

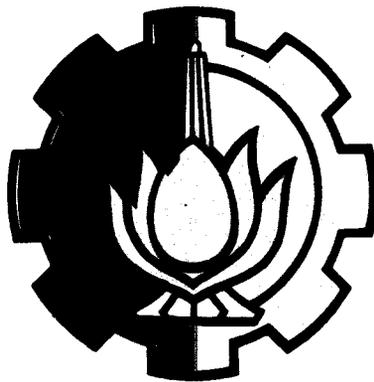
3100096007336

ECHO CANCELLATION DALAM TRANSMISI DATA DAN SUARA

TUGAS AKHIR

| | |
|---------------------|-------------|
| PERPUSTAKAAN ITS | |
| Tgl. Terima | 29 APR 1994 |
| Terima Dari | TA |
| No. Agenda Prp. | 2011 / B |

RSE
621 387 8
Har
2-1
1994



Oleh :

HARDIADI
NRP : 2882200976

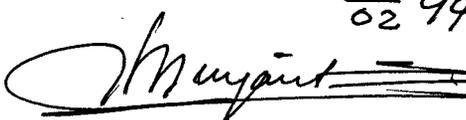
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1994

ECHO CANCELLATION DALAM TRANSMISI DATA DAN SUARA

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Elektro
Pada
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui
Dosen Pembimbing**


22
02 94

DR. Ir. Agus Mulyanto

NIP. 130 422 813

**SURABAYA,
PEBRUARI, 1994**

ABSTRAK

Kebutuhan akan jasa telekomunikasi yang semakin meningkat menyebabkan kepadatan trafik semakin tinggi. Sejalan dengan itu maka diperlukan sarana telekomunikasi yang dapat memberikan pelayanan yang lebih memuaskan, keandalan yang lebih baik dan juga kualitas yang tinggi. Untuk lebih meningkatkan kualitas dari saluran transmisi pada jaringan telepon maka diperlukan peralatan echo cancellation untuk menghilangkan efek echo pada saluran transmisi yang disebabkan oleh tidak sesuainya impedansi saluran transmisi dengan peralatan telekomunikasi sehingga akan timbul pantulan (echo) yang akan mengganggu jalannya komunikasi. Sumber-sumber echo dalam jaringan telepon yang biasa dijumpai adalah hybrid transformer (merupakan interface untuk mengadaptasi sirkuit dua-kawat dengan empat-kawat), ujung-ujung sirkuit, ketidakteraturan saluran, dan junction-junction antara fasilitas-fasilitas yang berbeda.

Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas tentang echo dan pengaruhnya dalam jaringan telepon, serta metoda-metoda yang digunakan untuk mengeliminasi echo dalam transmisi data dan suara disamping itu dijelaskan pula mengenai pertimbangan perencanaan dan status perkembangan dari echo cancellation.

Echo canceler pada dasarnya merupakan peralatan yang digunakan untuk menghilangkan echo dengan cara membuat tiruan echo dan selanjutnya dikurangkan dengan echonya sendiri sehingga diperoleh sinyal informasi aslinya. Tiruan echo ini dihasilkan oleh filter adaptif, dimana merupakan filter yang menyesuaikan parameter-parameter inputnya sesuai dengan kondisi lingkungan.

Dari hasil studi dapat disimpulkan perhitungan rumus dengan menggunakan metoda echo cancellation diperoleh mean-square error MSE sebesar -40 dB, sedangkan tanpa metoda echo cancellation diperoleh MSE sebesar 2.9842 dB. Dengan demikian maka metoda echo cancellation dapat menekan error sebesar 42.9842 dB.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Dengan mengucapkan syukur ke hadirat Illahi Robbi, karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis berhasil menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul :

ECHO CANCELLATION DALAM TRANSMISI DATA DAN SUARA

Materi utama tugas akhir ini adalah metoda untuk mengeliminasi (menghilangkan) efek echo dalam transmisi data dan suara sehingga diperoleh suatu kualitas transmisi yang baik. Disamping itu juga dijelaskan tentang pertimbangan perencanaan dan status perkembangan dari echo cancellation.

Tugas akhir ini merupakan prasyarat untuk menyelesaikan studi pada Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan beban kredit 6 SKS (Sistem Kredit Semester).

Akhirnya penulis berharap kiranya Allah SWT meridhai dan memberikan barokah pada Tugas Akhir ini agar bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Pebruari 1994

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bpk. DR.Ir. Agus Mulyanto, selaku dosen pembimbing tugas akhir ini yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberi masukan yang berharga sampai tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Ibu Ir. Titiek Suryani, selaku dosen wali yang telah banyak memberi pengarahan kepada penulis dalam menempuh studi di ITS.
3. Bpk. Ir. M.Aries Purnomo, selaku koordinator bidang studi Teknik Telekomunikasi.
4. Bpk. DR.Ir. Moch. Salehudin, selaku ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ITS.
5. Rekan-rekan, yang telah banyak membantu, baik berupa saran ataupun dorongan semangat dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
6. Bapak, Ibu dan saudara-saudaraku yang telah memberikan doa, semangat dan dorongan kepada penulis.

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas segala amal baik yang telah diberikan, amin.

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| Halaman Judul..... | i |
| Lembar Pengesahan..... | ii |
| Abstrak..... | iii |
| Kata Pengantar..... | iv |
| Ucapan Terima Kasih..... | v |
| Daftar Isi..... | vi |
| Daftar Gambar..... | ix |
| I. Pendahuluan..... | 1 |
| I.1. Latar belakang..... | 1 |
| I.2. Permasalahan dan pembatasan masalah..... | 2 |
| I.3. Metodologi..... | 3 |
| I.4. Tujuan pembahasan..... | 5 |
| I.5. Sistematika Penulisan Tugas Akhir..... | 5 |
| II. Echo dan pengaruhnya dalam jaringan telepon..... | 7 |
| II.1. Umum..... | 7 |
| II.2. Jaringan telepon..... | 8 |
| II.2.1. Sirkuit dua-kawat dan empat-kawat..... | 10 |
| II.2.2. Hybrid transformer..... | 14 |
| II.3. Echo dalam sirkuit telepon dan kombinasinya dengan loss dan delay..... | 18 |
| II.3.1. Echo pembicara..... | 20 |
| II.3.2. Echo pendengar..... | 21 |

| | |
|---|----|
| II.3.3. Loss..... | 21 |
| II.3.4. Delay transmisi..... | 23 |
| II.4. Gelombang berjalan pada saluran transmisi..... | 25 |
| II.5. Proses Adaptiv..... | 29 |
| III. Echo cancellation dalam transmisi suara..... | 33 |
| III.1. Umum..... | 33 |
| III.2. Sumber-sumber echo dalam jaringan telepon.... | 33 |
| III.3. Metoda-metoda pengontrolan echo..... | 38 |
| III.3.1. Pengontrolan echo dengan loss..... | 38 |
| III.3.2. Echo suppressor..... | 40 |
| III.3.3. Echo canceler..... | 42 |
| III.4. Perbandingan metoda echo cancellation..... | 48 |
| III.5. Implementasi echo cancellation..... | 49 |
| III.6. Realisasi-realisasi lain pada echo canceler.. | 51 |
| III.6.1. Realisasi filter transversal..... | 51 |
| III.6.2. Realisasi filter lattice..... | 51 |
| III.6.3. Continuous time canceler..... | 54 |
| IV. Echo cancellation dalam transmisi data..... | 56 |
| IV.1. Umum..... | 56 |
| IV.2. Transmisi digital loop subscriber..... | 60 |
| IV.2.1. Implementasi pada transceiver digital loop subscriber..... | 63 |
| IV.2.2. Baseband echo canceler..... | 66 |
| IV.3. Transmisi data voiceband..... | 70 |
| IV.3.1. Quadrature Amplitudo Modulation (QAM)..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| IV.3.2. Passband echo canceler..... | 75 |
| V. Pertimbangan perencanaan dan status perkembangan echo cancellation..... | 80 |
| V.1. Pertimbangan perencanaan dalam echo cancellation..... | 80 |
| V.1.1. Algoritma adaptasi..... | 80 |
| V.1.1.1. Least-Mean-Square (LMS)..... | 82 |
| V.1.1.2. Algoritma gradien LMS..... | 85 |
| V.1.2. Contoh perhitungan numerik..... | 89 |
| V.1.2.1. Perhitungan MSE dengan echo canceler..... | 93 |
| V.1.2.2. Perhitungan MSE tanpa echo canceler..... | 93 |
| V.1.2.3. Perhitungan eigenvalue dari matrik ϕ | 94 |
| V.1.2.4. Penentuan parameter β dari algoritma adaptasi..... | 95 |
| V.2. Perkembangan baru dalam echo cancellation..... | 97 |
| V.2.1. Echo cancellation nonlinear..... | 97 |
| V.2.2. Percepatan adaptasi..... | 98 |
| V.2.2.1. Algoritma gear-shift..... | 100 |
| V.2.2.2. Filter lattice echo canceler..... | 101 |
| V.2.2.3. Referensi adaptiv echo canceler..... | 103 |
| VI. Penutup..... | 105 |
| VI.1. Kesimpulan..... | 105 |
| VI.2. Saran..... | 107 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 108 |
| LAMPIRAN..... | 110 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--------|---|
| 2-1 | Sirkit dua kawat dengan tiga pengulang..... 11 |
| 2-2 | Sirkit empat-kawat dengan empat pengulang..... 13 |
| 2-3 | Dua implementasi pada fungsi hybrid..... 14 |
| 2-4 | Sumber-sumber dan jenis-jenis echo dalam jaringan telepon..... 19 |
| 2-5 | Ketentuan yang digunakan dalam teori saluran transmisi..... 26 |
| 2-6 | Tegangan dan arus pada gelombang berjalan..... 26 |
| 2-7 | Skema filter adaptiv..... 29 |
| 2-8 | Aplikasi filter adaptiv..... 32 |
| 3-1 | Hubungan telepon sederhana..... 34 |
| 3-2 | Model matematis sederhana pada echo pendengar... 37 |
| 3-3 | Prinsip echo suppressor..... 41 |
| 3-4 | Prinsip echo canceler..... 43 |
| 3-5 | Struktur echo canceler..... 45 |
| 3-6 | Konfigurasi terpisah echo canceler untuk dua arah..... 48 |
| 3-7 | Photomicrograph dari echo canceler..... 50 |
| 3-8 | Echo canceler berdasarkan pada filter lattice... 52 |
| 3-9 | Dua tap continuous time echo canceler..... 54 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4-1 | Aplikasi echo cancellation pada transmisi digital loop subscriber..... | 58 |
| 4-2 | Aplikasi echo cancellation pada modem data voiceband full-duplex..... | 58 |
| 4-3 | Konfigurasi echo cancellation untuk transmisi data full-duplex..... | 60 |
| 4-4 | Metoda FDM untuk transmisi data full-duplex..... | 61 |
| 4-5 | Metoda TCM untuk transmisi data full-duplex..... | 61 |
| 4-6 | Blok diagram echo cancellation dari transceiver loop subscriber..... | 65 |
| 4-7 | Interleave data transmisi echo canceler..... | 68 |
| 4-8 | Spektra dari sinyal untuk QAM..... | 72 |
| 4-9 | Prinsip QAM..... | 74 |
| 4-10 | Respons filter lintasan echo untuk pulsa single modulasi..... | 76 |
| 4-11 | Interleave kompleks baseband echo canceler dalam transmisi data passband..... | 78 |
| 5-1 | Model contoh perhitungan..... | 89 |
| 5-2 | Pengaruh parameter β terhadap kecepatan konvergensi dan MSE..... | 96 |
| 5-3 | Referensi adaptiv baseband echo canceler..... | 104 |

BAB I. PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan semakin meningkatnya penggunaan jasa telekomunikasi, maka diperlukan suatu sistem telekomunikasi yang handal. Termasuk diantaranya adalah jaringan telepon yang mempunyai kualitas transmisi yang baik. Tetapi ada beberapa faktor yang menyebabkan turunnya kualitas tersebut. Salah satu dari faktor tersebut adalah efek echo (pantulan) yang diakibatkan oleh tidak matchnya saluran transmisi dengan peralatan komunikasi, sehingga akan timbul pantulan, dimana hal ini akan mengganggu jalannya komunikasi. Dengan demikian kualitas dari jaringan telepon akan berkurang.

Oleh karena kebutuhan akan jasa telekomunikasi semakin meningkat yang menyebabkan kepadatan trafik semakin tinggi, sejalan dengan itu maka diperlukan sarana telekomunikasi yang dapat memberikan pelayanan yang lebih memuaskan, keandalan yang lebih baik dan juga kualitas yang tinggi. Untuk mendukung itu semua maka diperlukan jaringan telepon yang baik kualitasnya. Untuk lebih meningkatkan kualitas dari saluran transmisi pada jaringan telepon maka diperlukan peralatan echo cancellation untuk menghilangkan

efek echo pada saluran transmisi yang disebabkan oleh tidak matchnya saluran transmisi dengan peralatan komunikasi.

Peralatan telepon merupakan salah satu sarana telekomunikasi yang telah berkembang sedemikian pesat dan hampir menjangkau seluruh pelosok dunia. Diawali dengan hubungan melalui sistem jaringan terrestrial hingga pada penggunaan satelit komunikasi. Dimana semua peralatan tersebut dan media transmisi mempunyai delay transmisi.

Sebenarnya delay transmisi bukan suatu masalah yang serius dalam komunikasi telepon, tetapi gangguan-gangguan subyektif terhadap suatu percakapan telepon yang ditimbulkan oleh echo-echo dibawah kondisi-kondisi tertentu meningkat cukup besar sesuai peningkatan delay, sedangkan echo-echo yang dibangkitkan dalam jaringan telepon yang bersumber dari tidak matchnya saluran transmisi dengan peralatan telekomunikasi sampai saat ini belum dapat dihindari secara sempurna. Oleh karena itu, disini dibutuhkan perlakuan-perlakuan khusus terhadap echo-echo tersebut sehingga kehadirannya dalam sinyal percakapan telepon dapat ditolerir. Dalam hal ini digunakan alat pengontrol echo yang disisipkan dalam sirkit telepon, peralatan ini dikenal dengan nama echo canceler.

I.2. PERMASALAHAN DAN PEMBATASAN MASALAH

Dalam Tugas Akhir ini akan dikaji tentang metoda

echo cancellation yang digunakan untuk menghilangkan echo dalam transmisi data dan suara yang berorientasi pada peningkatan kualitas transmisi. Yaitu dengan menggunakan filter adaptiv, dimana merupakan filter yang menyesuaikan parameter-parameter inputnya sesuai dengan kondisi lingkungan. Disamping itu juga akan dikaji tentang perencanaan dan status perkembangan dari echo cancellation.

Dalam Tugas Akhir ini batasan masalahnya adalah bagaimana mengeliminasi (menghilangkan) efek echo dalam transmisi data dan suara dalam jaringan telepon, sehingga diperoleh kualitas transmisi yang baik.

I.3. METODOLOGI

Penyusunan buku Tugas Akhir ini bersifat studi literatur yang membahas bahan-bahan dari buku-buku literatur sistem komunikasi, diantaranya buku-buku mengenai transmisi gelombang elektromagnetik, pengolahan sinyal digital, transmisi data, sistem komunikasi khususnya sistem komunikasi telepon.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

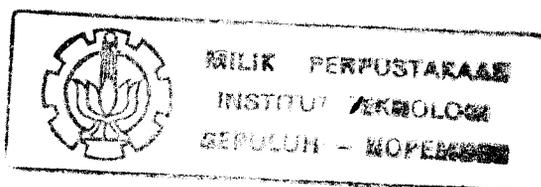
- Studi literatur
- Pengumpulan dan pengolahan data
- Pembahasan
- Penyusunan naskah

Langkah pertama dalam penulisan tugas akhir ini adalah mempelajari teori penunjang yang berhubungan dengan echo cancellation. Yaitu mempelajari echo dan pengaruhnya dalam jaringan telepon, diantaranya sumber-sumber echo yang lazim dijumpai dalam jaringan telepon yang menyebabkan timbulnya efek echo. Selanjutnya mempelajari tentang perilaku gelombang berjalan pada saluran transmisi. Dan terakhir mempelajari tentang proses adaptiv pada penggunaan filter adaptiv dalam echo cancellation, dimana pada filter adaptiv parameter-parameter inputnya berubah menyesuaikan dengan kondisi lingkungan. Sedangkan jenis filter yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah filter transversal dan filter lattice.

Langkah kedua, membahas tentang metoda-metoda pengontrolan echo dalam transmisi suara serta implementasinya pada jaringan telepon. Metoda-metoda yang digunakan dalam pengontrolan echo ini diantaranya metoda Via Net Loss, echo supressor dan echo canceler. Disamping itu juga dipelajari realisasi-realisisi lain yang digunakan pada echo canceler.

Langkah selanjutnya, membahas tentang aplikasi echo cancellation dalam transmisi data serta implementasinya. Dimana dalam hal ini menggunakan sinyal baseband dan passband dalam transmisi data.

Langkah terakhir, yaitu pertimbangan-pertimbangan



dalam perencanaan echo cancellation serta status perkembangannya. Disini dijelaskan mengenai algoritma-algoritma adaptasi yang digunakan serta pengaruhnya dalam echo cancellation, serta adaptasi pada echo cancellation yang non linear.

I.4. TUJUAN PEMBAHASAN

Untuk mempelajari dan memahami metoda echo cancellation untuk menghilangkan efek echo dalam saluran transmisi, khususnya transmisi data dan suara dalam jaringan telepon, sehingga diperoleh kualitas transmisi yang baik dalam jaringan telepon.

Dengan mempelajari echo cancellation untuk jaringan telepon, maka diharapkan dapat menjadi masukan yang berguna bagi pengembangan telekomunikasi, khususnya bidang telepon di Indonesia. Disamping itu diharapkan nantinya buku Tugas Akhir ini akan menambah melengkapi kepustakaan yang ada, dan dapat menjadi pembanding untuk pengembangan peralatan echo canceler sebagai pengontrol echo.

I.5. SISTEMATIKA PENULISAN TUGAS AKHIR

Pembahasan Tugas Akhir ini dibagi menjadi enam bab, dimana bab I merupakan pendahuluan, bab II mengandung teori penunjang tentang echo cancellation. Pada bab III dibahas mengenai echo cancellation dalam transmisi suara, kemudian

bab IV dibahas tentang echo cancellation dalam transmisi data. Selanjutnya pada bab V dibahas tentang pertimbangan perencanaan dari echo cancellation dan status perkembangannya. Dan terakhir bab VI dijadikan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

BAB II. ECHO DAN PENGARUHNYA DALAM JARINGAN TELEPON

II.1. UMUM

Dalam bab ini akan dibahas tentang echo dan pengaruhnya dalam jaringan telepon. Dimana dalam jaringan telepon akan dibahas mengenai komponen penting yang menyebabkan timbulnya echo, yaitu diantaranya sirkuit dua-kawat dan empat-kawat, dan hybrid transformer. Juga akan dijelaskan tentang echo dalam sirkuit telepon dan kombinasinya dengan noise, loss dan delay, serta gangguan-gangguan yang sering dijumpai dalam jaringan telepon.

Echo (gema) adalah peristiwa pemantulan gelombang suara oleh suatu bidang yang menghalangi arah perambatan gelombang suara tersebut. Misalnya, bila pembicara berada diantara tebing-tebing yang tinggi dan pembicara bicara keras (berteriak), maka suara pembicara akan terdengar bergema. Gema atau echo ini ditimbulkan oleh pemantulan-pemantulan suara dari tebing-tebing tersebut.

Dalam jaringan telepon hal seperti ini (echo) juga dapat terjadi. Ketika suatu sinyal dipancarkan melalui suatu jaringan telepon dan menemui paling sedikit sebuah impedansi mismatch dalam jaringan tersebut, maka sebagian

dari sinyal akan dipantulkan kembali ke arah sumbernya. Sebagian hasil yang dipantulkan ini disebut sebagai echo. Hal semacam ini jelas akan mengganggu hubungan telepon, terutama hubungan telepon jarak-jauh.

Setiap keadaan mismatch dalam jaringan akan memantulkan sebagian energi yang dipancarkan kembali ke arah sumbernya, dan ini merupakan penyebab utama terjadinya echo. Energi tersebut akan dipantulkan berulang-ulang dan seterusnya sampai didissipasi oleh saluran. Keadaan mismatch yang merupakan sumber-sumber echo yang lazim dalam jaringan telepon adalah ujung-ujung sirkit, ketidakteraturan saluran, dan junction-junction antara fasilitas-fasilitas berbeda. Dalam saluran-saluran yang dikonstruksi dengan baik, terjadinya echo-echo pada ujung sirkit umumnya masih dapat dikontrol. Yang menjadi masalah disini adalah junction antara sirkit dua-kawat dan sirkit empat-kawat, karena disinilah titik refleksi terpenting dalam jaringan telepon, dan tentu saja merupakan penyebab utama terjadinya echo. Junction ini umumnya dikerjakan menggunakan suatu sirkit hybrid dan sirkit penyeimbang, yang berfungsi sebagai pengadaptasi sirkit dua-kawat dengan sirkit empat-kawat.

II.2. JARINGAN TELEPON

Pada dasarnya suatu jaringan telepon jarak-jauh terdiri dari fasilitas-fasilitas transmisi dan sentral

telepon sebagai sarana penyambung ke setiap pelanggan. Fasilitas-fasilitas transmisi dapat berupa kombinasi dari saluran-saluran lokal, junction-junction, trunk-trunk dan radio link, tergantung jauhnya transmisi yang dilakukan.

Saluran lokal adalah sirkit dua-kawat tanpa penguat (pengulang) yang menghubungkan setiap individu pelanggan telepon ke exchange telepon lokal mereka. Junction juga merupakan sirkit dua-kawat yang bisa mengandung penguat atau tidak, tergantung jarak transmisinya. Junction ini berfungsi menghubungkan antara exchange-exchange telepon yang berdekatan ($<10\text{km}$). Sedangkan trunk dapat berupa sirkit dua-kawat atau sirkit empat-kawat dan umumnya mempunyai penguat. Trunk ini berfungsi untuk menghubungkan antara exchange-exchange ($>10\text{km}$), dimana trunk-trunk yang lebih pendek digunakan sirkit dua-kawat dan untuk trunk-trunk yang lebih panjang digunakan sirkit empat-kawat. Hal ini sesuai pertimbangan ekonomis dalam praktek.

Pada hubungan-hubungan telepon yang menggunakan sirkit dua-kawat dan empat-kawat dibutuhkan suatu peralatan untuk mengadaptasi kedua sirkit tersebut. Peralatan ini umumnya dikenal sebagai koil hybrid atau transformer hybrid yang dalam prakteknya dikombinasi dengan jaringan penyeimbang untuk membuatnya match terhadap impedansi saluran dua-kawat.

Untuk panggilan-panggilan telepon jarak-jauh

seperti interlokal atau hubungan internasional umumnya dilakukan melalui fasilitas radio link yang dapat berupa gelombang mikro atau komunikasi satelit ataupun kombinasi keduanya. Fasilitas-fasilitas transmisi ini dikombinasi dengan fasilitas-fasilitas transmisi yang telah disebutkan diatas, sehingga dapat dikatakan bahwa hubungan telepon jarak-jauh melalui sistem komunikasi satelit umumnya mencakup sirkit-sirkit dua-kawat dan empat-kawat, jaringan gelombang mikro terrestrial, dan jaringan komunikasi satelit itu sendiri.

II.2.1. SIRKIT DUA-KAWAT DAN EMPAT-KAWAT

Sirkit dua-kawat adalah adalah satu saluran transmisi yang dioperasikan melalui suatu pasangan tunggal konduktor dalam suatu kabel telepon dengan sinyal-sinyal yang melintas pada dua-arah transmisi dalam waktu bersamaan dan dalam bidang frekuensi yang sama. Sirkit dua-kawat ini bisa mengandung penguat atau tidak.

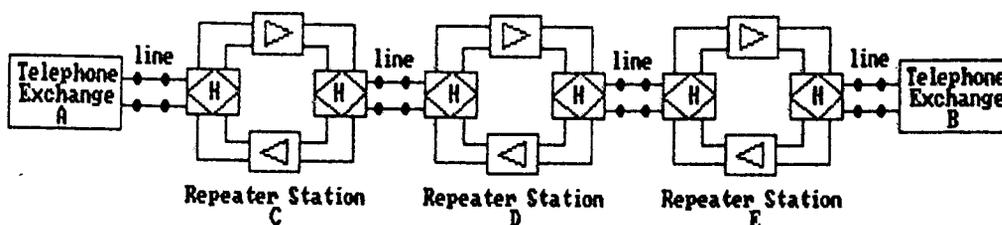
Dalam penggunaannya sebagai saluran lokal ataupun sebagai junction yang pendek sirkit dua-kawat tidak mengandung penguat. Sirkit dua-kawat baru dilengkapi penguat bila digunakan pada junction-junction yang jauh atau pada trunk-trunk yang pendek. Jika dalam sirkit digunakan penguat maka sirkit harus terbagi dalam dua bagian yang terpisah pada setiap stasiun penguat, masing-masing untuk

satu arah transmisi, karena pada dasarnya penguat adalah peralatan satu arah.

Gambar 2-1 menunjukkan suatu sirkit dua-kawat yang menghubungkan exchange telepon A dengan exchange telepon B, dimana penguatan diberikan pada tiap titik terpisah sepanjang transmisinya. Terlihat bahwa pada setiap titik penguatan, lintasan sinyal dibagi menjadi dua oleh jaringan-jaringan pembantu (terminating unit atau koil hybrid), seolah-olah seperti sirkit empat-kawat.

Problem praktis yang sering timbul disini adalah pada pengoperasian jaringan pembantu, dimana tergantung atas matching impedansi penyeimbang dengan impedansi saluran dua-kawat.

Pada umumnya dalam praktek, matching antara saluran-saluran dua-kawat dan jaringan-jaringan penyeimbang pada setiap titik penguatan sukar dicapai.



GAMBAR 2-1¹⁾

SIRKIT DUA-KAWAT DENGAN TIGA PENGULANG.

¹⁾ D. C. Green, "Transmission
Company, 1969, h. 115.

System",

A. U. Wheeler

and

Ini dikarenakan sulitnya menentukan impedansi sirkit dua-kawat. Oleh karena itu untuk sirkit dua-kawat hanya digunakan satu penguat atau satu kali penguatan saja., sehingga untuk transmisi yang cukup jauh dibatasi pemakaian sirkit dua-kawat.

Mengingat hal tersebut diatas maka untuk transmisi yang lebih panjang (>10km) dibutuhkan lintasan sirkit terpisah untuk arah kirim dan arah terima, yaitu menggunakan sirkit empat-kawat yang terdiri dari pasangan-pasangan dua-kawat dalam beberapa kabel telepon. Dalam prakteknya suatu sirkit empat-kawat bisa juga dioperasikan, secara keseluruhan atau sebagian melalui kanal tunggal dalam sistem telepon multikanal.

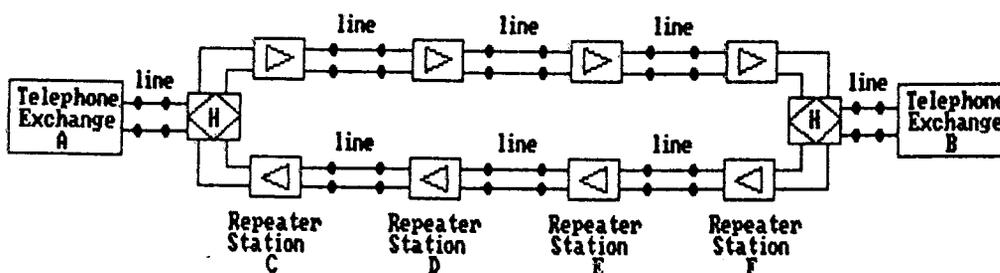
Ada dua alasan pemakaian sirkit empat-kawat untuk hubungan telepon jarak-jauh, yaitu :

- Sirkit-sirkit panjang butuh beberapa penguatan dan penguat merupakan peralatan satu arah.
- Ekonomis, karena sebagian besar panggilan jarak-jauh dimultipleks, yaitu sejumlah panggilan menggunakan bagian-bagian dari satu kanal transmisi wideband. Sedangkan multiplexing membutuhkan lintasan terpisah agar sinyal-sinyal tersebut dalam dua-arah kirim melalui slot-slot yang berbeda.

Sebagai contoh dapat dilihat dari gambar 2-2 menunjukkan suatu sirkit empat-kawat yang menghubungkan

exchange-exchange telepon A dan B ke terminal stasiun pengulang. Terlihat disini sirkuitnya terpisah dalam lintasan kirim dan terima. Sirkuit empat-kawat tersebut mengandung empat kawat, tetapi hanya dua unit terakhir yang berpengaruh yaitu satu pada setiap ujung sirkuit. Maka hanya ada satu lintasan loop yang mungkin, sehingga kemungkinan ketidakstabilannya sangat kecil. Juga ketidakstabilannya relatif tidak bertambah dengan meningkatnya panjang sirkuit dan atau jumlah penguat.

Perbandingan antara sirkuit-sirkuit dua-kawat dan empat-kawat menunjukkan bahwa sirkuit dua-kawat lebih ekonomis dalam pemakaian pasangan-pasangan kabel, sedangkan sirkuit empat-kawat hanya membutuhkan penguat yang lebih sedikit untuk suatu panjang saluran yang diberikan serta lebih mudah men-set dan memeliharanya.



GAMBAR 2-2²⁾

SIRKIT EMPAT-KAWAT DENGAN EMPATPENGULANG.

²⁾ Ibid. ,h. 110.

Prinsip dasar dari hybrid ditunjukkan dalam gambar 2-3, dimana gambar 2-3(a) adalah implementasi hybrid menggunakan dua transformer (metoda lama) dan gambar 2-3(b), adalah hybrid elektronik (metoda baru).

Pada gambar 2-3(a), diasumsikan bahwa saat ini impedansi balance Z_B adalah sama dengan impedansi beban dua-kawat Z_L , dan impedansi-impedansi empat-kawat R_1 dan R_2 juga sama. Dalam hal ini, sebaiknya pemilihan ratio gulungan untuk transformer akan membuat port 1 konyugate dengan port 2 dan port 3 konyugate dengan port 4; yaitu bila sumber melepaskan daya ke port 1 (port 3), maka bagian daya yang akan mengalir ke port 2 (port 4) dapat diabaikan. Port 1 adalah penerima sirkit empat-kawat dan port 2 adalah pengirim sirkit empat-kawat. Dua lintasan suara pembicara adalah dari port 1 ke port 3 dan dari port 3 ke port 2.

Pada dasarnya, hybrid merupakan suatu sirkit jembatan (bridge circuit). Misalkan, impedansi-impedansi dari sirkit-sirkit yang dihubungkan melalui port 1 dan port 2 adalah sama, maka suatu sinyal yang masuk melalui sirkit dua-kawat (port 3) akan menginduksi suatu emf ke dalam setiap lilitan yang dihubungkan pada port 1 dan port 2. Arus dalam sirkit-sirkit ini mempunyai magnitudo yang sama sehingga arus-arus tersebut menginduksi emf yang sama ke dalam sirkit penyeimbang (port 4) tetapi mempunyai polaritas

yang berlawanan, sehingga arus yang mengalir dalam impedansi penyeimbang sama dengan nol. Maka daya yang dilepaskan dari sirkit dua-kawat (port 3) dibagi secara merata antara port 1 dan port 2.

Bila suatu sinyal diberikan ke port 1 dari sirkit, arus yang mengalir akan menginduksi emf-emf dengan polaritas yang sama ke dalam dua lilitan port 3 dan port 4. Arus-arus yang kemudian mengalir dalam sirkit dua-kawat dan sirkit penyeimbang tersebut menginduksi emf-emf yang polaritasnya berlawanan ke dalam lilitan yang dihubungkan melintasi port 2. Jika impedansi penyeimbang diatur sama dengan impedansi saluran dua-kawat, emf-emf yang diinduksikan disini akan sama dan akan saling menghilangkan, sehingga pada port 2 arusnya akan nol. Daya sinyal yang diberikan ke port 1 dibagi antara sirkit dua-kawat dan sirkit penyeimbang.

Oleh karena impedansi sirkit dua-kawat Z_L tergantung pada perincian dari loop pelanggan (seperti ukuran, panjang, dan konfigurasi dari tap-tap jembatan), harganya bervariasi dari satu loop pelanggan ke lainnya.

Namun demikian, dalam prakteknya sangat sulit untuk membuat hybrid menjadi seimbang (match terhadap impedansi sirkit dua-kawat). Jika jaringan penyeimbang dan sirkit dua-kawat tidak dimatch secara sempurna, maka bagian ini dikopel ke bagian output dari hybrid, sehingga sebagian percakapan dari cabang terima juga akan dikopel ke cabang

pemancar. Akibatnya, sebagian percakapan tersebut akan dipancarkan kembali melalui sirkit dan muncul di sumbernya (pembicara) sebagai echo. Masalah echo ini harus selalu dipertimbangkan dalam setiap sirkit, demikian juga pada suatu sistem switching, dan kemungkinan juga disini ada masalah-masalah tambahan, mengingat pusat-pusat switching merupakan kombinasi-kombinasi dari beberapa sirkit (dalam jumlah besar). Lintasan-lintasan echo mempunyai kecenderungan yang lebih panjang apabila sirkit-sirkit mempunyai delay yang lebih lama.

Versi elektronik dari hybrid ditunjukkan dalam gambar 2-3(b), dimana transformer bukan merupakan bagian keseluruhan dari hybrid tetapi hanya digunakan untuk memisahkan (isolasi) secara elektronik dari sinyal-sinyal yang tidak dikehendaki. Port penerima empat-kawat menyisipkan amplifier untuk mengimbangi rugi-rugi dari hybrid dan transformer lainnya dalam lintasan pembicara. Oleh karena ujung-dekat dan ujung-jauh pembicara keduanya digabungkan pada gulungan transformer, sinyal penerima melewati resistansi R_2 secara seri dengan impedansi dalam saluran dua-kawat melalui pembagi tegangan, yang kita sebut dengan Z_L . Tegangan pada bagian tengah dari pembagi tegangan adalah ujung-dekat pembicara $x(t)$ ditambah sinyal feedthrough dalam pembagi tegangan $r(t)$. Untuk menghilangkan sinyal feedthrough yang tidak diinginkan,

kedua pembagi tegangan berisi resistor R_1 secara seri dengan impedansi penyeimbang tertentu Z_B menghasilkan tiruan $\hat{r}(t)$, dan amplifier difference mengurangi tiruan dari sinyal yang melintasi transformer. Secara obyektif dalam pemilihan Z_B untuk menyesuaikan transfer function dari pembagi tegangan, dimana diberikan oleh :

$$\frac{R_1}{R_1 + Z_B} \approx \frac{R_2}{R_2 + Z_L} \quad (2.1)$$

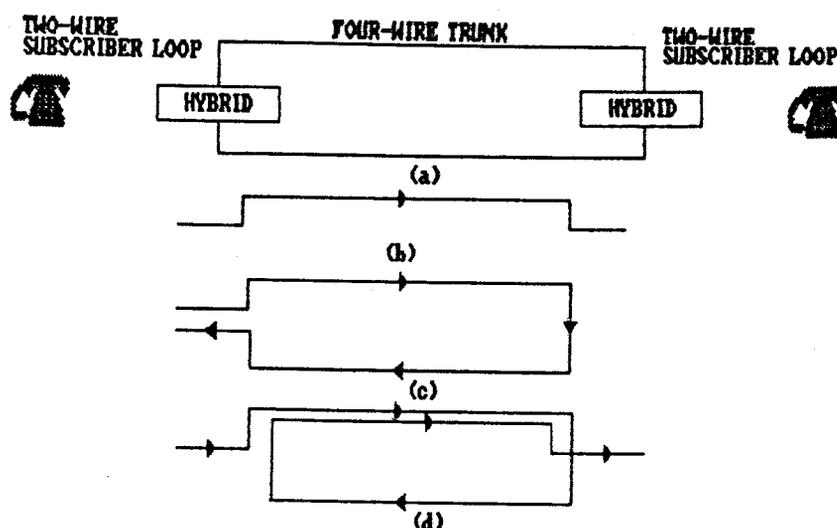
Bila itu tepat sama (sebagai contoh $R_1 = R_2$ dan $Z_B = Z_L$), maka tiruan $\hat{r}(t)$ akan sama dengan sinyal echo sesungguhnya $r(t)$, dan tidak akan ada komponen echo dalam sinyal pengirim pada port B. Di lain pihak, ujung-dekat sinyal pembicara muncul pada port kirim B.

II.3. ECHO DALAM SIRKIT TELEPON DAN KOMBINASINYA DENGAN NOISE, LOSS, DAN DELAY

Gambar 2-4a menunjukkan suatu diagram sederhana hubungan telepon. Disini hanya ditunjukkan fasilitas-fasilitas sirkit dua-kawat dan empat-kawat serta hybrid dan jaringan penyeimbang, karena pada fasilitas-fasilitas inilah echo ditimbulkan. Pada gambar 2-4b ditunjukkan satu dari lintasan-lintasan percakapan dua pelanggan (lintasan percakapan pembicara dari A ke B). Sinyal-sinyal percakapan dari kedua pelanggan tersebut akan melintasi fasilitas-fasilitas sirkit dua-kawat, peralatan

hybrid, jaringan penyeimbang, dan sirkit empat-kawat.

Ada dua jenis echo yang umumnya timbul dalam suatu hubungan telepon, yaitu echo pembicara (gambar 2-4c) dan echo pendengar (gambar 2-4d). Kedua jenis echo dapat terjadi dibagian sirkit empat-kawat.



GAMBAR 2-4⁴⁾.

SUMBER-SUMBER DAN JENIS-JENIS ECHO DALAM JARINGAN TELEPON

- (a) HUBUNGAN TELEPON YANG SEDERHANA.
- (b) LINTASAN SUARA PEMBICARA.
- (c) LINTASAN ECHO PEMBICARA.
- (d) LINTASAN ECHO PENDENGAR.

⁴⁾ Ibid. ,h. 184.

II.3.1. ECHO PEMBICARA

Echo pembicara dapat terjadi dalam suatu hubungan telepon jika sebagian sinyal percakapan dipantulkan oleh suatu impedansi mismatch di beberapa titik dalam sirkuit telepon, dan dikembalikan ke pembicara setelah sinyal mengalami delay waktu tertentu. Echo pembicara dapat mempengaruhi komunikasi secara serius. Jika echo ini terjadi dengan delay yang sangat kecil, maka dia cenderung meningkatkan sidetone pada penerima pembicara. Sebaliknya, jika terjadi dengan delay yang besar, telinga manusia akan memisahkan atau membedakannya dari sidetone normal. Bunyinya seperti echo akustik dan dapat membingungkan bagi pembicara.

Echo pembicara didefinisikan dalam bentuk-bentuk delay lintasan-echo (echo-path delay) dan loudness loss lintasan-echo (echo-path loudness loss). Delay lintasan echo dapat terjadi karena sinyal percakapan dengan kecepatan propagasinya yang terbatas harus melalui peralatan-peralatan dan fasilitas-fasilitas transmisi, sehingga sinyal percakapan tersebut membutuhkan waktu beberapa saat untuk melewati lintasan dari suara pembicara (sumber percakapan) ke titik mismatch impedansi, kemudian kembali ke telinga pembicara. Waktu inilah yang disebut delay lintasan echo. Loudness loss lintasan-echo menggambarkan redaman yang dialami sinyal percakapan ketika melintasi lintasan

transmisi yang sama.

II.3.2. ECHO PENDENGAR

Echo pendengar adalah sinyal echo pembicara yang dipantulkan dari pembicara ke arah stasiun penerima atau pendengar. Jika terjadi mismatch pada kedua hybrid, sebagian energi percakapan akan dipancarkan melalui kedua hybrid dan bersirkulasi dalam loop tertutup yang dibentuk oleh lintasan empat-kawat. Sirkulasi energi ini dapat menjadi penyebab penting timbulnya singing.

Singing margin adalah penunjukkan keseluruhan kualitas transmisi yang baik untuk hubungan-hubungan dengan delay yang kecil. Terutama sekali merupakan indikator yang baik terhadap pengaruh gangguan dari echo pendengar. Singing margin merupakan gabungan return loss dari kedua hybrid dalam suatu hubungan.

II.3.3. RUGI-RUGI (LOSS)

Rugi-rugi sangat berpengaruh dalam hubungan telepon jarak-jauh, terutama yang berhubungan dengan echo adalah rugi balikan (return loss). Oleh karena itu, disini hanya akan dibicarakan mengenai return loss.

Rugi balikan adalah perbedaan antara daya relatif dari gelombang yang dikirimkan ke saluran dua-kawat dan daya relatif echo yang timbul dalam jaringan. Rugi balikan, pada

prinsipnya dapat diukur pada setiap titik dalam suatu sirkit. Tetapi sebagian besar (yang terbaik) ditentukan dan diukur pada persimpangan empat-kawat dengan dua-kawat.

Rugi balikan bisa juga diekspresikan dalam bentuk-bentuk impedansi. Pada hybrid :

$$\text{Rugi balikan} = 20 \log \frac{Z_L + Z_N}{Z_L - Z_N} \quad (2.5)$$

dimana :

Z_L = impedansi saluran

Z_N = impedansi jaringan

Rugi balikan merupakan suatu fungsi frekuensi, yaitu semua frekuensi dalam range echo 500-2500 Hz.

Refleksi-refleksi rugi balikan tersebut akan memberikan kenaikan echo dan dapat juga menyebabkan osilasi atau singing jika gain sekitar loop empat-kawat sama dengan rugi pada setiap frekuensi.

Rugi balikan sering digunakan untuk menggambarkan karakteristik-karakteristik impedansi dan keseragaman dari saluran-saluran transmisi. Tetapi hal ini tidak praktis untuk membuat semua pasangan-pasangan kabel dengan kapasitansi saling (mutual) yang sama secara tepat. Disini akan terjadi beberapa variasi sesuai panjang saluran dan kecocokan dari pasangan ke pasangan kabel.

Rugi balikan minimal yang dibolehkan pada semua frekuensi diantara 800-2300 Hz adalah 42 dB. Ini sesuai

pada suatu impedansi 600 ± 10 . Setiap rugi balikan dibawah batas ini menunjukkan ketidaksesuaian impedansi yang berlebihan.

II.3.4. DELAY TRANSMISI

Delay transmisi adalah selang waktu yang terjadi dalam penyampaian informasi dari suatu tempat ke tempat lain melalui media transmisi. Dalam hubungan telepon, baik melalui sistem transmisi kabel, gelombang mikro terrestrial, ataupun melalui sistem komunikasi satelit, pasti akan terjadi delay transmisi. Besarnya delay ini terutama ditentukan oleh panjang lintasan transmisi yang dilalui, disamping keadaan fisik media transmisi yang dilalui dan banyaknya langkah-langkah modulasi-demodulasi yang dihubungkan pada fasilitas-fasilitas transmisi individu yang ditemui. Jadi, makin jauh jarak transmisinya maka semakin besar delay yang akan terjadi.

Sebenarnya delay transmisi sendiri bukan suatu masalah yang serius dalam hubungan telepon. Pengaruhnya hanya berupa seringnya terjadi efek break-in (terputusnya) dalam percakapan telepon yang mana dapat mengurangi kejelasan dari setiap dialog. Keadaan ini baru dirasakan oleh para pelanggan bila delay melebihi 400 ms. Ini sesuai dengan rekomendasi CCITT G-114 yang mana menetapkan bahwa delay-delay transmisi satu arah melebihi 400 ms tidak dapat

diterima, dan hubungan-hubungan telepon dengan delay seperti ini tidak boleh digunakan kecuali dalam keadaan yang sangat luar biasa. Masalah sebenarnya yang timbul dengan adanya delay transmisi dalam hubungan telepon adalah meningkatnya gangguan subyektif terhadap sinyal percakapan yang disebabkan oleh echo-echo sesuai peningkatan delay.

Dengan dikembangkannya hubungan telepon jarak-jauh melalui sistem komunikasi satelit, dimana satelit sebagai repeater aktif ditempatkan pada orbit geostasioner yang berjarak ± 36.000 km dari bumi, maka delay transmisi menjadi perhatian yang serius mengingat gangguan yang ditimbulkannya terhadap sinyal percakapan telepon bila berkombinasi dengan echo. Dalam hubungan ini, delay transmisi total untuk suatu hubungan telepon merupakan jumlah delay dari stasiun bumi ke satelit atau sebaliknya dan delay yang terjadi dalam sirkit telepon (jaringan lanjutan). Namun demikian, delay jaringan lanjutan (delay sirkit telepon) umumnya dapat diabaikan karena sangat kecil dibandingkan dengan delay dari satelit ke bumi atau sebaliknya. Hal ini dapat dilihat dari jarak lintas transmisi jaringan lanjutan yang umumnya jauh lebih kecil dibandingkan jarak lintas transmisi satelit. Jadi dapat dikatakan bahwa besarnya delay transmisi sangat tergantung atas jarak transmisi satelit, yaitu jarak antara lokasi stasiun bumi ke orbit satelit.

Waktu delay yang timbul dalam lintas transmisi

dua-arah dapat ditentukan melalui perhitungan matematis dengan persamaan (2.6) berikut :

$$T_d = \frac{2R}{V} \quad (2.6)$$

dimana :

T_d = waktu delay (m det)

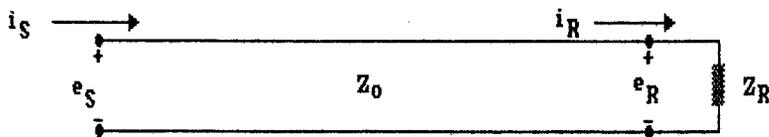
R = Jarak transmisi sinyal percakapan (m)

V = kecepatan gelombang radio $3 \cdot 10^8$ m/det

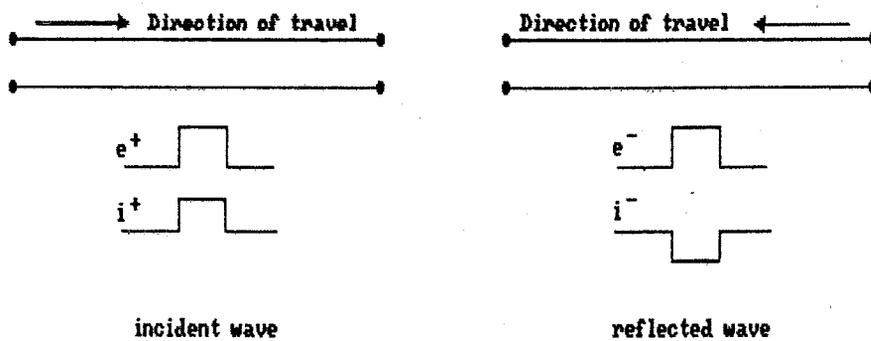
II. 4. GELOMBANG BERJALAN PADA SALURAN TRANSMISI

Secara matematis dimungkinkan untuk menentukan penyelesaian umum untuk tegangan dan arus sepanjang saluran transmisi yang serba sama (uniform). Ketentuan yang digunakan untuk tegangan dan arus pada saluran transmisi, yaitu tegangan dianggap positif bila pada terminal diatas, tegangannya lebih positif dari pada terminal dibawah, dan arus ditentukan positif bila berjalan dari generator ke beban. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2-5, dimana notasi S dan R dinyatakan sebagai ujung kirim dan ujung terima.

Bila sumber diterapkan pada saluran, ada dua jenis gelombang yang berbeda, dimana disebut sebagai gelombang datang dan gelombang pantul. Propagasi gelombang datang dari sumber ke ujung terima, sedangkan propagasi gelombang pantul dari ujung terima menuju ke ujung kirim. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2-6, dimana sesuai dengan ketentuan, arus berjalan menuju generator dikatakan negatif.

GAMBAR 2-5⁵⁾

KETENTUAN YANG DIGUNAKAN DALAM TEORI SALURAN TRANSMISI

GAMBAR 2-6⁶⁾

TEGANGAN DAN ARUS PADA GELOMBANG BERJALAN

Analisa yang tepat, sebagaimana data eksperimen, menunjukkan bahwa gelombang berjalan tersebut apakah gelombang datang atau gelombang pantul, berhubungan dengan impedansi karakteristik Z_0 dari saluran transmisi. Impedansi ini tidak tergantung pada panjang saluran atau beban dan merupakan fungsi dari parameter saluran (yaitu ukuran, spasi dari konduktor dan jenis bahan yang digunakan).

Kita akan menotasikan gelombang datang dengan e^+ ,

⁵⁾ William Sinnema, "Electronic Transmission Technology", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1979, h. 21.

⁶⁾ Ibid., h. 22.

dimana merupakan gelombang berjalan dari sumber ke beban. Sedangkan gelombang pantul dinotasikan dengan e^- . Arus datang dan pantul dinotasikan dengan i^+ dan i^- .

Oleh karena gelombang berjalan berhubungan dengan impedansi karakteristik dari saluran transmisi, arus datang sebanding dengan tegangan datang dengan hubungan

$$i^+ = e^+ / Z_0 \quad (2.7)$$

Arus pantul dapat dinyatakan dalam tegangan pantul sebagai

$$i^- = - e^- / Z_0 \quad (2.8)$$

dimana tanda negatif menyatakan bahwa arus ini mengalir dalam arah yang berlawanan dengan arus datang.

Bila saluran diterminasikan dengan impedansi yang mempunyai harga sama dengan impedansi karakteristik dari saluran ($Z_R = Z_0$), maka gelombang tidak akan mengalami perubahan sampai pada titik akhir (terminasi) dan total tegangan merupakan tegangan datang (hal yang sama untuk arus). Dengan kata lain, tidak ada pantulan yang terjadi, sesuai dengan hukum Ohm yang masih berlaku, bila $Z_R = Z_0$.

$$e_R^+ / i_R^+ = Z_R = Z_0$$

Notasi R disini digunakan untuk menyatakan arus dan tegangan pada ujung terima.

Tegangan pada beban dibagi dengan arus yang melaluinya sama dengan impedansi beban,

$$e_R^+ / i_R^+ = Z_0 \neq Z_R$$

dalam hal ini akan terjadi pantulan.

Pada titik terminasi

$$\frac{\text{total } e}{\text{total } i} = Z_R \quad (2.9)$$

Total tegangan dan arus pada beban dapat dinyatakan sebagai

$$\text{total } e = e_R^+ + e_R^- \quad (2.10)$$

$$\text{total } i = i_R^+ + i_R^- = \frac{e_R^+}{Z_o} - \frac{e_R^-}{Z_o} \quad (2.11)$$

Substitusi persamaan (2.11) ke persamaan (2.9), diperoleh

$$\frac{\text{total } e}{\text{total } i} = Z_R = Z_o \frac{e_R^+ + e_R^-}{e_R^+ - e_R^-} \quad (2.12)$$

Dari persamaan ini, hubungan antara tegangan pantul dan tegangan datang dapat dicari

$$\frac{e_R^-}{e_R^+} = \frac{Z_R - Z_o}{Z_R + Z_o} = \Gamma_R$$

Rasio Γ_R disebut sebagai koefisien pantul tegangan. Bila $Z_R = Z_o$, Γ_R akan menjadi nol, dan tidak ada gelombang pantul yang dinyatakan oleh

$$\Gamma_R = \frac{Z_R - Z_o}{Z_R + Z_o} = \frac{Z_o - Z_o}{Z_o + Z_o} = 0$$

Bila Γ_R tidak sama dengan nol, akan terjadi gelombang pantul yang mempunyai harga

$$e_R^- = e_R^+ \Gamma_R$$

Misalkan untuk impedansi beban $Z_R = 0$ (short-circuit),

$$\Gamma_R = \frac{Z_R - Z_o}{Z_R + Z_o} = \frac{0 - Z_o}{0 + Z_o} = -1$$

maka akan terjadi pantulan, dimana besar tegangan sama

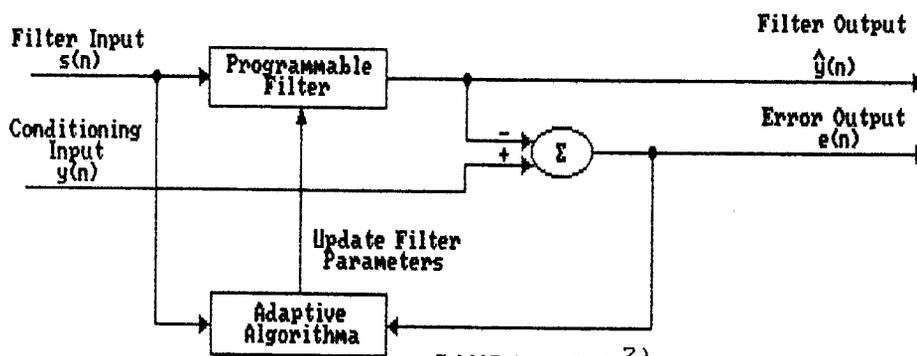
dengan gelombang datang tetapi arah dan phasanya berlawanan. Bila untuk impedansi beban $Z_R = \infty$ (open-circuit),

$$\Gamma_R = \frac{Z_R - Z_o}{Z_R + Z_o} = \frac{\infty - Z_o}{\infty + Z_o} = 1$$

maka akan terjadi pantulan, dimana besar tegangan sama dengan gelombang datang dengan phase yang sama tetapi arahnya berlawanan.

II.5. PROSES ADAPTIV

Sistem pemrosesan sinyal yang konvensional untuk pengambilan informasi dari sinyal yang masuk seperti pada operasi filter dalam sirkit terbuka. Yaitu bahwa fungsi pemrosesan yang sama dibawa dalam interval waktu, sekarang tanpa memperhatikan apakah fungsi tersebut menghasilkan hasil yang benar dalam interval waktu sebelumnya.



GAMBAR 2-7⁷⁾

SKEMA FILTER ADAPTIV

7) C. F. N. Cowan, P. M. Grant, "Adaptive Filter", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1985, h. 2.

Dengan kata lain, teknik pemrosesan sinyal yang konvensional membuat anggapan dasar bahwa penurunan sinyal diketahui dan kuantitasnya time-invariant.

Prosesor adaptiv beroperasi dengan pengaturan sirkuit tertutup (feedback), sinyal yang masuk $s(n)$ difilter atau dibebankan dalam filter yang dapat diprogram (programmable) untuk menghasilkan output $\hat{y}(n)$, dimana dibandingkan dengan kondisi input yang diinginkan $y(n)$ untuk menghasilkan sinyal error $e(n)$. Error ini digunakan untuk memperbaharui parameter bobot prosesor (biasanya dengan cara iterasi) sedemikian rupa sehingga errornya makin lama makin kecil. Prosesor seperti ini masuk dalam dua kelas besar yaitu filter adaptiv (gambar 2-7) dan antena adaptiv.

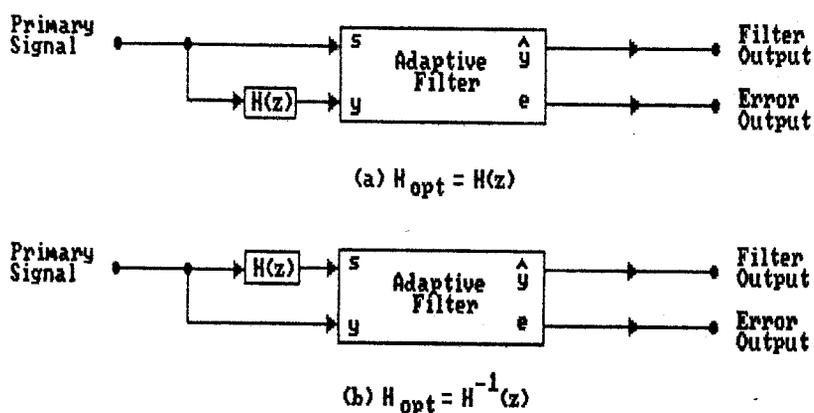
Filter adaptiv ditekankan pada penggunaan filter yang dapat diprogram, dimana frekuensi respons atau transfer function dapat diubah atau diadaptasi, tanpa menurunkan kualitas sinyal yang diinginkan dan untuk meredam sinyal interferensi yang tidak dikehendaki, atau untuk mengurangi distorsi pada sinyal input.

Filter adaptiv beroperasi dengan memperkirakan kondisi statistik dari sinyal masukan dan mengatur responsnya sendiri, dengan cara meminimisasi fungsi cost. Fungsi cost ini diperoleh dari banyak cara, tergantung pada aplikasi yang dimaksud, tetapi umumnya diperoleh dari penggunaan sumber sinyal kedua atau kondisi input $y(n)$

seperti ditunjukkan pada gambar 2-7. Sinyal input $y(n)$ ini didefinisikan sebagai output yang diinginkan dari filter, dalam hal ini tugas dari filter adaptiv adalah mengatur bobot dalam peralatan filter yang dapat diprogram dengan cara meminimisasi error $e(n)$ antara output filter $\hat{y}(n)$ dan input $y(n)$. Filter adaptiv tersebut sering digunakan untuk merecover sinyal dari kanal-kanal yang mempunyai karakteristik yang berubah dengan waktu.

Fungsi dasar yang dilakukan oleh filter adaptiv adalah sistem modeling. Ini ditunjukkan dalam gambar 2-8, dimana sinyal dasar diberikan secara langsung pada s atau y dari input filter adaptiv. Sinyal dasar ini juga merupakan input dari sistem dengan impuls respons $H(n)$, dan outputnya dihubungkan ke input filter adaptiv yang lain. Dua pilihan yang berbeda dapat diimplementasikan yang mengakibatkan bobot vektor optimum H_{opt} berbeda, dalam filter adaptiv, hal ini terjadi bila :

1. Sistem tidak diketahui, $H(n)$ merupakan lintasan input y ke filter adaptiv (gambar 2-8a). Impuls respons optimum dari filter adaptiv merupakan model langsung dari respons sistem $H(n)$.
2. Alternatif lain, sistem tidak diketahui, $H(n)$ dapat dimasukkan dalam lintasan input s pada filter adaptiv (gambar 2-8b). Respons optimum dari filter adaptiv merupakan kebalikan (inverse) dari respons sistem.

GAMBAR 2-8^{B)}

APLIKASI FILTER ADAPTIV

(a). MODEL SISTEM LANGSUNG (b). MODEL SISTEM TERBALIK

Contoh praktis model pertama (model sistem langsung) adalah dalam echo cancellation. Sedangkan contoh praktis untuk model kedua (model sistem terbalik) adalah pada equalisasi untuk menghilangkan distorsi dalam transmisi data melalui saluran telepon.

Demikian penjelasan singkat mengenai echo dan pengaruhnya dalam jaringan telepon. Selanjutnya setelah kita mengetahui pengaruh echo dalam jaringan telepon, maka kita akan membahas echo cancellation dalam transmisi suara yang akan dijelaskan dalam bab III.

^{B)} Ibid., h. 4.

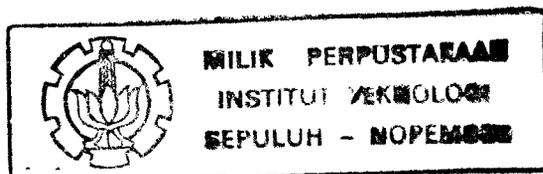
BAB III. ECHO CANCELLATION DALAM TRANSMISI SUARA

III.1 UMUM

Dalam bab ini akan dibahas mengenai echo cancellation dalam transmisi suara. Untuk menjelaskan hal itu, perlu juga diketahui sumber-sumber echo dalam jaringan telepon. Setelah diketahui sumbernya, maka kita dapat menentukan metoda-metoda yang dipakai untuk mengontrol echo. Selanjutnya juga dijelaskan mengenai implementasi dari echo cancellation, serta realisasi-realisisasi dari dari echo canceler.

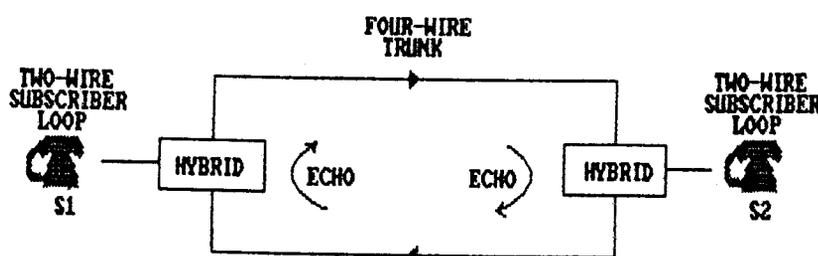
III.2. SUMBER-SUMBER ECHO DALAM JARINGAN TELEPON

Sumber-sumber echo dapat dipahami dengan pertimbangan hubungan yang sederhana antara dua subscriber, S1 dan S2, seperti ditunjukkan pada gambar 3-1. Hubungan ini umumnya berisi sirkit dua-kawat pada ujung-ujungnya, sirkit empat-kawat ditengah-tengah, dan hybrid pada setiap ujung yang merupakan konverter dari transmisi dua-kawat ke transmisi empat-kawat atau sebaliknya. Setiap sirkit dua-kawat mengandung loop subscriber, melalui sirkit ini kedua arah transmisi dibawa oleh sepasang kawat yang sama, yaitu sinyal dari speaker S1 dan S2 diletakkan pada sirkit



ini. Pada bagian empat-kawat, dua arah transmisi dipisahkan. Suara dari speaker S1 mengikuti lintasan transmisi diatas, seperti ditunjukkan oleh anak panah, sedangkan sinyal asal dari S2 mengikuti lintasan dibawah. Pemisahan dari kedua sinyal ini perlu dimana diinginkan untuk menyisipkan terminal carrier, amplifier, atau switch digital.

Hybrid adalah peralatan yang mengkonversikan transmisi dua-kawat ke empat-kawat. Secara ideal, sinyal dari S1 ditransmisikan melalui hybrid dan sirkuit empat-kawat, lalu melalui hybrid lainnya dan akhirnya diterima oleh S2. Sedangkan dalam praktek terjadi impedansi mismatch, sehingga beberapa dari energi ini akan dikembalikan ke speaker S1, yang mana akan mendengar suaranya sendiri yang tertunda. Ini merupakan sumber dari echo pembicara.



GAMBAR 3-1⁹⁾

HUBUNGAN TELEPON SEDERHANA

9) Kun-Shan Lin, "Digital Signal Processing Application with TMS 320 Family", Prentice-Hall, 1988, h. 418.

Echo pembicara dalam pendengaran pembicara menghasilkan suaranya sendiri yang tertunda, sedangkan dalam echo pendengar, pendengar mendengarkan suara pembicara yang tertunda.

Setiap keadaan mismatch dalam jaringan akan memantulkan sebagian energi yang dipancarkan kembali ke arah sumbernya, dan ini merupakan penyebab utama terjadinya echo. Energi tersebut akan dipantulkan berulang-ulang dan seterusnya sampai didissipasi oleh saluran. Keadaan mismatch yang merupakan sumber-sumber echo yang lazim dalam jaringan telepon adalah ujung-ujung sirkit, ketidak teraturan saluran, dan junction-junction antara fasilitas-fasilitas berbeda. Dalam saluran-saluran yang dikonstruksi dengan baik, terjadinya echo-echo pada ujung sirkit umumnya masih dapat dikontrol. Yang menjadi masalah disini adalah junction antara sirkit dua-kawat dan sirkit empat-kawat, karena disinilah titik refleksi terpenting dalam jaringan telepon, dan tentu saja merupakan penyebab utama terjadinya echo. Junction ini umumnya dikerjakan menggunakan suatu sirkit hybrid dan sirkit penyeimbang, yang berfungsi sebagai pengadaptasi sirkit dua-kawat dengan sirkit empat-kawat.

Pengaruh subyektif dari echo pembicara tergantung pada delay yang melalui loop. Untuk delay yang pendek, echo pembicara merupakan sidetone pada penerima pembicara. Untuk

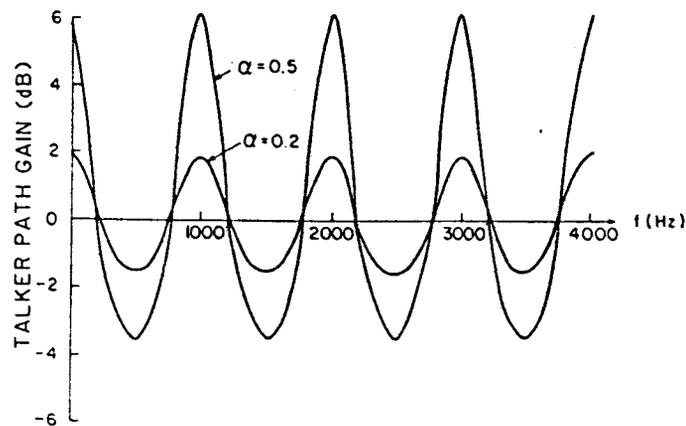
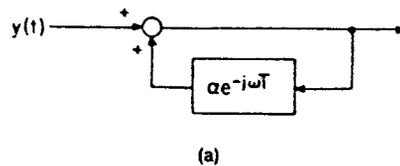
delay yang panjang seperti pada hubungan satelit, delay dalam setiap lintasan empat-kawat adalah sekitar 270 ms sesuai dengan ketinggian dari satelit di orbit sinkron. Ini berarti bahwa delay echo bolak-balik mendekati 540 ms, yang mana akan sangat mengganggu pada pembicara, dan dalam kenyataannya akan kesulitan dalam membawa suatu pembicaraan. Bila seperti hal ini, adalah perlu untuk mencari cara pengontrolan atau menghilangkan echo tersebut.

Untuk terrestrial dibawah 2000 mil, perencanaan Via Net Loss (VNL) akan mengatur rugi-rugi (loss) sebagai fungsi dari jarak transmisi, digunakan untuk membatasi maksimum echo-to-signal ratio. Pada sirkit yang melalui lintasan ini echo supressor atau echo canceler digunakan. Echo supressor merupakan switch yang dioperasikan oleh suara (voice-operated switch) yang digunakan untuk membuka lintasan dari pendengar ke pembicara bilamana pendengar adalah diam. Bagaimanapun, echo supressor penampilannya kurang baik mengingat echo tidak dapat diblok selama periode double-talk. Itu akan memberi pemotongan suara dan background noise sesuai dengan lintasan transmisi dibuka atau ditutup. Mengingat teknologi digital signal processing yang cenderung meningkat baru-baru ini, digital echo canceler sekarang sudah dapat menggantikan rangkaian yang menggunakan echo supressor.

Keadaan yang sebaliknya didalam echo pendengar.

Untuk delay yang pendek dalam range 1 ms, echo pendengar menghasilkan transfer function seperti dimodelkan pada gambar 3-2(a). Dalam gambar ini transfer function echo adalah disederhanakan dengan hanya memasukkan delay T dan faktor redaman α . Besarnya kuadrat dari transfer function efektif dari lintasan pembicara $H(\omega)$ diberikan oleh :

$$|H(\omega)|^2 = 1/(1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos(\omega T)) \quad (3.1)$$



GAMBAR 3-2¹⁰⁾.

MODEL MATEMATIS SEDERHANA PADA ECHO PENDENGAR.

(a) MODEL LINTASAN PEMBICARA UNTUK LINTASAN ECHO PENDENGAR

(b) GAIN LINTASAN PEMBICARA UNTUK MODEL (a) UNTUK DELAY 1 ms

¹⁰⁾ K. Feher, op. cit., h. 185.

Sedangkan perincian dari seluruh transfer function efektif tergantung pada delay dan redaman tertentu, secara umum pengaruhnya cukup besar bila delaynya kecil, pada orde milidetik. Sebagai contoh, dari persamaan 3.1 menggunakan frekuensi 1 kHz dan delay adalah 1 ms dengan faktor redaman yang berbeda, seperti ditunjukkan pada gambar 3-2(b).

Untuk komunikasi dengan delay yang sangat panjang, penyisipan rugi-rugi (redaman) adalah perlu untuk melawan echo pembicara sehingga dengan sendirinya pelemahan tersebut dapat dihindari. Oleh sebab itu, pada hubungan ini perlu untuk menyediakan mekanisme pengontrolan echo yang lain, seperti yang dijelaskan pada bagian berikutnya.

III.3. METODA-METODA PENGONTROLAN ECHO

Pada bagian ini menjelaskan penggunaan metoda-metoda untuk pengontrolan echo dalam jaringan telepon. Termasuk juga perencanaan rugi-rugi, penekanan echo, dan penghilangan echo.

III.3.1 PENGONTROLAN ECHO DENGAN RUGI-RUGI (REDAMAN)

Suatu pendekatan untuk pengontrolan echo dalam jaringan adalah dengan memasukkan rugi-rugi dalam suatu lintasan dengan cara dikontrol. Memasukkan rugi-rugi merupakan suatu dilema (pertentangan) antara keuntungan pada pengaruh subyektif echo dan pelemahan pada lintasan suara

pembicara. Efek dari echo akan bertambah bila delay yang mengelilingi lintasan juga bertambah. Jadi untuk menghindari pemasukkan rugi-rugi yang terlampau besar, maka rugi-rugi harus dinaikkan sesuai dengan kenaikan delay yang mengelilingi lintasan. Hal ini merupakan prinsip dari VNL (Via Net Loss), yang mana rugi-rugi ditambahkan ke trunk yang tergantung pada panjangnya. Tanpa perincian yang matang dari perencanaan maka metoda ini akan mencapai hasil yang kurang baik, metoda VNL ini akan mencapai rugi-rugi antara dua lokal switch dalam banyak hubungan dengan pendekatan :

$$DB = 4.0 + 0.4 N + 0.102 D \quad (3.2)$$

dimana DB adalah rugi-rugi keseluruhan dalam decibel dari lintasan suara pembicara, kecuali rugi-rugi pada dua loop pelanggan pada kedua ujung hubungan. N adalah jumlah trunk dalam hubungan, dan D adalah delay yang mengelilingi lintasan echo dalam milisecond¹¹⁾.

Penggunaan rugi-rugi untuk mengontrol echo adalah pengukuran yang tidak sesuai untuk delay yang sangat panjang, karena rugi-ruginya sendiri menjadi pelemahan yang penting. Untuk alasan ini, pendekatan dengan penggunaan rugi-rugi untuk mengontrol echo hanya digunakan untuk trunk terrestrial sampai sekitar 1900 km (jumlah ini akan berubah

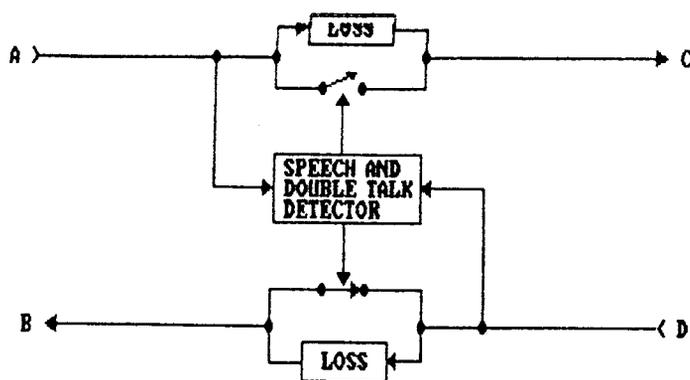
¹¹⁾ Bell Laboratories Members of Technical Staff, "Transmission System for Communication", Western Electric Co., Winston-Salem, N. C., 1970.

dengan pemakaian sistem fiber optik). Untuk trunk yang lebih panjang dari ini, penyisipan rugi-rugi akan mereduksi sampai nol, sehingga diperlukan echo suppressor dan echo canceler untuk mengontrol echo yang akan dijelaskan lebih lanjut.

III.3.2. ECHO SUPPRESSOR

Echo suppressor adalah peralatan yang menyisipkan rugi-rugi (redaman) yang besar dalam suatu hubungan pada satu arah atau arah yang lain dengan cara diatur. Hasilnya adalah bahwa sinyal echo mengalami rugi-rugi yang besar dan oleh karena itu redamannya juga cukup besar. Tujuannya adalah meletakkan rugi-rugi yang besar dalam arah yang berlawanan dengan arah lintasan arus aktif suara. Dimisalkan hanya ada pembicaraan dalam satu arah pada suatu saat, sehingga echo yang dihasilkan oleh pembicara dalam satu arah akan dapat dihilangkan dengan baik. Tetapi tidak dapat dielakkan adanya pemotongan selama doubletalk (pembicaraan dua arah pada saat yang sama).

Prinsip dari echo suppressor ditunjukkan secara sederhana dalam gambar 3-3. Pad dengan redaman yang besar disisipkan pada satu arah atau arah yang lain. Sehingga satu dari dua pad akan dibypass pada suatu saat. Detektor suara digunakan untuk menentukan arah dari pembicaraan yang aktif, mengontrol pad mana yang dibypass.

GAMBAR 3-3¹²⁾

PRINSIP ECHO SUPRESSOR

Kesulitan terbesar dalam perencanaan dari echo suppressor adalah pemilihan strategi selama doubletalk. Bila delay propagasi adalah besar, menjadi sulit untuk mendeteksi dan memperlakukan doubletalk secara layak, dengan hasil bahwa penampilan subyektif dari echo suppressor pada saluran dengan delay yang panjang adalah lebih buruk dari pada saluran dengan delay yang sama tetapi tanpa echo. Penampilan dari operasi echo suppressor yang sebenarnya adalah baik terutama untuk hubungan terrestrial tetapi akan menjadi lebih banyak batasan untuk delay yang panjang yang bergabung dengan hubungan satelit. Suatu pendekatan bahwa telah digunakan untuk memperbaiki penampilan dari echo suppressor adalah dengan membatasi satelit dengan mode setengah hop, dimana satu arah dari hubungan empat-kawat

12) J. R. Rosenberger, E. J. Thomas, "Performance of an Adaptive Echo Canceller operating in a noisy, linear, time-invariant environment", Bell Syst. Tech. J., Vol. 50, No. 3, Maret, 1971, h. 786.

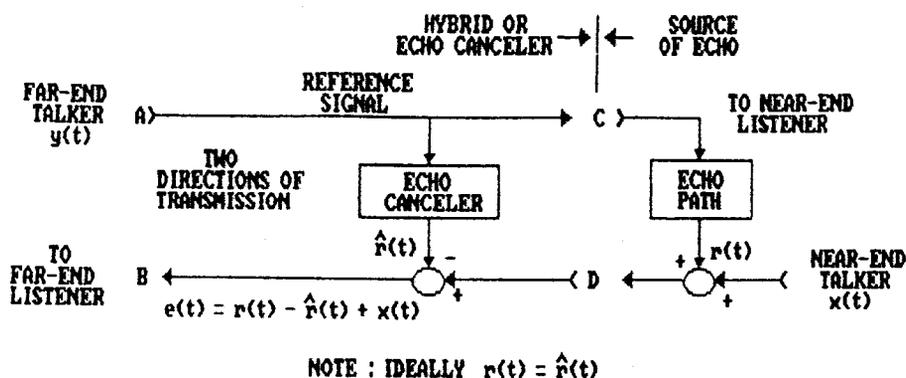
berada pada satelit dan arah lainnya pada arah rangkaian terrestrial. Banyak perancang sistem satelit telah memilih menggunakan echo canceler menggantikan echo suppressor yang akan dijelaskan secara singkat.

Penambahan masalah dengan echo suppressor adalah dua atau lebih echo suppressor dalam tandem harus dihindari. Ini memungkinkan untuk dua suppressor akan mengunci selama doubletalk, yang membuat pembicaraan selanjutnya menjadi tidak bisa.

III.3.3. ECHO CANCELER

Dengan kenaikan delay sepanjang lintasan, pengaruh subyektif dari echo menjadi lebih menyusahkan. Pada sistem satelit, dimana mempunyai delay sepanjang perjalanan kira-kira 550 ms, sistem transmisi satelit membutuhkan perencanaan yang baik dari subsistem pengontrolan echo, dan sistem ini merupakan motivasi pokok untuk pengembangan dari echo canceler. Echo canceler merupakan bentuk yang lebih canggih dari pengontrolan echo, dimana dapat secara efektif menghilangkan echo sebagai pelemahan bahkan untuk saluran dengan delay yang sangat panjang dan tanpa memperdulikan keadaan double-talk.

Echo canceler didasarkan pada prinsip yang sama dengan hybrid elektronik dari gambar 2-4(b), dimana dapat ditunjukkan pada gambar 3-4.

GAMBAR 3-4¹³⁾

PRINSIP ECHO CANCELER

Dengan satu arah transmisi antara port A dan C dan arah lainnya antara port D dan B. Ujung jauh pembicara disebut $y(t)$, echo yang tidak diinginkan disebut $r(t)$, dan ujung-dekat pembicara disebut $x(t)$. Ujung dekat pembicara dijumlahkan dengan echo yang tidak diinginkan pada port D. Ujung jauh pembicara $y(t)$, dimana dapat dilakukan penghilangan pada port A, dan disebut sinyal referensi untuk echo canceler, digunakan oleh canceler untuk menghasilkan tiruan dari echonya sendiri, disebut $\hat{r}(t)$. Tiruan ini dikurangkan dari echo ditambah ujung dekat pembicara menghasilkan $e(t)$, dimana secara ideal berisi ujung dekat pembicara sendiri.

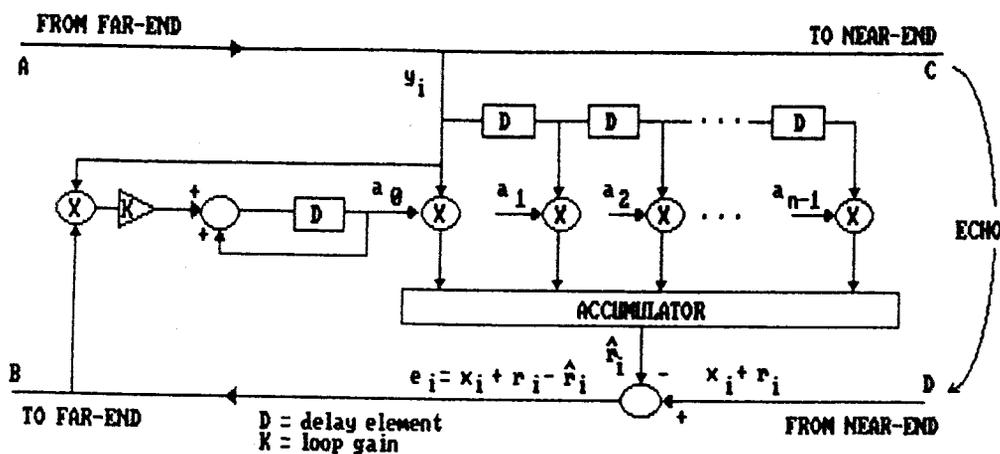
Dalam hybrid elektronik, lintasan echo dihasilkan

¹³⁾ Dutveiler, D. L., Y. S. Chen, "A single chip VLSI echo canceler", Bell Syst. Tech. J., Vol. 59, No. 2, Februari, 1980, h. 152.

oleh superposisi dari dua pembicara melalui transformer; sebaliknya, dalam echo canceler biasanya lintasan echo disebabkan oleh finite return loss (rugi-rugi balik terbatas) dari hybrid pada titik konversi dua ke empat kawat pada ujung-dekat dari hubungan. Didalam hybrid, echo tiruan dihasilkan oleh pemakaian sinyal referensi untuk menyederhanakan pembagi tegangan dengan impedansi tertentu. Sedangkan dalam echo canceler, tiruan echo dihasilkan oleh rangkaian, yang mana sesungguhnya menyesuaikan dengan lintasan echo yang tidak diketahui dan oleh sebab itu dapat menghasilkan lebih banyak tiruan yang teliti.

Struktur echo canceler ditunjukkan dalam gambar 3-5. Menghasilkan echo tiruan dengan penerapan sinyal referensi ke filter transversal (lintasan delay yang ditap). Koefisien filter transversal digunakan untuk mengadaptasi transfer function echo.

Untuk memudahkan implementasi dari filter transversal, diasumsikan dalam gambar 3-5 bahwa interface-interface ke port empat-kawat disample. Sehingga ujung-jauh sinyal suara $y(t)$ diganti oleh $y(kT)=y_k$, dan seterusnya. Data yang disample ini tentunya akan terjadi pada terminal transmisi digital atau switch digital. Interface ke fasilitas analog dapat dilakukan dengan penambahan anti aliasing dan rekonstruksi Low Pass Filter (LPF).

GAMBAR 3-5¹⁴⁾.

STRUKTUR ECHO CANCELER

Oleh karena transfer function dari lintasan echo dari port C ke port D biasanya tidak diketahui perkembangannya, khususnya dengan ketelitian yang cukup untuk menentukan tingginya derajat penghapusan (cancellation), maka echo canceler menyesuaikan koefisien dari filter transversal dengan cara seperti pada gambar 3-5. Sedangkan adaptasi algoritmanya akan dijelaskan pada bab V. Dalam gambar 3-5, sisa error cancellation e_i digunakan untuk mengendalikan echo canceler.

Adaptasi algoritma disusun dari error ini merupakan koreksi yang sesuai untuk koefisien filter transversal untuk mengurangi error ini. Khususnya, error ini dikorelasi

¹⁴⁾ Ibid., h. 153.

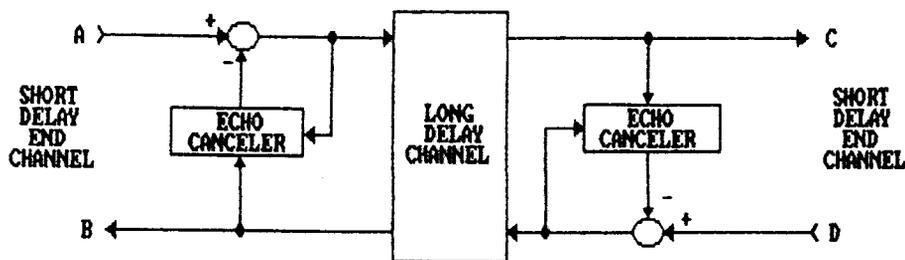
silang dengan unit delay yang berurutan pada ujung-jauh sinyal pembicara. Kotak penjumlahan adalah berupa akumulator, outputnya bersesuaian dengan koefisien filter. Koreksinya dengan menghimpun harga yang diskala dengan konstanta β , yang mana merupakan step-size (ukuran langkah) dari algoritmanya. Step-size mengatur kecepatan dari adaptasi dan error asymptotic.

Sinyal error e_i berisi komponen dari ujung-dekat sinyal pembicara x_i ditambah dengan sisa error echo cancellation. Pengaruh error ini pada cancellation tentu saja merupakan masalah. Sepanjang y_i tidak berkorelasi dengan x_i , yang mana memang seharusnya begitu, maka ujung-dekat pembicara ini tidak akan mempengaruhi harga rata-rata asymptotic dari koefisien filter. Bagaimanapun, perubahan asymptotic dalam koefisien filter akan meningkat secara substansi karena memasukkan komponen stokastik yang lain (besar) dalam penyesuaiannya.

Pengaruh ini dapat dikompensasi dengan pemilihan penyesuai yang halus (β kecil), tetapi biasanya lebih suka memakai sebuah detektor ujung-dekat pembicara untuk melumpuhkan adaptasi bila ujung-dekat pembicara itu ada (datang). Adaptasi akan dilanjutkan bila tidak dapat dideteksi ujung-dekat pembicara, dan kecepatan adaptasi dapat dinaikkan. Detektor ujung-dekat pembicara menganggap bahwa ada banyak minimum return loss yang melalui hybrid,

yaitu antara port C dan port D, karena jika tidak maka sinyal echo yang besar akan menghilangkan ujung-dekat sinyal pembicara yang kecil. Hanya sinyal-sinyal ujung-dekat pembicara itu yang besar (relatif terhadap ujung-jauh echo pembicara) dapat dideteksi.

Dalam prakteknya, dapat dikehendaki untuk menghilangkan echo dalam kedua arah dari trunk. Untuk maksud ini diperlukan dua canceler adaptif seperti ditunjukkan dalam gambar 3-6, dimana salah satu menghilangkan echo dari setiap ujung dari hubungan. Ujung-dekat pembicara untuk satu dari kedua canceler itu adalah merupakan ujung-jauh pembicara untuk lainnya. Dalam setiap kasus, ujung-dekat pembicara adalah sangat dekat dengan pembicara, dan ujung-jauh pembicara adalah pembicara yang menghasilkan echo yang akan dihilangkan. Umumnya delay terbesar dalam sirkit empat-kawat terletak ditengah lintasan, karena besarnya koefisien yang dibutuhkan dalam filter adaptif secara langsung berhubungan dengan delay dari lintasan antara lokasi echo canceler dan hybrid yang menghasilkan echo. Umumnya canceler-canceler dalam konfigurasi ini membutuhkan hanya 128 atau 256 koefisien, sedangkan banyaknya koefisien yang dibutuhkan untuk menyesuaikan hubungan satelit dalam lintasan ujung relatif lebih besar.

GAMBAR 3-6¹⁵⁾.

KONFIGURASI TERPISAH ECHO CANCELER UNTUK DUA ARAH

III.4. Perbandingan metoda echo cancellation

Perbandingan dari tiga macam metoda echo cancellation diatas adalah :

- Penggunaan metoda Via Net Loss (VNL) adalah sangat terbatas, yaitu untuk komunikasi terrestrial dengan panjang lintasan sampai dengan 2000 km. Sedangkan untuk lintasan yang lebih panjang lagi adalah tidak sesuai, karena sinyal informasi akan mengalami redaman yang besar. Makin panjang lintasan maka redamannya juga semakin besar. Metoda ini sangat sederhana, yaitu hanya dengan menyisipkan rugi-rugi kedalam lintasan sesuai dengan panjang lintasan transmisi.
- Sedangkan bila menggunakan echo supressor adalah lebih baik dibandingkan dengan metoda VNL untuk panjang lintasan yang lebih besar. Tetapi akan menjadi banyak batasan

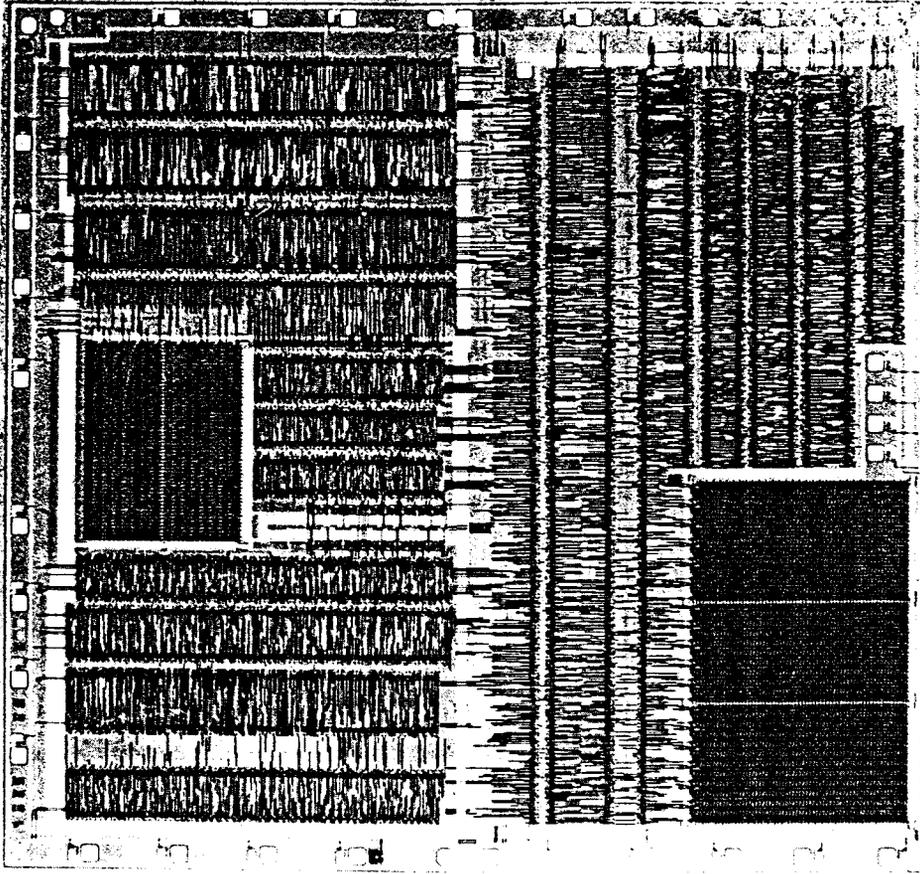
¹⁵⁾ D. L. Duttweiler, Y. S. Chen, op. cit., h. 152.

untuk delay yang sangat panjang yang bergabung dengan komunikasi satelit. Disamping itu peralatan echo supressor tidak mampu untuk mengatasi kondisi doubletalk. Metoda ini dioperasikan dengan menggunakan detektor suara, dimana didalam detektor tersebut terdapat switch yang akan mengatur rugi-rugi untuk disisipkan ke dalam lintasan transmisi.

- Echo canceler merupakan metoda yang lebih canggih dari kedua metoda diatas, karena echo canceler tidak tergantung pada panjang lintasan (delay transmisi), disamping itu echo canceler tidak terpengaruh oleh kondisi doubletalk. Metoda ini dioperasikan dengan menggunakan filter adaptiv, dimana parameter dari filter ini akan berubah sesuai dengan kondisi lingkungan.

III.5. IMPLEMENTASI DARI ECHO CANCELLATION

Aplikasi secara luas dari echo cancellation baru-baru ini telah ditunjang oleh perkembangan teknologi mikroelektronik, sehingga menyebabkan perhitungan dari canceler menjadi sederhana dan murah dengan menggunakan implementasi single chip. Disamping itu aplikasi dari echo cancellation adalah banyak sekali, dan telah dipertimbangkan aktivitasnya dalam perencanaan dari peralatan echo cancellation.



GAMBAR 3-7¹⁶⁾

PHOTOMICROGRAPH DARI ECHO CANCELER

Implementasi untuk echo cancellation dikembangkan oleh Bell laboratories. Photo peralatan ini ditunjukkan dalam gambar 3-7. Peralatan ini mengimplementasikan single

¹⁶⁾ Tao Y. G., K. D. Kolwicz, C. W. K. Gritton, D. L. Duttweiler, "A cascaded VLSI echo canceler", IEEE J. on Selected areas in Commun., Vol. SAC-2, No. 2, Maret, 1984, h. 302.

canceler dengan 128 koefisien filter menggunakan teknik digital, dengan interface standard u-255 law companding yang secara luas digunakan dalam transmisi jaringan digital. Keuntungan yang diperoleh dari law companding untuk menyederhanakan perkalian yang dibutuhkan dalam implementasi filter transversal.

III.6. REALISASI-REALISASI LAIN PADA ECHO CANCELER

Realisasi-realisisasi lain dari echo canceler akan dijelaskan dalam bagian ini, yaitu tentang realisasi dari filter transversal, filter lattice dan realisasi waktu kontinu pada echo canceler.

III.6.1. REALISASI FILTER TRANSVERSAL

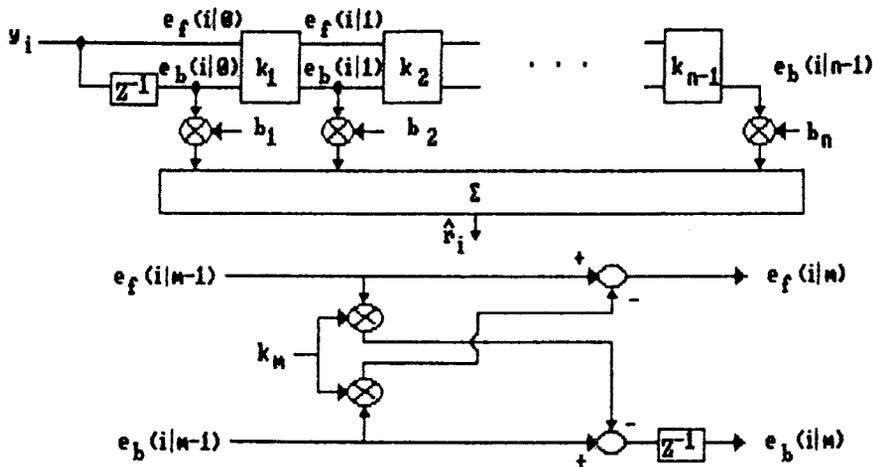
Filter transversal pada gambar 3-5 adalah realisasi bentuk langsung dari finite impulse response

$$\hat{r}_i = \sum_{m=0}^{n-1} a_m y_{i-m} \quad (3.3)$$

dimana ada n koefisien filter a_0, \dots, a_{n-1} . Koefisien filter ini diadaptasikan dengan cara yang akan dijelaskan pada bab V.

III.6.2. REALISASI FILTER LATTICE

Ada beberapa realisasi dari Finite Impulse Response (FIR) filter yang lain dari filter transversal.

GAMBAR 3-8¹⁷⁾.

ECHO CANCELER BERDASARKAN PADA FILTER LATTICE.

Salah satunya adalah struktur lattice ditunjukkan dalam gambar 3-8. Struktur lattice adalah ekuivalen dengan filter transversal dalam hal transfer function dimana dapat ditunjukkan dengan struktur transversal dapat juga ditunjukkan dengan struktur lattice. Sedangkan struktur filter lattice dapat ditunjukkan pada gambar 3-8.

Struktur filter lattice mengandung $n-1$ tingkatan (stage) dengan koefisien internal k_j , $1 < j < n-1$, dimana yang biasa disebut dengan koefisien refleksi atau koefisien PARCOR (Partial Correlation). Sinyal-sinyal pada output dari tingkat ke m , $e_f(i|m)$ dan $e_b(i|m)$, disebut berturut-turut prediksi error forward dan backward pada orde

¹⁷⁾ Makhoul, J., "A class of all-zero lattice digital filters", IEEE Trans. ASSP, Vol. ASSP-26, Agustus, 1978, h. 304.

m. Sifat yang menonjol pada prediksi error ini adalah bila koefisien refleksi dipilih yang sesuai, berturut-turut prediksi error backward tidak berkorelasi. Persamaan orde pembaharuan untuk prediksi error diberikan oleh

$$e_f(i|m) = e_f(i|m-1) - k_m e_b(i|m-1) \quad (3.4)$$

$$e_f(i|0) = y_i \quad (3.5)$$

$$e_b(i|m) = e_b(i-1|m-1) - k_m e_f(i-1|m-1) \quad (3.6)$$

$$e_b(i|0) = y_{i-1} \quad (3.7)$$

Tiruan echo dihasilkan dari pembentukan kombinasi bobot linear dari prediksi error backward dengan orde yang berurutan dengan bobot b_1, \dots, b_n , diberikan oleh

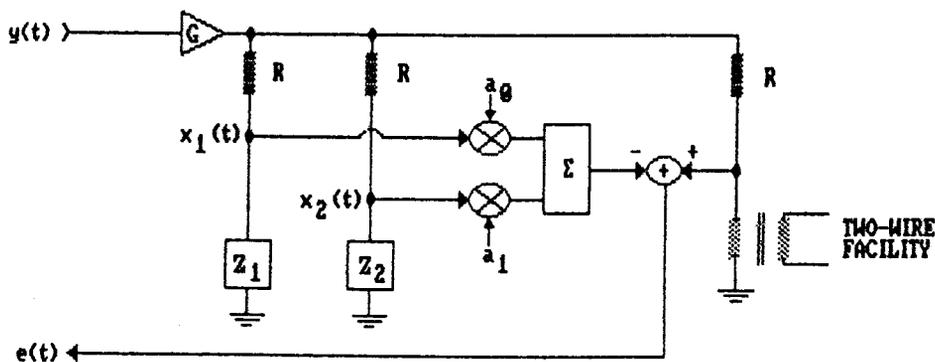
$$\hat{r}_i = \sum_{m=1}^n b_m e_b(i|m-1) \quad (3.8)$$

Satu cara untuk memahami struktur ini adalah seperti filter transversal dimana elemen delay telah diganti dengan stage lattice yang lebih rumit. Tujuan dari stage lattice ini adalah untuk decorrelate sinyal input, tiruan akhir dibentuk dari penjumlahan sinyal-sinyal yang tidak berkorelasi. Koefisien refleksi yang dipilih terlepas dari tiruan echo berdasarkan pada sinyal input referensi. Transfer function keseluruhan filter diatur oleh pemilihan koefisien bobot filter b_1, \dots, b_n .

III.6.3. CONTINUOUS TIME CANCELER

Realisasi lainnya untuk echo canceler adalah continuous time filter. Struktur ini, yang ditunjukkan dalam gambar 3-9, dapat dipakai untuk cancellation pada hybrid itu sendiri dan dinamakan hybrid adaptiv.

Hybrid adaptive membatasi impedansi input yang berubah-ubah pada saluran transmisi dua-kawat, dimana hybrid ini digunakan untuk mengurangi kompleksitas dari canceler. Karena sinyal echo $r(t)$ dihasilkan oleh pemakaian sinyal input referensi $y(t)$ ke pembagi, dua pembagi tegangan yang sama dibuat dengan menggunakan dua impedansi Z_1 dan Z_2 , yang mana merupakan pendekatan untuk saluran impedansi dua-kawat. Output dari kedua pembagi tegangan ini dijumlahkan untuk digunakan meughilangkan echo.



GAMBAR 3-9¹⁸⁾

DUA TAP CONTINUES TIME ECHO CANCELER

¹⁸⁾ K. Feher, op. cit., h. 199.

Dalam beberapa aplikasi struktur yang sederhana ini dengan hanya dua koefisien dapat mencapai cancellation yang cukup, sedangkan filter transversal harus membutuhkan lebih banyak koefisien. Ini menjelaskan bahwa filter transversal mungkin kadang-kadang mempunyai lebih banyak derajat kebebasan daripada kebutuhan yang sebenarnya.

Demikian mengenai penjelasan singkat dari penerapan metoda echo cancellation dalam transmisi suara. Selanjutnya akan dijelaskan mengenai penerapan metoda echo cancellation dalam transmisi data pada bab IV.

BAB IV. ECHO CANCELLATION DALAM TRANSMISI DATA

IV.1. UMUM

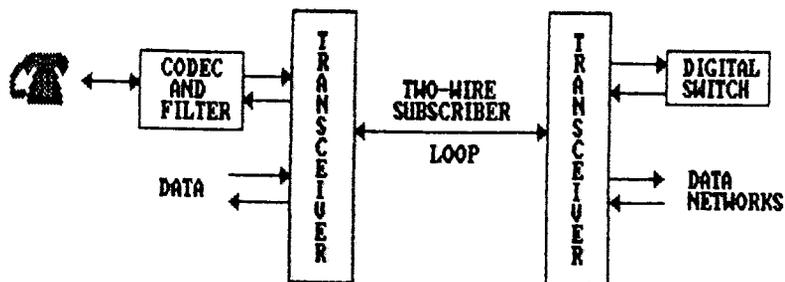
Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai penerapan metoda echo cancellation dalam transmisi data. Aplikasi dalam transmisi data dapat dibagi menjadi dua. Aplikasi pertama yaitu dalam transmisi digital loop subscriber, dimana menggunakan baseband echo canceler. Aplikasi kedua yaitu dalam transmisi data voiceband (modem), dimana menggunakan passband echo canceler.

Bila sinyal data ditransmisikan melalui jaringan, banyak kesulitan yang sama dijumpai dengan echo seperti pada transmisi suara. Dalam transmisi data half-duplex (data ditransmisikan hanya dalam satu arah), echo-echo tidak menimbulkan masalah selama tidak ada penerima pada ujung transmisi yang dipengaruhi oleh echo. Dalam transmisi full-duplex, dimana sinyal data ditransmisikan dalam kedua arah secara serentak, echo-echo dari sinyal data dalam satu arah mempengaruhi sinyal data dalam arah yang berlawanan.

Kebanyakan transmisi digital adalah half-duplex. Sebagai contoh, sistem transmisi trunk digital high-speed memisah pada dua arah transmisi, secara fisik berbeda kawat, koaxial, atau media fiber optic. Demikian pula,

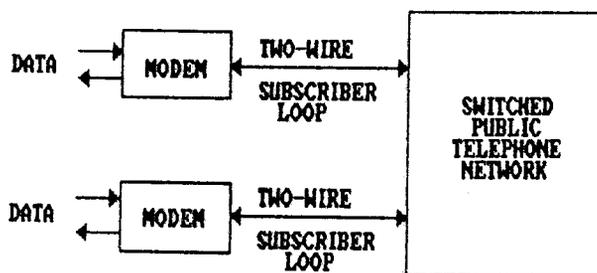
kebanyakan transmisi data voiceband high-speed, dimana modulator-demodulator (modem) digunakan untuk mentransmisikan data komputer melalui jaringan telepon publik adalah half-duplex.

Bagaimanapun, transmisi data full-duplex melalui media bersama menimbulkan dua aplikasi penting. Aplikasi pertama pada gambar 4-1 adalah transmisi digital loop subscriber, dimana pada dasarnya melayani suara dan data yang disediakan melalui dua-kawat loop subscriber. Kemampuan digital loop subscriber ini merupakan motivasi timbulnya Integrated Services Digital Network (ISDN), dimana integrasi voice dan data disediakan ke pelanggan melalui fasilitas bersama. Transmisi suara membutuhkan codec (coder-decoder) dan anti aliasing serta filter rekonstruksi untuk membentuk konversi analog-to-digital dan digital-to-analog pada pelanggan, bersama dengan transmitter-receiver (transceiver) untuk transmisi data full-duplex melalui dua-kawat loop subscriber. Sinyal data dihubungkan secara langsung ke transceiver. Ujung sentral dari suatu loop mempunyai transceiver full-duplex yang lain, dengan menghubungkan ke switch sentral digital untuk suara atau rangkaian switch transmisi data dan ke jaringan data untuk transportasi data-packet.

GAMBAR 4-1¹⁹⁾.

APLIKASI ECHO CANCELLATION PADA TRANSMISI DIGITAL LOOP SUBSCRIBER.

Aplikasi kedua untuk transmisi data full-duplex adalah dalam transmisi data voiceband (gambar 4-2) dimana interface pelanggan ke jaringan menggunakan dua-kawat loop subscriber.

GAMBAR 4-2²⁰⁾.

APLIKASI ECHO CANCELLATION PADA FULL-DUPLEX VOICEBAND DATA MODEM

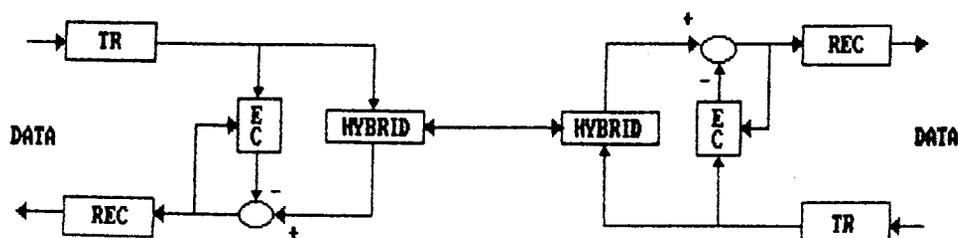
¹⁹⁾ K. Feher, op. cit., h. 200.

²⁰⁾ K. Feher, loc. cit.

Dalam hal ini lintasan transmisi biasanya lebih rumit, hal ini disebabkan oleh adanya fasilitas trunk empat-kawat ditengah-tengah hubungan. Situasi ini dapat menjadi lebih rumit dengan adanya toll switch dua-kawat.

Untuk transmisi digital loop subscriber, medium transmisi yang hampir ideal, terdiri dari pasangan kabel dengan kemampuan bandwidth yang lebar. Pada modem data voiceband, walaupun membutuhkan kecepatan transmisi yang lebih rendah, menemukan lebih banyak kelemahan. Lagi pula pembatasan bandwidth yang ketat bila fasilitas carrier digunakan, serta ada beberapa masalah dengan noise dan ketidaklinearan. Perbedaan lain adalah bahwa transmisi digital loop subscriber menggunakan transmisi baseband, sedangkan modem data voiceband menggunakan transmisi passband yaitu memodulasi carrier dengan aliran data.

Satu pendekatan pada transmisi data full-duplex adalah menggunakan echo canceler (EC) untuk dua arah transmisi seperti ditunjukkan dalam gambar 4-3. Disini ada transmitter (TR) dan receiver (REC) pada setiap ujung dari hubungan, dan hybrid digunakan sebagai interface antara transmitter pada setiap ujung dan receiver pada ujung yang berlawanan. Permasalahan dengan pengaturan ini adalah sebagian sinyal high-level termakan hybrid dari transmitter ke lokal receiver.

GAMBAR 4-3²¹⁾.

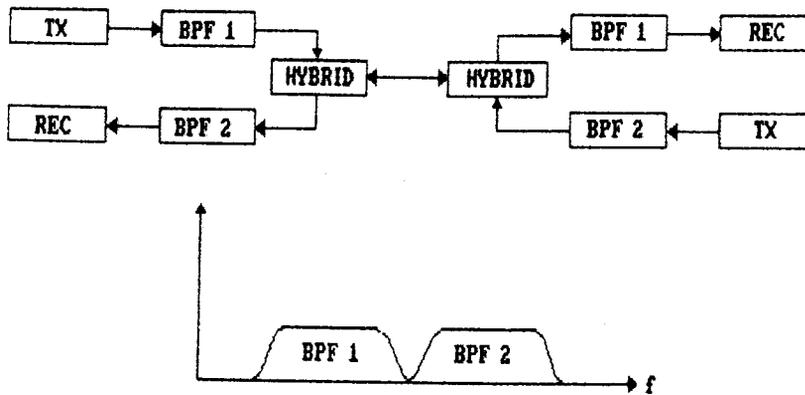
KONFIGURASI ECHO CANCELLATION UNTUK TRANSMISI DATA FULL-DUPLEX

IV.2. TRANSMISI DIGITAL LOOP SUBSCRIBER

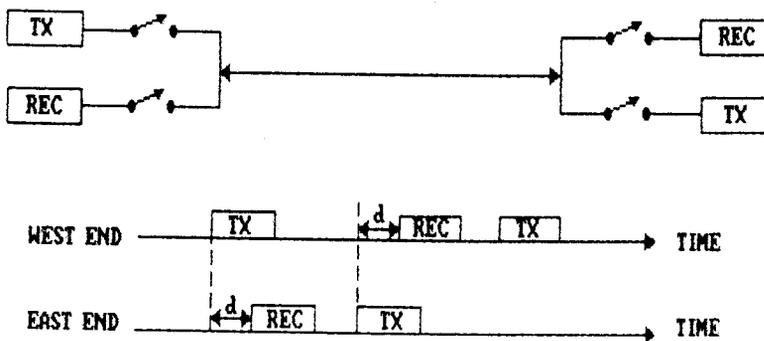
Aplikasi dari transmisi digital loop subscriber terdiri dari dua metoda, yaitu metoda FDM dan metoda TCM. Kedua metoda tersebut akan dijelaskan dalam bagian ini.

Metoda pertama adalah frequency division multiplexing (FDM), dimana kedua arah ditransmisikan dalam band frekuensi yang berbeda oleh karena itu tidak ada interferensi dengan yang lainnya oleh karena kedatangan echo. Hal ini diilustrasikan dalam gambar 4-4, dimana transmisi satu arah menggunakan band frekuensi melalui band pass filter BPF1, dan arah lainnya menggunakan band frekuensi yang berbeda melalui BPF2.

²¹⁾ Agazzi, O., D. G. Messerschmitt, D. A. Hodges, "Large-scale integration of hybrid-method digital subscriber loops". IEEE Trans. Commun. Vol. COM-30, September, 1982, h. 2096.

GAMBAR 4-4²²⁾.

METODA FDM UNTUK TRANSMISI DATA FULL-DUPLEX



d = PROPAGATION DELAY

GAMBAR 4-5²³⁾.

METODA TCM UNTUK TRANSMISI DATA FULL-DUPLEX

Metoda kedua adalah time compression multiplexing (TCM), ditunjukkan dalam gambar 4-5. Yaitu dengan membagi

22) Ahamed, S. V., P. P. Bohn, N. L. Gottfried, "A tutorial on two-wire digital transmission in the loop plant", IEEE Trans. Commun. Vol. COM-29, No. 11, November, 1981, h. 1555.

23) Ibid.

medium bersama dalam kawasan waktu, transmisi pertama dalam satu arah dan kemudian dalam arah yang lain. Switch beroperasi secara maksimum dengan cara yang sama seperti pada echo suppressor, memberikan keuntungan bahwa transmisi hanya dalam satu arah pada waktu memisah ke dua arah. Transmitter sebelah barat pertama mengirim burst bit pada kecepatan yang lebih besar daripada dua kali kecepatan rata-rata data dalam satu arah, dan burst ini diterima d detik berikutnya, dimana d adalah delay propagasi pada lintasan. Ujung sebelah timur, mendeteksi burst ini diterima dan mengirimkan burst transmisinya sendiri secepatnya setelah ujungnya menerima burst. Burst ini datang pada ujung barat dengan delay d sebelum burst berikutnya harus ditransmisikan. Ujung barat, menjadi kontrol, mentransmisikan burst data pada interval yang tetap.

Bagaimanapun, pertimbangan penting dalam transmisi digital loop subscriber adalah crosstalk diantara beberapa pasang kabel yang mana masing-masing membawa sinyal data. Khususnya, crosstalk yang paling penting adalah near-end crosstalk (NEXT), yang mana lokal transmitter lainnya merupakan crosstalking kedalam lokal receiver. Bila dalam TCM semua transmitter disinkronisasikan untuk mentransmisikan burst-burst data pada waktu yang sama, NEXT tidak diperhitungkan karena tidak ada lokal transmitter yang

aktif pada saat yang sama seperti pada lokal receiver. Demikian pula tidak ada interferensi NEXT dalam sistem FDM karena lokal transmitter dan receiver beroperasi dalam frekuensi band yang berbeda.

Perbandingan antara FDM, TCM, dan metoda echo cancellation adalah oleh karena tergantung pada pertentangan antara pengaruh redaman kabel pada frekuensi tinggi (dimana menguntungkan untuk echo cancellation) dan NEXT (dimana menguntungkan untuk FDM atau sinkronisasi TCM) dan tergantung pada beberapa rincian seperti sinkronisasi dari TCM, kode-kode saluran dan sebagainya. Perbandingan antara metoda tersebut biasanya dilakukan berdasarkan range, yaitu jarak transmisi yang diperbolehkan. TCM tentu saja lebih sederhana untuk implementasi dan oleh karena itu merupakan pilihan terbaik dimana range tidak diperhitungkan.

IV.2.1. IMPLEMENTASI TRANSCEIVER DIGITAL LOOP SUBSCRIBER

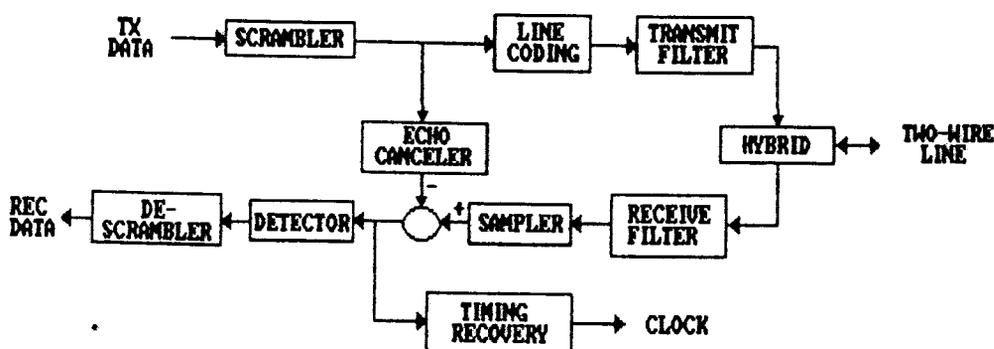
Bagian ini menjelaskan transceiver yang lengkap yang digunakan untuk mentransmisikan data full-duplex seperti sinyal baseband melalui loop subscriber.

Implementasi data echo canceler berbeda dari voice echo canceler dalam beberapa hal. Pertama, sinyal input adalah sinyal digital (data), dan oleh karena itu memungkinkan sampling rate dibuat sinkron dengan data rate. Kedua, oleh karena sinyal dalam dua arah menyatakan pada

setiap waktu, memberikan pengaruh pada sinyal ujung-jauh dengan adaptasi persoalan yang lebih berarti. Ketiga, derajat cancellation yang diinginkan adalah lebih besar, memberikan disain dan implementasi yang lebih menarik. Akhirnya, ada persoalan-persoalan yang berarti pada timing recovery, sinkronisasi, dan equalisasi, yang mana saling mempengaruhi dengan echo cancellation dan tidak ada dalam voice cancellation.

Gambar blok diagram fungsi-fungsi dari transceiver diberikan pada gambar 4-6. Transmisi data pertama diacak untuk menjamin bahwa ada pulsa-pulsa yang cukup untuk timing recovery pada ujung lainnya. Beberapa bentuk dari pengkodean saluran dipakai untuk mengatur spektrum sinyal transmit. Berikutnya adalah filter transmit untuk membatasi komponen frekuensi tinggi dalam sinyal untuk radio frequency interference (RFI) dan menghindari crosstalk.

Pada sisi penerima, filter penerima mencegah aliasing dalam operasi sampling berikutnya dan juga memberikan equalisasi pada redaman frekuensi tinggi dari kabel. Sinyal kemudian disample, karena echo canceler beroperasi pada sistem digital. Pemilihan sampling rate biasanya dalam echo cancellation merupakan faktor critical design, yang mana akan dijelaskan nanti secara singkat. Setelah echo cancellation, data dideteksi dan menyusun hasil urutan data yang diterima.

GAMBAR 4-6²⁴⁾.

BLOK DIAGRAM ECHO CANCELLATION DARI TRANSCEIVER LOOP
SUBSCRIBER

Blok diagram ini menganggap bahwa kedua arah transmisi adalah sinkron. Ini biasanya ditentukan oleh switch digital dalam sentral. Persyaratan sinkronisasi tergantung pada apakah ada atau tidak ada transmitter pada sentral, yang mana melayani sebagai sinkronisasi master clock, atau pada ujung pelanggan. Pada ujung sentral, clock sentral digunakan untuk mengendalikan transmitter dan receiver. Pada ujung pelanggan, tidak ada clock referensi yang lain daripada aliran data yang masuk. Kemudian perlu untuk membentuk timing recovery pada data yang masuk, seperti ditunjukkan pada gambar 4-6, dan ini harus dilakukan setelah echo canceler sehingga pemulihan timing ini tidak

²⁴⁾ Agazzi O., op cit, h. 2096.

dipengaruhi oleh data lokal yang dikirim. Echo canceler dapat memindahkan sinyal data lokal bila sinyal data lokal dan remote adalah sinkron. Sekali timing direcover, hasil clock dapat digunakan untuk mendrive lokal transmitter, yang mana akan disinkronkan dengan remote transmitter.

Pemilihan sampling rate merupakan pertentangan antara kerumitan pada echo canceler dan memudahkan timing recovery. Untuk tujuan deteksi data, sampling rate sama dengan data symbol rate. Timing recovery biasanya mempertimbangkan kebutuhan sampling rate yang sama dengan dua kali data symbol rate, karena laju minimum pada sinyal dapat direcover tanpa aliasing.

Dengan kesimpulan, sampling rate biasanya sama dengan dua kali symbol rate atau lebih besar, dan secara tidak langsung bahwa echo canceler mempunyai sampling rate yang berbeda pada input dan output, karena input rate sama dengan symbol rate. Cara ini akan disempurnakan pada bagian berikutnya.

IV.2.2. BASEBAND ECHO CANCELER

Rumus matematika pada data baseband echo canceler digunakan dalam transceiver digital loop subscriber yang agak lebih rumit daripada rumus pada voice canceler, dimisalkan bahwa sinyal transmisi PAM $s(t)$ adalah

$$s(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} C_m g(t - mT) \quad (4.1)$$

dimana C_m adalah urutan dari data simbol yang ditransmisikan, $g(t)$ adalah bentuk pulsa transmisi, dan T adalah interval antara transmisi data simbol (interval baud). Anggap sinyal ini melewati filter dengan transfer function $H_e(\omega)$ yang menyatakan respon echo. Bila kita menyatakan respon filter ini pada $g(t)$ sebagai $h(t)$ dan respon echo sebagai $r(t)$, maka selanjutnya menjadi

$$r(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} C_m h(t-mT) \quad (4.2)$$

Oleh karena menggunakan filter transversal, maka perlu untuk merekonstruksi sample-sample dari sinyal echo ini. Yaitu dengan menyample sinyal ini lebih besar dari T detik bila secara obyektif dapat merekonstruksi $r(t)$ secara tepat. Oleh karena clock menunjukkan transmisi sinyal data yang tersedia, maka untuk menyample sinyal echo pada kecepatan dimana merupakan perkalian integer dari simbol rate, disebut dengan pengali R . Sehingga didefinisikan sebagai

$$r_i(l) = r((i + l/R) T), \quad 0 \leq l \leq R-1 \quad (4.3)$$

dimana indeks i menyatakan jangka waktu data simbol dan l menyatakan sample dari R ruang sample yang sama dalam jangka waktu ini. Demikian pula, didefinisikan notasi untuk sample-sample pada respon pulsa echo

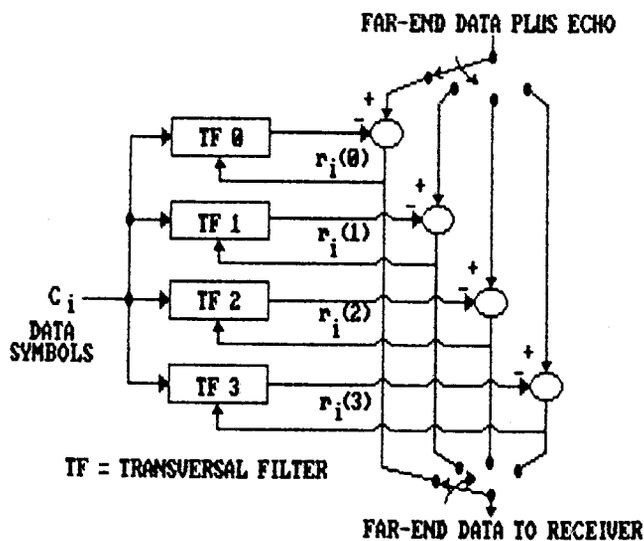
$$h_i(l) = h((i + l/R) T), \quad 0 \leq l \leq R-1 \quad (4.4)$$

Dari (4.2 - 4.4),

$$r_i(1) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_m(1)C_{i-m} \quad (4.5)$$

Hubungan ini menunjukkan bahwa sample-sample dari echo dapat dianggap sebagai kanal echo R yang independen, setiap kanal dikendalikan oleh urutan yang sama dari data simbol. Impulse respon ke l dari kanal echo adalah $h_i(1)$.

Echo tiruan dapat dihasilkan secara independen untuk setiap kanal echo dengan men-set R interleave echo canceler seperti ditunjukkan dalam gambar 4-7. Setiap canceler menghilangkan echo untuk satu phasa sampling, dan mempunyai sampling rate pada input dan output yang sama dengan baud rate.



GAMBAR 4-7²⁵⁾

INTERLEAVE DATA TRANSMISI ECHO CANCELER

²⁵⁾ K. Feher, op. cit., h. 207.

Setiap canceler beroperasi secara independen, masing-masing menghasilkan sinyal errornya sendiri untuk menerima data full-duplex dan adaptasi dari hubungan canceler.

Mengingat kanal-kanal echo R adalah independen, indeks l dapat dimasukkan. Selanjutnya kita hanya mempertimbangkan perencanaan satu per satu dari interleave echo canceler. Filter transversal mempunyai impuls response yang terbatas, sehingga mempertimbangkan pembentukan echo canceler untuk menghasilkan tiruan

$$\hat{r}_i = \sum_{m=0}^{n-1} C_{i-m} a_m \quad (4.6)$$

dimana a_i , $0 \leq i < n-1$, adalah n koefisien filter untuk setiap R interleave filter transversal. Filter transversal ini menghasilkan pendekatan FIR pada respon echo. Dengan analogi pada (3.3), dimana sample-sample ujung-jauh pembicara dari voice canceler telah diganti dengan transmisi data simbol pada input reference canceler.

R echo canceler yang independen dapat digunakan dengan cara seperti pada gambar 4-7 untuk $R = 4$. Setiap canceler mempunyai urutan input data yang sama pada input referensinya. Ujung-jauh data ditambah dengan sinyal echo dari hybrid dikurangi dengan empat sinyal yang independen, masing-masing pada data simbol rate, dan ini tidak tergantung penghapusan dan penggabungan kedalam satu aliran sample yang menyatakan ujung-jauh data sinyal itu sendiri.

Setiap sinyal error cancellation digunakan untuk mengendalikan adaptasi pada hubungan canceler.

Setiap canceler dapat dipikirkan sebagai adaptasi ke impulse response dari kanal echo yang disample pada kecepatan yang sama dengan simbol rate (baud rate). Oleh karena semua filter transversal beradaptasi secara independen, kehadiran multiple interleaved filter canceler tidak mempengaruhi kecepatan adaptasi. Oleh karena itu, pemilihan output sampling rate semata-mata merupakan persoalan implementasi yang kompleks : kecepatan adaptasi dan error asymptotic tidak dipengaruhi oleh sampling rate.

IV.3. TRANSMISI DATA VOICEBAND

Bagian sebelumnya menjelaskan aplikasi echo cancellation untuk transmisi data baseband full-duplex (digital loop subscriber); pada bagian ini diuraikan mengenai masalah passband yang umum dari model transmisi data voiceband. Oleh karena data voiceband ditransmisikan pada passband, detail echo cancellation menentukan pertimbangan yang berbeda dari digital loop subscriber. Untuk alasan ini, transmisi passband dan pengaruhnya pada echo cancellation ditinjau pada bagian berikut ini.

IV.3.1. QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION (QAM)

Metoda yang biasa dipakai pada transmisi data

voiceband adalah Quadrature Amplitudo Modulation (QAM). Oleh karena echo canceler umumnya beroperasi dalam modulasi ini, bagian ini secara singkat akan mengulas teknik ini.

Translasi frekuensi pada sinyal data baseband hingga passband dengan memodulasi carrier merupakan pemborosan bandwidth oleh karena upper dan lower sideband juga ditransmisikan. Metoda yang lebih efisien adalah transmisi Single Sideband (SSB) atau Vestigial Sideband (VSB). Modem data voiceband umumnya menggunakan QAM, yang mana mempunyai efisiensi bandwidth yang sama seperti modulasi SSB dan umumnya peralatannya sederhana. Dalam QAM, dua carrier yang berbeda phase 90° dimodulasi secara terpisah oleh sinyal data baseband.

Dalam rumus matematika pada modulasi passband ini, disepakati menggunakan notasi kompleks, dengan mempertimbangkan sinyal data baseband yang identik dengan persamaan (4.1) kecuali bahwa data simbol adalah kompleks.

$$C_i = a_i + jb_i \quad (4.7)$$

dan bentuk pulsa transmisi $g(t)$ adalah bernilai real. Oleh karena sinyal ini adalah berharga kompleks, maka mempunyai spektrum yang asimetris, seperti ditunjukkan pada gambar 4-8a. Bila sinyal data kompleks ini dimodulasi hingga passband oleh perkalian dengan eksponensial kompleks yang mempunyai frekuensi carrier ω_c , spektrum digeser sebesar ω_c radian, seperti ditunjukkan dalam gambar 4-8b. Bila sinyal

transmisi dalam kawasan waktu disebut $s_a(t)$, sinyal berharga kompleks ini diberikan oleh

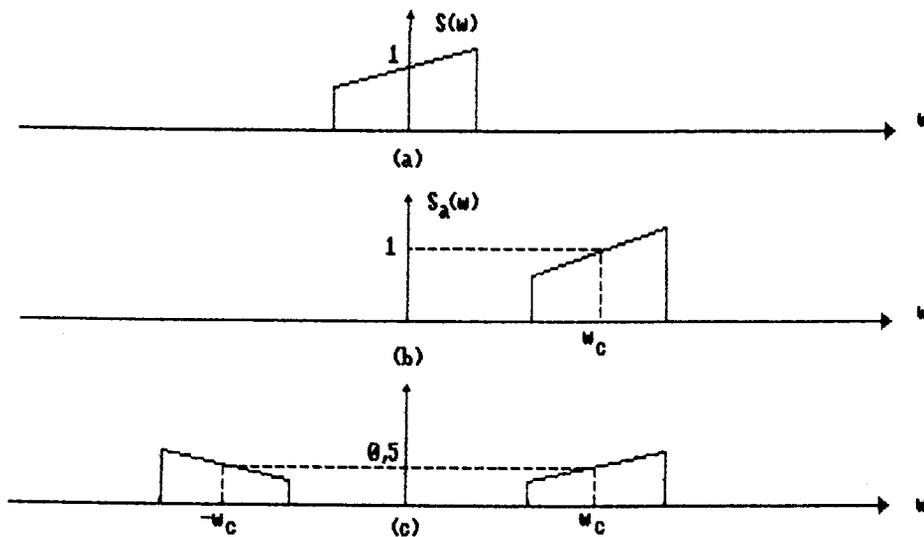
$$s_a(t) = \sum_m C_m g(t - mT) e^{j\omega_c t} \quad (4.8)$$

Akhirnya, untuk membuat sinyal transmisi berharga real, secara sederhana mengambil bagian real dari $s_a(t)$,

$$s(t) = \text{Re}[s_a(t)] \quad (4.9)$$

Sehingga bagian real dapat ditulis lain sebagai

$$s(t) = \frac{s_a(t) + s_a^*(t)}{2} \quad (4.10)$$



GAMBAR 4-8²⁶⁾

SPEKTRA DARI SINYAL PADA QAM.

(a) SINYAL BASEBAND DENGAN SIMBOL DATA BERHARGA KOMPLEKS.

(b) SETELAH MODULASI DENGAN EKSPONENSIAL KOMPLEKS.

(c) SETELAH MENGAMBIL BAGIAN REAL

²⁶⁾ K. Feher, op. cit., h. 208.

Dan karena transformasi Fourier dari $s_a^*(t)$ adalah $S_a^*(-\omega)$, maka transformasi Fourier dari $s(t)$ adalah

$$S(\omega) = \frac{S_a(\omega) + S_a^*(-\omega)}{2} \quad (4.11)$$

seperti ditunjukkan dalam gambar 4-8c. Tinggi spektrum dalam gambar 4-8c adalah setengah dari tinggi spektrum dalam gambar 4-8a dan 4-8b.

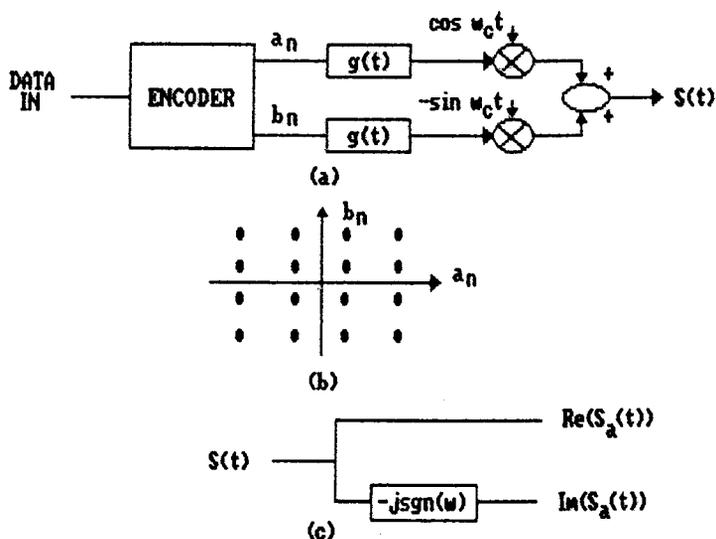
Untuk tujuan implementasi dari transmitter, disepakati untuk mengembangkan persamaan 4.7, supaya persamaan 4.8 menjadi

$$s(t) = \sum_m a_m g(t - mT) \cos(\omega_c t) - \sum_m b_m g(t - mT) \sin(\omega_c t) \quad (4.12)$$

dimana merupakan modulasi amplitudo dari dua sinyal data yang terpisah dengan carrier yang berbeda phase 90° . Metoda yang menghasilkan modulasi sinyal ini ditunjukkan dalam gambar 4-9a. Aliran input data diencode (serial-to-pararel) memberikan harga a_n dan b_n . Ada beberapa cara dalam melakukan ini, dan dalam gambar 4-9b menggambarkan satu cara yang sederhana. Dalam hal ini, harga kompleks data simbol c_n menganggap satu dari 16 harga yang berbeda, dengan bagian real a_n mempunyai 4 harga dan bagian imajinair b_n mempunyai 4 harga (masing-masing punya tempat yang sama). Encoder memetakan 4 bit input ke dalam data simbol yang berharga kompleks, 2 bit ke dalam bagian real dan 2 bit ke dalam bagian imajinair. Selanjutnya dari transmitter dalam gambar 4-9a memodulasi pulsa $g(t)$ dengan

bagian real dan imajinair, memodulasinya hingga passband dan mengalikannya dengan carrier yang berbeda phase 90° , dan kemudian menjumlahkan hasilnya.

Sinyal transmisi dalam kawasan waktu dengan hanya komponen frekuensi positif sesuai dengan gambar 4-8b disebut dengan sinyal analitik. Proses didalam penerima, disepakati untuk merecover sinyal berharga kompleks sebelum memprosesnya lebih lanjut.



GAMBAR 4-9²⁷⁾.

PRINSIP QAM.

(a) MODULATOR QAM.

(b) KONSTELASI SINYAL 16-TITIK.

(c) PHASE SPLITTER DI PENERIMA

27)

Bernard, S., "Digital Communications Applications", Prentice-Hall, Englewood
h. 408.

Fundamentals and
Cliffs, N. J., 1988.

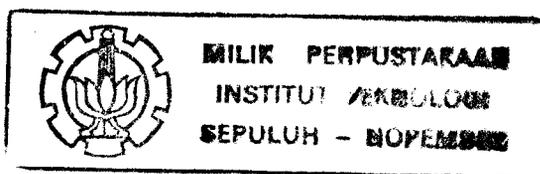
Dengan menggunakan modulasi QAM, sinyal analitik dapat direcover dengan cara seperti dalam gambar 4-9c dengan menggunakan phase splitter (pemisah phase). Bagian imajinair dari sinyal analitik disederhanakan oleh jaringan penggeser phase 90° (dengan transfer function $-j\text{sgn}(\omega)$), juga disebut sebagai filter transform Hilbert. Dengan mengetahui ini, transformasi Fourier dari sinyal berharga kompleks yang dihasilkan dalam gambar 4-9c adalah

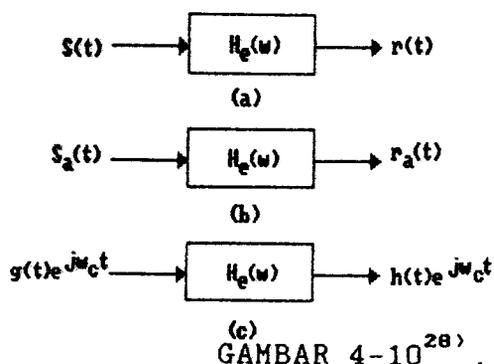
$$S(\omega) + \text{sgn}(\omega)S(\omega) = \begin{cases} 2S(\omega) & \omega \geq 0 \\ 0 & \omega < 0 \end{cases} \quad (4.13)$$

dan sinyal ini mempunyai komponen frekuensi positif.

IV.3.2. PASSBAND ECHO CANCELER

Mempertimbangkan respon dari transfer function echo (dinyatakan dengan $H_e(\omega)$, seperti dalam hal baseband) untuk mengirimkan sinyal data yang diberikan oleh persamaan (4.9). Dalam kenyataannya, mengingat sinyal analitik dari respon echo dihasilkan oleh phase splitter pada input penerima, yang sebenarnya dikehendaki adalah sinyal analitik sesuai dengan sinyal echo ini. Pada gambar 4-10, bila respon dari filter echo ke sinyal transmisi dinyatakan dengan $r(t)$, seperti ditunjukkan dalam gambar 4-10a, maka sesuai dengan gambar 4-10b, $r_a(t)$ adalah respon dari filter echo ke sinyal analitik yang ditransmisikan $s_a(t)$. Ini karena impuls respon dari filter echo adalah berharga real.





RESPONS FILTER LINTASAN ECHO UNTUK PULSA SINGLE MODULASI

(a) SINYAL TRANSMISI DAN ECHO.

(b) SINYAL ANALITIK.

(c) RESPONS PULSA.

Menentukan respon sinyal analitik yang ditransmisikan adalah sederhana bila respon ke pulsa analitik tunggal dapat ditentukan, seperti ditunjukkan dalam gambar 4-10c. Output dinyatakan dengan sinyal analitik yang lain, dimana $h(t)$ ekuivalen dengan pulsa baseband yang mana kembali melalui lintasan echo. Dengan transformasi Fourier dari input dan output dari filter lintasan echo dalam gambar 4-10c,

$$G(\omega - \omega_c)H_e(\omega) = H(\omega - \omega_c) \quad (4.14)$$

atau ekuivalen dengan,

$$H(\omega) = G(\omega)H_e(\omega + \omega_c) \quad (4.15)$$

Ini dibuktikan dengan output pulsa baseband yang dapat

²⁸⁾ K. Feher, op. cit., h. 211.

diperoleh dengan penggeseran transfer function echo disekitar frekuensi carrier sesuai dengan yang diharapkan. Spektrum dari $H(\omega)$ tidak mempunyai pasangan kompleks yang simetri dengan aslinya, sehingga $h(t)$ secara umum berharga kompleks.

Sinyal echo analitik mengikuti superposisi berikut

$$r_a(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} C_m h(t - mT) e^{j\omega_c t} \quad (4.16)$$

sesuai dengan analogi pada persamaan (4.2). Seperti dalam hal baseband, echo canceler harus diimplementasikan dalam waktu diskrit. Agar supaya dapat merekonstruksi sinyal echo, sampling rate harus R kali simbol rate. Definisi $r_{a,i}(l)$ dan $h_i(l)$ sesuai dengan persamaan (4.3) dan (4.4), dengan cara yang sama pada persamaan (4.5) diperoleh

$$r_{a,i}(l) = \left[\sum_m C_m h_{i-m}(l) \right] e^{j\omega_c(i + l/R)T} \quad (4.17)$$

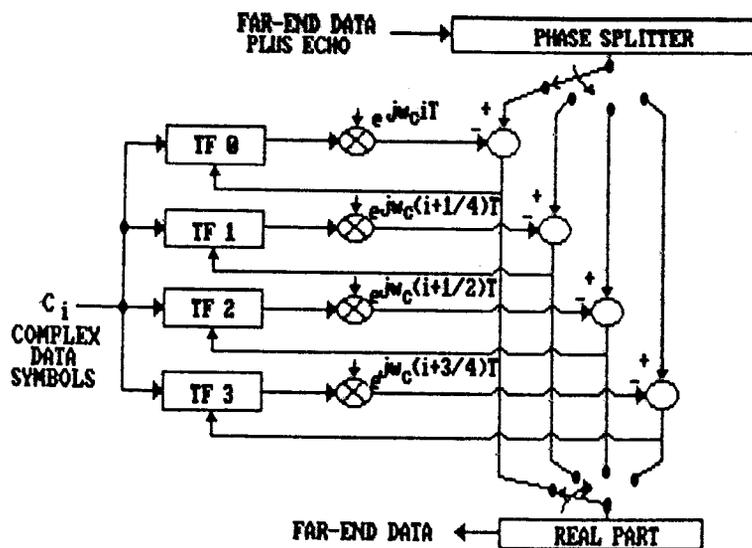
Pendekatan filter transversal FIR terhadap echo ini menjadi,

$$\hat{r}_{a,i} = \left[\sum_{m=0}^{n-1} a_m C_{i-m} \right] e^{j\omega_c(i + l/R)T} \quad (4.18)$$

dimana l telah ditekan dan koefisien filter a_m berharga kompleks.

Ilustrasi dari pendekatan ini untuk $R=4$ ditunjukkan dalam gambar 4-11. Data simbol kompleks yang sama C_i diterapkan pada setiap filter transversal. Filter transversal ini beroperasi pada baseband dan mempunyai koefisien filter yang berharga kompleks, dan output

dimodulasi sampai frekuensi carrier ω_c sebelum proses cancellation. Phase dari modulasi carrier berbeda untuk setiap interleave canceler. Output hybrid, mengandung sinyal echo yang tidak diinginkan, pertama dikonversikan ke sinyal analitik dengan phase splitter dan dipisah menjadi empat sinyal, masing-masing pada simbol data rate. Kemudian empat interleave echo canceler dijalankan, dan sinyal-sinyal itu digabungkan kedalam satu sinyal error yang mengandung sinyal data ujung-jauh. Harga real dari sinyal ini diambil dan hasilnya merupakan sinyal data ujung-jauh.



GAMBAR 4-11²⁹⁾.

INTERLEAVE KOMPLEKS BASEBAND ECHO CANCELER DALAM SISTEM
TRANSMISI DATA PASSBAND

²⁹⁾ K. Feher, op. cit., h. 212.

Umumnya, sinyal ini diterapkan pada filter interpolasi dan disample kembali secara sinkron dengan data ujung-jauh.

Demikian penjelasan singkat mengenai aplikasi dari echo cancellation dalam transmisi data. Pada bab selanjutnya akan dijelaskan mengenai pertimbangan perencanaan dan status perkembangan dari echo cancellation.

BAB V. PERTIMBANGAN PERENCANAAN DAN STATUS PERKEMBANGAN ECHO CANCELLATION

V.1. PERTIMBANGAN PERENCANAAN DALAM ECHO CANCELLATION

Perencanaan echo canceler menyangkut beberapa pertimbangan, seperti kecepatan adaptasi, pengaruh sinyal ujung-dekat dan ujung-jauh, pengaruh yang kuat dari level sinyal dan spectra, dan pengaruh yang kuat dari ketidaklinearan. Beberapa pertimbangan tersebut akan dijabarkan dalam bab ini.

V.1.1. ALGORITHMMA ADAPTASI

Pemilihan algorithmma untuk adaptasi merupakan pertentangan antara kompleksitas dari implementasi dan kecepatan adaptasi. Ada beberapa alternatif, dari algorithmma yang menggunakan filter transversal yang sederhana sampai pada algorithmma yang menggunakan filter lattice. Tetapi hanya algorithmma yang menggunakan filter transversal yang akan dijelaskan lebih mendetail.

Secara umum motivasi untuk adaptasi echo canceler adalah karena transfer function untuk echo adalah tidak diketahui dalam perkembangannya. Juga transfer function echo berubah dengan waktu, walaupun dalam banyak hal

perubahan ini lambat (dinyatakan dalam respon perubahan temperatur dari fasilitas transmisi).

Untuk voice echo canceler, dimana canceler tidak bekerja hanya pada pelanggan khusus, adaptasi harus terjadi pada setiap pelanggan baru. Untuk data echo canceler, adaptasi merupakan urutan permulaan sebelum data ditransmisikan. Analisa kecepatan konvergensi pada algoritma adaptasi adalah perlu untuk menganggap bahwa lingkungan adalah stasioner, yaitu bahwa transfer function echo dan spektrum sinyal referensi tidak berubah. Koefisien filter ke n sebagai a_n dan output error pada waktu i sebagai e_i . Didefinisikan notasi vektor untuk vektor koefisien filter ke n sebagai

$$a^T \equiv [a_0, a_1, \dots, a_{n-1}] \quad (5.1)$$

dimana T menyatakan transpose, dan n adalah jumlah koefisien dalam filter transversal. Juga didefinisikan vektor sample-sample input sebagai

$$y_i^T \equiv [y_i, y_{i-1}, \dots, y_{i-n+1}] \quad (5.2)$$

Impulse respons dari kanal echo adalah h_k , dimana $0 \leq k < \infty$, dan untuk n sample ditulis sebagai

$$h^T = [h_0, h_1, \dots, h_{n-1}] \quad (5.3)$$

Algoritma adaptasi secara terus-menerus mengatur koefisien filter a_n hingga dicapai error estimasi yang minimum. Error estimasi $e(n)$ didefinisikan sebagai selisih

antara respon harapan $d(n)$ dengan output dari filter $\hat{r}(n)$

$$e(n) = d(n) - \hat{r}(n) \quad (5.4)$$

Dengan notasi ini, sinyal error estimasi untuk voice echo canceler seperti ditunjukkan dalam gambar 3-5 sebagai

$$\begin{aligned} e_k &= \sum_{m=0}^{\infty} h_m y_{k-m} - \sum_{m=0}^{n-1} a_m y_{k-m} + x_k \\ &= (h - a)y_k + v_k \end{aligned} \quad (5.5)$$

dimana

$$v_k = \sum_{m=n}^{\infty} h_m y_{k-m} + x_k \quad (5.6)$$

adalah sisa echo yang tidak dapat dihilangkan (uncancelable) yang berhubungan dengan delay-delay echo yang melebihi jumlah koefisien dalam filter transversal ditambah dengan sinyal ujung-dekat pembicara. Untuk data echo canceler persamaan (5.5) masih berlaku, dimana data simbol referensi C_{i-m} diganti y_{i-m} . Dua persamaan dalam (5.5) adalah berkorelasi bila sample-sample sinyal referensi adalah berkorelasi. Dalam bagian berikut, ada beberapa cara untuk meminimisasi error cancellation.

V.1.1.1 LEAST-MEAN-SQUARE (LMS)

Dalam bagian ini diasumsikan bahwa sinyal input y_k merupakan proses random waktu diskrit yang wide-sense stationary (yaitu mean dan fungsi autokorelasi tidak berubah

oleh pergeseran waktu)³⁰⁾. Rata-rata kuadrat dari sinyal error (mean-square error MSE) akan diminimisasi untuk hal ini. Definisi vektor korelasi silang antara v_i dan input y_i sebagai

$$p = E[v_i y_i] \quad (5.7)$$

dimana E menyatakan ekspektasi. Dengan cara yang sama, didefinisikan matriks autokorelasi untuk proses input y_i sebagai

$$\phi = E[y_i y_i^T] = \begin{bmatrix} R_0 & R_1 & \dots & R_{n-1} \\ R_1 & R_0 & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ R_{n-1} & \dots & \dots & R_0 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Dimana R_0, R_1, \dots, R_{n-1} adalah fungsi autokorelasi dari matrik autokorelasi ϕ . Dari persamaan (5.5) rata-rata error kuadrat MSE dinyatakan sebagai

$$E[e_i^2] = (h - a)^T \phi (h - a) + 2(h - a)^T p + \sigma_v^2 \quad (5.9)$$

dimana

$$\sigma_v^2 = E[v_i^2] \quad (5.10)$$

Selanjutnya dengan melengkapi persamaan (5.9) menjadi

$$E[e_i^2] = \xi_{\min} + (a - a_{\text{opt}})^T \phi (a - a_{\text{opt}}) \quad (5.11)$$

30) K. Sam Shanmugam, "Digital and Analog Communication Systems", John Wiley & Sons Inc., Kanada, 1979, h. 90.

dimana

$$a_{opt} = h + \phi^{-1} p \quad (5.12)$$

$$\xi_{min} = \sigma_v^2 - p^T \phi^{-1} p \quad (5.13)$$

Matriks ϕ mempunyai beberapa sifat penting. Pertama, simetri dan semua elemen pada diagonal induk adalah sama dan elemen pada diagonal lainnya paralel dengan induk juga sama. Matriks dengan sifat seperti ini dikenal sebagai matriks Toeplitz. Kedua, mengingat matriksnya adalah matriks autokorelasi, maka matriksnya definit bukan negatip, dan untuk praktisnya dapat dianggap definit positip. Dalam hal ini mempunyai eigenvalue yang berharga real positip dan invertible (dapat dibalik). Inverse matriks ϕ^{-1} juga matriks simetri.

Karena ϕ adalah definit positip, suku kedua dalam persamaan (5.11) adalah bukan negatip dan dapat diminimisasi dengan pemilihan

$$a = a_{opt} \quad (5.14)$$

Pemilihan ini akan meminimisasi MSE, dimana mempunyai MSE yang berharga minimum

$$E[e_i^2] = \xi_{min} \quad (5.15)$$

Secara umum koefisien filter yang optimum tidak sama dengan n sample pertama dari impuls respons echo. Bila kita menganggap bahwa sample-sample referensi adalah tidak berkorelasi dengan x_k , maka kita dapatkan

$$p = 0 \quad (5.16)$$

$$\phi = R_o I \quad (5.17)$$

dimana I adalah matriks identitas. Dalam hal ini koefisien filter optimum adalah sama dengan impuls respons echo

$$a_{opt} = h \quad (5.18)$$

dan MSE minimum adalah sama dengan varians dari echo yang tak dapat dihilangkan.

$$\xi_{min} = \sigma_v^2 \quad (5.19)$$

V.1.1.2. ALGORITHMMA GRADIEN LMS

Penyelesaian LMS dari persamaan (5.12) membutuhkan penyelesaian yang umum untuk sistem persamaan linear. Algorithma gradien LMS ini membutuhkan pengetahuan yang lengkap dari sinyal input y_i . Algorithma gradien LMS adalah iterative ; yaitu vektor koefisien filter adalah diperbaharui secara iterative sehingga mendekati koefisien filter yang optimum secara asymtotik.

Algorithma gradien LMS dapat dinyatakan sebagai

$$a_{j+1} = a_j - 1/2 \beta \nabla_a \{E[e_i^2]\} \quad (5.20)$$

dimana β konstanta adaptasi yang mengatur ukuran step atau mengubah koefisien filter a_j pada setiap pembaharuan. Dan $\nabla_a \{E[e_i^2]\}$ adalah gradien error, sedangkan gradien error dapat dinyatakan sebagai

$$\nabla_a \{E[e_i^2]\} = -2\beta(p - \phi a_j + \phi h) \quad (5.21)$$

Sehingga algoritma gradien LMS menjadi

$$\begin{aligned} a_{j+1} &= a_j + \beta(p - \phi a_j + \phi h) \\ &= (I - \beta \phi)a_j + \beta(p + \phi h) \end{aligned} \quad (5.22)$$

dimana I adalah matriks identitas. Ini diharapkan bahwa bila algoritma ini diiterasi dari beberapa harga perkiraan awal a_0 yang berubah-ubah, akan diperoleh a_{opt} dari persamaan (5.12).

Bila a_{opt} dari persamaan (5.12) dikurangkan dari a_j maka diperoleh

$$\epsilon_j = a_j - h - \phi^{-1}p \quad (5.23)$$

adalah didefinisikan sebagai error antara koefisien filter yang sesungguhnya dengan yang optimal³¹⁾, maka persamaan iterasi untuk error adalah

$$\epsilon_{j+1} = (I - \beta \phi)\epsilon_j \quad (5.24)$$

Dimisalkan ϵ_j mempunyai harga awal ϵ_0 , sehingga iterasi persamaan ini menjadi

$$\epsilon_j = (I - \beta \phi)^j \epsilon_0 \quad (5.25)$$

Mengingat ϕ adalah matriks simetri, dapat ditulis dalam bentuk

$$\phi = V \Lambda V^T \quad (5.26)$$

31) Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall Inc., 1991, h. 280.

dimana Λ adalah matriks diagonal dengan elemen eigenvalue dari matriks ϕ

$$\Lambda = \text{diag} [\lambda_1, \dots, \lambda_n] \quad (5.27)$$

dan V adalah matriks orthonormal,

$$V V^T = I \quad (5.28)$$

Matriks dalam persamaan (5.25) dapat ditulis dalam bentuk

$$\begin{aligned} (I - \beta \phi)^j &= (V V^T - \beta V \Lambda V^T)^j \\ &= (V(I - \beta \Lambda)V^T)^j \\ &= V(I - \beta \Lambda)^j V^T \end{aligned} \quad (5.29)$$

Sehingga persamaan (5.25) dapat diubah menjadi

$$\epsilon_j = (I - \beta \lambda_i)^j \epsilon_0 \quad (5.30)$$

Agar supaya algoritma gradien LMS ini stabil dan konvergen, maka besarnya $(I - \beta \lambda_i)^j$ harus lebih kecil daripada satu, untuk semua i . Sehingga dapat ditulis

$$-1 < 1 - \beta \lambda_i < 1, \text{ untuk semua } i, \quad (5.31)$$

Mengingat eigenvalue dari matriks autokorelasi ϕ semuanya real dan positif, oleh karena itu memerlukan kondisi yang sesuai untuk konvergensi dan stabilitas dari algoritma, yaitu bahwa parameter ukuran step mengikuti kondisi berikut

$$0 < \beta < \frac{2}{\lambda_{\max}} \quad (5.32)$$

Konvergensi dari algoritma gradien LMS dijamin bila β cukup kecil. Sebaliknya, untuk harga β yang terlalu besar menyebabkan ketidakstabilan dalam perkembangan error secara

eksponensial, konvergensi yang paling cepat dengan pemilihan ukuran step pada

$$\beta = \frac{2}{\lambda_{\min} + \lambda_{\max}} \quad (5.33)$$

Rasio antara eigenvalue terbesar dengan eigenvalue terkecil disebut dengan eigenvalue spread. Dan dapat ditulis sebagai

$$\chi(\phi) = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} \quad (5.34)$$

Dengan catatan bahwa $\chi(\phi) \geq 1$. Eigenvalue spread mempunyai nilai minimum satu dan dapat menjadi besar secara berubah-ubah. Lebih besar eigenvalue spread dari matriks autokorelasi, lebih pelan konvergensi dari algoritma gradien.

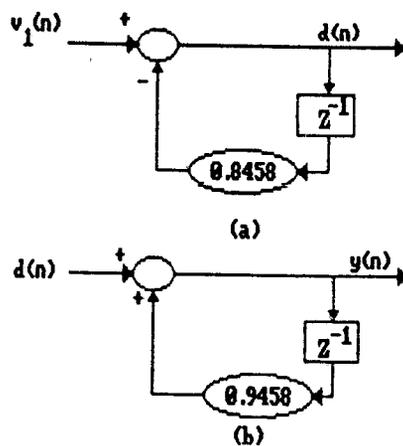
Beberapa sifat-sifat dari konvergensi ini akan dijelaskan. Pertama, β harus dipilih untuk menjaga agar supaya tidak ada kelebihan MSE (kecil), dimana β diperhitungkan lebih kecil dari yang diperkirakan oleh persamaan (5.33). Kedua, kecepatan konvergensi dari MSE tergantung pada jumlah koefisien filter dalam echo canceler, makin banyak koefisien filter n , maka konvergensi makin pelan. Ketiga, bila harus terjadi bahwa $\sigma_v^2 = 0$, maka tidak ada kelebihan MSE, menyebabkan kenyataan bahwa error mendekati nol dan tidak ada adaptasi lagi.

V.1.2. CONTOH PERHITUNGAN NUMERIK

Untuk menjelaskan penerapan dari rumus-rumus yang dipakai dapat diilustrasikan dalam gambar 5-1. Dimisalkan respon harapan $d(n)$ dapat dimodelkan sebagai proses autoregressive orde 1 seperti ditunjukkan dalam gambar 5-1a, yaitu dengan menerapkan proses white-noise $v_1(n)$ dengan mean = 0 dan varians $\sigma_1^2 = 0.15$, transfer function dari $d(n)$ ditulis sebagai

$$H_1(z) = \frac{1}{1 + 0.8458z^{-1}}$$

Proses $d(n)$ diterapkan dalam kanal komunikasi yang mengandung redaman (mismatch impedansi) sehingga timbul echo dan dapat dimodelkan seperti pada gambar 5-1b, dengan transfer function



GAMBAR 5-1.

MODEL CONTOH PERHITUNGAN

- a) MODEL RESPON HARAPAN $d(n)$
- b) MODEL DARI KANAL KOMUNIKASI

$$H_2(z) = \frac{1}{1 - 0.9458z^{-1}}$$

Kita mulai dengan analisa perhitungan dari persamaan beda. Selanjutnya respon harapan $d(n)$ ditentukan oleh persamaan beda orde pertama

$$d(n) + b_1 d(n-1) = v_1(n)$$

dimana $b_1 = 0.8458$. Sedangkan varians dari $d(n)$ sebagai

$$\begin{aligned} \sigma_d^2 &= \frac{\sigma_1^2}{1 - b_1^2} \\ &= \frac{0.15}{1 - (0.8458)^2} = 0.527 \end{aligned}$$

$d(n)$ merupakan input dari kanal komunikasi, kemudian dari gambar 5-1b, kita tentukan output kanal $y(n)$ yang berhubungan dengan input kanal $d(n)$ oleh persamaan beda orde pertama

$$y(n) + b_2 y(n-1) = d(n)$$

dimana $b_2 = -0.9458$. Selanjutnya kedua transfer function diatas digabungkan menjadi

$$\begin{aligned} H(z) &= H_1(z) \cdot H_2(z) \\ &= \frac{1}{(1 + 0.8458z^{-1})(1 - 0.9458z^{-1})} \\ &= \frac{1}{(1 - 0.1z^{-1} - 0.8z^{-2})} \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat ditulis persamaan beda sebagai

$$y(n) - 0.1y(n-1) - 0.8y(n-2) = v(n)$$

dimana $a_1 = -0.1$ dan $a_2 = -0.8$

Matrik autokorelasi ϕ dapat ditulis sebagai

$$\phi = \begin{pmatrix} r(0) & r(1) \\ r(1) & r(0) \end{pmatrix}$$

dimana $r(0)$ dan $r(1)$ adalah fungsi autokorelasi dari sinyal terima $y(n)$ selanjutnya diperoleh

$$\begin{aligned} r(0) &= \left(\frac{1 + a_2}{1 - a_2} \right) \frac{\sigma_1^2}{((1 + a_2)^2 - a_1^2)} \\ &= \left(\frac{1 - 0.8}{1 + 0.8} \right) \frac{0.15}{((1 - 0.8)^2 - (0.1)^2)} = 0.5556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r(1) &= \frac{-a_1}{1 + a_2} r(0) \\ &= \frac{0.1}{1 - 0.8} \times 0.5556 = 0.2778 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\phi = \begin{pmatrix} 0.5556 & 0.2778 \\ 0.2778 & 0.5556 \end{pmatrix}$$

Vektor korelasi silang p dapat ditulis sebagai

$$p = \begin{pmatrix} p(0) \\ p(1) \end{pmatrix}$$

dimana $p(0)$ dan $p(1)$ adalah fungsi korelasi silang antara $d(n)$ dan $y(n)$. Selanjutnya kita dapatkan rumus untuk $p(k)$ sebagai

$$p(k) = r(k) + b_2 r(k-1), \quad k = 0, 1$$

Dengan $b_2 = -0.9458$ dan menggunakan harga elemen dari matrik autokorelasi ϕ , maka diperoleh

$$p(0) = r(0) + b_2 r(-1)$$

$$= 0.5556 - 0.9458 \times 0.2778 = 0.2928$$

$$p(1) = r(1) + b_2 r(0)$$

$$= 0.2778 - 0.9458 \times 0.5556 = -0.2477$$

sehingga

$$p = \begin{pmatrix} 0.2928 \\ -0.2477 \end{pmatrix}$$

Selanjutnya untuk matrik invers dari ϕ , diperoleh

$$\begin{aligned} \phi^{-1} &= \begin{pmatrix} r(0) & r(1) \\ r(1) & r(0) \end{pmatrix}^{-1} \\ &= \frac{1}{r^2(0) - r^2(1)} \begin{pmatrix} r(0) & -r(1) \\ -r(1) & r(0) \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 2.4 & -1.2 \\ -1.2 & 2.4 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Selanjutnya menentukan fungsi autokorelasi dari transfer function echo h sebagai

$$h = \begin{pmatrix} h(1) \\ h(2) \end{pmatrix}$$

dimana

$$H(z) = H_2(z) = \frac{1}{1 - 0.9458z^{-1}}$$

impuls respons dari $H(z)$ adalah

$$h(n) = (0.9458)^n u(n), \quad n = 0, 1$$

$$h(0) = 1$$

$$h(1) = 0.9458$$

maka

$$h = \begin{pmatrix} h(1) \\ h(2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.9458 \end{pmatrix}$$

V.1.2.1. PERHITUNGAN MSE DENGAN MENGGUNAKAN ECHO CANCELER

Untuk mencari mean-square error MSE dapat diperoleh dari persamaan (5.9), yaitu

$$E[e_i^2] = (h - a)^T \phi (h - a) + 2(h - a)^T p + \sigma_d^2$$

dimana a diperoleh dari persamaan (5.12), yaitu

$$a = a_{opt} = h + \phi^{-1} p$$

$$= \begin{pmatrix} 1 \\ 0.9458 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2.4 & -1.2 \\ -1.2 & 2.4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.2928 \\ -0.2477 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$h - a = \begin{pmatrix} 1 \\ 0.9458 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 0.9458 \end{pmatrix}$$

Dengan demikian, maka

$$E[e_i^2] = (-1 \ 0.9458) \begin{pmatrix} 0.5556 & 0.2778 \\ 0.2778 & 0.5556 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 \\ 0.9458 \end{pmatrix}$$

$$+ 2(-1 \ 0.9458) \begin{pmatrix} 0.2928 \\ -0.2477 \end{pmatrix} + 0.527$$

$$= 0.0001$$

Selanjutnya MSE ini dapat dirubah ke dalam bentuk dB, menjadi

$$MSE = 10 \log (0.0001)$$

$$= -40 \text{ dB}$$

V.1.2.2. PERHITUNGAN MSE TANPA ECHO CANCELER

Dari persamaan (5.9) dengan menghilangkan komponen

koefisien filter a , maka diperoleh

$$E[e_i^2] = h^T \phi h + 2h^T p + \sigma_d^2$$

Dengan memasukkan komponen h , ϕ , p dan σ_d^2 ke dalam persamaan diatas, maka diperoleh

$$\begin{aligned} E[e_i^2] &= (1 \ 0.9458) \begin{pmatrix} 0.5556 & 0.2778 \\ 0.2778 & 0.5556 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0.9458 \end{pmatrix} \\ &+ 2(1 \ 0.9458) \begin{pmatrix} 0.2928 \\ -0.2477 \end{pmatrix} + 0.527 \\ &= 1.988 \end{aligned}$$

MSE dinyatakan dalam dB, diperoleh

$$\begin{aligned} \text{MSE} &= 10 \log (1.988) \\ &= 2.9842 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dengan menggunakan echo canceler maka diperoleh perbaikan error sebesar

$$\Delta \text{MSE} = 2.9842 \text{ dB} - (-40) \text{ dB} = 42.9842 \text{ dB}$$

Dengan demikian maka dengan mempergunakan echo canceler ternyata dapat menekan error sebesar 42.9842 dB.

V.1.2.3. PERHITUNGAN EIGENVALUE DARI MATRIK ϕ

Matrik autokorelasi ϕ adalah

$$\phi = \begin{pmatrix} 0.5556 & 0.2778 \\ 0.2778 & 0.5556 \end{pmatrix}$$

Persamaan matrik

$$(\phi - \lambda I)q = 0$$

dimana λ = eigenvalue, q = eigenvektor dan I = matrik

identitas. Dari teorema Cramer, sistem ini homogen dari persamaan linear bila determinan dari koefisien = 0.

$$D(\lambda) = \det(\phi - \lambda I) = 0$$

$$\det \begin{pmatrix} 0.5556 - \lambda & 0.2778 \\ 0.2778 & 0.5556 - \lambda \end{pmatrix} = 0$$

$$(0.5556 - \lambda)^2 - (0.2778)^2 = 0$$

$$\lambda^2 - 1.1112 \lambda + 0.2315 = 0$$

$$\lambda_1 = 0.2778 \text{ dan } \lambda_2 = 0.8334$$

V.1.2.4. PENENTUAN PARAMETER β DARI ALGORITHM A ADAPTASI

Mengingat eigenvalue dari matrik autokorelasi ϕ semuanya real dan positif, oleh karena itu memerlukan kondisi yang cukup untuk konvergensi dan stabilitas dari algorithm, maka parameter adaptasi β mengikuti kondisi yang sesuai dengan persamaan (5.32), yaitu

$$0 < \beta < \frac{2}{\lambda_{\max}}$$

dimana $\lambda_{\min} = 0.2778$ dan $\lambda_{\max} = 0.8334$, maka

$$0 < \lambda < 2.3998$$

Konvergensi yang cepat diperoleh dengan pemilihan β yang optimum sesuai dengan persamaan (5.33), yaitu

$$\beta = \frac{2}{\lambda_{\min} + \lambda_{\max}}$$

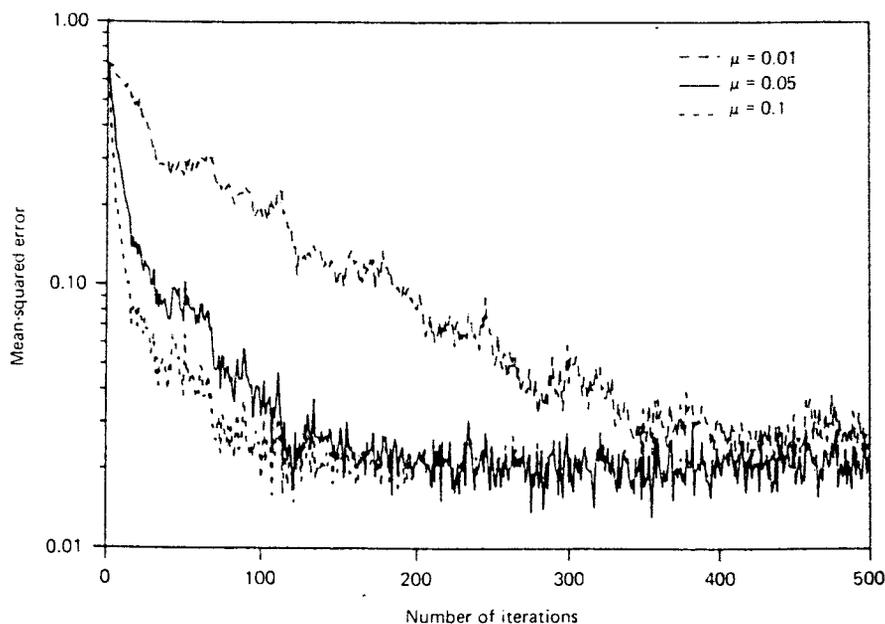
$$= \frac{2}{0.2778 + 0.8334} = 1.7999$$

PENGARUH PARAMETER β TERHADAP KECEPATAN KONVERGENSI DAN MSE

Gambar 5-2 menunjukkan plot eksperimen dari kurva

pengetahuan dari algoritma LMS (yaitu mean-squared error MSE sebagai fungsi dari banyaknya iterasi n) dengan parameter ukuran step β yang berubah-ubah, misalkan untuk harga β sama dengan 0.01, 0.05, dan 0.1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa :

- Semakin besar parameter ukuran step β , maka kecepatan konvergensi juga semakin besar.
- Semakin besar parameter β , harga MSE juga semakin besar. Ini berarti bahwa peredaman sinyal interferensi oleh filter adaptif LMS semakin kecil.



GAMBAR 5-2³²⁾

PENGARUH PARAMETER β TERHADAP KECEPATAN KONVERGENSI DAN MSE.

³²⁾ Ibid, h. 339.

V.2. PERKEMBANGAN BARU DALAM ECHO CANCELLATION

Masalah utama dari perkembangan baru dalam echo cancellation difokuskan pada perluasan model echo nonlinear dan speedup (percepatan) adaptasi. Bagian ini akan menjelaskan bagian tersebut.

V.2.1. ECHO CANCELLATION NONLINEAR

Dasar dari pengembangan model echo cancellation adalah kemampuannya, dalam batasan finite impulse response, penghilangan hanya pada echo sebagai fungsi linear dari sinyal referensi. Beberapa metoda lama dalam speech canceler dan beberapa metoda baru dalam data canceler telah dikembangkan dengan teknik adaptiv echo canceler pada generasi echo yang nonlinear.

Dalam speech echo cancellation, sumber-sumber ketidaklinearan terutama pada data konverter yaitu dalam konversi analog-to-digital-to-analog yang mana terletak didalam lintasan echo atau pada interface dari canceler, kejenuhan (saturasi) pada media magnetik transformer, dan ampliflier dalam sistem transmisi analog.

Dalam data echo cancellation, sumber-sumber ketidaklinearan terutama pada data converter dalam implementasi pada cancelernya sendiri, seperti transmisi pulsa asimetri dan kejenuhan pada media transformer magnetik.

Metoda pengembangan echo cancellation pada mekanisme echo yang nonlinear telah diusulkan dengan menggunakan ekspansi Volterra³³⁾. Ekspansi ini mampu mewakili mekanisme echo lainnya dalam time-variant. Yaitu, ketidaklinearan dapat mempunyai memory, seperti hysteresis dalam medium magnetik, tetapi sifat dasar ketidaklinearan tidak dapat berubah oleh waktu. Mengingat canceler adalah adaptiv, ketidaklinearan dapat berubah secara pelan terhadap waktu, sepanjang adaptasi dapat dijaga.

V.2.2. PERCEPATAN ADAPTASI

Dalam bagian algoritma adaptasi telah dijelaskan tentang pertentangan antara kecepatan adaptasi dan kelebihan asymptotic dari MSE. Dasar dari pertentangan itu adalah bahwa agar supaya dapat mencapai ketepatan asymptotic yang baik, kecepatan adaptasi harus diturunkan. Kedatangan sinyal yang tidak dapat dihilangkan, seperti ujung-dekat pembicara untuk voice canceler atau ujung-jauh sinyal data untuk data canceler, merupakan kerugian yang berpengaruh pada kecepatan adaptasi, mengingat adaptasi harus diturunkan untuk mempertahankan ketepatan asymptotic yang cukup oleh karena kedatangan sinyal tersebut.

33) E. J. Thomas, "Some consideration on the application of the Volterra representation of nonlinear networks to adaptive echo canceler", Bell Syst. Tech. J., Vol. 50, No. 8, Oktober, 1971, h. 2797.

Pentingnya kecepatan adaptasi juga tergantung pada aplikasi. Untuk voice echo cancellation, canceler umumnya harus dapat mengadaptasi kembali pada permulaan dari setiap panggilan telepon. Mengingat derajat cancellation mungkin tidak cukup selama periode adaptasi, ini merupakan motivasi untuk memperbaiki kecepatan adaptasi. Yaitu, kecepatan adaptasi yang tinggi dapat dicapai karena kemampuan untuk menghentikan adaptasi selama ujung-dekat sinyal pembicara datang.

Untuk voiceband data cancellation, adaptasi terjadi selama periode training (penjajakan) pada permulaan dari hubungan. Lagi pula untuk mengadaptasi canceler, waktu ini juga digunakan untuk mengadaptasi equalizer, memperoleh timing dan carrier dan sebagainya. Selama periode training kenyataannya tidak ada transmisi data yang terjadi, dan karena itu adalah sesuai untuk mengalokasi waktu yang cukup untuk konvergensi dari echo canceler.

Akhirnya, pada digital loop subscriber, echo canceler diterapkan pada satu loop subscriber. Transfer function echo hanya mengubah dengan sedikit gangguan (pertubasi) antar panggilan, yaitu gangguan yang mengakibatkan sebagian besar perubahan temperatur. Bila koefisien dari canceler dapat diatasi antar panggilan, yang mana adalah praktis untuk implementasi digital dari algoritma adaptasi, maka adaptasi dibutuhkan untuk mengatur

gangguan yang kecil ini. Adaptasi yang besar terjadi pada instalasi pertama atau setelah kegagalan daya atau pengaturan kembali fasilitas-fasilitas.

V.2.2.1. ALGORITHMMA GEAR-SHIFT

Dalam hampir semua aplikasi echo cancellation, konvergensi kecepatan tinggi dikehendaki untuk initial acquisition (perolehan awal) tetapi tidak perlu dengan tracking mengikuti acquisition, mengingat transfer function echo berubah sangat pelan. Jadi konstanta adaptasi β yang besar dikehendaki selama acquisition tetapi tidak perlu mengikuti sampai konvergensi tercapai. Hal ini merupakan dasar dari algorithmma yang mempertimbangkan penggunaan inisial β yang besar dan kemudian mengubah (gear-shift) untuk β yang lebih kecil setelah konvergensi dicapai.

Algorithmma ini terus terang efektif sepanjang kebutuhan untuk mengadaptasi kembali diketahui. Pada voice echo canceler, adalah sulit untuk mendeteksi panggilan baru, sehingga algorithmma ini harus membutuhkan informasi signaling yang tersedia pada canceler. Untuk data canceler, kebutuhan untuk mengadaptasi kembali umumnya diketahui mengingat inisialisasi dari panggilan dikontrol oleh modem, sehingga algorithmma ini menjadi lebih praktis.

V.2.2.2. FILTER LATTICE ECHO CANCELER

Dalam beberapa keadaan filter lattice dapat lebih efektif dalam mempercepat konvergensi dari echo canceler. Seperti yang sudah dijelaskan dalam algoritma adaptasi, algoritma filter transversal akan konvergen bila sample-sample referensi sangat berkorelasi. Sebenarnya, filter lattice melakukan adaptasi prefilter (sebelum difilter) pada sinyal referensi sebelum adaptasi transfer function echo. Prefilter ini bertujuan untuk pemutihan sinyal referensi, dengan demikian mempercepat konvergensi dari canceler.

Sesuai dengan persamaan (3.8), bila turunan dari e_i^2 yang berhubungan dengan koefisien bobot tap b_m dilakukan, algoritma gradien stokastik menjadi

$$[b_i]_m = [b_{i-1}]_m + \beta e_i e_b(i|m-1) \quad (5.35)$$

Adaptasi dari koefisien refleksi dapat diproses dengan menurunkan $e_f^2(i|m)$ yang sesuai dengan k_m , menghasilkan algoritma gradien stokastik

$$k_m(i) = (1 - \beta e_b^2(i|m-1))k_m(i-1) + \beta e_f(i|m-1)e_b(i|m) \quad (5.36)$$

Adaptasi pada setiap tingkat lattice berdasarkan pada sinyal input dari tingkat tersebut. Karena itu, algoritma akan konvergen secara berurutan sesuai dengan tingkatnya : adaptasi pada tingkat pertama adalah perlu sebelum adaptasi pada tingkat kedua, dan seterusnya. Karena setiap tingkat

hanya memerlukan adaptasi skalar, kecepatan adaptasi secara pokok tidak tergantung pada eigenvalue spread. Adaptasi membantu meminimisasi error forward prediction, yang mana menghasilkan ekuivalen untuk membuat urutan orde dari error backward prediction yang tidak berkorelasi. Selanjutnya, kecepatan adaptasi dari koefisien b_m , yang mengeliminasi interaksi antara koefisien adaptasi. Pengalaman menunjukkan bahwa untuk sinyal input dengan eigenvalue spread yang besar, keseluruhan adaptasi dari filter lattice diperhitungkan lebih cepat dari pada adaptasi pada filter transversal.

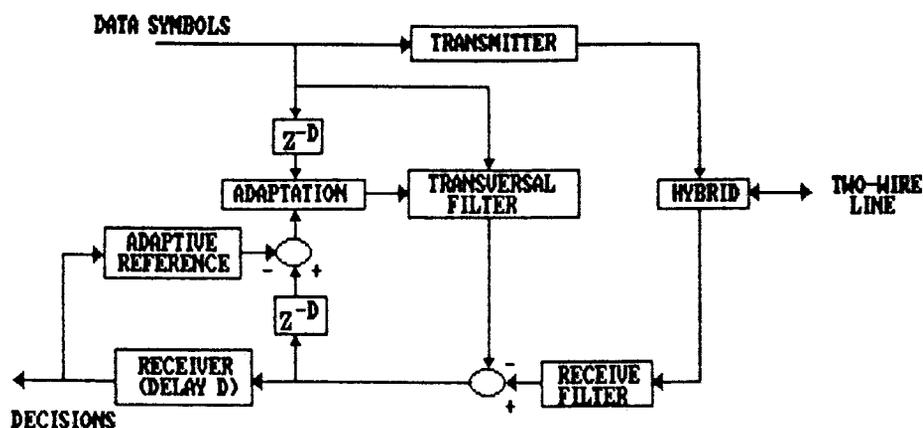
Untuk data canceler, simbol data biasanya tidak berkorelasi. Ini adalah benar dengan adanya scrambling, yang mana menghentikan (breaks-up) pola yang sangat berkorelasi, seperti urutan tanda. Sedangkan tujuan utama dari scrambling adalah membantu timing recovery, dan juga berguna untuk adaptasi canceler.

Untuk speech canceler, sinyal sample biasanya sangat berkorelasi. Sifat dasar dari korelasi berubah dengan cepat sesuai dengan waktu. Koefisien refleksi dari filter lattice beradaptasi kembali secara kontinyu dengan spektrum dari sinyal suara referensi. Seperti adaptasi koefisien refleksi, koefisien b_m juga beradaptasi kembali untuk menjaga keseluruhan transfer function yang sama. Ilustrasi ini merugikan pada filter lattice untuk aplikasi

echo cancellation : walaupun koefisien filter transversal sebagian besar tidak tergantung pada statistik sinyal referensi dan kebanyakan tergantung pada impulse respons dari kanal echo, koefisien filter lattice sangat tergantung pada statistik sinyal referensi dan secara kontinyu beradaptasi kembali sesuai dengan perubahan statistik tersebut.

V.2.2.3. REFERENSI ADAPTIV ECHO CANCELER

Dalam data echo cancellation, faktor yang berarti dari adaptasi adalah ujung-jauh sinyal data. Hal ini mendorong cara lain dari kecepatan adaptasi, yang mana sinyal data secara adaptiv dipindah dari error cancellation dengan hasil langsung dalam pendekatannya disebut dengan referensi adaptiv canceler. Ini diilustrasikan dalam gambar 5-3, dimana referensi adaptiv diikatkan pada output dari receiver. Hal ini membentuk kombinasi linear dari hasil yang diterima sebelumnya untuk membentuk tiruan sinyal data ujung-jauh yang muncul dalam sinyal error cancellation. Tiruan ini dikurangi dengan hasil sinyal error yang baru, yang mana mengendalikan algoritma adaptasi echo canceler. Karena ujung-jauh sinyal data telah dihilangkan dari error, σ_v^2 dibuat lebih kecil dan konstanta adaptasi β dapat dipilih lebih besar untuk memberikan kelebihan rata-rata kuadrat error cancellation.

GAMBAR 5-3³⁴⁾.

REFERENSI ADAPTIV BASEBAND ECHO CANCELER

Karena hasil penerima secara umum termasuk delay, kompensasi delay disisipkan dalam input yang lain pada algoritma adaptasi canceler. Yang mempengaruhi seluruh adaptasi yang beroperasi pada basis delay.

Tentu saja ini merupakan permulaan masalah, ketika cancellation tidak cukup untuk mendukung error rate penerima yang sesuai. Masalah ini dipecahkan dengan mulai mengetahui urutan training (tidak membutuhkan hasil penerima), atau dengan melumpuhkan referensi adaptasi dan menggunakan inisial β yang lebih besar sampai echo cukup dihilangkan untuk error rate yang sesuai.

34) Falconer, D. D., "Adaptive reference echo cancellation", IEEE Trans. Commun. Vol. COM-30, September, 1982, h. 2086.

BAB VI. PENUTUP

V.1. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dalam Tugas Akhir ini secara umum adalah :

1. Sumber-sumber echo dalam saluran transmisi disebabkan oleh tidak macthnya saluran transmisi dengan peralatan komunikasi, dimana hal ini banyak terjadi pada transformer hybrid, ujung-ujung sirkit, ketidakteraturan saluran, dan junction-junction antara fasilitas-fasilitas yang berbeda.
2. Performance dari echo canceler lebih baik dibandingkan dengan echo suppressor, oleh karena pada echo canceler tidak tergantung pada panjang lintasan transmisi, dimana menentukan besarnya delay transmisi, dan tidak terpengaruh oleh kondisi doubletalk. Disamping itu dengan menyisipkan rugi-rugi (redaman) yang besar pada lintasan oleh echo suppressor merupakan suatu pelemahan.
3. Dari hasil perhitungan MSE dengan echo canceler diperoleh harga MSE sebesar -40 dB pada koefisien bobot tap filter yang optimum $a_{opt} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$. Sedangkan hasil perhitungan tanpa echo canceler, diperoleh MSE sebesar 2.9842 dB. Dengan demikian maka echo canceler dapat menekan error

sebesar 42.9842 dB.

4. Dari perhitungan diperoleh harga ukuran step β yang berkisar antara 0 sampai 2.3998. Bila ukuran step β dari algorithma adaptasi dipilih cukup kecil (β mendekati 0), maka kecepatan adaptasi menjadi lebih lambat untuk mencapai konvergen. Sebaliknya bila β dipilih terlalu besar (β mendekati 2.3998), maka akan mengakibatkan konvergensi makin cepat, tetapi kompensasinya adalah lebih besar fluktuasinya dari koefisien vektor yang berharga optimum setelah konvergensi dari koefisien vektor rata-rata, sehingga menyebabkan ketidakstabilan dalam perkembangan error secara eksponensial. Dari perhitungan diperoleh ukuran step β yang optimum menurut persamaan (5.30) yaitu pada $\beta = 1.7999$.
5. Pada jumlah tap yang sama filter adaptiv dengan menggunakan struktur lattice mempunyai tanggapan yang lebih baik dibanding dengan menggunakan struktur transversal, hanya saja implementasinya lebih rumit.
6. Dalam realisasi struktur lattice kesalahan selalu diperbaiki tiap penambahan tap filter, sedangkan dalam struktur transversal kesalahan dipandang sebagai satu kesatuan blok dan pembaharuan koefisien tap filter dilakukan oleh error yang sama.

V.2. SARAN

Dengan merencanakan saluran-saluran transmisi dan peralatan komunikasi yang dikonstruksi dengan baik dan perhitungan yang cermat maka akan dapat mengurangi kondisi mismatch dalam saluran transmisi, sehingga terjadinya echo pada ujung-ujung transmisi masih dapat dikontrol dengan baik.

Pemilihan konstanta ukuran step β harus dilakukan dengan cermat, dengan mempertimbangkan jenis filter yang dipakai, sifat dari kondisi statistik sinyal input, dan algoritma dari adaptasi yang dipergunakan.

DAFTAR PUSTAKA

-
1. D.C.Green, "Transmission System", A.U.Wheeler and Company, 1983.
 2. K.Feher, "Advanced Digital Communication Systems and Signal Processing Techniques", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1987.
 3. William Sinnema, "Electronic Transmission Technology", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1979.
 4. C.F.N.Cowan, P.M.Grant, "Adaptive Filter", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1985.
 5. Kun-Shan Lin, "Digital Signal Processing Application with TMS 320 Family", Prentice-Hall, 1988.
 6. Bell Laboratories Members of Technical Staff, "Transmission System for Communication", Western Electric Co., Winston-Salem, N.C., 1970.
 7. J.R.Rosenberger, E.J.Thomas, "Performance of an Adaptive Echo Canceler Operating in Noisy, Linear, Time-invariant Environment", Bell Syst.Tech.J., Vol.50, No.3, Maret, 1971.
 8. Duttweiler, D.L., Y.S.Chen, "A Single Chip VLSI Echo Canceler", Bell Syst.Tech.J., Vol.59, No.2, Pebruari, 1980.
 9. Tao Y.G., K.D.Kolwicz, C.W.K.Gritton, D.L.Duttweiler, "A Cascadable VLSI Echo Canceler", IEEE J. on Selected Areas

- in Commun., Vol SAC-2, No.2, Maret, 1984.
10. Makhoul, J., "A Class of All-Zero Lattice Digital Filters", IEEE Trans. ASSP, Vol. ASSP-26, Agustus, 1978.
 11. Agazzi, O., D.G. Messerschmitt, D.A. Hodges, "Large-Scale Integration of Hybrid-Method Digital Subscriber Loops", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-30, September, 1982.
 12. Ahamed S.V., P.P. Bohn, N.L. Gottfried, "A Tutorial on Two-Wire Digital Transmission in the Loop Plant", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-29, No. 11, Nopember, 1981.
 13. Bernard S., "Digital Communications Fundamental and Applications", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1988.
 14. K. Sam Shanmugam, "Digital and Analog Communication Systems", John Wiley & Sons Inc., Kanada, 1979.
 15. Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall Inc., 1991.
 16. E.J. Thomas, "Some Consideration on the Application of the Volterra Representation of Nonlinear Networks to Adaptive Echo Canceller", Bell Syst. Tech. J., Vol. 50, No. 8, Oktober, 1971.
 17. Falconer, D.D., "Adaptive Reference Echo Cancellation", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-30, September, 1982.

USULAN TUGAS AKHIR

- A. JUDUL TUGAS AKHIR : ECHO CANCELLATION DALAM TRANSMISI DATA DAN SUARA
- B. RUANG LINGKUP : - Sistem Komunikasi
- Pengolahan Sinyal Digital
- Transmisi Data
- C. LATAR BELAKANG : Dewasa ini kebutuhan akan jasa telekomunikasi semakin meningkat yang menyebabkan kepadatan trafik semakin tinggi, sejalan dengan itu maka diperlukan sarana telekomunikasi yang dapat memberikan pelayanan yang lebih memuaskan, keandalan yang lebih baik dan juga kualitas yang baik. Untuk mendukung itu semua maka diperlukan jaringan telepon yang baik kualitasnya. Untuk lebih meningkatkan kualitas dari saluran transmisi pada jaringan telepon maka diperlukan peralatan echo cancellation untuk menghilangkan efek echo pada saluran transmisi yang disebabkan oleh tidak matchingnya saluran transmisi dengan peralatan komunikasi.

D. PENELAAHAN STUDI : Suatu jaringan telepon didesain agar mempunyai kualitas yang tinggi yaitu dengan memperkecil rugi-ruginya. Salah satu dari rugi-rugi tersebut adalah timbulnya efek echo (pantulan) dalam saluran transmisi terutama untuk transmisi data dan suara. Dalam tugas akhir ini akan dipelajari tentang echo cancellation (penghilangan echo) dalam transmisi data dan suara, termasuk diantaranya metoda pengaturan echo dengan peralatan echo supressor dan echo canceler. Pertimbangan disain dalam echo cancellation dan implementasinya serta perkembangan dari teknologi echo cancellation.

E. TUJUAN : Untuk mempelajari dan memahami kebutuhan peralatan echo cancellation untuk menghilangkan efek echo dalam saluran transmisi, khususnya saluran telepon.

F. LANGKAH-LANGKAH : - Studi literatur
- Pengumpulan dan pengolahan data
- Pembahasan
- Penyelesaian

G. JADWAL KEGIATAN :

| LANGKAH KEGIATAN | Bulan ke | | | | | |
|---------------------------------|----------|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Studi literatur | ■ | ■ | | | | |
| Pengumpulan dan pengolahan data | | ■ | ■ | ■ | | |
| Pembahasan | | | ■ | ■ | ■ | |
| Penyelesaian | | | | | ■ | ■ |

H. RELEVANSI : Dengan mempelajari echo cancellation untuk jaringan telepon, maka diharapkan dapat menjadi masukan yang berguna bagi pengembangan telekomunikasi, khususnya bidang telepon di Indonesia.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



HARDIADI dilahirkan di Surabaya pada tanggal 24 Maret 1969. Merupakan anak terakhir dari empat bersaudara, dari ayah bernama MUHARDI dan ibu bernama SRI HARTATI.

Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah sebagai berikut :

- SD Negeri Ketintang Komparasi Surabaya, mulai tahun 1975 hingga lulus tahun 1980.
- SMP Ketintang Komparasi Surabaya, mulai tahun 1980 hingga lulus tahun 1983.
- SMA Putra Wijaya Surabaya, mulai tahun 1983 hingga lulus tahun 1986.
- Sejak tahun 1988, penyusun masuk Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ITS dan saat ini sedang menyelesaikan Tugas Akhir pada bidang studi Teknik Telekomunikasi.