

Prezentarea proiectului

Importanta si relevanta continutului stiintific

Una dintre configurațiile de sisteme adaptive, amintite în aproape orice carte referitoare la filtrarea adaptivă[1],[3],[6], este aceea care se referă la reducerea interferențelor pe baza proprietăților de corelație (Fig. 1). Printre aplicațiile importante ale acestei configurații se pot aminti suprimarea ecoului de linie și a ecoului acustic, reducerea zgomotului ambiental, eliminarea interferențelor prin formarea adaptivă a caracteristicii de radiație a unui sistem de antene.

Configurația pornește de la ideea că se cunosc două semnale :

- semnalul primar, $x(n)+v(n)$, este constituit din semnalul util $x(n)$ peste care este suprapus un semnal perturbator, $v(n)$;
- semnalul secundar, $u(n)$, care este corelat cu semnalul perturbator. Se presupune în plus că semnalul util este necorelat cu $u(n)$ și $v(n)$.

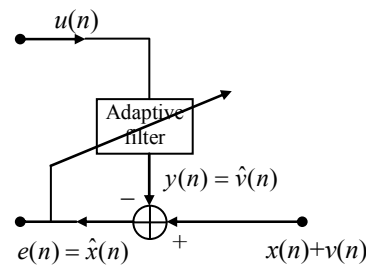


Fig. 1. Filtru adaptiv în configurația de suprimare a interferențelor

Specific acestei configurații este existența unui semnal extern $x(n)$ care nu ar trebui să fie afectat de algoritmul adaptiv. Obiectivul este refacerea semnalului util. Teoretic, filtrul adaptiv, având drept intrare semnalul $u(n)$ și drept semnal dorit $d(n)=x(n)+v(n)$ ar trebui să genereze un estimat al semnalului perturbator, $y(n)=\hat{v}(n)$, care scăzut din semnalul primar ar genera un estimat al semnalului util. Acest mecanism funcționează perfect în baza teoriei filtrării optimale Wiener-Hopf. Sa presupunem că legătura între $u(n)$ și $v(n)$ se poate exprima printr-un model MA, ceea ce corespunde aplicațiilor practice ale acestei configurații

$$v(n) = \mathbf{h}^H \mathbf{u}(n) \quad (1)$$

unde $\mathbf{h} = [h_0, h_1, \dots, h_{N-1}]^H$

$$\mathbf{u}(n) = [u(n), u(n-1), \dots, u(n-N+1)]^T$$

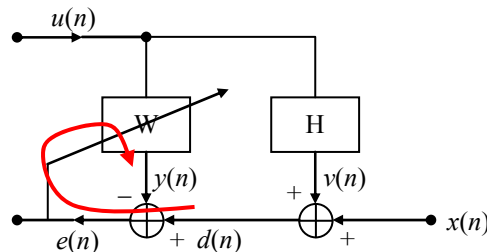


Fig. 2. Configurația de suprimare a interferențelor cu model

MA

Să presupunem filtrul adaptiv de tip RFI, având coeficienții

$$\mathbf{w} = [w_0, w_1, \dots, w_{N-1}]^H$$

Filtrul optim este dat de ecuația Wiener Hopf [1],[3],[6]

$$\mathbf{R}\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{p} \quad (2)$$

unde

$$\mathbf{R} = E\{\mathbf{u}(n)\mathbf{u}^H(n)\} \quad (3)$$

este matricea de autocorelație, iar

$$\mathbf{p} = E\{\mathbf{u}(n)d^*(n)\} \quad (4)$$

este vectorul corelației între semnalul de intrare și semnalul dorit.

Dar

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= E\{\mathbf{u}(n)d^*(n)\} = E\{\mathbf{u}(n)(x^*(n) + v^*(n))\} = E\{\mathbf{u}(n)x^*(n)\} + E\{\mathbf{u}(n)v^*(n)\} = \\ &= E\{\mathbf{u}(n)v^*(n)\} = E\{\mathbf{u}(n)\mathbf{u}^H(n)\mathbf{h}\} = \mathbf{R}\mathbf{h} \end{aligned} \quad (5)$$

așa încât soluția ecuației Wiener-Hopf este

$$\mathbf{w}_{opt} = \mathbf{h} \quad (6)$$

ceea ce înseamnă

$$y(n) = \mathbf{w}_{opt}^H \mathbf{u}(n) = \mathbf{h}^H \mathbf{u}(n) = v(n) \Rightarrow e(n) = x(n) \quad (7)$$

deci $x(n)$ și $v(n)$ sunt corect separate. Sa remarcăm că separarea a fost posibilă pe baza faptului că

$$E\{\mathbf{u}(n)x^*(n)\} = 0 \quad (8)$$

În realitate algoritmi adaptivi evită operația de mediere statistică și ca urmare această configurație are toate șansele să funcționeze defectuos, atât în cazul algoritmilor de tip LMS cât și a acelor de tip RLS.

În cazul algoritmilor de tip LMS, coeficienții se reactualizează conform relației bine cunoscute:

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{u}(n)e^*(n) \quad (9)$$

În procesul de adaptare eroarea $e(n)$ trebuie să scadă, așa încât ajustarea coeficienților scade și ea o dată cu intrarea într-un proces de convergență. În cazul de față, scăderea lui $e(n)$ este principial limitată, pentru că acesta ar trebui să tindă către $x(n)$. În asemenea situații este foarte posibil să apară o divergență a algoritmului.

Apariția acestui fenomen de divergență a fost sesizată în primul rând de specialiștii implicați în proiectarea compensatoarelor adaptive de ecou. În schema din Fig. 3, este prezentat un astfel de compensatoarelor, în care calea de ecou este filtrul H, iar filtrul adaptiv este W.

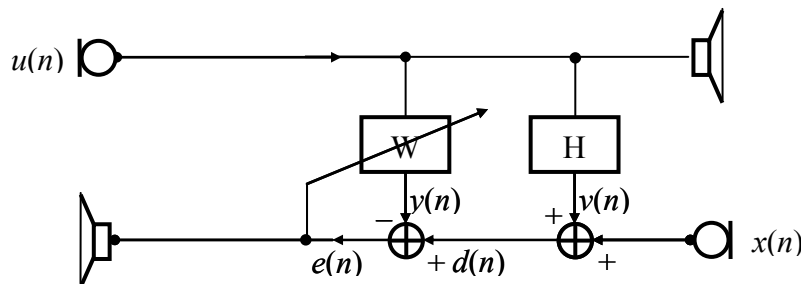


Fig. 3. Compensatorul adaptiv de ecou

În partea stângă este *utilizatorul îndepărtat*, iar în partea dreaptă, *utilizatorul apropiat*. Ca urmare a funcționării imperfecte a dispozitivelor ce fac trecerea între sistemele pe 2 fire și cele pe 4 fire, apare un *ecou de linie*, constând în întoarcerea unei părți a semnalului $u(n)$ prin diportul notat cu H, către utilizatorul îndepărtat. Conform recomandării G168 ITU-T, acest ecou trebuie redus sub anumite limite. Acest lucru trebuie realizat în fiecare echipament prin filtrul adaptiv, notat cu W. Tot un fenomen de ecou, dar acustic, apare în cazul unui sistem cu sunet amplificat (mâini libere) între difuzorul și microfonul de la utilizatorul apropiat. În configurația de mai sus, filtrul adaptiv își

realizează cu succes misiunea de a elimina ecoul, atâta timp cât semnal de la utilizatorul apropiat lipsește. Când $x(n)$ este diferit de zero, și are valori semnificative, apare fenomenul de *vorbire simultană* și conform celor arătate mai sus algoritmul diverge. Soluția adoptată a fost aceea a blocării fenomenului adaptiv pe durata vorbirii simultane. Pentru aceasta este necesar un *detector de vorbire simultană*, care funcționează pe baza unui proces de mediere și în consecință nu poate reacționa instantaneu [12]. Întârzierea poate fi suficientă pentru a duce filtrul adaptiv la divergență. O soluție poate fi utilizarea unui pas de adaptare μ variabil[8][10][11]. El ar trebui să fie inițial mare, pentru a obține o convergență inițială suficient de rapidă, iar apoi să scadă, pentru a face procesul adaptiv destul de insensibil încât să nu apară divergență la apariția semnalului extern. În plus, această soluție pornește din start de la ideea unei *excitații nepermanente* la utilizatorul apropiat (există pauze, în care procesul adaptiv poate intra în convergență). Ipoteza aceasta poate să nu funcționeze dacă utilizatorul apropiat se află într-un mediu zgomotos.

În cazul unei excitații permanente de nivel semnificativ, se poate eventual lucra cu un pas de adaptare μ foarte mic, dar convergența va fi foarte lentă.

Mai tentantă apare utilizarea unor algoritmi de tip RLS, care realizează o anumită mediere temporală, înlocuind medierea statistică prin operatorul

$$E\{\bullet\} \rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \{\bullet\}$$

gradul de mediere (memoria algoritmului) fiind caracterizat prin parametrul $\lambda \in (0,1]$. Cercetările experimentale pun ușor în evidență faptul că pentru un λ relativ mic, există posibilitatea ca semnalul de ieșire să devină zero. Pentru valori mai mari, poate rezulta doar o diminuare a semnalului ce ar trebui să se obțină în mod ideal la ieșire, $x(n)$. Fenomenul este puțin prezentat sau studiat în literatură. Observăm o comportare aberantă a algoritmului adaptiv, care anulează un numai componenta corelată cu intrarea, ci și semnalul util, $x(n)$. Lucrul acesta se petrece deoarece filtrul generează la ieșire o componentă $x(n)$ (figurată cu roșu în Fig. 2). Acest fenomen a fost pus în evidență pentru prima dată de echipa noastră [17], sub denumirea de ‘scurgere reziduală prin semnalul de eroare’ și este departe de a fi suficient de cunoscut și studiat. La valori suficient de mari (apropiate de 1) ale lui λ , algoritmul se comportă normal și acest lucru justifică interesul care credem că trebuie acordat algoritmilor de tip RLS pentru rezolvarea problemei în cazul unei excitații permanente. Nu trebuie confundat acest fenomen cu un alt fenomen de scurgere existent în literatură, având drept cauză o corelație între $x(n)$ și $u(n)$.

Multe întrebări rămân deschise, cum ar fi: ce înseamnă λ suficient de mare? De cine depinde această valoare? Se poate da o dependență funcțională a acestui fenomen de λ ? Cercetările experimentale întreprinse de noi par a indica o dependență profund neliniară. Este această dependență o funcție de frecvență (ceea ce ar putea conduce la ideea unor posibile distorsiuni liniare)? O valoare mare a lui λ (memorie mare, grad ridicat de mediere) poate conduce la o convergență lentă. Convergența inițială poate fi corectată printr-o alegere potrivită a parametrilor de inițializare [4], dar ce se întâmplă cu capacitatea de urmărire într-un mediu nestaționar? Ar prezenta interes o soluție cu λ variabil? După ce lege?

O abordare de tip RLS ridică și serioase probleme de implementare, având în vedere complexitatea aritmetică mult mai ridicată în raport cu algoritmi LMS. Aceasta are drept consecință și apariția unor serioase probleme legate de formatele finite de reprezentare a numerelor. Gama dinamică ridicată a mărimilor ce intervin în acest algoritm, mai ales la valori mari ale lui λ , pot provoca fenomene de depășire dar și de ‘stalling’ când unii parametri devenind foarte mici, sunt interpretați ca 0, conducând la blocarea algoritmului [5],[7],[14].

Obiectivele proiectului

Proiectul își propune:

1. Să realizeze o analiză aprofundată a fenomenelor ce apar în configurația ‘suprimarea adaptivă a interferențelor’, adică o configurație adaptivă în care apare un semnal extern

secundar.

2. Să ofere o caracterizare cantitativă a fenomenului de *scurgere reziduală prin intermediul semnalului eroare* pentru cazul algoritmilor de tip RLS.
3. Să ofere soluții pentru cazul excitației nepermanente. Este de așteptat ca aceste soluții să vină în zona algoritmilor LMS cu pas variabil, aducând variante ameliorate în raport cu cele existente în momentul de față.
4. În plan practic aceasta poate însemna algoritmi cu performanțe superioare în domeniul supresoarelor adaptive de ecou de linie sau de ecou acustic (dispozitive cu mâini libere, sisteme de teleconferință etc.)
5. Să ofere soluții pentru cazul excitației permanente. Evident, acestea pot fi utilizate și în cazul excitației nepermanente, dar ar putea fi o soluție prea complicată pentru acest caz. Domeniul preconizat este al algoritmilor de tip RLS.
6. Impactul punctului precedent se poate manifesta în zona sistemelor adaptive de reducere a zgomotului și a sistemelor adaptive de antene, cu configurare automată a caracteristicii de directivitate.
7. Analiza performanțelor algoritmilor propuși, prin perspectiva claselor de aplicații avute în vedere.
8. Analiza aspectelor legate de implementarea practică a algoritmilor respectivi, în formate numerice cu număr finit de biți. Se vor avea în vedere în mod special reprezentările în virgulă fixă.
9. Implementarea efectivă a algoritmilor propuși pe două categorii de suporturi - pe procesoare de semnal și pe arii logice programabile (FPGA).
10. Măsurători de laborator pentru evaluarea performanțelor și conformitatea cu reglementările/standardele acolo unde acestea există.

Echipa își propune să desfășoare o amplă activitate de diseminare, în scopul obținerii recunoașterii contribuțiilor aduse în domeniu, pe de o parte și pe de altă parte, a găsirii de potențiali beneficiari în mediul economic și a stabilirii de parteneriate vizând transferul tehnologic.

Metodologia cercetării

Abordarea va avea în vedere două situații diferite, inspirate din categoriile diferite de aplicații:

- Cazul când semnalul extern este nepermanent (situație ce corespunde compensatoarelor de ecou, în condițiile unui mediu relativ puțin zgomotos)
- Cazul când semnalul extern este permanent (care corespunde aplicațiilor de tip reducere a zgomotului acustic (sau intensificare a semnalului și formare adaptivă a caracteristicii de directivitate, urmărind suprimarea unor interferențe)

Pentru analiza fenomenelor specifice ce conduc de fapt la disfuncționalități în cazul existenței semnalului extern în configurația adaptivă studiată (obiectivele 1 și 2) va exista o abordare experimentală, bazată pe simulări în mediul MATLAB, dar se va căuta și obținerea unei caracterizări analitice. De exemplu, pentru a pune în evidență fenomenul de scurgere reziduală în algoritmul RLS, un punct de plecare, propus de noi în [17] ar fi următorul.

În cazul algoritmilor RLS, operatorul de mediere statistică este înlocuit cu medierea temporală ponderată

$$E\{\bullet\} \rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \{\bullet\} \quad (1)$$

unde factorul de ponderare $\lambda \in (0,1]$ caracterizează memoria algoritmului. În consecință ecuația Wiener-Hopf devine

$$\sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) \mathbf{u}^H(i) \mathbf{w}_{opt} = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) (v^*(i) + x^*(i)) = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) v^*(i) + \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) x^*(i) \quad (2)$$

Pentru λ apropiat de 1 și n suficient de mare,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) x^*(i) \equiv E \{ \mathbf{u}(n) x^*(n) \} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) \mathbf{u}^H(i) \mathbf{w}_{opt} \equiv \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) v^*(i) = \sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) \mathbf{u}^H(i) \mathbf{h}$$

$$\Rightarrow \mathbf{w}_{opt} \equiv \mathbf{h} \quad (3)$$

și $e(n) = x(n)$ ca în cazul ideal.

Pe de altă parte, pentru o valoare relativ mică a factorului λ , $\lambda^k \approx 0$ pentru $k \geq n_0$, așa încât:

$$\sum_{i=1}^n \lambda^{n-i} \{\bullet\} \approx \sum_{i=n-n_0+1}^n \lambda^{n-i} \{\bullet\} \quad (4)$$

Ecuția normală devine în acest caz

$$\sum_{i=n-n_0+1}^n \lambda^{n-i} \mathbf{u}(i) e^*(i) = \mathbf{0} \quad (5)$$

care este un sistem omogen de N ecuații cu n_0 necunoscute, $e(i)$, $i = \overline{n-n_0+1, n}$. Dacă $n_0 < N$, sistemul are drept unică soluție soluția banală:

$$e(i) = 0 \quad \text{for } i = n-n_0+1, \dots, n \quad (6)$$

conducând la

$$y(n) = \mathbf{w}^H(n) \mathbf{u}(n) = x(n) + v(n) \quad (7)$$

Se confirmă observația experimentală pomenită mai sus: algoritmul adaptiv anulează nu numai componenta corelată cu intrarea, ci și semnalul util $x(n)$. Tratarea de mai sus dă o explicație a fenomenului, dar ia în considerare doar situațiile extreme: λ mic și λ apropiat de unu. Sugerează de asemenea o dependență între valoarea minimă necesară a lui λ pentru funcționare corectă a algoritmului și lungimea filtrului, fără a explicita această dependență.

Referitor la obiectivul 3, soluția trebuie găsită în familia algoritmilor LMS/NLMS cu pas variabil. Este necesară o abordare analitică, pornind eventual de la o altă exprimare a funcției cost, care să țină seama de existența semnalului extern. În principiu ar fi de dorit un pas care să scadă pe măsura intrării în convergență, revenind la valori ridicate odată cu schimbarea căii de ecou.

Pentru obiectivul 4 se vor face experimentări (simulări MATLAB) în condițiile prevăzute în reglementările G168 –ITU-T.

Pentru obiectivul 5 se vor analiza diverși algoritmi din familia RLS. Va fi abordat în corelare cu obiectivul 8. Trebuie lămurite o serie de probleme legate de comportarea la λ apropiat de 1, atât sub aspectul vitezei de convergență și capacității de urmărire, cât și a problemelor legate de gama dinamică a parametrilor, care se acutizează în aceste condiții. Un punct de pornire poate fi lucrarea [18], în care propunem o versiune ușor modificată a funcției cost.

Analiza performanțelor se va face la două nivele: prin simulări (obiectivul 7), care vor duce la selecția unor soluții acceptabile pentru implementare și prin măsurători (obiectivul 10).

Implementările vor fi realizate pe două tipuri de suporturi: pe procesoare de semnal utilizând platforme Star Core (Freescale) și pachetul software CodeWarrior și pe arii logice programabile, cu proiectare în VHDL, utilizând pachetul oferit de Mentor Graphics.

Bibliografie selectivă

- [1] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 4th ed., Prentice-Hall, N.J., 2002.
- [2] F. Ling, D. Manolakis, J.G. Proakis, "New Forms of LS Lattice Algorithms and an Analysis of Their Round-Off Error Characteristics", Proc. of ICASSP, Tampa, Fla., 1985, pp. 1739-1742.
- [3] B. Widrow, S.D. Stearns, Adaptive Signal Processing, Englewood Cliffs, NJ Prentice Hall, 1985
- [4] G.V. Moustakides, "Study of the Transient Phase of the Forgetting Factor RLS", IEEE Trans. Sign. Proc., vol. 45, 1997, pp. 2468-2476.
- [5] S. Ciochină, C. Paleologu, A.A. Enescu, "On the Behaviour of RLS Adaptive Algorithm in Fixed-Point Implementation", Proc. of IEEE ISSCS, Iași, Romania, 2003, vol. 1, pp. 57-60.
- [6] S. Ciochină, C. Negrescu, *Sisteme adaptive*, Ed. Tehnică, Bucharest, 1999.
- [7] C. Paleologu, A. A. Enescu, S. Ciochină, "A Network Echo Canceller Based on a SRF QRD-LSL Adaptive Algorithm Implemented on Motorola StarCore SC140 DSP", Proc. of IEEE ICT2004, Fortaleza, Brazil, LNCS Springer-Verlag, vol. 3124, pp. 560-567.
- [8] T. Gänsler, St. L. Gay, M. M. Sondhi, J. Benesty, "Double-Talk Robust Fast Converging Algorithms for Network Echo Cancellation", IEEE Trans. Speech and Audio Processing, vol. 8, no. 6, pp. 656-663, Nov. 2000.
- [9] ITU-T Rec. G.168, Digital Network Echo Cancellers, 2000, Draft 3.
- [10] D.L. Duttweiler, "Proportionate Normalized Least-Mean-Squares Adaptation in Echo Cancelers", IEEE Trans. Speech and Audio Processing, vol. 8, no. 5, pp. 508-518, Sept. 2000.

- [11] J. Benesty, H. Rey, L.R.Vega, S. Tressens, A Nonparametric VSS NLMS Algorithm, IEEE Signal Proc. Letters, vol.13. NO.10, Oct. 2006
- [12] J.D.Gordy, R.A.Goubran, Statistical Analysis of Doubletalk Detection for Calibration and Performance Evaluation, IEEE Trans. On Audio, Speech and Language Proc. Vol.15 No. 3, martie 2007
- [13] D.P.Mandic, A Generalized Normalized Gradient Descent Algorithm, IEEE Signal Proc. Letters, vol.11. NO.2, Feb.. 2004
- [14] Silviu Ciochina, Constantin Paleologu, *On the Performances of QRD-LSL Adaptive Algorithm in Echo Cancelling Configuration*, Proc. of IEEE ICT 2001, vol. 1, Bucuresti, 2001, pag. 563-567.
- [15] Constantin Paleologu, Silviu Ciochina, Andrei Alexandru Enescu, *Modified versions of QRD-LSL Adaptive Algorithm with Lower Computational Complexity*, Revue Roumaine des Sciences Techniques – Serie Electrotechnique et Energetique, vol. 46, nr.3, 2001, pag. 333-352.
- [16] Constantin Paleologu, Andrei Alexandru Enescu, Silviu Ciochina, *Recursive Least-Squares Lattice Adaptive Algorithm Suitable for Fixed-Point Implementation*, Proc. of IEEE ICECS'06, Nisa, Franta, 2006.
- [17] A.Enescu, S.Ciochina, C.Paleologu, Adaptive Interference cancellation:A Unitary Approach, International Symposium on Signals, Circuits and Systems, ISSCS'2005 Proceedings, ISBN 0-7803-9029-6, IEEE Catalog Number 05EX1038, vol.2, pp. 569-572.
- [18] C. Paleologu, S. Ciochină, J. Benesty, *Variable Step-Size NLMS Algorithm for Under-Modeling Acoustic Echo Cancellation*. trimis pentru evaluare la IEEE Signal Proc. Letters.