BAB IX

SISTEM SELULAR CDMA

9.1 Konsep Spektrum Tersebar (Spread Spectrum)

9.1.1 Kinerja Spektrum Tersebar

Sistem telekomunikasi dengan teknologi spektrum tersebar mula-mula dikembangkan di kalangan militer karena memiliki sifat-sifat istimewa yang cocok diterapkan pada bidang tersebut, yaitu tahan terhadap derau, mampu menembus jamming dan kerahasiaan data yang tinggi.

Sekarang ini teknologi spektrum tersebar sudah pula dikembangkan di luar kalangan militer. Pengembangan sistem ini terutama untuk sistem-sistem akses jamak.

Sistem spektrum tersebar memiliki keistimewaan yang khas, yaitu sinyal yang ditransmisikan memiliki lebar pita yang jauh lebih besar dari lebar pita informasi, dimana penyebaran spektrum tersebut dilakukan oleh fungsi penyebar tersendiri, yang tidak tergantung pada informasi yang disampaikan.

Konsep komunikasi spektrum tersebar didasarkan pada teori C.E. Shannon untuk kapasitas saluran, yaitu:

$$C = W \log_{\alpha} (1 + S/N) \qquad (9.1)$$

dimana:

C = kapasitas kanal transmisi (bit/detik)

W = lebar pita frekuensi transmisi (Hz)

N = daya derau (watt)

S = daya sinyal (watt)

Dari teori tersebut terlihat bahwa untuk menyalurkan informasi yang lebih besar pada saluran berderau dapat ditempuh dengan dua cara, yaitu:

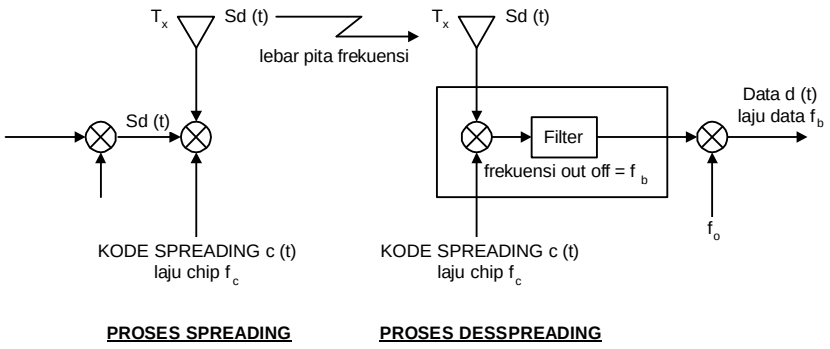
1. Dengan cara konvensional, dimana W kecil dan S / N besar.
2. Cara penyebaran spektrum, dimana W besar dan S / N kecil.

Sistem spektrum tersebar yang paling banyak dipakai sekarang ini adalah DSSS (Direct Sequence Spektrum) terbesar. Pada sistem ini, sinyal pembawa dimodulasi secara

langsung (direct) oleh data terkode. Sebagai pengkode data dipakai deret kode (code sequence) yang memiliki sifat random.

Pada pemancar DSSS, data dikodekan dengan deret kode berkecepatan tinggi. Pada proses pengkodean inilah terjadi penyebaran spektrum. Sinyal spektrum tersebar ini kemudian dimodulasi BPSK (Binary Phase Shift Keying) dan ditransmisikan.

Penerima DSSS terdiri dari dua bagian, yaitu bagian sinkronisasi deret kode dan demodulator BPSK. Ketika sinkronisasi deret telah tercapai, akan terjadi peristiwa pemampatan spektrum sinyal DSSS ke data base band semula. Sinyal hasil pemampatan spektrum ini adalah sinyal BPSK yang siap untuk didemodulasikan. Teknik dasar spektrum tersebar ini ditunjukkan oleh gambar 9.1.



Gambar 9.1

Teknik dasar spektrum tersebar

Parameter-parameter yang dipakai untuk mengukur kinerja sistem spektrum tersebar adalah:

1. Probability of error

$$Pe = \frac{1}{2} erfc \sqrt{\frac{Eb}{No}} \quad \text{(modulasi BPSK koheren)}$$

$$= \frac{1}{2} erfc \sqrt{\left(\frac{Ps}{Pj}\right)\left(\frac{Rc}{Rb}\right)}$$

$$= \frac{1}{2} erfc \sqrt{\frac{Ps}{Pj_{eff}}} \qquad (9.2)$$

dimana:

Pj_{eff} = daya jamming efektif = $\frac{Pj}{G}$ (9.3)

$\frac{Ps}{Pj}$ = perbandingan daya sinyal yang diinginkan terhadap daya jamming

$\frac{Rc}{Rb}$ = perbandingan laju chip terhadap laju data

2. Processing gain

Processing gain dari spektrum tersebar didefinisikan sebagai perbedaan kinerja antara sistem yang menggunakan spektrum tersebar dengan sistem yang tidak menggunakan spektrum tersebar. Pendekatan yang sering digunakan untuk menyatakan processing gain adalah perbandingan antara lebar pita frekuensi spektrum tersebar dengan laju bit informasi (data).

$$G = \eta = \frac{W_c}{W_S} = \frac{W_c}{R_b} \quad (9.4)$$

dimana:

$G = \eta$ = processing gain (10 log G dB)

W_c = lebar pita frekuensi spektrum tersebar (Hz)

W_s = lebar pita frekuensi sinyak digital / data (Hz)

R_b = laju bit data (bps)

3. Jamming Margin

Kemampuan sistem spektrum tersebar untuk mengantisipasi adanya interferensi dengan intensitas tinggi atau jammer ditentukan oleh kriteria jamming margin.

$$JM = G - [\, L_{sys} + (S / N)_{out} \,] \quad (9.5)$$

dimana:

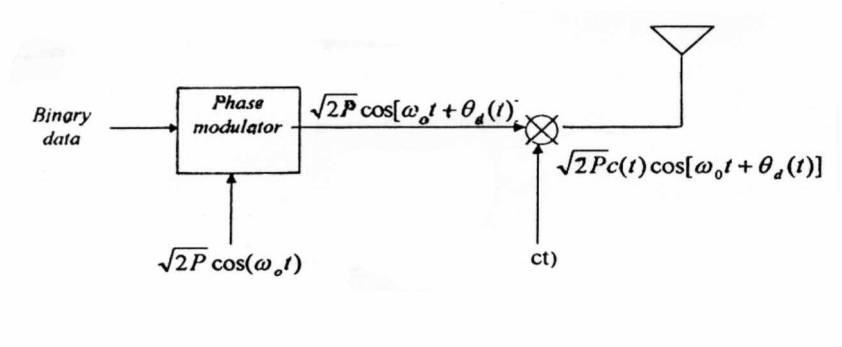
JM = jamming margin (10 log JM dB)

L_{sys} = rugi-rugi implementasi sistem

$(S / N)_{out}$ = S / N keluaran penerima yang disyaratkan/diijinkan

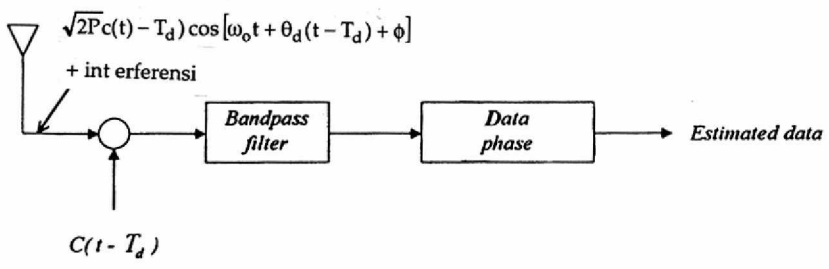
9.1.2 Konfigurasi DSSS dan Pembangkitan Deretan Pseudonoise

Pada direct sequence sinyal pembawa yang telah termodulasi digital dimodulasi lagi oleh deretan kode biner dengan kecepatan tinggi yang dibangkitkan oleh PRG (Pseudo Random Generator). PRG tersebut dibangkitkan sedemikian rupa sehingga menyerupai sinyal random.



Gambar 9.2

Pemancar BPSK DSSS



Gambar 9.3

Penerima BPSK DSSS

Penyebaran BPSK diperoleh dengan mengalikan hasil modulasi digital $S_d(t) = \sqrt{2P}\cos[\omega_o t + \theta_d(t)]$ dengan PN NRZ, *c(t)*. Laju bit dari *c(t)* yang disebut laju *chip*, jauh lebih besar dari laju bit dari data d(t). Lebar pita frekuensi sinyal BPSK adalah $2R_b$. Sinyal yang ditransmisikan:

$$S_t(t) = \sqrt{2P}\, c(t) \cos[\omega_o t + \theta_d(t)] \qquad (9.6)$$

mempunyai kecepatan yang sama dengan kecepatan kode dari PRG, BW_s = 2Rc. Pada proses spreading ini terjadi penyebaran daya sinyal yang disebar pada 10 – 1000 kali lebar pita frekuensi asli dimana rapat spektral dayanya berkurang 10 – 1000 kali pula.

Despreading dilakukan dengan memodulasi sinyal yang diterima penerima dengan replika kode spreading yang cocok, yaitu yang sama dengan kode spreading. Pada proses despreading ini harus digenerasi sinyal pembawa dengan frekuensi yang sama seperti pada modulator dan replika kode spreading yang sama frekuensi dan fasanya (sinkronisasi). Sinyal yang diterima pada demodulator:

$$S_r(t) = \sqrt{2P}\, C(t-T_d)\cos[\omega_o t + \theta_d(t-T_d) + \varphi] \qquad (9.7)$$

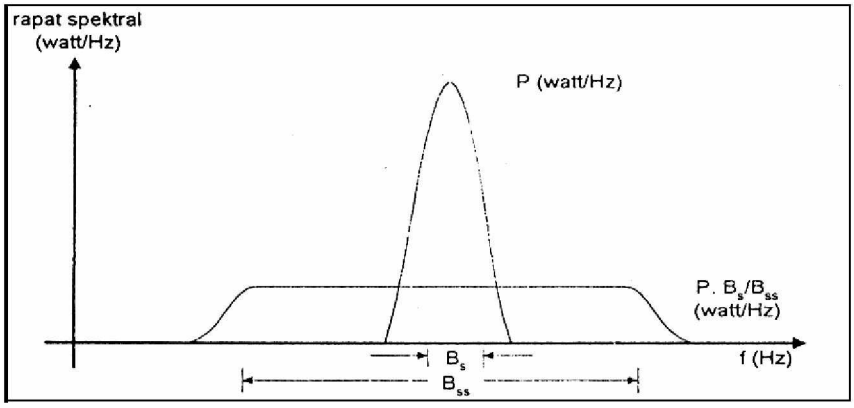
keluaran dari mixer adalah:

$$S_m(t) = \sqrt{2P}\, C(t-T_d)\, C(t-T`_d)\, \cos[\omega_o t + \theta_d(t-T_d) + \varphi] \qquad (9.8)$$

$C`(t) = C(t-T_d)$ adalah replika urutan kode pada PRG lokal. Jika sinkronisasi tercapai, maka $C(t) = C`(t)$, sehingga $C(t)C`(t) = C^2(t) = 1$. Keluaran mixer menjadi:

$$S_m(t) = \sqrt{2P}\, \cos[\omega_o t + \theta_d(t)] \qquad (9.9)$$

Setelah itu informasi diperoleh kembali dengan demodulasi fasa.



Gambar 9.4

Spektrum sinyal sebelum dan sesudah penyebaran

Penolakan jamming atau interferensi pada DSSS dapat dijelaskan sebagai berikut:

Misalkan sinyal jamming: $\sqrt{2P_j}\, \cos(\omega_o t + \psi)$ (9.10)

Pada masukan penerima selain sinyal yang diinginkan juga terdapat sinyal jamming / interferensi:

$$S_r(t) = \sqrt{2P}\, C(t)\cos[\omega_o t + \theta_d(t)] + \sqrt{2P_j}\cos(\omega_o t + \psi) \qquad (9.11)$$

Apabila C`(t) pada PRG lokal sinkron dengan C(t), maka keluaran mixer menjadi:

$$S_m(t) = \sqrt{2P}\cos[\omega_o t + \theta_d(t)] + \sqrt{2P_j}\, C(t)\cos(\omega_o t + \psi) \qquad (9.12)$$

Sinyal informasi mengalami despreading dan kerapatan spektral dayanya naik kembali, sedangkan jamming tidak mengalami despreading sehingga pita frekuensinya melebar dan spektral dayanya menurun. Sesudah melalui BPF, daya jamming yang masuk dalam sinyal sudah sangat kecil dan tidak berarti lagi.

Deretan pseudonoise sesuai dengan namanya, adalah deretan kode biner yang menunjukkan sifat-sifat random yang mirip dengan derau. Deretan pseudonoise ini dihasilkan oleh PRG yang pada umumnya dibentuk dari susunan resister geser (shift register) dimana beberapa keluaran register geser tersebut diumpanbalikkan ke masukan register geser pertama melalui sebuah parity generator (berupa gerbang EXOR) sedemikian rupa sehingga keluaran register geser terakhir menghasilkan deretan kode dengan panjang perioda deretan maksimal dan bersifat ‘random’ (pseudorandom). Hubungan umpan balik yang berbeda akan menghasilkan keluaran kode yang berbeda pula. Periode kode yang dibentuk oleh generator PN adalah:

$$T_{PN} = LT_c \qquad (9.13)$$

dimana T_c adalah durasi chip dan L adalah jumlah chip dalam suatu perioda

$$L = 2^m - 1 \qquad (9.14)$$

Alasan penting digunakannya deretan kode semacam ini adalah karakteristik otokorelasinya yang hampir menyerupai derau.

9.2 Pengertian dan Konsep CDMA

Masalah yang dihadapi dunia komunikasi selular saat ini adalah makin meningkatnya jumlah pengguna yang menggunakan pita frekuensi yang terbatas secara bersama-sama. Untuk mengatasi masalah ini harus dicari cara bagaimana meningkatkan kapasitas tanpa harus mengurangi kualitas pelayanan secara berlebihan.

1. Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Sistem selular sekarang ini menggunakan sistem pengkanalan dengan pita 30 kHz setiap kanalnya, sistem ini dikenal sebagai sistem FDMA (Frequency Division Multiple Access). Untuk memaksimalkan kapasitas, sistem selular FDMA menggunakan antena berarah dan sistem reuse frequency yang rumit. Pada teknik FDMA, lebar pita frekuensi yang dialokasikan dibagi menjadi bagian-bagian kecil spektrum frekuensi. Kemudian setiap user diberi alokasi pita frekuensi tersebut selama melakukan proses percakapan, sehingga dalam waktu yang sama hanya satu user yang dapat menggunakan frekuensi tersebut. Teknologi FDMA ini digunakan pada sistem analog seperti AMPS dan TACS.

2. Time Division Multiple Access (TDMA)

Untuk lebih meningkatkan kapasitas, digunakan sistem akses jamak digital yang disebut TDMA (Time Division Multiple Access). Sistem ini menggunakan pengkanalan dan reuse frequency yang sama dengan sistem FDMA dengan tambahan elemen time sharing. Setiap kanal dipakai bersama oleh beberapa user menurut slot waktunya masing-masing. Karena itu, aliran informasi pada TDMA tidak kontinyu atau terpotong-potong pada tiap time slotnya. Ditinjau dari lebar pita frekuensi yang digunakan. TDMA dibagi menjadi wideband TDMA dan narrowband TDMA.

a. Wideband TDMA (WTDMA)

   Wideband TDMA menggunakan seluruh frekuensi yang tersedia dan membaginya ke dalam slot-slot waktu. Dalam WTDMA ini, tranceiver yang dibutuhkan hanya satu. Data yang dikirimkan dalam bentuk letupan-letupan pendek dengan kecepatan tinggi. Kelemahan WTDMA adalah karena kecepatan transmisi yang tinggi, maka sistem akan rentan terhadap error yang disebabkan oleh distorsi lintas jamak, yang biasa terjadi pada sistem komunikasi bergerak.

b. Narrowband TDMA (NTDMA)

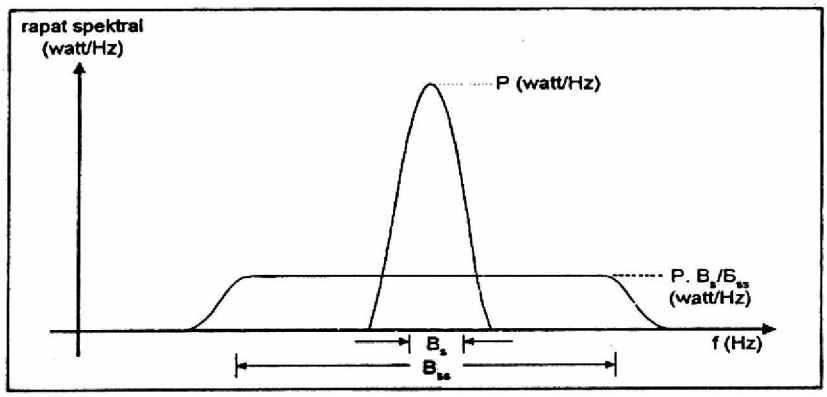
   Teknik NTDMA merupakan gabungan antara FDMA dan WTDMA

Contoh penggunaan NTDMA misalnya pada GSM.

3. Code Devision Multiple Access (CDMA)

Code Division Multiple Access (CDMA) adalah teknik akses jamak berdasarkan teknik komunikasi spektrum tersebar, pada kanal frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama digunakan kode-kode yang unik untuk mengidentifikasi masing-masing user. Hal ini diilustrasikan oleh gambar 9.5.

CDMA menggunakan kode-kode korelatif untuk membedakan satu user dengan user yang lain. Kode tersebut dikenal dengan pseudo acak (pseudorandom). Sinyal-sinyal CDMA itu pada penerima dipisahkan dengan menggunakan sebuah korelator yang hanya melakukan proses despreading spektrum pada sinyal yang sesuai. Sinyal-sinyal lain yang kodenya tidak cocok, tidak didespread dan sebagai hasilnya sinyal-sinyal lain itu hanya menjadi noise interferensi.



Gambar 9.5

Prinsip selular CDMA

Ditinjau dari lebar pita frekuensi yang digunakan, CDMA terbagi menjadi NCDMA dan WCDMA.

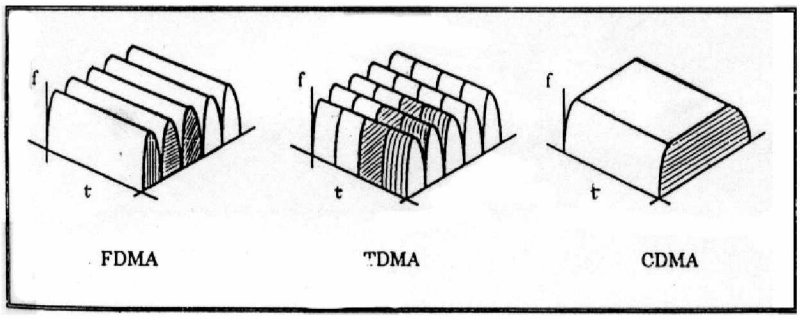
a. Narrowband CDMA (NCDMA)

   Saat ini standard dari NCDMA adalah IS-95, yang menggunakan spektrum dengan lebar 25 MHz yang dibagi dalam 20 kanal dupleks. Sehingga masing-masing kanal mempunyai lebar 1,25 MHz.

b. Wideband CDMA (WCDMA)

WCDMA menggunakan lebar pita frekuensi 5 MHz, 10 MHz dan 15 MHz pada standard IS-665**.** Dengan makin lebar spektrum yang digunakan, maka banyak keuntungan yang diperoleh seperti efek fading lintas jamak jauh lebih kecil, kecepatan data dapat meningkat tajam dan lain-lain.

Perbandingan antara FDMA, TDMA dan CDMA dapat ditunjukkan dengan gambar 9.6.



Gambar 9.6

Skema perbandingan FDMA, TDMA dan CDMA dalam domain frekuensi dan waktu

Operasi ujung ke ujung pada CDMA dapat dijelaskan sebagai berikut: pada sisi pancar, sinyal dengan bit laju rendah (misal 9,6 kbps) disebar dengan mengalikannya dengan deretan kode PN yang memiliki bit laju tinggi (misal 1,2288 Mbps). Pada proses ini terjadi penyebaran energi pada pita frekuensi yang besar. Sinyal tersebar ini kemudian dimodulasi dengan pembawa RF tertentu dan kemudian dipancarkan.

Pada sisi terima, sinyal terima didemodulasi dengan mengalikannya dengan pembawa RF yang sama. Kemudian sinyal ini didespread dengan mengalikannya dengan deretan kode PN yang sama seperti pada sisi kirim. Sinyal yang telah di-despread ini kemudian dilewatkan pada detektor bit untuk memperoleh speech digital asal.

9.2.1 Multiuser pada Arah Forward (Base Station ke Mobile Station)

Pada operasi forward, base station membangkitkan aliran data untuk masing-masing mobil b_1, kemudian aliran data ini dikalikan dengan deretan kode direc sequencenya masing-masing $c_1(t)$. Kemudian semua data terkode itu dijumlahkan. Contoh untuk mobile station pada arah forward dapat ditunjukkan pada gambar untuk tiga mobil.

$y = \sum_{j=1}^{3} y_j$, kemudian hasil penjumlahan dari sinyal tersebar ini dimodulasi dengan sebuah pembawa, sehingga diperoleh $\left[\sum_{j=1}^{3} c_j(t) b_j(t)\right] \cos w_c t$, kemudian sinyal ini dipancarkan. Sinyal tersebar pada penerima mobil, i, adalah zi(t) + noise, dimana:

$$z_i(t) = A_i \left[\sum c_j(t - t_i)\, b_j(t - t_i)\right] \cos(\omega_c t + \phi_i) \qquad (9.15)$$

yang terdiri dari sinyal yang diinginkan ditambah dengan sinyal dari user lain. Setelah perkalian dengan pembawa yang koheren (phasa ϕ_i diperkirakan oleh penerima) kemudian dengan deretan kode direct sequence lokal yang dibangkitkan yang merupakan replika dari sinyal yang diinginkan dengan sinkronisasi yang sempurna (penerima memperkirakan delay t_i) maka akan diperoleh sinyal $b_i(t-t_i)$.

$$c_i(t-t_i).c_i(t-t_i) = c_i^2(t-t_i) = 1 \qquad (9.16)$$

Hasil keluaran multiplier adalah sinyal yang diinginkan $b_i(t-t_i)$ ditambah interferensi yang berasal dari user lain. Idealnya, integrator, sebuah integrate and dump dengan waktu T_b detik, akan menghasilkan cross correlation antara sinyal yang diinginkan dan interferensi sama dengan nol. Sehingga output dari mobile station i adalah proporsional dengan aliran data yang dipancarkan, $b_i(t-t_i)$.

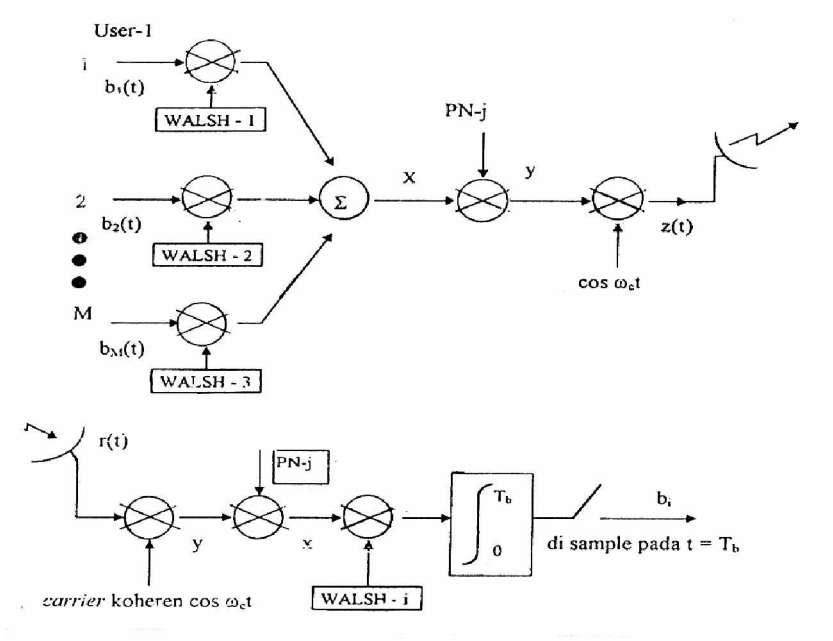
IS-95 menggunakan deretakn kode yang berbeda-beda untuk mengidentifikasi panggilan. Ada deretan yang dipakai untuk mengidentifikasi base station yang sedang melayani dan ada juga deretan yang digunakan untuk mengidentifikasi panggilan yang ditangani oleh base station. Identifikasi base station dilakukan dengan menggunakan deretan pseudo noise yang berbeda offsetnya satu sama lain (PN-1, PN-2, PN-3, ...). Pada IS-95 deretan kode ini disebut Pilot PN Sequence. Base station yang berbeda ditandai dengan offset Pilot PN sequence yang berbeda. Panggilan pada forward pada suatu sel ditandai dengan deretan kode yang disebut fungsi Walsh (W_1, W_2, W_3,....) yang masing-masing unik dan diulang dari sel ke sel. Urutan perlakuan sinyal adalah sebagai berikut:

- Data user berupa speech digital dikalikan dengan fungsi Walsh ortogonal. IS-95 menyarankan pengguna 64 fungsi Walsh ortogonal pertama.

- Data user ini disebar oleh kode PN dari base station (Pilot PN Sequence) kemudian dipancarkan dengan gelombang pembawa tertentu.
- Pada penerima mobile station, dilakukan perkalian dengan kode PN yang telah disinkronisasi (setelah gelombang pembawa koheren dihilangkan), akan mengubah sinyal dari sel lain menjadi interferensi.
- Perkalian dengan fungsi Walsh yang sudah disinkronkan untuk user-i akan menghilangkan interferensi dari user lain yang berasal dari sel yang sama.

Pada arah reverse fungsi Walsh tidak digunakan untuk identifikasi panggilan karena setiap mobile station pada sel yang sama akan mengalami delay yang berbeda-beda dan fungsi Walsh yang diterima tidak akan tersinkronisasi. Fungsi Walsh yang sudah mengalami pergeseran waktu satu dengan yang lain tidak akan menghasilkan korelasi sama dengan nol. Gambar 9.7 menunjukkan bagaimana penggunaan deretan kode PN dan fungsi Walsh untuk identifikasi pada arah forward.

Mobile station

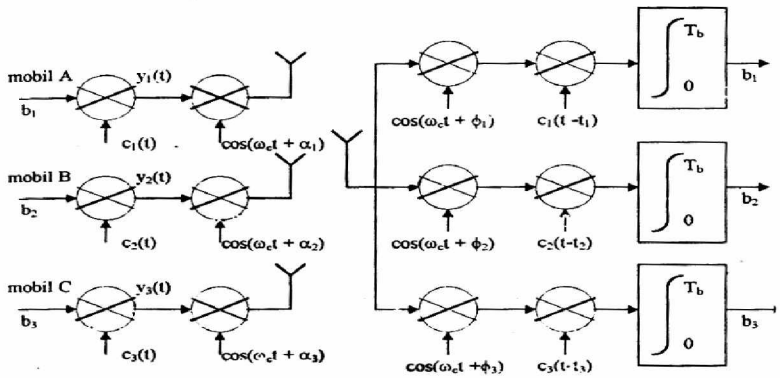


Gambar 9.7

Fungsi walsh dan kode offset pada sisi kirim dan terima

9.2.2 Multiuser pada Arah Reverse (Mobile Station ke Base Station)

Mobile station membangkitkan source data dan kode DS, yang masing-masing dikalikan dengan deretan datanya masing-masing (b_i). Masing-masing data yang sudah terkode itu (y_i), dikalikan dengan pembawa untuk memperoleh $b_i(t)\ c_i(t) \cos(\omega_c t + \alpha_i)$. Sinyal tersebar ini tiba pada base station sebagai jumlah dari sinyal-sinyal tersebar dari masing-masing mobile station ditambah noise, atau dapat dituliskan untuk contoh tiga mobile station:



Gambar 9.8

Multiuser pada sistem reverse

Phasa ϕ_i, adalah phasa α_i yang berubah di base station akibat delay t_i. Diasumsikan bahwa base station mengetahui phasa ϕ_i (demodulasi koheren) dan sinkronisasi waktu untuk masing-masing user sempurna (t_i diketahui).

Jika dimisalkan ada M mobile station, maka akan diperoleh z(t):

$$Z(t) = A_i c_i(t-t_i) b_i(t-t_i) \cos(\varpi_c t + \phi_i) + (M-1) \text{ interferensi + noise} \qquad (9.17)$$

Perkalian dengan $\cos(\omega_c t + \phi_i)$ menghasilkan $(A_i/2) c_i(t-t_i) b_i(t-t_i)$. Setelah itu dilakukan proses despreading dengan $c_i(t-t_i)$ dimana $c_i(t-t_i)c_i(t-t_i)=1$. Keluaran dari multiplier adalah sinyal data $b_i(t-t_i)$ ditambah dengan interferensi oleh user lain. Integrator akan menghasilkan cross-correlation antara sinyal yang diinginkan dengan interferensi sama dengan nol. Panggilan pada arah reverse diindentifikasikan oleh deretan kode PN yang unik untuk masing-masing user.

9.2.3 Performansi Teoritis Kanal Reverse CDMA

Sepanjang perbandingan sinyal terhadap interferensi untuk masing-masing user cukup, para user akan mempunyai kualitas suara yang baik, tetapi kualitas suara itu akan menurun apabila jumlah user ditambahkan pada kanal, jadi penambahan user akan menurunkan perbandingan sinyal terhadap noise untuk semua pemakai. Analisis kasus terbaik dapat dilakukan dengan asumsi hanya ada satu sel, dan power control bekerja dengan ideal sehingga semua sinyal tiba di base station dengan kuat yang sama. Dapat ditentukan perbandingan sinyal terhadap noise sebagai fungsi jumlah user.

1. Perbandingan sinyal terhadap noise, E_b / N_t, berhubungan dengan perbandingan sinyal terhadap interferensi keluaran. Jika A_i adalah amplitudo sinyal yang diinginkan, A_i adalah amplitudo dari sinyal interferensi dari user i, E_b adalah energi bit terima, dan N_T adalah kerapatan spektral noise total.

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{\frac{A_1^2 T_b}{2}}{N_0 + \sum_{i=2}^{M} \frac{A_i^2}{3} T_c} = \frac{\frac{A_1^2}{2}}{N_0 \frac{1}{T_b} + \left(\sum_{i=2}^{M} \frac{A_i^2}{3}\right)\frac{T_c}{T_b}} = \frac{\frac{A_1^2}{2}}{\left(\sum_{i=2}^{M} \frac{A_i^2}{3}\right)\frac{T_c}{T_b}} =$$

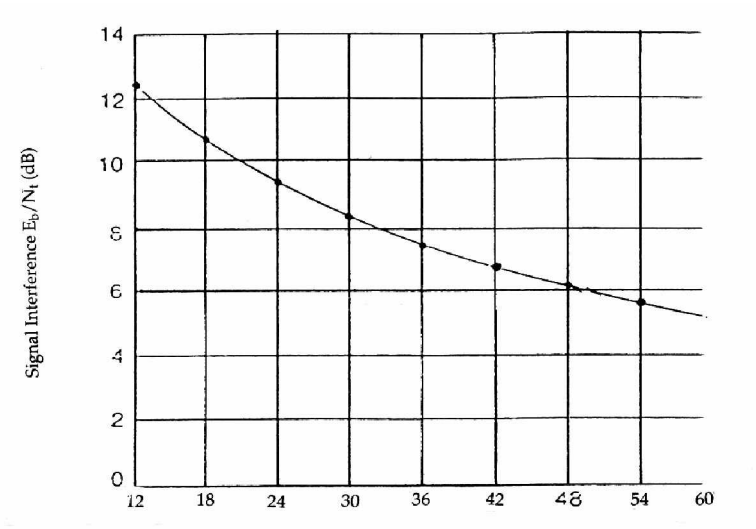
$$\frac{daya\ sinyal}{daya\ interferensi\ /\ G} \qquad (9.18)$$

pada persaman di atas harga N_0 diabaikan. Dapat dilihat bahwa semua daya interferensi dikurangi oleh adanya processing gain, G = T_b/T_c = durasi bit / durasi chip.

2. Apabila diasumsikan level daya semua user adalah sama, $A_i = A_j$, sehingga:

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{A_1^2 T_b / 2}{(M-1)\frac{A_1^2}{3} T_c} = \frac{3G}{2(M-1)} \qquad (9.19)$$

Gambar 9.9 menunjukkan perbandingan E_b / N_t terhadap jumlah user untuk nilai G = 128.



Gambar 9.9

Performansi teoritis kanal reverse dengan modulasi BPSK

Dalam sistem digital, seperti TDMA maupun CDMA, speech dikodekan menjadi data digital yang disebut frame, durasi frame ini 20 ms. Frame ini dipancarkan dan kemudian didekodekan kembali menjadi sinyal speech pada penerima. Kualitas dari proses dekode merupakan fungsi perbandingan sinyal terhadap interferensi dari frame yang diterima, apabila perbandingan sinyal terhadap interferensi menurun, kemungkinan untuk memperoleh frame yang salah meningkat. Pada prakteknya, untuk perbandingan sinyal terhadap interferensi sekitar 6 dB akan diperoleh FER (frame error rate) sekitar 1%, dan untuk perbandingan sinyal terhadap interferensi sekitar 2-3 dB, akan diperoleh FER sekitar 70%. Kualitas suara yang diperoleh berhubungan langsung dengan FER ini. Dalam prakteknya perbandingan sinyal terhadap noise yang lebih besar dari 6 dB sudah dapat diterima user.

9.2.4 Masalah-masalah Penerapan CDMA dalam Komunikasi Selular

9.2.4.1 Masalah Near-Far

Masalah utama dalam implementasi direct-sequence CDMA adalah masalah ‘near-far’. Masalah ini terjadi karena semua sinyal dipancarkan pada pita frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama, sehingga daya dari mobile station yang lebih kuat akan menutupi daya dari mobile station yang lebih lemah.

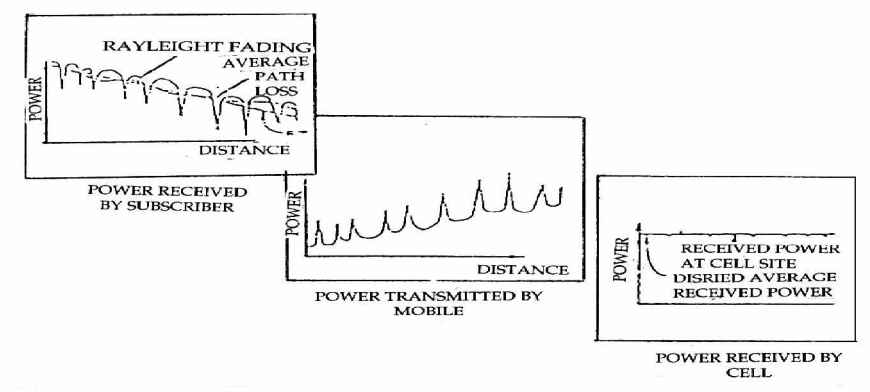
Jika dimisalkan ada M mobile station dalam suatu lingkung-an akses jamak yang masing-masing berbeda jaraknya terhadap penerima, misalkan penerima mencoba untuk mendeteksi sinyal dari mobil-i yang berjarak lebih jauh dari mobile station-j maka untuk daya pancar yang sama sinyal-j akan tiba di penerima lebih kuat dan akan menutupi sinyal-i.

Pembatas dari performansi sistem dan jumlah mobile station yang dapat berbicara secara bersama-sama adalah fungsi dari ke-mampuan sistem untuk mengatasi masalah near-far ini. Level daya semua sinyal yang sampai pada penerima harus sama (atau berbeda antara 1 sampai 2 dB).

Masalah ini dapat diatasi dengan penggunaan power control dinamis untuk menyamakan level sinyal terima. Jadi untuk sistem selular CDMA daya pancar masing-masing mobile station harus dapat dikontrol (dapat berubah-ubah). Apabila semua sinyal tiba dengan level daya yang sama maka akan diperoleh kapasitas sis-tem maksimum untuk perbandingan sinyal terhadap interferensi tertentu.

Daya pancar dari mobile station didasarkan pada daya yang diterima. Daya terima ini tergantung pada redaman propagasi dan shadowing.

Gambar 9.10 menunjukkan daya pancar mobile station naik atau turun secara proporsional dengan daya terima. Akibatnya daya yang diterima pada base station relatif konstan.



Gambar 9.10

Power control CDMA

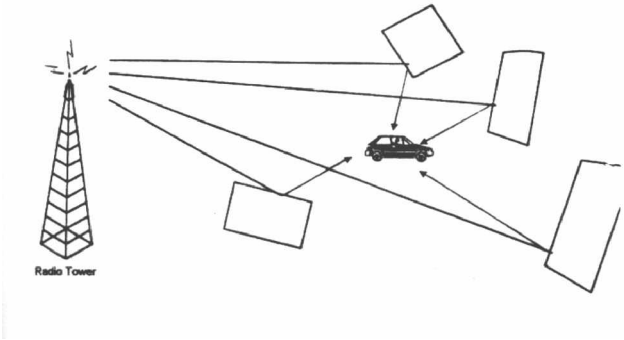
9.2.4.2 Multipath Fading

Dalam komunikasi selular, pada umumnya sinyal yang sampai ke antena penerima mobile station tidak hanya berasal dari sinyal lintasan langsung tetapi juga dari lintasan pantul. Jadi sinyal yang sampai itu merupakan penjumlahan dari banyak sinyal. Karena panjang setiap lintasan tidak sama maka masing-masing sinyal mengalami delay yang berbeda-beda sehingga informasi akan mengalami delay spread (T_M). Nilai tipikal dari delay spread untuk daerah urban berkisar 2-5 μs dan dapat menyebabkan interferensi intersimbol (ISI).

Multipath fading ini dapat pula menyebabkan variasi sinyal terima yang sangat besar karena sinyal-sinyal tersebut dapat saling menguatkan maupun saling melemahkan. Variasi sinyal ini disebut sebagai Rayleigh fading. Secara statistik, sinyal terima akan berada 10 dB dibawah local mean dalam 10% lokasi dan 20 dB di bawah local mean untuk 1% lokasi. Hal ini dapat mengakibatkan rusaknya sebagian besar informasi.

Efek lain dari multipath ini adalah akibat dari pergerakan mobile station yang menyebabkan frekuensi sinyal terima bergeser dari frekuensi asal (efek Dopler). Besarnya pergeseran nilai frekuensi ini merupakan fungsi dari arah gerak dan kecepatan mobile station.

Efek dari delay spread terhadap performasi CDMA dapat ditunjukkan dengan contoh berikut. Ada dua lintasan masing-masing lintasan –a dan lintasan –b. Misalkan penerima disinkronkan dengan delay waktu (t_a) dan phasa lintasan-a. Akan ditinjau pengaruhnya apabila delay waktu kedua lintasan lebih besar atau lebih kecil dari waktu chip (Tc).



Gambar 9.11

Sinyal Multipath

1. Delay spread lebih besar dari waktu chip ($\Delta > Tc$)

   Fungsi korelasi dari kode PN, jika delay waktu antar lintasan lebih besar dari Tc adalah mendekati nol. Maka, jika perbedaan delay dari dua lintasan melebihi waktu chip, sinyal dari lintasan-b hanya akan berfungsi sebagai interferensi biasa dan akan ditekan oleh processing gain, $G = T_b / T_c$ seperti ditunjukkan oleh persamaan 3.20.

$$\frac{E_b}{N_T} \approx \frac{A_1^2 / 2}{\frac{1}{G}\frac{B_1^2}{3} + \frac{1}{G}\sum_{i=2}^{M}\frac{A_1^2 + B_1^2}{3}} \tag{9.20}$$

   dimana:

   M = jumlah user

   A_i = amplitudo terima lintasan – a

   B_i = amplitudo terima lintasan – b (versi delay)

   E_b = energi per bit terima

   N_T = rapat spektral noise total

   G = processing gain ($G = T_b / T_c$)

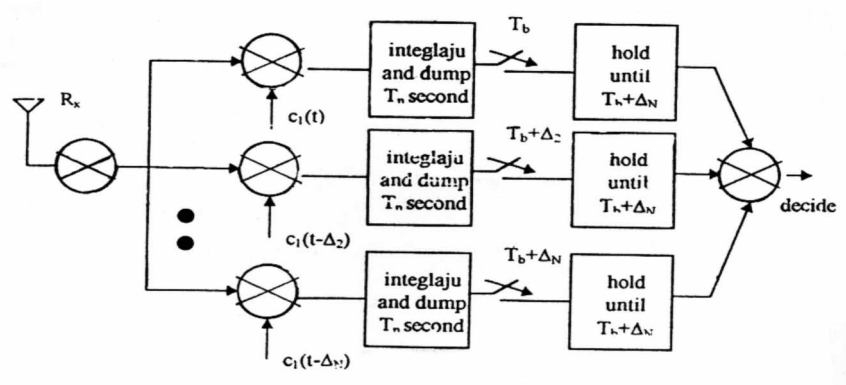
2. Delay spread lebih kecil dari waktu chip ($\Delta < T_c$)

   Apabila lintasan – b memiliki delay yang lebih kecil dari T_c maka lintasan – b ini tidak ditekan oleh processing gain dan dapat mengakibatkan interferensi yang sangat merusak. Waktu chip apabila bit laju 1,23 Mbps adalah 1 / 1,23 μs ≈ 1μs. Jadi sinyal yang berasal dari lintasan lain akan membahayakan jika delay spreadnya lebih kecil dari 1 μs, tetapi dalam komunikasi selular biasanya nilai delay spread sinyal lebih besar dari 1 μs.

9.2.4.3 Rake Receiver untuk Peningkatan Performansi

Karena adanya multipath maka akan diperoleh tambahan noise pada sistem apabila delay spread lebih besar dari waktu chip. Peningkatan performansi dapat dilakukan apabila lintasan-lintasan yang tiba pada penerima dapat dideteksi secara terpisah dan kemudian digabungkan secara koheren (disamakan phasa-nya). Penerima seperti ini disebut sebagai rake receiver.

Cara kerja rake receiver ditunjukkan oleh gambar 9.12. Misalkan sinyal yang sampai pada mobile station 1, z(t) merupakan penjumlahan dari N lintasan sinyal. Untuk lintasan 2 perkalian z(t) dengan $c_i(t-\Delta_2)$, kemudian integrasi dimulai pada Δ_2, selama T_b detik akan menghasilkan respon untuk lintasan 2. Hal yang sama dilakukan untuk semua lintasan kemudian respon semua lintasan dijumlahkan setelah phasanya disamakan. Rake receiver ini akan menghasilkan sinyal yang lebih kuat untuk proses demodulasi.



Gambar 9.12

Rake Receiver

9.3 Sifat-sifat CDMA

9.3.1 Multi Diversitas

Pada sistem pita sempit seperti modulasi analog FM yang digunakan dalam generasi pertama dalam sistem selular, adanya multipath fading akan menghasilkan fading yang sangat besar. Dengan modulasi CDMA yang merupakan modulasi pita lebar. Sinyal-sinyal yang berbeda lintasan (multipath) dapat diterima secara terpisah dengan rake receiver hal ini menyebabkan berkurangnya efek dari multipath fading. Meskipun demikian multipath fading ini tidak benar-benar dapat dihilangkan karena ada multipath yang tidak dapat diproses oleh demodulator, multipath seperti ini kadang-kadang dapat muncul dan menghasilkan fading.

Diversitas adalah usaha untuk mengurangi fading. Ada tiga tipe diversitas yang sering digunakan yaitu diversitas waktu, frekuensi, dan ruang. Diversitas waktu dapat dilakukan dengan jalan interleaving dan koreksi kesalahan. Dalam sistem CDMA diversitas frekuensi dilakukan dengan menyebar spektrum pada pita frekuensi yang jauh

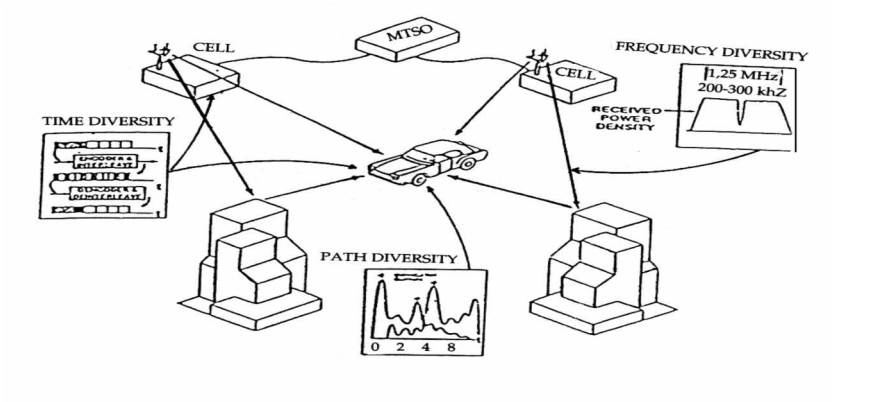
lebih besar. Efek dari fading pada spektrum frekuensi biasanya hanya mempengaruhi 200-300 kHz bagian dari sinyal. Diversitas ruang dapat diperoleh dengan tiga cara yaitu:

- Multiple sinyal dari dua atau lebih sel site (soft handoff)
- Dengan menggunakan penerima rake yang memungkinkan sinyal yang tiba dengan delay propagasi yang berbeda diterima secara terpisah kemudian digabungkan
- Multiple antena pada sel site

Tipe diversitas yang berbeda yang digunakan pada CDMA meningkatkan performansi sistem seperti diperlihatkan pada gambar 9.13 dapat disimpulkan:

- Diversitas waktu: interleaving simbol, deteksi dan koreksi kesalahan
- Diversitas frekuensi: sinyal dengan pita frekuensi yang lebar 1,25 Mhz
- Diversitas ruang: antena penerima lebih dari satu, penerima rake dan multiple sel site (handoff)

Diversitas pada CDMA ditunjukkan oleh gambar 9.13



Gambar 9.13

Diversitas pada CDMA

9.3.2 Daya Pancar yang Rendah

Disamping peningkatan kapasitas secara langsung, hal lain yang penting adalah menurunnya E_b/N_o yang dibutuhkan untuk mengatasi derau dan interferensi. Ini berarti penurunan level daya pancar yang dibutuhkan. Penurunan ini menyebabkan berkurangnya biaya dan memungkinkan mobile station dengan daya yang rendah beroperasi pada jarak yang lebih jauh dibanding pada analog atau TDMA untuk level

daya yang sama. Lebih jauh lagi, pengurangan persyaratan daya pancar akan meningkatkan kemampuan pencakupan sel dan berarti pengurangan jumlah sel yang dibutuhkan untuk mencakup wilayah tertentu.

Keuntungan lain yang diperoleh adalah pengurangan daya rata-rata yang dipancarkan sebagai akibat realisasi power control pada CDMA. Pada sistem pita sempit, harus selalu dipancarkan daya yang cukup untuk mengatasi fading yang muncul tiba-tiba. CDMA menggunakan power control untuk menyediakan daya yang dibutuhkan hanya pada waktu dibutuhkan, level daya yang tinggi dipancarkan hanya pada saat ada fading, sehingga mengurangi daya rata-rata yang ditransmisikan.

Daya pancar yang rendah itu disebabkan pula karena adanya pemanfaatan deteksi aktivitas suara, dimana data informasi dipancarkan dengan laju yang tinggi hanya pada saat ada pembicaraan sedangkan pada saat jedah laju data yang dipakai rendah.

9.3.3 Keamanan (Privacy)

Bentuk pengacakan sinyal pada sistem CDMA memungkinkan tingkat privacy yang tinggi dan membuat sistem digital ini kebal terhadap cross-talk. Meskipun sistem CDMA sudah memiliki tingkat privacy yang tinggi, sistem ini masih tetap mungkin untuk dikembangkan dengan menggunakan teknik pengacakan (encryption) yang ada.

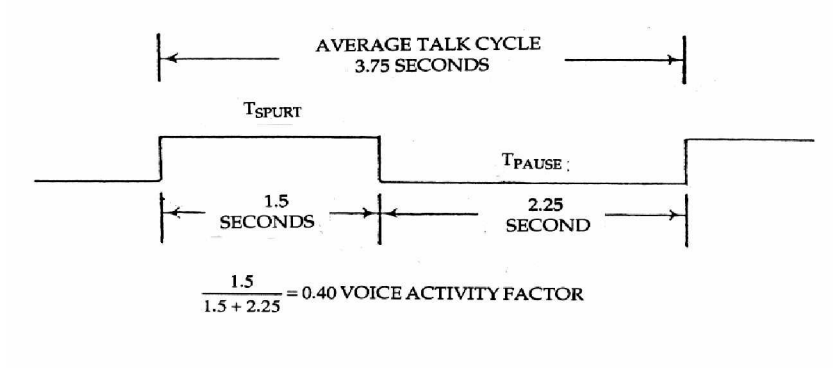
9.3.4 Kapasitas

Pada pengulangan frekuensi selular, interferensi dapat diterima dengan tujuan meningkatkan kapasitas tetapi interferensi ini harus dikendalikan. Sifat CDMA yang lebih mentolerir interferensi membuat pengulangan frekuensi dilakukan dengan efektif. Pada modulasi pita sempit, pengulangan frekuensinya tidak efektif karena persyaratan untuk memperoleh C/I sekitar 18 dB. Hal ini membutuhkan kanal yang dipakai dalam satu sel tidak boleh dipakai oleh sel yang berdekatan. Pada CDMA kapasitas yang besar diperoleh terutama karena frekuensi yang sama dapat dipakai oleh semua sel.

9.3.5 Deteksi Aktivitas Suara

Pada komunikasi full duplex dua arah, aktivitas percakapan (duty cycle) biasanya hanya sekitar 40%, sisa waktu lainnya dipakai untuk mendengar. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 9.14. Karena pada CDMA semua user memakai kanal yang sama, maka bila ada

user-user yang tidak sedang berbicara akan menyebabkan berkurangnya interferensi total kira-kira 60%. Penurunan interferensi itu terjadi karena dimungkinkannya mengurangi laju transmisi ketika tidak ada percakapan sehingga mengurangi interferensi yang secara langsung meningkatkan kapasitas. Hal ini juga berakibat berkurangnya daya rata-rata yang dipancarkan oleh mobile station.



Gambar 9.14

Rata-rata siklus pembicaraan (spurt) dan jeda (pause)

9.3.6 Peningkatan Kapasitas dengan Sektorisasi

Pada FDMA dan TDMA sektorisasi dilakukan untuk mendapatkan persyaratan C / I (mengurangi interfernsi). Sebagai akibatnya efisiensi trunking dari kanal-kanal yang dibagi-bagi pada setiap sektor menurun. Pada CDMA sektorisasi digunakan untuk meningkatkan kapasitas. Dengan membagi sel menjadi tiga sektor maka diperoleh kapasitas hampir tiga kalinya.

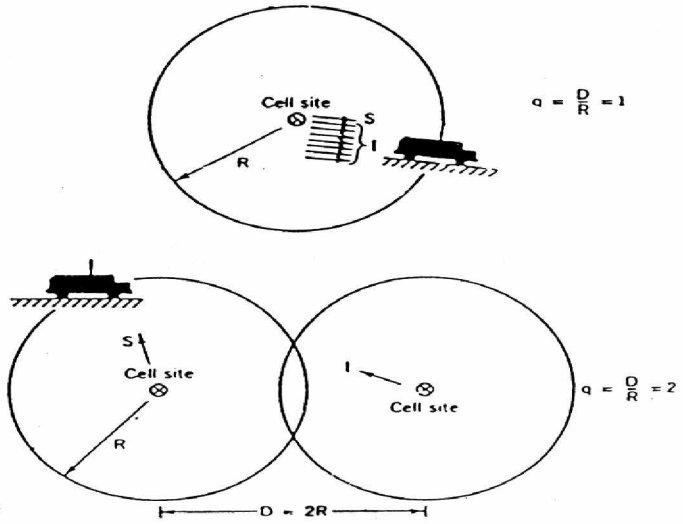
9.3.7 Soft Capasity

Pada sistem selular sekarang, spektrum yang ada dibagi-bagi oleh sel-sel, misalkan pada sistem FM analog tiga sektor terdapat maksimum 57 kanal. Apabila permintaan akan pelayanan meningkat, pemanggil ke 58 harus diberikan sinyal sibuk. Tidak ada cara yang dapat dilakukan untuk menambah satu sinyalpun pada kondisi semua kanal terpakai. Pada sistem CDMA, hubungan antara jumlah user dengan tingkat pelayanan (grade of service) tidak begitu tajam, sebagai contoh, operator dari sistem dapat mengijinkan meningkatnya bit error rate sampai batas toleransi tertentu dengan

demikian terjadi peningkatan jumlah user yang dapat dilayani selama jam tersibuk. Kemampuan ini sangat berguna khususnya untuk mencegah terjadinya pemutusan pembicaraan pada proses handoff karena kekurangan kanal. Pada CDMA, panggilan tetap dapat dilayani dengan peningkatan bit error rate yang masih dapat diterima sampai panggilan lain berakhir.

9.4 Kapasitas Radi0 Selular CDMA

Dalam selular CDMA ada dua buah nilai CIRF (Co-channel Interference Reduction Factor) masing-masing disebut adjacent CIRF, q_a = direct-sequence/ R = 2, ini berarti kanal radio yang sama dapat digunakan pada sel-sel bertetangga secara langsung. CIRF yang lain disebut self-CIRF, q_s = 1, ini berarti deretan kode yang berbeda menggunakan kanal radio yang sama untuk membawa kanal trafik yang berbeda. Kedua nilai CIRF ditunjukkan oleh gambar 9.15. Karena harga CIRF yang rendah, sistem CDMA ini memiliki efisiensi frekuensi yang paling baik dibandingkan sistem yang lain.



Gambar 9.15

Ilustrasi dari dua harga CIRF

C / I yang diterima pada penerima berhubungan dengan E_b/I_o baseband.

$$\frac{C}{I} = \left(\frac{E_b}{I_o}\right)\left(\frac{R_b}{B_c}\right) \tag{9.21}$$

dimana:

E_b = energi perbit

I_o = daya interferensi per Hertz

R_b = laju bit per detik

B_c = bandwidth kanal radio dalam Hertz

Pada CDMA semua deretan kode, misalkan N buah, akan memakai satu kanal yang sama. Di dalam satu kanal radio, satu deretan kode akan mengalami interferensi dari N – 1 deretan kode lainnya. Sebagai hasilnya level interferensi selalu lebih tinggi dari level sinyal (C / I lebih kecil dari 1).

(C / I), yang dibutuhkan pada selular CDMA dapat diperoleh dari persamaan 9.21 jika digunakan:

B_c = 1,25 MHz, R_b = 8 kbps

E_b/ I_o = 7 dB diperoleh $(C / I)_s$ = 0,032 = -15 dB

E_b / I_o = 4,5 dB diperoleh $(C / I)_s$ = 0,01792 = -17,5 dB

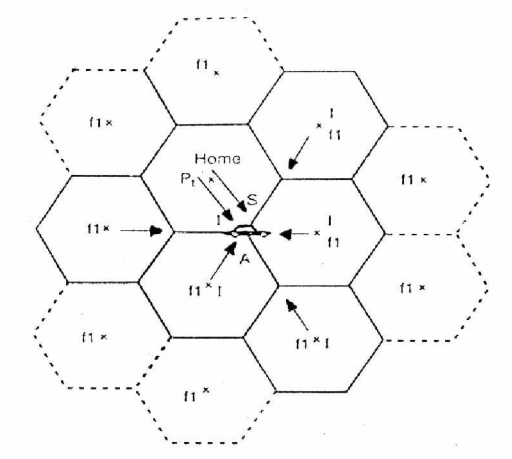
Selanjutnya akan diturunkan kapasitas radio dari sistem, dengan perhitungan berdasarkan kanal forward, kapasitas radio itu dapat ditingkatkan dengan power control.

9.4.1 Kapasitas Radio Tanpa Power Control

Kapasitas radio dihitung dari perbandingan C / I kanal forward $(C / I)_s$ yang diterima oleh mobile station pada lingkaran terluar sel seperti yang ditunjukkan oleh gambar 9.16 adalah (interferensi dari sel lain yang sangat jauh dan oleh sumber lain diabaikan).

$$\left(\frac{C}{I}\right)_s = \frac{\alpha . R^{-4}}{\underbrace{\alpha(M-1).R^{-4}}_{A} + \underbrace{\alpha.2M.R^{-4}}_{B} + \underbrace{\alpha.3M.(2R)^{-4}}_{C} + \underbrace{\alpha.6M.(2,64R)^{-4}}_{D}}$$

$$= \frac{1}{3,3123M - 1} \qquad (9.22)$$



Gambar 9.16

Sistem CDMA dan interferensinya

dimana:

A = interferensi dari pemakai lain dalam sel yang sama

B = interferensi dari dua sel tetangga terdekat

C = interferensi dari 3 sel intermediate range

D = interferensi dari 6 sel jauh (distant cells)

dan α adalah faktor konstanta, M adalah jumlah dari kanal trafik. $(C / I)_s$ dapat diperoleh dari persamaan 9.2.1 sedangkan M diperoleh dari persamaan 9.22:

$$\left(\frac{C}{I}\right) = 0{,}032 \qquad M = 9{,}736$$

$$\left(\frac{C}{I}\right) = 0{,}01792 \qquad M = 17{,}15$$

Kapasitas radio m, adalah:

$$m = \frac{M}{K} \qquad \text{jumlah kanal trafik per sel} \qquad (9.23)$$

Dalam hal ini:

K = q_a^2 / 3 = 4 / 3 = 1,33 sehingga akan diperoleh nilai m:

m = 9,736 / 1,33 = 7,32 kanal trafik per sel untuk E_b / N_o = 7 dB

= 17,15 / 1,33 = 12,9 kanal trafik per sel untuk E_b / N_o = 4,5 dB

9.4.2 Kapasitas dengan Power Control

Kapasitas dari sistem CDMA itu dapat ditingkatkan dengan menggunakan power control yang sesuai baik pada kanal reverse maupun pada kanal forward. Pada kanal forward, power control akan menyebabkan interferensi antara sel-sel yang berdekatan berkurang. Makin kecil interferensi yang terdapat pada suatu sel, makin besar nilai M yang diperoleh. Dari persamaan 9.22 apabila interferensi dari sel lain tidak ada (sel tunggal) maka $(C/I)_s$ yang diperoleh adalah:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_s = \frac{R^{-4}}{(M-1)R^{-4}} = \frac{1}{M-1} \qquad (9.24)$$

untuk:

$\left(\frac{C}{I}\right) = 0{,}032$ M = 30,25

$\left(\frac{C}{I}\right)_s = 0{,}01792$ M = 54,8

dengan membandingkan persamaan 9.22 dan 9.24 dapat dilihat bahwa total kapasitas trafik M menurun drastis dengan adanya interferensi dari sel lain. Interferensi dari sel lain tidak dapat dihindari, kita hanya dapat menguranginya dengan menggunakan power control. Power control diperlukan untuk menentukan berapa daya yang diperlukan bagi mobile station yang dekat dan berapa daya yang diperlukan untuk mobile station yang jauh.

Misalkan daya pancar pada sel site untuk mobile station ke-j adalah P_j yang proporsional dengan r_j^n :

$$P_j \propto r_j^n \tag{9.25}$$

dimana r_j adalah jarak antara sel site dengan mobile station ke-j dan n adalah suatu bilangan. Dengan menguji nilai dari n pada persamaan 9.25, diperoleh bentuk power control dengan n = 2 akan memberi kapasitas optimum tetapi masih memenuhi persyaratan sinyal kanal forward yang masih dapat menjangkau mobile station pada near-end yang berjarak r_j dari sel site dengan pengurangan daya.

$$P_j = P_R \left(\frac{r_j}{R} \right)^2 \tag{9.26}$$

dengan P_R adalah daya yang dibutuhkan untuk mencapai mobile station yang berada pada lingkaran terluar R. Jika M buah mobile station dilayani oleh M kanal trafik dari semua mobile station diasumsikan teridistribusi merata pada sebuah sel. Maka:

$$P(M_1) = k\, r_j \quad 0 \le r_I \le R \tag{9.27}$$

dimana $M = \sum_{l=1}^{L} M_l$. Ada L grup mobile station; masing-masing L

adalah daerah-daerah lingkaran yang mengelilingi sel site dalam sebuah sel. M_1 adalah jumlah dari mobile station yang berada pada grup ke-l yang tergantung pada lokasinya dan k adalah konstanta. Daya pancar total dari sel site P_t adalah:

$$\begin{aligned} P_t &= \sum^{M_1} P_1 + \sum^{M_2} P_2 + \sum^{M_3} P_3 + \mathrm{K} + \sum^{M_L} P_L \\ &= P_R \left[\sum^{kr_1} \left(\frac{r_1}{R} \right)^2 + \sum^{kr_2} \left(\frac{r_2}{R} \right)^2 + \mathrm{K} + \sum^{kr_L} \left(\frac{r_L}{R} \right)^2 \right] \\ &= P_R \left[kr_1 \left(\frac{r_1}{R} \right)^2 + kr_2 \left(\frac{r_2}{R} \right)^2 + \mathrm{K} + kr_L \left(\frac{r_L}{R} \right)^2 \right] \end{aligned} \tag{9.28}$$

karena r_L adalah jarak dari sel site ke lingkaran luar sel, r_L = R maka persamaan 9.28 menjadi:

$$P_t = P_R\, k \int_0^R \frac{r^3}{R^2} dr = P_R k \frac{R^2}{4} \tag{9.29}$$

Jumlah total dari mobile station M dapat diperoleh sebagai:

$$M = \sum_{l=1}^{L} M_1 = k\,(r_1 + r_2 + K + R)$$

$$= k\int r dr = k\frac{R^2}{2} \qquad (9.30)$$

Dengan substitusi 9.29 ke 9.30 diperoleh:

$$P_t = P_R k\left[\frac{M}{2k}\right] = P_R / \ 2 \qquad (9.31)$$

Jika daya sebesar P_R diterapkan pada kanal sebanyak M maka:

$$P_t = M.P_R \qquad (9.32)$$

Dengan membandingkan persamaan 9.31 dan 9.32 diperoleh daya pancar total berkurang setengahnya apabila digunakan power control. $(C/I)_s$ dari mobile station yang berjarak r_o dan dekat sel site adalah:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{sl} = \frac{P_R (r_o / \ R)^2 \cdot r_o^{-4}}{P_R (M \ / \ 2)\, r_o^{-4}} = \frac{(r_o / \ R)^2}{(M \ / \ 2)} \qquad (9.33)$$

dalam hal ini interferensi dari sel yang lain diabaikan.

$(C / I)_s$ dari mobile station yang berjarak R (terletak pada lingkaran terluar) adalah:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{s2} = \frac{P_R}{P_R\left[(M-1)/\ 2 + 2(M\ /\ 2) + 3(M\ /\ 2)\cdot(2)^{-4} + 6(M\ /\ 2)\left(2{,}633^{-4}\right)\right]}$$

$$= \frac{1}{1{,}656M} \qquad (9.34)$$

Nilai M dan m dapat dicari dari persamaan 9.34 dengan memakai power control:

M = 18,87 m = 14,19 untuk C/I = 0,032 (-15 dB)

M = 23,7 m = 28,33 untuk C/I = 0,01792 (-17 dB) (9.35)

Nilai dari (C/I), yang diterima pada mobile station pada jarak r_o dapat dihitung dari persamaan 9.33, nilai ini harus memenuhi persamaan 9.34:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{s1} = \frac{(r_0/R)^2}{M/2} = \frac{3.3(r_0/R)^2}{3.3(M/2)} \geq \frac{1}{1{,}656M} \tag{9.36}$$

Ratio pengurangan daya $(r_o / R)^2$ pada persamaan 9.36 tidak dapat kurang dari 0,302 untuk mobile station yang berlokasi kurang dari r_o = 0,55 R. Jika diset daya terendah pada 0,302 P_R, daya total menjadi:

$$P_t = P_R\, k\left[\frac{r_0^2}{R^2}r_1 + \frac{r_2^3}{R^2} + \frac{r_3^3}{R^2} + \ldots\right]$$

$$= P_R\, k\left[\left(\frac{r_o}{R}\right)^{2r}\int_0^0 r\,dr + \int_0^R \frac{r^3}{R^2}dr\right]$$

$$= P_R\, k\frac{R^2}{4}\left[1+\left(\frac{r_o}{R}\right)^4\right] \tag{9.37}$$

untuk r_o / R = 0,55, maka $(r_o / R)^4$ = 0,0913

daya pancar P_t pada persamaan 9.37 harus diatur sebagai:

$$P_t = P_R\, k\left(\frac{R^2}{4}\right).1{,}0913 = P_R(M/2).1{,}0913 \tag{9.38}$$

Persamaan 9.38 menunjukkan bila daya terendah per kanal trafik dibuat 0,302 P_R untuk melayani mobile station dengan jarak lebih kecil atau sama dengan r_o, r_o = 0,55R, maka daya total pada sel site meningkat dengan faktor 1,0913 jika dibandingkan dengan pada persamaan 9.29. Dengan daya yang terukur P_t pada persamaan 9.29 maka harga M dan m yang sebenarnya berkurang menjadi:

$$M = \frac{18{,}87}{1{,}0913} = 17{,}3 \quad m = 13 \quad \text{untuk } C/I = 0{,}032$$

$$M = \frac{33{,}7}{1{,}0613} = 30 \quad m = 25{,}96 \quad \text{untuk } C/I = 0{,}01792 \tag{9.39}$$

Dengan membandingkan persamaan 9.35 dengan 9.39 diperoleh perbedaan yang tidak berbeda jauh. Jadi bila pengaturan daya pancar minimal dilakukan hasilnya tidak berbeda jauh. Semua kapasitas radio yang didapat belum memanfaatkan deteksi aktivitas suara dan sektorisasi yang umum dilakukan pada penerapan secara komersial.

Latihan

1. Sebutkan keuntungan dari penerapan sistem CDMA dan bagaimana cara untuk meningkatkan kapasitasnya.
2. Bagaimana cara mengatasi kelemahan sistem *spectral* tersebar *direct sequence* dalam sistem akses jamak CDMA.
3. Sebutkan masalah-masalah utama dalam implementasi *direct sequence* CDMA dalam komunikasi selular dan bagaimana sifat-sifat CDMA itu sendiri.
4. Sebutkan tiga teknik dasar modulasi pada komunikasi radio digital dan bagaimana kinerja dari modulasi digital.
5. Jelaskan bahwa sistem *direct sequence* memiliki kemampuan dalam:
   a. Kebal terhadap interferensi
   b. Kebal terhadap penyadapan
   c. Kebal terhadap sinyal lintasan jamak (*multipath*)
   d. Kemampuan akses jamak (*multiple access*)
6. Sebutkan factor-faktor yang mempengaruhi kapasitas pelanggan (*Mobile Station*) sistem CDMA. Tuliskan rumus secara umum dari kapasitas pelanggan dari sistem CDMA.
7. Sistem CDMA memiliki fasilitas *handoff* untuk menjamin bahwa pembicaraan akan terus tersambung meskipun *user* berpindah areanya. Berikan gambaran secara jelas menurut anda tentang *handoff*.

BAB X
SISTEM SELULAR WCDMA

10.1 Perkembang Sistem Komunikasi Bergerak

Jaringan komunikasi tanpa kabel saat ini mengalami pertumbuhan yang sangat fenomenal di berbagai belahan dunia. Layanan selular terus mengalami metamorfosa dari telepon selular (ponsel) yang berat dengan cakupan daerah yang terbatas menjadi telepon selular yang mungil dan ringan dengan daerah cakupan yang luas.

Penetrasi telepon selular saat ini berkisar 1% di negara-negara berkembang sampai lebih dari 15% di negara-negara maju. Permintaan atas layanan komunikasi bergerak terus bertambah. Di penghujung abad ini diperkirakan total pelanggan komunikasi tanpa kabel akan melampaui jumlah 200 juta pelanggan. Bandingkan dengan jumlah pelanggan telepon tetap yang bekisar 700 juta pada tahun 2000.

Pada abad mendatang, komunikasi bergerak diyakini akan memainkan peran yang semakin signifikan dalam memenuhi kebutuhan telekomunikasi di abad 21. Merujuk beberapa ramalan, pada tahun 2010 nanti diperkirakan jumlah user telepon bergerak akan mencapai angka 1 milyar dan angka ini melampaui jumlah pengguna jaringan telepon tetap. Sehingga pada saat itu komunikasi tanpa kabel akan merupakan mode akses teknologi yang dominan. Akan tetapi saat ini para user komunikasi bergerak dihadapkan pada banyaknya standar teknis yang berbeda-beda dengan spektrum frekuensi radio yang berbeda-beda pula. Sejumlah layanan satelit baik yang telah beroperasi maupun yang masih dalam taraf perencanaan menambah kompleksnya pilihan bagi para user.

Saat ini terdapat tiga wilayah yang mempunyai standard yang tidak saling kompatibel, yaitu Jepang, Eropa dan Amerika Utara yang layanan utamanya masih pada percakapan. Ada banyak standard yang berlaku saat ini seperti AMPS, TACS, GSM, IS-36, IS-95,JTATCS/NTACS, PDC dan lain-lain, yang beroperasi pada frekuensi yang berbeda-beda di berbagai belahan dunia. Selain itu ada pula layanan seperti paging, telepon cordless, mobile data dan standard LAN tanpa kabel. Juga berbagai layanan mobile satellit baik yang sudah beroperasi maupun yang masih dalam taraf perencanaan.

10.2 Konsep Sistem Komunikasi Bergerak Generasi Ke III

Jasa telepon bergerak masa depan, saat ini sedang ditentukan oleh suatu institusi standarisasi global yang sedang berupaya menentukan standarisasinya. Di Eropa, institusi ETSI sedang bekerja untuk menentukan standarisasi UMTS yang akan menjadi sebuah spesifikasi bagi IMT-2000 oleh ITU (International Telecommunication Union). ETSI dan perkumpulannya, dan badan industri & bisnis Radio di Jepang mempunyai sebuah proposal bersama untuk sistem generasi ke-3 yang berbasis Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA).

Kualifikasi yang ditentukan oleh ITU untuk IMT 2000 adalah termasuk:

§ Kualitas voice setara dengan wireline.
§ Keamanan setara dengan PSTN/ISDN
§ Mendukung multiple operators (public/private, residential) pada lokasi yang sama.
§ Kemampuan roaming nasional dan internasional.
§ Mendukung kedua pelayanan: packet switched (seperti trafik internet) dan circuit switched (seperti videoconference). Pelayanan komunikasi dengan kecepatan data tinggi dan pentransmisian data asychronous.
§ Efesiensi spektrum yang tinggi.
§ Mendukung beberapa cell layers (Hierarchical Cell Structures,HCS).
§ Mampu berdiri berdampingan & berinterkoneksi dengan satelit dan mendukung beberapa skema akses (compatible) terhadap komponen-komponen satelit dan terrestrial.
§ Sebuah pendekatan bertahap untuk data hingga 2 Mbps.
§ Menggunakan mekanisme baru untuk charging, volume data vs waktu.
§ Mendukung beberapa persambungan yang serempak. Seorang user harus dapat (sebagai contoh) membrowse internet dan secara bersamaan ia bisa menerima panggilan telepon atau fax.

Ada juga yang mengindikasikan bahwa kondisi yang diharapkan dari sistem selular masa depan adalah:

- Mampu mendukung multi rate service (voice, data, video).
- Mampu beroperasi pada multi cell environment (macro, micro, dan pico cells).

- Mampu dioperasikan pada multi operator environment (public network dan private network).
- Spektrum bisa digunakan secara maximal.

Sistem-siatem CDMA mempunyai potensi untuk memenuhi syarat-syarat diatas. Satu dari syarat tersebut adalah : mendukung pelayanan-pelayanan dengan bit rate yang berbeda, misalnya:

- Voice (hingga 9,6 kbps)
- Data (hingga 2 Mbps)
- Video (hingga 144 kbps)

Disamping berbeda bit rate, pelayanan juga berbeda dalam syarat-syarat BER dan delay. Dalam sebuah jurnal teknologi IEEE disebutkan bahwa UMTS adalah merupakan sebuah sistem bergerak (mobile) generasi ke-3 yang akan mengintegrasikan sebagian besar pelayanan-pelayang telekomunikasi bergerak (seperti: cellular telephony, paging / radio panggil, dll). Standarisasi UMTS diperkirakan bisa diselesaikan sebelum tahun 2000. Tujuan standarisasi tersebut adalah untuk menentukan satu solusi global (dan satu standard) yang diharapkan menjadi operasional seluruh dunia sekitar tahun 2000. Spektrum frekuensi baru sudah dialokasikan pada band frekuensi 2 GHz untuk sistem wireless generasi ke-3.

Dengan sudah cukup besarnya investasi yang ditanamkan pada sistem telekomunikasi bergerak generasi kedua, maka diharapkan upaya migrasi dari generasi ke-2 menuju generasi ke-3 tidak menemui kendala yang besar. Oleh karenanya, evolusi tersebut harus dilakukan secara hati-hati termasuk dalam pemilihan teknologi. Aplikasi-aplikasi yang ada pada generasi ke-3 akan mempunyai lebih dari satu implementasi, oleh karenanya generasi ke-3 bisa dipandang sebagai sebuah lingkungan aplikasi-aplikasi dari pada sebagai implementasi sistem tunggal.

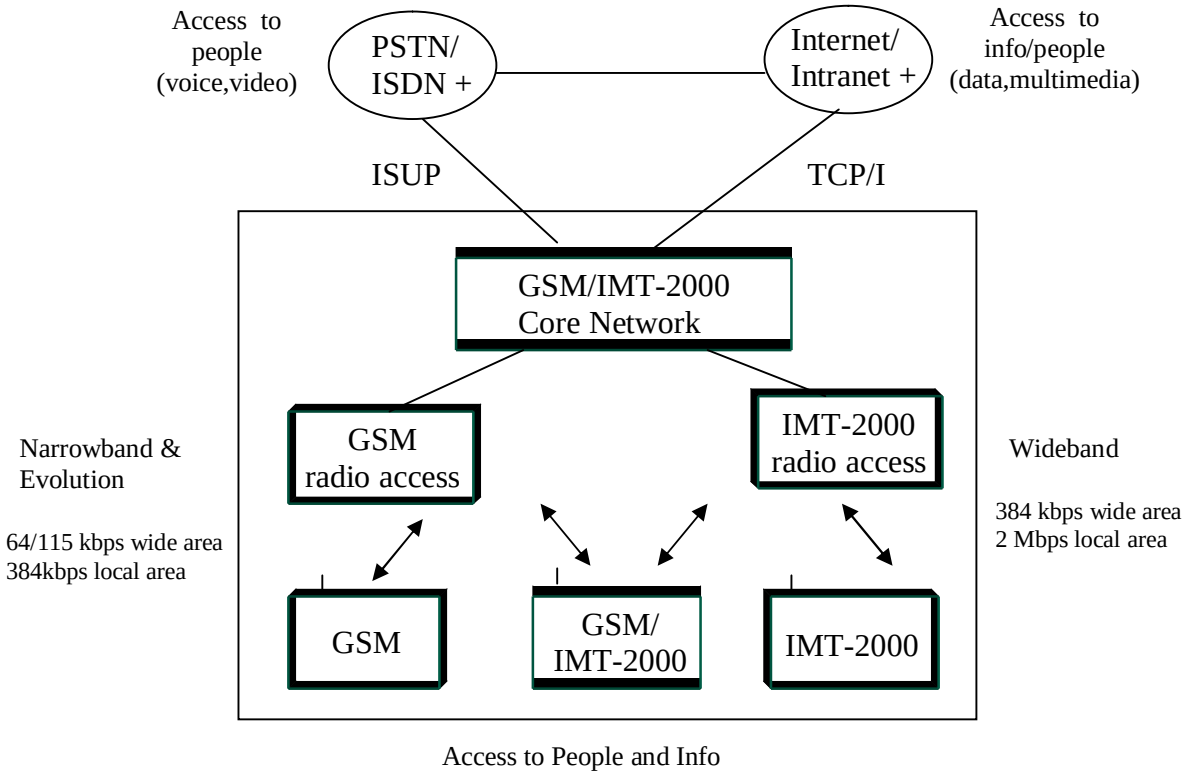
Sistem-sistem komunikasi bergerak generasi ke-3 seperti European UMTS akan harus menyediakan keanekaragaman jasa-jasa telekomunikasi dalam bermacam-macam lingkungan bagi sejumlah user yang sangat besar. Sebuah komponen kunci dari sistem seperti itu adalah “ air interface “ antara mobile stationt dan fixed network infrastructure, dimana keduanya harus flexibel dan lebar pita (bandwidth)-nya harus efisien karena kelangkaan akan ketersediaan spektrum radio. Hal ini akan sulit bagi sebuah air interface

tunggal untuk memenuhi semua syarat-syarat atau keperluan-keperluan dalam setiap lingkungan. Oleh karena itu, ada suatu pertimbangan untuk menggunakan multi air interface untuk UMTS jika diperlukan.

a. Migrasi sistem global komunikasi bergerak kedalam UMTS/IMT-2000.

Global System for Mobile Communication (GSM) akan terus berkembang baik sebelum maupun setelah sistem-sistem generasi ke-3 diperkenalkan. Pada waktu peluncuran UMTS/IMT-2000, sistem GSM akan dapat mendukung hingga 384 kbps dengan mobilitas lokal, dan hingga 115 kbps dengan mobilitas penuh.

UMTS dan IMT-2000 akan membuka sebuah set baru dari spektrum dengan sebuah metoda akses yang akan melayani selanjutnya untuk meningkatkan kemampuan sistem selular hingga 384 kbps dengan mobilitas penuh dan 2 Mbps secara lokal. Gambar berikut mengilustrasikan evolusi menuju UMTS/IMT-2000 pada lingkungan GSM.



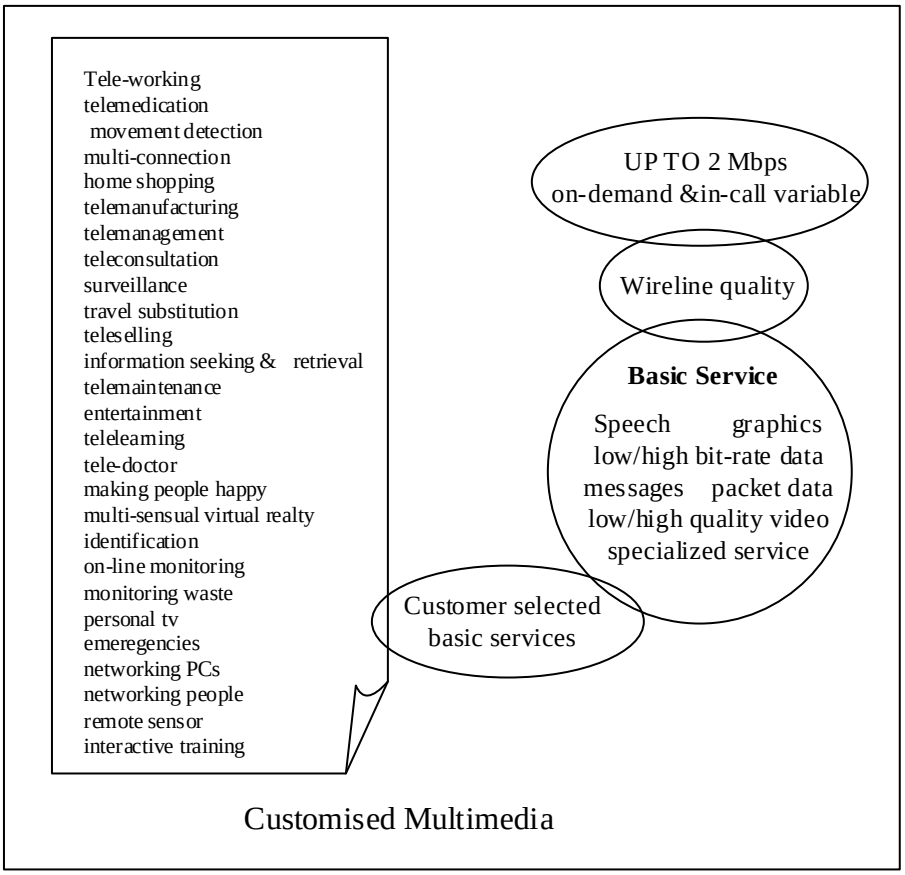
Gambar 10.1

Evolusi menuju UMTS/IMT-2000 pada lingkungan

sistem global- komunikasi bergerak

b. Jenis Layanan UMTS

Perkembangan permintaan akan jasa layanan multimedia khususnya pada milenium berikutnya menyebabkan standarisasi UMTS harus mampu mengindikasikan jenis-jenis pelayanan UMTS tersebut, seperti diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 10.2

Jenis-jenis layanan UMTS

c. Area Cakupan UMTS

Pada kondisi sekarang ini, secara umum sistem komunikasi bergerak sudah diterapkan pada banyak sistem dan teknologi yang mungkin tidak mudah mengintegrasikannya, dan mereka mempunyai area cakupan sendiri-sendiri. UMTS mencoba mengakomodasikan semua itu kedalam satu area cakupan yang meliputi:

- Business indoor / outdoor & pedestrian
- Vehicular
- Rural outdoor
- Fixed outdoor
- Aeroneutical
- Sattelite.

10.2.1 Gambaran Umum IMT-2000

Dari gambaran tentang pertumbuhan jaringan komunikasi tanpa kabel dan kebutuhan pelanggan yang terus meningkat (baik kualitas layanan, jenis layanan, maupun kapasitasnya), maka untuk memenuhi kebutuhan user di masa depan diperlukan sebuah standard global bagi sistem komunikasi bergerak. Saat ini spesifikasi dan standard bagi generasi ketiga dari teknologi tanpa kabel (yang dikenal dengan IMT-2000) sedang digarap oleh ITU (International Telecommunication Union).

IMT-2000 adalah generasi ketiga sistem komunikasi bergerak (mobile communication system) yang didesain untuk menyediakan layanan global, kapabilitas layanan yang beragam dan perbaikan unjuk kerja secara signifikan. Teknologi ini akan mengintegrasikan pager, telepon selular dan sistem komunikasi bergerak dengan satelit (mobile satelit sistem). Dengan kata lain IMT 2000 adalah dasar bagi akses komunikasi global yang terintegrasi.

Magic Word 2000 memiliki 3 makna yaitu: standard telekomunikasi bergerak ini akan diresmikan di tahun 2000, yang kedua standard ini akan memiliki kecepatan 2000 kbps, dan yang terakhir akan beropersi pada frekuensi 2000MHz. Kecepatan sebesar ini mutlak dibutuhkan di masa mendatang yang merupakan era multi media. IMT-2000 dibanding dengan sistem yang ada saat ini memiliki berbagai kelebihan antara lain: jika sistem yang ada saat ini terbelah menjadi 3 region (Eropa, Jepang dan Amerika Utara) yang tidak kompatibel, maka dengan IMT-2000 nanti user akan dapat diakses secara global dengan nomor yang sama dimana pun ia berada.

ITU merumuskan IMT-2000 dengan pendekatan fase. Pada fase awal ditargetkan IMT-2000 akan memiliki kecepatan maksimum 2 MBps dan pada fase kedua kecepatan maksimum ini akan meningkat manjadi 20 MBps.

IMT-2000 menawarkan beragam layanan. Belum pernah di masa lampau sistem dirancang untuk menyediakan demikian beragam layanan dan membidik beragam segmen pasar.

Dipercaya bahwa integrasi secara rapat antara satelit dengan komponen darat dari IMT-2000 akan memfasilitasi pengguna awal dari layanan melalui satelit pada tempat yang infrastruktur komunikasi tetapnya sedikit atau bahkan belum ada, sehingga pembangunan infrastruktur darat akan menyusul kemudian pada daerah sejalan dengan densitas populasi.

10.2.2 Prinsip Utama IMT-2000

Prinsip-prinsip utama pada IMT-2000 antara lain:

1. Any where any time (dimana saja dan kapan saja)

   Prinsip yang selalu menjadi bagian mendasar dari IMT-2000 adalahkemampuannya untuk menyediakan alat komunikasi saku yang praktis, ringan dan kecil yang akan menawarkan layanan any where any time. Walaupun kapasitas ini tetap esensial bagi sistem generasi ketiga, namun tetap hanya merupakan sebagian dari seluruh fungsi yang ada. Dipercaya bahwa agar IMT-2000 dapat sukses dipasar global, ia harus mendukung banyak layanan dan fungsi.

2. Jangkauan layanan yang luas

   Sejalan dengan kemajuan teknologi yang demikian cepat, konsumen akan terus menuntut fungsi-fungsi baru bagi layanan tanpa kabel. Sehingga layanan tanpa kabel masa depan harus menyediakan bukan hanya layanan yang sudah lazim seperti komunikasi suara bergerak, tapi juga harus mampu memberi berbagai jenis layanan seperti layanan multimedia, akses ke internet, video conference dan masih banyak lainnya lagi.

3. Menjembatani jurang telekomunikasi

   Salah satu aspek penting pada IMT-2000 adalah kemampuan untuk menyediakan akses yang fleksibel dengan biaya yang efektif ke jaringan telekomunikasi global pada negara-negara berkembang dan daerah belum berkembang dari negara-negara maju. Saat ini ketika jurang telekomunikasi antar negara berkembang dengan negara maju sangat lebar. IMT-2000 menawarkan seluruh keuntungan dari akses jaringan tanpa

kabel untuk menolong negara-negara berkembang menjembatani jurang tersebut secara efektif.

4. Virtual Home Environment

Satu inovasi penting pada IMT-2000 adalah Virtual Home Environment (VHE). Dengan VHE user dapat menerima layanan yang sama persis dimana pun dan kapan pun ia berada, seperti layaknya ia berada di rumah tanpa ada perbedaan pada layanan, kapabilitas transport, source coding (voice, video coding), layanan pelanggan maupun human machine interface, baik panggilan itu di buat di Eropa, Amerika maupun Asia.

10.2.3 Standardisasi IMT-2000

Standard untuk sistem komunikasi bergerak generasi ketiga ini, saat ini sedang dipersiapkan oleh beberapa badan standardisasi regional. Setiap badan standardisasi, berlomba untuk menawarkan kandidat teknologi yang cocok bagi berbagai lingkungan operasi dari sistem komunikasi bergerak generasi ketiga.

Di Eropa hal ini dipimpin oleh European Telecommunication Standard System (ETSI) yang mengkoordinasi program riset Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) yang merupakan IMT-2000 versi Eropa. Diharapkan UMTS akan mulai beroperasi di sekitar tahun 2002.

Di Amerika, saat ini teknologi US-PCS sedang dipersiapkan. Namun belakangan Amerika mengumumkan standard IS-95 yang merupakan kandidat dari Amerika bagi IMT-2000. Sistem US-PCS saat ini beroperasi di sebagian pita frekuensi yang dicadangkan bagi IMT-2000. Sehingga kondisi ini diperkirakan akan menjadi potensi kesulitan bagi IMT-2000 di masa datang.

Di Jepang, standardisasi dilakukan oleh ARIB (Association of Radio Industries and Bussines). Jepang pernah mengalami pertumbuhan spektakuler pada komunikasi bergerak, dengan tidak kurang dari 1 juta user baru setiap bulannya. Untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat, saat ini dilakukan studi untuk mengembangkan teknologi yang efisien dalam penggunaan frekuensi. Jepang telah mengumumkan bahwa mereka telah mengkaji teknologi berbasis Wideband CDMA yang diharapkan sebagai kandidat IMT-2000 yang akan beroperasi tahun 2000.

Sedang di Korea Selatan, pengembangan IMT-2000 dipelopori oleh Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI) yang diharapkan akan mulai beroperasi paling lambat tahun 2001. Teknologi yang dipakai adalah Wideband CDMA, dan akan dimulai dengan mengadaptasi IS-95 (standard US-PCS Amerika).

Pada tingkat global, standardisasi ini digarap oleh ITU yang bertanggung jawab untuk mengembangkan berbagai standard bagi IMT-2000. Berbagai grup spesial di ITU saat ini terlibat dalam proses standardisasi, seperti terlihat pada tabel berikut.

Table 10.1 Standardisasi IMT-2000 di ITU

Task/Study Group	**ITU-R**	**ITU-T**
TG8/1	System Aspects Radio Aspects	
SG2		Service, Numbering/Identities, Traffic, Performance
SG4		Management
SG7		Security
SG11		Signaling and Protocol
SG16		Encoding, Compressions, Multiplexing

TG8/1 adalah grup yang bertanggung jawab atas IMT-2000 selama lebih dari 10 tahun terakhir. TG8/1 saat ini melakukan studi untuk memilih keluarga antar muka radio yang cocok, untuk diterapkan pada lingkungan operasi IMT-2000. TG8/1 telah mengidentifikasi 4 lingkungan percobaan untuk mengestimasi performan dari berbagai kandidat teknologi radio. Keempat lingkungan tersebut adalah indoor office, outdoor/indoor and pedestrian, vehicular dan satelit. Pada setiap masing-masing lingkungan telah dibuat spesifikasi kemampuan unjuk kerja minimum yang meliputi kecepatan transfer data, kebutuhan mobilitas dan lain-lain.

Sedangkan pada ITU-T, beberapa grup studi terlibat dalam penyiapan IMT-2000 terutama pada aspek jaringan. Pada SG11 dilakukan studi tentang pengembangn pensinyalan dan protocol. Pengembangan ini memegang peranan penting karena akan menyediakan infrastruktur jaringan yang fleksibel terhadap berbagai lingkungan operasi IMT-2000 serta memungkinkan adanya layanan yang luas seperti suara, data maupun multimedia.

10.2.4 Layanan IMT-2000

IMT-2000 akan menyediakn akses ke berbagai layanan, beberapa akan didukung oleh jaringan tetap dan beberapa lainnya merupakan spesifikasi jaringan bergerak. Layanan IMT-2000 akan meliputi audio, video, suara, data, multimedia, roaming, virtual home environment, billing dan keamanan.

Layanan yang disediakan IMT-2000 meliputi:

- Layanan Percakapan

  Layanan percakapan akan tetap merupakan komponen substansial dalam layanan IMT-2000. sehingga layanan telepon akan disediakan oleh IMT-2000 dengan kualitas yang setara dengan jaringan tetap.

- Layanan Data

  Terus meningkat permintaan akan office on the move yang meliputi terutama mengenai layanan non suara. IMT-2000 akan menawarkan layanan yang setara dengan yang dapat diberikan oleh jaringan data publik. IMT-2000 akan menawarkan layanan tambahan yang khas untuk komunikasi bergerak seperti: paging dan short message. IMT-2000 akan menyediakan layanan komunikasi data ini dalam cakupan geografis yang luas, dengan kualitas yang sebanding dengan jaringan data tetap. Dalam hal ini kecepatan bit user dapat tetap atau variable dengan lebar pita yang fleksibel sesuai dengan kebutuhan.

- Layanan Multimedia

  Layanan multimedia akan menjadi kebutuhan dasar di abad 21 mendatang, sehingga dukungan terhadap layanan multimedia merupakan hal yang sangat penting pada IMT-2000. beberapa layanan multimedia IMT-2000 antara lain:

* Mobility service (khususnya berkaitan dengan mobilitas user yaitu layanan lokasi)
* Conference service (penyedia transfer suara maupun gambar bergerak secara 2 arah dan real time)
* Conversation service (komunikasi dialog dua arah dengan transfer informasi secara real time)
* Distribution service (penyaluran informasi secara kontinyu dari sumber informasi)
* Retrieval service (pengambilan informasi pada suatu saat dari sebuah sumber informasi)
* Collection service (sama dengan retrieval service hanya dari beberapa sumber informasi)
* Message service (komunukasi user-to-user dengan kemampuan store & forward)

- Layanan Roaming

  Kebutuhan konsumen untuk dapat roaming secara bebas antara jaringan di seluruh dunia terus bertambah. IMT-2000 akan memungkinkan mobilitas yang tak terbatas dalam arti lokasi dari daerah cakupan radio dan kompatibilitas standar global dari ITU ini memungkinkan adanya roaming internasional. User IMT-2000 akan dilayani secara kontinyu dalam basis global.

10.3 Riset Pengembangan

Saat ini selular telah digunakan oleh jutaan pelanggan di seluruh dunia. Pertumbuhan jumlah user naik secara eksponensial setiap tahunnya. Selain pertumbuhan jumlah user yang besar, juga berkembang layanan-layanan yang makin beragam yang menuntut dikembangkan sistem yang mampu mengakomodasi kecepatan bit yang bervariasi, dari yang hanya 1,2 kbps untuk layanan paging hingga beberapa Mbps untuk transmisi video. Dengan perkembangan ini maka kapasitas dan kompleksitas yang mendukung layanan dari berbagai kecepatan bit dan juga manajemen jaringan untuk mendukung mobilitas dan fleksibilitasnya harus meningkat secara dramatis.

Dari berbagai teknologi yang ada, teknologi CDMA merupakan calon terkuat yang dikembangkan dalam mengakomodasi perkembangan tersebut. Berbagai proposal untuk calon yang akan digunakan untuk sistem komunikasi bergerak generasi ke 3 telah diajukan oleh beberapa negara, yang semuanya berbasis teknologi CDMA.

Dari berbagai proposal tersebut, calon yang paling terkuat adalah teknologi berbasis Wideband CDMA (WCDMA) yang dikembangkan oleh Jepang.

WCDMA merupakan suatu teknologi modulasi dan metode akses jamak yang bekerja berdasarkan teknologi spread spectrum, khususnya Direct Sequence Spread Spectrum, seperti halnya teknologi sebelumnya yaitu CDMA. Dengan teknologi ini, sinyal informasi ditransmisikan melalui bidang frekuensi yang jauh lebih lebar dari bidang frekuensi sinyal informasi, atau dengan kata lain sinyal informasi ditransmisikan dengan melalui proses penebaran sinyal informasi oleh kode penebar kedalam bidang frekuensi yang lebar. Perbedaan dengan teknologi sebelumnya khususnya Narrowband CDMA salah satunya adalah terletak pada kecepatan kode penebar, dimana NCDMA sebesar 1,23 Mbps dan WCDMA sebesar 5-20 Mbps.

WCDMA didasarkan pada teknologi dengan kecepatan chip 4,096 Mcps dan memberikan lebar setiap kanalnya hingga 5 MHz.

Dalam kaitannya dengan komunikasi bergerak selular, WCDMA sebagai platform layanan komunikasi bergerak generasi ketiga dapat mendukung dua jenis teknik penyambungan yaitu packet switched dan circuit switched seperti internet (dengan dukungan IP) dan sambungan telepon standar. Sejak awal, WCDMA didisain untuk layanan data kecepatan tinggi seperti packet data dari kecepatan 384 kbps pada kondisi bergerak atau area yang luas hingga 2 Mbps pada kondisi stasioner atau lokal. Teknologi WCDMA memungkinkan user untuk mengakses layanan yang berbeda dalam waktu yang bersamaan. Sebagai gambaran bahwa dengan teknologi WCDMA, seorang user dapat mengadakan sambungan pembicaraan (*voice call*) dengan lawan bicaranya melalui mobile terminal dan pada saat yang bersamaan ia juga dapat mengakses database jarak jauh atau menerima e-mail pada terminal yang sama.

10.3.1 WCDMA untuk UMTS

Dalam memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh UMTS/IMT-2000, sistem komunikasi bergerak selular WCDMA dikembangkan dari sistem terdahulu sehingga mempunyai beberapa fungsi pelayanan dan keunggulan. Adapun fungsi pelayanan dan keunggulannya tersebut antara lain:

1. Fleksibelitas layanan

   WCDMA menerapkan setiap 5 MHz carrier untuk menangani layanan yang beragam dari 8 kbps hingga 2 Mbps. Layanan berbasis circuit dan packet switched dapat dikombinasikan kedalam kanal yang sama, sehingga pada satu terminal dapat menerapkan layanan multimedia dengan multiple packet ataupun circuit connection.

2. Efisiensi spektrum

   Penggunaan spektrum radio pada WCDMA sangat efisien. Perencanaan frekuensi reuse tidak diperlukan karena penerapan reuse “1” pada sistem WCDMA. Kapasitas jaringan dapat ditingkatkan dengan beberapa teknik seperti Hierarchical Cell Structures (HCS), Adaptive Antenna Array (AAA) dan coherent demodulation (bi-directional).

3. Kapasitas dan cakupan

   Tranceiver frekuensi radio WCDMA dapat menangani delapan kali lipat pelanggan voice dibandingkan dengan transceiver narrowband. Setiap RF carrier dapat menangani 100 panggilan voice secara simultan, atau 50 internet (data) secara simultan. Kapasitas dari WCDMA diperkirakan dua kali dari Narrowband CDMA dalam lingkungan urban maupun suburban. Adanya bandwidth yang lebih lebar, penggunaan coherent demodulation dan fast power control pada uplink maupun downlink memberikan threshold penerima yang lebih rendah.

4. Ragam layanan per koneksi

   Packet dan circiut switched dapat secara bebas digabungkan, dengan variable bandwidth dan kecepatan serta pengiriman yang simultan ke user yang sama dengan kualitas tertentu. Setiap terminal WCDMA dapat mengakses beberapa layanan yang berbeda pada saat yang bersamaan. Hal ini dapat berupa voice atau kombinasi layanan seperti internet, e-mail dan video. Kecepatan data yang bervariasi dapat dicapai dengan menggunakan variable orthogonal spreading codes dan penyesuaian dari daya keluaran yang ditransmisikan.

5. Efisiensi Jaringan

   Dengan penambahan akses wireless WCDMA kedalam jaringan digital seluler yang telah ada seperti GSM dan inter-networking dua sistem tersebut, jaringan inti dan

base station yang sama dapat digunakan. Hubungan antara jaringan akses WCDMA dengan jaringan GSM menggunakan ATM mini-cell transmission protocol, yang dikenal dengan ATM Adaptive Layer 2 (AAL2). Ini merupakan cara yang sangat efisien dalam menangani data paket dlam meningkatkan kapasitas.

6. Kapasitas suara yang baik

   Meskipun tujuan utama dari akses wireless generasi ketiga adalah untuk membawa trafik multimedia dengan bit rate yang tinggi, namun dapat pula mendukung mekanisme eifisiensi spektrum dari trafik suara. Sebagai contoh, setiap operator dengan alokasi spektrum 2 x 15 MHz dapat menangani setidaknya 192 panggilan suara per sel sektor.

7. Keterbukaan akses

   Dengan sistem dual-mode pada terminal, mekanisme akses yang terbuka dapat dilakukan, seperti handover dan roaming antara jaringan GSM dan UMTS, dengan adanya terlebih dahulu pengaturan layanan antara dua sistem akses tersebut.

8. Indoor coverage

   Penggunaan mode operasi TDD (Time Division Duplex) secara teknik cocok untuk penerapan un-licensed spectrum pada lingkungan tertutup (indoor).

9. Akses layanan yang cepat

   Dalam mendukung pengaksesan yang cepat untuk layanan multimedia, prosedur akses acak (random access prosedure) yang baru telah dikembangkan dengan menggunakan fast synchronization untuk menangani layanan packet data sebesar 384 kbps. Prosedur ini memungkinkan terjadinya set-up hubungan antara mobile user dan base station hanya dalam waktu beberapa milisecond.

10. Migrasi dari GSM

    WCDMA menggunakan struktur protokol jaringan yang sama dengan GSM, sehingga dapat menerapkan jaringan GSM yang telah ada sebagai infrastruktur jaringan intinya.

10.3.2 Kendala Pengembangan

Untuk memperoleh layanan multimedia dalam PCS CDMA dan memenuhi kebutuhan user, maka dalam layanannya harus memberikan kualitas yang bagus. Kualitas layanan ditentukan dengan pengukuran MOS (Mean Opinion Score) untuk suara dan BER untuk data. Dalam desain jaringan, tujuan utamanya adalah agar sistem mampu memberikan kualitas layanan yang baik, dan kapasitas yang besar. Optimasi antara kapasitas dan kualitas merupakan masalah desain jaringan. Untuk mencapai kualitas yang baik dengan kapasitas besar, terdapat berbagai kendala alam maupun teknis, antara lain:

- Interferensi lintas jamak

  Interferensi merupakan kendala utama dalam lingkungan sistem komunikasi bergerak. Pada CDMA, dimana semua user menggunakan kanal yang sama, interferensi akan naik dengan bertambahnya jumlah user aktif. Selain itu dari kanal yang bersebelahan juga akan menyebabkan penurunan kapasitas dan kualitas layanan.
- Efisiensi penggunaan sumber daya jaringan

  Layanan multimedia membutuhkan fleksibilitas kecepatan dan kapasitas yang besar. Dalam CDMA, variasi kecepatan ini menggunakan duty cycle transmisi yang bermacam-macam, yang menyebabkan sumber daya jaringan menjadi boros.

10.3.3 Bidang Penelitian

Untuk mengoptimalkan unjuk kerja sistem CDMA, berbagai penelitian terus dilakukan untuk mendapatkan metode, algoritma maupun perangkat keras baru. Berbagai hal yang dikembangkan dan diteliti antara lain:

- Kode-kode dengan korelasi silang rendah

  Kapasitas trafik bergantung pada jumlah kode orthogonal. Untuk meningkatkan kapasitas sistem, penelitian untuk mendapatkan deretan kode dengan korelasi silang yang rendah terus dilakukan. Dengan korelasi silang rendah, maka interferensi lintas jamak akan menurun.
- Multi User Detection (MUD) dan Interference Canceller System (ICS)

  Dengan teknik MUD dan ICS, maka level daya sinyal akan meningkat sehingga kualitas layanan akan lebih baik. Kapasitasnya pun akan menjadi besar.
- Adaptive Rate Allocation (ARA) dan Dynamic Capacity Assigment (DCA)

  Untuk mendukung layanan multimedia dan efisiensi kapasitas, maka

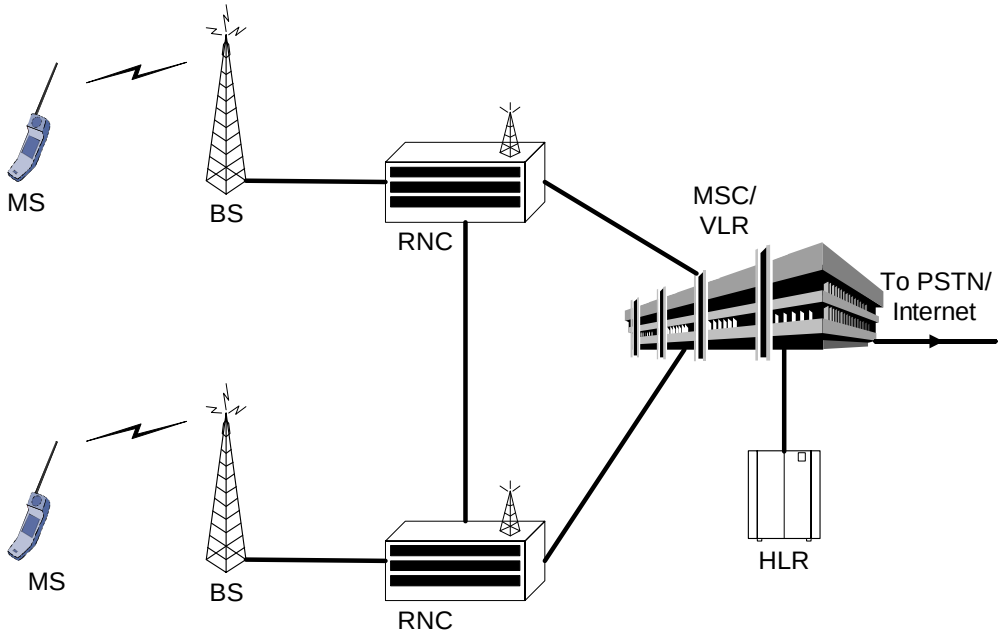
diimplementasikan ARA dan DCA. ARA bertujuan untuk menyusun dan mengatur bermacam-macam layanan dengan kecepatan berbeda-beda. Sedangkan DCA akan mengatur alokasi kanal ke terminal user dalam sebuah sel dan atau dengan sel yang besebelahan atau dalam suatu jaringan menurut kecepatan data/sinyal yang dikirimkan.

- Sinkronisasi

  Proses sinkronisasi yang akurat sangat diperlukan untuk mendapatkan kualitas yang bagus. Makin akurat sinkronisasi, makin baik kualitas sistem. Kendala utama dalam sinkronisasi adalah frequency selective fading, yang selalu ditemui dalam lingkungan sistem komunikasi bergerak.

10.4 Arsitektur Jaringan

Pada dasarnya arsitektur jaringan WCDMA tidak berbeda jauh dengan arsitektur jaringan sistem komunikasi bergerak seluler pada umumnya, seperti terlihat pada gambar 10.3.



Gambar 10.3

Arsitektur jaringan WCDMA

Komponen utama yang menyusunnya adalah:

- Mobile Station (MS)
- Base Station/Base Transceiver Station (BS/BTS)
- Radio Network Controller (RNC)
- Mobile Switching Center (MSC)
- Home Location Register (HLR)

10.4.1 Mobile Station (MS)

Mobile station yang digunakan dalam sistem WCDMA bersifat portable dan memenuhi persyaratan akan pelayanan multimedia yang ditawarkan oleh operator jaringan WCDMA. Selain itu mobile terminal harus pula mendukung layanan yang ditawarkan oleh GSM (dual mode) dalam kaitannya pengintergasian dengan jaringan global yang ada sekarang ini. Untuk mengaktifkan mobile station, termasuk inisialisasi dan registrasi, dapat digunakan smartcard yang disebut dengan USIM card (UMTS Subscriber Identification Module).

10.4.2 Base Station/Base Transceiver Station (BS/BTS)

Fungsi utama dari base station adalah untuk memberikan lingkupan radio dan juga menyediakan interface udara ke user. Fungsi lain yang ada dalam base station termasuk radio transceiver, pengkodean kanal, pengendalian panggilan, pendeteksian akses dan penyediaan kanal radio.

10.4.3 Radio Network Controller (RNC)

RNC menyediakan semua hal yang diperlukan untuk pengendalian radio lokal seperti handover intra RNC, pengontrolan satu atau lebih base station, pengendalian daya, dan alokasi kanal. RNC juga bertindak sebagai suatu consentrator site untuk trafik dan signalling. RNC dibangun dengan ATM switch, karena hubungan RNC dengan jaringan inti menggunakan interface ATM. Dengan menggunakan ATM/AAL2, pengkodean kecepatan yang bervariasi dari suara maupun data packet dapat dilakukan dengan kapasitas transport yang terjaga dalam jaringan.

10.4.4 Mobile Switching Center (MSC)

MSC merupakan sentral dari jaringan yang menyediakan fasilitas routing dan pengendalian sambungan, pelayanan interworking, billing, interkoneksi ke jaringan lain dan PSTN. Pada MSC juga terdapat komponen yang disebut VLR (Visitor Location Register) yang berfungsi sebagai register penyedia pembaruan (updating) lokasi, informasi lokasi dan database lokal.

10.4.5. Home Location Register (HLR)

HLR merupakan database utama jaringan dan mengandung seluruh informasi pelanggan termasuk pelayanan apa yang diinginkan oleh pelanggan.

10.5 Aspek Teknologi WCDMA

Aspek teknologi yang dimaksud disini adalah teknologi yang diterapkan dalam melaksanakan pelayanan sistem WCDMA sebagai suatu sistem komunikasi bergerak selular generasi ketiga.

10.5.1 Alokasi Spektrum Frekuensi Kerja

Frekuensi kerja yang dimaksud adalah merupakan frekuensi yang digunakan dalam transmisi sinyal antara mobile terminal dengan base station. Alokasi bandwidth untuk UMTS/IMT-2000 berada pada pita frekuensi 2 GHz dengan pita frekuensi berkisar antara 1920-1980 MHz dan 2110-2170 MHz dengan WCDMA/FDD untuk sistem terlisensi (2x60 MHz spektrum UMTS). Pada UMTS/WCDMA alokasi spektrum minimum untuk sebuah carrier adalah sebesar 5 MHz.

10.5.2 Pengkanalan Radio

Dalam WCDMA terdapat sejumlah kanal logika. Kanal logika tersebut dibagi menjadi:

1. Common Control Channel, terdiri dari:
   - BCCH (Broadcast Control Channel)

     Kanal downlink point to multipoint untuk broadcast tentang informasi sistem dan spesifikasi sel.
   - FACH (Forward Access Channel)

     Kanal downlink untuk informasi kontrol ke mobile station ketika sistem telah mengetahui lokasi sel dari mobile station tersebut seperti close loop power control terhadap mobile station. Kanal ini dapat pula membawa data packet yang pendek.
   - PCH (Paging Channel)

     Kanal downlink untuk informasi kontrol ke mobile station ketika sistem tidak mengetahui lokasi sel dari mobile station. Kanal ini memberitahukan akan datangnya panggilan, yang diikuti dengan penetapan kanal trafik.
   - RACH (Random Access Channel)

     Kanal uplink untuk informasi kontrol dari mobile station pada inisialisasi akses ke sistem. Untuk akses random, mobile station mengirim sinyal diikuti denga close loop power control. Kanal ini dapat pula membawa data packet yang pendek.
2. Dedicated Channel, terjadi apabila hubungan antara mobile station dan base station telah terbangun, baik uplink maupun downlink. Kanal ini terdiri dari :
   - Traffic Channel

     Kanal ini berisi data user yang akan ditransmisikan pada interface radio, yang dapat berupa suara, data dan video dengan kecepatan yang bervariasi.
   - Dedicated Control Channel (DCCH)

     Kanal ini membawa informasi kontrol yang akan dipertukarkan antara base station dan mobile station, yang juga berisi kontrol hubungan, kontrol mobility dan kontrol link.
3. System Control Channel, digunakan pada kanal downlink agar base station dapat memantau dan mengidentifikasi, sinkronisasi dan estimasi kanal pada mobile station. Kanal ini terdiri dari:

- Pilot Channel (PICH)

  Berfungsi untuk memisahkan kanal fisik broadcast pada tiap kanal RF dan laju chip dalam sel radio. PICH ditentukan oleh spreading code PN pendek dan unik untuk setiap base station dan ditransmisikan secara periodik tanpa modulasi data informasi, sehingga mudah dalam pendeteksian pilot, sinkronisasi dan estimasi kanal pada mobile station.

- Synchronization Channel (SCH)

  Berfungsi untuk mensinkronkan Pilot Channel. SCH dikirim pada kanal fisik yang terpisah dengan menggunakan spreading code PN pendek yang diperoleh dari PICH yang bersangkutan.

Informasi berupa suara, data dan informasi kontrol ditransmisikan melalui kanal logika yang berbeda. Informasi kontrol ditransmisikan melalui kanal DCCH. Ada dua kategori pembentuk kanal trafik, yaitu traffic channel/speech (TCH/S) dan traffic channel/data (TCH/D), masing-masing dikodekan dan di interleave secara berbeda. Kanal multipleks dapat terjadi dalam beberapa kombinasi, yaitu TCH/S dengan DCCH, TCH/D dengan DCCH, serta TCH/S, TCH/D dan DCCH.

Hasil demultipleks antara TCH dengan DCCH dinotasikan sebagai Dedicated Physical Data Channel (DPDCH). Tiap DPDCH dilengkapi dengan Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) yang membawa informasi kontrol lapisan fisik. Selain itu DPCCH membawa informasi tentang pendemultiplekskan frame DPDCH dan pada kanal downlink membawa informasi tentang power control.

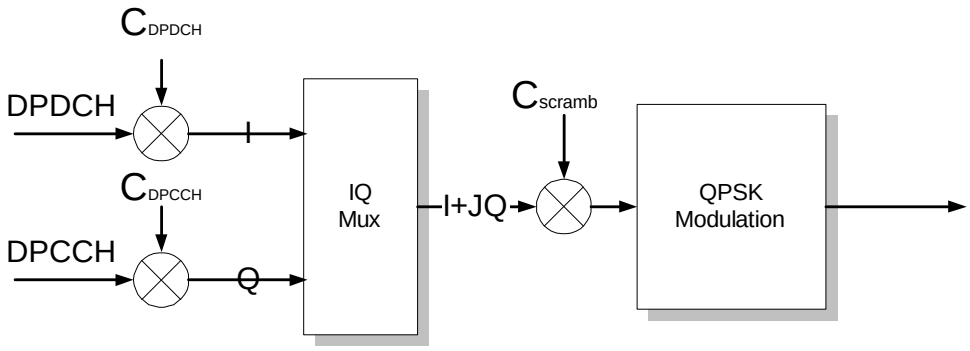
Setiap link hanya mempunyai satu DPCCH untuk penjagaan hubungan dan dapat mempunyai satu atau lebih DPDCH. Penggunaan DPDCH yang lebih dari satu pada tiap link menunjukkan pentransmisian multicode.

Pada WCDMA, terdapat 2 mode pengiriman paket, yaitu menggunakan Random Access Channel dan menggunakan Dedicated Channel. RACH dapat digunakan pada saat mengirimkan paket tunggal yang kecil dan Dedicated Channel digunakan pada saat mengirimkan paket dalam jumlah yang besar.

10.5.3 Teknik Modulasi

Teknik modulasi merupakan teknik yang digunakan untuk menumpangkan sinyal ke dalam gelombang carrier agar dapat ditransmisikan. Dalam WCDMA digunakan teknik modulasi yang berbeda untuk uplink dan downlink.

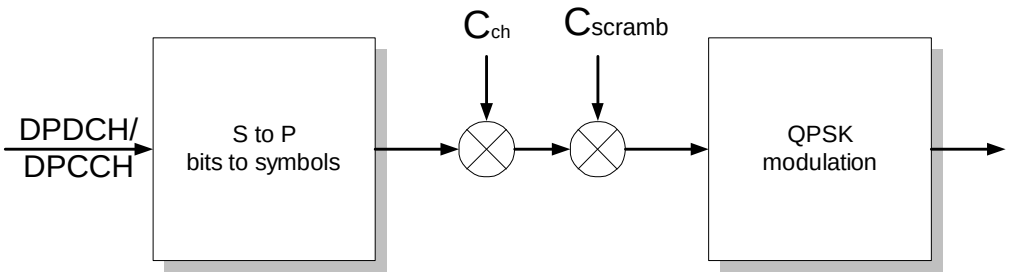
Pada uplink, data dimodulasikan dengan menggunakan Dual-channel QPSK (DPDCH pada I-channel dan DPCCH pada Q-channel), sedangkan modulasi spreading/scrambling menggunakan QPSK (complex code). Primary scrambling code didasarkan pada pengembangan Very Large Kasami Code dengan 256 chips, dan Secondary scrambling code berupa Gold code 2^{41}-1 dengan 40960 chips segmen.



Gambar 10.4

Skema spreading dan modulasi pada uplink

Pada downlink, data dimodulasikan dengan menggunakan QPSK (2 bit per simbol), sedangkan modulasi spreading/scrambling menggunaan BPSK (real code). Channelization code (spreading) menggunakan Orthogonal Variable Spreading Factor Code, yang menjaga orthogonalitas antara kanal downlink dengan spreading factor yang berbeda. Srambling code yang digunakan adalah Gold code 2^{18}-1 dengan 40960 chips segmen.

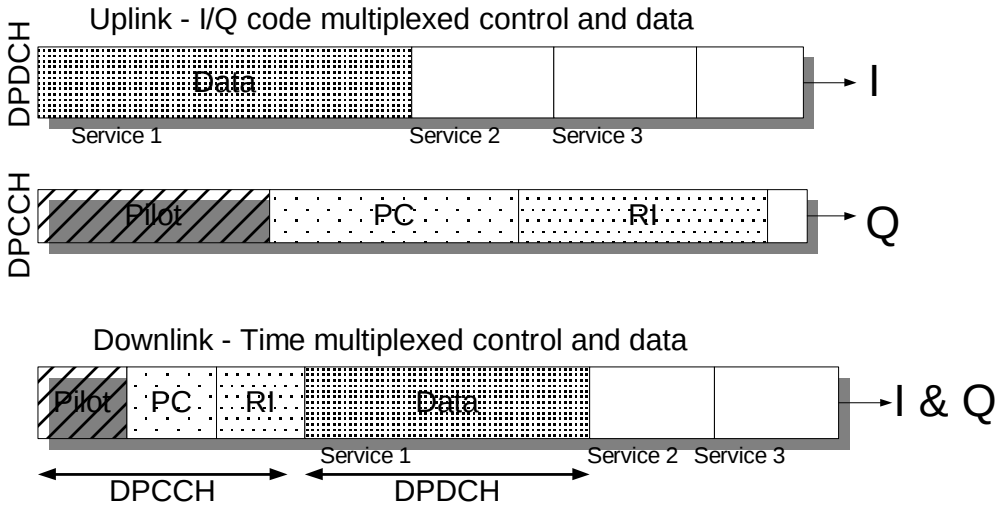


Gambar 10.5

Skema spreading dan modulasi pada downlink

10.5.4 Multiplex

Pada layer fisik WCDMA, digunakan teknik multiplexing yang berbeda pada uplink dan downlink. Pada uplink, data dan control channel dimultipleks kedalam kanal melalui I/Q modulator, yang menghasilkan pemisahan kanal dengan domain I dan Q. Sedangkan pada downlink, teknik multipleks berdasarkan pembagian waktu (time division), yang menghasilkan bitstream tunggal kedalam I/Q modulator, seperti yang terlihat pada gambar 10.6.



Pilot : pilot bit PC : Power control RI : Rate Information

Gambar 10.6

Multipleks layer fisik

10.5.5 Metode Dupleks

Interface radio dari UMTS terdiri dari dua mode, yaitu FDD (Frequency Division Duplex) dengan band 2 x 60 MHz untuk penggunaan area terbuka yang luas dan lokal, serta TDD (Time Division Duplex) untuk penggunaan area tertutup (indoor). FDD dipergunakan dalam sistem WCDMA dengan satu kanal uplink dan datu kanal downlink. TDD merupakan pengkombinasian sistem CDMA/TDMA menggunakan code division didalam slot waktu, penggunaan kanal yang sama untuk uplink maupun downlink dengan pemisahan berdasarkan pembagian slot waktu.

10.5.6 Power Control

Power control memegang peranan yang penting dalam komunikasi wireless.

Power control meliputi uplink power control dan downlink power control. Power control downlink digunakan untuk memperbesar kapasitas sistem, sedangkan pada uplink digunakan untuk mengontrol hubungan dan batas threshold penerimaan mobile station. Pada kanal uplink, power control yang digunakan merupakan kombinasi close loop dan open loop power control dalam mendeteksi daya sinyal yang diterima dari mobile station.

Pada close loop power control, base station secara terus-menerus mengukur level sinyal yang diterima dari mobile station. Dari informasi level sinyal yang diterima tersebut, maka base station menentukan perintah power control yang dikirimkan melalui kanal downlink DPCCH ke mobile station. Prosedur power control secara lebih jelasnya diuraikan sebagai berikut:

Uplink Power Control

- Mobile station mentransmisikan inisialisasi daya kearah base station.
- Base station mengkalkulasikan inisialisasi daya tersebut (open loop) dengan estimasi pathloss dan interferensi.
- Base station mengukur besar C/I pada sinyal yang diterima, lalu mentransformasikannya ke dalam nilai Eb/No dan membandingkannya dengan Eb/No yang ditargetkan.
- Jika nilai Eb/No lebih kecil dari target, maka base station meminta mobile station untuk menaikkan dayanya secara bertahap, begitupula sebaliknya (close loop).

Downlink Power Control

- Base station mentransmisikan inisialisasi daya ke arah mobile station.
- Mobile station mengkalkulasi inisialisasi daya tersebut (open loop) dengan estimasi pathloss dan interferensi.
- Mobile station mengukur besar C/I pada sinyal yang diterima. Lalu mentransformasikannya ke dalam nilai Eb/No dan membandingkannya dengan nilai Eb/No yang ditargetkan.
- Jika nilai Eb/No lebih kecil dari target yang dipersyaratkan, maka perintah untuk menaikkan daya dikirimkan ke base station, begitupula sebaliknya (close loop).

Salah satu efek yang timbul akibat power control yang tidak sempurna yaitu efek jauh dekat yaitu efek dimana setiap pelanggan menggunakan daya pancar yang sama, maka pelanggan yang terdekat dengan base station akan mengakibatkan interferensi yang sangat besar terhadap pelanggan yang terjauh. Mekanisme pengaturan yang dapat mengatur daya pancar dari setiap mobile station sehingga daya tersebut dapat diterima base station dengan besar daya yang sama disebut power control atau dalam WCDMA disebut Transmitte Power Control (TPC). Keuntungan dari pengontrolan daya yaitu penghematan daya karena daya yang dipancarkan oleh base station sesuai dengan daya yang diterima oleh mobile station. Pengontrolan daya dilakukan base station dengan mengirimkan sinyal secara continue. Base station tidak mengirimkan sinyal pengontrol daya kepada mobile station jika mobile station dalam keadaan non aktif yang cukup lama.

Pengontrolan daya yang baik akan mengurangi efek interferensi sehingga kinerja dari sistem menjadi lebih baik dan kapasitas sistem menjadi lebih besar.

Ada 3 metode pengaturan daya pada up link yaitu:

1. Kontrol daya tertutup (close loop power control)

   Mengatur daya pancar unit mobil level sinyal yang diterima tetap pada level yang ditargetkan

2. Outer Loop

   Mengatur level sinyal digunakan oleh close loop power control . Level diatur secara independen untuk tiap sambungan berdasarkan kualitas sambungan.

3. Open loop power control

Digunakan untuk mengatur daya pancar dari kanal fisik acces acak

Ada 2 (dua) metode yang digunakan untuk pengaturan daya pada down link:

1. Close loop power control

   Mengatur daya pancar base station agarlevel sinyal down link tetap pada daya yang diinginkan

2. Outer Loop

   Mengatur target level sinyal yang digunakan oleh close loop power control.

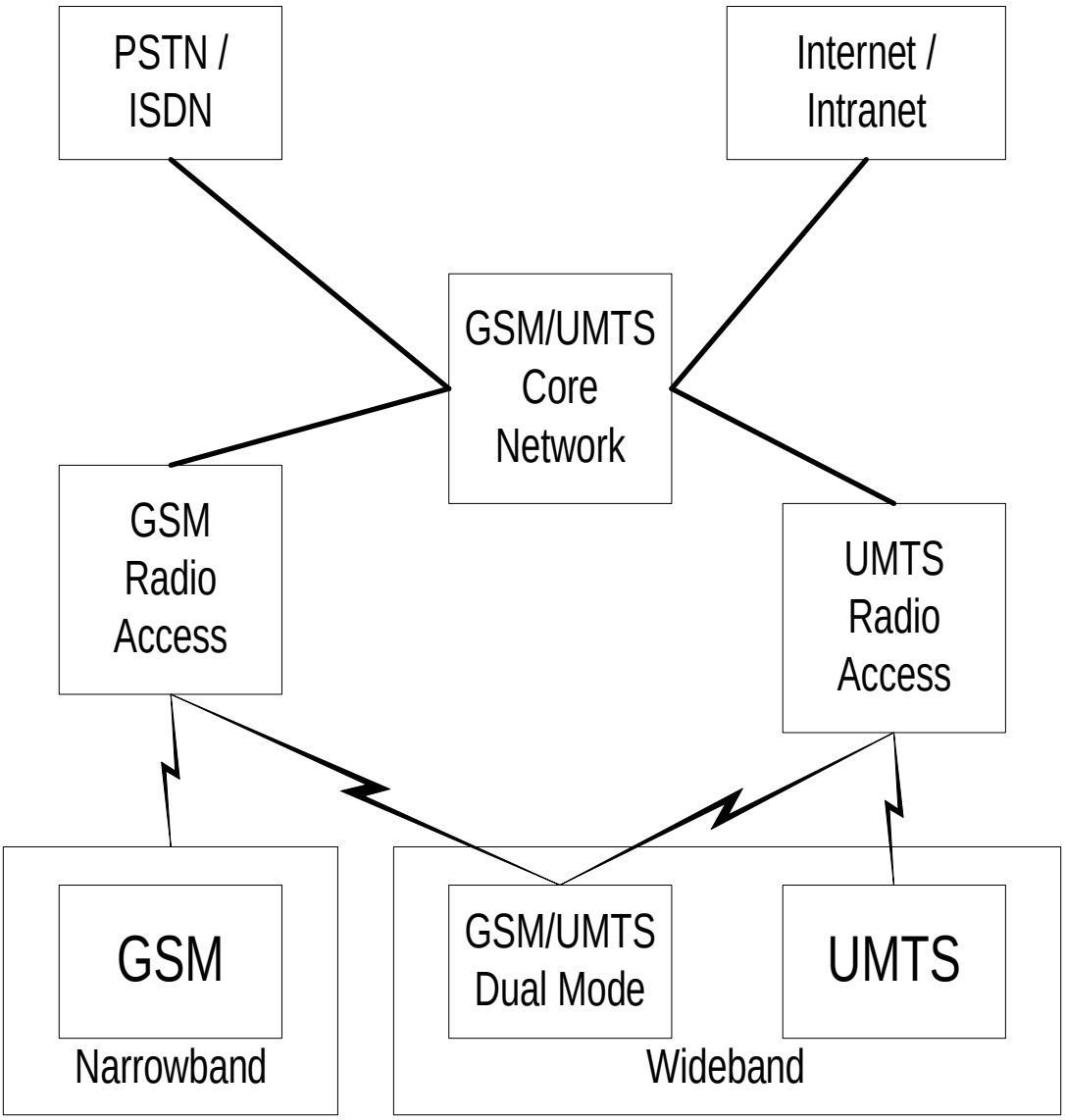
10.5.7 Sinkronisasi

Dengan menggunakan Direct Sequence spreading asinkron pada DPDCH dan DPCCH, dihasilkan peralatan yang tidak memerlukan sinkronisasi antar sel dan sinkronisasi antar kanal. Mobile station melakukan sinkronisasi dengan BS melalui PICH dan SCH, dapat secara langsung menyesuaikan waktu frame Tx CDMA dan Rx CDMA pada lokasi mobile station tertentu. Karena sinyal yang diterima di base station dari mobile station yang berbeda-beda tidak memerlukan pengaturan frame (seperti pada sistem TDMA), maka tidak diperlukan rangkaian pengontrol pewaktuan. Dengan menerapkan DS spreading asinkron pada jalur downlink maka tidak diperlukan sinkronisasi antar base station, sehingga Global Positioning System (GPS) tidak diperlukan lagi.

10.5.8 Integrasi Jaringan GSM dan WCDMA

Sistem selular GSM merupakan sistem komunikasi bergerak yang paling mendunia (global) dan mempunyai jaringan paling luas dibandingkan dengan sistem selular lainnya. Saat ini, sistem GSM telah dapat mendukung hingga 384 kbps dengan mobilitas lokal, dan hingga 115 kbps dengan mobilitas penuh dengan menerapkan teknologi GPRS (General Packet Radio Service) dan EDGA (Enhanced Datarates for the GSM Evolution). Dilain pihak, WCDMA akan membuka sebuah set baru dari spektrum dengan sebuah metoda akses yang akan melayani selanjutnya untuk meningkatkan kemampuan sistem

cellular hingga 384 kbps dengan mobilitas penuh dan 2 Mbps secara lokal. Adanya integrasi kedua jaringan tersebut sangatlah mendukung terealisasinya jaringan komunikasi bergerak seluler generasi ketiga, dimana kedua sistem tersebut dapat berinterkoneksi akses secara terbuka. Integrasi jaringan GSM menuju UMTS/WCDMA dapat diilustrasikan pada gambar 10.7 berikut.



Gambar 10.7

Integrasi jaringan GSM dan WCDMA

Jaringan inti GSM/UMTS dapat menyediakan layanan berbasis UMTS berdasarkan pengembangan pada jaringan GSM dengan penambahan dan modifikasi layanan. Jaringan ini secara simultan dapat melayani kedua akses baik GSM (termasuk EDGE) maupun UMTS. Penggunaan infrastruktur yang telah ada dari jaringan GSM, memberikan efesiensi secara ekonomis dari pengembangan sistem WCDMA.

10.6 Pengaruh Spektrum Sharing Terhadap Sistem WCDMA

Salah satu aspek yang menarik dari penggunaan DS/CDMA untuk transmisi radio selular adalah kemampuannya untuk melakukan spectrum sharing, yaitu menempatkan pita frekuensi CDMA pada pita frekuensi yang telah ditempati sistem lain. Dengan kemampuan ini, maka tidak perlu dialokasikan pita frekuensi baru untuk sistem CDMA. Dan hal ini tentunya meningkatkan utilitas frekuensi.

Dengan memanfaatkan kemampuan penggunaan frekuensi bersama ini, sistem WCDMA dialokasikan pada pita frekuensi 1850-1990 MHz. Pita frekuensi ini sebelumnya telah ditempati oleh layanan gelombang mikro (FSM: fixed service microwave).

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan frekuensi bersama terhadap kalayakan implementasi WCDMA ini, beberapa perusahaan telekomunikasi seperti Millicom Inc, Locate Inc, dan Cox Inc telah melakukan tes lapangan di Houston, Orlando, dan San Diego. Dari hasil pengukuran dilapangan ini akan diketahui kalayakan inplementasinya.

10.6.1 Diskripsi Sistem

Eksperimen yang dilakukan bertujuan untuk menunjukan kelayakan penggunaan spektrum bersama oleh dua sistem yang berbeda, yaitu PCN CDMA dan sistem gelombang mikro.

Pada sistem PCN CDMA, digunakan modulasi BPSK dan ADM 32 Kbps. Tidak digunakan FEC (Forward Error Control), dan kecepatan chip 24 Mcps. Pita frekuensi yang digunakan adalah 1850-1990 MHz (lebar frekuensi 140 MHz).

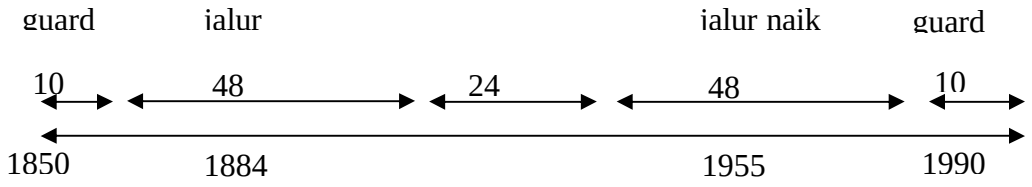
Pembagian pita frekuensi ini adalah serbagai berikut:

f_{tengah} kanal downlink = 1884 MHz

f_{tengah} kanal uplink = 1956 MHz

Jarak kedua kanal = 24 MHz

Guard band = 10 MHz



Gambar 10.7

Pembagian spectrum frekuensi pada PCN CDMA

Penerima di mobile station menggunakan demodulasi koheren. Sedangkan sistem gelombang mikro menduduki bandwidth 10 MHz pada pita frekuensi yang sama. Di Houston, sinyal gelombang mikro beroperasi dengan kecepatan bit 45 Mbps, menggunakan 64 QAM.

10.6.2 Kondisi Propagasi

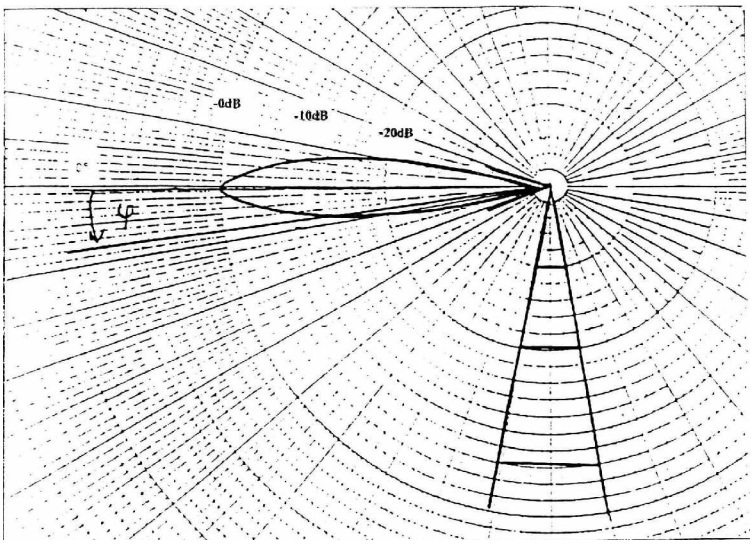
Sistem selular CDMA merupakan sistem yang dibatasi oleh interferensi (Interferensi-limited). Oleh karena itu karakteristik propagasi kanal sangat menentukan dalam kinerja sistem. Sehingga pengukuran terhadap karakteristik propagasi ini dilakukan secara intensif sebelum dilakukan eksperimen.

10.6.3 Unjuk Kerja Sistem PCN CDMA

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem PCN CDMA yang diinterferensi oleh sistem gelombang mikro, dimodelkan sebagai berikut:

Untuk PCN CDMA, jari-jari sel 183 m, ERP yang digunakan 50 uW (-13 dBm), dan karakteristik propagansi antara pemancar dan penerima (yang menggunakan hb=

9,15 m, hm= 2,2 m (omnidirectional)). Sedangkan untuk sistem gelombang mikro, diasumsikan daya pancar sebesar 27 dBm, dengan tinggi antena 127 m dan pola pancaran antena seperti terlihat pada gambar 10.2.



Gambar 10.8

Pola radiasi antena sistem gelombang mikro

Dari model di atas, maka redaman lintasan pada 183 m sebesar –86 dB, sehingga level daya sinyal yang diterima mobile station adalah:

S = redaman lintasan + ERP

= -86dB + (-13dBm)

= -96 dB

Sedangkan karekteritik propagasi untuk berbagai jarak base station dari antena sistem gelombang mikro, ditunjukan sebagai berikut:

Tabel 10.2 Karakteristik propagansi untuk berbagai jarak dari base station ke antena sistem gelombang mikro

d (m)	Redaman Lintasan (dB)	Gain (dB)
183	102	4
549	116,5	10
915	123	19
1281	127,5	21,5
1647	131	28
2013	133	29
2379	136	30
2745	137	30
3111	139	30.5

Dengan menganggap besarnya processing gain, PG = 750 (28,8 dB), maka daya interferensi (P_I) dapat dihitung dengan rumus:

$$P_I = 27 - \text{Redaman lintasan} + \text{Gain} - 28{,}8 \ \text{(dB)} \qquad (10.1)$$

Sehingga dengan menambahkan faktor P1 dan perbandingan level sinyal (S) terhadap P_I (S/P_I), table 1 menjadi:

Tabel 10.3 Level perbandingan sinyal terhadap interferensi untuk jarak tertentu

d (m)	Redaman lintasan (dB)	Gain (dB)	P_I (dBm)	S/P_I (dB)
183	102	4	-99,8	0,8
549	116,5	10	-108,3	9,3
915	123	19	-105,8	6,8
1281	127,5	21,5	-107,8	8,8
1647	131	28	-104,8	5,8
2013	133	29	-105,8	6,8
2379	136	30	-107,8	8,8
2745	137	30	-108,8	9,8
3111	139	30,5	-110,3	13,8

Dari beberapa penelitian menunjukan agar dicapai kualitas hubungan yang bagus, maka level S/P_I harus lebih dari 5 dB. Dari tabel 2 terlihat bahwa selain sel yang terletak disebelah antena pemancar sistem gelombang mikro, level daya lebih dari 5 dB.

Hal ini menunjukan bahwa agar implementasi PCN CDMA mencapai kualitas suara yang bagus, maka jarak antena sistem gelombang mikro dengan sel terdekat minimal 549 m.

10.7 Aspek Kapasitas

Teknologi CDMA khususnya WCDMA telah menjanjikan peningkatan kapasitas dalam sistem wireless. Ada 3 (tiga) alasan utama mengapa peningkatan kapasitas sistem sangat penting dalam industri *wireless*, yaitu :

- Jumlah pelanggan mobile yang terus meningkat, sementara itu frekuensi merupakan sumber daya yang terbatas
- Jenis pelayanan baru seperti data, image dan video membutuhkan spektrum yang lebih besar jika dibandingkan dengan suara.
- Dengan semakin bertambahnya pelanggan mobile yang dapat dilayani, maka biaya per-pelanggan akan semakin murah.

10.7.1 Kapasitas WCDMA

WCDMA didesain untuk beroperasi pada frekuensi 1850-1990 MHz, dan tersedia pita dengan lebar 5 MHz, 10 MHz atau 15 MHz bagi pemegang lisensi.

Secara garis besar, spesifikasi dari sistem WCDMA adalah sebagai berikut:

Kanal downlink	= 1930-1990 MHz
Kanal uplink	= 1850-1910 MHz
Spasi kanal	= 5, 10, atau 15 MHz
Kecepatan chips	= 4,096; 8,192; atau 12,288 Mcps

Kapasitas WCDMA dapat dihitung dengan rumus:

$$C = \frac{\left(W/R\right) V}{(1+s) \left(Eb/No\right)} \qquad (10.2)$$

dimana:

W	= kecepatan chips
R	= kecepatan data
V	= faktor aktifitas suara
Eb/No	= perbandingan energi per bit terhadap kerapatan noise
S	= rasio *spill over*

Dalam perhitungan kapasitas ini, parameter-parameter yang digunakan mempunyai spesifikasi:

Kecepatan chips	= 4,096 Mcps
Kecepatan data	= 32 Kbps (2^{15} = 32.768)
Eb/No	= 2,7 dB untuk downlink dengan BER 10^{-3}
	= 3,7 dB untuk uplink dengan BER 10^{-3}
s	= 0 untuk sel terisolasi
V	= 2,5 (dengan deteksi aktifitas suara)
	= 1 (tanpa deteksi aktifitas suara)

Maka kapasitas WCDMA dalam kondisi s = 0,64 dan menggunakan deteksi aktifitas suara (V=2,5) adalah:

$$C = \frac{\left(W/R\right) V}{(1+s) \quad \left(Eb/No\right)}$$

$$C = \frac{\left(4{,}096 \ . \ 10^{6} \ / 32.768\right) x \ 2{,}5}{\left(1+0{,}64\right) \quad 10^{0{,}37}}$$

$$C = 81$$

- Pada downlink

$$C = \frac{\left(W/R\right) V}{(1+s) \quad \left(Eb/No\right)}$$

$$C = \frac{\left(4{,}096 \ . \ 10^{6} \ / 32.768\right) x \ 2{,}5}{\left(1+0{,}64\right) \quad 10^{0{,}27}}$$

$$C = 102$$

Jika digunakan Interference Canceller System (ICS) dengan gain 3,2 dB dan interferensi dari kanal pilot dan pensinyalan –1,6 dB, maka untuk uplink menjadi:

$$C = \frac{\left(W/R\right) V}{(1+s) \quad \left(Eb/No\right)}$$

$$C = \frac{\left(4{,}096 \ . \ 10^{6} \ / \ 32.768\right) x \ 2{,}5}{\left(1+0{,}64\right) \quad 10^{0{,}37 - (0{,}32 - 0{,}16)}}$$

$$C = 117$$

10.7.2 Perbandingan Kapasitas

10.7.2.1 WCDMA dan AMPS

Sistem AMPS merupakan layanan selular yang dominan digunakan di Amerika Serikat. Sistem ini berkembang pada tahun 1983 dengan standard EIA IS-19. Saat ini terdapat lebih dari 25 juta pelanggan AMPS di seluruh dunia.

Spesifikasi sistem AMPS secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Pita uplink : 869 – 894 MHz
- Pita downlink : 824 – 849 MHz
- Spasi kanal : 30 KHz
- Modulasi suara : analog PM ($\Delta f = \pm$ 12 KHz)
- Modulasi data : biner FM ($\Delta f = \pm$ 8 KHz)
- SAT : 6 KHz, analog FM ($\Delta f = \pm$ 2 KHz)
- Pola sel : 7 set/kelompok, sehingga C/I 17 dB

Sehingga terdapat 25 MHz/30 KHz = 833 kanal dupleks, dan kapasitasnya:

$$C = \frac{833 \text{ kanal}}{7 \text{ kanal}} \ x \ \frac{5 \text{ MHz}}{25 \text{ MHz}}$$

$$C = 24 \ kanal / sel$$

Bila dibandingkan dengan WCDMA dengan kondisi s = 0,64, digunakan deteksi aktifitas suara dan ICS, maka perbandingan kapasitas kedua sistem adalah:

$$\frac{C_{\text{W-CDMA}}}{C_{\text{AMPS}}} = \frac{117}{24} = 4{,}875$$

Jadi dengan kondisi di atas, kapasitas sistem WCDMA adalah 4,875 kali kapasitas sistem AMPS.

10.7.2.2 WCDMA dan IS-95 (NCDMA)

Teknologi CDMA pita sempit dengan standar IS-95 menggunakan sistem DS CDMA, dan dikembangkan pertama kali di Amerika Serikat. Spesifikasi sistem ini adalah sebagai berikut (versi ANSI J-STD-008) :

- Downlink : 869-894 MHz
- Uplink : 824-849 MHz
- Spasi kanal : 1,25 MHz
- Kecepatan chip (W) : 1,23 Mcps
- Kecepatan speech (R) : 13,3 kbps
- Pita dengan lebar : 5 MHz cukup untuk tiga kanal.
- Eb/No : 5
- Faktor spill over : 0,64
- Faktor aktifitas suara : 2,5

Maka kapasitasnya:

$$C = \frac{3 \ (\mathrm{W/R}) \quad \mathrm{V}}{\mathrm{Eb/No} \quad (1+\mathrm{s})}$$

$$C = \frac{3. \ (1{,}23 \ . \ 106/13{,}3.103 \ ) \ . 2{,}5}{5 \quad (1+0{,}64 \ )}$$

$$C = 84 \ kanal$$

Dengan kondisi di atas maka kapasitas sistem WCDMA adalah 2,4375 kali kapasitas IS-95.

10.8 Kualitas Layanan WCDMA

Untuk mengetahui kualitas suara suatu sistem, dilakukan tes yang bersifat subyektif terhadap user. Salah satu tes adalah Mean Opinion Scores (MOS). Tingkatan penilaian pada MOS adalah sebagai berikut:

1 : Bad (buruk sekali)

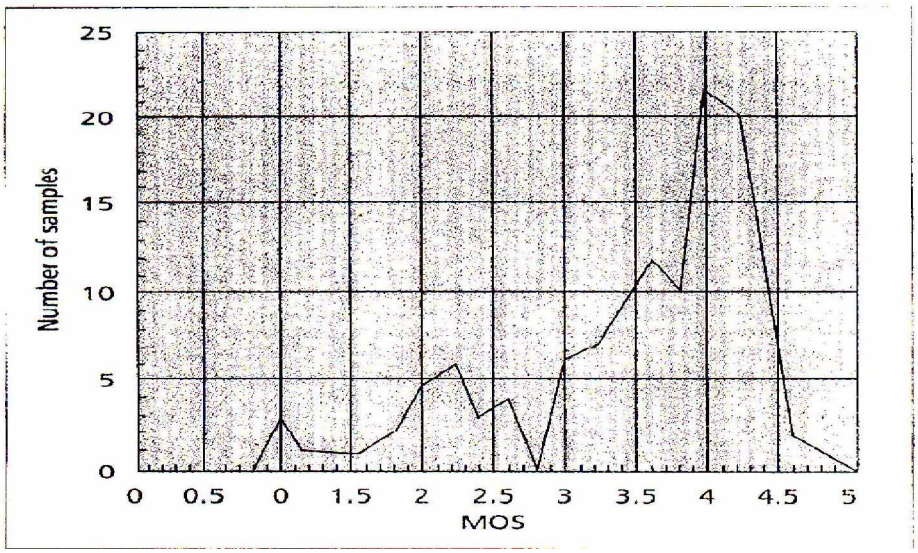
2 : Poor (buruk)

3 : Fair (cukup)

4 : Good (bagus)

5 : Excellent (sangat bagus)

Pengukuran kualitas pembicaraan dilakukan dengan kecepatan unit mobil 10 km/jam, panjang kalimat sampel 80 detik dan dilakukan terhadap 10 pria dan 10 wanita. Hasil pengukuran seperti pada gambar 10.9.



Gambar 10.9

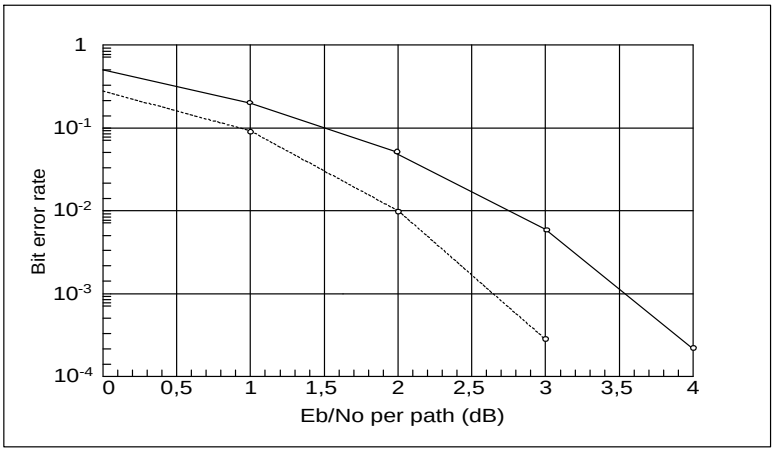
Hasil pengukuran kualitas pembicaraan pada sistem WCDMA

Dari pengukuran yang dilakukan oleh NTIA (National Telecommunications and Information Administration) bekerjasama dengan USWAT (US West Advanced Technologies) di Boulder, Colorado menunjukkan hasil sebagai berikut:

- 70 % sampel memberikan nilai MOS antara 3 – 5
- Nilai puncak MOS antara 4,5
- Nilai rata-rata MOS adalah 3,549 dengan varian 1,05

Pengukuran ini dilakukan dengan kondisi kecepatan mobile station 10 km/jam, panjang kalimat sampel 80 detik dan dilakukan terhadap 10 pria dan 10 wanita. Hasil di

atas menunjukkan bahwa kualitas suara yang dihasilkan bagus dan layak untuk diimplementasikan. Sedangkan untuk mengetahui kualitas data, dilakukan pengukuran BER, dan hasilnya terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 10.10

BER vs Eb/No

Untuk komunikasi data, bit error rete sebesar 10^{-3} masih dapat ditoleransi. Dari gambar 10.7 terlihat bahwa BER 10^{-3} dicapai dengan Eb/No 2,6 dB untuk downlink dan 3,6 dB untuk uplink. Level Eb/No sebesar itu masih memberikan kualitas yang baik untuk komuniksi data.

Latihan

1. Jelaskan mengenai Sistem W-CDMA, keuntungan dan perancangan transceiver dari sistem tersebut.
2. Jelaskan dengan dilengkapi gambar mengenai arsitektur jaringan W-CDMA.
3. Untuk mengetahui kualitas suara suatu sistem WCDMA, dilakukan tes yang bersifat subyektif terhadap *user*. Salah satu tes adalah *Mean Opinion Scores* (MOS). Jelaskan tingkat penilai pada MOS.
4. Ditinjau dari lebar pita frekuensi yang digunakan, CDMA terbagi menjadi dua. Jelaskan yang dimaksud dengan *Narrowband* CDMA (NCDMA) dan *Wideband* CDMA (WCDMA).
5. Pada sistem WCDMA dikenal adanya masalah optimasi cakupan karena cakupan sel WCDMA mengalami gejala mengembang dan menyusut yang disebut dengan

breathing. Gambarkan proses terjadinya *breathing* dan bagaimana cara untuk mengatasinya.

6. Interferensi dari *user* lain yang berasal dari sel yang berdekatan pada sistem WCDMA dapat dikurangi dengan melakukaq sektorisasi. Apa yang dimasud dengan sektorisasi 3 sektor dan 6 sektor?

DAFTAR PUSTAKA

A.Bruce Carlson, Paul B. Crilly, Janet C. Rutledge, 2002, *Communication Systems*, McGraw Hill, New York.

Cooper, G.R. and McGillem, C.D,1988, *Modern Communication and Spread Spectrum*. McGrawHill.

Dongwoo Kim, Dong Geun Jeong, 2000, *Capacity Unbalance Between Uplink and Downlink in Spectrally Overlaid Narrow-Band and Wide Band CDMA Mobile System.* IEEE Transaction on Vehicular Technology. Vol 49 no 4.

Dongwoo Kim, II Gyu Kim, Dong Geun Jeong, 1999, *Capacity Analysis of Spectrally Overlaid Narrowband and Wideband CDMA System for Future Mobile Communication Services*, IEICE Trans. Commun Vol. E82-B No 8.

Harri Holma, Anti Toskala, 2000, *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons.

Hyuck, M.Kwon, 1990, *Capacity and Cut-off Rate of Coded FH/MFSK Communication with Imperfect Side Information Generator*, IEEE Journal on Selected Areas in Communication,Vol 8 no 5.

Mendo, L., 2001, *Uplink and Downlink Capacity in WCDMA Cellular Systems*, ETS Ing. Telecommunication, Polytechnic University, Madrid.

Ojenpera, R. Prasad, 1988, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*, Artech House.

Ojanpera, R. Prasad, 1998, *Wideband CDMA for third Generation Mobile Communications*, Artech House, Oct.

Ojanpera, R. Prasad, 1998, *Overview of Air Interface Multiple Access for IMT-2000/UMTS*, IEEE Commun. Mag.

Simon, M.K; 1985, Omura. J.K; Scholtz, R.A. and Levitt,B.K. *Spread Spectrum*, Computer Science Press.

Ziemer, R.E and Peterson, R.L, 1985, *Digital Communication and Spread Spectrum Sytem*.