

面向过程改进的软件复用能力评估方法^{*})

杨涛 彭鑫 赵文耘

(复旦大学计算机科学与工程系软件工程实验室 上海 200433)

摘要 面向复用和基于构件的开发方法已经成为新的软件开发范例,许多企业也已经或计划引入这种新的软件开发方式。与一般的过程能力改进一样,这些企业也面临着如何评估自身当前软件复用能力从而制定下一步改进计划的问题。然而,当前流行的 CMM/CMMI 以及 SPICE 等过程标准都缺少面向复用和构件化开发过程的剪裁和定制,这在一定程度上阻碍了软件企业采用新的基于复用的开发方法。本文对软件复用能力评估和改进相关的工业实践和研究情况进行了总结,在此基础上提出了一种系统的软件复用能力评估框架。该框架为企业面向复用的开发过程提供了一种阶段式的评估框架,因此可以为企业面向复用能力的过程改进提供相应的指导和决策依据。本文还对软件复用能力评估框架的实施过程进行了探讨。

关键词 软件复用,过程改进,复用能力

Software Reuse Capability Assessment: A Process Improvement Oriented Method

YANG Tao PENG Xin ZHAO Wen-Yun

(Software Engineering Lab of Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract Reuse-based development and component-based development are becoming the new development paradigm, and have been used or planned to use by many organizations. However, as other improvement on process, there is a regular problem that how to assess the capability and make the improvement plan. The popular methods as CMM/CM-MI/SPICE lack the ability to assess the RBD and CBD process, and it becomes a barrier for these organizations to use new method to execute reuse. The authors survey the current status on software reuse researches, and provide a staged software reuse capability assessment model to assess an organization's reuse capability which can guide the organizations to perform the reuse-based process improvement. Moreover, some implementation issues are brought out to help the organizations to use this model.

Keywords Software reuse, Process improvement, Reuse capability

1 介绍

1.1 软件复用

软件复用是软件工程中的一个研究领域,指使用那些预先构建好的软件构件、软件产品来建立或组装新软件系统的一种软件开发过程。软件复用的基本思想是不再使用原始的、一切从头开始的软件开发过程来开发新软件,而是借助其他工程学——像建筑工程学、制造工程学等——的思想,通过标准化的软件模块快速构建特定的应用系统^[13]。可以被复用的软件产品包括软件的设计、软件的子系统、软件的类库以及文档等。在面向对象的设计过程中,类和包也是软件复用的重要部件。

软件复用包括生产者复用和消费者复用两个方面。生产者复用是指建立可复用构件的活动,消费者复用是指使用可复用构件去建造新的软件系统的活动。生产者复用的主要过程包括领域分析、复用库建立、配置管理等,消费者复用的主要过程包括复用构件选择、应用程序构建等,两者的有机结合就是完整的软件复用过程。

软件复用的研究目前主要有如下 4 个领域:

- 支持软件复用的开发方法的研究^[4]。这部分主要是对如何应用目前的一些主流开发技术,开发出支持复用的软件产品,以及如何使用可复用的软件产品,组装新系统的方法研究。

- 软件复用的技术领域的研究^[4]。这部分主要是对软件复用过程中,应该包括的技术步骤及其内容的研究。这部分研究又可以细化为复用库、领域分析、产品线、产生式方法等不同子领域。

- 软件复用的绩效研究^[15]。这部分主要是对使用软件复用之后,软件开发企业的绩效变化的研究。

- 软件复用能力评估的研究^[15]。这部分主要是对软件开发企业应用复用的能力进行评估以及评估方法的研究。

目前的研究工作主要集中在第一和第二个领域。国际上有关软件复用的重要会议(ICSE/ICSR)都将主要研究方向放在这两个领域。对第三和第四个领域的研究,目前较少有人涉及。本文就是主要就第四个领域的相关问题进行探讨。

1.2 软件复用能力

软件复用的能力是衡量一个企业就软件复用技术应用程度的能力。对企业来说,应用复用并不只是选择使用何种技

^{*}) 本文受国家 863 计划(课题编号 2004AA113030, 2005AA113120)、国家自然科学基金(批准号 60473061)以及上海市科委科技攻关项目(项目编号 04DZ15022)资助。杨涛 硕士研究生,主要研究方向为软件工程、领域工程、企业构件化开发技术;彭鑫 博士研究生,主要研究方向为软件工程、电子商务、企业应用集成;赵文耘 教授,博导,CCF 高级会员,主要研究方向为软件工程、电子商务、企业应用集成。

术以及采用何种过程。很多企业在应用复用的时候,经常会发生复用失败或者复用效果不令人满意,这种失败并不是仅仅因为对复用技术的缺乏。更多时候,这种失败是因为企业看待软件复用的态度以及企业为软件复用所做的组织变化。因此,软件复用能力并不是一个技术层次的软件开发过程方法,而是软件开发企业综合素质的一种表现,需要从多方面进行研究和考察,加以评估,得出相应的能力水平^[8]。本文后面会就主要的软件复用能力的评估方法进行阐述。

1.3 软件过程改进

软件过程是指软件开发制作过程中的一系列活动、方法以及实践,主要包括标准化、文档化的过程定义,开发人员的知识确认及其行为活动,以及过程的执行结果。软件过程是软件开发企业开发软件的基本,软件的开发活动必须在一定过程指导下进行。

软件过程直接决定了软件企业开发软件的能力,而对软件过程的研究也是很多研究人员、研究机构所关心的内容。怎样的软件过程才是适合软件开发的,正是软件过程研究的目的。同样,如何将现有的软件过程加以改进,使软件企业开发出的软件更加高质量、高效率,也就是软件过程改进所研究的内容^[11]。

2 软件复用过程

前面提到,关于软件复用的研究,目前主要集中在复用方法以及复用领域方面,也就是目前研究的重点内容还是软件的复用过程。分析目前常用的复用方法,我们将其分为如下基于分析设计的复用过程、基于开发过程的复用过程以及支持复用的过程3类(表1)。

表1 软件复用过程分类

基于分析设计的复用过程	基于开发过程的复用过程	支持复用的过程
领域分析技术	基于构件的开发过程	软件复用配置管理
面向对象的分析与设计	基于产品线的开发过程	复用库技术
模型驱动构架	面向对象的开发过程	软件再工程
	产生式方法	

2.1 基于分析设计的复用过程

该类过程中的复用技术,主要着重于开发系统过程中,分析和设计这一步骤中,支持复用的过程。主要包括领域分析技术、面向对象的分析与设计以及模型驱动构架3种技术^[15]。

领域分析是领域工程的一个部分,它的目标是识别一组相关系统中的共性和差异,通过一定的分析,建立领域模型,作为将来软件复用的基础。领域分析的最新研究是面向特征的领域建模。面向对象的分析与设计是从需要定义待解决问题的类、类之间的相互交互和关联的方式、对象的内部结构以及允许对象在一起工作的通讯机制出发,用面向对象的方法建立系统类的静态和动态特征模型。模型驱动构架是一种体系结构的设计方式,通过这种方式建立的软件模型,可以直接用于生产软件产品,它的主要目的就是支持设计复用。

2.2 基于开发过程的复用过程

该类过程中的复用技术,主要着重于开发系统过程中,实

际生成软件产品过程中,支持复用的过程。主要包括基于构件的开发过程、基于产品线的开发过程、面向对象的开发过程以及产成式方法4种技术。

基于构件的开发过程是一般软件复用的基础,它提出将大的软件系统分割为一系列小粒度的构件组装而成,这些小粒度的构件在一个统一的体系结构框架下实现合作,完成软件系统的功能要求。基于构件的开发过程目标是能够通过自主开发、第三方实现或者市场上购买的现有构件,来集成和定制应用软件系统,它提供了在各种应用系统中复用分析、设计以及应用程序的手段。复用分析和设计主要从复用软件体系结构以及软件附属文档,复用应用程序就是对构件的复用。基于产品线的开发过程是软件复用的一个特殊过程,它是在一个特定领域中,就一组具有类似功能的产品族的开发过程,其目的是通过对类似产品的分析,考察其相同和差异,得到一个产品线的统一的领域模型,并在各个产品的开发过程中,通过该模型尽可能地实施复用的软件开发。面向对象的开发过程就是基于类的角度,以封装、继承、多态的特征来设计应用程序中的各个元素,它是一种基本的复用过程,既可以说它是基于构件的开发过程的基础,也可以说类是最小粒度的复用单位。产生式方法是一种制作一次就会自动产生软件的各种不同的变体的开发方法,它主要通过可配置的组建族以及自动组装技术,实现对不同软件的复用支持。

2.3 支持复用的过程

该类过程中的复用技术,主要着重于使用复用技术开发软件的过程中,支持和管理这些技术在复用过程中的应用的过程。主要包括软件复用配置管理、复用库技术以及软件再工程3种技术^[14]。

软件复用配置管理是配置管理的扩展,它通过增加配置管理中对复用单元的管理机制来支持软件复用的开发过程。复用库技术是基于构件的开发过程的一种支持技术,它的目标是将构件集中起来,对构件的版本和使用情况进行管理,并提供一种统一的查询机制来让使用者方便地找到想要的构件。软件再工程是指对既存系统进行分析研究的过程,将其重构为新的形式,它的重要特点就是最大限度地复用既存系统的各种资源,以及对既存系统中非可复用构件的改造。

3 软件复用能力评估研究

软件复用能力的评估是对企业目前的软件开发过程中就软件复用的能力进行分析,从而更好地理解软件开发企业的需求,进而改善和优化企业的基于复用的软件开发过程,使得企业获得更强的竞争力和商业机会。带来的好处就是降低成本和提升企业价值。

表2 软件复用能力评估方法分类

基于复用过程的评估方法	基于复用程度的评估方法
标准软件复用过程方法	软件能力成熟度模型集成
	复用能力模型
	复用成熟度模型
	软件过程改进及能力判断模型

现阶段对软件复用能力评估的研究不够深入和广泛,这是由软件复用本身还不很成熟,应用还不够广泛所致。考查目前常见的关于软件复用能力评估的方法,可以看到,根据评价的标准这些方法主要分为两类:一类是基于复用过程的评估方法,一类是基于复用程度的评估方法(表2)。

3.1 基于复用过程的评估方法

基于复用过程的评估方法主要是提出一套比较完善的软件复用过程,然后按照待评估软件企业实际开发过程对该过程的符合程度,评估软件企业的复用能力。

IEEE1517 标准软件复用过程^[5,6]就是这样一种评估的方法,它提出软件复用的过程应该由标准软件开发过程 IEEE12207 上,调整获取过程、支持过程、开发过程、实施过程、维护过程的内容以适应软件复用,并加入复用库管理过程、复用系统管理过程以及领域分析过程,作为标准的、符合 IEEE 要求的复用过程描述。软件企业可以按照上述的过程来调整企业的开发过程,获得更强的复用能力。

3.2 基于复用程度的评估方法

基于复用程度的评估方法主要是提出一个复用能力的评估模型,该模型一般包括若干个等级,每个等级都有一定的标准和关键过程。达到了某个等级的标准或全部实施了该等级的关键过程,就表示企业符合该等级所定义的复用程度。

软件能力成熟度模型集成(CMMI)^[1]是目前应用最为广泛的评估软件企业开发成熟度的标准。在其第三等级中,有着软件复用的关键过程域。该过程中,也包括了复用设计、复用实施等步骤。不过从整体来说,软件能力成熟度模型集成还不是为衡量复用能力而提出的方法,只是该方法中提供了对复用的支持。

复用能力模型(RCM)^[3]是 SPC 提出的一种评估软件企业复用能力的模型,该模型提出了 4 个复用等级:机会级、集成级、效率级以及预见级。机会级是指在开发过程中,软件复用被独立的开发小组使用,管理者希望但不依赖复用技术的应用,软件复用在这个等级中是可能但偶尔发生的。集成级是指复用过程同企业的软件开发过程集成,企业已经实施了包括领域工程、构件库等必须的构件开发过程,软件复用在这个等级中是较为普遍存在的。效率级是指企业实施了包括产品线工程、复用管理过程、复用效率评价过程等管理复用的过程,复用成为企业提升效率、增加开发能力的重要工具。预见级是指企业的复用能力和复用技术可以不断地优化,而企业通过复用得到的产品、客户的需求都可以在不断优化的复用中被预见,从而增加新产品的能力和推出时间。

复用成熟度模型(RMM)^[10]是 Philip Koltun 和 Anita Hudson 提出的一种评估软件企业复用能力的模型,该模型提出了 5 个复用等级:初始混乱级、监视级、合作级、计划级、牢固级。等级的名称和意义本身不大,仅仅表示一个复用能力的高低。他们通过定义支持过程、开发过程和管理过程中的一共 43 个关键过程,并通过企业对每个过程的实施情况打分,最后根据企业得分情况确定企业的复用能力等级。

软件过程改进及能力判断模型(OOSPICE)^[2]是欧盟参与资助、以 ISO 和 IEC 共同制定的 SPICE 项目为基础提出的一种面向对象/面向构件的过程改进及能力判断模型。该模型提出 6 个复用等级:不完整级、行动级、已管理级、已沟通级、预测级及优化级。这些级别的定义很大程度上参照了 CMM 和 RCM 的一些已有研究,但其优势在于它从模型、方法学和工具等多个方面来帮助企业提高构件化开发能力,并且明确提出了对构件供应能力的评估。由于目前该模型尚未完善,应用以及相关标准都非常缺乏。

4 软件复用能力评估模型

我们通过对软件复用能力目前研究情况以及不同企业应

用软件复用的结果进行分析和研究,发现很多软件公司在实施复用技术或意图提高复用能力的时候,经常会因为没有正确识别目前企业的开发能力,或者选择了不适合的目标而造成了实施复用的失败^[9]。例如,一家从未实施过软件复用的企业希望立刻建立一个支持复用的复用库,或者一家已经有了完整产品线过程的软件企业希望通过对员工复用技术的培训,来提高新产品的开发效率,这样的行为都是很难获得利益的,因此,我们得出如下结论:

软件开发企业复用能力的提升是建立在正确认识自身复用能力,以及选择适当的目标的基础上。

为了帮助企业正确地认识自身的复用能力,并可以比较简单地选择适当的改进目标,我们提出了一种基于过程改进的软件复用能力模型(图 1)。

上述模型是一个以过程改进为目标的软件复用能力评估模型,一共提出了 5 个等级的复用能力。每个等级由一定的复用开发过程组成,共 14 个复用开发过程。

4.1 等级 1:初级复用

该等级中的企业,可以应用软件复用技术选择适合的复用构件进行应用系统的开发。符合该过程的软件企业,其复用过程应该包括如下 3 个过程:

(1) 基于构件的系统分析过程

该过程中,开发小组需要对要建立的应用系统进行分析,确定自己开发的部分以及准备采用的外部构件部分。

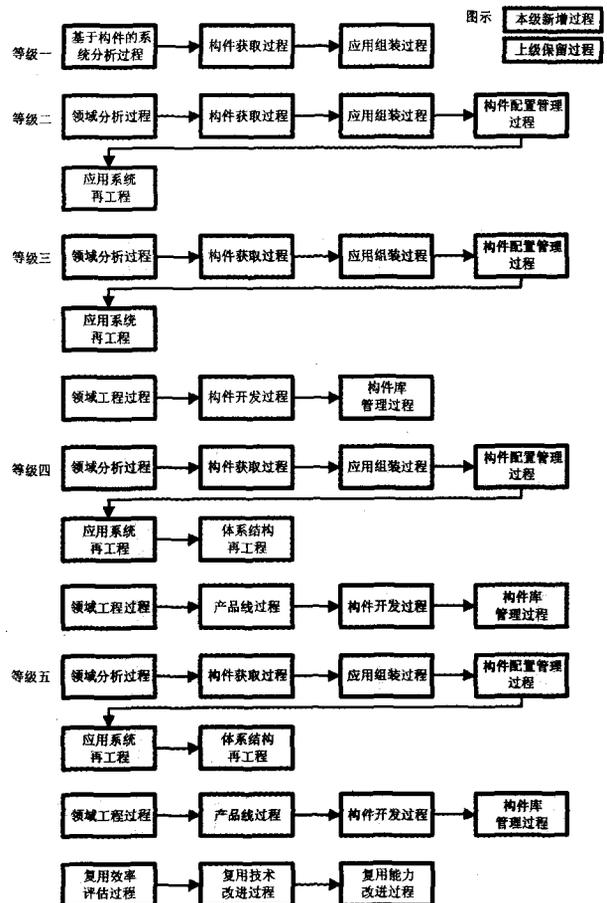


图 1 一种软件复用能力模型

(2) 构件获取过程

该过程中,软件企业需要定义一套采购、外包的机制,从外部获取所需的构件。

(3) 应用组装过程

该过程中,开发小组需要通过采购的构件以及自己编写的内容进行组装,构成新的应用系统。

4.2 等级 2:消费复用

该等级中的企业,可以熟练应用软件复用技术进行应用系统的开发,并且可以对使用的构件和构建的应用系统进行管理,为复用做相应准备。符合该过程的软件企业,其复用过程应该包括如下 3 个新的过程域:

(1) 领域分析过程

该过程中,软件企业需要对要建立的应用系统所在领域进行分析,确定领域的特性和共性,并安排领域中需要自己开发的部分以及准备采用的外部构件实现的部分。

(2) 构件配置管理过程

该过程中,软件企业对所使用的构件进行配置管理,管理其版本、应用情况,并能在发生问题的时候有完善的改正手段。

(3) 应用系统再工程

该过程中,软件企业需要通过实现了的应用系统进行分析、再工程,并从中得到可以供以后新应用系统复用的构件。

4.3 等级 3:生产复用

该等级中的企业,建立了复用生产过程,并可以熟练应用软件复用技术进行应用系统的开发。符合该过程的软件企业,其复用过程应该包括如下 3 个新的过程域:

(1) 领域工程过程

该过程中,软件企业需要对特定领域进行分析和设计,确定领域的特性和共性,研究其中可以作为复用构件的功能点并确定开发过程。

(2) 构件开发过程

该过程中,软件企业可以开发出符合一定规范的、可供复用的构件。

(3) 构件库管理过程

该过程中,软件企业需要通过建立企业共同的构件库,对生产、消费的构件进行统一管理。

4.4 等级 4:综合复用

该等级中的企业,建立了完善的复用生产过程,可以通过产品线 and 再工程进行构件设计和开发,并可以熟练应用软件复用技术进行应用系统的开发。符合该过程的软件企业,其复用过程应该包括如下 2 个新的过程域:

(1) 体系结构再工程

该过程中,软件企业需要应用系统的体系结构进行再工程,提取出可以供复用的框架和体系结构。

(2) 产品线过程

该过程中,软件企业针对某一领域的特定产品族,可以通过产品线工程进行产品的设计和开发。

4.5 等级 5:优化复用

该等级中的企业,建立了完善的复用,并可以通过不断吸取新的知识,优化本身的复用能力。符合该过程的软件企业,其复用过程应该包括如下 3 个新的过程域:

(1) 复用效率评估过程

该过程中,软件企业需要针对每一个复用的开发和实施,评估其效率,并找到相应的问题和提升手段来优化复用效率。

(2) 复用技术改进过程

该过程中,软件企业可以不断吸收、评估、采用新的复用技术,来优化企业的复用技术。

(3) 复用能力改进过程

该过程中,软件企业可以通过对企业开发软件中复用过程的不断优化、评估,选择采用新的复用过程,来优化企业的复用能力。

5 实施过程

上面提出的模型是为了帮助企业正确地认识自身的复用能力、选择适当的改进目标、基于过程改进的一种软件复用能力评估模型。模型的应用实施也需要按上面的过程来进行。

5.1 推荐实现步骤

首先,企业需要评估自身的复用能力。从上述模型中,选择同目前企业开发过程最类似的一个级别,这个选择主要通过关键过程域的实施与否进行判断。下一级别必须包括商业级别的所有关键过程域。例如,如果企业没有实施过软件复用相关的管理过程,那么针对上述模型,它就不具有复用能力。而一个完整实施了生产者复用和消费者复用过程的软件企业,就可能是具有生产复用或综合复用的能力。

其次,企业需要选择适当的改进目标。从上述模型来说,就是选择目前能力级别的下一个级别作为改进复用能力的目标。对不具有复用能力的企业,初级复用就是它们在提升复用能力时适当地改进目标。而对于一个完善的消费复用级企业来说,要提升复用能力,生产复用是它们比较好的选择。

然后,为了达到上述目标,企业需要对其复用过程进行改进。过程改进的方法就是模型中所列出的过程。模型的每个级别都给出了适合本级别的复用过程,企业通过该过程的指导来进行复用的能力培养,是模型的意义所在。例如,对没有复用经验的企业来说,实施复用最好的实践就是从级别 1 所给出的过程开始,实施基于构件的系统分析、构件获取过程以及应用组装过程,培养企业复用能力。

在企业通过上述步骤实施软件复用能力评估模型之后,如下改进是可以被预料的:

- 企业可以提升自身在应用复用方面的能力;
- 企业可以通过应用复用降低软件系统的开发成本;
- 企业可以通过应用复用提高软件系统的质量;
- 企业可以通过应用复用增加其商业价值和利润。

5.2 模型实施要点

5.2.1 关于复用能力等级的跳跃

复用能力等级的跳跃是允许的,因为部分企业具有相当的技术背景和开发经验,通过一定程序的学习和培养,企业的复用能力可能发生质的飞跃。例如一个从未进行过复用工作的电子商务开发商,如果该企业的开发经验足够丰富,就可能通过较短时间的学习和遗产系统的分析,达到生产复用的复用能力级别。

但一般不推荐企业进行级别的跳跃,因为每个级别都包括了下面所有级别的复用过程,依次进行实施被推荐的实施过程。

5.2.2 关于消费复用过程中的应用系统再工程

对于应用复用技术进行开发的企业来说,当其应用复用的技术和经验到达一定程度之后,自然就会考虑对开发出来系统的复用。而应用系统的再工程,是对其进行复用最基础的步骤。

5.2.3 关于生产者复用和消费者复用的关系

生产者复用和消费者复用目前都是软件复用过程的组成部分,两者不可分割。原因在于对于生产者复用的过程来说,如果开发出的复用构件没有经过消费者复用的过程构成应用

系统,开发过程是不完整的、未经确认的。可以预期的将来,如果能有标准的构件质量定义,生产者复用和消费者复用的过程才是可以分割的。

5.2.4 本评估模型同 IEEE1517、CMMI、RCM、RMM、OOSPICE 等评估模型的联系

本模型建立过程中,参考了 RCM、RMM 以及 OOSPICE 的基于复用程度的评估方法及其对部分级别的定义。在过程方面同 IEEE1517 的软件复用开发过程存在共同之处——符合综合复用等级的复用指导过程;同 IEEE1517 的完整复用过程之间,存在内涵等同的对应关系。该模型同 CMMI 之间无直接关系,但建议应用本模型的企业首先实施 CMMI,来提升企业的软件开发能力,然后再实施模型来提升软件复用能力。

总结和展望 本文以软件复用能力评估和改进相关的工业实践和研究情况为基础,提出了一种面向过程改进的软件复用能力评估框架。该框架为企业面向复用的开发过程提供了一种阶段式的评估框架,通过能力等级和关键过程域的划分,帮助企业识别和改进自身的软件复用开发能力。

对该模型来说,主要的问题就是尚未对关键过程域展开进一步细化,包括如何识别过程域满足的条件、过程域的主要表现方法以及部分过程域的可选内容。这部分是下一阶段工作的主要内容研究之一。

模型的另一个问题是缺乏对实际软件企业的复用能力改进指导的示例性研究,下一阶段的研究工作也包括这部分的内容。

在本文的研究过程中,结合国家 863 计划项目(特征驱动领域分析、体系结构建模技术及支持工具研究)进行了电子行业标准——企业构件化能力成熟度模型的制定,该标准的申请工作已经基本完成。

参考文献

(上接第 239 页)

- 17 包秀国,蒋宗礼,等. NTP 自主配置的自组织途径[J]. 计算机学报,2005, 28(5):759~766
- 18 Wells D, et al. Software Survivability[C]. In: Proc. DARPA Information Survivability Conf. and Exposition (DISCEX), IEEE Computer Soc. Press, Los Alamitos, Calif., Jan. 2000, 2: 241~255
- 19 Ghosh A K, Voas J M. Inoculating Software for Survivability [C]. Communications of the ACM, 1999, 42(7): 38~44
- 20 Choi B K, Rho S, Bettati R. Fast software component migration for applications survivability in distributed real-time systems[C]. Object-Oriented Real-Time Distributed Computing. In: Proceedings. Seventh IEEE International Symposium on, 2004. 269~276
- 21 协同信息与系统实验室. 海量信息系统可生存性分析及软件可生存性增强技术[EB/OL]. <http://cscw.fudan.edu.cn/main-project.htm>, 2006
- 22 国家自然科学基金委员会与微软亚洲研究院联合资助项目[EB/OL]. <http://www.nsf.gov.cn/nsfc/cen/xmzn/2006xmzn/06lh/102.htm>, 2006
- 23 Knight J C, Sullivan K J, et al. Survivability architectures: issues and approaches[C]. DARPA Information Survivability Conference and Exposition, 2000. DISCEX'00. Proceedings Volume 2, Jan. 2000. 157~171
- 24 Linger R C, Lipson H F, et al. Life-Cycle Models for Survivable Systems[R]. Sledge TECHNICAL REPORT CMU/SEI -2002-TR-026
- 25 Zhang YG, Vin H, et al. Heterogeneous Networking: A New Survivability Paradigm[C], NSPW'01. Cloudcroft, New Mexico, USA, 2001. 33~39
- 26 Luenam P, Liu Peng. The design of an adaptive intrusion tolerant database system[C]. Foundations of Intrusion Tolerant Systems, 2003 Organically Assured and Survivable Information Systems, 2003. 14~21
- 27 李之棠,舒承椿. 基于信息冗余分散的两种系统可存活性模型[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(7):769~774
- 28 包秀国,胡铭曾,张宏莉. 两种网络安全管理系统的生存性定量分析方法[J]. 通信学报, 2004, 25(9):34~41
- 29 Ellison R, Fisher D, et al. Survivable Network System Analysis: A Case Study[J]. Software, IEEE, 1999, 16(4):70~77
- 30 Moitra S D, Konda S L. A Simulation Model for Managing Survivability of Networked Information Systems[R]: [CMU/SEI -2000-TR-020]. 2000
- 31 Jha S, Wing J M. Survivability Analysis of Networked Systems [C]. In: Proceedings of the 23rd International Conference on Software Engineering (ICSE), 2001. 307~317
- 32 Kring W. A Graph Based Model for Survivability Applications [EB/OL]. <http://www.cs.uidaho.edu/krings/publications.html>. 2006
- 33 徐琳,刘志勇,等. 国家自然科学基金委员会信息科学部计算机科学处 2005 年度基金申请与资助概况[J]. 软件学报, 2005, 16(11): 2021~2028
- 34 邵立勤. “十一五”期间国家科技发展重点方向[EB/OL]. <http://sche.dlut.edu.cn/news/download/fazhanfangxiang.doc>, 2006
- 35 Ellison R, David A, et al. Survivable Network System: An Emerging Discipline [EB/OL]. <http://www.sei.cmu.edu/publications/documents/>, 1999