

教育软件工程框架的构建

方海光 任剑锋 陈 蜜

(首都师范大学教育技术系 北京 100037)

摘 要 教育软件的开发一直缺少相适应的开发方法的研究,而教育软件工程是近年来出现的崭新的研究方向,是软件工程和教育学相互融合深入的产物。首先从总体上讨论了教育软件的概念和属性、教育软件的开发过程和生存周期,然后描述了当前应用的具有代表性的教育软件开发模型,最后是关于教育软件工程的特殊性、未来研究课题内容、研究趋势整体框架和研究发展方向的描述。

关键词 教育软件工程,生存周期,趋势框架

Framework of Educational Software Engineering

FANG Hai-guang REN Jian-feng CHEN Mi

(Department of Educational Technology, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

Abstract Educational Software Engineering (ESE) is a new research direction for researchers, which is an integration of software engineering and education, an enhancement or an extension of them. The notion and the relationship between ESE and educational software product research as well as the educational software life cycle research were discussed. Some recent research developments models were surveyed. Specific characteristics, further research content, research trends framework and hierarchy structure were presented.

Keywords Educational software engineering, Life cycle, Trend framework

教育软件的应用模式依赖技术的发展,伴随系统平台和开发技术的发展,经历了从文字到图像,再到数字媒体的转变过程^[1,2],并且以 Web 平台提供的教育服务也已经有更多的应用了^[3]。教育软件以其强交互、知识浓缩和搜索功能而受到更多教育技术领域的关注。我国计算机基础设施已经形成规模,而教育软件行业发展的制约因素之一是缺少大量规范的高质量的教育软件,面对教育软件巨大的学习者需求及不规范教育软件的传播形式,必然要求加强教育软件工程学的研究与应用,以此促进教育软件的工程化和普及推广,提高教育软件的可维护性、可移植性和规范化水平。

1 教育软件的概念

广义上,教育软件是基于计算机多媒体技术以服务于教育为目的的软件产品,包括计算机知识教育软件、语言教育软件、科普教育软件以及与学生课本内容紧密结合的学生教育软件等。此外,还包括为实现教育信息化、数字化开发制作的校园管理教学软件、学校行政办公软件等与教育行业相关的各类软件产品,如图 1 所示。

狭义上,教育软件是指根据教学目标设计的、表现特定的教学内容、反映一定教学策略的计算机教学程序。它可以用来存贮、传递和处理教育的信息。当教师用这些程序进行教学时,称为教学辅助软件;当学习者使用它来达到学习目的时,称为自学辅助软件,如图 1 所示。狭义上定义的教育软件

是一种具有特定教学内容和教学策略的计算机教育程序,是广义教育软件的子集。

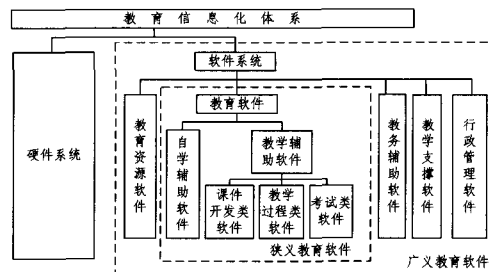


图 1 教育软件的概念

教育软件有 3 种属性:第一,软件的属性,包括软件的构造性和可靠性等各种软件特性;第二,教育的属性,即具有教育策略,是对学生、孩子和成人进行教育的工具,是信息智能化的工具,特别是那些与教材相配套的教育软件;第三,意识形态的属性,即具有教育内容,就是要传播有意义知识。教育软件是完成这种任务的载体。教育软件不仅仅是普通计算机软件,还必须是具有教育内容和策略的、适应现代教育体制和教学模式的软件产品,是为教育过程提供服务(包括学习、管理、评价、工具等)的计算机软件或软件产品。

最初,有些研究认为课件(Courseware)就是教育软件^[9],上世纪 90 年代的研究把教育软件和课件统一为相同的概念来进行研究^[10]。课件是帮助开发维护程序的文档资料以及

到稿日期:2008-02-02 本课题得到国家“九七三”重点基础研究发展规划项目基金(2004CB318003)资助。

方海光(1975—),男,博士,讲师,CCF 会员,主要研究方向为教育软件工程、移动教育,E-mail:fanghg@sina.com;任剑锋(1973—),男,博士,讲师;陈 蜜(1978—),女,博士,讲师。

与软件配合使用的课本和练习册等^[11],是指根据教学目的、教学内容,利用程序设计语言,由教师编制的程序^[12],即课件是根据教学目标和教学内容而设计的反映计算机策略的计算机程序,通常称作计算机辅助教学软件^[9]。随后,产生了网络课件(Network Courseware)的概念,网络课件是在网络环境下让不同地域、不同年龄、不同阶层的人通过网络途径在任何时段获取教学内容的教学工具,也是学生自主学习和获取信息的一种手段,其本质上属于课件的范畴。

因此,教育软件一般指软件开发者开发的或商业发行的用于教育的软件,它是可运行的程序。而课件一般是由教育工作者自己制作的用于课堂教学的程序或文件。有些课件以可执行文件呈现,脱离运行环境单独运行,也可以称作教育软件;而有些是需要运行环境的文件,如制作 doc 文档需要 Word 支持, ppt 文档需要 PowerPoint 支持, avi 和 mpg 文件需要媒体播放类软件支持,网页式课件需要有 IE 类的浏览器等。因此,课件是教育软件中的教学辅助软件中的一种形式,通常说教学辅助软件包括了课件。

另外一方面,教育软件与 CAI 的概念也不能混淆。CAI (Computer Assited Instruction)被译为“计算机辅助教学”,目前已基本得到教育界的认可^[13-16]。CAI 是以计算机为中介,模拟教学活动中教师和学生之间的信息交流过程。关于 CAI 的定义有多种认识,希克(Hicks)和海德(Hyde)认为:CAI 是一种直接运用计算机交谈模式来呈现教材,并控制个性化学习环境的教学过程。西柏(Sipple)的定义则是:CAI 是一种将学生安置在已编写完成的计算机互动模式课程中的教育观念,计算机依照学习者先前的学习反应,选择下一个适当的主题或单元,并允许学习者按照自己的学习能力调整进度。应该说,计算机辅助教学是一个典型的依靠各种媒介传导信息,并帮助学习者对日益增长的知识进行条理化的过程。

当前,“计算机辅助教学”包含的范围为:计算机辅助教学(CAI);计算机辅助教育(CBE);计算机辅助学习(CAL);计算机化教学(CBI);计算机教育应用(IAC)。因此,CAI 是计算机辅助教学中的一部分,教育软件则是对“计算机辅助教学”进行支撑的软件产品的界定。当前,教育软件发展的具体表现形式为:(1)基于 Internet 网络环境的教育体制与教学模式;(2)多媒体化;(3)多媒体电子出版物;(4)教育技术理论基础的研究;(5)人工智能在教育中应用的研究;(6)教育技术应用模式的多样化。

2 教育软件开发过程

教育软件开发过程是随着软件开发技术的演化而不断改进的。其开发模式从早期的瀑布(Waterfall)开发模型到后来出现的螺旋迭代(Spiral)开发,以至新近的敏捷(Agile)开发方法,甚至是个人开发的教育软件,也可以采用相应的方法来指导软件的开发过程,即个人软件开发过程(Personal Software Process, PSP),与此相对的,还有小组软件开发过程(Team Software Process, TSP)。

教育软件的基本开发过程是:根据教学课程的整体属性来确定教育软件架构特征;根据知识内容的性质特点确定软件展现的形式;编写教育软件脚本;选择多媒体程序的制作平台,进行教育软件的开发;对需要的素材进行开发和整理;集成软件和素材并进行测试和实验,最后构造成可由用户自行

交互、对话的完整教育软件系统。教育软件的开发过程还要特别包括教育实现阶段和软件实验阶段。教育实现阶段是对于教学思想实现的过程,是遵循学习认知规律的实现阶段;软件实验阶段是教育软件进行学习效果信息收集和整理的过程,是教育思想实现程度测试的过程。

对于教育软件的质量依靠的是开发过程,价值依靠的是使用过程,都不是依靠评测过程的,所以保证教育软件产品价值体现的关键在于软件产品开发和使用的管理,而开发过程的管理更重要。软件生产者运用教育软件工程对软件开发过程进行指导和规范,同时软件生产者还要运用软件工程经济对软件开发成本进行控制,这是提高软件价值的两方面因素。

3 教育软件工程概述

软件工程是指导计算机软件开发和维护的工程学科,而教育软件工程(Educational Software Engineering)是研究如何用工程的技术和方法,开发和维护作为工程化产品的教育软件^[4]。教育软件的开发不同于一般的软件。研制开发教育软件不能仅仅依靠软件专业的技术人员,因为开发设计教育软件的人员必须具有某学科的知识结构(如物理、化学等)、学生认知结构、教学法、软件工程和计算机技术等知识结构和能力结构,即需要具有多学科交叉的学术背景才能胜任教育软件的开发工作。而教育软件工程是在此基础上的新兴领域,在不断地总结和发展中,其特有的教育与信息技术的交叉学科是高校培养教育软件开发专门人才的重要途径^[5,8]。

按照软件开发的一般规程,即市场调研-制订计划-需求分析-系统设计-编程调试-测试验收的流程^[4],开发教育软件的关键阶段在于系统设计,因为它体现计算机技术实现教育思想的能力和水平。教育思想和教学思路实现到什么程度,教育软件有怎样的功能,常常决定于它的系统设计。另一方面,教育思想是教育软件的核心特征,这是蕴涵于脚本设计中的,所编写的高质量的脚本就成了开发教育软件的又一个关键阶段。

教育软件工程学是由多学科交叉而形成的新兴学科,其研究对象主要包括:(1)教育软件及其相关学科领域的知识与可用媒体和可用新技术;(2)教育软件的教学理论;(3)教育软件的开发与维护的方法和技术;(4)教育软件的开发组织与用户需求;(5)教育软件的标准、评审与商品化等。

4 教育软件生存周期

教育软件生存周期(Educational Software Life Cycle)就是从提出教育软件产品到被淘汰的整个过程。我国已经有学者对教育软件生存周期进行了研究,提出了不同的开发模型,如李昭智结合传统软件瀑布模型提出的教育软件瀑布模型^[6];袁宏伟根据实际经验提出的软件与素材并行开发模型^[7]。这类模型都处于探索教育软件生存周期的初步阶段,通过对各种因素的归纳和分析,系统提出了教育软件生存周期。把软件开发过程划分成各个阶段,各个阶段以前一阶段为基础,后一阶段为精化的过程。每个阶段的任务相对独立,有利于安排人员协作,有助于提升软件产品的质量和价值。具体分为以下阶段:P1 总体计划;P2 教学需求分析;P3 教学设计;P4 脚本编写;P5 软件需求分析;P6 软件设计;P7 软件

实现;P8 总体测试;P9 教育实验;P10:运行维护。教育软件生存期进一步归纳为6个阶段:计划阶段(P1)、教育实现阶段(P2,P3,P4)、软件实现阶段(P5,P6,P7)、测试阶段(P8)、实验阶段(P9)和运行维护阶段(P10)(参见图2)。

(1)计划阶段

教育软件开发设想通常由教育软件的使用单位或教育软件开发人员提出,主要包括教育软件问题定义和教育软件开发可行性研究分析。通过确定的和隐含的用户需求确定工作域,即确定软件总的目标、功能等;作出成本估算,而且要求作出可行性分析,即在现有资源与技术的条件下能否实现这样的目标;最后要提出进度安排,并写出软件计划文档。在管理评审通过以后,要确定系统定义和有效性标准(软件验收标准)。技术评审通过以后,再进行一次对软件计划的评审,因为这时对问题有了进一步的了解。而制定计划时,数据较少,且经验不足,所以对制定的计划需要进行多次修改,以尽量满足各种要求,然后进入到教育实现阶段。

(2)教育实现阶段

在需求分析阶段,应分析教学目标、教学内容的知识结构等。在确定教学目标时,必须考虑3个因素,即教学内容、学生特征和社会需要。教学内容应当由从事教学实践工作的教师根据教学的实际需要来选择。分析学生特征就是要运用适当的方法来确定学生关于当前概念的原有认识结构和原有认识能力,并将它们描述出来,作为确定教学目标和教学策略的主要依据,以便使制作出来的教育软件更有针对性。社会需要的确定应当在广泛调查研究的基础上来进行,并使之具有一定的前瞻性。要根据教学目标确定的知识、理解、应用、分析、综合评价等不同层次来分析教学内容的知识结构,将所含的教学内容分解为若干个知识单元,每个知识单元又包含若干个知识点,找出各个知识点、知识单元之间的关系和联系方式。

运用系统观点与方法,以教育、心理学理论为指导,根据教学目标和对象,组织和配置多种教学资源,把所有教学要素组合到一个优化的教学结构之中,以实现教学过程与教学结果最优化。编写的脚本包括文字脚本和制作脚本。文字脚本应包含有学生的特征分析、教学目标的描述、知识结构流程图、问题的编写等。制作脚本应包含有软件系统结构说明、知识单元的分析、屏幕的设计、链接关系的描述等。脚本是教育软件设计思想的具体体现,为教育软件的制作提供直接的依据,是沟通学科教师与软件开发人员的有效工具。根据设计要求,需要收集、采集、编辑制作教育软件所需的多媒体素材,并且利用各种工具软件处理各种媒体素材,然后编写实现所需功能的程序。

(3)软件实现阶段

根据教育需求分析以及设计脚本进行软件需求分析,然后进行教育软件的架构和结构设计,定义接口,建立数据结构,规定标记。接着对每个模块进行过程设计、编码和实现。

本阶段首先的任务主要由软件分析人员来承担,它在需求分析和设计的基础之上从软件的角度来进行软件的需求分析。产生的需求分析文档应当包括目标、条件和限制、运行环境;软件的数据分析与描述;软件功能划分与描述;软件的性能需求(包括时间、适应性和友好性);软件的运行需求(用户界面、软硬件接口、故障处理);软件的其它需求(如可使用性、

安全性、可维护性、可移植性等)。应当保证所开发的教育软件能够符合国家对教育软件的评审标准、其它标准规范和法律规定(如文字规范、知识产权保护等)。然后,进入软件设计阶段,包括软件的模块层次结构设计及接口设计、模块内部算法的详细设计、编码与测试,它们主要由高级程序员和程序员来完成。在程序设计人员完成对软件开发与整体测试之后,应当由一专家组对所完成的软件进行全面的审核,以排除软件中较基本的错误或问题。

由于软件涉及大量的人机交互活动,对人机界面要求很高,因此需要对初步完成的软件进行精细化加工,对教学内容、文字表达、教学策略、动画音像、执行时间、交互过程、用户界面等内容进行反复改进与调整,才能达到较理想的效果。本阶段需要由软件开发人员、教师、美工、动画和音像等多方面的专业人员共同参与。

(4)测试阶段

进行组合测试和有效性测试,对每一个测试用例和结果都要进行评审。测试用例的编写包括软件运行用例和教育内容测试用例两个部分。软件测试过程主要分为专家测试和用户测试,而软件的确认测试可以选择第三方组织进行。

(5)实验阶段

教育软件产品不仅应当通过专家和评审机构的测试和鉴定,更重要的是要在实际的教学应用过程中取得实际的效果,获得应用单位和广大师生的认可。因此一个教育软件在经过专家初审和精细化完善后,还应当进行适当规模和时间的实际教学应用实验,认真搜集各类用户(使用单位、教师、学生、专家)对教育软件的反映、意见和建议。再对教育软件进行修改、完善、文档整理并通过最后评审,才能正式交付使用。

(6)运行维护阶段

教育软件交付用户使用,除了软件之外,还应当包括一完整的用户手册及若干应用实例,提供出现错误和故障后的服务办法和升级措施等。维护工作包括4类:①改正性维护。修改在教育软件中所发现的错误;②适应性维护。为与教育软件应用环境的变化(如微机升级、内存或硬盘容量扩大、操作系统升级等)而进行的修改教育软件的活动;③完善性维护。为了满足教育软件用户提出增加的新功能或修改已有功能的要求而进行的修改教育软件的活动;④预防性维护。为了改进教育软件未来的可维护性或可靠性而修改教育软件的活动。通常,第②、③类维护是主体工作。为了减少维护工作量和使维护工作得以有效地进行,教育软件开发人员和机构在开发教育软件时应当遵循软件工程学的原则,保证各阶段产生的结果和文档都应符合教育软件可维护性的有关要求。

5 教育软件开发模型

为了反映软件生存周期内各种工作应如何组织及周期各个阶段应如何衔接,需要用软件开发模型给出直观的图示表达。软件开发模型是软件工程思想的具体化,是实施于过程模型中的软件开发方法和工具,是在软件开发实践中总结出来的软件开发方法和步骤。总的说来,软件开发模型是跨越整个软件生存周期的系统开发、运作、维护所实施的全部工作和任务的结构框架。

(1)教育软件瀑布模型

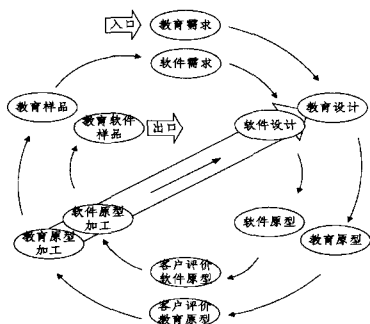
```

graph TD
    A[总体计划] --> B[教学需求分析]
    B --> C[教学设计]
    C --> D[脚本编写]
    D --> E[软件需求分析]
    E --> F[软件设计]
    F --> G[软件实现]
    G --> H[总体测试]
    H --> I[教育实验]
    I --> J[运行维护]
    J --> K[运行维护]
    K --> I
    I --> H
    H --> G
    G --> F
    F --> E
    E --> D
    D --> C
    C --> B
    B --> A
  
```

Figure 1-1 is a waterfall model diagram for software development. It shows a sequence of steps: 总体计划 (Overall Plan), 教学需求分析 (Teaching Requirement Analysis), 教学设计 (Teaching Design), 脚本编写 (Script Writing), 软件需求分析 (Software Requirement Analysis), 软件设计 (Software Design), 软件实现 (Software Implementation), 总体测试 (Overall Testing), 教育实验 (Educational Experiment), and 运行维护 (Operation and Maintenance). The steps are grouped into phases: 计划阶段 (Planning Phase) for 总体计划; 教育实现阶段 (Educational Implementation Phase) for 教学需求分析, 教学设计, and 脚本编写; 软件实现阶段 (Software Implementation Phase) for 软件需求分析, 软件设计, and 软件实现; 测试阶段 (Testing Phase) for 总体测试; 实验阶段 (Experiment Phase) for 教育实验; and 运行维护阶段 (Operation and Maintenance Phase) for 运行维护. Arrows indicate the flow from one step to the next, with some feedback loops.

教育软件的瀑布模型为软件开发和软件维护提供了有效的管理模式。根据模式制定开发计划、教学设计和实现,进行成本预算、组织开发力量,以项目的阶段评审、教育脚本实现和转换进度以及文档控制为手段有效地对整个开发过程进行指导,从而保证了教育软件产品及时交付,并达到预期的质量要求。

教育软件原型开发模型(Prototype Model)如图 3 所示,从需求分析开始。教育软件开发者和用户在一起定义软件的总目标,说明需求,并规划出定义的区域。然后快速设计软件中对用户可见部分的表示,得到了原型的建造。原型由用户评估,并进一步求精待开发软件的需求。逐步调整原型,使之满足用户软件和教育方面的需求,这个过程是迭代的。



6 教育软件工工程与传统软件工工程的关系

传统软件 工程阶段	教育软件 工程阶段	一致性	特殊性描述
计划阶段	计划阶段	Y	
需求分析	教育需求分析	N	针对特定的用户进行的学习者分析
	软件需求分析	Y	
设计阶段	教学设计	N	面向特定的教育目标,完成特定的教育任务
	软件设计	Y	
实现阶段	脚本实现	N	对教育过程性脚本进行实现和再编辑工作
	软件实现	Y	
测试阶段	测试阶段	Y	为检验教育效果和改进教育过程而进行的数据采集和分析工作
	教学实验	N	
运行维护	运行维护	Y	

教育软件工程研究的发展方向主要涉及以下两个方面:教育软件产业和教育软件产品。教育软件产业作为一种宏观战略活动,其动态管理和反馈构成循环;教育软件产品作为一种微观的教育活动,其产品开发和应用构成循环。

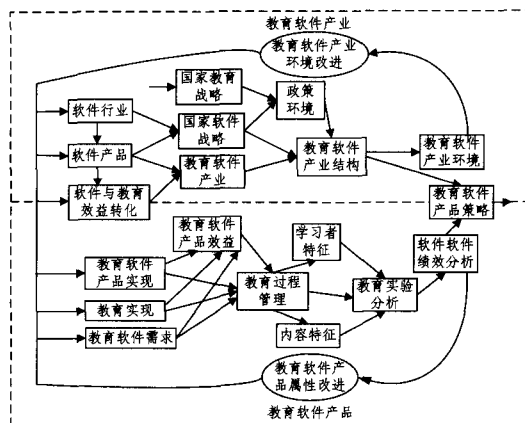


表2 教育软件工程专业研究发展分层结构

[illegible]

针对软件工程研究的不同目标粒度^[17],可以将教育软件

工程的研究内容划分成6个层次,每个层次增加了新的侧重领域,如表2所示。研究的方向按照由上到下的层次逐步增量地扩大,研究目标的粒度由教育级逐渐过渡到产品最终达到教育软件战略级的发展方向。该结构说明在不同的层次方向,研究的范围侧重和应用各有不同。

结束语 教育软件工程是一种非常重要的新的交叉领域。它使得软件工程和教育成为一个协同体,用教育和软件的视角来分析和处理宏观教育软件行业和微观教育软件关系单元和产品的题目,对于教育软件产品决策和教育软件产业分析具有重要的现实意义。教育软件工程对于未来教育软件产业将产生深远影响。

参考文献

- [1] 陈莉.我国中小学教育软件资源建设的现状分析与建议.中国电化教育,2002(3):46-49
- [2] 郑永柏.中国教育软件发展的过去、现在和未来.中国远程教育,2001(4):61-62
- [3] 李克东,费玉珍.美国中小學生远距教育和计算机辅助教学考察报告.中国电化教育,1997(1):9-13
- [4] 李怀璋,李明树.基于ISO9000和CMM的软件过程改进及其实工程.软件学报,2002,13(增刊):113-119
- [5] 艾伦,王陆.教育与信息技术的交叉理科与工科培养模式的结

合一教育技术学系教育软件工程方向的建设思路.电化教育研究,2003(7):23-24

- [6] 李昭智,卞蔡,于长云,等.时代呼唤教育软件工程学.宁夏大学学报:自然科学版,1996,17(增刊):3-8
- [7] 袁宏伟.谈教育软件的开发-在第四届全国计算机应用联合学术会议上的交流报告.计算机系统与应用,1997(11):54-55
- [8] 王万良,王陆,杨卉.教育软件工程专业人才培养模式的探讨.电化教育研究,2006(2):39-42
- [9] 胡礼和.现代教育技术学.武汉:湖北科学技术出版社,2000
- [10] 李昭智,于长云.教育软件开发的基本原理与准则的探讨.微小型计算机开发与应用,1996(6):7-10
- [11] 师书恩.计算机辅助教育.北京:北京师范大学出版社,1995
- [12] 李运林,李克东.电化教育导论.北京:高等教育出版社,1986
- [13] 李克东,费玉珍.美国中小學生远距教育和计算机辅助教学考察报告.中国电化教育,1997(1):9-13
- [14] 何克抗.计算机辅助教学研究与发展.北京:高等教育出版社,1996
- [15] 师书恩.计算机辅助教育基本原理.电子工业出版社,1995
- [16] 桑新民.当代信息技术在传统文化-教育基础中引发的革命.教育研究,1997(5):18-23
- [17] 方海光.软件工程经济研究和发晨趋势.计算机工程,2006(18):3-6
- [18] Boehm B W, Sullivan K J. Software Economics: a Roadmap // Proceedings of the ICSE22. 2000:7-11

(上接第9页)

动子预测上具有较高的效率^[19]。

但是目前启动子的预测尤其是真核启动子的预测由于以下原因还是一个巨大的挑战:收录的已知体外实验验证的启动子序列太少,很多基因的启动子没有被发现;收录的基因序列的上游序列一般是不完整的;真核生物的启动子比原核生物的复杂得多;尽管有些启动子在DNA上是客观存在的,但是无法用体外实验证明,因为启动子的功能还和其他很多因素有关。这个挑战无疑会带来许多新的惊奇。本文介绍的4种技术尽管在一定领域内预测启动子都能得到较好的结果,但没有一个通用的模型去预测所有物种、所有基因的启动子,那么不妨就先从预测某类基因的启动子序列开始,慢慢地积累各类启动子的知识。随着生命科学和计算机科学进步,可以预期对真核生物启动子预测工作肯定会有所突破,新的生物信息学工具的研发也会有助于该问题的解答,最终这个挑战会迎刃而解。

参考文献

- [1] 姚凤霞,张瑞芳,刘春宇,等.真核生物RNA聚合酶II启动子的计算机预测[J].国外医学遗传学分册,2005,8(1):6-9
- [2] P. C. 特纳, A. G. 麦克伦南, A. D. 贝茨,等.分子生物学[M].第二版.刘进元,李文君,王薛林,等译.北京:科学出版社,2000
- [3] Gardiner-Garden M, Frommer M. CpG islands in vertebrate genomes[J]. J Mol Biol, 1987, 196 (2): 261-282
- [4] 周春光,梁艳春.计算智能[M].长春:吉林大学出版社,2005
- [5] 熊清,王远强,李志良.基于遗传神经网络的启动子识别系统[J].生物医学工程学杂志,2006,23(4):730-733
- [6] Knudsen S. Promoter2.0: for the recognition of PolII promoter sequences[J]. Bioinformatics, 1999, 15(5): 356-361
- [7] Vapnik V N. The nature of statistical learning [M]. New York: Springer-Verlag, 1995
- [8] 祁享年.支持向量机及其应用研究综述[J].计算机工程,2004,30(10):6-9

- [9] Zhang Ling. The Relationship Between Kernel Functions Based SVM and Three-layer Feed Forward Neural Networks[J]. Chinese J. Computer, 2002, 25(7): 1-5
- [10] Zhang Ling, Zhang Bo. Relationship Between Support Vector Set and Kernel Functions in SVM [J]. J. Comput. Sci. & Technol., 2002, 17(5): 549
- [11] Gangal R, Sharma P. Human polII promoter prediction: time series descriptors and machine learning [J]. Nucleic Acids Research, 2005, 33(4): 1332-1336
- [12] 徐文韬,叶子弘,俞晓平.基于支持向量机(SVMs)的人类核心启动子的识别[J].安徽农学通报,2006,12(13):64-66
- [13] 杜耀,王正,倪青,等.一种基于特征筛选的原核生物启动子判别分析方法[J].生物物理学报,2006,22(1):39-48
- [14] Ramana V D, Gross I, Zhang M Q. Computational identification of promoters and first exons in the human genome [J]. Nat Genet, 2001, 29(4): 412-417
- [15] 吕军,罗辽复.人类polII启动子的识别[J].生物化学与生物物理进展,2005,32(12):1185-1191
- [16] Bucher P. Weight matrix description of four eukaryotic RNA polymerase II promoter elements derived from 5023 unrelated promoter sequences[J]. J. Mol. Biol., 1990, 212: 563-578
- [17] Berg O G, von Hippel P H. Selection of DNA binding sites by regulatory proteins. Statistical-mechanical theory and application to operators and promoters[J]. J. Mol. Biol., 1987, 193: 723-750
- [18] Gershenzon N I, Stormol G D, Ioshikhes I P. Computational technique for improvement of the position-weight matrices for the DNA/protein binding sites[J]. Nucleic Acids Research, 2005, 33(7): 2290-2301
- [19] 荀靓,张利,甄一松,等.基于PWM扫描算法的启动子区域统计分析[J].清华大学学报:自然科学版,2006,46(7):1267-1270
- [20] Lu Xinhua, Sun Jigui, Ren Ying, et al. The Regulation of Gene Expression in E-Cell [C] // Proceedings of Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007). Volume 3, Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2007
- [21] 卢欣华,孙吉贵. Analog Cell: 一种新的电子细胞图形模型[J].电子学报,2007,35(1):49-53