

文章编号:1000-582X(2005)08-0012-05

基于矩阵运算的产品拆卸过程规划*

冉振亚¹,赵树恩^{1,2},李玉玲²,韩兆运¹

(1. 重庆大学机械工程学院,重庆 400030;2. 陕西理工学院机电工程系,陕西 汉中 723000)

摘要:以模糊 Petri 网为工具,给出了模糊产生式规则推理 Petri 网模型,并将模糊 Petri 网与矩阵运算相结合,提出了一种模糊推理过程的形式化推理算法.在此基础上,针对产品拆卸过程中知识具有不确定性和模糊性的特点,采用模糊推理 Petri 网建立了产品拆卸路径决策模型,并通过实例,对所提出的拆卸路径决策算法进行了论述,结果表明此决策模型在产品拆卸过程规划中具有很强的并行处理能力,它可以根据产品在拆卸过程中零部件的信息对每一步操作做出适时的智能化决策.

关键词:拆卸过程规划;模糊推理算法;产品回收;Petri 网

中图分类号:TH16; X705

文献标识码:A

废旧产品带来的环境污染和资源匮乏已成为近年来社会关注的热点问题,回收和再生是解决该问题、实现生态工业的先决条件.要对退役产品的零件或材料进行回收再生,就不可避免地要涉及到对产品的拆卸分析.为了对产品进行自动拆卸分析,必须判断产品中零件的先后拆卸顺序,即对拆卸路径进行决策.目前许多学者建立了多种拆卸模型,如基于图论的无向图、有向图、AND/OR 图、关系模型等^[1],但这些研究都是假定某一拆卸过程可以很好地进行,并且认为废旧产品中零部件的回收价值和拆卸成本等参数在拆卸之前是稳定的.然而,即使对于相同产品而言,由于其在使用阶段经历的环境和工况各不相同,在拆卸过程中将会遇到各种不确定因素的影响,因此拆卸之前所建立的知识库中的信息并不能完全适用于同类废旧产品.采用模糊推理 Petri 网建立了产品拆卸路径的决策模型,利用该模型,可以依据产品在拆卸过程中零部件的信息对每一步操作做出动态的、适时的智能化决策.

1 模糊推理 Petri 网的模型及其推理算法

Petri 网^[2-3]最早是由 Carl A. Petri 博士于 1962 年提出的,主要是用于离散事件系统建模与分析的工具.随着 Petri 网理论的不完善与充实,它已经成为了一

个图形化的数学建模工具,被广泛应用于通信、制造、运输等领域.模糊推理 Petri 网(Fuzzy Reasoning Petri Net, FRPN)是从 PN 基础上扩展而来的,由于它更符合人类的思维和认知方式,在描述和分析许多物理系统乃至社会系统的并行和并发表行为时具有广泛的意义,特别是应用在人类知识的表示和人工智能中非常适合,但现有的研究成果大多停留在知识和推理规则的表述上,推理方法仍然沿用分步运算加判断的方法,实现起来较为繁琐,没有充分利用 Petri 网的并行处理能力.在前人研究工作的基础上,将模糊 Petri 网应用在更具一般性的推理过程中,运用矩阵运算来实现形式化推理方法,使模糊推理过程更加简单和易于实现.

模糊推理 Petri 网的根本出发点是基于知识的表达和逻辑推理功能,其框架代表基于产生式规则的知识结构.可以用 Petri 网中库所表示命题,如果命题为真,在库所中标识上托肯(token),托肯的值在 0 和 1 之间,其值表示命题为真的置信度,推理过程用 Petri 网中变迁的触发表示.基于规则的模糊推理 Petri 网具有以下不同于传统的 Petri 网的特点^[4-5]:

- 1) 一个库所中的托肯数值不会大于 1;
- 2) 规则的激发意味着命题为真的繁衍,规则激发后,规则的前提部的置信度并不消失;

* 收稿日期:2005-04-20

作者简介:冉振亚(1949-),男,重庆万州人,重庆大学副教授,主要研究方向:汽车绿色技术及天然气汽车技术的研究.

3) 变迁的引发不存在传统 Petri 网中的并发冲突问题;

4) 变迁上多一个为规则置信度的参数.

1.1 模糊推理 Petri 网的模型

定义一个八元组,可将 FRPN 的模型描述为

$$FRPN = (P, R, I, O, H, \theta, \gamma, C)$$

其中:

1) $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 是库所(命题)的有限集合, $n > 0$ 为库所的个数;

2) $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ 是变迁(规则)的有限集合, $m > 0$ 为变迁的个数;

3) $P \cap R = \Phi$;

4) $I: P \times R \rightarrow \{0, 1\}$ 为 $n \times m$ 维的规则输入矩阵, $I = I(p_i, r_j) \in \{0, 1\}$, 当 P_i 是 R_j 的输入时, $I = I(p_i, r_j) = 1$; 否则, $I = I(p_i, r_j) = 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$;

5) $O: P \times R \rightarrow \{0, 1\}$ 为 $n \times m$ 维的规则输出矩阵, $O = O(p_i, r_j) \in \{0, 1\}$, 当 P_i 是 R_j 的输出时, $O = O(p_i, r_j) = 1$; 否则, $O = O(p_i, r_j) = 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$;

6) $H: P \times R \rightarrow \{0, 1\}$ 为 $n \times m$ 维从命题到规则的矩阵的“补”,即存在从 r_j 到 p_i 的有向弧时, $H = H(p_i, r_j) = 1$; 否则, $H = H(p_i, r_j) = 0, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$; 并且 $I(p, r) \cdot H(p, r) = 0, p \in P, r \in R$. 亦即: $I^T \cdot H = 0$.

7) $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n), \theta_i \in [0, 1]$, 表示命题的可信度; $i = 1, 2, \dots, n$, 为命题的初始逻辑状态;

8) $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)^T$ 为标识量, 当命题 p_i 中存在一个托肯时, $\gamma_i = 1$; 否则, $\gamma_i = 0$, 表示初始状态的标识, 托肯在图中常用一个黑点表示;

9) $C = \text{diag}\{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ 为规则置信矩阵, c_j 为规则 r_j 的置信度, $c_j \in [0, 1], j = 1, 2, \dots, m$.

1.2 模糊推理 Petri 网的推理算法

FRPN 的推理算法为一迭代算法,它能够自动的生成从起始库所至目标库所的推理路径. 本文的推理算法采用一种实用的不确定推理方法——MYCIN 的置信度方法^[6-8]. 它的主要思想是模糊命题合取式的真值取各子式真值的最小值,模糊命题析取式的真值取各子式真值的最大值. 首先,引入极小—极大代数中的两个算子:

$\oplus: A \oplus B = D, A, B, D$ 是 $m \times n$ 维矩阵向量, 则 $d_{ij} = \max\{a_{ij}, b_{ij}\}$;

$\otimes: A \otimes B = D, A, B, D$ 分别为 $(m \times p), (p \times n),$

$(m \times n)$ 维矩阵, 则 $d_{ij} = \max_{1 \leq k \leq p} (a_{ik} \cdot b_{kj})$.

根据 FRPN 的特点,其具体的推理算法如下:

步骤 1: FRPN 的初始输入: $I, O, H, C, \theta^0, \gamma^0$;

步骤 2: 令 $k = 0$;

步骤 3: ① 计算 ρ^k

$$\rho^k = (I^T \otimes (\overline{\gamma^k \oplus \theta^k})) \oplus (H^T \otimes (\overline{\gamma^k \oplus \theta^k})). \quad (1)$$

② 由 θ^k 计算 θ^{k+1}

$$\theta^{k+1} = \theta^k \oplus [(O \cdot C) \otimes \rho^k]. \quad (2)$$

③ 由 γ^k 计算 γ^{k+1}

$$\gamma^{k+1} = \gamma^k \oplus [O \otimes (I + H)^T \otimes \overline{\gamma^k}]. \quad (3)$$

步骤 4: 如果 $\theta^{k+1} \neq \theta^k$ 或 $\gamma^{k+1} \neq \gamma^k$, 令 $k = k + 1$, 返回步骤 3, 否则, 推理结束.

因此, 可由系统的初始状态 θ^0, γ^0 推理出所有命题集的最终真值.

在以上的推理算法步骤中:

1) k ——第 k 步算法;

2) ρ^k ——中间量, 表示规则 r_j 的置信度, $j = 1, 2, \dots, m$;

3) 变量上面加一横线表示该命题的置信度逻辑“取反”, 如: $\overline{\theta^k} = 1_m - \theta^k, 1_m$ 为元素全为 1 的 m 维向量;

2 基于 FRPN 的产品拆卸过程决策

由于产品在使用阶段经历的环境和工况各不相同, 因此当对报废产品进行拆卸回收时, 总会遇到许多不可知的因素, 故在拆卸决策时, 应根据产品的特殊使用状况, 能够对其拆卸进行适时的决策.

对于任何产品或部件, 在进行拆卸序列决策时, 首先要对其重用价值进行评估, 如果其重用价值很高, 就可以直接进行重用; 否则, 需对其作进一步的分析评估, 如零部件拆卸的难易程度、材料的兼容性、材料有无危害等. 图 1 所示即为产品拆卸规划时的决策流程. 根据前面所介绍的 FRPN 的知识, 可以把图 1 所示的决策流程图转化为图 2 所示的 FRPN 模型, 再按照 FRPN 的推理算法, 得到拆卸规则集合的最终状态, 其中置信度最高的规则即为决策的结果.

图 2 中, 各命题的含义分别为: S_1 : 表示产品或部件的重用价值很高; S_2 : 表示部分零件的重用价值很高而且很容易拆卸; S_3 : 表示构成产品或部件的材料没有很高的再生价值; S_4 : 表示构成产品或部件的材料不全

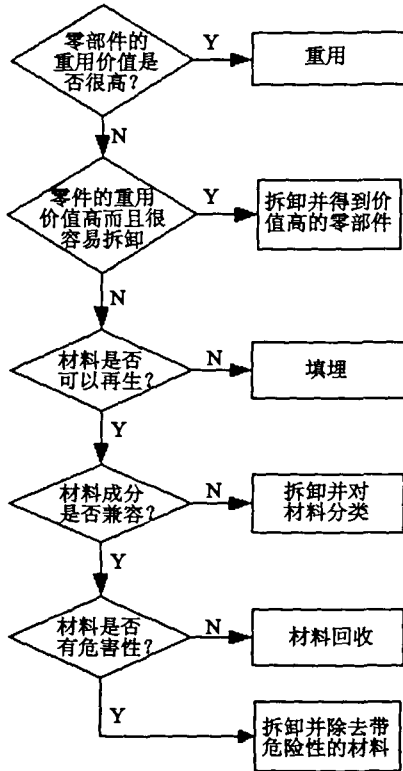


图1 零部件拆卸过程决策流程图

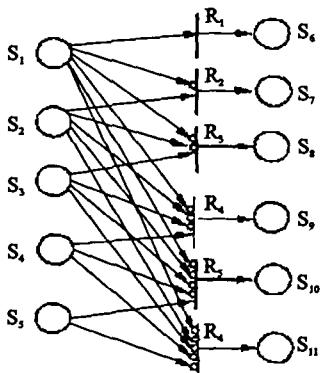


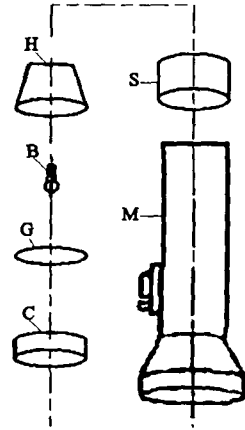
图2 产品拆卸规则的 FRPN 模型

兼容; S_5 : 表示构成产品或部件的材料中无危害性; S_6 : 表示产品或部件被重用; S_7 : 表示从产品或零部件中拆卸下重用价值很高的零件; S_8 : 表示产品或部件被填埋; S_9 : 表示不同材料成分的部件或零件通过拆卸进行分类; S_{10} : 表示回收的材料作再生处理而不需再进行拆卸; S_{11} : 表示有危害的材料进行分离处理。

3 实例应用

以手电筒的拆卸为例, 来说明 FRPN 在产品自动拆卸决策中的应用. 如图 3 所示为手电筒的结构简图, 图 4 为手电筒拆卸的 Petri 网模型. 在拆卸之前, 假设 ①“重用价值很高”的可信度为 0.1; ②“前盖重用价值很高且拆卸成本很低”的可信度为 0.9; ③“材料有很

高的再生价值”的可信度为 0.8; ④“材料成分不全兼容”; ⑤“无危害性材料”. 按照图 2 所示的拆卸规则 FRPN 模型, 依据模糊推理 Petri 网模型和推理算法, 则有:



C—顶盖; G—玻璃片; B—小灯泡; H—反光镜; M—电筒筒体; S—筒体盖

图3 手电筒简图

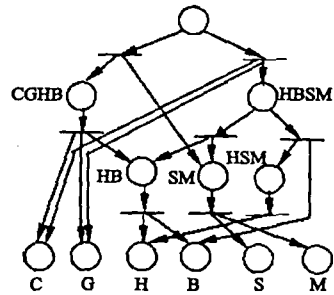


图4 手电筒拆卸的 Petri 网模型

$$P = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}, S_{11}\};$$

$$R = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6\};$$

$$\theta^0 = [0.1 \ 0.9 \ 0.2 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T;$$

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T;$$

假定所有规则的置信度均为 1, 即 $C = 1_{6 \times 6}$, 根据前面 FRPN 的定义, 则 I, O, H, C 矩阵如下:

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由式(2)、(3),可得经过第一步激发后标识和规则的可信度为:

$$\theta^1 = [0.1, 0.9, 0.2, 1, 1, 0.1, 0.9, 0.1, 0.1, 0, 0]^T;$$

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T;$$

经过第二次激发后标识和规则的可信度为:

$$\theta^2 = [0.1, 0.9, 0.2, 1, 1, 0.1, 0.9, 0.1, 0.1, 0, 0]^T;$$

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T;$$

由于 $\theta^1 = \theta^2$; $\gamma^1 = \gamma^2$, 故推理结束. 所以手电筒拆卸的最终决策状态为 $\theta = [0.1 \ 0.9 \ 0.2 \ 1 \ 1 \ 0.1 \ 0.9 \ 0.1 \ 0.1 \ 0 \ 0]^T$. 从计算结果可以看出, 应该拆卸产品获得重用价值高的零件, 因为在命题 $S_6 \sim S_{11}$ 中 (见图2), S_7 的可信度 (θ_7) = 0.9 为最大, 即应该拆卸手电筒以获得重用价值很高的“顶盖 C”. 此时, 可以获得最短的拆卸路径: {HBSM, C, G}, 顶盖和玻璃片作为零件进行重用, HBSM 则作为装配体按照上面相似的推理算法进行更进一步地决策判断.

假设装配体“HBSM”的初始状态为 $\theta_{HBSM}^0 = [0 \ 0.2 \ 0.1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$, 经过推理可得装配体“HBSM”的最终状态为 $\theta_{HBSM}^2 = \theta_{HBSM}^1 = [0 \ 0.2 \ 0.1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.8 \ 0 \ 0]^T$, 此时, 在命题 $S_6 \sim S_{11}$ 中, S_9 的可信度 (θ_9) = 0.8 为最大, 即应该将不同材料成分的部件或零件通过拆卸进行分类, 亦即需要将“小灯泡 B”从装配体“HBSM”中拆卸下来, 这样便得到了材料成分相兼容的新装配体“HSM”. 同理, 对于新装配体“HSM”, 假设初始状态为 $\theta_{HSM}^0 = [0 \ 0.2 \ 0 \ 0.1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$, 则经过推理可得 $\theta_{HSM}^2 = \theta_{HSM}^1 = [0 \ 0.2 \ 0 \ 0.1 \ 1 \ 0 \ 0.2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$, 此时 S_{10} 的可信度 (θ_{10}) = 0.8 为最大, 表示装配体“HSM”作为材料直接进行再生, 不需进一步拆卸. 到此, 关于手电筒的拆卸决策推理过程全部结束.

从上面的推理过程可以看出, 采用模糊 Petri 网的

推理过程完全是并行的, 在产品拆卸顺序决策时, 它完全可以替代图1所示的判断决策过程; 此外, 对于产品或部件的拆卸, 由于其使用阶段所经历的环境、工况各不相同, 因此在拆卸回收时, 零部件的报废程度及回收价值也各不相同. 采用模糊推理 Petri 网可以实现产品或部件拆卸的实时决策, 从而确定最佳的拆卸路径, 以获得最大的拆卸效益.

4 结 论

模糊推理 Petri 网是一种并行推理方式, 对基于模糊推理 Petri 网系统, 结合推理过程中的所有约束条件, 提出了一种采用矩阵运算的形式化推理算法, 充分体现了模糊推理 Petri 网的并行推理能力, 使得模糊推理过程更加简单、快速和易于实现. 在此基础上, 针对产品拆卸过程中知识具有不确定性和模糊性的特点, 采用模糊推理 Petri 网建立了产品拆卸路径决策模型, 利用该模型, 可以根据产品在拆卸过程中零部件的最新信息对每一步操作做出适时的智能化决策.

参考文献:

- [1] 孟鹏, 段广洪, 汪劲松, 等. 基于图论的产品拆卸回收建模与评估系统[J]. 机械工程学报, 2002, 38(12): 85-89.
- [2] 蒋昌俊. Petri 网的行为理论及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [3] 江志斌. Petri 网及其在制造系统建模与控制中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] 陈玉宝, 夏继强, 邬学礼. Petri 网模型在故障诊断领域的应用研究[J]. 中国机械工程, 2000, 11(12): 1386-1388.
- [5] 李凡长. 动态模糊 Petri 网模型及其应用研究[J]. 小型微型计算机系统, 2002, 23(7): 853-858.
- [6] GAO MEI-MEI, ZHOU MENG-CHU. Fuzzy Reasoning Petri Nets for Demanufacturing Process Decision[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics, 2001, 31(1): 167-172.
- [7] GAO MEI-MEI, ZHOU MENG-CHU. Fuzzy Reasoning Petri Nets[J]. IEEE Trans Syst, Man, Cybern, 2003, 33(5): 314-323.
- [8] FERNANDEZ ROBERTO, ZERHOUNI NOUREDDINE. Modeling and Analysis of Disassembly Systems Using Continuous Petri Nets[J]. Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning Soft Research Park, 2001, 31(5): 232-237.

Disassembly Process Planning of Products Based on Matrix Operation

RAN Zhen-ya¹, ZHAO Shu-en^{1,2}, LI Yu-ling², HAN Zhao-yun¹

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Department of Mechanical & Electronic Engineering, Shanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: Based on fuzzy Petri nets, a fuzzy reasoning Petri nets (FRPN) model is defined. And then, combining fuzzy Petri nets with matrix operation, an algorithm of formalized fuzzy reasoning process is proposed. Based on the fuzziness and uncertainty of the knowledge in the disassembly process of products, a decision making model in disassembly process is established. Furthermore, taking realistic disassembly as an example, an algorithm of decision-making in disassembly sequence is discussed. The result shows that the model of decision-making has strong parallel operation ability in the disassembly process sequence. It also can make intelligent decisions based on the product information originating from each disassembly step.

Key words: disassembly process planning; fuzzy reasoning algorithm; products recovery; Petri nets

(编辑 成孝义)

(上接第 7 页)

Design of Self-adjusting Planetary Gear Rotation Mechanism Based on Planetary Gear Structures Muster

TAN Kun, HUANG Mao-lin

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Self-adjusting planetary gear rational mechanism can eliminate the influence of various uncertain errors in mechanism. Therefore, its method of self-adjusting designing is attended by machine designer. For seeking a simple, regular, and widely realizing self-adjusting designing way, this article uses approach of the follow text to design no over-constraint and self-adjusting mechanism. First, the article advances the conception of planetary gear structure muster and its plotting basis, through using for reference the strategy and method of self-adjusting structure groups in planar linkage mechanism. Second, it designs the self-adjusting planetary gear structure muster, through analyzing the constraint and freedom of planetary gear structure muster. Third, it designs the self-adjusting mechanism, through adding aptitude rotational links outside of self-adjusting planetary gear structure muster. This mechanism can realizes the self-adjusting in the interior of muster and self-adapting in the exterior of muster. This designing plan possesses a series of excellence, such as, theoretical, simple, feasible, widely self-adjusting. Consequently, the mechanism can eliminate the working capability influence of various errors.

Key words: planetary gear structure muster; over-constraint; freedom; self-adjusting

(编辑 成孝义)