

基于一种优化的梳状布里渊增益谱实现对 任意周期信号的零展宽快慢光^{*}

郑 狄[†] 潘 炜 闫连山 罗 斌 邹喜华 江 宁 马雅男

(西南交通大学信息科学与技术学院, 成都 610031)

(2009 年 4 月 26 日收到; 2009 年 5 月 20 日收到修改稿)

在理论分析任意信号实现无畸变快慢光所需条件的基础上, 根据周期信号的频谱特点, 推导出一种优化的梳状布里渊增益谱的普适公式. 利用该普适公式, 可根据所需时间延迟或超前量, 方便地得到周期信号每个离散频谱分量所对应的各离散布里渊增益谱的强度和增益谱峰值相对于频谱分量的偏移量, 从而确定整个梳状布里渊增益谱的形状. 通过对正弦信号、周期性高斯信号和周期性方波信号的数值计算, 结果表明, 利用该优化的梳状布里渊增益谱可实现这三种周期信号在零展宽下的快慢光, 证实了所得普适公式的正确性. 此外, 通过调节各离散布里渊增益谱的强度和偏移量, 时间延迟或超前量连续可调.

关键词: 快慢光, 受激布里渊散射, 周期信号

PACC: 4265, 4281D

1. 引 言

近年来, 控制光波在介质中的传播速度已经成为光学领域的一个研究热点^[1-6], 尤其是基于光纤受激布里渊散射效应(SBS)的可控快慢光更是引起了人们的广泛关注. 快慢光技术可广泛应用于数据同步、光存储和全光信号处理等方面^[7-9], 避免了光数据包在交换输出端的竞争、数据包丢失等问题. 然而在普通单模光纤中本征布里渊增益带宽只有几十兆赫兹, 因而数据的处理速率被限制在每秒几十兆比特, 这远远滞后于现有光通信系统的传输速率(>10 Gbit/s). 因而如何得到宽带布里渊增益谱, 从而实现对 $\sim$ Gbit/s 数据信号的操作, 人们对其进行了广泛的研究. 已有的拓宽布里渊增益谱的方法包括: 使用伪随机码或高斯噪声直接调制抽运光源^[10-12]、利用多个布里渊增益谱的叠加展宽^[13, 14]或利用谱分割非相干 ASE 源^[15, 16].

已有快慢光文献绝大部分都针对的是单个脉冲或非周期信号, 涉及周期信号报道却很少. 对高速周期信号的时间超前或延迟控制在某些领域有着重要应用. 比如在 OTDM 系统中, 低速率的周

期控制(时钟)信号常常用来解复用高速率的数据流. 但实际中控制信号和数据流不总是完全同步的, 如果能够对周期控制信号进行延迟或超前, 实现与数据流的完全同步, 则可以大大提高系统的解复用正确率.

由于非周期信号含有丰富的频谱成分, 因而采用单个展宽的布里渊增益谱或损耗谱时, 可以有效地实现非周期信号的延迟或超前, 但作用于周期信号时其效率并不高. 这是因为理想的周期信号频谱主要由一系列线宽很窄的谐波分量组成, 信号的能量主要集中在这些离散频谱分量上. 因此对周期信号来说, 落在其离散频谱分量之外的宽带布里渊增益谱不仅浪费了实现宽带增益谱所需的高功率抽运光能量, 并且给这些离散频谱分量带来了不同的增益和附加相移, 导致输出的信号产生扰动, 如展宽. 如果使用梳状布里渊增益谱, 它由一系列离散的本征布里渊增益谱组成, 且每个离散增益谱对应于周期信号的一个离散频谱分量, 则可独立地控制每个离散频谱分量获得的增益和附加相移量, 进而得到与单个拓宽的布里渊增益谱完全不同的结果.

Jáuregui 等^[17]通过改变调制信号的频率实现了所有离散增益谱间隔的同步变化, 实验上利用等间

^{*} 四川省应用基础研究计划(批准号: 2008JY0064)资助的课题.

[†] E-mail: dzheng_swjtu@gmail.com

隔的梳状布里渊增益谱实现了在布里渊增益区对周期性方波信号的延迟或超前,但输出的快慢光存在畸变. 如何利用梳状布里渊增益谱实现对任意周期信号的零展宽快慢光效应是值得研究的问题. 本文首先从理论上分析了对任意信号实现无畸变快慢光的条件,接着推导出适用于任意周期信号的梳状布里渊增益谱的普适公式,最后通过对正弦信号、周期性高斯信号和周期性方波信号的数值分析证明了所得普适公式的正确性. 与等间隔梳状布里渊增益谱相比,应用这种优化的梳状布里渊增益谱在保证时间延迟或超前量连续可调的基础上,实现了对任意周期信号的零展宽快慢光效应;且根据所需时间延迟或超前量,利用推导出的普适公式,可以很方便地得到梳状布里渊增益谱的形状.

2. 理论模型

实现梳状布里渊增益谱的方法有很多:如通过对单个抽运光源进行外部强度调制或相位调制^[13,18,19],或者直接使用多个抽运光源^[15]. 在第一种方法中,调制后的抽运光的功率谱通常由一个载波和多个谐波频谱分量组成. 但这种方法不能单独调节每个谐波分量的频率位置,它严格等同于调制信号频率 f_m 的整数倍,且每个谐波分量的强度大小不易调节. 使用多个抽运光源具有更大的自由度,光源的输出强度和光源间的频率间隔易于调节,因而本文使用多抽运光源作为梳状布里渊增益谱的实现方法. 多个抽运光经 $N \times 1$ 路耦合器进入光纤,引入的总的复布里渊增益因子可表示为

$$g(\omega) = \sum_{k=-N}^N \frac{g_0 I_k \frac{L}{2}}{1 - 2i[\omega - (\omega_k - \Omega_B)]/\Gamma_B}, \quad (1)$$

这里 $\Gamma_B/2\pi$ 是本征布里渊增益谱的半极大全宽度(FWHM), g_0 是布里渊增益系数, ω_k 是第 k 个抽运光的中心角频率, N 是模型中考虑的最大谐波阶数. $I_k = P_k/A_{\text{eff}}$ 是第 k 个抽运光的强度, A_{eff} 为光纤有效模面积, L 是光纤长度.

在无抽运损耗和小信号近似条件下,输出信号的复振幅 $E(z=L, \omega)$ 可通过传输函数法与输入信号的复振幅 $E(z=0, \omega)$ 关联起来^[20],

$$E(z=L, \omega) = E(z=0, \omega) \cdot \exp(g(\omega)), \quad (2)$$

这里 $\exp(g(\omega))$ 是复数函数,可以写成 $H(\omega) = \exp(g(\omega)) = |H(\omega)| \exp(j\phi(\omega))$,因而与频率相关的时间延迟或超前量可以表示为^[21]

$$\tau(\omega) = -\frac{d\phi(\omega)}{d\omega}. \quad (3)$$

由(2)和(3)式可知,要想实现信号无畸变的超前或延迟,必须满足两个条件:1)信号的所有频率分量获得相同的增益;2)各频率分量获得的附加相移量应满足线性关系.

对于任意一种周期信号,它的频谱主要由一系列离散的频谱分量组成,各离散频谱分量间的频率间隔与周期信号的频率相同. 为了便于分析,假设梳状布里渊增益谱由 $2N+1$ 个离散的本征布里渊增益谱组成. 中心布里渊增益谱对应周期信号的载波分量,左右各 N 个布里渊增益谱分别对应周期信号的 $\pm N$ 阶谐波分量. 设第 k 个抽运光的峰值强度为 I_k ,相对于 k 阶谐波分量的偏离量为 $\Delta\omega_k$,则周期信号各谐波分量处所得的增益和相位由下式得到:

$$g_k(\Delta\omega_k) = \frac{g_0 I_k \frac{\Gamma_B}{2} \frac{L}{2}}{\frac{\Gamma_B}{2} - i\Delta\omega_k}. \quad (4)$$

$g_k(\Delta\omega_k)$ 的实部和虚部分别对应频谱分量获得的增益和附加相移量. 根据信号无畸变的超前或延迟的两个条件,这里设定周期信号各频率分量获得相同的增益量 G ;在频率坐标轴上,从左到右相邻谐波分量之间的相对相移量为 $\Delta\Phi$,则应满足以下两个方程:

$$G = \text{real}[g_k(\Delta\omega_k)] \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N), \quad (5)$$

$$\Delta\Phi = \text{imag}[g_{k-1}(\Delta\omega_{k-1})] - \text{imag}[g_k(\Delta\omega_k)] \\ (k = -N+1, -N+2, \dots, -1, 0, 1, \dots, N-1, N). \quad (6)$$

由于中心布里渊增益谱的峰值正对周期信号的载波频率,所以偏移量 $\Delta\omega_0 = 0$,则 $G = \text{real}[g_0(0)] = \frac{g_0 I_0 L}{2}$,且附加相移量为0. 对于其他谐波分量,由(5)式可得

$$G = \text{real}\left[\frac{g_0 I_k \frac{\Gamma_B}{2} \frac{L}{2}}{\frac{\Gamma_B}{2} - i\Delta\omega_k}\right] \quad (k = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N), \quad (7)$$

从而有

$$I_k = \frac{G \left(\left(\frac{\Gamma_B}{2} \right)^2 + (\Delta\omega_k)^2 \right)}{g_0 \frac{L}{2} \left(\frac{\Gamma_B}{2} \right)^2}. \quad (8)$$

将(8)式代入(6)式,得到

$$\Delta\Phi = \text{imag}\left[\frac{G\left(\left(\frac{\Gamma_{\text{B}}}{2}\right)^2 + (\Delta\omega_{k-1})^2\right)}{g_0\frac{L}{2}\left(\frac{\Gamma_{\text{B}}}{2}\right)^2} \frac{\Gamma_{\text{B}}}{2} - i\Delta\omega_{k-1}\right] - \text{imag}\left[\frac{G\left(\left(\frac{\Gamma_{\text{B}}}{2}\right)^2 + (\Delta\omega_k)^2\right)}{g_0\frac{L}{2}\left(\frac{\Gamma_{\text{B}}}{2}\right)^2} \frac{\Gamma_{\text{B}}}{2} - i\Delta\omega_k\right], \tag{9}$$

化简得

$$\Delta\omega_{k-1} = \frac{\Delta\Phi\Gamma_{\text{B}}}{2G} + \Delta\omega_k. \tag{10}$$

因为 $\Delta\omega_0 = 0$, 在 G 和 $\Delta\Phi$ 已知的情况下, 通过(10)式可以得到 $\Delta\omega_{-1}$; 再代入(8)式得到 I_{-1} . 由(8)和(10)式的递推关系就可确定整个复增益谱的形状. 由于梳状布里渊增益谱相对于中心增益谱是左右对称的, 因而只需求得一边的梳状增益谱形状, 另一边增益谱以对称的方式得到. 此外, 已知周期信号的离散频谱间隔 Δf 并给定所需的时间延迟或超前量 τ , 由(3)式可以很方便地得到所需的相对相移量: $\Delta\Phi = -2\pi\Delta f \cdot \tau$.

3. 结果与讨论

在数值计算中, 选取的光纤类型为 SMF-28, 参数值与文献[20]一致: $A_{\text{eff}} = 50\text{ }\mu\text{m}^2$, $\Gamma_{\text{B}}/2\pi = 40\text{ MHz}$, $\Omega_{\text{B}} \approx 10\text{ GHz}$, $g_0 = 5 \times 10^{-11}\text{ m/W}$. 光纤长度 $L = 500\text{ m}$, 中心布里渊增益谱所对应的抽运光功率为 $P_0 = 40\text{ mW}$. 周期信号的波长 $\lambda = 1550\text{ nm}$, 速率为 2.5 Gbit/s . 利用(8)和(10)式得到周期信号各离散频率分量所对应的离散布里渊增益谱的强度 I_k 和偏离量 $\Delta\omega_k$. 表1列出了 G 和 $\Delta\Phi$ 取不同值时得到的 I_k 和 $\Delta\omega_k$ 值. 需要指出的是: 这里只列出了 $-3 \sim +3$ 阶谐波分量对应的计算值, 用于分析能量主要集中于载波和较低阶谐波分量的周期性信号. 事实上, (8)和(10)式具有普适性, 可以针对任意周期信号计算得到任意阶频谱分量对应的 I_k 和 $\Delta\omega_k$. 将表1中得到的各阶离散布里渊增益谱的强度 I_k 和偏离量 $\Delta\omega_k$ 代入(1)式, 得到总的梳状布里渊增益谱, 如图1所示, 这里对应 $G = 10$ 和 $\Delta\Phi = -0.5\text{ rad}$ 的情况. 图1(a)是周期信号的频谱图, 这里选取的是 2.5 Gbit/s 周期性高斯信号, 信号的能量主要集中于小于3阶的谐波分量. 图1(b)和(c)

给出了梳状布里渊增益谱的增益和相位分布, 分别对应于 $g(\omega)$ 的实部和虚部. 值得注意的是, 在每个离散频谱分量附近都存在由受激布里渊散射效应引起的增益和相位突变. 为了便于观察, 每个离散频谱分量获得的增益和附加相移分别由图1(d)和(e)表示. 可以看出, 优化的梳状布里渊增益谱使各离散频谱分量获得了相同的增益, 且附加相移量满足线性关系.

表1 2.5 Gbit/s 周期信号对应的各阶布里渊增益谱的强度 I_k 和偏离量 $\Delta\omega_k$

梳状布里渊增益谱的阶数	$G = 10, \Delta\Phi = 0.5\text{ rad}$		$G = 10, \Delta\Phi = -0.5\text{ rad}$	
	$I_k/$	$\Delta\omega_k/$	$I_k/$	$\Delta\omega_k/$
	$\text{mW} \cdot \mu\text{m}^2$	MHz	$\text{mW} \cdot \mu\text{m}^2$	MHz
-3	0.812	3	0.812	-3
-2	0.808	2	0.808	-2
-1	0.802	1	0.802	-1
0	0.800	0	0.800	0
+1	0.802	-1	0.802	1
+2	0.808	-2	0.808	2
+3	0.812	-3	0.812	3

现实中, 周期信号的离散频谱分量是具有一定带宽的, 这个带宽的大小通常由相位噪声决定, 一般在兆赫兹量级. 当布里渊增益谱的带宽远大于激光源的线宽时, 可以忽略离散频谱分量的带宽对延迟性能的影响^[21]. 这个条件通常是满足的(布里渊增益谱的带宽一般为 $\sim 50\text{ MHz}$), 因而在我们模型中周期信号被考虑为无噪声信号. 为了便于比较, 首先将得到的普适公式简化为等间隔梳状布里渊增益谱的表达式($\Delta\omega_k = 0$). 把由3个离散增益谱组成的等间隔梳状布里渊增益谱作用于周期性方波信号, 如图2所示, 其内插图是输入周期性方波信号的波形. 改变调制信号的频率, 梳状布里渊增益谱中相邻离散增益谱的间距也随之改变. 当相邻离散增益谱的间距与周期信号离散频谱的间距不同时, 输出信号将产生延迟或超前. 值得注意的是, 输出信号虽然产生了延迟或超前, 但存在畸变, 输出波形不再是方波, 所得结果与文献[17]中的实验数据一致, 间接证明了所得普适公式的正确性. 此外, 无论是增加离散布里渊增益谱的数量, 还是优化外部调制信号的幅度和波形都不能做到周期性方波信号无畸变的延迟或超前, 其原因是不能同时满足周期信号所有频谱分量获得相同的增益和时间变化量.

图3和图4表示将优化的梳状布里渊增益谱分

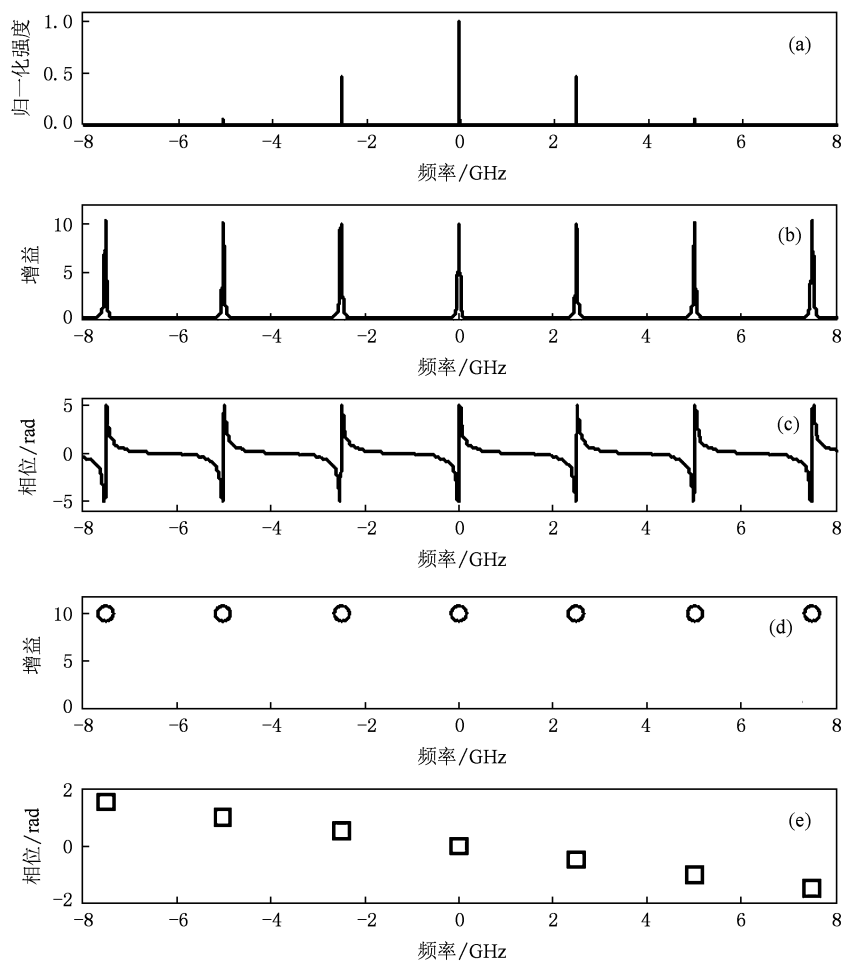


图1 梳状布里渊增益谱 (a)2.5 Gbit/s 周期性高斯信号的频谱图;(b),(c)优化的梳状布里渊增益谱的增益和相位变化;(d),(e)周期信号各离散频谱分量获得的增益和相位

别作用于 2.5 Gbit/s 周期性高斯信号和周期性方波信号时所得到的快慢光效应,计算中所用参数与表 1 相同. 实线对应 $\Delta\Phi = 0$ 时的输出信号,这时周期信号的所有频谱分量获得相同的增益和附加相移量,因而输出信号只是放大而没有延迟或超前. 当 $\Delta\Phi$ 为正时,输出的信号为快光,反之,输出信号为慢光. 本文中,用 FWHM 来表示信号的宽度. 值得注意的是,延迟或超前信号与无延迟信号几乎一致,没有任何展宽,这在使用单个展宽的布里渊增益谱或等间隔梳状布里渊增益谱情况下是很难实现的. 对于周期性方波信号,产生延迟或超前的信号顶端和底部有小的波动,且边沿陡峭度有所降低. 这是因为相对于周期性高斯信号,周期性方波信号拥有更多的离散频谱分量. 在数值分析中,梳状增益谱仅由 7 个离散的增益谱分量组成,因而周

期性方波信号的一些高频分量被忽略,造成了输出信号的扰动. 随着离散布里渊增益谱数量的增加,这种扰动可以得到很好的抑制.

对于任意形状的周期信号,当周期一致时,利用相同的梳状布里渊增益谱可以对任意周期信号进行零展宽的延迟或超前(这里假定周期信号的离散频谱分量小于离散增益谱的数量),且延迟或超前量相同. 选取 2.5 Gbit/s 的正弦信号进行分析,这里选取正弦信号的原因是其频谱较简单,信号的能量主要集中在中心载波和一阶谐波分量上. 当利用前面使用的优化的梳状布里渊增益谱(包含七个离散增益谱)作用于正弦信号时,梳状增益谱可以包含正弦信号所有的频谱分量,计算结果如图 5 所示. 可以看出,与周期性方波信号和高斯信号相比,输出的正弦信号获得了相同的延迟或超前量,且实

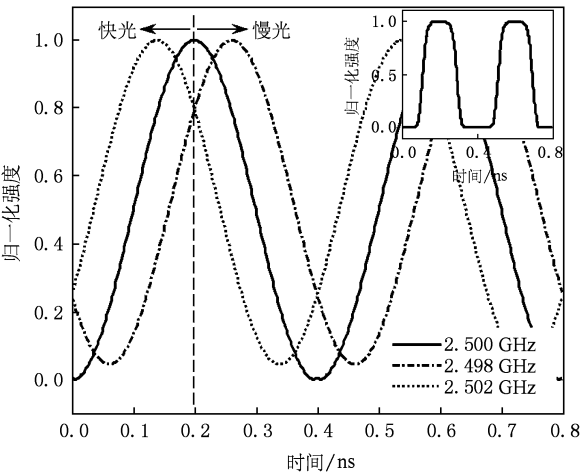


图2 在不同离散增益谱间隔下,等间隔梳状布里渊增益谱作用于周期性方波信号时得到的快慢光 内插图为输入周期性方波信号的波形图

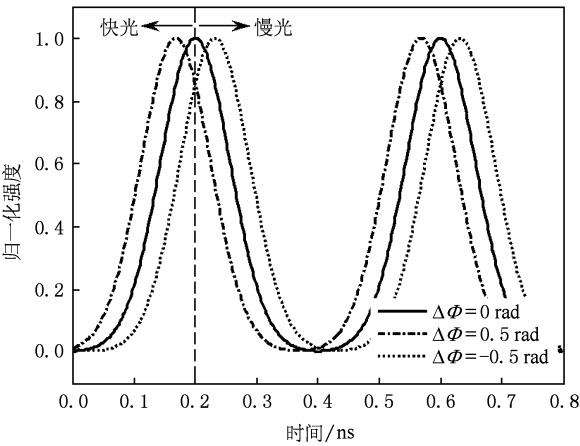


图3 在不同 $\Delta\Phi$ 下,优化的梳状布里渊增益谱作用于周期性高斯信号时得到的零展宽快慢光

现了零展宽传输.

梳状布里渊增益谱中离散增益谱的数量对输出信号质量的影响是一个很重要的指标,这里计算了在不同离散增益谱数量下延迟后的周期信号眼图,如图6所示. 左右两列分别对应周期性高斯信号和周期性方波信号. 在分析中,根据周期信号各离散频谱分量所占信号能量的比重,由大到小逐渐增加所对应的离散布里渊增益谱数量. 可以看出,随着离散增益谱数量的增加,对于频谱分量较少的周期性高斯信号,对输出信号质量的改善并不明显,延迟信号的形状与无延迟信号几乎一致. 方波信号由于拥有较多的离散频谱分量,增加离散增益

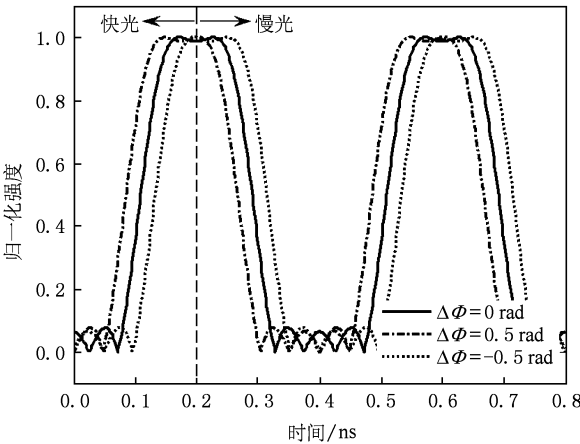


图4 在不同 $\Delta\Phi$ 下,优化的梳状布里渊增益谱作用于周期性方波信号时得到的零展宽快慢光

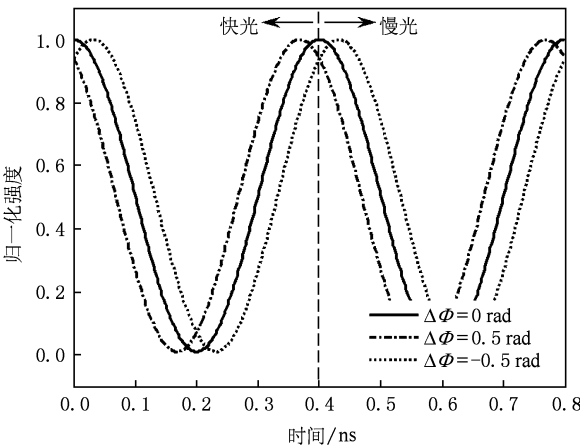


图5 在不同 $\Delta\Phi$ 下,优化的梳状布里渊增益谱作用于正弦波信号得到的零展宽延迟和超前

谱的数量可以有效地减小输出信号顶部和底部的波动,离散增益谱数量越多,延迟信号的畸变越小. 另一方面,在不同离散增益谱数量下,延迟信号都保持了很好的对称性,几乎没有展宽,这与使用单个展宽的布里渊增益谱的情况完全不同. 基于单个展宽的布里渊增益谱的慢光,延迟信号除了展宽外,信号的后沿还有严重的拖尾现象,甚至扩散到相邻信号^[7,12,13],这将严重影响输出端对信号的判决. 以上分析表明,利用优化的梳状布里渊增益谱对任意周期信号进行延迟或超前时,不必考虑周期信号所有的离散频谱分量,只要包含周期信号中占信号能量最主要的几个离散频谱分量,就可以实现对任意周期信号的零展宽快慢光效应.

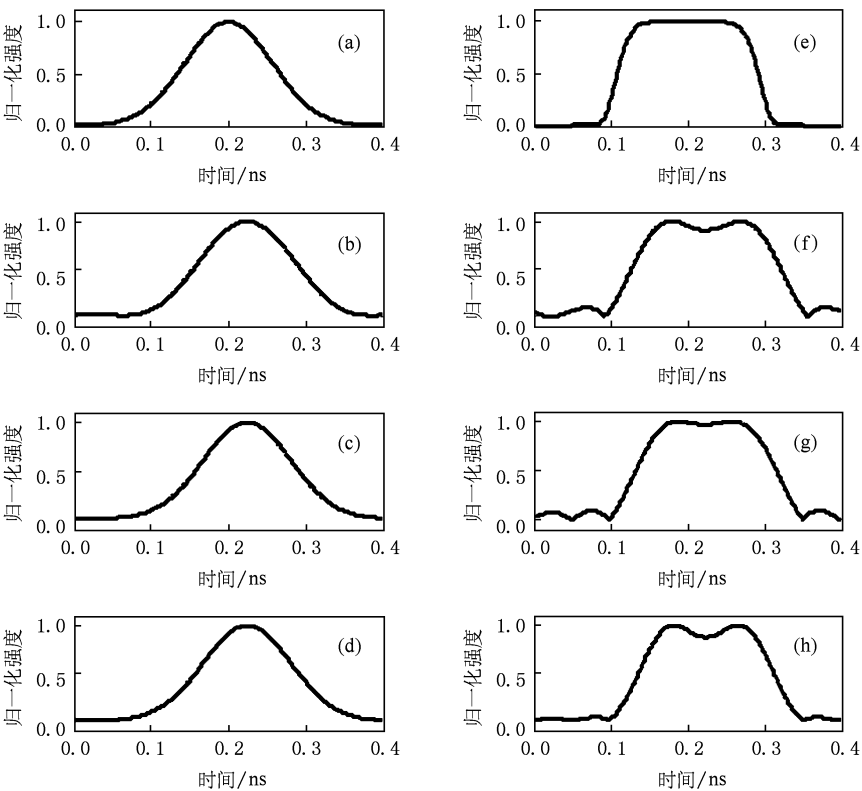


图 6 离散布里渊增益谱数量取不同值时,延迟后的周期性高斯信号和周期性方波信号眼图 (a) — (d) 为周期性高斯信号, (e) — (h) 为周期性方波信号; (a), (e) 为无延迟输出信号; (b), (f) 为 5 增益谱; (c), (g) 为 7 增益谱; (d), (h) 为 9 增益谱

4. 结 论

根据信号无畸变延迟或超前的条件,推导出一种优化的梳状布里渊增益谱普适公式,实现了对任意周期信号的零展宽快慢光. 利用该普适公式,可方便地得到在给定延迟或超前量下任意周期

信号所对应的梳状布里渊增益谱. 通过对正弦信号、周期性高斯和周期性方波信号的数值计算验证了普适公式的正确性. 与单个展宽的布里渊增益谱或等间隔梳状布里渊增益谱不同,优化的梳状布里渊增益谱克服了快慢光效应引入的信号畸变,并且在布里渊增益区同时实现了信号的零展宽快慢光.

[1] Qiu W, Zhang Y D, Ye J B, Tian He, Wang N, Wang H, Wang J F, Yuan P 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2242 (in Chinese) [邱 魏、掌蕴东、叶建波、田 赫、王 楠、王 号、王金芳、袁 萍 2008 物理学报 **57** 2242]

[2] Ye J B, Zhang Y D, Qiu W, Xu H W 2008 *Chin. J. Laser* **35** 563 (in Chinese) [叶建波、掌蕴东、邱 魏、徐焕文 2008 中国激光 **35** 563]

[3] Lu H, Tian H P, Li C H, Ji Y F 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2049 (in Chinese) [鲁 辉、田慧平、李长红、纪越峰 2009 物理学报 **58** 2049]

[4] Du X Y, Zheng W H, Zhang Y J, Ren G, Wang K, Xing M X, Chen L H 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7005 (in Chinese) [杜晓宇、郑婉华、张冶金、任 刚、王 科、邢名欣、陈良惠 2008 物理学报 **57** 7005]

[5] Wang S H, Ren L Y, Liu Y 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3943 (in Chinese) [王士鹤、任立勇、刘 宇 2009 物理学报 **58** 3943]

[6] Liu H Y, Meng Z M, Dai Q F, Wu L J, Lan S, Liu S H 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4702 (in Chinese) [刘海英、蒙自明、戴峭峰、吴立军、兰 胜、刘颂豪 2009 物理学报 **58** 4702]

[7] Okawachi Y, Bigelow M S, Sharping J E, Zhu Z M, Schweinsberg A, Gauthier D J, Boyd R W, Gaeta A L 2005 *Phys. Rev. Lett.* **94** 153902

[8] Xing L, Zhan L, Yi L L, Xia Y X 2007 *Opt. Express* **15** 10189

[9] Willner A E, Zhang B, Zhang L, Yan L S, Fazal I 2008 *J. Sel. Top. in Quantum Electron.* **14** 691

[10] Kalosha V P, Chen L, Bao X Y 2006 *Opt. Express* **14** 12693

[11] Herráez M G, Song K Y, Thévenaz L 2006 *Opt. Express* **14** 1395

- [12] Zhu Z M, Dawes A M C, Gauthier D J, Zhang L, Willner A E 2007 *J. Lightwave Technol.* **25** 201
- [13] Lu Z W, Dong Y K, Li Q 2007 *Opt. Express* **15** 1871
- [14] Stenner M D, Neifeld M A, Zhu Z M, Dawes M C, Gauthier D J 2005 *Opt. Express* **13** 9995
- [15] Zhang B, Yan L S, Zhang L, Willner A E 2008 *J. Lightwave Technol.* **26** 3763
- [16] Zheng D, Pan W, Yan L S, Luo B 2008. *Chin. J. Laser* **35**(s2) 81
- [17] Jáuregui C, Petropoulos P, Richardson D J 2008 *OFC2008*, paper OMH3
- [18] Minardo A, Bernini R, Zeni L 2006 *Opt. Express* **14** 5866
- [19] Shi Z M, Pant R, Zhu Z M, Stenner M D, Neifeld M A, Gauthier D J, Boyd R W 2007 *Opt. Lett.* **32** 1986
- [20] Zhu Z M, Gauthier D J, Okawachi Y, Sharping J E, Gaeta A L, Boyd R W, Willner A E 2005 *J. Opt. Soc. Am. B* **22** 2378
- [21] Lenz G, Eggleton B J, Madsen C K, Slusher R E 2001 *J. Quantum Electron.* **37** 525

Zero-broadening slow and fast light using an optimized Brillouin comb gain for arbitrary periodic signals^{*}

Zheng Di[†] Pan Wei Yan Lian-Shan Luo Bin Zou Xi-Hua Jiang Ning Ma Ya-Nan

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

(Received 26 April 2009; revised manuscript received 20 May 2009)

Abstract

Based on the theoretical analysis of the conditions of the fast or slow light without distortion for arbitrary signal, a universal formula of an optimized Brillouin comb gain is obtained in accordance with the spectrum characteristics of the periodic signal. According to the amount of delay or advancement required, each Brillouin gain intensity and frequency detuning between Brillouin gain peak and the corresponding harmonic frequency of periodic signal can be found conveniently using this universal formula, then the whole Brillouin comb gain is identified. Numerical calculation for sinusoidal signal, Gaussian periodic signal and square periodic signal is performed. The results show that zero-broadening slow and fast light is achieved using this optimized Brillouin comb gain for the three types of periodic signals, and the validity of the universal formula is proved. Moreover, the magnitude of the delay or advancement can be tuned continuously by adjusting the Brillouin gain intensity and frequency detuning.

Keywords: slow/fast light, stimulated Brillouin scattering, periodic signal

PACC: 4265, 4281D

^{*} Project supported by the Applied Basic Research Program of Sichuan Province, China (Grant No. 2008JY0064).

[†] E-mail: dzheng.swjtu@gmail.com