

边界值测试

内容

- ◆ 边界值分析
- ◆ 健壮性测试
- ◆ 最坏情况测试
- ◆ 特殊值测试
- ◆ 举例
- ◆ 随机测试
- ◆ 边界值测试的方针

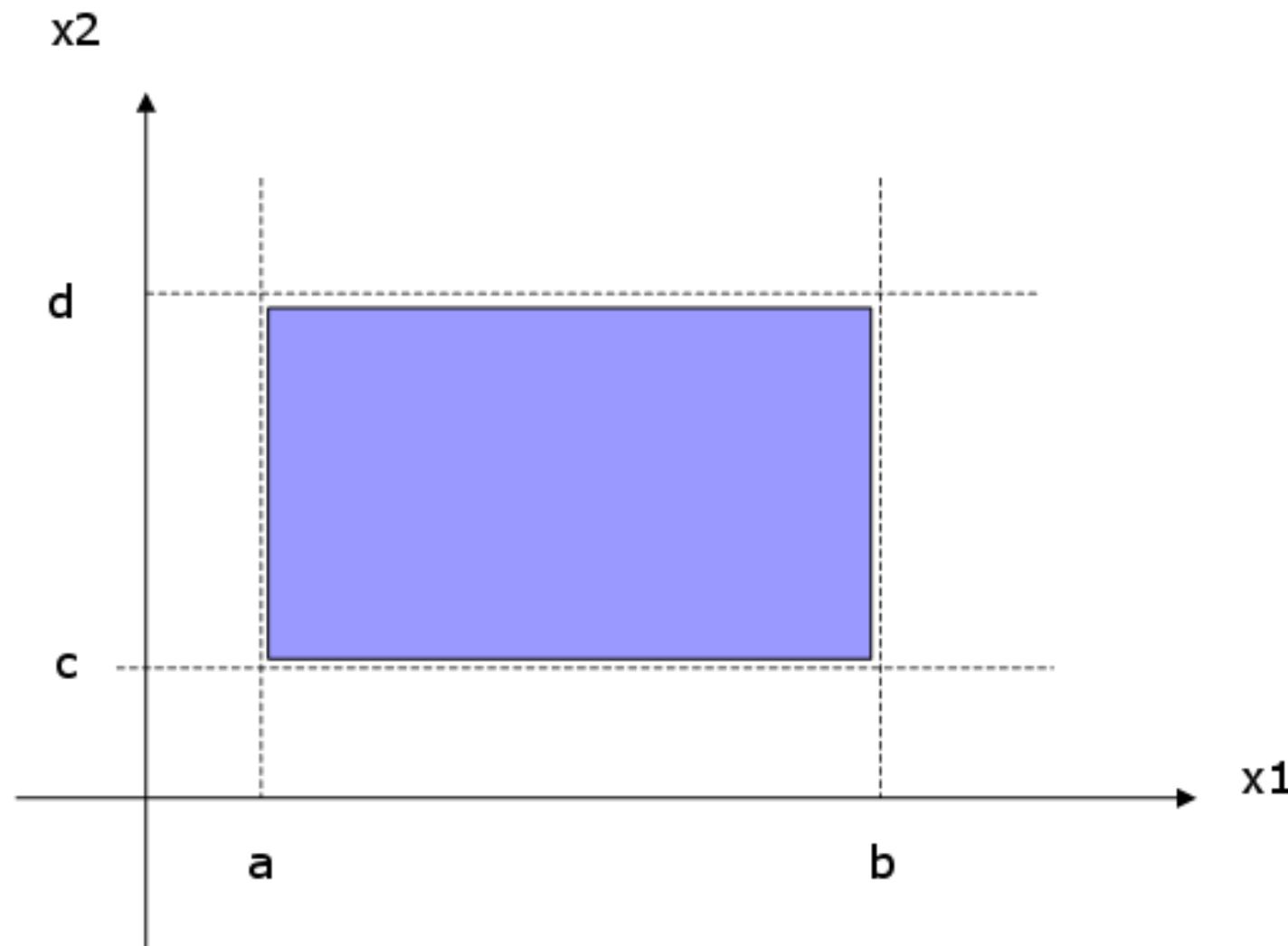
输入空间（定义域）测试和 输出值域的测试

- 函数将从一个集合（函数的定义域）的值映射到另一个集合（函数的值域）的值上，定义域和值域可以是其他集合的叉积
- 任何程序都可以看作是一个函数，程序的输入构成函数的定义域，程序的输出构成函数的值域
- 输入定义域测试是最著名的功能性测试手段，输出值域的测试用例常常是很好的补充

输入定义域

- 为了便于理解，以下讨论涉及有两个变量 x_1 和 x_2 的函数 F
- 函数 F 实现为一个程序，则输入两个变量 x_1 和 x_2 的边界：
$$a \leq x_1 \leq b$$
$$c \leq x_2 \leq d$$
- 区间 $[a, b]$ 和 $[c, d]$ 分别是 x_1 和 x_2 的有效**取值范围**
 - 课本上“值域”与函数的“值域”容易混淆，这里称为取值范围

两个变量函数的输入定义域



强类型语言与弱类型语言

■ 强类型语言

- Ada、Pascal
- 允许显式地定义变量的取值范围
- 采用强类型的部分历史原因就是要防止程序员出现某些类型的错误，这些错误会导致通过边界值测试很容易发现的缺陷

■ 弱类型语言

- COBOL、FORTRAN、C
- 边界值测试更适用于采用这些语言编写的程序代码

边界值分析的基本原理

- 关注输入空间的边界，从中标识测试用例
- 边界值测试的基本原理
 - 错误更可能出现在输入变量的极值附近

能不能举在边界值出错的例子呢？

边界？？

8. Attendee Privileges

Select privileges that you want **attendees** to have when meeting begins:

Privileges:

- Save
- Print
- Annotate
- View participants list
- Control next or previous images
- View thumbnails
- Control applications, Web browser or desktop remotely
- View any document
- View any page
- Contact operator privately

Participant in private chat with:

- Host
- Presenter
- All attendees

1 Required Information

2 Date & Time

3 Teleconference

4 Invite Attendees

5 Registration

6 Agenda & Welcome

7 Meeting Options

8 **Attendee Privileges**

9 Review

START

Cancel

7

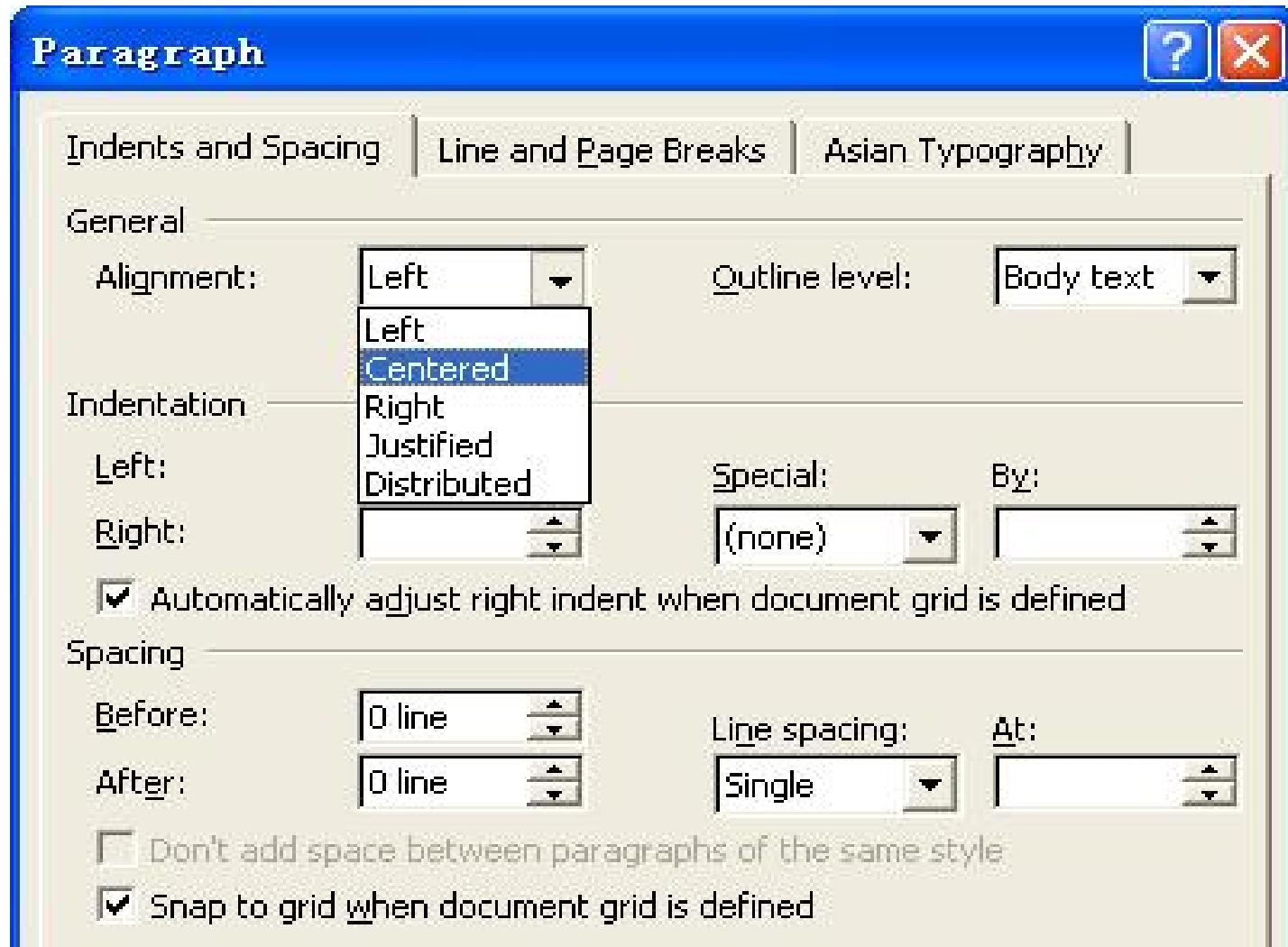
Back

Next

9

字符编辑域

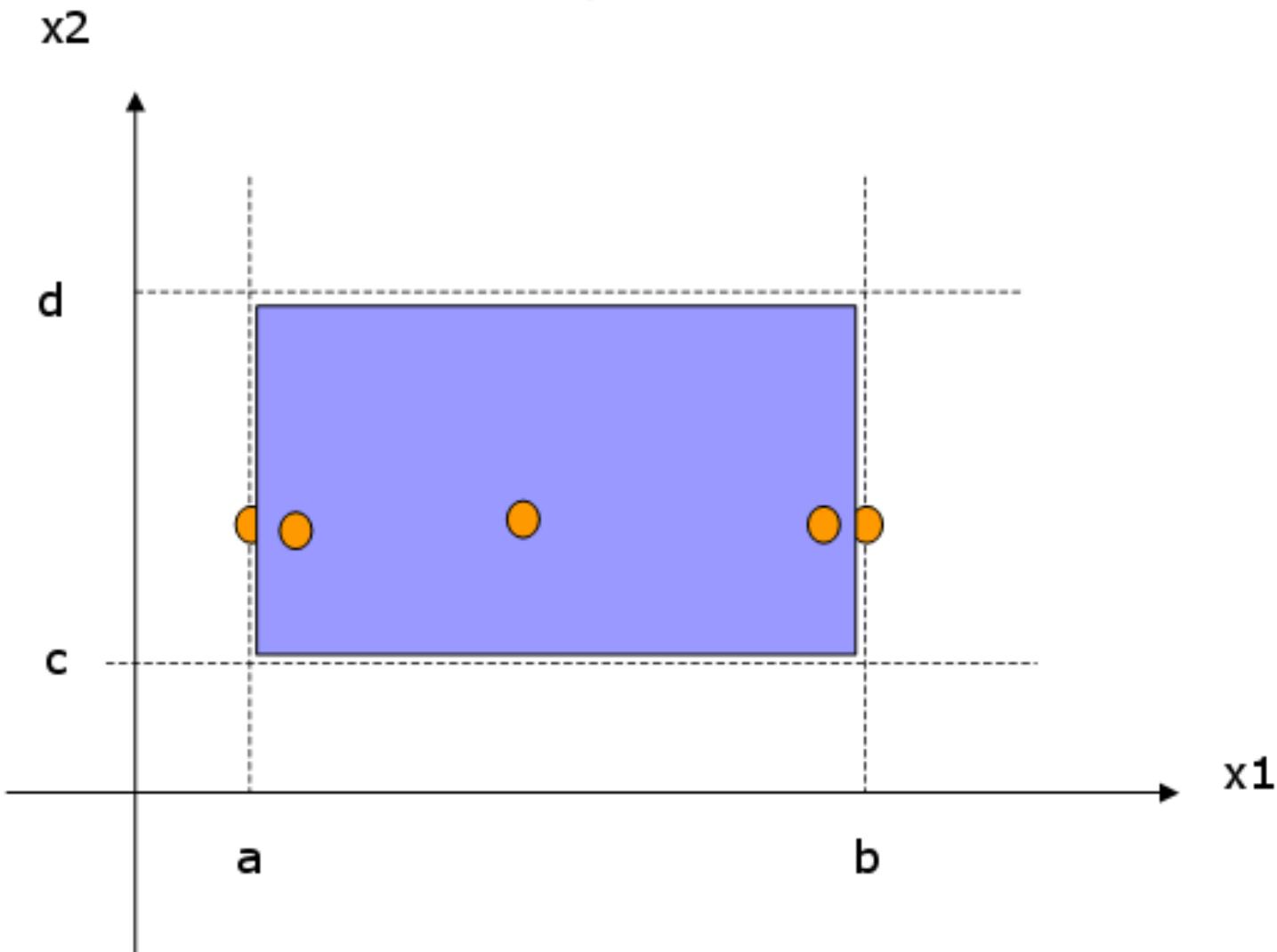
Default
Empty
Blank
Null
Zero
None



边界值分析的基本思想

- 在最小值、略高于最小值、正常值、略低于最大值和最大值处取输入变量值
- 表示方法： min、 min+、 nom、 max- 和 max
- 例如： 涉及两个变量的函数 x_1, x_2
 x_1 的取值： $x_{1\min}, x_{1\min+}, x_{1\text{nom}}, x_{1\max-}, x_{1\max}$
 x_2 的取值： $x_{2\min}, x_{2\min+}, x_{2\text{nom}}, x_{2\max-}, x_{2\max}$

基本边界值分析的取值



“单缺陷”假设

- 边界值分析的关键假设
- 在可靠性理论中叫做“单缺陷”假设
 - 失效极少是由两个（或多个）缺陷的同时发生引起的
- 基本边界值分析方法获得测试用例的方法
 - 使所有变量取正常值，只使一个变量取极值

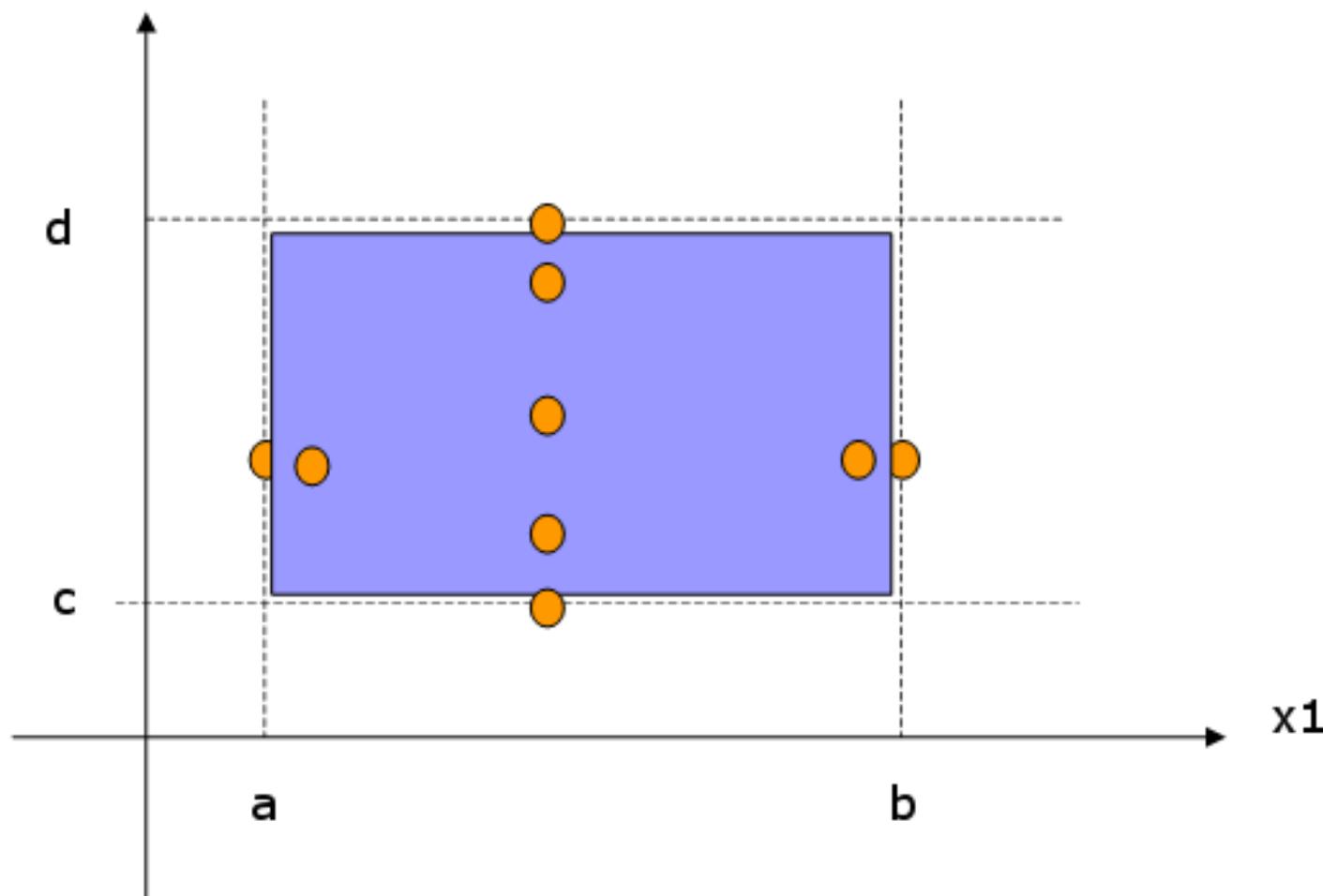
两个变量函数的基本边界值分析

测试用例

{ $\langle x_{1\text{nom}}, x_{2\text{min}} \rangle, \langle x_{1\text{nom}}, x_{2\text{min+}} \rangle, \langle x_{1\text{nom}}, x_{2\text{nom}} \rangle,$
 $\langle x_{1\text{nom}}, x_{2\text{max-}} \rangle, \langle x_{1\text{nom}}, x_{2\text{max}} \rangle,$
 $\langle x_{1\text{min}}, x_{2\text{nom}} \rangle, \langle x_{1\text{min+}}, x_{2\text{nom}} \rangle, \langle x_{1\text{nom}}, x_{2\text{nom}} \rangle,$
 $\langle x_{1\text{max-}}, x_{2\text{nom}} \rangle, \langle x_{1\text{max}}, x_{2\text{nom}} \rangle \}$

两个变量函数的基本边界值分析

测试用例（续）



归纳基本边界值分析方法

■ 两种方式

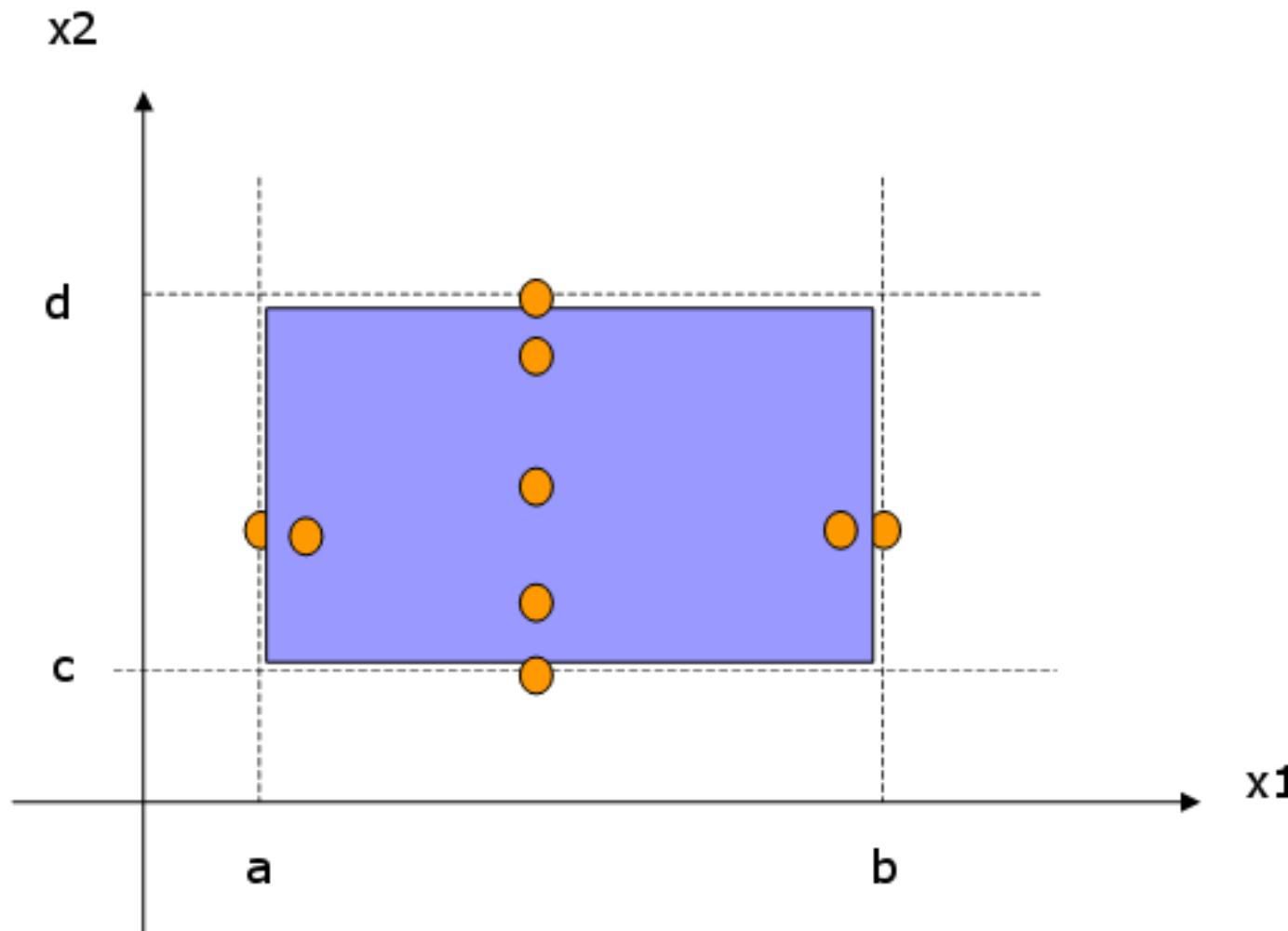
- 通过变量的个数
- 通过变量的取值范围（类型）

通过变量的个数对基本边界值分析方法进行归纳

- 如果有一个变量个数为n的函数，使除一个以外的所有变量取正常值，使剩余的那个变量取最小值、略高于最小值、正常值、略低于最大值和最大值，对每个变量都重复进行
- 对于一个变量个数为n的函数，边界值分析会产生 $4n+1$ 个测试用例

问：若n个变量中有一个变量有两个区间，测试用例个数？

变量个数为 $n = 2$



次日程序的问题描述

- 次日是一个有三个变量的函数：月、日和年。函数返回输入日期后面的那个日期。变量月、日和年都具有整数值，且满足以下条件：

c1. $1 \leq \text{month} \leq 12$

c2. $1 \leq \text{day} \leq 31$

c3. $1812 \leq \text{year} \leq 2012$

通过变量的取值范围（类型）对基本边界值分析方法进行归纳

- 对于次日函数，有月份、天和年对应的变量
- 采用类FORTRAN语言，很有可能对这些变量编码，使得1月对应1，2月对应2，等等
- 采用支持用户定义类型的语言（例如Pascal或Ada），可以把变量month定义为枚举类型{1月，2月，…，12月}
- 不管采用什么语言，最小值、略高于最小值、正常值、略低于最大值和最大值根据上下文可以很清楚地确定

边界的确定

- 如果变量具有离散、有界值，例如佣金问题中的变量，则最小值、略高于最小值、正常值、略低于最大值和最大值也可以很容易地确定
- 如果没有显式地给出边界，例如三角形问题，通常必须创建一种“人工”边界
 - 边长的最低值：1
 - 上限的确定
 - 在默认情况下，最大可表示整数（在某些语言中叫做**MAXINT**）是一种可能
 - 也可以任意规定上限，例如200或2000

边界值分析的局限性

- 假定N个变量是相互独立的，没有考虑这些变量之间的相互依赖关系
 - 次日的边界值分析测试用例（Page79）是不充分的
 - 没有强调2月和闰年
 - 月、日和年变量之间存在着依赖关系
 - 边界值分析也能够捕获月末和年末缺陷
- 不考虑变量的语义

边界值分析的优点

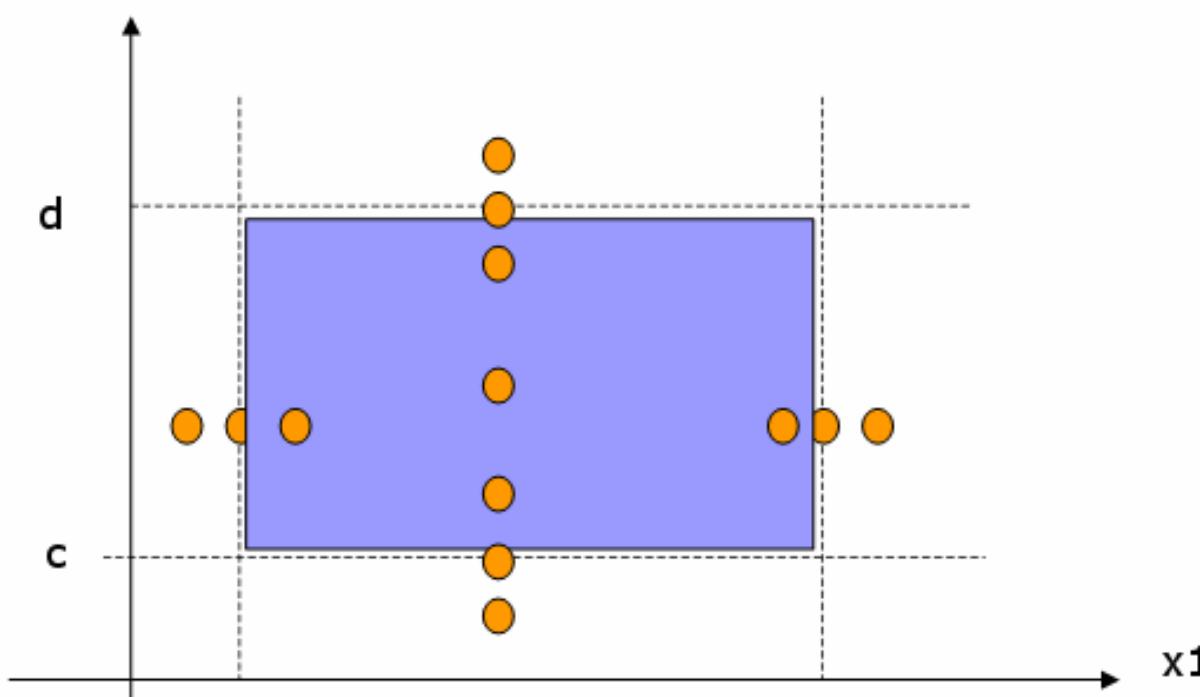
- 边界值分析测试用例通过引用物理量的边界独立变量极值导出，不考虑函数的性质，也不考虑变量的语义，简便易行，生成测试数据的成本很低

内容

- ◆ 边界值分析
- ◆ 健壮性测试
- ◆ 最坏情况测试
- ◆ 特殊值测试
- ◆ 举例
- ◆ 随机测试
- ◆ 边界值测试的方针

- 健壮性测试的基本思想
- 是边界值分析的一种简单扩展，除了使用五个边界值分析取值，还要通过采用一个略超过最大值（ $\text{max}+$ ）的取值，以及一个略小于最小值（ $\text{min}-$ ）的取值

两个变量函数的健壮性测试的 测试用例



健壮性测试的讨论

- 边界值分析的大部分讨论都直接适用于健壮性测试，尤其是归纳和局限性的讨论
- 健壮性测试最有意思的部分不是输入，而是预期的输出
- 当物理量超过其最大值时会出现的情况
 - 1996年6月4日欧空局Ariane 501运载火箭发射，起飞约40秒发生爆炸

异常情况的处理

- 健壮性测试的主要价值，是观察处理异常情况
- 软件质量要素的衡量标准：软件的容错性
 - 在非正常条件下，仍然能够操作软件的性质
- 软件容错性的度量
 - 从非法输入中恢复

强类型语言与异常处理

- 对于强类型语言，健壮性测试可能非常困难
- 在Pascal中，如果变量被定义在特定范围内，则超过这个范围的取值，都会产生导致夭折正常执行的运行时错误
- 选择解决“健壮值”问题的方法：
 - 执行显式的范围检查并使用异常处理机制
 - 通过强类型来解决
- 如果采用异常处理机制，就必须进行健壮性测试

健壮性测试的测试用例个数

- 一个变量个数为n的函数的健壮性测试会产生多少个测试用例？

内容

- ◆ 边界值分析
- ◆ 健壮性测试
- ◆ **最坏情况测试**
- ◆ 特殊值测试
- ◆ 举例
- ◆ 随机测试
- ◆ 边界值测试的方针

最坏情况测试的基本思想

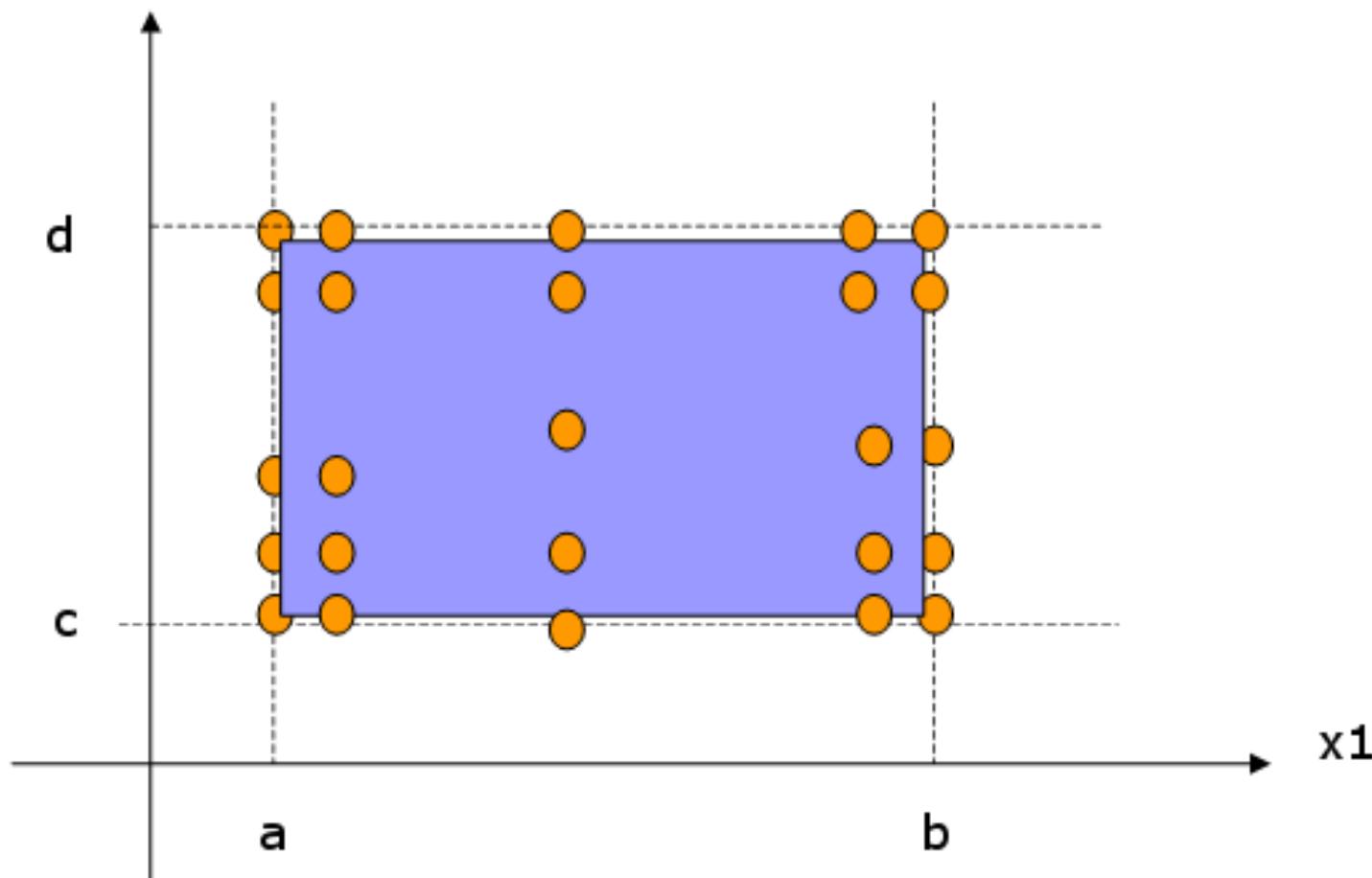
- 边界值测试分析采用了可靠性理论的单缺陷假设
- 最坏情况测试拒绝这种假设，关心当多个变量取极值时会出现什么情况

最坏情况测试

设计测试用例的方法

- 对每一个变量，首先进行包含最小值、略高于最小值、正常值、略低于最大值、最大值五个元素集合的测试，然后对这些集合进行笛卡尔积计算，以生成测试用例
- X_1 的取值： $X_{1\min}, X_{1\min+}, X_{1\text{nom}}, X_{1\max-}, X_{1\max}$
- X_2 的取值： $X_{2\min}, X_{2\min+}, X_{2\text{nom}}, X_{2\max-}, X_{2\max}$

两个变量函数的最坏情况测试的 测试用例



最坏情况测试的测试用例个数

- 一个变量个数为n的函数的最坏情况测试会产生 5^n 个测试用例

问：若n个变量中有一个变量有两个区间呢？

最坏情况测试与基本边界值分析方法的比较

- 基本边界值分析测试用例是最坏情况测试用例的真子集
- 最坏情况测试显然更彻底
- 最坏情况测试工作量大得多
 - 测试用例数量是输入变量的指数函数： 5^n
 - 基本边界值分析只产生 $4n+1$ 个测试用例

健壮最坏情况测试

- 对每一个变量，首先进行包含最小值、略高于最小值、正常值、略低于最大值、最大值五个元素集合的测试，还要采用一个略超过最大值的取值，以及一个略小于最小值的取值。然后对这些集合进行笛卡尔积计算，以生成测试用例

两个变量函数的健壮最坏情况 测试的测试用例

- X_1 的取值:

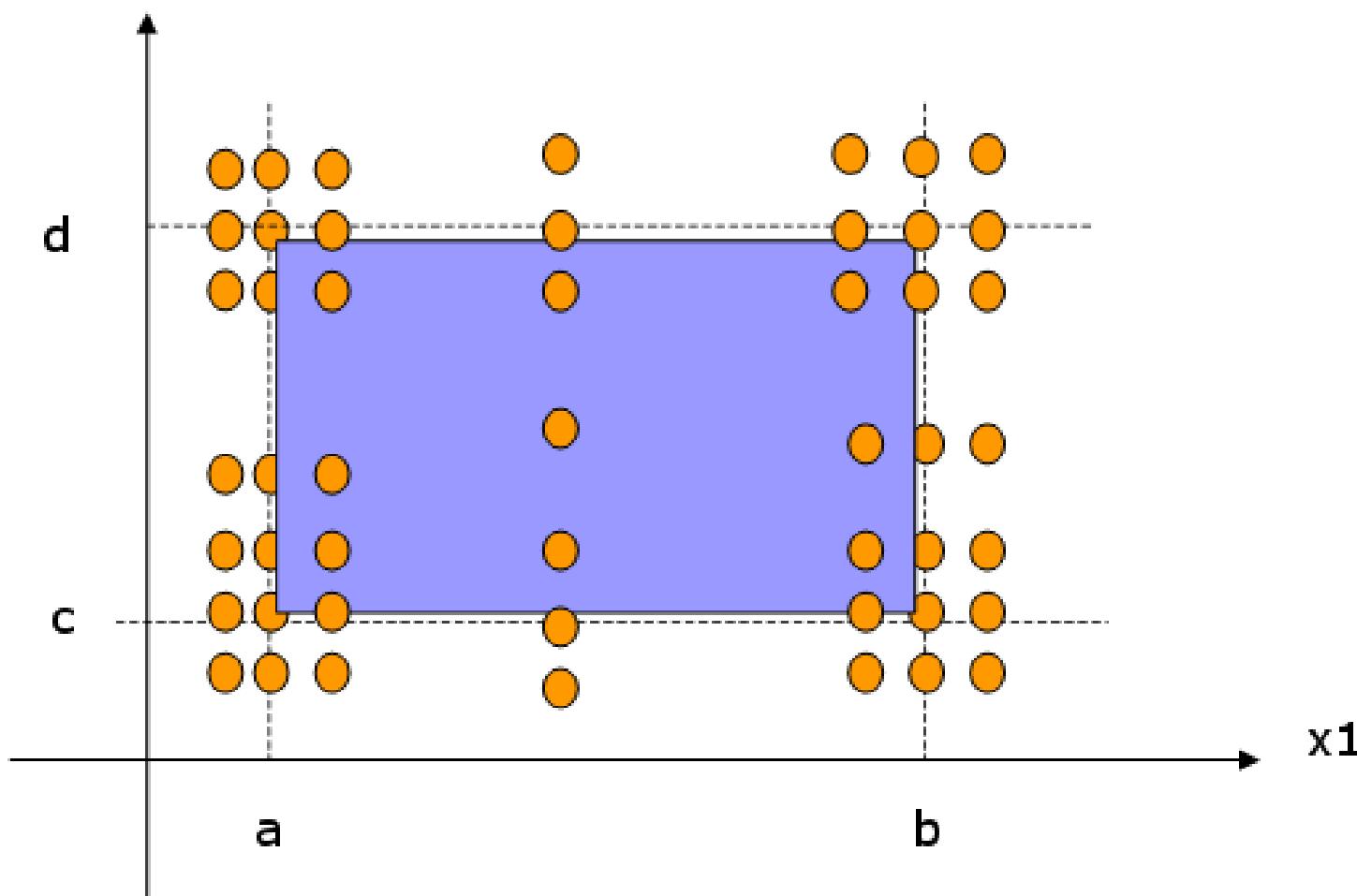
- $X_{1\min-}, X_{1\min}, X_{1\min+}, X_{1\text{nom}}, X_{1\max-}, X_{1\max}, X_{1\max+}$

- X_2 的取值:

- $X_{2\min-}, X_{2\min}, X_{2\min+}, X_{2\text{nom}}, X_{2\max-}, X_{2\max}, X_{2\max+}$

两个变量函数的健壮最坏情况

测试的测试用例



健壮最坏情况测试的 测试用例个数

- 一个变量个数为n的函数的健壮最坏情况测试会产生多少个测试用例？

内容

- ◆ 边界值分析
- ◆ 健壮性测试
- ◆ 最坏情况测试
- ◆ 特殊值测试
- ◆ 举例
- ◆ 随机测试
- ◆ 边界值测试的方针

特殊值测试

- 边界值分析假定N个变量是相互独立的，没有考虑这些变量之间的相互依赖关系
 - 次日的边界值分析测试用例是不充分的
 - 没有强调2月和闰年
 - 月、日和年变量之间存在着依赖关系
- 特殊值测试使用领域知识、使用类似程序的经验开发测试用例的特殊值
 - 设计多个测试用例会涉及2月28日、2月29日和闰年

内容

- ◆ 边界值分析
- ◆ 健壮性测试
- ◆ 最坏情况测试
- ◆ 特殊值测试
- ◆ 举例
- ◆ 随机测试
- ◆ 边界值测试的方针

三角形问题边界值分析测试用例

- 每条边的取值
 - 1, 2, 100, 199, 200

三角形问题边界值分析测试用例

测试用例	a	b	c	预期输出
1	100	100	1	等腰三角形
2	100	100	2	等腰三角形
3	100	100	100	等边三角形
4	100	100	199	等腰三角形
5	100	100	200	不是三角形
6	100	1	100	等腰三角形
7	100	2	100	等腰三角形
8	100	100	100	等边三角形
9	100	199	100	等腰三角形
10	100	200	100	不是三角形
11	1	100	100	等腰三角形
12	2	100	100	等腰三角形
13	100	100	100	等边三角形
14	199	100	100	等腰三角形
15	200	100	100	不是三角形

■ 测试用例数目
 $4n+1, n=3$

三角形问题最坏情况测试用例

- 每条边的取值
 - 1, 2, 100, 199, 200
- 测试用例数目
 - $5^n = 125$, $n = 5$

NextDate函数最坏情况测试用例

- 月份取值
 - 1, 2, 6, 11, 12
- 日期取值
 - 1, 2, 15, 30, 31
- 年取值
 - 1812, 1813, 1912, 2011, 2012

NextDate函数最坏情况测试用例 (续)

- 测试用例数目
 - $5^n = 125$, $n = 5$
- 错误的测试用例
 - 第41号：1812年2月30日
- 遗漏重要的测试用例
 - 日期取28或29
 - 闰年：2000年

输出值域的边界值

- 佣金问题
- 特别是销售额接近**1000**美元和**1800**美元门限点的值

佣金程序的问题描述

- 步枪销售商在亚利桑那州境内销售制造商制造的步枪锁、准星和枪管
- 枪锁卖45美元，准星卖30美元，枪管卖25美元
- 销售商每月至少要售出一枝完整的步枪，生产限额考虑到大多数销售商在一个月内可销售70个枪锁、80个准星和90个枪管
- 销售商在每访问一个镇子之后，给制造商发出电报，说明在那个镇子中售出的枪锁、准星和枪管数量

佣金程序的问题描述（续）

- 到了月末，销售商要发出一封很短的电报，通知—1个枪锁被售出，以便制造商知道当月的销售情况
- 销售商的佣金为：销售额不到（含）1000美元的部分，为10%，1000（不含）到1800（含）美元的部分，为15%，超过1800美元的部分为20%
- 佣金程序生成月份销售报告，汇总售出的枪锁、准星和枪管总数，销售商的总销售额，以及佣金

佣金问题的测试用例

- Page 82 图5-6佣金问题的输入空间
- 低于较低平面的值，对应低于1000美元门限的销售额，佣金为10%
- 两个平面之间的值，是15%佣金区域
- 高于较高平面的值，对应高于1800美元门限的销售额，超过部分的佣金为20%

佣金问题的测试用例（续）

- 寻找输出边界值（销售额）为**100**美元、**1000**美元、**1800**美元和**7800**美元对应的输入变量组合
- 通过电子表格或编写程序可以自动设计测试用例，节省了大量计算工作
- 最大值和最小值的确定很容易，给出的数正好便于生成边界点

佣金问题的测试用例（续）

- 关键点：测试用例9是1000美元的边界点
 - 枪锁卖45美元，准星卖30美元，枪管卖25美元，均卖10个
- 调整输入变量，则可以得到略低和略高于该边界的值
 - 测试用例6—8
 - 测试用例10—12

佣金问题的输出特殊值测试

- 选择接近截面的值，例如 $(22, 1, 1)$ 和 $(21, 1, 1)$
- 继续采用这种方式测试，那么就是在“运行”代码的重要部分
- 利用数学知识来生成测试用例

佣金问题的输出特殊值测试（续）

用例	枪锁	准星	枪管	销售额	佣金	注释
1	10	11	9	1005	100.75	边界点 +
2	18	17	19	1795	219.25	边界点 -
3	18	19	17	1805	221	边界点 +

内容

- ◆ 边界值分析
- ◆ 健壮性测试
- ◆ 最坏情况测试
- ◆ 特殊值测试
- ◆ 举例
- ◆ 随机测试
- ◆ 边界值测试的方针

随机测试的基本思想

- 不是永远选取有界变量的最小值、略高于最小值、正常值、略低于最大值和最大值，而是使用随机数生成器选出测试用例值

问：假设Rnd()能随机生成0到1之间的数， $[0, 1]$

写出 随机生成150~250之间数的表达式。

随机测试的一种实现方法

- 有界变量 $a \leq x \leq b$ 值的一个Visual Basic应用程序生成的， x 满足下式：
- $x = \text{Int}((b-a+1) * \text{Rnd}) + a$
- 函数**Int**返回浮点数的整数部分
- 函数**Rnd**生成区间[0, 1]内的随机数

随机测试的优点

- 生成测试数据的代价非常低，可以迅速生成大量的测试数据
- 随机测试可以避免出现测试偏见
- 学术界在统计学方面对这个问题感兴趣
- 与其它测试数据生成方法进行对比

随机测试的局限性

- 多少随机测试用例才是充分的？
- 随机测试有时很难满足某些特殊要求
 - 等边三角形
 - 边长：[1, 200]，概率万分之一
 - 边长范围扩大，概率更低

三角形程序的随机测试数据

测试用例	非三角形	不等边 三角形	等腰 三角形	等边三角 形
1289	663	593	32	1
15436	7696	7372	367	1
17091	8556	8164	367	1
2603	1284	1252	66	1
6475	3197	3122	155	1
5978	2998	2850	129	1
9008	4447	4353	207	1
平均值	49.83%	47.87%	2.29%	0.01%

佣金程序的随机测试用例

测试用例	10%	15%	20%
91	1	6	84
27	1	1	25
72	1	1	70
176	1	6	169
48	1	1	46
152	1	6	145
125	1	4	120
平均值	1.01%	3.62%	95.37%

次日程序的随机测试用例

测试用例	31天月的1–30日	31天月的31日	30天月的1–29日	30天月的30日
913	542	17	274	10
1101	621	9	358	8
4201	2448	64	1242	46
1097	600	21	350	9
5853	3342	100	1804	82
3959	2195	73	1252	42
1436	786	22	456	13
avg.	56.76%	1.65%	30.91%	1.13%
probab	56.45%	1.88%	31.18%	1.88%
2月的1–27日	闰年的2月28日	非闰年的2月28日	闰年的2月29日	不可能的日
45	1	1	1	22
83	1	1	1	19
312	1	8	3	77
92	1	4	1	19
417	1	11	2	94
310	1	6	5	75
126	1	5	1	26
7.46%	0.04%	0.19%	0.08%	1.79%
7.26%	0.07%	0.20%	0.07%	1.01%

内容

- ◆ 边界值分析
- ◆ 健壮性测试
- ◆ 最坏情况测试
- ◆ 特殊值测试
- ◆ 举例
- ◆ 随机测试
- ◆ 边界值测试的方针

边界值分析应遵循的原则

- (1) 如果输入条件规定了取值范围，或规定了值的个数，测试用例选择：范围的边界内，刚刚超出范围的边界外的值；或者说：最小值，稍高于最小值，正常值，稍低于最大值，最大值
- 例1：程序的规格说明：“重量在10~50公斤范围内的邮件，其计算邮费……”
 - 测试用例选择：取10公斤，10.01公斤，25公斤，49.99公斤，50公斤
- 例2：“某输入文件可包含1~255个记录，”
 - 测试用例选择：记录个数取1，2，120，254，255

边界值分析应遵循的原则（续）

- (2) 针对规约的每个输出条件使用 (1) 原则
- (3) 如果规约中提到的输入输出是个有序的集合（如顺序文件表格等），就应注意选取有序集中的第一个和最后一个元素作为测试用例
- (4) 分析软件规约，找出其它的可能边界条件

边界值测试方法的讨论

- 基于函数（程序）输入定义域的测试方法
- 是所有测试方法中最基本的
- 方法的假设
 - 各输入变量互相独立
- 假设不成立时，这类方法会产生不能令人满意的测试用例
 - 次日程序中生成1912年2月31日

边界值测试方法的讨论（续）

- 区分边界值分析方法的因素
 - 正常值与健壮值
 - 容错能力：小于允许的最小值、大于允许的最大值
 - 单缺陷与多缺陷假设
 - 最坏情况
- 仅仅仔细地运用这些差别就能够产生较好的测试
- 这些方法都可以用于程序的输出值域
 - 佣金问题

边界值测试方法的讨论（续）

- 另一种很有用的基于输出的测试用例形式，可用于生成错误消息的系统
- 测试人员应该设计测试用例，以检查在适当的时候，错误消息是否被生成，并且不会被错误地生成

边界值测试方法的讨论（续）

- 定义域分析还可以用于内部变量
 - 循环控制变量
 - 索引
 - 指针
- 严格地说，这些都不是输入变量，但是这些变量的使用错误相当常见
- 健壮性测试是测试内部变量的一种好的选择