

# Traitement numérique du signal pour dispositifs intégrés à ultra basse puissance

## 1.0 Introduction

L'utilisation répandue et croissante d'appareils portatifs à piles comme les téléphones cellulaires, les assistants personnels numériques (Personal Digital Assistant PDA) avec traitement du son, les lecteurs MP3 et les applications semblables, a eu comme conséquence une demande croissante de la technologie du traitement numérique du signal (DSP) miniaturisée et à ultra basse puissance. Plusieurs de ces dispositifs utilisent largement les techniques de traitement numérique du signal comme la modulation, la démodulation, le filtrage, la commande de gain automatique, l'égalisation et le codage et décodage de sous-bandes. De ces dispositifs, les utilisateurs s'attendent à ce qu'une gamme de particularités basées sur le DSP leur soient présentées sous forme d'appareils miniaturisés, portables et peu gourmands sur les piles.

Les exigences contradictoires de très basse consommation d'énergie et d'accroissement de la fonctionnalité du DSP ont conduit à un certain nombre d'avancées dans les algorithmes, les technologies des semi-conducteurs et les architectures de système. À partir de la recherche sur les prothèses auditives numériques qui a commencé au début des années 90, nous avons développé un nouveau système DSP qui a bénéficié des progrès dans tous ces secteurs. Celui-ci offre une taille miniaturisée et une consommation d'énergie ultra basse, et est suffisamment souple pour permettre une large étendue d'applications.

Cette technologie aura pour conséquence une nouvelle gamme de dispositifs où la technologie ultra basse puissance et miniaturisée du DSP est incluse dans un système ou un sous-ensemble, et accomplit une tâche, tout en étant à peine visible. Par l'insertion de modules de traitement des signaux, miniaturisés et à ultra basse puissance, nous nous attendons à l'amélioration des performances dans une foule de dispositifs, allant des sondes incorporées aux prothèses auditives numériques, particulièrement dans de mauvaises conditions de signal.

Cet article présente une vue d'ensemble des conditions requises pour les systèmes DSP intégrés à ultra basse puissance -- la technologie qui a été développée pour notre système de traitement des signaux -- et un regard détaillé sur une application exigeante: une prothèse auditive numérique dans le domaine fréquence, utilisant la discrimination par antenne (ou formation de faisceaux -- beamforming).

**Tableau 1: Caractéristiques à satisfaire pour un système DSP miniaturisé à ultra basse puissance**

<b>Taille</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Taille miniaturisée (les prothèses auditives exigent un système DSP entier logeant dans moins de 3x 5 x 3 millimètres)</li> </ul>
<b>Puissance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentation avec une seule pile et allant aussi bas que 0,9 volts o</li> <li>Moins de 1 mA de consommation (&lt; 0,1 mW/MIPS pour le système DSP)</li> </ul>
<b>Performance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Au moins 5 MIPS de puissance de traitement des signaux</li> <li>Capacité de permettre une large étendue d'applications</li> <li>Fidélité de qualité radiodiffusion (largeur de bande minimum : 8 kHz) o</li> <li>Moins de 10 ms de retard de groupe o</li> <li>Plus de 50 dB de plage pour le réglage du gain</li> </ul>

par *Todd Schneider et Robert Brennan,*  
*dspfactory Ltd, Waterloo, ON*  
*Edward Chau, Université de Guelph, Guelph, ON*

This paper presents an overview of the requirements for ultra low-power embedded DSP systems, the technology that was developed for our signal processing system, and a detailed look at a demanding application: a digital, frequency domain, beamforming hearing aid.

Cet article présente un sommaire des exigences des systèmes embarqués de très faible puissance pour le traitement numérique du signal. Cette technologie a été développée pour notre système de traitement du signal. L'article présente une analyse détaillée d'une application particulièrement exigeante, soit un appareil acoustique numérique pour malentendants atténuant les bruits de fond, amplifiant les conversations selon leur direction et oeuvrant dans le domaine fréquence.

## 2.0 Vue d'ensemble du système

### 2.1 Exigences

Les conditions nécessaires pour incorporer des systèmes DSP dans des applications miniaturisées et de très basse puissance représentent un défi (tableau 1). Ces exigences étaient présentes dans notre première application, les prothèses auditives numériques. Dans cette application, la consommation et la taille sont particulièrement restrictives.

### 3.0 Conception du système

La figure 1 montre un schéma d'ensemble du système. Il comprend trois composants principaux :

- Coprocesseur de batterie de filtres WOLA (Weighted overlap?add)
- Noyau du DSP à RCORE (Risk microprocessor core) et
- Processeur d'entrée-sortie (IOP).

Un sous-ensemble à signal mixte (analogique et numérique) renferme les convertisseurs analogique-numérique (A/N), un convertisseur numérique-analogique (N/A) et d'autres circuits d'interface. Le RCORE et le coprocesseur WOLA peuvent tous deux fonctionner concurremment et procurer approximativement 5 MIPS avec une horloge système à 1 MHz.

La figure 2 montre le modèle de traitement pour le système. Un signal d'entrée dans le domaine temps,  $x(n)$ , est transformé en domaine de fréquence par le filtre d'analyse. Le RCORE peut alors régler les gains appliqués à la sortie complexe (amplitude et phase) du filtre. Le filtre de synthèse ramène les données en un signal dans le domaine temps,  $y(n)$ . Il s'agit, en fait, d'un codeur/décodeur sur-échantillonné de sous-bande. La sortie du WOLA est complexe et contient les informations sur l'amplitude et la phase.

Inputs	= Entrées
A/D	= Convertisseur analogique/numérique A/N
Output	= Sortie
D/A	= Convertisseur numérique/ analogique N/A
Input-Output Processor	= Processeur entrées-sortie
WOLA Filterbank	= Filtres WOLA
Shared RAM Interface	= Interface par mémoire RAM partagée
16-bit Harvard DSP Core	= Noyau Harvard 16 bits du DSP
E2PROM = EEPROM	(Mémoire morte effaçable et programmable électriquement)
Peripherals	= Périphériques
X,Y,P SRAM	= SRAM (mémoire statique) X,Y,P

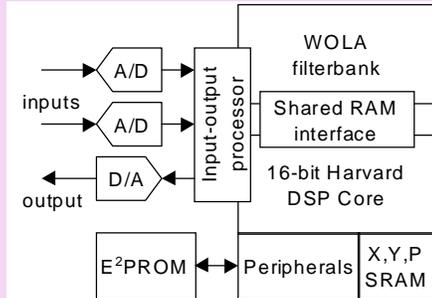


Figure 1: Schéma d'ensemble du système DSP

### 3.1 Batterie de filtres WOLA

La grande majorité des algorithmes de DSP, allant du codec de sous-bande au traitement directionnel, peuvent être englobés dans un paradigme de filtrage. Ainsi, notre conception incorpore un coprocesseur de filtrage efficace, mis en œuvre sous forme matérielle : le filtre WOLA [références 1,3 et 8]. Le fait que le WOLA est mis en application sous forme matérielle entraîne les avantages suivants :

- Consommation d'énergie considérablement réduite parce qu'une architecture de traitement des signaux optimisée pour filtrer est plus efficace qu'une architecture tout usage effectuant le même traitement, et
- Taille réduite de la puce parce que la mémoire exigée est moindre.

Pour fournir la souplesse requise pour un large éventail d'applications, un certain nombre des paramètres du filtre WOLA sont réglables. La taille (N) de la transformation de Fourier rapide (TFR), ainsi que la longueur (L) de la fenêtre et la longueur (R) du pas du bloc d'entrée sont tous réglables. Le filtre WOLA comprend deux innovations clés : l'incorporation d'un suréchantillonnage réglable et la disponibilité de

WOLA Filterbank	= Filtres WOLA
Analysis	= Analyse
Synthesis	= Synthèse
RCORE	= RCORE

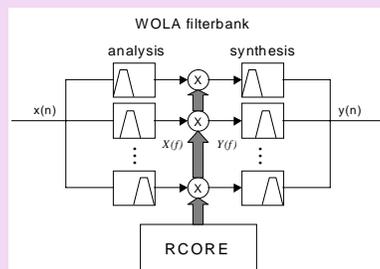


Figure 2: Modèle de traitement du système

Even Stacking	= Empilement pair
Odd Stacking	= Empilement impair
Frequency	= Fréquence
Gain (dB)	= Gain (dB)

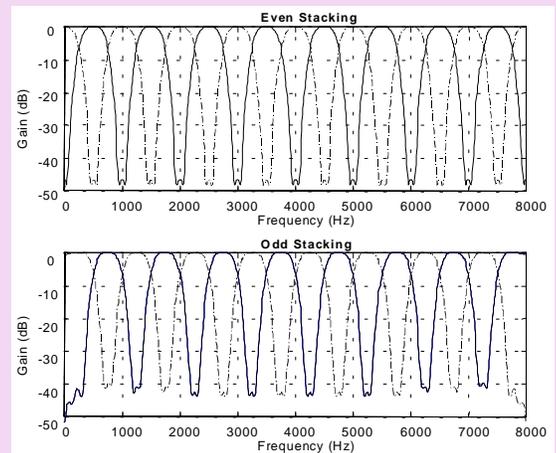


Figure 3: Réponses en fréquence pour les empilements pair et impair (16 canaux,  $t = 6$  ms,  $f_e = 16$  kHz)

deux empilements de filtres, l'un pair et l'autre impair. Le suréchantillonnage réglable permet à l'utilisateur de choisir un compromis entre la fidélité, le retard de groupe et la consommation d'énergie [1]. Les résultats pour quelques configurations apparaissent dans le tableau 2. Il est intéressant de noter comment un retard de groupe réduit (plus grand suréchantillonnage et/ou une plus petite longueur de fenêtre) peut être "troqué" contre une consommation d'énergie accrue ou une fidélité réduite (une plage dynamique exempte de parasites SFDR plus petite), ou les deux. Le filtre peut être configuré avec un nombre de bandes allant de 4 à 128.

Tableau 2: Configurations de filtre par échantillonnage (SFDR: spurious-free dynamic range; plage dynamique exempte de parasites; puissance relative pour le filtre seulement)

Nombre de bandes=N/2	Suréchantillonnage=N/R	Retard (ms)	Puissance relative	SFDR (dB)
16	2	14	1	65
16	4	6	1.5	50
32	4	12	1.6	45
128	1	27	2	40

La figure 3 montre la réponse en fréquence pour l'empilement pair et l'empilement impair. Pour les configurations montrées, 16 bandes d'égalisation de fréquence sont disponibles, chacune ayant plus de 40 dB de réglage du gain. Les deux empilements (pair et impair) ont un retard de groupe  $t$  de seulement 6 ms, incluant le temps de blocage causé par l'IOP (qui gère simultanément les entrées et les sorties des blocs de données pendant que le filtre WOLA fonctionne).

L'empilement pair emploie une transformée de Fourier rapide (TFR) classique et fournit  $N/2 - 1$  (où  $N$  est la taille de la TFR) bandes complètes et deux demi-bandes (en C.C. et à la fréquence de Nyquist). L'empilement impair fournit  $N/2$  bandes de largeurs égales. L'utilisation de deux empilements permet une égalisation plus précise parce qu'il y a deux fois plus de bords de bande.

Enfin, le filtre WOLA peut fonctionner en mode stéréo et convertir simultanément deux signaux du domaine temps au domaine fréquence. Cette caractéristique, alliée au signal de sortie complexe du filtre, fait du filtre WOLA l'outil idéal pour la mise en œuvre de démodulateurs et d'algorithmes de traitement directionnels dans le domaine fréquence.

### 3.2 Le noyau du DSP à RCORE

Le noyau de DSP à RCORE fournit la souplesse requise pour mettre en application un large éventail d'algorithmes de traitement des signaux. Il a accès aux données du domaine fréquence (sortie de la section analyse du filtre WOLA) et aux données du domaine temps (dans les empilements tampons FIFO d'entrée et de sortie du filtre WOLA).

Le RCORE est un noyau 16 bits complètement programmable par logiciel, à double DSP Harvard. Il exécute en un seul cycle une multiplication avec accumulation, accompagnée de la mise à jour de deux pointeurs d'adresses. Il possède des instructions spécialisées pour le traitement du son (par exemple, normalisation et dé-normalisation en un seul cycle) et un accumulateur 40 bits. Il s'interface au filtre WOLA et à l'IOP via une mémoire partagée.

### 3.3 Le processeur d'entrées-sorties (IOP)

L'IOP est un contrôleur fonctionnant par blocs de données et à accès direct à la mémoire, qui est étroitement couplé au filtre WOLA. Il opère sur des blocs de données et interrompt le noyau du DSP seulement quand c'est nécessaire. Ceci réduit la consommation d'énergie parce que le noyau du DSP peut commuter à un mode de veille à basse énergie quand il n'est pas requis pour les calculs.

L'IOP incorpore des filtres de décimation et d'interpolation qui fonctionnent conjointement avec le suréchantillonnage des convertisseurs analogiques/numériques et numériques/analogiques. Un filtre de suppression du C.C. fait partie intégrante du filtre de décimation.

### 3.4 Mise en œuvre du système

Des réductions supplémentaires de consommation d'énergie sont obtenues (1) en alimentant le système avec une tension de pile unique (le système fonctionnera avec une alimentation aussi basse que 0,9 volts) et (2) en utilisant une technologie de semi-conducteurs sous-micrométriques à basse consommation [7].

Le système complet (figure 1) est réalisé sur trois circuits intégrés. Le filtre WOLA, le RCORE, l'IOP et les périphériques associés sont fabriqués à partir de la technologie de 0,18mm sur un substrat de moins de 10 mm 2.

Le système comporte également un circuit intégré à ultra basse puissance muni de deux convertisseurs A/N 14 bits et d'un convertisseur N/A 14 bits. Ce sous-système possède également des blocs à gains d'entrée et de sortie programmables ainsi qu'un oscillateur sur une seule puce et une pompe de charge (charge pump : circuit éleveur de tension cc). Le sous-ensemble à signal mixte est entièrement commandé par un logiciel par l'intermédiaire d'une interface série synchronisée à simple fil et à bas débit. Ce circuit est fabriqué en utilisant la technologie de semi-conducteur de 1,0µm sur un substrat de moins de 8 mm 2. Un troisième substrat, d'EEPROM cette fois-ci, est disponible de série sur le marché, fournit la mémoire non volatile pour le système.

La figure 4 montre des versions capsulées du système qui incorporent le

substrat numérique, le substrat de signal mixte et le substrat de l'EEPROM (128 kbits)

## 4.0 Applications

Notre système DSP comporte une large étendue d'applications. Il est déjà utilisé dans les prothèses auditives numériques [6], les enregistreurs de la parole (comme CODEC de sous-bande) et les applications de PDA.

Nous travaillons activement sur plusieurs algorithmes de traitement directionnels, allant de simples systèmes à retard et sommation (delay-and-sum) à deux microphones aux formes avancées d'antennage dans le domaine fréquence. Le mode de traitement stéréo du filtre WOLA simplifie considérablement la mise en oeuvre de ces algorithmes. Dans les paragraphes qui suivent, on traite de ces applications intéressantes plus en détail.

### 4.1 Prothèse auditive à discrimination par antennage

Pour beaucoup de porteurs de prothèse auditive, le fait que le bruit de fond soit amplifié par la prothèse auditive rend très difficile la compréhension de la parole. Une façon éprouvée pour régler ce problème est d'utiliser un discriminateur par antennage (beamformer) [5]. Un discriminateur par antennage est un filtre spatial qui permet le filtrage des signaux selon la direction de l'arrivée (direction of arrival DOA) des signaux. Si l'on suppose que l'utilisateur tend à faire face à la source du signal recherchée, on peut employer un discriminateur pour supprimer les bruits qui ne proviennent pas de la direction vers laquelle l'utilisateur regarde, améliorant de ce fait l'intelligibilité de la parole.

Afin de déduire la DOA du signal, le discriminateur doit se servir d'un réseau de deux sondes (microphones) ou plus. D'une façon générale, le rendement du discriminateur augmente en fonction du nombre de capteurs dans le réseau. Certains discriminateurs conçus pour améliorer l'intelligibilité de la parole se servent de réseaux à cinq microphones ou plus [5]. Cependant, étant donné la petite taille des prothèses auditives typiques, il est souvent impraticable de réaliser un réseau de plus de deux microphones.

Même si l'on compte beaucoup de techniques de discrimination différentes, allant de l'utilisation d'un réseau fixe aux algorithmes adaptatifs très complexes, la technique la plus simple est la méthode classique de retard et sommation. L'idée derrière cette technique est d'insérer un retard approprié (ou déphasage, dans le domaine fréquence) pour compenser le temps de propagation d'une source de signal arrivant, avec une DOA et une fréquence spécifiques, à chacun des microphones [4]. Essentiellement, le retard est appliqué de façon à ce que les signaux de chaque microphone soient alignés dans le temps. Ceux-ci sont ensuite additionnés ensemble de sorte que la puissance des composantes du signal provenant d'une DOA spécifique soit augmentée par rapport à la puissance de ceux qui proviennent d'autres directions (voir la figure 5).

La réponse en gain du discriminateur classique par retard et sommation



Figure 4: Systèmes DSP capsulés  
(a) circuit hybrides pour prothèses auditives et,  
(b) module à plusieurs puces pour PDA et autres applications portables

Time delays = retards  
Output = Sortie  
Signal wavefront = Front d'onde du signal

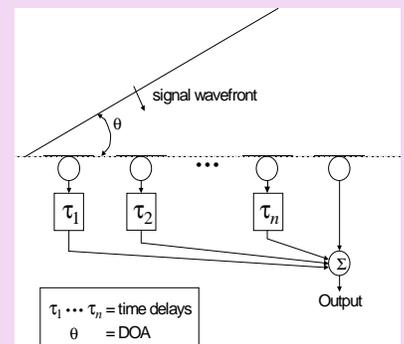


Figure 5: Discrimination par retard et sommation

dépend à la fois de la fréquence et de la DOA. Considérons un réseau de deux microphones séparés par une distance  $d$ . Soit  $\omega_m = pc/d$ , où  $c$  est la vitesse du son. La figure 6 montre les diagrammes de faisceaux (tracé de la réponse en gain en coordonnées polaires) d'un discriminateur orienté à 0 degré de DOA pour des signaux à diverses fréquences. Comme on peut le voir sur la figure, aux fréquences plus basses que  $\omega_m$ , les zéros sont dégradés; à des fréquences plus élevées, le repliement spatial fait apparaître des lobes principaux additionnels. Ceci se produit parce que le retard de propagation est le même pour le front d'onde du signal à toutes les fréquences alors que les retards de phase correspondants varient selon la fréquence.

Il est clair qu'une réponse en gain liée à la fréquence est peu souhaitable dans le cas des prothèses auditives, où la réponse en gain du discriminateur devrait être cohérente pour toutes les fréquences concernées. Heureusement, à l'aide d'un système DSP puissant et d'un filtre WOLA stéréo on peut facilement atténuer le problème du diagramme de faisceaux qui dépend de la fréquence en appliquant une extension du domaine fréquence à l'algorithme classique de retard et sommation.

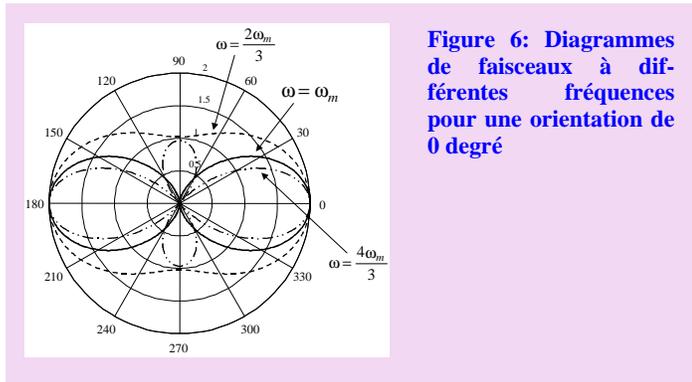


Figure 6: Diagrammes de faisceaux à différentes fréquences pour une orientation de 0 degré

Si l'on prend encore le cas d'un réseau de deux microphones, le nouvel algorithme introduit deux retards additionnels liés à la fréquence, ce qui a pour effet, en plus du retard constant appliqué au discriminateur, d'appliquer également un retard variable (en fonction de la fréquence) aux deux signaux reçus par les microphones. Les retards variables compensent les retards différents liés à la phase pour chaque composante de fréquence, de sorte que le retard de phase qui en résulte est identique à celui pour  $\omega_m$ , à toutes les fréquences. On obtient alors des diagrammes de faisceaux identiques pour toutes les fréquences. Cependant, pour éviter le repliement spatial,  $\omega_m$  doit être placé à la fréquence désirée la plus élevée. La figure 7 montre le nouveau discriminateur pour le cas d'un réseau à deux microphones. Dans la figure,  $t_1$  représente le retard constant du discriminateur (pour l'orientation vers une DOA en particulier), et  $t_1^*(\omega)$  et  $t_2^*(\omega)$  représentent deux retards liés à la fréquence pour la compensation. Le signe de sommation dans la

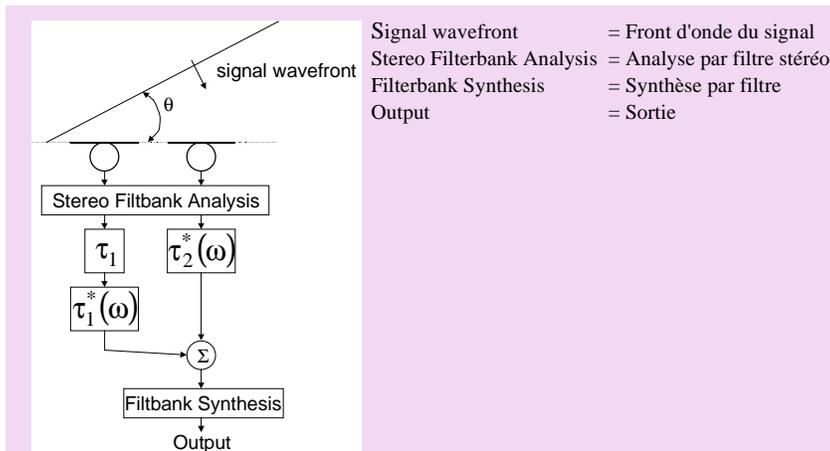


Figure 7: Extension au discriminateur classique à retard et sommation

figure dénote en fait l'opération de " papillon " au lieu de la sommation arithmétique simple. Il est important de noter que ce discriminateur peut être mis en application seulement dans le domaine fréquence, parce que le retard réel de phase entre les deux signaux reçus à chaque fréquence doit être connu en tout temps.

En théorie, ce discriminateur produira exactement le même diagramme de faisceaux pour n'importe quelle composante de fréquence  $\omega \neq \omega_m$ . Dans la pratique, cependant, le modèle de faisceau est sujet à une " més-adaptation " en raison de la largeur de bande finie des sous-bandes du filtre. Clairement, l'effet de cette mésadaptation est plus évident avec des sous-bandes plus larges. Nous avons constaté que si on utilise un filtre WOLA de 64 bandes, l'effet de cette mésadaptation est négligeable.

Il existe une autre cause possible de la mésadaptation du discriminateur en question. La détermination du retard de phase de chaque sous-bande suppose que l'énergie dominante dans la sous-bande provienne seulement d'une seule source de signal. La raison de ceci est que, pour des sources de signal ayant différents DOA, une compensation différente est nécessaire pour produire des diagrammes de faisceaux cohérents. Par conséquent, les compensations seront exactes à condition que l'énergie dominante dans chaque sous-bande soit fournie par une seule source de signal.

Aux fins de simulation, on a réalisé ce discriminateur en langage C, en utilisant la structure de filtre WOLA [1] avec 16 bandes et 64 bandes. Comme signal d'essai, un échantillon (cible) de voix masculine d'une durée de 10 secondes est mélangé à du bruit blanc à divers rapports signal/bruit. En général, la simulation a démontré qu'on peut obtenir une amélioration moyenne de 10 dB en utilisant le discriminateur à domaine fréquence. Bien que l'on a constaté que le rendement de ce discriminateur tend à diminuer rapidement en présence de plus d'une source, on peut dire que ce discriminateur, équipé d'un filtre efficace et un système DSP, constitue une façon simple mais efficace de fournir une réduction de bruit de fond dans les prothèses auditives numériques.

Enfin, le discriminateur décrit ici représente un algorithme relativement simple qui s'acquitte bien de sa tâche dans des conditions favorables. Notre système DSP à ultra basse puissance, par contre, a la capacité de traiter des algorithmes plus complexes. Nous travaillons présentement sur un système à base de réseau neuronal comme complément au discriminateur dans le domaine fréquence afin de fournir une meilleure suppression du bruit de fond. La figure 8 montre le schéma d'ensemble du système complet.

Si l'on suppose que le module de réseau neuronal fonctionnera sans adaptation en ligne, un réseau neuronal statique constitue simplement une séquence d'opérations de multiplications-sommations, avec la fonction d'activation dont une bonne approximation nous est facilement donnée par une table de correspondance. Nous prévoyons que ce système pourra être mis facilement en application sur notre système DSP à condition de trouver une solution satisfaisante par réseau neuronal.

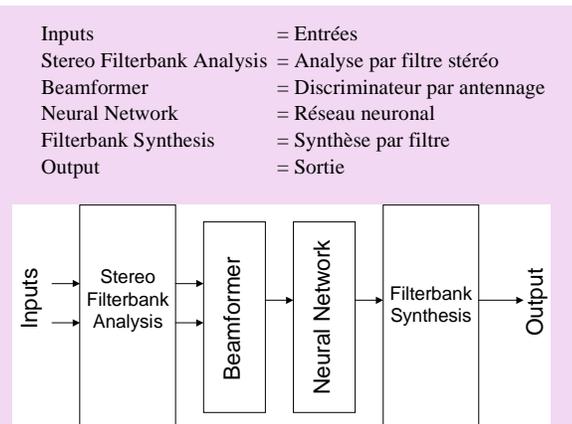


Figure 8 : Schéma d'ensemble du système nouveau

## 5.0 Conclusions

Les systèmes DSP miniaturisés à ultra basse puissance programmables par logiciel aboutiront à une nouvelle gamme complète d'applications de DSP telles que les prothèses auditives numériques, les assistants personnels numériques avec traitement du son et les lecteurs audio portatifs. Nos systèmes DSP à ultra basse puissance peuvent offrir suffisamment de possibilités et de souplesse de traitement pour être employés dans un large éventail d'applications.

Nous croyons que notre expertise dans ce secteur peut s'appliquer à d'autres dispositifs miniaturisés à ultra basse puissance : les plus importantes économies d'énergie et de taille viennent du fait d'avoir un algorithme efficace qui soit dirigé vers un algorithme spécifique ou à une classe d'algorithmes. Nous avons conçu un processeur de signal spécifique à une application (application specific signal processor ASSP) qui incorpore un filtrage très efficace et pourtant flexible.

L'exemple spécifique d'une prothèse auditive à discrimination par antenne illustre que même un algorithme complexe à deux entrées dans le domaine fréquence peut être réalisé sur un système à ultra basse puissance miniaturisé. Dans un proche avenir, de tels algorithmes apporteront des avantages très attendus aux utilisateurs de prothèse auditive. De plus, ils seront éventuellement appliqués à d'autres systèmes (par exemple, le traitement frontal de reconnaissance de la parole), là où une amélioration du rapport signal-bruit procurera une exploitation de système plus robuste.

## 6.0 Références

- [1]. Brennan, R.L., et Schneider, T., " Filterbank Structure and Method for Filtering and Separating an Information Signal into Different Bands, Particularly for Audio Signals in Hearing Aids", Demande de brevet PCT PCT/CA98/00329.
- [2]. Brennan, R.L., Schneider, T., " A Flexible Filterbank Structure for Extensive Signal Manipulations in Digital Hearing Aids ", Proc. ISCAS-98, Monterey, CA.
- [3]. Crochiere, R.E. et Rabiner, L.R., Multirate Digital Signal Processing. Prentice-Hall Inc., 1983.
- [4]. Orfanidis, S., " Optimum Signal Processing ", Macmillan, 1988, pages 341-343.
- [5]. Saunders, G., et Kates, M., " Speech Intelligibility enhancement using hearing-aid array processing ", Journal of Acoustical Society of America, 1997, pages 1827-1837.

## À propos des auteurs

**Todd Schneider** a reçu son B.A.Sc. (1989) et son M.A.Sc. (1991) à l'université de Waterloo, tous les deux en génie électrique.



Il est maintenant VP technologie chez dspfactory . Ses domaines techniques incluent les algorithmes de DSP, les architectures de système pour les systèmes DSP efficaces, les outils de DSP et Linux.

Il est membre de l'IEEE et de l'Audio Engineering Society.

**Robert Brennan** a reçu son doctorat en génie électrique à l'université de Waterloo en 1991, ses recherches portant sur les codeurs à débit binaires lents pour la parole.



Comme VP recherche à dspfactory, il continue de travailler sur des méthodes de décomposition de la parole par filtres et des stratégies d'amélioration et du traitement de la parole.

Il est membre de l'IEEE et de l'Acoustical Society of America.

**Edward Chau** poursuit actuellement sa licence de M.Sc. en génie des systèmes et en informatique à l'université de Guelph. Il a obtenu son B.A.Sc. en génie électrique à l'université de Waterloo en 1999.



Parmi ses principaux domaines de recherche on trouve le traitement numérique du signal par la voie des réseaux neuronaux et de l'informatique par évolution. Il développe actuellement un module de réduction de bruit par réseau neuronal pour les prothèses auditives numériques. Il voudrait remercier dspfactory et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie de leur appui dans ses recherches de deuxième cycle.

- [6]. Schneider, T., Brennan R.L., " A Multichannel Compression Strategy for a Digital Hearing Aid ", Proc. ICASSP-97, Munich, Allemagne, pages 411-415
- [7]. Schneider, Todd et al., " An Ultra Low-Power Programmable DSP System for Hearing Aids and Other Applications ", Proc. ICSPAT-99, Orlando, FL.
- [8]. Vaidyanathan, P.P., Multirate Systems and Filter Banks. Prentice-Hall Inc., 1993.

## 7.0 Glossaire

DOA	- Direction d'arrivée
IOP	- Processeur d'entrée-sortie
CODEC	- Codeur/décodeur
RCORE	- Noyau du DSP
WOLA	- Weighted Overlap-Add
DSP	- Processeur numérique de signal
PDA	- Assistant personnel numérique
SNR	- Rapport signal-bruit
ASSP	- Application Specific Signal Processor
FFT	- Fast Fourier Transform
SFDR	- Spurious-Free Dynamic Range
FIFO	- First In/First Out
EEPROM	- Erasable Programmable Read Only Memory

À propos de dspfactory Ltd: dspfactory est une société dynamique à croissance rapide ayant une expertise dans les architectures de traitement numérique du signal et les algorithmes des DSP pour les applications miniaturisées audio à ultra basse puissance et à bande de base. Elle vise à intégrer des DSP à ultra basse puissance, miniaturisés et à peine visibles dans un large éventail de produits. Parmi les produits qui peuvent bénéficier de cette technologie on trouve les prothèses auditives, radios de bande de base, assistants personnels numériques, lecteurs audio numériques portatifs, téléphones cellulaires et sondes incorporées - bref, tout produit qui est construit autour d'un DSP et qui est portatif et à piles. Pour plus de renseignements, consultez le site [www.dspfactory.com](http://www.dspfactory.com).