

软件测量刻度及选择方法^{*})

侯红 郝克刚 郭小群

(西北大学计算机科学系 西安710069)

摘要 本文从测量表示理论学的角度出发,研究了不同的软件测量刻度类型,在此基础上对软件测量的意义和统计分析方法进行了分析,并对不同的软件测量刻度进行了比较,提出了软件测量刻度选择的演进式方法。

关键词 软件测量,测量刻度,统计分析

Software Measurement Scales and Selecting Method

HOU Hong HAO Ke-Gang Guo Xiao-Qun

(Department of Computer Science, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract From the view of representation theory, software measurement scales is researched in this paper. Then the meaning of software measurement and the method of statistical analysis are analysed based on this representation theory. Moreover the different types of measurement scales are compared and the evolutionary method of selecting measurement scales is proposed.

Keywords Software measurement, Measurement scales, Statistical analysis

1 引言

软件测量的目的是实现软件的量化管理,需要将被测量的系统和数字系统之间建立映射,以便在数字系统的基础上进行数据操作,分析被测系统的属性。但是并不是所有映射的测量刻度都是相同的,这些测量刻度的区别会限制分析的类型,影响测量意义的判定。因此,有关测量刻度的研究近年来受到了软件测量界的重视^[1,5]。

2 软件测量刻度和刻度类型

为便于通过测量直观地理解所定义的实体的属性,测量以对属性直觉理解的方式将实体的属性映射为数值或符号^[2]。软件测量分为直接测量和间接测量。一个实体属性的直接测量不涉及其他属性或实体。但是当属性间存在复杂的关系,或属性的测量需考虑到其他方面时,要采用间接测量。

测量刻度定义了执行测量方法产生的可能值的范围。它可以是类别符号的集,可以是有序集,或者是离散的自然数或连续的实数值。测量方法将要测量的属性的大小映射为刻度上的一个值。一个测量的单位通常是与相应刻度相关的。

定义1 设 $A = \langle A, R_1 \rangle$ 是一个实验关系系统, $A = \{a_1, a_2, \dots\}$ 是某些属性的表示且 $R_1 = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ 是在 A 上的关系(通常为 k 元组), 设 $B = \langle B, R_2 \rangle$ 是一个数字关系系统, $B = \{b_1, b_2, \dots\}$ 是自然数或实数的集合且 $R_2 = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N\}$ 是在 B 上的关系, 测量 M 是一个映射 $M: A \rightarrow B, \forall a_i, a_j \in A$ 且 $\langle a_i, a_j \rangle \in R_1$, 若 $M(a_i) = b_i, M(a_j) = b_j$, 则 $\forall b_i, b_j \in B, \langle b_i, b_j \rangle \in R_2$, 三元组 $\langle A, B, M \rangle$ 称作测量刻度。

刻度的类型,刻度的类型依赖于刻度上值之间关系的自然特性。一般的测量刻度类型为:

(1) 标称刻度: 测量的值是分类数据, 对每个类给定一个

标称符号, 例如一组软件问题报告可根据问题的来源分成: 需求、设计等。标称刻度具有下列特点:

- 仅由不同的类型标称构成, 不同的类型标称之间没有等级关系。

- 任何类别标称的数字或符号仅仅是一个类型的表示, 数字或符号没有量级的概念。

(2) 序号刻度: 测量的值有等级顺序。例如, 软件模块可根据测试的难易程度排序: 最困难、很困难等。序号刻度具有下列特点:

- 测量的值之间有顺序关系。

- 在序号刻度上进行的任何单调递增的映射也是可接受的序号刻度。

- 序号的数字仅仅是排序, 所以加、减和其他数学运算无意义。

由于序号刻度是等级排列, 因此对于有序的类 $\langle C_1, C_2, \dots, C_n \rangle$ 被映射为升序的数字 $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$, 这里当 $i > j$ 时, $a_i > a_j$ 。例如用此序号表示软件模块的复杂度, 类愈复杂其对应的数字愈大。

(3) 间隔刻度: 测量的数字数据, 相等的间距对应于相等的属性差距。间隔刻度具有下列特点:

- 与序号刻度一样, 间隔刻度是有序的。

- 在一个间隔刻度中, 所有相等的间距都保持同等的属性差距, 不同间隔之间的比例具有一定的含义。但序号的数值本身和相互比率可能不代表属性的任何性质。也就是说, 我们可以计算在映射范围内任意两个有序的类别的差距, 但是在映射范围内计算两个类别的比率是没有意义的。

- 间隔刻度可进行加、减运算, 但不能进行乘、除运算。

(4) 比率刻度: 数字数据, 相等的间距对应于相等的属性量, 数值0对应于零属性。如代码行的统计为比率刻度, 包括从

^{*}) 本文受西安市科技攻关基金项目(编号:GG200220)资助。侯红 高工, 博士生, 主要研究方向为软件工程、软件度量。郝克刚 教授, 博士生导师, 主要研究方向为软件工程与理论。郭小群 讲师, 博士生, 主要研究方向为软件工程。

0到无穷大的取值。比率刻度具有下列特点：

·比率刻度是实体属性的保持有序、间隔大小及比率的测量映射。

·这里零属性对应着比率刻度空间中的零元素。在某个映射下具有零属性的实体，在其它映射下也具有零属性。

·在比率刻度中，测量映射从零开始，按照我们所熟知的单位等间距增加。测量数值的相互比率有一定的意义。

·在映射范围内可进行所有的数学四则运算。

(5)绝对刻度：是最为严格的刻度类型。对同一个实体属性的任意两个绝对刻度测量 M 和 M' ，肯定有 $M' = M$ 。如软件在给定缺陷类型下的缺陷个数的统计。绝对刻度具有下列特点：

·绝对刻度的测量通常由统计被测实体中含有某种特性的数量构成。

·属性通常描述为“在实体中 x 出现的次数”。

·仅存在一种测量映射即实际的数量。

·对统计结果的所有数学分析均有效。

软件测量刻度可分为定性刻度和定量刻度两大类。上述类型中标称和序号刻度为定性刻度，间隔、比率和绝对刻度为定量刻度。定性刻度一般用于主观测量，定量刻度一般用于客观测量^[3~5]。

3 测量刻度的作用

3.1 测量意义的判定

软件测量必须是有用的且实用的，而且测量数据应易于收集。同时测量的意义应被视为测量的唯一属性而进行研究。

定义2 一个涉及测量的陈述是有意义的指的是该陈述在所有允许的测量映射下恒等不变^[3]。

陈述1 故障 X 的重要度是故障 Y 的两倍。

如果对于故障的重要度采用间隔刻度的话，陈述1是没有意义的。假设有四类故障，分别用 class _{i} 表示，这里 $i = 1$ 至 4，按升序描述故障的重要度，我们可定义两个映射 M 和 M' ，如下所示：

| 故障类 | 映射 M | 映射 M' |
|--------|--------|---------|
| class1 | 2 | 3 |
| class2 | 4 | 4 |
| class3 | 6 | 5 |
| class4 | 8 | 6 |

假设 y 属于 class₂， x 属 class₄，那么 $M(x) = 8$ ， $M(y) = 4$ ， $M'(x) = 5$ ， $M'(y) = 4$ ，可见在 M 下陈述为真，在 M' 下陈述为假。

3.2 对统计分析的影响

软件测量刻度对于测量数据的运算和统计分析的类型有重要的影响^[3,6]。

标称刻度和序号刻度不允许进行平均值、平均偏差的分析，也就是说，对于标称刻度和序号刻度而言，计算其平均值是毫无意义的。

对于标称刻度任何有意义的统计分析对序号刻度而言都是有意义的，对于序号刻度任何有意义的统计分析对间隔刻度而言都是有意义的，对于间隔刻度任何有意义的统计分析对比率刻度而言都是有意义的，同样，对比率刻度任何有意义的统计分析对绝对刻度而言都是有意义的。

4 不同测量刻度的比较

实验关系系统中的关系越多，其表示的方法就越少。一个实验关系系统比另一个实验关系系统丰富，意味着它包含了在另一个实验系统中的所有关系。标称刻度、序号刻度、间隔刻度、比率刻度、绝对刻度其丰富级别愈来愈高。换句话说，实验关系系统愈丰富，其表示的限制愈多，因此其测量刻度更为复杂。标称刻度、序号刻度、间隔刻度、比率刻度、绝对刻度允许的转换和可定义的关系不同，详见表1。

表1 测量刻度的比较

| 刻度类型 | 允许的转换 设 M', M 是两个测量映射 | 可定义的关系 | 举例 |
|------|--|------------------------------|----------------|
| 标称 | 从 M 到 M' 的转换 $M' = F(M)$ 为保持相等的变换，即若 $M(x) = M(y)$ ，则 $M'(x) = M'(y)$ | 等于 | 标示、分类实体 |
| 序号 | 从 M 到 M' 的转换 $M' = F(M)$ 是保持相等和顺序的变换 1. 若 $M(x) = M(y)$ ，则 $M'(x) = M'(y)$ 2. 若 $M(x) > M(y)$ ，则 $M'(x) > M'(y)$ | 等于 大于 | 喜好、难度、空气质量 |
| 间隔 | 从 M 到 M' 的转换 $M' = F(M)$ 是线性变换： $M'(x) = aM(x) + b$ ($a > 0$) 即保持间隔比例的变换：对任何 x, y ， $M'(x) - M'(y) = a(M(x) - M(y))$ | 等于、大于 测量值间隔的比例 | 相对时间、温度（华氏、摄氏） |
| 比率 | 从 M 到 M' 的转换 $M' = F(M)$ 是齐次线性变换： $M'(x) = aM(x)$ ($a > 0$) 即保持测量值比率的变化。 | 等于、大于 测量值间隔的比例、测量值的比率 | 时间间隔、长度 |
| 绝对 | 从 M 到 M' 的转换 $M' = F(M)$ 是保持测量值不变的变换： $M'(x) = M(x)$ | 等于、大于 测量值间隔的比例、测量值的比率、测量值 | 实体数量 |

5 间接测量及其意义

许多情况下，我们无法直接测量一个属性，取而代之的是测量该属性的子属性来得到间接测量，如软件的质量特性，因此需要在扩展的环境下进行测量^[3,4,7]。

假定对 n 个子属性的测量映射为 M_n ，也就是说对于函数 f ， $M = f(M_1, M_2, \dots, M_n)$ ，如果对于 M_1, M_2, \dots, M_n ，分别有转换 M'_1, M'_2, \dots, M'_n ，也就是说 $M' = f(M'_1, M'_2, \dots, M'_n)$ 则称 M' 是 M 的转换。

对于间接测量的测量刻度通常不会强于一组子属性的最弱的刻度类型。也就是说，若 M 包含有比率、间隔和标称刻度，则 M 的刻度最高为标称刻度。因此，对于间接测量意义的判定取决于其一组属性的最弱的刻度类型。

6 软件测量刻度的选择方法

软件测量是一个演进过程。首先，在初期仅仅是表达事物的相似或不同；第二阶段，可通过特性的不同程度来描述它们的顺序；最后可找到问题的焦点，集中在焦点进行处理，以便在量化的基础上进行有意义的评价^[7]。因此，在选择测量刻度时，先是选择定性刻度，后是定量刻度。随着从定性到定量的演进，结构趋向复杂，属性数量增多。

案例研究：通过分析软件开发过程中各个阶段软件的缺陷，找出原因，以改进软件开发过程。

(1)软件类型：一组编译程序。

(2)目的：找出软件开发各阶段中产生缺陷的原因以改进软件过程。

(3)步骤：

A)把所记录的软件缺陷按软件开发的各个阶段进行分类,选择序号刻度作为刻度类型;然后统计各类缺陷的数目,选择绝对刻度作为刻度类型。

通过对图1的分析,按照 Pareto 守则可以发现:缺陷主要来自“设计”阶段。

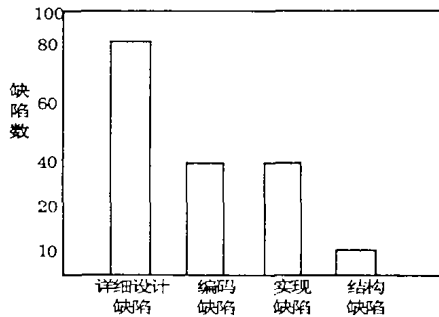


图1 编译程序缺陷类型

B)对“设计”阶段的错误进行更详细地分析。对设计阶段的缺陷类型细分,选择序号刻度作为刻度类型;然后统计细分缺陷的数目,选择绝对刻度作为刻度类型。结果图2所示。

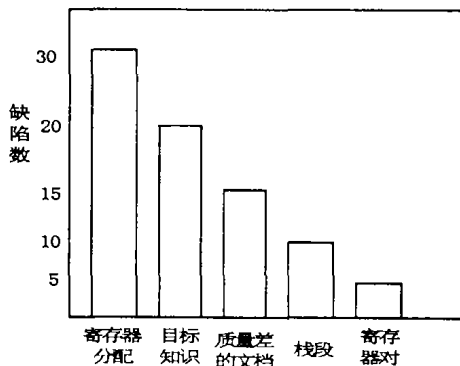


图2 编译程序设计缺陷类型

C)分析缺陷产生之原因。如寄存器分配缺陷如图3所示。

D)找到了上述原因之后,在后续的项目开始之前,采取积极的步骤对员工进行相关培训,借此来改进随后的软件项目的开发工作。

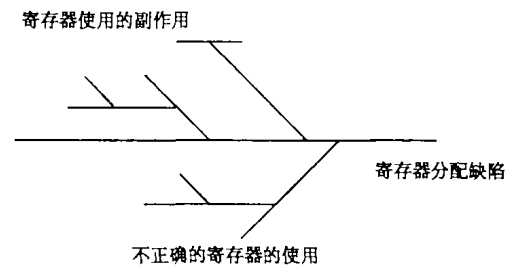


图3 因果图

小结 不同的软件测量刻度对测量意义的判定起决定作用,同时测量刻度亦影响在数字系统上所进行的数学运算。因此在建立测量环境时,对测量刻度的选择是非常重要的。

参考文献

- 1 Mari L. The meaning of "quantity" in measurement, Measurement, 1996, 17: 127~138
- 2 Muravyov S V, Savolainen V. Special interpretation of formal measurement scales for the case of multiple heterogeneous properties, Measurement, 2002, 29: 209~223
- 3 Fenton N E. Software Metrics: A Rigorous & Practical Approach. 清华大学出版社, 2003
- 4 McGarry J, Card D, Jones C, et al. Practical software Measurement: Objective Information for Decision Makers. Pearson Education, Inc., 2001
- 5 Fenton N E. Software metrics: successes, failures and new directions. The Journal of Systems and Software, 1999, 47: 149~157
- 6 Cropley D H. Towards formulating a semiotic theory of measurement information, measurement, 1998, 24: 237~262
- 7 Muravyov S V, Savolainen V. Representation theory treatment of measurement semantics for ratio, ordinal and nominal scales, Measurement, 1997, 22: 37~46

(上接第119页)

比特差错率 BER,使用本文所给出的算法,空域误码有相应的改善,视频流的亮度信噪比 Y-PSNR 有明显的提高。

结论 视频信息在易错环境如 Internet、移动网络中传输时,需对其空域和时域差错进行有效控制,否则,接收端得到的视频再生质量将难以接受。

利用同步标记对空域差错定位,其阻止空域预测差错的传播。但是,如果其使用过于频繁,会加大系统开销。本文给出的同步标记插入算法,对此过程予以优化,改善了系统的空域差错恢复能力,提高了接收端再现图像的质量。

参考文献

- 1 Talluri R. Error resilient video coding in the MPEG-4 standard. IEEE Commun. Mag., 1998, 26: 112~119
- 2 ITU T Rec H. 263, Version 2. Video coding for low bitrate communication. Jan. 1998
- 3 Wenger S, Knorr G, Ott J, et al. Error resilience support in H. 263+. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 1998, 8: 867~877
- 4 Girod B, Farber N. Feedback-based error control for mobile video transmission. In: Proc. IEEE, Special Issue Video Mobile Multi-

media, 1999, . to appear

- 5 Wieg T, Lightstone M, Mukherjee D, et al. Rate-distortion optimized mode selection for very low bit rate video coding and the emerging H. 263 standard. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 1996, 6: 182~190
- 6 Schuster A, Katsaggelos A. Fast and efficient mode and quantizer selection in the rate-distortion sense for H. 263. In: SPIE Proc. Visual Commun. Image Processing, vol. 2727, 1996. 784~795
- 7 Sun H, Kwok W. Concealment of damaged block transform coded images using projection onto convex sets. IEEE Trans. Image Processing, 1995, 4: 470~477
- 8 Ohm J-R, van der Schar M. Scalable Video Coding. Tutorial Material SM. T3, IEEE Intl. Conf. in Image Processing ICIP'2001, Thessaloniki, Greece, 2001
- 9 ISO/IEC IS 13818-2 / ITU-T Rec. H. 262. Generic coding of moving pictures and associated audio, part 2: video. Nov. 1994
- 10 Haskell B G, Puri A, Netravali A N. Digital video, an introduction to MPEG-2. New York: Chapman & Hall, Sep. 1996
- 11 Skarbek W. Multimedia. Algorytmy i standardy kompresji. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1998
- 12 Li W. Fine Granularity Scalability Using Bit-Plane Coding of DCT Coefficients. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG98/M4204, Dec. 1998
- 13 Li W. Overview of Fine Granularity Scalability in MPEG-4 Video Standard. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(3): 301~317