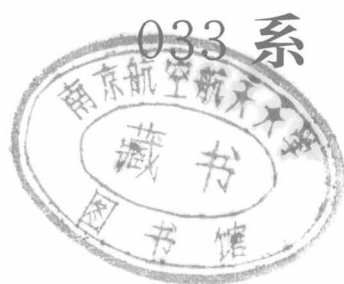


自动化学院



序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物会议名称	年卷期	类别
1	王友仁 崔江 樊琼剑	副教授	033	直流绝缘故障检测智能传感器系统	传感器技术	2004, 23, 2	
2	王友仁 储剑波 崔江 刘新峰 徐阳	副教授	033	行驶车辆磁感应检测及智能道路传感系统	传感器技术	2004, 23, 3	
3	王友仁 崔坚 朱开阳 姚睿	副教授	033	仿生物态模拟型硬件理论与关键技术研究	南京航空航天大学学报 (自然科学版)	2004 年36 卷5 期	
4	王友仁 张砦 崔江 姚睿 储剑波	副教授	033	智能组卷系统的建模与算法研究	系统工程理论与实践	2004年24卷9 期	
5	王友仁 姚睿 朱开阳 黄三傲	副教授	033	仿生硬件理论与技术的研究现状与发展趋势分析	中国科学基金	2004年18卷5 期	
6	王友仁 崔坚 游霞 黄三傲 姚睿	副教授	033	仿生硬件及其进展	中国空间科学技术	2004年24卷6 期	
7	刘化胜 王友仁	01级硕士生 研究生	033	车辆视觉导航系统中的实时道路检测	计算机测量与控制	2004年12卷 10期	
8	王海涛	博士	033	Apertwre masking interferomeoeory research simuarion			
9	姚敏	讲师	033	MIDAS在机动车安全性能测控管理系统中的应用	计算机测量与控制	2004, 12, 2	
10	陈煜 田裕鹏	副教授	033	图像融合中的图像配准方法研究	激光与红外	2004, 34, 1	
11	张燕霞 田裕鹏	副教授	033	基于VC和LABVIEW控件的虚拟仪器设计	仪器仪表与分析检测	2004, 4	
12	李开宇 张焕春 经亚枝	中级 正高 副高	033 033 033	用FPGA实现机载全姿态图形硬件填充	计算机辅助设计与图形学学报	2004, 16(2)	

13	李开宇 张焕春 经亚枝	中级 正高 副高	033 033 033	基于FPGA的高速、高质量图像 旋转	中国图像图形学报	2004 , 9(3)	
14	李开宇 张焕春 经亚枝	中级 正高 副高	033 033 033	基于数字滤波的B-样条插值法 在图像旋转中的应用	南京航空航天大学学 报	2004, 36 (5)	
15	徐贵力	讲师	033	基于激光扫描和计算机视觉的 无人机全天候自主着陆导引技 术	航空学报	2004, 25, 05	
16	徐贵力	讲师	033	利用傅立叶变换提取图像纹理 特征新方法	光电工程	2004, 31, 11	
17	徐贵力	讲师	033	浅谈研究生科技交流能力的培 养	南京航天航空大学学 报 (社会科学版)	2004, 30, 06	
18	赵敏 陈重华	正高 毕业	033	一种新型即时功率模块设计	工业仪表及自动化装 置	2004年5期	
19	林华 李军	讲师 工程师	033	发电设备状态检修平台总体方 案的研究与探讨	继电器	2004年, 32, 7	
20	赵敏 付海洋	正高 硕士	033 033	基于Ethernet的机动车检测线监 控系统设计与实现	交通与计算机	2004年22卷5 期	
21	魏军 赵敏	硕士 正 高	033 033	水泥生产线混合型控制系统的 设计与实现	计算机测量与控制	2004年12卷8 期	
22	赵敏 吴咏梅	正高 硕士	033 033	基于OpenGL的高效三维物体 建模的研究	机械与电子	2004年10卷 142期	
23	刘文波 陈关荣	副高 正高	033 香港	Can a three-dimensional smooth autonomous quadratic chaotic system generate a single four-scroll attractor" ?	International Journal of Bifurcation and Chaos	2004, 14 (4)	
24	刘文波 陈关荣	副高 正高	033 香港	Dynamical analysis of a 4-scroll chaotic attractor" .	International Journal of Bifurcation and Chaos	2004, 14 (3)	
25	刘文波 于盛林	副高 正高	033 033	基于混沌信号的系统频率响应 特性测试方法	数据采集与处理	2004-12-31 Vol. 19 No. 3	
26	刘文波 陈关荣	副高 正高	033 香港	The analysis of Compound Structure of New Four-scrolls Chaotic System	东南大学学报英文版	2004 Vol. 20 NO. 4	
27	赵大为 陈关荣 刘文波	硕士正高 副高	033 033	A Chaos-Based Robust Wavelet-Domain Watermarking Algorithm	Chaos Solitons & Fractals	2004 Vol. 22	
28	方征 刘文波	硕士副高	033 033	基于小波提升和纠错编码的数 字水印算法	仪器仪表用户	2004 年4期	

29	胡塘 刘文波	硕士副高	033 033	FIR滤波器的一种新型设计方法	现代电子技术	2004 年21期	
30	胡塘 刘文波	硕士副高	033 033	基于FPGA的DES算法盒的优化设计	单片机与嵌入式系统的应用	2004年12期	
31	陈则王 袁信	讲师 正高	033 031	A Map-Matching Algorithm for GPS/DR Integrated Navigation Systems Based on Dempster-Shafer Evidence Reasoning	中国矿业大学学报 (英文版)	2004, 14, 02	
32	周翟和 储剑波 王友仁	初级 中级 副高	032 032 032	基于DSP的便携式综合音频播放器的实现	微处理机	2004, 25, 2	
33	周翟和 王友仁 孔德明	初级 副高 中级	032 032 032	高精度电力系统接地电阻测量仪	电力系统自动化	2004, 28, 6	
34	侯祥永 经亚枝	硕士 副教授	033	基于 Logist 方程和 Labview 的虚拟白噪声发生器的设计	仪器仪表用户	2004, 11, 5	
35	廖选超 经亚枝	硕士 副教授	033	单片机在三轴剪切试验中的应用	仪器仪表用户	2004, 11, 5	
36	潘群 经亚枝	硕士 副教授	033	基于 FPGA 的交流信号采集与处理系统	仪器仪表用户	2004, 11, 6	
37	闵莹 经亚枝	硕士 副教授	033	轨道交通通用 I/O 装置的研制	仪器仪表用户	2004, 11, 6	
38	项宗新 经亚枝	硕士 副教授	033	C/S 和 B/S 模式下分布式多层测控系统的实现	电子工程师	2004, 30, 5	
39	许家玉 经亚枝	硕士 副教授	033	基于 DSP+FPGA 的遗传算法硬件实现	微计算机信息	2005, 2, 1	
40	张波 张焕春 经亚枝	博士 教授 副教授	033	顺序形态图像处理器的硬件实现	电子与信息学报	2004. 26. 12	
41	张波 张焕春 经亚枝	博士 教授 副教授	033	基于坐标逻辑的形态图像处理器的硬件实现	华中科技大学学报	2004. 6	
42	吴春英 经亚枝	硕士 副教授	033	遗传算法求解TSP问题的FPGA实现	中国测试技术	2004. 1	
43	房磊 张焕春 朱力立	博士 教授 博士	033	基于FPGA的并行遗传算法硬件实现的研究	南京航空航天大学学报	2004. 36. 5	
44	刘虎 朱力立 张焕春	博士 博士 教授	033	基于特殊二进制编码的自学习模糊遗传算法	吉林大学学报 (信息科学版)	2004. 6	

45	朱力立 张焕春 经亚枝	博士 教授 副教授	033	一种基于模糊自适应GA的广义 S维分配算法	模式识别与人工智能	2004. 17. 1	
46	闫钧华	博士	033	一种改进的分布式系统任务名 字解析机制	华中科技大学学报	2004. 1	
47	闫钧华 张焕春 经亚枝	博士 教授 副教授	033	基于Multi-agent的分布式系 统负载均衡	华南理工大学学报	2004. 12	
48	闫钧华 张焕春 经亚枝	博士 教授 副教授	033	基于Java的分布式测控系统任 务调度研究	系统工程与电子技术	2004. 11	
49	刘守生 于盛林	博士 教	033	基于Sanger算法的小波网络结 构优化方法	计算机工程与设计	2004,25,9	
50	刘守生 于盛林	博士 教授		基于进化FCM算法的故障诊断 方法	系统工程与电子技术	2004,26,9	
51	刘守生 于盛林	博士 教授		一种扩散式遗传算法及其性能 分析	式识别与人工智能 (PR&AI)	2004,17,2	
52	万 雄 于盛林	博士 教授		多目标优化发射层析算法在等 离子体场光谱诊断中的应用	物理学报	2004,53,9	
53	万 雄 于盛林	博士 教授		扇束辐射层析技术重建三维流 场	光子学报	2004,33,2	
54	万 雄 于盛林	博士 教授		Self-adaptive reconstruction algorithm for emission spectral volume tomography	Opt.Eng	2004,43,5	
55	万 雄 于盛林	博士 教授		Three-dimensional plasma field reconstruction with multiobjective optimization emission spectral tomography	J. Opt. Soc. Am .A.	2004,21,7	
56	缪永生 于盛林	博士 教授		基于虚拟仪器技术的动静压模 拟器设计	测控技术	2004,23,7	
57	戴 扬 于盛林	博士 教授		PDF417纠错码原理及实现	吉林大学学报 (工学版)	2004,34,2	
58	曹坤勇 于盛林	博士 教授		基于正交小波变换的噪声下1/f 类分形信号的恢复	南京航空航天大学学 报	2004,36,2	
59	朱大奇 杨永清 于盛林	博士 教授		电子部件故障诊断的 Dempster-Shafer信息融和算法	控制理论与应用	2004,21,4	
60	朱大奇 于盛林	博士 教授		光电雷达电子部件不见故障诊 断的盲诊断方法研究	控制与决策	2004,19,7	

61	孙长盛 于盛林	博士 教授		基于Labview的虚拟仪器网络 测试系统设计	仪器仪表用户	2004,6	
62	吕耀强 于盛林	博士 教授		Delphi中JPEG图像的存取	电脑开发与应用	2004,11	
63	万晓冬 凌云峰	副研	033	基于ERP的CRM开发模式探讨	计算机应用与软件	2004, 21, 12	
64	万晓冬 乐江源	副研	033	基于IEC61970的电力系统仿真 数据库研究	计算机仿真	2004, 21, 6	
65	曲中周 丁万山	硕士 副高	033 033	香烟小包装在线检测系统中的 关键技术	计算机测量与控制	2004年, Vol. 12 No. 7	
66	曲中周 丁万山	硕士 副高	033 033	香烟小包装在线检测系统	工业控制计算机	2004年, Vol. 17 No. 2	
67	胡勇 丁万山	硕士 副高	033 033	基于DSP的某型无人机飞控系 统硬件平台的设计	航空计测技术	2004年, Vol. 24 No. 5	
68	张长江 丁万山	硕士 副高	033 033	一种新型红外气体分析装置的 硬件设计	仪器仪表用户	2004年, Vol. 11 No. 5	

直流绝缘故障检测智能传感器系统

王友仁, 崔江, 樊琼剑

(南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京, 210016)

摘要: 为实现直流供电系统中的绝缘故障检测, 研制了一种以 AVR 单片机为核心的智能传感器系统。该系统利用电磁感应原理检测直流供电系统中电气负载馈电回路的不平衡电流, 实现了对电气负载绝缘故障的检测。经过现场测试, 该智能传感器系统具有低功耗、高可靠性和易使用的特点, 试验结果表明: 系统达到了检测准确度要求。

关键词: 智能传感器系统; 直流供电系统; 绝缘故障检测; 单片机

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9787(2004)02-0050-03

Intelligent sensor system for DC insulation failure detection

WANG You-Ren ; CUI Jiang ; FAN Qiong-Jian

(Coll of Automation and Engin, Nanjing University of Aeronautics
and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In order to realize insulation failure detection in DC supply system, an intelligent sensor system based on AVR single chip processor is introduced, which can detect the imbalanced current of the loop circuit in DC supply system by the principle of electromagnetics and measure load insulation failure. The system possesses characteristics of low power dissipation, high reliability and being easy to use. Practical experiments show the intelligent sensor system could meet the demands of detection accuracy.

Key words: intelligent sensor system; DC supply system; insulation failure detection; single chip processor

0 引言

目前, 在配电站的直流供电系统中, 一般都采用霍尔器件来检测电气负载的馈电电流不平衡情况。霍尔器件具有检测准确度高等优点, 但是, 如果同时采用多个霍尔器件检测多路电流, 则成本太高, 而且测量的数据不能在线计算, 增加了上位机的检测和计算负担。

以 AVR 单片机^[1,2] AT90S2313 为核心的智能传感器是一种体积小、低成本、低功耗、性价比高的直流供电系统电气负载绝缘故障检测仪。AT90S2313 具有使用方便、功能强等优点, 芯片内置 2 k 可编程 Flash 程序存储器, 128 字节的内部 SRAM 和 EEPROM 存储器, I/O 口的输出驱动能力很强, 内置看门狗定时器, 精简指令集结构, 工作在 10 MHz 下具有 10 MIPS 的速度, 可以满足实时计算需要。另外, AVR 单片机的兼容性好, 可以方便地与 MCS51 系列单片机^[3] 进行互换。

1 绝缘故障检测原理

直流绝缘故障智能传感器检测系统的核心硬件为线圈电流检测电路。传感器线圈套穿在各馈电支路直流回路的正负母线上, 当直流回路绝缘水平正常时, 穿过传感器的直流电流大小相等, 方向相反。如果规定穿过线圈一端的电流为 I_+ , 其相反方向电流为 I_- , 按照电磁场理论, 2 个电流的合成矢量和 ΔI 为 0; 如果直流回路中出现绝缘故障, 那么将会出现不对称的直流电流 (即不平衡电流), 则合成电流就不为零, 其合成电流值大小为 $\Delta I = |I_+ - I_-|$, 其合成示意图如图 1 所示。

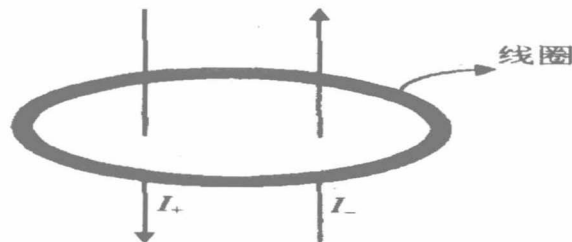


图 1 电流合成示意图

Fig 1 Schematic diagram of current synthesis

收稿日期: 2003-09-28

智能传感器系统中直流电流检测电路如图2所示。

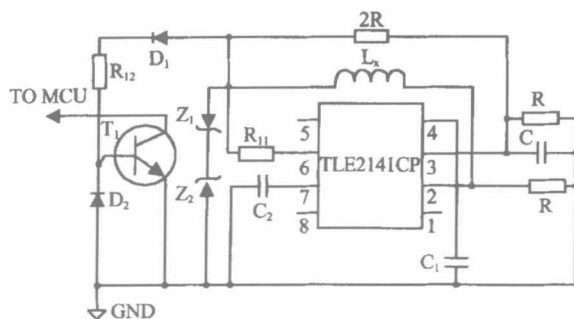


图2 检测电流的振荡电路原理框图

Fig 2 Principle diagram of oscillating circuit for current measurement

其电流检测敏感部件是一个线圈 L_x 。线圈是文氏电桥振荡电路^[4]中的一个重要部件,被测支路馈电线从线圈的中心穿过。当某个馈电支路直流回路中的合成直流电流变化 ΔI 时(所产生的磁通量变化为 $\Delta \Phi$,同时线圈电感变化为 ΔL_x),则引起振荡电路的振荡频率就会改变 Δf 。通过检测出振荡频率的变化量 Δf ,就可计算出相应线圈中流过的合成直流电流值大小。

根据电磁感应理论,有下列2个关系式成立

$$\Delta \Phi = \mu \frac{N \cdot \Delta I}{2 R_i} a^2, \quad (1)$$

式中 $\Delta \Phi$ 为穿过线圈的合成电流产生的磁通, Wb; μ 为铁心磁导率, H/m; N 为线圈匝数; ΔI 为合成直流电流值, A; a 为线圈铁心环形管的横截面半径, m; R_i 为环形铁心的平面半径, m。

$$L_x = L_0 + \Delta L_x, \quad (2)$$

式中 L_x 为线圈总电感, H; L_0 为线圈自感(即 ΔI 为零时的 L_x 值), H; ΔL_x 为 $\Delta \Phi$ 引起的线圈电感变化量, H。

根据文氏电桥振荡器原理,可导出图2振荡电路的振荡频率表达式为

$$f = \frac{2 R^2 C - 3 L_x}{4 R L_x C \ln(2 R^2 C / L_x)},$$

或

$$f = \frac{2 R^2 C - 3}{4 R C \ln(2 R^2 C / L_x)}, \quad (3)$$

式中 f 为振荡频率, Hz; R 为桥臂电阻, Ω ; C 为桥臂电容, F。

根据理论与实验数据分析发现,通过线圈的合成直流电流与振荡频率之间存在着非线性关系,且因 ΔL_x 与 $\Delta \Phi$ 之间关系复杂难以用解析表达式描述,因

此,直接使用上述公式进行编程计算比较困难。但是,实际测量数据表明:通过线圈的合成电流与振荡频率在一定频率范围内存在近似分段线性关系,见图3。

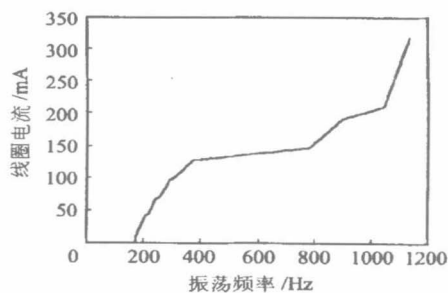


图3 线圈电流与振荡频率的关系图

Fig 3 Relationship diagram between coil current and oscillation frequency

由于对采样电流值的准确度要求一般(误差不大于3%),故采用分段插值计算法,该方法预先测试出振荡频率与线圈中合成电流之间的关系,对实测曲线进行分段线性化以得到不同段区间的线性方程。在实际现场检测时,根据所测量频率的范围就可以选择分段线性化方程,以计算出通过线圈的实际故障电流。这种处理方法简单实用,可以满足实时电流检测准确度与速度的要求。

2 硬件电路设计

所研制的智能传感器系统是通过检测各馈电支路中直流回路的不平衡电流,来检查电气负载馈电线路是否出现绝缘故障及其严重程度。

绝缘故障测量的基本方法是通过振荡电路,把直流电流的测量转化为测量频率。这样就不需要模/数转换芯片,检测电路简单、可靠、实时性好,便于单片机进行频率采样及数据处理。当通过线圈中心的不平衡电流变化时,振荡电路的振荡频率就会发生改变,单片机通过测量输入信号频率就可以计算出不平衡电流值。

智能传感器检测系统硬件主要由 AVR 单片机及其外围电路、通讯电路、电源模块、检测电路及指示电路等组成,图4为系统组成框图。

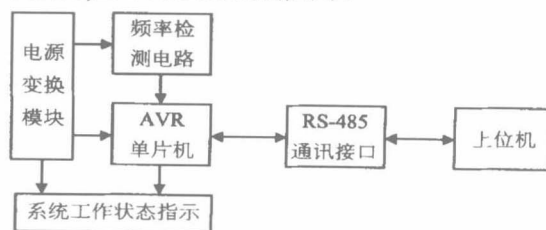


图4 智能传感器系统组成框图

Fig 4 Structure diagram of intelligent sensor system
AVR 单片机对振荡电路的输出信号频率进行

测量,根据不平衡电流 ΔI 与振荡频率 f 的关系曲线方程来计算电流值,还负责与上位机之间进行通讯(通过 RS485 协议)。通讯电路电平转换主要由差分式半双工通讯转发芯片 MAX485CPE 完成,相对 RS232 通讯来说,RS485 通讯具有传输速率高、传输距离远的优点,通过 RS485 总线,上位机最多可以带 128 个智能传感器。

系统的供电输入电源为 $\pm 8\text{ V}$,需要通过稳压芯片 TL750L05C,6.5 V 稳压管变换为 5,6.5 V 电压供各个芯片使用。状态指示电路分别采用发光二极管直观显示电源工作状态和通讯状态。

上位机巡回读取各智能传感器的电流检测数据,根据采集的数据来判定出现直流供电系统接地故障的馈电支路,进而进行故障信息的处理与报警显示等功能。

3 软件设计

主程序主要完成各个参数的初始化(主要为变量、看门狗定时器以及通讯波特率等设置的初始化)和传感器的自检测,并把测量的结果写入自带的 EEPROM 存储器(等待上位机查询)。智能传感器与上位机之间采用中断方式进行通讯,空闲的时候 CPU 处于低功耗模式,这样减少了电路损耗。当中断发生的时候,根据上位机的命令进行系列操作,其中包含传感器的自检测命令、线圈电流检测与计算命令、电流值上传命令等。

通讯中断子程序主要完成双机通讯功能,为了提高通讯的可靠性,采用了命令字节的奇偶校验等手段。

为了提高测量的准确度,软件中采用了数据中值滤波技术,并采用多字节数加/减法对分段线性方程系数进行计算。

4 试验结果分析

表 1 列出了试验时所测量的部分绝缘故障不平衡电流数据。由实验结果可知,智能传感器的电流检测准确度优于 1%,能够满足测量要求。从表 1 中可以看出,随着故障电流的增大,绝对误差有增大的趋势。其原因分析如下:

如果绝缘故障不平衡电流变化 ΔI ,相应电感的变化为 ΔL_x ,则引起振荡频率的变化为 Δf ,因此,振荡电路的实际信号频率为 $f + \Delta f$ 。根据公式(3)可知,当绝缘故障轻微或者不平衡电流较小的时候,信号频率随着故障电流的上升而近似线性增加。但是,当故障电流较大时,线圈的磁通量接近饱和,则

信号频率的变化趋向平缓,相应故障电流值的检测误差较大。

表 1 智能传感器测量的部分故障电流数据

实际故障电流值 ($\times 100\text{ mA}$)	传感器测量的故障电流值 ($\times 100\text{ mA}$)	相对误差 (%)
0	0	0
83.14	83.30	0.20
96.85	96.98	0.14
144.69	143.78	0.62
160.77	161.44	0.45
192.93	193.63	0.36
225.08	226.25	0.52
241.16	246.51	0.59
305.47	304.05	0.46
353.70	351.12	0.73

由于系统工作原理是基于电磁变换技术,故传感器误差的可能来源有:

(1)与线圈灵敏度 $\Delta L_x / \Delta I$ 有关系。由于在一定范围内,线圈电感变化 ΔL_x 与线圈中故障电流变化 ΔI 近似成正比,即 $\Delta L_x \propto K \cdot \Delta I$,其中 K 为比例系数。随着线圈的老化(主要为线圈的发热损耗),其灵敏度降低,比例系数 K 下降。解决的方法是定期更换线圈;

(2)与测量曲线的分段线性拟合方法有一定关系。从测量曲线可以看出,在比较小的分段范围内线性近似误差小,否则可能存在较大计算误差。解决的方法是用查表法或增加分段线性区间数目。

5 结 论

该智能传感器系统已用于现场实际运行,具有工作稳定、测量准确、体积小、性能价格比高等优点。实际运行证明:系统设计方案正确合理,达到了预期的设计要求。

参考文献:

- [1] 丁化成,耿德根,李君凯. AVR 单片机应用设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002. 89 - 99.
- [2] 耿德根,宋建国,马一潮,等. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001. 69 - 98.
- [3] 薛钧义,张彦斌. 单片微型计算机及其应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,1997. 73 - 94.
- [4] 王成华,王友仁,胡志忠. 电子线路基础教程[M]. 北京:北京科学出版社,2000. 237 - 249.

作者简介:

王友仁(1963 -),男,博士,副教授,主要从事测控技术、图象处理与汽车视觉导航、进化硬件理论与方法研究。

行驶车辆磁感应检测及智能道路传感系统

王友仁, 储剑波, 崔江, 刘新峰, 徐阳

(南京航空航天大学自动化学院, 江苏南京 210016)

摘要: 智能运输系统的前提条件之一是实现道路行驶车辆自动检测与交通信息实时采集。详细分析了磁感应式行驶车辆检测工作原理, 建立了道路交通流信息计算模型, 完成了基于 DSP 技术的智能检测系统设计与实现, 采取了软硬件综合技术来对付现场各种干扰与噪声信号。对试验结果进行了分析, 实际测试表明: 系统性能稳定可靠。

关键词: 智能传感器; 磁感应检测; 数字信号控制技术; 行驶车辆检测; 道路交通信息采集

中图分类号: TP212.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9787(2004)03-0063-04

Moving vehicle magnetic induction detection and intelligent road sensing system

WANG You-ren, CHU Jian-bo, CUI Jiang, LIU Xin-feng, XU Yang

(Coll of Automation Engin, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Intelligent transportation system is based on realizing moving vehicle detection and collection with traffic message in real time. Magnetic induction principle for moving vehicle detection is analyzed. The calculation models of road traffic flow messages is set up. The intelligent detection system based on DSP technology is designed, comprehensive software and hardware technology are applied for dealing with the various kinds of interference and noise signals. The experimental results are discussed, it is show that the system performance is stable and reliable.

Key words: intelligent sensor; magnetic induction measurement; DSP(digital signal processor) technology; moving vehicle detection; road traffic information gather

0 引言

目前, 世界各国正大力发展智能运输系统, 以实现道路的科学化、现代化管理, 创造可持续发展的交通运输基础环境。该系统通过对有关交通信息的实时采集、传输和处理, 把握当前交通运行状况和预测未来交通趋势, 处理各种道路交通异常情况, 使交通行为者及时获知交通信息, 以提高道路运行效率和交通安全。道路交通实时信息采集与处理是基于车辆检测器来实现的, 在道路上各监测点设置的车辆检测器可以识别道路上车流状况及交通障碍, 并实时传送给交通控制中心。鉴于交通现代化发展需要, 对于行驶车辆动态检测技术的研究在国内外引起了较大重视。

目前, 常用的行驶车辆检测器^[1~4]主要有磁感应式检测器、超声波式检测器、地磁式检测器、压力

开关检测器、雷达检测器、光电检测器、红外检测器以及视频检测器等, 考虑到性能、价格、复杂性、可靠性、适用环境等因素, 它们各有优缺点、有特定的市场范围。其中基于计算机视觉技术的视频检测器^[2], 因能提供多种监测功能, 将可能成为未来的主产品。而磁感应式车辆检测器具有性能稳定、结构简单、检测电路易于实现、成本低、维护量少、适应面广等优点, 市场应用范围最广。

本文介绍了行驶车辆检测磁感应传感器工作原理, 分析了道路交通流计算模型, 提供了基于 DSP 技术的智能检测系统设计方案。

1 车辆磁感应检测原理

行驶车辆检测器是基于磁感应原理工作的, 将具有高磁导率的环形线圈埋在路面下, 当车辆行驶靠近或通过检测线圈时, 引起穿过线圈的磁场发生变化, 从而在线圈中产生感应电压, 感应电压信号经

收稿日期: 2003-10-05

过放大电路放大后,可得到车辆通过的信息。图1为行驶车辆磁感应检测示意图。



图1 行驶车辆磁感应检测示意图

Fig 1 Schematic diagram of magnetic induction detection for moving vehicle

根据电磁感应理论,可导出以下理论模型。行驶车辆在每匝线圈内产生的磁感应通量为

$$\begin{aligned}\phi_p &= \oint_S B_p \cdot dS \approx \oint_r \frac{DB_1}{2\pi r} dr \\ &\approx DB_1 \ln\left(\frac{R+W}{R}\right); \quad (1)\end{aligned}$$

则检测线圈中产生的感生电动势为

$$\begin{aligned}\varepsilon(t) &= N \left(- \frac{d\Phi_p}{dt} \right) = -N \frac{(d\Phi_g + \Phi_p)}{dt} \\ &\approx -N \frac{d\Phi_p}{dt} = N \frac{WDB_1}{R(R+W)} \frac{dR}{dt} \\ &= \frac{NSB_1}{R(R+W)} V_p, \quad (2)\end{aligned}$$

式中 t 为时间, s; ε 为线圈产生的感应电动势, V; N 为线圈匝数; Φ_B 为穿过线圈的总磁感应通量, Wb; Φ_g 为地磁场穿过线圈内的磁感应通量, Wb; Φ_p 为行驶车辆产生的运动磁场穿过线圈内的磁感应通量, Wb; B 为线圈环中磁感应强度, T; B_1 为离开车辆单位距离处的等效磁感应强度, T; D 为线圈的长度, m; W 为线圈的宽度, m; $S = D \times W$ 为线圈面积, m^2 ; V_p 为相对于线圈的车辆行驶速度, m/s; R 为车辆中心点与线圈最近边之间的距离, m。

根据理论分析与试验数据,进一步讨论如下:

(1) 当放大电路的输入阻抗比较大时,感应电动势近似等于放大电路的输入信号(感应电压)。感应电动势只与环形线圈中磁感应通量的变化有关,线圈中磁感应强度是非均匀时变的。线圈内的总磁感应通量 Φ_B 由地磁分量和运动磁场分量构成。在一定条件下,因地磁分量 Φ_g 的变化量比较小可忽略不计。磁感应通量 Φ_B 主要由车辆类型(结构大小与磁特性)、线圈尺寸、车辆与线圈的距离、车辆速度确定;

(2) 感应电势与距离 R 成反比。实际试验表明:当距离大于 7 m 时,感应电势趋近于零;

(3) 感应电势与车辆运行速度 V_p 成正比。当 $V_p = 0$ 时,无感应信号。因此,车辆行驶速度有下限

限制;

(4) 线圈匝数 N 增大能提高感应电势信号,工程上一般选取 $N = 3 \sim 5$ 。考虑到抗干扰性、安装便利等因素,线圈面积 S 的典型值选为 $1.2 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$;

(5) 利用单个磁感应线圈可以检测车辆的到达与驶离,并且可以根据感应电势信号的幅度、脉冲持续时间来大体判别车辆的类型(需要预先进行模式训练或建立样本数据库)。

2 道路交通流数据采集与计算

设置多个磁感应检测线圈就可以确定道路中行驶车辆的速度、车辆长度、各个车道占用率、道路交通流量信息等。单车行驶速度等于 2 个磁感应检测线圈的间距与车辆在 2 个线圈之间运行时间(对应两路检测信号的时间差)之比,单车有效长度等于其感应电势信号的宽度与车辆速度之积。根据所测车速与车长信息可计算出车流量、车道占有率、平均车行速度和平均车辆有效长度^[4]。

车流量定义为单位时间段 T 内车辆通行数量, T 可以为 d, h, min。设 $N_i(k)$ 为第 k 段时间区间内第 i 车道的车辆检测器所检测的车辆数目,则该车道在 T 时间段内的车流量为

$$q_i(k) = \frac{N_i(k)}{T}. \quad (3)$$

设第 j 辆车驶过第 i 车道的磁感应检测线圈时行驶速度为 y_{ji} , 则各车的平均车辆速度为

$$\omega_i(k) = \frac{N_i(k)}{\sum_{j=1}^{N_i(k)} \frac{1}{y_{ji}}}. \quad (4)$$

设 L_{ji} 为第 j 辆车驶过第 i 车道的磁感应检测线圈时所测出的车辆有效长度(包括该车长度和磁感应检测线圈宽度),则车道占有率、车流密度分别为

$$\alpha_i(k) = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^{N_i(k)} \frac{L_{ji}}{y_{ji}}, \quad (5)$$

$$\rho_i(k) = \frac{q_i(k)}{\omega_i(k)} = \frac{1}{T} \sum_{j=1}^{N_i(k)} \frac{1}{y_{ji}}. \quad (6)$$

根据关系式 $\alpha_i(k) = L_i(k) \cdot \rho_i(k)$, 可得所检测的平均车辆有效长度为

$$L_i(k) = \frac{\alpha_i(k)}{\rho_i(k)} = \frac{\sum_{j=1}^{N_i(k)} \frac{L_{ji}}{y_{ji}}}{\sum_{j=1}^{N_i(k)} \frac{1}{y_{ji}}}. \quad (7)$$

3 智能检测系统设计

智能检测系统结构如图2所示。

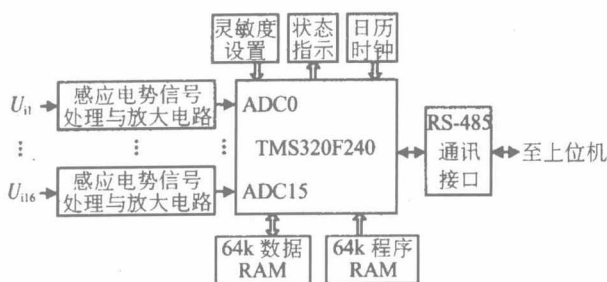


图2 智能检测系统结构

Fig 2 Structure of intelligent sensor system

系统可以连接 16 个磁感应车辆检测传感器。当仅需要检测车辆的到达与驶离或分析车流时,每个车道只需在道路路面下面埋设一个磁感应传感器,则系统可以监测 16 个车道。若要求获得车速、车长等信息,就需要在每个车道路面下间隔埋设 2 个磁感应传感器(一般间距约 5~8 m),则系统可以监测 8 个车道。

车辆通过时磁感应电势信号是单脉冲型模拟信号,在道路现场时感应电势信号中常混有 50 Hz 工频干扰、随机尖峰干扰等,这很容易引起数据不正确或检测错误。感应电势信号处理与放大电路中利用 T 型带阻滤波器来滤除 50 Hz 的工频干扰,采用了 30 pF 电容滤去尖峰干扰。

为了提高系统集成度与可靠性以及进行交通流信息参数实时计算,采用了基于数字信号处理机的系统设计实现方案。TMS320F240 是一种高度集成单芯片 DSP 控制器^[5],芯片内部集成了高性能 DSP 内核和外围接口,该芯片可用于实现高速实时信号处理和数字化控制功能。F240 芯片主要特点有:16 位 ×16 位并行乘法器,32 位加法器和中央算术逻辑单元,片内双端口存储器,内部有 16k ×16 位 FLASH 程序存储器,3 个 16 位全比较单元,2 个正交编码器脉冲接口,12 个比较/脉宽调制通道,双 10 位模数转换器,带实时中断的看门狗定时器模块,串行通讯接口(SCI),高速串行外部设备接口(SCI)等,也支持扩充外部 RAM 连接。

DSP 完成传感器信号采样、车辆行驶情况分析、道路交通流数据处理与计算,并通过 RS485 总线网络实时传送车辆检测与车道交通流信息给上位机(如收费站监控中心主机)。

为了保证现场通讯的可靠性,在 DSP 和上位机之间采用 RS485 总线连接(芯片是 MAX485),RS485

最高传输速率为 10 Mbps,通讯距离可达 1 200 m; DSP 芯片自带的 WD 自复位电路,能保证系统在死机后 1 s 内重新自启动、恢复工作。为了满足设备在不同等级道路上、不同下限车速限制时对检测灵敏度的不同要求,同时,也便于现场调试,设计了 16 级可调节检测灵敏度,可人工调节或由上位机传送命令进行自动设置。状态指示电路用于指示车辆检测信息、装置运行与网络通讯信息;日历时钟电路能提供车辆通过检测点时间、道路交通流时间信息,以及系统长时间定时需要。时钟芯片采用慢速充电时钟芯片 DS1302,实时时钟/日历提高了秒、分、时、日、周、月和年等信息。

4 试验结果

4.1 检测信号与车辆判断

图 3 为行驶车辆通过检测线圈时检测信号示意波形,在 DSP 中对采样信号进行了低通数字滤波。

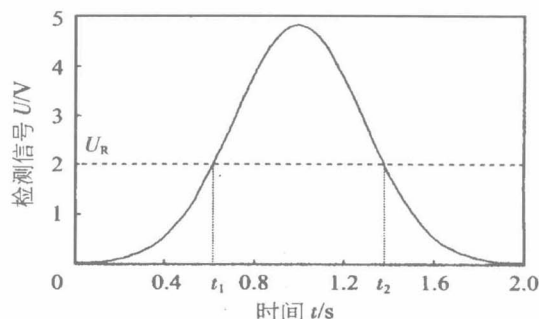


图3 磁感应电势信号及门限电平

Fig 3 Magnetic induction signal and threshold

对于不同的车型、车速,检测信号的有效脉冲宽度 $t_w = t_2 - t_1$ 会变化(即对应检测信号大于 U_R 情况), t_w 反映车辆通过检测线圈的时间,其典型值 $t_w = 800$ ms。车身越长越大,则脉冲宽度 t_w 越宽。车速越快,则检测信号的幅度越大,而脉冲宽度 t_w 越窄。

DSP 判断车辆到达和离开检测线圈的方法为:当检测信号满足 $U \geq U_R$ 的持续时间为 t_m 时,则确认车辆到达。这里 t_m 为判断车辆到达磁感应线圈的检测灵敏度值;当检测信号满足 $U < U_R$ 的持续时间为 t_n 时,则确认车辆离开。 t_n 为判断车辆驶离磁感应线圈的检测灵敏度值。

判断门限电平 U_R 值需通过试验确定,常取 $U_R = 2 \sim 3$ V。考虑到车辆通过检测线圈需要时间,以及现场脉冲干扰与噪声强度,检测灵敏度需要现

场调节。若灵敏度值过小(即过灵敏),则某些干扰信号可能被误认为是车辆到达或驶离信号。若灵敏度值过大(即不灵敏),则有可能将快速通行的小型车辆,如轿车漏掉。因此,根据现场检测信号大小、车辆通行时间、车辆漏检与虚警错误概率来设置,检测灵敏度 t_m, t_n 的调节范围为 80~100 ms。

4.2 检测结果

表 1 为部分车辆检测数据。

表 1 部分车辆检测数据

Tab 1 Some measured data of vehicle parameters

	车辆 1		车辆 2		车辆 3	
	车速	车长	车速	车长	车速	车长
	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)	(m/s)	(m)
实际值	9.722	4.178	6.944	7.315	4.166	8.850
检测值	9.537	4.531	7.068	7.862	4.092	8.536

车道上 2 个检测线圈之间距离为 6 m,利用车辆通过 2 个检测线圈所需的时间差来计算该车辆的通行速度,采用两检测信号计算互相关函数法来求时间差。车辆长度的估算方法为:(车辆通过某线圈的时间 t_w) $\times$ (车辆通行速度),再减掉检测线圈宽度。车速测试误差约 2%,当车速快时误差稍大些。车长测试误差小于 10%,误差较大的原因在于车辆经过检测线圈的时间 t_w 的测试误差较大。车长信息用于大致判断车辆类型(如大客车、轿车),误差稍大不影响判断结果。

表 2 为某日下午 4 点至 5 点时间段收费站一个车道的交通流量信息,这里单位时间段 $T=1\text{ h}$ 。

表 2 车道交通流信息

Tab 2 Traffic overflow passages of vehicles along routes

车辆数目 (辆)	车流量 (辆/h)	平均车辆 速度(m/s)	车道 占有率	车流密度 (m^{-1})	平均车辆 长度(m)
102	102	6.532	0.031	0.004	7.750

(上接第 62 页)

2 台量程 4 000 kN 的锚索测力仪,经中国计量院标定,准确度达到 0.1 %FS、重复性 0.05 %FS,国际监理认可,已由上海建筑科学院预应力工程技术研究所用于上海磁悬浮列车轨道梁后加预应力设备的校准及钢绞线锚具组合的性能检测,即已作为计量器具应用于建筑行业中。加之设计有拨码器,可选择多种功能,使仪器能满足更大范围用户的需要,是一

道路上车流量、平均车辆速度对于交通监控比较重要,其他信息仅供参考。该时间段内没有出现车辆漏检情况,车流量数据完全正确(实际出现漏检概率非常小)。其他交通流信息参数是根据式(3)~式(7)用所检测的车速、车长数据计算获得的。

因道路现场有各种干扰与噪声,采取了综合抗干扰措施:信号放大电路中采用带阻滤波器;DSP 中数字低通滤波与野值剔除;比较门限电平 U_R 、车辆检测灵敏度的现场可调整;检测线圈输出信号与 DSP 检测器之间用同轴电缆传输信号;PCB 板制作中模拟地与数字地分开;DSP 芯片中看门狗实时监控与自恢复;整个装置安装在接地的铁壳机箱内以屏蔽外界电磁干扰。从而保证了智能车辆检测器的可靠运行。

5 结束语

所研制的智能车辆检测装置已经过高速公路收费站现场试验,系统性能稳定可靠。该装置具有简单实用、功能强、体积小、高可靠性特点,能完成多车道实时监控与道路信息采集,并可进行车辆识别。

参考文献:

- [1] 刘 东. ITS 中的车辆检测技术[J]. 公安大学学报, 2000, 20(4): 36 - 39.
- [2] 王春波, 张卫东, 许晓鸣. 计算机视觉技术在智能交通系统中的应用[J]. 测控技术, 2000, 19(5): 22 - 24.
- [3] 秀 珍, 戴伏生, 毛兴鹏. 热释电红外传感器在车辆计数系统中的应用[J]. 传感器技术, 2000, 19(2): 47 - 49.
- [4] 荆便顺. 道路交通控制工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1995. 105 - 175.
- [5] 刘和平, 王维俊, 江渝. TMS320LF240x DSPC 语言开发应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003. 20 - 80.

作者简介:

王友仁(1963 -), 男, 南京市人, 副教授, 博士。研究方向为传感器技术、计算机测控、智能汽车视觉图象检测、仿生硬件机理及应用研究。

种很有实用价值的振弦式传感器用智能仪器。

参考文献:

- [1] 邓铁六, 于 风, 邓 伟, 等. 大量程自激谐振弦式传感器及相关技术研究[J]. 传感器技术, 2001, 20(9): 41 - 46.
- [2] 崔玉亮, 邓铁六, 于 风, 等. 谐振式传感器理论及测试技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997, 71 - 75, 80 - 83.

作者简介:

白泰礼(1972 -), 女, 四川成都人。讲师, 硕士, 毕业于电子科技大学测试计量技术及仪器专业, 主要从事智能仪器研究。

仿生物态模拟型硬件理论与关键技术研究

王友仁, 崔 坚, 朱开阳, 姚 睿

(南京航空航天大学自动化学院, 南京, 210016)

摘要: 阐述了模拟型仿生硬件的概念、基本思想与技术瓶颈, 分析了基于 FPTA (Field programmable transistor array) 的模拟型仿生硬件的结构与电子细胞电路工作原理。给出了模拟型仿生硬件的电路编码方案、个体电路测试评估方法和进化实现过程。提出了基于单染色体自适应变异进化机制的模拟型仿生硬件进化算法。以信号放大器、半波整流器、异或门数字电路作为典型应用实例, 来验证模拟型仿生硬件的进化特性, 并讨论了进化算法的参数选取、染色体适应度评估问题。仿真结果表明: 所提出硬件进化算法的进化速度快、成功率高, 所设计的 FPTA 细胞阵列可以实现模拟信号放大、信号处理和数字电路逻辑功能。

关键词: 仿生硬件; FPTA; 电子细胞阵列; 模拟电路; 进化算法; 外部进化方式

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-2615(2004)05-0595-05

Theory and Key Technology of Analog Bio-Inspired Hardware

WANG You-ren, CUI Jian, ZHU Kai-yang, YAO Rui

(College of Automation and Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

Abstract: The principle and the key technology of the analog bio-inspired hardware are analyzed. The architecture of field programmable transistor array (FPTA) cell arrays and the circuit of electronic cells are designed. The circuit coding representation, chromosome fitness evaluation method and evolution process of the analog bio-inspired hardware are presented. A method for evolving the analog bio-inspired circuits based on adaptive mutation evolutionary mechanism of single chromosome is put forward. By examples of evolvable amplifier, rectifier and digital circuit, the evolutionary performances of analog bio-inspired hardware are demonstrated. The determination of the fitness function and the selection of mutation parameter of the evolutionary algorithm are discussed. Results show that the new evolutionary method for analog bio-inspired hardware has a higher efficiency, and FPTA cell array may be used for analog signal amplification, nonlinear signal processing and digital logic circuit.

Key words: bio-inspired hardware; field programmable transistor array; electronic cell array; analog circuits; evolutionary algorithm; extrinsic evolution

仿生硬件 (Bio-inspired hardware, BHW) 是一种能够根据工作环境的变化而自主地、动态地改变自身结构与参数以获得期望性能的电路, 它具有类似于生物的自组织、自适应及自修复特性。仿生硬件也称为进化硬件 (Evolvable hardware, EHW)。

仿生硬件的概念^[1]最初是由瑞士联邦工学院于 1992 年提出的, 此后发展迅速, 现已成为国际上的研究热点之一。从 1996 年开始每两年召开一届国际进化系统会议 (International Conference on Evolvable Systems, ICES), 从 1999 年起每年由美

基金项目: 国家自然科学基金 (60374008) 资助项目; 南京航空航天大学科研创新基金 (S0271-033) 资助项目。

收稿日期: 2003-12-20; 修订日期: 2004-04-05

作者简介: 王友仁, 男, 博士, 副教授, 1963 年生, E-mail: wangyrAC@nuaa.edu.cn; 崔 坚, 男, 硕士研究生, 1980 年 8 月生; 朱开阳, 男, 硕士研究生, 1979 年 2 月生; 姚 睿, 女, 讲师, 1974 年 9 月生。

国航空宇航局 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 和国防部 DoD (Department of Defense) 主持召开仿生硬件国际研讨会。仿生硬件的用途广泛^[1], 特别对于电子设备需要长期运行、工作环境恶劣、系统维修困难或技术人员无法及时提供维修时尤其有用, 典型应用领域如: 复杂电子系统设计、自动控制系统、自治机器人、航空与航天电子系统。

仿生硬件有数字型和模拟型之分, 目前国际上大多数研究人员正开展数字型仿生硬件研究。由于嵌入式高集成系统的迅速发展, 模拟信号处理电路是必不可少的, 故在 2000 年后模拟型仿生硬件引起了国际上的极大重视。模拟型仿生硬件研究仍处于初级阶段, 目前研究重点是探索新型电路结构和提高进化速度。

1 仿生硬件基本思想与技术瓶颈

1.1 仿生硬件基本思想

仿生硬件由两个基本要素构成: ①大规模现场动态可重构集成电路, 以该器件作为硬件电路的实现载体与评估手段; ②进化计算方法, 以进化算法作为全局搜索和组合优化的主要工具, 寻求在不依赖先验知识与人工干预的情况下, 通过进化来得到满足给定性能指标要求的电路结构, 以及使系统能在线自适应调整其内部结构, 以适应内部状态(如局部故障)和外部工作环境的变化。

仿生硬件的基本思想是将现场可重构器件的配置数据位串当作进化算法中的染色体, 通过遗传操作自动地发现适合环境和性能要求的最优电路结构, 并能使其自适应调整。其实现过程涉及: ①确定编码方案: 进化算法求解问题不是直接作用在问题的解空间上, 而是基于解的某种编码表示; ②确定目标特性与电路测试评估方法: 根据应用对象或设计要求来确定目标电路的响应特性。设计电路测试集、个体适应度函数与评估方法; ③选择进化算法和算子操作: 选择进化算法, 确定算子操作、控制参数及进化终止准则; ④硬件进化实现方式: 进化算法可用硬件实现, 也可用微计算机软件编程实现。

1.2 模拟型仿生硬件的技术瓶颈

模拟型仿生硬件关键技术涉及可进化模拟电路与硬件进化方法两大方面, 现分析其技术瓶颈如下。

(1) 可进化模拟电路

要实现模拟型仿生硬件的在线自适应与自修复, 大规模现场可重构集成电路应具有特点: 支持在线实时部分动态重构, 支持快速无穷次的芯片配置位数据的回读和重编程(即基于 SRAM 可编程型)。除了一般性能外, 可进化模拟电路的主要指标包括可重构最小单元粒度及其性能、芯片编程模式与重构速度、芯片集成度与容错方式。

目前商业型可编程模拟器件主要有^[1~3]: 现场可编程模拟阵列 FPAA (Field programmable analog array)、可编程模拟多路选择器阵列 PAMA (Programmable analog multiplexer array)、在系统可编程模拟芯片 ispPAC。由于这些现场可编程模拟器件的重构单元是像运算放大器一类的高级功能模块(称为粗粒度系统), 只能组成特定的功能电路, 且其内部结构的容错能力有限, 故不适合仿生硬件进化。为此, 国际上正在研究基于单个晶体管重构技术的现场可编程晶体管阵列 FPTA (Filed programmable transistor array)(称为细粒度系统), 在 FPTA 中仅仅利用 CMOS 晶体管就可组成开关、可变电阻、非线性电容、双极性三极管等, 则 FPTA 非常适合于模拟型仿生硬件进化。对于 FPTA 型可进化模拟电路的深入探索, 将可能解决模拟型仿生硬件工程应用的瓶颈。

(2) 硬件进化方法

模拟型仿生硬件进化方法^[4~7]包括电路编码、进化算法、个体电路测试与评估技术。

目前电路编码方法常采用二进制配置数据直接编码法, 进化算法一般是遗传算法 GA (Generic algorithm) 和遗传编程 GP (Generic programming)。个体适应度是指某个染色体所对应电路结构的性能与目标要求性能之间的符合程度或正确度, 通常需根据具体应用对象来设计电路测试集和适应度函数。

根据仿生硬件的测试评估方式不同, 仿生硬件可分为外部进化和内部进化。在内部进化方式时, 通过在线实时测量电路的性能来评估个体的适应度; 在外部进化方式时, 利用电路仿真器来获得电路的仿真特性, 以此评估个体的适应度。

目前模拟型仿生硬件的进化时间太长, 严重制约着仿生硬件的实际工程应用。其主要原因是二进制编码的染色体太长(可达数万位)、进化算法的收敛速度太慢、个体电路测试与评估的时间开销大, 因此必须提出更加有效的模拟型仿生硬件进化方法。

2 FPTA 细胞阵列结构

FPTA 型可进化模拟电路为 $N \times N$ 二维电子细胞阵列结构(芯片中 N 常为 8, 16, 32), 如图 1 所示($N = 8$), 其中 I 为中间细胞单元, B 为边界细胞单元, C 为中心细胞单元, 细胞单元之间通过 6 个不同的可编程开关相连接。每个细胞单元可以独立寻址和重新编程, 所有细胞单元的电路结构相同, 其功能由相应配置数据来确定。FPTA 阵列支持在线动态部分重构, 由可编程配置数据来控制内部开关的状态, 使 FPTA 电路能实现多种模拟电路与数字电路的功能。

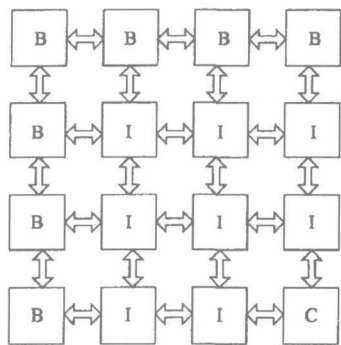


图1 FPTA 阵列的四分之一结构图

图2为FPTA中单个电子细胞的原理电路图, 每个细胞由24个可编程开关和8个晶体管组成。FPTA的细胞单元是一个通过可编程开关相互连接的晶体管阵列, 开关 $S_1 \sim S_{24}$ 的闭合导通/断开状态决定了电路的拓扑与功能。在细胞单元电路中, 晶体管 $P_1 \sim P_4$ 是PMOS管, $N_5 \sim N_8$ 是NMOS管。开关 $S_1 \sim S_{24}$ 由CMOS组成, 开关的通/断控制由相应的FPTA可编程配置数据来确定, 配置数据“1”对应二进制数字信号高电平, 使开关接通, 反之则开关断开。

3 模拟型仿生硬件进化方法

根据FPTA细胞阵列结构特点, 设计模拟型仿生硬件进化方法如下:

(1) 可进化模拟电路编码: 采用对FPTA的二进制配置数据直接编码方法, 染色体就是FPTA的配置数据。这里, 二进制配置数据对应着FPTA中所有开关的控制信号, 例如FPTA的配置数据位流为二进制序列“1011...”, 其中“1”表示开关“闭

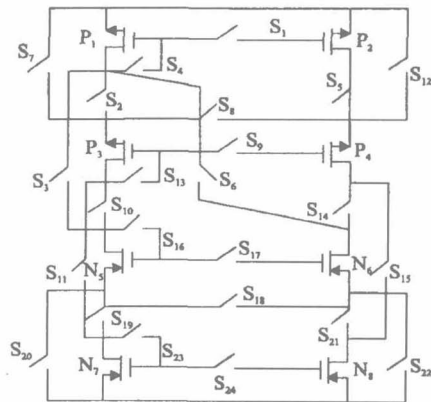


图2 FPTA 中单个细胞电路原理图

合”、“0”表示开关“断开”。每个细胞单元的编码长度是24位, 加上细胞单元之间的连接控制开关, 图1中FPTA的染色体长度约2200。

(2) 个体电路测试评估: 采用外部进化方式对个体电路进行测试评估。在FPTA电路的外部进化过程中, 利用Pspice软件仿真器对个体所确定的电路结构进行数字仿真, 并根据电路仿真特性来计算适应度大小。而电路的测试信号、适应度函数构造需要根据应用对象的功能来确定。

(3) 进化算法的确定: 在模拟型仿生硬件进化过程中, 个体电路测试与适应度评估所需要的时间开销远远大于进化算法中遗传算子的计算时间, 故根据问题求解的特殊性, 进化算法的种群规模应当尽可能小。为此, 提出一种基于单染色体自适应进化机制的进化算法, 该算法的核心思想是取消交叉操作, 只对种群规模为1的单个染色体进行变异算子操作来寻找最优解。

电路进化算法设计如下:

- ①随机生成一个初始染色体。
- ②对个体电路进行适应度评估。

③判断是否满足进化终止条件? 若满足的话, 则结束搜索。否则, 继续进化操作。这里规定进化终止条件为: 个体适应度达到期望值或者进化到预定终止代数。

④对染色体进行遗传操作, 并产生新的染色体: 依据个体适应度对染色体进行多点随机自适应变异操作。设计的个体变异位数 L_m 的计算公式为

$$L_m = L \times k_{m\max} \times \frac{(F_{i\max} - F_{ii})}{F_{i\max}} \quad (1)$$

式中: L 为染色体长度; $k_{m\max}$ 为最大变异率; $F_{i\max}$ 为预定最大适应度; F_{ii} 为当前适应度值。

⑤对新个体进行适应度评估。