

Studi Pembatalan Periodic Noise Menggunakan Filter Adaptif pada Sinyal Wicara

Miftahul Huda, Tri Budi Santoso, Titon Dutono

Speech Processing Research Group
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Kampus ITS Keputih, Sukolilo Surabaya, 60111

Abstrak

Penelitian ini melakukan studi tentang pembatalan noise pada sinyal wicara menggunakan filter adaptif. Aplikasi ini banyak digunakan dalam sistem komunikasi bergerak, sistem alat Bantu pendengaran, dan sistem kontrol menggunakan sinyal wicara. Skema pembatalan sinyal noise sinusoidal (noise periodic) telah dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan single microphone. Dengan menggunakan sinyal asli yang tercampur noise dengan SNR -1.5218 dB dan dengan merubah beberapa parameter filter adaptif (laju konvergensi, order filter, dan jumlah delay) diperoleh hasil bahwa memperbesar laju konvergensi dapat meningkatkan SNR sinyal keluaran 3.6511 dB sampai 19.2383 dB. Memperbesar order filter dapat memperbaiki SNR sinyal keluaran dari 17.2568 dB sampai 18.0675, sedangkan memperbesar nilai delay dapat memperbaiki SNR sinyal keluaran 15.3387 dB sampai 19.2383 dB.

Kata kunci:

Filter adaptif, least mean square (LMS) algorithm

1. Pendahuluan

Dalam beberapa system komunikasi wicara, seperti pada telepon bergerak (utamanya mode hand-free), pada system alat bantu pendengaran, dan system control menggunakan sinyal wicara, adalah sangat penting untuk mendapatkan sinyal wicara yang bersih [1]. Dalam suatu area tertentu sinyal wicara ini sering terkontaminasi dengan sinyal-sinyal derau/kebisingan yang sangat mengganggu, misal pada area perindustrian, area jalan raya, dan lain sebagainya. Persoalan yang dihadapi adalah bagaimana cara untuk memperbaiki kualitas sinyal suara (speech enhancement) untuk memperbesar tingkat kejelasan / intelligibility darinya sinyal wicara. Speech Enhancement adalah sebuah usaha yang dilakukan berkenaan dengan pemrosesan sinyal wicara (secara khusus berkaitan dengan sinyal wicara yang bising) untuk diperoleh kualitas sinyal wicara yang baik [2]. Terdapat dua metoda untuk memperbaiki kualitas sinyal wicara ini, yaitu:

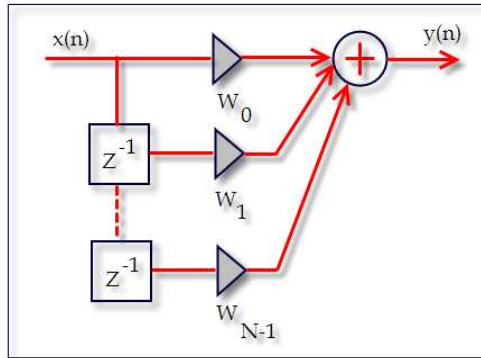
- Metoda single microphone (yang termasuk dalam katagori ini antara lain, spectral subtraction [3], Kalman Filter [4], dan teknik berbasis subspace sinyal [5],[6])
- Metoda multi-microphone (multichannel)

Banyak penelitian dibidang perbaikan sinyal wicara /speech enhancement ini yang telah dilakukan, antara lain: David Halupka dkk [8] membahas sebuah implementasi menggunakan dual microphone berbasis fasa untuk mendapatkan perbaikan kualitas sinyal wicara. Dengan menggunakan fase sinyal suara yang masuk, dilakukan penutupan frekuensi antara dua mikrofon dengan sinyal-to-noise ratio (SNR) yang rendah. Metoda ini telah diimplementasikan menggunakan FPGA dengan konsumsi daya yang rendah. Qiang Fu dan Eric A. Wan [9] memperkenalkan sebuah system perbaikan sinyal wicara menggunakan perangkat wavelet denoising. Dalam sistem ini, pertama kali dilakukan pre-proses terhadap sinyal wicara yang bising menggunakan metoda spectral subtraction untuk menekan level kebisingan dengan mengabaikan distorsi sinyal. Selanjutnya sebuah perceptual wavelet transform digunakan untuk mendekomposisikan sinyal wicara yang dihasilkan menjadi band kritis. Akhirnya, untuk menghilangkan noise, digunakan metoda pengurangan spektral Efraim-malah untuk menentukan nilai ambang.

2. Filter Adaptif

Filter digital adaptif saat ini banyak digunakan untuk aplikasi pengolahan sinyal. Filter digital ini banyak digunakan untuk memperoleh

karakteristik spektral sinyal yang diinginkan, menghilangkan sinyal-sinyal yang tidak diinginkan (seperti sinyal noise atau interferensi). Struktur filter digital adaptif diperlihatkan pada Gambar 1. Pengertian adaptif mengacu pada kemampuan sistem untuk mengubah bobot atau koefisien filter untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan sesaatnya.



Gambar 1. Struktur Filter Digital [9]

Sinyal keluaran dari sistem filter adaptif ini setiap saat dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 1:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_k(n)x(n-k) \quad \dots (1)$$

dimana $y(n)$ adalah sinyal keluaran dari system, $x(n)$ adalah sinyal masukan system, dan $w_k(n)$ adalah koefisien filter saat waktu n . Persamaan (1) dapat ditulis ulang dalam bentuk vektor menggunakan notasi $x(n) = [x(n), x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-N+1)]^T$ adalah vektor masukan saat waktu n , dan $w(n) = [w(n), w(n-1), w(n-2), \dots, w(n-N+1)]^T$ adalah koefisien filter saat waktu n seperti pada persamaan (2)

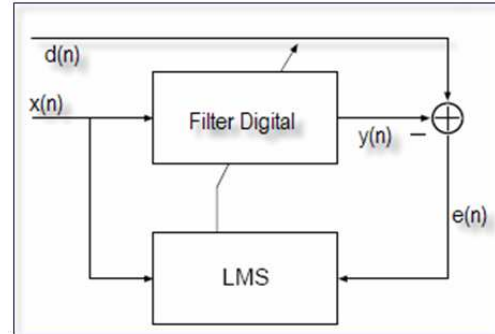
$$y(n) = w^T(n)x(n) \quad \dots (2)$$

Kedua vektor $w(n)$ dan $x(n)$ merupakan vektor kolom dengan panjang N . Nilai koefisien filter $w_k(n)$ ini dapat diperbarui/diupdate mengikuti algoritma adaptif yang dipakai. Ada dua skema adaptasi yang lazim digunakan yaitu algoritma Least Mean Square (LMS) dan algoritma recursive least square (RLS). Pada penelitian ini algoritma adaptif yang digunakan adalah LMS. Algoritma least mean square (LMS) ini merupakan pendekatan dari algoritma steepest descent yang menggunakan estimasi sesaat dari gradien vektor sebagai fungsi yang dipertimbangkan. Nilai estimasi gradien didasarkan pada nilai sample vektor masukan dan nilai galat (error) yang diperoleh. Untuk algoritma LMS ini diperlukan satu sinyal acuan $d(n)$ yang menyatakan sinyal keluaran

yang diinginkan. Perbedaan nilai sinyal actual dari keluaran filter dan sinyal acuan adalah nilai galatnya $e(n)$ seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (3)

$$e(n) = d(n) - w^T(n)x(n) \quad \dots (3)$$

Skema pembelajaran untuk proses adaptasi dari algoritma LMS ini dapat dilihat pada Gambar (2)



Gambar 2. Struktur Skema pembelajaran untuk proses adaptasi dari algoritma LMS [10]

Tugas dari algoritma LMS adalah untuk menemukan satu set (himpunan) dari koefisien filter w dengan meminimalkan nilai harapan dari nilai galat kuadrat atau untuk mencapai nilai galat rerata terkecil. Secara matematik dapat dinyatakan seperti pada persamaan (4) dan (5)

$$e^2 = (d - w^T x)^2 \quad \dots (4)$$

$$= d^2 - 2dw^T x + w^T x x^T w$$

$$E(e^2) = E(d^2) - E(2dw^T x) + E(w^T x x^T w) \quad \dots (5)$$

$$= E(d^2) - w^T 2E(dx) + w^T E(x x^T) w$$

Perlu diketahui bahwa nilai e^2 adalah merupakan fungsi kuadrat dari vektor w dan karenanya hanya memiliki satu nilai minimum global. Pendekatan penurunan gradien menuntut bahwa posisi pada permukaan kesalahan yang bersesuaian dengan koefisien saat ini harus dipindahkan ke arah gradien negatif dari suatu fungsi $J = E(e^2)$ seperti yang diilustrasikan oleh persamaan (6)

$$-\nabla_w J = 2E(dx) - 2E(x x^T) w \quad \dots (6)$$

Nilai yang diharapkan dalam persamaan di atas, $E(dx) = p$, adalah vektor cross-correlation antara signal keluaran yang diinginkan dan

vektor tap masukan, dan $E(xx^T) = R$, adalah matriks autokorelasi vektor masukan, yang biasanya diestimasi menggunakan sejumlah besar sampel dari d dan x . Dalam algoritma LMS, estimasi waktu pendek digunakan hanya dengan mempertimbangkan sampel saat ini $E(dx) \approx d(x)$ dan $E(xx^T) \approx xx^T$ sehingga menghasilkan persamaan untuk perbaikan koefisien filter seperti pada persamaan (7)

$$\begin{aligned} w^{baru} &= w^{lama} + \mu / 2 (-\nabla_w j(w)) \\ &= w^{lama} + \mu x(d - x^T(c)) \\ &= w^{lama} + \mu x e \end{aligned} \quad \dots (7)$$

Disini, dikenalkan parameter step-size, μ , yang mengontrol jarak pergeseran sepanjang permukaan gelat (error surface). Dalam algoritma LMS perbaikan koefisien pada persamaan (7) berlangsung setiap waktu n mengikuti persamaan:

$$w(n+1) = w(n) + \mu e_{-}(n) x(n) \quad \dots (8)$$

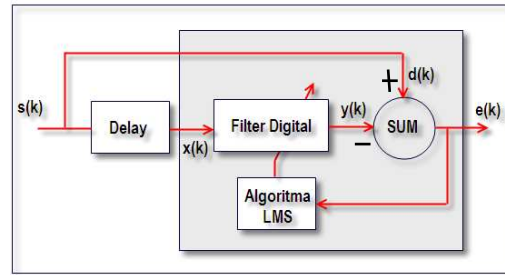
dimana $w(n+1)$ adalah koefisien filter baru (setelah diperbarui) dan $w(n)$ adalah koefisien filter lama (sebelum diperbarui)

3. Metodologi

Untuk mendapatkan kualitas perbaikan dari sinyal wicara dengan menggunakan filter adaptif dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

Dilakukan perekaman sinyal wicara dengan background noise berupa sinyal sinusoid (sinyal noise periodik) dengan berbagai frekuensi. Sinyal ini selanjutnya diukur nilai SNRnya.

Dengan menggunakan filter adaptif single microphone seperti pada Gambar 3, sinyal bernoise ini diproses untuk dihilangkan background noisennya. Selanjutnya sinyal hasil proses akan diukur nilai SNRnya sehingga dapat diketahui sejauhmana perbaikan sinyal yang terjadi. Sebagai parameter proses, akan diamati proses perbaikan sinyal wicara dengan berbagai nilai step-size, μ , order filter, N , dan nilai delay, D .



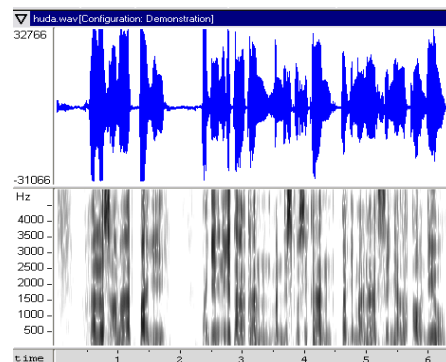
Gambar 3. Struktur single microphone untuk mereduksi noise sinusoid (noise periodik)

Sinyal wicara yang tercampur noise periodik, $s(k)$, digunakan sebagai masukan filter adaptif yang terlebih dahulu dilewatkan pada elemen penunda (delay). Keluaran filter adaptif ini selanjutnya diselisihkan dengan sinyal asal, $s(k)$, untuk dicari errornya, $e(k)$, dan selanjutnya sinyal $e(k)$ ini diukur signal to noise rasionya untuk diketahui seberapa jauh kualitas perbaikan yang dicapai.

Sekema pembatalan noise menggunakan filter adaptif pada sinyal wicara ini diimplementasikan menggunakan software Matlab.

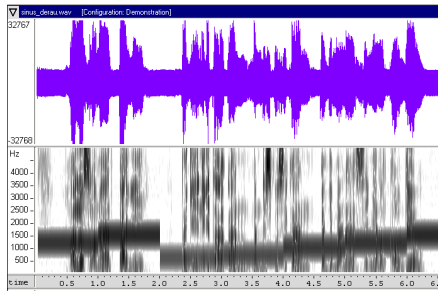
4. Hasil dan Analisa

Dengan menggunakan dua sekema seperti yang dijelaskan diatas telah dilakukan pengujian kemampuan kualitas perbaikan filter adaptif terhadap sinyal wicara yang tercampur noise. Gambar 5 merupakan sinyal wicara terbebas dari noise (atas) dan spektogram dari sinyal yang sama (bawah).



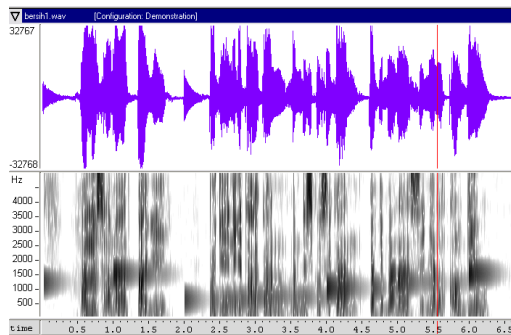
Gambar 5. Sinyal wicara terbebas dari noise (atas), dan spektogram dari sinyal yang sama (bawah)

Gambar 6 merupakan sinyal wicara yang ditambahi noise sinusoid dengan berbagai frekuensi (atas) dan spektogram dari sinyal yang sama (bawah) dengan nilai SNR sebesar -1.5218 dB.



Gambar 6. Sinyal bicara dengan noise sinusoid berbagai frekuensi (atas), dan spektrogram dari sinyal yang sama (bawah)

Gambar 7 merupakan sinyal bicara hasil perbaikan menggunakan filter adaptif dengan struktur single microphone. Elemen delay yang digunakan adalah $D = 20$ delay, order filter $N = 20$, laju konvergensi $\mu = 0.04$. yang ditambahi noise sinusoid dengan berbagai frekuensi (atas) dan spektrogram dari sinyal yang sama (bawah) dengan nilai SNR sebesar 19.2383 dB. Untuk nilai $\mu = 0.002$ diperoleh nilai SNR sinyal keluaran sebesar 3.6511



Hasil perbaikan dengan mengubah nilai laju konvergensi, order filter dan jumlah delay dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel.1. Nilai SNR sinyal kelurana dalam berbagai parameter filter adaptif, dimana μ = laju konvergensi, L = order filter, dan D = jumlah delay

Parameter filter adaptif			SNR Perbaikan (dB)
μ	L	D	
0.002	20	20	3.6511
0.04	20	20	19.2383
0.08	20	20	18.1761
0.04	32	20	17.2568
0.04	40	20	18.0675
0.04	64	20	17.6106
0.04	20	5	15.3387
0.04	20	10	17.4296
0.04	20	14	18.2150

Dari table di atas terlihat bahwa menaikkan laju konvergensi dapat menambah perbaikan kualitas sinyal keluaran, tetapi untuk nilai $\mu =$

0.08 nilai SNR menurun. Hal ini dikarenakan adanya peredaman terhadap sinyal bicaranya. Perbaikan SNR juga dapat dilakukan dengan memperbesar order filter pada nilai $L = 40$ dan nilai delay D

5. Kesimpulan

Memperhatikan hasil dan analisa yang telah dilakukan pada bab 4, dapat ditarik sebagai berikut:

- ✓ Nilai SNR sinyal hasil perbaikan dapat ditingkatkan dengan menaikkan nilai laju konvergensi pada nilai mulai dari 0.002 sampai 0.04. Pada nilai 0.08 nilai SNR sinyal hasil perbaikan menurun
- ✓ Memperbesar nilai delay dapat meningkatkan kualitas SNR sinyal keluaran secara signifikan mulai dari 15.3387 dB sampai dengan 19.2383 dB.
- ✓ Penambahan order filter tidak selamanya dapat meningkatkan SNR sinyal keluaran terutama untuk order filter antara 32 sampai dengan 40.

6. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Unit Penelitian Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (UP-PENS) dengan nomor kontrak **0097.3/N12/PG/2008** untuk itu disampaikan terima kasih atas dukungan dananya sehingga penelitian ini terlaksana.

7. Referensi

1. Joseph P. Campbell, JR., Speaker Recognition: A Tutorial, proceedings of the IEEE, vol. 85, no. 9, september 1997
2. Davood Shamsi dan Massoud Babaie-Zadeh, "Adaptive Time Domain Signal Estimation for Multi-Microphone Speech Enhancement", International Symposium on Telecommunication (IST2005), Shiraz, Iran 2005
3. Yariv Ephraim, "Recent Advancements in Speech Enhancement", Department of Electrical and Computer Engineering, George Mason University, May 17, 2004
4. Y. Ephraim and D. Malah, "Speech enhancement using a minimum mean-square error log-spectral amplitude estimator," IEEE Trans. on Acoust.,

Speech, Signal Processing, vol. 33, no. 2, pp. 443–445, Apr. 1985.

5. D. Burshtein S. Gannot and E. Weinstein, “Iterative and sequential kalman filter-based speech enhancement algorithms,” IEEE Trans. On Speech and Audio Processing, vol. 6, no. 4, pp. 373–385, July 1998.
6. Y. Ephraim and H. L. Van Trees, “A signal subspace approach for speech enhancement,” IEEE Trans. on Speech and Audio Processing, vol. 3, no. 4, pp. 251–266, July 1995.
7. S. D. Hansen S. H. Jensen, P. C. Hansen and J. A. Sorensen, “Reduction of broadband noise in speech by truncated qsvd,” IEEE Trans. On Speech and Audio Processing, vol. 3, no. 6, pp. 439–448, Nov 1995.
8. David Halupka, Seyed Alireza Rabi, Parham Aarabi, and Ali Sheikholeslami, “Real-Time Dual-Microphone Speech Enhancement Using Field Programmable Gate Arrays”, The Edward S. Rogers Sr. Department of Electrical and Computer Engineering University of Toronto, Canada
9. Qiang Fu dan Eric A. Wan, "A Novel Speech Enhancement System Based On Wavelet Denoising", Center for Spoken Language Understanding OGI School of Science and Engineering at Oregon Health & Science University February 14, 2003
10. Christian Feldbauer, Franz Pernkopf, and Erhard Rank., "Adaptive Filters: A Tutorial for the Course Computational Intelligence", Signal Processing and Speech Communication Laboratory., Institut für Grundlagen der Informationsverarbeitung