

脑机接口(BCI)系统的实时数据传输技术研究*

胥彪¹ 石锐¹ 何庆华²

(重庆大学计算机学院 重庆 400044)¹ (第三军医大学大坪医院野战外科研究所 重庆 400042)²

摘要 脑机接口(BCI)系统包含两大模块:脑电信号采集与处理。其中采集和处理程序间实时数据传输是需要解决的关键问题之一。本系统采用 LabVIEW 语言开发信号采集程序,考虑程序运行速度,信号处理程序用 Visual C++ 设计。本文对各种 Windows 下进程间通信(IPC)机制研究之后,提出用动态链接库(DLL)来实现基于文件映射的共享内存技术。实验结果表明,该技术能够很好地满足采集数据的大批量、高频率和多通道等要求。

关键词 脑机接口(BCI),脑电,共享内存,文件映射,实时数据传输

Study on the Technology of Real-time Data Transmission for Brain Computer Interface (BCI)

XU Biao¹ SHI Rui¹ HE Qing-Hua²

(School of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044)¹

(Surgery Institute, Daping Hospital, the Third Military Medical University, Chongqing 400042)²

Abstract The brain computer interface (BCI) includes tow modules: the electroencephalogram (EEG) signal collection and processing. One of the key problems needs to be solved is the real-time data transmission among programs between the signal collection and processing program. The system adopts LabVIEW to develop the signal collection program, and the signal processing program is developed based on Visual C++, considering the speed of the program operation. This paper proposes DLL to realize shared memory technology based on file mapping, after research on some inter-process communication (IPC) under Windows operating system. The result of experiments shows that the technology can greatly meet the requirements of mass, high frequency and the multi-channel of data collection.

Keywords Brain computer interface(BCI), Electroencephalogram(EEG), Shared memory, File mapping, Real-time data transmission

1 引言

脑机接口(Brain-Computer Interface)是基于脑电信号实现人脑与计算机或其他电子设备通讯和控制的系统,它不依赖于脑的正常输出通路(外周神经系统及肌肉组织),是一种全新的通讯和控制方式^[1,2]。BCI的研究具有重要意义。基于BCI的设备的一个重要用途是为思维正常但有运动障碍的人提供与外部环境进行交流和控制的途径。脑机接口研究在康复医学工程等领域具有重要意义。脑机接口的研究方法较多,可用于脑机接口的脑电信号包括事件相关电位、视觉诱发电位、事件相关同步或去同步、皮质慢电位、自发脑电信号等^[3,4]。视觉诱发电位是指神经系统接受视觉刺激(如图像或闪光刺激)所产生的特定电活动,信号稳定性相对较好,诱发电位与刺激有比较固定的时间间隔,比较容易检测^[5]。本文研究的BCI系统是基于视觉诱发电位的脑机接口系统。

为了能实时地将处理结果反馈给实验者,将在一台计算机上完成刺激、采集、处理、反馈等所有功能,所以如何实现采集程序和信号处理程序间实时数据传输,就成为系统要解决的关键问题之一。

2 Windows下各种IPC机制在项目中的运用比较

要在两个应用程序间进行实时数据传输,就需要一种合

适的进程间通信机制。Windows系统提供了多种IPC机制,用于各种通信需求。在为系统选择IPC机制时,根据系统特性主要研究了以下三种技术。

2.1 动态数据交换(DDE)技术

2.1.1 原理

DDE协议是一组消息和指南,它在共享数据和使用共享内存交换数据的多个应用程序之间发送消息。应用程序可以用DDE协议进行一次性数据传输,也可以在新数据产生时就给另一应用程序发送更新以进行连续数据交换。由于Windows是一个基于消息的结构,因此消息传递是应用程序之间自动信息传输最合适的方法。但是Windows消息中只有两个参数(wParam和lParam)可以用来传递数据,当应用程序之间信息传递不是几个字时,必须用间接方式引用其它数据。DDE协议定义应用程序具体应该如何应用参数wParam和lParam以通过全局原子和共享内存句柄传递较大数据^[6]。

LabVIEW提供了相应子Vis来支持DDE。LabVIEW将DDE各种操作都封装到VI中,在LabVIEW系统中使用方便,但是也增加了其他环境程序与LabVIEW进行DDE通信的难度。

2.1.2 实验分析

将DDE技术用于BCI系统中,并设计相关实验,发现以下两点局限:

*)基金项目:国家自然科学基金资助项目(30300418);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC,2005BB2187)。胥彪 硕士研究生,研究方向为计算机软件与应用;石锐 博士,副教授,硕士生导师,研究方向为计算机软件及应用,数字图像处理等;何庆华 博士,副研究员,研究方向为生物医学信号处理,仪器研究。

(1) LabVIEW 提供的 DDE VI(s) 中 DDE POKE.vi 只能将传送数据设置成字符串。需要在服务器端将字符串转化成需要的数据,不利于传送大批量数据,如数组。

(2) DDE 是基于消息的协议,它的消息也是放在消息队列,在消息分发时会出现滞后,所以不符合 BCI 系统实时数据传输。

2.2 DataSocket 技术

2.2.1 原理

DataSocket 是 NI 公司提供的一项网络测控系统技术,它封装了 Windows 提供的套接字(Socket)技术,可用于一个计算机内或者网络中多个应用程序间数据交换,这项技术面向测量和自动化,用于共享和发布实时数据,能实现实时数据传输^[7]。

在 LabVIEW 中,DataSocket API 被做成 ActiveX 控件和一系列 LabVIEW Vis。图 1 描述了 DataSocket 的体系结构,服务器端一般进行数据采集,采集数据由 DataSocket 服务器发送给客户。

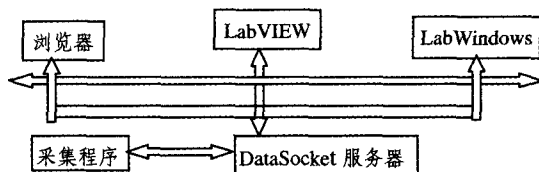


图 1 DataSocket 体系结构

DataSocket 由 DataSocket API 和 DataSocket Server 两部分组成。DataSocket API 提供了从多语言访问多种数据类型的单一接口,DataSocket Server 通过管理 TCP/IP 通信为用户提供并简化 Internet 通信。

采用 DataSocket Server 发布数据需要 3 个部分:发布者、服务器和接收者。发布者和接收者都是客户端,发布者用于发布数据,接收者用于接收数据。一个 DataSocket Server 最多可以支持 1 000 个接收者和发布者。在 DataSocket Server Manager 中可以定义最大连接数、最大数据对象个数,以及哪些计算机可以作为数据发布者,哪些计算机可以作为数据接收者,也就规定了数据访问权限。

2.2.2 实验分析

将 DataSocket 技术引入 BCI 系统中并进行了实验。实验分析如图 2 所示。

(1) DataSocket 非常适合于在大型的测控网络中实时协调各个功能计算机的工作,获取各功能计算机当前工作状态,发布下一步操作指令。一般采用主从结构循环收发方式,管理计算机为信息发布源,要确认各功能计算机收到后才能进行后续工作。

(2) DataSocket 只能是发布者先放入数据,然后接收器读取相应数据。这样,如果接收器端需要较长时间处理数据时,会出现数据覆盖;同样,如果接受器读取速度大于发布者速度,就会出现重复读取。

系统要求实时地、完整地将采集的脑电信号传送到 VC 端程序中,而且要求能够使发送端不受接受端影响,即:要做到采集数据能够不延时地传递。所以在本系统中 DataSocket 不适合。

2.3 共享内存技术

对共享内存技术进行了研究,并设计程序进行实验。实验结果能够很好地满足要求。以下是具体设计。

3 实现方法

3.1 LabVIEW 采集程序分析

系统采用 NI 公司的 LabVIEW 开发采集程序。能够用于采集各种生理信号。在本项目中用于采集脑电信号。采集程序的输出数据有:脑电信号数据和相关采集参数。

针对脑电信号的特点,要将采集数据实时传输,需要解决以下 3 个问题:

(1) 大批量数据的传输。采集程序的采集频率为 512~8192 kHz,数据量很大。所以需要一种能够满足这种大批量、高频率数据的传输技术。

(2) 数据的实时传输。该系统不需要保存采集数据,故要求采集数据完整传输。在应用程序间通信时需要同步访问资源,所以需要一种机制将采集数据实时地保存到共享内存中,而且不能出现数据覆盖。

(3) 多种数据类型数据的传输。采集程序输出四种类型数据:16 位整型、32 位整型、64 位浮点数和字符型。需要不冲突地传输这四种类型数据。

3.2 系统结构

整个系统为一个闭合回路,刺激、脑电信号采集与处理、结果反馈等模块在一台计算机执行。系统设计了一个动态链接库:shared2DDll.dll,在其中运用基于文件映射的共享内存技术完成共享内存的设计并提供输入输出函数。系统结构图如图 2 所示。

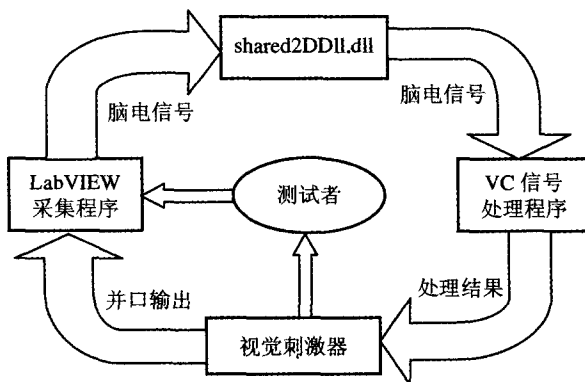


图 2 BCI 系统结构图

3.3 动态链接库(DLL)技术应用

在系统中,通过使用 DLL 来共享内存。实现方法:在 DLL 中申请给定大小内存,LabVIEW 和 VC 应用程序通过调用该 DLL 中相应输入输出函数访问该内存,从而实现数据传递。

程序实现了 DllMain 函数。DLL 机制中,DllMain 函数提供一些初始化操作。DllMain 函数用于申请共享内存:使用文件映射把一块命名共享内存映射到 DLL 附加的各个进程地址空间。每当 DLL 附加到一个新进程上时,入口点函数(DllMain)调用 CreateFileMapping 函数,产生一个文件映射。使用该函数可以建立也可以打开一个命名文件映射,DLL 附加的第一个进程产生文件映射对象,以后的进程打开已有对象的句柄。

3.4 基于文件映射的共享内存技术应用

文件映射是文件内容到进程虚拟地址空间的复制。文件内容的拷贝称为文件视图,而且操作系统用来维持该拷贝的内部结构称为文件映射对象。另一个进程通过使用第一个进

程的文件映射对象建立视图,可以在它自己的虚拟地址空间建立完全一样的文件视图。这能使进程共享数据。任何有文件映射名字或句柄的进程都能建立文件视图^[8]。

如果两个进程需要共享与文件无关的内存块,则一个进程必须使用 CreateFileMapping 函数指定 (HANDLE) 0xFFFFFFFF 而不是现有文件句柄。对应的文件映射对象从操作系统页面文件访问内存。共享操作系统页面文件的进程必须就在共享命名文件时通过使用 MapViewOfFile 或 MapViewOfFileEx 函数建立文件视图。

在该系统中运用共享内存关键是内存的格式化,即,格式化改内存为需要数据类型,并用一种合适数据结构管理数据。

3.5 共享内存的格式化

3.5.1 循环队列

通过共享内存能够成功实现进程间数据传递,特别适合大批量数据传递。但仅仅使用该共享内存来存取数据,不能满足系统实时数据传输要求,会出现数据覆盖或重复。该系统采用循环队列管理数据,以实现读写进程间的透明性,即:写进程不受读进程速度影响,可以透明地写内存。循环队列的首尾指针需要保存,并在读写程序中都能看到实时变化,故将首尾指针也保存在共享内存中。

3.5.2 多种数据类型

LabVIEW 采集程序的输出为 short int 二维数组、double 一维数组、char 二维数组和 int 一维数组。系统共申请了四块内存分别对应采集数据的四种数据类型,实现多种数据类型传输。

3.6 输入输出函数设计

DLL,设计了提供给 VC 信号处理程序和 LabVIEW 采集程序用于读写的函数。为了易于修改采集程序,对应每种输入数据分别设计输入输出函数。

采集程序有一个采样数组(Number of Samples)的概念。采样数组是采集程序的缓存,当采集数据将采样数组存满后再写入 DLL,即采集程序按数组形式写入。相应地,读取函数也按数组来读取,即读写数据都以数组为单位。

3.7 采集程序的修改

采集程序只能将采集数据存盘,故需要修改之后才能把数据传递到 DLL 中。修改 LabVIEW 采集程序的主要工作是在存盘之前进行拦截,将数据传递到 DLL 中。使用 Lab-

VIEW 提供的 CLF 节点调用 DLL。在采集程序中一共加入了五个 CLF 节点,分别对应需要传递的数据。

4 实验结果

将该实时数据传输技术用于脑机接口实验中。诱发电位信号放大和数据采集采用 BioSemi 公司生产的 Active One 生理信号采集系统,采集程序采用 LabVIEW 编写的生理信号采集程序,刺激器和信号处理程序都用 VC 开发。系统中,采集程序和信号处理程序调用 shared2DDll.dll 对应的输入输出函数。实验结果表明,运用文中的实时数据传输技术,能够很好地满足设计要求,实时地将采集数据传递到信号处理程序中,并将结果反馈给测试者。

结论 采用文件映射的共享内存方法可以很好地进行大批量数据传输,并且可以按需要格式化内存,能够很好地满足 BCI 系统实时要求。在以后的应用中,还需要更好地研究数据的读写同步机制,以避免在运行时间过长时出现数据等待和覆盖。

参考文献

- 1 Wolpaw J R, Birbaumer N, McFarland D J. Brain2Computer interface for communication and control [J]. *Clinical Neurophysiology*, 2002, 113(6): 767~791
- 2 Wolpaw J R, Birbaumer N, Heetderks W J, et al. Brain-computer interface technology; A review of the first international meeting [J]. *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*, 2000, 8(2): 164~173
- 3 杨立才,李佰敏,李光林,贾磊. 脑机接口技术综述[J]. *电子学报*, 2005, 33(7): 1234~1241
- 4 何庆华,彭承琳,吴宝明. 脑机接口技术研究方法[J]. *重庆大学学报*, 2002, 25(12): 106~109
- 5 何庆华,彭承琳,等. 脑机接口视觉刺激器的研究[J]. *中国临床康复*, 2004, 8(11): 2060~2061
- 6 欣力,等译. Microsoft Corporation. Microsoft Win32 程序员参考大全(一)[M]. 北京:清华大学出版社, 1994
- 7 杨乐平,李海涛,等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2003
- 8 欣力,等译. Microsoft Corporation. Microsoft Win32 程序员参考大全(二)[M]. 北京:清华大学出版社, 1994
- 9 欣力,等译. Microsoft Corporation. Microsoft Win32 程序员参考大全(三)[M]. 北京:清华大学出版社, 1994
- 10 欣力,等译. Microsoft Corporation. Microsoft Win32 程序员参考大全(四)[M]. 北京:清华大学出版社, 1994
- 11 欣力,等译. Microsoft Corporation. Microsoft Win32 程序员参考大全(五)[M]. 北京:清华大学出版社, 1994

(上接第 98 页)

- 3 Babu S, Bizarro P. Adaptive query processing in the looking glass. In: *CIDR*, 2005, 238~249
- 4 Raman V, Narang I, Crone C, et al. Services for Data Access and Data Processing on Grids. In: *GGF Document GFD. 14*, Global Grid Forum, 2003
- 5 Anjomshoaa A, et al. The Design and Implementation of Grid Database Services in OGSA-DAL. In: *Proceedings of UK e-Science All Hands Meeting*, Nottingham, September 2004
- 6 Smith J, Sampaio S, Watson P. The design, implementation and evaluation of an odmng compliant, parallel object database server. *Distributed and Parallel Databases*, 2004, 16(3): 275~319
- 7 Alpdemir M N, Mukherjee A, Paton N W, et al. Servicebased distributed querying on the grid. In: *Proceedings, ICSOC 2003*, First International Conference, Trento, Italy, Springer, Decem-