

产品多学科协同设计中基于语义推理的动态协调方法*

陈亮 张邵平 王伟

(福州大学机械工程及自动化学院, 福州 350002)

【摘要】 一致性维护和协调是协同设计中的关键问题,针对产品多学科协同设计的多视图性和动态性的特点,引入了一种动态协调原理和方法,其主要思想是当某学科设计者在协同设计过程中根据需求在其学科视图模型中动态增删组件后,通过基于组件功能语义的推理机制,其他学科自动响应,进行各自学科视图模型的更新操作,从而实现多学科视图模型间的动态协调。采用 JSP + JavaBean + Drools + Ajax 及相关技术开发了一个原型系统,并以减速器设计为例进行了分析与说明。

关键词: 多学科协同设计 语义推理 动态协调 一致性维护 产品建模

中图分类号: TH112; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)05-0208-06

Dynamic Coordination Principle and Method of Multidisciplinary Collaborative Product Design Based on Semantics Reasoning

Chen Liang Zhang Shaoping Wang Wei

(College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract

Consistency maintenance and coordination are key issues in collaborative design. Aiming at the characteristics of multiple views and dynamic nature for multidisciplinary collaborative product design, a dynamic coordination principle and method were introduced. The main idea was when one discipline dynamically added or deleted some components in the discipline view model itself according to its demands, other disciplines would respond through a mechanism based on semantic reasoning about the components' functions and automatically update their discipline view models, and then the dynamic coordination among the multiple discipline view models was achieved in the collaborative design process. Using JSP, JavaBean, Drools, Ajax and other related techniques, a prototype system was developed, and a reducer was illustrated to validate the proposed principle and the method.

Key words Multidisciplinary collaborative design, Semantics reasoning, Dynamic coordination, Consistency maintenance, Product modeling

引言

随着产品需求的多样化和复杂化,需要多个学科领域的协同来完成产品设计。对于一个产品及其组成元素,各学科都有自己的视角,对元素的功能、行为和结构拥有自己的理解和解释,用它自己的概念、方法和知识对各个元素建立隶属于自身领域的学科视图模型,是产品模型在该学科中的映像。若

有多个学科同时参与产品的设计,则存在多个学科视图模型,它们相互关联而构成产品的多视图模型结构。由于针对的是同一个产品,多个学科视图模型间不可能完全独立,必然存在着相互制约、相互关联的关系。为了保证协同设计能够顺利进行,必须建立一个有效的协调机制,以避免和解决不同学科间的冲突,维护多个学科视图模型间的一致性。

一致性维护主要是关注在产品模型的进化过程

中多学科模型数据的一致性管理问题。文献[1~2]使用约束来表达工程要求,求解这些约束可得出设计变量的可行解空间,可检测设计者间的人工冲突,辅助设计人员进行决策。文献[3~5]研究了多设计主体间的协调问题,当某处的模型数据发生变化时,将变化信息及时传播到相关的地方,使相关数据进行相应变化来维护模型数据的一致性。文献[6]提出支持复杂产品并行协同设计的广义动态约束网络概念,并给出数学模型,提出基于仿真分析和元模型技术的领域级约束建模方法。文献[7]在 CSP 的基础上,提出 CoCSP 模式,在此模式下,为实时管理多个设计者的设计参数以达到一致性,提出了一种最小化不满足一致性的设计参数算法。它们主要考虑的是数值型数据间的协调,未考虑功能等语义层次的协调。文献[8]描述了设计数据库的进化建模过程,综合考虑了产品的几何和非几何信息,探讨了进化过程中的一致性维护问题。本文主要研究多学科协同设计过程中,动态添加/删除组件时,多学科视图模型间的动态协调和一致性维护问题。

1 多学科间的动态协调原理

产品的设计过程是从需求开始,经历功能、行为、结构的多次迭代映射,在协同设计中,这种迭代是多个学科并行交叉的过程,多学科视图模型间除了在物理结构层存在约束关系外,在功能、行为等语义层上也存在着关联关系(图1)。因为产品最终的几何物理结构是语义推理的结果,语义与物理结构之间存在着密切的关联关系,将多学科视图模型间

的关联关系扩展到语义层,对有效实现多学科视图模型间的一致性维护是至关重要的。

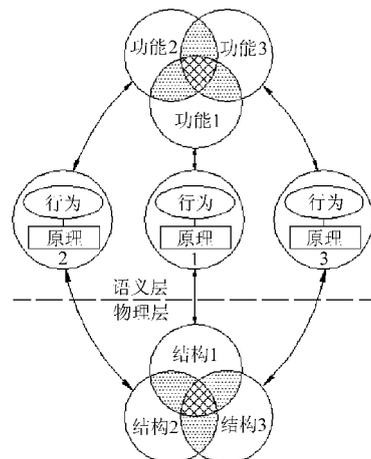


图1 多视图模型间的多层次关系
Fig.1 Multilayer relations among the multiple discipline views

当一个组件的功能为几个学科所共同关注时,在几个学科模型中都会产生该组件的视图,这样关于该组件几个学科视图模型是功能关联的。在产品开发过程中,通常会由于工程更改而引起组件的增删。若某学科在其现有模型的基础上,动态地添加或删除一些新的组件对象,其他学科根据各自的需要,对自身的学科模型进行变动和更新,实现协调和一致性维护,使学科间约束关系网络达到新的稳定状态,称之为学科模型间的动态协调。

这种动态协调在结构层是难于实现的,需要通过语义推理来实现,其原理如图2所示,当某学科添

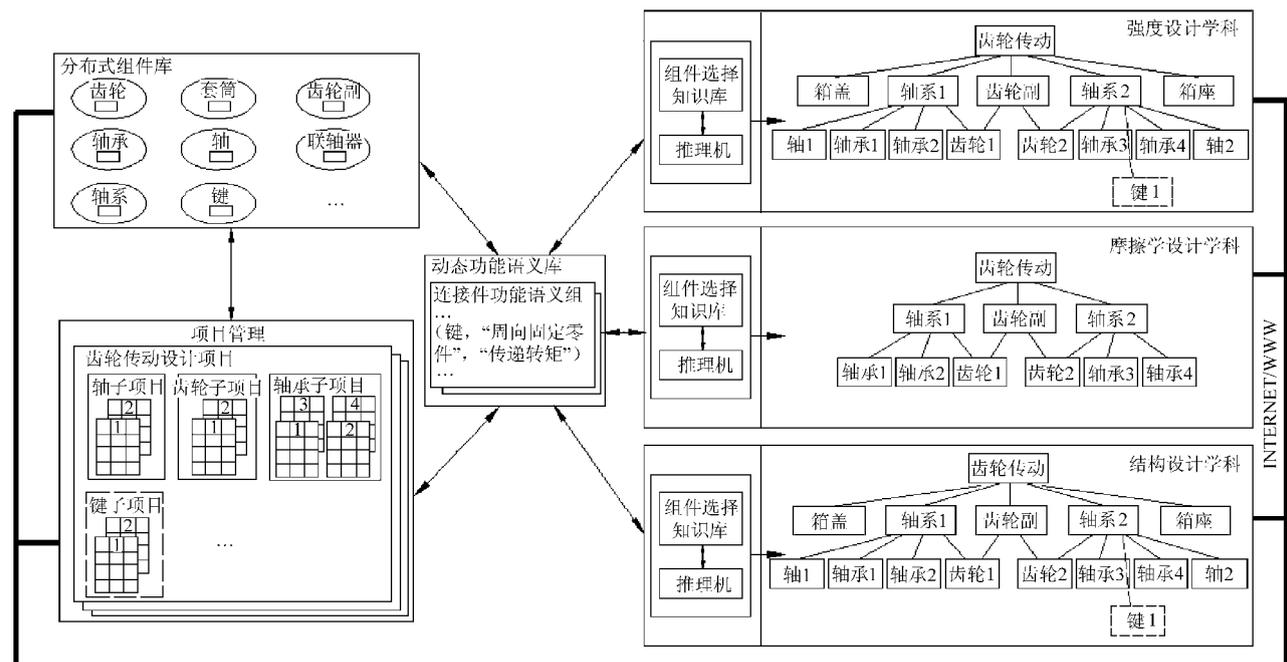


图2 多学科视图模型间的动态协调

Fig.2 Dynamic coordination among the multiple disciplines view models

加了新组件后,项目管理模块就将新组件的功能语义添加到动态功能语义库中。基于动态功能语义库,其他学科进行推理,判断新组件的功能语义是否是自己所关注的,若为自己所关注,则将新组件添加进自身的学科模型中,否则就忽略新组件。知识库和动态功能语义库按照设计项目进行分类分组管理,以提高推理时搜索和匹配的效率^[9]。

例如,若结构设计学科在其学科模型中添加一个键组件,则项目管理模块将其功能语义信息(键,“周向固定零件”,“传递扭矩”)添加到动态功能语义库中的连接件功能语义组,向其他学科进行发布。其他学科进行推理,强度设计学科认为“传递扭矩”是它要关注的功能(因为载荷直接关系到键的剪切强度与挤压强度问题),所以将键组件加入到本学科模型中;而耐磨性设计学科并不关注这2个功能(此处的键为静联接),所以就不将键组件加入到本学科模型中。其他组件对象的添加过程类似。

若在产品建模过程中,某学科出于自身的考虑要动态地删除一些组件对象,则需根据不同的情况分别进行处理。若组件对象仅隶属于该学科自身,则该学科可以从自身学科模型中删除组件对象,与这些组件相关的所有关系和约束一并删除,同时要从项目管理模块中将相应的组件项目删除;若组件对象同时还隶属于其他学科,则需所有相关学科均认可才能删除,且所有相关学科均应从自身学科模型中删除这些组件对象及相关的关系和约束,项目管理模块中相应的组件项目也同时删除。

2 多学科间的动态协调实现

组件模型采用扩展的面向对象方法来表示,产品的一个组件可以表达为一个类 C (组件类 CC)

$$C = (Cid, \{A\}, \{R\}, \{M\})$$

其中: Cid 是组件类的标识符。 $\{A\}$ 是组件类的属性

集,包含零件的功能、行为和物理结构等属性信息,各属性从不同的侧面对产品组件进行了描述。 $\{M\}$ 是组件类的方法集, $\{R\}$ 是组件类的关系集。

采用规则引擎来实现上述动态协调过程。在某学科添加新组件时,首先从组件的上述模型中提取其功能属性信息,形成该组件的功能语义信息表达:(组件名,功能信息,功能信息,...),添加到动态功能语义库中,然后其他相关学科通过规则推理来确定是否添加。

具体实现中,规则引擎采用 Drools(一种用 Java 语言编写的开放源码规则引擎,使用 Rete 算法对所编写的规则进行求值,适用于面向对象的推理机制),基于 Drools 规则引擎的推理机制如图 3 所示,模式匹配器(pattern matcher)对提交给引擎的数据对象集(即事实集 facts,本文为功能语义信息集),存储在工作内存(即动态功能语义库)中。功能语义信息从设计者输入信息数据库中提取和生成,数据库采用 MySQL 构建进行检索,根据这些对象的当前属性值和它们之间的关系,从加载到引擎的规则集(即 rules,存储在规则区 production memory 中。因为知识库是按照设计项目进行分类存储的,所以在加载时也是根据设计项目来加载相应项目的规则文件)中发现符合条件的规则,创建这些规则的执行实例并激活,在议程(agenda)的控制和管理下,建立这些规则执行实例的优先序队列,以避免冲突。这些实例将在引擎接到执行指令时,依照优先序依次执行。执行引擎(execution engine)则负责执行规则执行队列中的规则。当工作内存中的数据发生改变后,引擎需要迅速根据工作内存中的数据对象现状,调整规则执行队列中的规则执行实例。

知识库中包含多个以 *.drl 形式存储的规则文件,每个规则文件包含多条规则,规则表示形式为^[7]

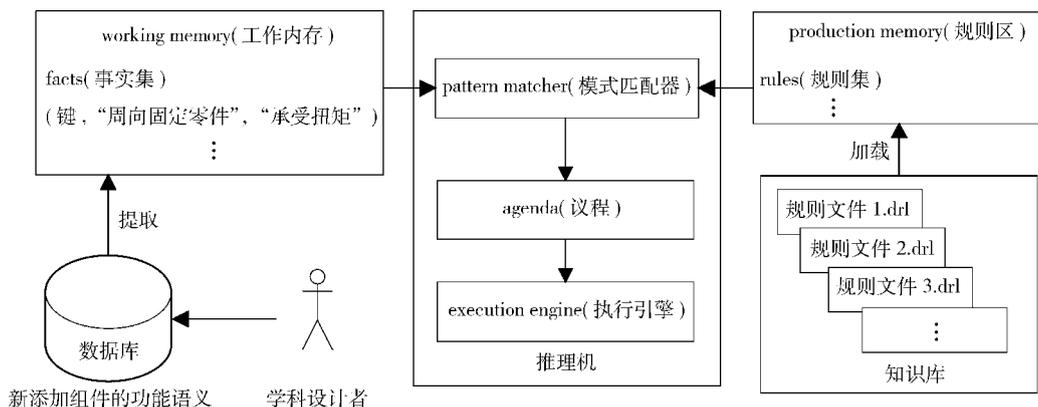


图3 基于 Drools 规则引擎的推理机制

Fig. 3 Reasoning mechanism based on Drools

```

rule "name"
  <salience><value>
  when
    <LHS>
  then
    <RHS>
  end

```

其中 name 表示规则名, salience 表示规则的优先级, value 值表示具体的优先级别, when 下的 LHS 表示规则触发的条件, then 下的 RHS 表示规则触发后要执行的动作。

多学科模型间的动态协调的详细流程如图 4 所示。接收到某学科添加新组件信息后,其他学科针对该组件的功能语义信息进行推理来判断是否为自己所关注,若为关注的对象,则系统弹出“是否添加该组件”的消息确认框,学科设计者确认后,由项目管理模块将该组件的相关信息写入学科的设计数据库中。

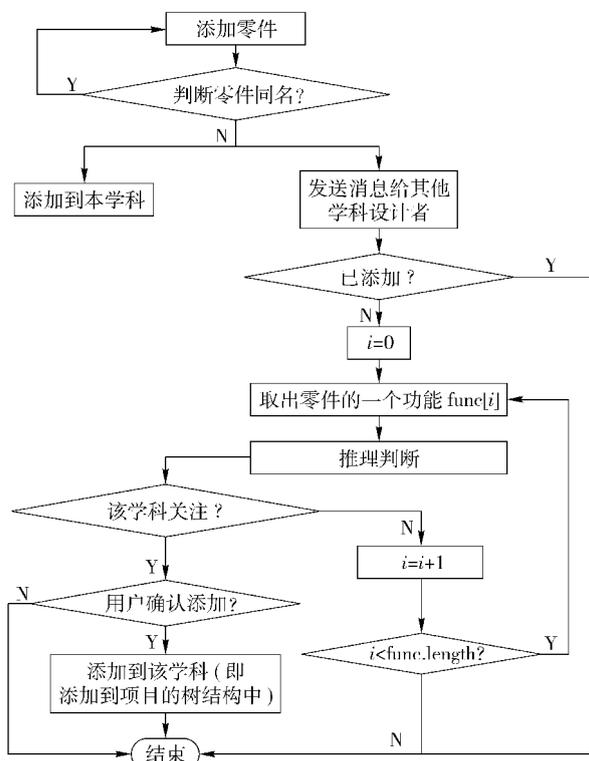


图 4 多学科模型间的动态协调过程流程图

Fig. 4 Dynamic coordinating process among the multiple disciplines view models

添加或删除零件后学科设计页面需要实时更新。传统上若加入新的数据,需要重新向服务器请求数据并进行刷新才能显示,无法实现同步实时更新,不能满足动态协调的时效性要求。故采用 Ajax 技术实现页面实时更新。Ajax 是一种运用 JavaScript 和可扩展标记语言 (XML),在网络浏览器和服务器之间传送或接收数据的技术。在浏览器和

服务器之间,它使用异步数据进行转换,并允许网页向服务器索取少量信息而非整个网页。运用 Ajax,网络应用程序将变得更小、更快、更易于使用。具体是应用 DOM 技术,建立一个包含特殊效果的 Web 页面,所有页面元素都使用 JavaScript 操纵 DOM 来创建,不需要刷新页面,而是让程序自动刷新,定时向服务器请求数据,利用 XMLHttpRequest 发出请求并取得数据,传到客户端,客户端重新组织并显示数据。添加或删除零件后学科设计页面实时更新的工作原理如图 5 所示, JSP 页面通过 Ajax 技术对学科数据库进行实时访问,使得组件的变动情况能够在各学科设计页面的项目树结构中实时显示,并能与该组件的设计页面相关联。

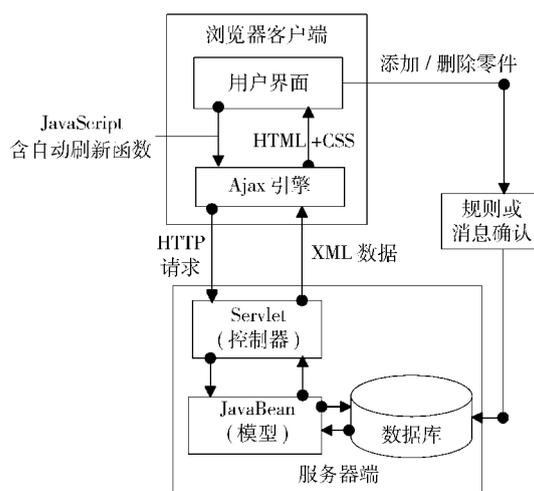


图 5 基于 Ajax 实现学科设计页面实时更新

Fig. 5 Real-time updating of the discipline's design page based on Ajax

3 实例分析

采用 JSP + JavaBean + Drools + Ajax 及相关技术初步开发了一个动态协调系统,下面以减速器设计为例进行分析说明。减速器的总功能为减速增矩,是由减速器各组件的功能配合来实现的,减速器各组件的功能和关注学科如表 1 所示。

据此设计知识库,其中包含多条规则,示例如下(片断)

```

rule "reducer_rule1"
  when
    $s:Basicpartbean( name == "轴承" );
    $s:Basicpartbean ( function == "支承零件" );
    $s:Basicpartbean( function == "承受载荷" );
  then
    $s.setState( "DStre" );

```

```

    $ s.setState("DStru");
end
rule "reducer_rule2"
:
end
:

```

首先学科设计者登录到协同设计系统主页面,经系统验证后跳转到学科设计界面(只显示该学科关注与设计的零件,即该学科的局部视图;对于项目管理员则显示所有学科的全局视图)。

当需要添加新零件时,点击“添加新零件”链接

跳转到添加新零件的页面,然后选择并添加所需的零件。首先验证该零件是否同名(以零件名和数字序号合并组成添加零件的名称,如轴1和轴2是两个不同的零件,同名零件在一个学科中只能添加一次);接着将所添加新零件的功能信息加到动态功能语义库中,并发送消息给其他学科设计者;其他学科设计者接收到消息后,单击“推理”按钮,规则引擎就会根据所添加零件的功能信息进行推理,来判断所添加的零件是否是本学科关注的零件,若为本学科所关注,则将该零件模型添加到该学科设计目录下,否则将不添加到该学科设计目录中。

表1 减速器各组件功能和关注学科

Tab.1 Component functions and concerned disciplines in the reducer

组件	功能	关注学科
齿轮副(大、小齿轮)	传递运动、传输动力	结构设计学科、强度设计学科、摩擦学设计学科
轴	支承零件、传输动力	结构设计学科、强度设计学科
轴承	支承零件、承受载荷	结构设计学科、强度设计学科
螺栓	联接零件、承受预紧力	结构设计学科、强度设计学科
销钉	固定和定位零件	结构设计学科
键	周向固定零件、传递扭矩	结构设计学科、强度设计学科
套筒	轴向固定零件、承受轴向力	结构设计学科、强度设计学科
轴端挡板	轴向固定零件、承受轴向力	结构设计学科、强度设计学科
箱体	支承零件、承受载荷、密封零件	结构设计学科、强度设计学科
润滑剂	润滑零件	摩擦学设计学科
润滑结构	添加贮存润滑剂	结构设计学科
密封件	密封零件	结构设计学科
端盖、挡油板	密封零件	结构设计学科

图6为结构设计学科设计者Stru01登录系统后进行组件添加时显示的页面。在“零件知识库”区域,设计者可以对所要添加零件的属性信息进行查看和编辑。在“添加零件”区,零件的选择框采用级联关系,学科设计者添加新零件后,新零件会实时显示在左边的“结构设计学科”下“减速器”的树结构中,并发送消息给其他学科的用户,比如发送给强度设计学科。在强度设计学科页面会自动弹出消息框来提示设计者,并采用Ajax技术使该消息会显示在“未处理消息”下拉框中,强度学科设计者Stre01选

择此消息进行推理,判定该新添加零件为强度设计学科关注,并弹出确认对话框,设计者Stre01确认后,该零件就会添加在“强度设计学科”下“减速器”的树结构中(树结构的更新显示采用Ajax技术,实现无闪烁自动刷新),且推理后的消息会自动显示在“已处理消息”框中,完成后的强度设计学科页面如图7所示。

当需要删除零件时,点击“删除零件”链接,发送信息给相关学科的设计者。当所有学科设计者都同意删除这个零件时,该零件就被删除。如有一些



图6 动态添加零件

Fig.6 Component dynamic adding



图7 推理后显示的界面

Fig.7 Page after semantics reasoning

学科设计者不同意,该零件就不能被删除,需要通过相关学科设计者间的协商来确定是否删除该零件。

4 结束语

产品设计是从功能到物理结构的映射,而功能是用户需求在产品设计师所处的技术环境中的映射,设计者关注的是产品的功能,产品设计始于功能需求,终于功能需求的满足。在多学科协同设计中,

多学科设计间的协调和一致性维护是保证协同设计成功的关键。对于添加/删除组件对象的情形,需要通过基于功能语义的推理来实现,本文对此进行了研究,给出了相应的原理和实现方法,开发了一个原型系统,以减速器为例进行了分析和说明。这种语义推理的方法灵活和柔性,也与人的设计思维和推理过程相吻合,从而有效地实现多学科设计间的动态协调,提高协同设计的质量和效率。

参 考 文 献

- 1 Lottaz C, Smith I F, Nicoud Y R, et al. Constraint-based support for negotiation in collaborative design [J]. *Artificial Intelligence in Engineering*, 2000, 14(3):261~280.
- 2 张少彤,熊光楞,李涛. 基于参数协调模型的多学科协同设计方法[J]. *计算机学报*, 2004, 27(1):115~120.
Zhang Shaotong, Xiong Guangleng, Li Tao. Multidisciplinary design method based on parameter coordination model [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2004, 27(1):115~120. (in Chinese)
- 3 Xue D, Xu Y. Web-based distributed system and database modeling for concurrent design [J]. *Computer-Aided Design*, 2003, 35(5):433~452.
- 4 Xuan F Zha, H Du. Knowledge-intensive collaborative design modeling and support, part II: system implementation and application [J]. *Computers in Industry*, 2006, 57(1):56~71.
- 5 何德林,王耕耘,李志刚. 基于分布式约束网络的协同设计研究[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2002, 14(4):329~332.
He Delin, Wang Gengyun, Li Zhigang. Study on collaborative design based on distributed constraint-net [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2002, 14(4):329~332. (in Chinese)
- 6 王伟明,王迎春,胡洁,等. 基于仿真的广义动态约束网络建模技术[J]. *上海交通大学学报*, 2005, 39(12):1 933~1 937.
Wang Weiming, Wang Yingchun, Hu Jie, et al. The modeling method of generalized dynamic constraints network based on simulation [J]. *Journal of Shanghai Jiao Tong University*, 2005, 39(12):1 933~1 937. (in Chinese)
- 7 Pierre-Alain Yvars. A CSP approach for the network of product lifecycle constraints consistency in a collaborative design context [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2009, 22(6):961~970.
- 8 Xue D, Yang H, Tu Y L. Modeling of evolutionary design database [J]. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2006, 6(3):22~32.
- 9 陈亮,王伟. 产品多学科协同设计中的一致性维护方法[J]. *中国机械工程*, 2010, 21(12):1 447~1 452.
Chen Liang, Wang Wei. Consistency maintenance of multidisciplinary collaborative product design [J]. *China Mechanical Engineering*, 2010, 21(12):1 447~1 452. (in Chinese)

(上接第 174 页)

- 6 Piraux F, Dardenne P. Feed authentication by near-infrared microscopy [C]//Proc. of the 9th International Conference on NIRS, 1999.
- 7 Delgado B, Soldado A, Fernández A, et al. Application of NIRM for the detection of meat and bone meals in animal feeds: a tool for food and feed safety [J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(3):1 164~1 170.
- 8 Holst C, Baeten V, Boix A, et al. Transferability study of a NIRM method for the detection of banned meat and bone meal in feeding stuffs [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2008, 392(1~2):313~317.
- 9 Commission Regulation (EC) No.152/2009. Laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed [S].
- 10 Baeten V, Holst C, Garrido A, et al. Detection of banned meat and bone meal in feedstuffs by NIRM analysis of the dense sediment fraction [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2005, 382(1):149~157.