

ABSTRACT – Algorithms and Implementation Solutions for Echo Cancellation in Stereo Systems

The stereophonic acoustic echo is due to the coupling between two loudspeakers and two microphones. In the classical approach, this configuration is modelled by a two-input/two-output system with real random variables. In order to perform the stereophonic acoustic echo cancellation (SAEC), a total number of four adaptive filters with real valued coefficients are required, associated with every loudspeaker-to-microphone pair.

In the presented thesis, the SAEC scheme is recast as a single-input/single-output system with complex valued variables, by using the Widely Linear (WL) model. The four adaptive filters are recombined into one complex valued filter with doubled length. The handling of the scheme is simplified and the framework for the Recursive Least Squares (RLS) adaptive algorithms family is described. Also, a predistortion method that fits well with the WL model is described, in order to reduce the coherence between the two acoustic channels and to improve the performance of the SAEC.

A new adaptive algorithm is introduced, based on the combination between the classic RLS and the Dichotomous Coordinate Descent (DCD) method, which solves the complex valued matrix inversion problem using only additions and bit-shifts. The newly proposed RLS-DCD-WL algorithm has reduced arithmetic complexity in comparison with the classical RLS solution, using a reduced number of multiplications and no divisions. The functionality of the new algorithm is demonstrated with simulations performed in Matlab. The RLS-DCD-WL is compared with the classical RLS and analyzed for different values of its parameters.

The proposed algorithm is extended with the use of a pair of filters to separate the adapting part of the system and the echo cancellation procedure. The system is governed by a transfer logic which prevents the update of the filter performing the echo cancellation in high disturbance scenarios, such as double-talk. Thus, the robustness of the RLS-DCD-WL is increased with a low impact on the arithmetic complexity.

Furthermore, a fixed point hardware application is proposed for the RLS-DCD-WL adaptive filter (with only one filter). The variables of the algorithm are analyzed and the implementation block diagram components are described. The application was created using the VHDL language for a FPGA target device and simulations were performed in Modelsim to validate the proposed method. Also, a report on the required hardware resources is presented.

The study is concluded with a short description of the previous six sections, by emphasizing the contributions of the author to the SAEC scenarios. Also, research perspectives are discussed.

ABSTRACT – Algoritmi și soluții de implementare pentru suprimarea ecoului în sisteme stereo

Anularea ecoului în sistemele stereo este cauzată de cuplajul dintre două difuzoare și două microfoane. În abordarea clasică, această configurație este modelată de un sistem cu două intrări și două ieșiri cu variabile aleatoare reale. Pentru a realiza anulare ecoului în sisteme stereo (*stereophonic acoustic echo cancellation* - SAEC), un număr total de patru filtre adaptive, având coeficienți reali, sunt necesare, asociate cu fiecare pereche difuzor-microfon.

În documentul prezentat, schema SAEC este reorganizată într-un sistem cu o intrare și o ieșire cu variabile aleatoare complexe, prin folosirea modelului liniar pe scară largă (*Widely Linear* - WL). Cele patru filtre adaptive sunt recombinate într-un singur filtru adaptiv de lungime dublă. Manevrabilitatea schemei este simplificată și este descris cadrul de funcționare al familiei algoritmilor recursivi ai celor mai mici pătrate (*Recursive Least Squares* - RLS). De asemenea, este descrisă o metodă de predistorsionare potrivită pentru modelul WL, pentru a reduce coerența dintre cele două canale acustice și pentru a îmbunătăți performanțele SAEC.

Este introdus un nou algoritm adaptiv, bazat pe combinația dintre soluția RLS clasică și metoda reducerii dihotomice coordonate (*Dichotomous Coordinate Descent* - DCD), care rezolvă problema de inversare de matrice (cu variabile complexe) folosind doar adunări și deplasări de operanzi. Algoritmul nou introdus, RLS-DCD-WL, are complexitate aritmetică redusă în comparație cu soluția RLS clasică, utilizând un număr redus de multiplicări și nici o diviziune. Funcționalitatea noului algoritm este demonstrată prin simulări realizate în Matlab. Algoritmul RLS-DCD-WL este comparat cu metoda RLS clasică, și analizat pentru diferite valori ale parametrilor săi.

Algoritmul propus este extins prin folosirea unei perechi de filtre pentru a separa procedurile de actualizare a coeficienților și de anulare a ecoului. Sistemul este guvernat de o logică de transfer care previne actualizarea filtrului ce realizează anularea ecoului în scenariile cu perturbații mari, cum ar fi vorbirea simultană. Astfel, robustețea algoritmului RLS-DCD-WL este crescută cu o modificare mică a complexității aritmetice.

Mai mult, o implementare hardware în precizie finită este propusă pentru algoritmul adaptiv RLS-DCD-WL (cu un singur filtru). Variabilele algoritmului sunt analizate și componentele schemei bloc a implementării sunt descrise. Aplicația a fost creată folosind limbajul VHDL pentru un dispozitiv țintă de tip FPGA, iar simulările au fost efectuate în Modelsim pentru a valida metoda propusă. De asemenea, un raport al resurselor hardware necesare este prezentat.

Studiul prezentat este încheiat cu o descriere scurtă a capitolelor precedente, cu evidențierea contribuțiilor aduse de autor pentru scenariile SAEC. În plus, sunt descrise perspectivele pentru cercetări viitoare.