

ENVIRONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE & TELECOMMUNICATIONS : VERS UNE CEM COGNITIVE

Ahmed ZEDDAM*

(*): Orange Labs, 2 avenue Pierre Marzin, 22307 LANNION
ahmed.zeddami@orange-ftgroup.com

Résumé. Cet article aborde le problème de la gestion de l'environnement électromagnétique dans le cadre de transmissions numériques haut débit déployées dans les réseaux de télécommunications fixes. En matière de CEM, on recourt traditionnellement à des techniques de filtrage ou de blindage pour résoudre respectivement les problèmes d'immunité et d'émission électromagnétique. Cependant, à l'instar de la radio cognitive, on peut également, pour ces transmissions haut débit, traiter la CEM à l'aide d'un système capable de percevoir son environnement, de l'interpréter, de prendre des décisions appropriées pour réagir en fonction des contraintes liées à l'environnement électromagnétique.

Dans ce contexte, quelques exemples d'applications viennent illustrer cette évolution vers une CEM cognitive.

I. INTRODUCTION

L'avènement des "autoroutes de l'information" s'est concrétisé par la mise en œuvre de technologies de transmission de type xDSL (Digital Subscriber Line) sur les réseaux de télécommunications fixes et de type Courants Porteurs en Ligne (CPL) dans les réseaux domestiques. Le déploiement massif de ces systèmes associé à l'utilisation de fréquences de plus en plus élevées (bande HF) fait apparaître de nouveaux problèmes de compatibilité électromagnétique (CEM). Les études de CEM visent à garantir un fonctionnement correct des équipements et systèmes en présence de perturbations électromagnétiques (aspect immunité), mais également à s'assurer que le déploiement de ces systèmes de transmission haut débit, ne s'accompagne d'éventuels brouillages des systèmes radioélectriques et plus particulièrement des bandes radio amateurs. Ces systèmes se distinguent par les débits mis en œuvre dans les canaux descendants et les canaux remontants. En terme de CEM plus le débit est important plus le support physique de transmission est susceptible de rayonner. En matière d'immunité électromagnétique des systèmes xDSL et CPL, ce sont les bruits électromagnétiques qui ont un impact significatif sur la qualité des services délivrés par ces technologies.

Parmi ces perturbateurs, le bruit impulsif peut particulièrement dégrader la qualité des services vidéo, et plus généralement celle des services temps réel. Ce type de bruit est généré par les appareils électrodomestiques dans l'environnement domestique. Les bruits impulsifs sont véhiculés par les câbles électriques et se couplent sur les câbles téléphoniques. Ils sont caractérisés par une durée brève et une amplitude généralement élevée.

Actuellement, l'augmentation de la robustesse des transmissions haut débit vis à vis du bruit impulsif est un sujet abordé dans de nombreuses instances de normalisation. L'aspect émission électromagnétique fait également l'objet d'intenses débats.

Du point de vue CEM, les techniques de protection classiques peuvent être judicieusement complétées par des méthodes s'inspirant de ce qui est fait dans le domaine de la radio cognitive [1] en percevant l'environnement électromagnétique, en l'analysant et en prenant les mesures correctives qui s'imposent. Ainsi, dans le domaine des communications sans-fil, la radio cognitive propose une solution adaptative au problème de la gestion du spectre entre plusieurs utilisateurs.

Dans le domaine des excommunications filaires, ce concept peut être étendu, à la gestion dynamique à la fois des utilisateurs multiples et des sources de bruit potentielles, à l'aide de techniques qui relèvent d'une approche que l'on peut qualifier de *CEM cognitive*

Après un bref rappel du concept de la radio cognitive, la première partie de l'article aborde le cas des CPL et donne un exemple de traitement du problème de l'émission électromagnétique par une technique de "notching" dynamique ou adaptative. Cette technique consiste à détecter les bandes du spectre occupées par des émetteurs électromagnétiques (par exemple radio), afin de ne pas émettre dans ces bandes brouillées

La seconde partie traite, plus particulièrement, l'aspect immunité électromagnétique et présente quelques exemples concrets de techniques permettant de s'affranchir des effets néfastes du bruit impulsif dans le cas de transmissions xDSL.

II. CONCEPT DE LA RADIO COGNITIVE

La Radio Cognitive est un système radio capable de percevoir son environnement, de l'interpréter, de prendre des décisions appropriées pour réagir en fonction du contexte (environnement, stratégie des opérateurs, besoins de l'utilisateur). La Radio Cognitive est aussi capable d'apprentissage.

En terme de perception, la Radio Cognitive peut:

- analyser l'utilisation du spectre dans son environnement;
- détecter les types de réseaux (technologies) présents, la position, la vitesse du terminal, etc...

Du point de vue apprentissage, elle peut:

- réagir aux fluctuations de l'environnement à court terme (variations de la demande en trafic, variation des interférences...);
- tirer partie de son expérience passée pour améliorer ses décisions à long terme.

S'agissant de décision, la Radio Cognitive peut:

- établir une communication de façon appropriée (par exemple en évitant de brouiller les utilisations environnantes),
- élargir les possibilités de communications à partir d'un terminal : Par exemple définir les paramètres radio de façon logicielle, adapter la modulation, télécharger un logiciel pour communiquer via une nouvelle technologie ("reconfiguration" du terminal), etc.... Cette adaptation est rendue possible grâce à la radio logicielle (Software Defined Radio).

La Radio cognitive présente donc plusieurs Intérêts pour un opérateur de télécommunications :

- Favoriser une utilisation plus efficace du spectre dont il dispose, grâce à une flexibilité accrue par rapport au modèle actuel;
- Permettre de nouvelles situations de partage des fréquences en évitant les brouillages grâce par exemple à l'écoute avant émission et à l'allocation dynamique de spectre;
- Fournir des terminaux aux possibilités plus étendues, capables de s'adapter au comportement et aux habitudes de l'utilisateur;
- Mettre en place des réseaux cognitifs: Le réseau se reconfigure suivant l'environnement et les besoins

L'introduction de la radio cognitive est subordonnée à la mise en place de technologies éprouvées assurant un partage entre systèmes exempt de brouillages mutuels et garantissant l'activité des différents utilisateurs du spectre radio.

On voit donc que la normalisation et la réglementation entourant la radio cognitive devront être élaborées

avec un soin scrupuleux afin de garantir utilisateurs et opérateurs contre des dérives incontrôlées

La *CEM cognitive*, déclinaison du concept de la radio cognitive aux télécommunications filaires, conduit à traiter les perturbations EM de manière logicielle en complément des méthodes de la CEM classique.

Cette *CEM cognitive*, qui s'appuie sur les méthodes de traitement du signal, trouve les raisons de son succès dans les éléments suivants :

- Numérisation des signaux ;
- Augmentation de la puissance de traitement des DSP;
- Apparition des services temps réel sensibles aux bruits impulsifs;
- Perturbations EM de mode différentiel se superposant au signal utile (augmentation des fréquences).

Nous allons maintenant illustrer, à l'aide de quelques exemples, l'application de ce concept de *CEM cognitive* au domaine de la CEM des transmissions haut débit sur cuivre.

III. TRAITEMENT DE L'EMISSION ELECTROMAGNETIQUE DES SYSTEMESCPL

Dans cette partie, de l'article nous traitons le cas de la technologie CPL indoor pour lequel la problématique de l'émission électromagnétique est cruciale. En effet, dans ce cas précis le respect des limites d'émission ne peut se faire bien souvent qu'au détriment d'une réduction de la puissance d'émission des modems et donc d'une limitation du débit et de la portée.

D'un point de vue réglementaire, la solution peut être le respect des limites d'émission avec les contraintes évoquées précédemment, ou alors l'emploi d'une méthode qui combine à la fois les limites d'émission et des techniques de protection appropriées.

En effet, les constructeurs de modems PLT peuvent implémenter dans leurs équipements des fonctionnalités permettant de réduire les risques de perturbation du spectre radioélectrique.

Dans ce contexte, une première solution qui est aujourd'hui implémentée dans les systèmes CPL consiste à ne pas mettre de fréquences porteuses dans certaines bandes. Ces puits de puissance sont appelés en anglais "notching", dans ce cas précis on parlera plus exactement de "static notching".

A l'instar de ce qui est fait en radio cognitive, lorsqu'il s'agit d'acquérir des connaissances à partir des mesures radio, on peut envisager la mise en œuvre d'une technique de notching adaptative pour les systèmes CPL indoor.

Cette nouvelle technique est actuellement en cours de développement au sein de l'ETSI et de l'industrie [2].

Elle vise à protéger la réception des ondes courtes dans les réseaux domestiques en évitant le "static notching" de certaines bandes de manière

permanente ce qui se traduirait par une baisse substantielle des performances.

Des tests menés en laboratoire et sur sites conjointement avec l'EBU (European Broadcasting Union) ont démontré avec succès l'efficacité de cette technique pour les systèmes CPL.

Cette technique est utilisée uniquement pour protéger les émissions radio HF comprises entre 2 et 30 MHz.

La technique "Adaptative notchning" opère de façon autonome. Les modems CPL sondent le spectre radioélectrique et détectent en temps réel les stations radio qui sont reçues au niveau du domicile avec une qualité suffisante. Des puits de puissance sont ensuite introduits sur ces bandes dans le signal CPL transmis. La réduction de débit, due à cette opération de "notchning" adaptative, est relativement faible. En effet, seules les quelques stations reçues au niveau de l'installation domestique, à un instant donné, sont pourvues de puits de puissance.

IV. TRAITEMENT DE L'IMMUNITE EM AUX BRUITS IMPULSIFS

En matière d'immunité électromagnétique des systèmes xDSL et CPL, nous avons déjà signalé que le bruit impulsif impacte fortement la qualité des services temps réel.

Le bruit impulsif est un bruit à durée courte (de quelques μs à quelques ms) qui est généré par des perturbateurs électromagnétiques (moteurs, lampe halogène...). Ce bruit impulsif ne réduit pas la bande passante ni le débit de la liaison, mais peut causer l'apparition de courtes séries de bits erronés et par conséquent la perte de paquets Ethernet. Le bruit impulsif n'est donc pas un problème consistant pour les services Internet, mais peut endommager sévèrement les services vidéo, et plus généralement les services temps réel (Figure 1).

Au-delà de l'amélioration de l'immunité en mode commun des modems vis-à-vis de ces bruits impulsifs, des techniques sont mises en œuvre pour agir sur le signal transmis en mode différentiel constitué par la superposition du signal utile et du bruit.



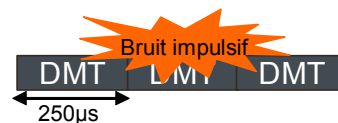
Fig.1 – Impact du bruit impulsif sur la TV sur ADSL

IV. 1. TECHNOLOGIES xDSL

Désormais, les systèmes de communication sont conçus pour lutter contre la plupart des bruits, notamment en utilisant des codes correcteurs d'erreurs ou en employant des techniques de retransmission telle que l'ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) [4].

La technique de l'INP (Impulse Noise Protection) fait déjà partie des standards ADSL2 et VDSL2. L'INP représente la capacité de correction des systèmes DSL vis-à-vis des erreurs de transmission se produisant par paquets, générées par les bruits impulsifs. Un INP égal à n implique une capacité à corriger n symboles DMT ("unité d'information" DSL de durée égale à $250\mu\text{s}$) dont tous les octets seraient erronés.

L'INP minimum programmé au niveau des profils des offres TV est égal à 2 : cette programmation garantit la correction de tout bruit impulsif inférieur ou égal à $250\mu\text{s}$ (compte tenu de l'instant de superposition du bruit sur la séquence de symboles, il est susceptible d'affecter au plus deux symboles DMT). La figure 2 montre des exemples d'impact et de non impact d'un bruit de même durée pour un INP égal à 2. Pour le schéma a), le bruit impulsif affectant trois symboles DMT, s'il possède une énergie telle que la marge de bruit ne suffit pas à le "noyer", il génèrera des erreurs de transmission. Pour le schéma b), le bruit affectant deux symboles DMT, quelle que soit son énergie, il devra être corrigé par l'INP2.



a) Trois symboles DMT affectés – impact potentiel du bruit impulsif en INP2



b) Deux symboles DMT affectés – pas d'impact du bruit impulsif en INP2

Fig.2 – Exemple d'impact d'un bruit de même durée – INP=2.

L'INP correspond à un affichage de la capacité de correction des mécanismes mis en œuvre pour lutter contre les erreurs de transmission, à savoir un codage de Reed-Solomon associé à un entrelacement convolutif. Le rôle de l'entrelacement est de séparer en réception les erreurs de transmission qui se produisent par paquets. En effet, à l'émission un certain retard est affecté aux données en fonction de leur position. Lorsqu'à la réception, les données sont réordonnées selon leur position d'origine, les paquets d'erreurs se trouvent décorrés.

Une fois les erreurs ainsi décorrés, elles sont plus facilement corrigibles par le codage Reed-Solomon.

La contrepartie du codage est l'introduction d'un surdébit et celle de l'entrelacement, l'introduction d'un délai de transmission.

Deux autres principes de correction applicative existent et permettent de lutter efficacement contre l'impact des bruits impulsifs sur la QoS des services audiovisuels: le premier est le FEC (Forward Error Corrected), il consiste à transmettre avec le flux d'origine des informations redondantes permettant de régénérer les paquets perdus en réception, le second est la retransmission qui consiste à demander à l'émetteur la retransmission des paquets perdus au niveau du récepteur.

La capacité de correction des solutions à base de retransmission est généralement plus performante que celles à base de FEC et permettent d'optimiser la bande passante nécessaire à la correction. En revanche, cela nécessite de disposer d'une voie retour pour demander la retransmission [4], ce qui impose de disposer soit d'un serveur (cas de la VoD), soit des fonctionnalités de retransmission dans les équipements réseaux actuels (routeur, DSLAM, ...). Actuellement les équipementiers réseaux disposent de prototypes permettant ce type de fonction, souvent à base de solutions propriétaires.

Nous renvoyons à l'article [3] pour une analyse plus complète des techniques de correction à l'aide de l'INP et du FEC en présence de bruit impulsif.

IV.2. TECHNOLOGIES CPL

Malgré les techniques de lutte contre les perturbations électromagnétiques afin d'améliorer la QoS des transmissions CPL, certains utilisateurs rencontrent quand même quelques problèmes dès que le nombre de services tend à augmenter, ou lorsque le débit requis par ces services s'accroît (par exemple lors du passage de la télévision standard à la télévision haute définition).

Afin d'améliorer les systèmes de correction d'erreur et de retransmission, une application de la CEM cognitive, consiste à détecter et localiser précisément les perturbations électromagnétiques. En effet, la plupart des codes correcteurs (LDPC, codage de Viterbi, turbo-Codes etc.) sont plus efficaces lorsqu'ils tiennent compte des éventuelles erreurs de transmission sur une partie des données qu'ils vont traiter.

La détection des perturbations électromagnétiques est donc un enjeu pour augmenter les performances des systèmes de télécommunications. Pour effectuer une telle détection, on peut utiliser les porteuses pilotes des systèmes de communication. En effet, un bruit impulsif étant généralement large-bande, il va affecter aussi bien les porteuses utilisées pour la transmission que les porteuses pilotes. Au niveau du récepteur, les données émises sur les porteuses pilotes sont connues, il est donc aisé pour le récepteur d'y détecter une perturbation.

Nous renvoyons à l'article [5] où une description de ces techniques est donnée, en particulier une nouvelle

méthode de détection du bruit qui tire parti des fréquences éteintes des systèmes de communication multi-porteuses.

Pour les CPL, la figure 5 représente un signal HomePlug AV durant une transmission normale (vert clair) et lors d'une impulsion (rouge foncé). Les porteuses utilisées pour la transmission sont grisées. On constate que le bruit impulsif augmente considérablement le niveau du signal sur les bandes masquées.



Fig.3. Signal HomePlug AV en présence de bruit impulsif.

V. CONCLUSION

Le concept de *CEM cognitive* a été présenté en faisant référence aux méthodes appliquées en radio cognitive. Des exemples d'application dans le domaine de la CEM des transmissions haut débit sur cuivre, ont été donnés en abordant aussi bien, l'aspect émission électromagnétique dans le cas des systèmes CPL, que l'immunité aux bruits impulsifs des liaisons xDSL et CPL.

Le traitement des problèmes de CEM dans les télécommunications de manière logicielle, connaît actuellement un fort développement.

La *CEM cognitive* trouve aussi de nombreuses applications dans des domaines autres que celui des télécommunications.

REFERENCES

- [1] J. Mitola, G. Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal", IEEE Personal Communications, vol. 6, no 4, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [2] CISPR/I/258/DC "Report on Mitigation Factors and Methods for Power Line Telecommunications", 02/2008
- [3] M. Tlich, F. Gauthier, R. Tarafi, A. Zeddami, "Impact du bruit impulsif sur les signaux DSL et analyse des techniques de correction", CEM 2008, Paris
- [4] G. Avril, A. P. N'Da, R. Tarafi, A. Zeddami, F. Nouvel "Réduction du Bruit Impulsif dans les Systèmes xDSL", CEM 2006, Rennes.
- [5] G. Avril, A. F. Moulin, A. Zeddami, M. Tlich, F. Nouvel "détection des perturbations EM dans les bandes éteintes des systèmes multiporteuses", CEM 2008, Paris.