

Introduction aux Réseaux mobiles

Réseau mobile = transmission (sans fil : routeur ou filaire : fibre, câble...) + gestion des données (appels, accès, signalisation, routeurs, gateway)

Transmission sans fil

- via infrarouge ($0.78\mu\text{m}$ à $1000\mu\text{m}$)
- via les ondes hertziennes ($f > 300\text{GHz}$) avec
 - Wifi
 - Bluetooth
 - DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone = Téléphone sans-fil numérique amélioré)
 - RFID (radio-identification, radio frequency identification) : méthode pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés radio-étiquettes. Les radio-étiquettes sont de petits objets, elles comprennent une antenne associée à une puce électronique qui leur permet de recevoir et de répondre aux requêtes radio émises depuis l'émetteur-récepteur.
- ou via satellite

A l'opposé de la transmission filaire, vue en optique, et en propagation guidée.

Propagation radio-mobile : Contrôleurs d'antenne + réseau coeur

Phénomènes physiques : Diffusion, Réflexion, Réfraction, Diffraction (bâtiments, neige, pluie, arbres, animaux) \Rightarrow Effet de masques (shadowing) (exemple : un bâtiment à peu près perte 10 dB)

Pertes $P_{reçue} = P_{transmise} \times (\frac{\lambda}{4\pi d})^2$ Les variations autour de la moyenne sont pour les grandes échelles des affaiblissements de parcours, pour les moyennes échelles des effet de masques et pour les petites échelles des évanouissements.

Modèles de propagation

- en espace libre (Free Space Path Loss model) :
 - Modèle ITU $A_0 = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$
 - $FSPL(dB) = 20 \log(\frac{4\pi df}{c})$
- en ville (Okumura-Hata) :
 - A_0 = fonction en log de $f, d, h_{BS}, h_{MS}, a(h_{MS})$
 - h_{BS} = the base station antenna height above ground in m [30 à 200m]
 - h_{MS} = mobile station antenna height above ground in m [1 à 10m]
 - f [150MHz à 1500MHz] et d [1 à 10km]
 - $a(h_{MS})$ = terme correcteur (dépend si ville ou à l'air libre)
- en zone de banlieues (Hata) : $A_{HS} = A_{HU} - 2(\log \frac{f}{28})^2 - 5.4$
- en zones rurales $A_{HR} = A_{HU} - 4.78(\log f)^2 + 13.88 \log(f) - 40.94$

Impact sur l'architecture : le réseau est organisé par cellules, chaque cellule échange dans sa zone

- Macro-cellule: (qqqs km) rural, optimisation de couverture
- petite-cellules (qqqs km) urbaines
- micro-cellule: (qqqs 100km) zones urbaines denses, grande réutilisation des fréquences
- pico-cellule: (qqqs 10m) bâtiment, optimisation de capacité

Conséquences : une antenne par cellule pour assurer la connexion, les antennes sont reliées entre elles, les cellules sont contrôlées par des contrôleurs, eux-mêmes contrôlés par des entités supérieures faisant partie du réseau coeur

Spécificités de l'environnement radio-mobile

- évanouissement rapide (=fast fading) dû à des chemins multiples (multi-path) direct et indirect : interférence constructive ou destructive, on les appelle "direct path" ou "line of sight" et "reflected path"
 - Conséquences : Communication plus facile malgré les obstacles
 - multipathspread (spread=propagation) = $\frac{\text{longerpath} - \text{shorterpath}}{c}$
 - Modèle à retard: étalement de la réponse impulsionnelle, variation du signal reçu entre 2dB et 30dB. $s(t) = h(t) * e(t)$ où $h(t) = \sum (a_i \delta(t - t_i))$ réponse impulsionnelle
- Trou d'évanouissement (fading hole): interférence destructive. Modélisation des variations du signal par les processus stochastiques par les variables aléatoires (non déterministe)

– si vues indirectes dominantes (non light of sight, NLOS) \Rightarrow La puissance suit la distribution de Rayleigh

$$\text{(Loi de Rayleigh : } \begin{cases} f(x) = \frac{x}{\sigma^2} * \exp \frac{-x^2}{2\sigma^2} & x \geq 0 \\ f(x) = 0 & x < 0 \end{cases})$$

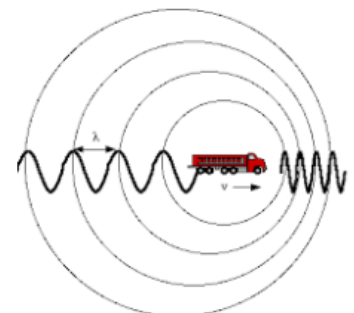
– si vue directe dominante entre l'émetteur et le récepteur (Line of sight, LOS) \Rightarrow La puissance suit une distribution de Rice (Loi de Rice : $\begin{cases} f(x) = \frac{x}{\sigma^2} * \exp \frac{-(x^2+v^2)}{2\sigma^2} * I_0(\frac{xv}{\sigma^2}) & x \geq 0 \\ f(x) = 0 & x < 0 \end{cases}$) $I_0(\frac{xv}{\sigma^2})$ fonction de Bessel

Facteur de Rice : $K = 10 \log \frac{v^2}{2\sigma^2}$ Il est le paramètre caractéristique du modèle de Rice, rapport entre la puissance reçue en ligne directe et la puissance reçue, dépend de l'environnement. $K < 5\text{dB} \Rightarrow$ le chemin en ligne directe est faible \Rightarrow modèle de Rice=modèle de Rayleigh

Effet Doppler : décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre l'émission et la réception à gauche: grande longueur d'onde, fréquence faible à droite: petite longueur d'onde, grande fréquence

Bande de fréquence de déviation de Doppler: $[f_0 - \delta f, f_0 + \delta f]$ avec $\delta f = f_0 * \frac{v}{c}$

Le canal de transmission radio mobile peut être modélisé par un filtre linéaire h dépendant du retard, du temps, de l'espace et de la fréquence.



Gestion de mobilité

- mobilité au niveau radio : permet d'être mobile autour de l'antenne
- mobilité au niveau réseau : permet d'être mobile entre les cellules et sur la zone de couverture du réseau

Le transfert automatique intercellulaire ou handover (handoff aux US) permet de garder la communication en cours malgré la mobilité \Rightarrow permet une couverture plus étendue

- Principe de base:
 - réalisation des mesures et de supervision du lien
 - détermination de la cellule cible, déclenchement du handover



- exécution du handover
- Contraintes temporelle des procédures de handover : période des mesures < durée de traversée d'une cellule.
- L'antenne diffuse des informations pour permettre les opérations de handover, des informations comme l'identité de la station de base, les fréquences des canaux balise des stations de bases voisines, la position des différents canaux.
- Indicateurs de déclenchement : grâce aux mesures de la puissance du signal reçu, à la qualité du signal, au taux d'erreur binaire, et la distance entre le mobile et la station de base.
- Il y a enclenchement du handover lorsque la puissance reçue de la cellule suivante est supérieure à celle de la cellule actuelle, système à hysteresis.
- Déroulement du handover classique (hard handover)
 - suspension des opérations normales
 - déconnexion du lien de signalisation et du trafic éventuel
 - déconnexion et désactivation des canaux alloués précédemment et leur libération
 - activation de nouveaux canaux
 - déclenchement de l'établissement d'une connexion de liaison de données sur les nouveaux canaux

Hard Handover ie (GSM)	Commutage et routage des informations vers le nouveau lien simultanément (légère interruption de la communication car un seul canal radio à la fois)
Seamless handover ("sans couture")	<ul style="list-style-type: none"> • qualité de service maintenue • probabilité de coupure minimisée • consommation supérieure des ressources ie DECT
Soft handover	les 2 liens et les 2 flux sont actifs simultanément pendant un court laps de temps <ul style="list-style-type: none"> • Qualité de service • charge élevée au niveau réseau et de l'interface radio ie système CDMA
backward handover	la procédure handover est établie à partir de l'ancienne antenne <ul style="list-style-type: none"> • gestion optimale des ressources radio • lente ie GSM
forward handover	Procédure handover établie depuis la nouvelle antenne <ul style="list-style-type: none"> • nécessité pour le mobile de contrôler le handover • plus rapide

Deux catégories de Handover: intercellulaires et intracellulaire. Le handover intercellulaire fait un changement de cellules du au déplacement (meilleur lien radio) et du au rééquilibrage de cellules (cellule voisine moins chargée). Le handover intracellulaire ne fait pas de changement de cellule, du aux interférences provoquant la dégradation du signal, le circuit de parole modifié (et/ou du contrôleur)

Gestion de la mobilité :

- mobilité microscopique = mobilité radio, permet à un usager de changer de cellule tout en maintenant sa communication
- mobilité macroscopique = mobilité réseau, permet à un usager de bénéficier des services télécoms souscrits sous toute la couverture de son réseau et des autres

Gestion de la localisation La recherche d'abonné ("paging") permet au système de retrouver un mobile.

- Sans localisation, le système faisait une recherche sur tout le réseau ("flooding" = coûteux), et tous les téléphones avaient accès à tous les messages. (1ère génération) ⇒ non adapté pour les réseaux de tailles importante et si grand nombre d'abonnés



- localisation manuelle (CT2) : recherche près d'une borne à laquelle l'abonné s'est enregistré, puis les voisines
- automatique : niveau cellule lors de la communication, sinon zone de localisation (= groupe de cellules) souvent mise à jour sur changement de zone (moins coûteux que périodique)

LAC(location area code) -> MNC(mobile network code) -> MCC mobile country code

Méthode d'accès Multiple algorithme distribué qui détermine comment les utilisateurs partagent le canal, permet de connaître à quel moment et quelle durée chaque utilisateur peut émettre

Propriétés des Procédures d'accès

- Collision: si deux trames sont émises en même temps, il y a superposition dans le temps et dans l'espace.
- Temps continu: Les transmissions de trame peuvent commencer à n'importe quel instant.
- Temps discret(slotted): Le temps est slotté (des intervalles constants:slots). Les transmissions de trames débutent toujours en début de slot.
- Écoute de la porteuse(carrier sense assumption): Les stations peuvent détecter si le canal est occupé par une autre transmission en cours. Si c'est le cas, la station doit différer ses transmissions jusqu'au moment où le canal devient libre
- Pas d'écoute de la porteuse(no carrier sense assumption): Les stations ne sont pas capables de détecter l'état du canal. si une station possède une trame à émettre, elle la transmet sans attendre.
- Centralisé[GSM, UMTS] une station maître décide quand les autres stations esclaves peuvent transmettre des données
- Distribué : [wireless LAN (WIFI), Ethernet]: pas de station maître, chaque station est libre de transmettre et de dialoguer avec chacune des autres stations.
- Mode circuit: pour les flux continus et réguliers (voix). Possibilité d'allouer une partie du canal pour une connexion en exclusivité (ressources dédiées), permet d'éviter la répétition des procédures d'accès par paquet ou par rafale (burst) (eg mode circuit en GSM)
- Mode paquet : pour les flux sporadiques. une allocation permanente induit du gaspillage et de la sous utilisation des ressources. Compétition pour l'accès au canal pour chaque transmission de paquet (eg TBF in GPRS), allocation en fonction du besoin immédiat.

Performances du mode paquet dépend de $a=D/T$, D délai de propagation maximum entre deux stations, T temps de transmission d'un paquet de taille moyenne, 'a' = nombre de paquets transmis par une station avant que la station destinataire la plus éloignée ne reçoive le premier bit. impact de a sur le recouvrement des collisions: a faible= les collisions se produisent rapidement a grand= longtemps après, et leurs détections aussi

Classification des méthodes d'accès

- accès aléatoires: compétition pour chaque paquet (Aloha, CSMA, CSMA/CD)
- par répétition de canal (statique/dynamique)à longue échelle de temps, eg par appel, TDMA, FDMA, CDMA
- tracking turns (à tour de rôle) par jeton, par élection, par polling

Variété des protocoles MAC dans les réseaux

- GSM (combinaison de TDMA, FDMA, slotted Aloha)
- UMTS(combinaison de CDMA, TDMA, FDMA, slotted Aloha)
- Ethernet(CSMA/CD + Exponential backoff)
- Wireless LAN (CSMA/CA + RTS/CTS) + Polling
- FDDI (mécanismes à jetons)



Méthode d'accès aléatoire : les noeuds transmettent de façon aléatoire au débit maximal du canal R, peu importe les collisions

Exemples :

- ALOHA: technique à compétition avec diffusion radio de paquets, la transmission se fait dès que possible, par la première station possible, non réception du paquet, retransmission. Si 2 émetteurs ou plus émettent en même temps le même paquet, il y a collision, les paquets sont alors endommagés. Un paquet émis à t_0 entre en collisions avec tous les autres paquets entre t_0-1 et t_0+1 . Les émetteurs doivent réémettre leurs paquets. peu efficace dues aux collisions très importantes, perte de la durée de transmission
- Slotted Aloha: Le temps est divisé en slots de même taille (un paquet), les transmissions commencent au début des timeslots. Succès (S), Collision (C), Vide (E) slots Peu décentralisée, peu efficace en terme de débit
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access): Une station libre émet immédiatement si elle ne transmet pas déjà. Stratégies p persistantes: Dès que la transmission est terminée, on prend le canal avec la probabilité p et on attend T (parcours de la longueur du canal pour 1 bit) avec la proba (1-p) Stratégies non persistante: Si le canal est occupé, on attend une durée aléatoire avant de re-soumettre sa demande. Risque de collision: si 2 stations écoutent le canal et détectent qu'il est libre, et donc transmettent presque simultanément.
- CSMA/CD : CSMA avec détection de collision en plus d'écouter la ligne de transmission avant de transmettre, une station va continuer d'écouter pendant la transmission, si il y a collision, les stations concernées le détectent immédiatement et interrompent leurs transmissions. Elles transmettent un signal de brouillage, chaque station attend un temps de manière aléatoire connu sous le nom de Backoff Delay avant de retransmettre. \Rightarrow les erreurs sont détectées rapidement, peu de gaspillage, la technique persistante est la plus implémentée.
- CSMA/CD dans Ethernet: écouter jusqu'à ce que le canal soit libre et transmettre immédiatement, si collision détectée, cesser immédiatement, émettre un "jamming signal" pour s'assurer que la collision soit détectée. après le "jamming signal" attendre un temps aléatoire et réémettre.
- CSMA-DCR (Carrier sense multiple access/deterministic collision resolution) CSMA/CD d'algorithme de résolution probabiliste remplacé par un algorithme de résolution déterministe. Quand une collision arrive, les stations se positionnent en groupe de priorité(adresse, index) par dichotomies successives, le groupe gagnant continue d'émettre, les autres cessent. Si il y a encore collision, il y a encore dichotomie jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'un émetteur.

Problème du "Hidden Terminal" dans le Wifi A émet vers B, mais C plus loin ne le détecte pas, alors C émet vers B sans savoir que A émet déjà vers B, sans le détecter, il y a collision, et on dit que A est caché "hidden" pour C. (Loi de Friis: la puissance décroît exponentiellement proportionnellement au carré de la distance.)

Problème du Exposed Terminal B émet vers A, C veut transmettre vers D et écoute le canal, il est occupé puisqu'il détecte l'émission de B vers A, mais A est hors de portée de C, l'attente de C n'est pas nécessaire. On dit que C est exposé "exposed" à B \Rightarrow Fausse écoute du canal

Défaut des méthodes d'accès aléatoires : la technique est bonne tant que le rapport du temps de traversée sur le temps d'émission d'une trame est petit.

Modes de multiplexage

- FDMA(Frequency Division Multiple Access: le spectre radio est divisé en sous bandes de fréquences, chaque station a une bande fixe, le temps inutilisé est perdu.
 - capacité des bandes FDMA = (spectre total d'allocation - 2 * la bande de garde)/ Bande Passante
 - Pour les télécommunications Duplex, on peut soit utiliser des séquences différentes pour le uplink et le downlink, ou utiliser une alternance temporelle (time slots) sur la même fréquence.
- TDMA (Time Division Multiple Access) : les utilisateurs partagent la même bande de fréquence à tour de rôle "round" ou "trame", par durée de temps fixe (time slot).
 - Les times slots non utilisés sont perdus.
 - Les communications duplex peuvent être gérées aussi avec FDD ou TDD.



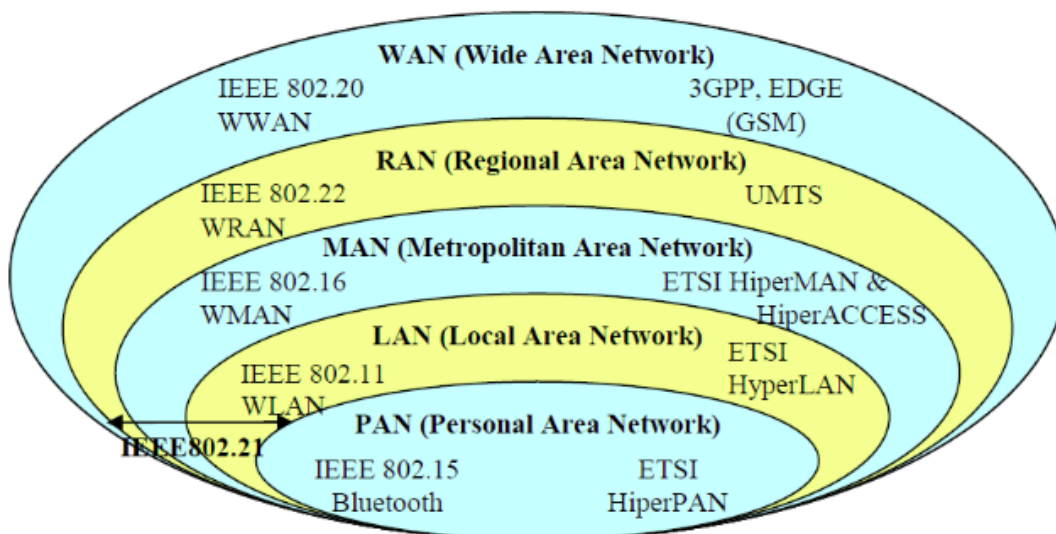
- CDMA(Code division Multiple access): répartition par codes, chaque utilisateur est différencié par un code N alloué au début de la communication, orthogonale au reste des codes liés aux autres utilisateurs. Pour écouter l'utilisateur N, le récepteur multiplie le signal reçu par le code N associé. (ex code= 1 1 1 1 -1 -1 1 1)
 - Tous les utilisateurs partagent la même fréquence.
 - Corrélations: détermine la similarité entre deux séquences
 - 1 deux séquences identiques
 - 0 pas de relation entre les séquences
 - 1 chaque séquence est l'image miroir de l'autre
 - Une racine engendre 2 branches, les codes portés par ces deux branches sont issus du code de la racine, le code d'une branche contient le code de la racine et de son complémentaire. Lorsqu'un code est alloué, tous les codes de ces branches ne peuvent être utilisés.
 - Les utilisateurs utilisent des ensembles séparés de codes dans la même bande de fréquence. Les communications Duplex sont la aussi gérées par les modes FDD et TDD.
 - Capacité des systèmes CDMA: Elle est limitée par les interférences alors que dans les systèmes TDMA et FDMA, elle est limitée par la bande passante.

Bases de sécurité dans les réseaux sans fil : Le niveau de sécurité varie selon les utilisateurs et les domaines d'utilisation

- Le chiffrement symétrique (encryption) :
 - DES : très bon algorithme de chiffrement par bloc
 - RSA : (difficulté de factoriser les grands nombres premiers)
- Hache (hasing) : MD5, SHA-3
- L'authentification

Rappels importants :

Le WiFi : a une mobilité radio uniquement, est une norme IEEE, est une famille des normes IEEE 802.11
 WiMax : Réseau mobile, utilisé comme mode de transmission et d'accès à Internet haut débit, portant sur une zone géographique étendue. A une mobilité au niveau radio ET au niveau réseau. Famille des normes IEEE 802.16
 Classification par la portée/débit/consommation



La réglementation :

- ARCEP donne les licences



- FSS et CEPT
- L'ISO et ITU pour normaliser les échanges internationaux

Théorème de Shannon: $C = B \log(1 + \frac{S}{N})$

C capacité en bit par seconde

B est la bande passante du canal en Hz

S la puissance du signal en Watt ou volt

N bruit total en Watt ou en volt

Théorème de Nyquist

La fréquence du signal ne dépasse pas $1/T$, et il est suffisant d'utiliser un filtre de fréquence $1/2T$ pour acquérir tout l'info

Entropie: quantité moyenne de bits requise pour représenter une information