

RAPPORT 1020

ADAPTATION DES SPÉCIFICATIONS DES SYSTÈMES POUR FACILITER
LA RÉALISATION PRATIQUE DES ÉQUIPEMENTS RADIOÉLECTRIQUES

(Question 68/8)

(1986)

1. Introduction

La Question 68/8 traite des possibilités d'adapter les caractéristiques techniques de systèmes radioélectriques cellulaires (voir le Rapport 740) utilisés dans le service mobile terrestre pour en faciliter la réalisation pratique sans compromettre la qualité de fonctionnement du système. L'un des principaux aspects du système est une bonne utilisation du spectre.

Il est prévisible que de grands systèmes, structurés en petites cellules et bénéficiant d'une bande de fréquences exclusive, prendront une importance accrue, dans l'immédiat principalement pour le service téléphonique mobile, mais aussi pour des services de messagerie et de transmissions de données. Par la suite, un futur système téléphonique mobile pourrait aussi s'intégrer au RNIS.

Dans des systèmes cellulaires perfectionnés, il est possible de diminuer le brouillage mutuel à l'intérieur du système grâce à des configurations de réseau appropriées, ce qui permet aussi de réduire la sélectivité du système (rayonnements non essentiels, intermodulation, blocage) sans incidence autre que marginale sur la qualité de fonctionnement globale du système. De nouvelles techniques, telles que la transmission numérique de la parole et l'utilisation en partage de temps avec des canaux radioélectriques à large bande (AMRT, transmission de paquets et duplex dans le temps) pourraient être utilisées dans de nouvelles configurations de système afin d'obtenir une qualité de fonctionnement améliorée par rapport aux systèmes analogiques à bande étroite actuels. Les améliorations possibles portent sur l'économie du spectre, la qualité de transmission, les nouveaux services et la facilité de mise en œuvre.

On verra probablement les petits terminaux portatifs gagner en importance si leur coût et leurs dimensions peuvent être rendus intéressants et justifier une production en grande série. Il serait donc extrêmement souhaitable que les spécifications et la configuration des systèmes soient propres à faciliter la réalisation de petits terminaux de prix modiques. La combinaison de transmissions numériques, d'une réduction de la sélectivité du système et de canaux radioélectriques à large bande pourrait rendre cet objectif réalisable.

La plus grande partie de la documentation du présent Rapport a été présentée, de manière plus détaillée, dans quatre contributions au Cycle d'études nordique sur les communications radioélectriques du service mobile terrestre qui s'est tenu en Finlande en février 1985. Ce cycle a été organisé par les Administrations des télécommunications du Danemark, de la Finlande, de la Norvège et de la Suède [Öhrvik, 1985; Stjernvall, 1985; Ekemark et autres, 1985; Uddenfeldt, 1985; Uddenfeldt et Stjernvall, 1985].

Uddenfeldt [1985] traite des relations entre les caractéristiques de système et la facilité de mise en œuvre. On trouvera dans [Öhrvik, 1984] un exposé plus détaillé de la question dans des notes tirées d'un cours du 3^e cycle organisé à l'Université de Lund (Suède) en 1984.

2. Comparaison entre l'économie de fréquences dans les transmissions téléphoniques numériques à bande étroite et les systèmes téléphoniques analogiques mobiles actuels

Plusieurs groupes de chercheurs ont indiqué que des codeurs de la parole d'une complexité et d'une consommation de puissance modérées (pour des postes téléphoniques portatifs) permettraient d'obtenir une qualité de signaux de téléphonie proche de la qualité courante avec un débit binaire total d'environ 16 kbit/s, y compris le codage de voie admettant un taux d'erreur binaire jusqu'à 1%, moyennant une faible dégradation de la qualité de la parole. L'adjonction d'un codage de voie supplémentaire contre les salves d'erreurs dues à des évanouissements profonds, qui porterait le débit binaire à environ 27 kbit/s, permet d'obtenir une réduction substantielle du rapport porteuse/brouillage dans le même canal pendant les évanouissements du type de Rayleigh. Un débit binaire de 27 kbit/s peut être transmis sur un canal radioélectrique de 25 kHz présentant des caractéristiques réduites pour l'affaiblissement dans le canal adjacent. La réduction du rapport porteuse/brouillage nécessaire correspond à une réduction substantielle de la distance de réutilisation des fréquences, par rapport aux systèmes téléphoniques mobiles actuels. Comme cela est indiqué en résumé dans le Tableau I [Uddenfeldt, 1985], on pourrait obtenir une utilisation du spectre trois fois plus efficace.

TABLEAU I — *Efficacité de l'utilisation du spectre pour un système MF à compression-extension et deux systèmes AMRF numériques à bande étroite.*
On a adopté une configuration en secteurs de 3 cellules par emplacement

	Système analogique	Système numérique	Système à codage numérique
Description	MF à compression-extension	REL P/MDMG	REL P/MDMG
Débit binaire du codeur de parole (kbit/s)	—	16	16
Rapidité de transmission (kbit/s)	—	16	27
Espacement entre les canaux (kHz)	25	15	25
Rapport porteuse/brouillage minimal pendant les évanouissements (dB)	18	20	13
Réutilisation des fréquences:			
— Nombre de groupes de fréquences	21	27	9
— Nombre d'emplacements	7	9	3
Utilisation efficace du spectre:			
— Nombre de canaux par MHz et par cellule	1,9	2,4	4,4
— Capacité par cellule pour un système à 10 MHz (erlang)	12,4	17,2	35,1

Naturellement, il n'existe pas de résultats de portée générale. L'éventualité de nouveaux perfectionnements des systèmes téléphoniques analogiques n'a pas été prise en compte mais, en revanche, on peut prévoir de nouvelles améliorations considérables des techniques de transmission de parole numérisée sur des canaux radioélectriques sujets à des évanouissements.

3. Incidence sur l'économie de fréquence de l'introduction de canaux radioélectriques à large bande

Le passage à des canaux radioélectriques à large bande comporte une difficulté importante, qui tient à la dispersion dans le temps. En fin de compte, l'influence de la dispersion dans le temps (ou de l'évanouissement sélectif en fonction de la fréquence) sur le rapport nécessaire porteuse/brouillage dans le même canal pourrait être soit une dégradation, soit une amélioration de l'utilisation des fréquences dans le système.

Dans des conditions de propagation courantes, la largeur de bande de modulation est beaucoup plus grande que la largeur de bande de cohérence. Un traitement approprié des signaux (diversité en fréquence) permettrait d'utiliser ce phénomène pour réduire la marge à prévoir pour les évanouissements par trajets multiples. Il pourrait en résulter une conséquence négative: l'effet de la dispersion dans le temps (interférence intersymbole) sur la sensibilité du récepteur (rapport porteuse/brouillage nécessaire) ne pourrait être entièrement éliminé par une égalisation de voie adaptative.

Cette question exige encore de nombreuses études, en ce qui concerne le détail des caractéristiques du canal radioélectrique à large bande pour le service mobile et le traitement approprié des signaux visant à bénéficier de la dispersion dans le temps ou au contraire de pallier celle-ci. Les répercussions dépendront en outre de la configuration globale du système, c'est-à-dire du débit binaire, des autres arrangements en diversité, du codage de voie et du type de base de modem radioélectrique. On pourrait aussi appliquer la diversité de fréquence par des sauts de fréquence coordonnés entre les canaux attribués à une cellule.

Différentes combinaisons d'AMRT et de transmission par paquets présentent l'avantage d'accroître la souplesse du système, surtout lorsque certains services non téléphoniques sont appelés à constituer une partie importante des systèmes futurs. L'un des inconvénients évidents des systèmes AMRF actuels est l'attribution d'une capacité en canaux excessive pour la transmission de données à bande étroite et pour certains types de signalisation. (En revanche, l'avantage des systèmes comportant des canaux à large bande est qu'ils peuvent acheminer des salves de données à grande vitesse, c'est-à-dire des messages à 16 kbit/s sur le RNIS. Ils permettraient aussi d'incorporer des configurations de type concentration numérique des conversations (CNC).)

L'introduction des transmissions AMRT et par paquets améliore considérablement la signalisation du système. Grâce à l'utilisation d'intervalles de temps séparés, un terminal radioélectrique peut échanger des signaux avec sa station de base sans qu'il y ait interruption des transmissions de signaux vocaux et de données. Le terminal peut aussi contrôler le niveau des signaux provenant de cellules voisines (commutation momentanée sur un nouvel intervalle de temps et sur un nouveau canal radioélectrique). On pourrait améliorer l'économie de fréquence en recourant à la fois à une macro-diversité entre les cellules pour réduire la marge d'évanouissement dû aux zones d'ombre et à une réattribution dynamique rapide des canaux lorsque le rapport porteuse/brouillage tombe à un niveau marginal. Si le système peut être conçu en fonction d'une moyenne plus faible pour le rapport porteuse/brouillage dans le même canal, cela permet de rapprocher les cellules fonctionnant sur le même canal, et d'obtenir une meilleure utilisation du spectre.

Il faut cependant noter que l'adoption de l'AMRT pénalise fondamentalement l'économie de fréquence, étant donné les besoins supplémentaires pour les bandes de garde entre intervalles de temps et pour la synchronisation des salves.

4. Adaptation des spécifications de système afin de faciliter la réalisation pratique

4.1 Réduction de la sélectivité du système

L'analyse d'une situation de brouillage dans un système cellulaire équipé de dispositifs appropriés de régulation de puissance d'émission du terminal et de procédures de passage quasi optimal montre que le brouillage mutuel est considérablement réduit dans le sens terminaux-base par rapport à la situation dans laquelle la même bande de fréquences est partagée entre de petits systèmes indépendants, avec des couvertures géographiques se chevauchant mais avec des emplacements de stations de base différents. On pourrait probablement ramener les caractéristiques de sélectivité de système des émetteurs terminaux et des récepteurs de la station de base à environ 40 dB sans augmentation sensible du rapport porteuse/brouillage dans le même canal nécessaire pour obtenir une qualité acceptable.

La situation de brouillage serait à peu près la même dans le sens inverse si l'on n'appliquait pas de régulation dynamique de puissance aux émetteurs de la station de base. Pour obtenir une large gamme dynamique (caractéristique de blocage) dans les récepteurs des terminaux, peut-être suffirait-il d'introduire purement et simplement la commande automatique de gain.

On pourrait ajouter à la complexité du système et introduire une régulation de puissance dans les émetteurs des stations de base afin d'abaisser le niveau moyen des signaux dans le même canal, réduisant ainsi la probabilité de brouillages préjudiciables dans le même canal. Il faudrait alors prévoir des caractéristiques plus strictes pour l'intermodulation dans l'émetteur.

Une réduction des caractéristiques de sélectivité du système aurait une influence considérable sur le coût et les dimensions de l'équipement sous la forme d'une réduction des caractéristiques en matière de gamme dynamique, de qualité de fonctionnement pour le bruit et de sélectivité des filtres de différents sous-systèmes d'émission et de réception. Les caractéristiques actuelles très strictes en ce qui concerne la suppression des rayonnements non essentiels ont abouti à des configurations de récepteurs complexes à plusieurs étages de mélange et de filtrage. Des caractéristiques de sélectivité réduite permettraient des simplifications importantes: circuits équilibrés pour supprimer les rayonnements non essentiels et la conversion directe entre la fréquence en bande de base et la fréquence d'émission.

4.2 Augmentation de la largeur de bande des canaux

L'introduction de canaux radioélectriques à répartition dans le temps et à grande largeur de bande aura des répercussions considérables sur la mise en œuvre pratique des systèmes.

Le coût des emplacements de stations de base, ainsi concentrées, sera réduit puisque chacun des équipements de canal radioélectrique sera partagé par plusieurs voies téléphoniques ou pour données. Du nombre réduit de canaux radioélectriques plus largement espacés résultera une réduction considérable de la complexité du dispositif de multiplexage. En dehors des grandes zones urbaines, la capacité de trafic d'un emplacement de station de base pourra être assurée par un seul canal radioélectrique à large bande, ce qui éliminera la nécessité de multiplexeurs.

Du fait de la complexité de la station de base, le débit binaire de système optimal sera un compromis entre les besoins des grands centres de population et ceux des zones de faible peuplement et, en outre, un compromis entre la phase de démarrage du système et sa phase finale de saturation.

L'impact le plus important se situera probablement au niveau du coût et des dimensions des terminaux, en effet le coût des terminaux constitue la majeure partie du coût total d'un système cellulaire. L'introduction de canaux radioélectriques à large bande entraîne une réduction des caractéristiques portant sur une stabilité en fréquence extrêmement poussée, des filtres de fréquences radioélectriques à bande étroite et des oscillateurs commandés par tension présentant de bonnes caractéristiques de bruit et de bonnes caractéristiques microphoniques. De plus, la conception du synthétiseur de fréquences s'en trouverait simplifiée, surtout si le système nécessite une commutation rapide entre canaux radioélectriques.

L'incidence de réduction de la sélectivité et de l'augmentation de l'espacement entre les canaux se fait surtout sentir sur les sous-systèmes analogiques et à fréquences de fonctionnement élevées. Ce fait prend une importance particulière car les autres sous-systèmes numériques peuvent (y compris en ce qui concerne le traitement des signaux) bénéficier pleinement des futurs développements des circuits numériques réalisés à la demande. Cela pourrait aboutir à une situation dans laquelle les sous-systèmes qui n'ont pu être réalisés avec une très grande intégration numérique représenteront les facteurs essentiels du coût et des dimensions des terminaux.

Cependant, l'adoption de canaux radioélectriques à large bande introduit dans le système certaines contraintes et certains problèmes de conception. Des canaux radioélectriques trop larges seraient difficiles à mettre en œuvre.

- Dans de nombreuses parties du monde et pour de nombreux services, les systèmes cellulaires numériques de téléphonie ou de messagerie doivent être introduits graduellement dans les bandes de fréquences actuellement prévues pour des canaux AMRF à bande étroite et partiellement occupées par ceux-ci. A titre de compromis, on pourrait utiliser pour les canaux radioélectriques une largeur de bande intermédiaire, c'est-à-dire combiner les modes AMRF et AMRT avec un espacement d'environ 300 kHz entre les canaux et utiliser une combinaison de duplex en fréquence et dans le temps (duplex en fréquence pour adapter les principes actuels d'attribution des bandes de fréquences et duplex dans le temps pour éliminer le filtre duplex des terminaux portatifs).
- Il serait probablement nécessaire d'appliquer la synchronisation dans le temps entre différentes cellules.
- L'AMRT, et particulièrement les configurations en mode par paquets, avec retransmission des paquets non reçus, entraînera des retards. Le codeur de parole et le codeur de voie introduiront également des retards. Il faudra probablement recourir à un dispositif d'annulation d'écho, également dans les réseaux téléphoniques mobiles locaux et régionaux.
- Etant donné la transmission par salves avec faible facteur d'utilisation, la puissance en crête sera beaucoup plus élevée que la puissance d'émission moyenne du terminal. Les possibilités de diminuer sensiblement la marge d'évanouissement par trajets multiples et même une partie de l'évanouissement dû à des zones d'ombre, comme suggéré ci-dessus, permettront cependant de réduire les exigences quant à la puissance d'émission moyenne. (Cela contribuera aussi à réduire la dimension des batteries des terminaux portatifs.) Si l'on utilise des canaux radioélectriques de largeur de bande intermédiaire (AMRT à bande étroite), il n'en résultera en fin de compte qu'une puissance en crête légèrement supérieure à la puissance des terminaux actuels en régime non modulé.
- Au fur et à mesure que l'on passera à des canaux radioélectriques plus larges, exigeant des circuits de plus en plus complexes pour utiliser ou pallier la dispersion dans le temps, la consommation de puissance des modems radioélectriques pourrait devenir excessive, notamment en ce qui concerne les terminaux portatifs. Malheureusement, les progrès en matière d'intégration numérique ne seront probablement pas accompagnés de progrès équivalents en ce qui concerne la réduction de la consommation de puissance par fonction élémentaire. Même avec des semi-conducteurs à oxyde métallique complémentaires, la consommation de puissance restera considérable si l'on prévoit d'utiliser des circuits logiques à très grande vitesse. Etant donné que les postes téléphoniques portatifs représenteront une majeure partie des futurs systèmes cellulaires pour d'importants marchés, il faudra étudier de manière approfondie les répercussions sur la consommation de puissance avant de prendre une décision concernant l'espacement des canaux radioélectriques d'un système téléphonique mobile numérique.

5. Conclusions

Nous avons essayé de montrer dans le présent Rapport que les nouvelles techniques pourraient permettre, du point de vue du système et de la réalisation pratique, de combiner une qualité améliorée de fonctionnement du système notamment du point de vue de l'économie des fréquences, avec une réduction du coût du système et une réduction de la dimension des terminaux portatifs. Les points clés à prendre en considération sont la sélectivité optimale du système et l'espacement entre les canaux. Nous avons suggéré à titre très provisoire, qu'un système «AMRT à bande étroite» avec transmission numérique de la parole et un espacement des canaux qui se situerait aux environs de 300 kHz offrirait des possibilités intéressantes et justifierait un complément d'étude. Il faudrait étudier en particulier le détail des caractéristiques des canaux radioélectriques mobiles à large bande, notamment à l'aide de modèles mathématiques appropriés et de simulateurs de voie.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- EKEMARK, S., RAITH K. et STJERNVALL, J.E. [février 1985] Modulation et codage de voie en téléphonie mobile numérique. Cycle d'études nordique sur les radiocommunications numériques mobiles de Terre, Espoo, Finlande.
- ÖHRVIK, S.O. [août 1984] Services de télécommunications mobiles futurs. Evolution vers les transmissions numériques. Notes de cours, Lund University, Suède.
- ÖHRVIK, S.O. [février 1985] Adaptation des spécifications de sélectivité de système aux caractéristiques des systèmes cellulaires numériques. Cycle d'études nordique sur les radiocommunications numériques mobiles de Terre, Espoo, Finlande.
- STJERNVALL, J.E. [1985] Calcul de la capacité et des brouillages dans le même canal dans un système cellulaire. Cycle d'études nordique sur les radiocommunications numériques mobiles de Terre, Espoo, Finlande.
- UDDENFELDT, J. [février 1985] Téléphonie numérique et amélioration de l'utilisation du spectre. Cycle d'études nordique sur les radiocommunications numériques mobiles de Terre, Espoo, Finlande.
- UDDENFELDT, J. et STJERNVALL, J.E. [septembre 1985] Digital mobile telephony – performance, objectives and new possibilities, Proc. of «Digital Land Mobile Radio Communication Workshop», Bologne, Italie.
-