

最佳接收法理论

Л. О. 古特金 著

科学出版社

起伏干扰下无线电
最佳接收法理論

Л. С. 古特金 著



Л. С. Гуткин
ТЕОРИЯ
ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ
РАДИОПРИЕМА
ПРИ ФЛУКТУАЦИОННЫХ
ПОМЕХАХ
Госэнергоиздат, Москва, 1961

內 容 簡 介

本书討論起伏干扰下信号的最佳接收法理論。其中所謂最佳接收法系指能在这种或那种意义上最好地从干扰下接收信号的方法。

书中的分析基本上是对无綫电信号而言的,但其分析方法和导得的有关結果,絕大部分都适用于其他类型的信号。

这門理論以数理統計为工具,理解它需具有概率論的基本知識。

本书依据統計接收理論的历史发展状况,按阶段地刻划和介紹了这門理論的基本內容并清楚地描画出这門学科的概貌。

这是一部具有創造性成果的阶段性总結論著,題材处理比較成功,可供科学工作者、高等学校教师、通信工程师、技术員以及有关专业的研究生和大学生們閱讀。

本书的中文譯本改正了原文本的排印錯誤。另外,有个別地方譯者曾受作者的委托作了一些解釋或修改。

起伏干扰下无綫电
最佳接收法理論

Л. С. 古特金 著

科学出版社出版

北京朝阳門大街 117 号

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

上海新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

1965 年 1 月 第一版 开本: 850×1168 1/32
1965 年 1 月 第一次印刷 印張: 13 3/16
印数: 0001—6,200 字数: 346,000

統一书号: 16031·156

本社书号: 3023·15

定价: [科六] 2.00 元

原 序

本书研究起伏干扰(噪声)下信号的最佳接收法理論。

这里所謂最佳接收法,是指能滿足預先用数学表述的最佳准則的那些方法,比方說,能保証使信号或被信号傳送的消息在复現時具有最小均方誤差,等等。

这門理論的基本原理是 В. А. 柯捷里尼可夫 (Котельников) 院士 1946 年发表的經典著作“起伏干扰下接收法的潜在抗干扰性理論”一文所奠定的。自那个时候以来,信号的最佳接收法理論就一直不断地蓬勃发展着。因此,作者不可能詳尽无遺地述及这門理論的各个方面,而只准备給讀者介紹一些当前已解决的基本課題、处理这些課題的方法,并闡述已經得到的若干成果。

这里,为了使內容容易理解,同时也为了把上述理論的各个历史发展阶段能真实地刻划出来,本书叙述按下列次序进行:

第一篇介紹为理解后面內容所必需的若干預备知識。

第二篇扼要地闡述 В. А. 柯捷里尼可夫的潜在抗干扰性理論,并且从問題現狀的观点出发来分析其中的某些原理。柯捷里尼可夫假定(除要复現的消息以外),信号的全部参量在接收端都是确切已知的。因此,第二篇实质上是討論确知信号的最佳接收法。

第三篇研究除有用消息以外,还含有未知(随机)参量的信号的最佳接收問題。这时所用的分析方法,实质上是柯捷里尼可夫方法的直接发展。

第四篇,用現代数理統計方法来分析最佳接收机和它的特性。因此,如果說第二篇和第三篇的內容基本上是按所研究信号型式不同来划分的,那么,第四篇和以上两篇的差別,則主要是分析方法上的不同。第四篇介紹的方法是更富普遍性的,而且使得在寻求最佳接收机和分析它的特性时,可以借用数理統計的許多成果。

本书約有四分之一的材料源出于作者本人的論著(第十八章, § 7-2, 7-3, 11-3, 11-4 等等);其他篇幅則是从多方面的文献中綜合提炼而成. 不过,作者尽量叙述得深入浅出,以便使广大的无綫电专业工作人員和大学生都能閱讀.

科学技术博士 А. Е. 巴沙林諾夫 (Башаринов) 对本书提过許多宝贵建議,这些建議已被采纳;Е. М. 古特金娜 (Гуткина) 在准备手稿付印时給了很大帮助,为此,作者謹向他們致以深切的謝忱.

目 录

原序	vii
原序	ix

第 一 篇

預 备 知 識

第一章 导言	1
1-1. 問題提出,历史紀要	1
1-2. 消息、信号以及干扰的一般特性	8
1-3. 時間函数依正交函数展开成級数	14
第二章 最佳綫性过滤器	22
2-1. 概述	22
2-2. 保証获得最小均方根誤差的綫性过滤器	22
2-3. 保証最大信号噪声比的綫性过滤器	27
2-4. 准最佳綫性过滤器	40
2-5. 关于最佳过滤器与最佳接收机的联系及其差异的評述	42
第三章 “非白噪声”化成“白噪声”的方法	45
3-1. 通用关系式	45
3-2. 在寻求最佳綫性过滤器中的应用	48
3-3. 結論	51

第 二 篇

确知信号的最佳接收

(柯捷里尼可夫的潛在干扰性理論)

第四章 通用关系式	52
4-1. 問題的提出	52
4-2. 消息逆概率的計算	54
4-3. 最佳接收机的結構	57

第五章 离散消息的接收	60
5-1. 一般情形	60
5-2. 双擇檢測	64
5-3. 两个非零信号的識別	69
5-4. 能量相同的 m 个正交等概率信号的識別	71
5-5. m 条信道的接收設備中的情形	75
第六章 連續消息分立值的接收	78
6-1. 通用关系式	78
6-2. 各种調制形式及接收方法的比較	83
6-3. 导得結果的几何解釋	88
第七章 振蕩的接收	96
7-1. 基本关系式	96
7-2. 信号噪声比的影响	101
7-3. 接收机頻率特性形状的影响	104

第 三 篇

随机参量信号的最佳接收

(逆概率分析法)

第八章 通用关系式	122
8-1. 問題的提出	122
8-2. 計算逆概率的方法	125
第九章 双擇檢測	128
9-1. 随机相位信号的逆概率的計算	128
9-2. 随机初相信号的双擇檢測	132
9-3. 起伏信号的双擇檢測	140
9-4. 双擇相位檢測	148
第十章 复杂双擇檢測	154
10-1. 通用关系式	154
10-2. 确知信号的檢測	156
10-3. 随机相位信号的檢測	157
10-4. 起伏信号的檢測	158
10-5. m 个正交信号的檢測	159

第十一章 信号有多个可能值时的检测并识别	164
11-1. 最佳接收机的结构	164
11-2. 检测并识别的错误概率	168
11-3. 小错误概率的情形	176
11-4. 信号的检测并识别跟复杂双择检测的比较	183
第十二章 检测与识别脉冲序列(“串”)的特点	187
12-1. 脉冲序列的一般特性	187
12-2. 确知串的检测与识别	188
12-3. 随机幅相串的逆概率	189
12-4. 随机初相相干串的检测与识别	192
12-5. 相干起伏串的检测与识别	193
12-6. 已知振幅及独立随机相位的不相干串的检测与识别	194
12-7. 不相干串具有协调起伏的脉冲振幅时的检测与识别	208
12-8. 脉冲振幅独立起伏的不相干串的检测与识别	215
12-9. 圆扫描脉冲雷达的应用举例	224
12-10. 非白噪声中检测与识别信号的特点	228
第十三章 信号连续参量的测量	234
13-1. 随机初相信号的振幅测量	234
13-2. 随机相位的脉冲信号到达时刻 τ 的测量	238
13-3. 随机相位信号的频率测量	250
13-4. 同时检测信号并测量其参量	254
13-5. 在随机初相信号中消息(参量)是时间函数时的复现问题	261

第 四 篇

用数理统计方法研究信号的最佳接收问题

第十四章 用统计假设检验法分析信号的检测与识别问题	263
14-1. 概述	263
14-2. 信号的检测与识别相当于统计假设的检验	266
14-3. 双择检测	267
14-4. 检测特性. 门限信号	277
14-5. 统计假设检验法与逆概率法的比较	279
14-6. 随机参量信号的似然系数的计算	281

第十五章 序貫檢測	285
15-1. 概述	285
15-2. 序貫檢測的作用原理	286
15-3. 最佳序貫檢測中的基本关系式	291
15-4. 起伏脉冲信号的序貫檢測	297
15-5. 序貫檢測与經典檢測的比較	302
15-6. 量子化子样的序貫分析	306
第十六章 用分布參量估值法分析連續消息的接收問題	309
16-1. 統計估值經典理論中的問題提法	309
16-2. 点估值的基本关系式	313
16-3. 最大似然法	318
16-4. 最大似然法在从噪声中接收連續消息的問題中的应用	320
16-5. 同时估值信号的频率和时延	326
16-6. 信号形式在同时測量频率与时延时的影响	330
第十七章 广义最佳准則(統計判決理論的应用)	339
17-1. 問題的提出	339
17-2. 最小平均风险准則中的基本关系式	345
17-3. 极大极小化最佳准則	350
17-4. 統計判決理論用于連續消息接收中的若干一般結果	354
第十八章 最佳准則及消息的先驗分布对最佳接收机結構及特性的影响	358
18-1. 概述	358
18-2. 接收連續消息的分立值时分布 $P_y(x)$ 的若干特性	360
18-3. 接收連續消息的分立值时,消息先驗分布及最佳准則的影响	368
18-4. 接收离散消息时,消息先驗分布及最佳准則的影响	376
18-5. 接收振蕩 $[x=x(t)]$ 时消息先驗分布及最佳准則的影响	386
18-6. 小結	387
第十九章 最佳接收法理論的基本发展方向	389
附录 $\chi^2_{2n}(\alpha)$ 分布表	391
参考文献	392
中外人名对照索引	402
汉俄術語对照索引	403

第一篇

預備知識

第一章

導言

1-1. 問題提出, 历史紀要

抗干扰性問題, 即寻求干扰存在时接收无线电信号的最佳方法这个課題, 是无线电接收中一个基本的, 而且是最复杂的问题。这是因为, 随着接收机的日趋完善, 干扰越来越多, 对复現信号质量的要求也不断提高。

所謂最佳接收法, 系指干扰存在时能按某种最好的方式接收信号, 或信号所带消息的那些方法。“最好”这个概念的內涵称为最佳准則。例如, 这类准則可以是复現信号时的均方根誤差最小, 总錯誤概率最小等。

虽然, 在很多場合下, 接收机的使命不是要把整个信号完全复現出来, 而只需要复現出調制信号的消息。但由于未調信号可以看做已調信号的一种特殊情况, 因此, 在沒有附加說明的場合, 我們的理論都是以已調信号为基础的。而且, 对于各种各样类型的信号——已調的、未調的、无线电的、电声的、以及有綫通信的信号等等——信号最佳接收法理論中的基本原理和結果显然都是正确的。

因此,为了普遍起见,今后不用无线电接收和无线电接收机这类名词,而采用接收或接收机这样的术语。不过,基本的例子都是取自无线电接收领域,因为那里的信号和干扰通常都是最复杂的,而防止干扰也是最迫切的。

从数学的角度来看,寻求最佳接收机这样的课题一般地可归结如下:

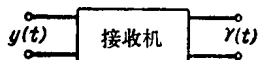


图 1-1

接收机输入端(图 1-1)加入信号与干扰的混合 $y(t)$:

$$y(t) = f[u_x(t), u_m(t)], \quad (1-1)$$

式中 $u_x(t)$ 是载有有用消息 x 的信号;

$u_m(t)$ 是干扰(“噪声”).

在未调信号中 $u_x(t) = \text{常数} \times x(t)$.

信号与干扰混合的最简单情况是两者的直接相加,即

$$f[u_x(t), u_m(t)] = u_x(t) + u_m(t). \quad (1-2)$$

这时的干扰称为可加干扰。

但是,一般情况下,干扰在进入接收机以前,可能以更复杂的方式使信号发生畸变,例如,调制信号的一个或几个参量(振幅,频率,相位等等)。因此,一般情形下,表达式(1-1)只说明,加至接收机输入端的振荡 $y(t)$ 是信号和干扰这二类振荡的某种函数。接收设备输出端的振荡用 $\gamma(t)$ 来表示。

现在需要找出一种接收机的结构,即找出一种将 $y(t)$ 变换成 $\gamma(t)$ 的规律,在这种变换中 $\gamma(t)$ 能以(某种意义上)最好的形式复现出消息 $x(t)$ 。为了解决这个问题,应当用数学方式表述出最佳准则,并且应当给定信号与干扰的混合 $y(t)$ 的某些特性,例如,给定这一混合的统计特性。

最佳接收法理论处理下述基本课题。

1. 选择和论证适当的接收机最佳准则。
2. 创立寻求最佳接收机结构的理论方法,即创制满足所选定的最佳准则的接收机的理论方法。
3. 研究最佳接收机的特性,而且首先是估计它的抗干扰性,

即确定为保証信号或消息既定复現质量所需的最小信号。

4. 将求得的最佳接收机和实际（即实践中已采用的）接收机加以比較，以便揭示出提高实际接收机抗干扰性的可能性和合理性。

5. 比較最佳接收机在已有的各种信号形式，特别是在这些信号的各种已有的調制方法下的抗干扰性，以便选择抗干扰性最好的信号形式和調制方法。

6. 寻求新的、最佳的信号形式（調制方法），使最佳接收机接收这类信号时能获得最佳的抗干扰性。

寻求和研究最大抗干扰性系統这一类問題，不仅在最佳接收法理論中需要加以討論，而且在通信理論中也要加以研究。現在来介紹一下这两門理論的关系：

在通信理論中研究的不是孤立的接收机，而是整个通信系統（图 1-2）。

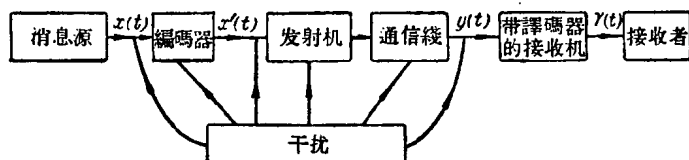


图 1-2

初始（有用）消息 $x(t)$ 被編碼成調制发射机的派生消息 $x'(t)$ 。已調信号經過通信綫路（无綫电通信綫路，有綫通信綫路等。）加至接收机。

当沒有干扰，且信号也无其他畸变时，接收机輸入端的振荡为

$$y(t) = u_{x'}(t), \quad (1-3)$$

式中 $x'(t)$ 是 $x(t)$ 的无畸变地編碼过的消息。

假如接收机工作在理想状态，則解調和譯碼以后給出的振荡 $\gamma(t)$ 就将等于或者正比例于初始消息¹⁾：

¹⁾ 为簡便計，这里假定，接收机的任务只是純复現消息。[純复現（простое воспроизведение）是指要直接复現出消息本身，而不是复現出消息的某种函数变换，如消息的积分、微分、預測等等。——譯者]

$$\gamma(t) = \text{常数} \times x(t). \quad (1-4)$$

但是通信系統的各个环节都可能会受到干扰(图 1-2)。这些干扰会使派生(編碼过的)消息 $x'(t)$ 发生畸变, 并且使接收机輸入端的振蕩 $y(t)$ 不等于 $u_{x'}(t)$, 而是 $u_{x'}(t)$ 和干扰 $u_m(t)$ 的复杂函数。

因此, 接收机輸出端的振蕩 $\gamma(t)$ 和 (1-4) 并不相同, 也就是說, 接收机复現的消息 $x(t)$ 是有畸变的。

一般通信理論的課題可归納如下: 寻求出建立通信系統各环节(編碼器, 发射机, 通信綫路以及接收机)的原則, 使得存在有干扰时能保証将消息从消息源(在某种意义上)最好地傳送給收信者。

因此, 通信理論, 是在一切可能的信号形式中, 包括在一切可能的調制方法和編碼方法, 以及在一切可能的接收方法中, 寻求最佳方案。

最佳接收法理論, 首先是对給定(或选定)的信号形式, 就中也包括对給定的調制和編碼形式, 在一切可能的接收方法中, 寻求最佳方案。对选定的信号形式求得相应的結果以后, 可以进一步再在信号的各种可能的調制形式中求出最佳方案, 这时假設編碼方法是相同的, 或者一般都认为消息并没有經過編碼。

这个課題在許多論述最佳接收法理論的著作中, 首先是在 B. A. 柯捷里尼可夫^[1], 伍德華特(Woodward)^[2], 吉貝尔特(Siebert)^[3] 和 С. Е. 法尔科維奇(Фалькович)等人的論著中提出來, 并且成功地解决了。

原則上, 可以利用最佳接收法理論中的方法直到最后一步: 即对給定(或选定)的編碼系統求得最佳結果以后, 又在一切可能的編碼方法中求最佳方案。这样, 最佳接收法理論处理的課題, 实质上就和通信理論中的課題銜接起來了, 然而利用通信理論(信息論)中研制出來的各种工具, 却常能极大地簡化这些課題的处理。

因此, 正如通常在實踐中所做的那样, 我們將认定, 最佳接收法理論的首要和基本任务是: 对給定(或选定)的信号形式寻求最佳接收方法。在不太复杂的情形下, 且当消息的編碼方法相同或

者根本就不存在編碼時，尋求最佳的信號形式是上述理論的第二個任務。而尋求消息的最佳編碼方法則認為是通信理論的任務。因此，最佳接收法理論和通信理論的基本差別就是：在最佳接收法理論中不去尋找消息的最佳編碼方法。

由於這個限制，在可能存在有最佳編碼的情況下，最佳接收法理論就不能給出最一般的解決方案。

但是，在許多情況下，消息的最佳編碼原則上就是不可能的，而在另外一些情況下，雖然原則上是可能的，但實際上却是不合理的。這時最佳接收法理論就最一般而完整地解決了抗干擾性問題。例如，雷達、射電天文、無線電測量中的大多數問題、以及無線電遙測中的許多問題都屬於這種情況。

事實上，雷達通常都是利用照射目標並接收其反射能量的方法來確定目標參量（坐標、速度等等）的。這時有用的初始消息是目標（例如飛機）的參量——它的坐標、速度等等。這些消息以完全確定的方式去調制信號，而我們是無法隨意地對這些消息進行編碼，或者用這些消息去調制信號的¹⁾。

在射電天文中，有用信號是天體的輻射。這時信號的特性是由自然界本身決定的，而且一般說來我們不能加以改變。

在無線電測量中，一般也都是要在干擾出現時測定某一完全確定信號的種種特性，因而也只有對接收方法才能尋求最佳方案。

在無線電遙測中，最佳編碼雖然在原則上是可能的，但在許多情形下却是不合理的。事實上，最佳編碼通常都使信息的傳輸具有極大的延遲，並且使通信系統的發射部分複雜化。在無線電遙測系統中，這種發射部分常常安裝在小型的目標中，而且這些目標有時只用一次就不要了，因此，採用最佳編碼就會顯得不合理了。

由上述可知，最佳接收法理論，在許多重要的場合下能給抗干擾性問題以最一般的解，在另一些場合，給出的結果雖然不是最一般的，然而卻是十分有價值的。因此，雖然這門理論尚處於發展中

1) 雷達中有時也將探測信號編碼，不過探測信號並不包含有用消息；因此，這種編碼並不是對消息編碼。

的初始阶段,但是发表过的有关文献已經数以百計了。

历史上最佳綫性过滤器¹⁾理論的創立是在最佳接收法理論之前。在綫性过滤器理論中,对于从干扰中分出信号的接收系統(过滤器),附加有綫性这个条件。

最佳綫性过滤器理論的基本原理早在 1941—1942 年就已在 A. H. 哥尔莫果洛夫(Колмогоров)院士^[34]及 N. 維納(Wiener)^[28]的一些主要論著中建立起来了。

維納从过滤器輸出端获得最小均方根誤差的条件出发,确定了对綫性过滤器的最佳傳輸函数的要求。这时是假設,作用于过滤器輸入端的是平稳的随机信号和噪声,而且观察時間 T 是无限长的。其后,查德(Zadeh)和拉格辛(Ragazzini)把上述結果推广到有限時間,且信号除随机分量外,还含有規則分量的情形。到了 1952—1957 年,給出最小均方根誤差的綫性过滤器理論已經推广到非平稳随机过程以及过滤器是时变参量的情形。

从 1943 年起,为了綜合最佳綫性过滤器,开始采用了另一个准則,即信号电压峰值对噪声电压均方根值的比最大的准則。这方面的基础是由諾斯(North)的著作^[113]奠定的。他在白噪声的情形解决了这个課題。其后,諾斯的結果被德沃尔克(Dwork)^[114]以及其他学者推广到不均匀譜噪声的情形。在最佳綫性过滤器理論中,В. С. 普加乔夫(Путичев)作了巨大的貢獻^[111]。

由于实现最佳綫性过滤器在好多情形下都是很困难的,В. И. 西福罗夫(Сифоров)^[35], А. П. 別洛烏索夫(Белюсов)^[36]以及其他学者研究了过滤器頻率特性的形式已給定,且过滤器輸出端的最大信号噪声比可以只由最佳地选择过滤器帶寬来加以保証时的情形。分析表明,采用这类最简单的过滤器所得到的結果,在許多情況下都是近乎最佳的;因此,这类过滤器常常也叫做准最佳过滤器。

所有上述著作,尽管其价值很高,涉及到的都不是整个接收机

1) “фильтр”在通信技术中称为“滤波器”,在其他学科中称为“过滤器”。显然,过滤器的含义要比滤波器广泛得多。这里及今后为了强调其一般性决定选用过滤器一詞。显然,滤波器只是过滤器的一种特殊情形而已!——譯者

的最佳綜合問題，而只是接收機的一個部件——綫性過濾器。

討論尋求最佳接收機問題，並且研究其特性的第一部著作，是 B. A. 柯捷里尼可夫在 1946 年發表的博士論文“潛在抗干擾性理論”。1956 年這部著作未作重大改變而以專著的形式公開發表了^[1]。

柯捷里尼可夫的著作首先提出了，並且在不同程度上解決了，几乎是現代最佳接收法理論中富有代表性的全部基本問題。這部著作的價值，不僅在於該書是最佳接收法理論方面的第一部論著，而且還在於迄今為止它仍然是這個領域中最主要的經典著作。

柯捷里尼可夫解決的問題是針對平穩高斯噪聲這類可加干擾（具有正態分布律的平穩起伏振蕩），並且用的是最簡單的最佳准則（復現消息時的最小均方根誤差及最大後驗概率准則）。除此以外，分析時還作了一系列的附加限制和假定。

在以後的許多著作中，B. A. 柯捷里尼可夫所作的限制和假定，好些都很自然地被去除了。

更複雜的干擾情形，特別是會在被接收振蕩中帶來寄生隨機參量的非可加干擾的情形，也都被研究過了。這方面，首先應該指出的是伍德華特^[2,18]，米德勒頓 (Middleton)^[19,118] 以及其他學者的著作。D. 米德勒頓和其他一些作者曾就接收機的最佳廣義統計准則的情形進行過分析。

自 1950 年起，在尋求最佳接收機以及估計其特性方面，開始廣泛地採用了數理統計工具——統計假設檢驗法和統計估值法。

現代統計估值——隨機變量和隨機函數的分布參量之估值——理論的基本原理早在 1920—1930 年就由 R. 菲什爾 (R. A. Fisher) 建立起來了，其後在聶曼 (Neyman)，皮爾遜 (Pearson) 以及其他數學家的著作中得到了發展。1930—1940 年時聶曼和皮爾遜還創建了統計假設檢驗理論。第二次大戰期間，這些方法在 A. 瓦爾特 (Wald) 的著作中得到了重大的發展^[20,30]。瓦爾特創立了序貫分析法，並發展了統計判決理論和博奕論¹⁾。

1) 博奕論或稱對策論。——譯者

米勒德頓以及其他許多作者，在 1950 年以後發表的著作中，令人信服地証明了，所有上述方法能够極有成效地用來解決存在干擾時信號的最佳接收法問題。

為了符合上面指出的最佳接收法理論發展的順序，同時也為了使材料容易理解起見，本書以下述方式來敘述這門理論。

第一篇介紹建立信號的最佳接收法理論所需的基本預備知識（消息、信號以及干擾的一般特性，最佳綫性過濾器的特性等等）。

第二篇扼要地講述柯捷里尼可夫的潛在抗干擾性理論。

柯捷里尼可夫研究的只是確知信號，即信號中唯一未知參量就是待知的有用消息。因此，本書第二篇的敘述只限於確知信號的情形。

第三篇將理論推廣到信號具有寄生未知參量的更為一般的情形，即推廣到接收端的未知參量有的並不包含被接收消息的任何信息的情形。而且不管是第二篇還是第三篇，整個理論都是以最簡單的接收機最佳準則——最大後驗概率準則和最小均方根誤差準則——為基礎的。

第四篇研究用現代數理統計方法來尋求最佳接收機的問題。這種方法對接收機的很大一類最佳準則而言都是適用的。利用數理統計方法還可以證明，在分析以極高的可靠性和準確度來復現消息的最佳接收機時，對很大一類最佳準則，其中包括柯捷里尼可夫所採用的最簡單的準則，都將得到實際上相同的結果。

因此，儘管第二篇和第三篇講述的理論是以最簡單的準則為基礎的，但是，如果對接收消息的準確度和（或）可靠性要求相當高，那麼，其結果對於很大一類最佳準則都是正確的。

1-2. 消息、信號以及干擾的一般特性

有用信號 $u_x(t)$ 在一般情況下是被消息 x 調制過的時間函數。根據消息 x 的形式不同，可以有三種典型情況。

1. 离散消息的接收。
2. 連續消息分立值的接收。