COFDM

Pratiquement depuis le début de la communication électrique, c'est-à-dire depuis environ un siècle, des méthodes de modulation monoporteuse sont utilisées pour transmettre des informations. Le message à transmettre est imprimé sur une porteuse sinusoïdale au moyen d'une modulation d'amplitude, de fréquence ou de phase. Depuis les années 1980, la transmission utilisant ces méthodes de modulation à porteuse unique se fait de plus en plus numériquement, d'abord sous la forme d'une modulation par décalage de fréquence, puis par modulation vectorielle (QPSK, QAM). Les principales applications étaient le fax et le modem, puis la radio mobile, le relais radio numérique, ainsi que la transmission par satellite et la transmission de données via un câble à large bande. Cependant, certains chemins de transmission ont des propriétés qui rendent l'utilisation de processus à une seule porteuse relativement sujette à l'échec, complexe ou inadéquate. Ces voies de transmission sont principalement le terrestre, c'est-à-dire terrestre et donc en fait les voies de transmission conservatrices. Depuis Marconi et Hertz cependant, ce sont précisément ces voies de transmission qui sont les plus utilisées. Ce chemin de réception terrestre est utilisé pour la radio et la télévision, la radio mobile, les équipements radio classiques ou pour le WLAN. Chaque conducteur connaît «l'effet feu rouge» lorsqu'il reçoit la radio dans la voiture; vous vous arrêtez à un feu rouge et parfois la réception s'arrête, vous vous retrouvez dans un "point mort". En raison de la réception réutilisable, il y a un fondu sélectif en fonction de la fréquence et de l'emplacement. Cela est dû au chevauchement de deux trajets de signal avec un déphasage de 180 degrés.

Dans le domaine de la radio terrestre, des interférences sinusoïdales ou impulsionnelles à bande étroite ou à large bande peuvent également être attendues, ce qui peut nuire à la réception. L'emplacement, le type et l'orientation, ainsi que la mobilité, c'est-à-dire le mouvement, jouent un rôle. Cela vaut également pour la réception radio et TV, ainsi que pour la réception mobile via les téléphones portables. Les conditions de réception terrestre sont les plus difficiles du tout. Il en va de même pour l'ancienne ligne bifilaire du secteur des télécommunications. Des échos, la diaphonie d'autres lignes à deux fils, des interférences d'impulsion, ainsi que l'amplitude et le temps de retard de groupe peuvent s'y produire. ADSL et

NEXT CHAPTER

Cependant, considérons d'abord l'évolution historique de la radiodiffusion audio. L'âge de la transmission des signaux audio pour

La radiodiffusion a commencé en 1923 avec la radiodiffusion à ondes moyennes

(AM, par exemple Königs Wusterhausen près de Berlin). Le premier est allé en 1949

Les émetteurs VHF en service en Europe (Rohde & Schwarz) et les réseaux VHF sont toujours en ondes. En 1982, le pas de chacun a commencé

du signal audio analogique au signal audio numérique grâce à l'introduction du

Compact Disc, le CD audio. 1991 a été lancé en Europe par satellite

pour la première fois diffusé des signaux audio numériques destinés au grand public, à savoir DSR - Digital Satellite Radio. Ce processus, qui a fonctionné sans compression, n'a pas eu une longue durée de vie

et était peu connu de la population. 1993 est allé en Europe

ADR - Astra Digital Radio en service, diffusée sur les sous-porteuses des transpondeurs du système satellite ASTRA, sur laquelle également

les programmes de télévision analogique ont été diffusés. En 1989,

Le processus MUSICAM fixe, qui est toujours utilisé dans le contexte de MPEG-1 et MPEG-2 dans la couche II pour la compression audio et est également utilisé pour DAB, plus précisément, a même été développé dans le cadre du projet DAB pour DAB. Au début des années 1990, le processus DAB - la diffusion audio numérique - a été développé dans le cadre du projet EUREKA 147. Le DAB a révolutionné les nouvelles technologies audio MPEG-1 et MPEG-2 et la méthode de modulation COFDM - Multiplex à division de fréquence orthogonale codée. Au milieu des années 1990, les normes pour la télévision numérique sont finalement devenues DVB-S, DVB-C et DVB-T dans le cadre de la diffusion vidéo numérique.

2.26 Comparaison de DAB et DVB

achevé, l'ère de la télévision numérique était à présent entrée en vigueur. Depuis 2001, il existe une autre norme de radio numérique, à savoir DRM - Digital Radio Mondiale, destinée aux ondes numériques courtes et moyennes, qui est également basée sur COFDM, mais utilise le codage audio MPEG-4 AAC.

Le premier essai pilote DAB a été réalisé à Munich en 1991.

L'Allemagne avait une couverture DAB d'environ 80% surtout jusqu'en 2010. dans le volume III. Il y avait aussi des stations en bande L pour les émissions locales. Le DAB était longtemps inconnu du public en Allemagne, mais depuis 2011 la publicité pour la «radio numérique» est forte; Les récepteurs combinés VHF / DAB / DAB + sont désormais nombreux. Le DAB a été fortement développé au Royaume-Uni en 2003/2004. Il existe des activités DAB / DAB + dans de nombreux pays, et depuis 2014 également en Autriche.

Une comparaison de DVB et DAB devrait initialement contraster les caractéristiques de base des deux méthodes et montrer les différences et les propriétés. Fondamentalement, il est possible de rendre la transmission de données synchrone ou asynchrone (Fig. 26.1.). Avec la transmission synchrone, le débit de données par canal de données est constant et les intervalles de temps des canaux de données individuels sont attribués en permanence. Avec la transmission asynchrone, le débit de données des canaux de données individuels peut être constant ou varier. Les plages horaires ne sont pas attribuées de manière permanente. Ils sont attribués selon les besoins. L'ordre des intervalles de temps des canaux individuels peut ainsi être complètement aléatoire. Des exemples de transmission de données synchrone sont PDH = hiérarchie numérique plésiochrone, SDH = hiérarchie numérique synchrone et DAB = audio numérique

Diffusion. Comme exemples de transmission de données asynchrone,

ATM = mode de transfert asynchrone et flux de transport MPEG-2 /

La diffusion vidéo numérique / DVB peut être appelée

DAB est un système complètement synchrone. Déjà dans la tête de réseau DAB

ou à l'emplacement de la génération du signal multiplex DAB, un flux de données complètement synchrone est généré. Les débits de données des contenus individuels sont constants et toujours un multiple de 8 kbit / s. Les intervalles de temps dans lesquels les contenus des sources individuelles sont transmis sont affectés en permanence et ne varient que s'il y a un changement complet dans le multiplex, c'est-à-dire dans la composition du flux de données. Le signal de données provenant du multiplexeur, qui est envoyé au modulateur et à l'émetteur DAB, est appelé ETI = Ensemble Transport Interface (Fig. 26.2.). Le multiplex lui-même est appelé un ensemble. Le signal ETI utilise des voies de transmission E1 connues des télécommunications, qui ont un débit de données physiques de 2 048 Mbit / s. E1 correspondrait à 30 canaux RNIS plus 2 canaux de signalisation de 64 kbit / s chacun. On parle de l'interface G.703 et G.704. Les deux sont des interfaces PDH en raison de leur nature physique. Cependant, DAB utilise un protocole différent. Bien que le débit de données physiques soit de 2 048 Mbit / s, le débit de données net réel du signal DAB qui y est transporté se situe entre (0,8) 1,2 et 1,73 Mbit / s. Le signal ETI est transmis sans protection contre les erreurs ou avec une protection contre les erreurs Reed Solomon, qui est cependant à nouveau supprimée à l'entrée du modulateur DAB. La protection contre les erreurs du système DAB lui-même n'est ajoutée que dans le modulateur DAB, bien qu'elle soit souvent décrite de manière incorrecte différemment dans différentes références bibliographiques. Le DAB utilise le COFDM = Multiplex de Division de Fréquence Orthogonale Codée comme méthode de modulation; les sous-porteuses sont modulées en DQPSK ʌ / 4-shift. Une fois la protection contre les erreurs appliquée, le débit de données brut du signal DAB est de 2,4 Mbit / s.

Une particularité du DAB est que les différents contenus peuvent être protégés différemment à différents degrés d'erreur (FEC inégale).

Présentation de DAB

Dans ce qui suit, un bref aperçu de DAB - Digital Audio Broadcasting sera maintenant donné. La norme DAB est la norme ETSI [ETS300401]. La norme décrit la structure des données, la FEC et la modulation COFDM de la norme DAB. De plus, le signal d'alimentation ETI (Ensemble Transport Interface) est défini dans [ETS300799] et les signaux d'alimentation pour l'Ensemble Multiplexer STI (Service Transport Interface) sont définis dans [ETS300797]. Un autre document important est [TR101496], qui contient des directives et des règles pour la mise en œuvre et le fonctionnement de DAB. De plus, il est décrit dans [ETS301234] comment les objets multimédias (diffusion de données) doivent être transmis au sein du DAB.

Fig multiplex

Fig. 26.4. montre un exemple de la composition d'un flux de données DAB multiplexé. Le terme «Ensemble» couvre plusieurs programmes qui sont combinés pour former un seul flux de données. Dans le cas présent, l'ensemble nommé à titre d'exemple "Digital Radio 1" est composé de 4 programmes, appelés services, ayant ici les désignations "P1", "BR1", "BR3" et "P2". Ces services, à leur tour, peuvent être composés d'un certain nombre de composants de service. Un composant de service peut être, par exemple un flux audio ou un flux de données. Dans l'exemple, le service "P1" contient un flux audio, "Audio1". Ce flux audio est physiquement transmis dans le sous-canal SC1. "BR" est composé d'un flux audio "Audio2" et d'un flux de données "Data1" qui sont diffusés dans les sous-canaux SC2 et SC3. Chaque sous-canal a une capacité de n · 8 kbit / s. La transmission dans les sous-canaux est complètement

synchrone, c'est-à-dire que l'ordre des sous-canaux est toujours le même et que les débits de données dans les sous-canaux sont toujours constants. Tous les sous-canaux ensemble - jusqu'à un maximum possible de 64 - aboutissent à ce que l'on appelle la trame entrelacée commune. Les composants de service peuvent être associés à un certain nombre de services, par exemple comme dans l'exemple "Data2".

Lors de la transmission dans le système DAB, les différents sous-canaux peuvent être protégés à différents degrés d'erreur (FEC inégale).

Schema DAB modulateur

Le flux de données généré par DAB dans le multiplexeur est appelé

ETI = Ensemble Transport Interface. Il contient tous les programmes et contenus qui seront diffusés ultérieurement sur la station DAB. La fourniture du signal ETI du centre de diffusion au modulateur peut par exemple sur des liaisons à fibres optiques sur des réseaux de télécommunications existants ou également par satellite. Une liaison E1 avec un débit de données de 2 048 Mbps convient à cela.

Le COFDM a lieu dans le modulateur DAB (Fig. 26.5.). Le flux de données est d'abord doté d'une protection contre les erreurs, puis modulé COFDM. Le signal RF après le modulateur est ensuite amplifié pour être ensuite rayonné via l'antenne.

Avec DAB, tous les sous-canaux sont protégés individuellement et avec différents niveaux d'erreur. Jusqu'à 64 sous-canaux sont possibles.

La protection contre les défauts (FEC) a lieu dans le modulateur DAB. Dans de nombreux schémas fonctionnels, la FEC est souvent décrite en relation avec le multiplexeur DAB, ce qui n'est pas faux en principe, mais ne correspond pas à la réalité. Le multiplexeur DAB forme le signal de données ETI dans lequel les sous-canaux sont transmis de manière synchrone et sans protection.

L'ETI indique cependant dans quelle mesure les canaux individuels doivent être protégés. Le flux de données ETI est ensuite divisé dans le modulateur DAB et chaque sous-canal est ensuite protégé à différents degrés en fonction de la signalisation dans l'ETI. Les sous-canaux fournis avec FEC sont ensuite alimentés vers le modulateur COFDM.

Fig Protection contre les erreurs chez DAB

La protection contre les erreurs dans DAB (Fig. 16.6.) Est composée d'un brouillage suivi d'un codage convolutionnel. De plus, le signal DAB est ensuite soumis à un entrelacement de longue durée, c'est-à-dire que les données sont entrelacées dans le temps afin qu'elles soient plus résistantes aux erreurs de blocage pendant la transmission. Chaque sous-canal peut être protégé contre les erreurs à un degré différent (correction d'erreur vers l'avant inégale). Les données de tous les sous-canaux sont ensuite fournies au modulateur COFDM qui effectue d'abord l'entrelacement en fréquence puis les module sur un grand nombre de sous-porteuses COFDM.

Au DAB, il existe quatre modes différents sélectionnables. Ces modes sont

destiné à différentes applications et gammes de fréquences. dans le

Le mode I de la gamme VHF est utilisé, dans la bande L en fonction de la fréquence - et du mode d'application II à IV. Le nombre de porteuses est compris entre 192 et 1536 porteuses. La bande passante du signal DAB est toujours de 1 536 MHz. La différence entre les modes est simplement la longueur du symbole et le nombre de sous-porteuses utilisées.

Le mode I a le symbole le plus long et le plus de sous-porteuses

et donc la plus petite distance de sous-porteuse. Viennent ensuite le mode IV, le mode II et enfin le mode III avec la durée de symbole la plus courte et le moins de porteuses et donc le plus grand espacement de sous-porteuses. En principe, cependant, ce qui suit s'applique: plus le symbole COFDM est long, meilleure est la compatibilité avec l'écho, plus l'espacement entre les sous-porteuses est petit, plus l'aptitude à une utilisation mobile est faible.

Les modes réellement utilisés dans la pratique sont le mode I pour

Gamme VHF et Mode II pour la bande L. Seuls quelques destinataires soutiennent toujours la bande L; dans le passé, il y avait des réseaux DAB locaux en Allemagne

actif dans la bande L.

Les signaux audio sont codés audio pour DAB MPEG-1 ou MPEG-2

(Couche II), c'est-à-dire compressé d'environ 1,5 Mbit / s à 64… 384 kbit / s. Le signal audio est divisé en sections de 24 ou 48 ms, qui sont ensuite compressées individuellement. Le codage perceptif a lieu ici, c'est-à-dire les composants du signal audio qui ne peuvent pas être entendus par l'oreille humaine sont omis. Ces méthodes sont basées sur le principe MUSICAM, qui est décrit dans les normes ISO / IEC 11172-3 (MPEG-1) et ISO / IEC 13818-3 (MPEG-2) et a même été développé pour DAB dans le cadre de DAB. En MPEG-1 et MPEG-2, il est possible de transmettre en mono, stéréo, double son et stéréo mixte. La longueur de trame pour MPEG-1 est de 24 ms.

Avec MPEG-2, c'est 48 ms. Ces longueurs de trame peuvent également être trouvées dans la norme DAB et influencent également la longueur des trames COFDM. La même chose s'applique ici encore: DAB est un système de transmission complètement synchrone. Tous les processus sont synchronisés entre eux.

Dans la Fig.26.7. la structure d'une trame audio DAB est affichée. UNE

La trame compatible MPEG-1 dure 24 ms. La trame commence par un en-tête qui contient des informations système 32 bits. L'en-tête est protégé par une somme de contrôle CRC de 16 bits. Ceci est suivi par le bloc avec l'allocation de bits dans les sous-bandes individuelles, suivi par les facteurs d'échelle et les échantillons de sous-bandes. De plus, des données auxiliaires peuvent alors éventuellement être transmises. Avec MPEG-1, le taux d'échantillonnage du signal audio est de 48 kHz, ce qui signifie qu'il ne correspond pas aux 44,1 kHz du CD audio. Les débits de données sont compris entre 32 et 192 kbit / s pour un seul canal ou entre 64 et 384 kbit / s dans le cas de la stéréo, de la stéréo mixte ou de la bicolore. Les débits de données sont un multiple de 8 kbit / s. Avec MPEG-2, la trame MPEG-1 est complétée par une extension MPEG-2. La trame dure 48 ms avec MPEG-2 Layer II. La fréquence d'échantillonnage du signal audio est de 24 kHz à MPEG-2.

Cette structure de trame audio des normes MPEG-1 et MPEG-2 est également disponible sur DAB. La partie compatible MPEG-1 ou MPEG-2 est complétée par une extension DAB dans laquelle des données liées au programme sont transmises, appelées PAD = Program Associated Data. Entre les deux, le remplissage peut être utilisé pour remplir des octets de remplissage. Avec le PAD, une distinction est faite entre le X-PAD, le PAD étendu et le F-PAD, le PAD fixe. Le PAD comprend un identifiant pour la musique / la parole, le texte lié au programme et une protection supplémentaire contre les erreurs. Les débits de données audio DAB courants dans la pratique sont les suivants: - Allemagne:

principalement 192 kbit / s, PL3, environ 160 kbit / s

ou 192 kbit / s, PL4 (encore un programme),

mais maintenant remplacé par des services DAB + avec principalement 128 kbit / s

- ROYAUME-UNI:

256 kbit / s classique

128 kbps Pop

Langue 64 kbit / s

Couche physique de DAB

Dans la section suivante, la mise en œuvre de COFDM dans le contexte de la radiodiffusion audio numérique sera maintenant discutée en détail. Il s'agit principalement des détails DAB du côté de la modulation.

COFDM est une méthode de transmission à porteuses multiples dans laquelle, dans le cas du DAB, entre 192 et 1536 porteuses sont combinées en un seul symbole. Chacune des porteuses peut transporter 2 bits à DAB en raison de DQPSK. Un symbole est une superposition de tous ces transporteurs individuels. Un intervalle de garde est ajouté au symbole, qui est compris entre 125 μs et 1 ms pour le DAB. La longueur de l'intervalle de garde pour DAB est d'environ 1/4 de la longueur du symbole. La fin du symbole suivant est répétée dans l'intervalle de garde. Dans ce document, les échos peuvent «se défouler» en raison de la réception par trajets multiples. Les interférences intersymboles sont ainsi évitées tant qu'un retard d'écho maximum n'est pas dépassé.

Au lieu d'une seule porteuse, COFDM implique des centaines à des milliers de sous-porteuses dans un canal (Fig. 26.8.). Les porteurs sont équidistants les uns des autres. Toutes les porteuses en DAB sont modulées en pi / 4-shift DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying). La largeur de bande d'un signal DAB est de 1,536 MHz, la largeur de bande de canal disponible, par ex. dans la bande VHF 12 (223 ... 230 MHz) est de 1,75 MHz ce qui correspond exactement à 1/4 d'un canal de 7 MHz.

Commençons cependant par le principe de la QPSK différentielle: le vecteur peut prendre quatre positions, à savoir 45, 135, 225 et 315 degrés.

Cependant, le vecteur n'est pas cartographié en valeurs absolues mais différentiellement. C'est-à-dire que les informations sont contenues dans la différence entre un symbole et le suivant. L'avantage de ce type de modulation réside dans le fait qu'aucune correction de canal n'est nécessaire. Il est également sans importance de savoir comment le récepteur est verrouillé en phase, le décodage fonctionnera toujours correctement. Cependant, il y a aussi un inconvénient: l'agencement nécessite un rapport signal / bruit qui est meilleur d'environ 3 dB que dans le cas d'un mappage absolu (modulation cohérente) car dans le cas d'un symbole erroné, la différence par rapport au précédent et le symbole suivant est faux et entraînera des erreurs de bits. Tout événement d'interférence provoquera alors des erreurs de 2 bits.

Les signaux COFDM sont générés à l'aide d'un Fourier rapide inverse

Transform (IFFT) (voir le chapitre COFDM) qui nécessite un certain nombre de porteuses correspondant à une puissance de deux. Dans le cas du DAB, un IFFT de 2048 points, un IFFT de 512 points, un IFFT de 256 points ou un IFFT de 1024 points est effectué. La bande passante IFFT cumulée de toutes ces porteuses est supérieure à la bande passante du canal mais les porteuses périphériques ne sont pas utilisées et sont définies sur zéro (bande de garde), ce qui rend la bande passante réelle de DAB 1,536 MHz. La largeur de bande du canal est de 1,75 MHz. L'espacement des sous-porteuses est de 1, 4, 8 ou 2 kHz selon le mode DAB (Mode I, II, II ou IV) (voir Fig.26.8 et 26.9). Fig. 26.10. montre un vrai spectre DAB tel qu'il serait mesuré avec un analyseur de spectre à la sortie de l'émetteur après le filtre de masque. La largeur du spectre est de 1,536 MHz. Il existe également des composants de signal qui s'étendent dans les canaux adjacents, les termes pertinents étant les épaules et l'atténuation des épaules. Les épaules sont abaissées à l'aide d'un masque.

Dans DAB, une trame COFDM (Fig. 26.11.) Se compose de 77 symboles COFDM. La longueur d'un symbole COFDM dépend du mode DAB et se situe entre 125 μs et 1 ms, auxquels s'ajoute l'intervalle de garde qui représente environ 1/4 de la longueur du symbole. La longueur totale d'un symbole est donc comprise entre environ 156 µs et 1,246 ms. Le symbole n ° 0 est le soi-disant symbole nul. Pendant ce temps, la porteuse RF est complètement fermée. Le symbole nul démarre la trame DAB et est suivi par la référence de fréquence temps phase (TFPR) utilisée pour la synchronisation de fréquence et de phase dans le récepteur. Il ne contient aucune donnée.

Toutes les porteuses COFDM sont définies sur des valeurs d'amplitude et de phase définies dans le symbole de référence de phase. La transmission des données proprement dite commence par le deuxième symbole. Contrairement à DVB, le flux de données dans DAB est complètement synchrone avec la trame COFDM. Dans les premiers symboles de la trame DAB, le Fast Information Channel (FIC) est transmis, dont la longueur dépend du mode DAB. Le débit de données du FIC est de 96 kbit / s. Dans le FIC, des informations importantes pour le récepteur DAB sont transmises. Après le FIC, la transmission du canal de service principal (MSC) commence dans laquelle les données de charge utile réelles sont trouvées. Le débit de données du MSC est constant à 2,304 Mbit / s et est indépendant du mode. Les deux FIC et MSC contiennent en outre FEC déclenché par le modulateur DAB COFDM. Le FEC dans DAB est très flexible et peut être configuré différemment pour les différents sous-canaux, ce qui entraîne des débits de données nets de (0,8) 1,2 à 1,73 Mbit / s pour la charge utile réelle (audio et données). Le type de modulation utilisé dans DAB est le QPSK différentiel. Le débit de données brut global de FIC et MSC est de 2,4 Mbit / s. La longueur d'une trame DAB est comprise entre 24 et 96 ms (selon le mode).