

水下机器人软件可靠性及故障诊断方法研究

张汝波, 史长亭, 杨 婷

ZHANG Rubo, SHI Changting, YANG Ting

哈尔滨工程大学 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001

College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

ZHANG Rubo, SHI Changting, YANG Ting. Research on software reliability and fault diagnosis of AUV. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(18): 226-230.

Abstract: As for the uncertainty and complex association in the process of fault diagnosis of Autonomous Underwater Vehicle(AUV) software system, an improved Failure Mode and Effects Analysis(FMEA) method is applied in the intelligent planning and decision-making control system. On the basis of analyzing main software failure mode, a three-layered Bayesian diagnosis model is proposed. By the inference mechanism of Bayesian Networks, experiments of single fault and multi-fault are given separately, and the results prove that the above methods can effectively improve the reliability of AUV system, as well as the ability of fault diagnosis.

Key words: Autonomous Underwater Vehicle(AUV); software reliability; Failure Mode and Effects Analysis(FMEA); fault diagnosis

摘 要: 针对于智能水下机器人在软件系统故障诊断过程中广泛存在的不确定性和复杂关联性, 采用改进的软件FMEA方法, 对AUV智能规划决策控制系统进行了可靠性分析和研究, 在总结了AUV主要软件故障模式的基础上, 提出了一种基于FMEA的三层贝叶斯网络诊断模型。通过贝叶斯网络的推理机制, 分别对单一故障和复合故障进行了推理实验。实验结果表明, 采用上述方法能有效地提高水下机器人系统软件可靠性以及故障诊断能力。

关键词: 智能水下机器人; 软件可靠性; 失效模式影响分析; 故障诊断

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2011.18.067 文章编号: 1002-8331(2011)18-0226-05 文献标识码: A 中图分类号: TP24

1 前言

智能水下机器人(AUV)由于工作环境的复杂性、外界因素的未知多变性, 使得任何细微的故障都有可能产生灾难性的后果, 所造成的经济损失将无法估量, 因此如何提高系统可靠性及故障诊断能力已成为AUV研究领域的重要课题。然而, 相对于水下机器人硬件可靠性的研究, 软件可靠性还没有得到足够的重视^[1]。针对国内在水下机器人软件可靠性研究方面还没有深入展开的现状, 本文结合水下机器人软件系统的特点, 运用改进的FMEA技术, 给出了实际可行的水下机器人软件可靠性分析及评估方案, 总结了AUV的主要软件故障模式, 并在此基础上, 建立了基于FMEA的贝叶斯诊断网络。实验表明, 本文方案能有效地提高水下机器人软件系统可靠性及故障诊断的准确性, 对水下机器人可靠性技术的发展起到了一定的推动作用。

2 基于FMEA的AUV可靠性分析

失效模式影响分析(Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)是一种传统的系统可靠性、安全性分析方法^[2]。根据FMEA的基本原理及方法要求, 本文给出了水下机器人智能

决策系统软件的FMEA实施步骤: (1)确定描述分析对象; (2)确定潜在的失效模式; (3)描述失效的影响; (4)确定原因; (5)风险评估。

本文分析对象为AUV智能决策系统软件模块, 该系统主要包括6大功能模块: (1)全局路径规划模块; (2)局部路径规划模块; (3)紧急情况处理模块; (4)通讯模块; (5)目标搜索模块; (6)任务下达模块。以路径规划模块为例, 其FMEA表如表1所示。

3 改进的FMEA风险评估方法

3.1 传统FMEA的局限性

传统FMEA风险评估过程如图1所示^[3], 其主要是通过计算风险顺序数RPN(Risk Priority Number)来评估产品或系统的风险等级。

RPN是FMEA分析中的一个最重要的评价指标, 它反映了某项潜在失效模式发生风险性及其危害性。传统FMEA中RPN是发生率 O 、严重度 S 和难检度 D 三者的乘积。由于不同的 O 、 S 、 D 相乘可以得到相同的RPN值, 而RPN值相同情况下, 各种失效模式对于系统的风险作用却不相同^[4], 因此, 仅以

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(No.HEUCF061004)。

作者简介: 张汝波(1963—), 教授, 博导, 主要研究领域为智能控制和智能机器人; 史长亭(1980—), 男, 博士研究生, 讲师。E-mail: shichangting@hrbeu.edu.cn

收稿日期: 2009-11-03; 修回日期: 2010-01-26

表1 路径规划模块FMEA表

模块名称	故障模式	主要故障原因	故障影响
全局路径规划模块	(1)全局路径规划不合理	(1)环境建模不合理或失效	(1)航迹
	(2)无法规划出全局路径	(2)全局路径搜索模块失效	(2)航迹
	(3)地图文件读写出错	(3)地图文件读写出错	(3)状态参数异常
局部路径规划模块	(1)碰到障碍物	(1)控制规则表创建失效	(1)航迹
	(2)无法规划出局部路径	(2)避障函数失效	(2)航迹
	(3)向目标点前进	(3)写入目标文件出错	(3)状态参数异常
	(4)碰到障碍物	(4)写入目标文件出错	(4)碰到障碍物
	(5)无法从文件获取数据	(5)无法从文件获取数据	(5)无法从文件获取数据



图1 风险评估过程图

RPN 来判断各种失效模式的风险顺序明显存在着不足。另外,传统FMEA 又很难对主观或定性的描述语言变量做出准确判断,这也极大地限制了FMEA的使用效果。

基于传统FMEA 的局限性,本文从改进风险顺序数RPN 确定方法的角度出发,研究了基于模糊集理论和灰色关联理论的FMEA 方法^[5],试图在水下机器人软件系统中对风险进行定量评估,使风险的评估更加接近实际情况。

3.2 基于三角模糊数的FMEA 评价模型

将水下机器人各种失效模式的 O 、 S 、 D 三变量作为模糊语言变量,每个语言变量包含5种评价语言术语,即{极低(R),较低(L),一般(M),较高(H),很高(VH)}。

在确定了水下机器人软件系统主要的失效模式、失效原因的基础上,由从事水下机器人软件测试及故障诊断的工作人员、科研人员组成专家小组,来确定主要故障模式的模糊评价语言术语集及其对应的模糊数。

模糊数形式有很多,本文采用三角模糊数^[6]对模糊语言术语进行定量化处理。若模糊数 A 可由 (a, b, c) 决定,且隶属函数值为:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & x \in [a, b] \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & x \in [b, c] \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (1)$$

则称 A 为三角模糊数,记 $A = (a, b, c)$,当 $a = b = c$ 时, A 为一个精确数。这样,模糊语言术语对应的三角模糊数,可以借助专家的知识 and 经验来确定。

模糊数的非模糊化是应用灰色关联理论计算的基础,国内外有许多学者对非模糊化算法进行了深入的研究^[7]。本文根据三角模糊数分布特点,由式(2):

$$G = \frac{a + 4b + c}{6} \quad (2)$$

将三角模糊数 (a, b, c) 化为单值,即可得出最终的评价结果,见表2。

O 、 S 、 D 可以采用相同的模糊语言术语集和模糊数,这样建立了模糊语言对应的模糊数,就可以对水下机器人主要失效模式做出评价。本文从水下机器人6大模块中选择了主要

表2 模糊语言术语的清晰化

评价语言	三角模糊数	清晰数
极低(R)	(0, 0.76, 1.84)	0.81
低(L)	(1.5, 2.8, 3.85)	2.76
一般(M)	(3.7, 5.2, 6.2)	5.1
高(H)	(6.22, 8.15, 9.13)	8.0
很高(VH)	(8.8, 9.8, 10)	9.67

的故障模式,分别为:(1)全局路径规划不合理;(2)避障失败;(3)无法处理紧急情况;(4)通讯超时;(5)未能搜索到目标;(6)任务没有顺利下达。这6种主要故障模式的模糊等级评价表,如表3所示。

表3 故障模式模糊等级评价表

故障模式	O	S	D
全局规划不合理	M	M	M
避障失败	R	VH	M
无法处理紧急情况	R	VH	H
通讯超时	L	M	L
未能搜索到目标	L	H	H
任务没有顺利下达	L	M	M

3.3 基于灰色关联度的PRN 排序

对典型的几种失效模式进行评价后,便可以根据灰色关联理论计算各种失效模式的灰色关联度,通过排序来确定各种失效模式的风险顺序,制定改进措施。

灰色关联分析是用关联度大小来描述事物之间、因素之间关联程度的一种定量化的方法。它以系统的定性分析为前提、定量分析为依据,进行系统因素之间、系统行为之间曲线相似性的关联分析^[8]。

根据灰关联理论及对水下机器人失效模式的评价,按照表2中模糊语言术语对应的清晰数,建立水下机器人主要故障模式的比较矩阵 A 。

$$A = \begin{pmatrix} M & M & M \\ R & VH & M \\ R & VH & H \\ L & M & L \\ L & H & H \\ L & M & M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.10 & 5.10 & 5.10 \\ 0.81 & 9.67 & 5.10 \\ 0.81 & 9.67 & 8.00 \\ 2.76 & 5.10 & 2.76 \\ 2.76 & 8.00 & 8.00 \\ 2.76 & 5.10 & 5.10 \end{pmatrix}$$

上面建立了比较矩阵,因为FMEA 的风险排序数是相对于一定的参考基准来说的,从系统可靠性角度考虑,参考矩阵应该选择失效模式各变量的最优或最差值作为参考基准。本文选择最差值最为参考基准建立参考矩阵 A_0 :

$$A_0 = \begin{pmatrix} VH & VH & VH \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ VH & VH & VH \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 & 10 & 10 \\ 10 & 10 & 10 \\ 10 & 10 & 10 \\ 10 & 10 & 10 \\ 10 & 10 & 10 \end{pmatrix}$$

关联性实质上是曲线间几何形状的差别,因此可以将曲线间差值的大小,作为关联程度的衡量尺度。可以定义以下关联系数的计算公式^[9]:

$$\xi_j(k)=\gamma(x_0(k),x_i(k))=$$
$$\frac{\min_{i\in m}\min_{k\in m}|x_0(k)-x_i(k)|+\rho\max_{i\in m}\max_{k\in m}|x_0(k)-x_i(k)|}{|x_0(k)-x_i(k)|+\rho\max_{i\in m}\max_{k\in m}|x_0(k)-x_i(k)|}\quad(3)$$

式中, $\gamma(x_0(k),x_i(k))$ 为 x_i 对于 x_0 在 k 点的灰色关联系数; ρ 为分辨系数,取值在 0 至 1 之间,是可以事先确定的参数,本文取 0.5。

计算可知

$$\min_{i\in m}\min_{k\in m}|x_0(k)-x_i(k)|=0.33;\max_{i\in m}\max_{k\in m}|x_0(k)-x_i(k)|=9.19$$

根据以上公式可以得出水下机器人失效模式各变量与参考基准间的关联系数:

$$\gamma(x_0(k),x_i(k))=$$

0.518 7	0.518 7	0.518 7
0.357 3	1.000 0	0.518 7
0.357 3	1.000 0	0.746 8
0.416 1	0.518 7	0.416 1
0.416 1	0.746 8	0.746 8
0.416 1	0.518 7	0.518 7

在衡量失效模式的风险排序时由于各变量的影响程度不同,因此,可以考虑带有权值的关联度计算公式:设失效模式 3 个变量的指标权重为 λ_i ,则第 j 种失效模式与参考基准的关联度可由下式得到:

$$\gamma_{0j}=\sum_{i=1}^3\lambda_i\{\gamma(x_0(k),x_i(k))\}\quad(4)$$

其中 $\sum_{i=1}^3\lambda_i=1$ 。

λ_i 由专家根据经验知识事先确定。水下机器人失效模式各变量的权系数分别为: $\lambda_1=0.4$, $\lambda_2=0.4$, $\lambda_3=0.2$,则根据公式(4)可计算得到各失效模式相对于参考基准的关联度,按照水下机器人各失效模式关联度从大到小进行排序,就可以确定风险顺序。表 4 为改进的失效模式风险排序;表 5 是按照传统 FMEA 方法得到的风险排序。

表 4 基于灰色关联的风险排序

故障模式	关联度系数	排序
全局路径规划不合理	0.518 7	4
避障失败	0.646 6	2
无法处理紧急情况	0.692 3	1
通讯超时	0.457 2	6
未能搜索到目标	0.614 5	3
任务没有顺利下达	0.477 7	5

表 5 传统 FMEA 的风险排序

故障模式	O	S	D	RPN	排序
全局路径规划不合理	3	5	5	75	4
避障失败	2	9	5	90	3
无法处理紧急情况	2	10	8.5	170	1
通讯超时	3	4.5	4	54	6
未能搜索到目标	2	8	6	96	2
任务没有顺利下达	3	5	4	60	5

通过比较可以发现,在传统 FMEA 中,避障失败和搜索目标失败的严重度和难检度相差不多。传统 FMEA 中,避障失败排在 3,而在改进的 FMEA 中,由于综合考虑了 O 、 S 、 D 三个变量对失效模式的影响,避障失败的严重度要大于搜索目标失败,因此避障失败的风险排序上升为 2。可见,改进后的 FMEA 方法,能够综合比较,选择风险作用较大的潜在失效模式作为改进对象,提高判断的准确性。

4 基于 FMEA 的 AUV 贝叶斯诊断网络

4.1 基于 FMEA 的 AUV 贝叶斯诊断网络模型

贝叶斯网络本质上是因果关系网,它对于解决复杂系统不确定性和关联性引起的故障有很大的优势。前面利用 FMEA 已经得出了水下机器人智能决策控制系统的主要软件故障模式、故障原因和故障影响。原因导致故障的发生,故障模式的出现又导致了系统的影响。因此,根据水下机器人故障的状态信息及因果关系,建立了一个基于 FMEA 的贝叶斯诊断网络,它包括 3 个基本事件层:故障征兆层、故障层、故障原因层。所构造的贝叶斯诊断网络模型如图 2 所示。

4.2 AUV 故障诊断系统的贝叶斯推理

在贝叶斯诊断网络建立完成之后,就可以进行相应的故障诊断推理^[10]。设 E 为故障征兆, F_i 为导致征兆 E 产生的 n 个故障组成的互不相容且完备的故障集,由贝叶斯公式可知^[11]:

$$P(F_i|E)=\frac{P(F_iE)}{P(E)}=\frac{P(F_i)P(E|F_i)}{\sum_{i=1}^n P(F_i)P(E|F_i)}\quad(5)$$

以水下机器人“航迹异常”故障影响节点 E_1 为例,节点 F_1 、 F_2 的先验概率和节点 E_1 的条件概率分别如表 6 和表 7 所示。

有了条件概率和先验概率,根据条件独立性假设,就可以得出每个节点的边缘概率。 E_1 的边缘概率可根据如下公式得出:

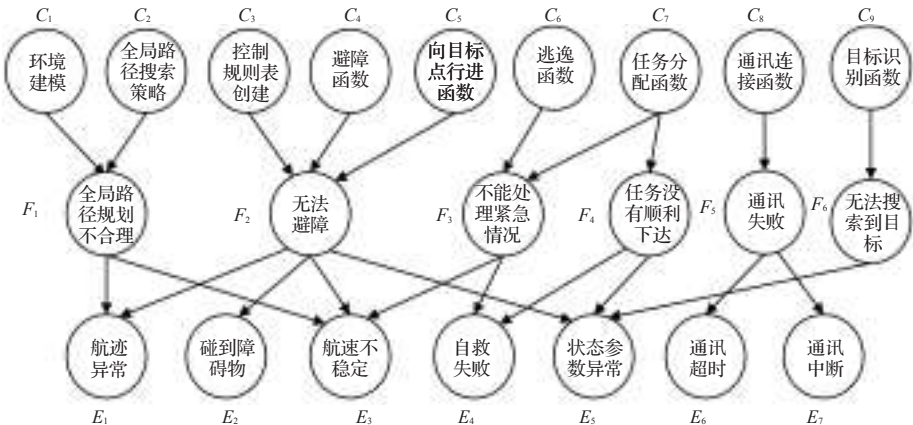


图 2 水下机器人故障诊断系统的贝叶斯网络图

表6 节点 F_1 和 F_2 的先验概率表

节点取值	$P(F_1)$	$P(F_2)$
False	0.812 8	0.91
True	0.187 2	0.09

表7 节点 E_1 的条件概率表

节点 F_1	节点 F_2	$P(E_1=\text{false} F_1, F_2)$	$P(E_1=\text{true} F_1, F_2)$
False	False	0.96	0.04
False	True	0.45	0.55
True	False	0.55	0.45
True	True	0.13	0.87

$$\begin{aligned} P(E_1 = \text{True}) &= \sum_{F_1} \sum_{F_2} P(E_1 = \text{True} | F_1 F_2) P(F_1) P(F_2) = \\ &0.04 \times 0.817\ 2 \times 0.91 + 0.55 \times 0.817\ 2 \times 0.09 + \\ &0.45 \times 0.187\ 2 \times 0.91 + 0.87 \times 0.187\ 2 \times 0.09 = 0.161\ 5 \end{aligned}$$

这样, 就可以按照贝叶斯推理公式得出条件概率:

$$\begin{aligned} P(C_2 = \text{True} | E_1 = \text{True}) &= 0.441\ 0 \\ P(C_1 = \text{True} | E_1 = \text{True}) &= 0.132\ 8 \end{aligned}$$

并可以进一步得到:

$$P(C_1 = \text{True} | E_1 = \text{True}) < P(C_2 = \text{True} | E_1 = \text{True})$$

结果表明, 当水下机器人在航行过程中, 如果通过监控平台得知水下机器人航迹异常, 利用贝叶斯推理机制可得出很大程度上是由于水下机器人的全局路径规划搜索策略模块失效所导致的, 这样就找到了导致航行异常的原因。该方法可以有效地对故障进行定位, 准确找到故障原因, 以便使故障得到及时处理。

5 诊断实验及结果分析

实验在 Matlab 6.0 平台下完成, 采用 Matlab 语言编制的贝叶斯网络工具 (Bayesian Networks Toolbox, BNT) 实现基于 FMEA 的贝叶斯诊断网络的建立和推理。对水下机器人智能规划与决策控制系统主要软件故障模式进行诊断, 并找出导致故障发生的可能原因。

5.1 单一故障诊断

通过对水下机器人状态监控系统的观察, 对图2建立的诊断网络进行推理, 假设当获得以下证据:

- (1) $evidence\{E_3\}=\text{true}$, 航速不稳定;
- (2) $evidence\{E_5\}=\text{true}$, 状态参数异常。

将该证据加入到网络中, 得出各故障发生的概率值, 如表8所示。

表8 单一故障诊断结果

节点	False	True
F_1	0.686 0	0.314 0
F_2	0.466 8	0.533 2
F_3	0.620 4	0.379 6
F_4	0.593 7	0.406 3
F_5	0.860 0	0.140 0
F_6	0.650 1	0.349 9

由该诊断结果可知, F_2 发生故障的概率最大, 为 0.533 2。因此得出结论, 在航速不稳定, 状态参数异常情况下, 水下机器人出现无法避障的故障的可能性最大。

4.2 多故障诊断

上面所进行的只是对单一故障的诊断推理, 而水下机器

人系统由于它的复杂性, 很可能是多个故障同时出现, 因此要考虑复合故障的推理。这里采用最大后验假设推理, 即将故障节点可能出现的状态进行组合, 根据出现的故障征兆, 搜索感兴趣的故障节点的组合状态, 其中后验概率最大的那个状态组合最有可能会出现故障征兆。

假设在水下机器人运行过程中, 获得如下证据:

- (1) $evidence\{E_3\}=\text{true}$, 航速不稳定;
- (2) $evidence\{E_4\}=\text{true}$, 自救失败;
- (3) $evidence\{E_5\}=\text{true}$, 状态参数异常。

将以上证据加入到网络中, 得出各故障发生的概率值, 如表9所示。

表9 加入证据后各节点概率

节点	False	True
F_1	0.741 7	0.258 3
F_2	0.709 9	0.290 1
F_3	0.143 8	0.856 2
F_4	0.066 8	0.933 2
F_5	0.860 0	0.140 0
F_6	0.761 3	0.238 7

由表9可知, F_3 和 F_4 同时发生故障概率的可能性增大, 明显高于其他故障发生的概率。复合故障诊断时, 可以根据以上单一故障诊断结果, 设定概率值低的故障为不发生, 加入为证据, 进行最大故障组合概率推理计算。如 $P(ab\bar{c}|E)$, 其表示的含义为: 给定证据 E , 故障 a 、 b 发生, c 不发生的概率。这样, 根据上面单一故障诊断结果, 获得的证据信息如下, 并加入到网络中。

- (1) $evidence\{E_3\}=\text{true}$, 航速不稳定;
- (2) $evidence\{E_4\}=\text{true}$, 自救失败;
- (3) $evidence\{E_5\}=\text{true}$, 状态参数异常;
- (4) $evidence\{F_1\}=\text{false}$, 全局路径规划正常;
- (5) $evidence\{F_2\}=\text{false}$, 可以进行避障;
- (6) $evidence\{F_5\}=\text{false}$, 通讯正常;
- (7) $evidence\{F_6\}=\text{false}$, 搜索目标正常。

然后, 再计算故障 F_3 和 F_4 的联合概率, 即 $P(F_3, F_4 | E_3, E_4, E_5, \bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F}_5, \bar{F}_6)$ 的值。加入上面的证据后, F_3 和 F_4 的联合概率如表10所示。

表10 加入证据后的多故障诊断结果

加入证据	$F_i=\text{False}$	$F_i=\text{True}$
$F_3=\text{False}$	0.002 1	0.039 9
$F_3=\text{True}$	0.011 9	0.946 0

这样, 故障 F_3 和 F_4 同时发生的概率高达 0.946 0, 这一概率要比单一故障诊断情况下的概率高。单一故障诊断下 F_3 和 F_4 的概率值分别为 0.856 2 和 0.933 2。即

$$P(F_3, F_4 | E) > P(F_4 | E) > P(F_3 | E)$$

通过上面的实验可知, 在上述情况下, 故障 F_3 和 F_4 基本是同时发生。由此可见, 该诊断网络可以灵活地对多故障进行诊断, 体现了在多故障诊断方面的优势。

6 结论

给出了具体的水下机器人软件可靠性分析及故障诊断方案的实现过程。将 FMEA 及贝叶斯网络技术应用到智能水下

机器人的可靠性研究中,提出了基于FMEA的水下机器人贝叶斯诊断网络。实验表明,本文方法对单一故障和多故障都体现出了很好的适应性,有效地提高了水下机器人系统软件可靠性及故障诊断能力,对智能水下机器人可靠性技术的发展起到一定的推动作用。

参考文献:

- [1] 徐玉如,庞永杰,甘永,等.智能水下机器人技术展望[J].智能系统学报,2006,1(1):11-14.
- [2] Chen Z, Feng K M, Zhang G S, et al. Preliminary safety research for CH HCSB TBM based on FMEA method[J]. Fusion Engineering and Design, 2008, 83(5/6): 743-746.
- [3] Bowles J B, Pelaez C E. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis[J]. Reliability Engineering & System Safety, 1995, 50(2): 203-213.
- [4] Xu K, Tang L C, Xie M, et al. Fuzzy assessment of FMEA for engine systems[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2002, 75(1): 17-29.
- [5] 门峰.模糊集理论与灰色关联理论的FMEA方法[J].工业工程,2008, 11(4): 109-112.
- [6] Guimaraes A C F, C. Lapa M F. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems[J]. Applied Soft Computing Journal, 2007, 7(1): 17-28.
- [7] Chang C L, Liu P H, Wei C C. Failure mode and effects analysis using grey theory[J]. Integrated Manufacturing Systems, 2001, 12(3): 211-216.
- [8] Shih K C, Wu K W, Huang U P. Information of grey relation[M]. Taiwan, China: Chuan-Hua Co Ltd, 1996.
- [9] Cao J, Cao G, Wang W. A hybrid MCMD integrated borda function and gray rational analysis for 3PLs selection[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, 2007: 215-220.
- [10] Hu Y, Chen J H, Huang J X, et al. Analyzing software system quality risk using Bayesian belief network[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Granular Computing, 2007: 93-96.
- [11] Tesfamariam S, Martin-Perez B. Bayesian belief network to assess carbonation-induced corrosion in reinforced concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008, 20(11): 707-717.

(上接162页)

- [8] Jin Xin, Zhou Yanzan, Mobasher B. Web usage mining based on probabilistic latent semantic analysis[C]//Proceedings of the 2004 ACM SIGKDD, 2004: 197-205.
- [9] 俞辉,景海峰.基于概率潜在语义分析的Web用户聚类[J].计算机工程与应用,2008,44(23): 160-162.
- [10] Wang Zan, Tsim Y C, Yeung W S, et al. Probabilistic latent semantic analyses (PLSA) in bibliometric analysis for technology forecasting[J]. Journal of Technology Management & Innovation, 2007, 2(1): 11-24.

(上接206页)

稳的特点,首先利用高通滤波保留梯度变换频繁区域,并通过形态学处理后,再将相邻区域进行合并以确定车牌的候选区域。最后,根据车牌的几何特征从下到上对候选区进行筛选,找到第一个符合要求的区域作为车牌位置,并利用投影方法去除车牌边框,实现车牌的精确定位。本文算法利用了车牌自身特征,对环境要求不高。实验结果证明算法具有较强的鲁棒性。

参考文献:

- [1] Deb K, Kang S, Jo K. Statistical characteristics in HIS color model and position histogram based vehicle license plate detection[J]. Intel Serve Robotics, 2009(2): 173-186.
- [2] 刘广起,郑晓势,张晓波.基于图像纹理特征提取的车牌定位算法[J].中国图象图形学报,2005,10(11): 1419-1422.
- [3] 王义兴,黄凤岗,韩金玉,等.基于颜色搭配与纹理特征的车牌定位方法[J].中国图象图形学报,2009,14(2): 303-308.
- [4] 梁栋,高隽,付启众,等.基于形状特性和反Hough变换的车牌区域定位与重建[J].计算机应用,2002(5): 43-47.
- [5] 左奇,史忠科.一种基于数学形态学的实时车牌图像分割方法[J].中国图象图形学报,2003,8(3): 281-285.
- [6] 周泽华,胡学友,谭敏.基于log算子边缘检测的车牌定位方法[J].自动化与仪器仪表,2009(2): 90-92.
- [7] 薄树奎,孙新德,丁琳.一种基于彩色图像分割的车牌检测方法[J].计算机科学,2009,36(4): 261-276.
- [8] 张毓晋.图像工程(上册)图像处理[M].2版.北京:清华大学出版社,2008: 36-45.
- [9] 张毓晋.图像工程(中册)图像处理[M].2版.北京:清华大学出版社,2008: 399-427.
- [10] Li Gang, Zeng Rui, Lin Ling. Research on vehicle license plate location based on neural networks[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Innovative Computing, Information and Control, Washington DC, USA, 2006: 174-177.
- [11] Lee J N. Recent advances in license plate recognition[J]. Advanced Imaging, 2002, 17(1): 18-21.
- [12] Zhang Huafeng, Jia Wenjing, He Xiangjian, et al. Learning-based license plate detection using global and local features[C]//Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition, 2006: 1102-1105.