

## MULTIPLEXING

- q Agar menggunakan saluran telekomunikasi menjadi lebih efisien lagi, dipergunakan beberapa bentuk multiplexing. Multiplexing memungkinkan beberapa sumber transmisi membagi kapasitas transmisi menjadi lebih besar. Dua bentuk yang paling umum dari multiplexing adalah Frequency-Division Multiplexing (FDM) dan Time Division Multiplexing (TDM).
- q Frequency-Division Multiplexing bisa dipergunakan bersama-sama dengan sinyal-sinyal analog. Sejumlah sinyal secara simultan dibawa menuju media yang sama dengan cara mengalokasikan band frekuensi yang berlainan ke masing-masing sinyal. Diperlukan peralatan modulasi untuk memindah setiap sinyal ke band frekuensi yang diperlukan, sedangkan peralatan multiplexing diperlukan untuk mengkombinasikan sinyal-sinyal yang dimodulasikan.
- q Synchronous time-division multiplexing bisa dipergunakan bersama-sama dengan sinyal digital atau sinyal-sinyal analog yang membawa data digital. Pada bentuk multiplexing yang seperti ini, data dari berbagai sumber dibawa dalam frame secara berulang-ulang. Setiap frame terdiri dari susunan jatah waktu, dan setiap sumber ditetapkan bahwa setiap framenya terdiri dari satu atau lebih jatah waktu. Efeknya akan tampak pada bit interleave dari data pada berbagai sumber.
- q Statistical time-division multiplexing menyediakan layanan yang lebih efisien dibanding synchronous TDM sebagai pendukung terminal. Dengan statistical TDM, jatah waktu tidak ditetapkan terlebih dulu untuk sumber-sumber data tertentu. Melainkan, data pengguna ditahan dan ditransmisikan secepat mungkin menggunakan jatah waktu yang tersedia.

Pada bab 7, digambarkan teknik-teknik yang efisien dalam penggunaan data link dengan beban yang sangat berat. Secara spesifik, dengan perangkat yang dihubungkan dengan jalur ujung-ke-ujung, umumnya diharapkan adanya frame multiple yang menonjol sehingga link data tidak macet di antara kedua station tersebut. Sekarang amati problem yang sebaliknya. Biasanya, dua station yang saling berkomunikasi tidak akan menggunakan link data berkapasitas penuh. Untuk efisiensinya, kapasitas tersebut harus dibagi. Istilah umum untuk pembagian semacam itu disebut Multiplexing.

Aplikasi multiplexing yang umum adalah dalam komunikasi long-haul. Media utama pada jaringan long-haul berupa jalur gelombang mikro, koaksial, atau serat optik berkapasitas tinggi. Jalur-jalur ini dapat memuat transmisi data dalam jumlah besar secara simultan dengan menggunakan multiplexing.

Gambar 8.1 menggambarkan fungsi multiplexing dalam bentuk yang paling sederhana. Terdapat input  $n$  untuk multiplexer. Multiplexer dihubungkan ke demultiplexer melalui sebuah jalur tunggal. Saluran tersebut mampu membawa  $n$  channel data yang terpisah.

### Gambar 8.1 Multiplexing

Multiplexer mengabungkan (melakukan multiplexing) data dari jalur input  $n$  dan mentransmisikannya melalui jalur berkapasitas tinggi. Demultiplexer menerima aliran data yang sudah dimultiplexkan, kemudian memisahkan (melakukan demultiplexing) data berdasarkan channel, lalu mengirimkannya ke saluran output yang tepat.

Penggunaan multiplexing secara luas dalam komunikasi data dapat dijelaskan melalui hal-hal berikut :

- q Semakin tinggi rate data, semakin efektif biaya untuk fasilitas transmisi. Maksudnya, untuk suatu aplikasi dan pada jarak tertentu, biaya per kbps menurun bila rate data fasilitas meningkat. Hampir sama dengan itu, biaya transmisi dan peralatan penerima per kbps menurun, bila rate data meningkat.
- q Sebagai besar perangkat komunikasi data individu memerlukan dukungan rate data yang relatif sedang-sedang saja. Sebagai contoh, untuk sebagian besar aplikasi komputer pribadi dan terminal, rate data di antara 9600 bps dan 64 kbps sudah cukup memadai.

Pernyataan-pernyataan tersebut dimaksudkan sebagai syarat-syarat bagi perangkat komunikasi data. Pernyataan yang sama diterapkan untuk komunikasi suara. Maksudnya, semakin besar fasilitas transmisi sebagai syarat untuk channel suara, semakin berkurang biaya per channel suara individu. Kapasitas yang diperlukan untuk sebuah channel suara tunggal biasanya sedang-sedang saja.

Bab ini menitikberatkan pada tiga jenis teknik multiplexing. Pertama, Frequency-Division multiplexing (FDM), yang paling banyak dilakukan dan cukup dikenal oleh siapa saja yang pernah menggunakan radio atau televisi. Kedua, kasus khusus dari Time-Division Multiplexing (TDM) atau disebut juga dengan TDM synchronous. Jenis ini paling banyak dipergunakan untuk memultiplexing aliran suara dan aliran data yang didigitalkan. Jenis ketiga dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi synchronous TDM dengan cara menambahkan rangkaian rumit ke multiplexer. Jenis ini memiliki beberapa sebutan, diantaranya statistical TDM, yang menyoroti salah satu sifat utamanya. Terakhir, kita mengamati jalur pelanggan digital, yang mengkombinasikan teknologi TDM synchronous dan FDM.

## **FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING**

### **Karakteristik**

FDM memungkinkan bila lebar pita media transmisi yang digunakan melebihi lebar pita yang diperlukan dari sinyal-sinyal yang ditransmisikan. Sejumlah sinyal dapat dibawa secara simultan bila masing-masing sinyal dimodulasikan ke frekuensi pembawa yang berlainan dan frekuensi pembawa cukup terpisah di mana lebar pita sinyal secara signifikan tidak bertumpang tindih. Kasus umum dari FDM ditunjukkan dalam Gambar 8.2a. Enam sumber sinyal dimasukkan ke multiplexer, yang memodulasi setiap sinyal ke frekuensi yang berbeda-beda ( $f_1, \dots, f_6$ ). Masing-masing sinyal yang dimodulasi memerlukan lebar pita tertentu yang dipusatkan di sekitar frekuensi pembawa, yang disebut juga dengan channel. Untuk mencegah munculnya interferensi, channel dipisahkan oleh band pelindung (guard band), yang merupakan bagian dari spektrum yang tidak digunakan.

Sinyal campuran yang ditransmisikan sepanjang media berupa analog. Perhatikan, bagaimanapun juga, sinyal-sinyal input bisa berupa digital ataupun analog. Dalam hal input digital, sinyal-sinyal input harus disalurkan melalui modem untuk diubah menjadi analog. Pada salah satu kasus, setiap sinyal input analog harus dimodulasikan untuk kemudian dipindahkan ke band frekuensi yang tepat.

## SYNCHRONOUS TIME-DIVISION MULTIPLEXING

### Karakteristik

Synchronous time-division multiplexing memungkinkan bila rate data dari suatu media bisa melebihi rate data dari sinyal-sinyal digital yang ditransmisikan. Sinyal-sinyal diital multiple (atau sinyal analog yang memuat data digital) lambat laun bisa dibawa melalui jalur transmisi tunggal melakukan interleaving bagian-bagian dari setiap sinyal. Interleaving bisa dilakukan pada level bit atau pada blok-blok byte atau dalam jumlah besar. Sebagai contoh, multiplexer pada gambar 8.2 memiliki enam input di mana setiap input katakanlah sebesar 9,6 kbps. Jalur tunggal dengan kapasitas sedikitnya 757,6 kbps (plus kapasitas overhead) dapat memuat keenam sumber itu.

Gambaran umum mengenai sistem TDM synchronous daisajikan dalam gambar 8.6. sejumlah sinyal [ $m_i(t)$ ,  $i = 1, n$ ] dimultiplexkan pada media transmisi yang sama. Sinyal-sinyal tersebut membawa data digital serta sinyal digital. Data yang datang dari setiap sumber dengan cepat disangga. Setiap penyangga biasanya memiliki panjang satu bit atau satu karakter. Penyangga secara berturut-turut di-scan agar membentuk deretan data digital campuran  $m_c(t)$ . operasi scan ini begitu cepat sehingga setiap penyangga sudah dikosongkan sebelum lebih banyak data yang tiba. Jadi, data rate  $m_c(t)$  harus sedikitnya sama dengan jumlah rate data  $m_i(t)$ . sinyal diital  $m_c(t)$  bisa ditransmisikan secara langsung, atau disalurkan melalui sebuah modem sehingga sinyal analog bisa ditransmisikan. Pada salah satu kasus tersebut, transmisinya biasanya synchronous.

Data yang ditransmisikan dapat memiliki format seperti yang ditunjukkan dalam gambar 8.6b. data disusun kedalam frame. Masing-masing frame berisikan siklus tergantung pada jatah waktu. Pada setiap frame, satu jatah atau lebih ditujukan untuk masing-masing sumber data. Rangkaian jatah waktu yang dimaksudkan untuk satu sumber, dari frame ke frame, disebut dengan channel. Panjang jatah waktu setara dengan panjang penyangga transmitter, biasanya satu bit atau satu karakter.

Teknik karakter-interleaving dipergunakan dengan sumber asynchronous. Masing-masing jatah waktu memuat satu karakter data. Biasanya, bit awal atau bit akhir dari setiap karakter dieliminasi sebelum transmisi dan diselipkan kembali oleh receiver, sehingga menaikkan tingkat efisiensinya. Teknik interleaving-bit dipergunakan dengan sumber synchronous dan bisa juga dipergunakan dengan sumber synchronous. Masing-masing jatah waktu hanya memuat satu bit.

Pada receiver, data yang diinterleaving didemultiplexkan dan diarahkan ke penyangga tujuan yang sesuai. Untuk setiap sumber input,  $m_i(t)$ , terdapat sumber output yang sama yang akan menerima data input pada rate yang sama dimana dia ditimbulkan.

TDM synchronous disebut juga dengan synchronous tidak hanya karena mempergunakan transmisi synchronous, namun juga karena jatah waktu sudah ditetapkan terlebih dahulu untuk sumber. Masing-masing jatah waktu untuk setiap sumber ditransmisikan, baik sumber tersebut memiliki data untuk dikirim atau tidak. Hal ini juga berlaku untuk FDM. Pada kedua kasus tersebut, kapasitas dibuang agar implementasinya tidak terlalu rumit. Bahkan bila sudah menggunakan ketetapan yang pasti, bagaimanapun juga, sangatlah mungkin bagi perangkat TDM synchronous mengendalikan sumber-sumber dengan rate data yang berlainan. Sebagai contoh, perangkat input terpelan sekalipun bisa ditetapkan satu jatah waktu per siklus, sementara perangkat yang tercepat ditetapkan beberapa kali jatah waktu per siklus.

### **TDM Link Control**

Pembaca akan mencatat bahwa deretan data yang ditransmisikan yang ditunjukkan dalam gambar 8.6b tidak memuat header dan pasangannya yang kita asosiasikan dengan transmisi synchronous. Alasannya adalah tidak diperlukannya mekanisme kontrol yang disediakan oleh protocol data link. Ini merupakan petunjuk supaya kita mempertimbangkan hal ini, dan kita melakukannya dengan cara mengamati dua mekanisme data link control terpenting, yakni : kontrol arus dan kontrol kesalahan. Sudah jelas bahwa selama multiplexer dan demultiplexer (gambar 8.1), kontrol arus tetap tidak diperlukan. Rate data pada jalur yang dimultiplexer sudah dipastikan, dan multiplexer dan demultiplexer dirancang supaya bisa beroperasi pada rate tersebut. Namun harus diingat bahwa salah satu saluran output individu tersebut dihubungkan dengan perangkat yang untuk sementara waktu tidak mampu menerima data. Bisakah transmisi frame-frame TDM berhenti? Jelasnya tidak, karena saluran output yang tersisa diharapkan bisa menerima data pada waktu-waktu yang sudah ditentukan sebelumnya. Solusinya adalah untuk perangkat output yang dipenuhi agar aliran data dari perangkat input yang sesuai, berhenti. Jadi, untuk sementara, channel yang dibicarakan akan membawa jatah waktu yang kosong, namun frame-ramenya sebagaimana seluruh yang lain akan tetap mempertahankan rate transmisi yang sama.

Pertimbangan untuk kontrol kesalahan juga sama. Permintaan akan transmisi ulang seluruh frame TDM tidak akan dilakukan karena adanya kesalahan pada satu channel. Perangkat-perangkat yang menggunakan channel yang lain juga tidak menginginkan transmisi ulang bahkan mereka yang tidak mengetahui apakah transmisi ulang sudah diminta oleh perangkat atau channel yang lain. Sekali lagi, solusinya adalah dengan menerapkan kontrol kesalahan untuk semua channel.

Kontrol arus dan kontrol kesalahan dapat disediakan pada basis per channel melalui protocol kontrol data link, seperti HDLC pada basis per channel. Contoh yang sederhana ditunjukkan dalam gambar 8.7. kita asumsikan ada dua sumber data, masing-masing menggunakan HDLC. Salah satunya mentransmisikan deretan frame-frame HDLC dimana masing-masing berisikan tiga octet data. Untuk lebih jelasnya, kita asumsikan bahwa karakter interleaved multiplexing dalam hal ini dipergunakan, meskipun bit interleavingnya lebih khusus. Amati yang terjadi. Octet frame-frame HDLC dari kedua sumber tersebut dikocok bersama-sama untuk transmisi disepanjang saluran yang dimultiplexing. Pembaca awalnya tidak nyaman dengan diagram ini, karena frame HDCL pada beberapa hal telah kehilangan integritasnya. Misalnya, setiap frame check sequence (FCS) pada saluran yang diterapkan pada susunan bit yang terputus-putus. Bahkan FCS tidak berada pada satu bagian. Bagaimanapun juga bagian-bagian tersebut dikumpulkan lagi dengan benar sebelum terlihat oleh perangkat pada ujung protocol HDCL lainnya. Dalam hal ini, operasi multiplexing/demultiplexing cukup jelas bagi station yang terpasang; bagi setiap sepasang station yang saling berkomunikasi, sudah jelas bahwa mereka memiliki jalur yang bisa dipakai.

Satu perbaikan lagi diperlukan pada gambar 8.7. kedua ujung saluran perlu dijadikan kombinasi antara multiplexer/demultiplexer dengan saluran full-duplex. Kemudian masing-masing channel yang berisikan dua susunan jatah waktu, melintas ke setiap arah. Perangkat individu yang terpasang pada setiap ujungnya, secara berpasangan, menggunakan HDCL untuk mengontrol channel mereka sendiri. Multiplexer/demultiplexer tidak harus dikaitkan dengan hal-hal ini.

### **Framing**

Telah kita lihat bahwa protocol kontrol jalur tidak diperlukan untuk mengatur keseluruhan jalur TDM. Bagaimanapun juga, terdapat persyaratan dasar dalam hal framing. Karena kita tidak menyediakan tanda atau karakter SYNC untuk menggolong-golongkan frame, diperlukan beberapa cara untuk memastikan sinkronisasi frame. Sudah jelas bahwa sangatlah penting mempertahankan sinkronisasi frame karena bila sumber dan tujuan langkahnya tidak sama, maka data pada semua channel bisa hilang.

Mungkin, mekanisme yang paling umum dalam hal framing adalah yang disebut sebagai framing digit tambahan. Dalam skema ini, biasanya, satu bit kontrol ditambahkan ke setiap frame TDM. Sebuah pola bit yang tidak teridentifikasi, dari frame ke frame, diperunakan pada 'channel kontrol' ini. Contoh khusus mengenai hal ini adalah dalam hal membolak balik pola bit, 101010.....ini merupakan pola yang tidak mungkin dipertahankan pada channel data. Jadi, untuk mensinkronkan, receiver membandingkan bit yang datan dari satu posisi frame dengan pola yang diinginkan. Bila pola tidak sesuai, posisi bit yang berurutan tersebut dicari sampai polanya tetap bertahan disepanjang frame-frame multiple. Sekali sinkronisasi framing ditetapkan maka, receiver akan terus memonitor channel bit framing. Bila polanya terganggu, receiver harus masuk lagi ke mode pencarian framing.

### **Pengisian Pulsa**

Mungkin, problem tersulit dalam merancang TDM synchronous adalah saat mensinkronkan berbagai sumber data. Bila setiap sumber memiliki detak yan terpisah, adanya perbedaan diantara detak bisa menyebabkan hilangnya sinkronisasi. Selain itu, pada beberapa kasus tertentu, rate data dari deretan data input tidak dihubungkan dengan angka rasional sederhana. Untuk kedua problem itu, teknik yang disebut dengan Pengisian Pulsa adalah cara yang efektif. Dengan Pengisian Pulsa, rate data yang keluar dari multiplexer, termasuk bit-bit framing menjadi lebih tinggi disbanding jumlah maksimum rate instan yang dating. Kapasitas ekstra yang dipergunakan dengan cara mengisikan bit ekstra palsu atau pulsa-pulsa ke dalam sinyal yang datang sampai ratenya meningkat sampai sinyal detak bisa ditimbulkan secara local. Pulsa-pulsa yang diisikan diselipkan ke lokasi tertentu di dalam format frame multiplexer sehingga bisa diidentifikasi dan dipindahkan ke demultiplexer.

### **Contoh**

Sebuah contoh, dari [COUC97]. Menggambarkan penggunaan TDM synchronous untuk sumber-sumber analog dan digital multiplex (gambar 8.8). amati, terdapat 11 sumber yang dimultiplexkan pada sebuah jalur tunggal :

- q Sumber 1 : Analog, lebar pita 2-kHz
- q Sumber 2 : Analog, lebar pita 4-kHz
- q Sumber 3 : Analog, lebar pita 2-kHz
- q Sumber 4-11 : Digital, 7200 bps synchronous

## STATISTICAL TIME-DIVISION MULTIPLEXING

### Karakteristik

Pada TDM synchronous, merupakan hal yang umum apabila jatah waktu dalam sebuah frame dibuang. Sebuah aplikasi khusus TDM synchronous melibatkan penyaluran sejumlah terminal menuju port komputer yang sudah dibagi-bagi. Bahkan bila semua terminal sedang aktif digunakan, dapat dipastikan hampir tidak ada transfer data pada terminal tertentu.

Salah satu alternatif mensinkronkan TDM adalah statistical TDM. Multiplexer statistik memanfaatkan sifat transmisi data yang umum ini dengan cara mengalokasikan jatah waktu secara dinamis sesuai permintaan. Sebagaimana dengan TDM synchronous, multiplexer statistik memiliki sejumlah saluran I/O pada salah satu sisi serta saluran multiplexing berkecepatan tinggi pada sisi yang lain. Masing-masing saluran I/O memiliki sebuah penyangga yang berhubungan. Dalam hal multiplexer statistik, terdapat saluran  $n$  I/O, namun hanya  $k$ , dimana  $k < n$ , jatah waktu yang tersedia pada frame TDM. Bagi input, fungsi multiplexer adalah untuk men-scan penyangga input, mengumpulkan data sampai frame menjadi penuh, dan kemudian mengirim frame tersebut. Bagi output, fungsi multiplexer adalah menerima frame dan mendistribusikan jatah data ke penyangga output yang tepat.

Karena TDM statistik memiliki kelebihan yaitu : perangkat yang terpasang tidak semuanya melakukan transmisi sepanjang waktu, maka rate data pada saluran multiplex menjadi lebih kecil dibandingkan dengan dari jumlah rate data dari perangkat yang terpasang. Sehingga, multiplexer statistik dapat menggunakan rate data yang lebih rendah untuk mendukung perangkat sebanyak-banyaknya seperti pada multiplexer synchronous. Alternatif lainnya, bila multiplexer statistik dan multiplexer synchronous sama-sama menggunakan sebuah saluran dengan rate data yang sama, maka multiplexer statistik mampu mendukung perangkat lebih banyak lagi.

Gambar 8.14 membandingkan antara TDM synchronous dan TDM statistik. Gambar tersebut memperlihatkan empat sumber data serta menunjukkan data yang dihasilkan dalam empat kali jatah waktu ( $t_0, t_1, t_2, t_3$ ). Dalam multiplexer synchronous, multiplexer memiliki rate output efektif sebesar empat kali dari rate data pada perangkat input. Pada setiap peluang waktu, data dikumpulkan dari ke empat sumber dan dikirim keluar. Sebagai contoh, pada peluang waktu pertama, sumber C dan D tidak menghasilkan data. Sehingga, dua dari empat peluang waktu yang digunakan oleh multiplexer menghasilkan transmisi dalam keadaan kosong.

Sebaliknya, multiplexer statistik tidak akan mengirim peluang waktu yang kosong bila ada data yang dikirim. Jadi, selama peluang waktu pertama itu, hanya diberikan untuk A dan B saja yang dikirim. Bagaimanapun juga, posisi signifikan dari peluang menjadi hilang dalam skema ini. Tidak diketahui sebelumnya data yang mana dari sumber yang derada pada peluang tertentu. Karena data yang tiba serta didistribusikan melalui saluran I/O tidak bisa diperkirakan, informasi alamat diperlukan untuk memastikan agar pengirimannya tepat. Jadi, ada lebih banyak overhead per jatah pada TDM statistik karena masing-masing jatah membawa alamat sekaligus data.