Ralentir la lumière pour des tansmissions plus rapides

Autor(en): **Thévenaz, Luc**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft 8

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856839

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Ralentir la lumière pour des transmissions plus rapides

Eloge de la lenteur pour une optique plus efficace

La prise de contrôle de la dimension temporelle de la lumière en provoquant son ralentissement a été l'un des progrès les plus inattendus de cette dernière décennie. Cette nouvelle fonctionnalité permet d'entrevoir l'optimisation des réseaux de communication en effectuant un routage tout optique, et de concevoir des dispositifs photoniques actifs plus compacts et moins énergivores. Les principes, les défis et les perspectives réalistes de cet outil totalement inédit en optique sont passés en revue.

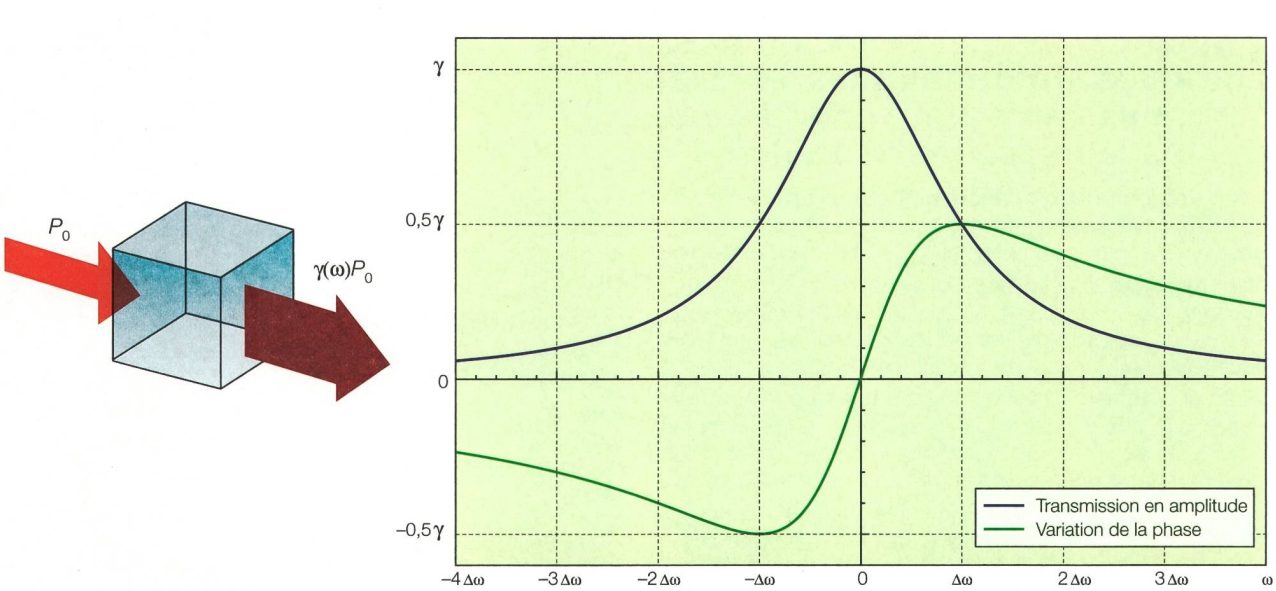
Luc Thévenaz

A l'ère des transmissions de milliers de gigabits par seconde dans une seule fibre optique, il peut sembler bien paradoxal de vouloir ralentir la lumière pour accélérer les débits de données. Ce paradoxe n'est qu'apparent, car il s'agit bien là d'un des plus grands progrès réalisés sur la lumière ces dernières années, puisqu'il signifie la maîtrise d'une variable jusque-là incontrôlable pour une onde lumineuse : le facteur temps. Mais alors, pourquoi ralentir la lumière plutôt que l'accélérer ?

La réponse se trouve dans un proverbe bien connu : si le futur nous appartient, le passé nous est désormais fermé. En termes plus techniques, ralentir la lumière nous permet de créer des retards a priori sans limites et ainsi de stocker l'information aussi longtemps qu'on le désire, alors qu'on ne pourra jamais avancer un signal plus qu'un temps forcément limité, puisque la causalité ne nous permet pas de connaître le contenu d'un signal avant sa création ! La limitation n'est en soi pas technique, le ralentissement ou l'accélération de la lumière ayant tous deux été réalisés expérimentalement en suivant le même principe.

Une découverte qui a révolutionné l'optique

Tout a commencé par un article publié en 1999 dans la revue Nature par une équipe de l'Université de Harvard [1]. Il a créé une véritable onde de choc dans la communauté des opticiens : dans un gaz d'atomes ultra-froids à une température de quelques nanokelvins, une impulsion optique a pu être ralentie jusqu'à une vitesse de 17 m/s, soit la vitesse d'une bicyclette ! L'équipe de Harvard a utilisé une technique appelée « transparence induite électromagnétiquement (EIT) », qui permet de varier abruptement la transmission spectrale

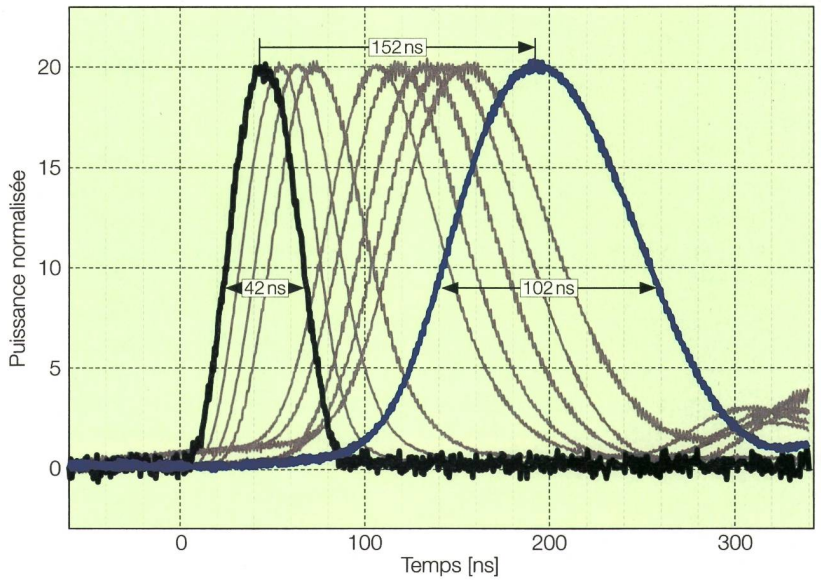


EPFL-GFO

Figure 1 Transmission d'un signal P_0 à travers un milieu présentant une résonance spectrale en fonction de la fréquence ω. La transmission est représentée en bleu et montre un pic de transmission spectrale correspondant au couplage résonant optimal (cas d'une amplification γ à la résonance). La linéarité et la causalité inhérentes à ce type de système imposent une variation de la phase du signal transmis en fonction de la fréquence, dont la dépendance est représentée en vert. Cette dépendance est approximativement linéaire au centre de la résonance, ce qui donne lieu à un retardement du signal. Si la transmission est atténuée à la résonance, les distributions changent de signe et le signal subit un avancement.

d'un gaz d'atomes par pompage à l'aide de faisceaux laser intenses. Cette démonstration était la preuve qu'il était possible de contrôler temporellement un signal optique, en d'autres termes de programmer le moment de son arrivée en modifiant son temps de vol. Jusqu'alors, ce dernier n'était plus contrôlable une fois le signal issu du transmetteur.

L'impact de cette découverte sur le public a aussi été très grand, car elle permettait d'imaginer qu'il serait possible de suivre des yeux la propagation d'une impulsion optique en donnant à la vitesse de la lumière une grandeur tangible. Il faut toutefois tempérer cette illusion, car cette expérience a été réalisée dans des conditions extrêmes – quelques nanokelvins de température absolue – sur une distance de 0,23 mm. Même à la vitesse d'une bicyclette, sur cette distance ceci ne correspond qu'à un retard de quelques microsecondes. Pour des raisons fondamentales mises en évidence plus tard, il s'est avéré en fin de compte complètement illusoire de pouvoir réaliser un ralentissement d'une telle ampleur sur des distances compatibles avec nos capacités visuelles.



EPFL-GFO [7]

Figure 2 Impulsion retardée dans une fibre optique par une résonance spectrale créée à l'aide de l'effet non linéaire dénommé « diffusion Brillouin stimulée ». La courbe noire représente une impulsion se propageant normalement sans effet retard, tandis que la courbe bleue résulte de la mesure d'une impulsion ayant subi un très long retard en régime de lumière lente. Les courbes en gris représentent des impulsions soumises à des retardements intermédiaires, démontrant la continuité des ralentissements induits. La distorsion due au filtrage spectral par la résonance est flagrante et se manifeste sous forme d'un étalement temporel de l'impulsion, d'autant plus marqué que le retardement est appréciable.

Application aux réseaux de transmission optique

Toutefois, cette découverte a stimulé un énorme élan de recherche, car il est très vite apparu qu'un tel contrôle temporel pouvait permettre de substantiellement améliorer l'efficacité des réseaux de transmission optique en permettant de stocker temporellement le signal – pour éviter les collisions aux nœuds d'interconnexion – et d'ordonner ainsi judicieusement et efficacement les données transmises. Il s'agit là de la fonction assurée habituellement par les routeurs. Or, ces derniers sont basés sur un traitement électronique des signaux impliquant une coûteuse et lente double conversion optique-électronique. L'ambition des chercheurs était alors de pouvoir les remplacer par une version tout optique rapide et efficace.

Evolution des technologies

Rapidement, des progrès substantiels ont été enregistrés dans la génération de lumière dite « lente ». Tout d'abord, en 2003, une équipe de l'Université de Rochester a pu réaliser un fort ralentissement dans un cristal optique à température ambiante en utilisant la technique d'« oscillation cohérente de population (CPO) » [2]. Mais le pas crucial a été effectué quand il a été démontré, en 2005, qu'il était possible de générer de la lumière lente directement dans une fibre optique – tout d'abord à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) [3-5] et indépendemment quelques mois plus tard à l'Université de Cornell [6] – en utilisant un couplage optique très serré entre une onde de pompage et le signal, couplage basé sur un effet optique non-linéaire appelé « diffusion Brillouin stimulée (DBS) ». Cela démontrait que la lumière lente pouvait être réellement exploitée, puisque générée directement dans le milieu formant l'ossature des réseaux de télécommunication et aux longueurs d'onde de la meilleure transparence du verre.

Principe du ralentissement actif de la lumière

Lorsque l'on parle de « vitesse de la lumière », il est crucial de spécifier de quelle vitesse il s'agit, car il en existe plusieurs. Il y a :

- La vitesse de phase V_{ph} : elle représente la vitesse de la phase de la porteuse optique. Cette vitesse est importante pour déterminer la trajectoire et le guidage de la lumière, ainsi que tous les effets liés à l'impédance du milieu.
- La vitesse de groupe V_{gr} : elle détermine la vitesse de transmission d'une modulation simple de l'onde lumineuse. C'est elle, et uniquement elle, qui est concernée par la vitesse lente et qui va pouvoir être modifiée et contrôlée.
- La vitesse de l'énergie $V_{én}$: elle régit la rapidité du transfert énergétique par l'onde lumineuse et s'avère identique à la vitesse de groupe dans les milieux passifs transparents.
- La vitesse de l'information V_{inf} : elle va déterminer la vitesse du signal dans son intégralité. La vitesse de groupe est une approximation au premier ordre – en d'autres termes une linéarisation – de la vitesse de l'information.

Si toutes les vitesses sont confondues dans le vide et y prennent invariablement la même valeur de 299 792 km/s, elles peuvent être sensiblement différentes dans les milieux denses, particulièrement ceux présentant une forte dispersion, c'est-à-dire une forte variation de la vitesse de phase en fonction de la fréquence. Si la dispersion ne prend pas des valeurs extrêmes comme dans la majorité des situations courantes, il est suffisant de ne considérer que deux vitesses, soient les vitesses de phase et de groupe, cette dernière constituant une excellente

approximation des vitesses de l'information et de l'énergie.

Modification de la vitesse de groupe

S'il s'avère très difficile d'agir sur la vitesse de phase de la lumière – elle est essentiellement imposée par la polarisation électromagnétique du milieu et donc fixée par ses propriétés atomiques intrinsèques –, la vitesse de groupe peut être, elle, modifiée en agissant sur la dispersion du milieu, ou plus spécifiquement sur la rapidité avec laquelle la phase de l'onde va varier en fonction de la fréquence optique. Ainsi, le retard T que va subir un signal lors de sa propagation dans un milieu donné de longueur L est donné en toute généralité par la relation suivante :

$$T = \frac{d\phi}{d\omega} = \frac{L}{V_{gr}} \quad (1)$$

où ϕ représente la phase de la porteuse optique et ω sa fréquence angulaire.

Une technique standard pour varier rapidement la phase en fonction de la fréquence est d'induire des variations abruptes de la transmission spectrale du milieu, qui s'accompagnent obligatoirement dans un système linéaire et causal par une variation associée de la phase de l'onde. Ce principe peut être simplement appliqué en modifiant la transmission spectrale du milieu à l'aide d'une résonance **(figure 1)**.

Modification de l'amplitude par l'utilisation d'une résonance

Il est bien connu en électricité que la transmission spectralement étroite d'un circuit résonnant RLC s'accompagne d'une variation quasi linéaire de la phase au centre de la résonance, comme le montre la **figure 1**. Cette propriété s'avère en fait tout à fait universelle et découle directement de la causalité et de la linéarité du système.

Or, une telle résonance peut être aussi induite optiquement par une absorption due à une transition entre deux niveaux atomiques ou un couplage serré obéissant à des conditions strictes d'accord de phase entre les différentes ondes entrant en interaction. Pour une résonance typique modifiant l'amplitude transmise par un facteur γ et présentant une largeur totale à mi-hauteur $\Delta\omega$, le retard du signal T obtenu se calcule aisément :

$$T = \frac{\ln \gamma}{\Delta\omega} \quad (2)$$

Cette expression montre que, plus la variation d'amplitude est élevée, plus le retard induit sera long. Cette variation d'amplitude est normalement fonction de la puissance de pompage optique exercée sur le milieu et peut donc être contrôlée directement par un signal lumineux de commande. L'expression indique aussi que le retard est d'autant plus accentué que la résonance est étroite, du fait de la présence de $\Delta\omega$ au dénominateur.

Ralentir ou accélérer le signal

Toutes les interactions évoquées dans l'introduction (EIT, CPO ou DBS) présentent la propriété d'induire des résonances optiques très étroites et ont été choisies pour cette raison. Il faut aussi noter que si l'amplitude du signal est augmentée par la résonance (gain, $\gamma > 1$), le signal est retardé, mais si elle est atténuée ($\gamma < 1$), le signal est avancé puisque T devient négatif. En interchangeant habilement le rôle que chaque onde joue dans l'interaction résonante, on peut indifféremment accélérer ou ralentir le signal [4].

Limitations

Si l'étroitesse spectrale de la résonance donne la mesure de la force de retardement qu'on va pouvoir induire, elle constitue également le talon d'Achille de la technique. En effet, la transmission en amplitude, telle que présentée dans la **figure 1**, va filtrer le signal et supprimer les composantes de fréquence élevée, ce qui se concrétise par une distorsion du signal d'autant plus forte que γ est élevé.

Dans la pratique, il est possible de démontrer que quel que soit le degré d'optimisation du système et de la distribution spectrale de la résonance, le produit « retard × bande passante » est toujours proche de l'unité. Ce qui signifie que, si la largeur de bande d'un signal numérique est grosso modo donnée par l'inverse de la durée d'un bit, il ne va guère être possible de retarder le signal de plus d'un bit en utilisant la technique de la lumière lente. Cet effet est clairement visible dans la **figure 2**, montrant une mesure d'une impulsion retardée par DBS dans une fibre optique.

Cette limite fondamentale a anéanti les espoirs de pouvoir bâtir des routeurs tout optiques basés sur ce principe, puisqu'il est normalement requis qu'un tel système puisse stocker un paquet de 1 kb sur toute sa durée. Par contre, cela a stimulé la recherche de solutions alternatives pour générer de longs retards tout optiques et la découverte d'autres niches d'utilisation pour la lumière lente, qui seront évoquées dans la section suivante.

Elaboration de lumière lente structurelle

Avant cela, il faut signaler que d'autres techniques ont été mises au point pour ralentir le signal, basées sur le fait qu'en présence d'une bande interdite de transmission spectrale, la vitesse de groupe

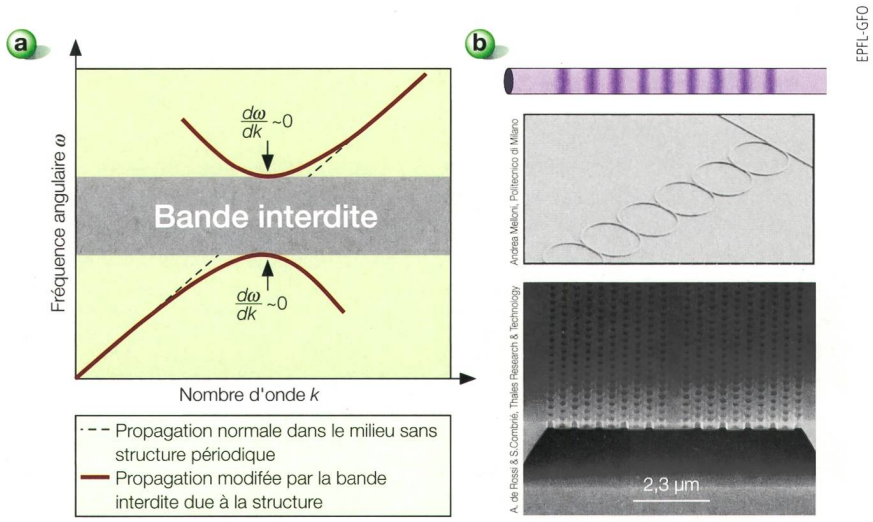
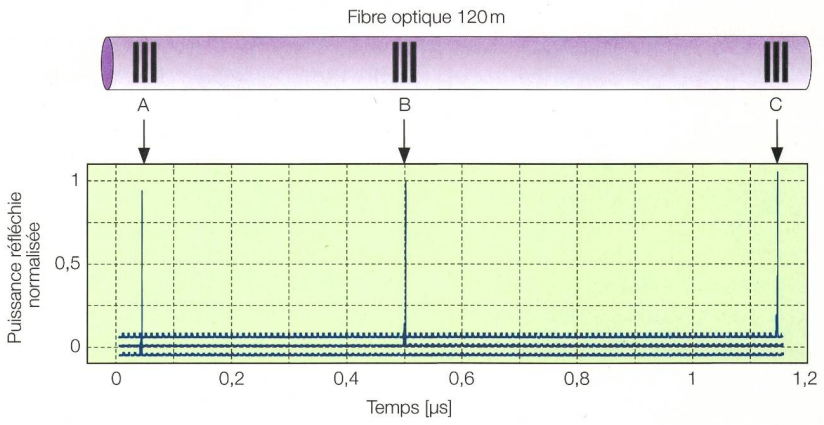


Figure 3 (a) Diagramme de dispersion typique pour la propagation d'une onde optique dans une structure à bande interdite. La vitesse de groupe est définie par la pente de la courbe de dispersion $V_{gr} = d\omega/dk$ qui s'annule aux frontières de la bande interdite et donc permet une propagation très ralentie dans ces conditions. (b) Exemples de structures périodiques générant une bande spectrale interdite pour la transmission de la lumière. De haut en bas : réseau de Bragg dans une fibre optique, cascade de résonateurs et guide d'onde créé par une lacune au centre d'un cristal photonique.

s'annule sur les bords de cette bande, comme le montre la **figure 3**. De telles bandes interdites peuvent être créées artificiellement dans des structures présentant des motifs périodiques, telles que des réseaux de Bragg, des résonateurs couplés ou des cristaux photoniques [8].

Ce type de lumière lente est appelée « structurelle », puisque induite artificiellement dans le matériel par des structures macroscopiques, en contraste avec la lumière lente « matérielle » induite par des résonances spectrales agissant sur la réponse microscopique de la matière. Ces structures ont l'avantage de pouvoir générer passivement, donc sans apport d'énergie, des retards conséquents, mais sans possibilité aisée de contrôler dynamiquement la durée du retard, celui-ci étant essentiellement figé dans la structure. Concrètement, il est nécessaire de propager le signal à la limite de la bande interdite, ce qui s'accompagne d'effets indésirables tels que des pertes augmentées, et le produit « retard × bande passante » s'avère en fin de compte en tout point comparable à celui obtenu à l'aide d'une résonance.



EPFL-GFO

Figure 4 Ligne de retard basée sur un réflécteur optique généré dynamiquement par l'interaction de deux ondes lumineuses. En positionnant ce réflécteur en différents points (A, B, C) le long de la fibre, la lumière réfléchie peut être retardée continûment sur une large plage temporelle. Le graphe montre une impulsion de 600 ps réfléchie sur ce réflécteur pour trois positions distinctes, démontrant des retards dépassant la microseconde sans distorsion notable.

Perspectives

Si la perspective de réaliser un routeur tout optique à l'aide de la lumière lente semble irréaliste, d'autres niches lui ont été trouvées.

Applications en photonique micro-onde

La lumière lente s'avère particulièrement utile pour les applications analogiques dans le domaine de la « photonique micro-onde », dans laquelle un signal micro-onde est pris en charge par une porteuse optique pour être transmis et traité entièrement dans le domaine optique. Il n'est généralement pas nécessaire de créer, pour le traitement d'un signal analogique, des retards temporels plus longs qu'une période de la porteuse micro-onde, ce qui correspond exactement au produit « retard × bande passante » unité de la lumière lente. Cette activité a été développée dans le cadre du projet européen GOSPEL[1)] et a permis de réaliser des filtres micro-ondes complexes et des générateurs hyperfréquences de grande stabilité, tous accordables sur une large plage de fréquences [9].

Applications en optique non-linéaire

Les structures générant passivement de la lumière lente permettent d'entrevoir une application inattendue, car la vitesse de groupe et la vitesse de l'énergie s'avèrent toutes les deux identiquement ralenties dans de telles structures. La densité d'énergie optique s'en trouve ainsi fortement augmentée, ce qui permet de réaliser des fonctions optiques basées sur des non linéarités – telles que la conversion de longueur d'onde ou la génération d'harmoniques lumineuses [10] – sur des longueurs d'interaction beaucoup plus courtes. Ainsi, les premières réalisations de dispositifs compacts et de modulateurs électro-optiques basés sur des guidages optiques en lumière lente commencent à être démontrées en laboratoire, ce qui va dans le sens des nouveaux défis techniques de la décennie : mettre au point des dispositifs compacts et moins énergivores.

Réseaux numériques de communication

La perspective de réaliser des retards tout optiques compatibles avec les besoins des réseaux numériques de communication n'a pas été pour autant abandonnée et a même été stimulée par les espoirs déçus placés dans la lumière lente. Ainsi, des retards réglables optiquement sur plus de 1000 bits à une cadence de 10 Gb/s ont pu être démontrés en utilisant un milieu fortement dispersif et une double conversion en longueur d'onde. Le principe est simple : le système utilise la dispersion du milieu pour propager le signal à différentes vitesses et créer ainsi des retards variables. Le signal entrant est spectralement converti à la longueur d'onde correspondant à la vitesse dans le milieu donnant le retard désiré, puis est reconverti en fin de ligne à sa longueur d'onde originelle.

Si le système a démontré qu'il remplissait le cahier des charges, il souffre toutefois des défauts liés à la nature même de son principe : de grandes longueurs du milieu dispersif sont nécessaires pour réaliser des retards suffisants – typiquement plusieurs dizaines de kilomètres de fibre optique hautement dispersive, ce qui augmente le temps nécessaire à la reconfiguration de la ligne de retards – et la dispersion crée à la fois les retards variables et une distorsion du signal. La mise en place d'un tel système exige donc des techniques à la limite des possibilités technologiques actuelles, telles que de la conjuguaison de phase pour compenser la dispersion [11].

Derniers développements

Très récemment, une technique utilisant un concept encore plus simple a été démontrée à l'EPFL, basée sur le principe de la ligne de retard classique par lequel la lumière vient se réfléchir sur un miroir en translation. Le retard subi par la lumière est ainsi continûment variable de zéro jusqu'au temps d'aller-retour total dans la ligne lorsque le miroir est en bout de course. L'intérêt et l'originalité de cette technique résident dans le fait que l'élément réflecteur est généré tout optiquement et instantanément, en créant dynamiquement une modulation périodique de l'indice de réfraction du milieu pour

Zusammenfassung **Das Licht verlangsamen, um die Übertragung zu beschleunigen**

Langsamkeit ist angesagt, will man die Effizienz der Optik steigern

Die Beherrschung der zeitlichen Dimension des Lichts durch dessen Verlangsamung war einer der am wenigsten erwarteten Fortschritte im letzten Jahrzehnt. Diese neue Funktionalität lässt auf die Optimierung der Kommunikationsnetze durch ein Routing auf rein optischem Wege hoffen und ermöglicht die Konzeption aktiver photonischer Bauelemente, die kompakter und weniger energieintensiv sind. Es werden die Prinzipien, Herausforderungen und realistischen Perspektiven dieses in der Optik noch nie da gewesenen Werkzeugs vorgestellt. No

créer une réflexion de type Bragg. Cela se réalise à l'aide d'un effet non-linéaire généré par la superposition localisée de deux ondes lumineuses se propageant en sens inverse dans une fibre optique [12]. Une impulsion de 600 ps a ainsi pu être retardée de plus de 1 µs, ce qui correspond à un retard d'environ 1700 bits, et ce, sans distorsion notable comme le montre la **figure 4**. Ces retards ont été générés dans une fibre de 120 m, ce qui rend le système très compact et son temps de reconfiguration idéalement court.

Ces quelques exemples montrent dans quelle mesure la prise de contrôle de la variable temps en optique a permis d'ouvrir de nouvelles perspectives, qui vont sans nul doute permettre d'optimiser les performances des systèmes optiques – dans les communications et dans le traitement optique de l'information – dans le sens d'une capacité encore accrue et d'une moindre consommation d'énergie.

Références

[1] L. V. Hau, S. E. Harris, Z. Dutton and C. H. Behroozi: Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas. Nature 397, pp. 594-598, 1999.
[2] M. S. Bigelow, N. N. Lepeshkin and R. W. Boyd: Superluminal and slow light propagation in a room-temperature solid. Science 301, pp. 200-202, 2003.
[3] K. Y. Song, M. Gonzalez Herraez and L. Thevenaz: Observation of pulse delaying and advancement in optical fibers using stimulated Brillouin scattering. Optics Express 13, pp. 82-88, 2005.
[4] M. Gonzalez-Herraez, K.-Y. Song and L. Thevenaz: Optically controlled slow and fast light in optical fibers using stimulated Brillouin scattering. Applied Physics Letters 87, p. 081113, 2005.
[5] L. Thevenaz: Slow and fast light in optical fibres. Nature Photonics 2, pp. 474-481, 2008.
[6] Y. Okawachi, M. S. Bigelow, J. E. Sharping, Z. M. Zhu, A. Schweinsberg, D. J. Gauthier, R. W. Boyd and A. L. Gaeta: Tunable all-optical delays via Brillouin slow light in an optical fiber. Physical Review Letters 94, p. 153902, 2005.
[7] K. Y. Song, M. Gonzalez Herraez and L. Thevenaz: Long optically controlled delays in optical fibers. Optics Letters 30, pp. 1782-1784, 2005.
[8] T. Baba: Slow light in photonic crystals. Nature Photonics 2, pp. 465-473, 2008.
[9] L. Thevenaz, S.-H. Chin, P. Berger, J. Bourderionnet, S. Sales and J. Sancho-Dura: Slow light fiber systems in microwave photonics. Photonics West - Advances in Slow and Fast Light IV, San Francisco, USA, Proc. SPIE 7949, p. 79490B, 2011.
[10] B. Corcoran, C. Monat, C. Grillet, D. J. Moss, B. J. Eggleton, T. P. White, L. O'Faolain and T. F. Krauss: Green light emission in silicon through slow-light enhanced third-harmonic generation in photonic-crystal waveguides. Nature Photonics 3, pp. 206-210, 2009.
[11] Y. Dai, Y. Okawachi, A. C. Turner-Foster, M. Lipson, A. L. Gaeta and C. Xu: Ultralong continuously tunable parametric delays via a cascading discrete stage. Optics Express 18, pp. 333-339, 2010.
[12] S. Chin, N. Primerov and L. Thevenaz: Photonic delay line for broadband optical signals, based on dynamic grating reflectors in fibers. 36th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC) 2010, pp. 1-3, 2010.

Informations sur l'auteur

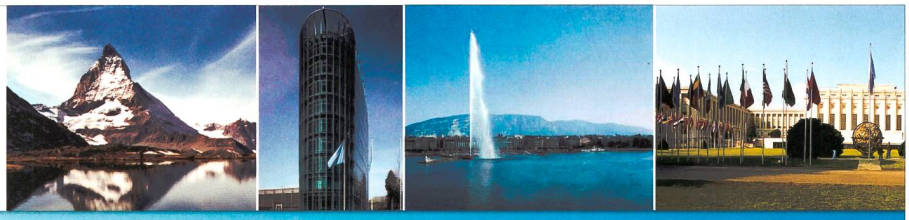
Prof. Dr **Luc Thévenaz** a obtenu en 1982 le diplôme de physicien, mention astrophysique, ainsi qu'en 1988 le doctorat ès sciences physiques, tous deux de l'Université de Genève. C'est durant ses années de thèse qu'il a développé son domaine d'excellence, en l'occurrence les fibres optiques et leurs applications. En 1988, Luc Thévenaz a rejoint l'EPFL, où il dirige actuellement un groupe de recherche en photonique. Ses domaines de recherche couvrent les capteurs à fibre optique, l'optique non-linéaire dans les fibres, la lumière lente et rapide, et la spectroscopie laser dans les gaz. Durant sa carrière, il a séjourné à l'Université de Stanford, USA, en Corée du Sud et en Australie, et a fondé l'entreprise Omnisens à Morges.

EPFL, Institut d'Electricité, STI-GR-SCI-LT Station 11, 1015 Lausanne, luc.thevenaz@epfl.ch

[1] GOverning the SPeed of Light. http://www.gospel-project.eu.

Anzeige

ECOC 2011 GENEVA



37th European Conference and Exhibition on Optical Communication

State of the Art en communication optique

Journée de l'industrie: mardi, 20 septembre 2011

The Swiss way of fibre to the home (FTTH)

Dans le cadre de la conférence avec exposition ECOC 2011, une journée d'échange d'idées consacrée tout particulièrement à l'industrie suisse. Profitez de l'accès gratuit à l'exposition, la plus grande de la branche en Europe.

Pour de plus amples informations et inscription: www.ecoc2011.org

Organisation:
Electrosuisse
Luppmenstrasse 1
8320 Fehraltorf
ecoc2011@electrosuisse.ch

Häufig gestellte Frage N° 4:

Wer bringt endlich Licht ins Dunkel?

Ineltec

13.–16. Sept.
Halle 1.1
Stand A29

Hager hat die Antwort auf Ihre Fragen. Mit der neuen kallysto-Generation verbinden wir nicht nur Design und Innovation auf höchstem Niveau, sondern garantieren auch weiterhin optimale Kompatibilität mit der aktuellen Serie. Entdecken Sie das neue kallysto Schalter- und Steckdosensortiment an der Ineltec 2011.

hager

www.hager-tehalit.ch/kallysto