

RECOMMANDATION UIT-R F.1821

Caractéristiques des systèmes perfectionnés de radiocommunication numérique en ondes décamétriques

(Question UIT-R 147/9)

(2007)

Domaine de compétence

La présente Recommandation a pour objet de spécifier les caractéristiques radiofréquences types des systèmes perfectionnés de radiocommunication numérique en ondes décamétriques qui seront utilisées dans les études de partage pour deux types de nouveaux systèmes perfectionnés de radiocommunication numérique en ondes décamétriques, les protocoles de passage de jetons et les modems à large bande. De plus, les modems à large bande sont subdivisés en deux grands systèmes, à savoir: les systèmes appliquant une approche multicanal et les systèmes DRM (système mondial de radiodiffusion numérique). L'Annexe de la présente Recommandation contient un tableau de caractéristiques qui récapitule les valeurs nécessaires pour les études de partage.

Acronymes

DRM	Système mondial de radiodiffusion numérique
HFTP	Passage de jetons en ondes décamétriques (<i>HF token passing</i>)
HFWAN	Réseau WAN en ondes décamétriques (<i>high frequency WAN</i>)
ISB	Bande latérale indépendante (<i>independent sideband</i>)
LSB	Bande latérale inférieure (<i>lower sideband</i>)
MAQ	Modulation d'amplitude en quadrature (<i>quadrature amplitude modulation</i>)
MDP	Modulation par déplacement de phase (<i>phase-shift keying</i>)
MROF	Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (<i>orthogonal frequency division multiplex</i>)
NVIS	Onde ionosphérique à incidence quasi verticale (<i>near vertical incidence skywave</i>)
USB	Bande latérale supérieure (<i>upper sideband</i>)
WAN	Réseau grande distance (<i>wide area network</i>)
WTRP	Protocole d'anneau à jetons sans fil (<i>wireless token ring protocol</i>)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les systèmes numériques perfectionnés utilisent de plus en plus le spectre des bandes d'ondes décamétriques;
- b) que ces systèmes perfectionnés ne sont pas normalisés et peuvent avoir des caractéristiques techniques et opérationnelles différentes;

c) que le manque d'uniformité, au niveau de la configuration et de la désignation des canaux dans les émetteurs multicanal pour liaisons à grande distance fonctionnant à des fréquences inférieures à environ 30 MHz, peut causer certaines difficultés lorsqu'une station d'émission doit travailler avec plusieurs stations de réception,

recommande

1 que, pour la réalisation des études de partage, les caractéristiques techniques et opérationnelles des systèmes perfectionnés de radiocommunication numérique en ondes décimétriques décrites dans l'Annexe 1 soient considérées comme étant représentatives des systèmes utilisant les bandes d'ondes décimétriques jusqu'à 30 MHz.

Annexe 1

1 Introduction

En raison de leurs caractéristiques spécifiques, les systèmes fonctionnant en ondes décimétriques constituent une solution viable pour satisfaire de nombreux besoins de radiocommunication. Ils offrent en effet un moyen de radiocommunication très polyvalent pour de nombreux utilisateurs et les équipements peuvent être facilement transportés jusque dans les zones éloignées et faiblement peuplées. Il existe deux technologies représentatives des systèmes perfectionnés de radiocommunication numérique en ondes décimétriques. La présente Recommandation vise à spécifier les caractéristiques de ces types de systèmes.

Pour les besoins de la présente Recommandation, l'efficacité du spectre est définie comme un objectif constitué de 2 éléments. Le premier consiste à obtenir un débit maximal (bits/Hertz/s) et le second à augmenter autant que possible le nombre d'utilisateurs, par groupe de fréquences. Ces objectifs développent au maximum la capacité des communications fixes à atteindre les objectifs de la mission et de la qualité de fonctionnement.

2 Protocoles de passage de jetons

Les schémas de gestion de jetons polyvalents sont propices au partage des canaux de données dans les réseaux à ondes décimétriques, où les taux de perte de paquets peuvent être extrêmement élevés en raison des variations imprévues de la propagation. La qualité de fonctionnement du réseau peut se trouver fortement dégradée si les nœuds sont déconnectés. En pareils cas, on observe une dégradation des débits de données. Les perturbations de la propagation peuvent réduire l'efficacité d'utilisation du spectre par les réseaux en ondes décimétriques.

Le passage de jetons est un moyen efficace de contrôler l'accès dans les réseaux très chargés. Toutefois, on a estimé qu'il était trop fragile pour être utilisé dans les réseaux caractérisés par d'importants taux de perte de paquets. La présente Recommandation indique une méthode de gestion de jetons qui permet une récupération rapide à la fois en cas de perte de jetons et de répétitions inutiles, tout en faisant face efficacement aux modifications apportées à la connectivité et au nombre d'abonnés du réseau.

Les protocoles de passage de jetons offrent en général des mécanismes pour que les nœuds puissent entrer dans le réseau et le quitter. Lorsqu'il faut recourir au passage de jetons dans un réseau WAN, les caractéristiques du support sans fil mettent en jeu d'autres paramètres pour la gestion des jetons:

- Le nœud qui détient le jeton peut perdre la connectivité avec son successeur, ce qui peut entraîner une perte du jeton.
- Le nœud qui détient le jeton peut perdre la connectivité avec le reste du réseau. Le réseau perd le jeton.
- Un réseau peut être subdivisé et un sous-réseau doit créer un nouveau jeton.
- Un nœud peut seulement être atteint par un autre nœud, de sorte qu'il n'est pas possible de créer une topologie en anneau s'il faut inclure ce nœud.
- Les nœuds de deux anneaux ou plus qui utilisent le même canal peuvent se trouver à faible distance l'un de l'autre. Il peut en résulter des brouillages, sauf si les anneaux fusionnent ou changent de canaux.
- Par suite de la fusion des anneaux ou de la récupération après la perte d'un anneau, il se peut qu'un anneau compte plusieurs jetons.

Pour remédier aux problèmes de connectivité, la méthode consiste à placer les nœuds qui ne font pas partie d'un anneau de passage de jetons actifs dans un état de déconnexion ou dans un état flottant, auquel cas ils peuvent escompter être invités à faire partie de l'anneau restant ou demander périodiquement à d'autres nœuds connectés de les intégrer.

Compte tenu des longs temps de traitement en boucle de la liaison inhérents à la technologie HFWAN existante, la durée de rotation du jeton est de l'ordre d'une minute. Par exemple, si le temps de traitement en boucle de la liaison est de 2 s et si chacun des N nœuds transmet pendant une durée maximale de 8 s lorsqu'il reçoit le jeton, on obtient un rendement du débit de 80% au maximum avec une durée de rotation (latence) allant jusqu'à $10 N$ s.

Si on limite les demandes d'entrée dans l'anneau à raison d'une rotation par jeton et que l'autorisation de demande passe d'un nœud à un autre, chaque nœud pourra présenter une demande d'entrée à raison d'une fois par N rotations de jeton.

Dans un anneau composé de dix nœuds, si on utilise le protocole d'anneau à jetons sans fil (WTRP) (qui n'est pas conçu pour les ondes décimétriques), il faudrait que les nœuds déconnectés restent en dehors du réseau pendant environ 10 min (en l'absence de réponses contradictoires à la demande éventuelle SOLICIT_SUCCESOR) (demander un successeur); il ne s'agit pas là d'un mode de fonctionnement intéressant pour un réseau dynamique du service fixe ou mobile.

Le temps qu'il faut pour que le protocole WTRP puisse former un nouvel anneau à partir des nœuds déconnectés des deux anneaux opposés sera, au minimum, aussi important: un petit anneau pourrait se former rapidement, mais il faudrait alors que les nœuds restants restent inactifs et attendent d'être invités à entrer dans l'anneau.

Les temps de récupération du passage HFTP sont plus intéressants. En cas de perte d'une liaison, le mécanisme exige que N intervalles de temps (dont la durée équivaut à celle d'un paquet, plus un temps de traitement en boucle) identifient un relais. Par conséquent, il faut un temps de transmission de paquet ainsi qu'un temps de traitement en boucle additionnels *pour chaque rotation de jeton*. Dans l'exemple du réseau de dix nœuds, cela correspond à une pause de moins de 30 s durant laquelle le relais est identifié et à l'allongement d'un bit de la durée de rotation du jeton de plus de 2%.

Lorsque les anneaux sont en "collision", les réseaux HFTP connaîtront des collisions de paquets jusqu'au moment où un des nœuds lance la fusion de l'anneau alors que les nœuds WTRP resteront silencieux dès qu'ils détectent un anneau étranger. Toutefois, dès que la demande MERGE_RINGS (fusionner les anneaux) est reçue et acceptée, les anneaux qui ont fusionné se remettront à transférer des données normalement après une durée équivalente à $(N + 1)$ temps de transmission de paquet + temps de traitement en boucle (c'est-à-dire, après l'émission SET_SUCCESOR (établir un successeur) et la rotation rapide du jeton de DOUBLE_TIME_TOKEN) (temps de jeton double). Ce temps est inférieur à 30 s dans l'exemple du réseau de dix nœuds.

3 Modems à large bande

3.1 Méthode multicanal

3.1.1 Fonctionnement en bandes latérales indépendantes (ISB)

Il existe des modems qui transmettent simultanément les données en de multiples bandes latérales indépendantes. Ce type de modem contient des modulateurs MDP/MAQ pour chaque canal audio (pour plus d'informations sur la modulation, voir l'Annexe 6 de la Recommandation UIT-R F.763-5), mais utilise un seul codeur de correction d'erreur directe dont les trains de bits de sortie sont répartis sur les différents canaux de transmission. Lorsque ces canaux se trouvent sur des fréquences contiguës, le rapport S/N des canaux a tendance à être semblable, bien que les erreurs de canaux ne soient pas parfaitement corrélées. Par conséquent, il est possible d'améliorer légèrement la sortie en recourant à la diversité de récepteur.

3.1.2 Fonctionnement dans des canaux non contigus

Lorsqu'on ne dispose pas d'un nombre suffisant de canaux contigus pour prendre en charge les demandes de données, il est nécessaire d'utiliser des canaux non contigus. Dans ce cas, les valeurs S/N du canal peuvent être très différentes de sorte que la distribution d'un seul train de bits codés entre tous les canaux n'est pas la solution optimale. Au lieu de cela, on produit des trains de bits codés pour chaque ensemble de canaux. Le contrôle de flux est indépendant pour chaque ensemble de canaux si bien que le débit total de données est maintenu près du maximum possible pour les fréquences utilisées.

3.1.2.1 Equipement en ondes décimétriques monocanal

Un canal de largeur nominale de 3 kHz dans la bande latérale supérieure (USB) ou dans la bande latérale inférieure (LSB) (sur sélection).

3.1.2.2 Equipement en ondes décimétriques multicanal

Comme on le verra ci-après, plusieurs dispositions des canaux sont possibles:

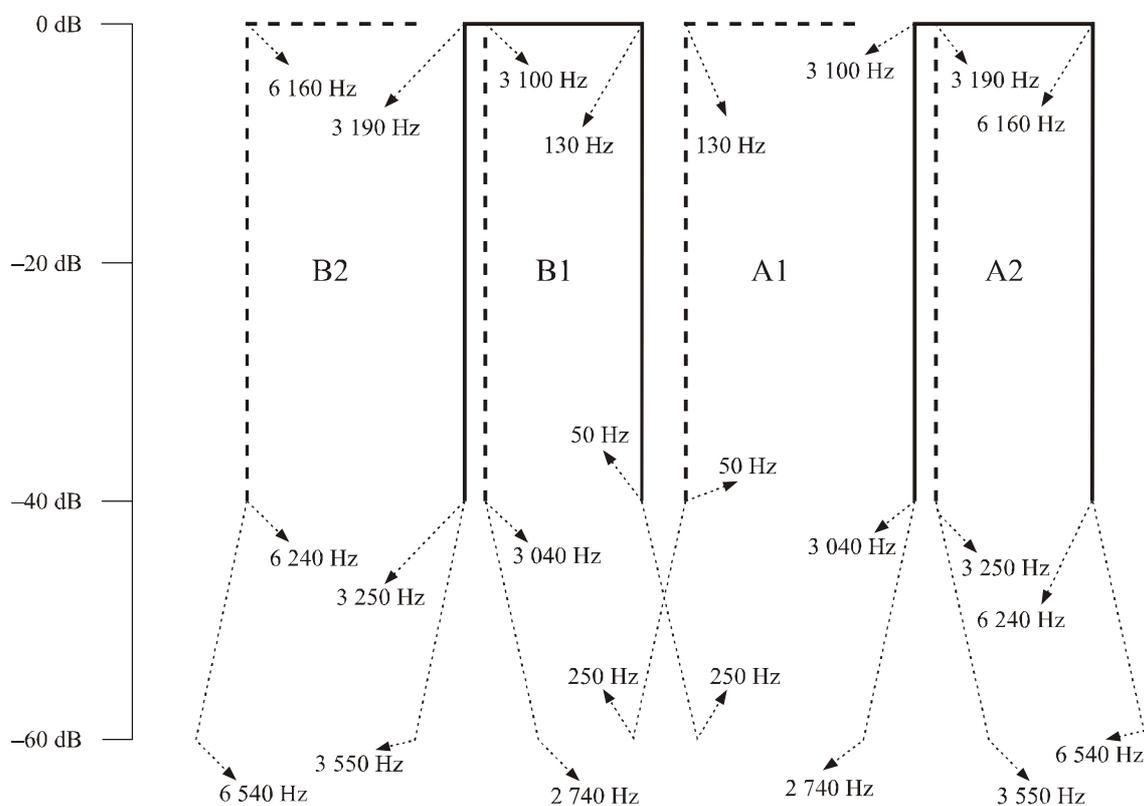
- Deux canaux de largeur nominale de 3 kHz dans la bande USB ou LSB (deux canaux indépendants dans la même bande latérale, avec possibilité de sélectionner cette dernière).
- Un canal de largeur nominale de 6 kHz dans la bande USB ou LSB (sur sélection).
- Deux canaux de largeur nominale de 3 kHz dans la bande USB et deux dans la bande LSB (quatre canaux indépendants de 3 kHz – deux dans chaque bande latérale).
- Un canal de largeur nominale de 6 kHz dans la bande USB et un dans la bande LSB (deux canaux indépendants de 6 kHz – un dans chaque bande latérale).
- Un canal de largeur nominale de 12 kHz dans la bande USB ou LSB (sur sélection).
- Un canal de largeur nominale de 3 kHz dans la bande USB et un dans la bande LSB (deux canaux indépendants de 3 kHz – un dans chaque bande latérale).

Lorsqu'il faut recourir au fonctionnement en bandes latérales indépendantes avec quatre canaux indépendants, chacun des canaux de 3 kHz devrait être configuré de la façon indiquée à la Fig. 1, qui indique également la réponse en amplitude de ces quatre canaux. Il convient d'inverser les canaux A2 et B2 et de les déplacer par rapport aux canaux A1 et B1, comme cela est indiqué sur la Figure. Pour ce faire, il est possible d'utiliser des fréquences de sous-porteuse de 6 290 Hz au-dessus et au-dessous de la fréquence porteuse centrale ou toute autre technique adaptée qui permette d'obtenir les déplacements et les inversions de canaux nécessaires.

La suppression d'une sous-porteuse peut être réalisée à condition qu'elle intervienne à au moins 40 dB au-dessous du niveau d'une tonalité unique dans le canal A2 ou B2 qui module l'émetteur à 25% de la puissance en crête, comme cela est indiqué sur la Fig. 1. La réponse en amplitude RF par rapport à la réponse en fréquence pour chaque canal ISB est comprise dans les limites de 2 dB entre 250 Hz et 3 100 Hz, par rapport à chaque porteuse de canal (réelle ou virtuelle). Pour chaque porteuse de canal, l'affaiblissement doit être au minimum de 40 dB à 50 Hz et 3 250 Hz et au minimum de 60 dB à 250 Hz et 3 550 Hz.

La distorsion due à la propagation de groupe ne devrait pas dépasser 1 500 μ s entre 370 Hz et 750 Hz et entre 3 000 Hz et 3 100 Hz, ni 1 000 μ s entre 750 Hz et 3 000 Hz et 150 μ s pour n'importe quel incrément de fréquence de 100 Hz entre 570 Hz et 3 000 Hz. Le retard absolu devrait être inférieur à 10 ms entre 300 Hz et 3 050 Hz. Les mesures sont réalisées de bout en bout (de l'entrée audio de l'émetteur jusqu'à la sortie audio du récepteur), les équipements radioélectriques étant configurés en mode dos à dos.

FIGURE 1
Fonctionnement en bandes latérales indépendantes avec quatre canaux



Note 1 – Les fréquences indiquées se situent au niveau des points d'inflexion en dB du filtre.

3.2 Système mondial de radiodiffusion numérique (DRM)

Des essais expérimentaux des systèmes DRM (voir la Recommandation UIT-R BS.1514-1) ont été réalisés en vue de leur utilisation par les services fixe et mobile.

Le système DRM est un système de transmission numérique de données à codage orthogonal avec largeur de bande limitée, qui est capable d'adapter ses caractéristiques de transmission pour répondre aux besoins du service et aux facteurs de propagation radioélectrique. A chacune des différentes sous-porteuses, on applique une modulation d'amplitude en quadrature (MAQ) pour transmettre le contenu de l'information qui comprend aussi des éléments de code pour la correction d'erreur directe. Deux constellations MAQ primaires sont utilisées: MAQ-64 et MAQ-16. En outre, pour obtenir une signalisation très fiable, il est possible d'utiliser la modulation par déplacement de phase quadrivalente (MDPQ). Par ailleurs, les données sont intercalées dans le temps par les sous-porteuses afin de neutraliser l'évanouissement temporel et l'évanouissement sélectif en fréquence. L'Institut européen des normes de télécommunication a publié l'option DRM dans son «Data Applications Directory» dont la page web peut être consultée à l'adresse <http://pda.etsi.org/pda/queryform.asp> en introduisant la fonction de recherche «data application directory».

3.3 Caractéristiques

TABLEAU 1

Caractéristiques des systèmes perfectionnés de radiocommunication numérique en ondes décamétriques

Paramètre	Mode de propagation		
	Onde de sol	Onde ionosphérique	
		NVIS	Incidence oblique
Bande de fréquences (MHz)	2-10	2-10	3-30
Zone de service approximative	Jusqu'à 80 km	Entre 80 et 200 km	Plus de 200 km
Polarisation de l'antenne	Verticale	Horizontale	Verticale/horizontale
Gain de l'antenne d'émission (dBi)	1-3	1-6	6-15
p.i.r.e. maximale (dBW)	1-29	10-32	16-55
S/N (dB) ¹	BLU 17 DRM 18	BLU 25 DRM 26	BLU 26 DRM 26
Largeurs de bande nécessaires et types d'émission ²	BLU/ISB: 3, 6, 9 et 12 kHz 3K00J2D, 6K00J2D, 9K00J2D et 12K0J2D		
	DRM: 3, 4,5, 5, 9, 10 et 20 kHz 3K00J2D, 4K50J2D, 5K00J2D, 9K0J2D, 10K0J2D, 20K0J2D		

NOTE 1 – Des informations détaillées sur les rapports S/N nécessaires sont fournies dans la Recommandation UIT-R F.339.

NOTE 2 – Dans le type d'émission, la dernière lettre (D) se réfère à la transmission de données. Si les émissions ne sont pas des données (D), remplacer (E) pour la voix, (C) pour la télécopie, (W) pour une combinaison de modes ou (X) pour les autres cas.

4 Conclusions

Avec les ondes décamétriques il est possible de réaliser des radiocommunications sans fil au-delà de la visibilité directe pour des applications qui vont de la ligne de visibilité directe étendue à l'intérieur d'une petite région jusqu'à la couverture mondiale pour les besoins de l'aviation commerciale, les secours maritimes et les messages de courrier électronique. Grâce aux liaisons longue distance disponibles utilisant des équipements à ondes décamétriques transportables, il est également possible d'établir des communications rapides dans les zones frappées par les catastrophes où l'infrastructure de Terre peut avoir été endommagée ou détruite.

En dépit de cette capacité à communiquer au-delà de la visibilité directe, compte tenu des phénomènes d'instabilité dans la propagation et d'autres effets de l'environnement, il peut arriver que certaines liaisons en ondes décamétriques soient indisponibles alors que d'autres restent intactes. Par conséquent, la fiabilité des réseaux en ondes décamétriques est améliorée lorsqu'un acheminement indirect est assuré. La plupart des voies d'acheminement dans un réseau en ondes décamétriques utilisent en général une seule liaison. Toutefois, lorsqu'il faut plusieurs options d'acheminement pour maintenir la qualité de service, il peut être utile d'avoir un mécanisme d'acheminement avec un seul relais.

Lorsque de nombreux nœuds en ondes décamétriques souhaitent partager un canal pour effectuer des communications efficaces point à multipoint ou point à point, il faut un protocole d'accès au canal. Il est alors possible d'utiliser un protocole de passage de jetons. Les caractéristiques du canal en ondes décamétriques: faible largeur de bande, retard important et perte élevée, imposent des conditions restrictives à ce protocole.

Lorsque les besoins de la transmission de données dépassent les débits pouvant être atteints avec des attributions nominales de 3 kHz, il est possible d'utiliser des mécanismes pour répartir la transmission de données entre de multiples canaux de ce type. Il existe des modems à large bande qui peuvent augmenter sensiblement le débit de données d'un réseau. Le fonctionnement en bandes latérales indépendantes peut admettre l'utilisation de canaux multiples afin d'augmenter la largeur de bande tout en maintenant l'efficacité spectrale.
