

Membawa Data Melalui Sinyal RF

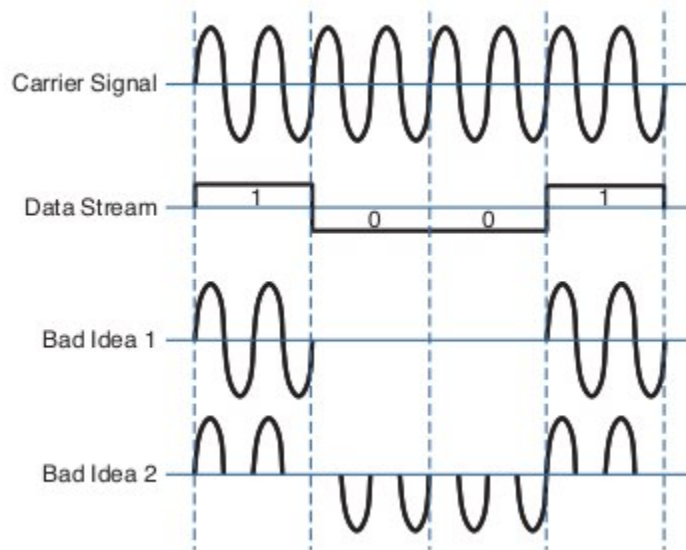
Sinyal RF yang disajikan pada bagian sebelumnya hanya ada sebagai osilasi sederhana dalam bentuk gelombang sinus. Frekuensi, amplitudo, dan fase semuanya konstan. Frekuensi, amplitudo, dan fase semuanya konstan. Frekuensi yang stabil dan dapat diprediksi sangat penting karena penerima perlu mengatur ke frekuensi yang diketahui untuk menemukan sinyal sejak awal.

Sinyal RF dasar ini disebut sinyal pembawa karena digunakan untuk membawa informasi berguna lainnya. Dengan sinyal radio AM dan FM, sinyal pembawa juga mengirimkan sinyal audio. Sinyal pembawa TV harus membawa audio dan video. Sinyal operator LAN nirkabel harus membawa data.

Untuk menambahkan data ke sinyal RF, frekuensi sinyal pembawa asli harus dilayani sebelumnya. Oleh karena itu, harus ada skema untuk mengubah beberapa karakteristik sinyal pembawa untuk membedakan 0 bit dari 1 bit. Skema apapun yang digunakan oleh pemancar juga harus digunakan oleh penerima agar bit data dapat diinterpretasikan dengan benar.

Gambar 1 menunjukkan sinyal pembawa dengan frekuensi konstan. Bit data 1001 akan dikirim melalui sinyal pembawa, tetapi bagaimana caranya? Satu ide mungkin cukup menggunakan nilai setiap bit data untuk mematikan atau menghidupkan sinyal operator. Plot Ide Buruk 1 menunjukkan sinyal RF yang dihasilkan. Penerima mungkin dapat memperhatikan ketika sinyal ada dan memiliki amplitudo dan menafsirkan 1 bit dengan benar, tetapi tidak ada sinyal yang diterima selama 0 bit.

Jika sinyal menjadi lemah atau tidak tersedia karena alasan tertentu, penerima akan salah mengira bahwa string panjang 0 bit telah dikirim. Perubahan yang berbeda mungkin hanya mengirimkan setengah atas sinyal pembawa selama 1 bit dan setengah bawah selama 0 bit, seperti yang ditunjukkan dalam plot Ide Buruk. Kali ini, sebagian sinyal selalu tersedia untuk penerima, tetapi sinyal menjadi tidak praktis untuk diterima karena bagian penting dari setiap siklus hilang. Selain itu, sangat sulit untuk mengirimkan RF dengan siklus bolak-balik yang terputus-putus.



Gambar 1 Upaya Buruk dalam Mengirim Data Melalui Sinyal RF

Untuk mengubah sinyal pembawa dengan cara yang menunjukkan informasi yang akan dibawa. Ini dikenal sebagai modulasi, di mana sinyal pembawa dimodulasi atau diubah menurut beberapa sumber lain.

Di penerima, prosesnya terbalik; demodulasi menafsirkan informasi tambahan berdasarkan perubahan sinyal pembawa.

Skema modulasi RF umumnya memiliki tujuan berikut:

- Bawa data dengan kecepatan yang telah ditentukan
- Cukup kebal terhadap gangguan dan kebisingan
- Praktis untuk mengirim dan menerima

Karena sifat fisik sinyal RF, skema modulasi hanya dapat mengubah atribut berikut:

- Frekuensi, tetapi hanya dengan sedikit memvariasikan di atas atau di bawah frekuensi pembawa
- Fase
- Amplitudo

Teknik modulasi membutuhkan sejumlah bandwidth yang berpusat pada frekuensi pembawa. Bandwidth tambahan ini sebagian disebabkan oleh kecepatan data yang dibawa dan sebagian karena overhead dari pengkodean data dan manipulasi sinyal pembawa. Jika data memiliki bit rate yang relatif rendah, seperti sinyal audio yang dibawa melalui radio AM atau FM, modulasi dapat dilakukan secara langsung dan memerlukan sedikit bandwidth ekstra. Sinyal seperti itu disebut transmisi pita sempit.

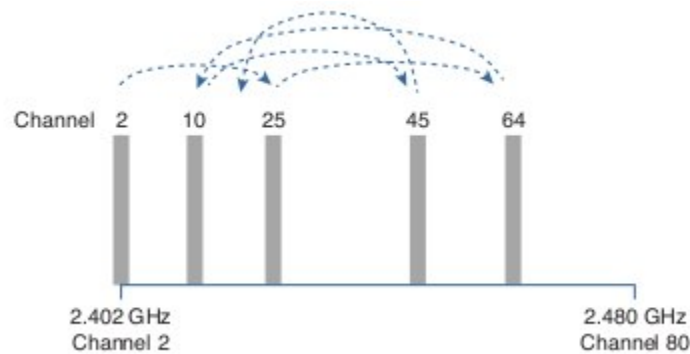
Sebaliknya, LAN nirkabel harus membawa data dengan kecepatan bit tinggi, membutuhkan lebih banyak bandwidth untuk modulasi. Hasil akhirnya adalah data yang dikirim tersebar di berbagai frekuensi. Ini dikenal sebagai spektrum tersebar (*Spread Spectrum*). Pada lapisan fisik, LAN nirkabel dapat dipecah menjadi tiga kategori spektrum penyebaran berikut, yang dibahas di bagian selanjutnya:

- Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- Direct-sequence spread spectrum (DSSS)
- Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)

Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Teknologi LAN nirkabel pada mulanya mengambil pendekatan baru sebagai kompromi antara interferensi RF yang akan dihindari dan dibutuhkannya modulasi kompleks. Pita nirkabel dibagi menjadi 79 saluran (channel) atau kurang, dengan masing-masing saluran memiliki lebar 1 MHz. Untuk menghindari interferensi jalur sempit, di mana sinyal interferensi hanya akan memengaruhi beberapa saluran pada satu waktu, transmisi perlu terus-menerus "melompat (hop)" di antara frekuensi di seluruh jalur. Hal ini dikenal sebagai spektrum penyebaran frekuensi-hopping (FHSS - Frequency-Hopping Spread Spectrum).

Gambar 2 memperlihatkan contoh cara kerja teknik FHSS, dimana urutannya dimulai pada saluran 2, kemudian berpindah ke saluran 25, 64, 10, 45, dan seterusnya, melalui seluruh urutan yang telah ditentukan sebelum diulang kembali. Perpindahan antar saluran harus terjadi secara berkala sehingga pemancar dan penerima dapat tetap tersinkronisasi. Selain itu, urutan hopping harus dikerjakan terlebih dahulu sehingga receiver dapat selalu menyetel ke frekuensi yang benar digunakan pada waktu tertentu.



Gambar 2. Contoh Urutan Channel-Hopping FHSS

Keuntungan apa pun yang diperoleh FHSS, menghindari gangguan, hilang karena batasan berikut:

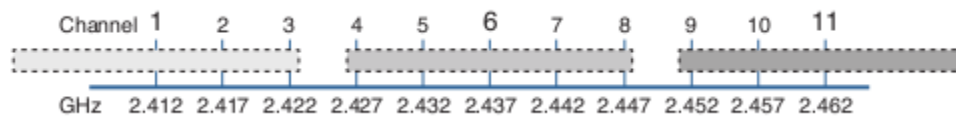
- Mempersempit bandwidth saluran 1-MHz, membatasi kecepatan data ke 1 atau 2 Mbps.
- Beberapa pemancar di suatu area pada akhirnya dapat bertabrakan dan mengganggu satu sama lain di saluran yang sama.

Akibatnya, FHSS tidak disukai dan digantikan oleh pendekatan spektrum-sebaran lain yang lebih kuat dan terukur: DSSS. Meskipun FHSS jarang digunakan sekarang, kita harus mengenal dan terbiasa dengannya terlebih dalam evolusi teknologi LAN nirkabel.

DSSS- Direct-sequence spread spectrum

Spektrum sebaran urutan langsung (Direct-sequence spread spectrum - DSSS) menggunakan sejumlah kecil saluran tetap dan lebar yang dapat mendukung skema modulasi kompleks dan kecepatan data yang dapat diskalakan. Setiap saluran memiliki lebar 22MHz — tidak hanya mendukung bandwidth yang jauh lebih lebar dibandingkan dengan kecepatan data maksimum 11-Mbps, tetapi cukup lebar untuk menambah data dengan menyebarkannya dan membuatnya lebih tahan terhadap gangguan. Pada pita 2,4-GHz tempat DSSS digunakan, terdapat 14 kemungkinan saluran, tetapi hanya

3 saluran yang tidak tumpang tindih. Gambar 3 menunjukkan bagaimana saluran 1, 6, dan 11 biasanya digunakan.

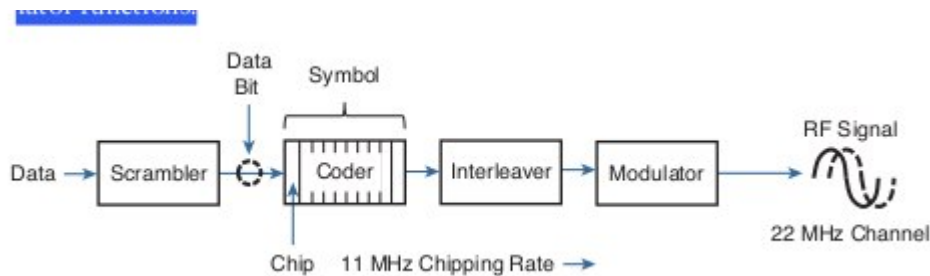


Gambar 3. Contoh Saluran yang Tidak Tumpang-Tindih Digunakan untuk DSSS

DSSS mentransmisikan data dalam aliran serial, di mana setiap bit data disiapkan untuk transmisi satu per satu. Ini mungkin tampak seperti masalah sederhana untuk mengirimkan bit data sesuai urutan mereka disimpan atau disajikan ke pemancar nirkabel; namun, sinyal RF sering kali dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti derau atau interferensi yang dapat mengacaukan data di penerima. Oleh karena itu, pemancar nirkabel melakukan beberapa fungsi untuk membuat aliran data tidak terlalu rentan terhadap degradasi di sepanjang jalur transmisi:

- **Scrambler** — Data yang menunggu untuk dikirim terlebih dahulu diacak dengan cara yang telah ditentukan sebelumnya sehingga menjadi string acak 0 dan 1 bit, bukan urutan panjang 0 atau 1 bit.
- **Coder** — Setiap bit data diubah menjadi beberapa bit informasi yang berisi pola yang dibuat dengan cermat yang dapat digunakan untuk melindungi dari kesalahan karena noise atau interferensi. Setiap bit kode baru disebut chip. Kelompok chip lengkap yang mewakili bit data disebut simbol. DSSS menggunakan dua teknik pengkodean: kode Barker dan Penguncian Kode Pelengkap (CCK).
- **Interleaver** — Aliran data berkode simbol tersebar ke blok terpisah sehingga semburan interferensi mungkin mempengaruhi satu blok, tetapi tidak banyak.
- **Modulator** — Bit yang terdapat dalam setiap simbol digunakan untuk mengubah atau memodulasi fase sinyal pembawa. Ini memungkinkan sinyal RF untuk membawa nilai bit data biner.

Gambar 4 menunjukkan keseluruhan proses persiapan data. Di penerima, seluruh proses dibalik. Teknik DSSS yang dibahas dalam bab ini hanya berfokus pada fungsi coder dan modulator.



Gambar 4. Blok Fungsional yang Digunakan dalam Transmitter DSSS

DSSS telah berkembang dari waktu ke waktu untuk meningkatkan kecepatan data yang dimodulasi ke sinyal RF. Bagian berikut menjelaskan setiap metode DSSS dan kecepatan data, yang sedang berjalan. Terlepas dari kecepatan datanya, DSSS selalu menggunakan kecepatan chipping 11 juta chip per detik.

1-Mbps Data Rate

Untuk meminimalkan efek SNR (*Signal to Noise Ratio*) rendah dan kehilangan data dalam kasus interferensi pita sempit, setiap bit data dikodekan sebagai urutan 11 bit yang disebut kode Barker 11. Tujuannya adalah untuk menambahkan informasi tambahan yang cukup ke setiap bit data sehingga integritasnya akan terjaga ketika dikirim di lingkungan yang bising. Mungkin tampak konyol untuk mengubah 1 bit menjadi 11 bit. Sebagai analogi, transmisi suara melalui sinyal RF dapat mengalami noise dan interferensi juga. Mengeja kata huruf demi huruf dapat membantu, tetapi bahkan satu huruf pun dapat menjadi kacau dan ambigu. Misalnya, huruf B, C, D, E, G, P, T, V, dan Z semuanya dapat berbunyi serupa saat ada derau. Huruf fonetik telah dikembangkan untuk menghilangkan ambiguitas. Alih-alih mengucapkan huruf B, kata Bravo diucapkan; C menjadi Charlie, D menjadi Delta, dan seterusnya. Mengganti satu huruf dengan kata yang lebih panjang dan unik membuat pekerjaan pendengar lebih mudah dan lebih akurat.

Hanya ada dua kemungkinan nilai untuk chip Barker — satu sesuai dengan 0 data bit (10110111000) dan satu untuk 1 data bit (01001000111). Penerima juga harus mengharapkan chip Barker dan mengubahnya kembali menjadi bit data tunggal. Angka dan urutannya

bit chip Barker telah ditentukan untuk memungkinkan bit data dipulihkan jika beberapa bit chip hilang. Faktanya, hingga 9 dari 11 bit dalam satu chip dapat hilang sebelum bit data asli tidak dapat dipulihkan. Setiap bit dalam chip Barker dapat ditransmisikan dengan menggunakan skema modulasi penguncian pergeseran fase biner diferensial (DBPSK). Fase sinyal pembawa digeser atau diputar sesuai dengan bit data yang sedang dikirim, sebagai berikut:

0: Fase tidak berubah.

1: Fase "diputar" atau digeser 180 derajat, sehingga sinyal tiba-tiba dibalik.

DBPSK dapat memodulasi 1 bit data sekaligus ke sinyal RF. Dengan kecepatan chipping stabil 11 juta chip per detik, di mana setiap simbol (1 bit asli) berisi 11 chip, kecepatan data yang ditransmisikan adalah 1 Mbps.

2-Mbps Data Rate

Dimungkinkan untuk menggabungkan strategi 1-Mbps dengan skema modulasi yang berbeda untuk menggandakan kecepatan data. Seperti sebelumnya, setiap bit data dikodekan menjadi kode Barker 11-bit dengan kecepatan chipping 11-MHz. Kali ini, chip diambil dua sekaligus dan dimodulasi ke sinyal pembawa dengan menggunakan penguncian pergeseran fase kuadratur diferensial (DQPSK). Kedua chip digunakan untuk mempengaruhi fase sinyal pembawa dalam empat kemungkinan cara, masing-masing terpisah 90 derajat (oleh karena itu, nama kuadratur). Pola bit menghasilkan pergeseran fase berikut:

- 00 — Fase tidak berubah.
- 01 — Putar fase 90 derajat.
- 11 — Putar fase 180 derajat.
- 10 — Putar fase 270 derajat.

Karena DQPSK dapat memodulasi bit data secara berpasangan, DQPSK dapat mengirimkan dua kali kecepatan data DBPSK, atau 2 Mbps.

Gambar 5 menunjukkan contoh modulasi DBPSK dan DQPSK. Setiap kombinasi bit data masukan ditampilkan bersama dengan rotasi fasa sinyal pembawa yang terjadi. Rotasi fase dapat terjadi di beberapa titik sepanjang siklus; untuk mempermudah, hanya rotasi pada awal siklus (0 derajat) yang ditampilkan. Perhatikan bagaimana fase tiba-tiba dapat berubah, sesuai dengan bit yang dimodulasi. Penerima harus mendeteksi perubahan fase ini ketika mendemodulasi sinyal sehingga bit data asli dapat dipulihkan.

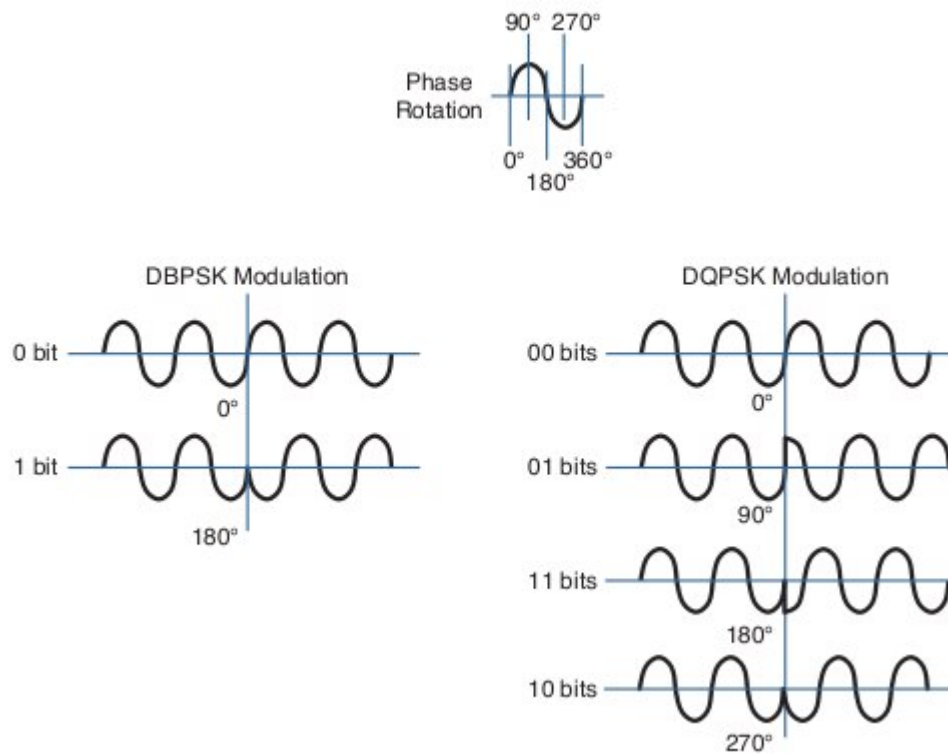


Figure 1: Contoh Perubahan Fase Selama Modulasi DBPSK dan DQPSK

OFDM

DSSS menyebarkan chip dari satu aliran data menjadi satu saluran 22-MHz yang lebar. Ini secara inheren terbatas pada kecepatan data 11-Mbps karena kecepatan chipping 11-MHz yang konsisten yang dimasukkan ke dalam modulasi RF. Untuk melampaui batas itu, diperlukan pendekatan yang sangat berbeda.

Sebaliknya, orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) mengirimkan bit data secara paralel melalui beberapa frekuensi, semuanya terkandung dalam satu saluran 20-MHz. Setiap saluran dibagi menjadi 64 subcarrier (juga disebut subchannel atau nada) yang berjarak 312,5 kHz. Itu subcarrier dipecah menjadi beberapa jenis berikut:

- Penjaga — 12 subcarrier digunakan untuk membantu membedakan satu saluran dari yang lain dan untuk membantu penerima mengunci saluran.

- Pilot — 4 subcarrier diberi jarak yang sama dan selalu dikirim untuk membantu receiver mengevaluasi status kebisingan saluran.
- Data — 48 subcarrier dikhususkan untuk membawa data.

Gambar 6 menunjukkan contoh OFDM, di mana saluran 6 pada pita 2,4-GHz memiliki lebar 20 MHz dengan 48 subcarrier data. OFDM dinamai berdasarkan cara yang digunakan untuk mengambil satu saluran dan membaginya menjadi satu set frekuensi berbeda untuk subcarrier-nya. Perhatikan bahwa subcarrier tampaknya diberi jarak terlalu berdekatan, menyebabkan keduanya tumpang tindih. Faktanya, memang demikian, tetapi alih-alih saling mengganggu, bagian yang tumpang tindih diselaraskan sehingga membatalkan sebagian besar potensi gangguan.

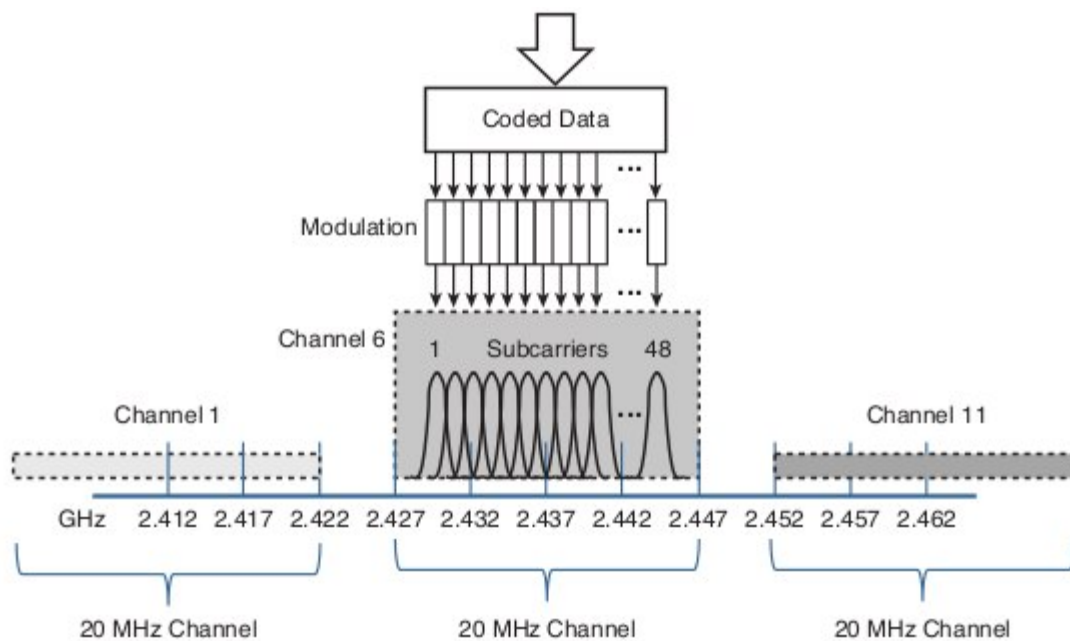


Figure 6: Operasi OFDM dengan 48 Subcarrier Paralel

OFDM memiliki fungsi pengacakan, pengkodean, interleaving, dan modulasi yang biasa, tetapi OFDM memperoleh skalabilitasnya dengan memanfaatkan begitu banyak subcarrier data secara

paralel. Meskipun kecepatan data melalui setiap subcarrier relatif rendah, jumlah semua subcarrier menghasilkan kecepatan data agregat yang tinggi.

OFDM menawarkan banyak kecepatan data yang berbeda melalui beberapa skema modulasi yang berbeda. Karena OFDM berkaitan dengan pemindahan data secara paralel dengan kecepatan yang lebih tinggi, jumlah informasi yang diulang untuk ketahanan dapat bervariasi. Pembuat kode yang digunakan dengan OFDM diberi nama sesuai dengan pecahan simbol yang baru atau unik, dan tidak berulang. Misalnya, BPSK 1/2 menunjukkan bahwa setengah dari bit-bit tersebut adalah baru dan setengahnya lagi diulang. BPSK 3/4 menggunakan pembuat kode yang menyajikan tiga perempat data baru dan mengulang hanya seperempat. Sebagai aturan praktis, pecahan yang lebih besar berarti kecepatan data yang lebih besar, tetapi toleransi yang lebih rendah untuk kesalahan. Di ujung bawah kisaran, modulasi BPSK yang sudah dikenal dapat digunakan bersama dengan dua rasio pengkode yang berbeda. Dalam hal ini, OFDM masih menggunakan 48 subchannel atau nada, dengan pengurangan kecepatan nada 250 Kbps. OFDM dengan BPSK 1/2 menghasilkan data rate 6-Mbps, sedangkan BPSK 3/4 menghasilkan 9 Mbps. QPSK 1/2 dan 3/4 dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan data masing-masing menjadi 12 dan 18 Mbps.

Perlu diingat bahwa QPSK menggunakan 2 bit data untuk memodulasi sinyal RF, menghasilkan empat kemungkinan pergeseran fasa. Untuk mencapai kecepatan data yang lebih besar dari 18 Mbps, lebih banyak bit harus digunakan untuk memodulasi sinyal. Modulasi amplitudo kuadratur (QAM) menggabungkan perpindahan fase QPSK (kuadra-ture) dengan beberapa level amplitudo untuk mendapatkan sejumlah besar perubahan unik pada sinyal. Misalnya, 16-QAM menggunakan 2 bit untuk memilih rotasi fase QPSK dan 2 bit untuk memilih level amplitudo, memberikan 4 bit atau 16 perubahan modulasi unik. Gambar 7 mengilustrasikan operasi 16-QAM.

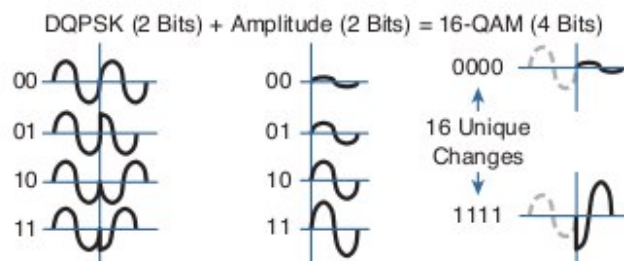


Figure 7: Contoh Perubahan Fase dan Amplitudo dengan 16-QAM

Jumlah kemungkinan hasil selalu diberikan sebagai awalan untuk nama QAM, diikuti oleh rasio pengkode data baru. Dengan kata lain, 16-QAM tersedia dalam 1/2 dan 3/4, menyediakan kecepatan data masing-masing 24 dan 36 Mbps. Selain itu, 64-QAM menggunakan 8 pergeseran fase dan 8 level amplitudo untuk menghasilkan 64 perubahan modulasi unik. Metode 64-QAM 2/3 dan 64-QAM 3/4 masing-masing menawarkan 48 dan 54 Mbps.

Skema yang sama diperpanjang lebih jauh dengan 256-QAM 3/4 dan 256-QAM 5/6. Sebagai 256 prefiks menunjukkan, 16 pergeseran fase yang berbeda dan 16 tingkat amplitudo yang berbeda digabungkan untuk menghasilkan 256 perubahan modulasi unik, yang secara efektif mengkodekan 8 bit data pada satu waktu. Dengan begitu banyak pergeseran dan level yang digunakan, penerima dapat memiliki pekerjaan yang sulit untuk menentukan nilai asli yang ditransmisikan secara akurat — terutama jika terdapat noise. Ketika skema modulasi menjadi lebih kompleks (awalan QAM semakin tinggi), rasio signal-to-noise harus menjadi lebih besar.