

国际电信联盟

ITU-T

国际电信联盟
电信标准化部门

J.640
(03/2006)

G系列：传输系统和媒质、数字系统和网络
传输媒质的特性 - 海底电缆

自由空间光通信系统的并置纵向兼容接口

ITU-T G.640 建议书



ITU-T G系列建议书
传输系统和媒质、数字系统和网络

| | |
|--------------------------------------|--------------------|
| 国际电话连接和电路 | G.100-G.199 |
| 所有模拟载波传输系统共有的一般特性 | G.200-G.299 |
| 金属线路上国际载波电话系统的个体特性 | G.300-G.399 |
| 在无线电接力或卫星链路上传输并与金属线路互连的国际载波电话系统的一般特性 | G.400-G.449 |
| 无线电电话与有线电话的协调 | G.450-G.499 |
| 传输媒质的特性 | G.600-G.699 |
| 概述 | G.600-G.609 |
| 对称电缆线对 | G.610-G.619 |
| 陆上同轴电缆线对 | G.620-G.629 |
| 海底电缆 | G.630-G.649 |
| 光导纤维缆 | G.650-G.659 |
| 光部件和子系统的特性 | G.660-G.699 |
| 数字终端设备 | G.700-G.799 |
| 数字网 | G.800-G.899 |
| 数字段和数字线路系统 | G.900-G.999 |
| 服务质量和性能 — 一般和用户相关问题 | G.1000-G.1999 |
| 传输媒质的特性 | G.6000-G.6999 |
| 数据通过传送网传送 — 一般性问题 | G.7000-G.7999 |
| 以太网通过传送网传送的问题 | G.8000-G.8999 |
| 接入网络 | G.9000-G.9999 |

如需了解详情，请查阅ITU-T建议书清单。

ITU-T G.640建议书

自由空间光通信系统的并置纵向兼容接口

摘要

本建议书提供了确定两个并置的自由空间光通信（FSO）传输系统彼此互不干扰的程序，同时以某些并置FSO系统的实例说明防止干扰所需条件的计算方法。

来源

ITU-T第15研究组（2005-2008年）按照ITU-T A.8建议书的程序于2006年3月29日批准了ITU-T G.640建议书。

前 言

国际电信联盟（ITU）是从事电信领域工作的联合国专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电信联盟的常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化，发表有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定 ITU-T 各研究组的研究课题，再由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA 第 1 号决议规定了批准建议书须遵循的程序。

属 ITU-T 研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工技术委员会（IEC）合作制定的。

注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，又指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其它一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其它机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新信息，因此特大力提倡他们通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2006

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

目 录

| | 页码 |
|------------------------------|----|
| 1 范围 | 1 |
| 2 参考文献 | 1 |
| 2.1 规范性参考文献 | 1 |
| 2.2 资料性参考文献 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 3.1 定义 | 1 |
| 3.2 其它建议书中定义的术语 | 2 |
| 4 缩写词 | 2 |
| 5 参考点 | 3 |
| 6 并置纵向兼容性 | 3 |
| 6.1 两个 FSO 系统之间的串音防卫度 | 5 |
| 6.2 天气对串音防卫度的影响 | 9 |
| 6.3 情形A—同一波长的两个系统间的干扰 | 10 |
| 6.4 情形B—不同波长的两个系统间的干扰 | 11 |
| 6.5 确定是否满足并置纵向兼容的条件的程序 | 12 |
| 7 光通信的安全考虑 | 13 |
| 附录I—串音计算示例 | 13 |
| I.1 示例 1 | 13 |
| I.2 示例 2 | 15 |
| I.3 示例 3 | 16 |

ITU-T G.640建议书

自由空间光通信系统的并置纵向兼容接口

1 范围

本建议书确定“并置纵向兼容”的自由空间光传输系统的光通信接口，从而实现在同一地点并置一个以上点对点自由空间光通信系统且无干扰产生的目标。

本建议书亦提供有关自由空间光通信系统特性描述的参数的定义。

2 参考文献

2.1 规范性参考文献

下列ITU-T建议书和其它参考文献的条款，在本建议书中被引用而构成本建议书的条款。在出版时，所指出的版本是有效的。所有的建议书和其它参考文献均会得到修订，因此本建议书的使用者应查证是否有可能使用下列建议书或其它参考文献的最新版本。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时不具备建议书的地位。

- ITU-T Recommendation G.957 (2006), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy*.
- IEC 60825-1 (2001), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*.
- IEC 60825-2 (2005), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*.
- IEC 60825-12 (2005), *Safety of laser products – Part 12: Safety of free space optical communication systems used for transmission of information*.

2.2 资料性参考文献

- ITU-T G-series Recommendations - Supplement 39 (2006) : *Optical system design and engineering considerations*.

3 术语和定义

3.1 定义

本建议书定义了如下术语：

3.1.1 到达角 (acceptance angle) : (一个FSO接收机的) 到达角系接收机探测到的功率为 $1/e^2$ 时两条线之间形成的角度。这一参数亦称为FSO接收机的视野 (FOV)，且当功率密度为 $1/e^2$ 、 $1/e$ 或50%时，取相同定义。

3.1.2 波束发散 (beam divergence) : 波束发散系一个FSO波束的功率密度为 $1/e^2$ 时两条线之间形成的角度。

注 1 – 当功率密度为 $1/e$ 或50%时, 该参数取相同定义。

注 2 – 应从距透镜至少五倍于瑞利距离的地方测量波束发散 (见3.1.8), 以便确保测量在远场条件下进行。

3.1.3 信道间串音 (inter-channel crosstalk) : 当有用和干扰信号波长不同时, 接收机探测到的干扰光功率与有用光功率之间的比率。

3.1.4 信道间串音补偿 (inter-channel crosstalk penalty) : 系统预算中分配的用于弥补信道间串音的补偿。

3.1.5 干涉式串音 (interferometric crosstalk) : 当有用和干扰信号波长相同时, 接收机探测到的干扰光功率与有用光功率之间的比率。

3.1.6 干涉式串音补偿 (interferometric crosstalk penalty) : 系统预算中分配的用于弥补干涉式串音的补偿。

3.1.7 发射机 (或接收机) 调整误差 (transmitter (or receiver) setting error) : 发射机 (或接收机) 的中轴和连接发射机和接收机的直线之间的最大角度。

3.1.8 瑞利距离 (Rayleigh distance) : 它被定义为

$$\text{Rayleigh distance} = \frac{2D^2}{\lambda}$$

式中:

D 为发射机透镜的直径

λ 为波长

3.2 其它建议书中定义的术语

本建议书使用了ITU-T G.957建议书定义的如下术语:

– 消光比 (Extinction ratio) 。

4 缩写词

FOV 视野

FSO 自由空间光通信

Rfso 光接收机输入透镜之前的参考面

Rx 接收机

Sfso 光发射机器输出透镜之后的参考面

Tx 发射机

5 参考点

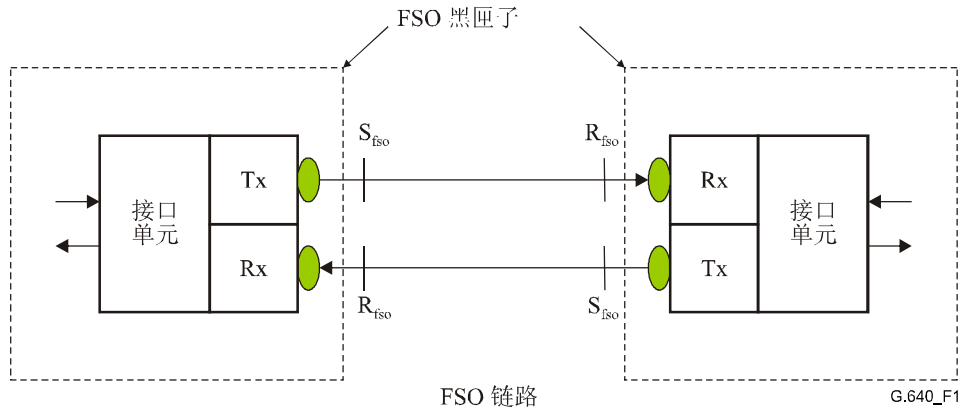


图 5-1/G.640 –自由空间光通信链路参考图

图5-1中的参考面定义如下：

- S_{fso} 为光发射机输出透镜之后的参考面；
- R_{fso} 为光接收机输入透镜之前的参考面。

6 并置纵向兼容

在一个FSO系统中， S_{fso} 和 R_{fso} 参考面之间的自由空间系很多其他用户出于各种不同目的而使用的一个共享媒质。为了确立FSO系统并置的标准，第6.1节阐述一个系统对另一系统造成干扰时所产生的串音防卫度，第6.2节探讨天气对该串音防卫度的影响。该串音所造成的光功率补偿分为两种情形阐述：

- 情形A- 两个系统波长相同（参见6.3），
- 情形B- 两个系统波长不同（参见6.4）。

图6-1具体说明两种情形之间的差异。

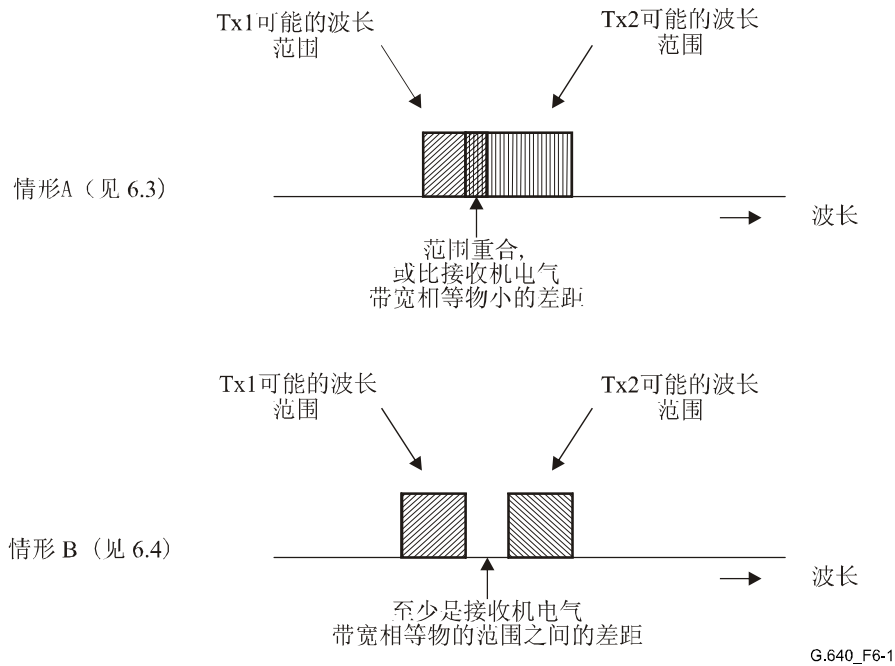


图6-1/G.640 –第6.3和6.4节中各情形之间的差异说明

对于双向系统，两个方向应分别加以考虑。

注 1 – 对于某些FSO系统来说，放射源相干性非常低（尤其在基于LED的系统中），因此即使波长相同，也无法探测到干涉式串音。对于这些并置的FSO系统，B情形的情况永远适用。

注 2 – 即使是某些基于激光的FSO系统，假定存在干涉式串音也不容乐观，原因是在某些波长上，大气可能破坏激光相干性的罪魁祸首。

6.1 两个FSO系统之间的串音防卫度

假设一个FSO发射机产生的波束近似一个高斯波束，则图6-2为一个一般性的FSO发射机的参考图。

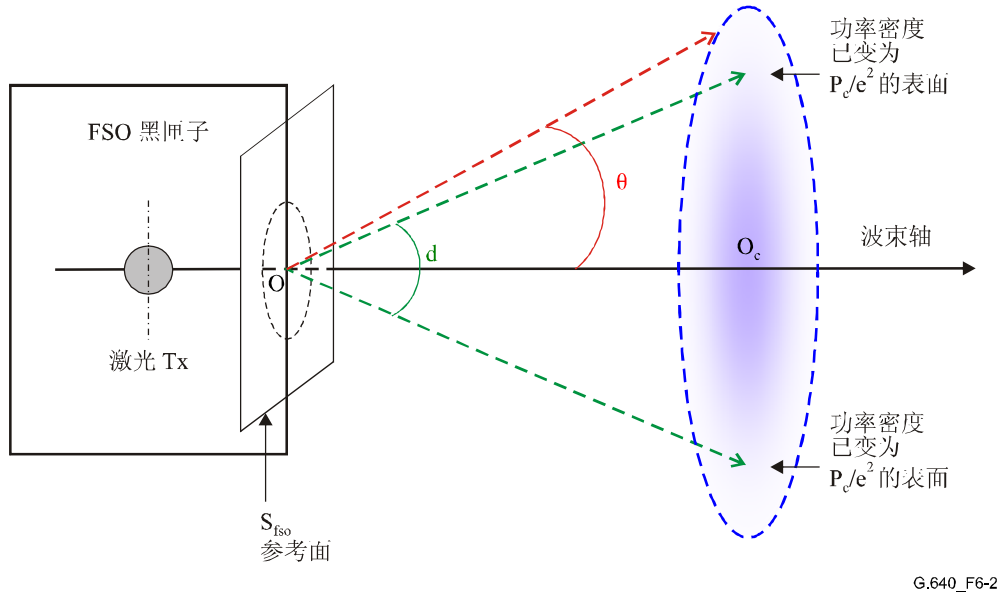


图 6-2/G.640 – FSO发射机的高斯波束参考图

该波束的光功率密度与波束轴成角度θ，其公式表示如下：

$$O = O_c e^{-\frac{8\theta^2}{d^2}} \quad (6-1)$$

式中：

O_c 为波束中心的光功率密度

d 为波束发散（当功率密度为1/e²时两条线之间的角度）

θ 为波束轴和测量点之间的角度

如果已知某一特定的FSO系统内光功率密度与角度之间的比值曲线，则应采用曲线中的各值替代6-1等式中的近似值。图6-3说明测得的曲线示例。

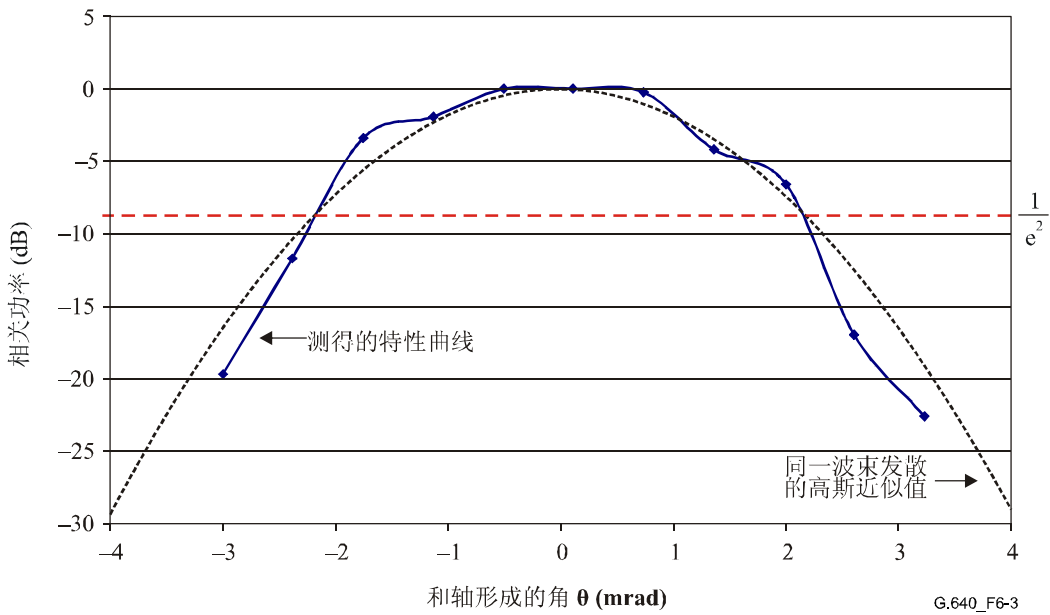


图6-3/G.640 – 测得的功率密度与角度之间的比值曲线示例

FSO接收机的对应参考图见图6-4。

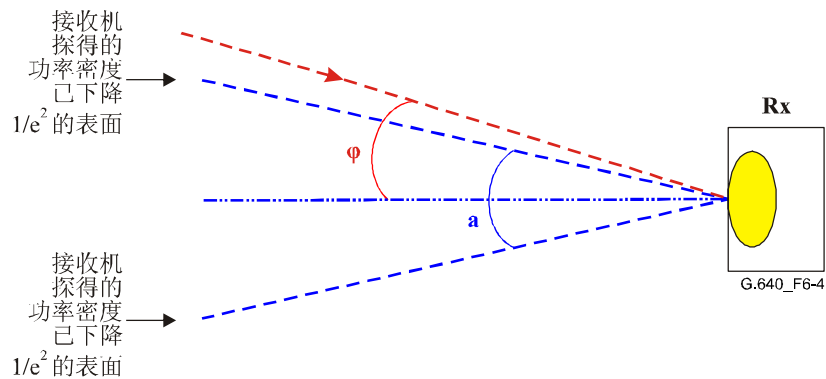


图6-4/G.640 – FSO接收机参考图

一个FSO接收机所探得的功率与角度之间的比值特性曲线取决于很多参数，包括透镜的焦距、透镜质量和探测器直径。

如果透镜形成的光点直径小于探测器的直径，则该特性曲线近似为矩形。然而，如果光点直径近似探测器直径，则特性曲线接近于高斯曲线，这时接收机探得的光功率（与接收机轴形成入射角 φ ）的计算公式如下：

$$R = R_a e^{\frac{-8\varphi^2}{a^2}} \quad (6-2)$$

式中：

R_a 为光与接收机轴形成入射角时接收机测得的光功率

a 为到达角（接收机测得的功率为 $1/e^2$ 时两条线之间的角度）

φ 为入射光和接收机轴之间形成的角度

上文的两种情形分别通过图6-5和6-6具体说明。

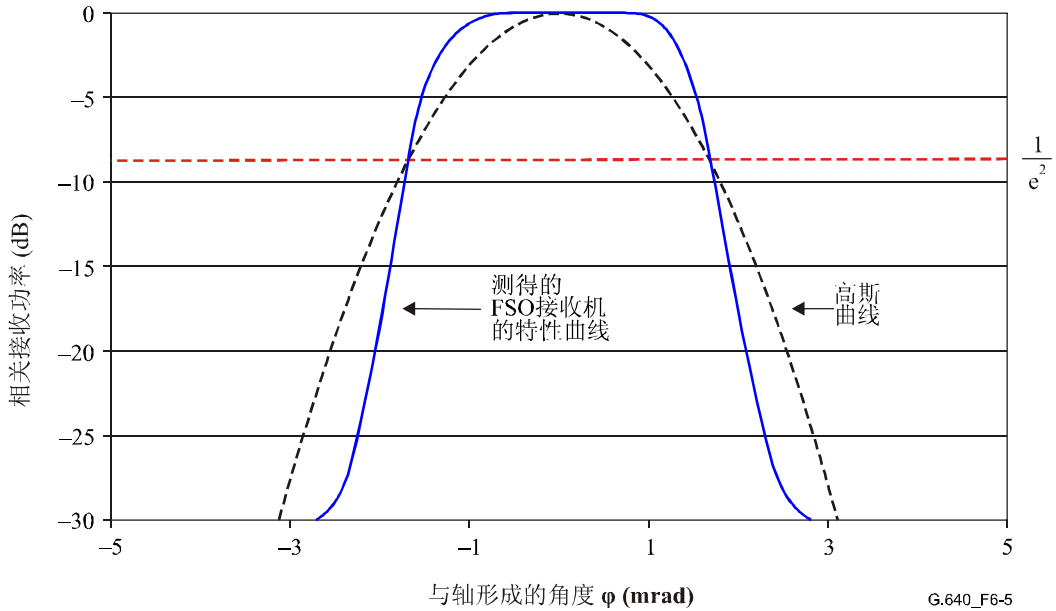


图6-5/G.640 –测得的接收功率与角度之间的
比值曲线呈矩形的示例

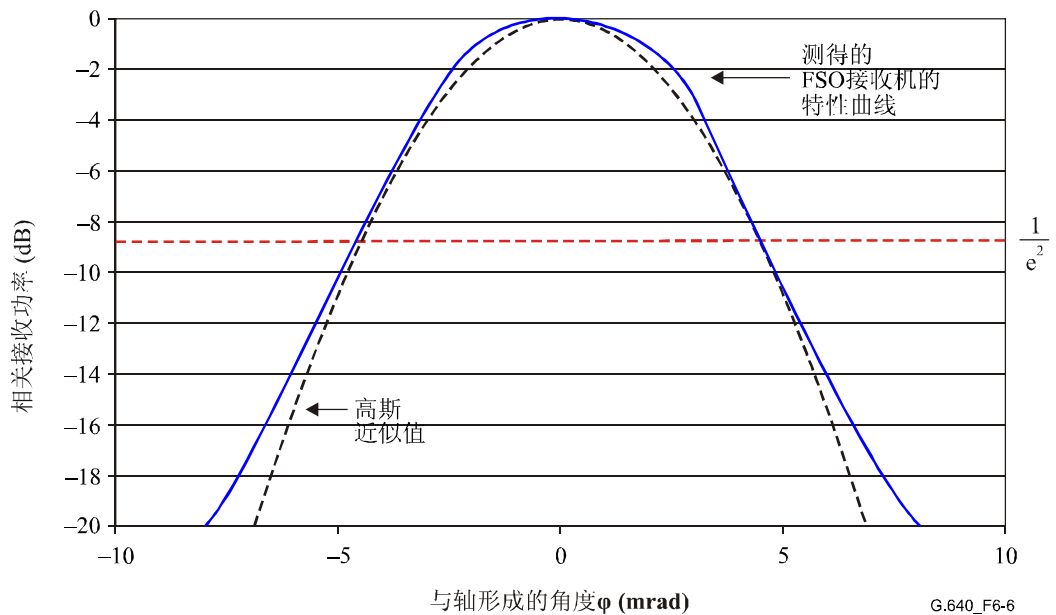


图6-6/G.640 –测得的接收功率与角度之间的比值曲线
呈高斯形状的示例

如图6-5所示，在呈矩形的情况下，测得的特性曲线和高斯曲线并不十分吻合。

因此在一个FSO系统内，如果已知其接收机探得的光功率与角度之间的比值曲线，则应采用曲线的各值替代等式6-2中的近似值。

当两个系统波长不同时，接收机端的滤光可能进一步降低探得的针对有用功率的干扰功率的量。图6-7具体说明这一效应。

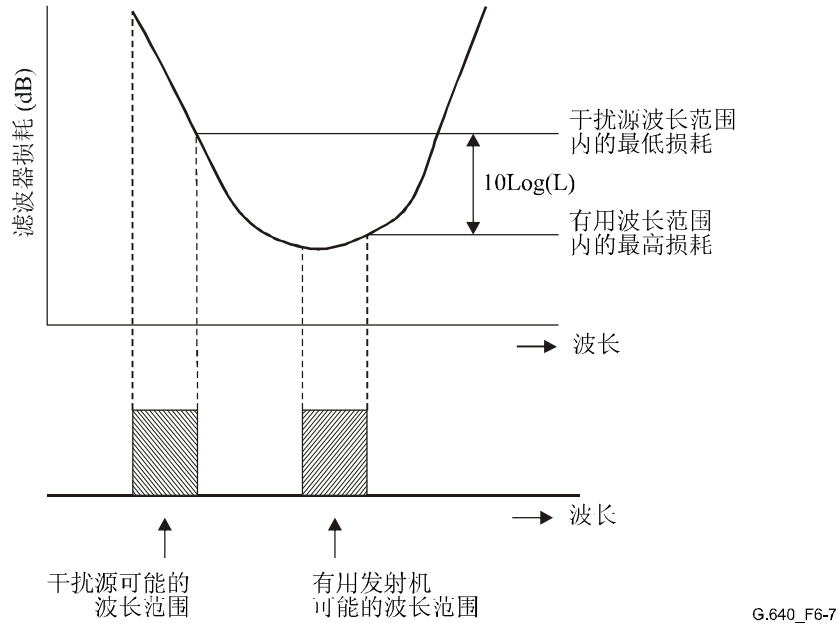


图6-7/G.640 – 滤光造成干扰功率降低的具体说明

图6-8说明了对另一系统造成干扰的FSO系统的一般情况。

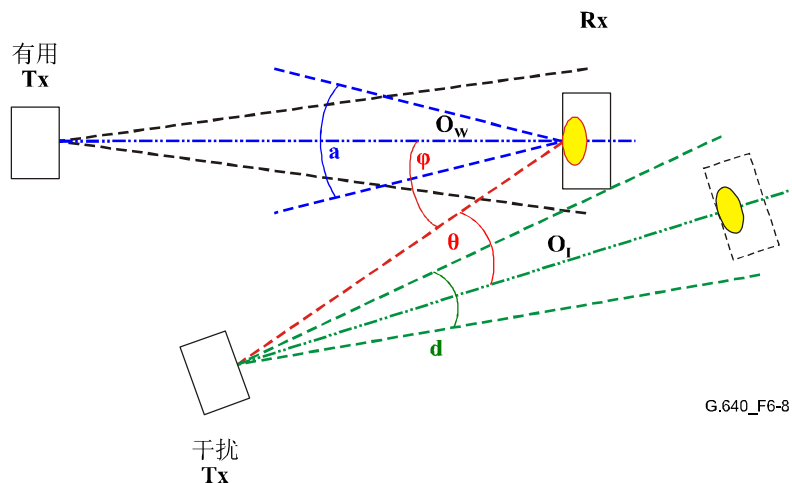


图6-8/G.640 – FSO系统串音参考图

由此得出计算串音防卫度C的等式如下：

$$C = L \frac{O_I}{O_W} e^{\frac{-8\theta^2}{d^2}} e^{\frac{-8\phi^2}{a^2}} \quad (6-3)$$

式中：

- L 为有用和干扰波长之间滤光损耗的比率，如图6-7所示（如果两个范围重合（情形A），或者两个范围在滤波器特性曲线的扁平段以内，则该值为1）
- O_W 为有用波束中心的最小功率密度
- O_I 为到干扰发射机的距离与到接收机的距离相等时干扰波束中心的最大功率密度
- θ 为干扰波束轴与干扰发射机和接收机之间的线形成的角度
- d 为干扰发射机的波束发散（功率密度为 $1/e^2$ 时两线之间的角度）
- ϕ 为接收机轴与干扰发射机和接收机之间的线形成的角度
- a 为接收机到达角（接收机测得的功率为 $1/e^2$ 时两线之间的角度）

如果已知干扰发射机的光功率密度与角度之间的比值曲线，则等式6-3中的 $e^{\frac{-8\theta^2}{d^2}}$ 项应替换为曲线的（线性）值。

同样，如果已知接收机测得的光功率与角度之间的比值曲线，则等式6-3中的 $e^{\frac{-8\phi^2}{a^2}}$ 项应替换为曲线的（线性）值。

6.2 天气对串音防卫度的影响

现实中应用的FSO系统一般设计成能够适应各种天气条件的系统。在计算串音防卫度时必须考虑的两个由天气造成的主要影响是衰减和波束发散。

6.2.1 衰减变化

使用等式6-3计算串音防卫度时，应谨慎评估 $\frac{O_I}{O_W}$ 系数，以确保取值为有用链路必须承受的各类天气条件中最坏的情况。具体而言，当干扰发射机比有用发射机更接近于接收机时，位于各自波束中心的干扰功率密度和有用功率密度之间的比率，在有用链路的衰减达到最大值时情况最差（即在可能承受的最坏天气条件下）。附录I的示例3即为上述情况的一个示例。

6.2.2 波束发散变化

天气对FSO造成的第二个影响是有效波束发散可能由于某些不利天气条件而有所升高。在为计算串音防卫度而设定等式6-3中d的值时，应当考虑这一影响。

当两个并置链路在不同波长上工作时，天气对有用波束和干扰波束造成的衰减各不相同。然而衰减差异程度取决于很多参数，比如水滴的大小。

6.3 情形 A –同一波长的两个系统间的干扰

当两个并置的FSO系统波长相同时，为防止相互干扰，每个FSO系统必须要求某些物理空间。它们要求的这个空间取决于干扰源产生的干涉式串音水平。

根据ITU-T G系列建议书—增补39，平均功率判定阈的干涉式串音补偿（包括不完全消光比的影响）为：

$$P_I = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{r-1}{r+1}}{\frac{r-1}{r+1} + 10^{\frac{C_I}{10}} - 4 \sqrt{\frac{r}{r+1}} 10^{\frac{C_I}{10}}} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6-4)$$

优化判定阈的此补偿为：

$$P_I = -10 \log_{10} \left(1 - 2 \left(\frac{(1 + \sqrt{r}) \sqrt{10^{\frac{C_I}{10}} (r+1)}}{r-1} \right) \right) \quad [\text{dB}] \quad (6-5)$$

式中：

P_I 为干涉式串音补偿（dB）

$C_I = \log_{10}(C)$ 为干涉式串音（dB）即，干扰功率和接收机探得的有用功率之间的比率

r 为有用信号的线性消光比

图6-9绘出了对理想有用信号和消光比为6dB的信号干扰式串音补偿。

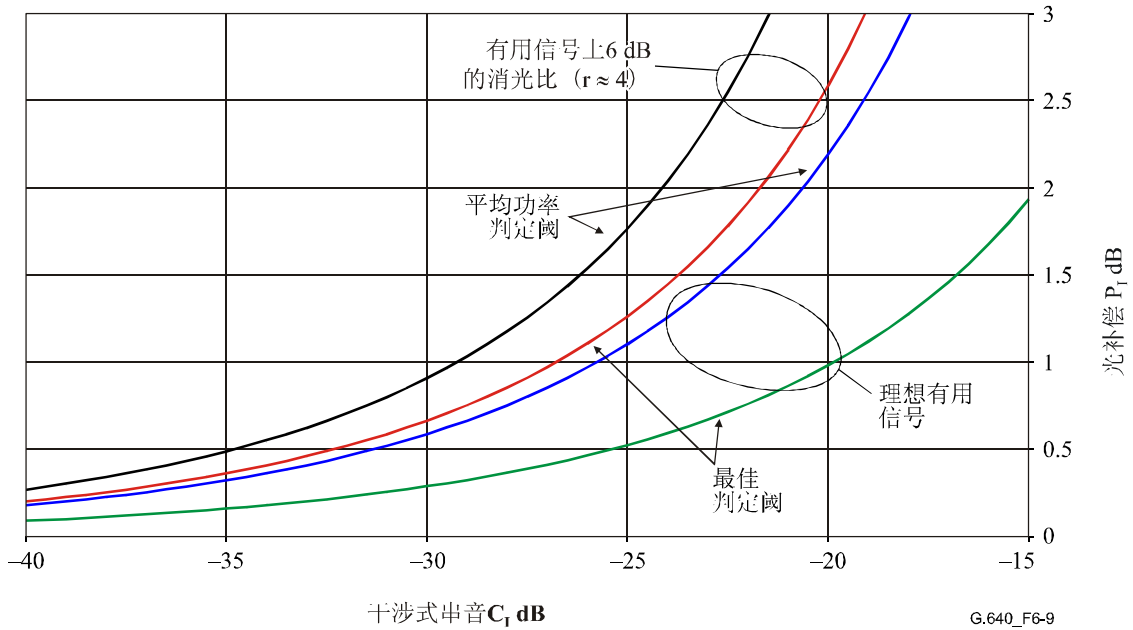


图6-9/G.640 –单一干扰源的光补偿对干涉式串音图（有界模式）

6.4 情形B – 不同波长的两个系统间的干扰

两个并置FSO系统波长**不可能**相同时（如图6-1情形B所示），干扰源产生的串音为信道间串音。

根据ITU-T G系列建议书—增补39，信道间串音补偿（包括不完全消光比的影响）是：

$$P_C = 10 \log_{10} \left(1 - 10^{\frac{C_C}{10}} \frac{r+1}{r-1} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6-6)$$

式中：

P_C 为信道间串音补偿（dB）

$C_C = \log_{10}(C)$ 为信道间串音（dB），即干扰功率与接收机探得的有用功率之间的比率

r 为有用信号的线性消光比。

图6-10绘出了对理想有用信号和消光比为6dB的信号干扰式串音补偿。

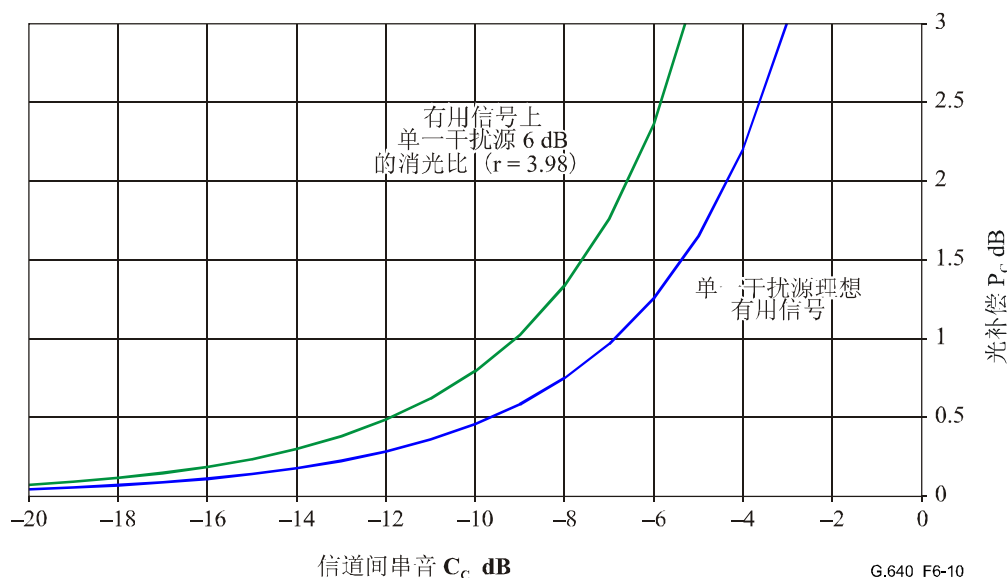


图6-10/G.640 – 单一干扰源光补偿对信道间串音图

6.5 确定是否满足并置纵向兼容的条件的程序

当需要将两个FSO系统安放在临近位置，使用以下程序可以做出有关两个系统是否相互产生不可忍受的干扰的评估。每一对FSO系统均应适用该程序两次，一次将一个系统做为有用系统，另一个做为干扰源，然后在下一次调换两个系统的角色。

- 1) 确立由有用系统功率预算可容许的串音产生的光补偿。例如，它可能是0.5 dB。
- 2) 决定适用图6-1所示的两种情形中的哪一种。两个带宽至少等同于接收机电气带宽的发射机，如果两者之间可能的波长范围有差距，则适用情形B，且串音为信道间串音，否则适用情形A—干涉式串音。
- 3) 计算串音防卫度。根据第2步的结果而有所不同。
 - a) 情形A。对于干涉式串音，使用等式6-4或6-5（取决于接收机判定点是否优化）计算取值多少的串音能够产生第1步中的最大补偿。例如，消光比为6dB的有用发射机以及带有平均功率判定阀的接收机，对于约为-35 dB的 C_1 会产生0.5dB的补偿（见图6-9）。
 - b) 情形B。对于信道间串音，使用6-6等式计算取值多少的串音能够产生第1步中的最大补偿。例如，消光比为6dB的有用发射机对于约为-12 dB的 C_c 会产生0.5dB的补偿（见图6-10）。

4) 使用等式6-3和两个FSO系统物理参数的值，计算为两个系统建议的物理位置是否支持在任何条件下均达到第3步得出的最大串音水平。应考虑6.2提供的信息，以确定使用的参数值，该值对应于任何天气条件下可能遇到的最坏情况，而预计有用系统在这一条件下以良好状态运行。

在现实中使用的FSO系统中使用这一程序的示例请参见附录I。

7 光通信的安全考虑

与FSO系统在光通信安全方面的考虑，请参见IEC 60825-1、IEC 60825-2和IEC 60825-12。

名为“用于信息传输的自由空间光通信系统的安全问题 (*Safety of free space optical communication systems used for transmission of information*)”的IEC 60825-12, 详细阐述了FSO系统可以运行的各类位置，并详细说明了在各类位置运行的设备要求。

附录 I

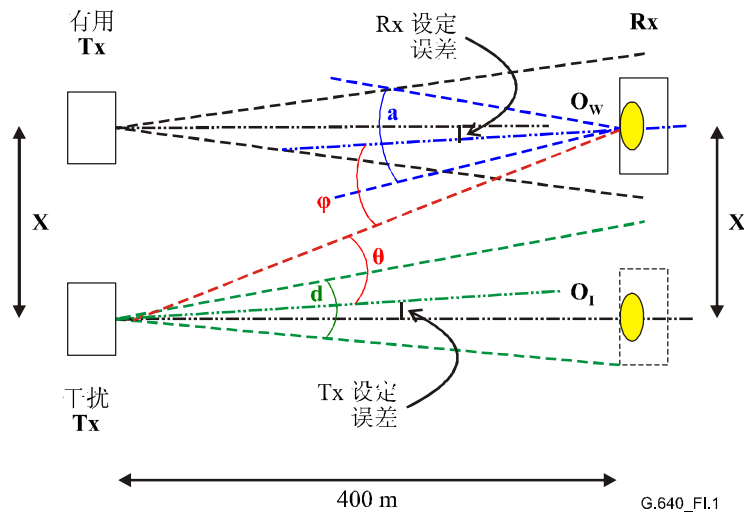
串音计算示例

I.1 示例 1

需要将设计相同的两个FSO系统安装在同一对大楼之间，从而产生两个平行自由空间链路。每个系统具有如下特点：

- 发射机和接收机之间的距离为400 m。
- 总发射功率最大值为8 mW，最小值为mW。
- 最坏天气条件下的最大发射机波束发散 (d) 为4 mrad。
- 发射机最小消光比为8.2 dB。
- 最大接收机到达角 (a) 为5 mrad。
- 接收机具有一个平均功率判定阈。
- 发射机和接收机设定精确度为1 mrad。
- 最大串音补偿0.5 dB。

两个系统之间的最小距离是多少？该示例的参考图见图I.1。



图I.1/G.640 – 示例1串音参考图

按照6.5规定的程序，得出：

- 1) 串音造成的最大光补偿为0.5 dB。
- 2) 由于两个系统采用相同设计，波长相同，因此适用情形A—干涉式串音。
- 3) 计算情形A的串音防卫度。
 - a) 情形A。对于带有平均功率判定阈的干涉式串音，使用等式6-4计算得出， $C_1 = -33.3\text{dB}$ 将产生0.5dB的补偿，消光比为8.2dB。以线性项表示，则 $C_1 = 0.000463$ 。
- 4) 在本例中，由于链路是平行的以及发射机和接收机的设定误差相同，无论距离X取何值，角 θ 和 ϕ 都相同。由于两个链路波长相同， O_l 与 O_w 的比率等于最大发射功率和最小发射功率之比（原因是干扰发射机可以在最大发射功率上，同时有用发射机在最小功率上）。而且由于波长相同，则 $L = 1$ 。等式6-3因而变为：

$$0.000463 = \frac{8}{5} e^{\frac{-80^2}{4^2}} e^{\frac{-80^2}{5^2}}$$

当 θ （继而 ϕ ）为3.06 mrad时，该等式两边相等。

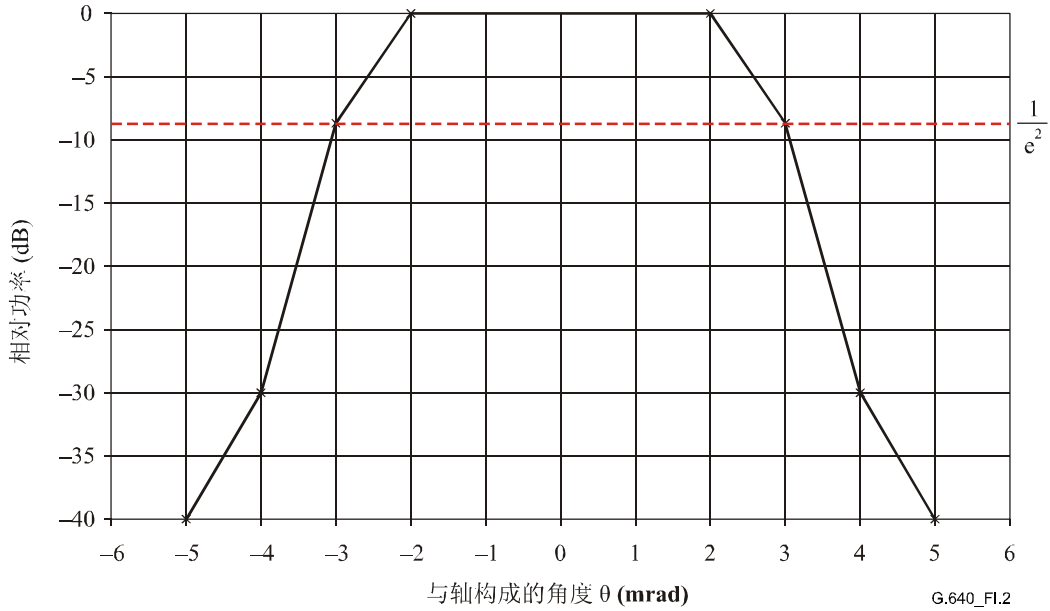
从链路的几何角度来看：

$$\tan\left(\frac{1+3.06}{1000}\right) = \frac{X}{200}$$

当距离 $X = 1.6 \text{ m}$ 时，该等式两边相等。

I.2 示例 2

该示例与示例1相同，唯一区别在于，已知发射机波束的最坏情况特点在图I.2曲线以内，而且接收机探得的光功率与角度在最坏情况下的比值在图I.3的曲线以内。



图I.2/G.640 – 发射机功率密度与角度在最坏情况下的比值曲线图

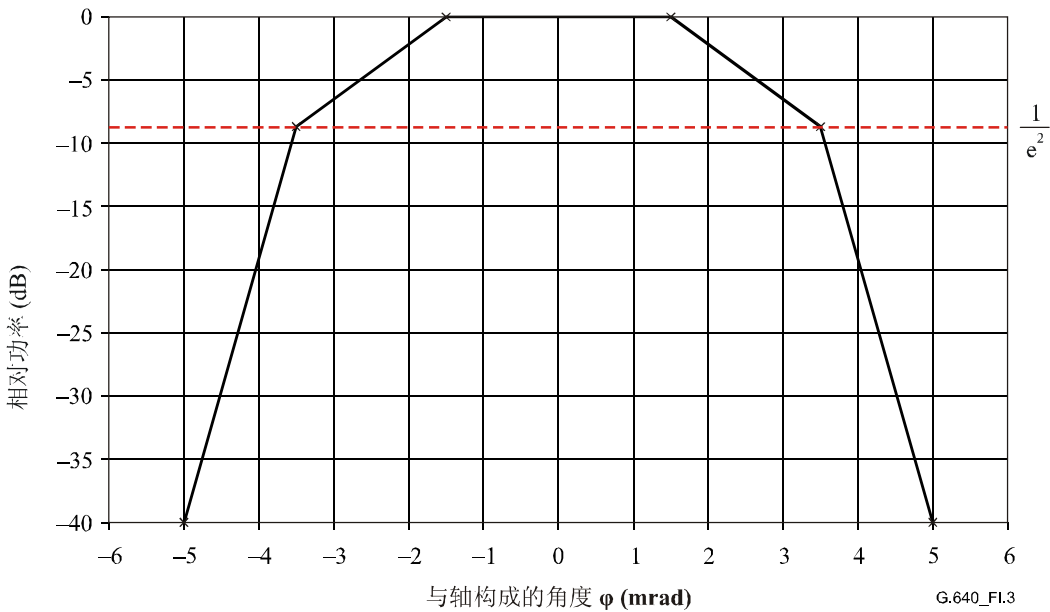


图 I.3/G.640 – 接收机探得的光功率与角度在最坏情况下的比值曲线图

本示例中程序的前4步与示例1相同。现在等式6-3变为：

$$0.000463 = \frac{8}{5} \quad (\text{图I. 2的值} \times \text{图I.3的值})$$

当 θ （继而 ϕ ）为3.82 mrad时，等式两边相等。

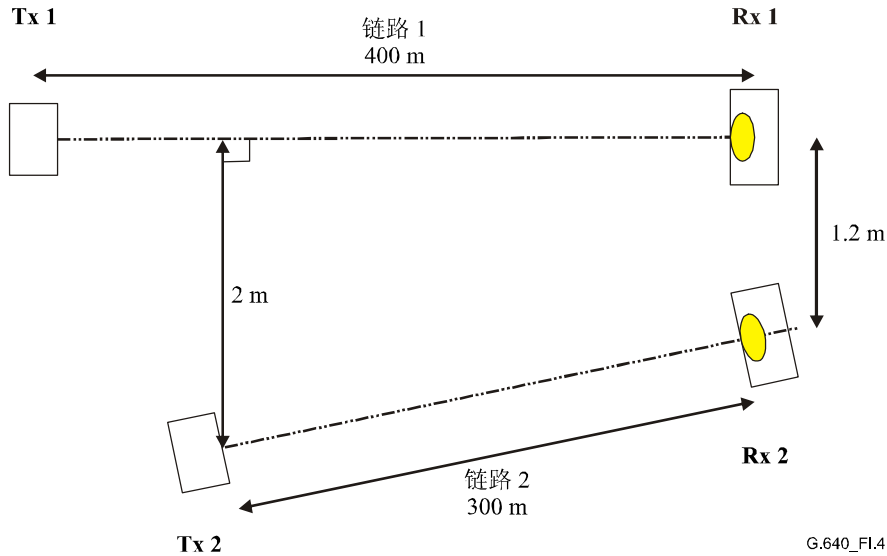
从链路的几何角度看：

$$\tan\left(\frac{1+3.82}{1000}\right) = \frac{X}{200}$$

当距离 $X = 1.9 \text{ m}$ 时，等式两边相等。

I.3 示例 3

需要将设计相同的两个FSO系统按图I.4所示进行安装。



G.640_FI.4

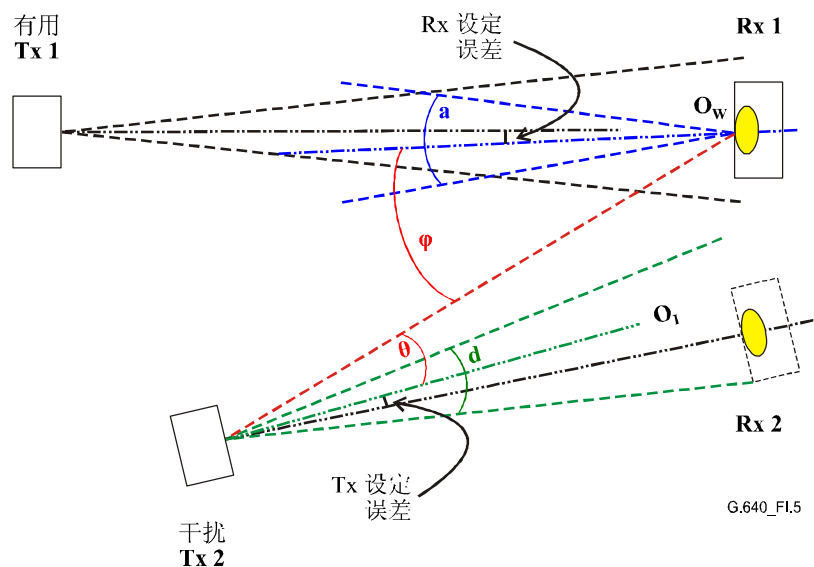
图I.4/G.640 – 示例3的配置

两个系统的特点如下：

- 总发射功率最大值为8 mW，最小值为5 mW。
- 最坏天气条件下最大发射机波束发散(d)为 4 mrad。
- 发射机最小消光比10dB。
- 接收机最大到达角 (a)为6 mrad。
- 接收机具有一个平均功率判定阈。
- 发射机和接收机设定精确度为1 mrad。
- 最大串音补偿为0.5 dB。
- 链路1，发射机和接收机之间的距离为400 m。
- 分配给链路1的大气衰减预算为25dB。
- 链路2，发射机和接收机之间的距离为300 m。

串音补偿是否为两个系统均能接受的值？

将链路1作为有用系统时的参考图如图I.5所示。



图I.5/G.640 – 示例3中链路1的串音参考图

按6.5的程序设Tx1为有用发射机，Tx2为干扰源，得出：

- 1) 串音造成的最大光补偿为0.5 dB。
- 2) 由于两个系统采用相同设计，波长相同，因此适用情形A—干涉式串音。
- 3) 计算情形A的串音防卫度。
 - a) 情形A。对于带有平均功率判定阈的干涉式串音，使用等式6-4计算得出， $C_1 = -32.6\text{dB}$ 将产生0.5dB的补偿，消光比为10dB。以线性项表示，则 $C_1 = 0.000545$ 。
- 4) 根据图I. 4的几何安排，角 $\varphi \approx 1000 \times \arctan(2/300) - 1 \text{ mrad}$ ，其值为5.67mrad，角 $\theta \approx 1000 \times \arctan(1.2/300) - 1 \text{ mrad}$ ，其值为3.0 mrad。由于链路2比链路1短， O_I 与 O_W 之比取决于链路距离的平方、天气条件和最大发射功率和最小发射功率之比（原因是干扰发射机可以在最大发射功率上，同时有用发射机在最小功率上）。因此该比率等于：

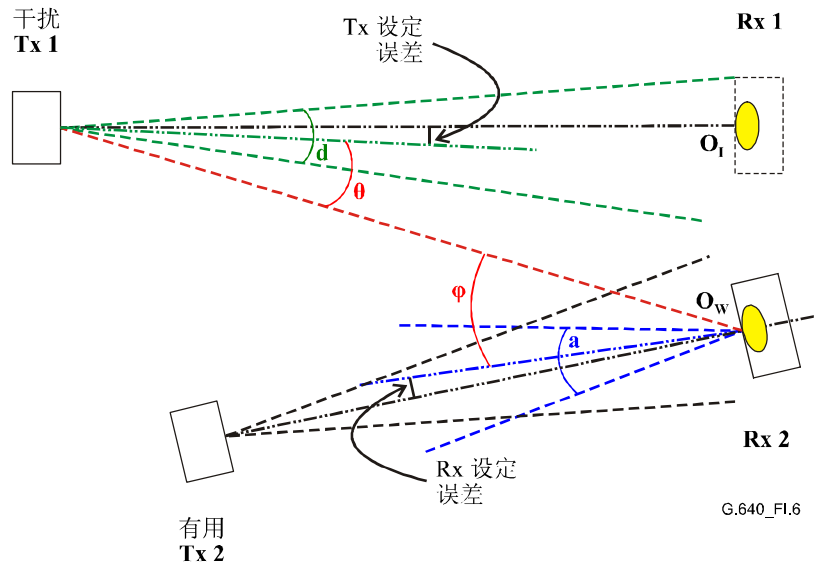
$$\frac{O_I}{O_W} = \frac{8 \ 400^2}{5 \ 300^2} 10^{\frac{\left(25 - 25 \frac{300}{400}\right)}{10}} = 12$$

最后一项考虑了链路1的大气衰减为25dB的情况下链路2的衰减。由于波长相同，则 $L = 1$ 。因此等式6-3变成：

$$C = 12 e^{\frac{-8 \times 3.0^2}{4^2}} e^{\frac{-8 \times 5.67^2}{6^2}} = 0.0000106 = -39.7 \text{ dB}$$

由于该串音水平低于-32.6 dB（这是接收机能够容许的最大值），链路1可以接受建议的链路几何安排。

链路2作为有用系统的参考图如图I.6所示。



图I.6/G.640 –示例3中链路2的串音参考图

按6.5的程序设Tx2为有用发射机，Tx1为干扰源，得出：

- 1) 串音造成的最大光补偿为0.5 dB。
- 2) 由于两个系统采用相同设计，波长相同，因此适用情形A–干涉式串音。
- 3) 计算情形A的串音防卫度。
 - a) 情形A。对于带有平均功率判定阈的干涉式串音，使用等式6-4计算得出， $C_1 = -32.6\text{dB}$ 将产生 0.5dB 的补偿，消光比为 10dB。以线性项表示，则 $C_1 = 0.000545$ 。
- 4) 根据图I. 4的几何安排，角 $\phi \approx 1000 \times (\arctan(0.8/300) + \arctan(1.2/400)) - 1 \text{ mrad}$ ，其值为4.67mrad，角 $\theta \approx 1000 \times \arctan(1.2/400) - 1 \text{ mrad}$ ，其值为2.0 mrad。

由于链路2比链路1短， P_I 与 P_W 之比取决于链路距离的平方、天气条件和最大发射功率和最小发射功率之比（原因是干扰发射机可以在最大发射功率上，同时有用发射机在最小功率上）。在净空条件下该串音将是最坏情况，因此最坏情况下的比率为：

$$\frac{P_I}{P_W} = \frac{8 \ 300^2}{5 \ 400^2} = 0.9$$

由于波长相同，则 $L = 1$ 。因此等式6-3变为：

$$C = 0.9 e^{\frac{-8 \times 2.0^2}{4^2}} e^{\frac{-8 \times 4.67^2}{6^2}} = 0.000964 = -30.2 \text{ dB}$$

由于该串音水平高于-32.6 dB（这是接收机能够容许的最大值），为避免链路1超过其最大串音补偿，必须修改建议的链路几何安排。可以将接收机之间的距离至少提高到1.4m来进行修改。

ITU-T 系列建议书

| | |
|------------|-------------------------|
| A系列 | ITU-T工作的组织 |
| D系列 | 一般资费原则 |
| E系列 | 综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素 |
| F系列 | 非话电信业务 |
| G系列 | 传输系统和媒质、数字系统和网络 |
| H系列 | 视听及多媒体系统 |
| I系列 | 综合业务数字网 |
| J系列 | 有线网络和电视、声音节目及其它多媒体信号的传输 |
| K系列 | 干扰的防护 |
| L系列 | 电缆和外部设备其它组件的结构、安装和保护 |
| M系列 | 电信管理，包括TMN和网络维护 |
| N系列 | 维护：国际声音节目和电视传输电路 |
| O系列 | 测量设备的技术规范 |
| P系列 | 电话传输质量、电话设施及本地线路网络 |
| Q系列 | 交换和信令 |
| R系列 | 电报传输 |
| S系列 | 电报业务终端设备 |
| T系列 | 远程信息处理业务的终端设备 |
| U系列 | 电报交换 |
| V系列 | 电话网上的数据通信 |
| X系列 | 数据网、开放系统通信和安全性 |
| Y系列 | 全球信息基础设施、互联网协议问题和下一代网络 |
| Z系列 | 用于电信系统的语言和一般软件问题 |

瑞士印刷

2006年，日内瓦