

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Seminarski rad iz predmeta Sustavi za praćenje i vođenje procesa

SPREAD SPECTRUM

Mario Križan
JMBAG : 0036381364
INE

Zagreb 31.5.2004.

1.Sažetak

"Spread Spectrum" je tehnika prijenosa koja za modulaciju signala koji nosi informaciju koristi pseudo slučajni niz (kod) nezavisan od signala informacije. Time se postiže raspršivanje spektra snage signala na puno šire frekvencijsko područje od početne širine spektra signala. Dakle, spektar signala se prije prijenosa " raspršuje " , a na prijemnoj strani se sažima. Upravo ta činjenica raspršivanja pseudo slučajnim nizom čini ovu tehniku vrlo popularnom jer omogućuje korištenje medija za prienos elektromagnetskih valova od strane više korisnika zbog male gustoće snage signala. Broj različitih pseudo slučajnih kodova koji stoje na raspolaganju je velik pa je praktički onemogućeno prisluškivanje što je temeljni razlog uvođenja u vojne primjene. Također se koristi paketski prienos podataka što omogućava kontrolu kvalitete prijenosa.

2.Uvod

Početak ovakvog načina prijenosa seže u Drugi svjetski rat kada je patentiran ovakav sustav zamišljen za navigaciju torpeda koji bi primjenom ove tehnike bili imuni na smetnje što ih je učinilo mnogo preciznijima. Na razvoju ovakvog načina prijenosa radili su i saveznici i sile osovine. Zbog zainteresiranosti vojske svi podaci su bili prilično nedostupni i tajnoviti. Interesantno je da prvi javni patent pripada hollywoodskoj glumici Hedy Lamarr i avangardnom skladatelju George Antheilu. Patent je odobren 1942. ali su detalji bili dugo smatrani vojnom tajnom. Izumitelji nisu unovčili svoj patent već su ga predali vladi SAD-a za ratne potrebe.

Prvi civilni prienos ovakvom tehnikom ostvaren je u ranim osamdesetima. Kasnije je dodjeljeno frekvencijsko područje za komunikaciju pomoću raspršenog spektra .

3.Rezultati istraživanja

Raspršeni spektar ima vrlo široki frekvencijski raspon što ga čini vrlo sličnim signalu šuma. To ima za posljedicu težu detekciju, demodulaciju, presretanje i interferenciju s drugim signalima nego uskopojasni standardni signali. Osnovna ideja leži u modulaciji signala informacije pseudoslučajnim kodom više puno više frekvencije od širine spektra signala.. Kod ili niz se naziva pseudoslučajnim jer se ne radi o stvarnom

Gaussom slučajnom nizu. Odašiljači koji koriste ovu tehniku koriste iste snage, ali zbog frekvencijskog raspršenja spektralna gustoća snage signala (W/Hz) je daleko manja nego kod pojasnih odašiljača. Ovo svojstvo je vrlo zgodno jer raspršeni signal može koristiti isti frekvencijski pojas, a da praktično ne dolazi do međusobne interferencije.

Mogla bi se uspostaviti dva glavna svojstva koja zadovoljava signal raspršenog spektra:

- spektar transmitiranog signal je mnogo širi od spektra signala koji nosi informaciju
- transmitirani signal osim informacije sadrži i kod koji određuje širinu raspršenog spektra

Za ovakve sustave se važan parametar je "faktor raspršenja" (*processing gain*), a određuje broj korisnika u sustavu, težinu detekcije, imunost na smetnje i sl. Definira se kao:

$$G_p = \frac{BW_{SS}}{BW_{info}}$$

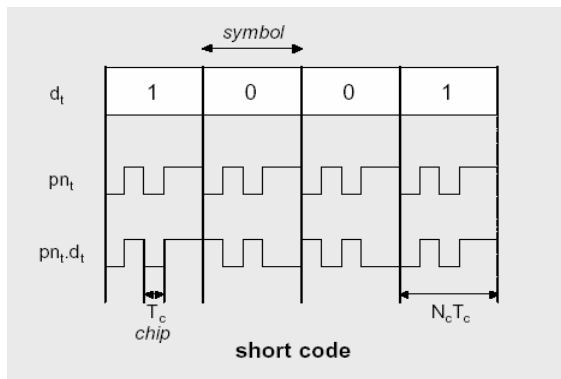
Danas su najraširenije dvije tehnike raspršenog spektra:

- izravnim postupkom (*Direct Sequence Spread Spectrum DSSS*)
- izmjenom frekvencijskih pojaseva (skakanjem) (*Frequency Hopping FHSS*)

3.1. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Ovdje ćemo opisati jednu izvedbu koja koristi DSSS. Za prijenos se koristi M-arna PSK modulacija. Informacija u digitalnom obliku dolazi na modulator. Tu se nakon serijsko-paralelne pretvorbe bitova generira simbol koji predstavlja skup od M koeficijenata. Simbol možemo smatrati M-dimenzionalnim vektorom. Pseudoslučajni niz generiran u modulatoru kodira koeficijente simbola koji se množe sa slučajnim nizom.

Posljedica je promjena koeficijenta simbola kroz vrijeme jer pseudoslučajni niz nije ništa drugo nego niz u kojem se pseudoslučajno izmjenjuju dva naponska stanja. Obično je frekvencija pseudoslučajnog koda cjelobrojni višekratnik frekvencije kojom se šalju simboli informacije. Tada govorimo o "dugačkom kodu" gdje razni simboli imaju različiti uzorak niza kojim se množe. Što je kod duži to će spektar biti raspršeniji jer je

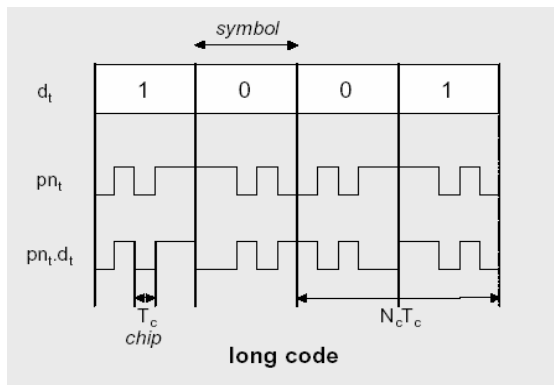


Slika 1.1.

odnosno BPSK modulaciju. Na ulazu su binarni podaci d_t i pseudoslučajni kod p_n_t .

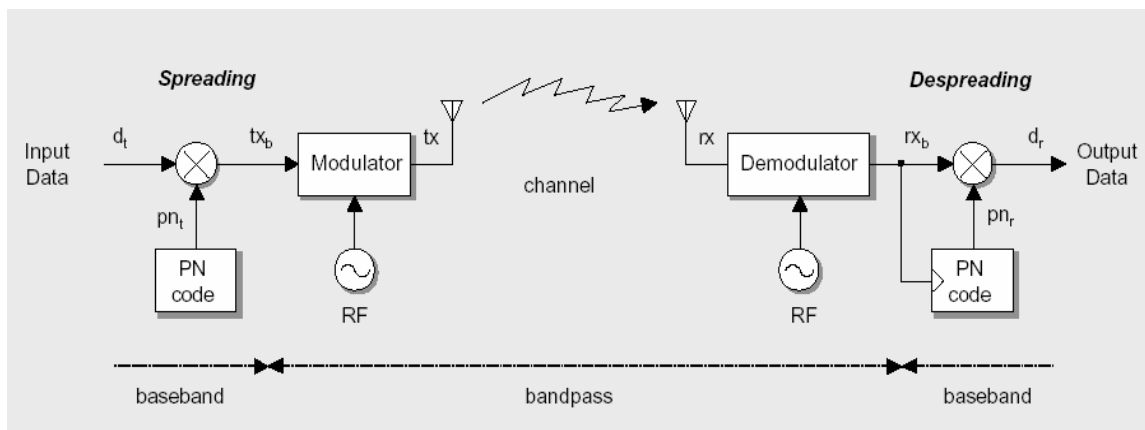
Frekvencija simbola je R_s , a koda $R_c = k R_s$ (cjelobrojni višekratnik od R_s). Tu se množi pseudoslučajni niz p_n_t sa podacima d_t što uzrokuje da se početna širina glavne latice spektra sa R_s raširi na R_c jer sada imamo zapravo spektar signala $tx_b = p_n_t d_t$. Takav raspršeni spektar ne možemo demodulirati običnim prijnikom.

simbol moduliran višom frekvencijom. Maksimalna duljina koda je određena maksimalnom frekvencijom što predstavlja ograničavajući faktor. Razlika između dugačkog i kratkog koda prikazana je na Slikama 1.1. i 1.2. Osnovna blok shema jednog DSSS sustava prikazana je na Slici 1.3. Slučaj opisuje najjednostavniji primjer



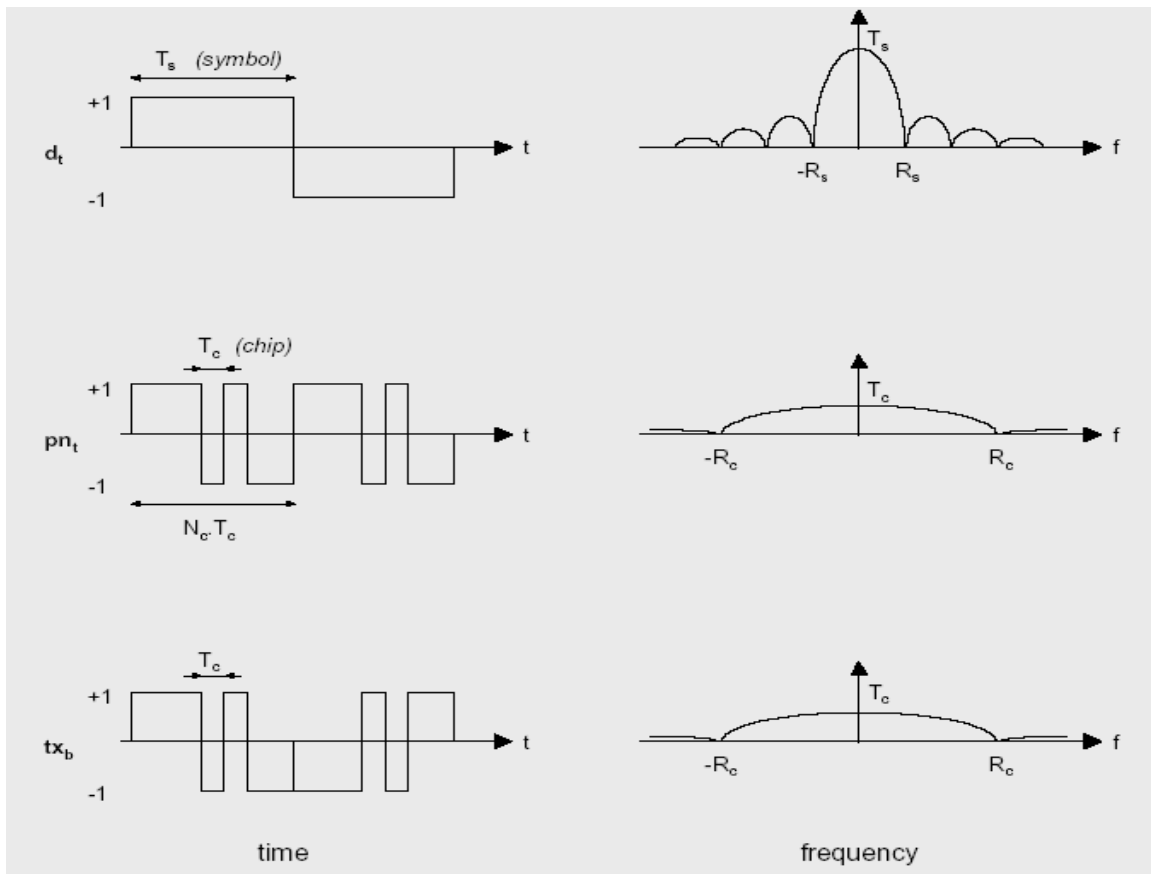
Slika 1.2.

Na nakon vraćanja signala u "baseband" područje imamo signal rx_b kojeg moramo



Slika 1.3.

pomnožiti sa pseudoslučajnim kodom pn_r da bi dobili originalne binarne podatke. Naravno, pn_r na prijamničkoj strani mora biti identičan i sinkron sa pn_t na odašiljačkoj strani. Množenjem se sada događa suprotan učinak sažimanja spektra signala rx_b . Ako vrijedi $pn_r \neq pn_t$ tada nema efekta sažimanja što znači da svaki prijamnik mora poznavati pseudoslučajnog koda u odašiljaču. Upravo tu je sadržana nemogućnost "hvatanja" ovakvih signala jer je vrlo teško otkriti kod koji koristi odašiljač. *Slika 1.4.* zorno prikazuje ove efekte. Princip kod demodulacije je isti samo inverzan.



Slika 1.4.

Sada možemo izraziti faktor raspršenja preko frekvencije simbola R_s i frekvencije koda R_c pa imamo

$$G_p = \frac{BW_{SS}}{BW_{info}} = \frac{R_c}{R_s} \quad 1.1$$

3.1.1. Utjecaj smetnji kod DSSS sustava

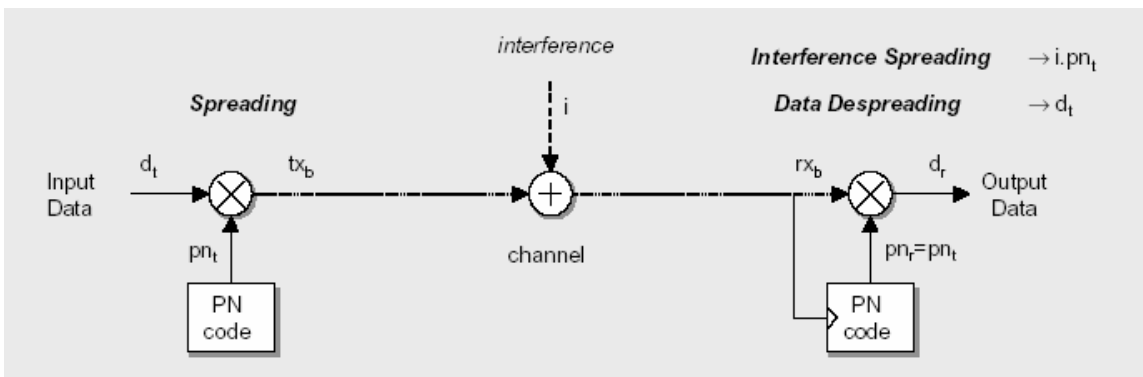
Ako pretpostavimo da se radi o BPSK modulaciji kao najjednostavnijem primjeru i da smetnju možemo modelirati kao aditivnu komponentu koja se u prijenosnom kanalu zbraja sa signalom možemo napisati sljedeće izraze. Priljeni signal se sastoji od dvije komponente:

$$rx_b = tx_b + i = d_t pn_t + i \quad 1.2.$$

Da bi demodulirali priljeni signal moramo ga pomnožiti sa lokalno generiranim pseudoslučajnim kodom $pn_r = pn_t$ pa imamo :

$$d_r = rx_b pn_t = d_t pn_t pn_t + i pn_t \quad 1.3.$$

Vidimo da su podaci d_t dva puta pomnoženi sa pn_t dok je smetnja samo jednom. Zbog

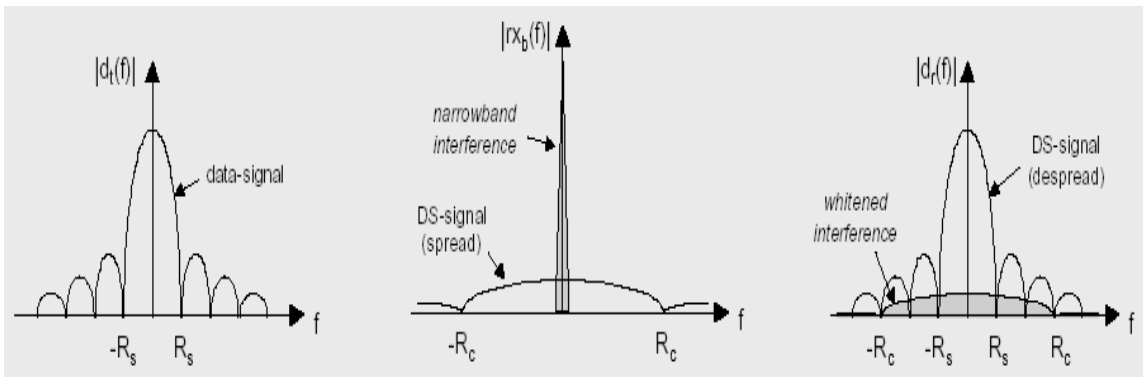


Slika 1.5.

svojstva pseudoslučajnog niza da umnožak $pn_t pn_t$ uvijek daje jedinicu imamo sljedeće

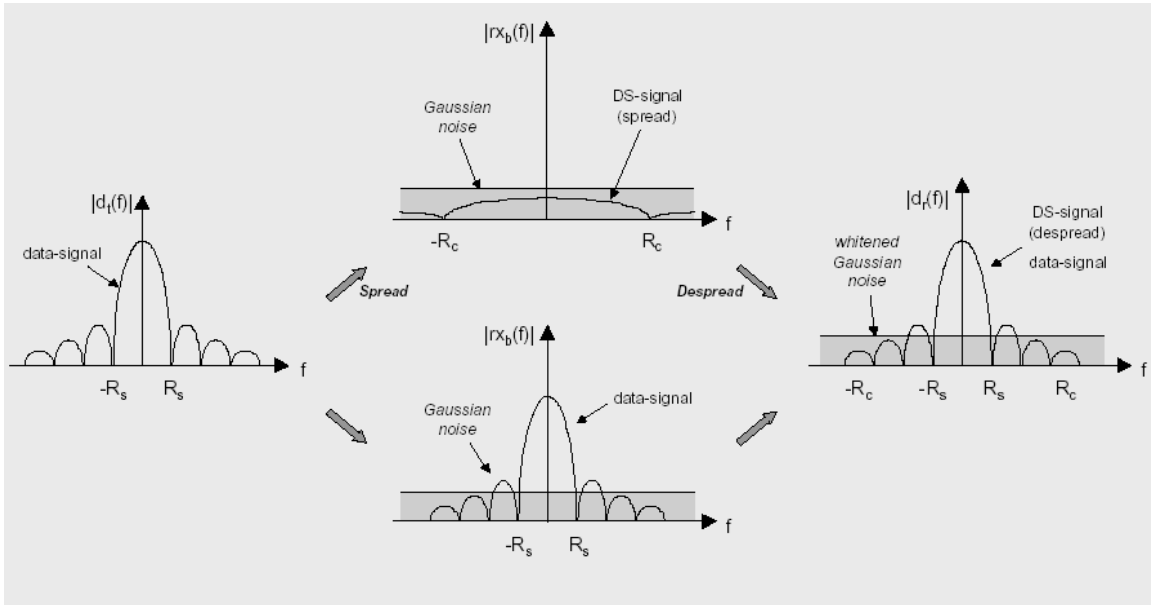
$$d_r = d_t + i pn_t \quad 1.4.$$

Bitovi informacije na kraju ostaju nepromijenjeni jer su pomnoženi dva puta dok smetnja biva pomnožena jedanput. To množenje ima za posljedicu isti učinak na spektar smetnje kao što je ranije imalo na spektar signala informacije u odašiljaču. Spektar smetnje se raspršuje i smanjuje mu se gustoća snage. Na taj način veliki dio smetnje možemo ukloniti filtriranjem samo glavne latice spektra signala jer je veći dio smetnje raspršen, a



Slika 1.6.

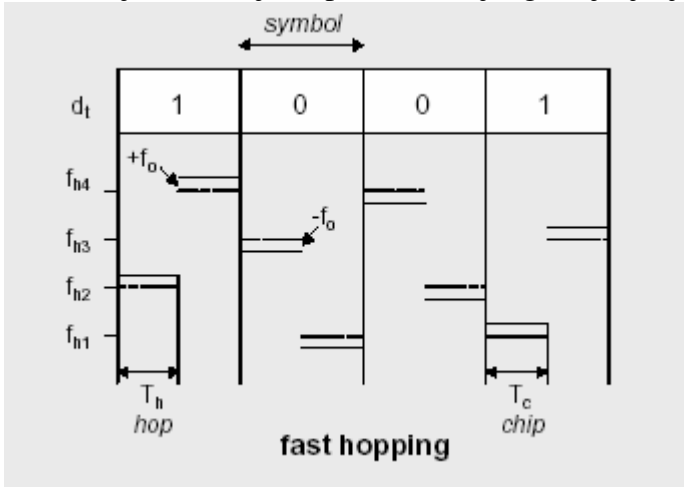
samo jedan dio se nalazi unutar glavne latice. Razlikuje se slučaj uskopojasne smetnje prikazan na *Slici 1.6* u kojem se snaga smetnje smanjuje proporcionalno s faktorom raspršenosti i slučaj širokopojasne smetnje npr. bijelog šuma kod kojeg nema ni pozitivnog ni negativnog utjecaja. To je prikazano na *Slici 1.7*. Pojava širokopojasnih smetnji također raste s brojem korisnika sustava.



Slika 1.7.

3.2. Frequency Hopping (FHSS)

U ovom slučaju se pseudoslučajni kod koristi zajedno sa FSK M-arnom modulacijom s ciljem pseudoslučajnog mijenjanja frekvencije nosioca. Frekvencija



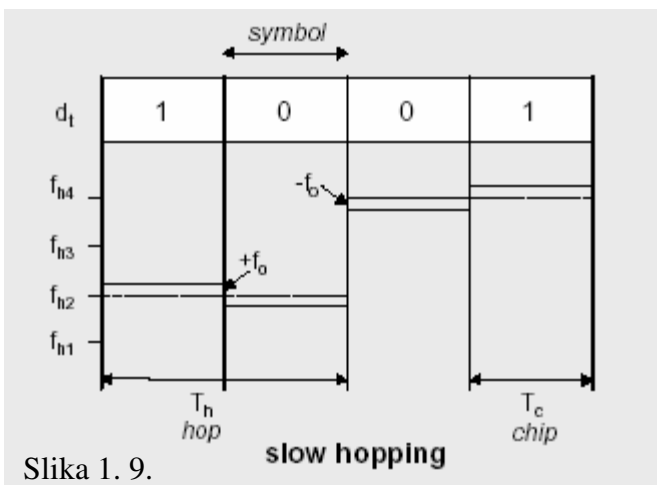
mijenjanja iznosi R_h . Transmitirani signal zauzima određeni dio spektra za vrijeme $T_h = 1/R_h$ i zatim skače na drugi koji mu diktira kod. FHSS dijeli frekvencijsko područje u N kanala koji se prividno slučajno odabiru. Generator u intervalima vremena T_h daje kodnu riječ FW

(Frequency Word)

Slika 1.8.

sintetizatoru frekvencije koji u skladu s njom mijenja frekvenciju. Odašiljač i prijamnik koriste isti pseudoslučajni uzorak.

Širina spektra je određena najnižom i najvišom frekvencijom i širinom spektra na svakoj od N mogućih frekvencija. Za diskretni skok ta širina je identična širini spektra M-FSK modulacije koja je redovito puno manja od W_{SS} (širina spektra raspršenog signala).



Slika 1. 9.

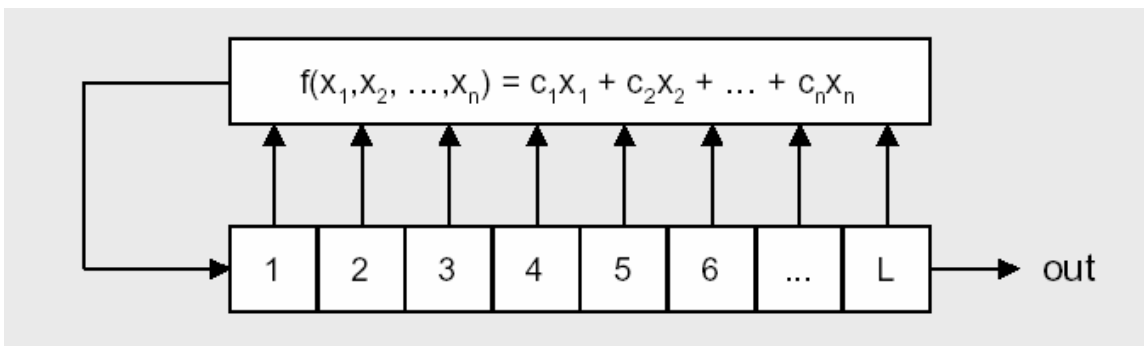
FHSS signal je zapravo uskopojasni, sva snaga je koncentrirana na jedan diskretni kanal. Srednja vrijednost nakon mnogo skokova opada i spektar postaje raspršen. Kako širina spektra FHSS signala ovisi samo o rasponu frekvencija sintetizatora moguće je postići veću raspršenost nego kod DSSS sustava.

Skakanje među frekvencijama redovito unosi fazne pomake. Zbog toga se demodulacija obavlja akohorentno za razliku od DSSS gdje se koristi koherentna demodulacija.

Definira se brzina preskakanja, treba jednom prijeći barem 79 kanala unutar 30s (norma IEEE 802.11b , Wi-Fi).

3.3. Generiranje pseudoslučajnog niza

Za dobivanje pseudoslučajnog niza koristi se posmačni registar sa povratnim vezama. Nad bitovima koji se spojeni u povratnu vezu se ostvaruje zbrajanje i logička



Slika 1.10.

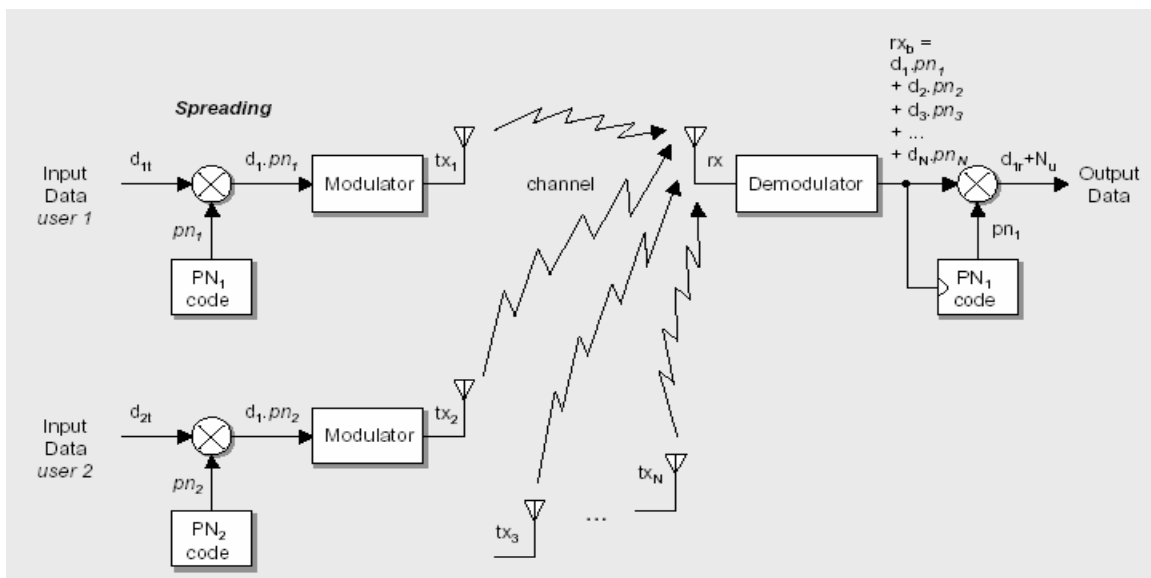
funkcija modulo 2 od sume bitova koji su spojeni u povratnu vezu.. Izlazna vrijednost se šalje na ulaz posmačnog registra. Kod koji se može generirati na takav način ovisi o duljini registra i načinu na koji su ostvarene povratne veze. Ovaj način dozvoljava mnoštvo konfiguracija pa samim tim i mnoštvo različitih kodova. Postoje određena pravila za izbor kodova jer oni moraju zadovoljavati određene uvjete. Na *Slici 1.10.* je prikazana takva konfiguracija za dobivanje pseudoslučajnog niza.

3.4.Code Division Multiple Acces CDMA

Ova tehnika je namijenjena za bežični prijenos, a radi se o metodi multipleksiranja više korisnika upotrebom ortogonalnih kodova. Svi korisnici istovremeno komuniciraju i koriste isti frekvencijski pojas. Prednost ove metode što nije potrebno prethodno alocirati frekvencijski pojas niti je potrebna vremenska sinkronizacija kao kod drugih tehnika namijanjenih za više korisnika.

Kod CDMA svaki korisnik

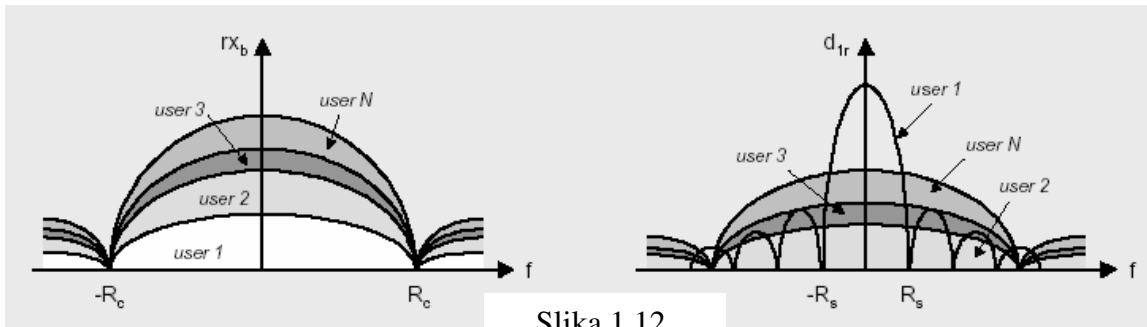
- ima svoj pseudoslučajni kod
- koristi isti radiofrekvencijski nosioc
- odašilje simulatano (sinhrono i asinhrono)



Slika 1.11.

Ako imamo više korisnika u sustavu tada svaki od njih šalje svoj raspršeni signal pa se u određenom frekvencijskom području istovremeno nalazi više signala. Zamislimo

sada jednog korisnika koji treba "izvući" samo svoj signal. Nakon vraćanja signala iz transponiranog u osnovno frekvencijsko područje množenjem sa pn nizom u



demodulatoru se sažima samo onaj signal koji odgovara tom pn nizu odnosno tom korisniku. Svi ostali signali nisu korelirani sa pn nizom dodijeljenim tom korisniku pa nema učinka sažimanja. Oni predstavljaju šum za taj modulator. Veći dio tih raspršenih signala drugih korisnika se da filtrirati jer samo je jedan njihov dio unutar glavne latice spektra signala informacije određenog korisnika.

3.5. Ometanje (Jamming) raspršenog signala

Ometanjem se želi onemogućiti ili otežati nečiju komunikaciju pa je cilj napraviti sustav otporan na smetnje, ali pod sljedećim pretpostavkama:

- potpuna sigurnost nije moguća
- osoba koja ometa ima potrebna znanja o paramerima prijenosnog sustava
- osoba koja ometa nema potrebna znanja o paramerima prijenosnog sustava

Zaštita od smetnji se postiže namjernim "maskiranjem" signala tako da se koristi puno veće područje frekvencija od minimalno potrebnog za prijenos. Tako se signal "utopi" i postaje sličan šumu. Transmitirani signal može propagirati kroz kanal nedetektiran od ikoga tko možda prisluškuje. Raspršeni spektar je metoda "kamoufliranja" informacije.

3.6. ISM frekvencijsko područje

ISM frekvencijsko područje se dodjeljuje za industrijske, znanstvene i medicinske primjene (*Industrial, Scientific, Medical*). U Republici Hrvatskoj ono je dano *tablicom 1*

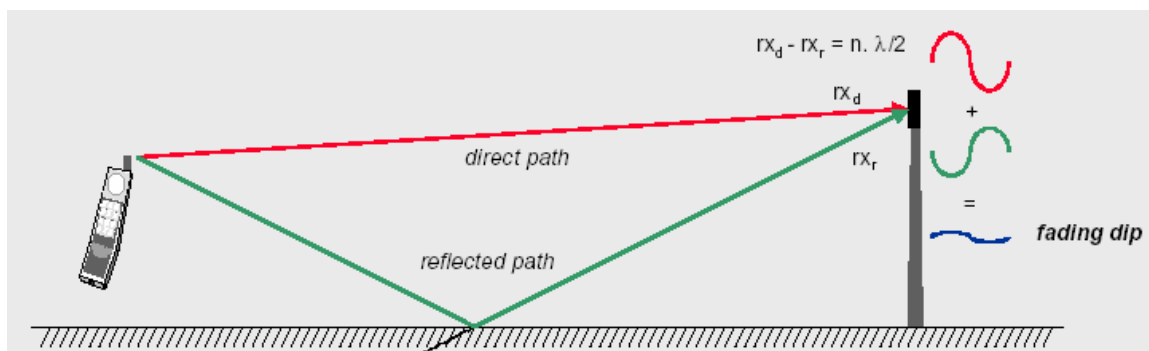
Tablica 1.

središnja frekvencija [MHz]	širina pojasa [MHz]
27,20	26.957 - 27,283
40,68	40,66 – 40,70
433,92	433,05-434,79
2450	2400-2500
5725	5725-5850

U SAD-u postoji organizacija FCC (*Federal Communications Commission*) koja se brine o dodjeljivanju frekvencijskih područja .U Europi je ekvivalent ETS (*European Telecommunication Standard*). U RH "Spread Spectrum" područje je dodijeljeno između 2400-2500 MHz.

3.6. Višestruki putevi signala

U bežičnim komunikacijama često postoji više od jednog puta propagacije signala zbog atmosferskih refleksija ili refrakcija i odbijanja od zemlje, objekata i sl. To može uzrokovati fluktuacije razine signala u prijemniku zbog razlike u fazi između signala. Sada ćemo prikazati što se događa za "Spread Spectrum" signale. Pretpostavit ćemo da



Slika 1.13.

postoji direktni put i jedan nedirektni kojg ćemo opisati vremenskim pomakom τ . Uzet ćemo u obzir tri parametra. To su :

- τ vremenski pomak signala iz dva različita puta
- θ slučajni pomak u fazi nosioca direktnog i nedirektnog puta
- α atenuacija signala nedirektnog puta

Signal u prijamniku se može izraziti kao:

$$rx = rx_d + rx_r + n = Ad_i(t)pn(t)\cos(\omega_o t) + \alpha Ad_i(t - \tau)pn(t - \tau)\cos(\omega_o t + \theta) + n(t) \quad 1.5$$

Kako je prijamnik sinkroniziran sa signalom direktnog puta vrijedi sljedeći izraz:

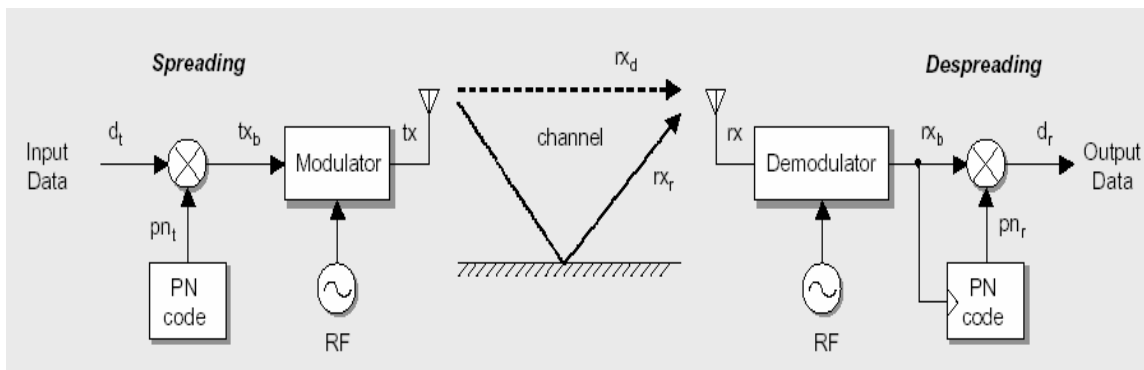
$$d_r(t = N_c T_c) = \int_0^{N_c T_c} pn(t)rx(t)dt = \int_0^{N_c T_c} [Bpn(t)pn(t) + Cpn(t)pn(t - \tau)dt + n(t)]dt \quad 1.6$$

Vrijede sljedeće jednakosti za autokorelaciju pseudoslučajnog niza:

$$\begin{aligned} pn(t)pn(t) &= 1 \\ pn(t)pn(t - \tau) &\neq 1 \\ d_r &= d_i + n_o \end{aligned} \quad 1.7$$

gdje n_o predstavlja šum .

Iz ovoga se može zaključiti da signali koji kasne za signalom direktnog puta nisu korelirani i vrlo malo utječu na razinu signala koji prijamnik prima. Pseudoslučajni kod stiže reflektiranim putem nije sinkroniziran s kodom u prijamniku i kao takav biva rejektiran.



Slika 1.14

3.7. Kratki pregled karakteristika "Spread Spectruma"

Pozitivne strane

- kamufliranje signala, smanjena gustoća snage, sličnost šumu
- privatnost komunikacije
- Code Division Multiple Acces – više korisnika
- rejekcija signala koji dolaze u prijamnik nedirektnim putem zbog nesinkroniziranosti
- zaštita od namjernog ometanja
- rejekcija nenamjernih smetnji
- mala vjerojatnost detekcije i presretanja
- dostupnost ISM slobodnih frekvencijskih pojasa

Negativne strane

- nema poboljšanja za bijeli šum
- odašiljač mora primati širokopojasni signal
- povećana složenost i obrada