

大气湍流引起 CO₂ 激光自差通信系统 相位起伏的研究

谢小川

(西南技术物理研究所, 成都 610015)

苏云真 冯志超

(电子科技大学, 成都 610054)

提要: 本文对 CO₂ 激光自差通信系统接收中频信号相位受大气湍流的随机起伏进行的理论与实验研究表明, 该系统有助于克服大气湍流对接收中频信号相位的随机起伏, 由大气湍流带来的随机相位噪声可不予考虑。

关键词: 自差通信, 大气湍流, 相位起伏, 相位噪声

Investigation of phase fluctuations by atmospheric turbulence for CO₂ laser homodyne communication system

Xie Xiaochuan

(South-West Institute of Technical Physics, Chengdu)

Su Yunzhen, Feng Zhichao

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu)

Abstract: The phase fluctuations of received IF signals by atmospheric turbulence for CO₂ laser homodyne communication system are investigated theoretically and experimentally. The results show that the system is helpful to overcome the random phase fluctuation of the received IF signals. The noise effect due to the phase fluctuations by atmospheric turbulence can be neglected.

Key words: homodyne communication, atmospheric turbulence, phase fluctuation, phase noise

在激光大气通信工程中, 通常有直接检测与外差检测。由于直接检测只响应光波功率而不响应光波频率、相位, 故直接检测只适于强度调制系统, 对频率、相位调制的通信无能为力。外差检测由于以相干信号混频, 故对于频率、相位调制的通信应用广泛。但光信号在大气中传输时, 大气湍流使光束波阵面随机起伏^[1]。其接收中频信号相位随机起伏, 给系统带来随机相位噪声。特别是在基带频率、相位调制的光通信中, 中频信号相位的随机起伏将使解调后的输出波形畸变, 降低系统 SNR 值^[2]。为此, 我院应用物理所正研制基带频率调制的 CO₂ 激光自差通信。下面, 我们将分析该系统的特点, 中频信号相位特性的实验测试、实验数据及结果讨论。

一、CO₂ 激光自差通信特点

CO₂ 激光自差通信系统基本框图如图 1 所示,由发射端激光器产生的光经分束器分束,一束光经声光调制器作为信号光;另一束为本振光,两光束并束后一起发射经大气信道到达接收端,在光电探测器上两光束混频得到中频信号,然后再由电子系统进行中频信号处理。

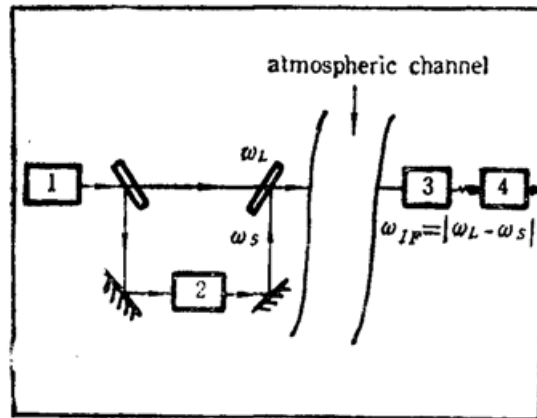


Fig. 1 Schematic diagram of the homodyne communication principle

1—laser; 2—optical modulator; 3—detector; 4—IF amplifier

二、理论分析

由于信号光、本振光于发射端并束后发射到达接收端,假设接收端探测器上的场为平面波入射,则

$$E_S(\mathbf{x}) = A_S(\mathbf{x}) \cos[\omega_S t + \phi_{0S} + \phi_S(\mathbf{x})] \quad (1)$$

$$E_L(\mathbf{x}) = A_L(\mathbf{x}) \cos[\omega_L t + \phi_{0L} + \phi_L(\mathbf{x})] \quad (2)$$

式中, $A_S(\mathbf{x})$ 、 $A_L(\mathbf{x})$ 分别为信号光、本振光各向同性, 统计均匀的振幅随机变量; $\phi_S(\mathbf{x})$ 、 $\phi_L(\mathbf{x})$ 分别为信号光、本振光各向同性, 统计均匀的相位随机变量; ϕ_{0S} 、 ϕ_{0L} 分别为信号光、本振光恒定相位; ω_S 、 ω_L 分别为信号光、本振光的频率。

两光束同时入射于具有平方律特性的探测器, 由于探测器的时间常数的限制, 不能响应光频及倍频, 只对其差频响应^[3]。

中频信号

$$i_S = \frac{e}{h\nu} \eta \int A_S(\mathbf{x}) A_L(\mathbf{x}) \cos[(\omega_S - \omega_L)t + \Delta\phi] d\mathbf{x} \quad (3)$$

式中; $\Delta\phi = \phi_{0S} - \phi_{0L}$; η 为探测器量子效率; $h\nu$ 为光子能量, 式(3)中, 令 $\Delta\omega = \omega_S - \omega_L$, 由于 $\Delta\omega \ll \omega_S$ 及 $\Delta\omega \ll \omega_L$, $\omega_S \approx \omega_L$, 近似有, $\phi_S(\mathbf{x}) \approx \phi_L(\mathbf{x})$, 故式(3)接收中频信号 i_S 受大气湍流相位扰动很小。

信号功率

$$\begin{aligned}
 S &= \langle i_s^2 \rangle R \\
 &= \left(\frac{e}{h\nu} \eta \right)^2 R \left\langle \left\{ \int d\mathbf{x} A_S(\mathbf{x}) A_L(\mathbf{x}) \cos[(\omega_S - \omega_L)t] \right\}^2 \right\rangle \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{e}{h\nu} \eta \right)^2 R \left[\int [d\mathbf{x} A_S(\mathbf{x}) A_L(\mathbf{x})]^2 \right]
 \end{aligned} \quad (4)$$

式中, R 为负载。

若考虑噪声来源主要由 $\bar{P}_T = \bar{P}_S + \bar{P}_L$ 决定, 则信噪比 $\langle S \rangle / N$ 为

$$\frac{\langle S \rangle}{N} = \frac{(e\eta/h\nu)^2 R}{2K\bar{P}_TB} \iint d\mathbf{x}' d\mathbf{x} \langle A_S(\mathbf{x}) A_L(\mathbf{x}) A_S(\mathbf{x}') A_L(\mathbf{x}') \rangle \quad (5)$$

式中, B 为接收带宽; K 为一比例常数。

若考虑在点探测的情况下, 式(4)可化为

$$\frac{\langle S \rangle}{N} = \frac{(e\eta/h\nu)^2 R}{2K\bar{P}_TB} \sigma_r^2 \mu \bar{P}_S \bar{P}_L \quad (6)$$

式中; σ_r 为接收口径面积, μ 为大气湍流对振幅起伏的一调制因子; \bar{P}_S , \bar{P}_L 分别为在无湍流情况下接收到的信号光、本振光平均功率。

同样由式(6)可以看出, 该自差通信系统 SNR 值受大气湍流相位起伏的影响很小。下面, 我们将从实验上加以验证。

三、实验方案

为了从实验上测量此系统接收中频信号相位随机起伏, 本实验光路如图 2 所示。由信号源提供中心频率为 70 MHz 的信号加于驱动源上, 驱动源对此信号进行功率放大后, 再加于声光调制器上。由 CO₂ 激光源产生的单模、线偏振的激光经分束器分束, 其中一束光经声光调制器与受调制的声波相互作用, 产生受调制的一级 Bragg 衍射光, 此衍射光为信号光, 光功率为 170 mW。另一束折射光作为本振光, 光功率为 140 mW。两光束并束后, 经口径为 100 mm 的卡塞格仑光学天线发射, 在室内发射天线前端约 4 m 处由分束器取样一束光经光电转换、前置放大、主级放大处理后的电信号送入双踪示波器一端作为比较参考基准。另一束光经大气

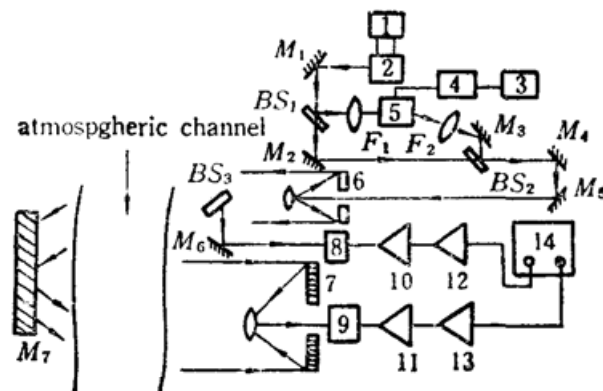


Fig. 2 Optical path of the experimental system

1—electronic transducer; 2—CO₂ laser; 3—OSC; 4—power amp.; 5—acousto-optic modulator;
6, 7—transmitter (receiver) antennas; 8, 9—H₂ CdTe detector; 10, 11—preamp.; 12, 13—IF
amp.; 14—screen; M₁~M₇—mirrors; BS₁~BS₃—beam splitters; F₁, F₂—lens

传输约 310 m 后由口径为 200 mm 的平面反射镜反射回发射端, 并由口径为 200 mm 的另一支卡塞格仑光学天线接收反回信号, 经光转换、前置放大、主级放大处理后的电信号送入双踪示波器另一端, 通过采集取样信号与反回信号的相对相移, 可以得出此系统接收中频信号受大气湍流相位的影响。整个实验系统大气信道(一个来回)共计 620 m, 离地面高度 50 m。

四、实验数据举例

我们实测了数据, 并进行了长时期的观察。表 1 中, Δt 表示由高精度宽带贮存示波器上表示室内、室外两波形的相对相移(ns)。 V_1 为室内信号电压(V), V_2 为室外信号电压(V)。其中在实验过程中, 为了克服大气湍流对信号幅度的起伏, 室外一路信号采取了自动增益 AGC 控制^[4]。

Table 1 Examples of experimental data

Sampling time	Δt (ns)	V_1 (V)	V_2 (V)
8.45	7.10	1.15	1.00
9.45	7.10	1.15	1.00
10.45	7.10	1.15	0.80
11.45	7.10	1.15	1.00
12.45	7.10	1.15	0.80
1.45	7.10	1.15	1.00

Feb. 13, 1989, clear, weak turbulence, visible rang 1000 m

五、实验技术关键

5.1 电源电流的起伏

由于实验系统所用电来自市电, 因此, 常常出现激光电源电流的起伏。在实验过程中, 我们特别观察到当电梯上下运行时, 激光电源电流不稳, 双踪示波器上室内、室外信号波形同时增减, 这给数据采集带来误差, 实验期间应加以避免。

5.2 冷却水泡的影响

实验观察到当开机后, 激光器内冷却管壁道内的水泡对激光输出稳定有一定影响, 当气泡在出口处撞击管壁时, 双踪示波器上室内、室外波形不稳。因此, 实验数据采集应待激光器工作稳定后进行。

5.3 远端平面反射镜的影响

由于远端平面反射镜是安装在较高的楼顶上, 楼上风速较大, 以至平面反射镜发生微小的振动。这时, 双踪示波器上室外信号波形不稳。但当再次固定平面反射镜后, 波形稳定。

5.4 大气湍流对波形幅度的影响

由于实验是在实地大气湍流信道中测试,大气湍流对室外信号波形幅度发生起伏,示波器上室外信号振幅变化,为此,我们在接收端电路中采取 AGC 电路克服振幅的起伏。

六、结果及讨论

以上的实测数据可以看出,在该季节中等湍流、弱湍流的天气条件下,大气湍流对这种自差通信系统接收中频信号相位扰动很小。对调频、调相的大气光通信来说,该天气条件大气湍流带来的随机相位噪声可以忽略不计。以上结论仅在某一季节实验情况,在不同季节和强湍流天气条件下的实验还待于以后进行。

参 考 文 献

- 1 吴健,乐时晓著,随机介质中光传播理论,成都电讯工程学院出版社,1988,第七章
- 2 吴伯修,沈连丰著,调频技术理论及新进展,人民邮电出版社,1988,第一章
- 3 Robert M. Gagliardi, Optical Communication, A Wiley-Interscience Publication, Chap. 6
- 4 田荣生,曾广荣,成都电讯工程学院学报,1984,增刊,16~21