

MATEMATIK DI DALAM INDUSTRI: PERANCANGAN DAN REKABENTUK SISTEM-SISTEM TELEKOMUNIKASI*

OLEH
M. NAIM YUNUS

Binariang S/B
Tingkat 2, 11 Jalan Tandang
46050 Petaling Jaya
Selangor DE
Malaysia.

Abstrak. Sebarang perancangan dan rekabentuk sistem-sistem telekomunikasi biasanya melibatkan isu-isu mengenai penggunaan secara optimum sumber-sumber yang terhad. Di dalam kertas ini saya cuba untuk menghuraikan di dalam bahasa yang mudah difahami oleh semua orang, beberapa sumbangan penting matematik di dalam telekomunikasi. Masa depan matematik di dalam telekomunikasi juga disentuh secara ringkas.

Kata kunci: telekomunikasi, rangkaian, matematik, industri.

1. PENGENALAN

Sejak hari-hari permulaannya lagi, sistem-sistem telekomunikasi dibangunkan berlandaskan satu prinsip yang memerlukan sumber-sumber terhad di dalam rangkaian (litar, peranti pensuisan, ruang penimbal, dan lain-lain) dimanfaatkan dengan cara yang paling cekap supaya perkhidmatan yang diberikan kepada pengguna mencapai kualiti yang diterima semua. Tugas ini menjadi lebih mencabar lagi jika diambil kira bahawa pengendali rangkaian telekomunikasi juga perlu beroperasi sebagai satu perniagaan yang

*Kertaskerja ini adalah kertaskerja jemputan yang telah dibentang dalam Simposium Kebangsaan Sains Matematik Malaysia Ke-5 (UTM Sekudai : 20 - 22 Disember, 1992)

yang berpuas hati dengan perkhidmatan telekomunikasi yang diberikan.

Dalam pada itu, penggunaan sumber-sumber rangkaian yang intensif juga boleh membuat sumber-sumber tersebut tidak mencukupi untuk menampung permintaan yang tinggi, dan ini boleh menyebabkan kualiti perkhidmatan yang diberi merosot. Masalah ini akan menjadi bertambah buruk dan kritikal disebabkan sifat permintaan terhadap sumber-sumber rangkaian yang sukar diramal. Malah ia mempunyai ciri-ciri kerawakan yang ketara. Oleh yang demikian, amatlah penting bagi pengendali rangkaian untuk mengenalpasti amaun minimum bagi sumber-sumber rangkaian yang perlu disediakan, demi untuk memenuhi permintaan supaya kualiti perkhidmatan yang diberikan adalah mencapai tahap yang dikehendaki.

Ciri ketibaan panggilan yang stokastik, sama ada panggilan telefon biasa, penghantaran faks atau data, menyebabkan berlakunya kesesakan pada bahagian-bahagian tertentu rangkaian. Bahagian-bahagian inilah yang boleh memanfaatkan sebarang usaha untuk mempertingkatkan kecekapan penggunaan sumber-sumber rangkaian. Dengan itu, bidang telekomunikasi adalah satu bidang yang sesuai untuk ahli matematik bagi memperagakan kebolehan dan bakat mereka.

Penggunaan kaedah-kaedah matematik adalah amat ketara di dalam perancangan rangkaian telekomunikasi. Contohnya, kita dapati:

Teori kebarangkalian. Untuk penganalisan model-model trafik dan model-model baris-gilir yang terhasil.

Statistik. Untuk memerihai dan mengukur aliran trafik.

Teori pengoptimuman. Untuk rekabentuk rangkaian dan pemprosesan trafik yang optimum.

Penyelakuan. Untuk mengujikaji proses-proses trafik.

Analisis rangkaian. Untuk menganalisis penghalaan trafik.

Sains pengurusan. Untuk mengkaji prestasi ekonomi dan perancangan ibusawat dan rangkaian-rangkaian.

Senibina sistem. Di dalam aspek-aspek pengagihan sumber-sumber seperti litar, ibusawat, penimbal dan lain-lain.

Di dalam Bahagian II saya akan menghuraikan secara ringkas beberapa pendekatan penggunaan matematik yang telah berjaya digunakan di dalam pemodelan rangkaian. Bahagian III pula menyentuh tentang penggunaan matematik di dalam rekabentuk rangkaian dan penghalaan trafik. Di dalam Bahagian IV saya cuba bincangkan masa depan matematik di dalam telekomunikasi, dengan mengambil kira kemunculan penemuan-penemuan dan teknologi-teknologi baru yang canggih. Sebagai penutup saya sentuh beberapa isu yang menarik di dalam Bahagian V.

II. PEMODELAN RANGKAIAN

Penggunaan matematik yang ketara di dalam perancangan sistem telekomunikasi boleh dikatakan bermula di dalam usaha-usaha untuk memodelkan rangkaian. Lebih kurang 80 tahun yang lalu, seorang jurutera telefon bernama Agnes Karrup Erlang (1.1.1878 - 3.2.1929) mula menggunakan pendekatan teori baris-gilir untuk mengkaji prestasi sistem-sistem telefon yang asas. Pada masa itu beliau bertugas di Copenhagen Telephone Company dan syarikat ini masih ujud pada masa kini sebagai syarikat telekomunikasi yang terbeasr di Denmark (ia memberi perkhidmatan telekomunikasi kepada bandaraya Copenhagen dan kawasan sekitarnya serta mempunyai 1.6 juta orang pelanggan—sebagai bandingan, Telekomunikasi Malaysia mempunyai 2.0 juta orang pelanggan).

Walau bagaimanapun, Erlang dapat menerbitkan rumus-rumus ringkas untuk prestasi sistem, iaitu rumus-rumus Erlang-B dan Erlang-C. Malah unit trafik telekomunikasi juga dinamakan erlang; satu litar dikatakan membawa 1 erlang trafik sekiranya satu panggilan selama 60 minit menggunakan litar tersebut dalam tempoh 1 jam.

Di dalam proses pemodelannya, Erlang menganggap ketibaan

panggilan-panggilan telefon di sesebuah ibusawat adalah setara dengan ketibaan pelanggan-pelanggan di dalam satu sistem baris-gilir. Pelayannya adalah litar-litar yang terdapat di ibusawat tersebut. Di dalam kes yang paling unggul, yang mana tidak terdapat sebarang kesesakan, setiap telefon dihubungkan secara terus dengan setiap telefon yang lain. Tetapi kes ini tak dapat dilaksanakan kerana jika terdapat N set telefon, maka jumlah sambungan adalah $N(N-1)/2$, dan ia akan bersifat $N^2/2$ apabila N membesar secukupnya. Kos untuk menyediakan jumlah sambungan yang sebegitu besar adalah terlalu tinggi dan tidak praktikal. Berdasarkan fakta bahawa pada bila-bila masa hanya sebilangan kecil sahaja daripada N set telefon itu digunakan, maka satu skim untuk mengongsi litar-litar yang terhad di ibusawat terpaksa diusahakan.

Apa yang Erlang lakukan adalah untuk memodelkan ketibaan-ketibaan panggilan sebagai satu proses rawak (dengan pertolongan daripada Poisson) dan masa menahan (tempoh) setiap panggilan diandaikan tertabur secara eksponen negatif. Jika difikirkan secara mendalam, kita dapati bahawa andaian-andaian tadi adalah agak munasabah. Jika satu ibusawat mempunyai N litar, dan panggilan-panggilan yang tiba tidak dibenarkan menunggu jika kesemua litar sibuk, apa yang Erlang berjaya terbitkan adalah suatu model baris-gilir yang klasik yang dinamakan model kehilangan Erlang, atau model $M/M/N/N$ (mengikut tatatanda Kendall). Model ini membolehkan rumus Erlang-B diterbitkan yang memberikan kebarangkalian sesuatu panggilan yang tiba itu hilang disebabkan kesemua N litar yang disediakan sibuk, dengan andaian bahawa parameter-parameter untuk proses ketibaan Poisson dan untuk taburan eksponen negatif bagi masa menahan diketahui. Parameter-parameter ini biasanya boleh dianggar menerusi pengukuran trafik yang berterusan.

Rumus Erlang-B membolehkan jurutera-jurutera menganggar jumlah panggilan yang akan hilang sekiranya mereka memasang N litar di sesebuah ibusawat. Seterusnya mereka boleh mengira saiz N sekiranya mereka menetapkan bahawa ibusawat itu boleh

menolak pada puratanya 2 panggilan daripada setiap satu ratus (atau 0.02 atau 2%) disebabkan kesesakan. Kaedah ini merupakan salah satu asas utama di dalam kejuruteraan teletrafik (*teletraffic = telecommunications traffic*). Malah nilai 2% di atas selalu digunakan untuk mutu servis, dan ia merupakan satu piawai yang digunakan untuk merancang sebarang rangkaian telefon.

Seperkara lagi yang menarik adalah kemajuan teknologi ibusawat. Kita akan menggunakan istilah am *suis* untuk ibusawat kerana peranan utama ibusawat ialah untuk mensuiskan panggilan-panggilan ke destinasi-destinasinya. Pada masa yang lalu suis-suis merupakan raksaksa elektromekanikal yang memerlukan ruang yang luas dan menggunakan banyak elektrik (ia juga mengeluarkan bunyi bising *klik* yang bertalu-talu apabila setiap peranti suis mekanikal beroperasi di dalam proses menyambung dan memutuskan panggilan-panggilan). Tetapi pada masa kini suis adalah pada hakikatnya adalah komputer. Rupabentuk fizikalnya pun hampir sama dengan komputer. Peranti-peranti suis bukan lagi elektromekanikal, tetapi berbentuk cip-cip di atas kad-kad, seperti kad-kad dalam komputer. Apabila anda memasuki bilik ibusawat, anda berasa seolah-olah berada dalam bilik komputer yang bebas habuk (anda mungkin perlu membuka kasut atau terpaksa memakai stokin kasut). Bunyi dengungan angin dari mesin penyaman udara, cahaya-cahaya kecil pelbagai warna yang berkelip-kelip, bau udara yang unik (*bau ozon?*), desingan pita-pita magnetik yang berputar, semuanya ada di situ.

Apa yang ingin saya tekankan di sini adalah apabila persamaan di antara suis telekomunikasi dan komputer dari segi fungsi mulai kabur, analisis baris-gilir yang dibangunkan untuk sistem komputer boleh dipanjangkan kepada sistem telekomunikasi. Analisis sebegini boleh menolong kita di dalam penilaian prestasi yang akan membantu jurutera-jurutera di dalam kerja-kerja rekabentuk mereka.

Di dalam perancangan rangkaian selular pula,keadaannya berlainan sekali. Pelanggan-pelanggan menggunakan telefon tangan atau mudah-alih dan mereka bebas ke sana dan ke mari. Bagi

perancangan rangkaian, tugas penting adalah menganggar taburan pelanggan dari masa ke masa supaya stesen-stesen pangkalan dapat didirikan di lokasi yang strategik. Stesen-stesen inilah yang akan berhubung dengan telefon-telefon tangan menerusi gelombang elektromagnetik apabila ada panggilan daripada dan kepada telefon-telefon tersebut. Di dalam pemodelan setiap stesen diandai dapat membuat liputan untuk satu kawasan yang berbentuk heksagon. Bentuk heksagon dipilih kerana bentuk ini dapat memenuhi mana-mana ruang dengan tepat (cuba lihat indung madu pada sarang lebah). Satu heksagon, atau satu kawasan yang diliputi oleh satu stesen, dinamakan sel. Kemudian frekuensi-frekuensi radio yang amat terhad bilangannya perlu diagih-agihkan di antara sel-sel ini. Tetapi frekuensi-frekuensi yang sama tidak boleh diletakkan berdekatan untuk menghindari gangguan radio. Bagaimanakah cara untuk membahagi-bahagi frekuensi ini secara optimum dengan gangguan radio minimum? Satu lagi masalah matematik! Kaedah yang digunakan sekarang kebanyakannya berbentuk heuristik dan boleh diperbaiki, tetapi masalah pengagihan frekuensi ini nampaknya *NP-complete*.

Apabila lokasi-lokasi stesen telah dikenalpasti, apakah topologi paling sesuai untuk menghubungkannya kepada suis: bentuk gelang, rantai, bintang? Masalah ini memerlukan analisis matematik dengan objektif meminimumkan kos tanpa dikompromikan mutu perkhidmatan yang dihajati.

III. REKABENTUK RANGKAIAN DAN PENGHALAAN TRAFIK

Matlamat-matlamat utama perancangan rangkaian adalah

- (1) untuk mengoptimumkan struktur rangkaian,
- (2) untuk mengoptimumkan operasi rangkaian,
- (3) untuk merancang sumber-sumber rangkaian, dan
- (4) untuk menyediakan pengurusan rangkaian yang cekap

Matlamat pertama dan kedua banyak bergantung ke atas taburan beban trafik di dalam rangkaian (ini memerlukan kaedah-kaedah matematik untuk tentukan). Matlamat ketiga pula bergantung ke atas keperluan atau standard perkhidmatan yang ditetapkan

oleh pengendali rangkaian. Apabila sesuatu rangkaian itu dapat dimodelkan, tugas untuk merekabentuk topologinya dan untuk menentukan penghalaan trafik boleh dimulakan. Malah model-model matematik telah digunakan dengan jayanya di dalam masalah-masalah seperti:

- (1) rekabentuk optimum bagi rangkaian penghalaan alternatif,
- (2) penentuan aliran maksimum bagi trafik yang merentasi rangkaian, dan
- (3) pengiraan laluan terdekat di antara sepasang suis di dalam rangkaian.

Rangkaian penghalaan alternatif adalah amat penting di dalam rekabentuk rangkaian klasik kerana ia menyediakan laluan alternatif bagi panggilan-panggilan sekiranya laluan terus sesak. Adalah kebiasaan untuk menyediakan sehingga tiga laluan alternatif. Proses merekabentuk rangkaian ini melibatkan pengiraan jumlah minimum bagi litar-litar yang harus dipasang di dalam laluan-laluan supaya mutu perkhidmatan keseluruhan rangkaian dicapai. Proses ini tidak semudah yang disangka kerana trafik yang limpah dari laluan terus bukan lagi bersifat Poisson. Malah trafik limpah ini perlu dimodelkan secara berasingan dengan menggunakan andaian-andaian lain. Di dalam rangkaian penghalaan alternatif ini, penghalaan adalah berhierarki; cuba Laluan A, jika sibuk cuba Laluan B, jika sibuk cuba Laluan C, dan seterusnya.

Sejak beberapa tahun kebelakangan ini, sejenis penghalaan tanpa hierarki yang dikenali sebagai penghalaan dinamik telah diselidiki dan digunakan. Penggunaan yang meluas berlaku di Amerika Utara dan Eropah. Konsepnya mudah sekali; tidak ujud hierarki seperti Laluan A sebagai pilihan pertama, Laluan B sebagai pilihan kedua, dan sebagainya. Malah semua laluan diberi taraf yang sama. Trafik dari satu titik ke satu titik yang lain dihalakan mengikut laluan termurah (terdekat) berdasarkan keadaan semasa. Sebagai contohnya, ambil negara kita Malaysia. Katakan pada hari Jumaat laluan dari Pulau Pinang ke Kuala Lumpur sesak. Disebabkan Kelantan cuti pada hari tersebut, maka trafik

dari Pulau Pinang ke Kuala Lumpur boleh dihalakan ke Kota Baru sebelum ke Kuala Lumpur. Keputusan untuk membuat penghalaan sebegini dibuat oleh komputer pusat yang mengawal suis-suis yang terlibat di seluruh negara. Adalah lebih baik untuk menghalakan trafik melalui laluan yang jauh daripada kehilangan trafik tersebut; demi untuk memberikan perkhidmatan yang bermutu tinggi kepada pelanggan. Penentuan mengenai laluan mana yang paling baik digunakan di dalam penghalaan dinamik adalah satu tugas matematik. Biasanya pelbagai pilihan penghalaan tersimpan di dalam satu pangkalan data.

Sejak akhir-akhir ini satu jenis penghalaan tanpa hierarki baru yang lebih canggih mula dibangunkan. Ia dipanggil penghalaan suai dan ia berkebolehan untuk menghalakan trafik pada masa nyata berdasarkan pengawasan beban trafik pada suis-suis yang terlibat, yang juga dijalankan secara masa nyata. Pada setiap lima minit, misalnya, satu komputer pusat akan mengemaskini keadaan trafik di dalam rangkaian dan dengan serta-merta mengeluarkan arahan-arahan penghalaan trafik kepada suis-suis bagi mengelakan kesesakan. Algoritma yang digunakan oleh komputer tersebut untuk menentukan laluan-laluan baru memang merupakan satu sumbangan matematik.

Hasil pendekatan seperti di atas dapat dilihat dengan jelas apabila berlaku gempa bumi di San Francisco beberapa tahun yang lalu yang mana rangkaian telefon di sana dapat 'mengubati' dirinya sendiri di dalam tempoh yang singkat.

Masalah-masalah seperti masalah aliran maksimum dan laluan terpendek memang merupakan masalah-masalah klasik yang mana algoritma-algoritma yang terbukti prestasinya sudah lama ujud. Kita harus mula sedar bahawa pengoptimuman rangkaian memang melibatkan banyak matematik, dan kemunculan algoritma yang cekap seperti algoritma Karmarkar memang dialu-alukan.

Disamping pendekatan beranalisis, penyelakuan komputer juga biasa digunakan untuk mengkaji prestasi rangkaian. Rekabentuk-rekabentuk rangkaian diselakukan dengan menggunakan keadaan

nyata (beban trafik, penghalaan, struktur, dan lain-lain) supaya kecekapannya, keboleharapannya dan kelasakannya dapat dikaji. Kadangkala penyelakuan merupakan satu-satunya kaedah yang boleh digunakan apabila pemodelan matematik menjadi terlalu sukar.

Walaupun kita berjaya merumuskan satu model matematik, namun penyelesaian bagi persamaan-persamaan yang diterbitkan masih belum terjamin. Kesukaran di dalam penyelesaian persamaan-persamaan tersebut membawa kepada kepopularan penyelakuan. Perlu diingat bahawa penyelakuan pun ada penyakit-penyakitnya tersendiri, seperti kesukaran pengaturcaraan, masa CPU yang berlebihan, keperluan ruang ingatan dan penimbal yang berlebihan, kesulitan menyelakukan peristiwa-peristiwa berkebarangkalian kecil, masalah dengan penjana nombor pseudorawak, dan lain-lain.

IV. MASA DEPAN

Perkhidmatan-perkhidmatan telekomunikasi masa depan akan mempunyai tiga ciri utama: visual, cerdas dan peribadi (*visual, intelligent, personalized-VIP*). Rangkaian VIP akan berupaya menyediakan pelbagai perkhidmatan cerdas dengan dilengkapi sifat-sifat multimedia dan boleh dicapai oleh sesiapa pun dari mana-mana lokasi pada bila-bila masa. Untuk memenuhi keperluan ini adalah merupakan satu tugas berat terhadap pengendali rangkaian. Ia perlu menyediakan satu rangkaian yang

- (1) boleh membawa trafik heterogen yang amat banyak pada kelajuan yang amat tinggi, dan
- (2) mempunyai kecerdikan untuk menghalakan trafik kepada pengguna pada bila-bila masa, walau di mana dia berada sekalipun.

Buat masa kini, adalah satu kebiasaan untuk membawa trafik dari sumber berlainan melalui jalan yang berlainan. Misalnya Kabel A dikhaskan untuk membawa suara manakala Kabel B untuk membawa data. Apabila orang yang menggunakan telefon berhenti bercakap untuk sejenak, Kabel A tidak membawa

apa-apa trafik. Begitu juga bagi Kabel B apabila tiada data dihantar. Adalah lebih baik jika satu kabel sahaja digunakan, dan data dihantar apabila orang yang bercakap berhenti sejenak (iaitu dicelah-celah percakapan). Jadi untuk mengujudkan satu sistem yang cekap, adalah perlu setiap litar digunakan sepenuhnya. Malah satu cara perlu dicari untuk membolehkan pelbagai jenis trafik dibawa menerusi satu *super-paip*. Trafik-trafik ini berkongsi *ruang* yang ada di dalam paip tersebut. Di dalam peristilahan teknikal, ruang ini disebut sebagai lebar jalur, manakala *super-paip* tadi biasanya adalah kabel optik gentian atau saluran mikrogelombang.

Pelbagai jenis trafik yang berlainan ciri ujud disebabkan

- (1) **perbualan telefon** : memerlukan lebar jalur rendah; berlaku secara rawak dan tempohnya pula mungkin tertabur secara eksponen negatif
- (2) **penghantaran faks** : memerlukan lebar jalur rendah; berlaku secara rawak, tetapi tempohnya boleh dikatakan dapat diramal
- (3) **imej pegun** : memerlukan lebar jalur tinggi; berlaku secara rawak tetapi untuk tempoh yang singkat
- (4) **video bergerak** : memerlukan lebar jalur tinggi; berlaku mengikut jadual (mungkin juga rawak) dan tempohnya juga mungkin rawak
- (5) **penghantaran data** : memerlukan lebar jalur tinggi; tetapi untuk seketika dan berlaku secara rawak

Masalah yang menarik, tetapi perlu diselesaikan, adalah bagaimana hendak memuatkan secara optimum pelbagai jenis trafik dengan pelbagai ciri, seperti di atas, ke dalam satu *super-paip*. Apa yang harus diingat adalah sesetengah trafik tidak boleh dilenyahkan (seperti suara), dan sesetengahnya pula sensitif terhadap kehilangan mana-mana bahagian daripadanya (seperti fail komputer). Satu lagi ciri penting rangkaian-rangkaian masa depan adalah kebolehan untuk menghalakan trafik kepada sesaorang, dan bukan ke suatu lokasi, seperti telefon di rumah atau pejabat kita. Ini boleh dicapai melalui dua pendekatan

- (1) sistem selular: sistem selular sekarang ini membolehkan pengguna membawa telefon tangan bersamanya, jadi panggilan-panggilan akan sampai kepadanya, kecuali jika telefonnya tak dapat dikesan oleh sistem.
- (2) perisian sistem: perisian di dalam sistem membolehkan panggilan-panggilan dihalakan kepada pengguna berdasarkan arahan yang diberikan oleh pengguna tersebut kepada sistem.

Untuk kedua-dua pendekatan, rangkaian-rangkaian mestilah cerdik dan mempunyai senibina yang sesuai. Banyak trafik bergerak ke sana ke mari; bukan sahaja trafik yang membawa maklumat bagi pihak pelanggan, tetapi trafik yang terlibat dengan pengisyaratan untuk mengujudkan sambungan-sambungan, dan trafik yang terlibat dengan pengurusan rangkaian. Ini bermakna bahawa topologi atau senibina rangkaian mestilah direkabentuk secara optimum untuk membolehkan pergerakan trafik yang banyak dengan melibatkan lengah minimum.

V. PENUTUP

Bidang telekomunikasi, disebabkan ciri-ciri semulajadinya, adalah merupakan satu bidang yang dipenuhi dengan pelbagai cabaran, sesuai untuk diterokai oleh penyelidik-penyelidik dan pakar-pakar matematik. Masalah-masalah berkaitan dengan pengagihan optimum dan kawalan sumber yang begitu ketara di dalam telekomunikasi membuatnya satu bidang yang amat menarik untuk diceburi (malah persatuan penyelidikan operasi yang terkemuka, the *Operations Research Society of America*(ORSA), telah memulakan satu persidangan tahunan khas untuk telekomunikasi, dengan dipenuhi kertas-kertas mengenai penghalan dinamik, perhubungan bingkisan, rangkaian-rangkaian baris-gilir, analisis kebarangkalian bagi pengiraan selari/teragih, algoritma kombinatorial, kaedah-kaedah Monte Carlo, rangkaian-rangkaian hilang, dan sebagainya).

Dari segi ringgit dan sen pula, telekomunikasi adalah satu industri yang bernilai berbilion-bilion ringgit dan ia menyediakan satu

infrastruktur yang amat penting di dalam pembangunan dan kemajuan negara kita. Sekiranya penggunaan kaedah-kaedah matematik dapat menolong mengurangkan perbelanjaan modal dan operasi untuk beberapa peratus sahaja, namun ia masih bermakna penjimatan wang yang amat besar. Kesan ini sudah dimanfaatkan di Amerika Syarikat oleh syarikat-syarikat telekomunikasi gergasi di sana.

Peralatan yang moden dan canggih yang digunakan di dalam rangkaian-rangkaian telekomunikasi juga membolehkan pengutipan pelbagai data berkenaan dengan maklumat yang bergerak di dalam rangkaian dan yang berkenaan dengan prestasi rangkaian. Bank data ini adalah merupakan satu lombong emas untuk kita terokai. Kita mempunyai kelengkapan (model-model, persamaan-persamaan?) untuk membolehkan kita menukar data-data yang belum diproses ini kepada maklumat yang amat berharga bagi sesetengah pihak.

Saya tidak menganggap bahawa makalah yang pendek ini telah merangkumi kesemua aspek penggunaan matematik di dalam perancangan sistem telekomunikasi. Mungkin saya cuma berjaya menyemai minat anda untuk menghalakan kebolehan dan bakat anda kepada telekomunikasi. Untuk memutakhirkan pengetahuan anda tentang penggunaan matematik di dalam bidang ini, anda perlulah membiasakan diri dengan jurnal-jurnal atau penerbitan-penerbitan di dalam penyelidikan operasi, matematik, sains komputer dan telekomunikasi.

Telekomunikasi akan menjadi salah satu teknologi yang paling *glamour* (jika saya dibolehkan mengguna istilah ini) apabila kita menyambut abad ke-21. Manusia mendapati bahawa adalah amat penting bagi mereka untuk memindahkan atau mencapai maklumat dengan serta-merta, pada bila-bila masa, walau di mana mereka berada. Telekomunikasi sudah semestinya akan memainkan peranan yang amat penting di dalam usaha kita untuk mencapai objektif-objektif Wawasan 2020, disamping memberi pulangan dan ganjaran yang tinggi kepada pelabur-pelabur, ahli-ahli teknokrat dan teknologinya. Sesiapa yang mempunyai

kebolehan menganalisis mempunyai peluang yang amat baik untuk ikut serta dan memperolehi habuan-habuan yang tersedia. Saya rasa peluang keemasan ini tidak seharusnya disesiakan.