

RECOMMANDATION UIT-R P.1791*

Méthodes de prévision de la propagation pour l'évaluation de l'incidence des dispositifs à bande ultralarge

(Question UIT-R 211/3)

(2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation fournit des méthodes applicables aux fréquences comprises entre 1 et 10 GHz permettant de calculer l'affaiblissement sur le trajet pour des signaux à bande ultralarge (UWB, *ultra-wideband*) dans des environnements d'exploitation en intérieur et en extérieur, dans le cas d'un trajet en visibilité directe (LoS, *line of sight*) ou d'un trajet avec occultation, et permettant d'évaluer la puissance reçue par un récepteur à bande étroite traditionnel en provenance d'un émetteur UWB.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la technique à bande ultralarge (UWB, *ultra-wideband*) est une technique hertzienne qui connaît un essor rapide;
- b) que les dispositifs faisant appel à la technique UWB utilisent plusieurs flux de débit binaire élevé et couvrent une grande largeur de bande;
- c) que, pour évaluer l'incidence des dispositifs UWB, il est indispensable de connaître les caractéristiques de propagation;
- d) qu'il est nécessaire de disposer de modèles empiriques généraux (indépendants du site) et d'avis en vue de l'évaluation des brouillages, ainsi que de modèles déterministes (ou adaptés au site) en vue des précisions détaillées de la propagation,

notant

- a) que la Recommandation UIT-R P.525 décrit le calcul de la propagation en espace libre;
- b) que la Recommandation UIT-R P.528 fournit les courbes de propagation dans les bandes d'ondes métriques, décimétriques et centimétriques pour le service mobile aéronautique et le service de radionavigation aéronautique;
- c) que la Recommandation UIT-R P.618 fournit les données propagation et les méthodes de prévision pour les liaisons Terre vers espace;
- d) que la Recommandation UIT-R P.452 décrit la méthode d'évaluation des brouillages hyperfréquences entre stations situées à la surface de la Terre pour des fréquences comprises entre 0,7 GHz et 30 GHz environ;
- e) que la Recommandation UIT-R P.1238 fournit des indications sur la propagation en intérieur pour des fréquences comprises entre 900 MHz et 100 GHz;

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 1 des radiocommunications.

- f) que la Recommandation UIT-R P.1411 fournit des méthodes de prévision de la propagation sur de courts trajets dans des environnements en extérieur, pour des fréquences comprises entre 300 MHz et 100 GHz environ;
- g) que la Recommandation UIT-R P.1546 fournit des indications sur la propagation concernant des systèmes dont la portée est de 1 km et plus et qui fonctionnent à des fréquences comprises entre 30 MHz et 3 GHz;
- h) que la Recommandation UIT-R P.530 fournit des données de propagation et des méthodes de prévision nécessaires pour la conception de faisceaux hertziens à visibilité directe (LoS, *line of sight*) de Terre,

recommande

- 1 d'utiliser les informations et les méthodes figurant à l'Annexe 1 pour calculer l'affaiblissement sur le trajet pour des dispositifs UWB fonctionnant entre 1 GHz et 10 GHz;
- 2 d'utiliser les informations figurant à l'Annexe 2 pour évaluer la puissance reçue par un récepteur à bande étroite traditionnel en provenance d'un émetteur UWB.

Annexe 1

1 Introduction

La dépendance en fréquence de l'affaiblissement de transmission LoS pour des dispositifs UWB est fonction des caractéristiques de l'antenne. Le modèle traditionnel d'affaiblissement sur le trajet généralement utilisé pour modéliser la propagation de signaux à bande étroite est par conséquent utile pour calculer l'affaiblissement sur le trajet subi par les signaux UWB.

Les très nombreuses études et expériences qui ont été effectuées sur la propagation des signaux UWB dans des conditions très variées permettent d'établir des modèles de propagation de ces signaux ainsi que les paramètres correspondants.

Il est prévu que les dispositifs UWB fonctionnent aussi bien dans des environnements en intérieur que dans des environnements en extérieur. Des informations détaillées sur le site en intérieur considéré, notamment sur la géométrie, les matériaux, le mobilier, etc., sont nécessaires pour effectuer des études de propagation. Pour calculer la propagation en extérieur, il est indispensable de disposer d'informations sur les bâtiments et les arbres. Ces facteurs se traduisent généralement par des trajets multiples, ce qu'un récepteur UWB est capable de prendre en charge. Un modèle de propagation de signaux UWB devrait par conséquent tenir compte à la fois de l'affaiblissement sur le trajet et des caractéristiques de propagation par trajets multiples de l'environnement type où il est prévu d'exploiter des dispositifs UWB. Les modèles qui représentent d'une façon générale les caractéristiques de propagation dans l'environnement sont les plus adaptés pour atteindre cet objectif, car ils n'obligent généralement pas l'utilisateur à entrer un grand nombre de données pour effectuer les calculs.

La présente Recommandation définit des environnements d'exploitation ainsi que des catégories d'affaiblissement sur le trajet et fournit des méthodes d'estimation de l'affaiblissement sur le trajet pour des dispositifs UWB dans ces environnements. Elle devra être utilisée pour définir le bilan de liaison UWB.

2 Environnements physiques d'exploitation

Les environnements décrits dans la présente Recommandation sont classés uniquement du point de vue de la propagation des ondes radioélectriques. On a ainsi déterminé deux environnements pour la propagation en intérieur et un environnement pour la propagation en extérieur. Ces environnements sont considérés comme les plus représentatifs. Le Tableau 1 présente ces trois environnements. Etant donné la grande diversité des environnements existant à l'intérieur de chaque catégorie, il n'est pas prévu de modéliser chaque cas possible, mais d'établir des modèles de propagation qui soient représentatifs des environnements les plus fréquents.

TABLEAU 1
Environnements physiques d'exploitation

| Environnement | Description |
|--------------------------|---|
| Résidentiel en intérieur | Maison en ville, meublée, murs en plâtré ou béton |
| Industriel en intérieur | Bureau/laboratoire (couloirs, salles de conférence) avec murs et plafonds en plâtre/béton, sols en plâtre/béton/parquet, meublé (armoires en métal, bureaux, sièges, instruments électroniques, etc.) et pièces vides |
| En extérieur | Environnements généraux et ruraux avec feuillage et arbres |

3 Catégories de trajet

L'analyse des situations de propagation possibles entre l'émetteur UWB et le récepteur permet de définir deux catégories différentes de trajet: les trajets LoS et les trajets sans visibilité directe (NLoS, *non-line-of-sight*).

En raison de l'occultation par des obstacles, une situation LoS existe rarement dans des environnements d'exploitation en intérieur, où le signal est reçu par des trajets multiples. En outre, en fonction du degré d'occultation entre l'émetteur et le récepteur, on distingue deux sous-catégories de trajet dans l'environnement de propagation en intérieur: les trajets NLoS avec faible occultation (*Soft-NLoS*) et les trajets NLoS avec forte occultation (*Hard-NLoS*). Dans le premier cas, un obstacle ordinaire ou, au moins, un mur en plâtré se trouve entre l'émetteur et le récepteur. Dans le second cas, le récepteur est séparé de l'émetteur par un certain nombre d'obstacles ou par, au moins, un mur en béton.

4 Modèles et paramètres d'affaiblissement sur le trajet

On peut estimer l'affaiblissement sur le trajet entre l'émetteur UWB et le récepteur UWB soit au moyen de modèles généraux (indépendants du site) soit au moyen de modèles adaptés au site. Lorsque l'on applique des modèles d'affaiblissement de transmission dans un environnement en intérieur, on part du principe que l'émetteur et le récepteur se situent à l'intérieur du même bâtiment.

4.1 Modèles généraux (indépendants du site)

On considère que les modèles décrits dans le présent paragraphe sont des modèles généraux (indépendants du site), car ils exigent peu de données relatives au trajet ou au site. Les coefficients d'affaiblissement de puissance en fonction de la distance indiqués ci-après comportent une tolérance implicite pour la transmission à travers les murs et les obstacles et pour d'autres mécanismes d'affaiblissement, comme la propagation par trajets multiples, que l'on observe très souvent sur le canal de transmission de signaux UWB. Les modèles adaptés au site offrent en général la possibilité

de tenir compte explicitement de l'affaiblissement individuel par obstacle traversé et n'incluent pas une valeur globale de l'affaiblissement en fonction de la distance.

On obtient l'affaiblissement de transmission de base, $PL(d)$, que subissent les signaux UWB, au moyen du modèle suivant:

$$PL(d) = PL_0(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad \text{dB} \quad (1)$$

où:

$PL_0(d_0)$: affaiblissement de transmission de base (dB) à la distance de référence d_0 (où d_0 est généralement égal à 1 m)

d : distance (m) qui sépare l'émetteur UWB du récepteur (où $d > 1$ m)

n : exposant relatif à l'affaiblissement sur le trajet

X_σ : évanouissement par occultation selon une distribution log-normale, c'est-à-dire une variable aléatoire gaussienne à moyenne nulle avec écart type σ (dB).

Si l'affaiblissement de transmission de base à la distance de référence peut être approximé par la formule suivante:

$$PL_0(d_0) = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0 \sqrt{f_1 \cdot f_2}}{0,3}\right) \quad \text{dB} \quad (2)$$

où f_1 (GHz) et f_2 (GHz) sont les fréquences à -10 dB du spectre rayonné UWB.

L'affaiblissement de transmission de base variera grandement sur la largeur de bande UWB et la qualité de fonctionnement globale du système dépendra de l'ampleur de cette variation en fonction des caractéristiques de l'antenne.

Les paramètres types, fondés sur différents résultats de mesure, sont indiqués dans le Tableau 2. Il convient de les utiliser pour des distances de propagation allant jusqu'à 20 m. Pour des distances de propagation supérieures à 20 m, les paramètres correspondant aux environnements en extérieur LoS et NLoS permettent d'évaluer l'affaiblissement de transmission de base entre l'émetteur UWB et le récepteur. On notera également que la propagation en intérieur de type LoS est susceptible de se traduire par un renforcement de la propagation par trajets multiples, ce qui indique que d'autres exposants relatifs à l'affaiblissement sur le trajet peuvent s'appliquer dans certains cas.

TABLEAU 2

Paramètres pour le calcul de l'affaiblissement de transmission de base

| Environnement | Catégorie de trajet | n | σ (dB) |
|--------------------------|------------------------------|------------|---------------|
| Résidentiel en intérieur | LoS | $\sim 1,7$ | 1,5 |
| | NLoS avec faible occultation | 3,5-5 | 2,7-4 |
| | NLoS avec forte occultation | ~ 7 | 4 |
| Industriel en intérieur | LoS | $\sim 1,5$ | 0,3-4 |
| | NLoS avec faible occultation | 2,1-4 | 0,19-4 |
| | NLoS avec forte occultation | 4-7,5 | 4-4,75 |
| En extérieur | LoS | ~ 2 | — |
| | NLoS | 3-4 | — |

4.2 Modèles adaptés au site

L'estimation déterministe de l'affaiblissement sur le trajet peut être utile pour la planification approfondie d'applications UWB. S'agissant de la prévision du champ, on dispose de méthodes théoriques fondées sur la théorie uniforme de la diffraction (TUD). Pour calculer le champ, il est nécessaire de disposer d'informations détaillées sur la géométrie des obstacles et la structure des bâtiments (dans le cas d'un environnement en intérieur). Dans le cadre de ces modèles, on modélise la forme d'onde reçue sous la forme d'une superposition de rayons déterminants de canal, en tenant compte des effets de l'antenne d'émission, de la propagation par trajets multiples et de l'antenne de réception. La réponse impulsionnelle de canal d'un rayon donné tient compte non seulement de l'affaiblissement, mais aussi de la dispersion due à l'interaction ainsi que de la réponse impulsionnelle de l'antenne de réception dans la direction d'incidence de ce rayon. Les rayons déterminants ainsi que leur temps de propagation associé entre l'émetteur et le récepteur doivent être déterminés au moyen de la technique de lancer de rayons. La fonction de transfert de canal associée à chaque rayon est déterminée à partir de la méthode TUD. En tenant compte des rayons réfléchis et diffractés, on obtient une prévision de l'affaiblissement sur le trajet beaucoup plus précise.

Annexe 2

Pour calculer la puissance reçue par un récepteur à bande étroite traditionnel en provenance d'un émetteur UWB, il est nécessaire de tenir compte de la largeur de bande du récepteur. La puissance apparente rayonnée à prendre en considération est la densité spectrale de puissance UWB intégrée sur la largeur de bande du récepteur. Dans ce cas, on peut calculer la puissance reçue au moyen de modèles de propagation traditionnels et du gain de l'antenne de réception. On pourra utiliser les Recommandations UIT-R de la série P énumérées aux points a) à g) du *notant* dans les limites de leurs domaines d'application.
