

Univerzalna platforma za ispitivanje uređaja za mašinsku vizuelnu percepciju okoline u sistemima za pomoć u vožnji i autonomno kretanje vozila

Mladen Krbanjević, Ivan Rešetar, Velibor Škobić

Sadržaj — U ovom radu prikazan je primer arhitekture sistema za ispitivanje postojećeg uređaja za mašinsku percepciju okoline u sistemu za pomoć u vožnji (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems). Dat je osvrt na savremena HIL (HIL – Hardware In Loop) testiranja kao i potreba za ovakvim uređajem koja proističe iz specifičnih uslova ispitivanja, povećanog obima testiranja ugrađenog softvera i primenjenih algoritama kao i iz visokih standardizovanih zahteva za funkcionalnu bezbednost projektovanih uređaja.

Gljučne reči — ADAS sistemi zasnovani na kamerama, video grebovanje, video reprodukcija, HIL testiranje

I. UVOD

Trendovi razvoja auto industriji ukazuju na sve veću primenu elektroničkih uređaja u budućnosti. Nakon provobitnih primena sklopova za kontrolu elektro podsistema, usledila je masovna primena senzoričke i upravljačkih sistema, njihova konstruktivna evolucija iz mehaničkih u hibridne sisteme zasnovane na, ili bar funkcionalno potpomognute radom računara.

Gotovo svi novi modeli automobila iz premijum klasa poseduju sisteme pomoć pri parkiranju, za održavanje rastojanja u kolonama, nadzor promene kolovozne trake i druge slične, a sudeći po promovisanim ciljevima, istraživačkim projektima i pravcima razvoja najpoznatijih proizvođača i automobilskih brendova u najskorijoj budućnosti možemo očekivati kompletne auto pilote ili čak potpuno autonomna vozila na drumovima (vozila kojima ne upravlja čovek).

Sve veća složenost ADAS algoritama zahteva sukcesivno testiranje i davanja potvrda o validnim i ne dvosmislenim odlukama algoritma. Dodatno, automobilska industrija nameće tačno određene standarde pri projektovanju ovakvih sistema. Drugim rečima da bi sistem bio uvršten u opremu automobila mora da zadovolji stroge standarde funkcionalne bezbednosti i bude podvrgnut različitim testovima u realnim uslovima vožnje. Danas je ovo veoma složen proces uzimajući u obzir da svaki put kada se napravi određena promena algoritma tu promenu treba ispitati direktno na

poligonu ili u realnim uslovima u saobraćaju. Posmatrajući ceo sistem sa jedne strane figuriše cena poligona a sa druge rizici ispitivanja algoritma u realnim uslovima. Iz ovih razloga je potekla velika motivacija za projektovanjem ispitnog sistema sa kojim bi se sistemi za mašinsku percepciju okoline vozila mogli testirati u zatvorenim prostorijama – laboratorijama.

Najvažnija specifičnost elektroničkih sistema u autoindustriji jesu vrlo strogi procesi projektovanja i kvalifikacije funkcionalne bezbednosti (Automotive Functional Safety) sistema. Primenom metoda analize rizika, upravljivosti, ozbiljnosti posledica po ljudske životeza svaki elektronski sklop se određuje propisani nivo integracije elemenata funkcionalne bezbednosti ASIL (Automotive Safety Integrity Level) definisanom prema auto standardu za funkcionalnu bezbednost vozila na putu ISO26262 [1]. Pri tome se za upravljačke sisteme naravno zahteva najviši stepen integracije, što uporedo sa najvećom složenosti elektroničkog uređaja sam sistem čini najčešće i nemogućim za projektovanje i kvalifikaciju.

Razdvajanje izvora rizika otkaza je ključni mehanizam po kom se opisani sistemi dekomponuju u više prostijih kako bi se zadovoljio ukupni ekvivalentni visok nivo funkcionalne bezbednosti prema ASIL. Tako i hardversku strukturu sistema za autonomno kretanje vozila čine dve odvojene jedinice. Jedan blok predstavlja upravljačku jedinicu (ECU - Electronic Control Unit) koja ujedno podleže ASIL D koja je spregnuta sa aktuatorskim modulima vozila, motorom, kočnicama, upravljačem itd. Drugi blok predstavlja jedinicu za obradu video signala sa kamera (*Automotive machine Vision- AMV*). Na osnovu rezultata obrade ulaza sa kamera, AMV priprema metapodatke na osnovu kojim ECU donosi odluke o promenama stanja aktuatora vozila. AMV jedinica kao ulaz koristi četiri do šest širokougaonih kamera koje su raspoređene oko vozila u različitim pravcima. Kompoziciom slika sa kamera dobija se kompletan pregled pogleda odozgo. Dodatne dve kamere u bočnim retrovizorima, noćna kamera i kamera za praćenje (monitoring) vozača omogućavaju podršku niz algoritama kao što su prepoznavanje znakova i pešaka, automatsko sigurnosno kočenje, prilagođenje brzine, praćenje bele linije itd. Važno je navesti da AMV jedinica podleže nižem nivou stepena bezbednosti u odnosu na upravljačku jedinicu (ECU) jer je to deo sistema sa najvišim nivoom funkcionalne bezbednosti integracije.

Aktuelne metode ispitivanja sistema u auto industriji su HIL (Hardware In Loop) testiranja. Ovakvi sistemi pobuđuju ispitne sisteme simulatorima ponašanja senzora (temperature,

M. K. Krbanjević, Istraživačko razvojni institut RT-RK, Narodnog Fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: 381-21-4801118; e-mail: mladen.krbanjevic@rt-rk.com).

V. Škobić, Istraživačko razvojni institut RT-RK, Narodnog Fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: 381-21-4801118; e-mail: velibor.skobic@rt-rk.com).

I. A. Rešetar, Istraživačko razvojni institut RT-RK, Narodnog Fronta 23a, 21000 Novi Sad, Srbija (telefon: 381-21-4801172; e-mail: ivan.resetar@rt-rk.com).

senzora pritiska kočnice i gasa, senzora obrtaja remenice, detekcija brzine obrtaja točkova itd.) da bi na verodostojan način oponašali stanje vozila a dalje uz pomoć DL (Data Logger) vrše prikupljanje i validaciju parametara sistema koji se ispituje. Na tržištu i u industrijskoj praksi već postoje odgovarajući veoma složeni ispitni sistemi za upravljačke jedinice (ECU), kakarakteristični po tome da su integrisani u poslovna i razvojna okruženja i dokazani u upotrebi. Njihov nedostatak se u kontekstu opisanog razvoja sistema za autonomnu vožnu ogleđa u izostanku modula za pobudu sistema za mašinsku percepciju okoline, tj. generatora ispitnih vektora za do 10 kamera istovremenijm i sinhronizovanim signalima ekvivalentnim onima iz realnog saobraćaja.

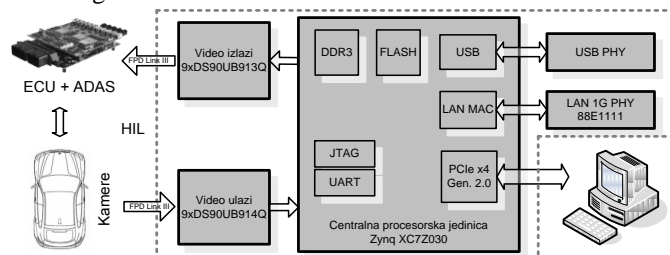
Detaljnim proučavanjem postojećih sistema za testiranje u auto industriji zaključeno je da dodatni sistem za testiranje mora da ispuni tri zadatka. Prvi zadatak je da sistem ima mogućnost snimanja ispitnih vektora. U ovom slučaju ispitni vektori su video sadržaj koji se dobija sa kamera prostorno raspoređenih na vozilu. Drugi zadatak sistema je reprodukcija ispitnih vektora koji su prethodno snimljeni kao i treći zadatak paralelnog izvršavanja snimanja i reprodukcije videa.

Metoda testiranja koja najverodostojnije opisuje okruženje u kom se sistem testira je metoda crne kutije. Uređaj koji testira sistem ima za zadatak da na osnovu postojećih senzora automobila prikupi “žive” informacije tokom vožnje a kasnije, za svrhe ispitivanja, reprodukuje iste i oponaša stanje saobraćaja. Ovim mehanizmom se znatno ubrzava proces ispitivanja sistema koji pretenduje da postane deo opreme automobila. Uvođenjem ovakvog načina ispitivanja znatno se smanjuju troškovi i rizici pri sukcesivnim ponavljanjem testova obzirom da se ispitivanja vrše van saobraćaja.

U ovom radu predstavljena je arhitektura višekanalnog video uređaja za simultano preuzimanje i reprodukciju video sadržaja pod nazivom ADAS Grabber. Pored RT-AV100 [2] i RT-AV4k [3] ovo je još jedan ispitni uređaj koji pripada paleti uređaja BBT okvira koji se u paraleli razvijaju na Institutu RT-RK. Uređaj ADAS Grabber omogućava prikupljanje a ujedno i reprodukciju video signala 9 kamera koje su prostorno raspoređene na vozilu. Takođe, podržava prenos podataka (video signala) velikim brzinama putem PCIe interfejsa kao i upravljanje samim uređajem putem 1G Ethernet veze.

II. ARHITEKTURA VIDEO GREBERA

Arhitektura ADAS Grabber uređaja prikazana je na Sl. 1. Uređaj se povezuje na ispitivanu jedinicu kolekcijom koaksijalnih FPD Link III kablova za prijem i reprodukciju video signala.



Sl. 1 Topologija ADAS Grabber uređaja

A. Video ulazi i izlazi

Prijemni stepen sadrži 9 video ulaza deserijalajzera

DS90UB914Q koji uz pomoć FPD Link III veze prenose video sadržaj sa postojećih 9 prostorno raspoređenih kamera koji se nalaze na šasiji vozila. Deserijalajzer podržava ulaz kamere rezolucije 1280x720 piksela pri osvežavanju 30/60Hz-a. Serijski zapakovane ulazne signale sa kamera deserijalajzer pretvara u paralelni interfejs koji se dalje putem 12-bitne magistrale sprovodi u centralnu procesorsku jedinicu. Stepenn za reprodukciju video signala se sastoji iz 9 video izlaza koji koriste 9 serijalajzera DS90UB913Q. Video podaci koji dolaze sa procesorske jedinice u serijalajzeru se konvertuju u serijske pakete i šalju prema sistemu koji se ispituje. Ujedno, podaci koji dolaze sa deserijalajzera se mogu direktno proslediti serijalajzeru (Loop Through mode).

Konfiguracija sistema se vrši putem I2C komunikacije. Omogućena je I2C komunikacija za svaki serijalajzer i deserijalajzer pojedinačno. U slučaju kada se vrši inicijalizacija kamera od strane ispitne jedinice omogućena je “Pass Through” I2C komunikacija u oba smera na putanji ispitna jedinica ↔ serijalajzer ↔ deserijalajzer ↔ kamera za svih 9 kanala. Takođe, zahvaljujući FPD Link III vezi koja pored video paketa prenosi i I2C komande za konfiguraciju, kamere je moguće konfigurisati nezavisno od ispitnog sistema. Pored video podataka i I2C komandi, putem FPD veze je moguće sinhronizovati rad kamera slanjem sinhronizacionog takta od strane ispitne jedinice ili opciono putem procesorske jedinice.

B. Zynq sistem

Centralna procesorska jedinica je realizovana u hibridnoj programabilnoj mreži Zynq XC7Z030, koja osim FPGA dela sadrži i prefabrikovan dvojezgarski procesor ARM® Cortex™-A9. Procesor je namjenjen za inicijalizaciju, kontrolu i sinhronizaciju modula realizovanih u FPGA i već fabrikovanih, kao i za komunikaciju sa ispitnim okruženjem, najčešnje PC računarnom preko USB, PCIe i 1Gb/s LAN sprege. Za prenos signala sa većim brzinama korsiti se PCIe interfejs generacije 2 sa četiri lejna (Gen. 2.0 PCIe x4). PCIe omogućava direktnu vezu sa računarnom preko PCIe slota na matičnoj ploči računara. Na ovaj način obezbeđen je prenos podataka brzinom 16Gb/s, što omogućava kontinualan prenos video signala visoke rezolucije bez kompresije i skaliranja. Fizički nivo Ethernet komunikacije definiše kolo (PHY) MARVELL 88X3220. USB PHY kao i ETH PHY opciono služe za upravljanje sistemom. Na Sl. 2 je prikazan izgled prototipa ADAS Grabber ploče.

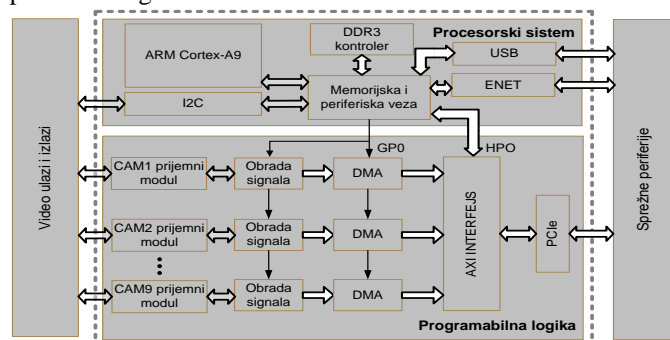


Sl. 2 Prototip ADAS Grabber ploče

Programska podrška ugrađena u uređaj, odnosi se na softver koji se izvršava na ARM Cortex-A9 procesoru, podrazumeva konfiguraciju integrisanih kola za prijem i reprodukciju video signala (DS90UB914Q i DS90UB913Q),

podešavanje periferija unutar samog Zynq kola za rad sa različitim rezolucijama i brzinama, kao i definisanje posebnog protokola za razmenu podataka sa aplikacijom na računaru. Da bi se obezbedila što bolja kontrola periferija i veća pouzdanost pri radu, aplikacija na procesoru se izvršava na real-time operativnom sistemu FreeRTOS. Takođe, definisana je programska podrška na računaru koja obuhvata rukovodioce radom uređaja (PCIe, LAN i USB periferija), module za spregu sa sistemskim okvirom BBT [4][5] za preuzimanje predefinisanih konfiguracija, ispitnih planova i scenarija, i prosleđivanje rezultata ispitivanja, statusa, ili kompletnih preuzetih video sadržaja za egzekuciju ispitnih algoritama.

Struktura sistema na Zynq kolu prikazana je na Sl. 3. Sastoji se od dve celine: programabilne logike (FPGA) i procesorskog sistema.



Sl. 3 Zynq system

Za rad kola, unutar procesorskog sistema uključeni su sledeći moduli: tajmer, takt generator, DDR3 kontroler i I2C, USB, ENET (Gigabit MAC) periferije. Veza između programabilne logike i procesorskog sistema ostvarena je putem M_AXI_GP0 porta (*General Purpose Master AXI port*) i S_AXI_HP0 porta (*High Performance port*). Putem M_AXI_GP0 podešavaju se moduli definisani unutar programabilne logike dok S_AXI_HP0 port obezbeđuje prenos podataka od programabilne logike prema procesorskom sistemu. Teoretski maksimum prenosa podataka putem HP porta je 2.4[GB/s].

Programabilna logika se sastoji od 9 identičnih modula za prijem i reprodukciju video signala. U zavisnosti od izbora, moduli mogu da budu ulazni (izabrana opcija prikupljanje video signala) ili izlazni (izabrana opcija generisanje video signala). Svaki modul sadrži prijemni blok koji direktno komunicira sa prijemnim kolima (paralelni interfejs i I2S komunikacija). Priljeni podaci prosleđuju se putem AXI STREAM interfejsa prema modulu za obradu signala. Unutar modula za obradu signala implementirani su algoritmi za pretvaranje videa sa preplitanjem u video bez preplitanja, skaliranje videa, detekciju frejmova itd. Podaci se zatim prosleđuju do DMA modula koji preko AXI interfejsa upisuje podatke u DDR3 memoriju. Podatke iz memorije preuzima ENET DMA kontroler ili PCIe modul i prosleđuje ih dalje prema računaru. Teoretska maksimalna brzina prenosa podataka DDR3 kontrolera je 4.2[GB/s], za upis i čitanje, a kapacitet memorije je 1GB. Prenos podataka prema memoriji u toku rada odvija se preko jednog video interfejsa. Najveća brzina prenosa podataka se ostvaruje kada su istovremeno aktivni svi kamera moduli u maksimalnoj rezoluciji 1280x720 i brzini osvežavanja 60Hz bez obzira koja od opcija je

izabrana (reprodukcija ili snimanje videa). To znači da je maksimalna brzina protoka podataka po jednom kanalu 80MB/s ili 720MB/s svih 9 kanala.

III. ZAKLJUČAK

ADAS Grabber je jedinstvena platforma koja upotpunjuje dobro poznate načine testiranja u autoindustriji. Ovaj sistem je pogodan u razrađenim HIL testiranjima koje se odnose na deo sa mašinskom vizuelnom percepcijom. Pored toga što je dodatak BBT sistema otvoren je još jedan put koji doprinosi lakšem ispitivanju veoma složenih sistema autoindustrije.

ADAS Grabber je ispitni sistem koji je se lako prilagođava na razne vrste sistema sa mašinskom vizuelnom percepcijom jer omogućava paralelan rad sa sistemom koji ispitujemo koji podržava od 1 do 9 kamera. Podrška reprodukcije i snimanja ispitnih vektora je omogućena putem brzog interfejsa PCIe. U sledećim verzijama ovog sistema korak dalje bi predstavljao integraciju CAN magistrale putem koje bi ispitni sistem mogao da vrši validaciju ponašanja promene stanja vozila.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, na projektu tehnološkog razvoja broj TP 32014.

LITERATURA

- [1] International standard for functional safety of electrical and/or electronic systems in production automobiles ISO26262
- [2] Paunovic Nemanja, Kovacevic Jelena, Resetar Ivan; "A Methodology for Testing Complex Professional Electronic Systems"; Serbian Journal of Electrical Engineering; Vol: 9, Num. 01, p-p: 71-80, Serbian Journal of Electrical Engineering.
- [3] Velobor Škobić, Mladen Krbanjević, Ivan Rešetar; "Tehničko rešenje fizičke arhitekture audio i video grebera RT-AV4K"; Društvo za elektorniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku, ETRAN Jun 2016, sekcija RT2.4.
- [4] Katona Mihajlo, Kastelan Ivan, Pekovic Vukota, Teslic Nikola, Tekcan Tarkan; "Automatic black box testing of television systems on the final production line"; IEEE Transactions on Consumer Electronics; Vol: 57, Br: 1, p-p: 224-231.
- [5] Kordić Branislav, Lulić Darko, Peković Vukota, Kaštelan Ivan; "A Fast-shooting Video Grabbing System for Black Box Testing Based Frameworks"; 2nd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETAN), 8-11 Jun 2015, Srebrno jezero, Srbija.

ABSTRACT

ADAS Grabber is unique platform that completes well known ways of testing in auto industry. This system is suitable in widely used technique in HIL testing related on part with automotive machine vision systems. Besides BBT contribution, this system contributes to more easily testing of high complex system in automotive industry.

This testing equipment is allowed to be easy implemented on different types of machine vision systems since it provides multiple camera inputs/output from 1 to 9 cameras. Grabbing and playing test vectors is provided through fast PCIe interface. Step further will be to implement CAN bus support to enable test system to validate any action of vehicle state changing.

A platform for Hardware In the Loop Testing of Multicamera Automotive Machine Vision Systems

Mladen Krbanjević, Ivan Rešetar, Velibor Škobić