

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

MODELIRANJE I UPRAVLJANJE DINAMIKOM VOZILA

Vježba 1

Modeliranje longitudinalne dinamike vozila

Zagreb, ožujak 2024.

Uvod

Cilj ove vježbe je usporedba karakteristika vožnje osobnog vozila s prednjim, odnosno stražnjim pogonom u različitim uvjetima vožnje. Kao primjer vozila odabran je *Volkswagen Golf Mk2 GTI 16v*, a odgovarajući parametri nalaze se u priloženim kodovima za vježbu. Razmatrat će se samo longitudinalna dinamika vozila, a potrebno je modelirati vozilo i gume za različite nagibe ceste i površinske uvjete. Na kraju vježbe je potrebno odrediti koja vrsta pogona daje bolje rezultate u kontekstu utrke.

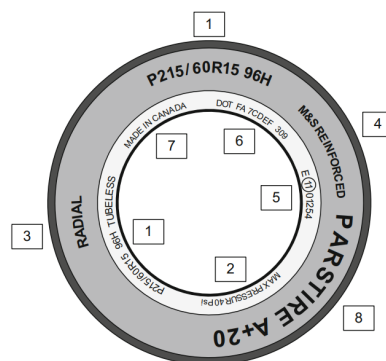
U vježbi se koristi programsko okruženje MATLAB, a potrebne datoteke nalaze se u predmetnim materijalima pod nazivom *vjezba1.zip*.

1 Karakteristike gume na različitim podlogama

1.1 Karakteristike pneumatika

Gume su glavna komponenta vozila koja međudjeluje s podlogom i njihove karakteristike najviše utječu na dinamičko ponašanje vozila. Parametri kao što su dimenzije, maksimalna nosivost i maksimalna brzina uglavnom su označene na bočnim stranama pneumatika, što se može detaljnije vidjeti na Slici 1. Objašnjenja numeričkih oznaka su:

1. dimenzije gume
2. maksimalan dozvoljeni tlak
3. tip konstrukcije
4. M&S označava gumu za blato i snijeg (*mud and snow*)
5. *E-Mark* je europska oznaka i broj odobrenja
6. *US Department of Transport (DOT)* identifikacijski brojevi
7. zemlja proizvodnje
8. proizvođač i/ili ime brenda



Slika 1: Primjer gume s označenim parametrima.

Najvažnija oznaka su dimenzije gume, označene brojem 1. Detaljniji opis oznake dan je na Slici 2, a više informacija možete potražiti na internetu.

P	Putničko vozilo (<i>Passenger car</i>)
215	Širina gume [mm]
60	Omjer visine i širine gume [%]
R	Vrsta konstrukcije (<i>R</i> = <i>radijalna</i>)
15	Promjer naplatka [in]
96	Indeks nosivosti
H	Indeks brzine

Slika 2: Objašnjenje dimenzija gume.

Koristeći navedena objašnjenja, izračunajte polumjer gume s oznakom *P 185/60 R 14 89 R*. Pretpostavite da je guma neopterećena ($F_z = 0 \text{ N}$), tj. da nema deformacija. Polumjer izrazite u metrima.

$$R_w = \underline{\hspace{2cm}}$$

1.2 Prikaz modela gume

Prikažite normaliziranu silu gume (F_x/F_z) za vrijednosti klizanja (s_x) između 0 i 1. Koje je fizikalno objašnjenje uzdužnog klizanja? Koristite pojednostavljeni Pačejkin model gume (Hans B. Pačejka, 1992.) i parametre za različite uvjete na cesti iz Tablice 1:

$$\frac{F_x}{F_z} = D \sin(C \arctan(B s_x - E(B s_x - \arctan(B s_x)))) \quad (1)$$

$$K = \frac{3\pi}{180}, \quad B = 100 \frac{\arctan(K)}{CD} \quad (2)$$

Tablica 1: Parametri gume za različite uvjete na cesti.

	D	C	E
Suh asfalt	1.00	1.45	-4.00
Mokar asfalt	0.60	1.35	-0.20
Led	0.10	1.50	0.80

1.3 Identifikacija parametara iz podataka

Učitajte i prikažite podatke iz datoteke `Vjezba1.mat`. Koristeći model gume iz prethodnog dijela, pronađite koeficijente C , D i E koji najbolje odgovaraju dostupnim podacima (ne moraju odgovarati parametrima iz Tablice 1). Koeficijente je moguće naći ručno ili korištenjem optimizacijske skripte s **MATLAB-ovim alatima**.

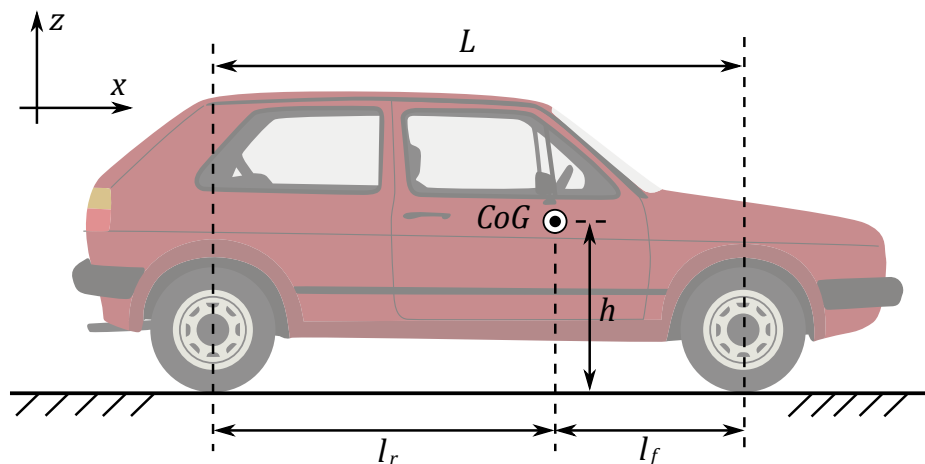
2 Modeliranje vozila

2.1 Dijagram sila

Nacrtajte dijagram sila za vozilo na Slici 3 pod pretpostavkom da svaka osovina ima samo jedan kotač. Dijagram treba odvojeno prikazivati šasiju i kotače. Zanimarite translacijsko gibanje kotača, a otpor kotrljanja i otpor zraka uzmite u obzir. Pretpostavite da je ovjes krut, tako da ne dolazi do dizanja niti poniranja. Također pretpostavite da su pogonski momenti i karakteristike guma poznate.

Otpor kotrljanja modelirajte kao dodatni moment na svakom od kotača $T_{rr} = RRC \cdot R_w \cdot F_z$, gdje je RRC koeficijent otpora kotrljanja, R_w polumjer kotača i F_z vertikalna sila na kotaču. Za razliku od modela predstavljenog na predavanjima, u ovom slučaju pretpostavlja se da otpor kotrljanja djeluje izravno na rotacijsku dinamiku kotača.

Navedite sve varijable i parametre (oznake i značenje) potrebne za izvod jednadžbi gibanja.



Slika 3: Primjer dijagrama vozila.¹

2.2 Matematički model

Izvedite jednadžbe gibanja za prednju i stražnju osovину te za cijelo vozilo. Nepoznanice u sustavu jednadžbi su:

- longitudinalna sila na prednjoj i stražnjoj osovini
- normalna sila na prednjoj i stražnjoj osovini
- kutno ubrzanje prednjeg i stražnjeg kotača
- ubrzanje vozila

¹Originalna grafika preuzeta sa stranice www.freepik.com.

Koje dodatne jednačbe su potrebne kako bi sustav bio dobro definiran (imao jednak broj jednačbi i nepoznanica)?

2.3 Dodavanje nagiba ceste

Izmijenite dijagram i matematički model tako da odgovaraju slučaju kad se vozilo nalazi na cesti nagiba θ . Koordinatni sustav x - z rotirajte s vozilom.

2.4 Eksplicitni model

Koristeći izvedene jednačbe gibanja, pronađite izraze za tražene nepoznanice. Preporuča se koristiti `Symbolic Math Toolbox` u MATLAB-u. Izraze nije potrebno navoditi u izvještaju.

Kako sila otpora zraka doprinosi prijenosu opterećenja među osovinama? Može li se utjecaj sile zraka na prijenos ukloniti?

3 Simulacija

Pretpostavite da ste član tima koji sudjeluje u utrci ubrzanja. Zaduženi ste za simulaciju utrke s odgovarajućim uvjetima na cesti te odabir vrste pogona. Kostur programskog koda dostupan je u materijalima za vježbu. Prođite kroz cijeli kod (počevši od skripte `Simulation.m`) kako biste stekli dojam o ulozi pojedinih dijelova.

3.1 Implementacija i validacija modela

Implementirajte rješenja jednačbi iz prethodnog zadatka u datoteci `VehicleDynamics.m`. Pretpostavite da sila otpora zraka djeluje točno na visini centra mase vozila te da je brzina vjetra jednaka nuli. Uz to, popunite datoteke `WheelSlip.m` i `MagicFormula.m` pomoću modela i parametara iz dijela 1.2. Pokrenite simulaciju pomoću datoteke `Simulation.m` i provjerite imaju li rezultati smisla (u izvještaju prikažite i komentirajte grafove za određeni scenarij).

3.2 Usporedba prednjeg i stražnjeg pogona

Pretpostavite da pripremate auto za utрку. Staza je duga 100 m te ima nagib od 5 stupnjeva. Prije utrke možete odabrati hoće li auto voziti na prednji ili stražnji pogon. Također, postoji velika vjerojatnost da će pasti kiša i staza biti mokra.

Pomoću simulacije odredite pogonsku konfiguraciju koja rezultira najkraćim vremenom utrke. Uzmite u obzir različite uvjete na stazi. Je li konfiguracija ista u oba slučaja?

Literatura

Rajamani R., *Vehicle Dynamics and Control*. Poglavlje 4: Longitudinal vehicle dynamics.
Pacejka, H. B., Bakker, E. (1992). *The magic formula tyre model*. Vehicle system dynamics, 21(S1), 1-18.