Bagian 5
Pengkodean Data, Transmisi Asynchronous dan Synchronous, Serta Data Link Control

Sebagaimana dipelajari pada bagian sebelumnya, diketahui dengan jelas perbedaan antara data analog dan data digital, serta sinyal analog dan sinyal digital. Salah satu bentuk data dapat dikodekan ke dalam salah satu bentuk sinyal. Untuk pensinyalan digital, sumber data yang dapat berbentuk digital maupun analog dikodekan menjadi bentuk sinyal digital. Bentuk sinyal tergantung pada teknik pengkodean. Tujuan pengkodean adalah untuk optimalisasi media yang akan digunakan untuk transmisi.

Data digital merupakan bentuk paling sederhana dari pengkodean digital. Dari data digital ditetapkan satu level voltase untuk biner 1 dan level voltase lainnya untuk biner 0. Sebuah modem mengubah data digital menajdi sinyal analog sehingga dapat ditransmisikan sepanjang saluran analog. Teknik dasarnya adalah *Amplitude-Shift Keying* (ASK*), Frequency-Shift Keying* (FSK) dan *Phase-Shift Keying* (PSK). Ketiganya mengubah satu karakter atau lebih suatu frekuensi pembawa agar bisa menampilkan data biner.

Dasar pensinyalan analog adalah sinyal frekuensi-konstan kontinu yang disebut sebagai pembawa sinyal (*carrier*). Frekuensi dari sinyal pembawa dipilih agar sesuai dengan media transmisi yang akan digunakan. Data ditransmisikan melalui sinyal pembawa dengan cara modulasi. Modulasi adalah proses pengkodean data dengan sinyal pembawanya. Semua teknik modulasi melibatkan operasi pada satu atau lebih parameter sinyal, yaitu : amplitudo, frekuensi dan fase. Sinyal pemodulasi disebut sinyal **baseband**. Hasil dari modulasi sinyal pembawa disebut sinyal termodulasi.

Data analog, misalnya suara dan video, diubah menjadi bentuk digital agar mampu menggunakan fasilitas transmisi digital. Teknik yang paling sederhana adalah *Pulse Code Modulation* (PCM), yang melibatkan pengambilan sample analog secara periodik dan mengkuantisasi sample. Data analog dimodulasi oleh suatu frekuensi pembawa agar menghasilkan sinyal analog dalam band frekuensi yang berlainan yang dapat digunakan pada sistem transmisi analog. Teknik dasar untuk ini adalah Amplitude Modulation (AM), Frequency Modulation (FM) dan Phase Modulation (PM).

Berikut merupakan beberapa istilah yang sering digunakan dalam pengkodean data, yaitu :

- Rate modulasi, adalah rate dimana level sinyal berubah, dinyatakan dalam baud, yang berarti elemen-elemen sinyal per detik.
- Rate pensinyalan data (rate data) suatu sinyal adalah rate dimana data ditransmisikan, ditunjukkan dalam bit per detik.
- Durasi atau panjang bit adalah jumlah waktu yang diambil transmitter untuk memancarkan bit; untuk rate R, durasi bitnya adalah 1/R.

Skema pengkodean adalah pemetaan sederhana mulai dari bit-bit data sampai menjadi elemen sinyal. Perbedaan tiap-tiap skema pengkodean didasarkan atas hal-hal sebagai berikut.

- Spektrum sinyal. Beberapa aspek spektrum sinyal, seperti komponen-komponen berfrekuensi tinggi, komponen dc, dan sifat-sifat spektrum sinyal, sangat menentukan kualitas sinyal yang ditransmisikan. Kode-kode dirancang untuk tujuan pembentukan spektrum sinyal yang akan ditransmisikan.
- *Clocking*. Dengan menentukan permulaan dan akhir bit dengan benar akan mempengaruhi mekanisme sinkronisasi terhadap sinyal yang ditransmisikan.
- Pendeteksian error.
- Kekebalan terhadap derau/noise dan interferensi sinyal.
- Biaya dan kelengkapan. Biasanya, semakin tinggi rate pensinyalan dalam tujuannya mendapatkan rate data tertentu, biayanya semakin besar.

Terdapat 4 kombinasi pengkodean dengan tiap-tiap kombinasi mempunyai teknik pengkodean tersendiri. Beberapa teknik pengkodean tersebut adalah sebagai berikut.

a. Data Digital, Sinyal Digital

Sinyal digital merupakan deretan pulsa terputus-putus dengan ciri tersendiri pada masing-masingnya. Setiap pulsa merupakan sebuah elemen sinyal. Data biner ditransmisikan melalui pengkodean setiap bit data ke dalam elemen-elemen sinyal.

Non Return to Zero (NZR)

Yang paling umum dan paling mudah dalam mentransmisikan sinyal-sinyal digitak adalah dengan menggunakan dua tingkat voltase yang berlainan untuk dua digit biner. Sebagai contoh, voltase positif konstan untuk menampilkan nilai biner 0 dan ketiadaan voltase untuk biner 0. Atau, voltase negatif untuk nilai biner 1 dan voltase positif untuk nilai biner 0. Kode ini disebut dengan Non Return to Zero-Level (NRZ-L).

Variasi dari NRZ, yaitu NRZ-I (Non Return to Zero, Inverted on ones). Seperti NRZ-L, NRZ-I mempertahankan pulsa voltase konstan untuk durasi waktu bit. Bedanya, data-data ditandai saat ada/tidaknya transisi sinyal pada permulaan waktu bit, misalnya adanya transisi dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau tegangan rendah ke tinggi pada permulaan waktu menunjukkan biner 1 untuk waktu bit tersebut; tanpa transisi menunjukkan biner 0.

NRZ-I merupakan contoh pengkodean differensial. Pada pengkodean differensial, informasi yang ditransmisikan lebih ditujukan pada pengertian susunan simbol-simbol data yang berurutan dibandingkan dengan elemen-elemen sinyal itu sendiri.

Kelemahan sinyal-sinyal NRZ adalah keberadaan komponen dc dan kurangnya kemampuan sinkronisasi. Kode NRZ umumnya digunakan untuk

perekaman mahnetik digital dikarenakan kesederhanaan dan dan karakteristik respons frekuensi rendahnya.

Multilevel Biner

Golongan teknik-teknik pengkodean yang disebut multilevel biner diarahkan untuk mengatasi ketidakefisienan kode-kode NZR. Kode-kode ini menggunakan lebih dari dua level sinyal. Teknik multilevel biner antara lain Bipolar AMI (Alternate Mark Inversion) dan pseudoternary.

Pada teknik bipolar, keadaan non sinyal menunjukkan biner 0, sedangkan biner 1 ditampilkan melaui pulsa positif atau negatif. Pulsa biner 1 terus berganti-ganti polaritasnya. Dengan pendekatan ini, keuntungan yang diperoleh adalah tidak akan terjadi kesalahan sinkronisasi bila muncul string yang panjang. Selain itu, tidak adanya komponen dc karena sinyal-sinyal biner 1 berganti-ganti voltase dari positif ke negatif. Sehingga, karena sifat pulsa yang berganti-ganti tersebut maka memungkinkan hanya diperlukan alat sederhana untuk mendeteksi error. Bandwidth sinyal yang dihasilkan sangat tipis dibandingkan dengan bandwidth untuk NRZ.

Sebaliknya, pada teknik pseudoternari menggunakan keadaan ketiadaan sinyal sebagai biner 1 dan biner 0 dikodekan sebagai pulsa yang berganti-ganti dari negatif dan positif. Sehingga, dengan modifikasi yang sesuai, teknik biner multilevel mampu mengatasi persoalan-persoalan kode NRZ.

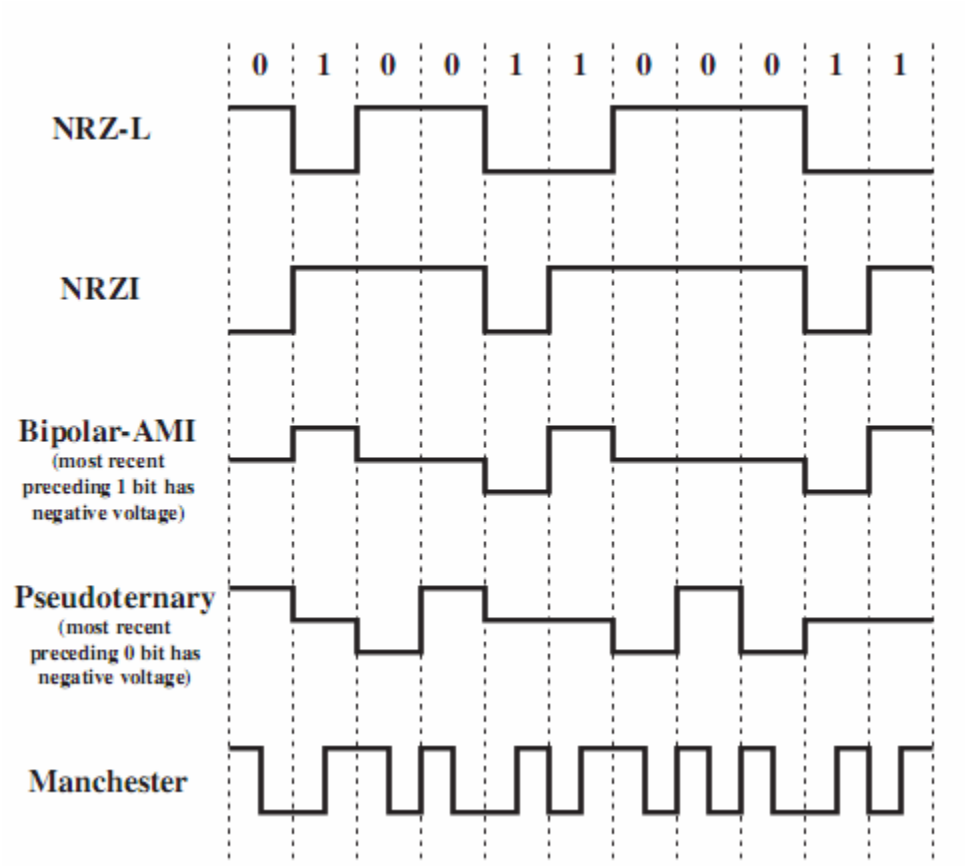
Bifase

Teknik pengkodean yang dikelompokkan dalam bifase bertujuan mengatasi keterbatasan kode-kode NRZ. Contoh dari teknik ini yaitu Manchester dan Diffrential Manchester. Pada kode Manchester, terdapat transisi di tengah-tengah setiap perioda bit. Transisi tersebut bermanfaat sebagai mekanisme detak (clock) dan sekaligus sebagai data transisi rendah ke tinggi yang menggambarkan biner 1. Sedangkan transisi tinggi ke rendah menggambarkan biner 0.

Pada Differensial Manchester, transisi pertengahan bit hanya digunakan untuk menyediakan detak. Pengkodean untuk biner 0 digambarkan melalui keberadaan transisi pada permulaan perioda bit. Skema bifase memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

- Kemudahan sinkronisasi
- Tidak adanya komponen dc
- Pendeteksian kesalahan

Bandwidth untuk kode-kode bifase agak sempit akan tetapi masih lebih lebar daripada bandwidth untuk kode-kode biner multilevel.



Format Pengkodean Sinyal Digital

b. Data Digital, Sinyal Analog

Teknik-teknik Pengkodean

Modulasi dipengaruhi oleh satu atau lebih dari 3 karakteristik sinyal pembawa, yaitu amplitudo, frekuensi dan fase. Tiga dasar pengkodean yang menggunakan ketiga karakteristik ini adalah :

- Amplitudo-shift keying
- Frequency-shift keying
- Phase-shift keying

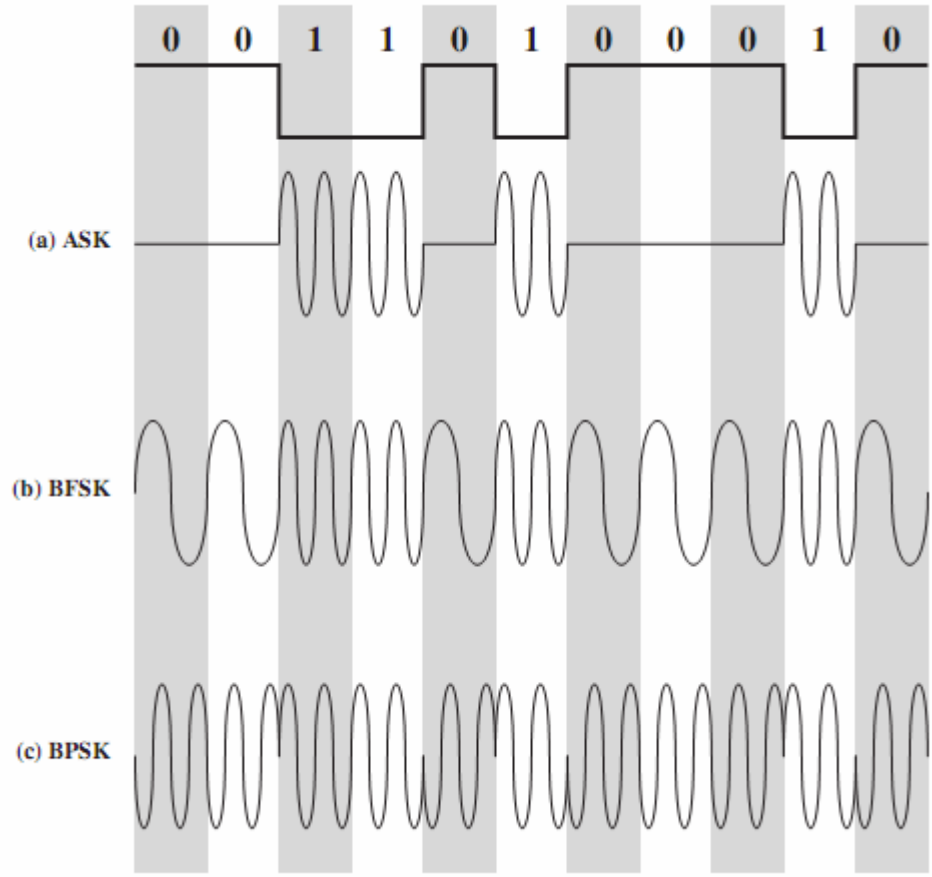
Teknik ASK digunakan untuk mentransmisikan data digital sepanjang serat optik.

Pada FSK, dua nilai biner ditunjukkan oleh dua frekuensi yang berbeda di dekat frekuensi pembawa. Sinyal yang dihasilkan adalah

$$s(t) = A\cos(2\pi f_1 t) \text{ untuk biner 1}$$

$$s(t) = A\cos(2\pi f_2 t) \text{ untuk biner 0}$$

Dengan f_1 dan f_2 merupakan peyeimbang khusus dari frekuensi pembawa f_c namun dalam jumlah yang berlawanan. Transisi FSK, misalnya digunakan untuk operasi full duplex sepanjang jalur telepon.



Modulasi Sinyal Analog untuk Data Digital

c. Data Analog, Sinyal Digital

Perangkat yang digunakan untuk mengubah data analog menjadi bentuk digital dan melindungi data analog yang asli dari kondisi digital disebut dengan Codek (Coder-Decoder).

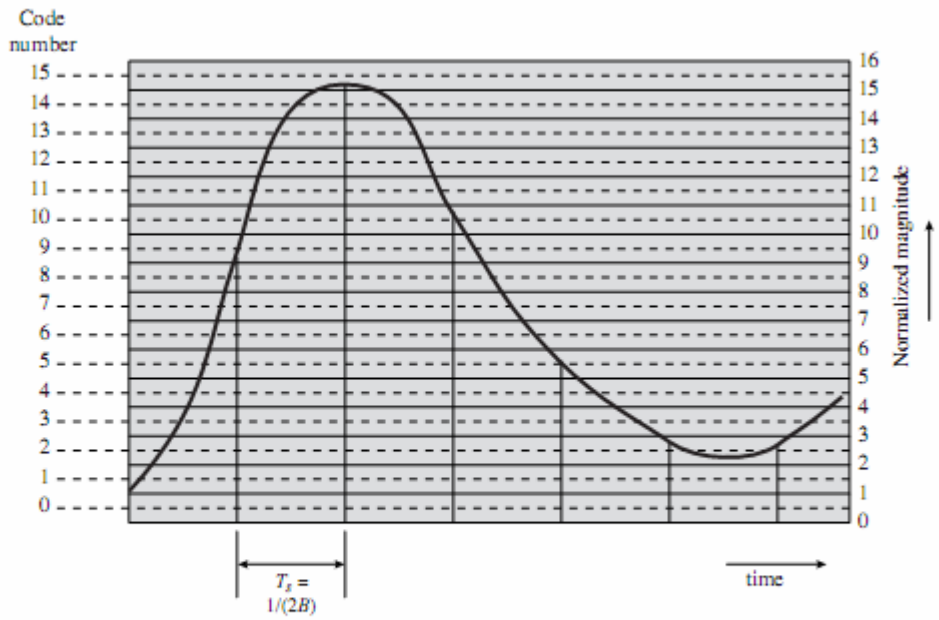
Modulasi Kode Pulsa (Pulse Code Mudulation)

Pulse Code Modulation)PCM) didasarkan atas teori sampling yang menyatakan :

Bila suatu sinyal f(t) disampel dengan interval yang teratur dan pada rate yang dua kali lebih tinggi daripada frekuensi sinyal tertinggi, maka sampel tersebut akan memuat segala informasi dari sinyal yang asli. Fungsi f(t) bisa direkonstruksi dari sampel-sampel ini dengan penggunaan low pass filter.

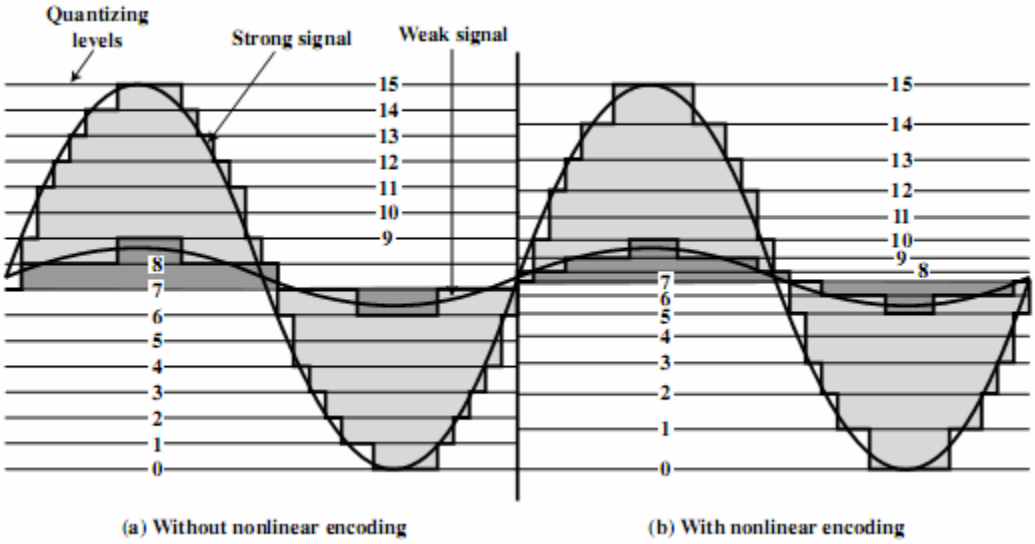
Pada PCM, data analog di sample untuk dikarakterisasi dan disebut sebagai Pulse Amplitudo Modulation. Untuk mengubahnya menjadi sinyal digital, masing-masing sample analog tersebut harus ditandai dengan suatu kode biner dan menjadi sinyal digital. Ainyal digital terdiri dari blok-blok n bit, dimana setiap bit n adalah amplitudo pulsa PCM. Skema PCM, diperhalus dengan menggunakan teknik pengkodean non linear. Pengkodean non linear memperlakukan level kuantisasi secara berbeda-beda. Dengan cara

memperbesar jumlah langkah kuantisasi untuk sinyal beramplitudo rendah dan memperkecil jumlah kuantisasi untuk sinyal beramplitudo besar. Sehingga diperoleh pengurangan pada semua distorsi sinyal.



PAM value	1.1	9.2	15.2	10.8	5.6	2.8	2.7
quantized code number	1	9	15	10	5	2	2
PCM code	0001	1001	1111	1010	0101	0010	0010

Contoh PCM



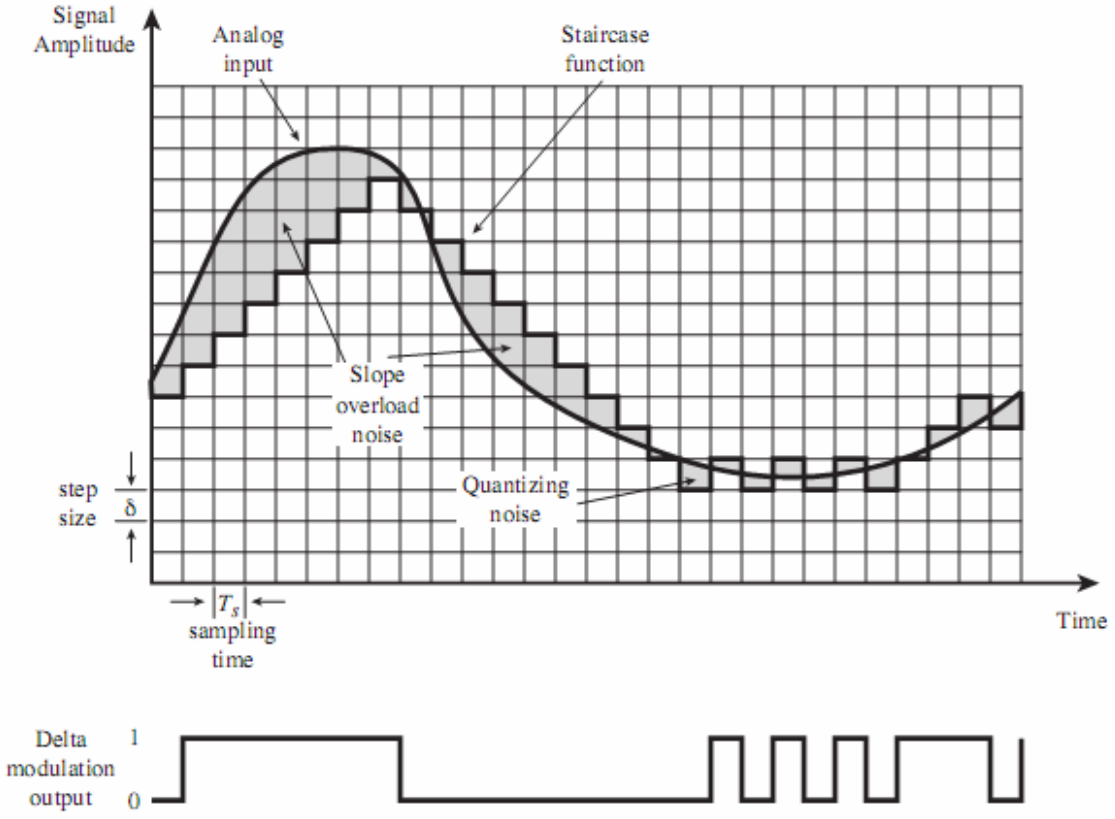
Efek dari Non Linear Encoding

Delta Modulation

Alternatif selain PCM adalah Delta Modulation. Dengan DM, suatu input analog didekati melalui fungsi tangga yang bergerak naik/turun dengan satu level kuantisasi pada setiap interval sampling. Pada dasarnya, aliran bit lebih dihasilkan dari pendekatan derivative sinyal analog dari amplitudonya.

Transisi yang terjadi di setiap interval pengambilan sampel dipilih sedemikian sehingga fungsi tangga melintas sedekat mungkin terhadap bentuk gelombang analog yang asli. Pada setiap waktu pengambilan sampel, input analog dibandingkan dengan nilai yang terbaru dari fungsi tangga pendekatan. Bila amplitudo sampel melebihi nilai fungsi, diperoleh biner 1, sebaliknya, diperoleh biner 0. Output dari proses DM adalah runtunan biner yang dapat digunakan receiver untuk merekonstruksi fungsi tangga. Kemudian fungsi tangga tersebut diperhalus lagi dengan melalui proses integrasi agar dapat menghasilkan pendekatan dari sinyal input analog.

Parameter penting dalam skema DM, yakni ukuran interval yang dipilih tiap digit biner dan rate sampel. Tingkat keakuratan DM dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan rate sampel. Hal ini akan mengakibatkan meningkatnya data rate sinyal output.



Contoh Delta Modulation

d. Data Analog, Sinyal-sinyal Analog

Modulasi didefinisikan sebagai proses menggabungkan suatu sinyal input dengan sinyal pembawa frekuensi agar menghasilkan sebuah sinyal yang baru. Alasan dilakukannya modulasi, adalah :

- Diperlukan frekuensi yang lebih tinggi agar transmisi yang dilakukan lebih efektif.
- Diperbolehkannya frequency-division multiplexing.

Teknik utama modulasi menggunakan data analog, yaitu Amplitudo Modulation, Frequency Modulation dan Phase Modulation.

Amplitudo Modulation

AM adalah bentuk modulasi yang paling sederhana. Dasar yang dipakai adalah perkalian sinyal input dengan pembawanya. Suatu sinyal pembawa perlu menyediakan mekanisme detak untuk mengetahui waktu kedatangan bit. Hal ini diperlukan agar receiver tahu titik permulaan masing-masing bit agar dapat mengartikan data dengan benar. Dikenal sebagai double sideband transmitter carrier (DSBTC). Secara matematik proses ini dinyatakan sebagai :

$$s(t) = [1 + n_a x(t)] \cos 2\pi f_c t$$

dimana : $\cos 2\pi fct$ = carrier

$x(t)$ = sinyal input (pembawa data)

n_a = **indeks modulasi** = ration amplitudo dari sinyal input terhadap carrier.

Frequency Modulation dan Phase Modulation

FM dan PM merupakan kasus khusus mengenai sudut modulasi. Sinyal yang dimodulasi dinyatakan sebagai

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \phi(t)]$$

Untuk PM, fasenya sebanding dengan sinyal pemodulasi :

$$\phi(t) = n_p m(t)$$

Dengan n_p adalah indeks modulasi fase.

Sedangkan untuk FM, diperoleh fase yang sebanding dengan sinyal modulasi, yaitu :

$$\phi(t) = n_t m(t)$$

Dengan n_t adalah indeks modulasi frekuensi.

Perbedaannya dengan AM yaitu diperlukan bandwidth yang lebih besar untuk transmisi.

Quadrature Amplitude Modulation

QAM merupakan teknik pensinyalan analog yang digunakan dalam ASDL. Teknik ini merupakan kombinasi dari modulasi amplitudo dan modulasi fase. Pada QAM, dua sinyal yang terpisah (independent) secara serempak ditransmisikan sepanjang media yang sama. Pada receiver, dua sinyal dimodulasikan kembali dan hasilnya dikombinasikan agar menghasilkan input biner yang asli.

Biner 0 ditampilkan melalui ketiadaan gelombang dari sinyal pembawa, sedangkan biner 1 ditampilkan melalui keberadaan gelombang pembawa pada amplitudo yang konstan. Gelombang pembawa yang sama ini kemudian digeser 90° dan digunakan untuk modulasi dari biner stream yang lebih rendah. Kedua sinyal yang dimodulasikan tersebut kemudian ditambahkan bersama-sama kemudian ditransmisikan.

Transmisi Synchronous dan Asynchronous

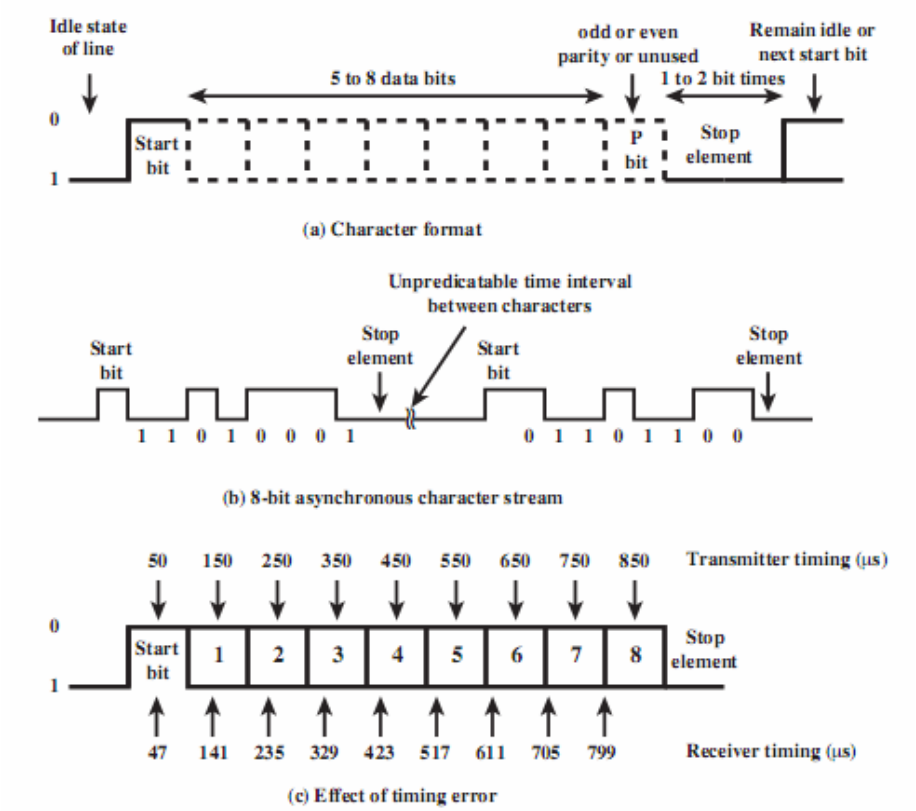
Transmisi synchronous dan asynchronous berhubungan dengan transmisi data serial. Pada transmisi serial sangat dipengaruhi oleh mekanisme detak/clock. Sebagai contoh, bila data ditransmisikan pada 1 Mbps, maka satu bit akan ditransmisikan setiap 1 µs. Biasanya, receiver akan memeriksa data pada tengah-tengah waktu penerimaan bit. Pada contoh tersebut, pemeriksaan akan terjadi setiap 1 µs. Bila receiver memeriksa waktu bit berdasarkan atas detaknya sendiri, maka akan muncul masalah bila detak receiver dan transmitter berlainan. Sehingga sinkronisasi detak antara transmitter dan receiver sangatlah penting pada transmisi serial.

Terdapat dua pendekatan yang paling umum digunakan untuk mencapai sinkronisasi yang diharapkan. Pertama, disebut transmisi asynchronous. Skema ini memanfaatkan cara dengan mengirimkan deretan bit yang panjang dan tidak putus-putus. Jadi, data yang ditransmisikan adalah satu karakter sekaligus, dengan panjang karakter mencapai lima sampai dengan delapan bit. Sinkronisasi dipertahankan dalam setiap pengiriman karakter; receiver memiliki peluang untuk melakukan sinkronisasi pada permulaan setiap karakter baru.

Bila tidak ada karakter yang ditransmisikan, jalur antara transmitter dan receiver berada dalam keadaan idle. Permulaan karakter ditandai dengan satu start bit dengan nilai biner 0. kemudian diikuti oleh 5 sampai dengan 8 bit sebagai karakter/data. Biasanya, bit-bit data diikuti oleh bit paritas. Jumlah total bit setiap karakter, termasuk bit paritas, bisa genap (paritas genap) atau ganjil (paritas ganjil). Elemen terakhir disebut stop bit, yang berupa biner 1. Panjang minimum stop bit mempunyai ketentuan sendiri. Elemen terakhir menunjukkan status idle. Oleh karena itu, transmitter tidak akan mengirimkan stop bit sampai siap mengirimkan karakter berikutnya.

Perhatikan contoh berikut! Bila diasumsikan data rate adalah sebesar 10 kbps, maka masing masing bit besarnya 0,1 ms atau 100 µs. Dianggap receiver mempunyai error kecepatan sebesar 6% atau 6 µs per waktu bit. Sehingga receiver akan membaca kedatangan karakter setiap 94 µs.

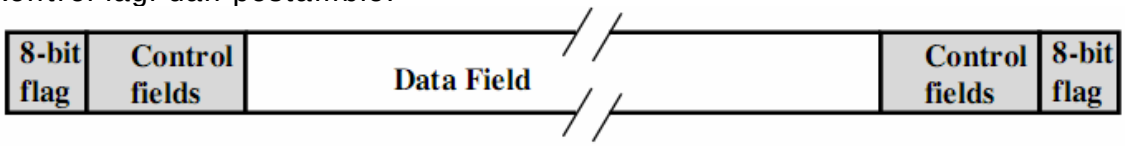
Kemungkinan kesalahan yang dapat muncul ada dua jenis. Pertama, bit yang terakhir tidak diterima dengan benar. Kedua, perhitungan bit diluar dari yang ditentukan. Bila bit-7 dibaca sebagai bit-8, maka bit selanjutnya akan salah dibaca sebagai awal bit. Kondisi ini disebut dengan framing error. Framing error kadang terjadi bila adanya derau memunculkan bit awal yang salah sepanjang status idle.



Transmisi Asynchronous

Pada transmisi synchronous, suatu blok bit ditransmisikan dalam suatu deretan tanpa kode start dan stop. Untuk mencegah ketidaksesuaian waktu antara transmitter dan receiver, maka detaknya, dengan cara apapun, harus dibuat sinkron. Salah satu kemungkinannya adalah menyediakan sebuah jalur detak/clock tersendiri antara receiver dan transmitter. Salah satu sisi (transmitter maupun receiver) mengeluarkan pulsa pendek. Sisi yang lain menggunakan pulsa tersebut sebagai detak. Namun, untuk jarak yang agak jauh, pulsa detak akan mengalami banyak gangguan. Alternatif lainnya adalah dengan menyimpan informasi pewaktuan pada sinyal data.

Pada model transmisi synchronous, receiver menentukan awal blok dengan pola bit preamble dan akhir blok dengan pola bit postamble. Data ditambah dengan preamble, postamble dan informasi kontrol disebut **frame**. Bentuk frame dalam transmisi synchronous yang diawali dengan preamble disebut dengan flag. Flag yang sama dipergunakan juga pada postamble. Flag diikuti dengan beberapa bit kontrol, kemudian bit data. Panjang bit bergantung kepada protocol yang digunakan. Setelah bit data, diikuti oleh bit kontrol lagi dan postamble.



Format Frame

Data Link Control

Syarat agar komunikasi antara dua sistem pentransmisi dan penerima menjadi efektif, antara lain :

- Sinkronisasi frame. Data dikirim dalam bentuk blok-blok yang disebut frame. Oleh karena itu, awal dan akhir suatu frame harus jelas.
- Flow control. Station pengirim tidak harus mengirimkan frame pada rate yang lebih cepat dibanding kecepatan station penerima dalam menyerap frame-frame tersebut.
- Pengontrolan kesalahan. Kesalahan-kesalahan bit yang diakibatkan oleh sistem transmisi harus diperbaiki.
- Pengalamatan. Pada jalur multipoint, identitas station-station yang berkomunikasi harus ditentukan dengan jelas.
- Kontrol dan data. Receiver harus mampu membedakan informasi kontrol dan data dari transmisi yang diterima.
- Manajemen jalur. Diperlukan suatu prosedur manajemen untuk permulaan, pemeliharaan, dan penghentian pertukaran data diantara station.

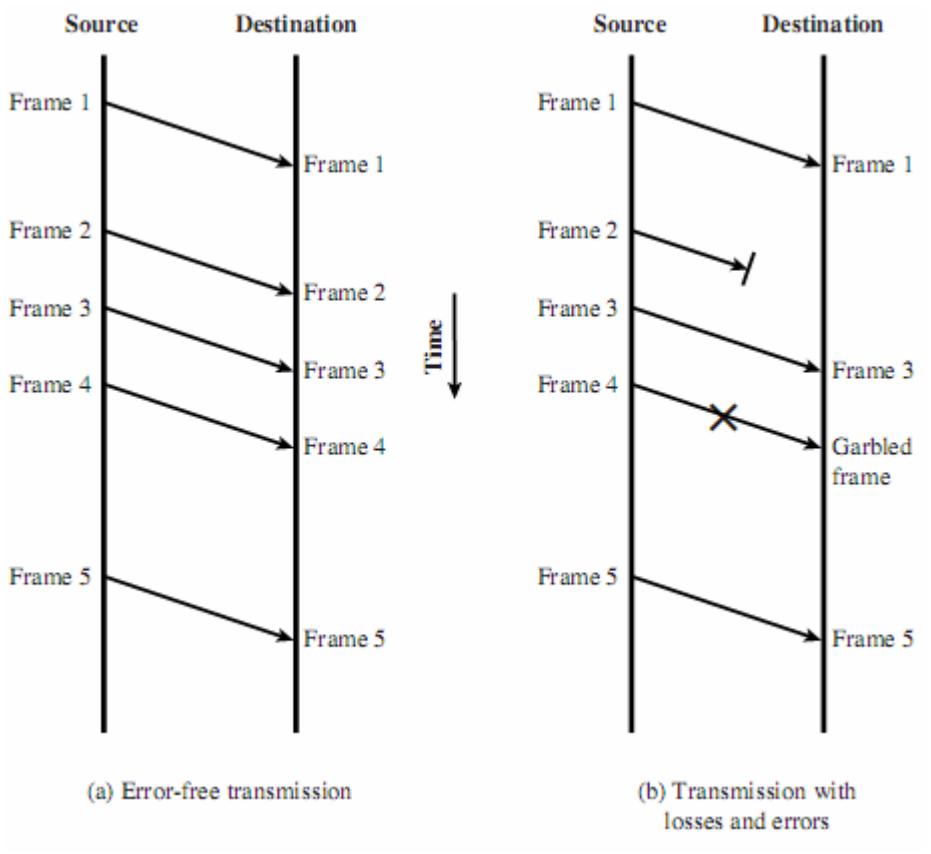
Flow Control

Flow control adalah teknik untuk memastikan bahwa entitas pentransmisi tidak membanjiri entitas penerima dengan data. Entitas penerima biasanya mengalokasikan buffer data dengan panjang tertentu untuk transfer. Ketika data diterima, receiver harus melakukan beberapa kegiatan pengolahan data sebelum menyalurkan data tersebut ke aplikasi yang lebih tinggi. Bila tidak ada flow control, buffer receiver akan meluap selagi mengolah data yang lama.

Data dikirimkan dalam bentuk deretan frame, dengan masing-masing frame berisikan bagian-bagian data serta beberapa kontrol informasi. Waktu yang dipergunakan untuk memancarkan seluruh bit dari frame ke media disebut waktu transmisi. Waktu ini sebanding dengan panjang frame. Waktu yang digunakan bit untuk melintasi jalur antara sumber sampai ke tujuan disebut waktu perambatan.

1. Stop and Wait Flow Control

Bentuk paling sederhana dari flow control disebut dengan stop and wait flow control. Proses kerjanya sebagai berikut. Entitas sumber mentransmisikan frame. Setelah entitas tujuan menerima frame, maka tujuan akan mengirimkan balasan bahwa frame tersebut sudah diterima dan siap menerima frame berikutnya. Sumber harus menunggu balasan diterima sebelum mengirimkan frame berikutnya. Tujuan dapat menghentikan transmisi dengan cara tidak memberi balasan.



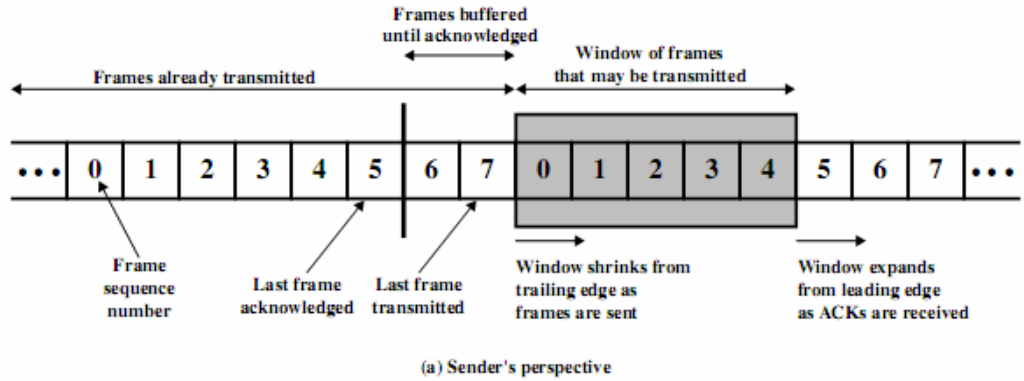
Model Transmisi Frame

Apabila blok data berada dalam jumlah besar, maka akan dipecah-pecah oleh sumber menjadi blok-blok yang lebih kecil dan mentransmisikan data dalam beberapa frame. Hal ini dilakukan karena :

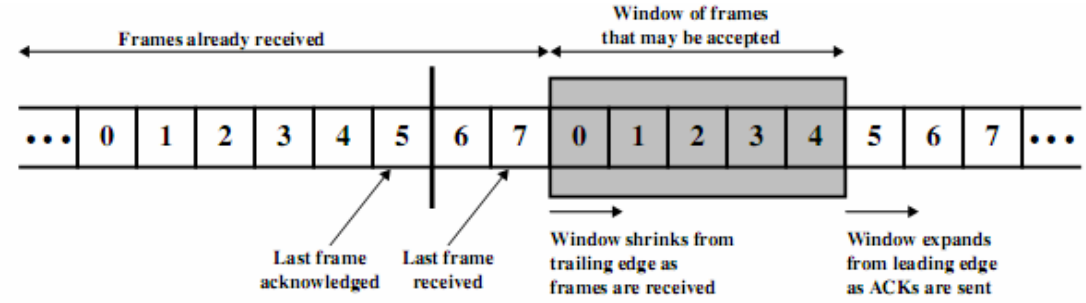
- Ukuran buffer terbatas,
- Blok data dalam jumlah besar dapat mengakibatkan transmisi menjadi lebih lama,
- Error control menjadi lebih efisien.

Sliding Window

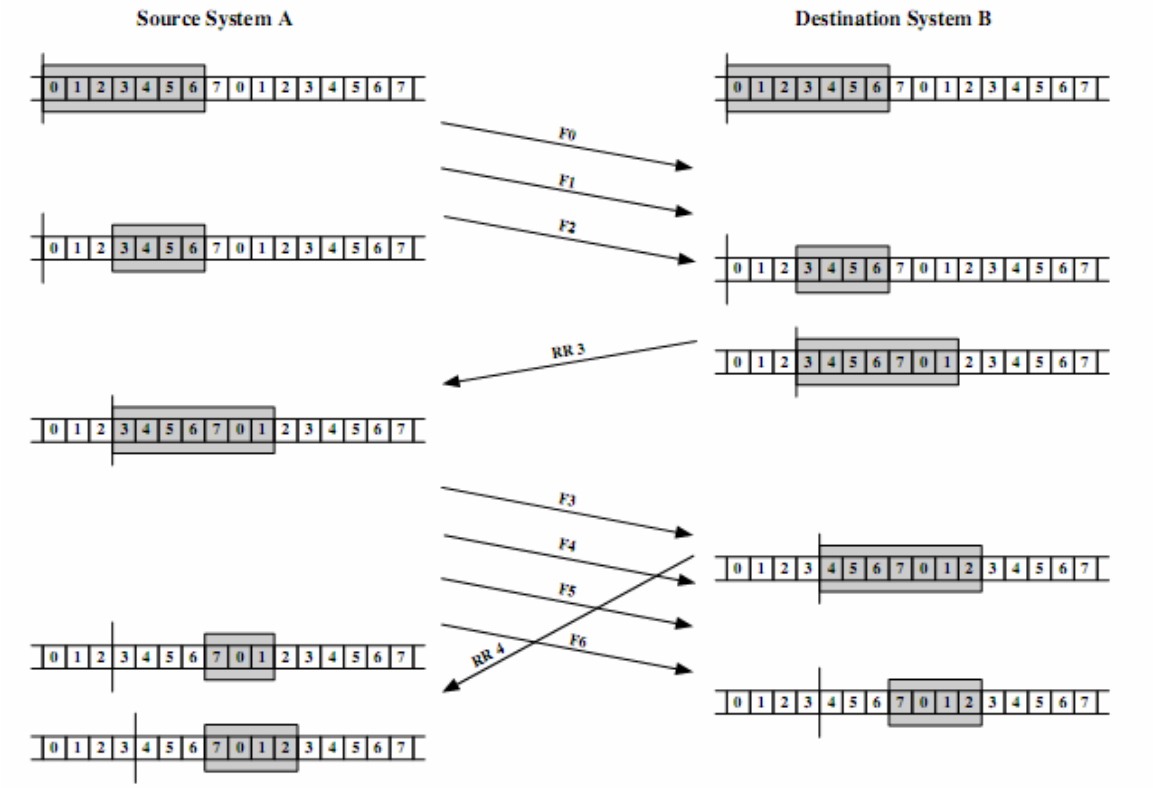
Sliding-window flow control dapat digambarkan dalam operasi sebagai berikut :
Dua stasiun A dan B, terhubung melalui suatu link full-duplex. B dapat menerima n buah frame karena menyediakan tempat buffer untuk n buah frame. Dan A memperbolehkan pengiriman n buah frame tanpa menunggu suatu acknowledgement. Tiap frame diberi label nomor tertentu. B mengakui suatu frame denga n mengirim suatu acknowledgement yang mengandung serangkaian nomor dari frame berikut yang diharapkan dan B siap untuk menerima n frame berikutnya yang dimulai dari nomor tertentu. Skema ini dapat juga dipakai untuk multiple frame acknowledge.



Sliding Window dari Perspektif Pengirim



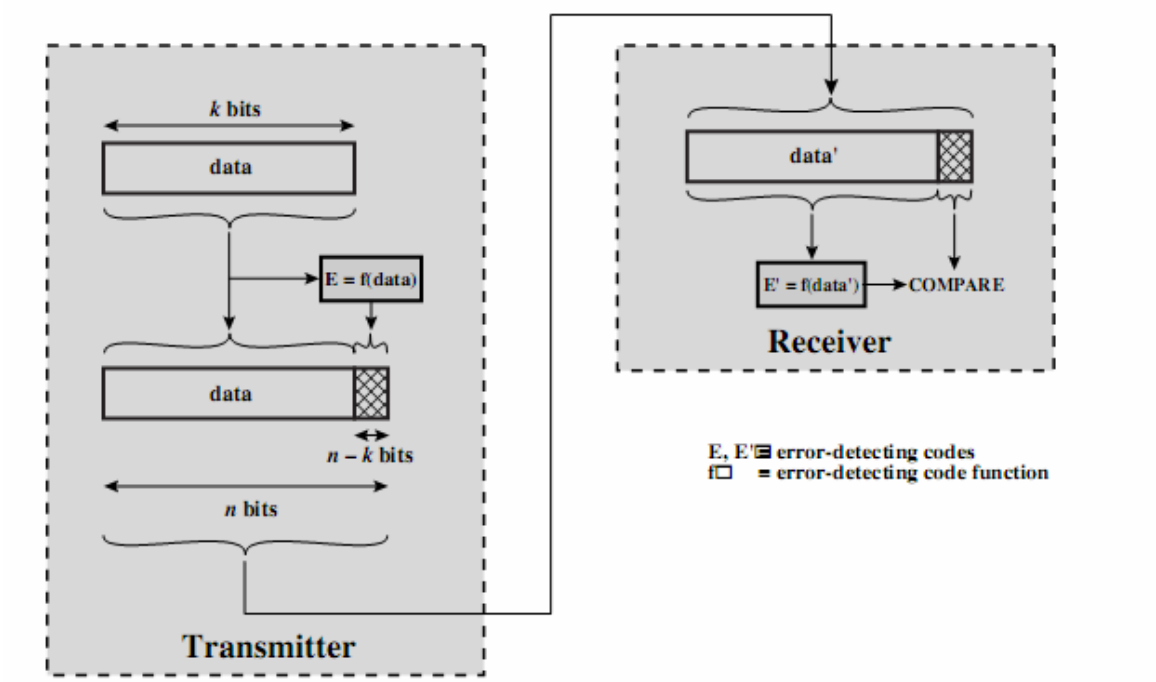
Sliding Window dari Perspektif Penerima



Contoh Sliding Window

Pendeteksian Kesalahan

Teknik-teknik pendeteksian kesalahan beroperasi menurut prinsip berikut ini. Untuk frame bit tertentu, tambahan bit yang merupakan suatu kode pendeteksi kesalahan ditambahkan oleh transmitter. Kode ini dihitung sebagai fungsi dari bit-bit yang ditransmisikan berikutnya. Receiver akan melakukan kalkulasi yang sama dan membandingkan hasilnya. Kesalahan terjadi hanya dan bila hanya terdapat ketidaksamaan dalam perbandingan tersebut.



Proses Deteksi Kesalahan

Tiga teknik yang umum dipakai sebagai deteksi error :

- Parity bit.
- Longitudinal Redudancy Check.
- Cyclic Redudancy Check.

PARITY CHECKS

Deteksi bit error yang paling sederhana parity bit pada akhir tiap word dalam frame.

Terdapat dua jenis parity bit ini :

- Even parity : jumlah dari binary '1' yang genap --> dipakai untuk transmisi asynchronous.
- Odd parity : jumlah dari binary '1' yang ganjil --> dipakai untuk transmisi synchronous.

Atau menggunakan operasi exclusive-OR dari bit-bit tersebut dimana akan menghasilkan binary '0' untuk even parity dan menghasilkan binary '1'

untuk odd parity. note : exclusive-OR dari 2 digit binary adalah 0 bila kedua digitnya adalah 0 atau keduanya = 1; jika digitnya beda maka hasilnya = 1.

Kelemahan dari parity check untuk tiap jenis yaitu tidak dapat mendeteksi jumlah error -error genap.

CYCLIC REDUNDANCY CHECKS (CRC)

Kode pendetaksian kesalahan yang paling umum adalah Cyclic Redundancy Check (CRC). CRC digambarkan sebagai berikut. Data terdiri dari blok bit k-bit. Transmitter mengirimkan suau deretan bit *n*-bit yang disebut Frame Check Sequences (FCS). Sehingga bit yang dihasilkan terdiri dari *k*+*n*-bit. Frame tersebut harus dapat dibagi dengan benar oleh beberapa angka yang sebelumnya sudah ditetapkan. Receiver membagi frame yang datang dengan angka tersebut. Bila tidak ada sisa, diasumsikan tidak terdapat kesalahan ketika transmisi.

Untuk kepentingan ini didefinisikan :

T = (k + n) bit frame untuk ditransmisi, dengan n < k

M = k bit message, k bit pertama dari T

F = n bit FCS, n bit terakhir dari T

P = pattern dari n+1 bit.

Dimana : $T = 2^n M + F$

$$\frac{2M}{P} = Q + \frac{R}{P}$$

Karena pembaginya adalah binary, remaider selalu kurang dari 1 bit dibanding pembagi. Maka :

T = 2 M + R

Atau

$$\frac{T}{P} = \frac{2M + R}{P}$$

$$\frac{T}{P} = Q + \frac{R}{P} + \frac{R}{P}$$

$$\frac{T}{P} = Q + \frac{R + R}{P} = Q$$

Contoh :

```
                    110101011 <- Q
P --> 110101 ⌈1010001 10100000 <- 2 M
             110101
              111011
              110101
                111010
                110101
                  111110
                  110101
                   101100
                   110101
                    110010
                    110101
                       1110 <- R
```

Diketahui : message M = 1010001101 (10 bit)

pattern P = 110101 (6 bit)

FCS R = dikalkulasi (5 bit)

- Message M dikalikan dengan 2^5, maka menghasilkan: 101000110100000
- Hasilnya kemudian dibagi dengan P :

- Remainder (R = 01110) ditambahkan ke 2^n M untuk mendapatkan T = 10100011010110, yang ditransmisikan [T = 2^nM + R].
- Jika tidak ada error, maka receiver menerima T secara utuh. Frame yang diterima dibagi dengan P :

```
                    1101010110
110101 ⌈1010001 10101110
        110101
         111011
         110101
           111010
           110101
             111110
             110101
              101111
              110101
               110101
               110101
                   00 .
```

Karena tidak ada remainder maka dianggap tidak ada error.

Pattern P dipilih 1 bit lebih panjang daripada FCS, dan bit pattern dipilih tergantung tipe error yang diinginkan. Pada keadaan minimum keduanya baik tingkat high atau low bit dari P harus 1. Frame Tr yang dihasilkan dapat dinyatakan sebagai : Tr = T + E

dimana :

T = frame yang ditransmisi

E = error pattern dengan 1 dalam posisi dimana terjadi error
Tr = frame yang diterima.

Jika dituliskan dalam bentuk model variabel X, dengan koefisien-koefisien biner. Maka koefisien berhubungan dengan bit-bit dalam angka biner. Jadi, untuk M = 110011, kita peroleh $M(X) = X^5+X^4+X+1$ dan untuk P = 11001, kita peroleh $P(X) = X^4+X^3+1$.

Empat versi CRC yang dipergunakan secara luas adalah :

- ✓ CRC-12 $= X^{12}+X^{11}+X^3+X^2+X+1$
- ✓ CRC-16 $= X^{16}+X^{15}+X^2+1$
- ✓ CRC-CCITT $= X^{16}+X^{12}+X^5+1$
- ✓ CRC-32 $= X^{32}+X^{26}+X^{23}+X^{22}+X^{16}+X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^8+X^7+X^5+X^4+X^2+X+1$

Error Control

Pengontrolan kesaladan berkaitan dengan mekanisme untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan yang terjadi pada pentransmisian frame. Terdapat dua jenis kesalahan dalam transmisi frame, yaitu :

- ❑ Hilangnya frame. Frame gagal mencapai sisi yang lain. Atau frame begitu rusaknya sehingga receiver tidak menyadari bahwa frame sudah ditransmisikan.
- ❑ Kerusakan frame. Frame telah tiba, namun beberapa bit mengalami kesalahan.

Teknik yang umum digunakan untuk error control didasarkan pada beberapa unsur berikut.

- ❑ Pendeteksian kesalahan.
- ❑ Balasan positif (positive acknowledgement). Tujuan adanya balasan positive adalah untuk memberitahukan bahwa frame sudah diterima dan bebas dari kesalahan.
- ❑ Balasan negatif (negative acknowledgement). Tujuan mengembalikan balasan negatif bila ada frame yang dideteksi mengalami kesalahan.
- ❑ Time out. Sumber menunggu selama waktu tertentu sebelum melakukan transmisi ulang.
- ❑ Retransmisi. Sumber melakukan transmisi ulang frame yang terdapat kesalahan. Retransmisi dilakukan bila terdapat balasan negatif atau bila tidak ada balasan dari tujuan selama beberapa waktu setelah transmisi.

Semua mekanisme yang memakai teknik-teknik di atas disebut dengan Automatic Repeat Request (ARQ). Tiga versi ARQ yang sudah distandarisasi adalah :

- ❑ Stop and Wait ARQ. Stop and wait ARQ didasarkan pada teknik stop and wait. Sumber mentransmisikan sebuah frame tunggal dan kemudian harus menunggu balasan (Ack). Tidak ada frame yang dikirim sampai jawaban dari tujuan sampai pada sumber. Bila tidak ada balasan sampai waktu yang ditetapkan, maka akan dikirimkan

frame yang sama. Perhatikan bahwa metode ini mengharuskan sumber mempertahankan copy frame sampai balasan diterima oleh sumber. Kelebihan stop and wait ARQ adalah kesederhanaannya.

- Go Back N ARQ. Frame yang diretransmisi adalah mulai dari frame yang memiliki balasan negatif sampai dengan frame terakhir yang dikirimkan. Dengan kata lain, seluruh frame mulai dari frame yang rusak atau mengalami timeout dikirimkan ulang.
- Selective Reject ARQ. Frame-frame yang diretransmisikan hanya frame-frame yang menerima balasan negatif (*negatif acknowledgement*) atau frame-frame yang waktunya sudah habis (*timeout*). Cara ini lebih efisien daripada Go Back N ARQ.