

# Sistem za daljinsko upravljanje bespilotnom letelicom

Gajić Željko, *IMTEL komunikacije, Beograd*

**Sadržaj** — U radu su prikazana dva postojeća sistema daljinskog upravljanja putem radija. Ukazano je na neke njihove dobre i loše osobine. Opisan je realizovani sistem upravljanja bespilotnom letelicom (BL) instituta IMTEL. Pokazano je kako se klasičan koncept prenosa može implementirati kao softver mikrokontrolera. Takođe je predloženo kako se može iskoristiti prednost koju pruža upotreba mikrokontrolera na prijemu kroz ispravljanje grešaka usled šuma.

**Ključne reči** — Bespilotna letelica, koder, dekoder, mikroprocesor, širinska modulacija, servomehanizam.

## I. UVOD

Brz razvoj radio upravljanja se dogodio oko i u toku drugog svetskog rata. Iz tog perioda datiraju osnove danas široko raširenog sistema za upravljanje na daljinu: impulsno položajni sistem, PPM. (*Pulse Position Modulation*). Kod ovog sistema prenosa, informacije o položajima pojedinih upravljača na letelici su kodovane položajem impulsa u predajnoj povorci. Zbog svojih dobrih osobina, pre svega jednostavnosti, koristi se i sada u manje-više izvornom obliku.

S druge strane, impulsno položajni sistem u svom osnovnom obliku ima nekoliko loših karakteristika. Zbog svoje jednostavnosti, detekcija greške u prenosu je nemoguća. Uticaj šuma u kanalu se manifestuje kroz slučajne i brze, nekontrolisane pokrete letelice, vozila...

Od sredine osamdesetih godina prošlog veka i doba širenja mikroprocesorske tehnike, u opticaju je još jedan sistem upravljanja na daljinu: impulsna kodna modulacija, PCM (*Pulse Code Modulation*). Informacija o trenutnom položaju pojedinih upravljača se prevodi u binarni broj i kao takva prenosi. Upotreba mikroprocesora i PCM tehnike omogućava primenu zaštitnog kodovanja. U jednom takvom sistemu, prijemnik ima sposobnost da proceni da li je primljena poruka ispravna, ili je došlo do greške. U zavisnosti od konstrukcije i svrhe sistema, neispravna poruka se može ili ispraviti, ili odbaciti kao loša.

Ž. G. Autor, Intel komunikacije, Bul. Mihaila Pupina 165b, Beograd, Srbija (e-mail: gaja@insimtel.com).

## II. KONTROLNI SIGNAL SERVO MEHANIZAMA

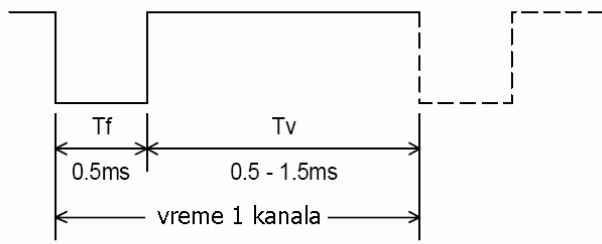
Jedna vrsta servo sistema su servo mehanizmi koji se koriste za daljinsko upravljanje aviona, brodova, kamera za nadzor i sl. Iako postoji mnogo vrsta ovih mehanizama, zajednička osobina im je da za upravljački signal koriste impulsno širinski modulisanu (PWM) povorku impulsa. Među proizvođačima servo mehanizama postoji sveopšte prihvaćen standard za opseg promene širine impulsa sa idejom očuvanja kompatibilnosti. Izgled tipičnog signala je pokazan na slici 1.



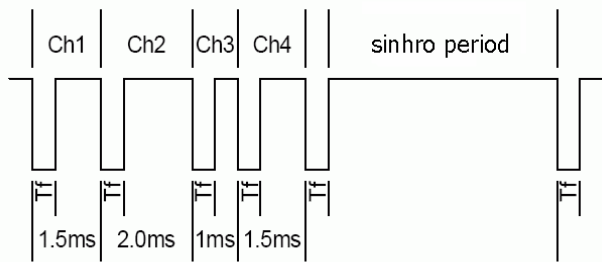
Sli 1. Izgled kontrolnog signala standardnog servo mehanizma.

Na slici je prikazan ceo opseg promene širine impulsa. Postoje i sistemi koji ne koriste ceo opseg. Sa slike se vidi da je period impulsa 20 mS. To znači da se svaki kanal u višekanalnim PPM sistemima „osvežava“ sa 50 Hz. Kada se ovakav signal dovede na servo mehanizam, on će zauzeti poziciju određenu širinom impulsa, gde 1mS označava pun zaokret ulevo, a 2mS pun zaokret udesno.

Svaki kanal u jednom R/C sistemu omogućava kontrolu nad samo jednim servo mehanizmom u modelu (u sistemu sa dva kanala to bi bili upravljač i kontrola brzine npr.) Upravljački signal u predajniku se formira od niza signala koji pripadaju svakom kanalu. U PPM sistemima signal svakog kanala je kratak impuls čija širina se menja saglasno položaju upravljača na predajnoj strani. Impulsi koji predstavljaju upravljačke signale za svaki servo, se prosleđuju jedan za drugim. Na slici 2. je prikazan tipičan izgled prenošenog signala.



a



b

SI 2. Višekanalni ram PPM sistema daljinskog upravljanja

Vidi se da u prenošenom signalu postoje impulsi fiksnog trajanja  $T_f$  i impulsi čije trajanje varira od 0,5ms do 1,5ms u zavisnosti od položaja upravljača. Sabiranjem ta dva vremena dobijamo pun opseg promene PWM signala sa svaki servo mehanizam (1ms do 2ms). Takođe se može videti da je položaj svakog impulsa fiksne dužine  $T_f$  od početka rama zavisi od informacija prenošenih u prethodnim kanalima. Zbog toga je prenošeni signal po obliku tzv impulsa modulacija po položaju (Pulse Position Modulation, ili PPM).

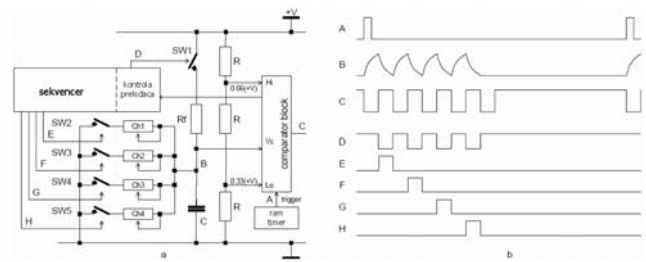
Period između poslednjeg kanala u nizu i prvog se zove *sinhronizacioni period*. U zavisnosti od broja korišćenih kanala u sistemu, trajanje ovog perioda varira, ali je uvek puno duže od maksimalne širine svakog pojedinačnog impulsa. Ovaj period služi za sinhronizaciju dekodera u prijemniku na primljeni niz impulsa, tako da svaki kanal uvek dolazi do svog servo mehanizma.

### III. KODER / DEKODER

Da bi kontrolisali više od jednog servo mehanizma uz upotrebu samo jednog RF linka, potrebno je informacije o svim kanalima na pogodan način upakovati i zajedno preneti. Funkciju pakovanja i raspakivanja obavljaju sklopovi koder i dekodera.

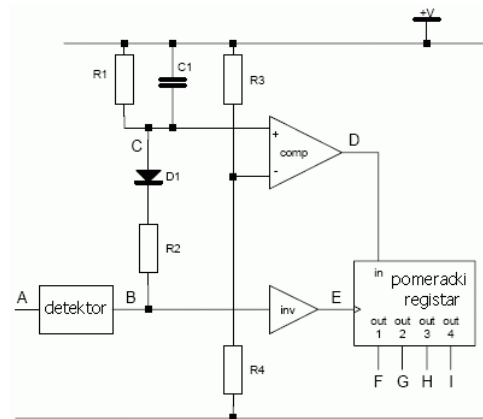
#### A. Koder

Zadatak bloka koder je da obezbedi interpretaciju položaja upravljača svakog kanala, formira informaciju za prenos i obezbedi mehanizam za sinhronizaciju. Na slici 3. je prikazana blok šema diskretne realizacije koder u PPM sistemima daljinskog upravljanja sa četiri kanala. U sistemima za R/C uobičajena je upotreba potencijometara kao „senzora“ položaja upravljačke palice. Trenutni otpor potencijometra je funkcija zakretanja palice na upravljaču.

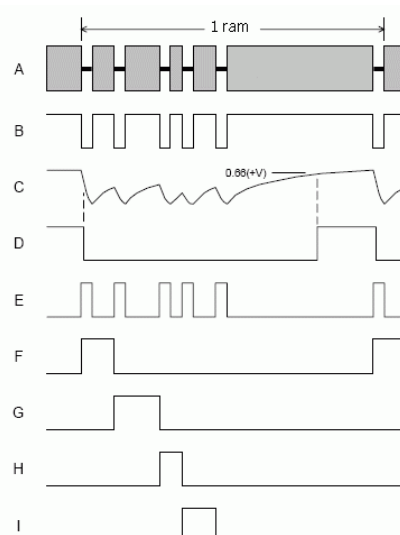


SI 3. Blok šema koder PPM signala

Širinu svakog pojedinačnog impulsa određuje onda vremenska RC konstanta. Potrebno je istaći da i fizička realizacija, koja prati ovako diskretno rešenje, nije puno komplikovanija od prikazane blok šeme. U projektu bespilotne letelice, koder razvijen oko AVR mikroprocesora *atmega8* firme ATMEL. Ovo rešenje omogućava korišćenje kako PPM sistema za prenos, tako i PCM sistema (u slučaju potrebe) uz isti hardver sa svim prednostima zaštite integriteta prenetih informacija koje on nosi.



SI 4. blok šema dekodera PPM signala.



SI.5. Vremenski dijagrami dekodera

#### B. Dekoder

Funkcija dekodera u sistemima daljinskog upravljanja servo mehanizmima je izdvajanje informacija o svakom kanalu ponaosob iz primljenog višekanalnog rama i generisanje odgovarajućih PWM signala za svaki

pripadajući servo. U PPM sistemima, dekođer radi na sličan način kao i odgovarajući koder: počinje sa radom na pojavu sinhro impulsa, a zatim redom prosleđuje impulse kanal za kanalom, sve do ponovnog sinhro impulsa i povratka na prvi kanal. Blok šema diskretne realizacije dekođera za PPM sistem daljinskog upravljanja je data na slici 4. Slika 5. prikazuje vremenske dijagrame u pojedinim karakterističnim tačkama dekođera. Posle demodulacije AM signala, imamo PPM signal u osnovnom opsegu (čvor B). Iz ovog signala se izdvaja sinhro impuls tako što se meri trajanje svakog impulsa uz pomoć komparatora i RC člana (čvorovi C i D). Impulsi iz PPM signala se koriste i kao takt signal za pomerački registar. Detektovani sinhro-impuls se upisuje u pomerački registar kao vrednost '1' na mesto prvog bita sa pojavom impulsa koji pripada prvom kanalu. Zatim se taj bit pomera kroz ostale kanale, zadržavajući se u svakom tačno onoliko koliko traje odgovarajući impuls za tekući kanal na predajnoj strani.

Slično kao i u koderu, i na ovom mestu je u praktičnoj realizaciji korišćen identičan mikrokontroler - *atmega8*.

#### IV. IZBOR SISTEMA ZA PRAKTIČNU REALIZACIJU DALJINSKOG UPRAVLJANJA BESPILOTNOM LETELICOM

Oba navedena sistema imaju svoje loše i dobre osobine. *Impulsno položajni sistem* omogućava da kompletni prenosni lanac bude transparentan. Naime, servo kontrolni impulsi generisani na predajnoj strani, su potpuno isti impulsi koji se prosleđuju servo mehanizmima. Zbog svoje jednostavnosti, sistemi su jeftini i mali. Informacija iz svakog kanala je zastupljena u svakom prenešenom ramu. Zato je vreme odziva upravljanog objekta kratko. Zone sa lošim prijemom se lako uočavaju, jer servo mehanizmi počinju da podrhtavaju zbog grešaka koje nastaju u kanalu za prenos. Upravo ta osobina omogućava da se na predajnoj strani donese pravovremena odluka o izmeni putanje i sl.

Sa druge strane, sistem sa *impulsno kodnom modulacijom* omogućava potpuno precizne i neometane servo pomeraje, zadržavajući poslednje važeće pozicije tokom kratkotrajnih smetnji u kanalu za prenos. U slučaju dužih prekida, servo mehanizmi uobičajeno zauzimaju unapred određene položaje koji treba da obezbede bezbedno zaustavljanje. Ipak sam mehanizam ispravljanja grešaka na prijemnoj strani sprečava njihovo rano otkrivanje. Problem se najčešće uočava prekasno, kada dodje do potpunog prekida komunikacije.

Zbog svega toga, kao optimalno rešenje je usvojena jedna vrsta unapređenog sistema impulsno položajne modulacije. Unapređenje se ogleda u mogućnosti prijemnika da u izvesnoj meri prepozna signale smetnji i izdvoji ih iz korisne poruke, ili ceo ram odbaci kao loš.

#### V. SISTEM SA MIKROPROCESOROM

Sa slike 2. se vidi da jedan ram podataka u impulsno položajnom sistemu ima fiksne i prepoznatljive osobine.

Neke osobine signala u realizovanom sistemu bi bile:

- Svaki ram traje oko 20mS
- Širina sinhro impulsa je od 4mS do 6mS u sistemima sa osam kanala
- U ispravnim ramovima uvek ima N+1 impuls, gde je N broj kanala
- Svaki  $T_f$  je od 250uS do 350uS.
- Dozvoljena širina impulsa u svakom kanalu je od 0,8mS do 2,2mS.

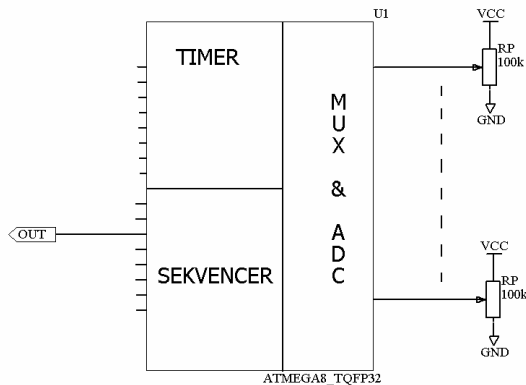
Sve ove karakteristike su zavisne od predajnika i čine njegov „potpis“. One se mogu iskoristiti za prepoznavanje da li je u toku prenosa došlo do grešaka.

Jedan takav algoritam (DSR, *Digital Signature Recognition*) je implementiran u dekođeru prijemnika. Na osnovu očekivanog „potpisa“, prijemnik odlučuje o svakom primljenom ramu. Ako je došlo do grešaka u toku prenosa, dekođer će ih do izvesne mere popravljati. Ako je grešaka previše, primljeni ram se odbacuje kao neupotrebljiv. Servo mehanizmi su pri tome zadržali položaj koji odgovara informacijama iz poslednje ispravno primljenog rama.

U slučaju gubitka signala više od 0,5s, dekođer preduzima korektivne akcije. Tada dekođer direktno kontroliše servo mehanizme. Svaki kanal tj svaki servo mehanizam može biti konfigurisan da se u tom slučaju ponaša na jedan od dva načina:

- **Zadržavanje poslednje ispravno primljene pozicije.** Ako je primljeni ram ispravan, on se smešta u memoriju. U slučaju da je novi ram defektan i da se ne može popraviti, dekođer prosleđuje informacije o položaju servo mehanizma iz poslednjeg ispravnog rama iz memorije. Ovo stanje će se promeniti odmah nakon prijema sledećeg ispravnog rama. Na ovaj način se efektno eliminišu sitna slučajna pomeranja servo mehanizama usled šuma u kanalu.
- **Vraćanje servo mehanizama u pre-programiran položaj.** Ako je kanal ovako konfigurisan, u slučaju prijema lošeg rama i nemogućnosti popravke, servo mehanizam zauzima unapred određen položaj koji je definisan u toku podešavanja sistema na početku. Na taj način se recimo može obezbediti da bespilotna letelica bezbedno kruži do ponovnog uspostavljanja radio veze.

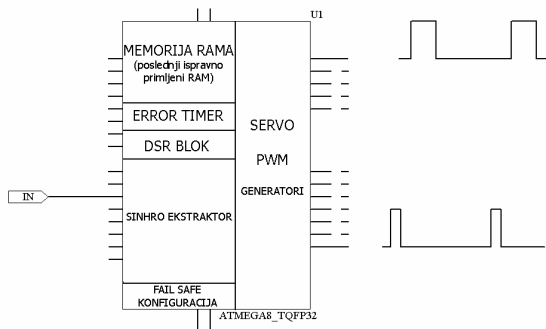
Na slici 6. je prikazana blok šema realizovanog kodera.



Slika 6. Blok šema realizacije kodera sa uC.

Realizovan je koder sa osam kanala. Informacije o položaju pojedinih upravljačkih palica se prevode u odgovarajuće naponske nivoe uz pomoć pridruženih potencijometara. Svaki potencijometar tj svaki kanal, dolazi do multipleksera osam na jedan, koji je sastavni deo izabranog mikrokontrolera (zajedno sa blokom analogno-digitalnog konvertora). Tako se postavljeni ugao svakog upravljača prevodi u odgovarajući osmobarbitni binarni broj. Na osnovu tog broja, TIMER onda generiše impulse dužeg ili kraćeg trajanja. Softver sekvencijalno prosleđuje kanal za kanalom, ubacujući i sinhro impulse, u skladu sa PPM sistemom daljinskog upravljanja.

Slika 7 pokazuje blok šemu realizovanog dekodera.



Slika 7. Blok šema dekodera sa uC.

Dekoder ima teži zadatak, pošto je u konkretnoj realizaciji implementirana jedna vrsta DSR sistema otkrivanja grešaka. Algoritam rada dekodera počinje sa pretragom sinhro impulsa u primljenoj poruci. Po uspostavljanju sinhronizacije, izdvajaju se informacije o svakom prenošenom kanalu, formirajući niz brojeva koji se prosleđuje bloku generatora PWM signala za pogon pojedinih servo mehanizama. Pri tome je stalno aktivna kontrola ispravnosti primljenih informacija (DSR blok). U okviru DSR bloka se greške u prenosu, nastale usled šuma u kanalu, a koje se manifestuju kao kratki impulsi, ispravljaju tako što se ignorišu svi impulsi kraći od vremena  $T_f$  ( tj kraći od 250uS u realizovanom sistemu). Ako je nastalo previše grešaka, te je rekonstrukcija primljenog rama nemoguća, po prijemu sledećeg sinhro impulsa, generator PWM signala osvežava se sa poslednjim ispravno primljenim podacima. Ako je prekid komunikacije isuviše dug, aktivira se FAIL SAFE blok, te

se u zavisnosti od konfiguracije, svaki kanal ponaša dvojako, na već opisan način.

Konfiguracija dekodera za ovaj slučaj se radi uz pomoć PC aplikacije i serijske RS232 veze u okviru podešavanja sistema pre poletanja.



Slika 8. prototip bespilotne letelice.

## VI. ZAKLJUČAK

U radu je opisan sistem upravljanja bespilotnom letelicom, koja je razvijena u institutu IMTEL a koja je namenjena za testiranje opreme i uređaja (slika 8). Ukazano je na neke dobre i loše osobine poznatih sistema i pojašnjena motivacija za izbor sistema u konkretnom slučaju. Uprkos činjenici da se realizovani sistem dobro pokazao u praksi, ideja za unapređenje ima dosta (sistem sa proširenim spektrom). Izabrani koncept sa mikrokontrolerima i odabrani tip mikrokontrolera ostavlja dovoljno prostora i za jednu takvu realizaciju.

## ZAHVALNICA

Rad na ovom projektu sufinansiran je sredstvima Ministarstva za nauku Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Slobodan Tirnanić, "Bespilotne letilice," Vojnoizdavački zavod, Beograd 2001.
- [2] Office of the Secretary of Defense Department of Defense USA, "Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2005-2030", www.uavforum.com, 2005.
- [3] Hyson, J.P., "Decoding The Cypher UAV", Veiflite, Nov/Dec 1990.
- [4] Smiljaković V., Golubičić Z., Manojlović P., Popović N., "Multifunkcionalni sistem vođenja male bespilotne letilice," Zbornik radova 49 konferencije ETRAN, tom II, str. 361-364, Budva, juni 2005.

## ABSTRACT

Some aspects of the practical realization of the R/C system for UAV, are described in this paper. The advantages of using microcontrollers in encoders and decoders circuits are presented by implementing DSR system for noise reduction and signal regeneration.

## REMOTE CONTROL SYSTEM FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE

Gajić Željko