

Antennes et réseaux d'antennes : modélisation, architecture, optimisation

Quelques aspects du problème de l'agencement spatial des antennes au sein d'un réseau de radiocommunication

On se proposera dans ce sujet de déterminer les architectures optimales d'antennes pour des usages donnés. La problématique de leur association en réseau sera également abordée toujours dans une optique d'optimisation.

Cette étude s'inscrit naturellement dans la thématique du transport de l'information et des télécommunications.

Positionnement thématique (phase 2)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Géométrie).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
-------------------------	------------------------

<i>Propagation ionosphérique</i>	<i>Skywaves</i>
----------------------------------	-----------------

<i>Antennes</i>	<i>Antennas</i>
-----------------	-----------------

<i>Diagrammes de Voronoï</i>	<i>Voronoi diagrams</i>
------------------------------	-------------------------

<i>Diagrammes de rayonnement</i>	<i>Radiation patterns</i>
----------------------------------	---------------------------

<i>Réseaux de téléphonie mobile</i>	<i>Cellular network</i>
-------------------------------------	-------------------------

Bibliographie commentée

Les radiocommunications occupent aujourd'hui une part prépondérante dans le domaine des télécommunications. Sollicitées par un nombre toujours croissant d'utilisateurs et pour des applications variées allant de la radiodiffusion à la téléphonie mobile, l'implantation des réseaux supports de ces radiocommunications s'avère complexe. Il est notamment intéressant de se pencher sur quelques aspects de la propagation des ondes électromagnétiques dans les différentes couches de l'atmosphère afin de déterminer la zone de couverture d'une antenne au sein d'une liaison hertzienne par exemple. Cela étant, il est ensuite possible d'envisager plusieurs architectures d'antennes pour répondre à des contraintes définies : on pourra par exemple chercher à augmenter la directivité d'une antenne (antennes Yagi [5]). Enfin, les zones de couverture limitées posent le problème de l'agencement spatial des antennes en réseau.

Une antenne rayonne un champ électromagnétique dans l'atmosphère dans une multitude de directions. Ainsi, l'onde rayonnée transite par différentes couches de l'atmosphère dont les propriétés peuvent être utilisées pour augmenter la portée de la liaison [2]. Au plus près de la surface de la Terre, les ondes électromagnétiques peuvent se propager en ligne droite au sein de la troposphère s'étendant jusqu'à 10 km d'altitude : on parle de propagation troposphérique. Plus

haut, l'ionosphère joue un rôle clé dans les communications à grande distance. Elle permet en effet aux ondes électromagnétiques de s'y « réfléchir » en direction de la Terre sous certaines conditions. Mise en évidence par les radiocommunications [1], cette couche de l'atmosphère située entre 50 et 650 km d'altitude doit son nom à l'état ionisé des gaz qui la composent [2]. Le rayonnement solaire (ultraviolet particulièrement) y crée un plasma dont la concentration en électrons varie. Bien que les travaux de Briggs (1954) et Ratcliffe (1956) [1] montrent que cette concentration puisse varier horizontalement, ses variations bien plus importantes en fonction de l'altitude (modèle proposé par Chapman en 1939 [1]) conduisent à la diviser en différentes couches : les couches D, E et F par concentration en électrons et altitude croissantes respectivement. L'ionosphère est donc un milieu stratifié qui pose la question de la propagation des ondes électromagnétiques dans un plasma anisotrope. La manière dont les ondes électromagnétiques y sont déviées, atténuées dépend de l'angle d'incidence de l'onde, de sa fréquence [1,2]... Il sera donc intéressant de proposer différents modèles visant à évaluer la déviation des ondes électromagnétiques dans le cadre de la propagation ionosphérique.

En outre, l'atténuation de la puissance surfacique transportée par une onde électromagnétique étant proportionnelle à l'inverse du carré de la distance à l'émetteur, la zone de couverture d'une antenne est de fait limitée [4]. Se pose alors la question de l'agencement spatial des antennes en réseau notamment en téléphonie mobile. On cherche alors à délimiter clairement sous forme de « cellules », les régions d'un plan qui correspondent aux zones de couverture d'un ensemble d'antennes ponctuelles appelées « stations de base » [4]. Les diagrammes de Voronoï se prêtent naturellement à ce problème permettant d'éviter des modélisations trop complexes [3] et fournissant des pavages du plan plus adaptatifs et adéquats que le maillage hexagonal (Chen, Shin, Kandlur, 1990 [4]). Étant donné un ensemble de stations de bases assimilées à des points répartis de manière aléatoire sur un plan, le diagramme de Voronoï délimite les ensembles de points du plan situés à une distance moindre d'une station donnée que de toutes les autres. Combinés aux différentes caractéristiques des antennes (directivité et diagrammes de rayonnement, gain... [5]), ces diagrammes permettent l'agencement des zones de couverture des antennes. Il est alors intéressant de considérer leur construction ainsi que leurs propriétés.

Problématique retenue

Dans le cadre de la création d'un réseau de radiocommunication, on se posera la question de l'agencement spatial des antennes en fonction des spécificités du réseau.

Objectifs du TIPE

- Proposer une modélisation permettant d'évaluer la déviation des ondes électromagnétiques dans l'ionosphère en fonction de l'angle d'incidence de l'onde, de sa fréquence, avec hypothèse d'isotropie du plasma puis sans.
- Proposer des méthodes numériques pour le tracé de diagrammes de Voronoï et ainsi modéliser un réseau de téléphonie mobile.

- Mettre en commun les caractéristiques d'antennes données (diagrammes de rayonnement) et les diagrammes de Voronoï pour affiner les modèles.

Abstract

In radio engineering, knowing how to design and place antennas to optimize the network they form is crucial. In this work, Voronoi diagrams, computed with Fortune's sweepline algorithm, were used as a first useful tool to help understand how to place them among a cellular network. Those diagrams were then refined by taking antennas properties - such as their radiation patterns - into account as well as their environment. For instance, ionosphere deflects radio waves in such a way that can be used to increase the distance travelled by the signal.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] K. G. BUDDEN : Radio Waves In The Ionosphere : The Mathematical Theory Of The Reflection Of Radio Waves From Stratified Ionised Layers : *Chapitres 1,2,4,5,14, Cambridge University Press, 1961*
- [2] IAN POOLE : QST (revue de l'ARRL [American Radio Relay League]), Radio Waves In The Ionosphere : *G3YWX, Novembre 1999*
- [3] ALEXANDRE MARTY : Optimisation Du Placement Et De L'Assignment De Fréquences D'Antennes Dans Un Réseau De Télécommunications : *mémoire, https://publications.polymtl.ca/771/1/2011_AlexandreMarty.pdf (consulté le 04/02/2019)*
- [4] ANNE-ELISABETH BAERT : Réseaux Cellulaires De Voronoï : *article, http://isdml.univ-tln.fr/PDF/isdml3/isdml3a113_baert.pdf (consulté le 02/01/2019)*
- [5] CONSTANTINE A. BALANIS : Antenna Theory : Analysis And Design (Second Edition) : *Chapitres 1,2, JOHN WILEY & SONS, INC., 1997*

DOT

- [1] Juin – Juillet 2018 : Choix du sujet et recherches bibliographiques après lecture de [2] sur la propagation ionosphérique.
- [2] Août 2018 : Étude de la propagation des ondes électromagnétiques dans les plasmas et implémentation d'un algorithme de tracé de leur « trajet » dans l'ionosphère.
- [3] Octobre : Compréhension et calcul des champs lointains rayonnés par des antennes diverses à partir des potentiels retardés.
- [4] Décembre : Étude du couplage d'antennes simples pour en évaluer l'influence sur le diagramme de rayonnement du réseau qu'elles constituent. Approche calculatoire du problème puis généralisation sur Python par l'implémentation d'un algorithme de simulation de rayonnement d'un réseau quelconque d'antennes dipolaires.
- [5] Mars : Implémentation de l'algorithme de Fortune pour le tracé de diagrammes de Voronoï après en avoir compris le principe et les spécificités liées au balayage discret du plan.
- [6] Mars – Mai : Utilisation des diagrammes de rayonnement déterminés précédemment pour délimiter les zones d'influences d'antennes complexes au sein d'un réseau à l'aide d'une modélisation Python.

[7] *Mai – Juin : Retour sur la propagation des ondes électromagnétiques dans l'ionosphère. Abandon de la résolution des équations de Maxwell dans les milieux stratifiés et du calcul des coefficients de transmission et réflexion sous incidence oblique.*