

几周期余弦-高斯激光脉冲的时间重心*

杨振峰

(河北科技大学 经济管理学院, 石家庄 050018)

摘 要:研究了几周期超短余弦-高斯脉冲的时间重心与绝对相位以及与余弦函数参量之间的关系, 给出了几周期超短余弦-高斯脉冲时间重心的解析表达式和模拟图形. 结果表明, 余弦-高斯脉冲的时间重心随着绝对相位的变化而发生漂移, 并且脉冲宽度对余弦-高斯脉冲时间重心的漂移量也有一定的影响. 余弦函数的参量在一定取值范围内对余弦-高斯脉冲也有较大的影响, 它可能导致几周期余弦-高斯脉冲的时间重心有较大的漂移.

关键词:激光物理; 超短光脉冲; 时间重心; 绝对相位

中图分类号: TN241

文献标识码: A

0 引言

近几年来, 随着超短脉冲技术的发展, 人们已经可以产生几周期甚至单周期的超短脉冲. 超短脉冲在自由空间、线性及非线性介质中传输时会产生很多新的现象, 尤其是超短脉冲光束中的时空耦合效应引起了很多新的性质. 所以, 超短脉冲已经被人们广泛关注^[1-2]. 然而在以往的长脉冲(与光学振荡周期相比)研究中, 绝对相位往往是不考虑的, 因为绝对相位在长脉冲中对脉冲的影响是微不足道的; 但对于超短脉冲而言, 当脉冲宽度可以与载波的振荡周期相比拟时, 绝对相位就不能再忽略了, 它对超短脉冲的性质有很大影响, 如脉冲的平均角频率等^[2-3]. 目前对超短脉冲绝对相位的控制已经初见成效. 所以研究绝对相位对超短脉冲性质的影响有着现实意义, 尤其是在超短脉冲的制造中尤为重要^[4-5]. BRABEC 等人^[2]研究了超短脉冲的平均角频率随绝对相位的变化, 结果表明, 当脉冲宽度只有短于一个光学振荡周期时, 绝对相位对脉冲的平均角频率有较大影响. 本文对超短余弦-高斯脉冲的时间重心进行了研究, 结果表明, 绝对相位对超短余

弦-高斯脉冲的时间重心有一定的影响; 余弦函数的参量对超短余弦-高斯脉冲也有很大的影响, 该参量在一定范围内会导致单周期以上的几周期脉冲时间重心也随绝对相位的变化而发生较大的变化.

1 理论计算

对于激光脉冲场, 可以用式(1)来表示.

$$E(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (1)$$

式中 $A(t)$ 是脉冲的包络, 且为实函数; ω_0 为载波的角频率; φ 为绝对相位.

余弦-高斯脉冲可以相应的表示为

$$A(t) = \cos(\Omega t) \exp(-t^2 / T_p^2) \quad (2)$$

式中的 T_p 与其相应脉冲包络半高全宽的关系为: $\tau_p = 2 \sqrt{\ln 2} T_p$, Ω 是余弦函数的参量. 脉冲的时间重心即为脉冲的一阶时间矩, 可以利用式(3)来计算.

$$\langle t \rangle = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} t A^2(t) \cos^2(\omega_0 t + \varphi) dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} A^2(t) \cos^2(\omega_0 t + \varphi) dt} \quad (3)$$

将式(1)和(2)代入式(3)中, 经过计算, 可求得余弦-高斯脉冲的时间重心

$$\langle t \rangle = -T_p^2 \exp(-T_p^2 \omega_0 \Omega) \sin(2\varphi) \left\{ \left[1 + \exp(2T_p^2 \omega_0 \Omega) + 2 \exp\left(T_p^2 \omega_0 \Omega + \frac{T_p^2 \Omega^2}{2}\right) \right] \omega_0 - \Omega \exp(2T_p^2 \omega_0 \Omega) + \Omega \right\} / \left\{ 4 \exp\left(\frac{T_p^2 \omega_0^2}{2}\right) \left[1 + \exp\left(\frac{T_p^2 \Omega^2}{2}\right) \right] + 2[1 + \exp(2T_p^2 \Omega \omega_0) + 2 \exp(T_p^2 \Omega (\Omega/2 + \omega_0))] \exp(-T_p^2 \Omega \omega_0) \cos(2\varphi) \right\} \quad (4)$$

2 余弦-高斯脉冲的时间重心分析

图 1 给出了 $\tau_p = 1.0T_0, 0.7T_0, 0.5T_0, \Omega = 0.5$

时, 余弦-高斯脉冲时间重心随绝对相位变化的示意图. 从图中可以看到, 对于不同的脉冲宽度, 绝对相位总是在 $\varphi = (2n+1)\pi/4 (n=0, 1, 2, \dots)$ 时对脉冲时间重心影响达到最小或最大值, 其中 $\varphi = (4n+1)\pi/4$ 时, 绝对相位对脉冲时间重心的影响达到最小值; 而 $\varphi = (4n+3)\pi/4$ 时, 绝对相位对脉冲时间重

* 河北省教育厅科学研究计划(2006111)资助

Tel: 0311-87202752 Email: yangzhenf@126.com

收稿日期: 2007-01-28

心的影响达到最大值.从图中还可以看到,绝对相位对不同脉冲宽度的余弦-高斯脉冲时间重心的影响也不同,脉冲宽度变小时,时间重心的漂移变大.但是并非脉冲宽度越小,时间重心漂移越大.图2给出了 $\varphi=0, \pi/4, 3\pi/4, \tau=0.5$ 时,余弦-高斯脉冲时间重心随脉冲宽度变化的示意图.从图中可以看到当脉冲宽度变小时,脉冲时间重心的漂移也逐渐变大,但是当脉冲约小于 $0.26T_0$ 后,脉冲时间重心随着脉冲宽度的漂移又逐渐减小.理论上脉冲宽度趋于零时,脉冲时间重心的漂移也趋于零.

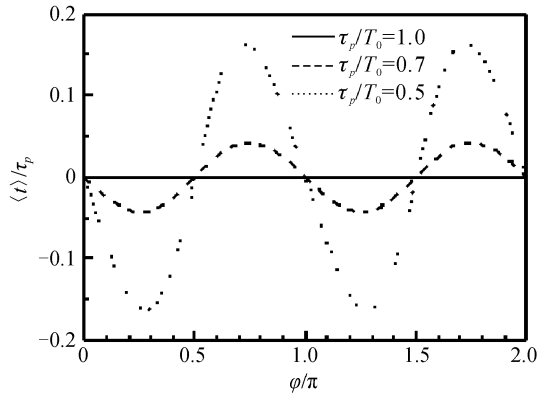


图1 不同脉冲宽度的余弦-高斯脉冲时间重心随绝对相位变化的示意

Fig.1 Variation of the center of time gravity of cosine-Gauss pulse with the absolute phase

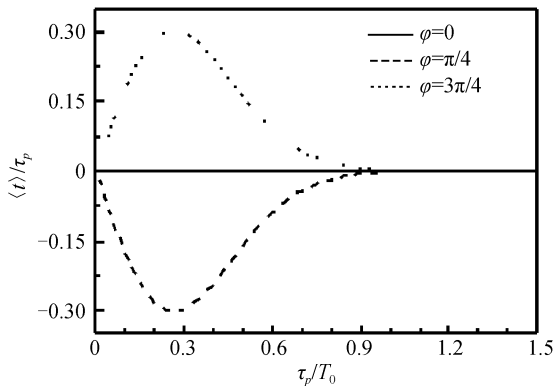


图2 不同绝对相位的余弦-高斯脉冲时间重心随脉冲宽度的变化示意

Fig.2 Variation of the center of time gravity of cosine-Gauss pulse with the pulse width

余弦函数的参量 Ω 对脉冲的时间重心也有很大影响.图3给出了 $\Omega=5, \varphi=0, \pi/4, 3\pi/4$ 时,余弦-高斯脉冲的时间重心随脉冲宽度变化的情况.从图中可以看到,当 Ω 较大时,绝对相位对余弦-高斯脉冲的影响变的更加强烈.首先是脉冲时间重心随脉冲宽度的变化曲线不再平滑;其次,当脉冲宽度大于一个光学振荡周期时,绝对相位对脉冲的时间重心仍然有较大的影响.通过模拟发现,并非 Ω 越大,对超短余弦-高斯脉冲时间重心的影响就越大.图4给出了 $\tau_p=1.0T_0, 0.9T_0, 0.8T_0$ 时,余弦-高斯脉

冲时间重心随 Ω 的变化示意图.从图中可以看出,对于脉冲宽度一定的余弦-高斯脉冲,随着 Ω 的变大,脉冲时间重心正向漂移并逐渐增大;当 $\Omega \approx 4.6$ 左右时,脉冲时间重心正向漂移达到最大值,随后逐渐减小; $\Omega \approx 8.0$ 左右时,脉冲时间重心漂移达到负向最大值,然后随 Ω 的增大而趋于一个定值.

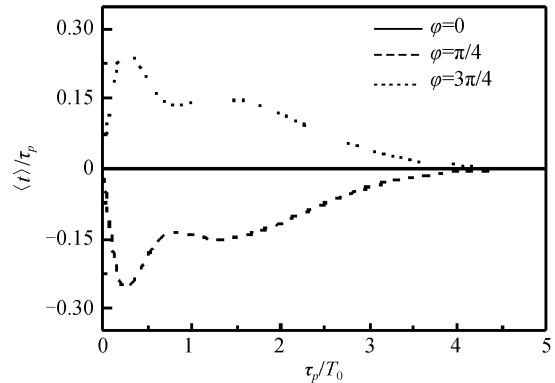


图3 $\Omega=5$ 时不同绝对相位的脉冲时间重心随脉冲宽度变化的示意图

Fig.3 Variation of the center of time gravity with the pulse width for $\Omega = 5$

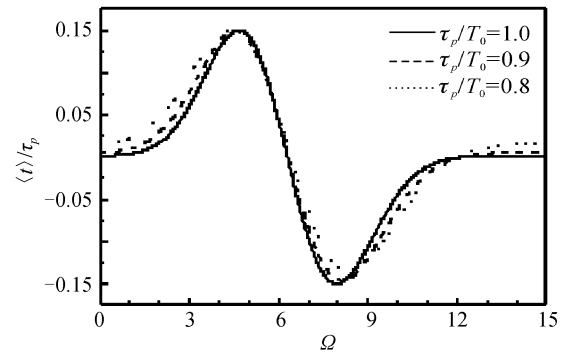


图4 $\varphi=3\pi/4$ 时不同脉冲宽度的时间重心随余弦函数的参量 Ω 变化的示意

Fig.4 Variation of the center of time gravity with the parameter Ω for three values of pulse width

3 结论

超短脉冲由于其脉冲宽度极短,所以呈现出一系列新的性质,因此对超短脉冲的研究方法也应重新考虑或有所改进.例如,脉冲宽度低于一个光学振荡周期时,超短脉冲的频率重心会有所改变,通常使用的缓变包络近似也将失效而应使用复解析信号等.本文对超短余弦-高斯脉冲的时间重心进行了研究,结果发现,当脉冲宽度较小时,绝对相位对脉冲时间重心有很大影响.当余弦函数的参量较大时,该参量在一定取值范围内对余弦-高斯脉冲的时间重心有很大影响,它会导致脉冲宽度大于一个光学振荡周期的几周期余弦-高斯脉冲的时间重心有较大漂移.

参考文献

- [1] PORRAS M A. Ultrashort Pulsed Gaussian light beams[J]. *Phys Rev E*, 1998, **58**(1): 1086-1093.
- [2] BRABEC T, KRAUSZ F. Nonlinear optical pulse propagation in the single-cycle regime[J]. *Phys Rev Lett*, 1997, **78**(17): 3282-3285.
- [3] PORRAS M A. Diffraction effects in few-cycle optical pulses [J]. *Phys Rev E*, 2002, **65**(2): 026606.
- [4] FUJI T, ISHII N, TEISSET C Y, *et al.* Parametric amplification of few-cycle carrier-envelope phase-stable pulses at $2.1 \mu\text{m}$ [J]. *Opt Lett*, 2006, **31**(8): 1103-1105.
- [5] LL R, BIRGE J R, ARAGHCHINI M, *et al.* Carrier-envelope phase control by a composite plate[J]. *Optics Express*, 2006, **14**(12): 5829-5839.
- [6] YANG Zhen-feng, YANG Zhen-jun, HU Wei. Ultrashort pulsed complex argument Sinc-Gaussian beams [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **56**(2): 859-862.
杨振峰, 杨振军, 胡巍. 超短脉冲复宗量辛格高斯光束[J]. 物理学报, 2007, **56**(2): 859-862.
- [7] ZOU Qi-hui, LÜ Bai-da. Propagation properties of ultrashort pulsed Bessel-Gauss beams with constant diffraction length[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(5): 746-749.
邹其徽, 吕百达. 等衍射长度超短脉冲贝塞耳-高斯光束的传输特性[J]. 光子学报, 2006, **35**(5): 746-749.
- [8] ZHENG Zhen, LÜ Bai-da. Far-field properties of ultrashort pulsed Gaussian beams in a linear dispersive medium[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(9): 1404-1407.
郑振, 吕百达. 超短脉冲高斯光束在线性色散介质中的远场特性[J]. 光子学报, 2006, **35**(9): 1404-1407.
- [9] WANG Chun-hua, YAN Ai-min, LIU Li-ren, *et al.* Ultrashort pulsed laser beam diffraction by one dimensional reflection volume holographic grating[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(12): 1803-1807.
王春花, 闫爱民, 刘立人, 等. 超短脉冲激光光束在一维反射型体全息光栅中的衍射[J]. 光子学报, 2006, **35**(12): 1803-1807.
- [10] WANG Xiang-xin, WANG Cheng, LI Shao-hui, *et al.* Dependence of attosecond pulses on the chirp of the excitation pulse[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(5): 641-643.
王向欣, 王成, 李邵辉, 等. 脉冲啁啾对于阿秒脉冲的影响[J]. 光子学报, 2005, **34**(5): 641-643.
- [11] YANG Jian-jun. Generation of ultra-broad-bandwidth femtosecond laser pulses in infrared and blue region[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(11): 1617-1622.
杨建军. 超宽带近红外和蓝光飞秒激光脉冲产生的实验研究[J]. 光子学报, 2006, **35**(11): 1617-1622.
- [12] GUO Feng, ZHUANG Yi-qi. A new UWB pulse design algorithm for inband interference suppression [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(9): 1345-1348.
郭锋, 庄奕琪. 带内干扰抑制的超宽带脉冲设计[J]. 光子学报, 2006, **35**(9): 1345-1348.

Center of Time Gravity of Few-Cycle Cosine-Gauss Pulse

YANG Zhen-feng

(School of Economics and Management, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

Received date: 2007-01-28

Abstract: The relations between the center of time gravity of the ultrashort cosine-Gauss pulse and the absolute phase, the parameter of the cosine function are studied. The analytical expression of the center of time gravity of the ultrashort cosine-Gauss pulse and some numerical simulation figures are given. The results show that the center of time gravity of the cosine-Gauss pulse varies with different absolute phases, and different pulse width also affects the center of time gravity. The parameter of the cosine function affects the center of time gravity of the cosine-Gauss pulse in a certain range, even for the cosine-Gauss pulse whose pulse width is longer than one optical oscillation period.

Key words: Laser physics; Ultrashort light pulse; Center of time gravity; Absolute phase



YANG Zhen-feng was born in 1976, in Hebei Province, China. He received his M. S. degree from College of Information Science and Engineering of Yanshan University. His main research focuses on numerical simulation and computer calculation in laser transmission.