

基于模糊神经网络的人工鱼虚拟味觉系统研究*

孟宪宇^{1,2} 尹怡欣¹ 班晓娟¹ 涂序彦¹

(北京科技大学信息工程学院计算机系 北京 100083)¹
(辽宁工业大学计算机科学与工程学院 辽宁锦州 121001)²

摘要 本文设计了在智能虚拟环境下人工鱼的一种虚拟味觉系统。利用模糊神经网络实现了鱼儿对食物的学习记忆算法。模糊神经网络由于同时具备了模糊逻辑对规则的表达能力和神经网络的学习能力,非常适合解决虚拟环境中味觉的信号识别问题,经实验验证是切实可行的。基于模糊神经网络的味觉系统的研究和实现为人工鱼多感知融合系统提供了基础。

关键词 人工生命,人工鱼,智体,模糊神经网络

Research on Virtual Tasting Perception System of Artificial Fish Based on Fussy Neural Network

MENG Xian-Yu^{1,2} YIN Yi-Xin¹ BAN Xiao-Juan¹ TU Xu-Yan¹

(Information Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083)¹
(School of Computer Science & Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001)²

Abstract A kind of virtual tasting perception system of artificial fish in Intelligent Virtual Environment (IVE) is proposed in this paper. A learning and memory algorithm for feeding behavior of artificial fish is achieved using fuzzy neural network. Fuzzy neural network is fit for recognizing the tasting signal in IVE, for it not only has the expressive ability of fuzzy logic to rules, but also has the learning ability of neural network. The result is satisfying in experiment. Research on virtual tasting perception system on fussy neural network sets a good foundation for research on multi-perception fusion.

Keywords Artificial life, Artificial fish, Agent, Fuzzy neural network

人工生命^[1]研究的一个主要分支——人工动物的研究可以分为两个方面:基于硬件的人工动物和基于软件的人工动物。其中,基于软件的人工动物是用人工生命方法在计算机中创建类似动物的实体,被学术界称为“Xiaoyuan's Fish”的人工鱼^[2]的研究即属于此类。按照广义人工生命的理论,人工鱼属于虚拟人工动物。如何在虚拟的环境中更好地模拟、延伸和扩展人工鱼的活性行为,不仅是人工动物研究的新方向,也是实体人工生命研究的虚拟平台。

人工鱼在国际上的研究方兴未艾,John Funge^[3]开辟了利用人工智能认知建模方法来创建智能角色的新途径。多伦多大学的 Grzeszczuk 和 Terzopoulos^[4]研究了人工鱼的学习技术,使人工鱼能够自动地合成基于物理动物模型的逼真运动。1994年,由来自澳大利亚的 Christa Sommerer 和法国的 Laurent Mignonneau 创作的交互式计算机装置 A-Volve^[5]中,用户可以自己创造人工生物(包括人工鱼),与它们交互作用,观察它们的运动和进化。2003年,法国 Claudio Ranieri 使用 JAVA 3D 技术设计出了虚拟现实的海洋环境^[6],使具有自学习、自适应能力的人工鱼在这个环境中生存,并能与操控者进行简单交互。国内的陈泓娟、班晓娟等人研究了人工鱼的自繁衍、自学习以及认知与行为控制等理论^[7,8]。

在以往的人工鱼研究中,学者们对感知系统的研究比较简单。然而,在真实的海洋中,鱼类的视觉有很大的局限性,需要其他感知器官的协同工作。在鱼类的多种感觉系统中,嗅觉与味觉都占有异常重要的地位。本文在虚拟嗅觉研究^[9]的基础上,进一步研究基于模糊神经网络的人工鱼虚拟味觉

系统的设计与实现,从而丰富了人工鱼的感知能力,增强对自然鱼的逼真动画效果。

1 虚拟环境下人工鱼味觉系统建模

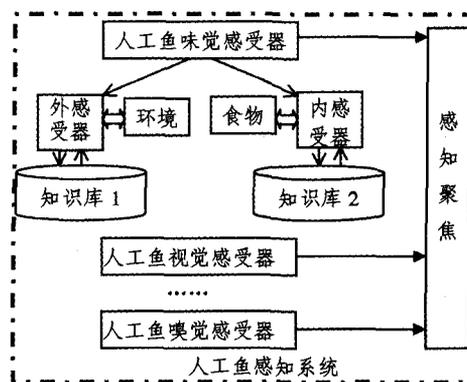


图1 人工鱼味觉系统模型

味觉器官是鱼类感知环境、摄捕食物的重要器官。本文在分析“自然鱼”味觉机制^[10]基础上,研究人工鱼虚拟味觉系统的设计方法和实现技术。将人工鱼的味觉系统分为内外两层,建立了味觉感知模型,如图1所示。其中外味觉系统主要用来感知环境中的食物,使人工鱼趋向食物;内味觉系统主要用来摄捕食物。人工鱼对食物的感知采取的是定量的分析方法,利用学习记忆算法,实现了对食物的感知。人工鱼味觉系统内外两层的划分,真正再现了在广阔的虚拟环境中,鱼儿

* 国家自然科学基金资助项目(基于认知的人工动物高级行为规划研究编号:60503024)。孟宪宇 博士生,副教授。

“识香而聚,尝味摄食”的动画效果。

在智能虚拟环境下,人工鱼的味觉主要用来感知食物的信息。外味觉感受器感知的是溶于水中的食物(环境中的),内味觉感受器感知的是固体食物。定义味觉信号发生器为

定义1 TAG= $\langle P_i, I_i, C_i \rangle$ (1)

其中, TAG: tasting generator 味觉信号发生器, P_i : Position information 食物位置, I_i : Ingredient information 食物化学物质混合成分, C_i : Chroma information 食物作为刺激物的浓度。

简单理解,在虚拟的海洋世界中,只有食物是味觉信号发生器,它们具有三类味觉属性:

(1)食物的位置

食物的位置用三维坐标表示 (x_i, y_i, z_i) 。假定任何食物都是水溶性的,在一定范围内,它们溶于水中的浓度足够大,能够被感知器通过外味觉系统感知到。

(2)化学物质混合成分

味觉由五种基本味道组成:酸、甜、苦、咸、鲜。酸味是由氢离子引起的,比如盐酸、氨基酸、柠檬酸等等。每种味道用2个二进制位来表示, $2^2=4$ 可以表示引起一种味道的4种物质。在程序中用二个字节来表示五种基本味道。在人工鱼动画中,可设置的食物种类共有 2^{10} 种,变化范围为00000000 00000000 ~ 00000011 11111111。

(3)刺激物的浓度

鱼类感受溶于水中的物质,化学刺激物的有效性和浓度成正比。浓度C与食物的种类与大小有关,是一些存在于知识库中的事先规定好的值。

2 人工鱼味觉感知器的设计

人工鱼作为感知器获得了环境中信号发生器产生的各种味觉信号,如何形成味觉呢?生物学研究表明^[10],食物的滋味虽然多种多样,但它们使鱼类产生味感的基本途径却很相似:首先是具有一定水溶性的呈味物质吸附于受体膜表面并刺激其上的味感受体,然后通过一个收集和传递信息的神经感觉系统传导到大脑的味觉中枢,最后通过大脑的综合神经中枢系统分析,从而产生味感。

在动画实现中,不妨将人工鱼的味觉实现划分为两个层次:首先外味觉系统起作用,使鱼趋向于食物源,并咬取食物;然后内味觉系统起作用,其功能是当食物进入到口腔后,决定将其吞咽下去或是加以拒绝,从口中吐出。真正再现了在广阔的虚拟环境中,鱼儿“闻香而聚,尝味摄食”的动画效果。其次设计出人工鱼的味觉识别流程图,如图2所示。

2.1 外味觉感知系统设计

外味觉感知器主要用来感知溶于水中的食物信息。

动物的初级味觉神经元在工业上的模仿可以采用味敏传感器。在虚拟环境中,设计了虚拟味敏传感器,用于味觉信号的初步采集,其主要功能是获取味觉信号发生器的各属性数据。在虚拟的海洋中,味觉信号发生器主要指食物及环境数据。不论是食物还是环境中的味觉物质,要被人工鱼味觉感知,必须与人工鱼接触。环境中的味觉物质主要指溶于水的化学物质,它存在于以r为半径、食物为圆心的一个圆形范围内。人工鱼是否能利用外味觉感受系统感知到食物,既与食物所处位置有关,又与食物溶于水的浓度有关。参考Caprio测试美洲鲶(Ictalurus punctatus)的触须味蕾对L-丙氨酸的反应^[11]结果,给出人工鱼外味觉感受系统对水溶物质的反应强度公式,可用一指数方程加以描述:

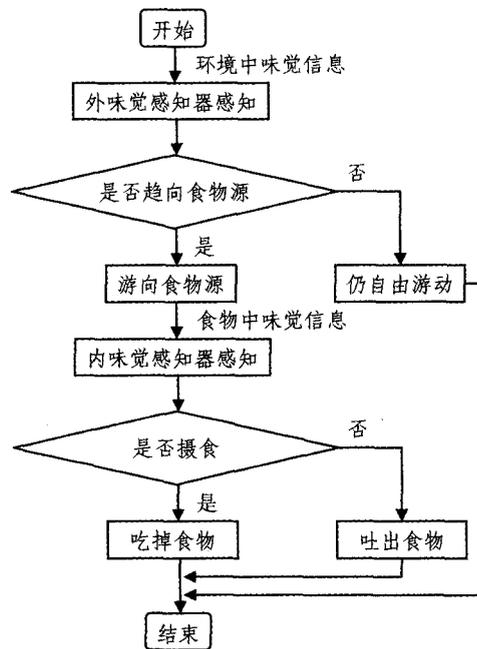


图2 人工鱼味觉感知过程

$$R=K(10)^{\log C/r} \quad (2)$$

其中R为相对反应强度,C为刺激物的浓度,K为比例常数,r为感受器与食物之间的距离。

当反应强度大于某一阈值时,认为外味觉感受系统已经感觉到食物的存在了。为了简化模型,认为外味觉感受系统对环境中的食物的感知只感知到食物的存在即可,这时在动画中就会表现出鱼儿们“闻食而聚”。至于是否摄取食物,再由内味觉感受系统进行判断。

众所周知,鱼类对环境中的食物的感知是一个多信息融合的过程,除了利用味觉系统,更多的是利用视觉系统和嗅觉系统。这里暂不考虑融合,只考虑味觉系统在摄取食物中的作用。

2.2 内味觉感知系统设计

人工鱼趋向食物后,通过竞争,如果能幸运地抢到食物,下一步是否进食是由内味觉系统对食物的感知来实现的。

表1 组成成分编码表

Object	Code
Sour	0000000000-0000000011
Sweet	0000000100-0000001100
Bitter	0000010000-0000110000
Umami	0001000000-0011000000
Salt	0100000000-1100000000

人工鱼对食物味道的喜好,是一个遗传进化与适应环境的过程。每种食物包含酸、甜、苦、鲜、咸五种基本味道。首先根据 I_i 属性对构成五种基本味道的物质进行编码,如表1所示。每种食物都是一种复合味道,例如:“酸甜甜甜的”、“微微发苦”,也就是说同时包含多种基本味道的构成成分,每种基本味道占有的百分比是固定的。为此,设计Generator组成成分的数据结构为:

```
{int code; /* 食物味道组成成分编码:00 00000000 ~ 11 11111111
```

```
Char name[20]; /* 组成成分名称:以化学分子式的形式表示
```

```
Float weight; /* 组成成分所占百分比
```

3 基于模糊神经网络的人工鱼内味觉感知系统设计

人工味觉系统中,常用的信息处理方法有模式识别、模糊逻辑推理及人工神经网络等方法^[12]。模糊逻辑中规则的提取以及隶属度函数的确定比较困难,定量识别很难实现。神经网络能够通过学习和训练获得用数据表达的知识,除了可以记忆已知的信息之外,还具有较强的概括能力和联想记忆能力。目前用于人工味觉的神经网络主要有BP网络,但是BP网络是采用梯度下降学习算法,易陷入局部最小点。而模糊神经网络由于同时具备了模糊逻辑对规则的表达能力和神经网络的学习能力,非常适合解决虚拟环境中味觉感知的识别问题。因而本文提出了一种模糊神经网络方法实现味觉信号的模糊识别,经实验验证是切实可行的。

3.1 模糊加权神经网络模型

信号识别的原理是先将已知气味的一组信号作为训练集,通过神经网络对其学习后获得该气味的特征模型,然后用归一化数据去识别一个未知气味信号。由于气味信号的组成特征适合用模糊神经网络来实现,为此我们设计了四层模糊神经网络模型来进行学习。其过程分输入特征模糊化、学习记忆和信号识别三个步骤,如图3所示。

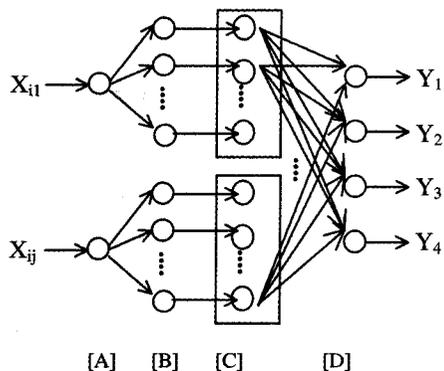


图3 人工鱼味觉识别模糊神经网络模型

[A]层:输入层,定义输入变量的模糊子集数为 k 。

$$O_i = I_i = x_i \quad (i=1 \dots n) \quad (3)$$

[B]层:模糊化层,对输入变量进行模糊化处理。假设该网络有 n 个输入,第 i 个输入有 k 个模糊划分,则这一层节点数为 $\sum_{i=1}^n k_i$,节点函数为各输入对其模糊子集的隶属度函数。

$$O_x = e^{-\frac{(I_i - m_{ij})^2}{\theta_{ij}}} = e^{-\frac{(X_i - m_{ij})^2}{\theta_{ij}}} \quad (4)$$

[C]层:规则层,每一个节点代表一个模糊规则,最大节点数为规则基中最大规则的个数。一般情况,第三层每个节点与第二层规则条件层每个条件属性模糊划分中的一个模糊划分有一个连接,因此共有 n 个连接,属于规则的前件部分。

$$O_i = \prod_{i=1}^n I_x \quad (5)$$

[D]层:系统输出层,也可以称为规则结论层。假设对输出进行 l 个模糊划分,则这一层节点数为 l 个。该层完成求和功能,得到规则输出。经过去模糊处理,输出为 4 种信息类别:人工鱼类、鲨鱼类、食物类、水草类。

$$O_m = \frac{\sum_{k=1}^l I_k Z_k}{\sum_{k=1}^l 1} \quad (6)$$

3.2 隶属度的计算

对隶属度的计算,是第 i 条信息对信息类别的特征指标的匹配测度来衡量的。

其中, X_{ijk} ($1 \leq k \leq n$) 为第 i 条信息的特征指标。构造一个在可测空间上的取值于 $[0, 1]$ 上的可测函数,作为特征指标的匹配测度函数。

$$h(X_{ijk}) = 1 - \left| \frac{X_{ijk} - \theta_{jk}}{\max(X_{ijk}, \theta_{jk})} \right| \quad (7)$$

其中, $1 \leq j \leq C_{\text{info-type}}, 1 \leq k \leq n$ 。

此函数通过对应的特征指标的相对误差,反映了嗅觉感官获取的信息在某一特征上与信息类对应特征的接近程度或可信程度。 n 个特征指标的接近程度或可信度,联合构成了信息从属于某一信息类别的隶属度。设第 k 个特征指标对隶属度的影响程度为 W_k ($1 \leq k \leq n$),则信息隶属度计算方法可以表示为

$$d_{\text{sub}}(i, j) = \sum_{k=1}^n [h(X_{ijk}) \cdot w_k] \quad (8)$$

信息隶属度反映的是信息属于某一类的可信度,太低的可信度可以表明信息根本不属于某一类信息。我们知道,任何感官或传感器都存在一个响应阈值,只有当刺激或信号强度达到或超过这个阈值时,感官系统或传感器系统才能响应。为此,引入隶属度阈值,记为 $Th_{\text{sub}}(j)$, $Th_{\text{sub}}(j)$ 表示第 j 种信息类别的隶属度阈值,则

$$d_{\text{sub}}(i, j) = \begin{cases} 0, & Th_{\text{sub}}(j) < \sum_{k=1}^n [h(X_{ijk}) \cdot w_k] \\ \sum_{k=1}^n [h(X_{ijk}) \cdot w_k], & Th_{\text{sub}}(j) \geq \sum_{k=1}^n [h(X_{ijk}) \cdot w_k] \end{cases} \quad (9)$$

3.3 模糊加权推理法

定义输入变量 x_i ($i=1 \dots m$) 的模糊子集数为 k_i ,输出变量 y 的模糊子集为 $l=4$,设 $m = \prod_{i=1}^n k_i$,则模糊规则的最大条数为 m 。模糊规则基可表示为

$$\bigvee_{j=1}^m (\text{IF} (\bigwedge_{i=1}^n (X_i \text{ IS } A_{ij})) \text{ THEN } Y \text{ IS } W_j / Z_j) \quad (10)$$

其中 m 模糊规则数, n 为输入变量个数, l 为输出变量模糊子集个数, z 为常数,是结论隶属函数的支集值, w 表示权重。

系统输出是一个去模糊化的过程。输出变量定义了四个模糊子集 $\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\}$,分别表示食物气味、鲨鱼气味、人工鱼气味、水草气味。

$$T_i(X) = \text{Exp}(-((\alpha - \beta) / \alpha)^2) \quad (11)$$

$\alpha, \beta \in R$ 具体数值需要实验确定。

3.4 训练结果

采用模糊神经网络极大地减少了样本的训练次数,同时精度也得到了提高。训练次数与精度曲线见图4。学习样本和分类结果分别见表2和表3。

4 味觉感知实验

根据上述思想,我们以 VisualC++ .net 为开发平台,用 Maya7.0 作为三维建模工具,使用图形 API DirectX9.0 技术,建立了虚拟海洋环境下的人工鱼动画系统,并将所提出的味觉感知模型在程序中予以具体实现。为简化系统设计,食物采用投放的方式,设计了三组对比实验如下:

案例1 分别投放味道为酸、苦、咸的食物。在动画中逼真表现出一定范围内的人工鱼向食物“聚拢”过来,但并没有摄取食物。

案例2 分别投放一些不具有味道的物体,例如石头、水草类。在动画中表现出鱼儿仍在自由游动,仿佛一切都没有发生。

表 2 复合气味学习样本

样本代号	输入			输出
	X ₁	X ₂	X ₃	
M _{ix1}	0.0921875	0.0203125	0.0469813	1.0
M _{ix2}	0.0787875	0.0562348	0.0643421	1.0
M _{ix3}	0.2757422	0.3897162	0.1478652	0.75
M _{ix4}	0.338623	0.2989764	0.8765244	0.75
M _{ix5}	0.5824603	0.5642223	0.7676458	0.5
M _{ix6}	0.6754325	0.5003245	0.5498712	0.5
M _{ix7}	0.8428812	0.8765420	0.9123091	0.25
M _{ix8}	0.7999802	0.8767562	0.8430086	0.25
.....

表 3 模糊神经网络的分类结果

样本代号	实际输出	期望输出	气味类别
M _{ix1}	0.96	1.0	食物
M _{ix2}	1.01	1.0	食物
M _{ix3}	0.81	0.75	鲨鱼
M _{ix4}	0.76	0.75	鲨鱼
M _{ix5}	0.52	0.5	人工鱼
M _{ix6}	0.44	0.5	人工鱼
M _{ix7}	0.21	0.25	水草
M _{ix8}	0.28	0.25	水草

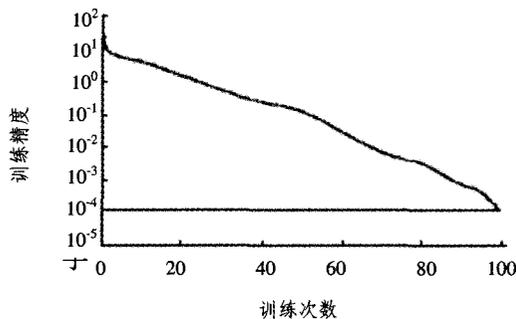


图 4 模糊神经网络系统训练过程

案例 3 分别投放味道为甜、鲜的食物。在动画中逼真表现出一定范围内的人工鱼向食物“聚拢”过来,通过捕食竞争,得到食物的人工鱼将食物吃下。

动画仿真结果如图 5 所示。第一幅图描述了食物出现在人工鱼味觉感受器的感受范围内时的情景,其中有一条人工鱼是背对着食物的,这时它根本看不到食物,但通过味觉识别

仍能识别到食物。第二幅图描述了人工鱼去捕食的情景。

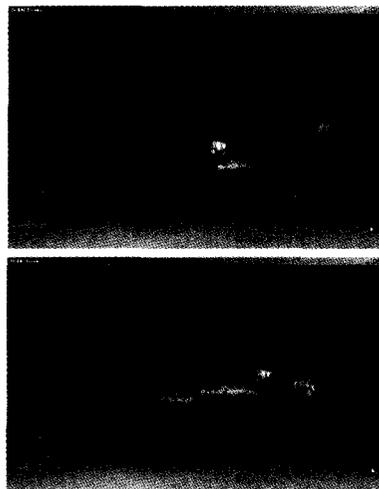


图 5 人工鱼信真动画

参 考 文 献

- 涂序彦. 广义人工生命及其应用. 见: 中国人工智能学会第一届“人工生命及应用”专题学术会议论文集, 人工生命及应用. 北京: 北京邮电大学出版社, 2004. 1~13
- 涂晓媛. 人工鱼——计算机动画的人工生命方法[M]. 清华大学出版社, 2001
- Funge J, Tu Xiaoyuan, Terzopoulos D. Cognitive Modeling: Knowledge, Reasoning and Planning for Intelligent Characters. In: SIGGRAPH1999, Los Angeles, CA, USA, 1999. 29~38
- Terzopoulos D, Rabie T, Grzeszczuk R. Perception and Learning in Artificial Animals. In: Artificial Life V; Proc. Fifth Inter Conf. on the Synthesis and Simulation of Living Systems, Nara, Japan, 1996. 1~8
- Sommerer C, Mignonneau L. Interacting with Artificial Life: A-Volve. Complexity Journal, 1997, 2 (6): 13~21
- Ranier C, Netto M L. Application of Computer Information Technology in ALGA. In: CR PBIC RelatorioFinal, 2003. 1~20
- 陈泓娟. 人工鱼的自繁衍理论方法研究:[学位论文]. 北京科技大学, 2002
- 班晓娟, 等. 基于自主学习的人工鱼感知系统设计与实现. 电子学报, 2004, 2: 2041~2045
- Meng Xian-yu, Ban Xiao-juan, Zhang Shu-jun, et al. Design of Multi-Perception System Model for Artificial Fish in Virtual Environment. In: Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications, 2006. 2109~2113
- Finger T E. The gustatory system in teleost fish. In: Northcutt R G, Davis R E, eds. Michigan Fish Neurobiology. Michigan: University of Michigan Press, 1983, 1: 286~288
- Tucker D. Fish chemoreception. In: Northcutt R G, Davis R E, eds. Peripheral anatomy and physiology. Fish neurobiology. Michigan: University of Michigan Press, 1983, 1. 311~342
- Krantz C, Rulcker, Stenberg M. Electronic tongues for environmental monitoring based on sensor arrays and pattern recognition. [J] Analytica Chimica Acta(S0003-2670), 2001(426): 217~226

(上接第 156 页)

台设计成使能环与流程控制交叉的二维体系。在此基础上,对横向的分析结果进行纵向的层次化定义,这样,整个虚拟企业设计成了一个三维的功能体。针对后期层次化的论证与优化,对层次化进行了形式化定义与建模。

本文的后序工作就是基于层次化的形式化,进一步研究基于 workflow 技术的虚拟企业体系,并柔性地运用到形式化分析结果中,一方面借助于面向对象的分析与设计成果,另一方面借助于数学的基础论证实现层次化的优化与证明。

参 考 文 献

- 陈冰. 基于 Web 的动态虚拟企业 WSDVE 及其关键技术研究[M]:[西北工业大学博士论文]. 2003
- 李红臣,史美林. 工作流模型及其形式化描述[J]. 计算机学报, 2003, 26(11)

- 沈春龙. 支持虚拟企业项目过程管理的技术研究[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 26(2)
- 杨善林,刘洋,马溪骏. 基于 WebServices 面向服务架构的虚拟企业解决方案[J]. 计算机应用研究, 2005(10)
- 管在林,周微,王艳红,等. 基于 Web 服务的虚拟企业协同计划调度系统研究[J]. 计算机应用研究, 2005(12)
- 李英杰,陈庆新,陈新度,等. 多属性虚拟企业部分并行协商项目规划[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(6)
- 周建宅,李彦强. 面向虚拟企业的分布式项目管理系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2006(9)
- 罗永远,王坚,戴毅茹. 基于模型的虚拟企业伙伴选择研究与应用[J]. 计算机应用, 2004, 24(1)
- 窦万春,江剑,李东波,等. 基于工作流的 PDM-ERP 集成系统研究[J]. 中国机械工程, 2002, 13(5)
- 彭勇. 虚拟企业生产过程的远程监控模型[J]. 计算机应用, 2005, 25(7)
- 叶飞帆,方志梅. 层次化虚拟企业及其供应链管理[J]. 中国机械工程, 2005, 16(2)