

基于 VEE 软件的加速管场分布测量系统的研制

夏良通 郑曙昕 陈怀璧
(清华大学工程物理系 北京 100084)

摘要 针对加速管调谐中的一个重要参数场分布的测量, 开发了两套基于不同网络分析仪的加速管纵向场分布测量虚拟仪器系统。该系统的开发采用了可视化工程设计环境 (Visual engineering environment, VEE), 引入了虚拟仪器技术。采用 VEE 的 Direct I/O 控件读写仪器, 避免了做底层协议方面的工作, 减少了开发人员的工作量。该系统同时能为用户提供友善的界面, 降低操作要求, 提高了测量工作的效率和稳定性。

关键词 纵向场分布测量系统, VEE 编程语言, 虚拟仪器技术, Direct I/O 控件

中图分类号 TM931

直线加速器加速管微波参数的测量是加速管调谐和诊断的一个重要手段。传统的微波参数测量方法使用手工控制、手工处理数据, 效率低, 错误率高。利用计算机与网络分析仪相连, 通过编制专门的软件, 可以建立一套测量精度高、速度快、便于计算机采集处理数据的虚拟微波测量系统。清华大学加速器实验室曾用 C 语言编写了基于网络分析仪 AGILETN 8757D 的纵向场分布测量软件。由于系统开发时间较早, 已经进入软件的问题多发期, 而且该系统用户界面不够友善, 不能满足用户在修改参数、提供更多功能等方面的一些需求; 此外, 由于采用了直接读写计算机端口的方式来控制部分硬件, 不适合在 WIN2000 以上的操作系统下使用; 即使在 WIN98 等系统下使用, 一旦硬件改变, 整个程序就得做很大的调整, 程序的可移植性差。为此我们利用 AGILENT VEE 软件开发了新的场分布测量系统, 为用户提供更好的界面、更多的功能选择、更直观方便的操作; 而且由于对硬件的操作建立在对已经编译完成的底层接口库的基础上, 避免了对操作系统的限制, 减少了更换硬件时的程序改动。经过简单的改编, 本系统也可应用于基于网络分析仪 AGILENT 8720B 的纵向场分布测量系统。

VEE 是“可视性工程设计环境 (Visual engineering environment)”的缩写, AGILENT VEE 是由 AGILENT 公司推出的一种基于图形式开发、调试和运行的集成化环境, 其基本编程单元是一系列的图标功能控件, 所有控件功能是在 VEE 的主菜单下选取并创建, 然后连线并最终完成程序, 结果类似数据流程图, 而硬件仪器则接收来自控件的指令

并完成其特定的功能。VEE 在虚拟仪器软件平台技术领域具有重要地位^[1]。所谓的虚拟仪器技术是用于自动测试、过程控制等领域的一项新技术, 基本思想就是在系统设计中尽可能地使用软件代替硬件。相比于基本上由数据获取、数据处理和分析、数据显示三部分组成, 并且三部分都装在一个仪器仪表机箱内的传统测量仪器, 虚拟仪器是功能意义上的仪器, 通过应用程序将通用计算机与功能模块硬件结合起来, 充分利用计算机系统强大的数据处理能力, 在基本仪器设备配件的支持下, 利用软件完成资料的采集、控制、资料分析和处理以及测试结果显示的测试测量系统。虚拟仪器的核心是计算机上的应用程序, 硬件只是为了解决信号的输入输出, 因此它能真正做到“界面友好、人机交互”。虚拟仪器的优势在于它大大突破了传统仪器在数据处理、显示、传送、存储上的局限性, 使用户可以简单、方便地对仪器进行维护、扩展和升级^[2]。

1 加速管纵向场分布测量系统介绍

1.1 算法理论依据

我们的场分布测量使用的是谐振微扰法。谐振微扰法适用于被测系统处于谐振状态下的驻波场的幅值分布的测量, 利用介质或者导电的微扰体所引起的频率偏移来确定场强。将一个小的金属谐振体 (小珠) 放在谐振腔的轴上, 如果微扰体所在的位置只有轴向电场, 则微扰体引起的频偏同该点的轴向电场的平方成正比, 即满足如下方程^[3]:

$$E(z) \propto \sqrt{df(z)} \quad (1)$$

第一作者: 夏良通, 男, 1981 年出生, 2004 年毕业于浙江大学通信工程专业, 现为清华大学加速器实验室在读硕士研究生

通讯联系人: 陈怀璧

收稿日期: 2006-01-19, 修回日期: 2006-04-12

$$df = f_0 - f \tag{2}$$

式中， z 表示微扰体所在的位置， $E(z)$ 表示微扰体所在处的电场， df 表示微扰体引起的频率偏移。通过网络分析仪测量微扰体所经过各个点处引起的频偏，就可以得到场分布。

1.2 场分布测量系统的体系结构

以基于 AGILETN 8757D 网络分析仪的虚拟场分布测量系统为例，如图 1 所示，系统的硬件由一台计算机、一台 8757D 标量网络分析仪、一台 AGILENT 83620A 扫频仪、一套用来拉动微扰体运动的步进电机系统（包括电机、驱动器、控制器）、一个用于网络分析仪和计算机通信的 GPIB(General purpose interface bus)卡组成，移植于计算机上的应用软件我们采用 AGILENT VEE（试用版）来开发。

如图 1 所示，计算机控制网络分析仪和步进电机系统，同时通过网络分析仪控制扫频仪。步进电机拉着微扰体(小珠)在加速腔链里面运动，扫频仪

将微波功率馈入加速腔链，网络分析仪测量反射波并将参数传入计算机。从协调控制电机运动和仪器工作到接收、处理来自仪器和电机的数据，计算机中的场分布测量软件发挥着核心作用。

图 2 给出了场分布测量系统的组织结构框图。其中，两条虚线之间部分为应用软件部分，即整个系统的核心部分，也是我们主要从事的工作。用户通过应用软件提供的用户界面设置参数,进行运行、停止等操作，并且通过界面查看测量结果。

应用软件部分的设计考虑了使用者需要的各种功能，在程序结构上根据功能分成了独立的五个模块：用来完成主要的测量任务的场分布测量模块、用来确定零点并建立绝对坐标系的设置微扰体零点模块、用来移动微扰体相对距离的相对移动微扰体模块、用来移动微扰体到指定坐标的绝对移动微扰体模块、用来创建 Excel 文档并把数据写入 Excel 的数据写入 Excel 模块（确保用户已经安装了微软的 Excel 软件）。后面的四个模块为辅助模块，方便用户使用。

图 1 场分布测量结构示意图
Fig. 1 Structure of the measurement system

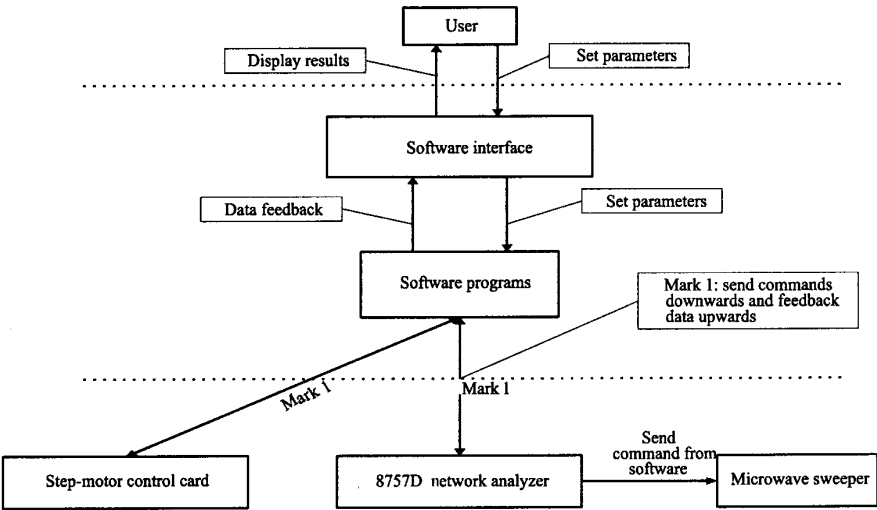


图 2 场分布测量系统的组织结构框图
Fig. 2 Framework of the measurement system

在图 3 的数据流图（Data flow diagram, DFD）中，四角弧形标号为 P 的为处理过程，矩形标号为 D 的为数据储存，箭头表示数据流。场分布测量的算法就是在被测腔体内通过电机短距离移动微扰体，然后用网络分析仪测量场分布参数，同时将数据传输到计算机，计算机进行数据处理分析，循环进行上述步骤，直至 D1（小珠位置寄存器）中的位置参数开始大于设定的移动距离或者用户强行退出。在场分布测量模块中，我们把即时结果数据实时输出在用户界面上，用户随时可以根据当前结果决定下一步的措施。

一般在执行场分布测量模块后，只要从界面上判断结果是正确的，就会执行数据写入 Excel 模块，把测量数据和处理后的数据写入 Excel 中保存，并且自动生成一些曲线，同时在用户确认后自动保存。

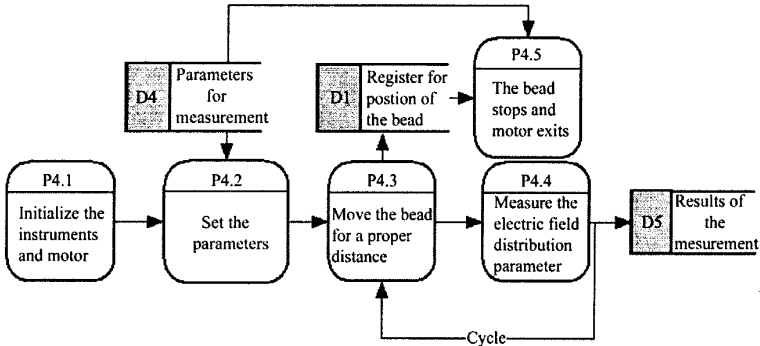


图 3 场分布测量模块的数据流图

Fig. 3 Data flow diagram of the measurement of electric field distribution model

2 VEE 软件在场分布测量系统中的应用

2.1 VEE 设计的用户界面

VEE 能够提供友善的用户界面。继续以基于 AGILENT 8757D 网络分析仪的虚拟场分布测量程序为例。图 4 是由 VEE 制作的场分布测量系统的用户界面。

在图 4 的界面中，中上部分有条明显的水平实线，线上部分为功能选择以及相应参数，功能就是上文中提到的 5 个功能；线下区域左边部分为参数设置，分为网络分析仪参数和电机参数，右边为测量结果实时显示以及停止测量按钮，供用户判断测量是否正确并可以随时停止测量，具体数据可以通过执行“Write to Excel”功能来查看和保存。该界面是根据用户要求设计的，利用 VEE 是图形化语言的

图 4 基于 8757D 网络分析仪的场分布测量系统用户界面

Fig. 4 The user's interface

特点,能很方便地设计用户界面^[4]。

2.2 VEE 进行数据分析处理

AGILENT VEE 编程软件的使用引入了虚拟仪器技术。硬件只是完成数据采集并传输给计算机的任务,其它的处理、显示、用户界面等任务都交给了由 VEE 等语言开发的应用软件,从某种程度上讲,网络分析仪在这个系统里面起了一个数据采集卡的标准作用。这种虚拟技术的优势在于系统的功能事实上是由应用软件决定的,同样的硬件可以实现各种各样的功能,只要硬件能达到采集相应数据的要求并且有相应的应用软件。

数据处理分析是虚拟仪器技术的重要部分,我们的应用软件中数据处理很重要的一环就是场分布测量模块中 f_0 的选择,测量得到的频率值都是减去 f_0 得到频率差值,然后取绝对值开方才得到电场的。我们现行的 f_0 是通过取测量中前面的一定数量点的平均值来得到的,测量结果能反映被测加速腔的场分布。

图 5 是 8757D 网络分析仪的虚拟场分布测量程序测量的数据在 Excel 上生成的频率-小珠位置曲线。

图 6 是图 5 中的测量数据根据(1)、(2)式处理后得到的归一化电场-小珠位置曲线图,其中(2)中的 f_0 就是采用了上文中提到的取测量中前面的一定数量点的平均值的方法。曲线很好地反映了被测加速管的场分布。

我们在接下去的工作中将采用新的取 f_0 的方法:首先我们不用小珠微扰体,直接运行场分布测量模块,得到一条频率-位置曲线,VEE 中将采用一个数组记录下这条曲线作为 f_0 曲线;其次我们加上小珠微扰体再次运行场分布测量模块,而且从同

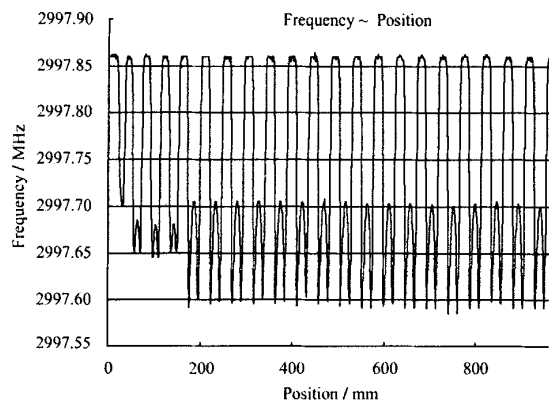


图 5 测量得到的频偏-小珠位置曲线图

Fig. 5 Curve of frequency offset vs. position of the bead

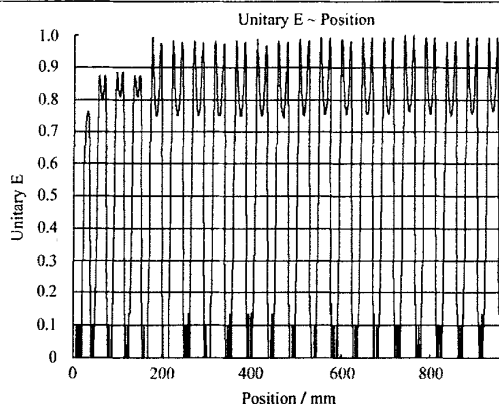


图 6 归一化电场-小珠位置曲线图

Fig. 6 Curve of unitary electric field vs. position of the bead

一起点开始测量,得到一个频率-位置曲线。两个曲线相减就可以得到频差-位置曲线,然后由(1)式就可以得到归一化场分布曲线。如此取 f_0 的目的在于考虑到拉动小珠运动的线不可能处处均匀,这样做可以最大限度地减少线引起的误差,提高测量精度。

2.3 VEE 同硬件的通信

应用软件通过 VEE 的 Direct I/O 控件对网络分析仪和扫频仪进行读写控制,对应的操作指令可以在仪器的编程说明书里找到。具体编程时依据的是数据流程,即根据图 3 中的数据流程图来安排结构、建立实现局部功能的模块。由于 Direct I/O 控件已经考虑了 GPIB 等协议,编程者不需要去过多地了解协议,不需要去做底层驱动,不需要直接读写端口,只要直接把操作指令写入控件即可,工作量和难度降低不少。由于不同的仪器的某些同一操作的指令不同,所以当仪器改变的时候,系统的应用软件部分也要随着硬件做相应的改动。当然,我们完全可以为每个仪器制作一个对应的将标准化的指令转换成其能识别指令的中间转换层,形式可以是动态链接库 (DLL) 或者控件,这样我们发给仪器的指令将统一。

步进电机系统是该测量系统的一个辅件部分,如果使用了不同的电机控制卡,程序中相关的关于电机的操作都需要改动。为了避免此麻烦,我们采用了制作 ACTIVEX 控件作为 VEE 程序和电机驱动中间层的方法^[5],开发一个控件来调用电机控制卡的底层驱动,而在 VEE 编程环境中,只需要调入对应每个电机控制卡的 ACTIVEX 控件,应用软件就可以正常运行。这种方式最大程度地避免了程序的改动。同时这种方案也考虑到了 VEE 软件对现在普遍存在的底层驱动格式动态链接库 (DLL) 支持不够好的问题,而利用了 VEE 对组件对象模型

(Component object model, COM)支持比较完善的优点(我们制作的 ACTIVEX 控件采用了 COM 技术)。

3 结论

新开发的加速管纵向场分布测量虚拟仪器系统采用 VEE 可视化编程软件开发,在减少开发工作量的同时为用户提供了友善的界面,降低了对用户的操作要求,提高了测量工作的效率和稳定性,能满足清华大学加速器实验室现阶段测量工作的需要。

同时我们考虑了一个更加完善的方案,就是把每个仪器作为一个对象来完成封装,即利用了面向对象编程的思想。具体封装的形式我们将采用 ACTIVEX 控件的格式:仪器的参数将作为控件的属性,对仪器的读写等操作将作为控件的方法,而属性和方法作为接口提供给用户。对于同类仪器这个封装对象提供的属性和方法将是一样的,所以一个测量系统在其仪器发生型号变化时,应用软件部分是不需要改动的,仅是用新的仪器的封装控件来代替原来的。这种做法有三大优点:首先对系统的开发者而言,改动应用软件的工作将变得简单很多,只需要在控件提供的接口中查找一个需要的属性或者方法就可以完成对仪器的操作,甚至只需要点击鼠标选择一个即可;其次这样做用户永远不用同底层打交道,其实这个封装做了原来 VEE 的 Direct I/O 控件完成的工作,而且工作做得更加全面,甚至不用同具体指令接触,同时摆脱了对编程软件的限制,理论上所有能支持 ACTIVEX 控件的编程软件都可以方便使用。再次从应用软件上讲,一个仪器作为一个封装提供,程序的层次感、可读性、可重复性

都加强了。这个方案将是我们下一步工作的重点。

参考文献

- 1 听雨轩工作室. AGILENT VEE 虚拟仪器工程设计与开发. 北京: 国防工业出版社, 2003. 1—8
Tingyuxuan Workshop. Design and development of visual instrument base on AGILENT VEE. Beijing: National Defense Industry Press, 2003. 1—8
- 2 夏良通, 陈怀璧, 郑曙昕. VEE 软件在微波测量中的应用. 第三届全国计算机在加速器中应用会议交流论文, 2005
XIA Liangtong, CHEN Huaibi, ZHENG Shuxin. The application of VEE in microwave measurement. CAA05, 2005
- 3 崔宇鹏. 加速管调配的矢网测试及分析系统. 北京: 清华大学工程物理系, 1999
CUI Yupeng. Vector network measurement and analysis system for accelerator matching. Beijing: Department of Engineering Physics, Tsinghua University, 1999
- 4 中国-惠普 DSP 技术研究中心译. HP VEE 可视化编程. 北京: 清华大学出版社, 1999. 217—244
China-HP DSP Technology Research Center (Translate). Visual Programming with HP VEE. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. 217—244
- 5 潘爱民译. Visual C++ .NET 技术内幕. 第六版. 北京: 清华大学出版社, 2004. 187—211
PAN Aimin (Translate). Programming with Microsoft Visual C++ .NET. 6th ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. 187—211

Measurement system of electric field distribution in accelerating cavities based on VEE

XIA Liangtong ZHENG Shuxin CHEN Huaibi

(Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract In order to measure electric field distribution which is a very important parameter for the tuning of accelerating cavities, Accelerator Lab of Tsinghua University has developed two measurement systems of longitudinal electric field distribution based on two different kinds of network analyzers. In designing the systems, Visual Engineering Environment (VEE), a programming language, is used, and a new technology called Virtual Instruments is introduced. Direct I/O is a function module in VEE, and by adopting it to read from and write to instruments, there is no need to take care of bottom protocols, thus decreasing designers' workload. The systems provide a friendly interfaces for users, demand less from users, and bring in more efficiency and stability.

Keywords Longitudinal electric field distribution measurement systems, VEE, Virtual instruments technology, Direct I/O

CLC TM931