

RECOMMANDATION UIT-R F.764-1

CARACTÉRISTIQUES MINIMALES DES SYSTÈMES RADIOÉLECTRIQUES À ONDES DÉCAMÉTRIQUES UTILISANT UN PROTOCOLE DE TRANSMISSION PAR PAQUETS

(Question UIT-R 158/9)

(1992-1994)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il existe une demande croissante pour assurer un service de données numériques pratiquement sans erreur pour les systèmes radioélectriques à ondes décimétriques;
- b) qu'il est souhaitable de spécifier les caractéristiques des systèmes radioélectriques de transmission par paquets sur ondes décimétriques,

recommande

1. l'observation, par les protocoles des systèmes radioélectriques de transmission par paquets sur ondes décimétriques, des caractéristiques minimales suivantes;

1.1 que les protocoles de transmission par paquets sur ondes décimétriques supportent le débit le plus élevé pour un large éventail d'états des voies;

1.2 que les protocoles de transmission par paquets emploient des systèmes de détection et de correction d'erreur qui garantissent que la probabilité d'erreurs non détectées soit inférieure à 1×10^{-8} pour un taux d'erreur binaire brut dans la voie de 1×10^{-2} ;

1.3 que les protocoles de transmission par paquets utilisent, lorsqu'ils fonctionnent en mode ARQ, les algorithmes à répétition sélective, la redondance de la correction d'erreur directe (CED) devant être transmise en cas de demande de répétition du paquet erroné. Si le paquet répété est reçu correctement, l'information est récupérée et remise au destinataire du message. Si le paquet répété contient une ou plusieurs erreurs, les deux versions du paquet se rapportant à la même information sont soumises à une procédure CED pour vérifier si elles ne comportent pas d'erreurs. S'il apparaît que le paquet traité est exempt d'erreurs, l'information est remise à son destinataire. Les niveaux de CED peuvent être accrus à partir de 2 comme indiqué pour la qualité élevée. De plus, les valeurs de décision progressives du signal du paquet reçu peuvent servir à améliorer la qualité de la CED. Un tel système est décrit dans l'Annexe 2;

1.4 que la transmission des données se fasse en mode synchrone;

1.5 que le paquet contienne un préambule de taille suffisante pour que la synchronisation du rythme binaire du modem de réception puisse s'effectuer;

1.6 que le paquet comporte des valeurs de synchronisation de trame d'au moins 16 bits afin de réduire les erreurs de détection de trame;

1.7 que les paquets contiennent le code d'identification des stations d'émission et de réception afin d'éviter l'acceptation par erreur du trafic à destination d'autres stations;

1.8 que la station qui transmet les paquets applique une méthode quelconque de détection des porteuses, de détection des paquets ou de synchronisation en commun avec les autres stations qui partagent la même voie radioélectrique afin de réduire les collisions et les brouillages avec les paquets déjà en cours de transmission dans la voie;

2. que la présente Recommandation soit mise à jour au fur et à mesure de l'apparition de nouvelles techniques et de la diffusion d'informations pertinentes. L'étude des techniques d'optimisation des systèmes de transmission par paquets sur ondes décimétriques est également recommandée;

3. que les Notes suivantes soient considérées comme faisant partie de la Recommandation.

Note 1 – L'Annexe 1 décrit un système qui utilise un protocole de transmission par paquets sur ondes décimétriques.

Note 2 – L'Annexe 2 décrit un système qui utilise un protocole de transmission par paquets sur ondes décimétriques pour équipement de radiocommunication avec ARQ sélectif et CED.

Note 3 – L'Annexe 3 donne la liste des caractéristiques d'un contrôleur de nœud de terminal (TNC) incorporant le protocole AX.25 de transmission par paquets pour équipement de radiocommunication.

Note 4 – L'Annexe 4 décrit un système qui utilise un protocole de transmission par paquets sur ondes décimétriques, pour transmission de données, avec correction d'erreurs, détection d'erreurs non corrigibles et réémission des trames non reçues ou non corrigées.

ANNEXE 1

Équipement transportable de radiocommunication en ondes décimétriques pour la transmission de messages imprimés

1. Introduction

On trouvera ci-après la description d'un terminal de transmission de données qui, grâce à une interface, se relie à des équipements radioélectriques en ondes décimétriques pour transmettre des textes lorsque les conditions de propagation rendent impossibles les communications vocales intelligibles. Ce système est utilisable par des navires et dans des zones retirées dépourvues d'autres moyens de communication. Les caractéristiques principales du système sont:

- évaluation et choix de la voie en temps réel;
- liaison au réseau commuté pour la télécommande;
- mise en place économique dans les zones retirées.

2. Configuration du système

Le réseau de transmission de données est conçu pour fonctionner avec des émetteurs-récepteurs dans un réseau d'une capacité de 128 stations partageant un ensemble de fréquences communes.

3. Description du système

Le terminal a les dimensions d'une machine à écrire portative, comprenant un clavier alphanumérique, un affichage à diodes électroluminescentes (DEL) de 20 caractères et une imprimante à 20 colonnes. L'ensemble comporte également un processeur central, des modems et le circuit imprimé d'interface radioélectrique (Fig. 1). On peut entrer dans la mémoire du terminal un message comprenant 1 280 caractères au maximum. Ce message peut être vérifié sur l'écran ou l'imprimante et corrigé si besoin est. Lorsque l'opérateur est satisfait du contenu de la mémoire, le message peut être transmis au terminal de destination défini par l'introduction sur le clavier de l'adresse correspondante.

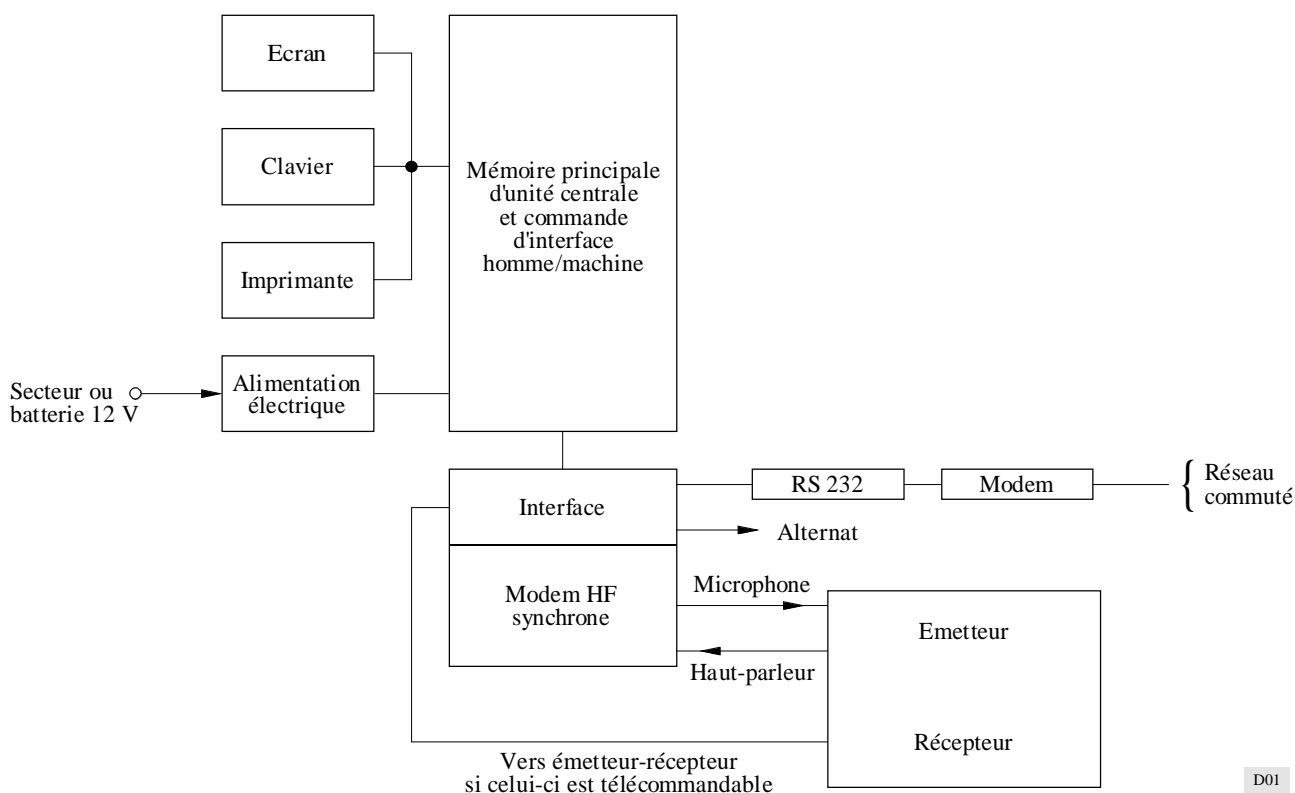
La transmission du message s'effectue suivant un protocole de transmission par paquets qui non seulement identifie l'expéditeur et le destinataire mais aussi permet à ce dernier de détecter les parties du message qui sont altérées par un brouillage ou un évanouissement. Une option ARQ est mise en route jusqu'à ce que le message soit correctement reçu. Le protocole est spécialement conçu pour fonctionner sur des émetteurs-récepteurs qui ne peuvent passer rapidement du mode réception au mode émission; la même fréquence est utilisée dans les deux directions.

Au fur et à mesure de la réception de chaque paquet, le terminal le met en mémoire et imprime automatiquement la totalité du message à la fin de la transmission. Un signal de confirmation est renvoyé au terminal d'origine pour indiquer que le message a été correctement reçu. La présence d'un opérateur à l'extrémité de réception n'est pas nécessaire.

Le système utilise la diversité de fréquences à l'intérieur de la bande pour combattre les évanouissements sélectifs. Deux modems MDF à déplacement de 170 Hz et fonctionnant à 100 bit/s sont utilisés pour transmettre des données identiques. Les données sont assemblées par mot de 8 bits comportant un bit de parité. Un code de redondance cyclique également de 8 bits est ajouté pour former un code résistant qui assure un taux d'erreur inférieur à une erreur sur 10^8 caractères après la mise en route de l'ARQ.

La sélection des canaux est commandée par le terminal. Le début d'émission du message engendre une procédure automatique de recherche par les stations d'une fréquence capable d'assurer le transfert des données parmi les fréquences assignées au réseau. De cette manière, la fiabilité du réseau est assurée même en l'absence d'opérateurs expérimentés. Si aucune fréquence appropriée n'est trouvée, un message est imprimé pour en informer l'expéditeur.

FIGURE 1
Terminal d'impression de messages



D01

Dans de bonnes conditions de propagation, un message de 630 caractères peut être transmis en 90 s. Lorsque les conditions de propagation sont médiocres, la rapidité de transfert de données est réduite de la durée de retransmission des parties altérées du message. Le système se met automatiquement hors service lorsque les conditions de propagation sont détériorées au point que le débit d'information se situe au-dessous d'une limite admissible. Cette caractéristique réduit le brouillage dans le spectre radioélectrique. En pareil cas, des messages imprimés informent l'expéditeur que le terminal n'est pas en mesure d'effectuer l'échange de communication.

4. Résultats des essais

Des essais complets ont été effectués pendant une année par l'intermédiaire de stations terrestres et de stations à bord de navires. La longueur du trajet était comprise entre 50 et 9 000 km et l'on a utilisé des émetteurs dont la puissance variait entre 50 et 300 W. Un certain nombre de trajets transauroraux ont été inclus dans les essais, lesquels ont porté sur toutes les saisons et sur toutes les heures de la journée. Plus d'un million de caractères ont été reçus et imprimés correctement sans erreurs de transmission non détectées. Cela démontre la qualité du protocole de protection contre les erreurs.

5. Exploitation en réseau des terminaux

Plusieurs combinaisons de terminaux de données sur voie radioélectrique peuvent être exploitées comme un réseau si le volume de trafic est faible et si ce trafic est réparti de manière uniforme aux nœuds. Toutefois, si le trafic à l'un des nœuds est concentré dans le temps, un blocage risque de se produire. Il faudrait alors prévoir au nœud surchargé une mémoire tampon capable de stocker les messages et de commander le réseau pour éliminer ce blocage. La mémoire tampon a été mise en œuvre avec un ordinateur de bureau classique relié au terminal à ondes décadiques par une interface RS 232. La mémoire tampon est connectée au réseau téléphonique commuté et permet à plusieurs utilisateurs d'avoir accès simultanément. Les messages envoyés par les différents utilisateurs forment une file d'attente et sont transmis lorsque la voie radioélectrique se libère. La mémoire tampon permet au terminal de recevoir un message pendant qu'un utilisateur envoie un message à transmettre.

ANNEXE 2

**Equipement de radiocommunication sur ondes décamétriques
pour la télécopie numérique et la transmission de messages imprimés****1. Introduction**

Un terminal automatique pour la télécopie numérique et la transmission de messages imprimés sur ondes décamétriques, est décrit dans la présente Annexe. Ce système présente les caractéristiques générales suivantes:

- évaluation et choix de fréquences en ondes décamétriques;
- accès à partir du réseau commuté pour l'exploitation avec des terminaux distants;
- stockage, mise en forme et transmission des messages à partir de disques supports;
- images de haute qualité de télécopie du Groupe 3 avec une résolution de $7,7 \times 3,85$ lignes/mm;
- débit amélioré grâce à un système ARQ hybride avec correction d'erreur sans voie de retour;
- construction compacte permettant l'insertion dans un emplacement de l'ordinateur personnel de type 8088;
- interface avec des émetteurs-récepteurs BLU à ondes décamétriques par l'intermédiaire de bornes audiofréquence.

2. Description du système

Le terminal est construit de manière à s'adapter à un ordinateur personnel basé sur un microprocesseur 8088 doté d'un système à disques permettant d'accomplir simultanément plusieurs tâches en même temps réel. Les ressources de l'ordinateur sont utilisées par le logiciel du terminal et l'utilisateur a accès au service de gestion des fichiers pour entrée ou extraction de l'information du terminal. L'information émise et reçue par le terminal est stockée dans la mémoire à disques de l'ordinateur.

Le modem à ondes décamétriques est un modem MDP à 12 voies (voir la Recommandation UIT-R F.436) avec un déplacement de fréquence de $\pm 42,5$ Hz et une séparation de 170 Hz entre les voies. Le modulateur et le démodulateur sont réalisés sous la forme de dispositifs de traitement des signaux numériques et une interface est prévue avec le bus de l'ordinateur. Le modem et le dispositif d'interface sont contenus dans une carte enfichable dans le bus de l'ordinateur. Les données sont introduites dans les modulateurs sous la forme de mots binaires à 12 bits à des intervalles de 10 ms par une borne parallèle de sortie des données. Les sorties du modem sont combinées et appliquées à l'entrée audiofréquence d'un émetteur de communication BLU à ondes décamétriques.

La sortie audiofréquence du récepteur BLU à ondes décamétriques est numérisée et introduite dans les 12 entrées du modem. Le démodulateur comporte une horloge à 100 Hz synchronisée avec le signal de données reçu. Chaque signal de sortie «en œil» du démodulateur est échantillonné au milieu de l'intervalle de temporisation des bits et l'échantillon est transformé en un mot numérique à 5 bits. A chaque intervalle de 10 ms, 12 échantillons de démodulateur sont transférés à la mémoire de l'ordinateur pour traitement. Bien que le débit de signalisation soit de 100 Bd, la présence de 12 voies donne un débit binaire brut de 1 200 bit/s.

Le terminal est conçu pour fonctionner avec un protocole de radiocommunication par paquets qui offre au système des possibilités d'échange d'informations de commande, telles que l'identification de la station, différents types de messages et des options. En particulier, ce protocole permet l'utilisation d'un algorithme ARQ répétitif sélectif qui assure l'intégrité des messages. Chaque paquet commence par une séquence de synchronisation des bits suivie par un mot de verrouillage de trame des paquets transmis sur toutes les voies. L'ordinateur combine toutes les données échantillonnées provenant de 12 voies et exécute une détection avec filtre adapté pour le mot de verrouillage de trame de paquets. L'information suivant le mot de verrouillage de trame est appelée en-tête de paquet. Les octets des données de l'en-tête de paquet sont transmis avec un code complet ayant une distance minimale de 3 (12, 8), transmis parallèlement par les 12 modulateurs. Ce code complet est décodé par le récepteur au moyen d'un algorithme de décodage à décision progressive. La validité d'un en-tête de paquet est vérifiée à l'aide d'un code de détection d'erreur à débit élevé qui est transmis dans le paquet d'en-tête. Pour l'en-tête de paquet, c'est la diversité de codage qui est appliquée au lieu de la diversité conventionnelle en fréquence dans la bande.

L'information est assemblée en 96 petits paquets et transmise après l'en-tête de paquet. Chaque paquet d'information contient des octets de données plus un numéro de séquence et un code de détection d'erreur. Les paquets d'information sont alors codés avec un code de correction d'erreur à demi-débit. Ce code de correction d'erreur est choisi de manière que l'information puisse être récupérée pour l'une ou l'autre moitié du paquet codé. L'émetteur ne transmet pas la partie parité des paquets codés initialement mais tient ceux-ci en réserve en vue de futures demandes de répétition. Chacun des 12 modulateurs est alimenté par 3 paquets d'information en séquence sans aucune duplication. En plus des paquets d'information, un paquet donnant le numéro de séquence des paquets contenus dans cette transmission est émis. Le terminal de réception vérifie qu'il n'y a pas d'erreur dans les paquets d'information; si un paquet est exempt d'erreur, l'information est mise en mémoire à l'emplacement approprié, indiqué par le numéro de séquence. Si le paquet d'information contient une ou plusieurs erreurs, les valeurs analogiques échantillonnées du paquet provenant de la sortie du démodulateur sont mises en réserve pour traitement ultérieur. Le terminal qui reçoit le message demande la répétition des paquets d'information restants dans le paquet d'accusé de réception. Chaque fois que l'émetteur doit répéter un paquet d'information, la partie parité de la version du code de détection d'erreur du paquet est émise. L'émetteur fait alterner la répétition du même paquet avec l'information et la partie parité du paquet codé. Si la partie parité du code de détection d'erreur du paquet est reçue sans erreur, l'information est récupérée par un processus d'inversion. Si la deuxième transmission contient aussi des erreurs, un processus de correction d'erreur à décision progressive est activé au moyen des échantillons enregistrés du même paquet à partir des première et seconde réceptions. La sortie du processus de correction d'erreur est vérifiée à l'aide du code de détection d'erreur du paquet avant que les données ne soient acceptées. Le récepteur combine linéairement les valeurs analogiques échantillonnées mises en mémoire du même paquet lorsque le paquet reçu ne satisfait pas au processus de détection d'erreur, afin d'établir la force du signal et d'utiliser la diversité temporelle. Lorsque l'émetteur doit répéter un paquet d'information, la répétition de ce paquet est faite par une voie différente, cela afin d'éviter toute perturbation qui subsisterait sur la voie.

Le terminal explore continuellement les fréquences radioélectriques assignées et, lorsque commence la transmission d'un message, le terminal d'origine de ce message appelle le terminal de destination en séquence sur toutes les voies radioélectriques assignées. La session de message est établie sur une fréquence adaptée à la transmission de données. Ainsi, la fiabilité du réseau est maintenue, même lorsque l'on ne dispose pas d'opérateurs expérimentés.

L'interface avec les équipements de télécopie du Groupe 3 de l'UIT-T est assurée par un accès spécial pratiqué dans la carte d'interface d'ordinateur du terminal. Le document est exploré avec une résolution de $7,7 \times 3,85$ lignes/mm et les données d'image sont comprimées à l'aide d'un algorithme sans erreur. On a constaté que cet algorithme était de 65% plus efficace que la technique de compression de données de l'appareil de télécopie du Groupe 4 de l'UIT-T. L'algorithme de compression d'image, appliqué à huit images test de l'UIT-T, donne une dimension moyenne d'image de 12 kilooctets. L'image comprimée est transmise à partir du fichier à disque, et le terminal de réception la place dans la mémoire à disque. L'image peut être agrandie par l'inverse de l'algorithme de compression de données et visionnée sur l'affichage vidéo de l'ordinateur ou imprimée par l'appareil de télécopie.

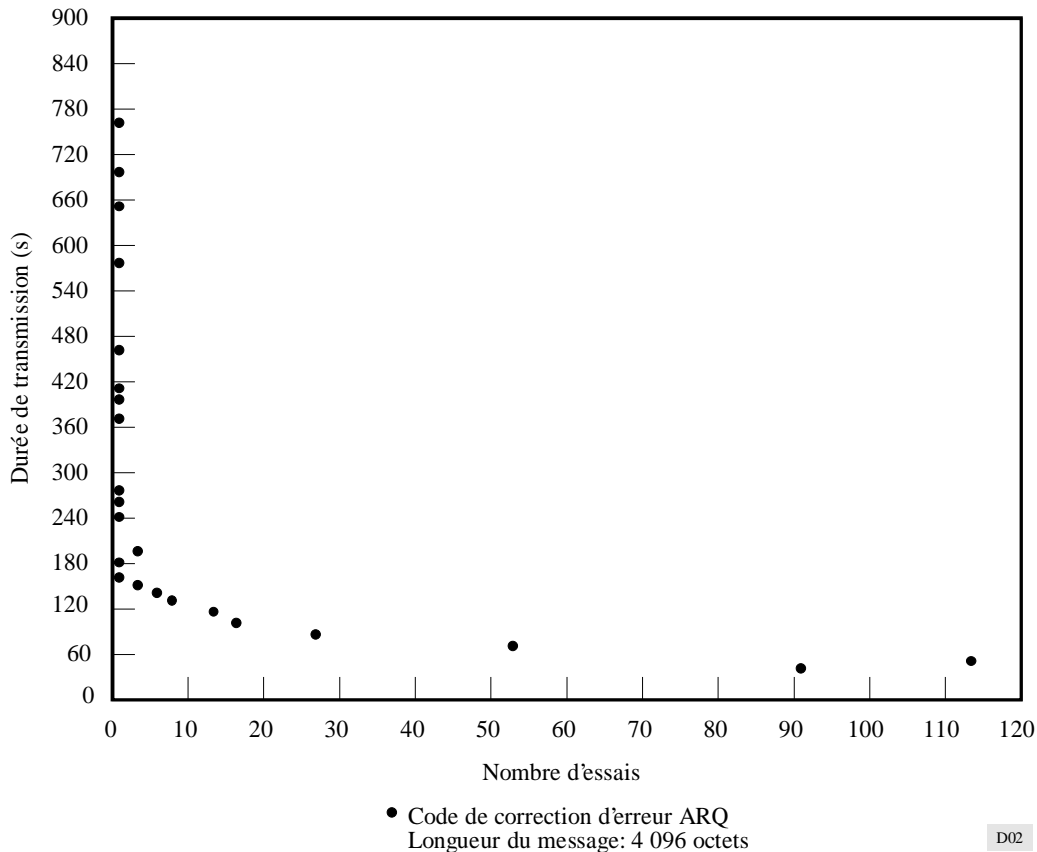
3. Résultats expérimentaux

Le système décrit a été mis à l'essai sur une liaison entre Ottawa et un emplacement proche de Vancouver, sur une distance de 3500 km. Un message test de 4096 octets était transmis périodiquement pendant une période de 15 jours. Les terminaux étaient programmés de manière à explorer trois voies radioélectriques assignées et aucun opérateur n'a été utilisé pour la sélection des voies. La Fig. 2 montre la distribution des temps de transmission pour 344 expériences faites au cours de cet essai. Des essais ont également été faits sur une liaison de 100 km au voisinage d'Ottawa; les résultats obtenus sont sensiblement les mêmes que pour l'essai à grande distance. On a contrôlé les fichiers des essais reçus pour voir s'ils contenaient des erreurs non décelées et constaté qu'il n'en a pas été relevé sur les 6 mégaoctets de données.

La conception du système à ondes décimétriques a permis d'obtenir des transmissions de données et de messages fiables sur des voies radioélectriques en ondes décimétriques. La mémoire ARQ applique une technique de diversité à la demande qui adapte le système aux modifications de l'état des voies, ce qui permet d'obtenir un débit supérieur par rapport aux systèmes utilisant la diversité de fréquence dans la bande et les simples protocoles ARQ qui éliminent les données reçues en présence d'erreur. Des modems parallèles sont utilisés de manière souple et les données peuvent être codées et étalées sur toutes les voies; les possibilités de correction du décodage à décision progressive améliorent la qualité de transmission lorsqu'une protection supplémentaire est nécessaire pour les en-têtes de paquet. Le dispositif intégré de contrôle des différentes fréquences radioélectriques améliore les chances d'établir une liaison dans

des conditions de propagation variables. L'algorithme de compression des données incorporées au logiciel du terminal effectue efficacement la compression des données, réduisant ainsi la dimension du fichier et le temps de transmission. Les images sont reproduites par le terminal de réception avec la même fidélité que l'image explorée dans le terminal d'émission, étant donné la protection contre les erreurs assurée par le protocole de transmission des données.

FIGURE 2
Distribution des temps de transmission



D02

Le système a été mis à l'essai sur des trajets ionosphériques à ondes décamétriques pendant une période de trois mois et la qualité de transmission a satisfait aux objectifs nominaux. Le terminal de télécopie et de transmission de données à ondes décamétriques offre un service de données fiable tout en utilisant peu d'équipements.

ANNEXE 3

Caractéristiques du contrôleur de nœud de terminal (TNC)

1. Le TNC comprend un modem qui lui permet d'être raccordé à la plupart des types d'équipements radioélectriques par des interfaces audio. Il est raccordé à un ordinateur par une interface RS 232-C.

Il permet la communication entre ordinateurs par l'intermédiaire de la radio.

2. Le TNC restructure le message émanant de l'ordinateur en paquets assortis d'une adresse de destination qui sont ensuite transmis par la radio. Le TNC de réception décode les paquets et transmet le message à l'ordinateur associé.

3. Les messages reçus sont pour la plupart exempts d'erreur, le TNC utilisant les codes de contrôle des erreurs (codes CRC) et l'ARQ.

4. Le TNC peut fonctionner avec la radio comme une station d'enregistrement et de retransmission de messages par paquets (baptisée «digipeater» en anglais).

Il est ainsi possible d'augmenter la distance de transmission ou de former un réseau pouvant, à son tour, être raccordé à d'autres réseaux.

5. Le TNC utilise un protocole AX.25 qui est fondé sur la Recommandation UIT-T X.25. Le protocole AX.25, mis au point pour être utilisé principalement sur les liaisons radioélectriques à ondes métriques et décimétriques, n'a pas été optimisé pour être utilisé sur des liaisons radioélectriques à ondes décamétriques.

ANNEXE 4

Système de transmission automatique de données en ondes décamétriques

1. Introduction

La présente Annexe décrit un système permettant la transmission automatique de données numériques, télécopies, fichiers, messages, en ondes décamétriques.

Le terminal est construit sur un ordinateur personnel de type IBM PC stockant les données à transmettre et les données reçues.

Il contient toutes les fonctions nécessaires pour choisir les meilleures fréquences disponibles à un instant donné pour communiquer avec un correspondant désigné.

Lorsque la meilleure fréquence (fonctionnement en simplex à l'alternat) ou les meilleures fréquences (fonctionnement en semi-duplex à l'alternat) ont été choisies, la transmission d'un message, d'une télécopie, ou de tout autre fichier de données, est réalisée au moyen d'une procédure combinant codage de correction d'erreur directe, détection d'erreurs et retransmission sélective des paquets erronés.

2. Description de la procédure de transmission de données

2.1 Principes

La procédure de transmission de données est un protocole de niveau 2 (LLP Link Level Protocol) dont la conception respecte l'architecture OSI.

Il est compatible avec la forme d'onde d'un modem série adaptatif (par exemple, conforme au STANAG 4285).

L'unité de base transmise est une trame de 106,6 ms contenant 128 symboles utiles.

Il permet la transmission à l'alternat de données par trames acquittées sélectivement. Chaque trame non reçue ou non corrigée est réémise de façon sélective jusqu'à son acquittement par le récepteur signifiant ainsi une réception sans erreur de la trame de données.

Le protocole possède les mécanismes permettant:

- la connexion de la liaison d'une station maîtresse (émetteur du fichier de données) vers une station esclave (récepteur du fichier de données);
- le transfert de données avec adaptativité en puissance, débit et fréquence en fonction de la qualité du canal HF;
- le contrôle de flux: la station esclave peut demander à la station maîtresse de cesser l'envoi de blocs de données;
- le retournement d'alternat pendant une même connexion (les rôles maîtresse-esclave sont inversés);
- la déconnexion de la liaison.

Le mode ARQ de niveau 2 s'appuie sur les fonctionnalités de niveau 1 suivantes:

- sélection automatique de fréquence pour la recherche d'une fréquence passante pour effectuer la connexion et réaliser l'adaptativité en fréquence;
- débits du modem choisis parmi les 3 suivants:
 - 3 600 bit/s (modulation MDP-8),
 - 2 400 bit/s (modulation MDP-4),
 - 1 200 bit/s (modulation MDP-2).

Chaque trame modem est codée par un code de Reed-Solomon portant sur des symboles de 8 bits et assurant les fonctions de correction d'erreurs et de détection d'erreurs non corrigibles.

2.2 *Unités de transmission de base du protocole*

Le protocole utilise les unités principales suivantes qui sont similaires à celles d'un protocole de type HDLC:

2.2.1 Les unités de données du protocole de liaison LPDU (Link Protocol Data Unit) qui correspondent à une trame modem de 106,6 ms.

Une LPDU de données ou d'acquiescement contient, hors codage de correction d'erreur et habillage de niveau 2:

- 29 octets utiles correspondant à un débit utile moyen de 2 400 bit/s,
- 21 octets utiles correspondant à un débit utile moyen de 1 800 bit/s,
- 13 octets utiles correspondant à un débit utile moyen de 1 200 bit/s,
- 5 octets utiles correspondant à un débit utile moyen de 600 bit/s.

Des LPDU de supervision sont affectées au contrôle de flux et au marquage de la liaison lorsqu'il n'y a pas de données à transmettre et aux demandes de connexion et de déconnexion de la liaison.

2.2.2 Les unités de données du service de liaison LSDU (Link Service Data Unit) sont les unités de données à transmettre. Une LSDU a une taille maximum de 10 koctets et est segmentée en plusieurs LPDU pour la transmission.

2.3 *Description du protocole*

2.3.1 *Connexion*

Cette phase se déroule en deux étapes:

- sélection automatique de fréquence,
- après choix de la fréquence:
 - envoi par l'appelant d'une LPDU CR (Connection Request): demande de connexion,
 - acquiescement par l'appelé avec une LPDU CC (Connection Confirmation): confirmation de connexion.

La connexion est effectuée.

2.3.2 *Transfert de données*

2.3.2.1 *Mécanisme d'acquiescement sélectif*

Le mécanisme d'acquiescement repose sur le découpage des LSDU en blocs de 256 LPDU. Chaque bloc est découpé en supertrames contenant au maximum 64 trames (LPDU) d'informations.

Ce sont les blocs de chaque supertrame qui sont acquiescés sélectivement par le poste récepteur. L'acquiescement est constitué par une LPDU indiquant les trames non reçues. Les trames non reçues ou non corrigées sont réémises en début d'une nouvelle supertrame. La supertrame est complétée avec les nouvelles trames restant à émettre. Les numéros du premier octet non reçu et du premier octet à transmettre sont gérés par des variables analogues à celles d'un protocole HDLC (N_NOT_RECEIVE et N_TO_SEND). Au maximum, il y a un écart de 256 trames entre deux trames au sein d'une supertrame (fenêtre d'anticipation).

Exemple

- Supertrame émise:

0	1	2	3	58	59	60	61	62	63
---	---	---	---	-----	-----	----	----	----	----	----	----

- Accusé de réception:
0, 7, 45 non reçus
- Supertrame émise:

0	7	45	64	65	...	119	120	121	122	123	124
---	---	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

- etc.

2.3.2.2 Adaptativité

Trois mécanismes d'adaptativité sont mis en œuvre: l'adaptativité en puissance, l'adaptativité en débit et l'adaptativité en fréquence.

Les critères de déclenchement des mécanismes d'adaptativité sont basés sur le nombre de trames non reçues ou non corrigées et la réception ou non des accusés de réception.

La première émission se fait à la puissance définie après la phase de sélection automatique de fréquence. Il y a passage à la puissance d'émission maximale, en cas d'indication de non-réception de trames. Si la supertrame est correctement reçue, l'appelant baisse le niveau de la puissance d'un cran. Le processus est dissymétrique: la montée en puissance est plus rapide que la décroissance.

Si la qualité de la transmission se révèle trop dégradée, il y a passage à l'adaptativité en débit parmi 3 débits possibles. A partir d'un certain nombre de trames ou d'accusés de réception non reçus, il y a passage à un codage correspondant à un débit de transmission plus faible. En cas d'amélioration de la qualité de liaison, il y a passage à un débit supérieur.

Lorsque au débit le plus faible la qualité de transmission n'est pas suffisante, il y a déconnexion momentanée, une nouvelle sélection de fréquence est effectuée et la transmission est reprise sur une nouvelle fréquence sans perte de données.

Les critères d'adaptativité sont paramétrables et la phase d'adaptativité en débit peut être débrayée en fonction du besoin.

2.3.2.3 Contrôle de flux et marquage

A la fin de réception d'une LSDU, si le récepteur n'est pas prêt à recevoir une autre LSDU, il y a transmission de trames RNR (Receive not Ready) vers l'appelé indiquant la saturation du récepteur. La transmission reprend sur initiative du récepteur: transmission de trames RR (Receive Ready) lorsque celui-ci est disponible.

Lorsqu'il n'y a pas de données à transmettre la connexion est maintenue par le niveau 2 par l'envoi d'un marquage constitué de trames RR.

2.3.3 Déconnexion

La déconnexion normale se fait à l'initiative de la station maîtresse de la liaison qui envoie une LPDU DISC (DISConnection) et attend la confirmation de la déconnexion (LPDU UA Unnumbered ACK).

Il peut y avoir refus de la déconnexion par la station esclave (LPDU FRMR: FRaMe Reject). La station maîtresse émet alors une trame indiquant un passage de jeton à la station esclave qui doit l'acquiescer. Il y a alors basculement de la connexion et inversion des rôles maîtresse-esclave.

3. Résultats

La Fig. 3 indique le débit utile moyen obtenu par simulation en fonction du rapport signal/bruit pour un codage correcteur direct correspondant à un débit utile de 1 800 bit/s sur différents canaux normalisés.

FIGURE 3
Débit utile moyen

