

基于 VC++ 与 MATLAB 的故障树分析系统

曹利锋^{1,2}, 邹树梁², 唐德文^{1,2}

(1. 南华大学 机械工程学院, 湖南 衡阳 421001;

2. 南华大学 核燃料循环技术与装备研究中心, 湖南 衡阳 421001)

摘要:故障树分析法是一种有效的可靠性分析方法,尤其在处理大型复杂系统时。对大型系统的分析常需借助计算机辅助来实现,而现有故障树分析软件在处理大型系统时在运算速度方面存在不足。利用 VC++ 与 MATLAB 软件的各自编程优势,提出利用 VC++ 与 MATLAB 混合编程技术研发故障树分析软件以提高运算速度,重点探讨了在 MATLAB 环境下故障树的定性、定量分析的算法及实现。并就立式剪切机送料系统中存在的送料不到位事故这一实例进行分析,求出了全部 17 个最小割集,证明该方法可行。

关键词:故障树分析; MATLAB; VC++; 混合编程; 送料不到位

中图分类号: TP311; TH16

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)01-0077-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.01.020

Fault Tree Analysis System Based on VC++ and MATLAB

CAO Li-feng^{1,2}, ZOU Shu-liang², TANG De-wen^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China;

2. Research Center of Nuclear Fuel Cycle Technology and Equipment, University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: FTA is an effective method, especially on dealing with large, complex systems. Need the assistant of the computer to analyze the large-scale systems, but in computing speed many fault tree analysis software cannot meet the needs of people. Based on the advantages of VC++ and MATLAB in software programming, develop a new fault tree analysis software, using the hybrid program of the VC++ and MATLAB, to improve the computing speed. Mainly study the algorithm and achievement through qualitative and quantitative analysis of fault tree in MATLAB environment. Then analyze an example of the vertical shears feeding system when feeding is not in place, work out all the 17 types minimal cut-sets, and prove the feasibility of the method.

Key words: fault tree analysis; MATLAB; VC++; hybrid program; feeding not in place

0 引言

故障树分析法,简称 FTA(Fault Tree Analysis),最早是由美国贝尔电话实验室的 H·A·Watson 提出的。该方法具有简明、直观、易懂、灵活的特点,作为可靠性技术中评价系统可靠性和安全性的一种重要方法,已经广泛应用于宇航、核能、电子、机械等领域^[1-5]。由于该方法常用于对大型复杂系统进行分析,所以必须借助计算机软件来实现。目前国内外研究出的多种故障树分析软件基本上都是基于 VC++ 来实现的^[6-7]。虽然 VC++ 在数据采集等应用程序开发方面具有很大的优势,且开发出来的程序执行效率高,

可读性好,但其在开发数值处理软件方面存在开发工作量大、开发周期长等缺陷。而且在计算机中实现往往采用矩阵化的运算方法,而 MATLAB 具有数值计算能力强、编程简洁和易于扩展移植等优点。将 MATLAB 与 VC++ 结合则能充分发挥各自的优势,满足实际的应用需求。对如何实现其混合编程许多学者纷纷进行研究,研究了多种实现的方法^[8-11]。文中提出了采用 MATLAB 开发核心程序,用 VC++ 制作程序界面的方法研制出一种故障树定性定量分析计算程序。并详细介绍了如何在 MATLAB 中实现求解故障树最小割集、不交化处理、故障率、概率重要度及关键

收稿日期:2013-03-13

修回日期:2013-06-15

网络出版时间:2013-11-12

基金项目:湖南省重大专项(2012FJ1007-1,2012FJ1007-2,2012FJ1007-3,2012FJ1007-4)

作者简介:曹利锋(1988-),男,湖南邵阳人,硕士研究生,研究方向为机械设备可靠性研究;邹树梁,博士,教授,博士生导师,研究方向为机械系统可靠性及故障诊断;唐德文,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为机械系统可靠性研究。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1653.056.html>

重要度。

1 故障树编程预处理

1.1 故障树的结构函数

现设研究对象为一由 n 个底事件构成的故障树,并假设底事件之间相互独立,且元、部件及系统只有正常和故障两种状态。设 x_i 表示故障树底事件的状态变量,由假设知 x_i 仅取 0 或 1 两种状态。 φ 表示故障树顶事件的状态变量,则 φ 也仅取 0 或 1 两种状态,现定义如下。

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{底事件 } x_i \text{ 发生(对应故障状态)} \\ 0 & \text{底事件 } x_i \text{ 不发生(对应正常状态)} \end{cases}$$
$$\varphi = \begin{cases} 1 & \text{顶事件 } T \text{ 发生(对应故障状态)} \\ 0 & \text{顶事件 } T \text{ 不发生(对应正常状态)} \end{cases}$$

由于故障树中顶事件状态 φ 完全由底事件状态即 $X=(x_1,x_2,\cdots,x_n)$ 所决定。

故称 $\varphi=\varphi(X)$ 为故障树的结构函数。

1.2 故障树的规范化处理

对故障树进行规范化处理的最终目的是使其变为仅含底事件、顶事件及三种逻辑门(“与”、“或”、“非”)的故障树。因为“非”门对应的是求输入事件的对立事件,所以可以用该基本事件的对立事件替代输入事件和与其相联系的“非”门。则通过规范化处理的故障树,其本质上只有“与”、“或”两种逻辑门。

1.3 故障树的结构编码

为便于程序开发,需对故障树结构进行编码,故障树结构编码规则如下:

规则 1:用 L 表示逻辑门的序号,依次为:1,2,⋯, m 。

规则 2:用 $Z(L)$ 表示逻辑门的种类,逻辑“或”门编码为 1 即 $Z(L)=1$;逻辑“与”门编码为 2 即 $Z(L)=2$ 。

规则 3:用 $S(L)$ 表示输入事件个数。

规则 4:用 $I(L,J)$ 表示 L 号逻辑门第 J 个输入事件的代号, $J=1\sim S(L)$ 。

规则 5:用 x_i 表示底事件的序号,依次为: x_1,x_2,\cdots,x_n 。

按上述规则可得故障树的结构参数,见表 1^[12]。

表 1 故障树的结构参数

| L | $Z(L)$ | $S(L)$ | $I(L,J)$ |
|-----|--------|--------|---------------|
| 1 | 1 | 2 | x_1,x_2 |
| 2 | 1 | 2 | x_3,x_4 |
| 3 | 1 | 3 | x_1,x_5,x_4 |
| 4 | 1 | 3 | x_2,x_5,x_3 |
| 5 | 2 | 4 | 1,2,3,4 |

2 故障树的定性分析

故障树的定性分析就是通过求解故障树的最小割集,得到导致顶事件发生的所有故障模式集合,以帮助分析人员发现设计的薄弱环节,改进设计,对其关键部位进行强化,从而提高系统的可靠度。

2.1 故障树的最小割集及求解方法

故障树的割集是指导致顶事件发生的底事件的集合。最小割集是指任何一个事件一旦从最小割集中取出,它便不再是割集。最小割集反映了导致顶事件发生的所有故障模式。求最小割集常用的方法有上行法和下行法两种。

2.2 故障树最小割集求解的 MATLAB 实现

通过上行法或下行法求出的割集不一定是最小的。因此,文中提出一种基于 MATLAB 的求故障树最小割集的简便方法。首先利用上行法求出故障树的全体割集,再通过 MATLAB 中的函数求出故障树的全体最小割集。编程如下:

```
...
z=length(A);
for i=1:z,
for j=(i+1):z,
[x,y]=numden(A(i)/A(j));
if x==1,A(j)=2;
else if y==1,A(i)=2;
else continue;
end, end, end, end
m=0;
for n=1:z,
if A(n)~=2,m=m+1;S(m)=A(n);
end, end
S
...
```

表 1 所代表的故障树通过上行法求得:

$k_1=x_1*x_3,k_2=x_2*x_4,k_3=x_1*x_4*x_5,k_4=x_2*x_3*x_5$,将其放入矩阵 A 中,通过上述程序可得矩阵 $S=[x_1*x_3,x_2*x_4,x_1*x_4*x_5,x_2*x_3*x_5]$,则该故障树的最小割集为: $\{x_1,x_3\},\{x_2,x_4\},\{x_1,x_4,x_5\},\{x_2,x_3,x_5\}$ 。

3 最小割集的不变化

3.1 故障树结构函数的矩阵化

故障树的全体最小割集可以用一个只含 0 和 1 的矩阵 A 表示,矩阵的列号表示基本事件的序号,矩阵的每一行则表示一个最小割集,若第 i 号割集含有 j 号基本事件,则 $A(i,j)=1$,否则 $A(i,j)=0$ 。则表 1 所代表的故障树最小割集矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

3.2 判断最小割集是否相交

将所得故障树最小割集矩阵的第一行与其他行依次相加得行矩阵 B , 再通过 MATLAB 工具箱中的 find 函数便可得知其最小割集彼此是否相交, 即若 $\text{find}(B > 1)$ 函数所得为空矩阵则表示其彼此不相交, 否则即相交。由上式中 A 矩阵所得的 B 矩阵为:

$$B = [2 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2]$$

由 find 函数可知该故障树最小割集彼此相交, 即要进行不交化处理。

3.3 最小割集不交化的算法

若通过上述方法得出的故障树最小割集彼此不相交, 则可直接对其进行定量分析, 否则需进行不交化处理后方可做定量分析。目前比较典型的最小割集不交化的方法是全概率法、直接化法和递归化法, 由于全概率法会出现组合爆炸问题, 文中采用递归化法。即:

$$T = S_1 + S_2 + \cdots + S_k = S_1 + \overline{S_1} S_2 + \overline{S_1} \overline{S_2} S_3 + \cdots + \overline{S_1} \overline{S_2} + \cdots + \overline{S_{k-1}} S_k$$

下面以表 1 所代表的故障树为例说明如何通过矩阵实现不交化处理。

由表 1 知 $S_1 = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]$, $S_2 = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0]$, $S_3 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1]$, $S_4 = [0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$

$$\overline{S_1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \overline{S_2} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \overline{S_3} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$\overline{S_k}$ 表示的是与 S_k 的交为空集, 且相互间的交亦为空集的由只含 -1, 0, 1 组成的行数为 2 的矩阵, 该矩阵并不唯一, 但这对最终的计算结果并无影响。

矩阵间的运算需遵守如下规则:

规则 1: 两个矩阵的积表示两个矩阵的各行分别两两相加, 两个矩阵的和则不进行运算。

规则 2: 若矩阵元素的运算结果中有 2、-2, 应改为 1、-1。

规则 3: 在矩阵两行相加的结果中, 若某列元素为 0, 而原来两行该列元素分别为 1、-1, 则相加行应删去。

规则 4: 经过上述运算后得到的行矩阵用 C_i 表示, 其中 $i = 1, \cdots, m$, m 为最后得到的行矩阵的个数, 若 $C_i(j) = 1$, 则有 x_j , 若 $C_i(j) = -1$, 则有 $\overline{x_j}$, 否则无, 例如 $[1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]$ 表示 $x_1 * x_3$ 。

因此, 根据上述规则可知表 1 代表的故障树不交

化处理结果为:

$$\begin{aligned} T &= [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0] + \\ &\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0] + \\ &\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \\ &[0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0] + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \\ &[0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1] = [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0] + \\ &[-1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0] + [1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 0] + \\ &[1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1] + [-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1] = \\ &x_1 * x_3 + \overline{x_1} * x_2 * x_4 + x_1 * x_2 * \overline{x_3} * x_4 + x_1 * \\ &\overline{x_2} * \overline{x_3} * x_4 * x_5 + \overline{x_1} * x_2 * x_3 * \overline{x_4} * x_5 \end{aligned}$$

4 故障树的定量分析

在故障树定量分析中, 除了求出系统的可靠度, 同时为了从不同角度评估各底事件对系统失效的贡献, 需要对底事件进行重要度计算。因为重要度不仅可以用于系统可靠度分配, 而且常用于系统的优化设计, 在指导系统的维修和运行方面也有很大帮助。

4.1 故障率的计算方法

顶事件发生概率即系统故障的概率, 它是用来衡量系统可靠性的尺度。

可以令 $x_i = q_i$, 在知道每个基本事件的失效率之后就可以求出系统的故障率。如表 1 的故障率为:

$$\begin{aligned} q &= q_1 * q_3 + (1 - q_1) * q_2 * q_4 + q_1 * q_2 * (1 - q_3) * q_4 + \\ &q_1 * (1 - q_2) * (1 - q_3) * q_4 * q_5 + (1 - q_1) * q_2 * \\ &q_3 * (1 - q_4) * q_5 \end{aligned}$$

4.2 概率重要度和关键重要度的计算方法

概率重要度是指底事件发生概率变化引起顶事件发生概率变化的程度。在 MATLAB 中可以直接通过求导函数 $\text{diff}(q, q_i)$, 并求得每个基本事件的概率重要度。

关键重要度是指底事件 i 发生故障的概率的变化率与它引起顶事件发生概率的变化率之比。关键重要度不仅反映了底事件发生概率变化对顶事件发生概率变化的影响, 也反映了底事件发生概率大小对顶事件发生概率大小的影响。在 MATLAB 中可直接通过 $\text{diff}(q, q_i) * q_i / q$ 来实现。

5 程序框图

根据上述算法, 基于 VC++ 与 MATLAB 故障树分析系统的流程图如图 1 所示。

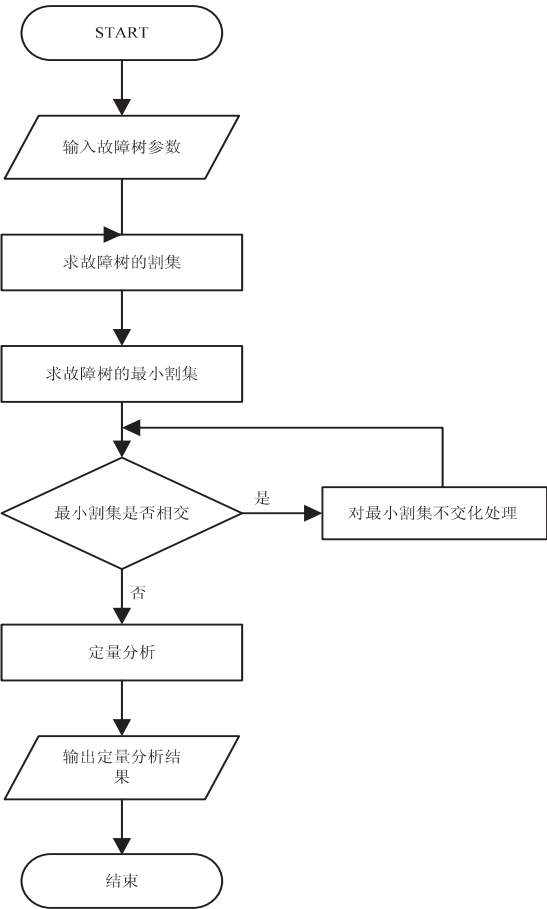


图 1 程序框图

6 应用实例

剪切机首先通过元件提升机将组件提取到料筒里,并送至剪切装置,按照预定的长度剪切组件,切断的碎料会落入溶解器进行溶解并进行后续处理。送料系统作为剪切机的重要组成部分,其结构很复杂,并且传动链很长,如果发生送料不到位、推料剪切失败和抓手掉料等故障,组件就会直接裸露在热室内,造成的辐射污染将十分严重且故障不易处理,并有可能使整个剪切机系统报废。因此,对送料系统进行可靠性分析尤为重要。

文中以剪切机送料系统送料不到位事故为例进行分析,选择送料不到位作为顶事件。引起送料不到位的直接原因是料筒驱动车动作异常、抓手异常、导向轮卡滞及销轴断裂,这四个原因中任何一个出现均会导致送料不到位。然后再以这四个原因作为次顶事件,采用类似方法继续进行深入分析,直到找到导致各故障事件发生的基本事件即底事件为止,对于外购件未对其进行继续分析将其作为未展开事件,并且为了便于计算机计算将其视作底事件来进行编码。图 2 为剪切机送料系统送料不到位的故障树示意图,表 2 为该故障树的基本事件列表,该故障树共考虑了 18 个基本

事件。按该算法可以求得全部 17 个最小割集 $\{x_1\}$ 、 $\{x_2\}$ 、 $\{x_3\}$ 、 $\{x_5\}$ 、 $\{x_6\}$ 、 $\{x_9\}$ 、 $\{x_{10}\}$ 、 $\{x_{11}\}$ 、 $\{x_{12}\}$ 、 $\{x_{13}\}$ 、 $\{x_{14}\}$ 、 $\{x_{15}\}$ 、 $\{x_{16}\}$ 、 $\{x_{17}\}$ 、 $\{x_{18}\}$ 、 $\{x_4, x_7\}$ 、 $\{x_4, x_8\}$ 。由于送料机构各零件出现故障的统计概率数据不全,故文中未对其进行定量分析。

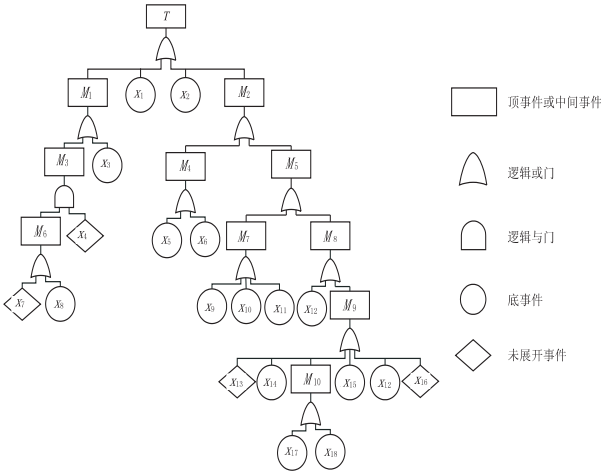


图 2 送料不到位故障树示意图

表 2 送料不到位故障树基本事件

| 代码 | 事件 | 代码 | 事件 |
|----------|-----------|----------|--------|
| T | 送料不到位 | X_5 | 抓手材料缺陷 |
| M_1 | 料筒驱动车动作异常 | X_6 | 抓手疲劳断裂 |
| M_2 | 抓手故障 | X_7 | 液压回路阻塞 |
| M_3 | 料筒驱动车卡滞 | X_8 | 活塞磨损 |
| M_4 | 抓手断裂 | X_9 | 胶管破裂 |
| M_5 | 抓手动作异常 | X_{10} | 气路断气 |
| M_6 | 推料油缸故障 | X_{11} | 弹簧松弛 |
| M_7 | 抓手收张异常 | X_{12} | 抓手护板变形 |
| M_8 | 抓手升降异常 | X_{13} | 减速器故障 |
| M_9 | 推链故障 | X_{14} | 掉销 |
| M_{10} | 链节故障 | X_{15} | 链板孔磨损 |
| X_1 | 导向轮卡滞 | X_{16} | 液压马达故障 |
| X_2 | 销轴断裂 | X_{17} | 链板磨损 |
| X_3 | 插销断裂 | X_{18} | 链轴变形 |
| X_4 | 导轨故障 | | |

7 结束语

故障树分析法作为国内外公认的评价复杂系统可靠性及安全性的一种重要方法,研究出能快速处理大规模故障树的算法及软件已成为一项重要任务。由于 MATLAB 拥有强大的数据处理能力,文中提出采用 MATLAB 与 VC++ 结合的方法研发故障树分析软件,来提高运算速度。并利用 MATLAB 工具箱中的 numden 函数结合循环语句求出故障树的最小割集,实现对故障树的定性分析,避免了通过矩阵求最小割集需对矩阵进行的排序,这一最费时间的一步,同时对故

网关需要产生一个回应消息,并且回应给消息请求车辆。

因此,令 n_q 为请求车辆发送给网关的请求消息数量;令 n_r 为网关回应给请求车辆的消息数量;令 kt 是消息在车辆网络中所需的传播时间。所以请求车辆收到其第一个回复消息时间是:

$$(n_q + n_r) \times kt$$

从而,一个向网关发出请求的车辆收到的第一个网关回应的平均时间是:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^{i=n_r} (n_q + n_r) / (N \times \lambda t)$$

式中 λt 为在车载网络中消息传播所经历的时间。

3 结束语

文中讨论了车辆网络辅助定位检测技术,给出了交通道路传感器网络系统的总体概述。提出了混合自适应性的网关广播和发现协议,对在指定的时间内消息请求的所有车辆收到第一个回复消息的平均时间进行讨论,得出了计算方程。在将来的工作中,还可以继续对该方案进行分析评估,或者和其他的已经在道路中应用的无线传感器网络的设计方案进行比较,并将该方案在不同的设计模型中进行应用。

参考文献:

- [1] 冯 驰,刘希胜. 基于 ZigBee 的无线环境监测网络设计[J]. 应用科技,2009,36(5):39-43.

(上接第 80 页)

障树不变化处理时采用递归化法结合矩阵运算来实现,降低了 FTA 的 NP 困难。由于可通过 MATLAB 工具箱中的 find 判断故障树的最小割集是否相交,diff 函数计算其重要度,使得编程更加简单且缩短了软件开发周期。最后,通过对送料不到位故障这一实例进行分析表明该方法有效。

参考文献:

- [1] 胡春宝,张素巧. 应用故障树分析挖掘机液压系统发热故障机理[J]. 液压与气动,2012(2):27-29.
- [2] 康月宁,吴 楠,韩晓鹏,等. 基于模糊故障树的计算机硬件故障诊断[J]. 计算机技术与发展,2012,22(5):10-13.
- [3] 杨宏悦,吴 华,欧阳立华,等. 剪切机送料系统的可靠性分析研究[J]. 核标准计量与质量,2010(1):8-13.
- [4] 倪绍徐,张裕芳,易 宏,等. 基于故障树的智能故障诊断方法[J]. 上海交通大学学报,2008,42(8):1372-1375.
- [5] Brooke P J, Paige R F. Fault trees for security system design

- [2] 孟振飞,赵亚灵,侯贻帅. 基于 ZigBee 技术的无线数传模块设计[J]. 电子元器件应用,2010,12(4):37-39.
- [3] Morgan Y L. Notes on DSRC&WAVE standards suite: Its architecture, design, and characteristics [J]. IEEE communications surveys & tutorials, 2010, 12(4):504-518.
- [4] 郭稳涛,何怡刚. 基于 RFID 的智能停车场管理系统的研究与设计[J]. 自动化技术与应用,2010(6):60-64.
- [5] Zhao Jijun, Li Hua, Zhao Xin. The comparative research on the location technology of wireless sensor networks [J]. Communications and network, 2009, 1(2):114-120.
- [6] 鲁 资,林水生,周 亮. 基于无线传感器网络的温度场绘制[J]. 传感器与微系统,2011,30(6):17-19.
- [7] 孙晋文. 基于 Agent 的智能交通控制策略与可视化动态仿真研究[D]. 北京:中国农业大学,2001.
- [8] 梁 伟,陈燕飞,李 娜. 车辆无线传感器网络广播协议的研究[J]. 电信科学,2012,28(7):64-69.
- [9] 徐 武,杨印根,周卫东,等. 智能交通系统模型的算法分析与改进[J]. 计算机技术与发展,2006,16(12):162-164.
- [10] 杨兆升. 城市交通流诱导系统理论与模型[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [11] Mak T K, Laberteaux K P, Sengupta R, et al. Multichannel medium access control for dedicated short-range communications[J]. IEEE transactions on vehicular technology, 2009, 58(1):349-366.
- [12] Bi Yuanguo, Liu Kuanghao, Shen Xuemin, et al. A multi-channel token ring protocol for QoS provisioning in inter-vehicle communications [J]. IEEE transactions on wireless communications, 2009, 8(11):5621-5631.

- and analysis[J]. Computers & security, 2003, 22(3):256-264.
- [6] 聂俊岚,王景芹. 基于 VC++ 的故障树定性定量分析系统[J]. 低压电器,2004(12):6-9.
- [7] 张东斌. 基于 VC++ 的大型故障树分析软件研究[D]. 天津:河北工业大学,2005.
- [8] 李 健,韩国栋,孙志鹏. VC++ 调用 Matlab 的方法[J]. 计算机与现代化,2009,16(7):151-154.
- [9] 谢佩军,计时鸣,张 利. VC++ 与 MATLAB 混合编程的探讨[J]. 计算机应用与软件,2006,23(2):128-130.
- [10] 张 晶. 基于 MATCOM 的 VC++ 与 MATLAB 混合编程[J]. 计算机应用,2007,26(5):59-61.
- [11] 刘亚楠,郭三华,涂铮铮,等. VC++ 与 Matlab 混合编程及其在轮辋裂纹检测中的应用[J]. 计算机技术与发展,2007,17(7):233-235.
- [12] 曾声奎. 可靠性设计与分析[M]. 北京:国防工业出版社,2011.

基于VC++与MATLAB的故障树分析系统

作者：
作者单位：

刊名：

曹利锋, 邹树梁, 唐德文, CAO Li-feng, ZOU Shu-liang, TANG De-wen
曹利锋, 唐德文, CAO Li-feng, TANG De-wen(南华大学 机械工程学院, 湖南 衡阳 421001;
南华大学 核燃料循环技术与装备研究中心, 湖南 衡阳 421001), 邹树梁, ZOU Shu-
liang(南华大学 核燃料循环技术与装备研究中心, 湖南 衡阳, 421001)

计算机技术与发展

英文刊名：

ISTIC

Computer Technology and Development

年, 卷(期):
2014(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201401020.aspx