

de transmettre en même temps sur la même plage de fréquences (voir la figure 7). La station de base teste le flux de données arrivant sur cette plage de fréquences et détermine les corrélations dans les séquences de chaque mobile afin de retrouver quels bits sont envoyés par chacun. Beaucoup de fournisseurs de télécommunications hertziennes utilisent l'accès multiple par répartition de code, souvent en association avec l'accès multiple par répartition de fréquence : la coexistence des deux systèmes, sur des appareils mobiles polyvalents, facilite le transfert vers les nouvelles bandes de fréquence et les nouvelles techniques d'accès multiple.

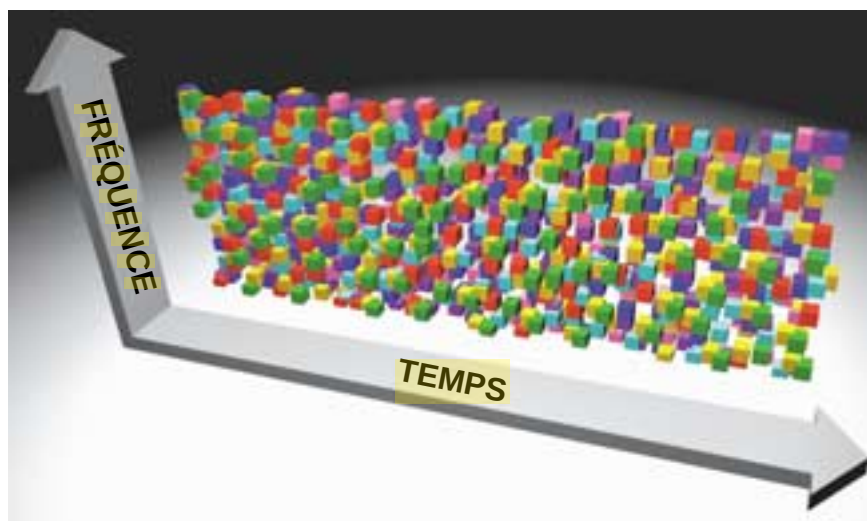
Des réseaux compatibles

La transmission de données par radio sera favorisée par l'interopérabilité des réseaux : l'utilisateur ne se rend pas compte que ses communications passent d'un réseau à un autre et n'a pas besoin de connaître les spécificités de chacun. Nous testons aujourd'hui une telle interopérabilité à l'Université Carnegie Mellon : un réseau hertzien local est relié à un réseau cellulaire qui s'étend sur Pittsburgh, la ville voisine. À notre connaissance, le réseau local est le plus grand qui ait jamais été construit : il compte aujourd'hui 100 stations de base et transporte des données à deux mégabits par seconde sur la moitié du campus. Le réseau cellulaire ne fonctionne qu'à 19,2 kilobits par seconde.

Les usagers accèdent au réseau Internet ou à d'autres réseaux, à l'aide d'ordinateurs ou d'autres machines portables, tout en se déplaçant : les connexions radio sont gérées automatiquement par les ordinateurs. Les utilisations les plus fréquentes sont les accès au courrier électronique et au réseau Internet. L'ordinateur mobile devient aussi fonctionnel que l'ordinateur de bureau, mais plus pratique.

Quelles difficultés avons-nous rencontrées? Lorsqu'un usager se déplace, l'ordinateur doit maintenir la meilleure connexion possible : la communication est parfois passée d'un réseau à l'autre. Nous avons écrit un programme qui rend ce passage imperceptible à l'utilisateur.

Par ailleurs, beaucoup d'ordinateurs fonctionnent suivant le principe client-serveur : le terminal de l'utilisateur va chercher les données conte-



7. L'ACCÈS MULTIPLE PAR RÉPARTITION DE CODE permet à plusieurs utilisateurs (couleurs) de partager efficacement le spectre des fréquences radio : le signal provenant de chaque utilisateur est codé et étalé sur tout le spectre radio (verticalement). Cet étalement permet à chaque signal de ne pas se superposer aux autres. Le récepteur débrouille les signaux individuels grâce à leurs codes uniques.

nues dans un ordinateur central. Le débit de la transmission par radio est plus faible que celui des réseaux câblés et plus d'erreurs y apparaissent. Nous avons donc adapté la structure des fichiers ainsi distribués pour rendre les communications plus fiables.

Nous construisons aussi des ordinateurs mobiles, ainsi que des ordinateurs que les utilisateurs portent sur eux comme des vêtements, et qui les assistent dans leurs déplacements ou dans leurs activités professionnelles. Ces ordinateurs portables sont équipés pour la radio, et nous espérons qu'un jour ils seront intégrés dans des réseaux interopérables.

Notre expérience n'est qu'un premier pas vers la mobilité des ordinateurs. Nous étendrons notre prototype à la totalité du campus en 1999 ; puis nous relierons notre réseau à des réseaux analogues, bientôt installés ailleurs, puis aux réseaux par satellites et aux réseaux cellulaires. Ensemble, ils formeront un réseau de transmissions international.

Toutes ces innovations étendent le potentiel des communications. Dans les pays industrialisés, la fiabilité du service téléphonique est primordiale. La téléphonie mobile l'assure avec peu d'installations lourdes et des équipes techniques réduites. Une ligne pour un système micro-cellulaire dans une zone urbaine dense coûte entre 1 000 et 3 500 francs, soit moins de la moitié de la pose d'une ligne d'un réseau câblé. Une fois installés, les systèmes hertziens

sont facilement adaptables pour des transmissions de données si le besoin s'en fait sentir.

Pour les pays en développement, nos études montrent que les constructeurs auront besoin de beaucoup plus de fréquences disponibles pour exploiter totalement le potentiel des systèmes hertziens. Nous avons aussi conclu que, étant donné les bénéfices que les services téléphoniques hertziens pourraient apporter, les gouvernements devraient mettre beaucoup plus de fréquences radio à leur disposition.

Alex HILLS est professeur de politique des télécommunications à l'Université Carnegie Mellon.

Mobile Computing at Carnegie Mellon, numéro spécial de *IEEE Personal Communications*, vol. 3, n° 1, février 1996.

Alex HILLS et Hung-Yao YEH, *Using Wireless Technology to Provide Basic Telephone Service in the Developing World*, in *Telecommunications Policy*, vol. 20, n° 6, pp. 443-454, juillet 1996.

Ingrid J. WICKELGREN, *Local-Area Networks Go Wireless*, in *IEEE Spectrum*, vol. 33, n° 9, pp. 34-40, septembre 1996.

Alex HILLS et Richard HOVEY, *A Wireless Infrastructure to Support Research Activities*, in *Wireless Personal Communications : The Evolution of Personal Communications Systems*, sous la direction de T.S. Rappaport et al., Kluwer Academic Publishers, 1996.

Les applications des réseaux cellulaires

WARREN STUTZMAN • CARL DIETRICH

La téléphonie a bénéficié de la technique cellulaire, mais bien d'autres applications de cette technique apparaîtront prochainement.

Dans les prochaines décennies, le réseau mondial de communications radio, par relais terrestres ou spatiaux, se développera pour satisfaire la demande croissante de communications rapides et mobiles. Initialement créé pour la transmission d'échanges vocaux, le réseau permet une foule d'usages nouveaux : localisation de personnes ou de biens, télé-surveillance, télécommande... Encore récemment, les systèmes radio semblaient réservés aux navigateurs professionnels, aux géomètres ou à quelques services techniques, mais les équipements sont devenus si bon marché et si petits qu'ils s'imposent dans la vie quotidienne.

La localisation

Pendant longtemps, les seules aides à la navigation ont été les étoiles, le sextant, le compas, la sonde, les cartes ou les gyroscopes. Puis les émetteurs radio terrestres du réseau LORAN (*Long Range Navigation*) ont permis aux marins et aux aviateurs de déterminer précisément leur position, mais ces systèmes ne couvraient pas l'ensemble du Globe et ils n'indiquaient pas l'altitude des récepteurs. Grâce aux satellites, on détermine aujourd'hui les trois coordonnées de position avec une étonnante précision.

Le Système de positionnement global (GPS) est sans doute le plus connu : 24 satellites en orbite autour de la Terre, à une altitude de plus de 20 000 kilomètres sur six plans orbitaux (voir *Pour La Science*, avril 1996), émettent en permanence des signaux qui peuvent être captés de n'importe quel point du

Globe. En mesurant le temps de propagation des signaux émis par au moins quatre satellites, les récepteurs GPS calculent la position à 18 mètres près, voire seulement à un mètre près quand ils reçoivent également les signaux d'un émetteur terrestre du voisinage.

Lors de la guerre du Golfe, les troupes qui combattaient l'Irak trouvèrent leur chemin dans le désert à l'aide du GPS. Depuis, le système est largement utilisé par les navigateurs, les géomètres ou les aviateurs. Les possibilités sont nombreuses : des automobiles équipées de récepteurs GPS, par exemple, calculent des itinéraires qui évitent les embouteillages, et des sociétés proposent aujourd'hui aux particuliers des récepteurs portables qui coûtent moins de 500 francs. Donnant une information de position dans les trois dimensions de l'espace, le système GPS permet également aux avions de voler plus directement vers leur destination sans être gênés par l'encombrement des couloirs aériens, et d'atterrir sans visibilité.

La Russie possède un système analogue au GPS : le GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), fondé sur une flotte de 24 satellites. Le dernier satellite de ce réseau a été envoyé en 1995, mais certains sont tombés en panne depuis. Avant la fin de l'année 1998, neuf satellites supplémentaires devraient augmenter la précision du réseau russe.

Lorsque le GLONASS sera complètement opérationnel, les récepteurs capables de recevoir à la fois ses signaux et ceux du GPS auront une précision considérablement améliorée, surtout dans les zones urbaines, où les bâtiments perturbent les réceptions.

Le système européen ENSS (*European Navigation Satellite System*), avec ses 15 satellites qui couvriront l'Europe et l'Afrique, devrait augmenter encore la précision des localisations dans ces zones. Quelques sociétés proposent des localisations par satellites ou à partir de balises terrestres, mais aucun n'est aussi précis que celui composé du GPS, du GLONASS et de l'ENSS.

Double sens

Malgré leurs performances, les dispositifs actuels de localisation ont un inconvénient majeur : ce ne sont que des émetteurs. Les personnes utilisant un récepteur GPS savent où elles sont, mais elles ne peuvent le faire savoir à d'autres. Un service de recherche de biens ou de personnes par satellites utilise le même principe que le GPS, mais à l'envers : c'est l'émetteur, au sol, qui envoie un signal, de sorte que les satellites enregistrent le temps mis par le signal pour leur parvenir ; un centre de calcul qui reçoit les informations des satellites détermine alors la position de l'émetteur. Des sociétés de transport utilisent aujourd'hui ce service pour surveiller les flottes de camions et déterminer la position des véhicules à moins de 300 mètres près.

Bientôt, les deux services seront réunis : les utilisateurs auront un dispositif de réception de signaux de requêtes émis par un satellite placé en orbite basse ; ils renverront un signal, via le satellite, à une station terrestre qui déterminera leur position. Par ce moyen, on localisera de jeunes enfants ou des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.