

SPREAD SPECTRUM

Muh. Wicaksono A. 31163-TE
 Erick Kristanto G. 32131-TE
 Muh. Fitrah Sugita 30376-TE
 Jurusan Teknik Elektro FT UGM,
 Yogyakarta

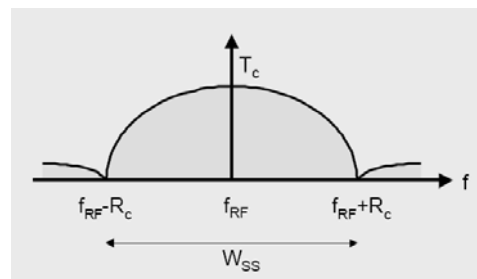
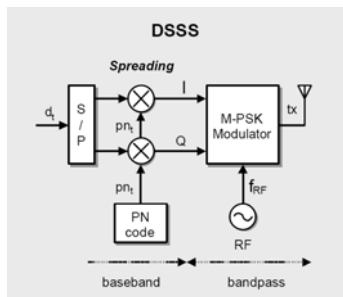
1. DEFINISI SPREAD SPECTRUM

Sebuah teknik transmisi dimana kode *pseudo noise*, independent dari data informasi, yang digunakan sebagai gelombang modulasi untuk “menyebarkan” energi sinyal melalui sebuah *bandwidth* jauh lebih besar dari pada *bandwidth* sinyal informasi. Pada penerima, sinyal di-“kumpulkan” menggunakan replika kode *pseudo-noise* yang telah disinkronisasikan.

2. PRINSIP DASAR SISTEM SPREAD SPEKTRUM: DSSS DAN FHSS

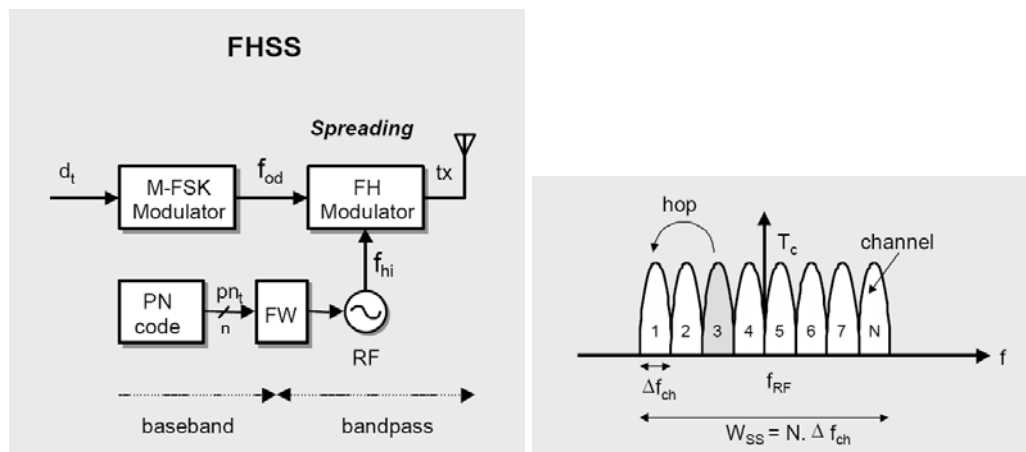
2.1. Direct Sequence Spread Spectrum

Sebuah *pseudo noise sequence* pn_t dibuat pada modulator, yang digunakan sebagai konjungsi dengan sebuah modulasi PSK M-ary untuk menggeser fase dari PSK secara psudorandom pada *chipping rate* R_c ($=1/T_c$), yaitu sebuah frekuensi yang berupa perkalian integer dari R_s ($=1/T_s$). Bandwidth yang ditransmisikan ditentukan oleh chip rate dan baseband filtering. Modulasi PSK memerlukan demodulasi yang koheren.

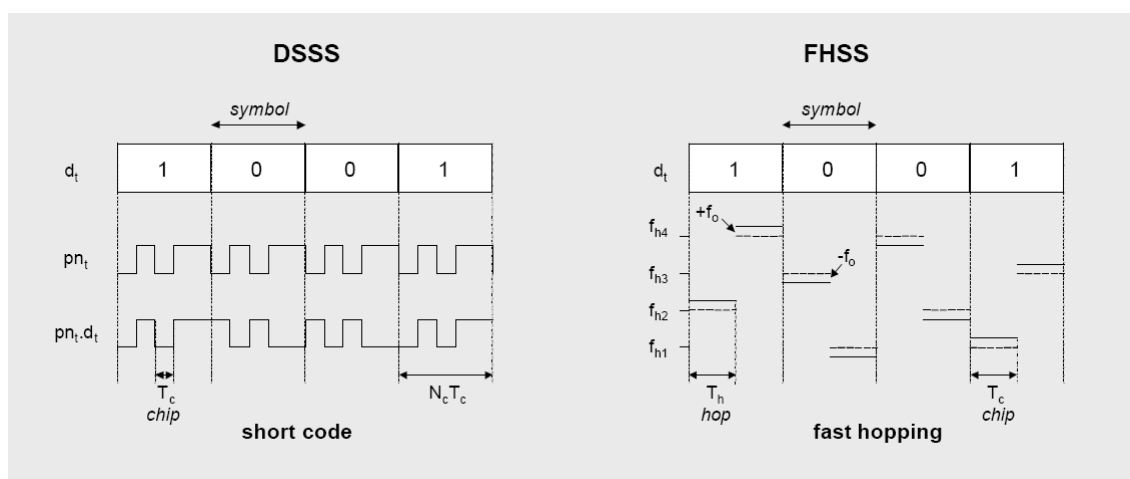


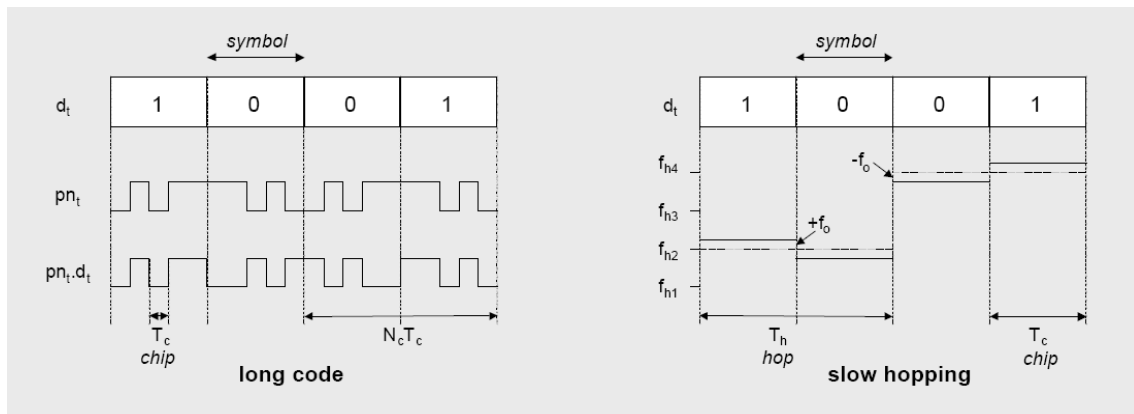
2.2. Frequency Hopping Spread Spectrum

Sebuah *pseudo noise sequence* pn_t dibuat pada modulator, yang digunakan sebagai konjungsi dengan sebuah modulasi FSK M-ary untuk menggeser frekuensi pembawa dari PSK secara pseudorandom pada *hopping rate* R_h . Sinyal yang ditransmisikan melingkupi beberapa frekuensi dalam satu waktu, masing-masing untuk satu periode T_h ($=1/R_h$), disebut sebagai *dwell time*. FHSS membagi bandwidth yang ada ke dalam N kanal dan hop diantara kanal-kanal tersebut menurut PN sequence. Transmitter dan receiver mengikuti pola frekuensi hop yang sama.



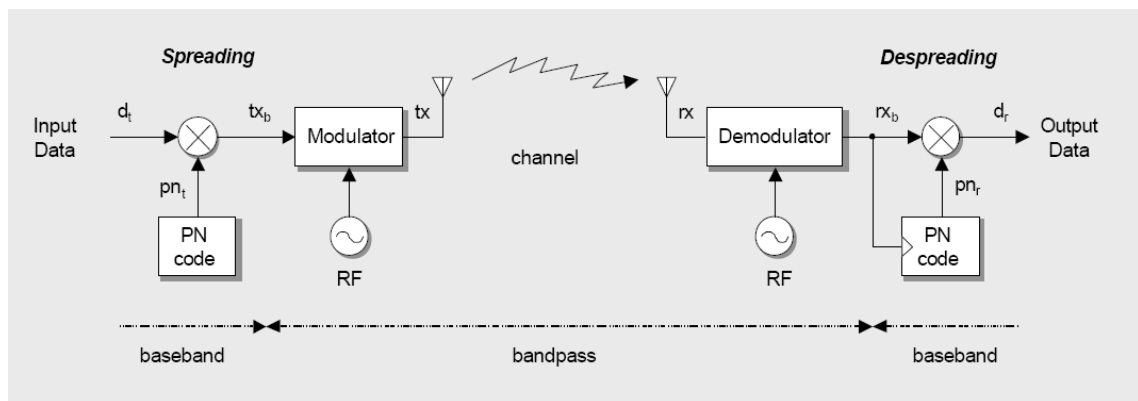
DSSS dan FHSS:





3. PRINSIP DASAR DARI *DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM* (DSSS)

Untuk modulasi BPSK, building block dari sistem DSSS sebagai berikut:



Input:

- Binary data d_t dengan symbol rate $R_s = 1/T_s$ (= bitrate R_b untuk BPSK)
- Pseudo-noise code p_n_t dengan chip rate $R_c = 1/T_c$ (sebuah integer dari R_s)

Spreading:

Pada transmitter, binary data d_t (untuk BPSK, I dan Q untuk QPSK) adalah “secara langsung” dikalikan dengan PN sequence p_n_t yang terpisah dari baseband yang binary data, untuk memproduksi sinyal baseband yang ditransmisikan tx_b .

$$tx_b = d_t \cdot p_n_t$$

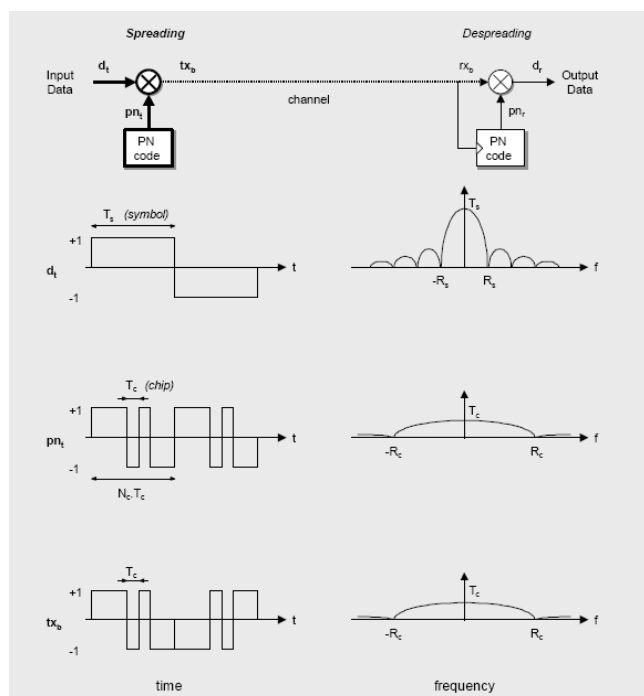
Efek dari perkalian d_t dengan PN sequence adalah untuk menyebarkan baseband bandwidth R_b dari d_t ke baseband bandwidth R_c .

Despreading:

Sinyal Spread Spectrum tidak bias dideteksi dengan penerima narrowband konvensional. Pada receiver, sinyal baseband r_{x_b} yang diterima dikalikan dengan PN sequence p_{n_t} .

- Jika $p_{n_r} = p_{n_t}$ dan disinkronisasi ke PN sequence pada data yang diterima, kemudian binary data yang dipulihkan diproduksi pada d_r . akibat perkalian dari sinyal spread spectrum r_{x_b} dengan PN sequence p_{n_t} digunakan pada transmitter adalah untuk despread bandwidth r_{x_b} ke R_s .
- Jika $p_{n_r} \neq p_{n_t}$, kemudian tidak terjadi despread. Sinyal d_r memiliki spread spectrum. Penerima tidak mengetahui PN sequence dari transmitter sehingga tidak bisa memproduksi kembali data yang telah dikirim.

3.1. MODULASI



Spread spectrum system menyebarkan sinyal informasi d_t yang memiliki BW_{info} , pada bandwidth BW_{ss} yang lebih besar.

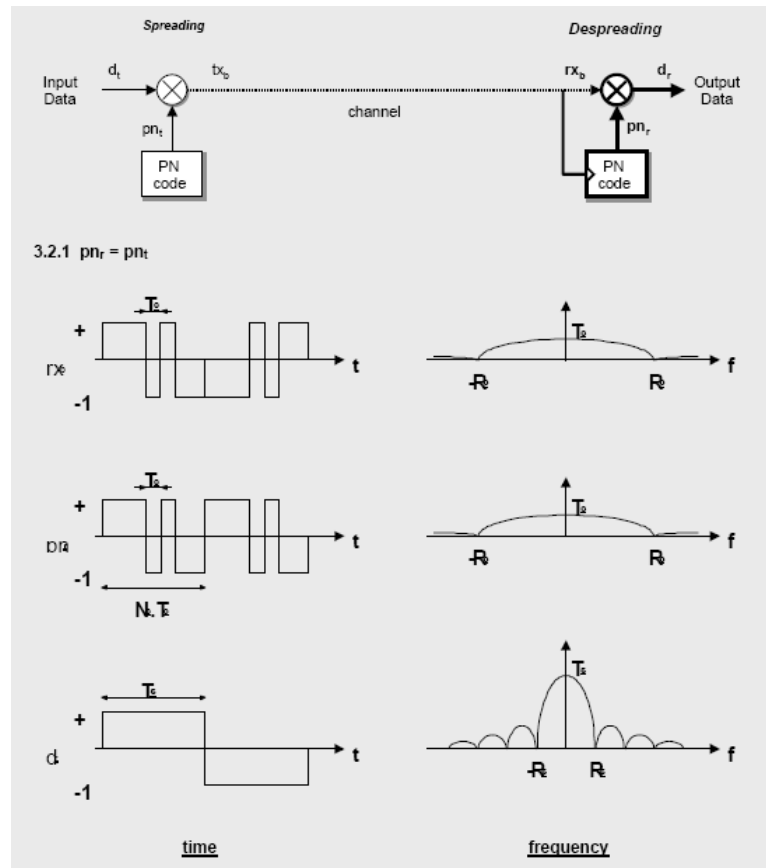
$$BW_{info} \equiv R_s \ll BW_{ss} \equiv R_c$$

Spektrum sinyal SS seperti white noise. Amplitudo dan daya pada sinyal SS tx_b sama seperti sinyal informasi asal d_t . Karena peningkatan bandwidth sinyal SS, power spectral density harus lebih rendah. Bandwidth expansion factor, menjadi rasio dari chip rate R_c dan data symbol rate R_s , pada praktiknya, biasanya dipilih menjadi sebuah integer.

$$SF = G_p = BW_{ss}/BW_{info} = R_c/R_s = T_b/T_c = N_c$$

3.2. DEMODULASI

3.2.1. $pn_r = pn_t$



Untuk mendemodulasi, sinyal yang diterima dikalikan dengan p_{nr} , (ini PN sequence yang sama seperti p_{nt}) disinkronisasikan dengan PN sequence pada sinyal r_{xb} yang diterima. Operasi ini disebut despreading, karena akibatnya adalah membalikkan operasi spreading pada transmitter.

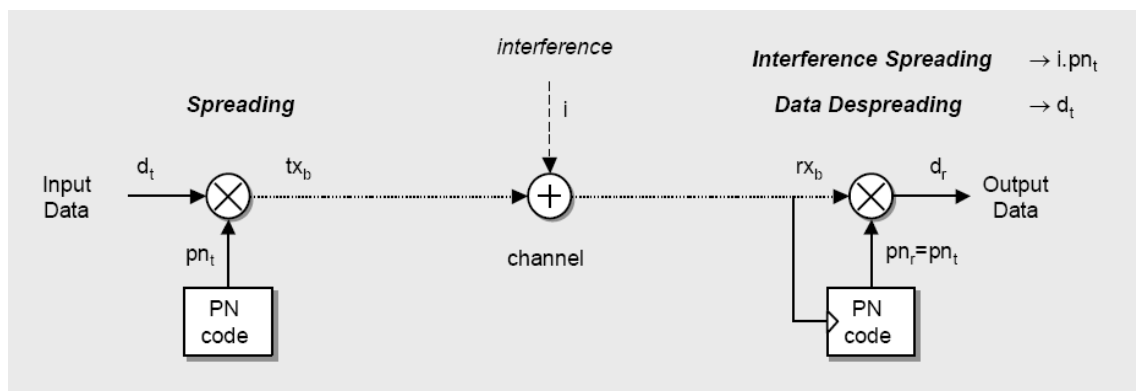
3.2.2. $p_{nr} \neq p_{nt}$

jika sinyal yang diterima dikalikan dengan PN sequence p_{nr} , berbeda dengan PN sequence yang digunakan pada modulator, hasil perkaliannya menjadi: $d_r = r_{xb} \cdot p_{nr} = (d_t \cdot p_{nt}) \cdot p_{nr}$

pada receiver, deteksi sinyal yang diharapkan didapat dengan korelasi terhadap sequence referensi lokal. Untuk komunikasi yang aman dalam penggunaan multi user, data yang ditransmisikan d_t , mungkin tidak bisa di kembalikan oleh user yang tidak tahu PN sequence p_{nt} yang digunakan. Maka: crosscorrelation $R_c(\tau) = \text{average}(p_{nt} \cdot p_{nr}) \ll 1$ untuk semua nilai τ .

4. PERFORMA TERHADAP INTERFERENSI

Untuk menyederhanakan pengaruh interferensi, sistem spread spektrum dianggap untuk komunikasi BPSK baseband (tanpa filter).



Sinyal yang diterima terdiri dari sinyal transmisi tx_b ditambah dengan interferensi i yang bersifat additif.

$$rx_b = tx_b + i = d_t \cdot pn_t + i$$

Untuk memulihkan data asli dt , sinyal yang diterima rx_b dikalikan dengan PN sequence receiver pn_r yang berupa replika yang digunakan pada transmitter dan telah disinkronkan. Keluaran pengali menjadi:

$$d_r = rx_b \cdot pn_r = d_t \cdot pn_t \cdot pn_t + i \cdot pn_t$$

Sinyal data dt dikalikan dua kali dengan PN sequence pnt , tetapi interferensi i hanya dikalikan sekali. Karena sifat dari PN sequence:

$$pnt \cdot pn_t = 1 \quad \text{untuk semua nilai } t$$

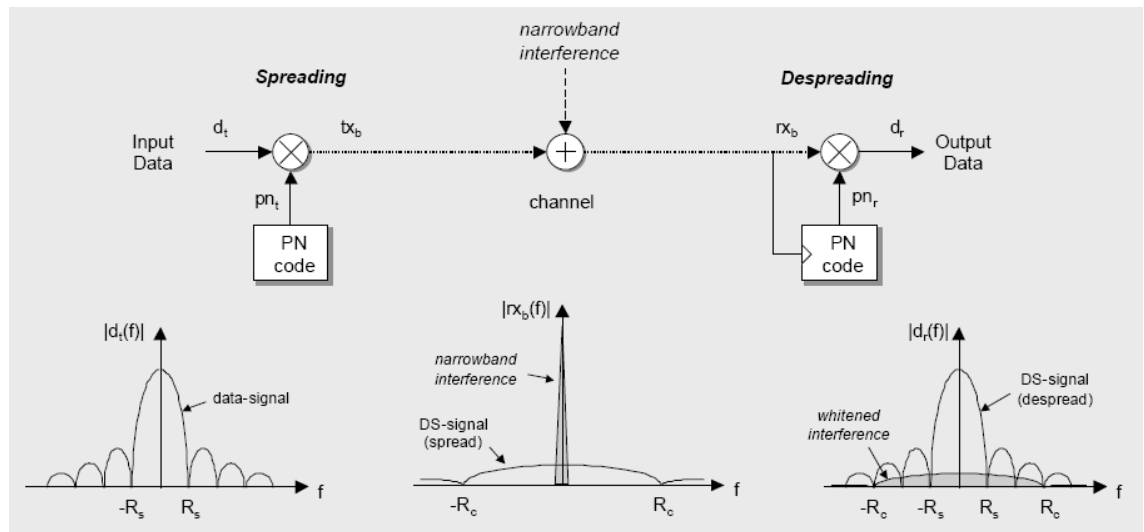
keluaran pengali menjadi:

$$d_r = d_t + i \cdot pn_t$$

sinyal data d_t diproduksi ulang oleh keluaran pengali pada receiver, kecuali untuk interferensi yang ditampilkan oleh $i \cdot pn_t$. Pengalihan dari interferensi i oleh PN sequence lokal, mempunyai maksud bahwa kode spreading akan dipengaruhi oleh interferensi hanya karena hal ini terjadi dengan sinyal bearing pada transmitter. Derau dan interferensi menjadi tidak terkorelasi dengan PN sequence, meningkatkan bandwidth dan mereduksi kerapatan daya setelah perkalian.

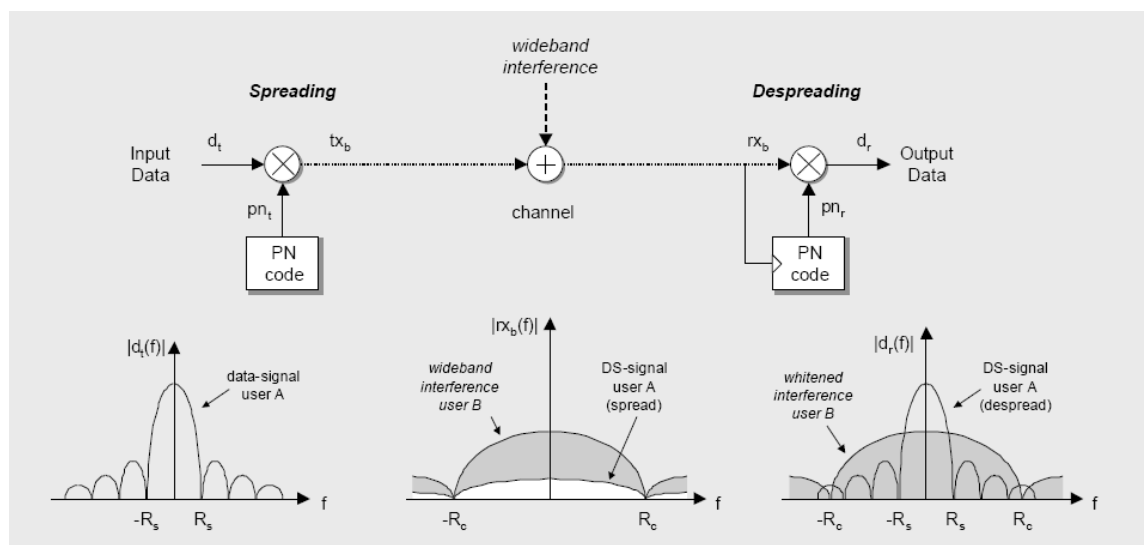
Setelah despreading, komponen d_t berupa narrowband (R_s), tetapi komponen interferensi berupa wideband. Dengan mengaplikasikan sinyal d_r ke baseband (low-pass) filter dengan bandwidth yang cukup untuk mengakomodasi d_r . Hampir semua komponen interferensi terfilter. Efek dari interferensi direduksi dengan gain proses (G_p).

4.1. INTERFERENSI *NARROWBAND*



Derau narrowband menyebar oleh pengali dengan PN sequence pnr receiver. Kerapatan daya derau direduksi terhadap sinyal data despread. Hanya i/G_p dari daya derau asal yang tersisa pada baseband informasi (R_s). Interferensi narrowband akan meniadakan penerima narrowband konvensional. Hal paling penting pada kemampuan sistem spread spektru menolak interferensi adalah sinyal data dikalikan dua kali oleh PN sequence. Tetapi sinyal interferensi hanya sekali.

4.2. INTERFERENSI *WIDEBAND*



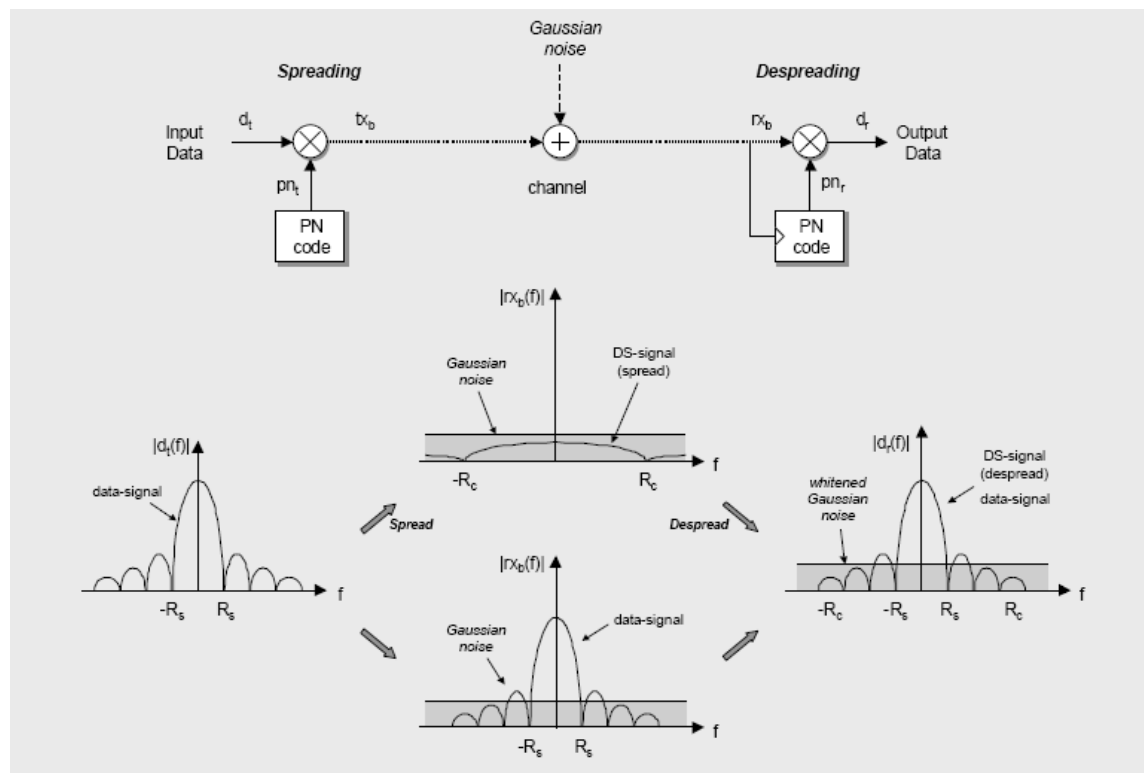
Perkalian dari sinyal yang diterima dengan PN sequence pada receiver menghasilkan sinyal data despread yang lebih selektif (bandwidth yang lebih kecil, dan kerapatan daya yang lebih besar). Sinyal interferensi tidak terkorelasi dengan PN sequence dan menjadi tersebar.

Sebab derau wideband:

- pengguna spread spektrum: multiple access mechanism.
- Gaussian noise: tidak terjadi kenaikan SNR dengan spread spektrum. Semakin besar kanal bandwidth (R_c pada R_s) meningkatkan daya derau yang diterima sebesar G_p .

$$N_{\text{info}} = N_0 \cdot BW_{\text{info}} \rightarrow N_{\text{ss}} = N_0 \cdot BW_{\text{ss}} = N_{\text{info}} \cdot G_p$$

Sinyal spread spektrum memiliki kerapatan daya yang lebih rendah daripada sinyal yang ditransmisikan.



5. PSEUDO-NOISE SEQUENCES PN

5.1. *PSEUDO RANDOM NOISE*

Kode pseudo-Noise (PN) sequence bersifat seperti noise, digunakan sebagai sinyal pembawa pada sistem spread spectrum. Pemilihan kode yang baik merupakan hal yang penting, karena tipe dan panjang kode menentukan batasan-batasan kapabilitas sistem.

Kode PN sequence merupakan pseudo random sequence dari 1 dan 0, tetapi tidak benar-benar random sequence karena sifatnya yang periodis. Sedang random sinyal tidak dapat diprediksi.

Auto korelasi dari kode PN memiliki sifat simular terhadap white noise.

Pseudo random:

- Tidak random, tetapi terlihat random bagi pengguna yang tidak mengetahui kode tersebut.
- Determenistik, diketahui oleh transmitter dan receiver.
- Memiliki ciri-ciri statistik yang mirip dengan white noise.

5.2. *PROPERTI PN SEQUENCES*

- Balance

Pada tiap periode sequence jumlah biner 1 berbeda dari jumlah biner 0 dengan selisih paling banyak 1 digit (untuk N_c ganjil)

$$P_n = +1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 \rightarrow \sum = +1$$

Ketika memodulasi sebuah pembawa dengan kode PN sequence, keseimbangan 1 dan 0 (komponen DC) dapat membatasi derajat carrier suppression, karena carrier suppression tergantung pada simetri sinyal modulasi.

- Run length

Run adalah sebuah sequence dari tipe single digit biner. Di antara run 1 dan 0 pada tiap periode dikehendaki kira-kira setengah run dari tiap tipe panjang 1, kira-kira seperempat panjang 2, seperdelapan panjang 3 dan seterusnya.

- Autocorrelation

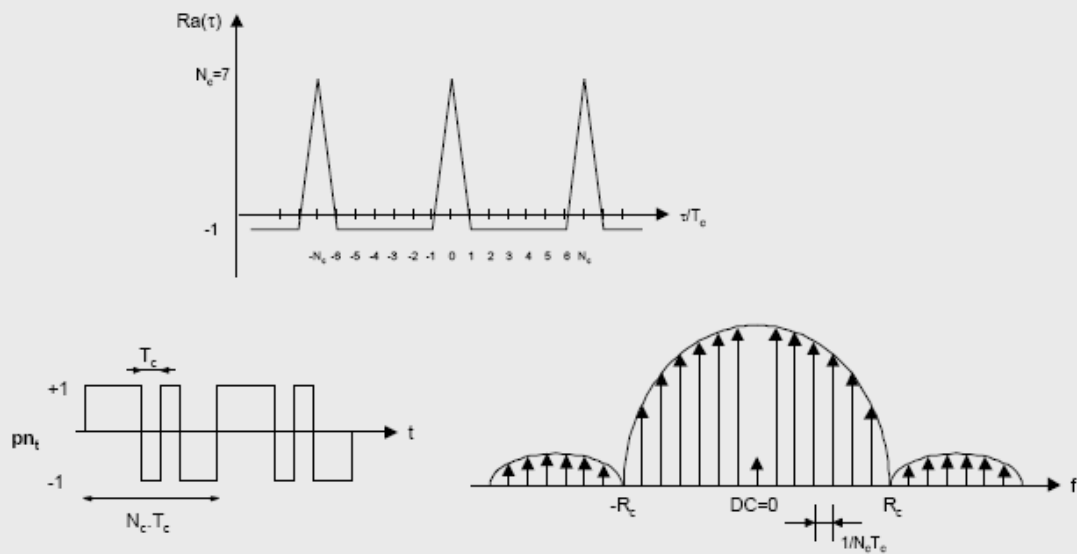
Asal nama pseudo noise adalah bahwa sinyal digital memiliki fungsi autokorelasi yang sangat sama terhadap sinyal white noise, yaitu seperti impuls. Fungsi autokorelasi untuk sequence periodis pn didefinisikan sebagai jumlah dari persetujuan yang lebih sedikit dari jumlah ketidaksetujuan dalam sebuah perbandingan dari satu periode penuh sequence dengan pergeseran cyclic (posisi τ) dari sequence itu sendiri.

$$Ra(\tau) = \int_{-NcTc/2}^{NcTc/2} pn(t) \cdot pn(t + \tau) dt$$

Paling baik jika $Ra(\tau)$ tidak lebih besar dari 1 jika tidak disinkronisasi ($\tau=0$).

$$\begin{array}{r} pn(0) = +1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 \\ pn(0) = +1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 \\ \hline +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 = \Sigma = 7 = Ra(\tau=0) \end{array}$$

$$\begin{array}{r} pn(0) = +1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 \\ pn(1) = +1 +1 -1 +1 -1 -1 +1 \\ \hline +1 +1 -1 -1 -1 +1 -1 = \Sigma = -1 = Ra(\tau=1) \end{array}$$



- Frequency Spectrum

Karena sifat periodic PN sequence, spektrum frekuensi memiliki garis spektral yang menjadi lebih dekat satu sama lain terhadap kenaikan panjang sequence Nc . Masing-masing garis dikotori lebih jauh dengan mengacak data, yang

menyebarkan masing-masing garis spektral dan mengisi lebih jauh di antara garis-garis untuk membuat spektrum hampir mendekati garis kontinyu. Komponen DC ditentukan oleh keseimbangan 1 dan 0 dari PN sequence.

- Cross-correlation

Cross correlation menjelaskan interferensi antara kode pn_i dan pn_j :

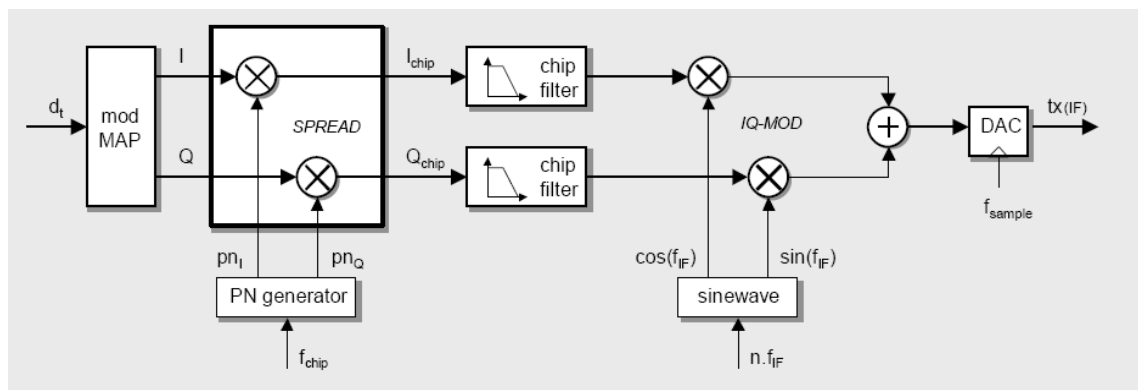
$$Ra(\tau) = \int_{-NcTc/2}^{NcTc/2} pn_i(t) \cdot pn_j(t + \tau) dt$$

Cross correlation adalah pengukuran dari semua persetujuan diantara dua kode yang berbeda pn_i dan pn_j . Dimana cross correlation $Rc(\tau)$ adalah 0 untuk semua τ , disebut ortogonal. Pada CDMA pengguna yang banyak menggunakan RF bandwidth yang sama dan mentransmisikannya secara simultan. Ketika kode pengguna ortogonal, tidak akan terjadi interference diantara para pengguna setelah despreading dan privasi komunikasi masing-masing pengguna dilindungi.

Pada praktiknya, kode-kode ini tidak ortogonal secara sempurna, dengan demikian cross correlation diantara kode-kode user menghasilkan degradasi performa (meningkatkan daya derau setelah despreading), yang membatasi jumlah maksimal pengguna secara serempak.

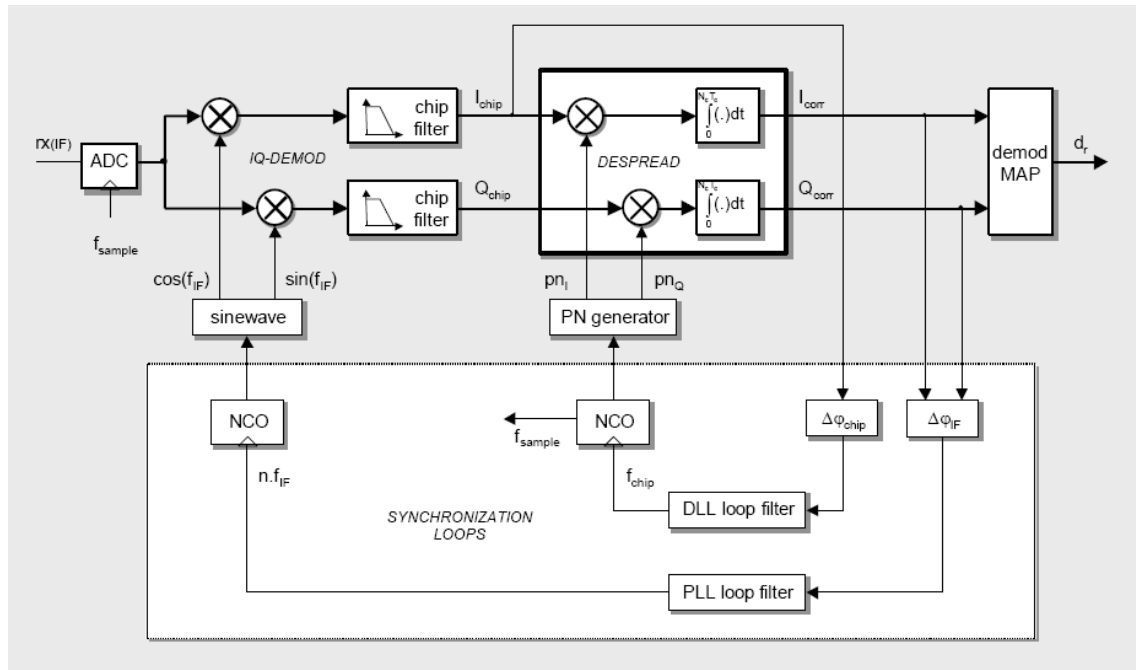
6. ARSITEKTUR TRANSMITTER

Arsitektur transmitter DSSS:



7. ARSITEKTUR RECEIVER

Arsitektur receiver DSSS:

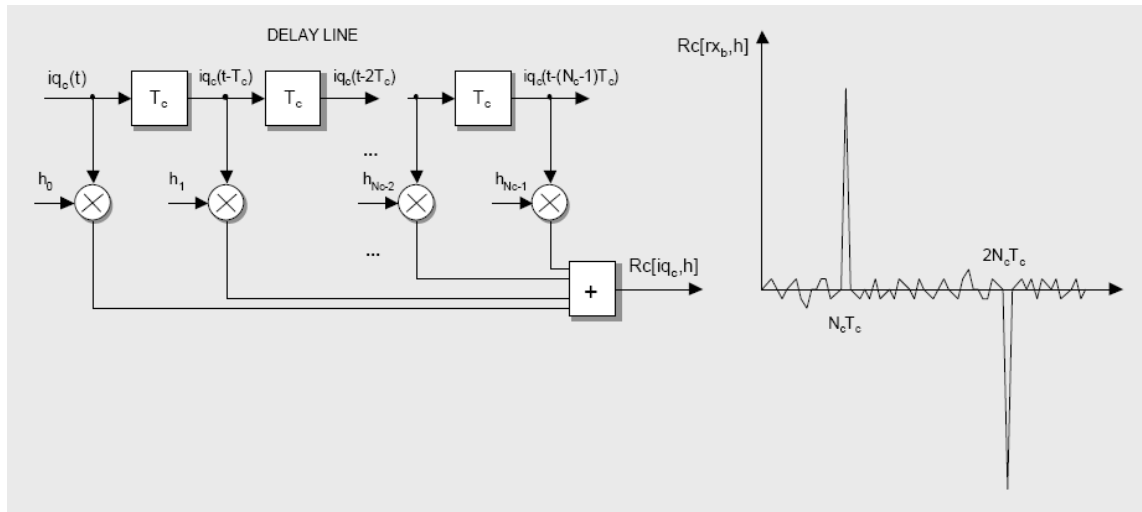


8. PN DEKORELATOR

Dua arsitektur PN dekorelator dapat digunakan untuk men-despread-kan sinyal spread spektrum. Yaitu: matched filter dan korelator aktif. Dua arsitektur ini memiliki SNR yang optimal.

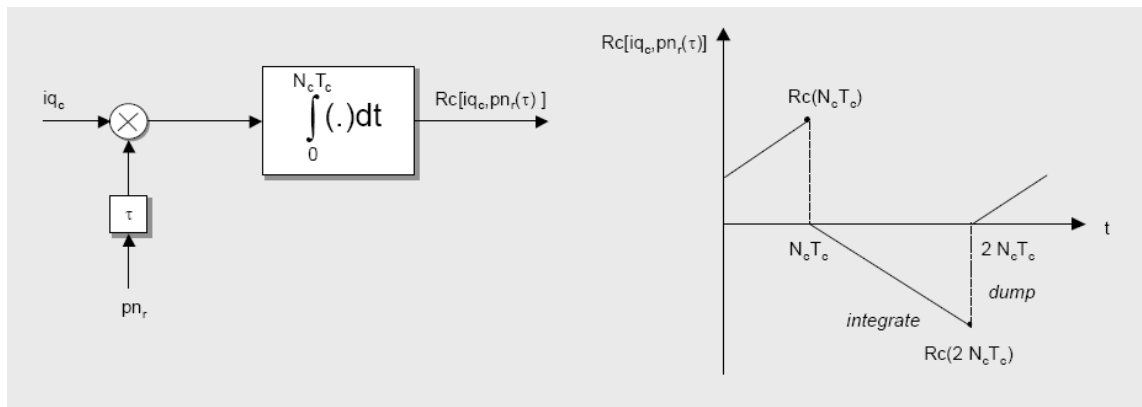
8.1. PN MATCHED FILTER

Matched filter menimplementasikan konvolusi menggunakan sebuah Finite impuls response Filter (FIR) yang memiliki koefisien yang berbalik waktu dari PN sequence yang diharapkan, untuk mendekodekan data yang dikirimkan.



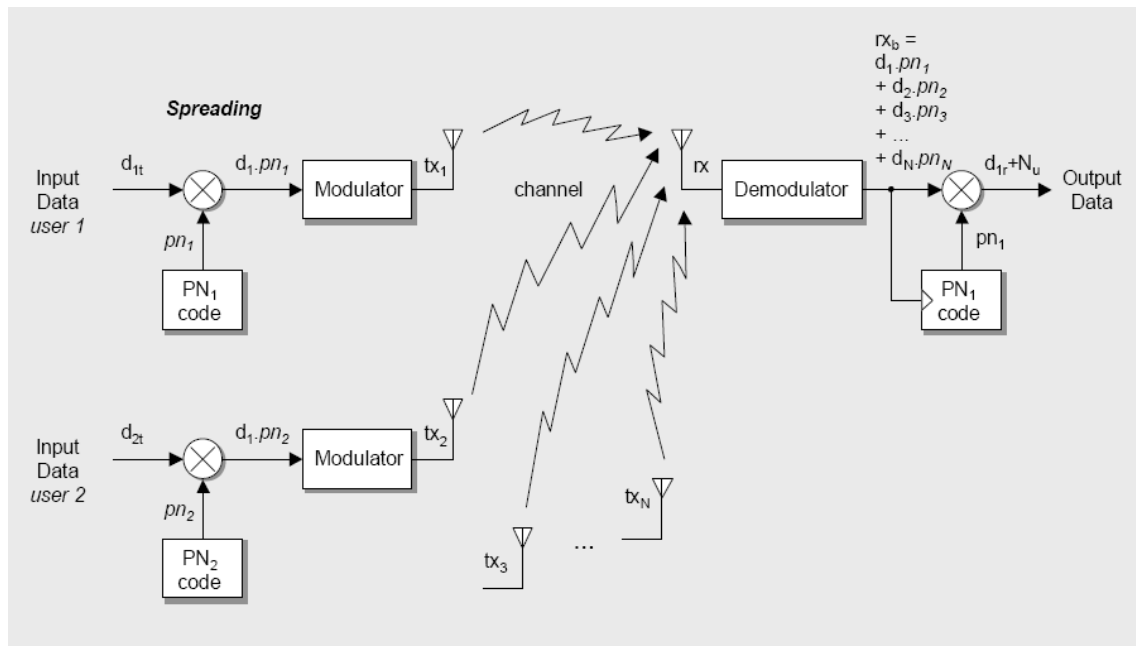
8.2. PN KOLERATOR AKTIF (*INTEGRATE AND DUMP*)

Saat informasi pewaktuan telah tersedia, kemudian sebuah receiver aktif korelator dapat digunakan. Penerima ini hanya beroperasi dengan benar ketika PN sequence lokal pnr telah cocok secara akurat, dan diwaktui dengan benar, terhadap kode spreading pada sinyal rxb yang diterima. Sinkronisasi dapat dicapai dengan menggeser sinyal referensi sepanjang sinyal yang diterima. Hal ini dapat menjadi proses yang sangat lama, bagaimanapun, untuk gelombang spreading yang besar (kode panjang).



9. MULTIPLE ACCESS

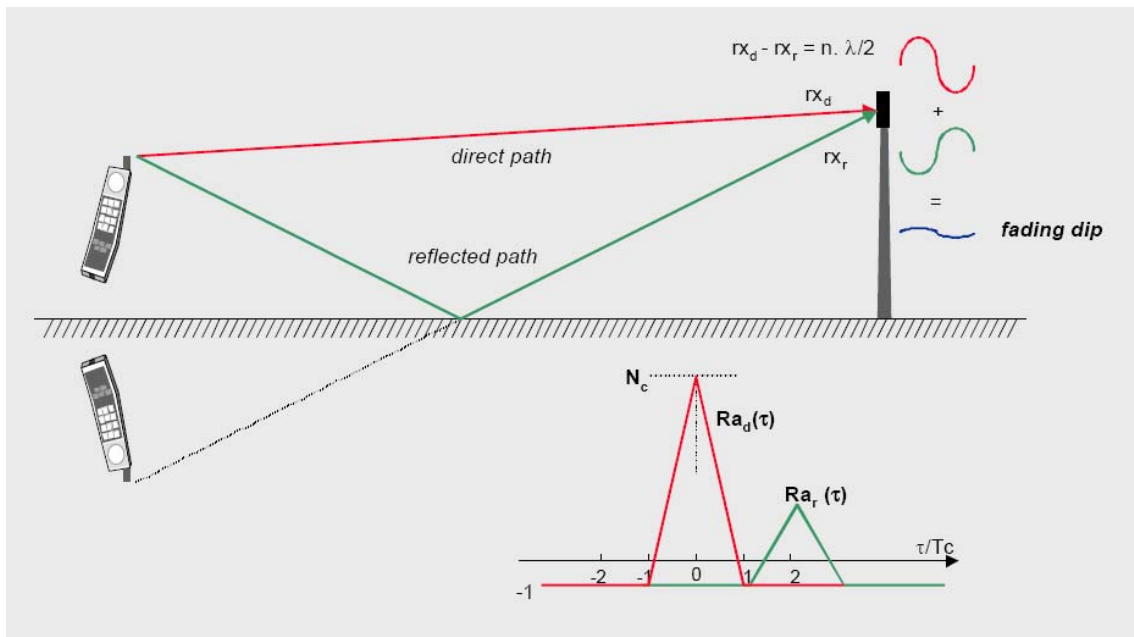
CDMA merupakan metode multiplexing secara wireless dengan membedakan (ortogonal) kode. Semua pengguna dapat mentransmit pada saat yang sama, dan masing-masing dialokasikan pada frekuensi yang tersedia untuk transmisi. CDMA juga dikenal sebagai Spread Spectrum multiple access (SSMA)



10. MULTIPATH CHANNEL

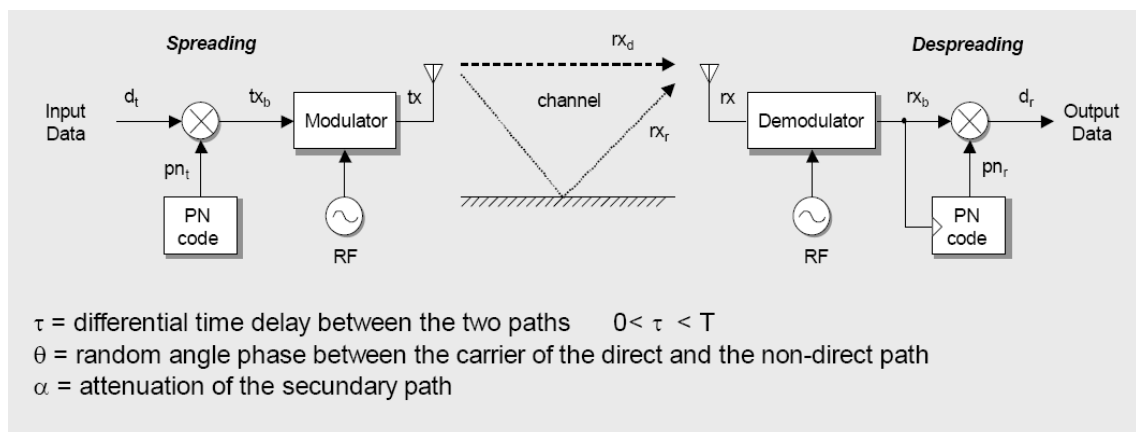
Pada kanal wireless, terkadang terdapat beberapa jalur propagasi. Terdapat lebih dari satu jalur dari transmitter ke receiver. Multipath dapat disebabkan oleh:

- Refleksi atau refraksi atmosfer
- Refleksi dari tanah, gedung, atau objek yang lain.



Multipath dapat mengakibatkan fluktuasi pada level sinyal penerima (fading). Tiap path memiliki atenuasi dan waktu delay sendiri-sendiri. Menjaga direct path dan menolak path yang lain merupakan hal yang penting.

Anggap bahwa receiver tersinkronisasi dengan delay waktu dan fase RF dari direct path. Sinyal pada receiver dapat berasal dari: jalur langsung, jalur yang lain, white noise, dan interferensi.



Sinyal pada receiver dapat diekspresikan:

$$rx = rx_d + rx_n + n = A \cdot d_t(t) \cdot pn(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + \alpha \cdot A \cdot d_t(t - \tau) \cdot pn(t - \tau) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta) + n(t)$$

pada receiver, sinkronisasi pada direct path, keluaran pada korelator:

$$d_r(t = N_c T_c) = \int_0^{N_c T_c} p_n(t) r_x(t) dt = \int_0^{N_c T_c} [B \cdot p_n(t) \cdot p_n(t) + C \cdot p_n(t) \cdot p_n(t - \tau) + n(t)] dt$$

PN sequence memiliki sifat autokorelasi:

$$P_n(t)p_n(t) = 1$$

$$P_n(t)p_n(t) \neq 1$$

Sinyal multipath yang tertunda oleh periode chip atau relasi yang lama terhadap sinyal yang diharapkan (outdoor reflection), sangat penting tidak terkorelasi dan tidak berkontribusi terhadap multipath fading. Sistem SS secara efektif menolak interferensi multipath seperti pada CDMA.

$$d_r(t = N_c T_c) = d_t + n_0$$

dengan n_0 = derau dan interferensi multipath

Kode PN yang datang dari jalur tidak langsung tidak disinkronisasi dengan kode PN dari jalur langsung dan ditolak.

11. JAMMING

Tujuan pe-jamming adalah untuk mengganggu komunikasi musuhnya. Tujuan komunikator adalah mengembangkan sebuah sistem komunikasi yang tahan jamming dengan asumsi berikut:

- kebal secara menyeluruh itu tidak mungkin
- pe-jamming mengetahui sistem parameter, pita frekuensi, pewaktuan, lalu lintas, dan lain-lain
- pe-jamming tidak mengetahui kode PN spreading

Proteksi terhadap gelombang pengacak disediakan dengan tujuan membuat sinyal informasi-beating menggunakan bandwidth melebihi bandwidth minimal yang dibutuhkan untuk mentransmisikannya. Hal ini berakibat membuat sinyal yang ditransmisikan dianggap seperti derau, sehingga mebur dengan background.

Sinyal yang ditransmisikan bisa masuk ke kanal tanpa terdeteksi siapapun yang bisa mendengarkan. Spread spectrum adalah metode kamuflase sinyal informasi.

12. ISM BAND

Pita frekuensi ISM (Industri, sains, dan medis) disediakan untuk aplikasi SS tanpa lisensi:

ISM Band	Bandwidth
902 – 928 MHz	26 MHz
2.4 – 2.4835 GHz	83,5 MHz
5.725 – 5,850 GHz	125 MHz

Ciri-ciri untuk frekuensi yang lebih tinggi:

- lebih tinggi kehilangan jalur, jarak yang lebih pendek
- biaya implementasi yang besar
- + interferensi yang lebih sedikit
- + kanal yang lebih banyak, throughput yang lebih tinggi

Peraturan untuk pita ISM 2.4 GHz:

Maximum Transmit Power	Geographic Location	Compliance Document
1000 mW [4 W EIRP]	USA	FCC 15.247
100 mW EIRP (Pt . Gt)	Europe	ETS 300 328
10 mW/MHz	Japan	MPT ordinance 79

USA → FCC (federal Communication Commission)

Europe → ETS (European telecommunication Standard)

	Peak Power Density (ETS 300 328)
FHSS	100 mW / 100 KHz EIRP
DHSS	10 mW / 1 MHz EIRP

FHSS = Frequency Hopping Spread Spectrum

- ≥ 20 kanal tidak bertumpuk (posisi hopping)
- Dwell time/channel ≤ 400 ms
- Masing-masing kanal terpakai setidaknya satu kali selama $\leq 4 \cdot (\#channels)$.
(dwell time/hop)

DHSS = Direct Sequence Spread Spectrum

Modulasi spread spektrum yang tidak terpenuhi pada spesifikasi FHSS

13. EVALUASI SS

Positive:

- Kerapatan daya yang rendah, seperti noise, tidak interferensi dengan sistem konvensional dan sistem SS yang lain.
- Komunikasi yang aman
- Code Division Multiple Access (CDMA, multi user)
- Mitigation (penolakan) multipath, hanya direct path
- Proteksi dari jamming
- Penolakan terhadap interferensi narrowband
- Low Probability of detection and interception (LPI)
- Tersedianya pita frekuensi bebas lisensi untuk Industri, sains, dan kesehatan

Negative:

- Tidak adanya peningkatan performa jika terjadi derau gaussian
- Bandwidth yang besar
- Sistem yang kompleks dan beban komputasi yang besar.

14. REFERENCE

- [1] Meel, J., ir., 'Spread Spectrum', IWT HOBU Fonds, De Nayer Instituut, October 1999