa aktivnim potiskivanjem poremećaja. Problem je formulisan u vidu minimizacije najkraćeg (normalnog) rastojanja vozila od zadate putanje. Za estimaciju totalnog poremećaja projektovan je linearni prošireni opserver stanja, pri čemu je totalni poremećaj definisan tako da obuhvati i poremećaje koji ne deluju na istom ulazu kao i upravljački signal. Upravljački signal za aktivno potiskivanje totalnog poremećaja i približavanje vozila zadatoj putanji prema unapred definisanoj dinamici kretanja, je formiran na osnovu estimacija opservera i dostupnih merenja.

Koristeći model kretanja guseničnog vozila sa dve gusenice i dva pogonska točka, pokazano je da se poremećaji linearne i ugaone brzine vozila mogu efikasno estimirati primenom linearnog proširenog opservera stanja, pri čemu se povećanjem propusnog opsega opservera tačnost praćenja poboljšava, ali se povećavaju energetski zahtevi za aktuatore i osetljivost na merni šum. Primenjenim zakonom upravljanja uspešno se elimišu poremećaji tipa početnog stanja i konstantni poremećaji uzrokovani proklizavanjem, dok se uticaj dinamičnijih poremećaja može značajno umanjiti, uz odgovarajuće podešavanje parametara kontrolera.

Ideje za budući rad su, da se pre praktične implementacije na konkretnom besposadnom vozilu, analizira primena ADRC kontrolera za upravljanje intenzitetom brzine i ugaonom pozicijom vozila, sa ciljem autonomnog praćenja složenijih putanja.



Sl. 8. Estimacije totalnog poremećaja za različite dinamike proklizavanja gusenica (prelazni period - levo, stacionarno stanje - desno).

ZAHVALNICA

Rad je podržan od strane Ministarstva odbrane Republike Srbije u okviru Projekta VA/TT/1/21-23.

LITERATURA

 Y. Liu, R. Bucknall, "A survey of formation control and motion planning of multiple unmanned vehicles", *Robotica*, vol. 36, no. 7, pp. 1019-1047, 2018.

- [2] J. Shin, D. Kwak, T. Lee, "Robust path control for an autonomous ground vehicle in rough terrain", *Control Engineering Practice*, vol. 98, 104384, 2020.
- [3] J. Ni, J. Hu, C. Xiang, "A review for design and dynamics control of unmanned ground vehicle", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 235, no. 4, pp. 1084-1100, 2021.
- [4] Y. Huang, W. Xue, "Active disturbance rejection control: methodology and theoretical analysis". *ISA transactions*, vol. 53, no. 4, pp. 963-976, 2014.
- [5] J. Han, "From PID to active disturbance rejection control", *IEEE transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 3, pp. 900-906, 2009.
- [6] C. H. E. N. Sen, X. U. E. Wenchao, L. I. N. Zhiyun, Y. Huang, "On active disturbance rejection control for path following of automated guided vehicle with uncertain velocities", In 2019 American Control Conference (ACC), pp. 2446-2451, IEEE, July, 2019.

ABSTRACT

In this paper path following active disturbance rejection controller (ADRC), for unmanned ground vehicle (UGV), is proposed. Model nonlinarities, together with linear and angular velocity uncertainties, are treated as one total disturbance, enhancing both, matched and mismatched disturbances. Linear extended state observer (ESO) for total disturbance and nominal model states estimation is designed. Based on estimations and available measurements, the control signal for path following with predetermined transient behavior, is formulated. Simulation analysis, with tipical tracked unmanned ground vehicle motion configuration, is performed, and results illustrate efficiency of proposed control scheme in diferent path following scenarios.

Autonomous Active Disturbance Rejection Path Following Control of Unmanned Ground Vehicle

Momir Stanković i Stojadin Manojlović