

ILNAS

Institut luxembourgeois de la normalisation
de l'accréditation, de la sécurité et qualité
des produits et services

ILNAS-EN 16603-50-16:2021

Ingénierie spatiale - Ethernet à déclenchement temporel (TTE)

Raumfahrttechnik - Zeitgesteuertes
Ethernet

Space engineering - Time triggered
Ethernet

12/2021



Avant-propos national

Cette Norme Européenne EN 16603-50-16:2021 a été adoptée comme Norme Luxembourgeoise ILNAS-EN 16603-50-16:2021.

Toute personne intéressée, membre d'une organisation basée au Luxembourg, peut participer gratuitement à l'élaboration de normes luxembourgeoises (ILNAS), européennes (CEN, CENELEC) et internationales (ISO, IEC) :

- Influencer et participer à la conception de normes
- Anticiper les développements futurs
- Participer aux réunions des comités techniques

<https://portail-qualite.public.lu/fr/normes-normalisation/participer-normalisation.html>

CETTE PUBLICATION EST PROTÉGÉE PAR LE DROIT D'AUTEUR

Aucun contenu de la présente publication ne peut être reproduit ou utilisé sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit - électronique, mécanique, photocopie ou par d'autres moyens sans autorisation préalable !

ICS 49.140

Version Française

Ingénierie spatiale - Ethernet à déclenchement temporel (TTE)

Raumfahrttechnik - Zeitgesteuertes Ethernet

Space engineering - Time triggered Ethernet

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 5 décembre 2021.

Les membres du CEN et CENELEC sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion du CEN-CENELEC ou auprès des membres du CEN et CENELEC.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN et CENELEC dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion du CEN-CENELEC, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN et du CENELEC sont les organismes nationaux de normalisation et les comités électrotechniques nationaux des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Macédoine du Nord, République de Serbie, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.



**CEN-CENELEC Management Centre:
Rue de la Science 23, B-1040 Brussels**

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Avant-propos européen..... | 8 |
| 1 Domaine d'application | 9 |
| 2 Références normatives..... | 10 |
| 3 Termes, définitions et abréviations | 11 |
| 3.1 Termes définis dans d'autres normes | 11 |
| 3.2 Termes spécifiques à la présente norme | 11 |
| 3.3 Abréviations..... | 14 |
| 3.4 Nomenclature | 16 |
| 4 Vue d'ensemble..... | 17 |
| 4.1 Modèle de référence | 17 |
| 4.2 Couche physique | 17 |
| 4.3 Couche liaison de données..... | 18 |
| 4.3.1 Vue d'ensemble de la couche liaison de données | 18 |
| 4.3.2 Fonctionnalités de la couche liaison de données..... | 19 |
| 4.3.3 Ethernet à déclenchement temporel (TTEthernet)..... | 19 |
| 4.4 Niveau réseau..... | 21 |
| 4.4.1 Vue d'ensemble du niveau réseau | 21 |
| 4.4.2 Traitement des messages au niveau du commutateur | 23 |
| 4.4.3 Briques de base du réseau Ethernet à déclenchement temporel (réseau TTEthernet)..... | 27 |
| 4.4.4 Liaison virtuelle (VL)..... | 28 |
| 4.4.5 Réglementation du trafic à déclenchement temporel..... | 29 |
| 4.4.6 Réglementation du trafic à débit contraint | 29 |
| 4.4.7 Synchronisation des horloges | 29 |
| 4.5 Concept de redondance..... | 33 |
| 4.5.1 Introduction | 33 |
| 4.5.2 Trafic TT | 34 |
| 4.5.3 Trafic RC..... | 35 |
| 4.6 Modes de défaillance | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 5 Architecture réseau | 36 |
| 5.1 Vue d'ensemble | 36 |
| 5.1.1 Introduction | 36 |
| 5.1.2 Topologie de réseau à canal simple | 36 |
| 5.1.3 Topologie de réseau à canal double | 37 |
| 5.1.4 Topologie de réseau à canal triple | 38 |
| 5.1.5 Topologie de réseau mixte | 39 |
| 5.1.6 Topologie à plusieurs réseaux | 40 |
| 5.1.7 Compatibilité avec le réseau Ethernet standard | 42 |
| 5.2 Exigences relatives aux topologies de réseau | 42 |
| 5.2.1 Topologie de réseau simple | 42 |
| 5.2.2 Topologie à plusieurs réseaux | 44 |
| 6 Services liés aux dispositifs | 45 |
| 6.1 Vue d'ensemble | 45 |
| 6.2 Sous-couche de contrôle d'accès au support (MAC)..... | 46 |
| 6.2.1 Fonctions de la sous-couche MAC..... | 46 |
| 6.2.2 Adressage MAC..... | 46 |
| 6.2.3 Classes de trafic | 47 |
| 6.2.4 Émission au niveau MAC | 48 |
| 6.2.5 Réception au niveau MAC..... | 49 |
| 6.2.6 Réglementation du trafic au niveau du commutateur..... | 49 |
| 6.2.7 Émission de trames au niveau du commutateur | 50 |
| 6.2.8 Routage de trames au niveau du commutateur | 51 |
| 7 Spécification de l'interopérabilité | 52 |
| 7.1 Vue d'ensemble | 52 |
| 7.2 Spécification des dispositifs | 53 |
| 7.2.1 Description des paramètres des dispositifs | 53 |
| 7.2.2 Exigences générales..... | 54 |
| 7.2.3 Spécifications relatives au commutateur | 54 |
| 7.2.4 Transfert de trames au niveau du commutateur | 54 |
| 7.2.5 Spécifications relatives au système d'extrémité..... | 57 |
| 7.2.6 Synchronisation d'horloge | 59 |
| 7.3 Paramètres de configuration | 59 |
| 7.3.1 Paramètres relatifs au niveau des dispositifs et à la synchronisation des horloges | 59 |
| 7.4 Lignes directrices pour la configuration et la planification..... | 66 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 7.4.1 | Vue d'ensemble | 66 |
| 7.4.2 | Retards | 66 |
| 7.4.3 | Latences | 68 |
| 7.4.4 | Horloge transparente | 68 |
| 7.5 | Exigences de planification..... | 69 |
| 7.5.1 | Retards à identifier | 69 |
| 7.5.2 | Compensation des retards | 69 |
| 7.5.3 | Latence d'une trame PCF..... | 70 |
| 7.5.4 | Horloge transparente maximale | 70 |
| 7.5.5 | Gigue de l'horloge transparente d'une PCF..... | 71 |
| 7.5.6 | Paramètre de précision | 71 |
| 7.5.7 | Écart minimal entre liaisons TT | 72 |
| 7.5.8 | Créneau de réception d'un commutateur TT | 72 |
| 7.5.9 | Transmission minimale sur un commutateur TT..... | 74 |
| 7.5.10 | Réception sur un système d'extrémité TT | 74 |
| 8 | Configuration du réseau et des services | 75 |
| 8.1 | Vue d'ensemble | 75 |
| 8.2 | Exigences générales..... | 76 |
| 8.2.1 | Vue d'ensemble | 76 |
| 8.2.2 | Protocole Internet (IP) | 76 |
| 8.2.3 | UDP | 77 |
| 8.2.4 | ICMP..... | 78 |
| 8.3 | Chargement de données par TFTP..... | 79 |
| 8.3.1 | Présentation du protocole simplifié de transfert de fichiers (TFTP)..... | 79 |
| 8.3.2 | Exigences en matière de chargement des données | 80 |
| 8.4 | Informations de diagnostic et d'état du réseau via SNMP | 80 |
| 8.4.1 | Présentation du protocole simplifié de gestion de réseau (SNMP) | 80 |
| 8.4.2 | Exigences du protocole SNMP..... | 82 |
| 8.4.3 | Exigences en matière de diagnostics et d'informations d'état | 83 |
| 8.4.4 | Mode de surveillance | 86 |
| 8.5 | Gestion des erreurs dans un système d'extrémité et un commutateur | 86 |
| 9 | Essai et vérification | 88 |
| 9.1 | Spécification d'essai | 88 |
| 9.2 | Références d'essai | 88 |
| 9.2.1 | Vue d'ensemble | 88 |
| 9.2.2 | Exigences d'implémentation au niveau du système..... | 88 |

| | |
|---|-----------|
| 10 Adaptation | 90 |
| 10.1 Domaine d'application..... | 90 |
| 10.2 Options et paramètres d'adaptation | 90 |
| 10.2.1 Vue d'ensemble | 90 |
| 10.2.2 Étape 1 : Sélection des services et des fonctions..... | 90 |
| 10.2.3 Étape 2 : Configuration des services..... | 90 |
| 10.3 Adaptation à l'IEEE 802.3 | 91 |
| 10.4 Adaptation à la SAE AS6802 | 95 |

Annexe A (informative) Licences de brevets 96

| | |
|---|----|
| A.1 Domaine d'application..... | 96 |
| A.2 Vue d'ensemble des brevets sur l'Ethernet à déclenchement temporel..... | 96 |
| A.3 Formulaire de demande de licence de brevet TTE..... | 98 |

Bibliographie..... 100

Figures

| | |
|---|----|
| Figure 3-1 : Structure d'un paquet | 13 |
| Figure 4-1 : Modèle de référence OSI | 17 |
| Figure 4-2 : Modèle de couche physique..... | 18 |
| Figure 4-3 : Couche liaison de données | 18 |
| Figure 4-4 : : Services Ethernet à déclenchement temporel | 20 |
| Figure 4-5 : Partitionnement du trafic..... | 21 |
| Figure 4-6 : Canal de communication réseau | 22 |
| Figure 4-7 : Exemple de réseau TTE..... | 22 |
| Figure 4-8 : Liaisons full-duplex..... | 23 |
| Figure 4-9 : Traitement des messages au niveau du commutateur | 24 |
| Figure 4-10 : Prémption..... | 25 |
| Figure 4-11 : Shuffling | 25 |
| Figure 4-12 : Réservation de support | 26 |
| Figure 4-13 : Briques de base du réseau..... | 27 |
| Figure 4-14 : Exemples de briques de base de réseau..... | 27 |
| Figure 4-15 : Liaison virtuelle..... | 28 |
| Figure 4-16 : Réservation de bande passante | 29 |
| Figure 4-17 : Algorithme de synchronisation des horloges à deux étapes pour l'Ethernet à déclenchement temporel | 30 |
| Figure 4-18 : Exemple d'échange de trames d'intégration PCF | 33 |
| Figure 4-19 : Communication avec redondance | 33 |

| | |
|---|----|
| Figure 4-20 : Gestion de la redondance au niveau du récepteur | 34 |
| Figure 5-1 : Topologie de réseau à canal simple | 36 |
| Figure 5-2 : Topologie de réseau à canal simple sans commutateurs en cascade | 37 |
| Figure 5-3 : Topologie de réseau à canal simple avec commutateurs en cascade | 37 |
| Figure 5-4 : Topologie de réseau à canal double..... | 37 |
| Figure 5-5 : Redondance de réseau à canal double sans commutateurs en cascade..... | 38 |
| Figure 5-6 : Redondance de réseau à canal double avec commutateurs en cascade..... | 38 |
| Figure 5-7 : Topologie de réseau redondant à canal triple..... | 38 |
| Figure 5-8 : Redondance de réseau à canal triple sans commutateurs en cascade | 39 |
| Figure 5-9 : Redondance de réseau à canal triple avec commutateurs en cascade | 39 |
| Figure 5-10 : Architecture mixte..... | 40 |
| Figure 5-11 : Topologie à plusieurs réseaux..... | 41 |
| Figure 5-12 : Recommandation pour l'affectation des priorités de synchronisation | 41 |
| Figure 5-13 : Topologie Ethernet à déclenchement temporel comportant des nœuds Ethernet standard..... | 42 |
| Figure 6-1 : Services liés aux couches OSI | 45 |
| Figure 6-2 : Adresse MAC de destination | 46 |
| Figure 6-3 : Adresse MAC source..... | 46 |
| Figure 7-1 : Interface entre l'outil de configuration et la couche IP | 52 |
| Figure 7-2 : Exemple de retards au niveau du système | 67 |
| Figure 7-3 : Exemple de retards liés à un dispositif | 67 |
| Figure 7-4 : Impact des retards sur la précision de la synchronisation | 68 |
| Figure 7-5 : Impact des retards sur la précision de la synchronisation..... | 69 |
| Figure 7-6 : Impact des retards sur la précision de la synchronisation..... | 70 |
| Figure 8-1 : Couches des services de diagnostic et de surveillance du réseau..... | 76 |
| Figure 8-2 : Types de message FTP | 80 |
| Figure 8-3 : Protocole simplifié de gestion de réseau (SNMP)..... | 81 |
| Figure 8-4 : Architecture SNMP globale..... | 82 |

Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 6-1 : ID d'interface | 47 |
| Tableau 7-1 : Table des paramètres généraux d'interopérabilité | 53 |
| Tableau 7-2 : Table des paramètres d'interopérabilité du commutateur..... | 53 |
| Tableau 7-3 : Table des paramètres d'interopérabilité du système d'extrémité | 54 |
| Tableau 7-4 : Paramètres de planification d'un système d'extrémité..... | 60 |
| Tableau 7-5 : Paramètres des VL de sortie d'un système d'extrémité..... | 60 |
| Tableau 7-6 : Paramètres des VL d'entrée d'un système d'extrémité..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Tableau 7-7 : Paramètres de filtrage BE d'un système d'extrémité | 61 |
| Tableau 7-8 : Paramètres de synchronisation d'horloge d'un système d'extrémité | 61 |
| Tableau 7-9 : Paramètres généraux d'un système d'extrémité | 63 |
| Tableau 7-10 : Paramètres de planification d'un commutateur | 63 |
| Tableau 7-11 : Paramètres des VL de sortie du commutateur | 63 |
| Tableau 7-12 : Paramètres des VL d'entrée du commutateur | 64 |
| Tableau 7-13 : Paramètres de filtrage BE d'un commutateur | 64 |
| Tableau 7-14 : Paramètres de synchronisation d'horloge d'un commutateur | 64 |
| Tableau 7-15 : Paramètre général d'un commutateur | 66 |
| Tableau 7-16 : Table des paramètres de l'horloge transparente maximale | 71 |
| Tableau 7-17 : Table des paramètres de précision | 72 |
| Tableau 7-18 : Instant de début et de fin du créneau de réception d'un commutateur TT | 73 |
| Tableau 7-19 : Table des paramètres du créneau de réception d'un commutateur TT | 73 |
| Tableau 10-1 : Sélection des exigences | 91 |
| Tableau 10-2 : Adaptation à la norme [IEEE 802.3] — Partie 3 | 91 |
| Tableau 10-3 : Adaptation à la norme [SAE AS6802] | 95 |
| Tableau A-1 : Synchronisation des horloges | 96 |
| Tableau A-2 : Communication à déclenchement temporel | 97 |
| Tableau A-3 : Sûreté de fonctionnement | 97 |