

# Optimalna rezolucija stohastičkih embedid sistema

Dragan Pejić, Aleksandar Radonjić, Vladimir Vujičić

**Sažetak**-U radu se elaborira primena stohastičke digitalne merne metode (SDMM) u embedid sistemima. U literaturi je dokazano da je optimalna rezolucija SDMM trobitna i da je optimalni brojni sistem za primenu u obradi takođe trobitni. Ove činjenice su motivisale autore da analiziraju optimalne rezolucije stohastičke A/D konverzije, stohastičke obrade i stohastičke D/A konverzije.

**Ključne reči**-Stohastička merenja, embedid sistemi, analogno-digitalna konverzija, digitalno-analogna konverzija.

## I. UVOD

U zadnjih nekoliko godina, u akademskim krugovima, ali i u industriji, veliku pažnju privlači koncept stohastičkog računanja (SR). Najsveobuhvatniji prikaz ove teme dat je u [1]. Autori tog rada su prikazali načine primene stohastičkog računanja (SR) u embedid sistemima, ali i na koji način se celobrojna aritmetika može kombinovati sa stohastičkom analogno-digitalnom (A/D) konverzijom [2]. Cilj ovog rada jeste da se pomenute teme prodube, odnosno da se da dodatni doprinos teoriji stohastičkih embedid sistema.

## II. STOHAŠTIČKA ANALOGNO-DIGITALNA KONVERZIJA

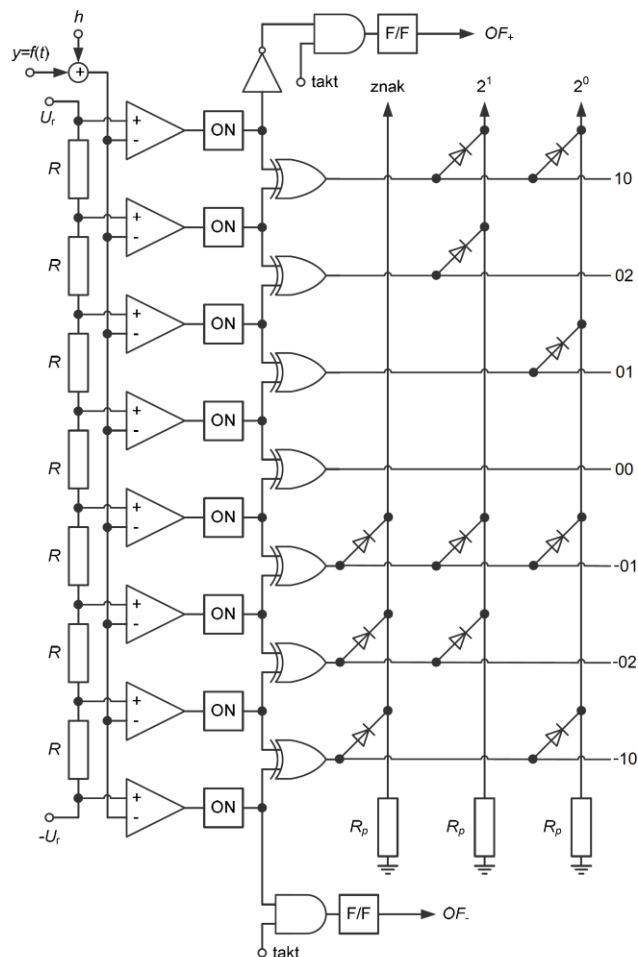
Kao što je već navedeno, u [1] je dat detaljan pregled SR metoda. Međutim, zbog svoje sveobuhvatnosti, pomenuti rad obuhvata teme koje se, u suštini, ne bave SR, već nekim drugim temama, kao što je stohastička A/D konverzija. Primer za to jeste i rad [2], gde se analogni uniformni diter dodaje ulaznom signalu pre njegove digitalizacije pomoću dvobitnog A/D konvertora (slika 1). Dakle, stohastika je prisutna na ulazu u sistem, dok su procesi obrade signala potpuno deterministički. Rezultat ovakvog pristupa jeste činjenica da ulazna veličina (signal) ima mali nivo slučajnosti, ali se zato meri sa velikom preciznošću i tačnošću.

Stohastička A/D konverzija je još uočljivija u [3]-[6], gde se koriste višebitni A/D konvertori. U svim slučajevima, blokovi za obradu signala su deterministički, iako bi se mogli realizovati i na stohastički način. Kada bi se tako nešto uradilo, pojednostavila bi se hardverska struktura uređaja, ali bi se značajno smanjila preciznost merenja zbog dužeg vremena računanja. S obzirom da se stohastika primenjuje na ulaznim podacima, korišćenje aritmetike sa pokretnim zarezom ne bi imalo smisla, jer se adekvatna preciznost rezultata može postići samo u dovoljno dugom vremenskom periodu. To se, inače, već postiže celobrojnom aritmetikom, što su potvrdili rezultati simulacija [3]-[6].

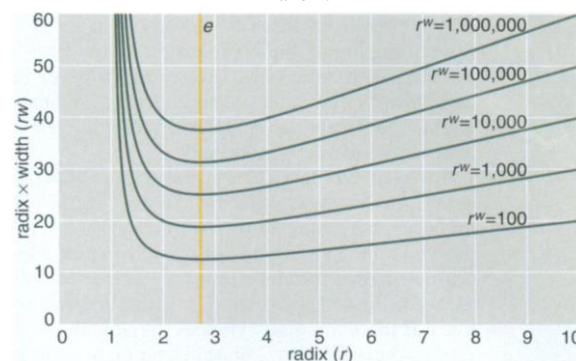
Dragan Pejić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Novi Sad, Srbija (i-mejl: pejićdra@uns.ac.rs)

Aleksandar Radonjić, Institut tehničkih nauka SANU, Beograd, Srbija (i-mejl: sasa\_radonjic@yahoo.com)

Vladimir Vujičić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Novi Sad, Srbija (i-mejl: vujiciv@uns.ac.rs)

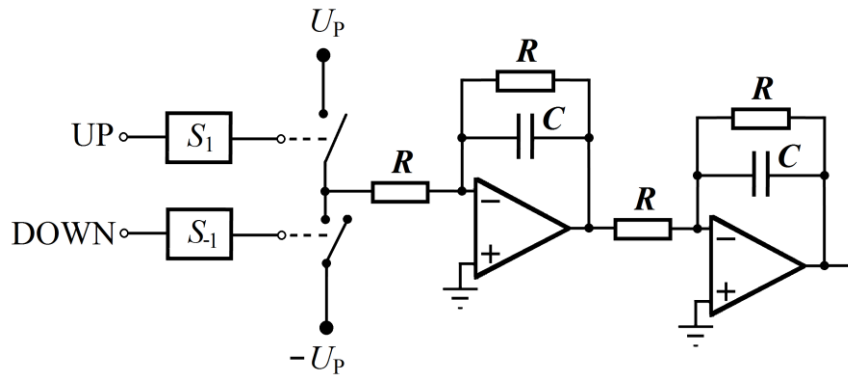


Sl.1. Šema trobitnog diterovanog A/D konvertora sa binarnim i ternarnim izlazom.



Sl. 2. Zavisnost cene primene od brojne osnove  $r$  i opsega računara  $r^w$  [8].

U [6] je pokazano kako kombinacija dvobitne stohastičke A/D konverzije i celobrojne aritmetike (visoke rezolucije) omogućava precizno merenje veoma važne vrednosti u električnoj mreži: osnovne frekvencije. Prednost pomenutog pristupa je uklanjanje celobrojnog množenja u FIR filtru. Ova činjenica nas navodi na zaključak da u embedid sistemima mogu postojati četiri načina digitalizacije i obrade signala: A/D konverzija i determinističko računanje (DR),

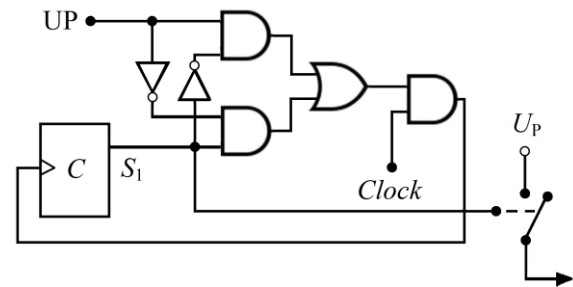


Sl. 3. Inherentno dvobitni stohastički analogni AC / DC transfer [7].

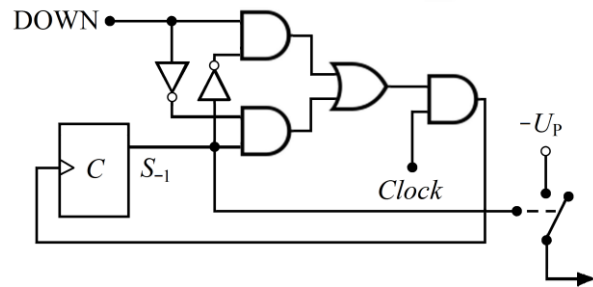
A/D konverzija i SR, stohastička A/D konverzija i DR, i stohastička A/D konverzija i SR. Poslednja kombinacija ima najjednostavniji hardver, i veoma je pogodna za primenu u embedid sistemima koji mere, nadgledaju ili regulišu spore procese (hemijski i biološki procesi) u poljoprivredi i zaštiti životne sredine. Jednostavan hardver znači i da minimalno korišćenje energije, što embedid sisteme, zasnovane na SR i stohastičkoj A/D konverziji čini pogodnim za realizaciju u formi autonomnog baterijskog-napajanoog ASIC čipa.

### III. OPTIMALNA STOHAŠTIČKA OBRADA

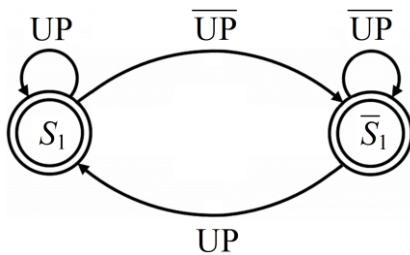
Još od rane faze razvoja računara povela sa diskusija o optimalnom brojnom sistemu koji bi se koristio u računarima. Rezime tih diskusija je dat u članku [8]. Eksplicitno je utvrđeno da je brojni sistem sa osnovom  $e$  ( $e \approx 2,718$ ) najekonomičniji sa stanovišta zapisa u memoriji, pretraživanja i obrade. Kako brojna osnova mora biti ceo broj, najbliži ceo broj je 3, pa svi zaključci koji se odnose na brojnu osnovu  $e$  se ostvaruju usvajanjem brojne osnove (modula, radix-a) 3. To je prikazano na slici 2. Vrlo rano je razvijena i ternarna Bulova algebra, tako da, generalno, ternarni brojni sistem i ternarna obrada su najekonomičniji sa stanovišta obrade.



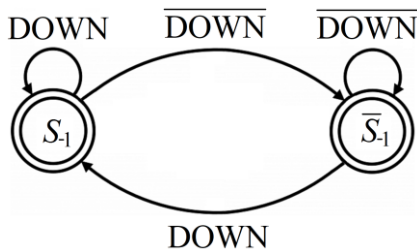
Sl. 6. Logički prikaz mašine stanja  $S_1$  [7].



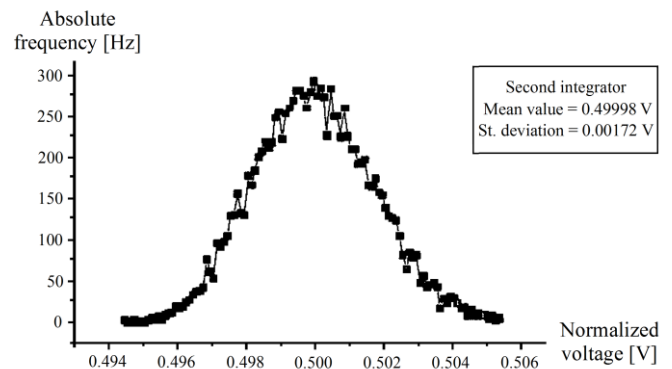
Sl. 7. Logički prikaz mašine stanja  $S_{-1}$  [7].



Sl. 4. Grafički prikaz mašine stanja  $S_1$  [7].



Sl. 5. Grafički prikaz mašine stanja  $S_{-1}$  [7].



Sl. 8. Izlaz drugog analognog integratora u slučaju sinusoidalnog ulaza u uređaj [7].

Da li je bolja stohastička obrada, u prvom redu računanje, binarna ili ternarna, je jednostavno utvrditi po analogiji sa njihovim determinističkim analogonima - bolja je ternarna.

Kako je stohastički embedid sistem vrlo složen tehnički entitet, koji se sastoji od tri podsistema: ulaza (A/D konverzija), bloka za obradu (realizacija algoritama i računanje) i izlaza (D/A konverzija), a na osnovu poznate Pontijaginove teoreme - optimum sistema se nikada ne

poklapa sa optimumom bilo kog njegovog podsistema - gotovo je neverovatan rezultat istraživanja [9] da je ternarni izlaz iz SAADK sa slike 1 takođe optimalan. Već na osnovu te činjenice vredi razmisliti i o ternarnom SAADK. U tom slučaju je kompletan stohastičke embedid sistem ternaran. To je nepobitna činjenica, a najnoviji razvoj FPGA tehnologije nudi velike mogućnosti njegove realizacije.

#### IV. STOCHASTIČKA DIGITALNO-ANALOGNA KONVERZIJA

Treća važna funkcija embedid sistema je digitalno-analogna (D/A) konverzija. U stohastičkim embedid sistemima ona se lako izvršava pomoću analognih filtera. To je sintetički prikazano na slici 3, dok su ostali detalji prikazani na slikama 4-8 u slučaju dvobitnog stohastičkog embedid sistema. U [7] je pokazano da je za postizanje jednostavnog, robusnog i preciznog AC/DC transfera dovoljno koristiti dvobitni stohastički A/D konvertor, dvobitni deterministički blok za obradu signala i jednostavan inherentno stohastički dvobitni D/A konvertor na ulazu u analogni filter drugog reda (redno vezana dva analogna integratora sa gubicima). Potpuno analogno se može uraditi ternarna stohastička DA konverzija trobitnim izlazima iz ternarnog bloka za obradu.

#### V. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da stohastička ternarna A/D konverzija znatno pojednostavljuje hardver embedid sistema. Istraživanje i analiza metoda, zasnovanih na ternarnoj stohastičkoj A/D konverziji, dovelo bi do dodatnog unapređenja embedid sistema. Prednosti bi bile slične onima kod ternarnog SR-a. Sinergijski efekat kombinovane primene ternarne SR i ternarne stohastičke A/D konverzije nudi velike mogućnosti za dodatno pojednostavljenje hardvera embedid sistema sa svim prednostima koje ova činjenica podrazumeva. Ternarna stohastička DA konverzija je potpuno ostvarljiva na analogan način binarnoj.

#### LITERATURA

- [1] A. Alaghi and J. P. Hayes, "Survey of Stochastic Computing," *ACM Trans. Embedded Comput. Syst.*, vol. 12, no. 2s, pp. 1-19, May 2013.
- [2] D. Pejic and V. Vujicic, "Accuracy Limit of High Precision Stochastic Watt-Hour Meter," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, no. 3, pp. 617-620, Jun. 2000.
- [3] V. Vujicic, "Generalized Low-Frequency Stochastic True RMS Instrument," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 50, no. 5, pp. 1089-1092, Oct. 2001.
- [4] V. Pjevalica and V. Vujicic, "Further Generalization of the Low-Frequency True-RMS instrument," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 59, no. 3, pp. 736-744, Mar. 2010.
- [5] P. Sovilj, S. Milovancev, and V. Vujicic, "Digital Stochastic Measurement of a Nonstationary Signal with an Example of EEG Signal Measurement," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 60, no. 9, pp. 3230-3232, Sep. 2010.
- [6] A. Radonjic, P. Sovilj, and V. Vujicic, "Stochastic Measurement of Power Grid Frequency Using a Two-Bit A/D Converter," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 63, no. 1, pp. 56-62, Jan. 2014.
- [7] V. Vujicic and D. Pejic, "Inherently Digital Stochastic Analog AC to DC Transfer," in: *Proc. IMTC 2001*, vol. 3, pp. 2070-2073, May 2001.
- [8] Brian Hayes, "Computing Science: Third Base," *American Scientist*, vol. 89, no. 6, pp. 490-494, Nov.-Dec. 2001.
- [9] M. Urekar, Contribution to the optimization of digital measurements performance (in Serbian), Ph.D. dissertation, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad.

#### ABSTRACT

The paper elaborates the application of stochastic digital measurement method (SDMM) in embedded systems. It has been proven in the literature that the optimal SDMM resolution is three-bit and that the optimal number system for application in signal processing is also three-bit. These facts motivated the authors to analyze the optimal resolutions of stochastic A/D conversion, stochastic processing, and stochastic D/A conversion.

#### Optimal resolution of stochastic embedid systems

Dragan Pejic, Aleksandar Radonjic and Vladimir Vujicic