

• 软件与算法 •

基于COQUALMO的缺陷预测与校准工具的设计与实现

库 燕, 杨 叶⁺, 李 奇

(中国科学院 软件研究所互联网软件技术实验室, 北京 100190)

摘 要: 软件缺陷预测对软件质量的保证和提高起着重要的作用, 是软件项目管理中不可或缺的一部分。COQUALMO 作为一种较成熟的缺陷预测模型技术, 其应用目前都是基于电子表格, 手工录入工作量较大, 且没有自动校准功能, 本地化应用有误差。针对该问题, 以最小二乘法与算术平均值法对两个子模型系数进行校准, 设计并实现了 COQUALMO 本地校准自动化工具, 方便组织用户使用。使用真实数据进行测试, 测试结果表明了该模型在本地校准后缺陷预测的准确度与稳定性。

关键词: 建设性质量模型; 缺陷预测; 质量估算; 软件度量; 本地校准

中图分类号: TP311.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2010) 14-3185-04

Design and application of tool supporting defect prediction and calibration of COQUALMO

KU Yan, YANG Ye⁺, LI Qi

(Laboratory for Internet Software Technologies, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The prediction of software defect is a very important part of the overall project management for software development. COQUALMO, a well-established defect prediction model, and a local calibration to this model is introduced and discussed. In addition, since the application of COQUALMO is based on electronic table before, an instance of the model is developed, which is convenient for the users. After tested with actual data, the model is validated to be good at prediction.

Key words: COQUALMO; defect prediction; quality estimation; software metrics; local calibration

0 引言

如何有效地避免产生缺陷, 减少缺陷带来的损失是软件开发过程当中经常关注的一个问题。避免缺陷的产生, 需要在系统的设计和实现过程中使用一些软件开发方法来减少人为错误的发生, 并在系统投入使用之前发现系统中的缺陷, 防止它们在未来发生。而对于那些不可避免会出现的缺陷, 需要在项目管理中制定应对计划, 做出正确调整, 将损失降到最低。做好缺陷预测工作, 对软件项目管理有着重要的意义, 而一个估算准确的缺陷预测系统是缺陷预测工作的基本需求。

从 19 世纪 70 年代至今, 缺陷预测技术已取得了长足的发展。研究之初, 研究者们结合统计学, 根据历史数据、已经发现的缺陷等软件工程数据来预测软件系统的缺陷数目及类型。到了 19 世纪 90 年代, 对缺陷的预测也从关注缺陷数量的估计, 发展到关注缺陷的分布、移除、遗留等问题。至 20 世纪, 随着项目开发的日趋庞大, 一些模型技术开始用来建立较为复杂和综合的软件缺陷预测模型。在这几十年的发展历程中研究成果丰硕, 很多优秀的缺陷预测技术被研究公布, 如 COQUALMO、Bayesian 模型^[1]、人工神经网络^[2]、多元线性回归、Rayleigh 模型、指数分布模型、S 曲线分布模型等, 它们常

常与 Delphi 方法结合使用^[3]。王青研究员于 2008 年发表的研究报告中^[4], 对缺陷预测技术作了全面的统计分类, 如图 1 所示。

COQUALMO 模型作为一种静态的缺陷预测模型技术, 由美国南加州大学的 Barry Boehm 教授在其经典的软件成本估算模型(COCOMO II)的基础上提出^[5-6], 具备成熟的理论基础, 对各种影响缺陷数量的项目因素考虑全面。后期 ODC COQUALMO^[7]的提出, 为该模型增加了分辨缺陷类型的功能, 对过程改进具有指导意义, 提高了模型的应用价值。本文选取 COQUALMO 为研究点, 针对其目前应用均为电子表格以及无本地校准功能两个不足之处进行改进。

1 COQUALMO 相关研究

COQUALMO 包括两个子模型, 分别为缺陷引入模型(defect introduction, DI)和缺陷移除模型(defect removal, DR)^[8]。这两个子模型的估算均是建立在软件开发生命周期的 3 个不同阶段的划分基础上, 即需求、设计、编码。

1.1 缺陷引入模型 (DI)

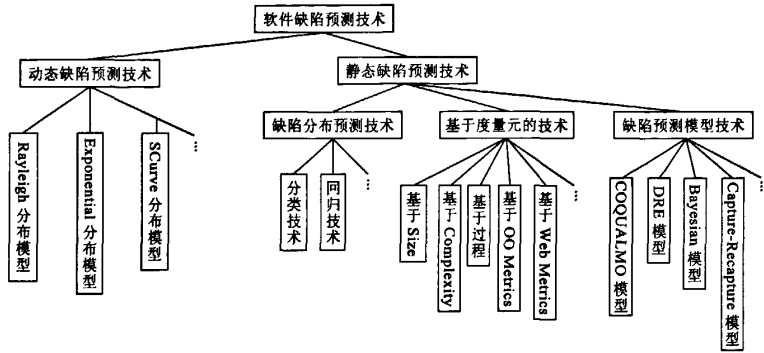
COQUALMO 缺陷引入子模型如图 2 所示^[9]。

软件平台、产品、人员、项目属性指的是该模型包含的 21 个缺陷引入驱动因子。这些驱动因子是 COCOMO II 输入所

收稿日期: 2009-09-14; 修订日期: 2009-11-23。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (90718042、60873072); 国家 863 高技术研究发展计划基金项目 (2007AA010303、2007AA01Z186)。

作者简介: 库燕 (1987—), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 研究方向为缺陷预测、软件重用估算; +通讯作者: 杨叶 (1977—), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为软件过程建模、成本估算、软件度量; 李奇 (1982—), 男, 博士, 研究方向为经验软件工程。E-mail: ye@itechs.iscas.ac.cn



需的22个成本驱动因子的子集，是由大量的文献调查，以及对影响缺陷引入的因素做了行为分析以后才选择得出的。它们分别是软件可靠性、数据库规模、可复用开发、过程文档、产品复杂性、执行时间约束、主存储约束、平台易变性、分析员能力、程序员能力、应用类型经验、平台经验、语言和工具经验、人员连续性、工具的先进性、多点开发、进度要求、训练方法、先例性、体系结构风险化解、团队凝聚力、过程成熟度。

缺陷引入模型的输出，是生命周期中需求、设计和编码阶段引入缺陷的数量，计算如下：

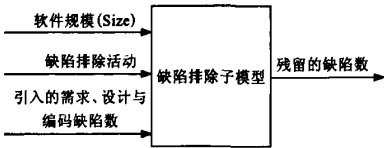
第j个阶段(需求、设计、编码)引入的缺陷数量为

$$(DI_{Enj})=A_j*(Size)^{B_j}*QAF_j \tag{1}$$

式中： A_j ——第j个阶段的乘法刻度常量， B_j ——规模经济或不经济， $Size$ 为软件规模， QAF_j ——第j个阶段中的21个缺陷引入驱动因子值的乘积。

1.2 缺陷移除模型 (DR)

COQUALMO 缺陷移除子模型如图3所示^[6]。



DR模型是DI模型的后续处理程序，其目的是评估几个缺陷移除活动所移除的缺陷数。它将缺陷移除活动分为3类相关正交的活动：自动化分析、人力复查以及执行测试和工具。

第j个阶段(需求、设计、编码)的残留缺陷数量为

$$(DR_{Enj})=C_j*DI_{Enj}*\prod_i(1-DRF_{ij}) \tag{2}$$

式中： C_j ——第j个阶段划分的常数， DI_{Enj} ——评估出的第j个阶段引入缺陷数， DRF_{ij} ——第j个阶段的第i类缺陷移除活动的缺陷移除率。

2 COQUALMO 本地校准

如文所述，系数A、B、C是模型公式的调整因子，调节实际数据与预测数据之间的差异。因为不同项目的开发环境不同，即使是同一项目，其环境也会随着时间而改变，而这3个系数就是调整这些不同之处的关键。必须结合历史数据对系数校准，使公式更适合当前环境的应用，从而使预测值更准确。但是目前的COQUALMO还没有自动校准这一功能，为了解决这个问题，本文引入最小二乘法和算术平均值法分别对两个子模型进行系数校准。

2.1 缺陷引入子模型系统校准

方法：最小二乘法

根据式(1)对于任意一个阶段，缺陷引入量为

$$(DI_{Act})=A*(Size)^B*QAF$$

式中： DI_{Act} ——实际的缺陷引入量。两边同时取自然对数后，得到

$$\ln(DI_{Act})=\ln(A)+B*\ln(Size)+\ln(QAF)$$

即： $\ln(DI_{Act})-\ln(QAF)=\ln(A)+B*\ln(Size)$ 。

将 $\ln(Size)$ 看作自变量x， $\ln(DI_{Act})-\ln(QAF)$ 看作因变量y， $\ln(A)$ 看作系数a，B看作系数b，则上式可变形为

$$y=a+bx$$

这是一个典型的一元线性回归方程，利用最小二乘法的公式如下

$$b=\frac{\overline{xy}-\overline{x}\overline{y}}{\overline{x^2}-\overline{x}^2}$$

$$a=\overline{y}-b\overline{x}$$

$$r^2=\frac{(\overline{xy}-\overline{x}\overline{y})^2}{(\overline{x^2}-\overline{x}^2)(\overline{y^2}-\overline{y}^2)}$$

通过计算可以得到a、b以及相关系数 r^2 。 r^2 的值处于0和1之间。 r^2 越接近于1，说明实验数据能密集在求得的直线近旁，用线性函数进行回归比较合理。相反，如果 r^2 值远小于1而接近于零，说明实验数据对于求得的直线很分散，即用线性回归不妥当。

最后，得到校准后的A、B值

$$A=e^a$$

$$B=b$$

2.2 缺陷移除子模型系统校准

方法：算术平均值法

根据式(2),对于任意一个阶段*j*,缺陷剩余量为

$$DR_{Act} = C * DI_{Est} * \prod_i (1 - DRF_{ij})$$

式中:*DR_{Act}*——实际缺陷剩余量。将*DR_{Act}*看作*y*,*DI_{Est}**∏_i(1-*DRF_{ij}*)看作*x*,则有

$y = Cx$

设 *C*₀ 为校准前的 *C* 值, 由

$$DR_{Act} = C_0 * DI_{Est} * \prod_i (1 - DRF_{ij})$$

得

$$x = DI_{Est} * \prod_i (1 - DRF_{ij}) = DR_{Act} / C_0$$

上式可以用来简化*x*的计算。而最终校准值的计算如下

$$C = \overline{y/x}$$
$$D = \frac{(C - C_0)^2}{n}$$

设有*n*个式子,1≤*k*≤*n*。其中,*D*为方差,*D*的值越接近于0,*C*值越稳定。

3 工具设计与实现

- 一个项目使用 COQUALMO 模型进行缺陷预测的方法如下:
- (1)得到一套缺陷引入模型的驱动因子版本。目前我们采用的版本是来自南加州系统与软件工程研究中心的 Delphi 专家估算得出的^[1],它记录了 21 个驱动因子在 4 个阶段(需求、设计、编码、测试)的 6 个等级(极高、很高、高、一般、很低、低)中对应的不同数值。COQUALMO 已经对每个驱动因子的不同等级进行了清晰的定义,组织用户能够根据这些定义选择适合自己本组织的驱动因子等级。
 - (2)得到一套缺陷移除率版本。同样地,来自南加州系统与软件工程研究中心的 Delphi 专家已经估算出了一套权威的版本^[1],它记录了 3 个缺陷移除过程在 4 个阶段的 6 个等级中对应的不同缺陷移除率数值,并对每个过程的不同等级进行了清晰的定义。
 - (3)收集项目数据。具体的项目组织在进行缺陷预测时,应该根据项目本身的特点来确定数据。
 - 1)每个阶段中 21 个驱动因子的等级(可采用 Delphi 方法,驱动因子等级选择首次征得专家的意见之后,进行整理、归纳、统计,再匿名反馈给各专家,再次征求意见,再集中,再反馈,直至得到稳定的意见)。
 - 2)每个阶段中 3 种缺陷移除过程的缺陷移除率等级(同样可采用 Delphi 方法)。
 - 3)每个阶段中系数*A*、*B*、*C*及参数 Size 的初值。目前南加州大学系统与软件工程研究中心给出了*A*、*B*、*C*的默认取值^[1],用户可以直接使用这些数值。
 - (4)结合(1)中的驱动因子版本与(3)中的驱动因子等级,可以得到每个阶段的所有驱动因子数值。
 - (5)结合(2)中的缺陷移除率版本与(3)中的缺陷移除率等级,可以得到每个阶段的所有缺陷移除过程的缺陷移除率数值。
 - (6)利用公式计算各阶段的预测缺陷引入量以及预测缺陷剩余量。
 - (7)本地校准。如果一个项目的产品有多个开发版本,则

针对每个版本重复(3)至(6)步。联合各版本数据,对系数进行本地校准。

根据以上的操作步骤,可将系统功能划分为 4 个模块:缺陷引入驱动因子版本管理、缺陷移除率版本管理、项目管理、本地校准。系统流程图如图 4 所示。

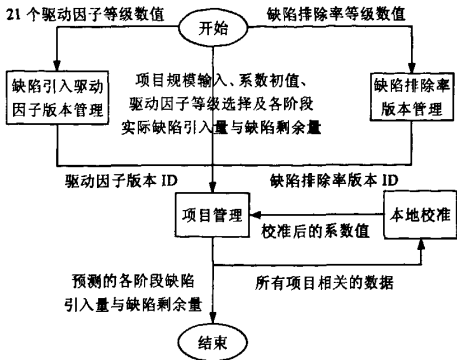


图 4 系统流程

整个系统的使用前提是,在缺陷引入驱动因子版本管理与缺陷移除率版本中已分别输入一套版本数据。分两种使用情况,第一种情况是当我们不知道实际的缺陷引入与缺陷剩余值,用系统进行缺陷预测时,在项目管理模块中先输入 21 个驱动因子数值与 3 个缺陷移除过程的缺陷移除率数值,然后输入项目规模与初始系数值,系统会自动进行计算,得到缺陷预测值,如图 5 所示。

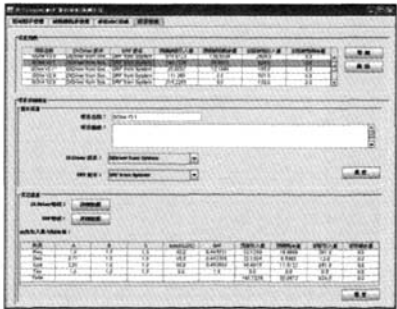


图 5 项目管理界面

第二种情况是知道若干个项目的实际缺陷引入与缺陷剩余量,用工具来校准系数值,为后来项目的缺陷预测做准备。这时先在项目管理模块中输入几个已知项目的所有数据,得出其缺陷预测值,接着在本地校准模块中联合这些项目的数据,计算得到校准后的系数值,并选择系数更新。本地校准界面如图 6 所示。

4 模型验证

根据文中使用 COQUALMO 模型的方法所述,首先必须得到一套缺陷引入模型的驱动因子版本与缺陷移除率版本数据。美国南加州大学系统与软件工程研究中心已调研出的数据具备一定的权威性,我们将在下面的验证中直接采用。

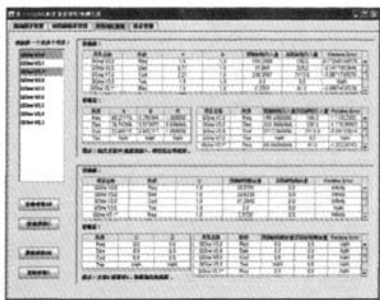


图6 本地校准界面

现有某一公司的管理层为其开发团队在5个真实项目中驱动因子等级做出的评定(6个等级从高以低依次为: XH、VH、H、N、L、VL),如表1所示。已采集到的这5个项目的数据如表2所示。

表1 5个项目对应的驱动因子等级

驱动因子	项目1	项目2	项目3	项目4	项目5
PREC	H	VH	VH	VH	VH
RESL	N	N	N	N	N
TEAM	VH	VH	VH	VH	VH
PMAT	H	VH	VH	VH	VH
RELY	L	N	N	N	N
DATA	N	N	N	N	N
DOCU	N	N	N	N	N
CPLX	N	N	N	N	N
RUSE	N	N	N	N	N
TIME	H	H	H	N	N
STOR	N	N	N	N	N
PVOL	N	N	N	N	N
ACAP	N	N	N	H	H
PCAP	N	N	N	N	N
PCON	L	L	L	L	L
AEXP	N	N	N	N	N
LTEX	H	H	H	H	H
PEXP	H	H	H	H	H
TOOL	H	H	H	H	H
SITE	XH	XH	XH	XH	XH
SCED	N	N	N	N	N

表2 5个项目各阶段引入的缺陷数据

项目	规模(KLOC)	需求/个	设计/个	编码/个	合计/个
1	21.0	179	106	426	711
2	44.8	53	162	286	501
3	207.0	166	325	2113	2604
4	65.0	261	12	651	924
5	7.9	61	43	81	185

由于驱动因子等级中给出的数据没有阶段之分,所以给出的数据同时应用于3个阶段。鉴于项目未提供缺陷剩余量方面的数据,本文对缺陷移除子模型暂不予验证。

A、B未校准前(A、B直接采用南加州大学系统与软件工程研究中心给出的默认取值)的预测缺陷引入量与实际缺陷引入量的对比及其相对误差(相对误差=(预测值-实际值)/实际值)如表3所示。

表3 项目5本地校准前的缺陷预测值与实际值的对比

阶段	A	B	预测缺陷引入/个	实际缺陷引入/个	相对误差
Req	1.8	1	6	61	0.901639
Des	0.77	1	3	43	0.930233
Cod	2.21	1	8	81	0.888889

如表3所示,系数未校准前相对误差平均高达0.91,预测结果不准确。这是因为A、B初值是由大量项目数据综合得出的,针对具体项目组织的具体项目却不一定适用。因此,需要将这两个系数的值进行本地化校准。利用实现的工具,将前4个项目版本数据进行校准,可得到A、B值如表4所示。

表4 校准后的A、B值

阶段	A	B	r ²
Req	90.854574	0.255551	0.111785
Des	16.531651	0.562106	0.156193
Cod	24.638601	0.939368	0.887159

将项目5的系数更新为表4中对应的A、B值,则可以得到该项目的预测值与实际值的对比以及其相对误差,如表5所示。

表5 项目5本地校准后的缺陷预测值与实际值的对比

项目版本	阶段	预测缺陷引入量/个	实际缺陷引入量/个	相对误差
5	Req	69	61	0.125314
5	Des	23	43	0.456634
5	Cod	79	81	0.019161

将每个阶段的相对误差取平均值,结果为0.20037,由该项数据可知,项目5总缺陷数的预测值与实际值拟合程度较好,这样的预测准确度是令人较为满意的。

但是在表5中的设计阶段,相对误差值高达0.456634,与理想情况有一定差距,经过分析,发现它由两方面原因引起。一方面是项目开发过程的不规范。在实验数据的收集过程中,我们发现大部分项目在设计阶段投入的时间很短,平均仅占总项目时间的8.5%,而开发时间平均占总项目时间的49%,设计还未完善就开始编码,导致了实际引入缺陷远高于预测的缺陷。另一方面,实验数据在采集过程中也会存在误差,从而可能导致计算的不精确。值得注意的是,表5中的另两个阶段的预测效果相当好,且所有数据的相对误差都在0.5以内,说明模型具备一定的稳定性。

由以上的验证结果可知,本地校准提高了COQUALMO预测的准确度,且模型稳定性良好,其预测值的误差在能够接受的范围之内。

(下转第3325页)

7 关键技术应用效果

在高校教师综合信息管理系统的开发中,通过在母版页中封装页面的公共元素,不仅实现了对公共元素功能的统一处理,使系统界面风格保持了一致性,而且提高了代码的重复利用率以及开发效率,方便了系统的维护和改进。Excel 与 SQL Server 之间的数据格式转换技术得到广泛应用,一方面,被用于实现与人事、科研等部门的管理系统交换教师信息的功能;另一方面,大量被用于实现教务处管理人员、教学秘书、教研室主任批量导入/导出各种数据的功能。

利用基于 RBAC 的分级权限管理功能,根据教学管理职责与分工,可以方便地设置系统管理员、教务处各科室管理者、教学秘书、院(系)领导、教研室主任、普通教师以及其它各种角色,并为每个角色指定相应的操作权限,实现了用户授权的两级管理和教师信息输入/导入的四级管理机制。利用 Word 格式化文档生成技术,可以灵活地生成单个教师或多位教师的绩效考核或职称评审所需的综合信息 Word 格式化文档。采用开源控件实现的在线信息编辑与发布功能,可方便地用于编辑要发布的各种文本信息,其格式化处理能力丰富了所发布信息的展现形式。

8 结束语

本文介绍的基于 RBAC 的分级权限管理、Excel 与 SQL Server 之间的数据格式转换、Word 格式化文档的生成、在线信息编辑与发布等关键技术的实现方法,在高校教师综合管理

信息系统的开发中得到了深入应用,提高了系统的开发效率和实用性。这些技术在 Web 应用系统的开发中具有普遍适用性。在今后的工作中,可进一步探索利用 Web2.0 应用开发技术——如 Mashup,为用户提供新型和独特的具有一定通用性的系统功能。

参考文献:

- [1] 瞿杰. Programming ASP.NET 中文版[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [2] 赵娜,李门楼,郭嘉,等.基于.NET 的课程自主学习平台的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2008,29(15):4067-4072.
- [3] 贺德富,苏喜生,丁文.信息系统中基于角色的权限控制模型研究与应用[J]. 计算机应用与软件,2008,25(12):284-285.
- [4] 吴一民,王玲亚.扩展角色与权限的 RBAC 访问控制模型[J]. 计算机应用与软件,2008,25(3):192-194.
- [5] 罗德安,廖丽琼.基于 Excel 的数据批量录入与输出[J]. 计算机应用,2005,25(1):80-82.
- [6] 康亚,邵康,吴满意.一种高效的 Excel 表导入数据库的实现方法[J]. 数据库与信息管理,2008,16:1179-1181.
- [7] 刘基林.精通 ASP.NET 3.5 典型模块开发[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [8] Frederico Caldeira Knabben(FredCK.com). Introduction to the user's guide fckeditor[EB/OL]. http://docs.fckeditor.net/FCKeditor_2.x/Users_Guide/Introduction_to_the_User%27s_Guide.

(上接第 3188 页)

5 结束语


本文解决了 COQUALMO 缺乏自动校准这一问题,采用最小二乘法与算术平均值法对其参数 A、B、C 进行校准,效果明显,提高了模型预测的准确度。设计并实现了 COQUALMO 本地校准自动化工具,实现了 COQUALMO 的缺陷预测功能,同时提供缺陷引入驱动因子数据管理、缺陷移除率数据管理、项目管理及本地校准的功能,避免大量数据的重复性录入,方便了模型的使用,并利用该工具对模型进行了验证。下一步的工作重点将是针对 COQUALMO 未考虑测试阶段缺陷预测的问题,进行模型的研究改进,并将工具同步更新。

参考文献:

- [1] Fenton N E, Martain N, William M, et al. Predicting software defects in varying development lifecycles using Bayesian nets[J]. Information and Software Technology, 2007, 49(1):32-43.
- [2] Haykin S. 神经网络原理[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [3] Chulani S. Results of Delphi for the defect introduction model, sub-model of the cost/quality model extension to COCOMO II

[R]. Los Angeles: Center for Software Engineering in University of Southern California, 1997.

- [4] 王青,伍书剑,李明树.软件缺陷预测技术研究报告[J]. 软件学报,2008,19(7):1565-1581.
- [5] Boehm B, Abts C. Software cost estimation with COCOMO II [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [6] Boehm B, Valerdi R, Lane J A, et al. COCOMO suite methodology and evolution [J]. Journal of Defense Software Engineering, 2005, 18(4):20-25.
- [7] Boehm B, Madachy R. Assessing quality processes with ODC COQUALMO [C]. International Conference on Software Process, 2008.
- [8] Chulani S, Boehm B. Modeling software defect introduction and removal: COQUALMO (constructive quality model) [R]. Los Angeles: Center for Software Engineering in University of Southern California, 1999.
- [9] Chulani S. Bayesian analysis of software cost and quality models [C]. IEEE International Conference on Software Maintenance, 2001:565-568.

作者: 库燕, 杨叶, 李奇, KU Yan, YANG Ye, LI Qi
作者单位: 中国科学院, 软件研究所互联网软件技术实验室, 北京, 100190
刊名: 计算机工程与设计 
英文刊名: COMPUTER ENGINEERING AND DESIGN
年, 卷(期): 2010, 31(14)

参考文献(9条)

- 1.Fenton N E;Martain N;William M [Predicting software defects in varying development lifecycles using Bayesian nets](#)[外文期刊] 2007(01)
- 2.Haykin S [神经网络原理](#) 2004
- 3.Chulani S [Results of Delphi for the defect introduction model,sub-model of the cost/quaiity model extension to COCOMO II](#) 1997
- 4.王青;伍书剑;李明树 [软件缺陷预测技术研究报告](#)[期刊论文]-[软件学报](#) 2008(07)
- 5.Boehm B;Abts C [Software cost estimation with COCOMO II](#) 2000
- 6.Boehm B;Valerdi R;Lane J A [COCOMO suite methodology and evolution](#) 2005(04)
- 7.Boehm B [Madachy & Assessing quality processes with ODC COQUALMO](#) 2008
- 8.Chulani S;Boehm B [Modeling software defect introduction and removal:COQUALMO\(constructive quality model\)](#) 1999
- 9.Chulani S [Bayesian analysis of software cost and quality models](#)[外文会议] 2001

本文读者也读过(10条)

1. 叶凯, 杨叶, 杜晶, YE Kai, YANG Ye, DU Jing [产品线成本模型的比较与分析](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2010, 31(2)
2. 苏峰, 翟健, 杨秋松, SU Feng, ZHAI Jian, YANG Qiu-song [基于过程模型随机仿真的TDD模块选取建模方法研究](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#)2010, 27(8)
3. 颜海剑, 肖俊超, 李怀璋, YAN Hai-jian, XIAO Jun-chao, LI Huai-zhang [基于挣值的Scrum软件过程人力资源调度方法](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#)2009, 30(2)
4. 杨叶, 李明树 [用户主导的面向领域的需求分析方法](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#)2000, 21(2)
5. 钟南海, 刘大鹏, 肖俊超, ZHONG Nan-hai, LIU Da-peng, XIAO Jun-chao [一种基于交流成本的全球软件任务调度方法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#)2010, 27(8)
6. 方晨, 杨叶, 伍书剑, FANG Chen, YANG Ye, WU Shu-jian [主成分分析和聚类分析在软件重构中的应用](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#)2009, 30(2)
7. 李效云, 杨达, 叶凯, LI Xiao-yun, YANG Da, YE Kai [InCoME软件成本估算工具](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2010, 31(23)
8. 李娟, 袁峰, 李明树, 王青, LI Juan, YUAN Feng, LI Ming-Shu, WANG Qing [一种基于模型融合的CMM实施过程建模方法](#)[期刊论文]-[计算机学报](#)2006, 29(1)
9. 肖俊超, 王青, 李明树, 张镭, 刘大鹏, XIAO Jun-Chao, WANG Qing, LI Ming-Shu, ZHANG Lei, LIU Da-Peng [一种基于组织实体能力的软件过程建模方法](#)[期刊论文]-[软件学报](#)2008, 19(3)
10. 颜海剑, 肖俊超, YAN Hai-jian, XIAO Jun-chao [基于收益的软件过程资源调度优化方法](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#)2008, 25(11)

引用本文格式：[库燕](#), [杨叶](#), [李奇](#), [KU Yan](#), [YANG Ye](#), [LI Qi](#) [基于COQUALMO的缺陷预测与校准工具的设计与实现](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2010(14)