

Nevena Zečević  
Elektrotehnički Fakultet,  
Beograd

VITERBIJEV DEKODER SA REDUKOVANIM BROJEM MOGUĆIH PUTANJA

A VITERBI DECODER WITH A REDUCED NUMBER OF POSSIBLE PATHS

SADRŽAJ: Viterbijev dekodera sa redukovanim brojem mogućih putanja predstavlja modifikaciju klasičnog Viterbijevog dekodera, moguću u slučaju postojanja statističke zavisnosti, koja se u signal unosi linijskim kodovanjem pre zaštitnog konvolucionog kodovanja. Analizirane su performanse predloženog zaštitnog dekodera u slučaju korišćenja 3B4B linijskog koda. Rezultati istraživanja pokazuju smanjenje broja neispravljenih grešaka u odnosu na slučaj kada se u postupku dekodovanja ne koristi statistička zavisnost uneta linijskim kodom.

ABSTRACT: A Viterbi decoder with a reduced number of possible paths is a modification of the classical Viterbi decoder, possible in the case when statistical dependence is introduced by the line coding before the error-control convolutional coding. The performances of the proposed error-control decoder are analyzed in the case when 3B4B line code is implemented. The analysis has shown the reduction of the number of residual errors, compared to the case when the statistical dependence introduced by the line coder is not used in the decoding process.

1. UVOD

U savremenim telekomunikacionim sistemima je uobičajeno da se signal pre izlaska na liniju linijski koduje, da bi se postigli efikasniji prenos i pouzdanije izdvajanje takta na prijemu. Pogodnim izborom dodatnih bita, ili čitavih kodnih reči, uz povećanje bitske brzine, postiže se ravnomerna zastupljenost nula i jedinica, kao i ograničenje broja uzastopnih istorodnih simbola.

Kada postoji potreba za zaštitnim kodovanjem, ono se po pravilu vrši pre linijskog. Na prijemu se signal linijski dekoduje, a zatim se, ukoliko je korišćen konvolucioni zaštitni kod, dekodovanje vrši obično korišćenjem Viterbijevog algoritma [1].

Linijsko kodovanje unosi statističku zavisnost u sekvencu bita koja se šalje na liniju. Ukoliko se pre zaštitnog kodovanja izvrši linijsko prekodovanje, to jest linijski i zaštitni koder zamene mesta, na prijemu je

moguće, na osnovu unete statističke zavisnosti, izvršiti modifikaciju zaštitnog dekodera, koja će dati manju verovatnoću zaostale greške, pod pretpostavkom statistički nezavisnih grešaka u kanalu. Verovatnoća zaostale greške je pritom određena poređenjem originalne informacione sekvence i sekvence informacionih bita na izlazu iz dekodera.

## 2. OPIS PREDLOŽENOG SISTEMA

Na Slici 1. prikazana je uprošćena blok-šema predloženog sistema.



Slika 1. Uprošćena blok-šema predloženog sistema

Predložen je linijski kod 3B4B sa memorijom (Tablica 1.), izabran tako da obezbeđuje ravnomernu zastupljenost nula i jedinica i ograničen broj uzastopnih istorodnih simbola. Izbor je izvršen po uzoru na tablicu koda 5B6B sa memorijom, predloženog u [2] i detaljno analiziranog u [3].

3B REC		4B REC							
DEC	BIN	GRUPA "+"				GRUPA "-"			
		DEC	BIN	PG	SG	DEC	BIN	PG	SG
0	000	9	1001	0	+	9	1001	0	-
1	001	10	1010	0	+	10	1010	0	-
2	010	11	1011	+	-	2	0010	-	+
3	011	3	0011	0	+	3	0011	0	-
4	100	13	1101	+	-	4	0100	-	+
5	101	5	0101	0	+	5	0101	0	-
6	110	6	0110	0	+	6	0110	0	-
7	111	12	1100	0	+	12	1100	0	-

Tabela 1. Kodna tablica 3B4B koda sa memorijom

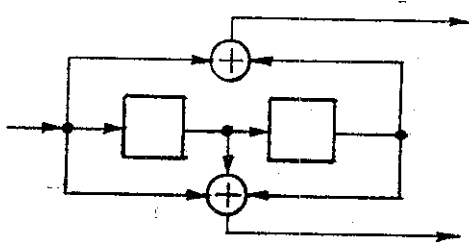
PG - podgrupa

SG - sledeća grupa

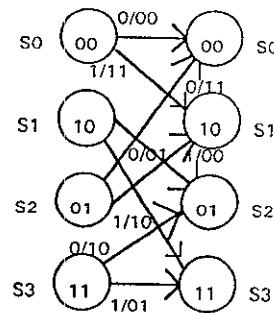
Kodna tablica je formirana tako što je od  $2^4 = 16$  mogućih kodnih reči izabrano  $\binom{4}{2} = 6$  kodnih reči koje imaju jednak broj nula i jedinica, dve kodne reči koje imaju tri nule i jednu jedinicu (podgrupa "-") i dve kodne reči koje imaju tri jedinice i jednu nulu (podgrupa "+"). Da bi se izbegli nizovi od pet jednakih simbola, koji nastaju kombinacijom dve kodne reči, nisu korišćene kodne reči 0000, 0001, 0111, 1000, 1110 i 1111. Ako je poslednja kodna reč imala više nula nego jedinica, to jest pripadala podgrupi "-" grupe "-",

sledeća kodna reč mora biti iz grupe "+", i obratno. Ako je, pak, poslednja kodna reč imala jednak broj nula i jedinica, to jest pripadala nultoj podgrupi tekuće grupe, ostaje se u toj grupi. Na taj način je postignuta ravnomerna zastupljenost binarnih simbola. Inače, ovako izabrani kod obezbeđuje da niz uzastopnih istorodnih simbola ne može biti duži od četiri bita.

Na Slici 2. prikazan je korišćeni konvolucioni koder, koji udvostručuje bitsku učestanost. Deo trelisa za ovaj konvolucioni kod prikazan je na Slici 3

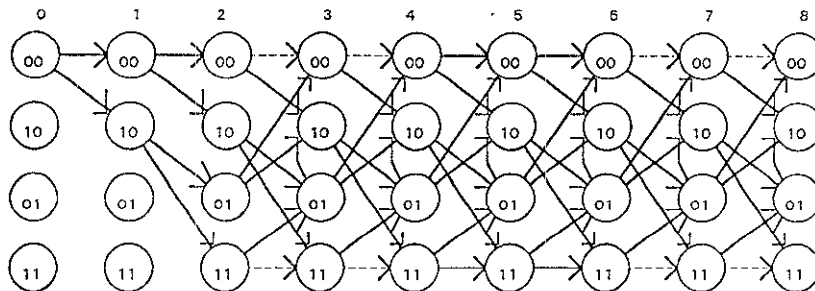


Slika 2. Konvolucioni koder



Slika 3. Deo trelisa

Interesuje nas kako statistička zavisnost koju je linijsko kodovanje unelo u signal utiče na trelis i može li se iskoristiti za poboljšanje performansi zaštitnog dekodera, analogno sistemu predloženom u [4].



Slika 4. Trelis-dijagram na dužini dve kodne reči

Detaljnijom analizom četvorobitnih kodnih reči koje se mogu javiti na ulazu u konvolucioni (zaštitni) koder, i koje je moguće dekodovati na prijemu, uočava se da su neke grane u dijagramu trelisa nemoguće (isprekidano crtane grane na Slici 4), pa se mogu izostaviti u postupku dekodovanja. Naime, ako su prva dva bita u kodnoj reči bile nule, treći bit mora biti jedinica. To znači

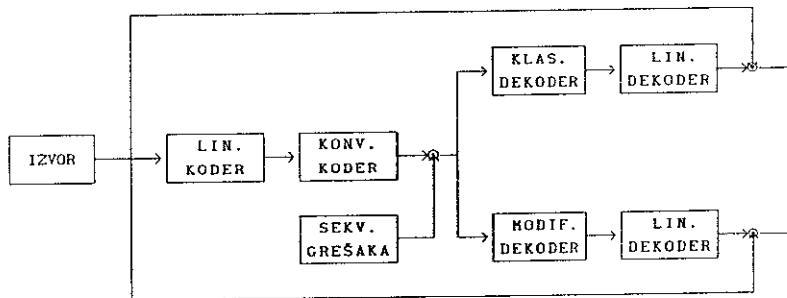
da se na dubinama  $4k + 2$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) ne može preći iz stanja  $S_0$  (00) u isto stanje na sledećoj dubini. Isto važi i za dve jedinice na početku kodne reči, što znači brisanje grane u dijagramu trelisa između stanja  $S_3$  (11) na dubini  $4k + 2$  i istog stanja na dubini  $4k + 3$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ). Analiza slučaja dva ista binarna simbola na drugom i trećem bitskom mestu u kodnoj reči daje kao rezultat brisanje istih grana u dijagramu trelisa između dubina  $4k + 3$  i  $4k + 4$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ). Sada se vidi da na dubinama  $4k + 3$  i  $4k + 4$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) do stanja  $S_0$  i  $S_3$  vodi samo po jedna putanja.

Ukoliko se zaštitni dekoder na prijemu modifikuje u skladu sa ovim, dobija se Viterbijev dekoder sa redukovanim brojem mogućih putanja.

### 3. ANALIZA PREDLOŽENOG POSTUPKA

Viterbijev dekoder sa redukovanim brojem mogućih putanja je, sa stanovišta realizacije, neznatno komplikovaniji od klasičnog. Za razliku od klasičnog dekodera, koji u svakom koraku od dve moguće putanje koje vode do određenog stanja na datoj dubini trelisa bira jednu, predloženi modifikovani dekoder u svakom trećem i četvrtom koraku ne uzima u obzir jednu od tih putanja, kada su u pitanju stanja  $S_0$  i  $S_3$ . Praktično, osnovna razlika je u potrebi za uspostavljanjem sinhronizacije kodnih reči.

Međutim, pozitivni efekti predloženog načina linijsko-zaštitnog dekodovanja nadmašuju neznatno uslozljavanje realizacije dekodera. Na Slici 5. je prikazana šema po kojoj je vršen simulacioni eksperiment, čiji je osnovni cilj bio upoređivanje originalne informacione sekvence i sekvence informacionih bita na izlazu iz dekodera, tj. određivanje verovatnoće zaostale greške.

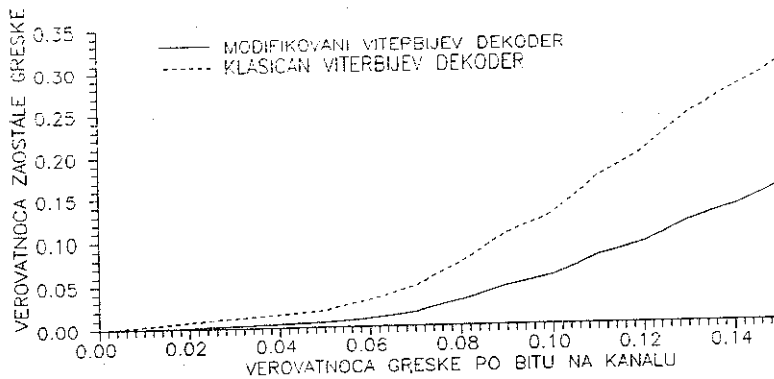


Slika 5. Organizacija simulacionog eksperimenta

Pseudoslučajna sekvencija informacionih bita koju generiše IZVOR koduje se 3B4B kodom u bloku LIN. KODER, a zatim predloženim konvolucionim kodom (Slika 2.) u bloku KONV. KODER. Dobijena sekvencija kodnih bita se sabira po modulu 2 sa sekvencijom statistički nezavisnih grešaka određene verovatnoće (blok SEKV. GREŠAKA), čime je simuliran kanal. Sekvencija bita sa greškama se dekoduje klasičnim dekoderom (gornja grana) i modifikovanim dekoderom (donja grana), a potom se linijski dekoduje. Poređenje dobijenih sekvenci informacionih bita sa originalnom informacionom sekvencijom se vrši njihovim sabiranjem po modulu 2. Prebrojavanjem jedinica u tako dobijenim sekvencijama bita određuje se verovatnoća zaostale greške.

Rezultati simulacije prikazani su na Slici 6. Uočava se značajno

smanjenje verovatnoće zaostale greške za slučaj predloženog modifikovanog Viterbijevog dekodera.



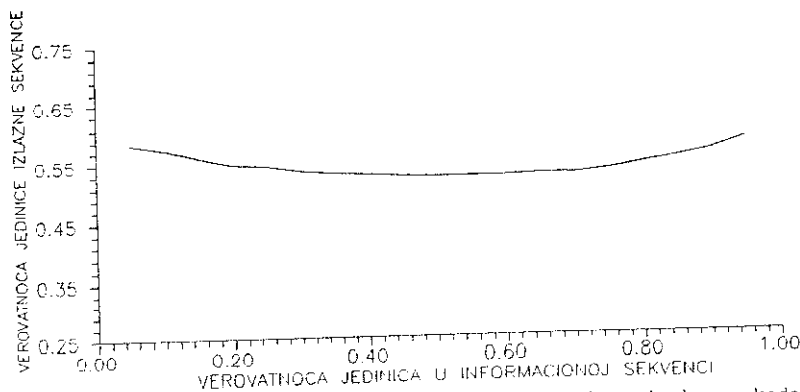
Slika 6. Verovatnoća zaostale greške u funkciji ver. greške po bitu na kanalu

Postavlja se pitanje da li obrnut redosled zaštitnog i linijskog kodovanja nepovoljno utiče na osobine signala koji se šalje na liniju, tj. da li zaštitno kodovanje narušava ravnomernost nula i jedinica i ograničenost broja uzastopnih istorodnih simbola, što je postignuto linijskim kodovanjem. Analizom sekvence kodnih bita dobijene na izlazu iz konvolucionog kodera može se odgovoriti na ovo pitanje.

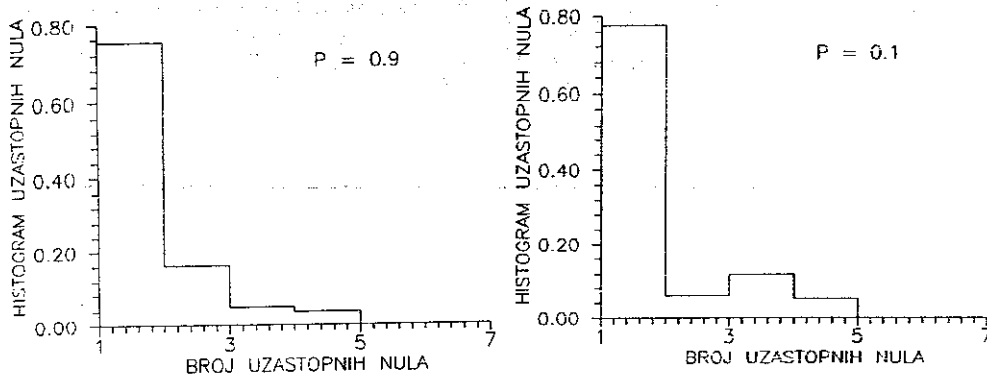
Na osnovu zavisnosti verovatnoće jedinica u analiziranoj sekvenci od verovatnoće jedinica u originalnoj informacionoj sekvenci (Slika 7.) može se zaključiti da je ravnomernost binarnih simbola neznatno narušena. Verovatnoća jedinica je nešto veća od verovatnoće nula, ali ne prelazi vrednost od 59%.

Na Slici 8. je prikazan histogram uzastopnih nula, ili verovatnoća pojavljivanja niza uzastopnih nula u sekvenci bita na izlazu iz konvolucionog kodera u funkciji dužine tog niza. Vidi se da maksimalan broj uzastopnih nula za obe vrednosti verovatnoće jedinica u originalnoj inf. sekvenci ( $P = 0.1$  i  $P = 0.9$ ) iznosi 5, kao i da su verovatnoće pojavljivanja nizova uzastopnih nula veoma male.

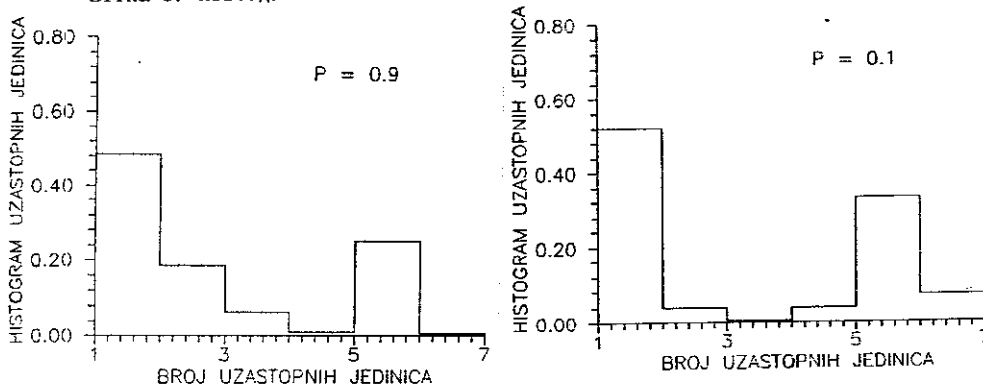
Histogram uzastopnih jedinica (Slika 9.) je, međutim, nešto lošiji. Maksimalna dužina niza uzastopnih jedinica je 6, a uočava se i značajna verovatnoća pojavljivanja niza od 5 uzastopnih jedinica.



Slika 7. Verovatnoća jedinica u sekvenci bita na izlazu iz konv. kodera u funkciji ver. jedinica u originalnoj informacionoj sekvenci



Slika 8. Histogram uzast. nula za različite ver. jedinica u inf. sekvenci P



Slika 9. Histogram uzast. jedinica za različite ver. jedin. u inf. sekvenci P

#### 4. ZAKLJUČAK

Opisani način linijsko-zaštitnog kodovanja kod koga se prvo vrši kodovanje predloženim 3B4B linijskom kodom, omogućuje efikasnije dekodovanje, zahvaljujući statističkoj zavisnosti koja je uneta u postupku linijskog kodovanja. Korišćeni modifikovani Viterbijev algoritam ispravlja veći broj grešaka od klasičnog algoritma, pri čemu je dekoder neznatno usložen, a zadržane su dobre osobine linijskog signala.

#### 5. LITERATURA

- [1] Blahut, R.E.: Theory and Practice of Error Control Codes, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, May 1984.
- [2] "Technischer Bericht", Deutsche Bundespost Forschungsinstitut beim FTZ März 1985
- [3] Vuković, V.: 5B6B koder i dekoder za prenos digitalnog signala protoka 140 Mbita/s, magistarski rad, Beograd 1990.
- [4] Bajić, D. i Drajić D.: "The time-variable Viterbi decoding for correlated data", Electronics Letters, Vol. 29, No. 4, February 1993.