**《通信的数学原理》的科研意义**

**前沿学术论文（信息）**

柯宇斌

（信息科学技术学院2022级本科生 2200013213 [2200013213@stu.pku.edu.cn）](mailto:2200013213@stu.pku.edu.cn）)

**摘要：**香农的《通信的数学原理》一向被认为是信息学的开山之作。它完整而彻底地阐述了通信的基本类型，并对一些常见的问题给出了基本结论。更重要的是，它借鉴了物理学中的熵的概念，并加以阐释熵的意义和性质，最终给出了部分常见情况下通信的最优下届并给出了具体的实现。本文希望简单阐述香农这篇力作的主要贡献，分析其科研意义，提出笔者自己的一些拙见。

**关键词：**香农；信息论；通信的数学原理

1. 香农该论文的主要内容

事实上，香农本人在论文中已经将论文分层。第一部分是关于离散无噪声系统的阐述。包括信道的表述和定义以及信源的阐述与定义，并随之提出了熵的概念，通过赋予熵一定的性质反推出熵的唯一表达式。并随之证明了信道传输信息的熵不超过信道容量的关键定理。由此给出了信道传输的下界和具体实现。第二部分则是关于离散有噪音系统的阐述，讨论了在这种情况下的信息传递速率与错误率的关系，并给出了具体的实现方案。

1. 香农该论文的学科意义

谈论论文的科研意义，就必须先讨论它的学科意义。毕竟论文的核心意义是传递作者对某个学科的思考。该论文对学术界的意义毋庸置疑，也被誉为信息论的开山之作。在我看来，该论文之所以被称为开山之作，最关键的一点就在于全面性。读完这篇论文，我更像是读完了一篇学术综述。

通信一直是人类乃至生物圈内最重要的话题。生物的遗传本质上就是通过基因进行信息的传递。而人类的教育，也是上下代之间的信息传递。到了近现代，电报、电话、电视、电脑等方式逐步取代了信件，成为同代人之间的信息传递工具。由此，通信本身的意义，十分重大，值得深入研究。然而，电子设备不同于信件，他们并不能传输真实的文字，人类迫切的需要一种不同于文字本身的传递方式。由此，人们更深入的思考了文字的本质——信息的一种编码。母亲和Mom，不同种文字却表达着相同的意思，许多文盲一生不识字却可以和人正常交流，足可见信息是本质而非文字是本质，文字只是信息的一个编码形式。由此，信息论便颇具雏形。既然如此，编码形式便是首要问题。由此香农在开篇便阐述了编码形式的一般规则，并指出了二进制形式的合理性（事实上仅仅只有三进制优于二进制，但三进制不易实现为电路）。

考虑到实际上人类采用的各种电子设备往往都是离散化的传输，因而香农开始讨论离散无噪声系统。他既阐述了信道的一些基本信息，给出了稳定信道的传输容量的定义，更为重要的是，它给出了对信源的描述。事实上，这篇文章对我来说最独特的地方在于对信源的描述（毕竟在日常教育中熵的概念早已深入人心），信源是可以多阶近似的！我们平常所理解的普通编码不过是0级近似，而哈夫曼编码则是一种一级近似！由此，我对这两种编码有了更深刻的理解。进一步地，我就可以独立思考二级近似乃至n级近似。从某种意义上来说，这篇论文的一大亮点就是全面性、系统性。文中的许多结论或多或少都曾被别人做出过，但往往是零碎的，就事论事的。而香农则统一了这些结论，将他们纳入到更深层的系统，从而实现了信息的整合。本篇文章的一大独到之处便在于此。

当然，在那个时代，熵才是这篇论文的关键之处。这对我也是一大启发。在过去的教育中，熵往往作为定义直接由公式给出，而后便直接理想化地告知熵的一些定性性质，给人以一种石破天惊之感，虽然体现了思维的精巧，但却缺少了科学的魅力。而阅读原文，可以看出，熵的定义是在赋予一部分人类所希望其具有的性质后，通过严格的数学推导求出来的。那么这两者有什么区别呢？首先，这些提前赋予的性质往往是十分自然且符合直觉的。由此，熵的提出也就更加的自然和可信。另一方面，当人们想更深层的了解熵的本质时，或者说，想提出一个比熵更笼统的底层概念时，人们可以通过对性质的适当放松，得到自然而然的推广。也就是说，这种性质推公式的模式，大大避免了他人走弯路。否则，我们不难想象，假如香农采取课本中常见的先给出公式再描述性质，那么科学家就不免开始思考能不能用别的式子来表示熵。

然而，信息的传递并不总是精确，就像著名的传声筒游戏一样——最开始正常的语句传递之后往往变成毫无关系的另外一句。由此，香农在第二部分开始探讨离散有噪声系统。它先是利用辅助系统将有噪声系统转化成无噪声系统，进而利用第一部分的知识完成了对有噪声系统传输能力的评估。随着一步步放宽限制条件，香农所讨论的问题也越来越接近现实问题。

1. 香农该论文的科研意义

这里的科研意义，更准确来说应该是论文意义。对于像我这样的大学生或者说是科研新手，如何做科研，如何写论文是一个大难题。而香农的这篇论文就提供了很好的借鉴。一方面是研究思路上，可以整合他人的研究成果，提出一套完整的理论，另一方面也可以做一些细枝末节的事情，为别人的整合提供素材。具体来看，可以从现实生活的问题出发（俗称选题），不断地增加限制条件（模型的简化），直到做出一定的成果，随后可以不断地减少限制条件，不断地靠近现实的问题。

而写论文方面，也可以从这篇论文中学到很多。如何划分论文的层次，香农给出的答案是循序渐进。另一方面，枯燥的数学推导和理论难免使人头昏脑涨，而香农在每个定理前后都安插了自然语言的形象描述，让人无须阅读精准的数学语言表述也能对定理有一个大致的理解。另一方面，文中大量的采用了例子，这是极其可贵的。事实上，丰富的例子一方面可以提升对定理细节和思想的理解，也为后期的成果转化提供了丰富的依据。同时，与现实问题的结合也有助于其他研究者发现目前理论的局限性，加以完善。

综上所述，香农的这篇《通信的数学原理》不仅仅在学科意义上有杰出的贡献，在科研方面也不失为一篇典范，值得大家学习。