无綫电技术基础
資料汇編

第一集

高等工业学校电工課程教材編审委員会
无綫电技术基础課程教材編审小組
主編

高等教育出版社

本資料汇編是信号专集，分基本部分和专题部分。基本部分包括三个問題：第一个問題是信息在网絡中的傳輸，第二个問題是随机信号的一般特性，第三个問題是有关傅里叶分析的問題。专題部分包括通信系統理論中有关信号的三个特殊問題：第一个問題是綫性时不变系統中的信号，第二个問題是信号的表示法，第三个問題是信号的設計。本书的內容选自国外有关的书籍。

本书第一部分的內容属于基本性质，可供无綫电系的教师和学生参考；第二部分內容較深，对无綫电系的教师和研究生来說有参考价值。

本书由常迵同志負責选編。

无綫电技术基础資料汇編

第一集

高等工业学校电工課程教材編审委員会
无綫电技术基础課程教材編审小組
主編

北京市书刊出版业营业許可証出字第119号

高等教育出版社出版（北京景山东街）

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号K15010・1152　开本 850×1168 1/32　印张 13 2/16

字数 323,000　印数 0,001-6,000　定价（8）¥1.60

1965 年2月第1版　1965 年2月北京第1次印刷

目　录

序 …………………………………………………………………… iv

第一部分　基本部分 …………………………………………… 1

I. 信息的傳輸 …………………………………………………… 1

　第一章　信息傳輸簡介 ………………………………………… 1

　第二章　信息在网絡中的傳輸 ………………………………… 21

II. 随机信号理論 ………………………………………………… 112

III. 信号的傅里叶分析 …………………………………………… 164

　第一章　緒論 …………………………………………………… 164

　第二章　基本定理与例題 ……………………………………… 172

　第三章　奇点函数与綫状頻譜 ………………………………… 208

　第四章　数値計算技术与不定原理 …………………………… 232

习題 ……………………………………………………………… 261

附录 1　将冲激函数視为分配函数 …………………………… 268

第二部分　专题部分 …………………………………………… 287

IV. 綫性时不变系統中的信号 …………………………………… 287

V. 信号的表示法 ………………………………………………… 316

VI. 信号的設計 …………………………………………………… 368

原书簡介 ………………………………………………………… 409

　I. M. Schwartz:“信息傳輸、調制与噪声” ………………… 409

　II. J. C. Hancock:“通信原理导論” ………………………… 410

　III. A. Papoulis:“傅里叶积分及其应用” ………………… 411

　IV. E. J. Baghdady:“通信系統理論讲义” ………………… 412

第一部分 基本部分

I. 信息的傳輸

(譯自 Mischa Schwartz, "Information Transmission, Modulation, and Noise"一书的第一章和第二章。)

第一章 信息傳輸簡介

本书的任务是研究通信系統或用以傳輸信息的系統。在以后各章节中，我們将着重討論对于通过系統而发出的信息所提出的限制条件，并試图在信息处理能力的基础上对不同系統作某些比較。

一个完整的通信系統通常包括有一个发射机，一种用来傳輸信息的傳輸媒质(在电报和电話的情况下为导綫，在无綫电的情况下则为空間)，以及一个为了在輸出端重現輸入信息的接收机。

在大多数的通信工程中，信息傳輸是与某一特殊正弦信号——所謂載波信号——的时間变化，即調制方法密切相关的。因此，一个典型通信系統将如图 I-1 的方块图所示。

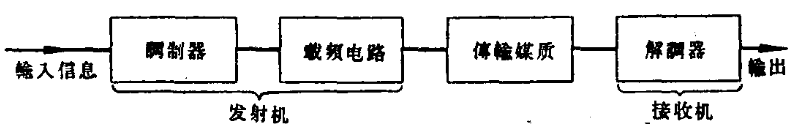


图 I-1. 通信系統。

注意到上面我們多次应用了信息这个名詞。这个名詞以后还有机会多次用到。虽然我們可以用一个准确的数学定义来說明这个概念，但是在这篇簡介中，我們将利用日常生活中的例子来加以說明。

設想一个学生在上課时，教师把全部时間都用来不停地唸一个音符。显然，上这样一堂課必然是浪費时間。因为学生能由一个音符学到些什么呢？（即使对于一个学生来說，准确的发音是重要的，但他不如留在家里听录音更好一些。）也許，在下一課中，教师选擇了另一个方法，他把全部时間都用来一字一字地朗讀課文：既不給学生时間提問題，也不停頓，也沒有自己的見解。同样我們也要問，为什么要来上課？（除非是不上課很多人就不肯找机会来閱讀这本书。）

这些假設的、显然是虛构的故事用来說明什么呢？一个学生上課的目的是为了得到信息。这就是說，在上課时教师和学生必然是討論新的题材，或者至少是用新的方法来复习旧的題材。

因此，所应用的言辞应該是連續变化的；在大多数的情况下，它們是学生所不能預知的。（否則——为什么要来上課？）

在这里，关鍵的字是变化：要傳送信息，就必須有声音，或者更普遍地說，要有随时間变化的信号。連續不断地发一个音符的音幷不能傳送任何信息給你。然而，如果把音符按照一个你能听懂的方式变化，则該"信号"将傳送一定的意义和信息。

所以，信息傳輸是与信号随时間的变化有关的，而且对听者来說信号是以一种不能預知的方式变化的。（因为熟知的曲調或者老的故事，虽然是由变化的音符或单字組成的，却幷沒有傳送任何新的信息。）

为什么强調这些論点是如此的重要呢？显然，如果我們作为工程师，要設計系統来傳輸信息，我們所感兴趣的是在一定的实际設备和有限預算的条件下設計出在可能的范圍內最好的系統型号，那么我們必須知道（至少直观地說）要傳輸的究竟是什么，以及系統对所傳輸的量起什么影响。

I-1. 信息和系統容量

为了把这些概念应用到通信工程中去，让我們来研究图 I-2 的电压-时間图。

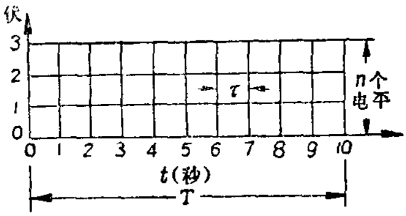


图 I-2. 电压-时間图。

假設傳輸信息的时間为 T 秒，并且由于功率的限制給定了能用的最大电压振幅。(在图 I-2 中，T 是10秒，最大电压是3伏。) 于是，很自然会提出这样的問題：在旣定的时間間隔內，我們能够傳送多少信息？能不能决定信息量有多大？信息量的多少又与系統有怎样的关系？(必須注意，系統已經引入的一个限制——功率的限制。)

其次一个問題是：为什么信息的总量有一定的限制？如果信息傳輸是与信号随时間以不能預先知道的方式变化有关，为什么不使信号变化得尽可能地快，为什么不把最大振幅尽可能地分小？因为这就意味着无限制地增加信息容量。

但是，我們討論的是实际系統，在实际系統中，旣不能无限制地增加信号变化的速度，也不能无限制地区分电压振幅或者电平的数目。理由如下：

1. 由于所有的系統中都存在着儲能元件，信号的改变意味着儲存能量的改变；而能量改变的速度是有一定限度的，它决定于具体的通信系統。

2. 由于每一系統中固有的(即使是很小的)电压变化或电压起伏，或者由于用来测量信号振幅的任何参量的变化，都使得我們不能把振幅电平无限制地分小。由于参量变化而引起的这些起伏称为噪声。

所以，为了使能量的变化跟得上信号的变化，必然有一个最

的时間 τ，为了避免噪声的影响，必然有一个可觉察的最小的信号振幅变化。在图 I-2 中給定 τ 为 1 秒作为一个例子。如果再假定在大部分时間內，系統的固有电压起伏在±1伏范圍內变化，則可觉察的最小信号电压变化是 1 伏。因最大电压振幅是 3 伏，所以有四个不同的信号电平（假設 0 伏是一个可能的信号电平）。如果信号的变化小于 1 伏，則将不能从系統所引入的起伏噪声中区别出来。

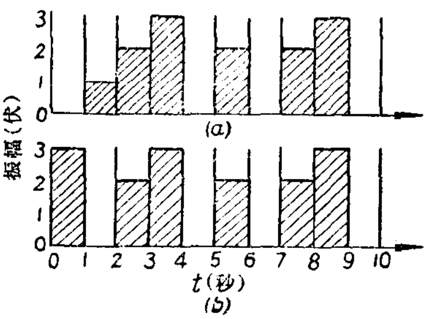


图 I-3. 两个不同的信号。

如果在 T 秒中所傳輸的“信息总量”是与我們在这个时間內可能傳輸的不同信号組合数目有关(这是易于理解的)，則显而易見，系統的信息容量是有限的。

所以，系統容量或者系統傳輸信息的最大速度必然是可以根据 τ 以及区别振幅电平的数目 n 来测量的。(这两个限制可以产生在图 I-1 所示系統中的任何部分。我們所指的是整个系統的效应。)

系統容量的一个比較定量的定义可以由下面的方式导出：設在图 I-2 的 10 秒时間間隔內所傳輸的信息直接与該时間內不同信号振幅組合的数目有关。例如，由图 I-3 所表示的可能傳輸的两个不同信号可見，它們在开始的两个时間間隔內是不相同的，而在剩下的 8 秒时間內則具有相同的振幅。我們能列出多少个这样的組合呢？在第一个时間間隔內有 4 个不同的可能性，在第二个时間間隔內又有 4 个同样的可能性来对应于前面每一个可能性，所以在两个时間間隔內共有 $4^2=16$ 个可能性。(讀者应列出不同組合的表以驗证这个結果。)重复这个方法，我們发現在 10 秒內不

同信号振幅的組合数是 4^{10}。

如果我們以 n 个电平代替 4，以 τ 秒的时間間隔代替 1 秒，則在 T 秒中組合的数目必然是

$$n^{T/\tau}$$

在我們的基本假設下，在 T 秒內所傳輸的信息是与这个信号組合的数目有关的。然而，由我們的直观概念，信息显然应与傳輸时間的長短成比例。T（这里是 10 秒）加倍，則消息的信息量也应加倍。取 $n^{T/\tau}$ 的对数可使信息量正比于 T，于是

$$\text{在 } T \text{ 秒內所傳輸的信息} \propto \frac{T}{\tau}\log n \tag{I-1}$$

其比例因数将依賴于所应用对数的底。最常用的是以 2 为底，即，

$$\text{信息} = \frac{T}{\tau}\log_2 n \tag{I-2}$$

这样定义的信息单位称为比特（二进数字）。例如，图 I-2 中 10 秒內的信息量是

$$10\log_2 4 = 20 \text{ 比特}$$

而在 5 秒內則只有 10 比特信息。如果仅仅有两个可能的电压电平（例如 0 和 1），則在 10 秒內所傳送的信息为 10 比特。

系統容量可以定义为傳輸信息的最大速度。由式(I-2)可得

$$C = \frac{\text{信息}}{T} = \frac{1}{\tau}\log_2 n \tag{I-3}$$

其单位是每秒比特。

由此可見，系統容量与信号可能变化的最小时間間隔 τ 成反比，而与 n 的对数成正比。

在下章中复习某些簡单网絡的概念时，我們将证明在时間响应和頻率响应之間存在着密切的反比关系。这将使我們能够把所傳輸的信息和系統容量与系統"带寬"联系起来。

系統性能的两个参数 τ（相应于带寬的倒数）和 n（如我們将

要知道的那样，相应于系統中的信号噪声比)在所有通信系統中是最基本的量。本书的大部分內容是研究各种网絡的时間（或者频率)特性和噪声特性以及各种实际通信系統的频率-噪声特性。

I-2. 信息傳輸中的二进制数字

在上节中由式(I-2)定义了信号的信息量:

$$信息=\frac{T}{\tau}\log_2 n \ 比特$$

在定义信息单位时，应用以2为底的对数的正确性，可以由另一个有用的方法得到证明。設所傳輸的一个信号，其电压变化在0到7伏的范圍內，且任一电压与下一电压具有大致相同的范圍。由于在I-1节中所闡述的系統限制的緣故，信号只能唯一地确定在整数电压值，并且在时間間隔τ秒之內沒有显著的变化。(如在I-1节中的例子一样，假定噪声起伏的平均值具有同样的大小。)

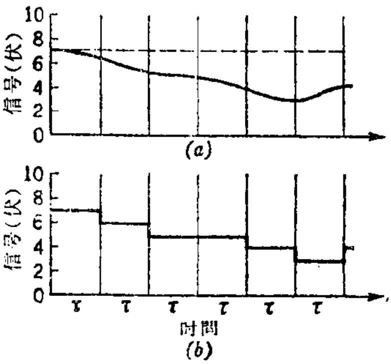


图 I-4. 信号的分层。(a)原来的信号；(b)分层信号。

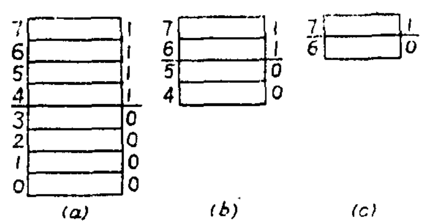
这样，上述信号可由图I-3中所示形式的信号来代替；在任一τ秒长的时間間隔內，它将占有八个电压电平中的一个(0到7伏)，而占有每一个电平的可能性是相等的。

由这样一个离散信号来代替一連續信号的过程称为**分层过程**。一典型信号及其分层信号示于图I-4中。

此时，信号的傳輸只須在它們出現时送出一个跟一个的整数电压值。但在任一时間間隔中，必須送出八个不同电压中的一个。所以，信号的信息量与这八个不同电压电平有关(即，8选1)。

然而，我們要問的是：是否存在着发送这个信息的另外方法，以便在确定任一时間間隔內的信号时所需要的电平数少于8？此时，信息量将假定等于所需要的最小电平数。这个問題的答案是肯定的：为了說明电平的选擇及其具体数值，最簡单的方法是借助于一連串的是-非指令。对于这个具有八个电平的具体信号而言，需要三次这样的是-非指令。

为了說明这个方法，設在某一瞬間信号电压为7伏。于是，我們首先决定所选电平是在前四个电平中还是在后四个电平中。如果“是”，我們則指定符号1来标明該四个电平中的每一电平；如果“非”，則指定符号0。在此情况下，0到3的电平标明为0，而4到7的电平則标明为1（見图I-5a）。于是，我們立刻可以去掉0电平而集中来选擇所剩下的四个电平中的一个。因而，我們选擇范圍已經大为减小了。



图I-5. 信号的二进选擇。(a)第一次选擇；(b)第二次选擇；(c)第三次选擇。

同样，我們将剩下来的电平分成两部分：将不包含所需要电平（在这里是7）的那一半标明为非或者0；另一半則为是或者1，如图I-5b所示。同样地又去掉一半电平而仅仅剩下6和7。此时，我們发現唯一选出的是电平7。

注意，这个方法要求連續三次是-非回答。

用同样的方法，我們可以选出八个可能电压中的任一个。这样，借助于三个0或者1的标記，每一个电压都可以单一地被識別出来。这种識別的方法称为**二进編碼制**。一个典型的識別表如下：

	二进編碼
7	111
6	110

5	101
4	100
3	011
2	010
1	001
0	000

所以，我們只需要在相应的时間間隔內傳輸三个連續的是-非(有电压-沒有电压)电压，就可以代替傳輸一个具有八个不同电平信号中任一电平的信号。任一个是-非标記称为一个二进数字，或者簡称比特。于是，对所討論的8电平信号而言，为了傳輸一具体电平所占有的信息，所需要的是3比特。

二进編碼制是唯一地标志一个信号的一种最簡单的方法。在任一时間間隔中，以二进选擇来傳輸8电平信号的信息量时，所需要的仅仅是三个二进数字或者3比特。对于16电平信号，則需要4比特，而32电平为5比特，等等。对于n个电平所需要的是$\log_2 n$比特。

如果有三个連續的时間間隔，要求把三个間隔內的信息傳出，而每一时間間隔具有八个可能的电平，則对每一时間間隔信号傳輸所要求的是3比特，或者总共为9比特。

对于$\frac{T}{\tau}$个时間間隔和n个电平的情况，則必須傳輸$\frac{T}{\tau}\log_2 n$比特。于是，我們可下一定义：一信号的信息量就等于傳輸該信号时所需要的比特数或者二进选擇数。

I-3. 系統容量和消息的信息量之間的关系

在I-1节中我們曾指出，一个系統傳輸信息的容量（或者能力）依賴于系統的时間响应以及該系統区别信号的不同电平的能

力。

一既定系統的容量可定义为該系統每秒钟內所能傳輸的最大信息总量(每秒多少比特)。在本书的以下各章中，将专門討論系統在信息傳輸上的限制与带寬和系統的噪声特性之間的关系。現在，我們来討論傳輸信号的信息量与系統容量之間的关系。

仅仅能够測出一具体系統傳輸信息的能力是不够的。在信息傳輸中比較更基本的問題可以說是：哪个系統或者哪組系統将有足够的容量来傳輸某一类型的信号或者某一类型的消息（携带信息的消息)？为了回答这个問題，我們必須能够測量一信号的信息量。

例如，我們現在来討論傳輸一篇用英語讲的演說。为了选擇傳輸系統，我們必須能够决定該演說的信息量及其所傳輸的速度。显而易見，所选擇的系統应与信息傳輸的速度相适应，或者拥有的容量应大于信息傳輸的速度。这就是說，系統必須与所傳輸信号的类别相“匹配”。

(一經选好拥有所需要容量的一組系統，就可以根据所需要的最小功率、設备費用最小、結构最簡单、带寬最小等等来进一步选擇一具体系統。然而，在实际选擇时，幷不是各个要求都能滿足，因而必須采用某些折衷的方案。)

为了选擇具有适当信息容量的一个系統或者一組系統，首先要确定或者測量欲傳輸信号的信息量。关于这个問題的詳細研究，屬于信息論的領域，其深入的討論，讀者可参考不断发表的有关这方面的著作[①]。在这里，我們仅指出所应用的方法，在以后的工作中这些內容是很有用的。

---

① 主要內容包含在 C. E. 香农 (C. E. Shannon) 的經典著作中，“A Mathematical Theory of Communication”, *Bell System Tech. J.*, vol. 27, pp. 379—423, July, 1948, pp. 623—656, October, 1948。

在 I-1 和 I-2 节中，我們已經证明，当信号的各值以同等的机会且以离散电平的形式出現时，信号的信息量是容易計算的，因为此时的信息量就是信号在一既定的时間間隔內可能組合的总数的对数。（在我們所考虑的例子中，信号在T秒內机会均等的組合的总数是 $n^{\frac{T}{\tau}}$。由于每一电平出現的可能性和其他电平一样，所以，在T秒內的信息量是 $\log_2 n^{\frac{T}{\tau}}=\frac{T}{\tau}\log_2 n$。）

然而，机会均等这个条件具有很大的局限性。例如，在傳輸英語时，将連續讲的話的不同字母一一傳輸，所謂机会均等就是說每一个字母出現的机会是相等的。这个假定显然是不眞实的，因为我們知道字母 e 較字母 z 或者任何其他字母出現的机会要大得多。所以，在一个字母收到之前，我們猜测为 e 的正确性将大大超过猜测为 q、z 或者 u 的正确性。

但是，字母 e 比 z 有較大机会出現这一事实就降低了所傳輸語言的信息量。因为，正如我們在 I-1 节中所指出，所傳輸信息的总量依賴于消息的不确定性。一个极端的情况是，如果已知 e 在这个演說中是唯一出現的字母，則沒有傳輸任何信息，因为此时并不存在关于消息的不确定性。

因此，虽然在任一时間間隔中的可能信号仍然是从 a 到 z 的全部字母，但是由于某些字母比其他字母較常出現这一事实，就降低了消息的信息量。所以，如果在T秒內可能的不同信号組合以不同的相对頻率出現，則在T秒內消息的信息量与机会均等或者等可能性的情况比較是减少了。

上述論点也同样适应于 I-1 节中以不同电平代表不同信号的問題。例如，如果一个 3 伏的信号是唯一被傳輸的信号，則必然不携带任何信息，因而信息傳輸也就停止。如果該 3 伏信号只是較其他信号出現的次数多些，則一T秒长的消息将携带一定的信息，

但其信息量与所有电平为等可能性的情况相比则要少些。(包含有3伏电平的那些信号組合必然較任何其他組合出現的次数为多。)

所以，一个消息的信息量不仅与消息中可能的信号組合数有关，而且与它們出現的相对頻率有关。而后者又依賴于消息源。在英語中，消息的信息量依賴于語言的結构及其字母的情况：每一字母、字母的不同組合、字組合、句子組合等等出現的相对頻率。所有这些結构特性将影响可能出現的各种不同的信号組合以及它們出現的相对頻率，因而也影响了一具体信号的信息量。

由于信号出現机会不等，使消息的信息量减少，結果信息傳輸的系統容量就应該相应地减小。基于这种考虑，用电报傳輸英語消息时，对字母 e 的編碼一向是用最短的电报符号，这就减少了傳輸一个消息所需要的平均时間。

既然在一般情况下，信号以不同的頻率出現，我們又如何定量地来测量一消息的信息量呢？为了研究这种情况，首先假設一系列信号(在英語的情况下为个别字母)互不相关，然后試图作进一步的概括。这一互不相关的假設意味着任一信号的出現不以任何方式影响任何其他信号的出現。在傳輸英語消息的情况下，这就是說，一个字母的出現不影响任何其他字母的出現。(例如，字母 q 的出現，其后可跟随字母 x 或者 z, u。所以，在英語的情况下，这一互不相关的假設是一个非常复杂的情况的过度簡化，但是这个假設使分析簡化很多。)

为了得到一消息的信息量的定量計算方法，我們将首先以另一形式重新写出在等可能条件下的結果。我們已經证明，如果每一信号的持續时間为 τ 秒，而在 τ 秒内具有 n 个可能的电平，则在 T 秒内可能的信号組合总数为 $n^{\frac{T}{\tau}}$。

如果我們观察很多消息(每一消息为 T 秒长)，則我們将发現

平均每一个可能的信号組合将以相对頻率 $1/n^{\frac{T}{\tau}}$ 出現。例如，$\tau=1$ 秒，$n=4$，則在3秒长的时間內可能的不同組合数是64。因而每一个3秒长的消息出現的相对頻率为$\frac{1}{64}$。所以，在10,000个3秒长的消息中，每一个可能的消息将近似地占有$\frac{10,000}{64}$个。如果我們所观察的3秒长的消息越多，則任一信号組合出現的相对頻率将更加接近$\frac{1}{64}$。

任一組合或者事件出現的相对頻率，我們定义为它的**概率**，并以符号 P 表示。于是

$$P=\frac{\text{事件出現的次数}}{\text{总的試驗次数}} \tag{I-4}$$

如果要准确測量相对頻率，則总的試驗次数必須远大于可能事件的总数(例如在剛才的例子中所引用的10,000与64)。

例如，如果我們想找出英文字母中某一字母出現的概率，我們可以随机地取一些字母(可由任一书中連續几頁的字来保证字母的独立选擇)来决定該字母出現的次数。然而，为了使我們的結果眞实，所选擇的总字母数必須远大于26。

如果把 n 个可能事件逐一对应于I-1节中在任意瞬間的 n 个可能信号电平，則在等可能事件的条件下 $P=\frac{1}{n}$。所以，在任一时間間隔內，任一事件出現所带来的信息是

$$H_1=\log_2 n=-\log_2 P \frac{\text{比特}}{\text{时間間隔}} \tag{I-5}$$

假設每一信号或每一事件在时間上是独立的，則 m 倍的时間間隔(一时間間隔为 τ 秒长)将有 m 倍的信息。所以，在 m 个时間間隔內

$$H=mH_1=-m\log_2 P \text{ 比特} \tag{I-6}$$

于是，在T秒內带来的信息是$\left(m=\frac{T}{\tau}\right)$

$$H=-\frac{T}{\tau}\log_2 P=\frac{T}{\tau}\log_2 n \text{ 比特} \tag{I-7}$$

与I-1节中所得到的一样。

現在我們来研究不同信号电平(或者事件)不是等可能性的情况。为了簡单起见，假設所傳輸的仅仅是两个电平：0和1，前者出現的概率为p，后者則为q。于是

$$p=\frac{0\text{ 出現的次数}}{\text{总的試驗次数}} \tag{I-8}$$

$$q=\frac{1\text{ 出現的次数}}{\text{总的試驗次数}} \tag{1-9}$$

由于非0即1必然出現，所以$p+q=1$。(0出現的次数加上1出現的次数等于总的試驗次数。)

例如，以两电平信号装置所傳輸的消息来表示某国男孩和女孩的出生；1对应于男孩，0对应于女孩。根据統計，在1,000,000个出生的嬰儿中，男孩占480,000个，女孩占520,000个。于是$p=0.52$，$q=0.48$，因而$p+q=1$。

現在的問題是：包含一組0和1的具体消息的信息量是多少？每一次0的出現，我們得到$-\log_2 p$比特信息，而每一次1的出現則得到$-\log_2 q$比特信息。如果p和q均近似等于0.5，則每一事件(0或者1)的出現几乎携带着相同的信息量。在上面所說的男孩和女孩出生的情况，就是两事件近似为等可能性的情况。但是，如假設$p\gg q$(平均說来0更經常出現)时，則因$-\log_2 q\gg-\log_2 p$，所以較少出現的事件1的出現将携带較多的信息。

这点似乎与我們以前所討論的結論一致，在那里我們曾經指出，一事件出現的不确定性越大，所携带的信息越多。可否再說明

一次它与我們的直观概念相符合呢？我們再以婴儿出生作为例子，但現在考慮一个家庭有了5个儿子沒有女儿的情况。特别是由于父母双方的家庭历来是具有多生男孩的傳統，父亲已放弃得到一个女儿的希望。在这种情况下，当他以祈望的心情等待着妻子的又一次分娩时，得到的消息是他的妻子生产了——一个男孩。是这样嗎？这一点也不新鮮。一个已在意料之中的男孩。但是，如果所生的是——一个女孩！这个消息将有非常显著的不同，它将携带很多信息，它是完全出乎意料之外的消息！

所以，在直观意义上，較少出現的事件比經常出現的事件携带較多的信息，因而我們所应用的信息公式 $-\log_2 p$，$-\log_2 q$ 是与直观概念一致的。

一組0或者1所携带的信息必然是每一个0或者1的出現所携带信息比特数之和。如果 $p=0.8$，$q=0.2$，同时如果在1,000次試驗中，p 出現802次，q 出現198次，則1,000次0或者1出現的信息量是

$$
\begin{aligned}
H &= -(802\log_2 0.8+198\log_2 0.2)\doteq \\
&\doteq -1{,}000(0.8\log_2 0.8+0.2\log_2 0.2)= \\
&= -1{,}000(p\log_2 p+q\log_2 q)
\end{aligned}
$$

所以，由許多0和1所組成的消息的信息量依賴于 $p\log_2 p+$ $+q\log_2 q$，也就是依賴于每一个0或者1出現时信息的比特数与出現0或者1的相对頻率之积。

为了将这两个可能信号的特殊情况一般化，我們再一次来考慮将时間 T 按 τ 秒分隔的情况。于是，0或者1出現的可能性有 $m=\dfrac{T}{\tau}$ 个。平均来說$\left(m\gg\dfrac{1}{p}\text{和}\dfrac{1}{q}\right)$，在 T 秒內0将出現 $mp=\left(\dfrac{T}{\tau}\right)p$ 次，而1則出現 $mq=\left(\dfrac{T}{\tau}\right)q$ 次。（再一次記住：其中 q 和 p 分别代表一个1和一个0出現的概率或者相对頻率。）所以，一 T 秒长