

基于 LabVIEW 构架的多道心电生理 记录仪开发及临床应用*

范寿年¹ 蒋 仪² 蒋晨曦¹ 杨天和¹ 张陈匀¹
刘君实¹ 吴 强¹ 郑亚西¹ 刘晓桥¹

1(贵州省人民医院 心血管病研究所, 贵阳 550002)

2(贵州省人民医院 科教处信息科网络中心, 贵阳 550002)

摘要 迄今多道生理记录仪已成为心脏介入术及医学基础研究不可缺少的重要设备。本研究首创用美国国家仪器(NI)公司的 LabVIEW 开发系统为软件基本构架, 自制低噪声多道前置放大器, 配合 DAQ 数据采集模块和通用计算机为开发硬件平台, 研制了临床实用型多道心电生理记录仪。产品具有心电生理实时显示, 数字高通、低通、50 Hz 陷波和增益调节, 即时存贮、任意回放和打印, 基本程控制刺激等功能。仪器小型化、经济实用、使用灵活, 有利于心脏介入诊疗技术在医院推广和应用。

关键词 LabVIEW 数据采集 心脏电生理 多道生理仪

Development of Multi-channels Cardiac Electrophysiological Polygraph with LabVIEW as Software Platform and Its Clinical Application

Fan Shounian¹ Jiang Yi² Jiang Chenxi¹ Yang Tianhe¹ Zhang Chengyun¹
Liu Junshi¹ Wu Qiang¹ Zheng Yaxi¹ Liu Xiaoqiao¹

1(Cardiovascular Institute of Guizhou Provincial People's Hospital, Guiyang 550002, China)

2(NCC of Guizhou Provincial People's Hospital, Guiyang 550002, China)

Abstract Polygraph has become a necessary instrument in interventional cardiology and fundamental research of medicine up to the present. In this study, a LabView development system(DS)(developed by NI in U. S.) used as software platform, a DAQ data acquisition module and universal computer used as hardware platform, were creatively coupled with our self-made low noise multi-channels preamplifier to develop Multi-channels electrocardiograph. The device possessed the functions such as real time display of physiological process, digit highpass and lowpass, 50Hz filtered and gain adjustment, instant storing, random playback and printing, and process control stimulation. Besides, it was small-sized, economically practical and easy to operate. It could advance the spread of cardiac intervention treatment in hospitals.

Key words LabVIEW Data acquisition Cardiac electrophysiology Polygraph

1 引言

随着心脏介入手术在国内外广泛开展, 多道生理记录仪已成为临床不可缺少的重要设备。本研究首创用美国国家仪器公司(NI)的 LabVIEW 5.1/6.1 开发系统为软件基本构架, 并自制简洁的微型低噪声多道前置放大器, 以通用计算机为其硬件开发平台, 先后研制了 4、12 及 16 道心电生理采集装

置, 并投入临床试用, 取得满意效果。

2 软件系统

本研究用 NI 公司数据采集模块(DAQ) PC516、PCI6013、PCI6023 和 LabVIEW 为开发平台。用 LabVIEW 系统开发可以和 NI 公司的 OAQ 模块无缝连接, 且 LabVIEW 作为杰出虚拟仪器软件, 其模块化的开放式系统结构和独具的图形化编程语言, 可快捷建立起虚拟仪器系统。

2.1 显示模块

* 贵州省科技厅资助项目(黔高 2003-175)

△ 联系人。E-mail: Fsn1213@hotmail.com

用 LabVIEW 中 Chart 显示模块,实现心脏电信号实时显示,提供滚屏、刷屏和波形卷动 3 种模式,具有冻结和游标测定波形间期功能。显示模式的多样性为临床提供了显示方式便利的选择。

2.2 带通滤波器

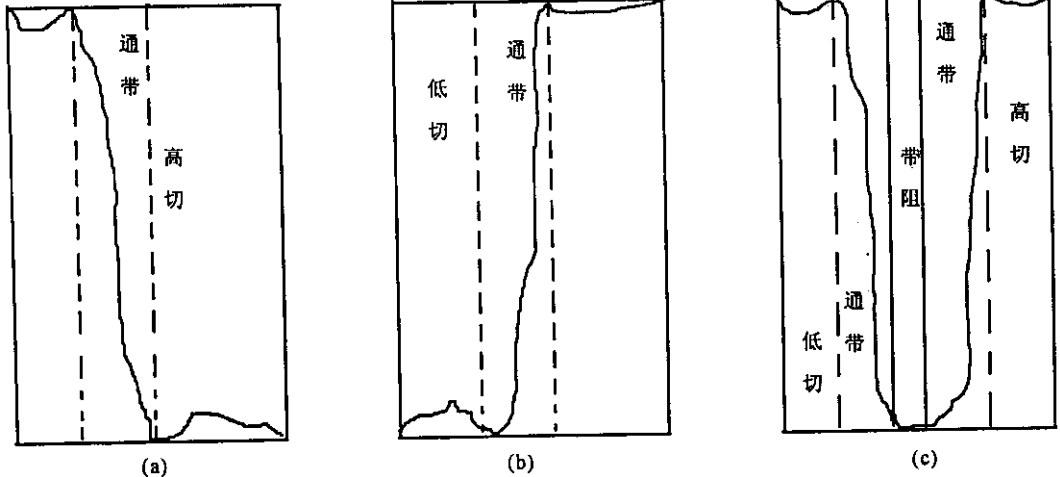


图 1 滤波器滤波实例

Fig 1 The instance of managing wave by the filter

无论如何设置带通滤波器总会有通带纹波存在,通带纹波 $=20 \times \lg[A_{out}(f)/A_{in}(f)]$,式中 f 为频率, $A_{out}(f)$ 与 $A_{in}(f)$ 分别为频率 f 输出、输入振幅。在不影响滤波质量的情况下,要求滤波过渡带尽可能陡,处理速度尽可能快^[6]。根据此原则,我们选择了 Chebyshev 滤波器,考虑到采集的心电生理信号属非线性,我们又使用了 IIR 滤波器。理论上 IIR 特性可以用差分方程表示:

$$y_i = \left[\sum_{j=0}^{N_b-1} b_j x_{i-j} - \sum_{k=1}^{N_a-1} a_k y_{i-k} \right] / a_0 \quad (1)$$

式中: N_b 为前项因子 b_j 的数目; N_a 为递归因子 a_k 的数目, $a_0 = 1$ 。输出的采样值 y_i 为现在和过去的采样值 x_i (当 $j=0$ 时的 x_{i-j}), x_{i-j} (此时 $i-j \neq 0$) 及过去的输出值 y_{i-k} 的加权和。式(1)表明直接的 IIR 滤波器对于由系数量化、计算精度带来的误差十分敏感,与滤波器的阶数成正比的参量长度增加而使得滤波器不稳定难以直接应用。因此需通过降阶方式来获得相对稳定的 IIR 滤波器。

$$H(z) = \prod_{k=1}^{N_s} [(b_{0k} + b_{1k}z^{-1} + b_{2k}z^{-2}) / (1 + a_{1k}z^{-1} + a_{2k}z^{-2})] \quad (2)$$

式中: $N_s = N_a/2$, 且是不超过 $N_a/2$ 的最大整数, $N_a \geq N_b$ 。此数学模型形成了串联二阶滤波器的级联。

由于 LabVIEW 中存在许多应用于不同领域的滤波器原型, 巴特沃斯 (ButterWorth)、契比雪夫 (Chebyshev)、贝塞尔 (Bessel)、椭圆 (Elliptic)、无限冲击响应 (IIR)、有限冲击相应 (FIR) 等数字滤波器^[4,5], 滤波基本情况如图 1(a)和(b)所示。

由于要求用最小算术运算数和最短延迟(滤波器的内部状态),所以每一级均采用直接二型滤波器构成。假设 n 为输入序列的采样数,其滤波过程如下:

$$y_0[i] = x[i]$$

$$S_k[i] = y_{k-1}[i-1] - a_{1k}S_k[i-1] - a_{2k}S_k[i-2], k = 1, 2, \dots, N_s$$

$$y_k[i] = b_{0k}S_k[i] + b_{1k}S_k[i-1] + b_{2k}S_k[i-2], k = 1, 2, \dots, N_s$$

$$y[i] = y_{N_s}[i]$$

其中: $i=0, 1, \dots, N_s$ 。 $S_k[i-1]$ 和 $S_k[i-2]$ 为二个过去的内部状态。每级都有一个输出和输入。通过以上 IIR 滤波器和串联二阶滤波器的级联原理,我们将 Chebyshev 与 IIR 滤波器结合起来,编制出高通和低通滤波模块。滤波模块高通部分从 0.05 Hz 到 100 Hz 共七种选择;低通部分从 20 Hz 到 800 Hz 也有七种选择。图 2 是将 Chebyshev 与 IIR 滤波器组合以后的主程序中重要的滤波模块。临床试用心电波形失真度极小。同时为避免人为错误选择,如高通值、低通值导致的显示异常,软件中设置了除错功能,当使用者选择值发生错误时,程序会将错误的选择值自动处理回高通 0.05 Hz,低通 800 Hz,以避免误操作而导致心电信号的失真,影响临床使用。

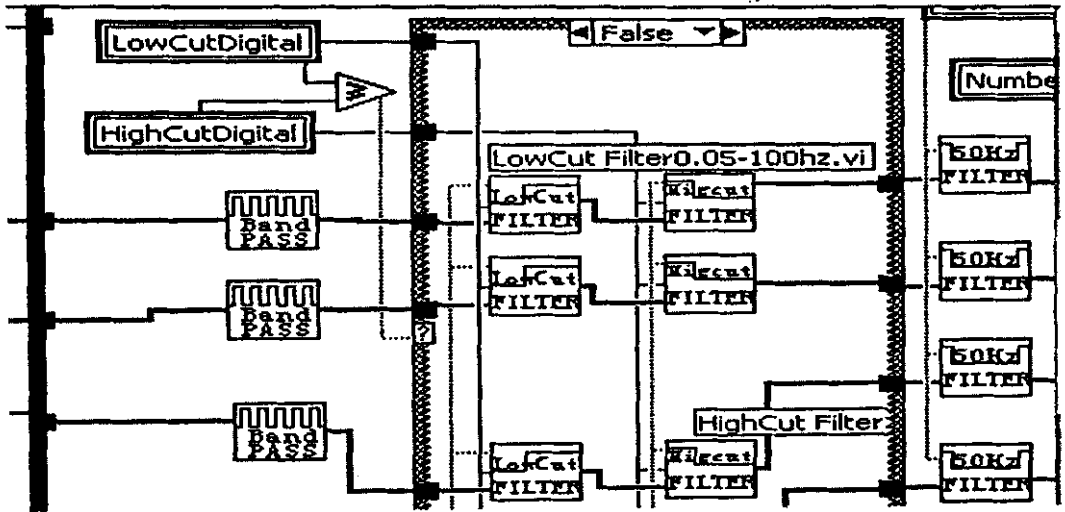


图 2 高通和低通程序框图式原理图

Fig 2 Highpass and lowpass program

50 Hz 陷波模块是本系统程序中重要组成部分,与高通和低通的设计有明显的差异。LabVIEW 中有等纹带阻(Equiripple Bandstop)、有限递归窄带(FIR Filter)以及中值(Median Filter)等滤波器原型模块。图 1(c)所示 50 Hz 陷波的成功标准是通带过渡带尽可能陡。考虑要避免谐波,窄带滤波器被排除。由于 50 Hz 干扰夹杂在心电波形中,仅用现

存的滤波器原型,很难得到满意的 50 Hz 陷波效果。由前述的高通和低通滤波器,我们仍从 Chebyshev 与 IIR 滤波器入手,将整个心电波形以 50 Hz 为界分前后两部分,将对 50 Hz 陷波变成了高通和低通滤波组合,然后对两个波形进行叠加。在实际临床应用中,50 Hz 陷波的效果明显。图 3 为本系统 50 Hz 滤波器的程序。

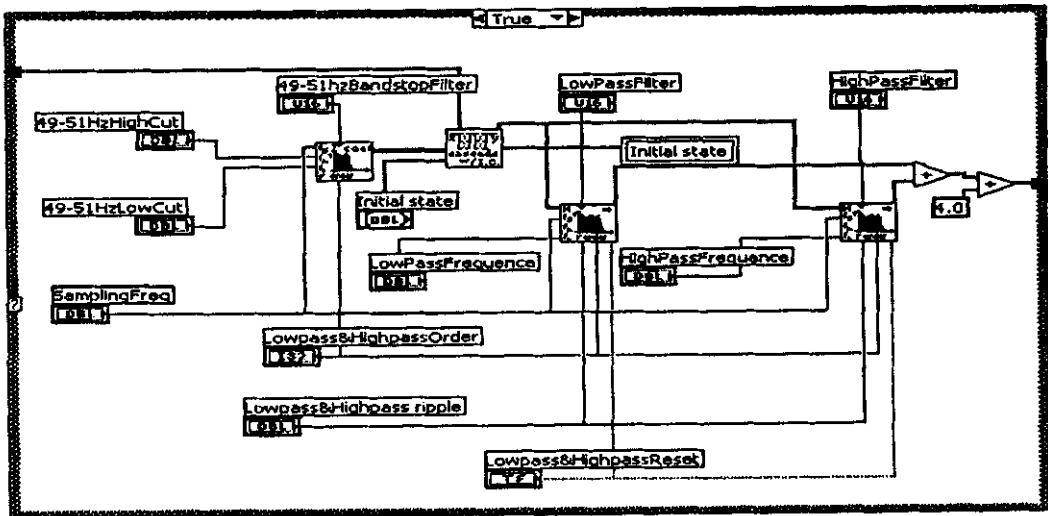


图 3 50 Hz 陷波程序框图式原理图

Fig 3 50 Hz Filter program

2.3 数据资料处理

在临床工作中,即时存贮、任意回放和打印是计算机后台重要的处理工作。LabVIEW 系统对数据处理上的优势得到具体体现。我们在程序设计中,将 DAQ 卡获取的数字心电信号与时间绑定^[7],并以此为显示和存贮的文件格式,将信号显示与时刻联系

起来。回放程序中,临床用户可通过选择某一时刻,以及单步前进和倒退功能,自如获取心电信息记录。使用 LabVIEW 系统平台的独特数据文件格式,方便读取文件,且数据压缩率高,存贮速率快、安全性能高。

2.4 DAQ 与软件系统的结合^[8]

DAQ 是整个系统的重要组成部分。多路心电图信号的数据采集,是由 DAQ 将软件和自制低噪声前置放大器进行了衔接。通过模数转换,利用 LabVIEW 提供的 DAQ 控制模块,在程序中编制了心电生理信号增益控制。增益调节共分为 $\times 0.25$ 、 $\times 0.5$ 、 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 4$ 五档,通过 DAQ 与 LabVIEW 的无缝结合,为后续的软件处理提供高品质的信号源。另外用 DAQ 上的数字 I/O 端口及 LabVIEW 模块,用软件控制前端硬件的程序模块有心电导联选择、心电生理信号组合及程控刺激等功能。

3 基本程控刺激

我们用 LabVIEW 强大的模块编程功能及 NI 公司 DAQ 卡的 I/O 端口^[9],配合刺激脉冲放大硬件电路,研制出在生理记录仪面板上设置程控刺激功能的软件,其基本刺激方式有 S_1S_1 、 S_1-S_2 、 $S_1S_2-S_3$ 、 $S_1-S_2-S_3$ 、 $S_1S_2S_3-S_4$,所有刺激周期均可调整,并具备 P/R 波选择性感知功能。起搏电压 1~10 V 可调,脉冲宽度 0.5~2 ms 可调。经临床应用,完全满足临床心电生理检查及旁道射频消融术的需要。

4 硬件系统

使用美国 A/D 公司生产的 AD620 芯片为首级前置放大器,并由低耗场效应运放 LF444 构成电压放大、-20 dB 衰减的 50 Hz 模拟信号陷波器、刺激脉冲抑制电路,和 0.05 Hz 高通滤波器及 1 000 Hz 低滤波器的带通滤波器。心电生理模拟信号通过光耦至计算机前端耦合器及模拟信号电平调零电路,最终送至 DAQ 输入端。所有通道的前置放大增益均为 2 000 倍。心电信号输入端设置包括 12 导联

心电图所需的威尔逊网络;心内血压(0~300 mmHg)和心内电生理信号(含 RA、CS、HIS、RV 及射频大头电极)。为了提高输入阻抗,所有体表心电图信号和心电生理的输入端,均设置了缓冲放大器和相应的放大器保护装置;并使模拟信号部分和计算机部分的电源完全隔离。电源部分均采用多组耐压 >1 000 V 的小型 DC-DC 隔离电源装置。仪器硬件中模拟部分和计算机接口部分的电源均采用 MAXIM 公司电源芯片。

5 临床应用示例

我们将试制的仪器,包括 4、12、16 导心电生理仪分别试用于临床,主要作常规 12 导联心电图和心电生理检查,证实本设备的各项技术指标完全达到临床使用要求。图 4 为一例伴有显性预激综合征患者的术前同步 12 导联心电图,图中 VI 至 V6 导联均以直立 R 波为主,尤其是 V1 导联呈 R 型,被诊断为左侧旁道类型的折返性室上性心动过速。图 5 是一例房室结双径路患者发生阵发性室上速(PSVT)时的记录,冠状窦电图(CS_3 、 CS_2 、 CS_1)均可见明显的 VA 融合显示。图 6 为房室结双径路患者使用本仪器心脏程控刺激功能诱发出的 PSVT,ECG 中 I、II 导联可见与 QRS 波紧贴其后的逆行 P 波, CS_1 ~ CS_3 也可见明显的 VA 融合。图 7 是射频消融术中的电生理检查记录,ABL 是射频大头电极前端两极的心电生理信号。由本仪器程控心房刺激诱发出的 PSVT 记录,可见冠状窦电图 VA 融合,且 HIS 束电图 A 波提前于冠状窦电图的 A 波,确诊为房室结双径路。

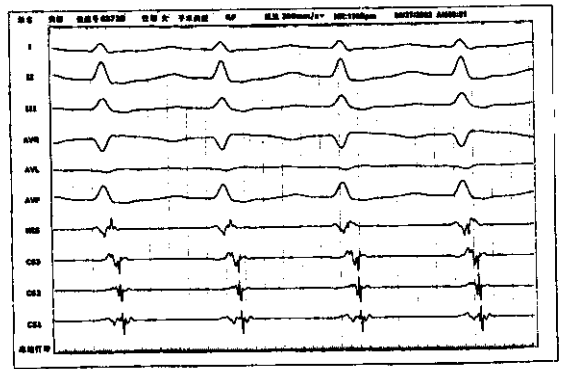
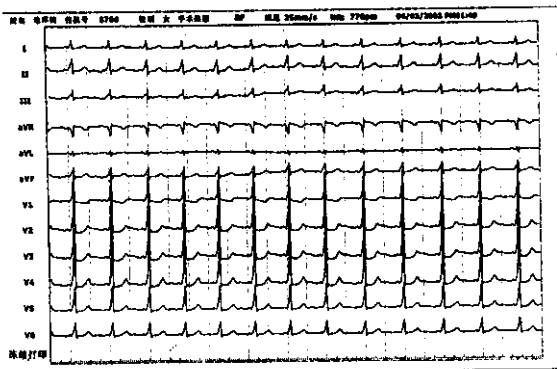


图 4 A 型预激综合征患者的 12 导心电图

图 5 房室结折返性心动过速

Fig 4 A 12-lead electrocardiogram of type A WPW syndrome

Fig 5 Atrioventricular nodal reentrant tachycardia

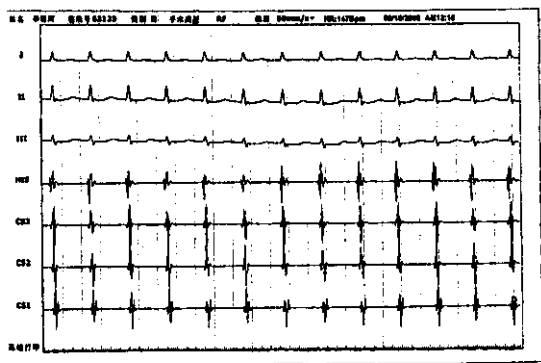


图6 房室结折返性心动过速(纸速为 50 mm/s)

Fig 6 Atrioventricular nodal reentrant tachycardia(paper speed 50 mm/s)

综上所述,本项目以 LabVIEW 为架构开发的多道心电生理记录仪的多项性能指标,基本上已能满足临床的要求,且图形质量也达到临床进行诊断的需要。

6 总结与展望

我们以 LabVIEW 软件为架构,程序模块化和通用接口为基础进行整机系统设计,系统的使用者(含临床医师)只要掌握基本的 LabVIEW 编程技巧,并了解模块的通用接口参量^[10],即可根据临床需求灵活修改软件功能和显示界面,并研发简便易行、实用的各类生理信号采集分析系统。同时 LabVIEW 软件强大的数字化功能取代了大量硬件,使整机系统设计大大简化、成本降低,并能够随时满足临床需要,使心电生理记录仪长期不变的传统模式被彻底打破,使低研究成本获取高质量的心电生理信号成为现实。本研究开发的多道心电生理仪具有小型化、经济实用的特点,有利于介入心脏病诊疗术在各级医院的推广和应用。我们研制的多道生理记录仪设备样机,突破了传统的心电生理记录仪设计的思维模式,即将心电生理信号主要由模拟方式实现转变为主要以数字方式实现,从而增加了整体的稳定性和可靠性,为心电记录仪的发展开辟了一个更为广阔的空间。

参 考 文 献

1 PC516 用户手册, U.S.;National Instruments, co. 1998 : 1-

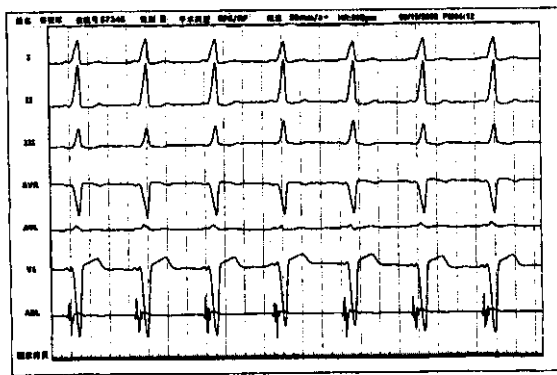


图7 射频导管消融中的记录,其中 ABL 是导管大头电极的心电图记录

Fig 7 Recording during radiofrequency catheter ablation. ABL is the electrocardiogram recorded on the side of large lip catheter

92

- 2 PCI6013 User Manual, U. S.;National Instruments. 1998 : 1-143
- 3 PCI6023 User Manual, U. S.;National Instruments. 1998 : 1-158
- 4 G Programming Reference Manual, U. S.;National Instruments. 1998 : 1-184
- 5 Function and VI Reference Manual, U. S.; U. S.; National Instruments. 1998 : 1-211
- 6 Li G, Lin L. LabVIEW- the Graphics Programmable Language of Computer Easily. Beijing; BUAA Press. 2001 : 120-177 [李 刚,林 凌. 编著. LabVIEW-易学易用的计算机图形化编程语言. 北京;北京航空航天大学出版社. 2001 : 120-177]
- 7 Gary W. Johnson and Richard Jennings. LabVIEW Graphical Programming. U. S.; McGraw-Hill, Inc. 2001 : 27-199 [Gary W. Johnson, Richard Jennings. LabVIEW 图形编程. 武嘉澍, 陆劲昆译. 北京;北京大学出版社. 2001 : 27-199]
- 8 Data Acquisition Basics Manual, U. S.; U. S.; National Instruments. 1998 : 1-88
- 9 Yang LP, Li HT, Zhao Y. LabVIEW Programm Design and Its Application. Beijing; Publishing House of Electronics Industry. 2001 : 14-33, 71-126 [杨乐平,李海涛,赵 勇编著. LabView 程序设计与应用. 北京;电子工业出版社. 2001 : 14-33,71-126]
- 10 Shi BQ, Zhao DY, Li C, ETL. LabVIEW6. 1 Program Techniques Practical Textbook. Beijing; China Railway Press. 2002 : 125-134, 173-199 [石博强,赵德永,李畅等编著. LabVIEW6. 1 编程技术实用教程. 北京;中国铁道出版社. 2002 : 125-134,173-199]

(收稿:2003-06-16 修回:2003-11-21)