

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

889



NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

COMMUNICATION A MULTI CONVERSATIONS SIMULTANEEES, ETAT DE L'ART
MULTI-USERS COMMUNICATION SYSTEM, A SURVEY

H.Y. HUYNH

et

V. BACH

Génie électrique, Université Laval et Direction de la Recherche, Ministère des Communications (Québec).

RESUME

Nous résumons dans cet article le concept, les développements récents et d'autres possibilités pour des réseaux de communication à multi-utilisateurs. L'accent est mis sur les systèmes de communication radio-mobile.

SUMMARY

This paper surveys the concept, the recent developments and other possibilities to build a communication network for multi-users. Accent is put on mobile radio communication systems.



Communication à multi conversations simultanées, Etat de l'Art
Multi-users Communications System, A Survey

I. GENERALITES

Dès le début du développement des systèmes de communication, le concept de communication à multi conversations simultanées est bien connu. Il suffit de penser à des méthodes de multiplexage fréquentiel ou temporel [1] pour s'en convaincre. Depuis un certain temps, l'évolution technologique permet de prévoir d'autres possibilités pour résoudre le problème d'optimiser l'utilisation d'une largeur de bande donnée.

L'avènement des satellites de communication synchrones en 1963 rend possible la réalisation des systèmes de communication ou à accès multiples. Les principales caractéristiques de cette réalisation sont la grande surface couverte par le satellite, la durée faible du hors d'usage (outage time) et la simplicité des antennes. Les trois types de communication à accès multiples utilisés ou proposés pour les satellites synchrones sont: accès multiples à division fréquentielle (Frequency Division Multiple Access FDMA), accès multiples à division temporelle (Time Division Multiple Access TDMA) et accès multiples à division de codes (Code Division Multiple Access CDMA) [2]. Dans le premier type de système, i.e. FDMA, chaque utilisateur possède sa fréquence porteuse séparée des autres. Ce type est compatible avec des systèmes analogues existant et le design du satellite pour son usage est simple. Dans le deuxième type de système TDMA, il assigne des intervalles de temps (time slot) à chacun des utilisateurs. L'avantage de ce système est qu'il soit compatible avec des systèmes de communication digitaux. Le troisième type de système utilise le codage pour effectuer des accès multiples. Ces derniers systèmes n'exigent pas une coordination précise en temps ou en fréquence et ils sont considérés pour être utilisés dans un grand nombre d'applications variées incluant des systèmes de poursuite et de retransmission de données du NASA [3, 4], des systèmes de communication entre les avions [5], systèmes de commande trafique aérien [6], systèmes de communication par satellite [7, 8, 9, 10]. En effet il existe 29 satellites connus dont cinq à l'usage militaire adopteront la technique CDMA [10].

La forme la plus connue de CDMA est l'accès multiple à étalement spectral (spread-spectrum multiple access SSMA) caractérisé par l'assignement à chacun des utilisateurs d'un code exprimé en une suite de bits qui module la porteuse en même temps que les data. Il s'ensuit que la largeur de bande du signal modulé est beaucoup plus grande que la largeur de

bande du signal de bande de base. Les avantages principaux des systèmes CDMA, à part de l'accès multiple, sont la grande immunité contre le fading et des interférences, la faible détectabilité pour des personnes autres que l'utilisateur, la compatibilité avec d'autres systèmes opérant sur la même bande de fréquences. [11, 12].

Les formes les plus fréquemment utilisées des systèmes SSMA sont:

- a) SSMA à séquence directe (Direct Sequence SSMA: DS/SSMA) qui utilise, avec le signal data, un long code pour moduler la porteuse. Cette technique est utilisée dans le système TDRS du NASA [5].
- b) SSMA à sauts de fréquence (Frequency-Hopped SSMA: FS/SSMA) qui utilise un code pour commander la fréquence d'une porteuse modulée à son tour par le signal data. Cette technique est utilisée dans le système de modulation TATS pour les satellites expérimentaux du Laboratoire Lincoln [8].
- c) SSMA hybride qui est une combinaison de DS/SSMA et FH/SSMA. Cette technique sera utilisée dans le système proposé JTIDS (Joint Tactical Information Distribution System) pour la navigation et la communication militaire [12].

Parallèlement aux développements de communication par satellite, depuis quelques années la demande augmente rapidement pour la radio mobile (Land Mobile Radio). Pour donner une idée, on peut mentionner qu'il existe actuellement aux Etats-Unis 863 compagnies qui opèrent 2200 systèmes pour servir à peu près 200,000 téléphones mobiles [12]. Si l'explosion du phénomène de communication mobile est sous contrôle, c'est parce qu'il manque tout simplement le spectre nécessaire. Mais depuis que FCC décide d'allouer une bande de 75 MHz autour de la fréquence 840 MHz pour la communication par radio mobile, on prévoit l'introduction des systèmes à grande capacité pour servir des centaines de milliers d'utilisateurs dans des zones métropolitaines. On a acquis jusqu'à maintenant une immense connaissance sur la communication par radio mobile [13]; mais l'implémentation de tels systèmes a été plus ou moins retardée par des problèmes légaux et politiques.

II. QUESQUES ASPECTS DES SYSTEMES DE COMMUNICATION RADIO MOBILE

Des systèmes de téléphones mobiles à grande capacité deviennent attrayants quand le nombre d'utilisateurs est grand. Mais le nombre d'utilisateurs ne



pourra être grand aussi longtemps que le coût des nouveaux services sera supérieur au coût des systèmes conventionnels. Il existe très peu d'étude sur l'analyse des coûts des divers systèmes. Quelques résultats préliminaires montrent que l'investissement total d'un utilisateur pour des systèmes existants varie entre 1620 et 7800 dollars [16]. Quant au système de radio mobile utilisant la technique SSMA, aucune étude sur le coût n'est encore effectuée: la raison en est que ce système est encore à l'étape de projet.

Les systèmes de communication radio mobile sont de type cellulaire qui utilise une transmission en modulation d'angle (système AMPS: Advanced Mobile Phase Service, et le système japonais NTT) ou la modulation à étalement spectral.

Le coeur du système AMPS est un ordinateur central localisé dans chaque milieu urbain dans lequel il sera en opération. Il s'agit, en fait, d'un central téléphonique dédié aux communications mobiles (MTSO, Mobile Telephone Switching Office) et spécialement conçu pour procéder à la supervision de l'ensemble des opérations nécessitées pour acheminer les appels (tels les changements de fréquence lors du passage d'une cellule à l'autre, que nous décrirons ultérieurement), le repérage des véhicules et l'affichage automatique de leurs positions, l'identification et la correction des fautes [17].

A l'intérieur de chacune des cellules, un ordinateur plus petit est localisé à la station de base (cell site) et s'occupe d'acheminer, à l'intérieur d'une cellule donnée, les appels. Les fonctions dévolues à cet élément de contrôle sont nombreuses [17] et l'on peut citer principalement la supervision des appels (durée et fin) et de toutes les autres fonctions associées (composition, facturation, etc.) et, sous l'autorité du MTSO, procéder à la détection des unités en trouble et à la mise en service de voies alternatives pour acheminer les appels.

Dans chacune des unités mobiles (véhicules), un microprocesseur s'occupe de la composition des numéros, de la transmission à la fréquence appropriée à partir des instructions reçues de l'ordinateur de la cellule dans laquelle il se trouve et de signaler à l'opérateur toutes les éventualités possibles afin qu'il soit en mesure d'acheminer son appel le cas échéant [17].

Afin de comprendre les principes qui justifient

une utilisation plus rationnelle du spectre ainsi qu'une meilleure flexibilité d'un système cellulaire, considérons la figure 1 dans laquelle les cellules sont représentées par des hexagones.

Il est facile de réaliser qu'un secteur géographique quelconque peut être divisé à l'aide d'un certain nombre de ces cellules afin de couvrir une région à peu près circulaire. En principe, il n'y a pas d'espace libre ni de chevauchement entre les cellules adjacentes.

Les concepteurs du système envisagent deux possibilités [17] sur la façon de localiser les cellules autour de l'équipement requis pour permettre une transmission adéquate à l'intérieur d'une cellule donnée. Dans un premier temps, et dans l'hypothèse où l'urbanisation n'est pas tellement dense, on songe à des cellules excitées en leur centre qui utiliseraient des antennes omnidirectionnelles pour atteindre les unités mobiles qui se trouveraient à l'intérieur d'une cellule donnée. Dans un second temps, et dans l'hypothèse où un accroissement de l'urbanisation aura contraint une subdivision plus fine d'une cellule en un certain nombre de cellules additionnelles, une couverture plus uniforme de ces cellules pourra être obtenue en plaçant l'équipement aux arêtes de l'hexagone et en utilisant des antennes directionnelles avec lobe principal présentant un écart angulaire de l'ordre de 120° . En principe, puisque chaque antenne pourra éclairer les trois cellules adjacentes, si on a un nombre assez grand de cellules, le nombre de pièces d'équipement requis ne sera pas supérieur au nombre de cellules et la couverture sera meilleure. En contrepartie, en périphérie de la zone sectorisée en cellules, des équipements additionnels seront cependant requis.

Fondamentalement, le système AMPS bénéficie de l'effet de capture des systèmes FM pour utiliser les mêmes fréquences dans des cellules différentes. Il s'ensuit évidemment une économie appréciable du spectre alloué globalement à un système donné. Les contraintes régissant les dimensions des cellules et les réutilisations de fréquence sont assez complexes mais nous tentons ci-après d'en résumer les principaux points saillants.

Supposons que deux cellules transmettent simultanément sur une même fréquence. Le récepteur FM utilisé se verrouillera sur le transmetteur qui présente évidemment la porteuse la plus intense. Dans le cas où les deux transmetteurs sont trop près l'un de



l'autre, ou qu'il existe des obstacles tels des édifices, il est cependant possible que le récepteur se verrouille sur le transmetteur situé dans la cellule la plus éloignée. Afin de quantifier ce problème et de la limiter au minimum, on définit un rapport de réutilisation (co-channel reuse ration, 17 qui s'exprime en fonction de la distance D entre deux cellules qui utilisent la même fréquence et du rayon R de ces cellules. Il ne s'agit donc pas d'une distance donnée, exprimée en kilomètres, mais d'un critère qui doit être respecté et qui s'ajuste selon les dimensions des cellules en fonction de l'urbanisation. Il semble que le rapport $\frac{D}{R} = 4,6$ soit celui qui donnera des résultats satisfaisants, du moins si l'on se base sur les données expérimentales préliminaires.

La transmission d'une unité mobile à une station de base se fait en FM en utilisant un canal opérant à une fréquence située entre 825 et 845 MHz. De la station de base à l'unité mobile, les fréquences allouées sont situées entre 870 et 890 MHz. Chaque liaison radio est constituée par une paire de canaux unilatéraux séparés de 45 MHz avec une largeur de bande de 30 kHz et une déviation de fréquence maximale de 12 kHz.

La procédure prévue pour traiter les divers cas possibles fait appel à deux types différents de canal radio. Initialement, le premier type peut se qualifier de canal "en acquisition" (set-up channel) avant de suivre avec un canal vocal (voice channel). Dans le premier cas, le canal d'acquisition ne reçoit ou ne transmet que des signaux binaires qui ne sont utilisés par les unités mobiles que pour "monitorer" lorsqu'il ne passe pas par le canal vocal. Les canaux "en acquisition" sont donc communs à l'ensemble des utilisateurs et ne sont utilisés que pour signifier l'intention de placer un appel.

La séquence des événements qui se produisent lorsqu'un utilisateur place un appel est la suivante: lorsqu'une unité mobile a l'intention de placer un appel, elle est mise "en attente" (idle state). Le balayage des fréquences des canaux "en acquisition" est alors effectué: celui qui présente la porteuse la plus intense est alors retenu. Comme nous l'avons mentionné précédemment, il s'agira normalement de la fréquence allouée au canal en acquisition de la cellule dans laquelle se trouve l'unité mobile. A des intervalles donnés cependant, le microprocesseur à bord de l'unité mobile balaie à nouveau l'ensemble des canaux pour déterminer si les mouvements du véhi-

cule n'ont pas créé une situation telle que la fréquence du canal en acquisition d'une autre cellule soit maintenant la plus appropriée.

Dans le cas où un appareil fixe désire appeler une unité mobile, les opérations principales sont les suivantes. Le numéro appelé par le client fixe est transmis sur tous les canaux "en acquisition" de la région couverte par l'ensemble des cellules. L'unité mobile reçoit le message et s'identifie sur le canal "en acquisition" qui présente la porteuse la plus intense avec un code qui indique la cellule dans laquelle il se situe. L'ordinateur central (MTSO) transmet ensuite des données numériques à l'unité mobile qui lui permettent de sélectionner le canal vocal attribué à cette conversation. La sonnerie du téléphone mobile est alors activée et la communication est établie dès que l'abonné, à l'intérieur de l'unité mobile, décroche le récepteur.

Les appels provenant d'une unité mobile sont acheminés de façon à peu près similaire mais avec quelques éléments additionnels. L'abonné à bord de l'unité mobile compose le numéro qu'il désire atteindre et les différents chiffres sont mémorisés dans un registre. Lorsque la composition est terminée, il appuie sur le bouton "SEND" qui transmet sur un canal "en acquisition" son code d'identification et le numéro de l'abonné à atteindre. L'ordinateur central (MTSO) identifie alors un canal vocal non utilisé dans la cellule et envoie simultanément les données requises à l'unité mobile entend alors une sonnerie qui lui indique qu'il peut décrocher son appareil et, dès que le client appelé a répondu, la communication est établie.

Lorsqu'une conversation entre une unité mobile et un abonné est en cours et que le véhicule entre dans une autre cellule, il est nécessaire de prévoir la possibilité d'acheminer automatiquement la communication par une voie différente sans pour autant interrompre les deux abonnés. La façon dont ceci est effectué est la suivante: tout au cours de la conversation, l'intensité de la porteuse est mesurée à des intervalles réguliers et dès qu'il devient apparent que l'unité mobile doit être transférée à la cellule adjacente, des signaux de contrôle sont émis sur le canal vocal. Le microprocesseur, à l'intérieur de l'unité mobile, syntonise alors le canal alloué à la nouvelle cellule. Effectivement, la conversation est interrompue durant un bref instant mais cet intervalle de temps est si court que la majorité des abonnés ne le réalisent même pas.



Au Japon, depuis 1980, National Panasonic a mis en marché (encore limité) un système de communication radio mobile à Tokyo. Ce système a été développé en vue d'obtenir un réseau national, intégré au réseau téléphonique régulier, entièrement automatique (appels, facturations, ...), et capable de desservir un grand nombre d'abonnés (jusqu'à 100 000 dans la même région) grâce à une utilisation efficace des fréquences disponibles.

Pour rencontrer ces objectifs le système présente en particulier les caractéristiques suivantes [18]:

- L'emploi de la méthode cellulaire, combinée avec l'utilisation d'une modulation de phase à bande étroite, permet une utilisation efficace des fréquences dans la bande 800 MHz, et contribue à la bonne qualité des communications. La méthode cellulaire consiste à diviser la région desservie en plusieurs zones radio de petite superficie, ce qui permet la réutilisation des mêmes fréquences dans des régions relativement proches les unes des autres.

- L'unité mobile a accès à de nombreux canaux (possibilité de syntonisation de 600 canaux) afin de pouvoir entrer en communication avec n'importe quelle zone. Cette accessibilité accrue a également pour effet d'augmenter le taux d'utilisation des canaux.

- L'unité mobile transmet automatiquement tout changement survenant dans sa position, à un central de commutation, lorsqu'elle passe d'une région à une autre. Ainsi lorsqu'un appel destiné à une unité mobile est reçu, le système ne le transmet que vers l'unique région mémorisée, correspondant à cette unité.

- Si l'unité mobile change de zone radio au cours d'une conversation, le canal utilisé est automatiquement commuté tant au niveau du central de commutation qu'au niveau de l'unité mobile. Les détecteurs automatiques nécessaires à l'accomplissement des deux dernières fonctions mentionnées ci-dessus sont réalisés simplement en comparant les niveaux relatifs de signal reçu sur les autres canaux, lorsque le signal reçu sur le canal sélectionné devient faible. Mentionnons pour terminer que le système détecte automatiquement les appels impossibles (ex: numéro non attribué) préalablement à toute tentative visant à établir la communication.

Récemment, quelques chercheurs ont proposé l'application de la technique de SSMA aux systèmes de communication radio mobile [19, 20]. On suppose qu'il n'y a pas de communication directe entre les unités mobiles. Chaque unité émettra un message à une certaine

station de base (up link) et la dernière devra aiguiller ce message à sa destination (down link). Chaque unité utilise une séquence distincte codée en fréquences pour s'identifier. Elle utilise donc cette forme d'onde tout le temps sur le réseau et il n'y aura pas de commutation de fréquences ou de réassignement comme dans le cas cellulaire. Un processeur central effectue la commande nécessaire pour aiguiller les messages d'une station à une autre. Toutefois, ceci n'exclut pas la possibilité de les relier via le processeur central. Le spectre de fréquence est divisé de manière qui minimise l'interférence.

La modulation est de type DPSK ou FSK. Le signal de bande de base résultant est ensuite modulé par une forme d'onde à étalement spectral. Dans ces systèmes, la présence de multiparours, du saut des porteuses, etc... rend la phase incohérente, ainsi nous devons utiliser des méthodes de détection non cohérente. Pour résoudre la problème de changement d'intensité (near Far problem), nous devons bien contrôler la puissance des signaux émis. Ces systèmes présentent des avantages tout aussi bien que des désavantages:

Avantages:

- a) Efficace contre le fading
- b) Accès, pour les utilisateurs, au système n'étant pas bloqué
- c) Caractère privé des messages conservé
- d) Possibilité de co-existence avec d'autres systèmes dans la même bande de fréquence.

Désavantages:

- a) Contrôle de puissance indispensable
- b) Aspects économiques encore inconnus.

L'étude des systèmes à étalement spectral en est encore à ses débuts et il reste de nombreuses questions à élucider avant que ces systèmes puissent être introduits sur une base généralisée dans des systèmes de radio-mobile.

De plus, les systèmes FM ont l'avantage d'une très grande simplicité et il est clair que cette technique continuera à être utilisée pour la prochaine génération de systèmes de radio-mobile, c'est-à-dire les systèmes cellulaires. Même si on parvenait éventuellement à démontrer un certain avantage pour les systèmes à étalement spectral, il n'est pas évident du tout que cette nouvelle technique parviendrait à s'imposer.



Communication à multi conversations simultanées, Etat de l'Art
Multi-users Communications Systems, A Survey

- [1] Bell Telephone Lab., "Transmission Systems for Communications", 1971.
- [2] J.J. Spilker, "Digital Communications by Satellites", Prentice-Hall, 1977.
- [3] R.A.S. Stampfl et A.E. Jones, "Tracking and data Relay Satellites", IEEE, Trans. AES, Vol. AES-6, pp. 276-289, Mai 70.
- [4] C.C. Chen et J.W. Burnett, "TDRS multiple access channel Design", NTC 77, Vol. II, pp. 19:2-1 — 19:2-7.
- [5] I.L. Lebow et al, "Satellite communications to Mobile Platforms", PROC. IEEE, Vol. 59, pp. 139-159, Fev. 71.
- [6] Stiglitz I.G., "Multiple-access Considerations - a satellite example", IEEE Trans. COM., Vol. COM-21, pp. 577-582, Mai 73.
- [7] P.R. Drouilhet et S.L. Bernstein, "TATS — a bandspread Modulation - Demodulation system for multiple-access tactical Satellite Communication", EASCON Convention Record, pp. 126-132, Oct. 69.
- [8] H.J. Kochevar, "Spread Spectrum Multiple Access Communication Experiment through a Satellite", IEEE Trans. COM., Vol. COM-25, pp. 853-856, Août 77.
- [9] R. Malm et K. Schreder "Fast Frequency Hopping Techniques", Symposium on Spread Spectrum Communications, Vol. 1 (AD-915852) pp. 37-42, Mars 1973.
- [10] W.L. Pritchard, "Satellite Communication - An overview of the problems and programs", PROC. IEEE, Vol. 65, pp. 294-307, Mars 77.
- [11] R.C. Dixon, "Spread Spectrum Systems", Wiley 76.
- [12] C.R. Cahn, "Spread Spectrum Applications and Equipments" dans Spread Spectrum Communications, (L.A. Gerhardt édi.) AGARD Lecture Series no 58, NATO, Juillet 73.
- [13] E.G. Smith, "JTIDS: an update" IEEE, AES Newsletter, Vol. 13, pp. 25-29, Mars 78.
- [14] U.S. Department of Commerce, "Conserving Energy through the Use of Mobile Radio", Office of Telecommunications.
- [15] W.C. Jakes, "Microwave Mobile Communications", Wiley, 1974.
- [16] S.A. Caswell, "Long Road ahead for Cellular Radio", Mobile Times, Dec. 1978.
- [17] Bell System Technical Journal, Vol. 58, no. 1, Jan. 79.
- [18] H. Kubota et al., "High capacity automobile telephone system - Part I: System Outline", Japan Telecom. Review, Vol. 21, no. 1, pp. 44-53, 1979.
- [19] G.R. Cooper et R.W. Wettleton, "Spectral Efficiency in cellular Land-mobile Communications: A Spread Spectrum Approach", Final Report TR-EE 78-44, Purdue University, Indiana, Oct. 78.
- [20] R. Singh, "Spectrum Efficient Schemes for Mobile Radio Communications", Ph. D. Thesis, Southern Methodist University, 1980.