

文章编号:1673-9469(2009)03-0067-06

某混沌实时判定系统中特征提取的原因分析

卢宇¹, 阎利², 张龙斌³

(1. 清华大学 航天航空学院, 北京 100084; 2. 安阳工学院 建筑工程系, 河南 安阳 455000; 3. 天津大学 系统工程研究所, 天津 300072)

摘要:研究混沌判定方法,对进行混沌分析与控制具有重要意义。基于信息论、控制论、数据挖掘的一些基本原理和方法,描述了某混沌实时判定系统的结构与功能模块。为满足该判定系统原理及功能的要求,需要进行时间序列的特征提取。以 Logistic 系统为例进行了实验研究,应用小波包分析、小波包能量进行了特征提取,分析了进行特征提取的原因与必要性。实验结果表明,特征提取模块是整个判定系统的关键模块,小波包能量可以作为该系统中特征提取的方法。
关键词:混沌;实时判定;时间序列;特征提取;小波分析;小波包能量

中图分类号:U491

文献标识码:A

Reason of feature extraction in the system for real-time identification of chaos

LU Yu¹, YAN Li², ZHANG Long-bin³

(1. School of Aerospace, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Civil Engineering, Anyang Institute of Technology, Henan Anyang 455000, China; 3. Institute of Systems Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The identification of chaos phenomenon is important for chaos analysis and control. Based on the conceptions and methods of information theory, control theory and data mining techniques, the framework and function module of the system for real-time identification of chaos are introduced. To meet the requirement of the principle and function of this system, feature extraction for time series is necessary. The case studies are given for time series generated by Logistic system. Feature of time series are extracted by wavelet packet coefficients and wavelet packet energy respectively. The reason and necessity of feature extraction are analyzed. The results indicate that the module for feature extraction is a key module in the system for real-time identification of chaos. Wavelet packet energy can be used in this system for feature extraction.

Key words: chaos; real-time identification; time series; feature extraction; wavelet analysis; wavelet packet energy

混沌现象是自然界客观存在的重要形式之一。它研究自然界非线性过程中随机性所具有的特殊规律性,揭示了非线性系统中有序和无序的统一,确定性和随机性的统一^[1]。

识别和判定混沌是研究和利用混沌的基础性的关键问题。无论是对非线性混沌系统的分析,还是对其进行控制,首先都需要捕捉与判定混沌现象。对于复杂巨系统而言,通常采用时间序列

分析的方法来判断系统是否是混沌系统或者系统中是否存在混沌现象,其大致可以分为定性判定法和定量判定法两类^[2-3]。定性的判定方法只能从图形上作直观判断,其中掺杂了很多人工的影响因素,使用时很难掌握一个明确的标准,难以在线实时的场合应用。现有的各种定量的判定方法虽然原则上都可以应用于在线实时的场合,但是它们的共同缺点是:对样本数的要求高(至少需

收稿日期:2009-08-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50478088)

作者简介:卢宇:(1975-),男,四川雅安人,博士后,从事系统工程理论及应用、信息系统、智能交通的研究。

4) 离线混沌判定模块:用常规的混沌判定方法来判定数据库中存储的各时间序列是否存在混沌特性,其具体实现可以采用各种定量的混沌判定方法,其选择依系统具体情况和使用者而定。

5) 特征提取:在寻找混沌与初始条件之间的对应关系,也就是建立知识库前,必须确定“初始条件”,这个“初始条件”必须满足三个条件:(1)损失的信息尽可能的少,能很好的反映该时间序列的本质特征。(2)所用的样本数必须满足实时判定,甚至实时控制的需要。(3)容易求得,计算量小,速度快。因此,为满足“初始条件”以及后面知识生成算法的要求,数据库中的各时间序列必须经过特征提取后方能用来建立知识库。对数据库中存储的各时间序列进行处理,来获得能代表或者反映时间序列本质特征或者内含信息的特征量,也就是特征模式。离线特征提取是对数据库中的历史数据进行特征提取,在线特征提取是对数据库中的实时数据进行特征提取。不论是离线特征提取,还是在线特征提取,只要是提取的特征相同,就都使用相同的算法。

6) 知识库生成模块:该模块主要有三个功能:(1)以离线特征提取得到的特征模式和离线混沌判定得出的混沌判定结果为基础,利用它们之间的对应关系,应用知识发现算法找出各时间序列初始条件与系统是否将进入或已处于混沌状态之间的复杂对应关系,也就是生成相应的知识。(2)在进行在线混沌判定的同时,每当满足离线混沌判定条件时就相应的进行离线混沌判定,并比较对应的在线混沌判定结果与离线混沌判定结果,当发现误判率超过一定阈值时则进行知识更新,也就是重复(1)的学习过程,直到小于一定的误差。(3)以一定的方式存储生成的这些知识。

7) 在线混沌判定模块:知识库建立起之后就可以利用建立的对应关系(系统的先验信息)对系统是否会出现或已进入混沌进行在线实时快速判定,也就是利用在线特征提取得到的特征模式和知识库中存储的知识通过智能方法进行在线混沌判定。判定的结果存储在在线混沌判定结果数据库中,一方面用来做结果评价判断是否需要知识更新;另一方面用来决定是否需要进行混沌控制,若需要则马上采取措施。

2 特征提取的实验研究

前面介绍该判定系统结构时提到了进行特征

提取的原因,这里用典型的非线性系统—Logistic 系统进行实验研究,进一步阐述特征提取的缘由与必要性,也就是说明为什么要对原始时间序列进行特征提取后再生成知识,而不用原始时间序列直接生成知识,并给出一种适合该判定系统的特征提取方法。

由于小波分析具有多分辨率的特点,在时域和频域同时具有良好的局部化特性,所以为混沌时间序列等具有分形和自相似结构的信号特征提取提供了有力的工具。参考小波分析在一些系统混沌特征提取中的应用^[7-8],本文应用小波分析对时间序列进行特征提取,用部分特征来代替整个动力学系统时间序列特征。受篇幅所限,这里只进行基于小波包分析和小波包能量(原理和方法可参见专著[9-10])的特征提取,并将结果进行比较分析。

2.1 Logistic 系统^[2]

Logistic 系统是一个典型的非线性离散动力学系统,它的表达式为

$$\begin{cases} x_{n+1} = \mu x_n (1 - x_n) \\ x_0 = b \end{cases} \quad (1)$$

为便于研究,此处 b 取 0.6, μ 分别取 3.3 和 3.8,从而得到周期序列和混沌序列(如图 2、图 3,其中细线信号:第 1-32 个点;粗线信号:第 2-33 个点)。由于离散小波变换的原始时间序列的样本点数都是 2 的整数次幂,加上要满足实时快速判定的样本量要求(几十个样本点),再考虑到信息的损失与后面数据挖掘算法的速度和精度,实验中选取 32 个样本点的时间序列分析。另外,为了说明进行特征提取的原因,本实验研究中都是取 μ 为 3.3 和 3.8 时两个时间序列的第 1-32 和 2-33 个点进行对比分析。

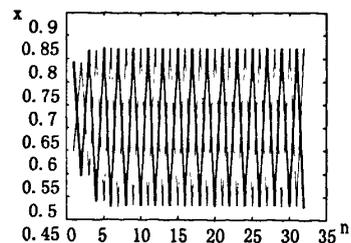


图2 $x_{n+1} = 3.3x_n(1-x_n)$

Fig. 2 $x_{n+1} = 3.3x_n(1-x_n)$

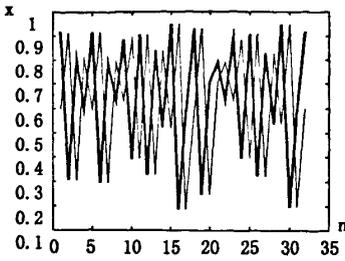


图3 $x_{n+1} = 3.8x_n(1-x_n)$

Fig.3 $x_{n+1} = 3.8x_n(1-x_n)$

2.2 基于小波包分析的特征提取

下面对图 2、图 3 的时间序列进行基于小波包分析的特征提取,小波基函数取 *db1*,分别对两信号进行 3 层的小波包分解(3 层小波包分解树结构示意图见图 4,其中 S_{ij} 为小波包分解树的节点, i 为该节点的层次, j 为节点在该层的位置),重构各频率分量的信号,结果如图 5、图 6、图 7、图 8 所示,这里只给出第 1-32 个点的小波包分解系数,详见表 1、表 2。

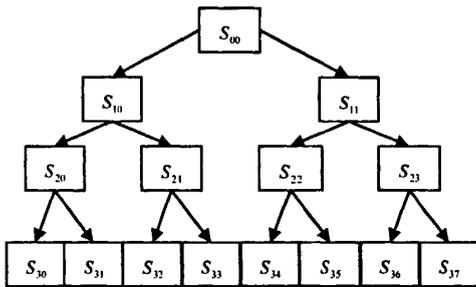


图4 3层小波包分解树的结构

Fig.4 Structure of three level decomposing tree of wavelet packet

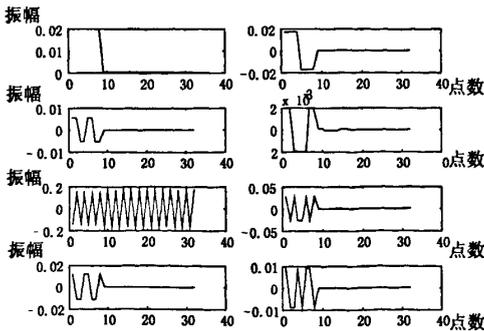


图5 $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ 小波包分解结果 (第1-32个点)

Fig.5 Wavelet packet decomposition of $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ (Points from 1 to 32)

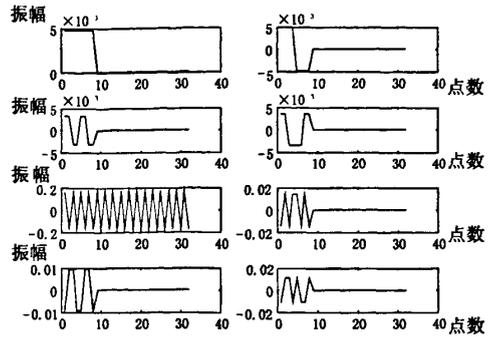


图6 $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ 小波包分解结果 (第2-33个点)

Fig.6 Wavelet packet decomposition of $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ (Points from 2 to 33)

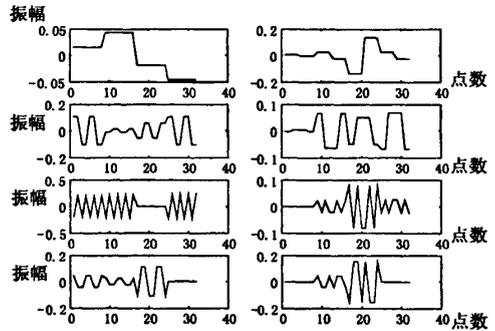


图7 $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ 小波包分解结果 (第1-32个点)

Fig.7 Wavelet packet decomposition of $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ (Points from 1 to 32)

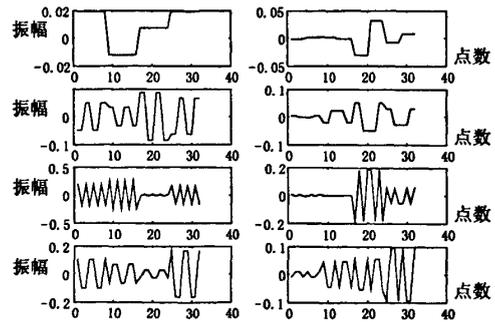


图8 $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ 小波包分解结果 (第2-33个点)

Fig.8 Wavelet packet decomposition of $x_{n+1}=3.3x_n(1-x_n)$ (Points from 2 to 33)

表 1 $x_{n+1} = 3.3x_n(1 - x_n)$ 小波包分解系数(第 1-32 个点)

Tab.1 Wavelet packet coefficients of $x_{n+1} = 3.3x_n(1 - x_n)$ (Points from 1 to 32)

| S_{30} | S_{31} | S_{32} | S_{33} | S_{34} | S_{35} | S_{36} | S_{37} |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.053 808 | 0.049 304 | 0.015 426 | 0.005 541 | -0.405 9 | 0.075 621 | 0.033 347 | 0.025 406 |
| -0.001 53 | 0.000 181 | 0.000 384 | 0.000 325 | -0.486 58 | 0.000 138 | 0.000 293 | 0.000 248 |
| -0.001 74 | 1.25E-06 | 2.70E-06 | 2.28E-06 | -0.486 74 | 9.55E-07 | 2.05E-06 | 1.73E-06 |
| -0.001 74 | 8.87E-09 | 1.91E-08 | 1.61E-08 | -0.486 74 | 6.75E-09 | 1.45E-08 | 1.23E-08 |

表 2 $x_{n+1} = 3.8x_n(1 - x_n)$ 小波包分解系数(第 1-32 个点)

Tab.2 Wavelet packet coefficients of $x_{n+1} = 3.8x_n(1 - x_n)$ (Points from 1 to 32)

| S_{30} | S_{31} | S_{32} | S_{33} | S_{34} | S_{35} | S_{36} | S_{37} |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.038 338 | 0.009 94 | 0.293 05 | -0.009 11 | -0.575 36 | 0.000 844 | 0.128 49 | 0.004 791 |
| 0.118 27 | 0.063 509 | -0.028 76 | 0.184 57 | -0.603 08 | 0.061 9 | 0.065 007 | 0.120 57 |
| -0.058 06 | -0.380 79 | -0.155 94 | -0.141 1 | -0.013 02 | 0.222 5 | -0.319 63 | -0.437 78 |
| -0.134 29 | 0.062 199 | 0.293 59 | -0.190 36 | -0.648 76 | -0.073 45 | -0.004 52 | 0.000 485 |

表 3 $x_{n+1} = 3.3x_n(1 - x_n)$ 小波包能量向量(第 1-32 个点)

Tab.3 Wavelet packet energy eigenvector of $x_{n+1} = 3.3x_n(1 - x_n)$ (Points from 1 to 32)

| E_{30} | E_{31} | E_{32} | E_{33} | E_{34} | E_{35} | E_{36} | E_{37} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.349 3 | 0.273 6 | 0.026 8 | 0.003 5 | 98.505 6 | 0.643 5 | 0.125 2 | 0.072 6 |

表 4 $x_{n+1} = 3.3x_n(1 - x_n)$ 小波包能量向量(第 2-33 个点)

Tab.4 Wavelet packet energy eigenvector of $x_{n+1} = 3.3x_n(1 - x_n)$ (Points from 2 to 33)

| E_{30} | E_{31} | E_{32} | E_{33} | E_{34} | E_{35} | E_{36} | E_{37} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.019 4 | 0.020 7 | 0.008 9 | 0.011 2 | 99.586 7 | 0.175 4 | 0.079 4 | 0.098 4 |

表 5 $x_{n+1} = 3.8x_n(1 - x_n)$ 小波包能量向量(第 1-32 个点)

Tab.5 Wavelet packet energy eigenvector of $x_{n+1} = 3.8x_n(1 - x_n)$ (Points from 1 to 32)

| E_{30} | E_{31} | E_{32} | E_{33} | E_{34} | E_{35} | E_{36} | E_{37} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.848 8 | 7.724 4 | 9.956 5 | 4.558 5 | 56.330 6 | 2.965 1 | 6.205 6 | 10.410 5 |

表 6 $x_{n+1} = 3.8x_n(1 - x_n)$ 小波包能量向量(第 2-33 个点)

Tab.6 Wavelet packet energy eigenvector of $x_{n+1} = 3.8x_n(1 - x_n)$ (Points from 2 to 33)

| E_{30} | E_{31} | E_{32} | E_{33} | E_{34} | E_{35} | E_{36} | E_{37} |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.365 0 | 0.382 5 | 5.881 8 | 1.525 1 | 54.379 2 | 14.233 3 | 17.623 3 | 5.609 8 |

2.3 基于小波包能量的特征提取

下面对图 2、图 3 的时间序列进行基于小波包能量的特征提取,计算步骤如下:

1)小波基函数取 *db1*,对采样信号 S_{00} 进行 3 层的小波包分解(3 层小波包分解树结构示意图见

图 4,其中 S_{ij} 为小波包分解树的节点, i 为该节点的层次, j 为节点在该层的位置),提取第 3 层由低频到高频的 8 个频率成分的信号特征。

2)对小波包分解系数重构,提取各频带范围的信号。

3)构造归一化能量特征向量。

设($S_{3j} = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$)对应的能量为

$$E_{3j} = \int |S_{3j}|^2 dt \quad (2)$$

构造能量特征向量

$$E_N = [E_{30}, E_{31}, E_{32}, E_{33}, E_{34}, E_{35}, E_{36}, E_{37}] \quad (3)$$

得到的小波包能量向量结果见表3、4、5、6。

2.4 实验结果分析

1)比较图5与图7、图6与图8可以发现,当 μ 取3.3时(周期信号),信号的频率分量主要集中于 S_{34} ,其能量比较集中,其它时频子空间的信号分量很小;而当 μ 取3.8时(混沌信号),信号比较均匀地分布于各时频子空间,而且信号特征比较接近,存在一种相似结构。这说明小波包分析能较好地反映混沌信号与周期信号之间的明显差别。

2)比较表3与表5、表4与表6可以发现,两信号的小波包能量向量有显著的差异,当 μ 取3.3时(周期信号)的能量集中于向量的某一分量上,而当 μ 取3.8时(混沌信号)的能量则分散地分布于各分量。

3)从图2、图3可以看出,细线信号(第1-32个点)与粗线信号(第2-33个点)比较差别明显,不具有不变性,因此不适合作为反映时间序列本质特征的特征向量。而分别对比图5与图6、图7与图8、表3与表4、表5与表6可以看出,它们都相差不大,基本具有不变性,因此适合作为反映时间序列本质特征的特征向量。通过这些对比可以发现:(1)通过特征提取可以较好地反映混沌信号与周期信号之间的明显差别。(2)在满足实时判定小样本量要求的情况下,不同的时间序列的直观差别很大,如果直接以时间序列作为“初始条件”,用知识发现算法寻找“混沌与初始条件之间的对应关系”,则会很难处理,会造成难收敛、误判率高。(3)虽然小波包系数、小波包能量都能很好地反映混沌时间序列与非混沌时间序列的差异,但是按照系统结构与模块中“初始条件”的要求以及考虑知识发现算法的要求,应选择小波包能量作为特征量进行特征提取。原因是提取的小波包能量向量维数(此处是8,参见表3、表4、表5、表6)比提取的小波包系数(此处都是32,参见表1、表2)要小很多,这非常有利于后面的知识发现算法。

3 结论

1)对于该混沌实时判定系统,特征提取是必要的,特征提取模块是其关键模块。

2)通过分析该判定系统的特征提取模块,可以寻求更好的特征提取方法,有助于改进整个系统的性能。

3)基于小波包能量的特征提取可以很好的得到原时间序列的特征,能够满足该判定系统原理及功能的要求,因此可以作为该判定系统中特征提取的一种方法。

参考文献:

- [1] PAUL MANNEVILLE. *Instabilities, chaos and turbulence: an introduction to nonlinear dynamics and complex systems* [M]. London: Imperial College Press, 2004.
- [2] 吕金虎, 陆君安, 陈士化. 混沌时间序列分析及其应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [3] 陈敏, 叶晓舟. 混沌时间序列的判定方法研究[J]. 信息技术, 2008, 32(6): 23-25.
- [4] 王东山, 贺国光. 交通混沌研究综述与展望[J]. 土木工程学报, 2003, 36(1): 68-74.
- [5] 张龙斌, 贺国光, 卢宇. 一种在线实时快速判定混沌的智能方法[J]. 天津理工大学学报, 2007, 23(1): 18-21.
- [6] FANGFANG LIU, DAOLIN XU, GUILIN WEN. Tracing initial condition, historical evolutionary path and parameters of chaotic processes from a short segment of scalar time series [J]. *Chaos, Soliton & Fractals*, 2005(24): 265-271.
- [7] 刘树勇, 朱石坚, 俞翔. 基于小波变换的混沌信号特征研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2007, 31(4): 603-606.
- [8] 赵犁丰, 宋洁, 姚玉玲, 等. 利用小波包分析和混沌特征提取进行船舶辐射噪声分类[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(6): 1036-1040.
- [9] 潘泉, 张磊, 孟晋丽, 等. 小波滤波方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [10] 胡昌华, 李国华, 刘涛, 等. 基于MATLAB 6.X的系统分析与设计—小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.

(责任编辑 刘存英)

某混沌实时判定系统中特征提取的原因分析

作者: [卢宇](#), [阎利](#), [张龙斌](#), [LU Yu](#), [YAN Li](#), [ZHANG Long-bin](#)
作者单位: [卢宇, LU Yu\(清华大学航天航空学院, 北京, 100084; 清华大学航天航空学院, 北京, 100084\)](#),
[阎利, YAN Li\(安阳工学院, 建筑工程系, 河南安阳, 455000\)](#), [张龙斌, ZHANG Long-bin\(天津大学系统工程研究所, 天津, 300072\)](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING\(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2009, 26(3)
被引用次数: 3次

参考文献(10条)

1. [PAUL MANNEVILLE](#) [Instabilities, chaos and turbulence: an introduction to nonlinear dynamics and complex systems](#) 2004
2. [吕金虎](#); [陆君安](#); [陈士化](#) [混沌时间序列分析及其应用](#) 2002
3. [陈敏](#); [叶晓舟](#) [混沌时间序列的判定方法研究](#)[期刊论文]-[信息技术](#) 2008(06)
4. [王东山](#); [贺国光](#) [交通混沌研究综述与展望](#)[期刊论文]-[土木工程学报](#) 2003(01)
5. [张龙斌](#); [贺国光](#); [卢宇](#) [一种在线实时快速判定混沌的智能方法](#)[期刊论文]-[天津理工大学学报](#) 2007(01)
6. [FANGFANG LIU](#); [DAOLIN XU](#); [GUILIN WEN](#) [Tracing initial condition, historical evolutionary path and parameters of chaotic processes from a short segment of scalar time series](#) 2005(24)
7. [刘树勇](#); [朱石坚](#); [俞翔](#) [基于小波变换的混沌信号特征研究](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报\(交通科学与工程版\)](#) 2007(04)
8. [赵犁丰](#); [宋洁](#); [姚玉玲](#) [利用小波包分析和混沌特征提取进行船舶辐射噪声分类](#)[期刊论文]-[中国海洋大学学报\(自然科学版\)](#) 2004(06)
9. [潘泉](#); [张磊](#); [孟晋丽](#) [小波滤波方法及应用](#) 2005
10. [胡昌华](#); [李国华](#); [刘涛](#) [基于MATLAB 6. X的系统分析与设计-波分析](#) 2004

引证文献(3条)

1. [卢宇](#); [张旭涛](#) [特征量对某交通流混沌实时判定系统的影响](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报\(交通科学与工程版\)](#) 2011(5)
2. [刘晓君](#); [李险峰](#); [何万生](#); [杨丽新](#) [网络系统的线性耦合混沌同步](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2010(6)
3. [刘晓君](#); [李险峰](#); [王三福](#) [Rikitake双盘发电机模型的混沌与同步](#)[期刊论文]-[黑龙江科技学院学报](#) 2010(3)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200903017.aspx