



Pourquoi un système à large bande ?

Par Sebastian Georgi



Sebastian Georgi fait partie de l'équipe d'ingénieurs en charge du système WMAS actuellement développé par Sennheiser. Depuis plus de 10 ans, il mène des recherches sur les techniques à large bande sans fil et sur la façon de les adapter spécifiquement aux applications audio professionnelles. Dans le cadre de sa thèse de doctorat qu'il a soutenue à l'Université de technologie de Hambourg, il a étudié le multiplexage par division en sous porteuses orthogonales (OFDM). Sebastian Georgi est un passionné de musique et joue du basson dans un orchestre semi-professionnel à Hanovre.

Introduction

De nombreux systèmes sans fil modernes utilisent la technologie à large bande. Ce document vous explique pourquoi. Les systèmes de microphones sans fil professionnels sont utilisés en guise d'exemples, car l'introduction des systèmes WMAS (Wireless Multichannel Audio Systems) dans la norme ETSI EN 300 422-1 permet désormais aux fabricants de tels systèmes d'offrir à leurs clients les avantages de la technologie à large bande. Les microphones sans fil actuels sont exploités dans la plage de fréquences TV-UHF et utilisent généralement une bande passante modulée de $B = 200$ kHz. La plupart des applications exigent une portée ne dépassant pas 100 m.

Portée

Le terme « portée » est-il le plus approprié dans le cadre de cette application ? Calculons la portée en espace libre d'un microphone sans fil classique : le récepteur a en général un facteur de bruit $NF = 10$ dB et la démodulation exige un rapport signal/bruit $SNR = 10$ dB. Il en résulte une sensibilité du récepteur de

$$P_{\text{sens}} = -174 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} + 10 \cdot \log_{10}(B) + NF + SNR = -101 \text{ dBm}.$$

Avec une puissance de transmission de $P_{\text{tx}} = 10$ dBm, une atténuation de $P_{\text{tx}} - P_{\text{sens}} = 111$ dB est possible. L'atténuation en espace libre est calculée comme suit :

$$\text{FSPL}[\text{dB}] = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f_c) - 147.55.$$

Avec une fréquence porteuse de $f_c = 500$ MHz, la distance d s'élève donc à :

$$d = 10^{\frac{111 \text{ dB} - 20 \cdot \log_{10}(500 \text{e}6) + 147.55}{20}} = 16925 \text{ m}$$



Dans cet exemple, la portée atteint quasiment 17 km, sans même utiliser d'antenne directive. Or, cela ne correspond pas à l'expérience que les opérateurs de microphone sans fil vivent au quotidien. Il faut en conclure dans ce cas que la portée en espace libre n'est pas le facteur limitant. Du coup, quel est le facteur limitant ?

Modèle de canal RF

Seuls quelques systèmes sans fil (communication par satellite, systèmes de relais radio) exploitent un canal RF sans fil en champs libre. La plupart des systèmes souffrent d'une propagation par trajets multiples causée par des réflexions. Au niveau du récepteur, les ondes radio émises par une seule et même source arrivent de directions différentes et interfèrent donc entre elles. Si parfois les ondes reçues présentent la même phase, ce qui conduit à des interférences constructives, elles affichent par moment des phases opposées en raison de longueurs de chemin différentes, si bien que les interférences sont destructives. Même dans des applications extérieures, il existe au moins deux chemins de propagation des ondes radio : la ligne de visée directe et la réflexion sur le sol. Dans la plupart des environnements extérieurs, d'autres obstacles s'ajoutent aux nombreux chemins de propagation. Les utilisateurs de systèmes sans fil qui effectuent des tests en marchant observent des décrochages causés par l'atténuation du signal, qui ont tendance à disparaître s'ils s'éloignent davantage de l'antenne fixe.

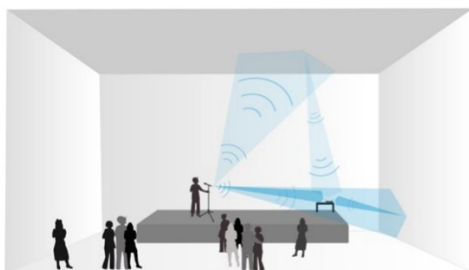


Fig. 1 : Propagation par trajets multiples

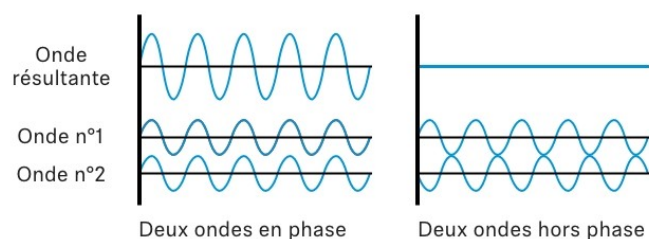


Fig. 2 : Interférences constructives (gauche) et destructives

Dans les scénarios intérieurs, le nombre de réflexions est plus important, ce qui rend le comportement du canal RF plus complexe. Des décrochages en cas d'atténuation du signal sont régulièrement observés, même à proximité d'antennes fixes. On peut donc en conclure que les systèmes de microphones sans fil n'ont aucun problème avec la portée, mais plutôt avec l'atténuation en raison de la propagation par trajets multiples. Existe-t-il une contre-mesure ? Oui, effectivement. L'une des solutions consiste à utiliser la réception en diversité : les opérateurs de microphones sans fil actuels espèrent éventuellement que lorsqu'une antenne de réception est confrontée à des interférences destructives, l'autre antenne de réception fournit un rapport signal/bruit suffisant. Toutefois, l'expérience pratique montre que ce n'est pas toujours le cas.

La meilleure solution est d'utiliser des signaux à large bande. Les interférences dépendent fortement de la fréquence de l'onde porteuse utilisée. Lorsque les phases des ondes radio reçues



présentent des signes opposés, le système génère des interférences destructives. Lorsque le signal radio est constitué d'une plage de fréquences suffisamment large, les interférences constructive et destructive sont réparties sur la largeur de bande et l'intensité totale du signal de réception n'est jamais complètement atténuée.

Bande étroite ou large ?

Une bande passante $B = 200$ kHz est-elle étroite ou large ?

Pour distinguer les deux types de comportements du canal RF sans fil, la largeur de bande du signal ne constitue qu'un seul paramètre. Le second paramètre est la largeur de bande de cohérence B_c du canal sans fil. Ce paramètre décrit de façon approximative dans quelle bande passante la fonction de transfert du canal RF peut être considérée comme égale. Les deux paramètres ont une contrepartie dans le domaine temporel : la largeur de bande modulée est sensiblement réciproque à la longueur de chaque symbole modulé T_s . En gros, plus les symboles d'information sont transmis rapidement, plus le signal occupe une partie importante de la bande passante. La largeur de bande de cohérence est réciproque à l'étalement maximal des retards τ_{\max} de tous les chemins empruntés par l'onde radio. Cela signifie que plus les chemins de propagation diffèrent en matière de retard, plus la fonction de transfert du canal varie rapidement sur la fréquence. En termes audio, τ_{\max} est appelé temps de réverbération.

On parle d'un canal à bande étroite lorsque la largeur de bande modulée est sensiblement inférieure à la largeur de bande de cohérence $B \ll B_c$ ou lorsque la durée du symbole est sensiblement supérieure à l'étalement maximal des retards $T_s \gg \tau_{\max}$. Dans ce cas, le canal RF peut être caractérisé par un seul facteur de multiplication, ce qui rend l'égalisation assez simple du côté du récepteur. En revanche, cela provoque l'atténuation de l'intégralité du signal et les décrochages mentionnés plus haut.

On parle d'un canal large bande lorsque la largeur de bande modulée est sensiblement supérieure à la largeur de bande de cohérence $B \gg B_c$ ou lorsque la durée du symbole est sensiblement inférieure à l'étalement maximal des retards $T_s \ll \tau_{\max}$. Dans ce cas, des interférences constructives et destructives se produisent simultanément au niveau du signal de réception à différents endroits du spectre modulé et l'atténuation devient sélective en fréquence. Cela permet de réduire considérablement le risque de décrochage. En revanche, des techniques d'égalisation et de codage des canaux plus complexes doivent être appliquées, ce qui rend la mise en œuvre du système plus difficile.

Le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) permet une égalisation simple même dans les canaux à large bande grâce à l'utilisation de plusieurs porteuses :



	Canal RF à bande étroite	Canal RF à large bande	
		Porteuse unique	Porteuse multiple (OFDM)
Domaine fréquentiel	$B \ll B_c$	$B \gg B_c$	$B \gg B_c$
Domaine temporel	$T_s \gg \tau_{\max}$	$T_s \ll \tau_{\max}$	$T_s \gg \tau_{\max}$
Égaliseur	simple	complexe	simple
Atténuation	signal entier	sélectif en fréquence	quelques sous-porteuses

Enfin, pour répondre à la question de savoir si une bande passante $B = 200$ kHz est étroite ou large, il convient de prendre en compte l'environnement du canal RF. Le système de communication cellulaire de deuxième génération GSM utilise également une largeur de bande $B = 200$ kHz, mais à l'intérieur d'un rayon de cellule allant jusqu'à plusieurs kilomètres. Ici, le canal RF sans fil peut être considéré comme large bande. Dans le cas de systèmes GSM, 26 bits sur les 142 bits d'une trame sont déjà utilisés comme séquences d'apprentissage pour estimer et égaliser le canal RF sans fil.

Dans le cas de microphones sans fil fonctionnant avec $B = 200$ kHz et une distance type de 100 m, le canal RF se comporte principalement en tant que bande étroite, en particulier dans les applications extérieures.

Mesures

Les images suivantes présentent les données de mesure en temps réel d'un scénario de test réalisé à l'extérieur en marchant. Sur chaque image, la représentation supérieure montre la puissance de réception RF en couleur (rouge = atténuation de 50 dB) selon la durée (en ordonnées) et la fréquence (abscisses). La représentation inférieure montre la puissance de réception RF en fonction du temps pour des systèmes avec des largeurs de bande différentes de $B = 200$ kHz à $B = 6$ MHz, qui sont normalisées pour afficher une puissance de transmission identique. L'effet de l'atténuation du signal est clairement visible. Les systèmes utilisant $B = 200$ kHz souffrent de profondes entailles en termes d'atténuation tandis que la puissance de réception du système $B = 6$ MHz est presque constante.

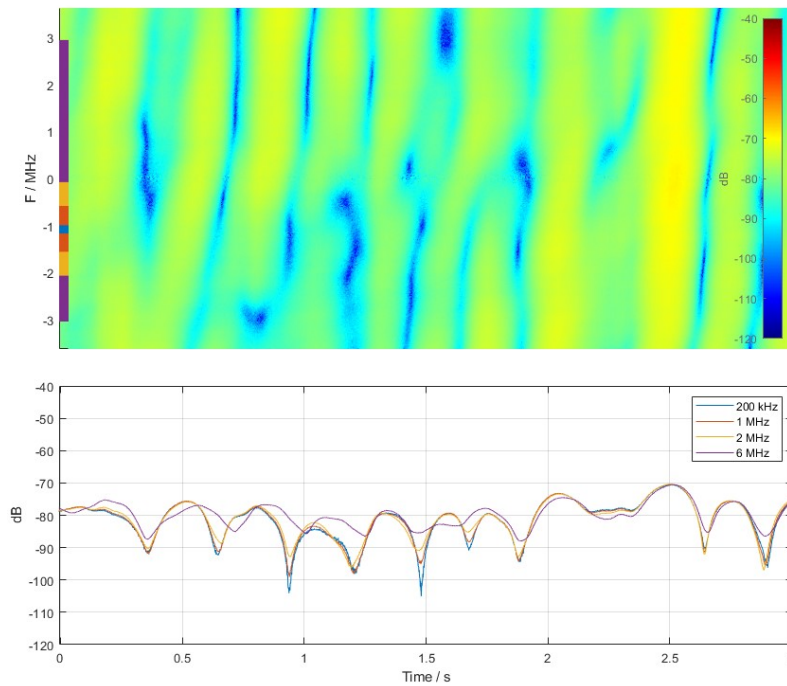


Fig. 3 : Test extérieur réalisé en marchant à la fréquence centrale de 482 MHz

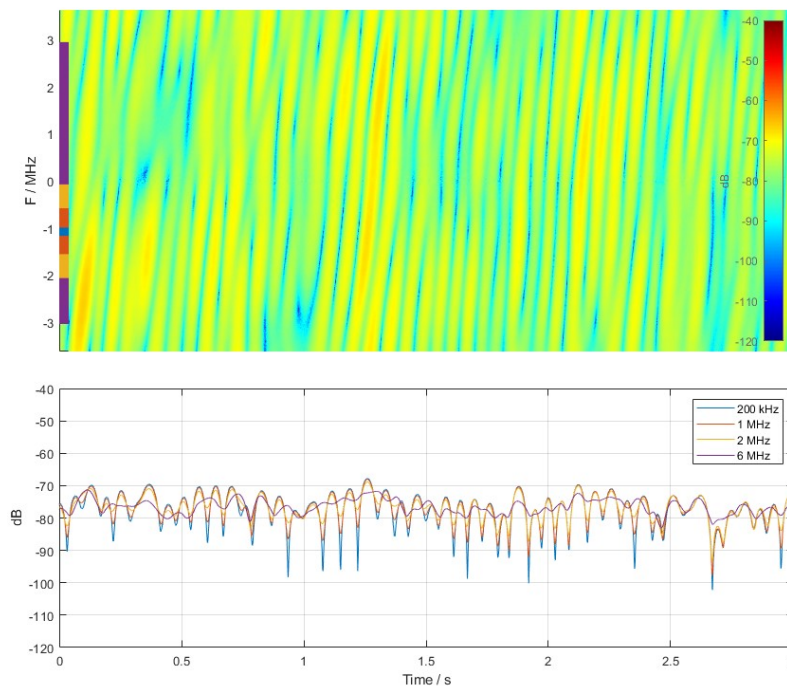


Fig. 4 : Test extérieur réalisé en marchant à la fréquence centrale de 1375 MHz

La figure 3 présente les données de mesure à une fréquence centrale de $f_c = 482$ MHz et la figure 4 montre un test réalisé en marchant de façon similaire, mais à une fréquence centrale de $f_c = 1375$ MHz. L'effet d'atténuation du signal est comparable, seule la variation temporelle est



accélérée en raison d'une fréquence Doppler environ trois fois plus élevée causée par la même vitesse de mouvement.

Conclusion

Aujourd'hui, les systèmes de microphones sans fil fonctionnent avec une largeur de bande de $B = 200$ kHz sur des canaux RF qui doivent être considérés comme à bande étroite. Il a été démontré que les systèmes à bande étroite n'ont aucun problème de portée, mais plutôt d'atténuation rapide en raison de la propagation par trajets multiples dans la plupart des applications. Par conséquent, une marge d'atténuation importante est appliquée au bilan de liaison et la diversité de réception est utilisée pour réduire la probabilité des décrochages causés par l'atténuation. La mise en œuvre repose sur des types de modulation numérique à porteuse unique, ce qui permet de simplifier au maximum le système.

Les canaux RF, tels que l'intégralité des canaux TV de bande passante $B = 6$ MHz, offrent des propriétés de type large bande dans la plupart des scénarios. Dans ce cas, il est ainsi possible d'éviter les décrochages en appliquant des schémas de transmission à large bande tels que le concept OFDM. Cette approche permet de supprimer la principale cause des décrochages générés par l'atténuation. Avec un niveau de puissance égal (i.e. 17 dBm) sur une plus grande largeur de bande, la portée théorique diminue car la densité de puissance (environ 1 dBm / 200 kHz) se rapproche du bruit de fond (-174 dBm / Hz), mais cela est compensé largement par la robustesse de ce genre de transmission vis-à-vis des atténuations, pour rappel la cause majeure des décrochages avec les systèmes traditionnels à bande étroite.