

# 一种基于关系模型的动态内容表达方法与实现

田野,张新家,张平,张慧翔

(西北工业大学自动化学院,陕西西安710129)

**摘要:**目前对三维建模系统的研究多集中于图形性能的改进,而对系统动态内容表达的研究相对缺乏。在此背景下,文中针对性地提出一种基于关系的动态内容表达方法。针对关系的动态背景,建立过程模型;针对关系的作用方式,建立关系模型;并在概念模型基础上设计相应的模型组织与作用方式。通过概念模型对数据进行包装,结合模型的组织作用方式,系统规范了三维图形应用的动态内容表达,并引入一种基于关系的内容表达,以简化动态内容的创建过程。借助OpenSceneGraph三维图形引擎,对提出的三维动态内容表达机制进行了实现,验证了方案的可行性和有效性。

**关键词:**三维图形应用;动态内容表达;过程模型;关系模型

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)07-0062-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.07.015

## Dynamic Content Expression Method and Its Implementation Based on Relationship Model

TIAN Ye, ZHANG Xin-jia, ZHANG Ping, ZHANG Hui-xiang

(College of Automation, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

**Abstract:** Current research about the three-dimensional modeling system design focuses on graphics performance while neglecting to the dynamic content expression ability. Against this background, present a dynamic content expression method based on relationship model, a novel approach that aims to improve the dynamic content expression. It introduces the procedure model that models the dynamic background of the relationship, the relationship model based on relationship mechanism, and designs the organizational structure of models and the expression workflow. With concept models encapsulating data, combined the model organization and workflow expressing actions, the proposed system formalizes the dynamic content expression of 3D graphics applications, and brings a new expression method based on relationship that simplifies the generation of dynamic content. With the OpenSceneGraph graphics engine, an experimental implementation of the proposed method is developed to validate the feasibility and effectiveness.

**Key words:** three-dimensional graphics application; dynamic content expression; procedure model; relationship model

## 0 引言

尽管计算机图形应用在模型细节、仿真效果与可支持虚拟场景规模等方面有了长足进步,但三维图形应用的内容构建任务仍主要依靠人工操作来完成。随着图形应用产品规模的膨胀,应用内容构建所带来的人力资源消耗迅速增加。为解决大规模应用内容生成的问题,技术人员从不同的方向展开研究。王志伙等以三维视景仿真为背景提出了基于过程管理的3D仿真系统设计,旨在提高系统通用能力,减少不必要的内容搭建成本<sup>[1]</sup>。Leblanc等提出的基于组件的建模方式<sup>[2]</sup>,试图以复用已生成内容的方式减少应用开发的人工代价。过程式建模(procedural modeling)则采用

“数据库扩增”(database amplification)方法<sup>[3]</sup>,通过被称为过程(procedure)的机制来半自动地生成三维图形内容以减轻人工操作的压力。上述建模技术在植物建模<sup>[4]</sup>、粒子系统、建筑建模<sup>[2,5]</sup>或交通系统建模<sup>[6]</sup>等领域内取得了显著效果,但它们所关注的仅是静态图形内容的创建,对于动态模型涉及有限。相对于静态图形数据,模型动态数据的应用差异更为明显。即便通过一定的编辑修改,已生成的动态内容也难以在不同环境中复用。目前,对于三维图形应用动态内容创建方式的研究还非常有限。

主流的建模系统中动态内容的创建以关键帧(keyframe)方式为主,用户通过编辑三维场景在特定

收稿日期:2012-09-26

修回日期:2012-12-18

网络出版时间:2013-03-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60802084)

作者简介:田野(1987-),男,山西太原人,硕士研究生,研究方向为三维建模系统;张新家,副教授,研究方向三维图形系统、网络信息系统。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130305.0829.063.html>

帧中的状态并由计算机插值生成过渡内容,从而获取整套动作数据。关键帧方式的缺陷在于:

- 1) 它需要用户具备一定的背景知识;
- 2) 需要用户手工编写大量动作数据;
- 3) 用户难以预测最终效果,往往在动作编辑完成后,用户仍需要通过观看结果来进行动作的微调;
- 4) 一套动作即使通过一定的参数化,其表达内容的变化也非常小。

这些缺陷使基于关键帧技术的动态内容创建十分棘手。

为改进建模系统的动态内容表达能力,文中提出一套基于关系模型的动态内容表达机制。该机制下,用户可通过编辑关系模型来描述三维场景中的部分动态特征。对已生成关系模型,用户能以参数化的方式使关系模型所包含的动态内容普遍适用。简言之,即以简化动态特性描述与复用动态内容的方式来改善建模系统的动态内容表达能力。

除前述对内容生成的研究外,Bidarra等学者基于过程式建模理论所提出的“陈述式建模”(declarative modeling)<sup>[7]</sup>思想为文中基于关系的动态表达方式的形成提供了重要参考。而基于该理论所设计的陈述式建模系统架构<sup>[8]</sup>则在组织结构方面提供了样例。龙勇等演绎出的三维实体建模策略集具有极高的指导意义<sup>[9]</sup>。而杨斌和赵新灿等学者在概念模型建模<sup>[10]</sup>和虚拟环境建模<sup>[11]</sup>方面的研究指导了对关系与过程概念模型的设计。Benes与Krecklau以模型与环境间<sup>[12]</sup>以及模型之间<sup>[13]</sup>的关联为题的研究对关系模型的构建和作用方式很有价值。文中还参考了Smelik等阐述的集成过程式建模与传统手工操作的构造方法<sup>[14]</sup>和Hildebrandt等提供的一种交互式的对象时空控制方案<sup>[15]</sup>。特别值得一提的是,Bazargan等对虚拟环境中的“非几何图形信息”(non-geometric information)的研究<sup>[16]</sup>极具启发性。而在系统设计方面,徐祯与刘伟等关于建模系统的讨论则为文中提供了参照<sup>[17, 18]</sup>。

## 1 基于关系模型的动态内容表达机制

在自然语言中,关系概念可定义为:事物之间的相互作用与相互影响。基于此定义可知:1) 关系属“非几何图形信息”范畴;2) 关系必须通过动态环境表达。具体到三维图形应用中,即:关系并不依赖渲染来表达,而是通过三维场景的动作来体现。举例而言,对于场景中的两个物体,假设二者处于“保持相对距离不变”这一关系中,则只有当其中一方的位置变动引起另一方随之变化时,关系才可能被用户注意到。由此可见,关系概念本身即包含有动态特性在其中。基于关系的动态特性,若系统具备理解并能正确表达关系

概念的能力,则用户可通过描述关系来描述关系表达的动态过程。此即基于关系的动态内容表达机制的核心思想。

动态内容表达机制包含过程模型、关系模型、模型的组织与作用方式三个主要部分。下文将结合“场景中两个物体保持一定间距”这一具体用例来对该机制进行阐释。

### 1.1 过程模型

如前所述,关系必须通过动态场景来表达。换言之,任意一个关系都必定附属于特定的动态背景中。根据这个结论,论文提出过程模型以描述关系所在的动态背景。过程定义为一个包含对象数据、关系数据、动态特征数据的集合,它能以如图1所示(图中左侧部分)的三元组的形式来表示。

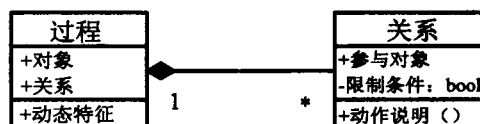


图1 过程与关系模型及其组织方式

其中,对象指与过程相关的全部实体的集合(含可渲染与不可渲染实体);关系指该过程所涉及到的所有关系模型的集合;而动态特征则指同关系表达相关的所有动作的集合。通过建立一个过程实例,系统即为表达特定关系准备好了必要的的数据,包含参与关系表达的实体(对象),关系内容(关系)以及表达关系需要的动作信息。

从系统结构的角度来看,过程模型起到了“容器”的作用,它组织起了完成动态内容表达所必须的全部数据,包含图形信息、动作信息、环境信息与其它必要数据。而从用户角度来看,过程模型可视为是一种任务单位,每一个过程都对应着一项动态内容表达任务。

结合前述的实例来解释过程模型的作用:对于“场景中两物体保持一定间距”这一描述,可建立如图2中所示过程实例(图中上半部分)。在这样一个过程中,物体AB保持一定距离的关系(关系)可通过物体A或B(对象)的移动(动态特征)表达出来。换言之,即该实例过程模型为“两物体保持一定距离”这一关系的表达预备了必要的动态背景。

### 1.2 关系模型

以过程模型为动态背景,再来分析关系的概念。在三维图形应用中,关系可视为一种动态限制。譬如,在三维场景中的两个物体处于“间距小于指定距离”这一关系中,则其中一个物体的位置变动必然会受另一方位置的限制。对各种类似的实例进行分析推广可以发现,三维图形应用中的关系均可表述为特定背景下,关系参与者条件性的动作表达。依据这一观察,关系可定义为:特定背景(过程)中一个包含参与对象数

据、限制条件、动作说明的集合,它能以如图 1(图中右侧部分)所示的三元组的形式表达。其中,参与对象是关系所在过程对象的一个子集,其中元素均与该关系相关;限制条件是一个返回布尔型结果的表达式;动作说明是当限制条件出现特定结果时,关系参与对象的反应动作数据集。

结合图 2 所示的实例,对以上表述进行阐释。为建立关系模型实例,首先需要相应的动态背景。在图 2 所示过程实例的基础上,可建立如图所示(图 2 中下半部分)的关系模型实例,来表达“间距一定”这一关系。该图例阐释了关系模型的概念,也反映出过程/关系模型的相互联系。关系模型的作用在于它规范了部分动态特性的表达。用户可以通过创建关系模型来完成对应动态内容的创建。同时,作为从自然语言中抽象出的模型,关系建模符合人类认知习惯,易于理解使用。

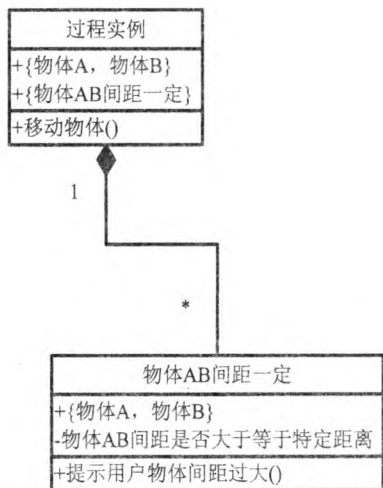


图 2 过程与关系实例示意

### 1.3 模型的组织与作用方式

文中将过程与关系抽象为两个三元组形式的数据集合,以过程模型来表述关系的动态背景,以关系模型来表述关系的作用内容。在此基础上,还需设计出相应的模型的组织与作用方式以完成动态内容的表达。

过程与关系模型的组织方式相对简单。根据 1.1、1.2 部分对过程与关系模型的讨论可知,过程模型的作用是作为关系的容器和背景。换言之,关系模型作为过程的成员而聚合在过程模型的关系集合之中。模型间的相互关系已在图 1 中有所展示。在这样一个结构中,一个过程模型可视为一个包含关系内容的动态图形任务。而关系模型则作为具体内容信息而附属于对应的过程。仍以之前的实例为例,则依照上述模型组织方式,背景过程与“物体 AB 小于指定距离”关系将表现为如图 2 所示形式。

经组织后的动态内容数据的仍需依特定方式进行表达。由上文的讨论可知,关系模型的动作表达与过

程模型的动态效果密切相关。过程模型的动作效果会依条件(关系模型中的限制条件)触发关系动作的执行。将这一流程规范化,则如图 3 所示。

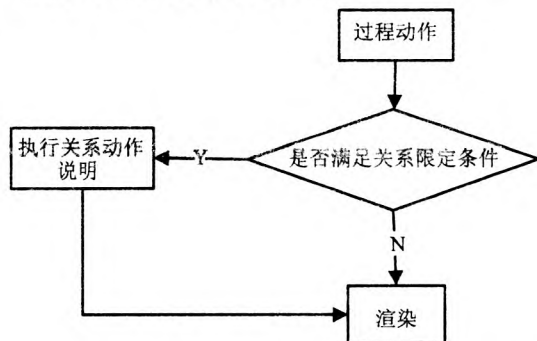


图 3 过程与关系模型的动作执行流程示意

在该流程中,当过程模型的动态特征所产生的效果使关系模型的限定条件生效时,关系模型就会执行其动作说明以完成关系的表达。如果过程的动作效果没有满足关系限定条件,则直接进入图形渲染阶段,从而绕过了关系的表达。将图 2 展示的实际用例代入此关系表达流程中,则其实现可表现为图 4 所示的形式。

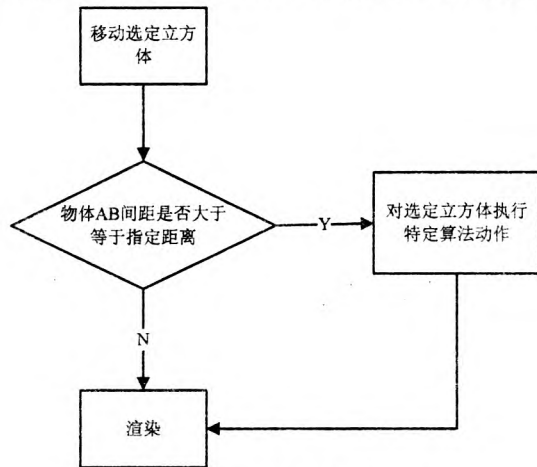


图 4 过程与关系表达实例示意

综上所述,文中以过程与关系模型作为动态数据封装形式,并结合相应的模型组织与作用方式,设计出了一套基于关系的动态内容表达方案。该方案允许用户以创建关系模型的方式来创建动态内容,简化了动态内容创建的过程。

## 2 实现

由第 1 部分对基于关系的动态内容表达机制的描述,本节将讨论机制的实现细节。研究采用了开源图形引擎 OpenSceneGraph(以下简称 OSG)作为图形处理器进行实验。OSG 引擎采用了主流的场景图(scenegraph)结构作为数据组织方式因而具有一定代表性。

首先是对过程与关系模型实现的讨论。为了使动态表达机制能够有效地与 OSG 进行整合,模型均以

OSG 自带节点类型的派生类形式实现。由前文可知,过程模型起到容器的作用。故在实现上,将过程模型定义为 OSG 中组节点(Group Node)的派生类。而考虑到关系模型作为过程模型成员的定位,故将其实现为 OSG 中一般节点(Node)类的派生。

前文中,曾将过程模型表达为一个包含关系说明的动态图形任务。因而在组织数据时,可先将整个三维应用进行以过程为单位的动态任务划分,之后再为每一项任务创建对应的过程模型。对于每一个过程节点,其子节点除所包含的关系模型外,作为对象元素的传统三维模型。这个类型组织可通过图 5 所示形式来表达。

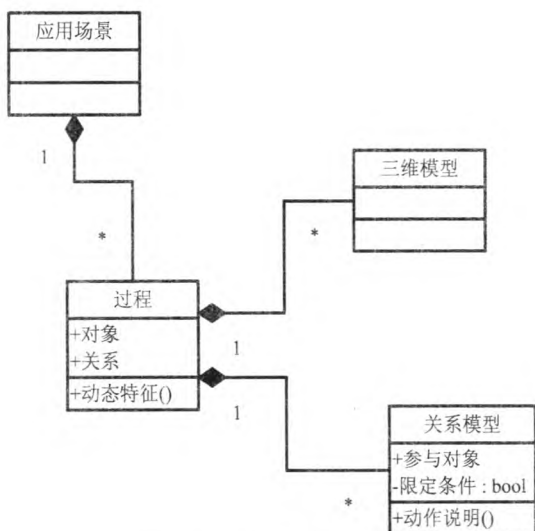


图 5 应用数据组织示意

需要补充的是,为有效利用内存空间,在过程模型实现时,其对象集合与关系集合中保存的仅是模型的索引信息。关系模型实现中参与对象集合也作如此处理。

除模型实现问题外,还需讨论动态内容表达的实现。尽管图 3 已给出了完整的表达流程,但“动作触发关系中限定条件判断”这一关键步骤仍需进一步分析。为避免歧义,先定义此处的动作为引起对象数据变化的事件。动作可能由系统、环境、用户或其他对象发出,从而改变某些对象的数据。当这种改变打破某些关系限制条件时,关系就会执行动作说明中的动作。为使动作与关系关联起来,最直接的方式是在动作实现中添加诸如影响关系列表这样的参数。然而,以这种方式进行动作实现的话,当过程中添加新关系时,就要考虑后加入的关系是否受到动作影响。为避免这一问题,文中采取对动作与关系进行分类的解决方案。依照动作改变的对象数据的类型(动作效果),可对动作进行分类。例如,定义修改对象位置数据的动作为空间动作,修改对象时间信息的动作为时间动作等。相应地,以关系限定条件所包含数据类型来对关系进

行分类,譬如说图 2 所示的就是一种空间关系。当过程中某一动作执行时,动作可能会引起同一类型的关系表达,通过检索过程中同类型的关系限制条件,即可有效地完成“动作触发关系中限定条件判定”这一步骤。

简而言之,在基于关系的动态表达机制实现时,利用既有类型定义模型以使机制容易整合;通过对动作与关系的分类使动作触发关系校验变得准确高效。

### 3 结束语

论文提出了一套基于关系模型的动态表达机制,实现了对部分三维图形动态内容的表达,以过程模型来表达关系的动态背景,以关系模型来表达关系的作用方式。通过建立一套以过程为容器,关系为动态限制说明的机制,提供了一套易用的动态内容描述框架。基于该框架,用户可针对应用需求开发出需要的关系实现,甚至是常用关系库。

然而,文中所提供的关系表达机制仍存在局限。例如,关系的作用范围仍局限于所在过程,对于一些特殊关系(如跨过程关系)的表达仍需进行研究。再如,过程加关系的动态表达体制会增加大规模的图形应用的计算性能消耗。还有,仍有不少动态内容难以用基于关系的方式进行表达。所有这些问题都需要进一步的研究与探索。

### 参考文献:

- [1] 王志伙,张新家,毛晋. 三维视景仿真系统中仿真过程管理的研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(1):21-24.
- [2] Leblanc L, Houle J, Poulin P. Component-based modeling of complete buildings[C]//Proceedings of Graphics Interface. Waterloo: Canadian Human-Computer Communications Society School of Computer Science, University of Waterloo, 2011: 87-94.
- [3] Benes B, Stava O, Mech R, et al. Guided Procedural Modeling[J]. Computer Graphics Forum, 2011, 30(2): 325-334.
- [4] Longay S, Runions A, Boudon F. TreeSketch: interactive procedural modeling of trees on a tablet[C]//Proceedings of the International Symposium on Sketch-based Interfaces and Modeling. Switzerland: Eurographics Association Aire-la-Ville, 2012: 107-120.
- [5] Kelly T, Wonka P. Interactive architectural modeling with procedural extrusions[J]. ACM Transactions on Graphics, 2011, 30(2): 14-28.
- [6] Talton J O, Lou Y, Lesser S, et al. Metropolis procedural modeling[J]. ACM Transactions on Graphics, 2011, 30(2): 1-14.
- [7] Bidarra R, de Kraker K J, Smelik R M, et al. Integrating se-

(下转第 69 页)

预测有效性:衡量标准(1)只侧重于设计符合规范的好坏程度。

前提有效性:公式(1)的前提是知道 $v$ 和 $f$ 的值。软件测试可以被用来确定 $v$ 的值,代码扫描将会给出 $f$ 的值。

适用性:该设计模式不依赖于某种编程语言或是系统类型。

简单性:它很容易为人们所理解。

可测试性:这种度量标准是基于可测试的基础上提出的,用来评估的元素是可以计数的。

#### 4 结束语

文中提出了一种设计模式,以解决跨应用程序中的并发代设计和软件维护问题。它适用于组件会按照代步骤进行演化的系统设计,系统组件需要同时支持多代和有代意识,以便客户可以选择具有代亲和力的选项。

初步的研究表明,该设计模式提供了一些用于解决维护困难的初步方案。今后的工作将侧重于该设计模式在实际应用中的相关经验积累。

#### 参考文献:

- [1] Gamma E, Helm R, Johnson R, et al. Design patterns: elements of reusable object-oriented software[M]. [s. l.]: Addison-Wesley Professional, 1995.
- [2] Ramanathan J, Sarkar S. Providing customized assistance for software lifecycle approaches[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1988, 14(6): 749-757.
- [3] Pomeranz I, Reddy S M. Concurrent online testing of identical circuits using nonidentical input vectors[J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2005, 2(3): 190-200.
- [4] Zhao Yang, Chakrabarty K. Cross-contamination Avoidance for Droplet Routing in Digital Microfluidic Biochips[J]. IEEE Transactions on Computer-aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2012, 31(6): 817-830.
- [5] Armstrong J M, Mitchell R J. Uses and abuses of inheritance[J]. Software Engineering Journal, 1994, 9(1): 19-26.
- [6] Sedlet J. Quality Assurance and Control Considerations in Environmental Measurements and Monitoring[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1982, 29(3): 1233-1236.
- [7] Erl T. SOA design patterns[M]. [s. l.]: Prentice Hall, 2009.
- [8] Dzidek W J, Arisholm E, Briand L C. A Realistic Empirical Evaluation of the Costs and Benefits of UML in Software Maintenance[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2008, 34(3): 407-432.
- [9] Meng Yue, Schlueter R. Bifurcation subsystem identification[C]//Proc. of Power Engineering Society Summer Meeting. [s. l.]: [s. n.], 2002: 1599-1604.
- [10] Itzfeldt W D. Quality metrics for software management and engineering[C]//Proc. of Managing Complexity in Software Engineering. [s. l.]: [s. n.], 2005: 127-152.
- [11] IBurton R M, Howard G T. Optimal Design for System Reliability and Maintainability[J]. IEEE Transactions on Reliability, 1971, R-20(2): 56-60.
- [12] IKan S H. Metrics and models in software quality engineering[M]. [s. l.]: Addison-Wesley Professional, 2002.
- [13] Krecklau L, Kobbelt L. Procedural Modeling of Interconnected Structures[J]. Computer Graphics Forum, 2011, 30(2): 335-344.
- [14] Smelik R, Tutenel T, de Kraker K J, et al. Integrating procedural generation and manual editing of virtual worlds[C]//Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games. New York: ACM, 2010.
- [15] Hildebrandt K, Schulz C, von Tycowicz C, et al. Interactive spacetime control of deformable objects[J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(4): 71-71.
- [16] Bazargan K, Falquet G. Specifying the Representation of Non-geometric Information in 3D Virtual Environments[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction, Part II. Berlin: Springer Science + Business Media, 2009: 773-782.
- [17] 徐 赓, 孙济洲, 于 策, 等. 层级式可视化并行程序建模系统研究[J]. 计算机工程, 2011, 37(8): 1-3.
- [18] 刘 伟, 刘芳兵, 李 静. 面向对象的交互式在线图形化仿真机建模系统开发[J]. 热力发电, 2010, 39(8): 82-87.

(上接第65页)

manics and procedural generation: key enabling factors for declarative modeling of virtual worlds[C]//Proceedings of the FOCUS K3D Conference on Semantic 3D Media and Content. France: Inria Sophia Antipolis - Méditerranée, 2010.

- [8] Smelik R M, Tutenel T, de Kraker K J, et al. Semantic 3D media and content: a declarative approach to procedural modeling of virtual worlds[J]. Computers and Graphics, 2011, 35(2): 352-363.
- [9] 龙 勇, 袁 静, 康凤举, 等. 可视化仿真中三维建模策略研究[J]. 系统仿真学报, 2011, 23(12): 2682-2687.
- [10] 杨 斌, 齐玉东, 孟凡磊. 概念建模研究综述[J]. 计算机与现代化, 2012(1): 44-48.
- [11] 赵新灿. 虚拟环境概念模型建模方法研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(3): 995-998.
- [12] Benes B, Massih M A, Jarvis P, et al. Urban ecosystem design[C]//Proc of Symposium on Interactive 3D Graphics and Games. New York: ACM, 2011: 167-174.
- [13] Krecklau L, Kobbelt L. Procedural Modeling of Interconnected

# 一种基于关系模型的动态内容表达方法与实现

作者: 田野, 张新家, 张平, 张慧翔, [TIAN Ye](#), [ZHANG Xin-jia](#), [ZHANG Ping](#), [ZHANG Hui-xiang](#)  
作者单位: [西北工业大学自动化学院, 陕西西安, 710129](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2013, 23(7)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201307015.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201307015.aspx)