

基于 DirectShow 的脑机接口图像视觉刺激器

石锐¹, 何相锦¹, 何庆华²

(1. 重庆大学 计算机学院, 重庆 400044;

2. 第三军医大学 大坪医院野战外科研究所, 重庆 400042)

摘要:视觉刺激器是刺激脑电信号的重要方式。为了满足想象左右手运动的脑机接口系统的特定需求,为其提供人机交互界面,采用了 DirectShow、多线程和并口通信技术,在 DirectShow 中自定义过滤器,设计并实现了基于 DirectShow 的实时图像视觉刺激器。系统的开发工具是 VC++ ,运行环境是 Windows,脑机接口的数据采集仪器为 Biosemi 公司生产的 Active One 多道生理信号采集系统。最后通过脑机接口实验证明:能在满足时间精度要求的前提下,完成图像刺激的控制、并口通信等功能,为想象运动脑电的效果提供了很好的保证。

关键词:视觉刺激器;脑机接口;DirectShow;并口通信;自定义过滤器;时间精度

中图分类号:TP37;R318.04

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)12-0197-04

Images Visual Stimulator for Brain - Computer Interface Based on DirectShow

SHI Rui¹, HE Xiang-jin¹, HE Qing-hua²

(1. Dept. of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Surgery Institute, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China)

Abstract: Visual stimulator is an important way to stimulate the brain signals. In order to meet the specific needs of brain - computer interface system for imaging left - right hands movement and provide human - computer interface for it, used DirectShow, multi - threading and parallel port communication, realized a self - defining filter in DirectShow, designed and implemented a real - time image visual stimulator based on DirectShow. The development tool of this system is VC++ , operating environment is Windows, data acquisition instrumentation for brain - computer interface is "Active One" multi - channel physiological signal acquisition system produced by Biosemi. Finally the brain - computer interface experiments proved that it completed the functions such as image stimulus control, parallel port communication and so on, satisfied the requirement of time accuracy, provided a good guarantee for the effect of EEG based imaging movement.

Key words: visual stimulator; brain - computer interface; DirectShow; parallel port communication; self - defining filter; time accuracy

0 引言

脑机接口(Brain - Computer Interface, BCI)是近些年来发展起来的一种人机接口,它同以往传统的依靠键盘、鼠标等外围设备与计算机进行交互的方式不同,是可以不依赖于脑的正常输出通路(即外周神经和肌肉),就可以实现的脑 - 机(计算机或其它装置)通信系统^[1]。目前世界上数十家研究组对 BCI 的研究思路各有不同,依据信号的产生方式可以分为基于诱发 EEG 的 BCI 和基于自发 EEG 的 BCI 两种。诱发 EEG 是神

经系统接收内、外界刺激所产生的自动响应。而自发 EEG 是人体在自然状态下记录的,基于自发 EEG 的 BCI 使得试验者仅仅通过想象即可实现^[2-4]。

视觉刺激器是刺激脑电信号的人机交互部分,是研究脑机接口系统的重要组成部分^[5]。文中设计并实现了一个脑机接口图像视觉刺激器,能按用户要求对图像播放进行控制。本刺激器采用 DirectShow 技术,解决了图像定时播放的精度问题,在 Windows 环境下构建了一个适合自发 EEG 的视觉刺激器原型系统。同时该系统充分利用了 DirectShow 中模块化程序开发的特点,具有良好的二次开发和升级能力。

收稿日期:2010-03-19;修回日期:2010-06-25

基金项目:重庆市科技攻关计划项目(CSTC,2009AC5023)

作者简介:石锐(1968-),女,重庆人,博士,副教授,CCF 高级会员,研究方向为脑机接口、图像处理。

1 DirectShow 介绍

DirectShow 是微软公司提供的一套在 Windows 平

台上进行多媒体处理的开发包,与 DirectX 开发包一起发布。DirectShow 技术是微软 DirectX 套件的一个重要组成部分,支持来自本地或网络的各种视频、音频压缩格式的媒体文件的解码和回放,以处理各种压缩算法处理的流媒体。它广泛地支持各种媒体格式,包括 Asf, Mpeg, Avi, Mp3, Wave, Bmp 等等,使得多媒体数据的回放变得轻而易举^[6-8]。

DirectShow 是模块化的设计方式,开发方便,扩展性强。每个功能模块完全基于 COM 组件设计的构架,称为过滤器(Filter)^[6,8,9],按基本功能可以分为源过滤器、变换过滤器和渲染过滤器^[10],分别实现对媒体数据的导入产生、转换筛选、提交显示的功能。各个 Filter 通过引脚(Pin)进行连接,引脚分为输入引脚和输出引脚两种,引脚也是 COM 组件。Filter 之间的数据传送单元(Sample)也是 COM 组件,它拥有自己的一段数据缓冲。而过滤器图表(FilterGraph)控制管理过滤器图表中的过滤器。它的功能有:协调过滤器间的状态转变;建立参考时钟;把事件(Event)传送给应用程序;为应用程序提供建立过滤器图表的方法。

为了方便验证构建的过滤器链路是否能够实现设计的目标,可以使用微软公司提供的 DirectX 工具集中的 GraphEdit 查看程序中过滤器的连接情况^[11]。

2 实时图像刺激器的设计与实现

2.1 系统目的与设计

本系统是通过为脑机接口系统提供图像视觉刺激器,达到刺激人脑运动想象产生脑电信号的目的。

系统设计:用户随意选取要播放的多张图像的路径,设定好每张图像的播放时间,并口通信数据;系统根据不同的图片路径,播放时间,并口通信数据来构建源过滤器 send_image,然后加入到相应的过滤图管理器,并创建过滤器图 mImageFilterGraph,调用过滤器图的各种接口和控制功能,实现图片播放、暂停、停止的控制功能;用户能自定义实验参数(循环次数,测试次数,间隔时间,间隔画面颜色),实现循环播放和插入间隔,并在实现这些功能的同时满足系统的实时性,即达到实际时间和设定时间的误差较小的目标。

图 1 为系统的结构图。

2.2 系统实现

2.2.1 数据管理程序

系统创建 ParallelPortManage 类来完成数据管理,包括存储数据和并口数据通信的功能。

由于图像序列每帧播放时需要查找播放时间和并口数据,ParallelPortManage 类中采用 STL 中的 MAP 容器来存储数据。MAP 容器具有查找效率高的特点,

有利于频繁查找。程序中设计了 2 个 MAP 容器:

```
map< string, int > imageindextime; //图像路径与播放时间的对应
```

```
map< string, int > imageindexdata; //图像路径与并口数据的对应
```

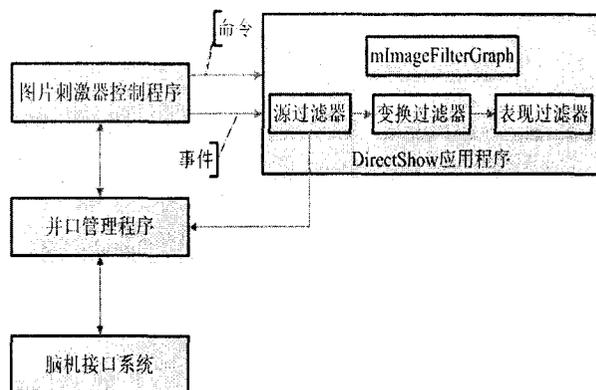


图 1 实时图像刺激器系统结构图

并口处理方面直接使用由 Yariv Kaplan 编写的 WinIo 库,它有如下特点:WinIo 库通过使用内核模式下设备驱动程序和其它一些底层编程技巧绕过 Windows 安全保护机制,允许 32 位 Windows 程序直接对 I/O 口进行操作。这样对数据的读写会变得方便,快捷。

代码实现:

```
InitializeWinIo(); //初始化 WinIo 库
```

```
WORD m_port = (WORD) 0x378; //0x378 为数据端口地址
```

```
int senddata = imageindexdata[curimage] //获取要发送到数据,curimage 为图片路径
```

```
DWORD m_value = (DWORD)senddata;
```

```
SetPortVal(m_port, m_value, 1); //调用 WinIo 库的写 I/O 口函数,1 表示读取的字节数
```

当不需要并口发送数据时,调用 ShutdownWinIo()函数终止 WinIo 库。

2.2.2 DirectShow 程序

为了对图像序列的组装发送、渲染显示等功能模块化管理,采用了 DirectShow 技术。同时为了实现图像循环播放和提高播放的时间精度,结合了动态设置时间戳和循环利用内存的方法。图 2 描述了图像刺激器的过滤器总体图,包括 send_image, Color Space Converter 和 Video Renderer 3 个 filter。send_image 是自定义的过滤器,负责数据组装和发送,Color Space Converter 是颜色空间转换过滤器,Video Renderer 是视频渲染过滤器。其中后两个是 DirectShow 自带的,因此设计的重点在 send_image filter。



图 2 图像刺激器的 DirectShow 模块在 GraphEdit 中的连接

send_image filter 首先要实现的是大图像和多图像的预载入内存,不需要在图像显示时再临时载入,这样可以快速将图像显示,提高图像显示时间精度。由于图像序列需要多次循环播放,系统设计了图像存储链表(如图 3 所示),它采用双向循环链表来存储图像数据和信息,实现了预载入内存和循环利用内存。链表的每个节点存储每张图像的数据信息、头信息、当前状态、相应的时间戳及并口通信数据。链表有三个指针,指向图像序列开始帧、结束帧、当前播放帧对应的结点。

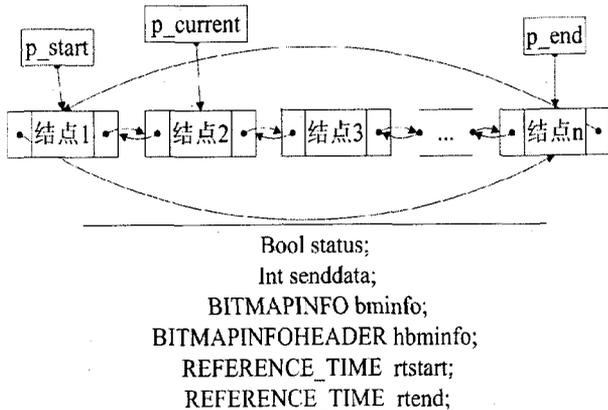


图 3 图像存储链表

接下来的工作主要由两个线程负责实现。一个是图像处理线程,一个是 DirectShow 工作线程。

前者完成两个功能:1. 从循环链表中取出当前图像数据并缓存合成帧;2. 由于每张图像播放时间长短不同,并且图像还需要重复播放,所以每张图像会产生多个时间戳,这是预先不能设定的。因此这里要对当前要播放图像的时间戳进行动态设置。这里根据刺激器的播放流程要求,提出了一种时间戳的计算方法来动态设置的值,具体过程如下:

第一步:在 SendImagePin 初始化的时候就要计算出一个图像序列总的显示时间 looptotaltime,并保存到变量里面。

$$\text{looptotaltime} = T_1 + T_2 + \dots + T_n (n = \text{imagefilenum}) \quad (1)$$

第二步:FillBuffer 函数中计算出当前图像已循环的次数 loops。计算公式如式(1)。这里的 frameno 表示当前播放图像的绝对数,imagefilenum 表示一个图像

序列的总的图像数。

$$\text{loops} = \frac{\text{frameno}}{\text{imagefilenum}} \quad (2)$$

第三步:用当前播放图像的绝对数 frameno 对一个图像序列的总的图像数 imagefilenum 取余可得到图像序列中的图像号 imageno。

$$\text{imageno} = \text{frameno} \% \text{imagefilenum} \quad (3)$$

第四步:有了上面两步的两个参数就可以计算时间戳的开始点 rtstart,这里时间戳使用参考时间表示,它表示的是流媒体从开始到现在的播放时间,而非开始到现在的绝对时间,所以当流暂停时参考时间也停止。所以 rtstart 即当前显示的总时间,实现公式如(4)所示:

$$\text{rtstart} = \text{loops} \times \text{looptotaltime} + T_1 + T_2 + \dots + T_k (k = \text{imageno} - 1) \quad (4)$$

这里的 T_1, T_2, \dots, T_n 代表第一张,第二张, ..., 第 n 张图像的显示时间。

第五步:计算时间戳的结束点,即开始点加上当前图像显示时间即可,公式如(5)所示:

$$\text{rtend} = \text{rtstart} + T_m (m = \text{imageno}) \quad (5)$$

后者负责从缓存中以帧为单位读取数据,打上时间戳,填充 Media Sample,并将 Sample 发送给下游过滤器,同时根据图像地址查询并口数据,发送并口数据。

DirectShow 工作线程具体程序实现的大致步骤如下:

1) 定义 SendImageFilter 类和 SendImagePin 类,分别继承 CSource 类和 CSourceStream 类。SendImagePin 类负责实现图像流输出 Pin。

2) 重载 GetMediaType 函数,实现与下游过滤器的媒体协商,设定好正确的媒体格式。并在调用 FillBuffer 函数之前确定好图像大小。重载 DecideBufferSize 函数,根据图像大小确定 Media Sample 缓存区的大小。重载 FillBuffer 函数,该函数检查图片缓存区,取缓存区当前指针(p_current)指向的图像,填充 Media Sample,根据缓冲区中计算好的当前图像的时间戳来打上时间戳,即调用 pSample->SetTime(&rtstart, &rtend)函数;同时调用数据管理程序向并口发送数据。

3) 重载 OnThreadStartPlay 函数,以便在 DirectShow 工作线程开始前完成图像序列的预载,并启动图像处理线程和 DirectShow 工作线程。

2.2.3 图像刺激器控制程序

这部分主要封装了 DirectShow 中的过滤器图和过滤器的控制操作和设计了与用户交互的 MFC 界面。控制和显示的界面如图 4 所示。



图 4 程序界面

3 测试实验

实验的数据采集仪器为 Biosemi 公司生产的 Active One 多道生理信号采集系统^[12]。实验的目的是对刺激器的时间精度进行评估,为分析脑电信号做好前期工作。

实验参数:男性测试者,循环次数 4,样本次数 20,间隔时间为 5s,一共 9 幅图像,设定的显示时间分别为 300ms, 150ms, 150ms, 200ms, 250ms, 400ms, 200ms, 100ms, 300ms, 串口通信数据分别为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 间隔期时都发 0。

实验流程:测试者先休息 5s,程序显示图像,测试者根据图像执行左手或右手的想象运动,显示结束后插入间隔,测试者休息 5s,如此重复 20 次,可以得到 20 个样本。

数据采集系统采样频率为 512Hz,使用 matlab 7.0 对数据采集系统生成的 .edf 文件中的串口通道 F 的数据进行分析,可以得到如表 1 所示时间精度统计结果表。

表 1 时间精度统计结果表

| 设置时间 | 实际平均时间 | 最大误差 | 最小误差 | 平均误差 | 误差率 |
|-------|---------|-------|-------|-------|------|
| 400ms | 404.8ms | 6.3ms | 2.3ms | 4.8ms | 1.2% |
| 300ms | 304.3ms | 6.6ms | 2.7ms | 4.3ms | 1.4% |
| 250ms | 253.7ms | 5.9ms | 2.0ms | 3.7ms | 1.5% |
| 200ms | 203.2ms | 5.1ms | 1.2ms | 3.2ms | 1.6% |
| 150ms | 152.9ms | 4.3ms | 2.3ms | 2.9ms | 1.9% |
| 100ms | 102.4ms | 3.5ms | 1.6ms | 2.4ms | 2.4% |
| 50ms | 51.6ms | 2.7ms | 0.8ms | 1.6ms | 3.2% |

为了保持一定的播放流畅性,实验的显示时间设

置一般在 50ms 到 400ms 之间。从以上多组数据的统计结果表可以看出,刺激器的时间精度达到了相应的要求,为进一步分析和识别脑电信号提供了良好的前提。

4 结束语

结合了 DirectShow 在多媒体处理方面的优势,实现了脑机接口图像刺激器;在实现过程中,结合了循环利用内存和动态设置时间戳的方法,有效地对图像进行精确定时播放。实验表明:刺激器时间精度满足设计要求,此方案是可行的。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Blankertz B, Dornhege G, Krauledat M, et al. The Berlin Brain - Computer Interface: EEG - Based communication without subject training[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2006, 14(2):147 - 152.
- [3] 杨立才,李佰敏,李光林,等. 脑机接口技术综述[J]. 电子学报, 2005, 33(7):1234 - 1241.
- [4] Bai O, Lin P, Vorbach S, et al. A high performance sensorimotor beta rhythm - based brain - computer interface associated with human natural motor behavior[J]. Neural Eng, 2008 (5):24 - 35.
- [5] Ron - Angevin R, Diaz - Estrella A. Brain - computer interface: Changes in performance using virtual reality techniques [J]. Neuroscience Letters, 2009, 449:123 - 127.
- [6] 黄振宇,王敏,吴涛. 基于 COM 的 Directshow Filter 实现[J]. 微机发展(现更名:计算机技术与发展), 2004, 14 (5):113 - 116.
- [7] 陆其明. DirectShow 开发指南[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [8] DirectX 9.0 SDK Document[M]. US: Microsoft Corporation, 2002.
- [9] 赵德志,吴浩,丁秋林. 基于 DirectShow 的实时视频信息采集与压缩[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(1):187 - 189.
- [10] 张明华,谢琦,梅海彬. DirectShow 中过滤器图的定制方法及应用[J]. 计算机工程, 2004, 30(7):141 - 143.
- [11] 谢亚光,章琦,刘济林. 基于 Microsoft DirectShow 的多媒体应用程序开发[J]. 计算机应用研究, 2003(4):72 - 74.
- [12] 伍亚舟,何庆华,黄华,等. 基于想象左右手运动脑机接口实验研究及分析[J]. 生物医学工程学杂志, 2008, 25(5):983 - 988.