

CFA/VISHNO 2016

Concept of an active anechoic multicellular layer: Dynamic approach for the detection of incidental plane waves

T. Nicolas

Université Saint-Joseph - ESIB, Campus des Sciences et Technologies CST, Mar Roukos,
11-514 Beyrouth, Liban
tony.nicolas@usj.edu.lb



LE MANS

In previous paper we propose the concept of an active anechoic multicellular layer. The layer wraps the body of a submarine and the animation of this layer with an adequate algorithm makes the submarine anechoic to incidental sonar plane waves. The electronic architecture of this multicellular layer is based on a systolic model, more precisely on the architecture of a SIMD parallel computer (Single Instruction Multiple Data). Each cell of the layer acts independently and communicates by direct electronic links with its neighbors. All the cells do the same control algorithm on local data. The key of the anechoicity of the layer is based on a parallel linear real time algorithm for the detection of the incident plane waves. In this article, we propose a new approach for detection of incident plane waves. This approach is based on a parallel dynamic estimation of the directions of the incidental waves. We also present a set of results that illustrate the improvement of the anechoicity of the layer.

1 Introduction

On cherche à couvrir une surface donnée par une couche "intelligente", l'animation de cette couche par un mouvement adéquat permet de la rendre transparente aux ondes incidentes. Dans la suite, nous rappelons brièvement l'architecture de la couche, la condition locale de mouvement qu'elle doit satisfaire pour "absorber" les ondes incidentes, ainsi que la manière suivant laquelle on "transpose" ce comportement local en comportement global capable de réaliser l'absorption des ondes incidentes. La couche a l'architecture d'une machine massivement parallèle de type SIMD dédiée à cette application.

Le but principal de cette contribution repose sur l'étude de l'algorithme parallèle linéaire proposé pour détecter le(s) onde(s) plane(s) incidente(s) en temps réel. Ainsi que sur les diverses possibilités d'optimisation envisageables de cet algorithme en proposant un apprentissage dynamique et en temps réel de sa principale composante.

2 Rappel de l'architecture de la couche

La couche est composée de l'agrégation d'une multitude de cellules identiques élémentaires. Chaque cellule possède dans un état plus ou moins rudimentaire les trois fonctions suivantes : détection, émission et calcul.

La détection sera assurée, dans le cas où on n'utilise pas de couche passive, par des petits hydrophones qui peuvent mesurer la pression acoustique incidente.

L'émission sera assurée par un matériau piézo-électrique, qui constitue la partie motrice de la paroi de la couche et dont la vitesse doit être asservie par un signal de consigne calculé par la fonction calcul de la cellule.

Le calcul sera assuré par un microprocesseur élémentaire qui effectue des opérations arithmétiques simples. Une horloge centrale assure la synchronisation de tous les microprocesseurs, (Figure 1).

Chacune des cellules communique directement (par voie électronique) avec ses voisins (Nord, Sud, Est, Ouest).

3 Algorithme de détection de(s) onde(s) plane(s) incidente(s)

3.1 Aspect théorique

Considérons un objet $\bar{\Omega}$ de frontière $\partial\Omega$, où Ω est le complémentaire d'un domaine borné de même frontière $\partial\Omega$ (Figure 2).

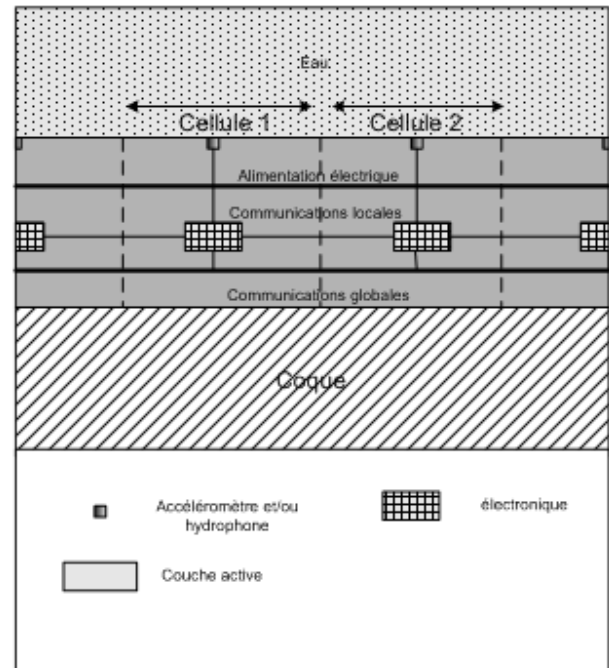


FIGURE 1 – Coupe verticale de la couche

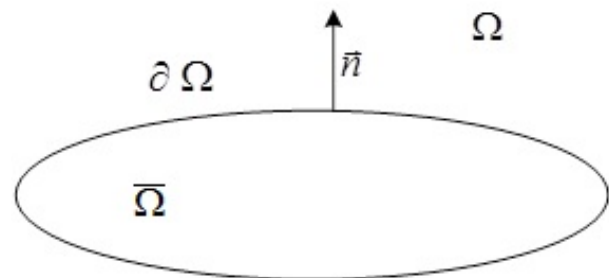


FIGURE 2 – Domaine

Les équations de base de l'acoustique dans un fluide homogène au repos sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\overrightarrow{\text{grad}} p \\ -\text{div } v = \kappa \frac{\partial p}{\partial t} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Dans laquelle la première est l'équation de la dynamique et la deuxième est celle de la loi du comportement, v est le vecteur vitesse acoustique, p est la pression acoustique, ρ la masse spécifique, et κ la compressibilité du fluide. La célérité du son est :

$$c = (\kappa\rho)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Après élimination de la vitesse acoustique v entre les équations (1) on obtient l'équation des ondes classiques ; on peut alors écrire le problème aux limites dans un domaine Ω de frontière $\partial\Omega$ (Figure 2) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} - c^2 \Delta p = 0 \quad \text{dans } \Omega \\ -\frac{\partial p}{\partial n} + \rho \frac{\partial v_n}{\partial t} = 0 \quad \text{sur } \partial \Omega \end{array} \right\} \quad (3)$$

A ce système il convient de rajouter, lorsque les sources sont à distances finies, la condition de rayonnement de Sommerfeld :

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r \left(\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{c} \frac{\partial p}{\partial t} \right) = 0 \quad (4)$$

Cette condition entraîne l'unicité de la solution de (3) lorsque $\frac{\partial v_n}{\partial t}$ est donné. La quantité v_n est la composante normale (le vecteur normal unitaire \vec{n} est dirigé vers l'intérieur de Ω) de la vitesse de la paroi. Considérons cette quantité comme inconnue.

La pression acoustique totale p est la somme de la pression incidente p_{inc} (dûe à l'onde incidente) et de la pression secondaire p_{sec} (réfléchi et/ou diffractée) émise par la frontière.

$$p = p_{inc} + p_{sec}$$

Théorème : Il y a anéchoïcité, c'est-à-dire absence de la pression secondaire si, et seulement si, le couple (pression incidente, vitesse normale) est solution du système (3).

Démonstration :

- Commençons par la démonstration de la condition nécessaire (\Rightarrow). En effet, si on a l'anéchoïcité, alors la pression secondaire est nulle. Donc en la remplaçant par sa valeur dans (3), nous obtenons :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 p_{inc}}{\partial r^2} - c^2 \Delta p_{inc} = 0 \quad \text{dans } \Omega \\ -\frac{\partial p_{inc}}{\partial n} = \rho \frac{\partial v_n}{\partial t} \quad \text{sur } \partial \Omega \end{array} \right\} \quad (5)$$

- Supposons maintenant que la pression incidente et la vitesse normale sont solutions de (3). Alors, par linéarité des opérateurs mis en jeu, la pression secondaire vérifiera le système homogène associé à (3) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 p_{sec}}{\partial r^2} - c^2 \Delta p_{sec} = 0 \quad \text{dans } \Omega \\ -\frac{\partial p_{sec}}{\partial n} = 0 \quad \text{sur } \partial \Omega \end{array} \right\} \quad (6)$$

Ainsi que la condition de rayonnement de Sommerfeld (4). Donc elle sera identiquement nulle. Ce qui achève la démonstration du théorème.

Intuitivement, la condition reliant la composante normale de la vitesse des "particules acoustiques" à la pression incidente dans l'équation (5), revient à dire : la paroi "respecte" l'onde incidente, c'est-à-dire qu'elle se comporte de sorte que les "particules acoustiques" à son contact ne subissent aucune compression.

3.2 Cas de l'onde plane

Considérons le cas de l'onde plane qui se dirige dans la direction du vecteur unitaire $-\vec{u}$ (voir figure 3) : La pression acoustique p_{inc} due à cette onde, au point M et à l'instant t a pour forme générale :

$$p_{inc}(M, t) = f \left(t + \frac{\overrightarrow{OM} \cdot \vec{u}}{c} \right) \quad (7)$$

où f est une fonction numérique qui décrit la forme de l'onde. Un calcul simple donne :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial p_{inc}}{\partial t} = \dot{f} \\ \overrightarrow{\text{grad}} p_{inc} = \frac{\vec{u}}{c} \dot{f} \end{array} \right\}$$

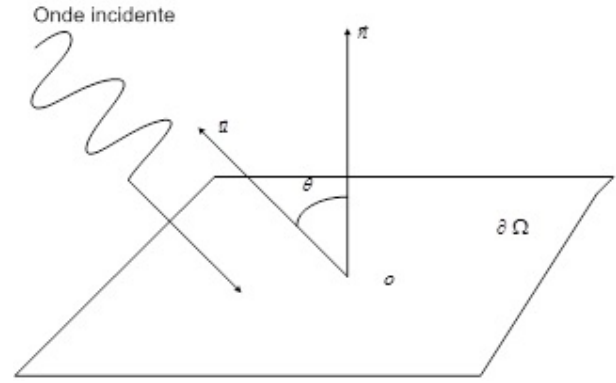


FIGURE 3 – Onde incidente

en sorte que la condition de frontière qui figure dans (5) s'écrit, pour l'onde plane incidente (7) :

$$v_n(M, t) = -\frac{\cos(\theta)}{\rho c} p_{inc}(M, t) \quad (8)$$

C'est-à-dire que l'impédance acoustique apparente de la paroi doit être égale à $\frac{\rho c}{\cos(\theta)}$, comme l'indiquait l'alinéa précédent¹. L'intérêt de cette approche est de ne pas se limiter à une surface plane, cas traité dans l'approche par anéchoïcité passive.

3.3 Détection des ondes planes incidentes

La détection des ondes planes incidentes repose sur la construction d'un maillage uniforme des directions du demi-espace d'où peut venir l'onde [2] (voir figure 4).

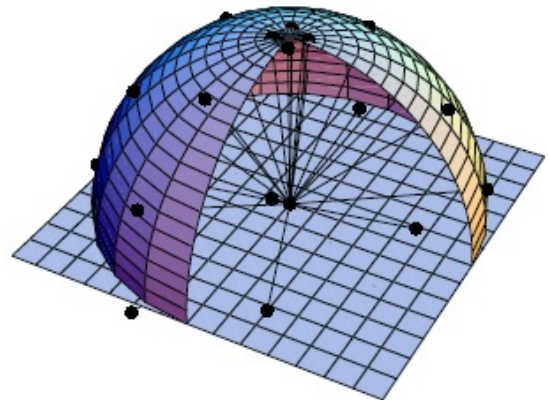


FIGURE 4 – Répartition des voies d'analyse

Pratiquement, les voies d'analyse de la figure (voir figure 4) ont été obtenues en "coupant" la sphère unité par six plans. Chaque plan est défini par sa coordonnée $z = \cos(\theta)$ où $\theta \in \{5^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 65^\circ, 80^\circ, 100^\circ\}$. Dans chaque plan la longitude φ prend 4 valeurs équitablement réparties dans le plan $\varphi \in \{22.5^\circ, 112.5^\circ, 202.5^\circ, 292.5^\circ\}$ (la variable φ est incrémentée de 90°), ses valeurs prendront un décalage de

1. Le signe - vient du fait que la normale est orientée vers le fluide [1]

45° lors du passage d'un plan à l'autre, afin de mieux répartir les voies.

Il est bien évident que ce choix d'initialisation n'est pas unique. Nous pouvons proposer d'autres choix possibles, suivant le degré de raffinement souhaité et surtout suivant les capacités des microprocesseurs élémentaires. En effet, il est primordial d'avoir un algorithme qui travaille en temps réel.

Après avoir choisi les voies de départ d'une façon statique. C'est-à-dire que la configuration de ces voies est faite une fois pour toute au lancement du processus d'animation de la couche. Ce choix ne sera pas mis en question dans la suite, même après avoir localisé une ou plusieurs ondes incidentes. En effet, l'algorithme de détection doit avoir la capacité pour réagir à d'éventuelles nouvelles ondes.

L'approche dynamique proposée consiste à réaliser un maillage adaptatif des voies d'analyses dans l'espace. Ce maillage sera raffinée autour des angles solides où la probabilité d'avoir les directions d'incidences est plus grande.

3.4 Informations relatives à une voie d'analyse

Pour une voie d'analyse donnée, une cellule de la couche doit recevoir des informations de toute les cellules en amont d'elle pour cette voie d'analyse. On définit alors des domaines d'analyse par voie d'analyse. La figure suivante montre quelques domaines d'analyses.

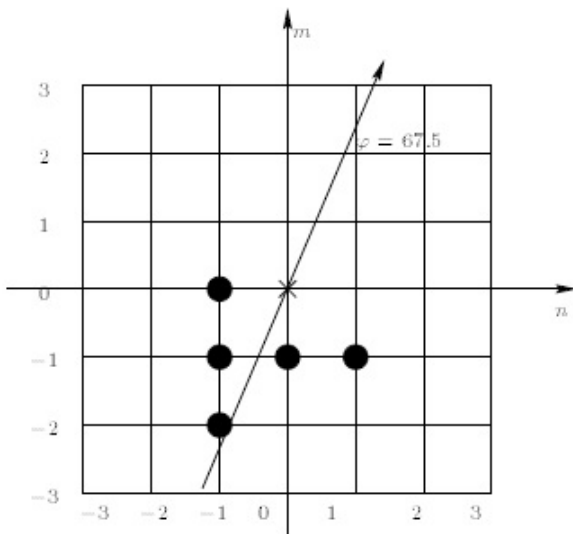


FIGURE 5 – Exemple d'un domaine d'analyse

On présente aussi toutes les cellules rattachées pour toutes les voies à une cellule donnée.

Pour des raisons de commodité de représentation et pour ne pas confondre l'aspect géométrique et l'aspect source d'informations attachée aux cellules (une cellule peut donner naissance à plusieurs informations). Nous présentons la cellule qui reçoit les informations comme la "racine" d'un arbre possédant autant de "feuilles" que d'informations à recevoir. Les différentes feuilles sont regroupées par voies qui constitueront les "branches" de l'arbre. Dans la figure (7), nous présentons un arbre complet. C_j^i désigne la cellule numéro j dans la voie numéro i , τ_j^i désigne le temps de propagation, suivant la voie i entre la cellule C_j^i et la racine.

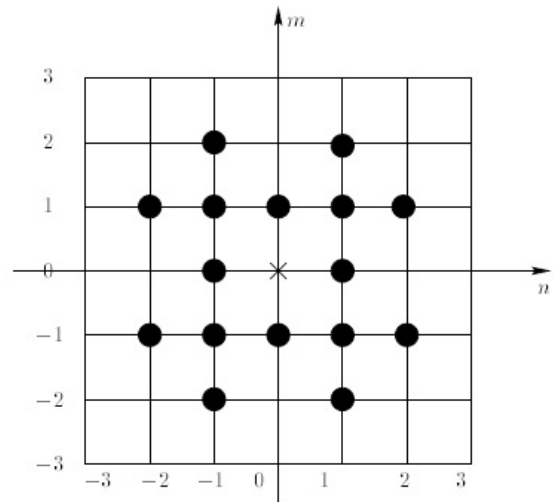


FIGURE 6 – Cellules rattachées à une cellule donnée

Il s'agit de la profondeur temporelle de la cellule C_j^i dans l'arbre. Chaque raffinement entraîne une modification de la structure de l'arbre en question.

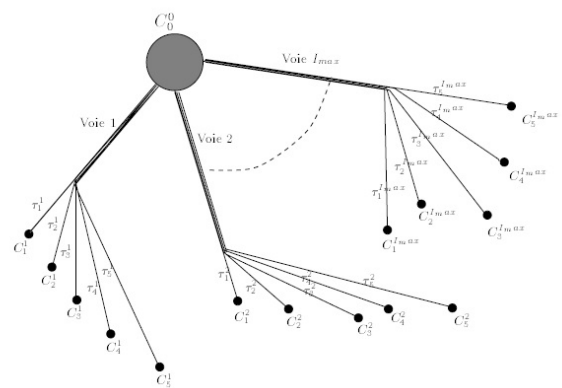


FIGURE 7 – Arbre logique d'une cellule donnée

3.5 Conclusion

Nous avons proposé, dans cet article une approche dynamique pour adapter le maillage de l'espace suivant les directions d'incidences. Les résultats numériques sont en cours de réalisation.

Références

- [1] M. Bruneau, *Introduction aux théories de l'acoustique*. Publications de l'Université du Maine.
- [2] T. Nicolas, *Conception d'une couche anéchoïque multicellulaire linéaire*, 10ème Congrès Français d'Acoustique, Lyon 2010.