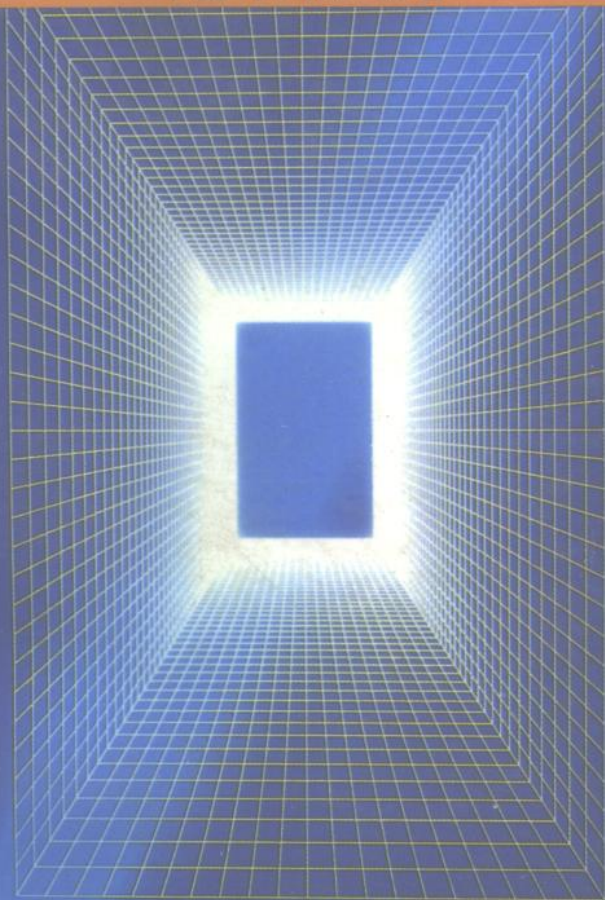


科学丛书

图解 数字音响技术

中島 平太郎 編著



科学出版社

OHM 社

73-413

140

12

73-413

OHM 科学丛书

图解数字音响技术

中岛平太郎 编著

袁 橹 林 译

赵 卫 滨 校



科学出版社

OHM 社

1996

(京) 新登字 092 号

Original Japanese edition

Zukei Dijitaru-oodio Dokuhon by Heitaro Nakajima

Copyright © 1992 by Heitaro Nakajima

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd.
and Science Press

Copyright © 1995

All rights reserved.

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

図解 デジタルオーディオ読本

中島平太郎 オーム社 1992

OHM 科学丛书

图解数字音响技术

中岛平太郎 编著

袁 槽 林 译

赵 卫 滨 校

责任编辑 徐津津

科学出版社 OHM 社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

新华公司 激光照排

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995 年 1 月第 1 版 开本: 870 × 1158 1/32

1995 年 1 月第一次印刷 印张: 7.38 插页: 2

印数: 1 2000 字数: 189 000

ISBN 7-03-004676-5/TP · 430

定价: 22.00 元

编辑组织

编者

中岛平太郎(技术顾问)

干事

伊贺 章(情报通信研究所)

福田让治(情报通信研究所)

执笔者(按笔画)

片仓雅幸(半导体事业本部)(第 5 章)

中岛平太郎(技术顾问)(第 1、2、7、8 章)

佐古曜一郎(情报通信研究所)(第 4 章)

赤桐健三(综合研究所)(第 3 章)

横田哲平(音响事业本部)(第 6、7 章)

[所属单位]日本索尼公司

原 序

自从试行把数字技术引入音响领域以来，不知不觉过去 1/4 世纪。在开发的早期阶段，不论是加给它信号的硬件还是所加信号的形态，在开发上曾长期表现为错了再试的过程。这种情况开始有所改观的时候是在距今约 10 年之前，亦即对于利用磁带录像机作为记录媒体的 PCM 处理器进行商品化的时候。从这时起，对于数字化的特点开始有所掌握，并且开始确立数字化的方法和步骤。本书的前身《数字音响技术入门》就是此时之作。

其后，激光唱片系统 (CD)、数字磁带录音机 (DAT) 以及卫星电视伴音数字化分别于 1982 年、1987 年和 1984 年开始用于实际，它们所用 3 种软件也在 80 年代里完成了数字化，以至今日。其间，数字音响的主干部分虽无改变，却因经验积累的结果而使某些部分被集约化、某些部分被进一步地系统化了。从今天来看，《技术入门》一书既有写得不够之处，也有过于冗长之处，并且数字音响领域在其后还有新的进展。有鉴于此，我们觉得如果重新加以改写，则其内容将可以使读者更好地理解数字音响，因而编著了本书。

本书由 8 章组成。第 1 章介绍数字音响产生的沿革，第 2 章概要地叙述把音乐与人声等模拟声源数字化来进行录音或传输、再把它恢复成重放用模拟声源的过程。然后用四章篇幅详细讲述这个模拟与数字之间转换的具体内容：第 3 章讲信号的变换步骤，第 4 章讲信号的处理机制，第 5 章讲关键性技术，第 6 章讲关键

性器件。第7章讲音响信号数字化所带来的得与失，从另一角度来阐述了它的特点。第8章谈的是数字化的今后课题，作为结束。作为数字音响技术的应用，除CD、DAT和它们的派生物以外，今后还会开发出种种系统和装置，如本书能对理解其基本技术内容起到某种作用，将深以为幸。

数字音响在1/4世纪里所走过的道路决不是平坦的。其间，索尼公司井深大名誉董事长、盛田昭夫董事长、已故岩间和夫前总裁与大贺典雄总裁始终不渝地给予了指导与鞭策，谨借此纸面衷心表示感谢之情。前书《数字音响技术入门》的合著者土井利忠、伊贺章、福田让治各位，从本书的规划阶段起直至具体化，提供了种种建议和协助，谨在此深致谢意。此外，还要感谢为刊行本书而多方尽力的欧姆社有关各位。

中岛平太郎
1991年12月

目 录

第 1 章	数字化在音响领域中的作用	1
第 2 章	模拟与数字的转换	9
2.1	将模拟变为数字	15
2.2	将数字变为模拟	24
第 3 章	模拟、数字信号处理	29
3.1	采样与量化	29
3.2	量化噪声的处理	36
3.3	高效率音响编码	46
3.4	译码与插补	58
第 4 章	数字信号的机制	61
4.1	数字信号的流程	61
4.2	纠错	63
4.3	调制	90
4.4	同步信号、子码与信号格式	96
4.5	其它实例	100
第 5 章	关键性技术	105
5.1	模拟-数字、数字-模拟变换技术的沿革	105
5.2	低通滤波器	107
5.3	采样保持电路与去假信号电路	113
5.4	AD 变换器	116
5.5	DA 变换器	122
5.6	过采样式 AD、DA 变换器	129

5.7	数字滤波器	136
第6章	关键性器件	141
6.1	半导体器件	141
6.2	磁记录器件	155
6.3	光记录器件	170
第7章	数字化的特点	187
7.1	二值的特点	187
7.2	不连续的特点	192
7.3	界限明确的特点	196
7.4	图像与数据共存的特点	198
7.5	最后仍回到模拟去的特点	209
第8章	数字音响的今后	213
8.1	数字音响的特点	213
8.2	今后的课题	214
参考文献		221
索引		223

第 1 章 数字化在音响领域中的作用

欣赏声音、喜爱音乐——这是音响的原点。

为了满足这一需要，音响系统需由两个系统组成。其一是对音乐与人声加以收音并加以调整，记录在唱片或磁带上，或者是通过电波或电缆传送出去的软件制作系统；其二是软件重放系统。前者追求的是如何能制作出优良的软件，后者追求的是如何能把这样制作出来的软件重放得令人赏心悦耳。音响的使命就在于追求符合目标的系统并加以具体化。

总的音响系统的品质是从话筒起、到扬声器为止的各环节品质的综合，因而为其中最差环节的品质所左右。所以，在想改善系统的品质，重要的是去改善品质差的那个环节的品质。

例如我们可以看一看音响系统中的收音、调整、传送、记录、重放等一系列环节上信号的强弱范围（动态范围）。范围的上限受失真的制约，下限受噪声的制约。当然希望这个既听不出有失真、又听不出有噪声的范围越宽越好。对原有模拟系统的动态范围进行调查的结果，它如图 1.1 中所示是以软件制作侧与软件重放侧的接合部处的软件群为中心变得很窄（该图中由模拟特性值所围出的部分）⁽¹⁾。这个很窄的动态范围限制了整个音响系统。该图考察的是中音域的情形，而这种倾向在低音域与高音域时表现得更为显著。此外，当我们来看代表着频带内的失真、抖晃、串音等品质恶化因素的动态失真时（测试用声源采用的是音乐与人声本身）。也可看出基本上是同样的倾向（图 1.2）⁽²⁾。

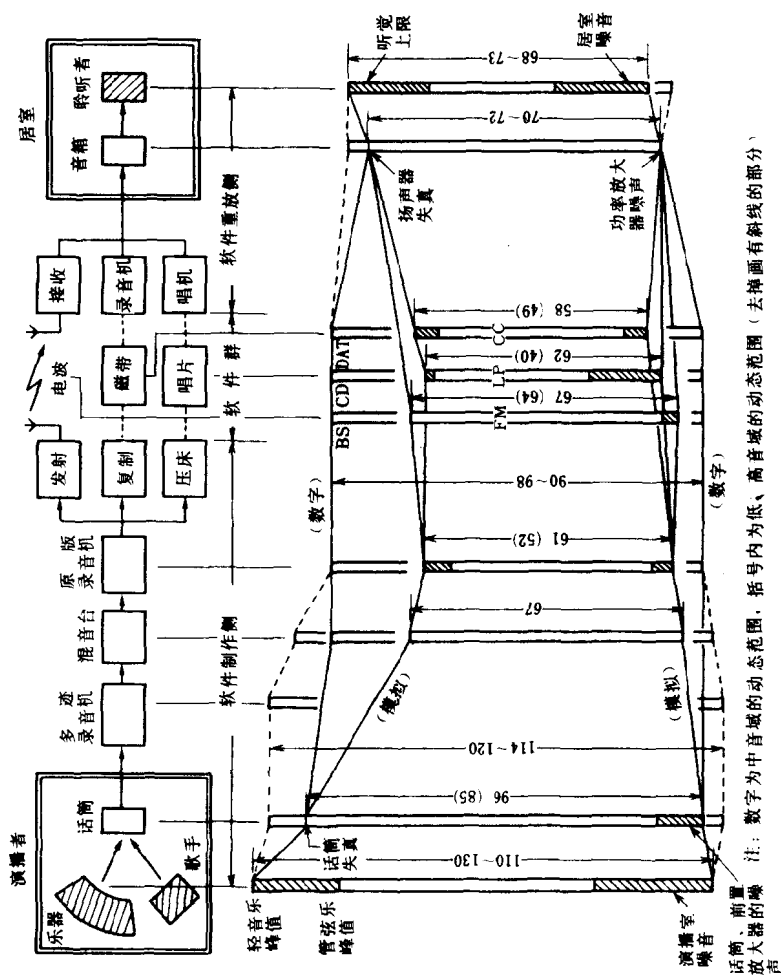


图 1.1 音响系统的动态范围

对于把声波的大小以原有形态直接加以传送或记录的模拟方

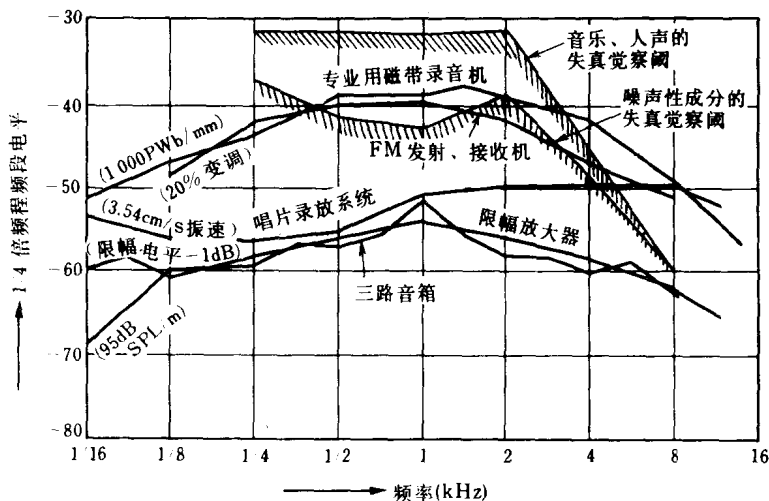


图 1.2 音响装置的动态失真

式来说，它们的特性是依赖于所用的材料与部件的性质、形状的。虽然可以通过在这方面加以改善来谋求品质的提高，但要想实现这一点时，所需费用会随品质水平的提高以几何级数上升，并且还存在着用模拟方法所能改善的限度。为了摆脱这种困境而想出来的手段就是本书所要介绍的数字技术。数字技术是指把连续的声音波形变换成不连续的脉冲信号，记录到唱片或磁带上，或者用广播或电缆来加以传送，在接收、重放时恢复成原信号的操作。数字音响技术的目的就在于通过把这种技术运用到系统中品质显著恶化的环节上以提高整个音响系统的品质。

其实，很早就进行了把数字技术应用于通信的尝试。远在线、无线技术尚未完成的 18 世纪至 19 世纪初，为了把发报人的意思确确实实地传达给收报人，就采取了对其意思予以编码的方法。莫尔斯电码即其典型例，已属于一种数字传输。它是以长短两个电码的组合来表达应该传送的语言或文字，以滴、滴、打的

信号音发报。即使由于发报机、收报机或传输线路不理想而使信号音失真或者是混入了噪声，只要收报方能判断出“长”、“短”的区别，就可以由此组成报文而正确地读取发报人的意思（图 1.3）。不过此法受读取精度的限制，在 1 分钟之内充其量只能收发几十个字。因此，随着设备与传输线路的改善，就开始更多地采用能传递更多信息、可简便地直接使用的、将声音波形原样传送的模拟方式了。

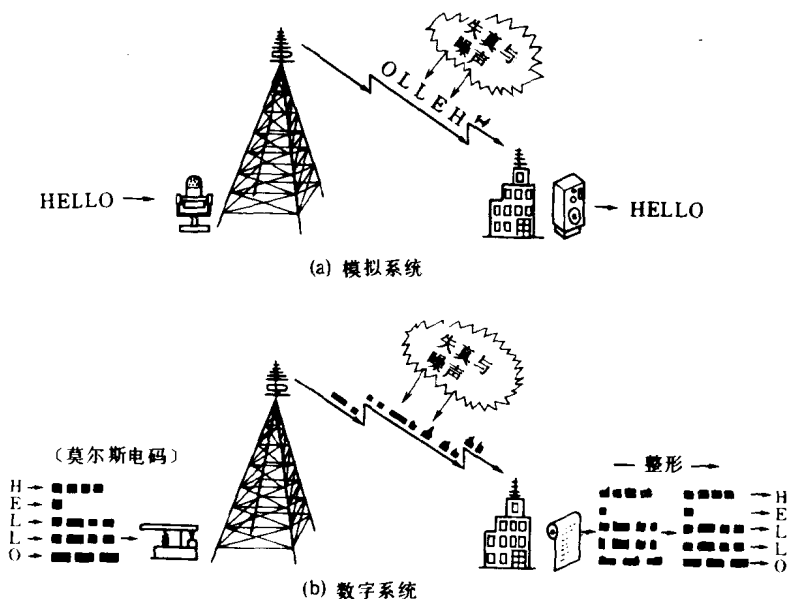


图 1.3 模拟与数字

如所周知，模拟技术在新材料的提供、元器件的进展、更好的系统的构筑等因素的共同作用下已确立了自己的地位，品质有提高，稳定性也增大了。结果就使得它在提高信号传输速度与延长记录时间方面都取得了切实的改善。但是随着改善程度的提高，进一步取得改善的速度开始相应变慢。在走向高度信息化社会的

今天,这样的改善速度已经不能满足时代的要求。并且这还是沿着老路而进一步采取的改善方法所不能解决的问题。于是就轮到该数字技术再次登场了。取代莫尔斯电码的“长”、“短”而以“0”、“1”来把信息变成代码加以记录或传送的**脉冲编码调制**(简称**脉码调制**或 PCM = Pulse Code Modulation)方式,是由 A. H. Reeves^[3]在 1939 年发明的。这一理论如能加以实用化,则系统的可靠性会显著提高,其传输速率应该是莫尔斯电码的几百万倍。

数字技术于 60 年代在美国首次实际用于电话线路的语音信号高效多路传输,并在同一时期,利用其高速处理与高可靠性的优点还被用在了电子计算机的信号授受。也是着眼于由高可靠性、高速与高密度所代表的数字技术的特长,日本广播协会技术研究所进行了运用数字技术来改善音响系统特性的尝试(这是由于已可看出靠模拟技术来改善其特性时是有一个限度的),时间在 60 年代后半期^[4]。

契机是,当时(1965 年)调频立体声广播正值由实验阶段向正式开播过渡,为了改善音质,对于从节目制作到发射、接收的整个调频立体声系统进行了重新估价^[1]。结果判明,发射机与传输线路等环节固然也会使品质恶化,但对所制作的节目最终加以收录的原版录音机却是改善品质的关键环节。当时的原版录音机是带幅 6mm、磁迹数 2、带速 38~19cm/s 的磁带录音机,当然是模拟式。对它是从两个方面来加以改善的:

(1) 改善硬件:采用针状晶体长宽比比原来为小的低噪声 Fe_2O_3 磁带以及 CrO_2 磁带,还改进了带基与粘结剂。磁头则引进了铁氧体等材料,并对磁头形状加以优化。还对走带系统做了改进。

(2) 改善系统:对整个系统加以优化,如在加重与均衡上考虑了信号频率分布与磁带噪声频谱分布、最佳电平の設定以及采用压缩扩展式降噪系统等。

通过采取以上种种改进措施,确实使原版录音机这个环节有了相当的改善。但同时也得出了这样的结论:无论在模拟领域里如何加以改进,也是不能实现特性的大幅度改善的。

因此遂决定就在这个用磁带录音机录音的环节上进行导入数字技术的尝试。这说起来好像非常简单,只要把信号变成脉冲有无的代码来记录,重放时再通过译码予以复原,就应该与传送莫尔斯电码完全同样地能够把录放过程中混入的噪声、失真、抖动等品质恶化因素给除掉了。实际却是数字化方法、手段的开发过程曾是个不断地错了再试的过程,从最初的试制品出来的只是极为刺耳的噪声而已。以后又经历了在噪声中能略微听出像是信号之物的阶段、在信号中不时有噪声混入的阶段,在1967年才算完成了一台试制机。其后加以种种改进,直到10年之后的1977年,终于向专业及家用市场上推出了数字磁带录音机(DAT)。

这种DAT的作法是,走带机构与盒式磁带等都直接利用的是当时业已商品化的录像机,另由PCM处理器进行模拟信号与数字信号之间的变换而对前者的图像输入、输出端授受信号。由于当时的数字技术水平还不够高,因而其最初上市的PCM-1型机作为数字式机的品质比现在的品质水平为低,但尽管如此,如图1.4所示,与模拟式机相比已有显著改善,并由该图可以了解到其物理特性的优异程度。

为这一成果所鼓舞,其后作为封装型软件的磁带与唱片以及作为传送型软件的声音广播都加快了数字化的速度。唱片在1982年推出了CD数字音响系统,磁带在1987年推出了使用小型盒带的数字录音磁带(DAT)系统,广播也同在1987年推出了卫星电视直播的B模式立体声伴音,它们都分别完成了数字化与实用化。现在,数字技术正以这个软件群为中心向软件制作系统中的调音装置与软件重放系统中的声场控制装置推广。作为数字化的成果,录音与传送的品质显著提高了(图1.1中的加网眼部分)。

不仅如此,数字化的利于电路大规模集成等优点也得到了发

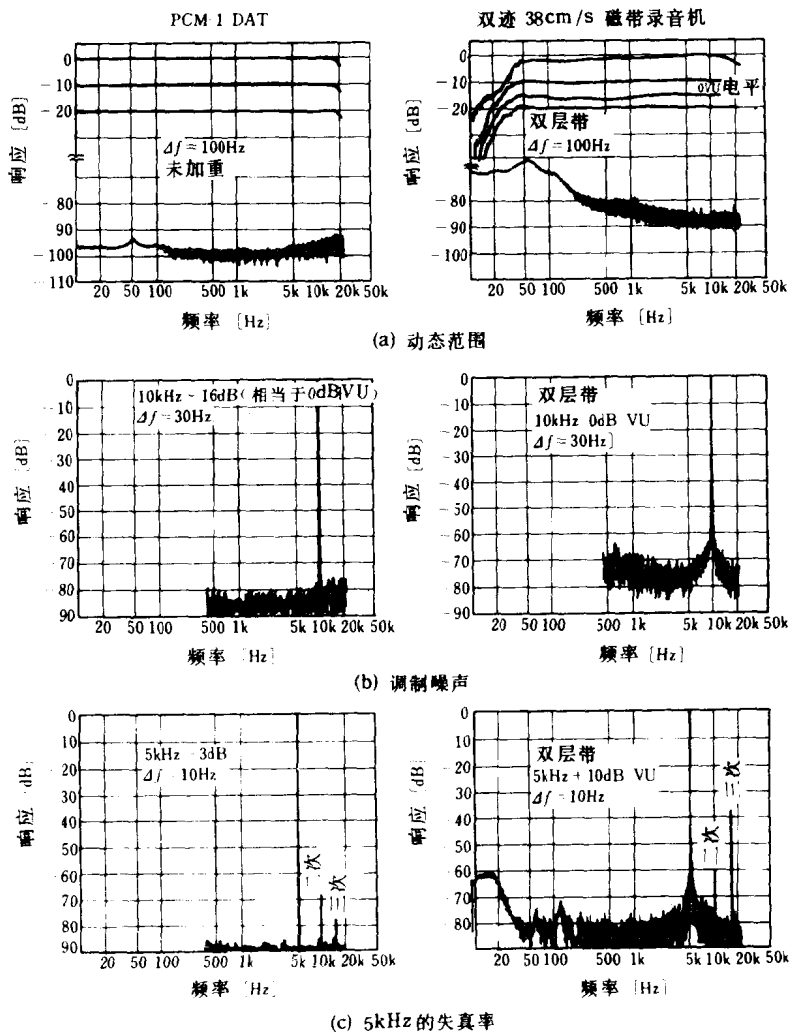


图 1.4 数字磁带录音机 (PCM-1) 与模拟磁带录音机
(磁迹数 2, 带速 38cm/s) 之间的特性比较 (1)

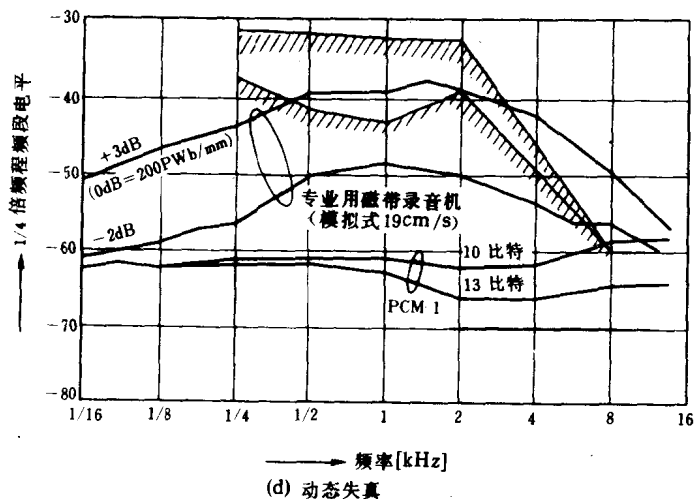


图 1.4 数字磁带录音机 (PCM-1) 与模拟磁带录音机
(磁迹数 2, 带速 38cm/s) 之间的特性比较 (2)

挥，从而在可靠性的提高、操作方便性的改善、形小体轻化、低廉化等方面都取得了进展，这使得音响产品由于利用场所与用户层的扩大而出现了销量大增的局面。

第 2 章 模拟与数字的转换

音乐与人声的信号具有随着时间在很快变化的特点。其振幅的大小在 1 秒钟之间可改变几万次，变化的幅度可达一万倍，变化量十分可观。把这种连续的、时间变化如此之激烈的声波（模拟波）加以编码来变成断续波，果真能给出良好的声音么？在研究的初期是有过这样的担心的。但经过冷静的考虑也就树立了信心；如果是以比人耳所能听出的声波波长更短的时间间隔和比人耳所能察觉的振幅差异更高的精度来分解声波，则即使是断续波也极少可能在听觉上造成问题。这正像隔着窗棂来看昆虫的飞行轨迹时尽管受到窗棂的遮挡也能毫无问题地看出来一样，道理是相同的（图 2.1）。

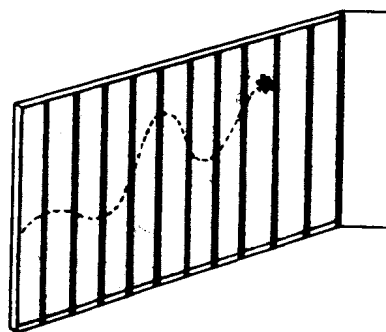


图 2.1 隔着窗棂看飞虫的轨迹