

Analisa Efektifitas Spektrum Tersebar Pada Kanal Sel Telepon Seluler Berbasis CDMA

Fatria Gunawan dan Agus Sugiharto

ABSTRAK

Dalam komunikasi bergerak dalam hal ini telepon seluler berbasis CDMA (Code Division Multiple Access) terdapat fleksibilitas dalam hal ini layanan kecepatan bit dengan cakupan yang lebar termasuk kecepatan yang berubah-ubah. Fleksibilitas tersebut dalam frekuensi dan pengaturan sumber radio, pemanfaatan layanan dan system pengoperasian yang mudah dalam berbagai macam ukuran sel dan scenario multi operator

CDMA adalah teknik modulasi dan metode akses jamak (ganda) yang bekerja berdasarkan teknik spread spectrum, khususnya Direct Sequence Spread Spectrum. Dengan teknologi ini sinyal informasi ditransmisikan melalui lebar pita yang jauh lebih lebar dari lebar pita sinyal informasi, sehingga identik dengan penambahan kapasitas kanal untuk mendukung layanan komunikasi serta menambah efektifitas spektrum tersebar pada kanal sel telepon seluler.

PENDAHULUAN

Sistem telepon bergerak mulai beroperasi pada dasa warsa 1990-an ditunjukkan dengan munculnya GSM (Global System for Mobile Communication) yang berbasis TDMA (Time Division Multiple Access) di Eropa dan di beberapa negara lain di dunia. Asia merupakan pasar telepon bergerak (cellular) terbesar di dunia yang menggunakan teknologi ini. Perkembangan teknologi baru yang mengkombinasikan teknik akses TDMA dan FDMA (Frequency Division Multiple Access) dengan teknik akses yang berbasis CDMA (Code Division Multiple Access) lebih tepat terutama pada jaringan tersebut termasuk di Asia.

Teknologi CDMA menyajikan telepon bergerak (seluler) dan jaringan nirkabel (Wireless Local Loop Markets).

Sistem komunikasi nirkabel akhir-akhir ini merupakan perkembangan teknologi telekomunikasi di suatu kawasan. Tidak seperti di negara-negara barat. Dimana pengguna-

an komunikasi nirkabel hanya sebagai pelayanan tambahan bagi telepon konvensional yang infrastrukturnya telah terbangun ratusan tahun yang lalu, maka Asia memanfaatkan komunikasi nirkabel sebagai dasar untuk pelayanan komunikasi universal untuk pengembangan ekonomi di masa datang.

Perluasan sistem komunikasi telepon nirkabel dalam hal ini seluler dimulai pada era yang sama dan sangat dipercepat pada akhir dasa warsa 1980-an, yaitu dengan diperkenalkannya sistem digital pertama kali oleh GSM, kemudian CDMA,

Banyak industri telekomunikasi sekarang percaya bahwa CDMA spread signal (sinyal tersebar) akan mengalihkan perhatian pada abad 21 ini. CDMA akan mampu menggantikan teknologi analog, contoh AMPS (Advanced Mobile Phone System) dan kompetitornya GSM.

CDMA merupakan suatu sistem pengaksesan yang menggunakan

kode-kode unik dan penyebaran spektrum dalam transmisiannya. Pada 1950-an, sistem ini digunakan untuk keperluan militer Amerika Serikat karena memiliki kemampuan anti sadap dan dapat menjaga kerahasiaan informasi yang dikirim. Sistem ini telah mulai dipergunakan secara luas untuk keperluan komersial salah satunya yaitu digunakannya sistem CDMA untuk telepon seluler.

Dengan menggunakan kode-kode unik ini, maka kerahasiaan dari informasi yang dikirim dapat terjamin karena penerima yang tidak memiliki perlengkapan penterjemah kode, maka tidak dapat mendeteksi pesan-pesan yang asli. Jadi yang akan tertangkap oleh penerima tersebut hanya berupa noise.

Jika diimplementasikan dalam sistem telepon seluler, maka CDMA menawarkan keuntungan-keuntungan, diantaranya adalah :

- a. Kapasitasnya lebih besar dari sistem AMPS dan GSM.
- b. Mempunyai kualitas suara yang lebih baik dari sistem AMPS.
- c. Perencanaan sistem yang lebih sederhana melalui penggunaan frekuensi yang sama pada setiap sel.
- d. Menjaga kerahasiaan (privasi) dan bandwidth sesuai dengan yang diinginkan
- e. Tidak membutuhkan guard time dan guard band untuk menjaga interferensi antar kanal
- f. Proteksi dari penyedapan dan jamming
- g. Fleksibilitas dalam menyediakan aplikasi komunikasi pada skala besar dan kecil dengan biaya yang efektif.

Flow Error Correction (FEC)

Kontrol data yang umum digunakan pada telepon digital adalah forward error correction. Forward error correction merupakan ukuran cara

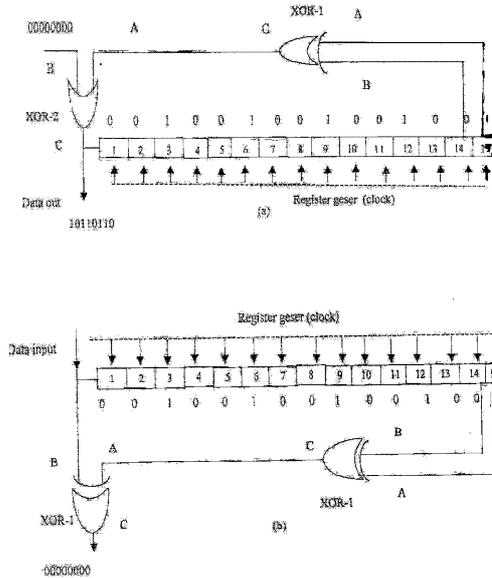
untuk mengoreksi kesalahan data dari pengirim tanpa mengganggu kontrol daya. Artinya untuk menjaga keluaran sinyal informasinya. Teknik utama yang digunakan oleh FEC pada sistem CDMA IS-95 adalah dengan kode konvolusi.

Kode konvolusi ini diimplementasikan berupa shift register dengan menggunakan rangkaian exclusive or. Pada shift register ini setiap bit informasi baru akan diletakkan pada lokasi paling kiri dan semua bit tadi digeser ke kanan. Terlihat sebagai shift register dan adder pada gambar 1. di bawah ini input diberikan bit 00000000 menunjukkan urutan bit dengan input 01, maka XOR-1 menjadi 1. Isi shift register digeser satu kali dan output 01, maka XOR-1 (isi register 14 dan 15) adalah 00, output XOR-1 menjadi 0 dan output XOR-2 juga 0, pada clock berikutnya XOR-1 adalah 1, output XOR-2 juga 1. Proses ini berlangsung terus menerus sampai seluruh bit informasi yang masuk habis. Dengan input bit 00000000, maka secara keseluruhan output XOR-2 menjadi 10110110.

Pada bagian shift register lain terjadi proses sebaliknya, yaitu:

1. Urutan bit input adalah 10110110, output XOR-1 adalah 1, maka output XOR-2 menjadi 0
2. Dengan clock pertama input XOR-1 ini register 13 dan 14. sedangkan 13 dan 14 adalah 00, maka output XOR-1 menjadi 0 dan output XOR-2 juga 0
3. Dengan clock kedua input XOR-1 isi register 12 dan 13 adalah 10, sehingga output XOR-1 menjadi 1 dan output XOR-2 juga 0
4. Proses berlangsung secara terus menerus sampai input bit 10110110 habis. Sehingga diperoleh kembali isyarat asli

pada output XOR-2 adalah 00000000.



Gambar 1 Rangkaian Shift Register

Processing Gain

Processing gain merupakan ukuran performance (figure of merit) yang dapat dihitung bila lebar pita frekuensi yang digunakan (spread bandwidth), BW_{rf} dan kecepatan informasi, R_b , diketahui. Processing gain dapat dihitung dengan persamaan

$$Pg = \frac{BW_{rf}}{RB}$$

Dengan

BW_{rf} : lebar pita frekuensi (hz)

R_b : kecepatan informasi (bps)

Pg : Processing gain (dB)

Selain itu processing gain ini dikenal juga sebagai *spreading factor* yang akan menentukan jumlah kanal setiap pengguna yang dapat ditangani pada sebuah system CDMA. Sebagai contoh adalah CDMA dengan standar IS-95, yang mempunyai lebar pita frekuensi 1,25 Mhz dengan kecepatan

data 9600 bps, maka processing gain yang diharapkan adalah:

Processing gain :

$$\begin{aligned} Pg &= \frac{BW_{rf}}{R_b} \\ &= 0,01302 \cdot 10^4 \\ &= 130,2 \text{ kali} = 10 \log Pg \\ &= 10 \log 130,2 \\ &= 21,1 \text{ dB} \end{aligned}$$

Jadi processing gain yang diinginkan adalah 21,1 dB

Kontrol Kualitas Suara (E_b/I_0)

Kontrol kualitas suara sistem telepon seluler CDMA diperlukan untuk mengatur suara kondisi suara yang diinginkan, sehingga kualitas suara dapat diperoleh dengan syarat :

- Ketika I_0 (interferensi) bertambah dua atau lebih panggilan menyebabkan BER (Bit Error Rate) bertambah pula.
- Lalu E_b perlu tambahan pula
- E_b ditambah dengan menambah daya pancar di Mobile Station (MS) dengan menggunakan perintah kontrol daya dari Base Station (BS).

Sedang kontrol kualitas suara yang diperoleh merupakan jumlah antara perbandingan sinyal carrier terhadap interferensi dengan besarnya processing gainnya. Telepon seluler CDMA dengan standar IS-95 memiliki perbandingan carrier terhadap interferensi sebesar 0,03 atau -15 dB untuk kecepatan data 9,6 Kb/s.

Dengan memperhatikan hasil perhitungan processing gain yang diperoleh pada CDMA standar IS-95 pada penjelasan sebelumnya, yaitu $PG=21,1$ dB, maka kualitas suara dapat dihitung dengan :

$$\frac{E_b}{I_o} = \frac{C}{I} + P_g$$

Dengan : E_b = daya carrier yang diterima setiap bit (db/bit)

I_o = kepadatan daya setiap Hz (DB/Hz)

C = sinyal carrier (dB)

I = daya interferensi tiap Hz (dB)

Jadi Kualitas suara yang diinginkan adalah :

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{I_o} &= -15 \text{ dB} + 21,1 \text{ dB} \\ &= 5,9 \text{ db} \end{aligned}$$

Menentukan jumlah kanal

Kapasitas kanal sistem CDMA ditentukan oleh interferensi dalam sistemnya sendiri. Dalam usaha untuk meningkatkan jumlah user agar dapat berkomunikasi secara simultan, maka interferensi antar saluran memberikan batasan, jumlah user aktif secara simultan. Saluran sistem CDMA menggunakan kembali frekuensi-frekuensi dan memungkinkan kembali sel-sel baru ditambahkan tanpa memodifikasi parameter-parameter sel lain. Lebar pita frekuensi yang digunakan dapat beroperasi sampai 1,25 Mhz untuk tiap arah, sehingga memungkinkan untuk menampung pengguna yang lebih banyak untuk setiap kanalnya.

Sistem CDMA menggunakan kode-kode pseudo noise (PN), maka sinyal CDMA terlihat seperti noise. Sinyal tersebut memiliki power yang sama (merata) saat diterima di Base Station (BS) yang berguna untuk mencegah masalah *near/far*. *Near/far* adalah keadaan yang dirasakan oleh user/pengguna (MS) saat berada dekat atau jauh dengan lokasi BS. Jadi pengguna yang memiliki daya pancar yang sama, maka pengguna yang

lokasinya berdekatan dengan penerima BS akan mendominasi daya derau (noise), maka perbandingan sinyal terhadap interferensi pengguna yang lokasinya jauh dari BS dapat menjadi sangat buruk dan terputus-putus. Stasiun bumi tadi mengirimkan perintah kontrol daya untuk setiap 1,25 ms.

Sel tersebut dapat mendukung peningkatan kapasitas cell sistem CDMA secara simultan atas panggilan-panggilan (call), juga untuk mendukung daya yang diterima setiap handset telepon seluler (mobile station) di base station. Untuk sistem CDMA kapasitas sel menjadi :

$$N = \frac{W/R}{E_b/I_o} = \frac{P_g}{E_b/I_o}$$

dengan : E_b = daya carrier yang diterima setiap bit (dB/Hz)

I_o = kepadatan daya interferensi setiap Hz (dB/Hz)

W = bandwidth sinyal CDMA (MHz)

R = Kecepatan bit (bps)

P_g = Processing Gain (dB)

Dengan meningkatnya nilai E_b/I_o , berarti mengurangi kapasitas sel CDMA. Meningkatkan kapasitas CDMA dibatasi oleh daya interferensi, maka untuk meningkatkan kapasitas cell adalah dengan cara mengurangi interferensi / Karena itu CDMA akan mempunyai kapasitas sistem lebih besar dibandingkan dengan sistem TDMA maupun FDMA. Dari hasil pengukuran oleh Bell laboratories diketahui bahwa pengguna hanya aktif selama 40% dari waktu yang digunakan. Angka ini dikenal sebagai "*voice activation factor*" dengan simbol GV , bernilai 0,4 yang berarti aktifitas kanal yang memancar pada saat ini hanya-

lah 0,4 N atau dengan kata lain kapasitas cell dapat ditingkatkan menjadi 2,5 kalinya.

Secara matematis dapat dianalisa, bahwa 40% waktu yang digunakan adalah : Misalkan dalam 60 detik waktu yang digunakan $T_1 = 0$ $T_2 = 60$ berarti 40% waktu yang digunakan adalah :

$$\frac{40}{1100} \times (T_2 - T_1) =$$

$$\frac{40}{60} \times (60 - 0) = 24$$

Sisa alokasi waktu adalah 60% waktu yang kosong, berarti :

$$\frac{60}{100} \times 24 \text{ detik} = 35 \text{ detik}$$

Dengan efisiensi 40% maka kapasitas pembicaraan dapat ditingkatkan menjadi

$$\frac{100}{40} \times 60 = 150 \text{ detik}$$

atau $\frac{150}{60} = 2,5$ kalinya

Kapasitas per sel pada sistem multi sel CDMA pada suatu pita frekuensi dinyatakan oleh persamaan berikut ini :

$$N = \left(\left(\frac{P_g}{E_b/I_o} \right) \times \left(\frac{G_A \cdot G_V}{F} \right) \right)$$

Dengan IS-95, kecepatan bit 9,6 Kbps, perbandingan sinyal terhadap interferensi (E_b/I_o) = 6 dB, interferensi terhadap sel lain (F) = (1,6), faktor aktifitas suara (G_v) = 2,5, maka kapasitas per cell dengan $W = 1,228,8$ Khz adalah

$$\begin{aligned} N &= \frac{P_g \cdot G_A}{(E_b/I_o) \times F \cdot G_V} \\ &= \frac{W/R \times G_A \cdot G_V}{E_b/I_o \times F} \\ &= \frac{1228,8/9,6 \times (2,4)(2,5)}{4 \times 1,6} \\ &= 120 \text{ setiap sel atau } 40^0 \\ &\text{perkanal untuk sektorisasi} \end{aligned}$$

Untuk meningkatkan kapasitas sel adalah dengan melakukan sektorisasi antena. Dua konfigurasi sektorisasi antena telah digunakan yaitu 3 sektor dan 6 sektor oleh Gilhousen. Untuk 3 sektor setiap sel akan mempunyai cakupan antena 120^0 , setiap sektor cakupan adalah 40^0 , sehingga interferensi total yang dilihat oleh antena tersebut $I_{tot} = (N-1) P_m$. Tetapi mengingat terhadap over-laping cakupan antena untuk menjamin tidak adanya daerah yang kosong (blank spot), maka peningkatan gain antena karena sektorisasi tersebut sebesar 2,4

Meningkatkan Kapasitas Sel

Untuk meningkatkan kapasitas sel (multi cell) dipergunakan tiga macam cara yaitu dengan penggunaan ulang frekuensi (frequency reuse), faktor aktifitas suara, dan sektorisasi antena seperti diterangkan dibawah ini.

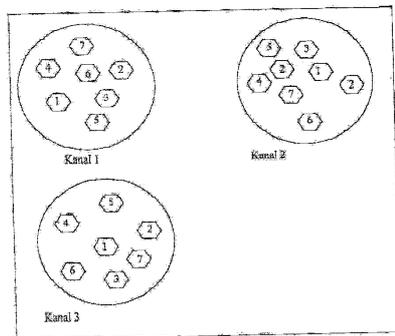
1. Faktor Penggunaan Ulang Frekuensi

Untuk meningkatkan kapasitas sel dikenal cara penggunaan faktor ulang frekuensi, F , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara total daya interferensi (yang berasal dari sel itu sendiri dan sel-sel terdekatnya) dibagi dengan daya interferensi dari sel itu sendiri.

Penggunaan faktor ulang frekuensi ideal adalah 1, yang dapat terjadi apabila pemisahan antara sel cukup besar. Meningkatkan faktor peng-

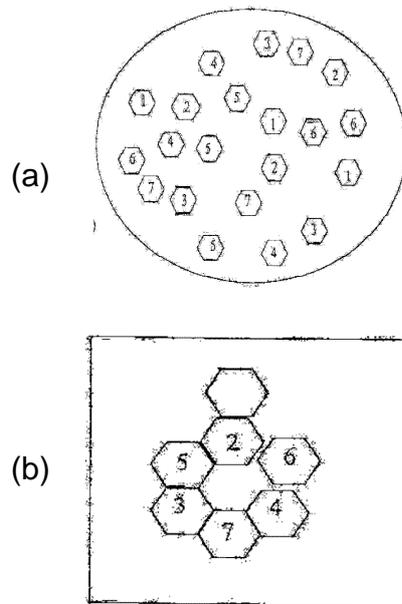
gunaan ulang frekuensi, F , tergantung pada karakteristik propagasi yang merupakan fungsi lingkungan, topografi wilayah, maka sistem ini dapat digunakan dengan nilai F berbeda untuk setiap lokasi.

Sel-sel tersebut dimodelkan sebagai bentuk heksagonal seperti gambar dibawah ini (2). Setiap sel mengacu pada satu frekuensi pembawa/kanal sub pita tentunya. Pada kenyataannya jumlah kanal yang dialokasikan terbatas, sementara jumlah sel bisa saja berjumlah sangat banyak. Untuk memenuhi hal ini, maka dilakukan teknik penggunaan ulang frekuensi (*frequency reuse factor*). Pada gambar (3) memperlihatkan teknik pengulangan frekuensi dengan jumlah 7 buah cell setiap kanal. Antara sel-sel yang berdekatan frekuensi yang digunakan tidak boleh bersebelahan kanal atau bahkan sama.



Gambar 2 Kumpulan sel-sel berbentuk heksagonal

Jelas terlihat semakin besar jumlah himpunan sell, maka semakin sedikit sisa sel yang dapat digunakan dalam setiap kanalnya, sehingga akan memperbesar interferensi. Namun dengan cara meningkatkan jumlah himpunan kanal menyebabkan jarak antar sel yang berdekatan menjadi semakin jauh dan ini mengurangi resiko terjadi interferensi.



Gambar 3. Teknik pengulangan frekuensi

2. Faktor Aktifitas Suara (GV)

Mengingat kapasitas sistem CDMA dibatasi oleh daya interferensi, maka dapat disimpulkan bahwa bila suatu percakapan tidak menggunakan waktu secara penuh karena ada waktu kosong, maka akan mengurangi interferensi dan dapat menambah kapasitas sel per kanalnya.

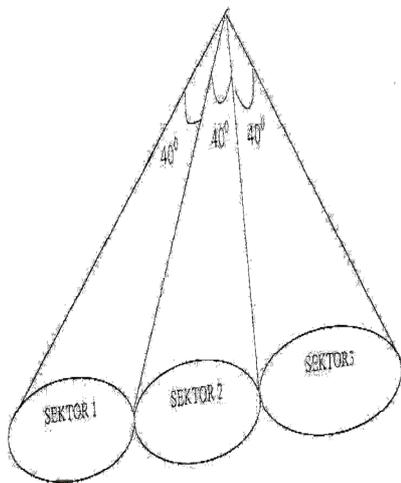
Menurut pengukuran Bell Laboratories diketahui bahwa pengguna hanya aktif selama 35%-40% dari waktu percakapan. Angka ini dikenal sebagai "voice activation factor", GV bernilai 0,4 yang berarti kanal hanya menggunakan antara $0,35N-0,4 N$ yang diambil sebesar $0,4 N$ atau kata lain kapasitas naik 2,5 kalinya.

3. Sektorisasi Antena

Teknik lain untuk meningkatkan kapasitas sel adalah dengan melakukan sektorisasi antena. Dua konfigurasi sektorisasi antena telah dihitung, yaitu 3 sektor dan 6 sektor oleh Gilhousen. Untuk 3 sektor sel akan mempunyai cakupan antara 120° dengan setiap sektor sel 40° . Me-

ningingat terdapat *overlapping* cakupan antenna untuk menjamin tidak adanya daerah yang kosong (tidak tercakup), maka peningkatan kapasitas karena sektorisasi GA, menjadi 2,4 untuk 3 sektor sel.

Faktor gain antenna ternyata mempengaruhi besarnya interferensi total. Semakin besar nilai bit, maka interferensi total semakin besar dan hal ini menyebabkan faktor gain juga mempengaruhi besarnya jumlah panggilan yang terjadi per cell pada sistem CDMA.



Gambar 4. Sektorasi 3 dengan tiga cakupan masing-masing 40°

Hasil Analisa

Setelah memperhatikan penjelasan-penjelasan diatas, maka efektifitas spektrum tersebar pada kanal sel seluler berbasis CDMA diharapkan mampu menampung pengguna telepon seluler yang lebih banyak lagi dari pada sistem akses klainhya. Basis teknologi ini adalah penyempurnaan dari teknik akases FDMA dan TDMA yang

selama ini dipakai oleh pengguna telepon seluler pada umumnya.

Sistem CDMA menggunakan kembali frekuensi-frekuensi dan memungkinkan kembali sel baru ditambahkan tanpa memodifikasi parameter-parameter lain. Lebar pita frekuensi yang beroperasi pada 1 MHz; 1,2 MHz; 1,5 MHz; 2,5 MHz dan 10 MHz, sehingga memungkinkan untuk menampung lebih banyak lagi pengguna telepon seluler. Penambahan bandwidth identik dengan penambahan kapasitas kanal untuk mendukung layanan dengan badwidth yang lebih tinggi dan menambah fleksibilitas untuk pelayanan ganda

Daftar Pustaka

1. Ir. H. Ekkelenkamp. "ASPEK-ASPEK TRANSMISI DARI SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL" PTT Dr. Nehar Laboratorium, Leidschendam, 1984
2. Leon W. Couch II, "DIGITAL AND ANALOG COMMUNICATION SYSTEM" Macmillan, 1990
3. Robert G Winch "TELECOMMUNICATION TRANSMISSION SYSTEM", Mc-Grow Hill, 1993
4. William Stallings, "DATA AND COMPUTER COMUNICATION", 5th edition, Prentice Hall, 1997.
5. Lucent Technology "UNDERSTANDING OF CDMA", Juni 1997

