

通 信 工 程 丛 书

电 信 话 务 工 程

张 富 编 著

电话交换技术



中国通信学会主编 • 人民邮电出版社

内 容 提 要

话务工程研究的是信息分配系统服务的随机过程，解决信息分配系统的网络结构、话务负荷能力、设备容量和服务质量之间关系的各种问题。它是通信系统研究、设计与维护的基础理论。

本书比较全面和系统地阐述了话务工程的基本理论和当代的一些重要研究成果。全书分为三个部分。一、话务工程理论的数学基础；二、话务工程的理论和应用；三、话务工程中的电子计算机模拟方法。

本书理论与应用并重，对于许多话务工程中常用计算问题，书中都给出了计算机数值计算方法和程序。每章都有大量的例题，说明理论的应用。

本书可供从事电路交换、信息交换、通信网络方面的工程技术人员阅读，也可作为邮电院校相关专业的教学参考书。

中国通信学会主编 通信工程丛书

电 信 话 务 工 程

张 富 编著

陈星岩 校

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32

1986年8月第一版

印张：29 28/32 页数：478

1986年8月河北第一次印刷

字数：790千字

数：1—2,800册

统一书号：15045·总3209—有5463

定 价：7.30元

丛 书 前 言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的基础理论知识，提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力，了解通信技术的新知识和发展趋势，以便为加快我国通信建设、实现通信现代化作出应有的贡献，我会与人民邮电出版社协作，组织编写这套“通信工程丛书”，陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各专业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所应有的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发，密切结合当前通信科技工作和未来发展的需要，阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识，包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求，以及技术更新等方面。力求做到资料比较丰富完备，深浅适宜，条理清楚，对专业技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材，不仅介绍有关的物理概念和基本原理，而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际；论证简明扼要，避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们，我们表示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议，使这套丛书日臻完善。

中国通信学会

一九八四年七月九日

序

信息分配系统，如电路交换系统，信息交换系统的发展，对电信话务工程的理论和方法不断提出新的课题和要求。所有这些要求，有力地推动了话务理论的研究和应用。今天，这个学科仍处在蓬勃发展之中。特别是电子计算机的应用，使话务理论的研究更加深入，应用更加广泛。话务工程的理论与方法应用于信息分配系统设计的结果，提高了设计速度，改善了设计质量，获得了最大的经济效益。

本书主要介绍电信话务工程中的基本理论和一些新的研究成果。目的是使读者了解和掌握电信话务工程中的基本理论和方法，并能用这些理论和方法解决信息分配系统中的话务分析和设计问题。

陈星岩同志仔细审阅了初稿，并提出了宝贵的意见和建议。这些意见对作者编写本书起了重大作用。对此表示衷心地谢意。

张 富

一九八五年三月于北京

目 录

绪论	(1)
----	-------

第一部分 电话话务工程的数学基础

第一章 概率论的基本概念	(9)
§ 1.1 随机现象与统计规律性	(9)
§ 1.2 样本空间与事件	(14)
1.2.1 样本空间	(14)
1.2.2 随机事件	(15)
1.2.3 随机事件之间的基本关系	(19)
1.2.4 事件的概率	(26)
§ 1.3 概率的古典定义	(27)
1.3.1 古典概率模型	(27)
1.3.2 概率的古典定义	(28)
1.3.3 概率的一些基本性质	(31)
1.3.4 排列与组合	(33)
1.3.5 古典概率计算举例	(39)
§ 1.4 概率的统计定义	(42)
§ 1.5 概率的公理化定义	(44)
小结	(46)
习题一	(46)
第二章 概率的基本运算法则	(49)
§ 2.1 概率加法定理	(49)
§ 2.2 条件概率、概率乘法定理	(55)
2.2.1 条件概率	(55)
2.2.2 概率乘法定理	(57)

2.2.3 随机事件的独立性	(59)
§ 2.3 全概率公式和贝叶斯公式	(65)
2.3.1 全概率公式	(65)
2.3.2 贝叶斯公式	(68)
§ 2.4 独立试验序列	(70)
2.4.1 贝努里概型	(70)
2.4.2 二项分布的近似计算	(76)
小结	(84)
习题二	(85)
第三章 随机变量	(87)
§ 3.1 随机变量与分布函数	(87)
3.1.1 随机变量	(87)
3.1.2 随机变量的分布函数	(89)
§ 3.2 离散型随机变量	(90)
3.2.1 离散型随机变量的分布	(90)
3.2.2 二项分布	(94)
3.2.3 普阿松分布	(96)
§ 3.3 连续型随机变量	(102)
3.3.1 分布函数	(102)
3.3.2 分布密度	(104)
3.3.3 均匀分布	(107)
3.3.4 指数分布	(109)
3.3.5 正态分布	(112)
§ 3.4 随机变量的数字特征	(119)
3.4.1 数学期望	(120)
3.4.2 方差与均方差	(126)
3.4.3 原点矩与中心矩	(132)
§ 3.5 多维随机变量	(134)
3.5.1 二维随机变量及其分布函数	(135)

3.5.2	随机变量的独立性	(140)
3.5.3	协方差和相关系数	(142)
§ 3.6	数学期望与方差的性质	(145)
§ 3.7	独立随机变量的和的分布	(146)
小结		(149)
习题三		(150)
第四章	大数定律与中心极限定理	(163)
§ 4.1	大数定律	(163)
4.1.1	频率与概率的偏差	(164)
4.1.2	切贝谢夫不等式	(165)
4.1.3	贝努里大数定理	(166)
4.1.4	切贝谢夫大数定理	(167)
4.1.5	大数定律的重要意义	(169)
§ 4.2	中心极限定理	(169)
小结		(167)
第五章	马尔可夫过程	(169)
§ 5.1	随机过程的基本概念	(169)
§ 5.2	马尔可夫链	(172)
5.2.1	转移概率	(172)
5.2.2	遍历性	(176)
§ 5.3	时间连续状态离散的马尔可夫过程	(179)
5.3.1	马尔可夫过程	(179)
5.3.2	增消过程	(182)
小结		(189)
习题五		(190)
第六章	数理统计初步	(191)
§ 6.1	基本概念	(191)
§ 6.2	定值估计	(194)
6.2.1	估计量的求法	(194)

6.2.2 估计的无偏性	(197)
§ 6.3 区间估计	(199)
6.3.1 数学期望的区间估计	(199)
6.3.2 方差的区间估计	(206)
6.3.3 区间估计的计算机程序	(211)
§ 6.4 假设检验	(218)
6.4.1 假设检验概述	(218)
6.4.2 参数的假设检验及其计算机程序	(220)
6.4.3 分布的假设检验	(231)
小结	(237)
习题六	(238)

第二部分 话务工程的基本理论与方法

第七章 呼叫流、话务量与服务质量特性	(239)
§ 7.1 呼叫流	(239)
7.1.1 关于呼叫流的基本概念	(239)
7.1.2 最简单流(普阿松流)	(241)
7.1.3 简单后效流	(243)
7.1.4 重复呼叫流	(244)
7.1.5 呼叫释放流	(245)
§ 7.2 负载的概念	(246)
7.2.1 完成负载	(247)
7.2.2 流入负载	(250)
7.2.3 损失负载	(251)
§ 7.3 电话负载的特性	(252)
§ 7.4 负载强度的基本参数和负载强度计算	(256)
7.4.1 基本参数	(257)
7.4.2 平均流入负载强度的计算	(261)
§ 7.5 服务质量特性	(263)

§ 7.6 服务系统的负荷能力	(265)
小结	(266)
习题七	(267)
第八章 明显损失制全利用度线束理论	(269)
§ 8.1 关于线束的概念	(269)
§ 8.2 全利用度线束的一般数学模型	(274)
§ 8.3 最简单呼叫流的全利用度系统	(277)
8.3.1 爱尔兰分布	(277)
8.3.2 普阿松分布	(288)
§ 8.4 简单后效流的全利用度系统	(289)
8.4.1 贝努里分布	(289)
8.4.2 恩格谢特分布	(291)
§ 8.5 四种分布的比较	(297)
§ 8.6 明显损失制全利用度线束计算机程序	(300)
8.6.1 已知线束容量 v 和流入负载强度 A , 求 线束的呼损 E (无限话源)	(300)
8.6.2 已知线束容量 v 和呼损标准 E , 求线束 所能承担的最大流入负载强度 A (无限 话源)	(302)
8.6.3 已知流入线束的负载强度 A 和所要求的 呼损 E , 求线束容量 v (无限话源)	(303)
8.6.4 有限话源全利用度线束呼损的计算	(304)
8.6.5 有限话源全利用度线束的线束容量计 算	(306)
8.6.6 恩格谢特分布下的线束状态概率计算	(306)
8.6.7 爱尔兰分布下的线束状态概率计算	(307)
小结	(308)
习题八	(310)
第九章 等待制全利用度系统	(311)

§ 9.1 最简单呼叫流与指数占用时长分布的等待制	
全利用度系统	(311)
9.1.1 问题与条件	(311)
9.1.2 系统状态概率分布	(312)
9.1.3 等待时长的概率分布	(316)
9.1.4 平均等待时长和平均排队长度	(321)
§ 9.2 最简单呼叫流与常数占用时长分布的等待制	
全利用度系统	(326)
9.2.1 等待时长的概率分布	(326)
9.2.2 平均等待时长	(327)
§ 9.3 等待系统的应用	(340)
§ 9.4 等待系统的计算机程序	(347)
9.4.1 最简单呼叫流与指数占用时长分布的 等待系统计算程序	(347)
9.4.2 最简单呼叫流与常数占用时长分布的等 待系统计算程序	(349)
小结	(352)
习题九	(353)
第十章 部分利用度线束理论	(354)
§ 10.1 概述	(354)
§ 10.2 部分利用度线束结构	(358)
§ 10.3 理想部分利用度线束	(363)
10.3.1 理想部分利用度线束的结构	(363)
10.3.2 理想部分利用度线束的爱尔兰公式	(365)
§ 10.4 部分利用度线束的近似计算方法	(370)
10.4.1 简化的爱尔兰法	(370)
10.4.2 巴尔姆—雅柯比斯 公式	(371)
10.4.3 改进的巴尔姆—雅柯比斯公式	(373)

10.4.4 奥德尔方法.....	(377)
10.4.5 等价置换法.....	(381)
10.4.6 有限话源的部分利用度线束.....	(392)
§ 10.5 部分利用度线束计算的计算机程序.....	(395)
10.5.1 MPJ 公式的计算程序.....	(393)
10.5.2 奥德尔公式的计算程序.....	(395)
10.5.3 两种方法的比较.....	(397)
小结.....	(398)
习题十.....	(399)
第十一章 链路系统.....	(400)
§ 11.1 概述.....	(400)
11.1.1 什么是链路系统.....	(400)
11.1.2 链路系统的符号表示法.....	(402)
11.1.3 链路系统的阻塞.....	(406)
§ 11.2 雅柯比斯法原理.....	(413)
§ 11.3 非扩散与非集中型两级链路系统.....	(419)
§ 11.4 扩散型和集中型两级链路系统.....	(426)
11.4.1 扩散型两级链路系统.....	(426)
11.4.2 集中型两级链路系统.....	(430)
11.4.3 加强的两级链路系统.....	(440)
§ 11.5 部分利用度两级链路系统.....	(444)
11.5.1 部分利用度两级链路系统的构成.....	(444)
11.5.2 部分利用度链路系统的计算.....	(449)
§ 11.6 多级链路系统.....	(456)
11.6.1 多级链路系统的结构.....	(456)
11.6.2 雅柯比斯多级链路系统计算原理.....	(460)
11.6.3 概率线性图法.....	(468)
§ 11.7 链路系统的计算机程序.....	(477)
11.7.1 基本子程序.....	(477)

11.7.2 链路系统阻塞计算程序举例	(481)
小结	(487)
习题十一	(488)
第十二章 数字交换网络	(491)
§ 12.1 PCM传输与数字交换	(491)
12.1.1 PCM原理	(491)
12.1.2 时间分割多路复用 (TDM) 与 PCM 传 输系统	(493)
12.1.3 数字交换	(496)
§ 12.2 数字交换网络的结构	(498)
12.2.1 空分接线器和时分接线器	(498)
12.2.2 数字交换网络的基本结构	(502)
12.2.3 四线交换	(506)
§ 12.3 数字交换网络话务负荷能力的计算	(508)
12.3.1 数字交换网络的空分等效网络	(509)
12.3.2 雅柯比斯算法的应用	(510)
12.3.3 概率线性图法的应用	(514)
小结	(518)
第十三章 具有重复呼叫的全利用度系统	(520)
§ 13.1 重复呼叫对系统的影响	(520)
§ 13.2 有关重复呼叫的一些统计数据	(522)
§ 13.3 重复呼叫的简单近似计算方法	(525)
§ 13.4 系统状态概率方程	(528)
13.4.1 具有重复呼叫的全利用度系统模型	(528)
13.4.2 系统状态方程	(529)
13.4.3 系统的基本特性	(533)
§ 13.5 系统状态方程的近似解	(534)
§ 13.6 具有重复呼叫的全利用度系统的计算机计算 程序	(542)

小结.....	(546)
第十四章 通信网.....	(548)
§ 14.1 电路交换通信网的组织.....	(548)
§ 14.2 迂回路由的计算.....	(554)
14.2.1 等价置换法.....	(555)
14.2.2 结点间阻塞概率法.....	(558)
§ 14.3 直达、转接和迂回的分析.....	(562)
14.3.1 直达路由与转接路由的比较.....	(562)
14.3.2 对迂回路由的分析.....	(564)
§ 14.4 最佳迂回路由的近似计算.....	(567)
§ 14.5 信息交换网的计算基础.....	(574)
14.5.1 概述.....	(574)
14.5.2 单线排队服务系统.....	(577)
14.5.3 Kleinrock模型.....	(579)
§ 14.6 信息交换网通道负荷能力的选定.....	(586)
§ 14.7 通信网计算的计算机程序.....	(590)
小结.....	(597)
第十五章 负载与呼损在通信网中的分配.....	(599)
§ 15.1 电话交换网的服务质量.....	(599)
§ 15.2 交换系统各选择级入线和出线负载强度的计 算和递减率.....	(601)
15.2.1 用户选择级的流入负载强度.....	(602)
15.2.2 选组级的负载强度.....	(603)
15.2.3 记发器和标志器的负载强度.....	(605)
§ 15.3 忙时负载的波动.....	(606)
§ 15.4 局间话务流量的分配.....	(610)
15.4.1 呼入负载和呼出负载的确定.....	(610)
15.4.2 话务流量的分配.....	(613)
小结.....	(624)

第十六章 话务量测量	(626)
§ 16.1 测量的目的和任务	(626)
§ 16.2 话务量参数测量原理	(627)
§ 16.3 测量结果的处理	(630)
16.3.1 连续测量方法的误差	(631)
16.3.2 扫描测量方法的误差	(633)
16.3.3 计算事件数方法的误差	(638)
16.3.4 样本误差	(640)
小结	(642)

第三部分 计算机话务模拟

第十七章 话务模拟概论	(643)
§ 17.1 话务模拟方法在话务工程中的地位	(643)
§ 17.2 从人工模拟到电子计算机模拟	(644)
§ 17.3 话务模拟的一般过程	(649)
§ 17.4 用于话务模拟的计算机语言	(656)
小结	(657)
第十八章 随机数的产生	(659)
§ 18.1 均匀分布的随机数	(659)
18.1.1 概述	(659)
18.1.2 对于产生均匀分布随机数的基本要求	(660)
18.1.3 乘同余法	(662)
18.1.4 混合同余法	(665)
18.1.5 在任意指定区间 (a, b) 上均匀分布的 随机数	(668)
§ 18.2 伪随机数统计特性的检验	(668)
18.2.1 伪随机数的均匀性检验	(669)
18.2.2 伪随机数的数字特征检验	(673)
18.2.3 伪随机数的独立性检验	(676)

18.2.4	伪随机数检验的计算机程序	(677)
§ 18.3	非均匀分布的随机数	(681)
18.3.1	反变换法	(681)
18.3.2	指数分布随机数	(686)
18.3.3	二项分布随机数	(687)
18.3.4	普阿松分布随机数	(689)
18.3.5	正态分布随机数	(691)
§ 18.4	独立随机事件的模拟	(696)
小结		(699)
习题十八		(700)
第十九章	话务模拟原理	(701)
§ 19.1	话务模拟的基本算法	(701)
19.1.1	真实服务过程的模拟	(701)
19.1.2	马尔科夫过程模型	(710)
19.1.3	概率线性图模型	(718)
§ 19.2	模拟结果的精度和可靠性	(723)
§ 19.3	交换系统的话务模拟	(727)
19.3.1	部分利用度线束	(727)
19.3.2	具有重复呼叫的系统	(735)
19.3.3	等待系统	(744)
19.3.4	链路系统	(750)
19.3.5	具有迂回路由的通信网	(770)
小结		(779)
第二十章	GPSS模拟	(781)
§ 20.1	GPSS模拟语言概述	(781)
20.1.1	GPSS方框图	(782)
20.1.2	GPSS计算机程序	(786)
20.1.3	GPSS程序的输出	(788)
20.1.4	模拟长度的控制	(791)

§ 20.2	GPSS的概率分布抽样	(792)
20.2.1	均匀分布抽样	(793)
20.2.2	离散分布抽样	(795)
20.2.3	指数分布抽样	(797)
§ 20.3	GPSS模拟举例	(800)
20.3.1	单线明显损失全利用度线束	(800)
20.3.2	多个设备的全利用度线束	(801)
20.3.3	简单的电话系统	(806)
小结		(809)
附录A	爱尔兰呼损公式计算表	(810)
附录B	恩格谢特呼损计算表	(867)
附录C	部分利用度线束计算表	(870)
附录D	重复呼叫全利用度线束呼损计算表	(911)
附录E	迂回路由计算表	(918)
附录F	爱尔兰理想部分利用度线束呼损公式计算表	(930)
参考文献		(935)

绪 论

§ 0.1 话务理论的研究对象和任务

我们知道，电话呼叫是由用户发起的。呼叫何时发生，是一种随机现象。大量用户的呼叫，形成了一个随机的呼叫流。电话局中的交换设备为随机呼叫流服务，即为随机来到电话局的呼叫建立接续。电话局交换设备为每一个呼叫服务的时间，决定于呼叫的通话时长。显然，通话时长也是事先不能确定的一种随机现象。可见，电话交换系统是一种为大量随机呼叫进行服务的公用设施。在设计这样的交换系统时，必须定量地考察交换设备的结构、数量和服务质量之间的关系，从而设计出经济合理和服务质量合乎要求的交换系统。由于现代通信手段的进步，进行随机服务的公用通信设施远不只是电话交换系统一种，例如，还有电报通信，数据通信等。我们可以统称它们为信息分配系统。

话务理论研究的就是从数量方面研究信息分配系统中信息流的服务过程，其任务就在于得出关于交换网络结构、话务负荷能力、服务设备数量和服务质量之间关系的理论和计算方法。

在设计新的交换系统方面，话务理论对最佳系统方案的选择，有着重要的作用。方案选择的好坏，在总体上就决定了所设计的系统在经济上和技术上是否合理。

对于运转着的信息分配系统，话务理论也是不可缺少的。我们知道，流入系统的呼叫流，随着时间的推移，常常会发生明显的变化。这时，对系统的某些设备配置应当进行适当的调整工作。例如电话局中继线数量的调整，级间分品的调整，机键数量的调整等，这种调整工作，也要利用话务理论这个工具。