

Milivoje M. Aleksić

Petar M. Djurić

Aleksandar V. Zavaljevski

Slobodan D. Jovanović

INSTITUT "BORIS KIDRIČ" - VINČA  
OOUR Institut za računarsku tehniku "RT"  
P.fah 522, 11001 Beograd

#### ALGORITAM OBRADJE DEMODULISANIH TELEGRAFSKIH SIGNALA

#### AN ALGORITHM FOR DEMODULATED TELEGRAPH SIGNAL PROCESSING

Sadržaj: U radu je razmatran algoritam prijema demoduliranih telegrafskih signala. Umesto bitskog sinhronizatora koristi se estimator broja bita između tranzijenata u signalu. U razmatranju se pretpostavlja da je digitski interval približno poznat sa slučajnim ali sporim varijacijama u vremenu. Pretpostavlja se i prisustvo džitera.

Abstract: An algorithm for demodulated telegraph signal reception is discussed in the paper. Instead of a bit synchronizer, an estimator of the number of bits between two transients is used. It has been taken into consideration that the bit interval is approximately known, with random, but slow variations in time. The presence of jitter is also supposed.

#### Uvod

Jedan od načina za ispravan prijem digitalnih signala, na osnovu teorije optimalne detekcije, pretpostavlja između ostalog, uspostavljanje sinhronizacije nosioca (ako je reč o koherentnom prijemu) i sinhronizacije bita. Prijem diskretnih signala bez korišćenja specijalnih sinhro-signala razmatran je u [1] pri čemu se kao optimalni prijemnik javlja korelacioni prijemnik zasnovan na kriterijumu maksimuma funkcije verodostojnosti.

U radu će biti razmatran algoritam prijema demodulisano­g telegrafskog signala koji takodje ne koristi bitsku sinhronizaciju. Predlaže se algoritam koji predstavlja estimator broja bita između dva tranzijenta i digitskog intervala. Pri tome se objedinjuje procena informacionog sadržaja i slučajnog vremenskog kašnjenja. Razmatraće se signal koji predstavlja sporo promenljiv slučajni proces u kojem je inkorporiran džiter. Predloženi estimator broja bita i digitskog intervala predstavlja rekurzivni digitalni filter drugog reda. U prvom odeljku formulisana je postavka problema. Zatim je opisan algoritam obrade demoduliranih signala, a na kraju rezultati dobijeni simulacijom na računaru.

## 2. Formulacija problema

Nakon demodulacije telegrafskog signala, u prijemniku se dobija signal u osnovnom opsegu, pri čemu se pretpostavlja da je primenjen NRZ kod, koji se u odsustvu bilo kakvih smetnji može predstaviti izrazom

$$x(t) = \sum_n a_n s(t - nT_d) \quad \dots (1)$$

gde je  $a_n$  označen sadržaj signala,  $s(t)$  izolovani impuls, a  $T_d$  digitski interval. Uvek se, međjutim, zbog nesavršenosti prenosa u sam korisni signal inkorporiraju džiter ili impulsne smetnje. U ovom radu impulsne smetnje neće biti razmatrane, pa će stoga jednačina (1) imati oblik

$$x(t) = \sum_n a_n s(t - nT_d - \theta_n) \quad \dots (2)$$

gde je  $\theta_n$  džiter u  $n$ -tom bitskom intervalu.

Iz takvog signala, nakon detekcije ivica, potrebno je proceniti koliko je ukupno bita poslato u intervalu između detektovanih ivica. Pri tome se uzimaju sledeće pretpostavke:

1. Digitski interval primljenog signala je približno poznat (sa relativnom greškom od nekoliko procenata)

2. Digitski interval ne mora biti strogo fiksna, već se dozvoljava njegovo slučajno, ali sporo menjanje u vremenu.

3. Dozvoljava se postojanje džitera sa maksimalnom vrednošću od 25% digitskog intervala, pri čemu je on slučajna i sa nepoznatom raspodelom.

### 3. Algoritam procene

Posmatraće se prijem  $M$  uzastopnih bita pri čemu se digitski takt sporo menja. Uvode se sledeće oznake:

- $M(i)$  - procenjeni broj bita
- $T_d(i)$  - procena digitskog intervala
- $T_p(i)$  - predikcija digitskog intervala
- $T_r(i)$  - greška napravljena u proceni širine digitskog intervala
- $U(i)$  - izmerena vrednost širine intervala između dva tranzijenta
- $\alpha$ ,  $\beta$  - odgovarajući koeficijenti

Algoritam procene zasnovan je na sledećim jednačinama

$$\hat{M}(i) = F \left( \frac{U(i)}{T_d(i-1)} \right) \quad \dots (3)$$

$$T_p(i) = \hat{T}_d(i-1) + T_r(i-1) \quad \dots (4)$$

$$\hat{T}_d(i) = T_p(i) + \alpha \left( \frac{U(i)}{M(i)} - T_p(i) \right) \quad \dots (5)$$

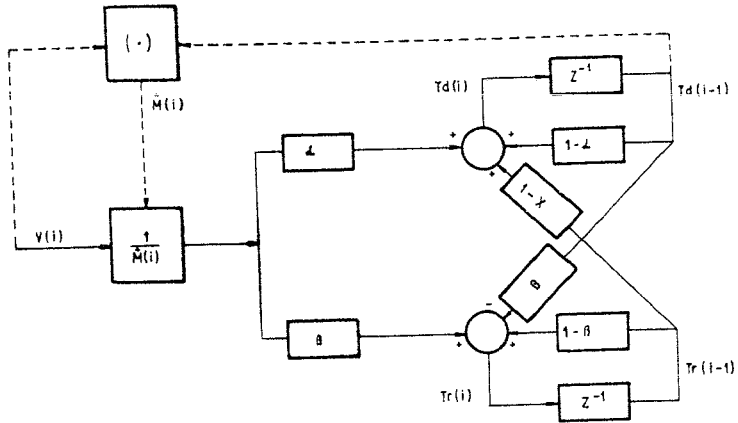
$$T_r(i) = T_r(i-1) + \beta \left( \frac{U(i)}{M(i)} - T_p(i) \right) \quad \dots (6)$$

gde  $F(\cdot)$  predstavlja najbližu celobrojnu vrednost rezultata operacije unutar zgrade.

Predikcija digitskog intervala nakon  $i$ -tog tranzijenta dobija se sumiranjem njegove prethodne procene i vrednosti greške napravljene u prethodnoj proceni (4). Procena digitskog

intervala dobija se korekcijom njegove vrednosti, dobijene posle prethodnog tranzijenta, sa greškom izmedju izmerene i predvidjene vrednosti sa faktorom  $\alpha > 0$ , (5). Na sličan način izvodi se i procena greške digitskog intervala nastale nakon  $i$ -tog tranzijenta, pri cemu je  $\beta > 0$ , (6).

Na slici 1 prikazan je blok dijagram odgovarajućeg digitalnog filtra.



Slika 1

Ako se pretpostavi da je širina impulsa koji se uzastopno pojavljuju ista i iznosi

$$M(i) = N$$

može se pokazati da transfer funkcije ovakvog sistema imaju sledeće oblike

$$H_1(z) = \frac{\hat{T}_D(z)}{U(z)} = \frac{1}{N} \frac{\alpha z^2 + (\beta - \alpha) z}{z^2 + (\alpha + \beta - 2)z + (1 - \alpha)} \quad \dots (7)$$

$$H_2(z) = \frac{T_r(z)}{U(z)} = \frac{\beta}{N} \frac{z(z-1)}{z^2 + (\alpha + \beta - 2)z + (1 - \alpha)} \quad \dots (8)$$

$$H_3(z) = \frac{T_p(z)}{U(z)} = \frac{z(\alpha + \beta) - \alpha}{z^2 + (\alpha + \beta - 2)z + (1 - \alpha)} \quad \dots (9)$$

Polinom u imeniocu transfer funkcije određuje dinamičke osobine sistema. Ako se usvoji kritično prigušen sistem dobija se veza između parametara  $\alpha$  i  $\beta$ .

$$\alpha = 2\sqrt{\beta} - \beta \quad \dots (10)$$

U tom slučaju pol transfer funkcije sistema u z-ravni nalazi se u tački

$$z = 1 - \sqrt{\beta} \quad \dots (11)$$

Sistem je stabilan ako se parametar  $\beta$  nalazi u opsegu (0,4). Za  $\beta$  blizu nule odziv sistema je spor, a za  $\beta$  blizu jedinice dobijamo sistem sa brzim odzivom.

U cilju sagledavanja redukcije šuma na izlazu estimatora, posmatraćemo ulaznu sekvencu oblika

$$U(i) = M(i) T_d(i) + \theta_i \quad \dots (12)$$

gde je  $\theta(i)$  ukupan džiter prednje i zadnje ivice nakon i-tog tranzijenta. Džiter ima Gausovu raspodelu pri čemu su vrednosti džitera pri tranzijentima potpuno nekorelisane. U slučaju kada je nekoliko uzastopnih impulsa širine  $n$  digitskih intervala, estimator unosi promenu varijanse džitera za faktor

$$k = \frac{1}{N^2} \frac{10\sqrt{\beta} - 14\beta + 58\sqrt{\beta}}{(2 - \sqrt{\beta})^3} \quad \dots (13)$$

tako da varijansa sada postaje

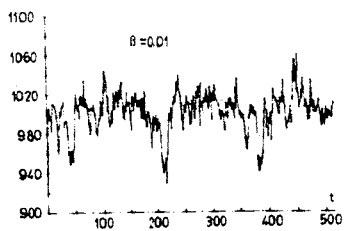
$$\sigma_i^2 = k \sigma_j^2 \quad \dots (14)$$

gde je  $\sigma_j^2$  varijansa džitera, a  $\sigma_i^2$  varijansa procene usled džitera na izlazu.

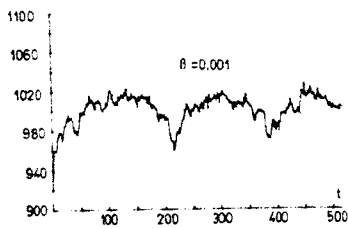
Ako je  $\beta$  blizu nule redukcija varijanse je velika, dok za  $\beta$  veće od 2 dolazi do njenog povećanja.

Simulacijom na računaru izvršeno je testiranje algoritma za različite standardne devijacije džitera u zavisnosti od parametra  $\beta$  i relativne greške poznavanja frekvencije. U slučaju poznavanja vrednosti bitskog intervala sa greškom od 7% i sa koeficijentom  $\beta=0.0001$ , na sekvenci od 1000 tranzijenata

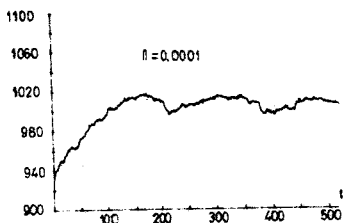
prijemnik radi bez gubitka bita do maksimalene vrednosti džitera od 22%.



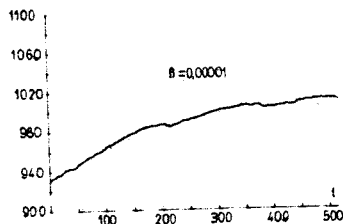
Slika 2



Slika 3



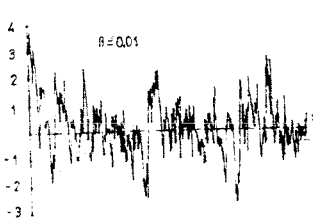
Slika 4



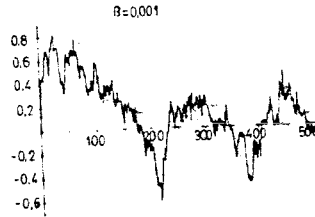
Slika 5

Na slikama 2, 3, 4 i 5 prikazano je procena digitskog takta, sa početnom greškom od 7% i maksimalnom vrednošću džitera od 22%, za različite vrednosti parametra  $\beta$ . Na slikama 6, 7, 8 i 9 prikazana je greška procene digitskog intervala u vremenu. Na osnovu ovih rezultata, vidi se da je za veoma male vrednosti  $\beta$  sistem toliko spor da dugo traje vreme hvatanja, a vrednost greške sporo ide ka nuli. Za velike vrednosti  $\beta$  filter poseduje brzi odziv ali sa velikim varijacijama u proceni digitskog intervala.

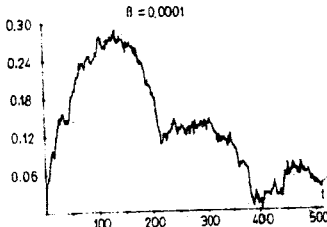
Imajući u vidu da je parametar koji se procenjuje, digitski interval  $T_d$ , sporo promenljiv, sistem ne mora da ima brzi odziv. S druge strane, potrebno je redukovati džiter što se postiže izborom parametra  $\beta$  blizu nule. Posmatrajući rezultate estimacije sa relativno velikom početnom greškom digitskog intervala, vidi se da prijemnik gubi bite u početnim sekvencama dok ne "uhvati" tačnu brzinu. Ovo ukazuje na nove mogućnosti u proširivanju algoritma obrade. Bilo bi poželjno da  $\beta$  u početku ima veće vrednosti, a da se kasnije po "hvatanju" digitskog takta smanji na optimalnu vrednost za dobro praćenje, uz



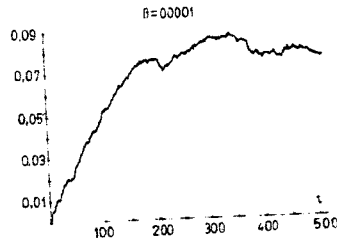
Slika 6



Slika 7



Slika 8



Slika 9

minimalnu varijansu. U tom slučaju postojala bi povratna sprega po parametru  $\beta$  sa ciljem da se u početnom trenutku obezbedi njegova veća vrednost, a kasnije, nakon "hvatanja" digitnog intervala, da se na odgovarajući način smanjuje, čime bi se postigla redukcija džitera, a samim tim i poboljšanje performanse sistema. Ovakav filter predstavlja nelinearni sistem, što usložnjava analizu njegove stabilnosti i dinamike. Izbor parametara regulatora povratne sprege po koeficijentu  $\beta$  treba obaviti na osnovu nekog unapred zadatog kriterijuma.

Opisani algoritam obrade sastoji se iz malog broja aritmetičkih operacija, tako da je pogodan za "on line" obradu pomoću računara. U [5] je razmatran prijemnik zasnovan na opisanom algoritmu, koji se sastoji od demodulatora, detektora ivice i 16-bitnog mikroprocesorskog sistema na kome je implementiran estimator. U toj konfiguraciji estimator omogućava "on line" obradu digitalnih signala sa brzinom do 1200 boba, u odsustvu impulsnih smetnji.

## 4. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran algoritam procene broja bita i digitskog intervala kod prijema demodulisanih telegrafskih signala. Izloženi su rezultati testiranja estimatora na računaru simulacijom sekvence telegrafskih signala u prisustvu džitera. Dat je osvrt na mogućnost realizacije estimatora sa mikroprocesorom kao i dalja poboljšanja njegovog rada.

## 5. Literatura

- [1] A.L.Mcbride and A.P.Sage: "Optimum estimation of Bit Synronization", IEEE Trans. on Aerosp. and Electr. systems, Vol. AES-5, No3, pp: 525-536, May 1969.
- [2] C.W.Helstrom, Statistical Theory of Signal Detection, Elmsterd, NY: Pergamon 1968.
- [3] J.A.Cadzow, Discrete-time systems; An introduction with interdisciplinary applications, Prentice-Hall, 1973.
- [4] J.A.Cadzow, Discrete-time and computer control systems, Prentice-Hall.
- [5] P.Djurić i M.Aleksić, "Mikroprocesorska realizacija prijemnika digitalnih signala "VIII Bosanskohercegovački Simpozijum iz informatike "Jahorina '84".