

MODELOVANJE I IMPLEMENTACIJA SISTEMA ZA POMOĆ PRI PARKIRANJU**MODELING AND IMPLEMENTATION OF THE PARKING ASSISTANCE SYSTEM**Mirjana Pavković, Ivan Kaštelan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je predstavljena implementacija sistema za pomoć pri parkiranju u vozilima. Opisana je implementacija algoritma za obradu ulaznih slika sa četiri kamere koji se sastoji od dva dela. Jedan deo predstavlja kalibraciju kamere, a drugi generisanje izlazne slike sa pogledom odozgo gde su korišćene različite operacije kao što su ispravljanje distorzije, transformacija perspektive i spajanje slika. Sistem takođe sadrži šest ultrasoničnih senzora pomoću kojih se proverava udaljenost prepreka u neposrednoj blizini vozila. Opisane su funkcije, moduli i softverske komponente sistema. Performanse algoritma su testirane pomoću Qt razvojnog okruženja.

Gljučne reči: sistem za pomoć pri parkiranju, ultrasonični senzori, kalibracija kamere, spajanje slika

Abstract – The paper presents the implementation of a parking assistance system in vehicles. The implementation of an algorithm for processing input images with four cameras, consisting of two parts, is briefly described. The first step is the calibration of the camera, while the next step is the generation of output images with surround view where various operations such as distortion correction, perspective transformation and image merging are used. The system also contains six ultrasonic sensors that check the distance of obstacles in the immediate vicinity of the vehicle. Functions, modules, and software components are described. Algorithm performance was tested using the Qt development environment.

Keywords: parking assistance system, ultrasonic sensors, camera calibration, perspective transformation

1. UVOD

Brzim napredovanjem tehnologije moderna vozila koriste različite napredne sisteme za pomoć vozačima (eng. *Advanced Driver Assistance System, ADAS*) sa ciljem da im omoguće što bezbedniju i udobniju vožnju. Jedan od takvih sistema jeste sistem koji pomaže vozaču pri parkiranju i tokom vožnje. Ulazni deo sistema se sastoji od senzora i senzorskih softverskih komponenti. Skup senzora čine kamere i ultrasonični senzori. Ovaj sistem se sastoji od 4 širokougaone kamere pomoću kojih se generiše slika pogleda odozgo (eng. *Top View*). Sistem takođe sadrži 6 ultrasoničnih senzora pomoću kojih se proverava udaljenost prepreka u neposrednoj blizini vozila.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ivan Kaštelan, vanr. prof.

1.1. Pregled literature

Postoje razna rešenja generisanja slike sa pogledom odozgo koja koriste različite tehnike u koje spadaju distorzija, spajanje slika i tehnike koje se odnose na različitost boja na samoj slici. U radu [1] autori su u svom rešenju koristili geometrijsko i fotometrijsko poravnanje i sintezu složenog pogleda. U radu [2] koristi se QR kod koji se naziva Apriltag i koristi se za računanje matrice kako bi se dobio pogled iz ptičije perspektive. Veći QR kodovi su postavljeni u centar kamere na pod i služe za izračunavanje homografske matrice, a manji QR kodovi su postavljeni na mesta gde bi trebalo da se spoje susedne slike.

2. TEORIJSKE OSNOVE

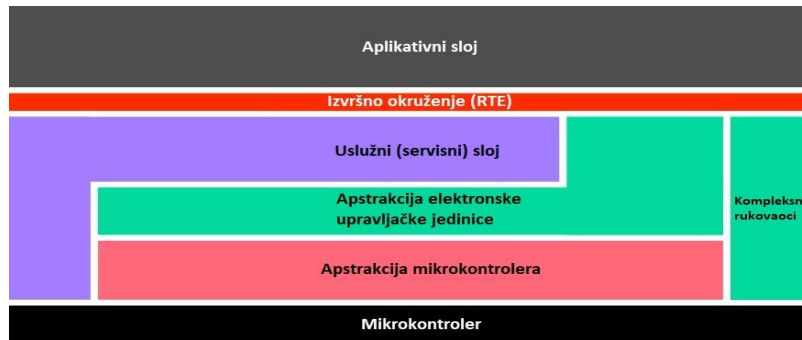
Implementacija čitavog projekta je rađena po AUTOSAR standardu. AUTOSAR predstavlja globalno partnerstvo vodećih kompanija u automobilske industriji koje je osnovano 2003. godine radi stvaranja standarda za izradu softvera i elektronskih komponenti [3].

2.1. Arhitektura AUTOSAR standarda

U prošlosti softver i hardver elektronskih upravljačkih jedinica (eng. *Electronic Control Unit, ECU*) bili su vrlo usko povezani. Unapređenjem sistema i razvojem tehnologije javila se potreba za razvoj elektronskih upravljačkih jedinica. Uvođenjem standardizovanog sloja (eng. *Standardized Middleware*) između softvera i hardvera je dovelo do nezavisnog razvijanja i implementacije softvera od hardvera. AUTOSAR arhitektura, prikazana na slici 1., obuhvata [3]:

- Aplikativni sloj,
- Osnovni softver (eng. *Basic Software*),
- Izvršno okruženje (eng. *Real Time Environment*),
- Mikrokontroler.

Aplikativni sloj se sastoji od softverskih komponenti (eng. *Software Component, SWC*) čija je uloga izvršavanje posebnih funkcionalnosti za koje se modelovani sistem izrađuje. Preko izvršnog okruženja, softverske komponente obavljaju interakciju sa ostatkom sistema usled čega su nezavisne od elektronske upravljačke jedinice na kojoj se izvršavaju. Osnovni softver pruža pristup resursima softverskih komponenti koji su neophodni za njihovo pravilno funkcionisanje i obuhvata: uslužni sloj, apstrakciju elektronske upravljačke jedinice, apstrakciju mikrokontrolera i kompleksne rukovaoce. Softverske komponente imaju dobro definisane priključke (eng. *ports*) pomoću kojih komuniciraju sa drugim komponentama. Kako bi se definisali podaci koji su obezbeđeni ili zahtevani od strane priključka komponente, predstavljene su AUTOSAR sprege. Sprege mogu biti [3]:



Slika 1. AUTOSAR arhitektura

- Klijent / Server (eng. *Client/Server, C/S*),
- Pošiljalac / Primalac (eng. *Sender/Receiver, S/R*).

3. KONCEPT REŠENJA

3.1. Princip rada sistema

Na ulaz u algoritam dolaze četiri slike čijim spajanjem i obradom nastaje konačna slika koja predstavlja izlaz iz sistema. Zahvaljujući ultrasoničnim sensorima su pokriveni svi pravci kretanja vozila i samim tim je smanjena opasnost od udara u neku prepreku na putu.

Tabela 1. Grafičke komponente upozorenja

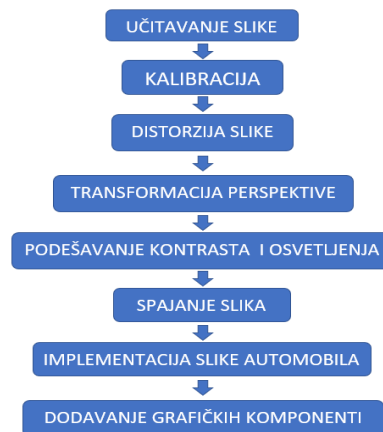
Udaljenost	Reakcija
Veća od 2 m	Bez upozorenja
Između 1 m i 2 m	Zelena boja
Između 0,5 m i 1 m	Žuta boja
Manja od 0,5 m	Crvena boja

Postoje tri senzora sa prednje strane vozila i tri senzora sa zadnje strane. Obrada podataka sa ultrasoničnih senzora podrazumeva proveru udaljenosti detektovane prepreke pomoću određenog senzora i generisanje odgovarajućeg upozorenja u slučaju unapred definisane udaljenosti prepreke. Grafičke komponente mogu biti zelene, žute ili crvene boje, a njihovo značenje je prikazano u tabeli 1.

3.2. Koraci algoritma

Pre modelovanja sistema implementiran je algoritam, čiji je blok dijagram prikazan na slici 2., gde se vrši obrada ulaznih slika sa četiri kamere kao i obrada podataka sa ultrasoničnih senzora u odnosu na udaljenost vozila od prepreke. Prvi korak predstavlja učitavanje slike koja treba da se obradi. Na samom početku obrade vrši se geometrijsko poravnanje što obuhvata kalibraciju slike. Implementirana je kalibracija zasnovana na uzorcima, a to znači da su korišćene slike na kojima se nalazi šahovska tabla, jer ima dobre rubove. Na osnovu ovih uzoraka određeni su koeficijenti koji se koriste kasnije za ispravljanje distorzije na slikama. Za sve kamere je posebno urađena kalibracija, jer kamere nemaju isto izobličenje, tako da postoje različiti koeficijenti. U narednom koraku je izvršena distorzija slike kojom se kao rezultat dobija horizontalna slika bez zakrivljenja. Na slikama koje se dobijaju sa ovih kamera postoji radijalna distorzija koja se naziva „*Barrel*” distorzija.

Nakon što je ispravljena distorzija na slici na redu je i transformacija perspektive gde se dobija pogled na sliku iz ptičije perspektive. Nakon toga sledi fotometrijsko poravnanje koje obuhvata podešavanje kontrasta i osvetljenja na slici, kako bi se uklopile boje sa sve četiri slike pre samog spajanja. Spajanje slika predstavlja preklapanje zajedničkih piksela na slikama koje su susedne. Nakon što je slika spojena naredni korak je dodavanje slike automobila na spoenu sliku. Poslednji korak obuhvata dodavanje grafičkih komponenti u zavisnosti od udaljenosti vozila od prepreke.



Slika 2. Blok dijagram algoritma

3.3. Model sistema

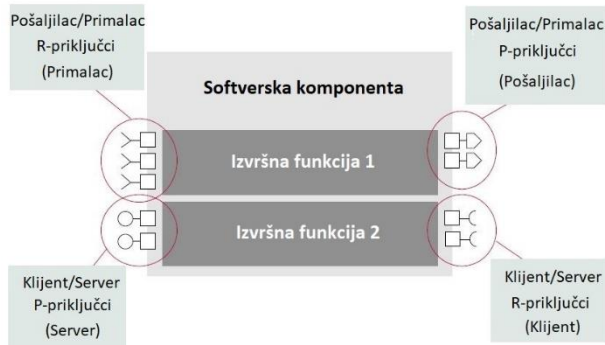
Modelovanje sistema uključuje definisanje tipova svih sprega između komponenti i određivanje tipova podataka koje komponente međusobno razmenjuju. Za svaku softversku komponentu se definiše njen tip, tipovi priključaka, broj i vrsta izvršnih funkcija (eng. *runnable*) i okidači za izvršavanje izvršnih funkcija (eng. *trigger*). Takođe nakon osmišljavanja modela i kreiranja izvršnih funkcija potrebno ih je mapirati odnosno povezati na određene zadatke (eng. *task*) koji će izvršavati. Ulazni deo sistema se sastoji od senzora i softverskih komponenti za obradu signala sa senzora koji obuhvataju šest ultrasoničnih senzora i četiri kamere, dok izlazni deo čini multimedija na koju dolazi izlazna slika koja čini četiri spojene slike.

Za razvoj softvera je korišćen *DaVinci Developer* softverski alat koji je namenjen za projektovanje arhitekture softverskih komponenti prema *AUTOSAR* standardu. Takođe korišćen je *DaVinci Configurator* softverski alat za podešavanje i generisanje sloja osnovnog softvera i izvršnog sloja. Za potrebe prevodenja

programskog koda kao i pisanja samog algoritma korišćen je softverski alat *Visual Studio* u C i C++ programskim jezicima.

4. PROGRAMSKO REŠENJE

Model sistema se sastoji od softverske komponente koja predstavlja sloj za apstrakciju hardverskih komponenti, od senzorskih i aktuatorskih softverskih komponenti i aplikativnih softverskih komponenti. Svaka od ovih softverskih komponenti sadrži izvršne funkcije koje sadrže operacije koje se pokreću na osnovu mehanizma okidača ili u određenom vremenskom periodu. Na slici 3. je prikazan šematski prikaz softverske komponente sa priključcima:



Slika 3. *Softverska komponenta sa priključcima*

U okviru ovih izvršnih funkcija se vrši obrada učitanih slika koje se dobijaju sa kamera koje se nalaze na vozilu. Učitane slike su zakrivljene (eng. *Fish-eye*) i potrebno ih je ispraviti. Za obradu slika korišćena je *OpenCV* (eng. *Open Source Computer Vision*) biblioteka napisana u C++ programskom jeziku.

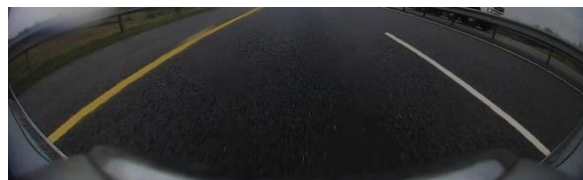
Prvi korak je kalibracija kamere koja predstavlja proces estimacije parametara kamere. Na početku je potrebno generisati matricu (1) gde su f_x i f_y fokalne dužine po x-osi i y-osi, a c_x i c_y su koordinate optičkog centra na slici.

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Sledeći korak je metoda *getOptimalNewCameraMatrix*. Sada kada postoji matrica kao i koeficijenti distorzije, pre same metode koja uklanja distorziju slike koristi se ova metoda kako bi uklonila crne piksele koji su višak na slici kada na primer postoji radijalna distorzija. Nakon toga se koristi *undistort* metoda koja uklanja distorziju slike. Primer ulaza u metodu je slika 4., a primer izlaza je slika 5. Kao ulazne parametre prima koeficijente distorzije, korigovanu matricu dobijenu prethodnom metodom i na izlazu daje sliku bez distorzije. Za svaku sliku su različiti: matrica i koeficijenti distorzije, jer sa svaku kameru postoji različit ugao vidnog polja. Nakon uklanjanja distorzije sa slike red je da se uradi transformacija perspektive. Potrebno je odrediti četiri početne koordinate na slici i četiri koordinate na osnovu kojih želimo da promenimo perspektivu slike. U sklopu *OpenCV* biblioteke se nalazi metoda *getPerspectiveTransform* koja prima kao parametre ove koordinate i računa 3x3 matricu perspektive koju koristi metoda *warpPerspective* i transformiše početnu sliku u željenu perspektivu.

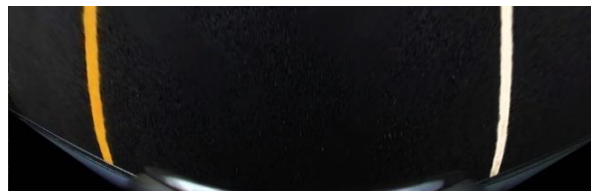


Slika 4. *Zakrivljena slika sa prednje kamere*



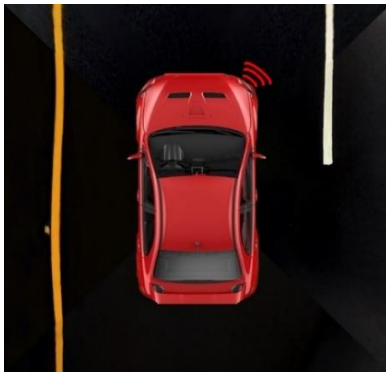
Slika 5. *Slika bez distorzije*

Sledeći korak je promena osvetljenja i kontrasta na slici. Inicijalizuju se parametri alfa i beta. Parametar alfa određuje jačinu kontrasta, a beta jačinu osvetljenja na slici. Kako bi ovo bilo uspešno izvršeno potrebno je proći kroz svaki piksel na slici. Pošto su ovde u pitanju BGR slike, postoje 3 vrednosti po svakom pikselu (plava, zelena i crvena), a potrebno je pristupiti svakom pikselu pojedinačno. Što su manji parametri alfa i beta, biće manji kontrast i manja osvetljenost. Takođe, koristi se i gama korekcija koja smanjuje efekte saturacije koji se pojavljuju na slici upotrebom različitih vrednosti alfa i beta parametara. Rezultat ovog koraka je prikazan na slici 6.



Slika 6. *Promena perspektive i promena kontrasta i osvetljenja na slici sa prednje kamere*

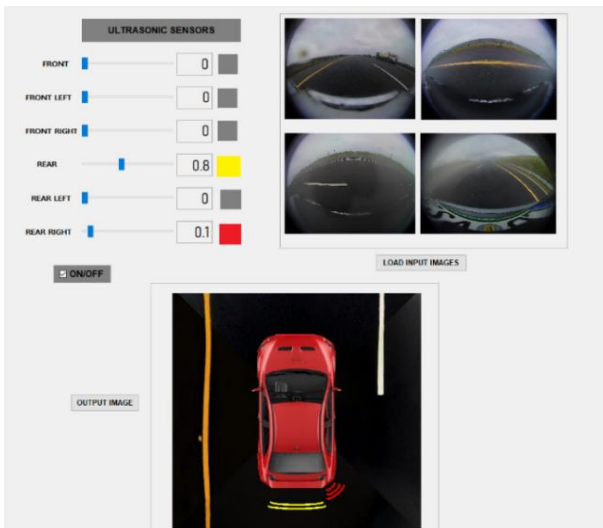
Obradene slike su dimenzija 370x960 (sa prednje i zadnje kamere) i 960x370 (sa leve i desne kamere). Zbog datih dimenzija formirana je nova slika dimenzije 960x960. Svaka slika ima površinu koja se preklapa sa susednom slikom, zato je potrebno proći kroz svaki piksel kako bi se odredila granica na kojoj se spajaju dve susedne slike. Nakon što se spoje slike, potrebno je dodati i sliku automobila. Pošto slike nisu potpuno iste boje, potrebno ih je dodatno obraditi kako bi se videla što manja razlika prilikom spajanja. Nasumično su birani pikseli od obe slike koje se porede i izvršeno je oduzimanje piksela po njegovim vrednostima (B, G i R). Na kraju se računa srednja vrednost razlika vrednosti piksela kako bi se dobila što približnija boja piksela koja se ne razlikuje od piksela na susednoj slici. U zavisnosti od udaljenosti vozila od prepreke na slici će se pojavljivati grafičke komponente različite boje. Za iscrtavanje linija na slici korišćena je ugrađena funkcija *ellipse* koja se nalazi u sklopu *OpenCV* biblioteke. Primer rezultata ovog koraka je prikazan na slici 7.



Slika 7. Izlazna slika kada je aktiviran prednji desni senzor

5. TESTIRANJE I REZULTATI

Kada je modelovanje završeno i programski kod implementiran u izvršne funkcije, izvršeno je testiranje čitavog sistema pomoću Qt grafičkog okruženja.



Slika 8. Grafičko okruženje za korisnika

Na slici 8 se nalazi aplikacija za testiranje rada sistema u Qt grafičkom okruženju. Pomeranjem horizontalnih slajdera može da se simulira udaljenost vozila od prepreke. Kao što je već napomenuto ranije na izlazu iz sistema može da se vidi slika automobila sa grafičkim komponentama određene boje (crvena, zelena ili žuta). U gornjem levom uglu na slici se nalaze slajderi koji predstavljaju ultrasonične senzore u sistemu. Pored slajdera tu se nalazi i labela u kojoj se ispisuje udaljenost, kao i labela koja prikazuje boju u zavisnosti od udaljenosti.

U prvom koraku potrebno je učitati ulazne fotografije pritiskom na taster *LOAD INPUT IMAGES*. Nakon toga, potrebno je pomeranjem slajdera simulirati poziciju prepreke kako bi se testirao sistem. Nakon toga potrebno je pritisnuti taster *OUTPUT IMAGE* i na izlaz dolazi spojena slika sa grafičkim komponentama u skladu sa parametrima koji su podešeni ranije. Kao što može da se vidi na slici 8 aktivirani su senzori sa zadnje strane pomeranjem slajdera za senzor u sredini i za senzor sa desne strane vozila. Pretpostavlja se da je prepreka udaljena od senzora u sredini 0.8 m (grafička komponenta je žute boje), a 0.1 m od desnog senzora sa zadnje strane vozila (grafička komponenta je crvene boje).

Tabela 2. Testni slučajevi

Testni slučaj	Prednji senzor	Prednji levi senzor	Prednji desni senzor	Zadnji senzor	Zadnji levi senzor	Zadnji desni senzor	Vreme izvršavanja algoritma
1.	Aktivan	/	/	/	/	/	6.13s
2.	Aktivan	Aktivan	/	/	/	/	6.19s
3.	Aktivan	Aktivan	Aktivan	/	/	/	6.49s
4.	/	/	/	Aktivan	Aktivan	Aktivan	6.45s
5.	/	/	/	Aktivan	/	/	6.15s
6.	/	/	/	Aktivan	Aktivan	/	6.24s
7.	/	/	/	Aktivan	/	Aktivan	6.21s

U tabeli 2 može se videti prikaz različitog vremena izvršavanja algoritma u zavisnosti od toga koliko ultrasoničnih senzora je aktivirano. Povećavanjem broja aktiviranih senzora, izvršavanje algoritma će duže trajati.

6. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada predstavljeno je jedno od mogućih rešenja za generisanje slike sa pogledom odozgo i na prostor oko vozila simulirajući rad šest ultrasoničnih senzora i primajući podatke sa četiri kamere u skladu sa *AUTOSAR* standardom što omogućuje jednostavniju implementaciju u veće sisteme. Ovaj rad bi se mogao unaprediti primenom nekih dodatnih koraka kako bi se skroz uklonili vidljivi nedostaci. Ti koraci uključuju generisanje preciznijeg procesa kalibracije kako se na ulaznim slikama nakon toga ne bi primetile horizontalne i vertikalne devijacije. Takođe celo rešenje bi se moglo unaprediti tako što bi umesto slika na izlazu iz sistema postojao video zapis koji prikazuje kretanje vozila u realnom vremenu, kao i prostor oko njega. Naravno, to bi povećalo kompleksnost sistema zbog dodavanja novih softverskih i hardverskih komponenti što bi dovelo do porasta cene i količine vremena potrebnih za realizaciju sistema. Poboljšanje kvaliteta ovog sistema kao i sam sistem sa kamerama i ultrasoničnim sensorima dovodi bezbednost za vozače na viši nivo čemu se svakako i teži.

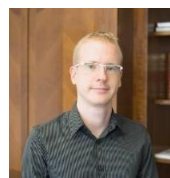
7. LITERATURA

- [1] B. Zhang, V. Appia, I. Pekkucuksen, A. U. Batur, P. Shastry, S. Liu, S. Sivasankaran, K. Chitnis, "A surround view camera solution for embedded systems," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Columbus, OH, USA, 2014, pp. 676-681.
- [2] W. Yong, Q. Chen, "A Robust Method for Detecting Parking Areas in Both Indoor and Outdoor Environments", Sensors 18, no. 6: 1903, 2018.
- [3] *AUTOSAR*, <https://www.vector.com/int/en/know-how/autosar/autosar-classic/#c100477> (pristupljeno 10.02.2022.)

Kratka biografija:



Mirjana Pavković rođena je u Somboru 1997. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Automatika i upravljanje sistemima obranila je 2020. godine
kontakt:
pavkovicmirjana@hotmail.com



Ivan Kaštelan rođen je u Beogradu, 1985. godine. Doktorsku disertaciju na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarska tehnika i računarske komunikacije odbranio je 2014. godine.
Kontakt: ivan.kastelan@rt-rk.uns.ac.rs