

基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层 软件测试平台设计

潘健鸿

(福建省特种设备检验研究院, 福建 福州 350008)

摘要: 为满足底层软件的使用需求及减少其存在覆盖率低、消耗成本大、丢包率高、数据采集频率小等问题, 提出并设计了基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台; 根据 ARINC429 接口板的结构框图能够设计出嵌入式底层软件测试平台, 针对用户安全登录问题, 设计了平台登录验证功能; 通过对嵌入式底层软件运行信息显示, 能够实时对软件运行状态进行监测, 进而为数据采集与查询提供支持; 设计工具链作为代码编译开发和结构测试工具; 通过数据采集、处理、传输来完善软件测试平台的覆盖率; 通过实验对比分析可知, 该测试平台能够提高测试覆盖率, 降低丢包率, 促使数据采集频率大大增强, 为软件测试平台的安全有效运行提供了保障。

关键词: ARINC429 接口板; 嵌入式; 底层软件; 测试平台; 设计

Design of Embedded Software Test Platform Based on ARINC429 Interface Board

Pan Jianhong

(Fujian Special Equipment Inspection and Research Institute, Fuzhou 350008, China)

Abstract: In order to meet the demand and use of software to reduce the presence of low coverage, high cost, high packet loss rate, data acquisition frequency, proposed and designed the embedded ARINC429 interface board software testing platform based on. According to the structure diagram of ARINC429 interface board to design embedded software testing platform for user login security, design platform login authentication function; through the display of the embedded software running information, real-time monitoring of the running state of the software, so as to provide data acquisition and query support; design tool chain as code development and the structure of test tools; to improve software testing platform coverage through data acquisition, processing and transmission. Through the comparative analysis of the experiment, we can see that the test platform can improve test coverage, reduce packet loss rate, greatly increase the frequency of data acquisition, and provide a guarantee for the safe and effective operation of software testing platform.

Keywords: ARINC429 interface board; embedded; bottom software; test platform; design

0 引言

软件测试是一种实际输出与预期输出间的审核或者比较的过程, 即在规定的条件下对程序进行操作, 发现程序错误, 衡量软件质量, 满足设计要求。对于嵌入式底层软件进行测试时, 传统的嵌入式底层软件测试平台由于覆盖率低、消耗成本大、丢包率高、数据采集频率小等问题, 已经不能满足现代对于软件平台高效测试的要求, 又容易受到操作系统中各个因素的制约, 使得嵌入式底层软件的测试过多的依赖于调试的平台, 不足以进行全面的测试。文献 [1] 中提出了一种波前控制的软件测试平台, 该平台能够对波前处理器中的信息进行采集, 根据信息采集速度进行软件测试, 导致测试结果易受采集速度影响, 测试结果不精; 文献 [2] 中提出一种黑白盒的软件测试平台, 该平台通过不同点对软件进行全面检查, 并根据采集路径信息, 对软件进行测试, 使得测试结果受到信息采集路径单一影响, 使软件测试平台使用环境受到局限性, 丢包率较大。

本文对嵌入式底层软件本信源受到干扰引起随机测试问题

进行了研究, 提出并设计了基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台。通过实验结果证明, 改进设计平台能够提高测试覆盖率, 降低丢包率, 而且在同一时间内, 采集数据也要比传统测试平台采集的数据多, 因此, 采用改进设计平台能够在实际生活中节省大量时间, 并且有效地提高测试效率。

1 ARINC429 接口板设计

本文设计的 ARINC429 接口板是由 DSP 核心系统、振荡时钟系统、ARINC429 收发接口、双口 RAM、逻辑译码部分这五个主要部分构成, 具体的结构框图如图 1 所示。

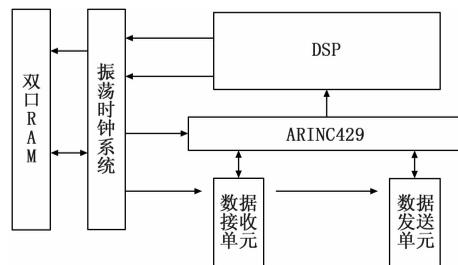


图 1 ARINC429 接口板结构框图

收稿日期:2017-09-29; 修回日期:2017-11-21。

作者简介:潘健鸿(1979-),男,福建福州人,硕士,高级工程师,主要从事计算机应用技术、嵌入式系统、大数据等方向的研究。

DSP 作为整个接口板的重要核心部分^[3], 需要充分考虑系统的实时性和数据吞吐能力, 因此选择 TMS320LF2407 芯

片作为系统中央处理器，能够为嵌入式底层软件测试平台设计提供高性能、低消耗处理效果。

2 测试平台硬件设计

2.1 平台登录验证模块

嵌入式底层软件测试平台登录验证模块是通过检验平台的登录来验证用户的身份是否正确，能否与数据库中的用户名和密码一致^[4]，为客户端的安全提供了保障，通过身份验证，才能到达软件测试平台的主页面进行下一步操作。主要是由于该平台具备良好的保密性能和安全性能，对于不设置注册的账户，其测试平台的身份验证设计如下所示：首先管理员应该设置嵌入式底层软件测试平台的安全功能，比如登录的用户名和密码；然后将设置完的用户名和密码分配给不同的用户，并保存在数据库服务器当中；为了实现用户能够安全的登录需要使用加密算法^[5]来保障用户信息存储的安全。

2.2 数据采集与查询模块

对嵌入式底层软件数据进行周期性和连续性的自动采集，将采集后的数据通过测试平台中数据传输中心传送给数据处理中心，并将底层软件需要运行的数据整理到数据库中进行保存，管理人员通过嵌入式底层软件运行信息的显示，能够实时对软件运行状态进行监测。

对于嵌入式底层软件测试平台数据的查询主要是通过对指定软件运行时间与类型进行查询，并通过服务器接收嵌入式底层软件运行的数据，使用表格或者折线^[6]的形式表示出查询的结果，能够为软件评估数据的诊断提供支持。

2.3 平台评估与维护模块

嵌入式底层软件测试平台的监测功能主要是由预警信息组成的^[7]，通过对底层软件变化状态的监测能够实现软件评估与维护。针对电力系统运行信息的维护需要采用人工神经网络^[8]诊断方法对底层软件各个部分的运行状态进行监测，如果出现不正常现象，那么该测试平台就会出现报警的信息，指示灯闪烁。此时工作人员就可以通过该平台获得报警信息，能够在短时间内完成软件测试平台的评估与维护。

2.4 软件测试工具链模块

基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台最重要的部分是具有符合自身平台的开发工具，其中 GNU Tools 包含了嵌入式应用系统^[9]，其全面的源码能够为嵌入式环境提供配套的工具链^[10]。该工具使用能够为代码编译开发、结构测试与软件工程提供工具，将这三者结合在一起形成工具链，能够满足测试平台独立性要求。通过使用工具链能够为编译程序增加自动插入测试的功能，编译流程如图 2 所示。

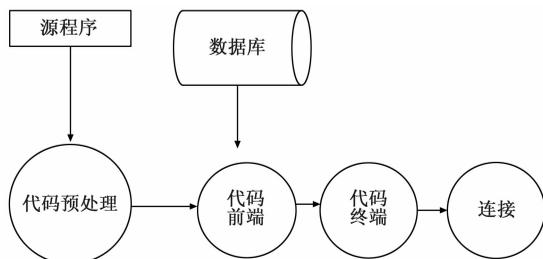


图 2 编译流程

由图 2 可知：通过编译的流程可将各种源代码编译成汇编码。根据从测试数据库中得到的函数和变量进行测试，并按照

系统的架构进行调用，如果函数调用位置为编译起始端和结束端，那么就可以确定语句中的分支和循环为整个编译开始处和结束处。

3 软件设计

基于 ARINC429 接口板嵌入式底层软件测试平台覆盖率的提高主要通过对数据采集、处理、传输部分的完善进行了设计。

3.1 数据采集

在该平台中存在各种各样的离线数据和在线数据，需要实时的对数据进行采集来完成软件平台的离线测试与在线测试。

1) 经过离线测试的结果获取离线数据，并将此信息录入到基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台的数据库当中。

2) 经过在线数据测试的结果获取在线数据，通过测试平台的开发，能够将不同的数据库进行连接，从而使线路、开关和变压器实时运行的数据信息被共享到嵌入式底层软件测试平台的数据库当中。

通过对上述运行数据的收集，能够使数据库与软件测试平台的装置进行通信，并采用单向采集的方式，保证了测试平台数据采集信息的安全。

3.2 数据处理

对于数据的处理需要使用测试平台的数据处理中心，其位于底层软件的服务器端口处，主要包括数据库服务器和应用服务器。

3.2.1 数据库服务器

该服务器的主要功能是不不断的将采集器中的数据信息进行收集，并按照测试的原则进行标准化处理，将处理之后的数据信息全部储存在数据库。

3.2.2 应用服务器

该服务器的主要功能是应用业务的逻辑思维来完成逻辑处理与数据库之间的连接。采用模块化的方法对不同客户端发送的请求进行实时的反馈，并将反馈结果传送到客户端。对于数据库的连接，需要对平台数据进行增加删减等工作。

3.3 数据传输

作为数据信息传输的媒介，应用服务器上的平台应用接口需要通过网络进行发布，而测试的客户端也需要与服务器进行数据的传输。

4 软件实现

基于 ARINC429 接口板的测试平台是宿主机和目标机交联实现软件测试的，即 Host/Target 方式。是指编码连接和测试分析都运行在 Host 机器上，而被测试程序运行在 Target 机器上。目标与测试平台之间的通信均通过通信转换接口模块完成。通信模块可以和 Host 程序运行在同一台测试机上，也可以运行在独立的机器上，通过以太网与测试机连接，示意图 3 如下所示。

通过用户操作，开启软件测试平台的主程序。软件屏幕模拟器会对用户操作进行录制，将录制结果分别发送三个子程序进行各自的功能处理。发送至界面子程序：通过界面绘制，将用户操作记录传送到 Web 界面端，经过 Web 界面对信息进行处理，使 UI 控件获取到相应的界面信息进行界面优化，同时，Web 界面信息也会通过界面指令传至脚本回放，等待信

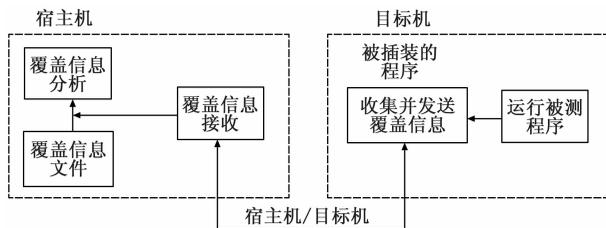


图 3 ARINC429 接口板的软件测试模式示意图

息回放处理，反之，回放信息也能反馈给 Web 界面，进行界面信息处理。发送至脚本子程序，将记录的用户操作信息，按照操作指令，传至脚本，经由脚本指令转化，传至脚本回放。发送至主程序，将记录的用户操作信息传至编译器，使用 Python 脚本语言进行开发，将脚本回放中的信息进行回放，结合回放信息，生成测试结果。以此，完成基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台软件部分的实现。给出软件实现流程图如图 4 所示。

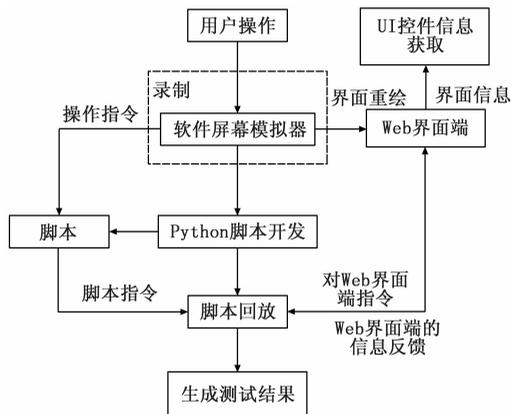


图 4 软件实现流程图

5 实验结果与分析

为了验证基于 ARINC429 接口板底层软件测试平台的有效性，测试平台界面在 VC++6.0 环境下进行开发及试验分析。

5.1 测试平台覆盖率

针对测试平台的覆盖率，需要对用户登录信息、历史信息、实时数据、网络信息等进行收集，如表 1~2 所示。

表 1 传统测试平台信息覆盖率(%)

序号	登录信息	历史数据	实时数据	网络信息
1	30.00	45.15	28.55	48.22
2	30.15	46.23	30.15	49.01
3	31.01	45.90	30.38	46.23
4	29.35	46.28	29.35	45.18
5	28.22	47.22	29.13	47.25

表 2 改进测试平台信息覆盖率(%)

序号	登录信息	历史数据	实时数据	网络信息
1	80.13	62.15	61.36	82.85
2	79.28	63.24	62.25	79.28
3	78.31	60.98	61.88	78.51
4	77.52	65.13	63.23	76.35
5	77.15	64.14	65.15	76.98

根据上述收集到的数据，将改进设计平台与传统平台覆盖率(%)进行对比，结果如图 5 所示。

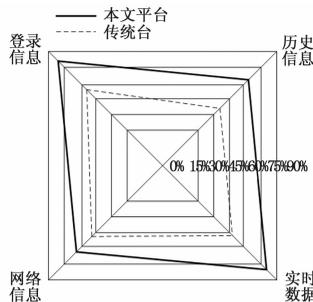


图 5 两种测试平台的覆盖率对比结果

由图 5 可知：改进设计测试平台覆盖率要高于传统设计平台。由于基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台能够对数据进行实时的采集，通过使用数据库服务器和应用服务器处理中心对软件各部分进行了测试。数据采集能够实现嵌入式底层软件离线测试和在线测试；针对业务的逻辑性处理和数据库之间连接，能将收集到的数据进行处理；通过传送数据能够完成嵌入式底层软件运行数据的采集、处理、传输以及在客户端方面的应用，使用改进设计的测试平台能够提高平台的覆盖率。

5.2 测试平台丢包率

分别收集传统测试平台与改进设计的平台在 5 分钟内数据采集并处理过程中软件测试平台丢包率的情况，测试结果如表 3 所示。

表 3 两种测试平台丢包率(%)对比结果

实验次数	传统测试平台			改进测试平台		
	延迟情况	数据处理	丢包率	延迟情况	数据处理	丢包率
1	出现	9	7.85	没有	80	0.05
2	出现	12	8.23	没有	90	0.01
3	出现	11	8.19	没有	110	0.02
4	出现	13	8.45	没有	100	0.04
5	出现	12	8.23	没有	120	0.03
6	出现	10	7.95	没有	110	0.02

由表 3 可知：传统测试平台的丢包率情况存在较大的延迟情况，对于数据的处理大约维持在 11.17 Mbit/s 左右，而丢包率大约维持在 8.15 Mbit/s。传统的测试平台在设计的时候采用了 LaaS 的构建方法对管理工具进行了设计，该方法包含了大量的计算步骤，过程繁琐，计算所耗费的时间较长，因此对软件平台的测试会出现延迟的情况，使得丢包的概率增加，得出的测试结果不准确。而改进测试平台设计的方法不会出现延迟的情况，对于数据的处理大约维持在 101.7 Mbit/s 左右，而丢包率大约维持在 0.0283 Mbit/s 左右。

由此看出：改进测试平台的丢包率较低，在实际的嵌入式底层软件测试过程中可以忽略不计，测试的结果比较准确。

5.3 测试平台性能

为了验证改进测试平台的性能，将数据采集的频率(MB/s)作为衡量传统测试平台与改进测试平台性能好坏的标准，结果如图 6 所示。

由图 6 可知：由于改进设计的测试平台能够将软件中的数据进行连续性的采集，并且在短周期内能够快速的采集大量的

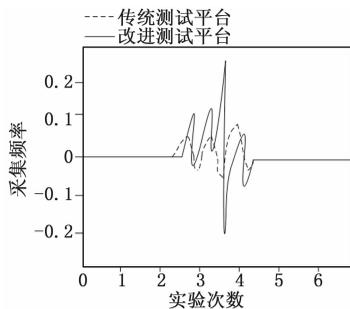


图 6 两种测试平台的数据采集频率对比结果

软件信息，因此，在同一时间内，改进测试平台采集的数据要比传统测试平台采集的数据多。

综上所述，改进设计的基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台，其覆盖率较高，对于改进测试平台丢包率情况，改进设计平台明显比传统平台更准确，而且在同一时间内，采集数据也要比传统测试平台采集数据多，因此，采用改进设计平台能够在实际生活中节省大量时间，并且有效地提高测试效率。

6 结束语

基于 ARINC429 接口板的嵌入式底层软件测试平台能减少成本，并使测试的频率加快，大大缩短了平台运行时间。合理的设计测试平台不仅能够满足测试基本要求，还能保证软件质量，通过对嵌入式系统软件测试平台进行改进设计能够解决多目标测试难点，能够提高测试的覆盖率，并降低了丢包率，数据采集的频率也大大增强，为软件测试平台安全有效运行提

(上接第 85 页)

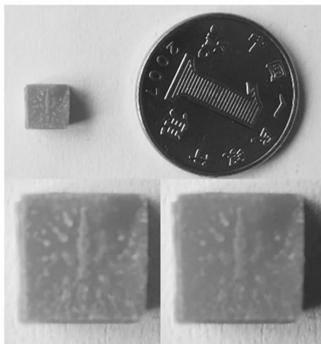


图 12 模型 (d) 实际打印效果图

结合上述打印实验可知，本设计的凸特征打印效果比凹特征的打印效果优秀，方形特征成型效果比圆形特征成型优秀。其中凸特征的成型最小特征为 0.03 mm，凹特征的成型最小特征为 0.08 mm。

5 结论

本研究主要完成微流控制备 3D 打印机的设计，采用数字光固化式 3D 打印技术，并通过加入聚焦透镜从而实现对原有投影的等比例缩小，以牺牲打印尺寸的同时，取得更高的精度，符合微流控制备的原则要求。通过上位机软件 Creative-workshop 完成切片和投影。软硬件性能稳定，实际测试打印效果良好。文中 3D 打印机体积为 240 × 220 × 500 mm (长 × 宽 × 高)，最大成型体积 12 × 12 × 15 mm (长 × 宽 × 高)，

供保障，也为测试标准奠定了更加坚实基础。

参考文献：

- [1] 王 亮, 陈 涛, 贾建禄, 等. 自适应光学波前处理器的软件测试研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30 (2): 193-199.
- [2] 梁浩然, 周宽久, 崔 凯, 等. 基于 PEFSM 行为模型的黑盒测试用例生成方法 [J]. 计算机科学, 2017, 44 (4): 234-240.
- [3] 王 博, 白晓颖, 张 超, 等. 基于接口自动机与符号执行的嵌入式软件测试用例生成 [J]. 计算机学报, 2015, 28 (11): 2125-2144.
- [4] 刘连生, 梁林林. 使用 Andriod 智能手机的 ARINC429 总线系统设计 [J]. 电光与控制, 2016, 19 (5): 104-107.
- [5] 杨文豪, 焦新泉, 储成群. 基于嵌入式操作系统 VxWorks 的 PXI 实时读写接口设计 [J]. 仪表技术与传感器, 2016, 31 (10): 98-101.
- [6] 孙 磊, 杨海燕, 吴 际, 等. 基于 IMA 平台的嵌入式软件设计模型仿真及实时性分析方法 [J]. 计算机科学, 2015, 42 (12): 95-97.
- [7] 郑巧彦. 多差异嵌入式设备的节能任务调度模型仿真 [J]. 计算机仿真, 2015, 32 (3): 426-429.
- [8] 韩鸿凌, HANHong-ling. 基于 FPGA 的嵌入式处理器与 PC/104 总线接口实现 [J]. 电测与仪表, 2015, 39 (s1): 72-74.
- [9] 郭文生, 汪 勇, 杨 霞, 等. Codecomb: 基于符号执行的嵌入式软件测试案例自动生成与缺陷检测 [J]. 小型微型计算机系统, 2017, 38 (6): 1250-1255.
- [10] 刘 飞, 蒲海峰, 李柯达, 等. 一种弹载嵌入式软件数学模型测试方法的设计与实现 [J]. 弹箭与制导学报, 2016, 36 (3): 25-27.

打印层高最小为 0.025 mm，打印最小凸特征达到 30 μm，打印最小凹特征达到 80 μm。

参考文献：

- [1] 徐 军, 王天伦. 3D 打印机控制系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (3): 51-54.
- [2] 成思源, 周小东, 杨雪荣, 等. 基于数字化逆向建模的 3D 打印实验教学 [J]. 实验技术与管理, 2015, 32 (1): 30-33.
- [3] 张国玲, 吴 涛, 张功国. 快速成型训练项目的建设与实践 [J]. 实验室研究与探索, 2011, 30 (3): 314-316, 325.
- [4] Fang H B, Chen J M. 3D printing based on digital light processing technology [J]. Journal of Beijing University of Technology. 2015, 41 (12): 1775-1782.
- [5] Haller P D, Flowers C A, Gupta M. Three-dimensional patterning of porous materials using vapor phase polymerization [J]. Soft Matter, 2011, 7 (6): 2428-2432.
- [6] 甘成君, 梁 杰. 数控编程 G 指令使用的探讨 [J]. 机械工程与自动化, 2013 (4): 199-200.
- [7] Evans B. Practical 3D printers: The science and art of 3D printing [M]. Apress, 2012.
- [8] 范一强, 王 玫, 张亚军. 3D 打印微流控芯片技术研究进展 [J]. 分析化学, 2016, 44 (4): 551-561.
- [9] Mao X, Huang T J. Microfluidic diagnostics for the developing world [J]. Lab on a Chip, 2012, 12 (8): 1412-1216.
- [10] PacManFan, Creation Workshop—SLA/FDM Slicer and Controller, <http://www.thingiverse.com/thing:40778>, 2013 data of access: 8/01/2013.