

Un cours d'introduction au traitement du signal pour l'ordinateur multimédia

Jean-Paul Stromboni, Maître de conférences
Ecole Supérieure des Sciences Informatiques
930, route des Colles, B.P. 145, F.06905, Sophia Antipolis
strombon@essi.fr
et projet Mainline du laboratoire I3S du CNRS

Résumé

Du fait de l'évolution des ordinateurs vers le multimédia et le réseau, enseigner le traitement du signal dans une école d'informatique comme l'ESSI (Ecole Supérieure des Sciences Informatiques de l'Université de Nice Sophia Antipolis), mission difficile il y a quelques années, est devenu non seulement possible mais nécessaire. Le principe moteur du cours dont il est question ici est de montrer aux élèves ingénieurs informaticiens de première année que les outils, techniques et méthodes qu'ils rencontreront dans le domaine du multimédia se fondent sur la théorie du signal. Pour cela, un ensemble de connaissances sont sélectionnées, les expérimentations utilisent le son numérique, et on fournit des moyens d'auto évaluation. Tous les documents sont réunis sur une URL locale.

Abstract

With the evolution of computer towards multimedia and network, teaching Signal Processing which was difficult in a Computer Science engineering school a few years ago has become not only possible but necessary. The purpose in this curriculum is to show to our first year students that the tools, techniques and methods that they will encounter in the field of computer multimedia can be explained with Signal Theory and not only with Computer Science. To perform this, a set of relevant knowledge has to be selected. All the associated tutorials will use digital sounds for the sake of simplicity. Some means for self learning must be provided. All the documents used will be gathered in the curriculum local URL.

Motivation et genèse du module S.S.I.

La préoccupation est d'améliorer l'efficacité de la formation des élèves ingénieurs informaticiens de l'ESSI dans le contexte professionnel actuel et de mieux y introduire le traitement du signal.

Pour des élèves ingénieurs en informatique, l'intérêt principal qui était la programmation, s'est déplacé vers Internet et le multimédia. Le module SSI cherchera à leur montrer que les fonctionnalités et les limites du multimédia numérique s'expliquent et se comprennent avec la théorie du signal et le traitement du signal.

Il est important d'expérimenter, de faire, pour cela le son numérique offre un support intéressant. Avec la carte son

d'un ordinateur et un casque on peut aisément enregistrer ou synthétiser, jouer, modifier le signal audio numérique en utilisant au besoin des logiciels spécialisés pour le calcul et le traitement des sons.

Contenu de la formation

On doit commencer par choisir les connaissances qui seront retenues pour le cours. Ici le critère est qu'elles doivent correspondre à des observations et répondre à des questions quotidiennes dans l'utilisation de l'ordinateur et du multimédia. Ensuite, on déterminera avec le même critère une liste de savoir-faire et de compétences associés aux connaissances du cours et à acquérir en travaux dirigés. Enfin, on y associera un ensemble d'exercices avec leurs solutions pour faciliter l'apprentissage des élèves.

Les connaissances clés retenues pour le module

Les objectifs pédagogiques retenus sont donnés ci-dessous explicitement en caractères gras. Ils constitueront une mémoire pour la classe et un guide pour les enseignants au cours du déroulement du module. Il faut les annoncer d'emblée à la classe, les expliciter durant la formation, les utiliser lors des exercices et tester leur acquisition lors des examens et contrôles :

- **les ordinateurs peuvent interagir avec le monde physique environnant au moyen de signaux numériques**
- **numériser un signal signifie prendre des mesures périodiques (échantillonner), et coder en mots binaires de B bits (quantifier)**
- **la contrainte de Shannon stipule comment échantillonner un son sans perte d'information**
- **quantifier les échantillons sonores dégrade le signal et peut provoquer un bruit audible**
- **la représentation temporelle usuelle du signal et la représentation fréquentielle obtenue par transformée de Fourier (TF) sont équivalentes**
- **l'algorithme de FFT est utilisé par les ordinateurs pour calculer la transformée de Fourier**
- **découper dans un signal une fenêtre de N échantillons successifs modifie le spectre de ce signal**
- **échantillonner un signal crée des duplicata de son spectre autour des multiples de la fréquence**

- l'effet d'un filtre sur un signal consiste à modifier le spectre du signal traité
- un processus continu commandé à travers un bloqueur d'ordre zéro peut être discrétisé, c'est à dire que l'équation différentielle est remplacée par une équation aux différences
- pour compresser un signal, on peut exploiter une loi de quantification non linéaire
- les méthodes de compression basées sur l'analyse du spectre du signal sont plus efficaces

Les expérimentations associées aux concepts clés

Les exemples suivants utilisent des matériels courants dans les salles machines, ordinateurs équipés de carte son et casque micro hauts-parleurs. Le logiciel de simulation est Matlab. Le logiciel de traitement de son utilisé est Goldwave (téléchargeable). Voici un échantillonnage des thèmes de manipulation développés en travaux dirigés :

1. analyser la nature du signal numérique
2. identifier les paramètres qui font les sons
3. créer des sons numériques
4. utiliser et comprendre la nature des séries de Fourier
5. analyser en détail l'algorithme de FFT
6. qu'advient-il à un son échantillonné quand la contrainte de Shannon n'est pas respectée ?
7. Vaut-il mieux utiliser une fenêtre d'apodisation rectangulaire ou de Hamming ?
8. le bruit de quantification qui survient pour les faibles valeurs de B et du rapport signal sur bruit est-il audible ?
9. calculer un filtre passe bas d'ordre un ou deux, et appliquer le filtre à un signal
10. construire un filtre antialiasing de réponse harmonique rectangulaire et de largeur donnée
11. chirurgie fréquentielle, ou comment utiliser un banc de filtres rectangulaires pour « disséquer » un son numérique
12. montrer le principe de la compression dans MPEG audio layer 3

Ces manipulations sont très appréciées et très suivies des élèves parce que liées aux nouvelles possibilités de l'informatique multimédia. En plus, le résultat est audible immédiatement, et met en jeu la perception et le sens physique. Toute erreur de traitement déclenche une incohérence sonore et provoque une demande immédiate de l'élève qui veut comprendre et rectifier.

Les exercices, questionnaires, et autres travaux

Un rôle important dans le fonctionnement du module est conservé au réseau qui accueille au fur et à mesure tous les documents utilisés : présentations, cours écrits, travaux dirigés, questionnaires, textes, exercices et corrigés ...

Pour chaque connaissance du module SSI, un moyen d'auto-évaluation est fourni dans l'URL du module.

Afin de détecter rapidement les problèmes pédagogiques et les concepts à reprendre, un système de questionnaires associés aux objectifs pédagogiques est expérimenté.

D'autres travaux sont proposés :

- les compte rendus de travaux dirigés, qui sont facultatifs et interviennent comme un bonus où il s'agit de rapporter comment on a procédé, ce que l'on a constaté, et quelle interprétation ou explication il convient d'en donner.
- le travail libre (ou TL, cf [1],[2],[3]) est un projet dont l'objectif est d'élargir les connaissances du module SSI dans une page html, en ajoutant si possible des applications en Matlab, java ou C++... Le résultat est très riche : equalizer, lecteur midi, serveur vocal ...

Les objectifs sont-ils atteints ?

Oui, le module S.S.I. s'intègre maintenant sans conteste dans le cursus de la première année comme une évidence.

La demande d'expérimentation des élèves est satisfaite, ils ne posent plus la question « quand appliquera-t-on le cours ? » puisqu'ils concrétisent les connaissances et constatent l'effet de leurs actions sur les sons et signaux traités.

En conséquence, le fossé entre le module et les matières informatiques s'estompe puisque l'utilisation de l'ordinateur est centrale par le biais du multimédia numérique.

Sur le chapitre de l'efficacité pédagogique, les résultats de l'examen de l'an dernier nous ont incités cette année à insister sur certaines connaissances. Ces connaissances semblent maintenant acquises.

L'accompagnement des cours par des questionnaires ciblés permettant de détecter précocement les erreurs apparaît comme une expérience utile à poursuivre et développer.

L'utilisation l'URL locale du module dans l'enseignement s'est imposée pour accéder durant la séance de TD aux données sonores utilisées, aux outils à installer et accessoirement aux textes distribués d'ailleurs sur papier.

Références

[1] J.P. Stromboni, "Enseigner l'automatique dans une école d'ingénieurs en informatique : essais et expérimentations avec les NTIC", TICE 2000, UTT Troyes, 18-20 Octobre 2000.

[2] J.P. Stromboni et al., "Some Experiments for Computer Aided Teaching", poster, 20th Conference on Open Learning and Distance Education, Dusseldorf, Germany, 01-05 April 2001

[3] Où trouver le module S.S.I. : <http://www.essi.fr/SSI>