



REGISTRI U SAVREMENIM DIGITALNIM SISTEMIMA I PAMETNIM GRADOVIMA

Studentski rad

Siniša Andrijević

Student prvog ciklusa studija

Alfa BK Univerzitet, Fakultet informacionih tehnologija

Beograd, Srbija

main@sinisaandrijevic.com

Sažetak: Registri predstavljaju osnovne memorijske komponente digitalnih sistema, namenjene brzom privremenom skladištenju i manipulaciji binarnih podataka tokom izvršavanja operacija. Zbog svoje brzine i neposredne povezanosti sa procesorskim jedinicama, imaju ključnu ulogu u obezbeđivanju efikasnosti, pouzdanosti i determinističkog ponašanja sistema. Njihova primena je posebno izražena u mikroprocesorskim, ugrađenim (embedded) i distribuiranim sistemima, gde je neophodna obrada velike količine podataka u realnom vremenu. U kontekstu pametnih gradova, registri predstavljaju neizostavan element digitalne infrastrukture, jer omogućavaju efikasnu obradu podataka prikupljenih sa senzora, aktuatora i upravljačkih jedinica. Ovakvi sistemi zahtevaju visoku brzinu obrade, nisko kašnjenje i pouzdano funkcionisanje, što dodatno naglašava značaj registara u memorijskoj hijerarhiji. U radu se razmatra arhitektura registara, njihove funkcionalne karakteristike i tipične implementacije, kao i savremeni trendovi njihove primene u inteligentnim urbanim sistemima, sa posebnim akcentom na autonomna, adaptivna i energetska rešenja.

Ključne reči: registri; sekvencijalna logika; mikroprocesori; embedded sistemi; IoT; pametni gradovi

I. UVOD

Digitalni sistemi predstavljaju osnovu funkcionisanja savremenih tehnoloških rešenja u oblastima informaciono-komunikacionih sistema, industrijske automatike, saobraćaja i urbane infrastrukture.

Njihov rad zasniva se na brznoj i pouzdanoj obradi informacija, uz minimalno kašnjenje i visok stepen stabilnosti. Razvoj mikroelektronike i integrisanih kola omogućio je projektovanje složenih sistema u kojima se veliki broj funkcionalnih blokova integriše u jedinstvene arhitekture visokih performansi.

U okviru ovih arhitektura, memorijska hijerarhija ima ključnu ulogu, pri čemu registri predstavljaju njen najbrži i najneposredniji nivo. Omogućavaju direktan pristup podacima unutar procesorske jedinice, čime se značajno smanjuje vreme izvršavanja operacija. Registri se koriste za privremeno skladištenje operanada, rezultata i kontrolnih informacija, a njihova organizacija direktno utiče na performanse i determinističko ponašanje sistema.

U sistemima pametnih gradova, obrada podataka sa velikog broja senzora i upravljačkih jedinica mora se

odvijati u realnom vremenu. Registri omogućavaju efikasno upravljanje tokovima podataka i realizaciju autonomnih i adaptivnih sistema, doprinoseći optimizaciji saobraćaja, energetske resurse i bezbednosnih rešenja. Zbog toga razumevanje arhitekture i uloge registara predstavlja važan korak u projektovanju inteligentnih urbanih sistema.

II. TEORIJSKE OSNOVE, ARHITEKTURA I VRSTE REGISTARA

Registri predstavljaju fundamentalne memorijske elemente savremenih digitalnih sistema i mogu se definisati kao sekvencijalna digitalna kola sastavljena od grupe flip-flopova, pri čemu svaki flip-flop skladišti jedan bit informacije. Grupisanjem većeg broja flip-flopova dobija se n-bitni registar sposoban da čuva, prosleđuje i transformiše višebitne binarne podatke. U praktičnim sistemima, registri su projektovani tako da obezbede sinhronizovan rad (najčešće na ivicu takta), što omogućava pouzdano i determinističko upravljanje podacima u vremenski kritičnim procesima. Zbog toga su registri neizostavni u procesorskim arhitekturama,



kontrolerima, komunikacionim modulima i brojnim ugrađenim sistemima.

A. Teorijske osnove registara (sekvencijalna logika i model stanja)

Teorijska osnova registara direktno je povezana sa teorijom sekvencijalnih kola, gde izlaz i interno stanje sistema zavise kako od trenutnih ulaza, tako i od prethodnog stanja. Za razliku od kombinacionih kola (kod kojih izlaz zavisi samo od trenutnih ulaza), sekvencijalna kola poseduju memorijsku komponentu, čime se uvodi koncept stanja. Registar se u tom smislu može posmatrati kao element koji "pamti" prethodne vrednosti i omogućava realizaciju vremenskih sekvenci i upravljačkih algoritama.

Najčešća implementacija registrara zasniva se na flip-flopovima tipa D, jer omogućavaju jednostavan i robustan mehanizam skladištenja: vrednost na ulazu D se "uzorkuje" na aktivnoj ivici takta i prenosi na izlaz Q. Ovakav princip je osnova sinhronih sistema, gde takt definiše jasne granice između faza obrade. Pored takta, važnu ulogu imaju i kontrolni signali poput enable (omogućavanje upisa), reset/clear (postavljanje u poznato početno stanje) i set (postavljanje na logičku jedinicu). Korišćenjem ovih signala registar postaje upravljiv element koji se može uključivati u složenije arhitekture kao što su datapath jedinice, kontrolne jedinice i memorijski interfejsi.

U praksi, teorijska analiza registara često se povezuje sa pojmovima kao što su vreme postavljanja (setup time), vreme zadržavanja (hold time) i propagaciono kašnjenje. Ovi parametri određuju pouzdanost uzorkovanja podataka i direktno utiču na maksimalnu radnu frekvenciju sistema. Ako se ne ispoštuju vremenska ograničenja, može doći do pogrešnog upisa ili pojave metastabilnosti, što je naročito kritično u real-time sistemima i distribuiranim okruženjima.

B. Arhitektura registara i principi dizajna

Arhitektura registara zavisi od ciljne primene i sistemskih zahteva. U mikroprocesorima i mikroarhitekturama visokih performansi, registri su integrisani u jezgro procesora i organizovani kao registarski fajl (register file), koji obezbeđuje veoma brz pristup operandima. Tipično, registarski fajl je povezan sa aritmetičko-logičkom jedinicom (ALU) i omogućava paralelno čitanje više registara i upis rezultata u jedan registar tokom jednog taktnog ciklusa. Ovakva organizacija je ključna za efikasno

izvršavanje instrukcija, smanjenje latencije i ostvarivanje visokog protoka (throughput).

U embedded sistemima i mikrokontrolerima, registri se često koriste kao memorijski mapirani registri (memory-mapped registers) koji služe za konfiguraciju periferija (tajmeri, UART, SPI, ADC, GPIO). U tom slučaju, registar nije "samo" element procesorske jedinice već i interfejs između softvera i hardvera: upisom određene vrednosti u registar inicira se konkretna hardverska funkcija (npr. podešavanje baud rate-a, izbor režima rada periferije, uključivanje prekida, izbor kanala ADC-a). Ovakav pristup omogućava modularnost i jednostavno upravljanje sistemom, ali zahteva pažljivo definisanje registre i bit-polja (bit-fields), uz jasno dokumentovane maske i značenja bitova.

Dizajn registara zahteva balansiranje tri ključna kriterijuma:

Brzina i performanse - registri moraju obezbediti minimalnu latenciju pristupa i stabilan rad pri ciljnoj frekvenciji.

Potrošnja energije - naročito u baterijskim i IoT uređajima, prevelik broj registara ili česta preklapanja signala povećavaju potrošnju; zato se primenjuju tehnike kao što su clock gating i optimizacija preklapanja signala.

Pouzdanost i robustnost - dizajn mora uzeti u obzir vremenska ograničenja, metastabilnost, EMC uticaje i rad u različitim uslovima okoline.

U velikim distribuiranim sistemima (npr. infrastruktura pametnog grada), registri se koriste kao ključni elementi unutar čvorova mreže (senzorskih jedinica, edge kontrolera, gateway uređaja). U takvim sistemima bitni su niska latencija, pouzdan prenos stanja i predvidivo ponašanje, jer se odluke često donose na osnovu vremenski osetljivih podataka (npr. adaptivna regulacija semafora, upravljanje potrošnjom energije, detekcija incidentnih situacija).

C. Vrste registara i tipične primene

U zavisnosti od funkcije i načina rada, razlikuje se više osnovnih tipova registara:

1) Paralelni registri (PIPO – Parallel-In Parallel-Out)
Paralelni registri omogućavaju istovremeni upis i čitanje svih bitova. Koriste se kada je potrebno brzo skladištenje i prosleđivanje celih reči (npr. 8-bit, 16-bit, 32-bit). Tipična primena je u procesorskim sistemima, bufferovanju rezultata ALU operacija, privremenom čuvanju podataka tokom pipeline faza i internim magistralama.

2) Serijski i pomerački registri (Shift registers - SISO/SIPO/PISO/PIPO)



Pomerački registri omogućavaju pomeranje bitova ulevo ili udesno po taktnim impulsima. Njihova vrednost je velika u komunikacionim i interfejs sistemima:

SISO (Serial-In Serial-Out) - serijski upis i serijski izlaz, koristi se za prosto kašnjenje/pomeranje podataka.

SIPO (Serial-In Parallel-Out) - serijski prijem, paralelni izlaz (npr. prijem serijskih podataka i pretvaranje u paralelni oblik).

PISO (Parallel-In Serial-Out) - paralelni upis, serijski izlaz (npr. slanje paralelnih podataka preko serijskog kanala).

Pomerački registri se koriste i za generisanje sekvenci, implementaciju jednostavnih množenja/deljenja sa 2 (bit shift), kodiranje/dekodiranje i proširenje ulazno/izlaznih portova.

3) Brojački registri (Counters)

Brojački registri se koriste za brojanje impulsa, merenje vremena, generisanje periodičnih događaja i sinhronizaciju. U praksi se pojavljuju kao binarni brojači (up/down), tajmeri i prescaler jedinice i modulo brojači.

Posebno su važni u real-time sistemima gde je potrebno precizno vremensko upravljanje, kao i u pametnim gradovima (na primer za merenje protoka saobraćaja, vremenska regulacija signalizacije, sinhronizacija događaja u mrežama senzora, ...).

4) Univerzalni registri i registri sa kontrolnim ulazima

U složenijim sistemima koriste se registri koji podržavaju više režima rada: paralelni upis, serijsko pomeranje, zadržavanje stanja, asinhroni/sinhroni reset. Ovakvi registri omogućavaju veću fleksibilnost i često se integrišu kao deo šire funkcionalne celine (na primer komunikacioni moduli i kontrolne jedinice).

5) Statusni i kontrolni registri (u procesorima i perifernim uređajima)

Ovo su registri koji ne služe samo za podatke već i za upravljanje: sadrže bitove koji predstavljaju stanje (na primer overflow, zero flag, interrupt pending) ili konfiguraciju (na primer enable/disable, režim rada, izbor izvora takta). U embedded sistemima ovi registri su ključni jer omogućavaju softversku kontrolu hardverskih funkcija.

Zbog svoje uloge u brzom skladištenju, sinhronizaciji i obradi podataka, registri predstavljaju ključnu vezu između teorije sekvencijalnih kola i praktičnog dizajna digitalnih sistema. Njihova arhitektura i izbor

tipa zavise od zahteva primene, od procesora visokih performansi do embedded sistema i distribuiranih čvorova u pametnim gradovima. Kvalitetan dizajn registara doprinosi većoj pouzdanosti, manjoj latenciji i efikasnijem upravljanju tokovima podataka.

III. REGISTRI U MIKROPROCESORSKIM SISTEMIMA

U mikroprocesorskim sistemima, registri predstavljaju osnovni mehanizam za brzo skladištenje i manipulaciju podacima tokom izvršavanja instrukcija. Koriste se za čuvanje operanada, adresa memorije, rezultata aritmetičko-logičkih operacija, kao i statusnih i kontrolnih informacija koje opisuju trenutno stanje procesora. Zbog neposredne povezanosti sa aritmetičko-logičkom jedinicom i kontrolnom logikom, pristup registrima ostvaruje se sa minimalnim kašnjenjem, što ih čini najbržim nivoom memorijske hijerarhije.

Efikasno korišćenje registara ima direktan uticaj na ukupne performanse mikroprocesora. Veći broj dostupnih registara omogućava zadržavanje podataka unutar procesorskog jezgra tokom dužeg vremenskog perioda, čime se smanjuje potreba za pristupom sporijim memorijskim nivoima, kao što su keš i glavna memorija. Ovo rezultira manjom latencijom izvršavanja instrukcija i povećanjem propusnosti sistema. Zbog toga savremene mikroarhitekture često implementiraju proširene registarske fajlove i sofisticirane mehanizme za raspodelu registara, kako bi se optimizovao tok podataka unutar procesora.

Pored opštih registara, mikroprocesori koriste i specijalizovane registre, kao što su programski brojač, statusni registri i kontrolni registri, koji omogućavaju upravljanje redosledom izvršavanja instrukcija, obradu prekida i sinhronizaciju sistema. U savremenim arhitekturama, kombinacija velikog broja registara i naprednih tehnika upravljanja omogućava postizanje visokih performansi uz očuvanje determinističkog ponašanja sistema, što je od posebnog značaja u real-time i embedded primenama.

IV. EMBEDDED SISTEMI I REGISTRI

U embedded sistemima, registri predstavljaju ključni interfejs između procesorske jedinice i hardverskih periferija. Kroz memorijski mapirane registre, procesor ostvaruje direktnu kontrolu nad radom senzora, aktuatora i komunikacionih modula, omogućavajući precizno podešavanje režima rada i efikasno upravljanje podacima. Ovakav pristup



omogućava jasnu i determinističku komunikaciju između softvera i hardvera, što je od presudnog značaja za stabilan rad ugrađenih sistema.

Registri u embedded sistemima često su organizovani u kontrolne, statusne i podatkovne registre, pri čemu svaki tip ima jasno definisanu funkciju. Kontrolni registri omogućavaju konfiguraciju perifernih jedinica, kao što su izbor radnog režima, brzina prenosa ili aktiviranje prekida, dok statusni registri obezbeđuju informacije o trenutnom stanju hardvera. Podatkovni registri služe za privremeno skladištenje ulaznih i izlaznih podataka, omogućavajući njihovu obradu u realnom vremenu. Ovakva struktura registara pojednostavljuje razvoj softvera i povećava pouzdanost sistema.

U pametnim uređajima i IoT sistemima, energetska efikasnost predstavlja jedan od ključnih zahteva. Registri omogućavaju implementaciju mehanizama za upravljanje potrošnjom energije, kao što su selektivno uključivanje periferija, podešavanje radnih frekvencija i prelazak u režime niske potrošnje. Efikasno korišćenje registara omogućava obradu podataka uz minimalnu potrošnju energije, čime se produžava radni vek uređaja i poboljšava ukupna održivost sistema. Zbog toga su registri centralni element dizajna embedded sistema, naročito u primenama pametnih gradova i autonomnih uređaja.

V. REGISTRI U PAMETNIM GRADOVIMA: DISTRIBUIRANI SISTEMI I OBRADA U REALNOM VREMENU

Internet of Things (IoT) predstavlja temeljnu tehnologiju na kojoj se zasnivaju savremeni pametni gradovi. IoT sistemi omogućavaju povezivanje velikog broja heterogenih uređaja, uključujući senzore, aktuatorske module, komunikacione čvorove i centralne upravljačke sisteme. Ovi uređaji kontinuirano prikupljaju podatke o stanju urbanog okruženja, kao što su saobraćajni tokovi, potrošnja energije, kvalitet vazduha, nivo buke i bezbednosni parametri. Obrada ovih podataka zahteva digitalne sisteme sposobne da reaguju u realnom vremenu, uz visok stepen pouzdanosti i energetske efikasnosti. U tom kontekstu, registri predstavljaju osnovni mehanizam za lokalno skladištenje, sinhronizaciju i obradu podataka unutar IoT čvorova.

IoT čvorovi u pametnim gradovima najčešće su zasnovani na embedded sistemima male potrošnje, koji uključuju mikrokontroler, senzorske interfejsne i komunikacione module. U takvim sistemima, registri služe kao primarni interfejs između procesora i

fizičkog sveta. Ulazni registri se koriste za prihvatanje podataka sa senzora, dok izlazni i kontrolni registri omogućavaju upravljanje aktuatorima i komunikacionim funkcijama. Ovakva organizacija omogućava brzu reakciju sistema bez potrebe za stalnim pristupom spoljnim memorijskim jedinicama. Na edge nivou, gde se podaci obrađuju neposredno blizu mesta njihovog nastanka, registri imaju ključnu ulogu u filtriranju i preliminarnoj obradi podataka. Na primer, u sistemima za nadzor saobraćaja, senzorski čvorovi kontinuirano prate gustinu vozila i stanje signalizacije. Registri omogućavaju privremeno skladištenje merenja, poređenje sa prethodnim vrednostima i donošenje lokalnih odluka, kao što je prilagođavanje trajanja zelenog svetla. Ovakav pristup značajno smanjuje latenciju sistema i opterećenje centralne infrastrukture.

Jedna od najznačajnijih primena registara u pametnim gradovima jeste oblast nadzora i bezbednosti. Sistemi za video-nadzor, detekciju pokreta, kontrolu pristupa i praćenje kritične infrastrukture oslanjaju se na veliki broj senzora i kamera koji generišu ogromne količine podataka. U ovim sistemima, registri se koriste za upravljanje tokovima podataka unutar procesorskih jedinica, kao i za čuvanje statusnih informacija o radu senzora i komunikacionih kanala.

U realnim sistemima, registri omogućavaju implementaciju mehanizama za brzo reagovanje na incidentne situacije. Na primer, u slučaju detekcije neovlašćenog pristupa ili sumnjivog ponašanja, statusni registri se ažuriraju u realnom vremenu i iniciraju dalje akcije, kao što su aktiviranje alarma, obaveštavanje centralnog sistema ili preusmeravanje video toka ka analitičkim modulima. Pouzdanost i determinističko ponašanje registara u ovakvim aplikacijama od presudnog su značaja, jer kašnjenja ili greške mogu dovesti do ozbiljnih bezbednosnih posledica.

Pametni saobraćajni sistemi predstavljaju jedan od najrazvijenijih segmenata pametnih gradova. Ovi sistemi integrišu podatke sa saobraćajnih senzora, kamera, semafora i vozila, kako bi optimizovali protok saobraćaja i smanjili zagušenja. Registri u ovim sistemima služe za lokalno skladištenje informacija o trenutnom stanju saobraćaja, kao i za upravljanje algoritmima adaptivne regulacije.

U distribuiranim saobraćajnim čvorovima, registri omogućavaju paralelnu obradu više tokova podataka, kao što su detekcija vozila, merenje brzine i analiza gustine saobraćaja. Ovakav pristup omogućava



donošenje odluka u realnom vremenu, bez oslanjanja isključivo na centralne sisteme. Registri tako postaju ključni element koji povezuje teorijske modele upravljanja sa praktičnom implementacijom inteligentnih saobraćajnih rešenja.

U pametnim energetskim sistemima, registri imaju važnu ulogu u nadzoru i upravljanju potrošnjom energije. Pametne mreže koriste veliki broj senzora i mernih uređaja za praćenje potrošnje, napona i frekvencije u realnom vremenu. Registri omogućavaju lokalno skladištenje merenja i njihovu brzu analizu, što je neophodno za stabilan rad mreže i brzo reagovanje na promene opterećenja.

Registri se koriste i za implementaciju kontrolnih algoritama koji upravljaju uključivanjem i isključivanjem potrošača, balansiranjem opterećenja i integracijom obnovljivih izvora energije. Efikasno upravljanje registarskim strukturama omogućava smanjenje gubitaka, povećanje energetske efikasnosti i poboljšanje pouzdanosti sistema. U pametnim gradovima, ovakvi mehanizmi direktno doprinose održivosti i racionalnom korišćenju resursa.

IoT uređaji u pametnim gradovima često rade u uslovima ograničenih energetskih resursa, što nameće stroge zahteve u pogledu potrošnje energije. Registri projektovani sa fokusom na nisku potrošnju omogućavaju implementaciju režima rada sa smanjenom potrošnjom, kao što su režimi spavanja, selektivno aktiviranje periferija i dinamičko upravljanje taktom. Ove tehnike omogućavaju produženje životnog veka baterijskih uređaja i smanjenje ukupne potrošnje energije na nivou grada. Efikasno korišćenje registara omogućava obradu podataka uz minimalan broj aktivnih komponenti, čime se dodatno smanjuje energetski otisak sistema. U velikim IoT mrežama, čak i male optimizacije na nivou registara mogu imati značajan kumulativni efekat na ukupnu energetsku efikasnost infrastrukture.

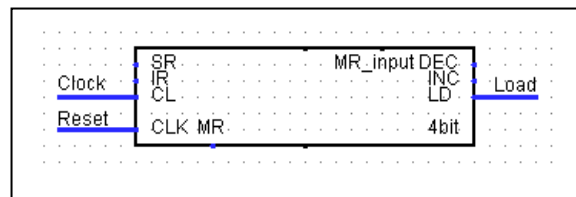
Pouzdanost registara direktno utiče na stabilnost i sigurnost IoT sistema pametnih gradova. U distribuiranim okruženjima sa hiljadama ili milionima uređaja, greške u radu pojedinačnih čvorova ne smeju dovesti do kolapsa sistema. Zbog toga se registri često projektuju sa mehanizmima za detekciju grešaka, redundanciju i kontrolu stanja.

Skalabilnost predstavlja dodatni izazov, jer IoT sistemi pametnih gradova moraju podržati stalno povećanje broja uređaja i količine podataka. Registri omogućavaju lokalnu obradu i agregaciju podataka, čime se smanjuje opterećenje centralnih sistema i

omogućava horizontalno širenje infrastrukture. Na taj način, registri postaju ključni element u realizaciji robusnih i skalabilnih IoT arhitektura.

Dalji razvoj registara usmeren je ka njihovoj integraciji sa naprednim edge i autonomnim sistemima, kao i ka podršci za veštačku inteligenciju na nivou čvora. Očekuje se da će registri igrati sve značajniju ulogu u lokalnoj obradi podataka, omogućavajući brže i inteligentnije reakcije sistema bez potrebe za stalnom komunikacijom sa centralnim cloud servisima.

U kontekstu pametnih gradova, ovakav razvoj otvara mogućnost za realizaciju fleksibilnijih, otpornijih i energetski efikasnijih urbanih sistema. Registri, kao osnovni elementi digitalne memorije i upravljanja, ostaju ključna tačka na kojoj se susreću teorija digitalnih sistema i praktična realizacija inteligentnog urbanog okruženja.



Slika 1. Primer memory-mapped kontrolnog registra (4-bit)

Na slici je prikazan blok-dijagram 4-bitnog paralelnog registra sa jasno označenim kontrolnim signalima (clock, load i reset). Ovakav registar se može koristiti kao memory-mapped kontrolni registar u embedded sistemima za upravljanje semaforima.

Upisom vrednosti u registar, softver direktno upravlja stanjima izlaznih signala (crveno, žuto i zeleno svetlo), dok dodatni bit može definisati režim rada sistema.

VI. ZAKLJUČAK

Registri predstavljaju jedan od najznačajnijih elemenata savremenih digitalnih sistema, jer omogućavaju brzo skladištenje, sinhronizaciju i obradu podataka uz minimalno kašnjenje. Njihova pozicija na najnižem nivou memorijske hijerarhije čini ih ključnom vezom između teorije sekvencijalnih kola i praktične realizacije digitalnih sistema visokih performansi. Kroz rad je prikazano da arhitektura, organizacija i izbor tipa registara imaju direktan uticaj na efikasnost, pouzdanost i determinističko ponašanje sistema, kako u mikroprocesorskim i



embedded okruženjima, tako i u distribuiranim sistemima velikih razmera.

Poseban značaj registara dolazi do izražaja u kontekstu pametnih gradova i IoT sistema, gde se obrada podataka mora odvijati u realnom vremenu, uz visoke zahteve u pogledu skalabilnosti i energetske efikasnosti. Registri omogućavaju lokalnu obradu i filtriranje podataka na nivou IoT čvorova i edge uređaja, čime se smanjuje opterećenje centralnih sistema i komunikacionih mreža. Na taj način, oni predstavljaju osnovu za realizaciju autonomnih i adaptivnih sistema u oblastima pametnog saobraćaja, energetskih mreža, nadzora i bezbednosti.

Dalji razvoj digitalnih sistema i pametnih gradova nameće potrebu za još naprednijim registarskim strukturama, koje će biti integrisane sa edge computing arhitekturama i algoritmima veštačke inteligencije. U takvim sistemima, registri neće imati samo ulogu pasivnog skladišta podataka, već će postati aktivni elementi lokalnog odlučivanja i upravljanja. Može se zaključiti da registri ostaju

jedan od ključnih gradivnih elemenata digitalne infrastrukture budućih inteligentnih urbanih sistema.

VII. LITERATURA

- [1] Drajić, Pametni gradovi, Akademska misao, Beograd, 2018.: <https://akademska-misao.rs/wp-content/uploads/2021/07/Pametni-gradovi-pregled.pdf>
- [2] Pametni gradovi, FON e-lab objašnjenje koncepta i IoT primena: <https://elab.fon.bg.ac.rs/udzbenik-internet-inteligentnih-uredaja/pametni-gradovi/>
- [3] Pametni gradovi - dodatna PDF prezentacija: <https://www.scribd.com/presentation/679530950/Pametni-gradovi>
- [4] Internet of Things for Smart Cities: vision and reality:
- [5] IoT for Smart Cities - Seminar PDF (Zanella et al.)
- [6] Smart Cities Based on Internet of Things (IoT):
- [7] Smart Cities Based on IoT - A Review (IJETT) <https://ijettjournal.org/assets/year/2017/volume-48/number-8/IJETT-V48P275.pdf>

ZAHVALNICA

Autor izražava zahvalnost dipl. inž. elektronike i računarstva Luki Orlandiću na stručnoj pomoći, savetima i mentorskoj podršci tokom izrade ovog studentskog rada.

REGISTERS IN MODERN DIGITAL SYSTEMS AND SMART CITIES

Siniša Andrijević
(Student, first cycle of studies)
Alfa BK University, Faculty of Information Technology
Belgrade, Serbia
E-mail: main@sinisaandrijevic.com

Abstract: Registers are the fastest memory elements in digital systems, enabling low-latency temporary storage and deterministic data processing. They play a crucial role in microprocessor-based and embedded architectures, as well as in distributed IoT nodes where real-time processing of sensor and control data is required. In modern smart city infrastructures, registers support edge processing, peripheral configuration, and reliable state management in applications such as traffic control systems, energy monitoring platforms, and urban security solutions. This paper presents an overview of register structures and their functional role in digital systems, with emphasis on performance optimization, reliability, and scalability. The analysis shows that efficient register utilization significantly contributes to reduced latency, faster data handling, and stable operation of complex digital environments, making registers a fundamental component in the implementation of smart city technologies.

Keywords: Registers; digital systems; embedded systems; IoT; smart cities