

非线性动力系统在软件需求分析中的研究

葛君伟, 葛 智, 方义秋
(重庆邮电大学 GIS 研究所, 重庆 400065)

摘 要: 在软件系统的生命周期中, 其过程也是不断变化和逐步完善的. 为了减少由需求缺陷和需求变化而导致的软件系统失败, 需求的演化过程应该是在稳定的状态下完成的. 提出了一个非线性方程来描述此过程, 初步研究显示, 当需求变化率在一个稳定的范围里, 演化过程就是稳定的且需求也是可变的.

关键词: 软件工程; 需求分析; 需求演化; 非线性动力系统; 混沌

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)06-0085-04

Research on Using Nonlinear Dynamic System in Software Requirements Analysis Process

GE Jun-wei, GE Zhi, FANG Yi-qiu

(Chongqing University of Posts and Telecommunications, GIS Research Center, Chongqing 400065, China)

Abstract: In software system life cycle, the evolution of the requirements is unavoidable, that is a constantly evolving and stepwise perfecting process. In order to reduce the software system failure which caused by the deficient requirements and change of requirements, the evolution course of the requirements should be finished at steady state. A nonlinear equation is proposed to describe this process, the initial research shows that the process can be kept stable and the requirements can be changed if the requirements rate of change can be in a steady area, if the requirements changing rate is too large, the process may be in chaos and the change is hard. The result shows that we can get a stable evolution process as long as in an appropriate range of changing rate.

Key words: software engineering; requirements analysis; requirements evolution; nonlinear dynamic system; chaos

1 引言

需求规格说明书是软件开发过程中的一个最重要的早期阶段^[1]. 一般来说, 需求工程一开始的过程包含一些用户需求和系统需求, 这些需求需要逐步地被细化, 直到这些需求被实现.

一般来说, 在软件系统的生命周期中需求很少是稳定的. 例如, 初始需求会随着用户的需要而逐步演化成更多的需求. 众所周知, 对需求变化的无法控制会对大型项目的设计与开发的成功产生重大的影响^[2]. 频繁的变化会导致一些开发项目的失败. 过去许多失败的项目都归因于一些不确定的和不稳定

的需求^[3-5].

基于动力系统理论^[6], 我们提出了一个非线性方程来指导软件需求演化, 并获取需求变化率的范围和减少需求变化所带来的影响.

2 背景知识

一个动力系统就是随着时间的变化在状态之间描述一个系统和系统演化而可能出现的状态.

动力系统分为两种: 一种是连续的动力系统, 另一种是离散的动力系统. 一个连续的动力系统通常可由一个常微分方程来描述: $dx(t)/dt = f(x(t), t)$, 其中, $x \in U \subset R^n$ 是一个水平矢量或是状态变

量,它代表在具体时间 t 时的系统实际状态. R^n 代表的是一个状态空间, U 是 R^n 的一个子集 $f()$, 是状态矢量值函数.

一个离散动力系统可以由不同的方程式来描述,我们可以写成: $x(t+1) = f(x(t), t)$, 软件需求演化过程都是离散的过程, 所以我们讨论的都是离散动力系统. 而动力系统又可以分为线性和非线性. 如果 $f()$ 是一个非线性函数, 则称动力系统为非线性动力系统, 否则就称为线性动力系统.

混沌是从动力学系统的研究中而提出的, 混沌一词还没有一个可以统一接受的定义. 斯蒂芬·Wiggins^[3] 认为有常规协议关于确定混沌陈列现象的症状——它发生在一个特定的区域, 混沌的轨迹有一个敏感的区域, 它依赖于初始的条件, 并且在它演化期间, 典型的轨迹会通过混沌区域附近的每个点. Keith Clayton^[4] 用三个混沌标识符来描述, 这样有助于混沌理论的定义, 第一个标识符描述系统是一个确定的系统, 第二个标识符描述系统的随机行为是难以区分的, 第三个标识符描述系统对初始条件是很敏感的. 混沌特征的规律是混沌系统会出现一些无法预测的结果, 但实际上它是通过精确的决策规则所决定的. 一个混沌系统即使它是简单的系统或是确定的系统, 它也会出现一些随机的行为^[7].

3 基本理论

在动力系统和软件复杂性理论基础上来研究软件的需求演化过程^[5], 结果显示这个过程可以被看作是一个非线性动力系统, 它可以写成

$$X_{t+1} = ag(X_t, N) + X_t \quad (1)$$

式中, α 是一个常量 (≥ 0), 我们把它称为需求变化率 (α), 它表示的是应增加的需求数, 此需求数是直接来自第 0 层的一个起始需求量; $t = 0, 1, 2, \dots$ 代表的是演化的层; N 代表的是系统可以演化的最大需求数; X_t 代表的是需求饱和度, n_t 代表的是第 t 层的需求数, 函数 $g(X_t, N)$ 是由需求复杂度来决定的, 用于表示在软件系统中的直接需求交互率^[5].

简单情况下, 需求复杂度的直接需求交互率为 $n_t - 1$ 时, 这个过程可以描述为

$$X_{t+1} = [\alpha / (1 - 1/N)](1 - X_t)X_t + X_t \quad (2)$$

式中, x_t 代表的是需求饱和度, 可以改变需求演化之间的级别, 它与两个因素有关: x_0 系统的初始需求和 α 需求变化率 (α). 这是一个混沌系统, 因为它有一个分叉和一个三点要素^[5]. 它对初始的需求

x_0 (或 n_0) 是敏感的, 在混沌系统里即便它是确定的也无法预测最终的状态.

式(2)中的行为(状态)主要由参数需求变化率 (α) 确定, 它可以被划分成稳定和不安定的区间. 如果需求变化率 (α) 在一个稳定的区间里, 假设 $N = 1\,000$, 那么需求可以以稳定的方式被完全演化, 如图 1 所示. 我们把这个轨迹分成三段: 起始段、中间段、最终段, 起始段出现在图中的一开始部分, 在这一阶段中只有很少的需求被演化, 出现的需求数少, 增加的需求数也很少; 中间段即出现在图的中间部分, 在这一阶段中会有很多的需求被演化, 需求增加地很快; 最终段出现在图的最后一部分, 在这部分中需求数达到了最大稳定值.

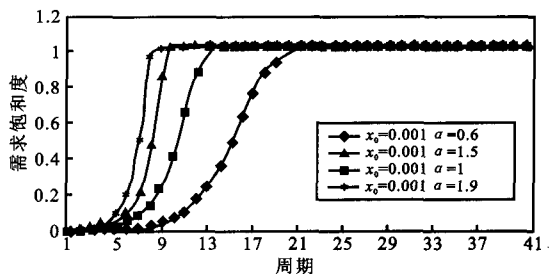


图 1 在稳定区域下的变化图

另一方面, 如果需求变化率 (α) 在一个不安定的区域里, 则演化过程将是不稳定的或是混乱的, 并且演化的结果也是不稳定的, 如图 2 所示. 由于在演化过程中初始需求的一个很小变化将会导致一个大的改变, 所以在这个情况下它是不可能为我们识别所有子需求的. 在图 2 中我们假设很小的改变一下初始值, 将 x_0 从 0.001 改变为 0.001 01. 在图 3 中我们可以比较一下 $x_0 = 0.001$ 和 $x_0 = 0.001\,01$ 时的状态, 在重复(迭代)10 次之前两个状态的时间序列非常接近, 10 次之后两个状态就没有什么关系了. 这意味着当 $\alpha = 2.99$ 时, 系统对初始值的变化是很敏感的, 初始需求的很小变化将会改变最终的演化结果^[8-9].

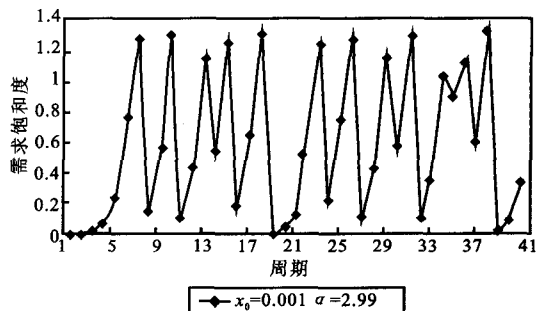


图 2 在不稳定区域下的变化图

那么在需求演化过程中需求变化率 (α) 的值应

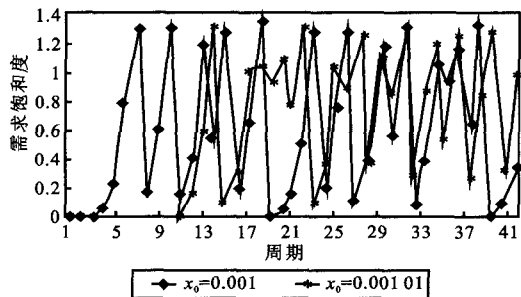


图3 当 $\alpha = 2.99$, x_0 分别取 0.001 和 0.001 01 时的变化图

该取多大?在目前的实践中, α 的值还没有被考虑过,任何一个值都可能会被用上,由上面分析我们知道在演化过程中一个不恰当的 α 值将会导致系统的不稳定或是混乱的.

假如我们增大变化率它是否就可以用更短的时间来演化需求,实际上对我们来说这是很难得到演化过程的稳定,如图2和图3所示,系统会变得不稳定.如果 α 太小,如图2所示,当 α 小于 0.4 时,则演化过程就要花费很长的时间.图4所示的是迭代次数与需求变化率的变化关系.

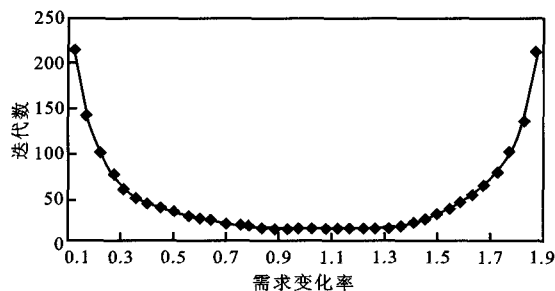


图4 迭代次数与需求变化率的变化关系

图4表示的是完成需求演化过程所需要的迭代次数与需求变化率之间的变化关系,从图中可以看出当 α 等于 1 时所需完成的迭代次数最少.如果需求变化率(α) 太大或太小都需要迭代更多次的的时间来完成需求,当 α 在 0.5 至 1.7 之间迭代数为最小,所以 α 在 0.5 至 1.7 之间可以被看作为是软件需求演化过程的一个稳定区域.

当初始需求变化时,选择 α 在 0.5 至 1.7 之间一个最大的好处就是可以让需求演化过程以一个稳定的方式完成.在图3中我们看出当 α 接近于 3 时,迭代 10 次之后初始需求的 1% 的增长率都会导致完全不同的结果,则这个过程就是混沌的,那么如果需求变化率(α) 在一个稳定的区域里,这种情况就不同了.如图5所示表示的是 $x_0 = 0.001$, $x_0 = 0.0002$ 和 $x_0 = 0.02$ 时的变化图.可以看出在成倍

的增长速度下,结果都是一样的,最终的需求饱和度都为 1,区别只在与各自的迭代次数不一样.

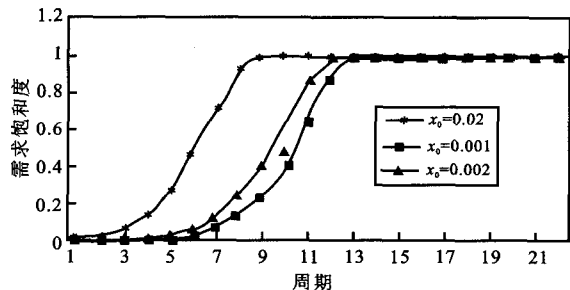


图5 当 $\alpha = 1$, x_0 分别取 0.001, 0.002 和 0.02 时的变化图

根据以上的讨论,在除了完成必需的迭代数之外,我们应该选择一个合适 α 值,使初始的需求数不会影响到需求演化过程的变化能力.如果选择了一个不恰当的 α 值,则需求演化过程就会变得不稳定或是混乱的.因此,软件的需求演化过程应该在一个稳定的范围里完成,这样才能提高软件的开发效率.

4 应用实例及结论

家庭电话服务管理系统通常是用来管理客户数据、线路、电话号码、服务和其他的资源,并为电信公司建立和维护这些资源之间的关系.我们应用上面的演化理论来分析系统的需求,此系统在国内已被成功地开发出来了.家庭电话服务管理系统它的初始需求数为 1,相应的需求变化率(α) 也为 1,根据上面的讨论,在以下的情况下,系统的需求演化过程应该是稳定的,在第一层,初始的需求被演化为两个子需求,包括服务管理和系统管理;第二层两个需求被进一步的演化为 4 个子需求;这样一直演化下去.图6给出了需求演化数的轨迹,一共包括三段,起始段在 1 至 5 层之间,中间段在 5 至 11 层之间,结尾段从 11 层开始,在 12 层达到了所有的子需求.最终结果显示演化过程是稳定的.

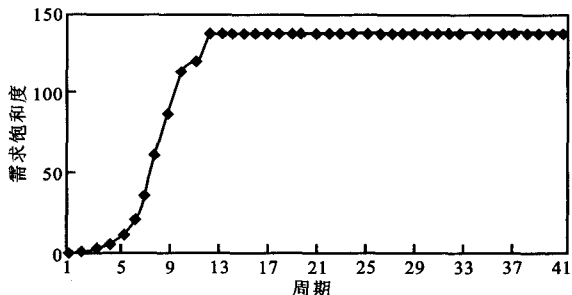


图6 家庭电话服务管理系统的需求演变图

图7表示的是一个理论上的轨迹, $N = 138$ 和

$x_0 = 1/138$.

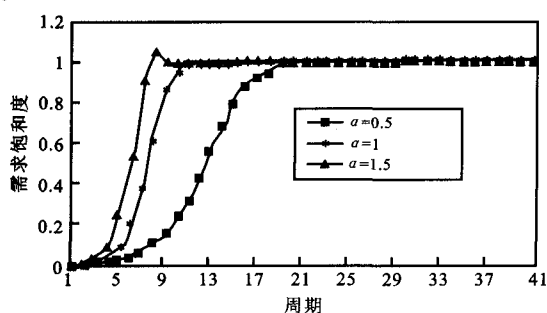


图7 $N = 138$ 和 $x_0 = 1/138$ 时的变化图

实际轨迹如图6所示,图7表示的是 $\alpha = 0.5$ 和 $\alpha = 1$ 时的理论轨迹图.在实际系统中,初始需求可以被分成服务管理和系统管理,服务管理是个主要的需求,而系统管理只有一些很少的子需求,因此实际需求的变化率要小于 $\alpha = 1$ 的情况.

由此我们得出,可以用演变轨迹图来分析演化过程并评估它的质量,这种方法我们称为混沌演化模型,它的具体描述如下:

(1) 定义一个初始值 n_0 和初始的需求饱和度 x_0 ,并根据理论研究来预测系统的最终需求数 N ;

(2) 定义需求变化率 α 使它在一个稳定的区域内,即 α 应小于2,随着需求数 n_t 的增加,需求变化率将会慢慢的减小;

(3) 根据演变轨迹来描述需求演化过程,使其演化过程达到最终段时才终止;

(4) 评估演化过程,如果轨迹的变化像图1、图5、图7那样,则需求演化就是正常的,否则演化异常.

(5) 接受或拒绝结果.当演变达到最终段时我们就可以停止需求演化.此时我们可以说获得了所有的需求,当我们发现演化异常时,我们可以重新演化或以后再进行.

根据混沌演化模型的规则,并结合图7所示我们得出家庭电话服务管理系统的演变结果可以被看作是正常的.

5 结束语

需求的变化是引起软件工程失败的最重要的要素之一,我们研究软件需求演化过程是为了避免和减少这种变化带来的影响.根据以上的研究,软件需求演化过程可以看成是一个动力系统,我们建立一个非线性方程来描述这个过程,方程式的参数主要是由需求变化率(α)来决定的,需求变化率(α)可以分为稳定区域和不稳定区域,如果 α 在一个稳定的区域里,需求就可以以一个稳定的方式被完全演化,

需求的变化也不会影响最终的演化结果,此外,如果 α 在一个不稳定的区域里,则演化过程就是不稳定的或是混乱的,并且演化结果也是异常的,在这种情况下确定所有子系统是不可能的,因为在演化中初始需求的微小变化就会引起很大的改变.我们用上面的理论来分析家庭电话服务管理系统得到了一个稳定的演化过程,结果显示,实际的演变轨迹与理论上的轨迹是一致的.所以,我们应该采用一个适当的需求变化率来得到一个稳定的需求演化过程,并使需求可以变化.

参考文献:

- [1] 张海藩. 软件工程导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [2] 张天宇. 中小型软件开发质量控制研究[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(6): 88-90.
- [3] Fatwanto A. Complexity measurements on modular design [C]//7th APRU Doctoral Student Conference. National University of Singapore, Singapore, 2006: 17-21.
- [4] Lovea P E D, Holta G D, Shenb L Y, et al. Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems[J]. International Journal of Project Management, 2002, 20(6): 425-436.
- [5] Willams T M. Safety regulation changes during projects - the use of system dynamics to quantify the effects of change [J]. International Journal of Project Management, 2000, 18(1): 23-31.
- [6] Wiggins S. The dynamical systems approach to Lagrangian transport in oceanic flows[J]. Annual Reviews of Fluid Mechanics, 2005(37): 295-328.
- [7] Clayton K. Basic concepts in nonlinear dynamics and chaos [C]// A Workshop presented at the Society for Chaos Theory in Psychology and the Life Sciences meeting. Milwaukee, Wisconsin, Marquette University, 1997.
- [8] 万志超. 利用非线性函数控制的混沌异结构同步[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(4): 52-55.
- [9] 肖柳青, 周石鹏. 非线性离散动力系统理论与应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000: 1-22.

作者简介:

葛君伟 男, (1961-), 博士, 教授. 研究方向为软件体系结构、地理信息系统等.

葛智 男, (1982-), 硕士研究生. 研究方向为软件工程.

方义秋 女, (1963-), 副教授. 研究方向为空间信息集成研究、GIS中间件等.