HAL
open science

L'Accès Multiple dans la Communication Optique : du WDM au CDMA

Yves Moreau, Guillaume Pille, Nicolas Brillouet, Stéphane Perrot, Jérôme Galy, Paul Coudray, Pascal Etienne

To cite this version:

Yves Moreau, Guillaume Pille, Nicolas Brillouet, Stéphane Perrot, Jérôme Galy, et al.. L'Accès Multiple dans la Communication Optique : du WDM au CDMA. JNOG: Journées Nationales d'Optique Guidée, Nov 2003, Valence, France. pp.255-258. lirmm-00269787

HAL Id: lirmm-00269787

https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00269787v1

Submitted on 8 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'ACCES MULTIPLE DANS LA COMMUNICATION NUMERIQUE OPTIQUE : DU WDM AU CDMA

Yves MOREAU[1], Guillaume PILLE[1], Nicolas Brillouet [2], Stéphane Perrot [2], Jérôme GALY[3], Paul Coudray[2], Pascal Etienne [3]

[1]Groupe Photonique – CEM, Courrier 084, UMR CNRS No 5507
Université Montpellier II, 34 095 Montpellier Cedex
[2]KLOE –S.A. Cap alpha-Av. de l'Europe, 34940 Clapiers
[3]Laboratoire d'Informatique, de Robotique, de Microélectronique de Montpellier, Univ.Montpellier II
[4]Laboratoire des Verres, Courrier 069, Univ.Montpellier II
Tel: 04 67 14 3770 Fax.: 04 67 54 71 34
moreau@cem2.univ-montp2.fr

RESUME

La technologie organique-inorganique mise au point nous permet de développer non seulement des circuits de multiplexage/démultiplexage de type WDM, mais aussi des circuits codeurs/décodeurs permettant un partage de la bande passante de type CDMA (Accès multiple à répartition par codes). Nous présentons ici des simulations, appuyées sur des premières réalisations, effectuées sur les logiciels développés en interne, illustrant la conception et le fonctionnement.

MOTS CLES :
Accès multiple, WDM, CDMA, MMI.

1. INTRODUCTION

Si l'on veut tirer parti des larges bandes passantes qu'offrent les fibres optiques (quelques 40 nm ou 5 THz pour chacune des bandes de télécommunications S, C et L), et puisque l'électronique ne permet pas d'atteindre directement ces valeurs, on peut tronçonner ces bandes en de multiples canaux de largeurs par exemple 0,8nm (100 GHz), et réaliser le multiplexage et le démultiplexage correspondant avec des dispositifs optiques de type WDM .

Plusieurs technologies sont en compétition [1] : Filtres interférentiels, réseaux de Bragg, spectromètres, réseaux gravés, PHASAR... Certaines de ces technologies font appel à l'optique intégrée : une technique qui permet à terme la production de dispositifs en masse, une grande compatibilité avec les fibres optiques... Le Centre d'Electronique (CEM) et le Laboratoire des Verres de l'Université de Montpellier développent une technologie [2], reprise par la jeune société KLOE, fondée sur la photopolymérisation d'un matériau hybride organique-inorganique synthétisé par voie sol-gel. Ce procédé est mis en oeuvre à température et pression ambiantes; il utilise une méthode d'inscription par masque ou par laser des couches afin de contrôler localement la polymérisation du cœur du guide d'onde. Cette méthode d'écriture associée à notre protocole s'est montrée précise et répond aux demandes des utilisateurs.

Deux types de circuits WDM ont été étudiés et réalisés : réseaux de guides entre deux star-coupleurs, l'un diviseur, l'autre combineur (conception traditionnelle) et réseau de guides entre deux circuits à interférences multimodales (MMI). Bien que ces deux types puissent être utilisés pour l'accès multiple à répartition par longueur d'onde, il est difficile d'obtenir les performances répondant aux normes avec les circuits MMI. En revanche, il peuvent être utilisés comme codeurs et décodeurs dans un accès multiple à répartition par code ou CDMA (*Code Division Multiple Access*). Cette technique, choisie par exemple pour la téléphonie de troisième génération (UMTS) utilise un jeu de codes orthogonaux à raison d'un code par utilisateur transmis sur un support commun (même bande spectrale utilisée sur le même support, ici la fibre optique). Les propriétés d'orthogonalité des codes permettent en réception l'extraction des canaux. De nombreuses variantes d'implémentation, en particulier en optique, ont été proposées [3]. Notre solution originale de CDMA spectral [4] fondée sur l'utilisation de filtres en longueurs d'onde de type phasar à circuit MMI, en cours de réalisation et de caractérisation, est explorée par le biais de simulations.

2. CIRCUITS WDMs : conception classique et avec MMI

La conception traditionnelle d'un PHASAR permet l'obtention des performances désirées grâce au contrôle de quelques paramètres comme le nombre de bras du réseau de guides reliant les deux star-couplers (coupleurs en étoile). La diaphotie des dispositifs peut être contrôlée et par exemple dans nos dispositifs être de l'ordre de 30 dB, avec un réseau d'une quarantaine de bras. Le premier star-coupler distribue une énergie lumineuse en phase sur tous les guides. La longueur des stars coupleurs est telle que le faisceau est suffisamment élargi pour alimenter tous les bras. La différence de longueur des bras va induire des différences de phase qui vont conduire à une focalisation sur une sortie du second star coupler localisée selon la longueur d'onde. Nous avons développé plusieurs programmes de conception (calcul de la géométrie, cf. figure 1) et de simulation (calcul de la propagation aux différentes longueurs d'onde). Toutes les phases menant à la réalisation par écriture du circuit sur nos couches organo-minérales peuvent ainsi être affinées.

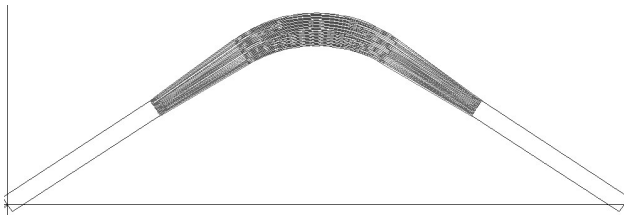

Figure 1 : circuit WDM constitué d'un réseau guides antre deux star-couplers (copie d'écran d'un de nos

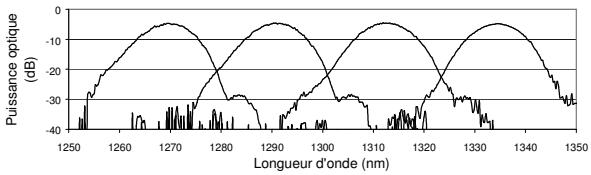

Figure 2 : Spectre mesuré sur un CWDM réalisé.

En parallèle nous avons étudié des circuits WDM utilisant également un réseau de guides déphaseurs, mais combinés avec des guides très larges (multimodaux) à la place des coupleurs en étoiles. La longueur de ces guides multimodaux est telle que des interférences constructives et destructives (multimode interference : MMI) apparaissent à cause des différences de vitesse de propagation des modes. Ces effets se traduisent non seulement par une distribution non uniforme en sortie (une succession de pics), mais encore par une distribution de phases que l'on peut calculer approximativement et/ou obtenir par simulation. Après différentes expérimentations grâce au logiciel Maple, nous avons développé nos propres codes de calcul. Un circuit fonctionnel à quatre voies a été réalisé (voir images animées sur http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/)et un circuit à huit voies est en cours de caractérisation.

A priori, cette deuxième forme de circuits devrait permettre d'atténuer les pertes d'insertion, les dispositifs MMI ne distribuant de l'énergie lumineuse qu'aux connexions avec les guides unimodaux. Mais l'inconvénient majeur est qu'il n'est plus possible d'augmenter le nombre de bras déphaseurs pour diminuer la diaphotie : le nombre de bras est a priori égal au nombre de longueurs d'ondes. Selon les premières réalisations et nos simulations il est difficile de dépasser 7-8 dB entre la sortie prévue pour telle longueur d'onde et ses voisines. La figure 3 présente une spectre calculé pour un dispositif à 8 longueurs d'onde autour de 1.31 µm et séparé de 1.6 µm.

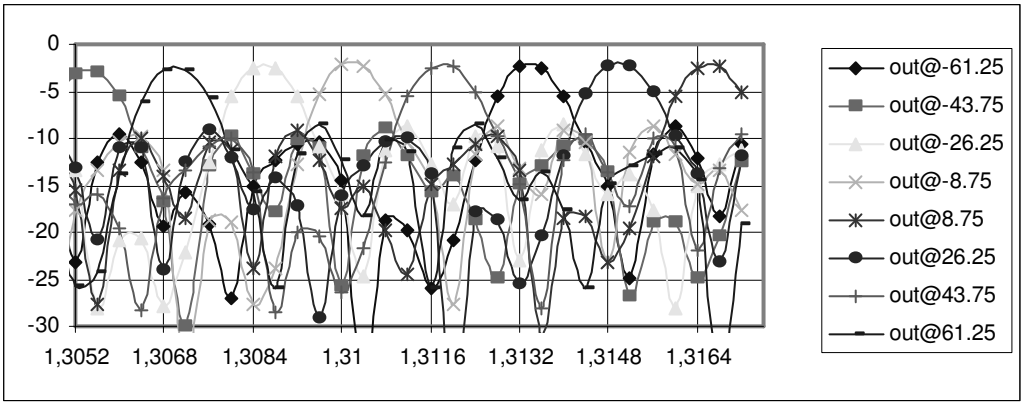

Figure 3 : Spectre simulé : énergie (dB) recueillie sur chaque sortie (position par rapport à l'axe en µm) en fonction de la longueur d'onde.

Les circuits à interférence multimodales sont généralement conçus de façon symétrique : chaque guide large est pourvu d'autant d'entrées situées (plus ou moins près de l'axe) que de sorties. Ces circuits ajoutant leurs déphasages (en k π/N, N : nombre d'entrées/sorties) au déphasage des bras unimodaux, le choix d'une entrée introduit une souplesse d'attribution des sorties aux longueurs d'onde. De plus, il n'y pas d'ordre apparent du type longueurs d'onde fonction croissante de la position (mesurée par rapport à un bord) des sorties.

3. ACCES MULTIPLE PAR CODE

L'accès multiple par code devrait permettre d'obtenir une plus grande capacité spectrale (bit/sec/Hz) que l'accès multiple par longueur d'onde (WDM)[5]. Il faut cependant noter que l'interférence intersymbole et surtout l'interférence inter-utilisateurs sont à priori telles qu'à implémentation comparable, les performances d'un système CDMA et d'un système WDM sont, même d'un point de vue théorique, très comparables. Nous pensons que l'essentiel apporté par le CDMA est la souplesse d'attribution des canaux et par exemple le maintien d'une qualité correcte de service en cas d'interférence, et/ou un routage ne nécessitant pas de changement coûteux de longueur d'onde entre deux nœuds dans un parcours de réseau.

Le CDMA optique peut utiliser des codes temporels : les « 1 » du message d'un émetteur « A » sont remplacés par des séquences d'impulsions dont les apparitions apparaissent aléatoires, en fait la séquence est un « code optique » associé à l'émetteur A. Outre les problèmes de détection (nécessité de dispositifs optiques non linéaires ou conversion électronique), les codes optiques utilisables (à faible poids i-e faible nombre d'impulsions par rapport à la durée d'un

symbole) ne permettent pas une avancée notable pour ce qui est de l'efficacité spectrale. Dans un cadre de dispositifs à faible coût, par exemple pour réseaux locaux, nous avons exploré le CDMA spectral où la signature n'est pas une séquence d'impulsions mais un spectre échancré caractéristique de chaque émetteur (code). Notre dispositif repose sur la réalisation de spectres spécifiques par l'utilisation de dispositifs filtres à MMI (cf plus haut) dont les sorties voisines sont regroupées. Deux spectres complémentaires peuvent être générés à partir d'une source à large bande (super-diode) simultanément avec le même dispositif (voir figure 4), et vont pouvoir servir de signature (code) pour tel ou tel émetteur.

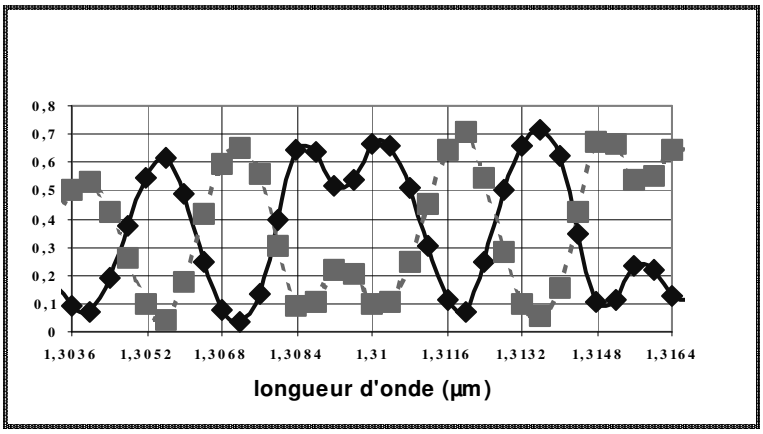

Figure 4 : Spectre [0 1 0 1 1 0 1 0] et complément obtenus en sortie d'un dispositifs WDM avec MMI par regroupement des sorties voisines en utilisant l'entrée 3.

D'autres couples de codes complémentaires peuvent être obtenus par simple changement de l'entrée utilisée. Les entrées, de plus peuvent conduire à des codes orthogonaux . Cette caractéristique des codes est essentielle pour la restitution des messages en réception.

Un programme développé pour l'enseignement (*http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/jCDMA/*) a été adapté pour la simulation de l'accès multiple:création de plusieurs messages aléatoires simultanés, génération de spectres et décodage . On y expérimente qu'avec des spectres imparfaits la détection est effectuée avec peu d'erreurs, tant que le nombre d'utilisateurs est restreint On peut voir aussi qu'il n'est pas nécessaire de synchroniser, les spectres des autres utilisateurs apparaissant comme du bruit, et que la rapidité de modulation peut être importante puisqu'elle ne perturbera les spectres qu'à partir de fréquences correspondant à l'écart inter-longueur d'onde ici 1,6 nm ou 200 GHz.

Amélioration du dispositif

La diaphotie relativement importante conduisant a des spectres imparfaits, on devrait pouvoir contrôler le taux d'erreur en fonction de l'application par l'emploi de codes à redondances correcteurs d'erreurs (turbo-codes…)

4. CONCLUSION

Les performances de l'accès multiple avec répartition par longueur d'onde peuvent être contrôlés lors du « design », par le choix de critères tels que le nombre de bras déphaseurs,et nous avons obtenu par exemple des diaphoties de l'ordre de 30-40 dB en utilisant des phasars avec star-couplers. Les dispositifs phasars + guide MMI sont plus difficilement contrôlable au niveau des performances en système WDM, en revanche ils sont adaptés à une utilisation dans l'accès multiple à répartition par code (CDMA), d'autant plus que le même circuit peut être utilisés pour différents codes (avec sélection de l'entrée). Leur souplesse permet d'envisager au niveau système l'emploi de trubocodes pour contrôler le taux d'erreur en fonction de l'application

REFERENCES

[1] R. T. Chen, L. S. Lome, « Wavelength Division Multiplexing», Critical Review 71, SPIE Optical Engineering Press, Washington USA, 1999.

[2] K.Kribich, Y.Moreau, P. Coudray, P.Etienne, "Circuits Mux/demux fabriqués par écriture Laser dans un matériau hybride", communication invitée, Proc.JNOG'02, pp 119-121, Dijon, 23-sept-02.

[3] K.Iversen, D. Hampicke, « Comparison and classification of all optical CDMA systems for future telecommunications networks », SPIE Proc., vol 2614,pp.110-121, oct.95

[4] Y.Moreau, P. Coudray, K.Kribich, P.Etienne « Système d'accès multiple par code en technologie organique-minérale », JNOG 2000,pp.365-367, nov.2000

[5] N.Saad, A. Julien-vergonjanne, J.P.Cances, J.M. Dumas, « Interférence d'accès multiple dans les systèmes optiques CDMA », JNOG 2002 Proc., pp.348-350, nov.2002

View publication stats