

文章编号: 1001-0920(2001)01-0100-04

# 基于分形思想的复杂系统建模实例研究\*

萧蕴诗, 汪 镭

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 200092)

**摘 要:** 结合具体的复杂系统建模实例, 论述一种基于分形思想的复杂系统功能模型的开发方法。该方法在系统开发总体要求指导下, 对系统各级功能模型从整体向局部、从宏观向微观逐步深化; 在模块化、强内聚、弱耦合条件下, 按照对象的复杂性程度进行分层细化。

**关键词:** 分形; 复杂系统; 建模

**中图分类号:** TH166      **文献标识码:** A

## Complex System Modeling and Case Study Based on Fractal Conception

XIAO Yun-shi, WANG Lei

(Institute of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Based on fractal conception, the complex system function model developing method is discussed. Under the guidance of general requirement, the developing process is deepened from integer to local, from macrocosm to microcosm. Furthermore, under the conditions of modularization, high inter-aggregation and low coupling, the developing process has the characteristics of layered detailing of the complexity degree under the fractal conception.

**Key words:** fractal; complex system; modeling

## 1 引 言

对特定复杂系统<sup>[1,2]</sup>的边界、成分、结构和环境 4 个要素的精确描述和定量化分析, 往往具有相当的难度; 同时, 开发一个复杂系统, 也应由粗及细、由表及里、由总体到局部, 逐步地进行各级模型结构开发, 并在系统开发上游的同时兼顾下游的有关信息, 以保证复杂系统开发的一次成功。

由于复杂系统开发问题本身的复杂性, 其开发模式也就不可能完全一致。本文基于分形的思想, 结合工厂 CMS 开发的实例, 介绍一种复杂系统功能

模型建模方法。

## 2 基于复杂系统分形特征的系统建模方法

对于复杂系统, 其总体特性无疑是复杂的, 但此复杂性在考察具体问题和具体系统时, 就有程度和层次之分。许多复杂系统的各结构层次具有一定的相似性。在分形几何学中, 注意到复杂事物(仅指几何意义上的)局部与整体之间存在某种相似性的形状, 如雪花、树叶等的几何形态。受此思想的启发,

收稿日期: 1999-12-14; 修回日期: 2000-04-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(69684003)

作者简介: 萧蕴诗(1946—), 男, 湖北武汉人, 教授, 主要从事计算机控制等方面的研究。

分形认识论在认识事物时,总是把复杂事物分解为若干简单的要素来研究,从宏观向微观逐步深化地认识问题。它是基于系统自相似性的思想,与系统论互为补充,完整地构成了辨证的认识论体系。

分形一般是指对事物的形状、形态、结构与组织的分解、分割、分裂与分析。分形是事物从整体向局部深化、人的认识从宏观向微观深化的过程。分形包含两个基本特性:分裂和不断细化的极限特性。其中分裂是分形的基础,是集类  $x$  对集合  $X$  分形最普遍的情况。

利用分形思想进行复杂系统建模,要在掌握系统整体与局部之间结构相似性的基础上,从整体出发逐步深入地由宏观向微观分析问题。首先在系统总体结构的指导下给出第一次的分解设计,使分解的各子系统具有相对的独立性和结构上的相似性,并且了解各子系统之间的相互联系。然后构筑第二级的系统模型。按照类似方法对各二级子系统进行细化,得到第三级的系统模型。以此类推,直到达到设计目标为止。这里,第  $n$  次的系统分解设计得出的是第  $n+1$  级的系统模型。

### 3 基于分形思想的复杂系统建模实例分析

基于分形思想的复杂系统建模方式,从总体上来说是将组合式复杂大系统用简单的分形子系统来逼近和覆盖,各子系统间的功能既互相独立又互相联系,通过考察子系统与整体系统的局部相似性,将系统分解成多个分形子系统。同时,分形解应以便于合成的方式进行组合,以便在考察整个复杂系统特征时有一个较为简便的合成途径。

在具体执行中,分形建模有以下几种方式:

- 1) 按功能分形:其中每一分形子系统解决一个或几个功能,而各功能之间相互独立,子系统间的结合方式为组合式;
- 2) 按描述方法分形:每个子系统反映所研究问题的多个侧面;
- 3) 按相互关系分形:用若干分形子系统对变量间的相互关系进行描述。

通过以上方法,可从不同侧面进行分形建模方法的应用。本文主要采用按系统功能分形的方法,具体论述分形建模方式在复杂系统建模中的应用。

现以一类典型的大型离散制造企业——上海锅炉厂的 CMS 开发<sup>[3,4]</sup>为例。在此类以单件、小批

量生产为主的订单驱动型离散制造业的 CMS 规划中,必须根据其生产经营的具体特点,设计相应的 CMS 系统,解决日常经营行为中存在的决策支持、经营管理、技术开发管理、质量管理、生产管理、财务管理等方面的问题;同时,在总体设计中应注意厂方的现实需求和实施条件。

在 CMS 系统功能模型的开发中,首先应使总体模型充分表达系统最主要方面的轮廓、特性及相互关系,然后按照分形原则,即在模块化、强内聚、弱耦合条件下,按照对象的复杂性程度进行分层细化,并在细化时注意按照反映所细化等级子系统信息的层次性,以及各层次模型间相似性的原则进行下一级的操作。在分形细化时,以上一级分形模型为基础,以结构相似为细化原则,根据一定的细化线索进行逐层的操作。这种应用分形思想的复杂系统开发方法既考虑了系统的总体复杂性,又体现了对系统的可认识性和可分解性,具有相当的可操作性。同时,复杂系统分形的思想也有利于根据实际情况决定具体的系统实施程度,使 CMS 系统开发真正体现“效益驱动、总体规划、重点突破、分步实施”的方针。

经过实地调查和需求分析,可以得到企业 CMS 的功能需求模型,并对此设计相应的各级功能模型。在最高一级的 CMS 总体结构中,系统的总体功能模型(第一级)如图 1 所示。

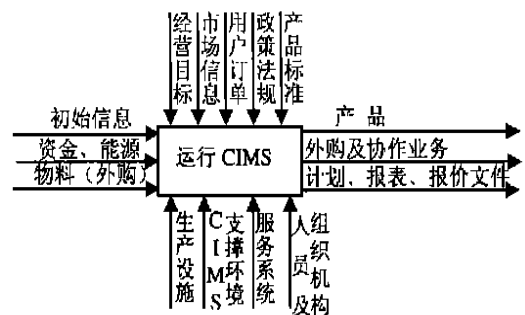


图 1 CMS 系统的总体功能模型(第一级)

从图 1 中只能看出 CMS 系统的总体输入(左方箭头)、输出(右方箭头)、软硬件和组织支持(下方箭头)以及约束条件(上方箭头),而对系统内部的具体功能模型一无所知。考虑到系统运行的 3 个重要方面(在该系统中为工厂事务运行过程的 3 个方面):是否运行、何时运行、如何运行,以上功能模型可细化成图 2。其中,决策支持系统、经营管理系统及运行操作系统分别处理上述 3 类问题。

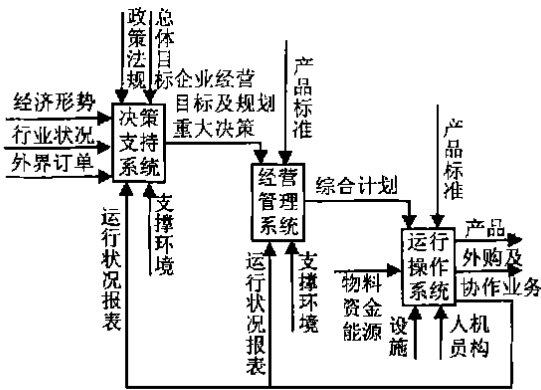


图2 CMS系统功能模型结构(第二级)

由图2可见,处于第二级的各子系统与第一级系统(总体功能模型)之间存在着明显的相似特征,所不同的是该级各子系统的输入、输出、支持及约束条件既符合总体模型的约束,又在这一级的环境中进行了相应的细化。3个二级子系统之间互有联系,但又互不相同,结构类似,而功能各侧重于系统运行的各个方面,构成了有机的整体,将总体功能进行了一定程度的细化。

图2中运行操作模块的概括性设计显然是不能满足厂方要求的。按照各第三级子系统的分形原则,对运行操作模块进行进一步的细化设计,得到如图3所示的各运行操作子系统的功能模型结构。其中

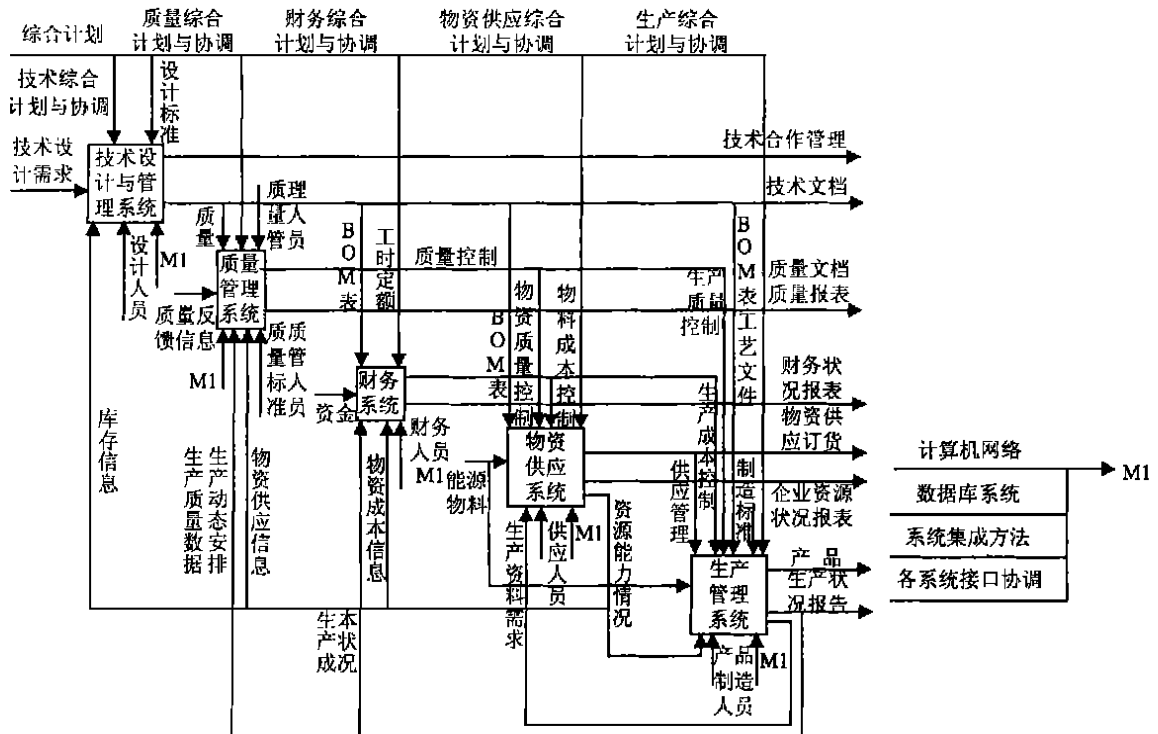


图3 运行操作系统功能模型结构(第三级)

按照工厂运行操作模块的分类细化要求,各子系统被分成技术设计与管理系统、质量管理体系、财务管理系统、物资供应管理系统、生产管理系统5个第三级子系统。这里,第三级子系统之间同样具有类似的输入、输出、支持和约束条件特征,又各有侧重,分工协作,完成了工厂运行操作模块的总体功能。

限于篇幅,不能将第三级模块中所有子系统进行细化并绘制总图,这里仅对其中的技术设计与管理系统的分形设计进行进一步的分析,对于其它子系统也有类似的过程。

在图4所示的技术设计与管理系统功能模型总体框图中,由于其“是否运行”(即决策)功能的弱化,可在参照总体系统运行3个重要方面结构关系的同时,将其中的决策功能去除,然后类似于体系设计技术设计与管理系统的子模块相互关系总体结构。设计结果只有两个第四级子系统,其中技术准备计划与管理子系统及设计运行模块完成了对技术设计中总体功能的分解执行。从这一级的系统结构图中,可以明显地看出它与上几级系统结构在形态、结构上的相似特征,体现了CMS各级子系统的分形特征。

将第四级子系统的设计运行模块按照分形原则进一步细化,可以得到设计运行子模块的总体

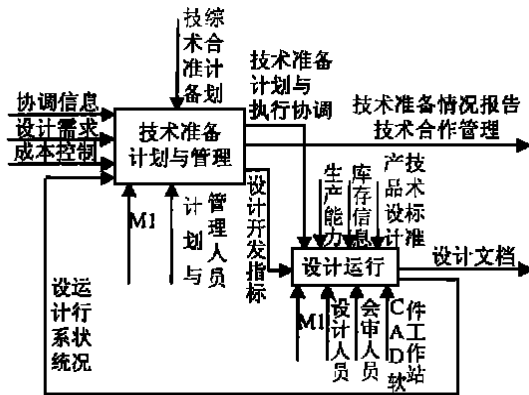


图 4 技术设计与管理系统总体功能模型(第四级)

结构图(略)。同样,其中的第五级子系统——产品设计、工艺过程设计、产品开发与研究、技术文档与数据库管理,涉及设计运行子系统所应包含的各个不同方面,各有侧重又相互联系,进一步体现了更详细的系统分形特征。

如果系统有更详细的建模要求,则以上过程还可在更细的层次上继续进行。可以认为,当所开发的系统在所要求的认识层次上有清晰的解答时,则系统的复杂性在这一层次上也就清除了。而这正是我们按照系统的分形原则,层次性地认识复杂系统的目的所在。

(上接第 99 页)

#### 参考文献:

- [1] Jam shidi M. Large-scale systems, modeling and control [M]. Amsterdam: Elsevier Science Publishing Co, Inc, 1983
- [2] Mao C J, Yang J H. Decentralized output tracking for linear uncertain interconnected systems [J]. Automatica, 1995, 31(1): 151-154
- [3] Ni M, Cheng Y. Decentralized stabilization and output tracking of large-scale uncertain systems [J]. Automatica, 1996, 32(7): 1077-1080
- [4] Trinh H, A ldeen M. Output tracking for linear uncertain time-delay systems [J]. IEE Proc Control Theory Appl, 1996, 143(6): 484-488
- [5] Oucheriah S. Robust tracking and model following of uncertain dynamic delay systems by memoryless linear controllers [J]. IEEE Trans on Autom Contr, 1999, 44(7): 1473-1477.
- [6] Boyd S, Ghaoui L E, Feron E *et al*. Linear matrix in-

## 4 结 语

基于分形思想的复杂系统建模,使 CMS 系统总体的复杂性与各级子系统分形条件下的相对简单性得到了统一。按照分形设计原则进行的系统建模,其总体特性相对稳定,内部各子系统之间关联相对紧密,影响相对活跃。这是一种对总体特征的集成化建模与局部特征的详细分析相统一的复杂系统建模方法。

#### 参考文献:

- [1] 林福永. 一般系统结构模型的数学分析及其结果——若干一般系统原理与规律 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 12(1): 1-7.
- [2] 汪镭, 萧蕴诗, 吴启迪. 一类复杂系统开发与递阶控制体系实例研究 [J]. 同济大学学报, 1999, 27(3): 342-346
- [3] Heim J. Integrating distributed models: the architecture of ENV ISDN. Int J Computer Integrated Manufacturing [J]. 1995, 8(3): 256-261.
- [4] Macros Wilson C. A model-driven approach to enterprise integration [J]. Int J Computer Integrated Manufacturing, 1994, 7(2): 189-192

equalities in system and control theory [M]. Philadelphia: SIAM, 1994

- [7] Iwasaki T, Skelton R E. All controllers for the general  $H$  control problem: LM I existence conditions and state space formulas [J]. Automatica, 1994, 30(8): 1307-1317.
- [8] 谢永芳, 桂卫华, 陈宁, 等. 基于线性矩阵不等式的分散鲁棒跟踪设计 [J]. 控制理论与应用, 2000, 17(5): 651-654
- [9] Wang Y Y, Xie L H, E de Souza. Robust control of uncertain nonlinear systems [J]. Systems and Control Letters [J], 1992, 19(2): 139-149
- [10] Makarand S Phatak, S Sathiya Keerthi. Gain optimization under control structure and stability region constraints [J]. Int J Contr, 1996, 63(5): 849-864
- [11] Gahinet P, Nemirovski A, Laub J *et al*. LM I control toolbox [M]. Natick MA: the MathWorks Inc, 1995