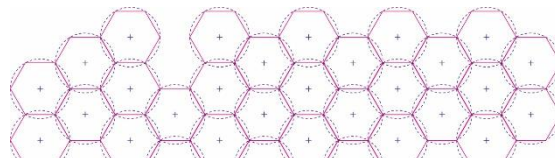


L'ère du partage

Selcuk Kirtay, Richard Rudd et Val Jervis



Du satellite grand format à la minuscule oreillette, des millions de dispositifs utilisent chaque jour le spectre radio. Les réseaux mobiles du futur le mobiliseront encore davantage pour les besoins des services haut débit, des applications à faible latence et des communications entre machines. Les initiatives de type « ville intelligente » promettent également une utilisation massive d'appareils WiFi et de capteurs de toutes sortes. De leur côté, les réseaux spatiaux prévoient de recourir à une plus large portion du spectre afin de fournir des services internet, par le biais d'immenses constellations de petits satellites. Le spectre radio se caractérise ainsi par ses usages aussi nombreux que variés : réseaux de radiodiffusion, réseaux mobiles d'accès public/ privé, systèmes de communication air-sol, applications maritimes, dispositifs à courte portée, systèmes de surveillance des catastrophes, satellites CubeSat et radars, pour n'en citer que quelques-uns. Toutefois, le spectre radio, lui, constitue une ressource limitée. Alors comment partager son utilisation ? Ce rapport étudie les principes fondamentaux du partage du spectre et propose des scénarios de partage analysés à titre d'exemple par nos consultants afin de mieux cerner les défis qui se profilent.

Introduction

Le spectre radio s'étend de quelques hertz jusqu'à 300 GHz. Les ondes de ce phénomène physique naturel sont une ressource précieuse qui nous permet de communiquer à la vitesse de la lumière (300 000 km/ s). Comme pour toute ressource disponible en quantité limitée, l'accès au spectre radio peut toutefois devenir problématique si la demande n'est pas maintenue en-dessous d'une certaine limite. Face à cette croissance exponentielle, la réglementation et la gestion du spectre ont par conséquent pris de plus en plus d'importance au cours du temps.

Les conflits – commerciaux, politiques et/ ou techniques – sont fréquents entre ceux qui ont accès à certaines parties du spectre et ceux qui ne peuvent pas en disposer, ainsi qu'entre utilisateurs concurrents. Pour les utilisateurs historiques, l'objectif principal se résume généralement à conserver leur statut existant. Les nouveaux utilisateurs, quant à eux, cherchent à surmonter les obstacles efficacement afin de pouvoir se faire une place sur le marché.

Au niveau international, l'accès au spectre radio est encadré par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT). Le Règlement des radiocommunications de l'UIT définit des catégories de services radio et décide de l'attribution des bandes de fréquence, dont certaines ne peuvent être partagées. Cependant, dans la pratique, on constate que de nombreuses bandes de fréquence sont attribuées à plus d'un seul service radio en raison de la disponibilité limitée du spectre.

Cette pratique de « partage du spectre » vise à maximiser l'utilisation des ondes radio tout en maintenant un certain niveau de qualité de service pour les utilisateurs. Pour parvenir à

cet objectif, il convient avant tout d'analyser les conditions de ce partage, puis de les intégrer aux réglementations nationales et internationales mises en place pour gérer l'accès au spectre par différents services radio.

Analyse des conditions du partage du spectre

L'analyse du partage du spectre vise à identifier les contraintes techniques et/ ou opérationnelles à observer pour que des services radio puissent exploiter des bandes de fréquence identiques ou adjacentes sans créer un niveau d'interférence intolérable. Bien souvent, le partage devient possible lorsque des limites sont fixées sur certains paramètres de systèmes, tels que la puissance d'émission, le cycle de service, la hauteur d'antenne et son orientation.

Chez Plum, nous employons diverses techniques d'analyse du partage du spectre en fonction du scénario considéré.

Analyse de perte de couplage minimale

L'analyse visant à déterminer la perte de couplage minimale repose sur une simple approche déterministe d'un scénario de partage. Elle consiste à envisager le pire cas de partage, en s'appuyant sur les valeurs les plus faibles pour chacun des divers paramètres impliqués dans l'analyse des interférences. Bien que la réalisation de ce scénario soit peu probable, leur impact combiné est ensuite estimé et étudié pour donner lieu à l'établissement des conditions de partage les plus strictes.

Le spectre radio étant néanmoins soumis à une congestion croissante, cette simple analyse des pires conditions n'est, dans la plupart des cas, plus adaptée pour définir les prérequis du partage, bien que les utilisateurs historiques s'en servent souvent pour affirmer que le partage de « leur » bande est impossible.

Pour illustrer notre propos, étudions un exemple de « scénario du pire », où un émetteur mobile crée une interférence avec un récepteur terrestre à liaison fixe (voir Figure 1).

Figure 1: Exemple de scénario des pires conditions



Dans cette configuration, la pire puissance d'interférence est due à la présence d'une source perturbatrice : une antenne d'émission mobile située dans l'axe de visée de celle du récepteur terrestre à liaison fixe.

Les exigences de protection déduites de ce scénario (ici, par exemple, une zone d'exclusion autour du récepteur à liaison fixe) assureraient la réduction du potentiel d'interférence néfaste, sans tenir compte du fait que cet alignement avec l'axe ne durerait probablement que quelques instants. Cette protection de la liaison fixe deviendrait alors excessive.

Chez Plum, nous employons l'analyse de perte de couplage minimale en vue d'obtenir un premier aperçu de la faisabilité du scénario de partage. Si elle produit un résultat favorable, nous pouvons en conclure que le partage ne posera vraisemblablement pas de problème particulier. À l'inverse, si l'analyse est défavorable, cela ne signifie pas pour autant que le partage sera nécessairement difficile.



Le spectre radio étant soumis à une congestion croissante, la simple analyse des pires conditions n'est plus adaptée pour définir les prérequis du partage.

Analyse de simulation

L'analyse de perte de couplage minimale reposant uniquement sur une estimation des pires conditions ne convient pas à des conditions de partage réelles. Il faut donc élaborer des méthodes d'analyse des interférences fondées sur une modélisation plus fidèle de l'environnement de brouillage, afin de déterminer des prérequis de partage plus réalistes et ainsi, maximiser l'efficacité de l'utilisation du spectre.

À cette fin, il est important de considérer les caractéristiques statistiques de tout scénario de partage du spectre. Cette tâche s'avère invariablement complexe : elle ne requiert pas seulement la caractérisation des facteurs de l'analyse, mais également un moyen d'interpréter les résultats de probabilité du modèle. Contrairement à l'analyse de perte de couplage minimale, les conclusions dépassent ici le domaine du binaire.

Dans le cadre de nos simulations, nous employons une approche hybride combinant des méthodes d'analyse déterministes et probabilistes.

Nos analyses déterministes visent à construire un modèle détaillé représentant fidèlement les caractéristiques physiques d'une situation particulière.

Pour ce faire, nous réalisons souvent des calculs à intervalles réguliers dans l'espace et/ ou dans le temps. Dans une analyse de simulation sectorielle, par exemple, nous nous concentrons sur une zone généralement centrée autour d'un émetteur venant brouiller le signal. Celle-ci peut alors être divisée en petits pixels où la puissance d'interférence peut être calculée individuellement. Les calculs, qui doivent prendre en compte les caractéristiques de propagation, sont habituellement recoupés avec des bases de données comprenant des informations sur le terrain et sur l'encombrement, afin d'augmenter la précision des résultats. Les niveaux de puissance d'interférences ainsi déterminés sont ensuite comparés à des valeurs seuils (généralement dérivées des caractéristiques de systèmes représentatifs) pour vérifier la conformité dans chaque pixel. À l'aide des résultats de cette analyse de la conformité aux valeurs seuils, il est enfin possible de tracer des contours au sein desquels des récepteurs ne pourraient pas être déployés sans courir de risques de brouillage.

L'image suivante représente certains de ces contours d'interférence (voir Figure 2). Chaque contour délimite une zone au sein de laquelle un seuil d'interférence correspondant est dépassé.

Figure 2: Exemple de résultat d'analyse de simulation sectorielle déterministe



Même si, en principe, une « analyse déterministe » paraît garantir un résultat clair et précis, la réalité n'est pas si simple. Il est vain d'espérer avoir une connaissance suffisante de notre environnement pour assurer l'exactitude de tous les paramètres d'un modèle. Il est donc nécessaire d'y inclure une grande quantité d'approximations statistiques (tenant compte d'éléments tels que l'affaiblissement de propagation, la performance des récepteurs ou encore le trafic généré par les utilisateurs, notamment.). C'est d'ailleurs sur la forme exacte de ces approximations que porte la majorité des débats dans les groupes concernés de l'UIT et de la CEPT.

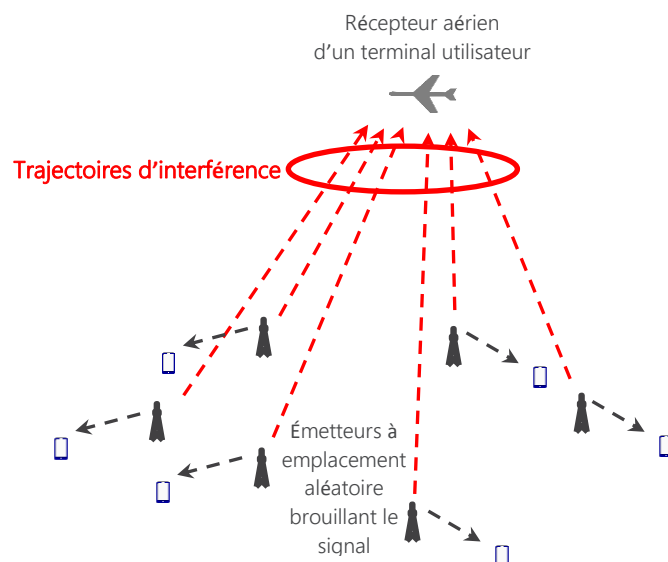
L'analyse probabiliste ignore quant à elle entièrement les modèles physiques, pour définir les paramètres de son modèle uniquement en termes stochastiques. Ce type d'analyse a souvent recours à un échantillonnage de type Monte Carlo, qui s'appuie sur une vaste quantité d'essais. Pour chacun de ces essais, un échantillonnage des distributions statistiques est effectué afin d'attribuer des valeurs aux paramètres du modèle. Cependant, si cette méthode paraît grandement simplifier le processus, elle introduit d'autres difficultés et défis. D'abord, elle implique nécessairement de déterminer la caractérisation statistique des paramètres, ce qui entraîne souvent un long travail de mesure (et de nouveaux débats au sein des organes de réglementation internationaux portant cette fois sur la distribution statistique la plus représentative). La question du traitement des divers degrés de corrélation entre les variables, selon une analyse multivariée ou par paires, fait aussi l'objet d'amples et multiples recherches.



L'analyse du partage du spectre débouche rarement sur une décision de type Oui/Non. Il s'agit plutôt d'évaluer les possibilités de résolution du risque d'interférence et de faciliter le partage.

Cet exemple de scénario d'analyse de type Monte Carlo (voir Figure 3) regroupe les interférences causées par des émetteurs situés aléatoirement sous un récepteur aérien victime, à divers niveaux de trafic.

Figure 3: Exemple de scénario d'analyse probabiliste



Pour réaliser nos études du partage du spectre, nous employons souvent une méthode combinant calculs analytiques et analyse de simulation. L'analyse débouche rarement sur une décision de type Oui/ Non. Il s'agit plutôt d'évaluer les possibilités de résolution du risque d'interférence et de faciliter le partage.

Nouvelles approches du partage et défis à relever

Face à la hausse de la demande d'accès au spectre radio, les parties prenantes, principalement les nouveaux utilisateurs, proposent de nouvelles méthodes de partage. La disponibilité limitée de cette ressource motive également le développement de nouvelles technologies plus efficaces dans leur utilisation du spectre.

C'est notamment le cas du partage dynamique. Par exemple, le recours à une base de données contenant les informations des utilisateurs actuels permettrait d'identifier les intervalles spatiaux et temporels où le spectre n'est pas utilisé à son maximum. Ces informations pourraient ainsi servir à autoriser d'autres usages. Les difficultés de cette approche résident dans l'assurance d'une protection adéquate pour les services licenciés historiques et dans la réglementation de ce type d'utilisation dynamique sous un régime de licences national.

Récemment, les autorités de réglementation ont également étudié une autre solution consistant à restreindre l'utilisation du spectre à certains utilisateurs pour ne permettre qu'un déploiement en intérieur, en vue de faciliter le partage entre divers services radio. Des dispositifs d'intérieur à faible puissance pourraient ainsi partager leur bande de fréquence avec des réseaux d'extérieur relativement puissants, en tirant profit de l'affaiblissement de propagation supplémentaire dû à la pénétration dans les bâtiments et à leurs murs intérieurs.

L'introduction d'un filtrage supplémentaire pour les récepteurs à larges filtres frontaux constitue un autre mécanisme facilitant le partage de bandes de fréquence adjacentes, dans des cas de figure où les utilisateurs historiques opèrent depuis de nombreuses années, avec un risque d'interférence négligeable. Nous pourrions imaginer ainsi des radars aéronautiques et des récepteurs de télévision satellite domestique potentiellement brouillés par les nouveaux réseaux mobiles terrestres 4G et 5G.

Au cours des dernières années, les parties prenantes ont également montré un intérêt grandissant pour des technologies permettant l'utilisation conjointe de bandes de fréquence sous licence et sans licence. Par exemple, afin de répondre à la hausse de la demande en trafic, les opérateurs mobiles ont mis au point des normes qui permettent à des bandes ne requérant pas de licence d'exploiter les réseaux LTE. Ce développement a nécessité de mener une enquête poussée sur le partage, afin d'assurer une juste coexistence avec les réseaux WiFi existants. Le recours à un nombre croissant de bandes de fréquence sous licence et sans licence réparties sur différentes parties du spectre radio est également une option très recherchée pour les systèmes 5G, malgré les défis qu'il présente.

Les systèmes d'antenne active, offrant des faisceaux d'antenne à configuration dynamique, comptent parmi les nouvelles technologies introduites pour les réseaux 5G. Leur avantage principal réside dans leur capacité à concentrer la puissance là où elle est requise en fonction des modifications instantanées du trafic généré par les utilisateurs et de la propagation. La puissance et le spectre sont ainsi utilisés de manière optimale. Cependant, les implications de ce type d'évolution doivent être étudiées avec soin : focaliser la puissance de cette façon pourrait en effet brouiller les réseaux alentour. Cet effet devrait néanmoins être atténué par la courte période de l'orientation du faisceau vers un récepteur « victime » et la transmission d'une puissance plus faible dans toutes les autres directions.



L'optimisation de l'utilisation du spectre devra prendre en considération les facteurs techniques, économiques et politiques afin de trouver un compromis acceptable.

Pour conclure

Optimiser l'utilisation du spectre radio est une affaire complexe. Outre les aspects purement techniques, il convient de prendre en compte les facteurs économiques et politiques afin de trouver un compromis acceptable.

Face à l'absence d'une méthode d'analyse technique suffisamment exhaustive à elle seule pour évaluer tous les scénarios de partage du spectre, des méthodes appropriées doivent être développées et appliquées pour étudier les scénarios d'interférence probables et ainsi, évaluer la faisabilité d'une coexistence au sein de bandes de fréquence identiques et/ ou adjacentes.

À mesure que la puissance de traitement augmente et que davantage d'informations par rapport à l'environnement sont disponibles et abordables, les frontières entre modélisation statistique et déterministe continuent de bouger. Les techniques mathématiques se doivent de suivre cette évolution et s'adapter à la complexification du système radio.

À propos de Plum

À la pointe du marché, Plum est une société de conseil indépendante spécialisée dans les télécommunications, les médias, les technologies et autres secteurs connexes. Nos analyses rigoureuses portent sur les défis et les opportunités dans les domaines de la réglementation, du spectre radio, de l'économie, du commerce et de la technologie.

Au fil des ans, nous avons bâti un solide socle de connaissances sur des problématiques liées au partage du spectre radio, par le biais de nombreuses études réalisées pour le compte d'autorités de réglementation, d'opérateurs et de fabricants. Nous sommes ainsi à même de concevoir des scénarios de partage, de développer et d'appliquer des méthodes d'analyse appropriées en la matière, mais aussi de rédiger des rapports et des contributions destinés à des rencontres nationales et internationales où nous avons à cœur de représenter les intérêts de nos clients.

Pour plus d'informations, veuillez nous contacter sur :

www.plumconsulting.co.uk

+44 20 7047 1919

+33 (0)6 23 33 83 97