



Funded by
the European Union

Senzori i Aktuatori u Električnim Vozilima 2

Prof. dr Aleksandar Micić
Faculty of technical sciences Kosovska Mitrovica

Name of Event/ Date

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."

**Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through
Transformation and Modernization of WB HEIs Study Programs/PELMOB**

Call: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2

Project Number: 101082860

Napredna pomoć vozaču (Advanced Driver Assistance -ADAS) i Sensori za okolinu

- **Kamere:** Video senzori koji otkrivaju oznake trake, saobraćajne znakove, pešake i druga vozila. Često više kamera (prednja, bočna, zadnja) pružaju pogled od 360° koje koriste funkcije poput zadržavanja trake i automatskog kočenja u slučaju nužde.
- **Radar:** Radio-frekventni senzori koji mere rastojanje i relativnu brzinu objekata. Radari se obično koriste za adaptivni tempomat i izbegavanje sudara, pouzdano otkrivajući vozila ispred čak i po lošem vremenu.
- **LiDAR:** Laserski skeneri koji kreiraju 3D mapu okoline u visokoj rezoluciji. LiDAR može da obezbedi veoma detaljnu detekciju prepreka i koristi se u nekim sistemima autonomne vožnje (iako ne koriste svi proizvođači LiDAR).
- **Ultrasonični Senzori:** Sonar kratkog dometa koji se prvenstveno koristi za pomoć pri parkiranju (otkrivanje ivičnjaka ili prepreka pri veoma malim brzinama).

Aktuatori u EV

Ako su senzori ulazi u sistem, **aktuatori** su izlazi – oni izvršavaju radnje. U EV, aktuatori pretvaraju komande iz kontrolnih jedinica u fizička kretanja ili podešavanja. Oni obuhvataju sve, od velikih komponenti kao što je pogonski motor do malih uređaja kao što su ventili. Neke ključne kategorije aktuatora u električnim vozilima uključuju:

- **Pogonski aktuatori:** Uglavnom električni vučni motor(i) i energetska elektronika pretvarača, koji zajedno proizvode i moduliraju obrtni moment za pogon točkova. Ovo su primarni pokretači vozila.
- **Upravljački aktuatori:** Električni servo upravljači (pokrenuti motorom) ili napredniji mehanizmi upravljanja po žici koji kontrolišu ugao upravljanja točkovima.
- **Kočioni aktuatori:** elektromehanički pojačivači kočnice, aktuatori kočionih čeljusti i ABS modulatori koji generišu silu kočenja, često u koordinaciji sa regenerativnim kočenjem.



- **Bezbednosni aktuatori baterija:** Visokonaponski kontaktori (releji) i pirotehnički uređaji za isključivanje koji mogu da izoluju bateriju kada je to potrebno, kao i pumpe/ventili sistema za hlađenje namenjeni bateriji.
- **Termalni/HVAC Aktuatori:** Električne pumpe, ventilatori i kompresorske jedinice koje aktivno upravljaju temperaturama baterije, motora i kabine.

U suštini, aktuatori „konvertuju električne ili elektronske komande u konkretne radnje“ u vozilu ([EV Powertrain and its components | Dorleco](#)) – bilo da je ta radnja okretanje točka, okretanje osovine, otvaranje ventila ili primena pritiska. Sada ćemo ispitati ove aktuatore u kontekstu EV.

Aktuatori za upravljanje vozilima

Električna vozila obično koriste sisteme električnog servo upravljača (EPS Electrical Power Steering). U EPS-u, tradicionalni hidraulični servo pomoć je zamenjen elektromotornim aktuatorom na letvi ili stubu upravljača. Ovaj aktuator upravljača primenjuje obrtni moment kako bi pomogao vozaču da okrene točkove, ili čak okreće točkove autonomno pod kontrolom računara.

- Električni motor servo upravljača: Električni motor (često DC motor bez četkica) povezan je sa upravljačkim mehanizmom (bilo preko remenskog pogona ili direktno na letvu upravljača). Kada vozač okreće volan, senzori detektuju obrtni moment/ugao, a EPS kontroler pokreće motor da bi pomogao u okretanju točkova. Na primer, pri malim brzinama, motor pruža mnogo pomoći da olakša upravljanje; pri većim brzinama pomoć je smanjena radi boljeg osećaja na putu. Ovo je aktuator koji dinamički reaguje na vozačev unos. Jedna napomena o primeni opisuje: „Sistemi električnog servo upravljača, kao odgovor na unos vozača, koriste motore da pomognu u upravljanju“ ([Types and Functions of Actuators in Automotive Systems](#)) – naglašavajući da je motor pokretač koji obezbeđuje silu u sistemu upravljanja

- **Automated Automatsko upravljanje (održavanje trake/upravljanje pomoću žice):** Sa EPS-om na mestu, takođe je moguće da se vozilo upravlja pod određenim uslovima. ADAS funkcije kao što su pomoć pri održavanju trake ili automatsko parkiranje šalju komande EPS motoru za okretanje točkova bez vozača. Budući sistemi upravljanja po žici će ići još dalje, uklanjajući mehaničku vezu; volan će biti samo povezan sa sensorima, a pravac točka će isključivo kontrolisati aktuatori. Već, za ADAS, „aktuatori za upravljanje su od suštinskog značaja – oni menjaju ugao upravljanja kao odgovor na informacije senzora (npr. za zadržavanje trake)“ ([Role of Sensors and Actuators in ADAS](#)). Ovo naglašava da moderni aktuatori mogu precizno da kontrolišu upravljanje, omogućavajući delimičnu autonomnu vožnju (bez vozača).

Aktuatori za kočnice

EV upravljaju kočenjem kombinacijom regenerativnog kočenja (preko motora) i konvencionalnog kočenja trenjem. Kočioni sistem trenja u električnim vozilima često je dopunjen elektronskim aktuatorima da bi se postigla finija kontrola

- EV upravljaju kočenjem kombinacijom regenerativnog kočenja (preko motora) i konvencionalnog kočenja trenjem. Kočioni sistem trenja u električnim vozilima često je dopunjen elektronskim aktuatorima da bi se postigla finija kontrola ([Role of Sensors and Actuators in ADAS](#)). U praktičnom smislu, pokretač kočnice EV-a može biti iBooster (Bosch-ov izraz za električni pojačivač) koji može vrlo brzo stvoriti pritisak za ABS i kontrolu stabilnosti.

- **Integracija regenerativnog kočenja:** Tokom normalnog usporavanja, kontrolni sistem EV će koristiti motor (kao generator) da uspori automobil - ovim upravlja motor/inverter (sam aktuator). Ako je potrebno kočenje jače od onoga što samo regeneracija može da obezbedi ili ako je baterija puna (ne može da prihvati punjenje), aktuatori frikcionih kočnica neprimetno dolaze u igru. Mešanje se vrši elektronski: senzor papučice kočnice govori kontroleru koliko je ukupno usporenje željeno, a kontroler uključuje mešavinu regenerativnog kočenja i frikcione kočnice preko aktuatora kočnice. Rezultat je osećaj glatkog kočenja. Iz perspektive aktuatora, kočnice trenja se primenjuju pomoću električnih komandi, a ne direktnom silom vozača – zaista kočenje po žici u mnogim EV. Ovo ne samo da poboljšava vreme odziva, već i omogućava sistemu da odredi prioritet regeneracije za oporavak energije i samo doda kočenje trenjem po potrebi.

Aktuatori za bezbednost baterija

Visokonaponska baterija u EV nije samo nadgledana senzorima, već je zaštićena i kontrolisana sa nekoliko aktuatora radi sigurnosti

- **HV (High Voltage) kontaktorski releji:** Unutar paketa baterija nalaze se prekidači kontaktora za teške uslove rada (elektromehanički releji) koji povezuju ili isključuju bateriju iz ostatka visokonaponskog kola vozila. Kada uključite automobil, BMS zatvara ove kontakte kako bi omogućio protok struje; kada ga isključite ili ako se otkrije ozbiljan kvar, kontaktori se otvaraju da izoluju bateriju. Oni deluju kao kapija za uključivanje/isključivanje za energiju baterije. Ovo je funkcija aktuatora - mali kalem u releju pomera kontakt da bi prekinuo kolo. U normalnim uslovima, kontaktori se zatvaraju nakon prethodnog punjenja sistema da bi se izbeglo stvaranje luka. U uslovima kvara, otvaraju se da zaštite od stvari kao što su kratki spojevi.

- **Pirotehničko isključenje baterije (piro-osigurač):** Za slučajeve sudara ili ekstremne hitne slučajeve, EV uključuju jednokratni aktuator koji se zove pirotehnički prekidač. Ovaj uređaj sadrži malo eksplozivno punjenje koje može prekinuti vezu glavne baterije skoro trenutno. U teškom sudaru, na primer, bezbednosni sistem automobila pokreće piroosigurač da fizički prekine visokonaponsku vezu, sprečavajući da velike struje nastave da teče i u velikoj meri smanjujući rizik od požara. Prema Teslinom opisu patenta, „pirotehnički prekid može da prekine električnu vezu između baterije i motora, povećavajući bezbednost električnog sistema“ ([Tesla Patents Device that Can Improve EV Battery Safety](#)). Ona bukvalno raznese deo sabirnice, gaseći struju. Ovaj aktuator radi u milisekundama, brže od bilo kog mehaničkog releja, da izoluje bateriju u strašnim situacijama. Nakon postavljanja, mora se zameniti, ali pruža ključnu zaštitu.

Termički upravljački aktuatori

Električna vozila imaju sofisticirane sisteme upravljanja toplotom kako bi bateriju, motore i energetske elektrone održavali u optimalnim temperaturnim rasponima. Ovaj sistem se oslanja na brojne aktuatore

Električna pumpa za rashladnu tečnost i ventilatori radijatora: Za razliku od automobila sa unutrašnjim sagorevanjem koji koriste pumpe na motor, EV koriste elektronske pumpe rashladne tečnosti za cirkulaciju rashladne tečnosti kroz hladne ploče ili radijatore akumulatora i motora. Ove pumpe su aktuatori koji se mogu modulirati (preko PVM ili CAN komandi) da bi se promenio protok rashladne tečnosti po potrebi. Često rade pri promenljivim brzinama ili aktiviraju različite rashladne petlje na zahtev. Tehnički vodič napominje da „električne pumpe rashladne tečnosti upravljaju temperaturom različitih delova EV-a, omogućavajući preciznu termičku kontrolu na nivou komponente“ ([Understanding the role of electric coolant pumps in Electric Vehicles - Technical Services](#)). Kada se baterija zagreva (recimo tokom brzog punjenja ili agresivne vožnje), kontrolna jedinica će pojačati pumpu rashladne tečnosti i uključiti električne ventilatore radijatora da poveća hlađenje. Suprotno tome, tokom hladnog vremena, pumpa može da cirkuliše rashladnu tečnost kroz grejač da zagreje bateriju. Ventilatori radijatora su takođe električni aktuatori koji uvlače vazduh kroz radijatore za hlađenje kad god je to potrebno (npr. hlađenje rashladne tečnosti baterije ili izmenjivača toplote invertera motora).



- **HVAC aktuatori (grejanje, ventilacija, klimatizacija):** EV koriste električne kompresore za klimatizaciju - u suštini kompresor sa električnim motorom koji komprimira rashladno sredstvo da ohladi kabinu. Ovaj kompresor je aktuator kojim upravlja sistem kontrole klime (a može se koristiti i za hlađenje baterije ako je termički sistem povezan). Za grejanje kabine, mnoga EV imaju ili otporne PTC grejače ili sisteme sa toplotne pumpe. To uključuje aktuatore kao što su elektronski ekspanzioni ventili, pumpe i ventilatori koji usmeravaju grejanje ili hlađenje tamo gde je potrebno. Na primer, neka električna vozila mogu da koriste toplotnu pumpu da prenesu toplotu iz pogonskog sklopa u kabinu. U naprednim dizajnima, ventili se elektronski aktiviraju za prebacivanje protoka rashladnog sredstva između petlje za hlađenje kabine i petlje za hlađenje baterije (sistemi termičkog hlađenja električnih vozila – Faist Group). Sve ove HVAC komponente su pod elektronskom kontrolom: podešavanjem brzine kompresora ili otvaranjem/zatvaranjem ventila, sistem efikasno upravlja temperaturama bez ljudske intervencije iznad podešene temperature.

Senzori-Aktuatori Interakcija: Kontrolni Sistemi u EV

Svi senzori i aktuatori o kojima smo razgovarali su nadgledani su od strane kontrolnih sistema EV-a da rade u sinfrazizmu. Glavni kontroleri vozila (kao što je VCU – kontrolna jedinica vozila, BMS, kontroler motora, itd.) konstantno vrše fuziju senzora i aktuatora: uzimaju podatke sa senzora, donose odluke i šalju komande aktuatorima.

Ova operacija zatvorene petlje je ono što EV čini inteligentnim i prilagodljivim.

Nekoliko ključnih aspekata ove integracije:

-

- **Petlje povratnih sprega:** Praktično svaki EV podsistem radi u zatvorenoj povratnoj sprezi. Na primer, kontroler motora koristi povratnu informaciju sa senzora (položaj rotora, struja) za podešavanje izlaza pretvarača – ako je obrtni momenat previsok ili nizak u poređenju sa ciljem, on će podesiti struju. Slično tome, sistem upravljanja baterijom prati napon i temperaturu ćelija i može da aktivira pumpe za hlađenje ili da ograniči protok struje kako bi održao uslove u dometu. Aktuatori takođe često pružaju indirektnu povratnu informaciju (npr. efekat kočionog aktuatora se vidi preko senzora usporavanja, potvrđujući akciju). Ovo neprekidno podešavanje osigurava tačnost i stabilnost. „Pogoni često daju povratnu informaciju modulu za donošenje odluka kako bi garantovali tačnost... osiguravajući da se postigne željeni efekat (npr. ugao upravljanja)“ ([Role of Sensors and Actuators in ADAS](#)). Jednostavnije rečeno, EV se koristi aktuatore na slepo – on proverava rezultate preko senzora i ispravlja greške.

- **Koordinacija i bezbednost:** Više aktuatora često radi zajedno na osnovu ulaza senzora. Na primer, u slučaju kontrole stabilnosti, sistem može da smanji obrtni moment motora i primeni kočnice na jednom točku – dva različita aktuatora – kao odgovor na podatke senzora iz IMU-a i brzine točkova. Vreme i količina aktiviranja su izračunati tako da se međusobno dopunjuju i održavaju kontrolu nad vozilom. Ovo zahteva visok nivo koordinacije. ECU mrežu EV možemo zamisliti kao orkestar: senzori su instrumenti koji šalju signale, a kontroleri su provodnici koji usmeravaju aktuatore da rade uniformno. Koncept „fuzije senzora i aktuatora“ podrazumeva korišćenje ulaza od mnogih senzora za donošenje smislenih odluka koje aktuatori zatim sprovode ([Role of Sensors and Actuators in ADAS](#)). Rezultat je poboljšana bezbednost – na primer, ako automobil otkrije prepreku (preko senzora), može istovremeno da prekine snagu motora i primeni kočnice (aktivatore) kako bi ublažio sudar.