

文章编号:1001-9081(2009)07-1960-03

## 基于 ARM 与 SA 算法的音乐辅助教学系统

刘利军, 马艳东

(河北省应用数学研究所, 石家庄 050081)

(myd1981@126.com)

**摘 要:**针对音乐教学效果难于评估, 难于给予被评估者更多具体、量化的建议这一难题, 给出了一种基于 ARM 芯片与 SA 算法的解决方案。该方案在音乐教学评估等辅助教学方面的效果突出, 证明了该方案的正确性与优越性。

**关键词:**ARM; 模拟退火算法; 音乐教学评估; 客观评价; 全局最优

**中图分类号:** TP18 **文献标志码:** A

## ARM and simulated annealing algorithm based music CAI system

LIU Li-jun, MA Yan-dong

(Institute of Applied Mathematics of Hebei Province, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

**Abstract:** As is known to all, it is difficult to give a reasonable and quantized advice to music learners. An ARM and simulated annealing algorithm based music Computer-Aided Interviewing (CAI) system was designed. The performance of this system applied to music-teaching shows its validity and superiority.

**Key words:** Advanced RISC Machines (ARM); Simulated Annealing (SA) algorithm; music-teaching evaluation; objective evaluation; global optimum

### 0 引言

在音乐教学当中, 科学、客观、量化的评价教学结果对提高学生音乐水平以及改进教育者自身的施教策略、提高教学水平都大有裨益。然而, 如果仅单纯地依赖评价者的主观意识, 很难对演奏结果作出客观、公平、有效的评价, 这是因为即便主观评价具有种种优势, 但是其对评价者素质的要求过高, 还受到诸如评价者身体状态、情绪波动的影响, 而且难以给出精确、量化的指标, 这对被评价者技艺提高的直接贡献不大。因此, 需要引入一种科学、客观、可以量化的评价方案作为主观评价的辅助手段, 协助人们对音乐教学进行评估。

本文给出了一种音乐辅助教学系统的设计方案, 综合利用 ARM 芯片功能强大、性价比高等特点以及模拟退火 (Simulated Annealing, SA) 算法具有全局寻优、自适应、快速的优点, 使得系统能够对被评价者每一次弹奏的结果进行客观、量化的评价。该系统可以给予被评价者弹奏结果的整体评价, 甚至具体到每一个按键的按键时机、时长等的评价。

### 1 系统硬件的设计与实现

#### 1.1 基本设计构想

制作一个与标准音乐键盘规格完全相同的教学音乐键盘。在键盘的内部, 嵌入一个普通的 ARM 处理器、USB 接口电路和键盘扫描电路。ARM 处理器负责接收、处理、转换键盘的按键信息, 再将按键信息通过 USB 接口发送到计算机, 以利于进一步的处理; 发声则完全由计算机系统的 MIDI 设备来实现。这样该系统可以记录、处理、传输学生们在教学键盘上演奏的按键信息, 再由计算机来产生演奏效果并记录演奏结果, 最后由该系统的演奏结果评估模块给出本次演奏结

果的评估及建议。该系统的基本原理如图 1。

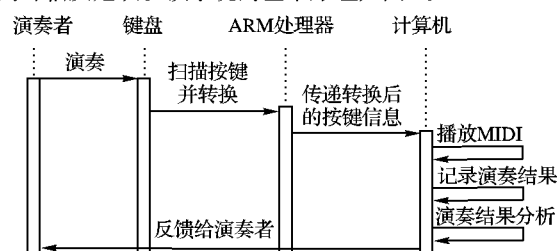


图 1 系统基本原理

#### 1.2 ARM 处理器和 USB 接口电路

考虑到性价比等因素, ARM 处理器可以选择普遍使用的 ARM7 芯片 S3C44B0X。对于 USB 接口芯片, 由于协议的复杂性, USB 设备控制器必须能够检测、反应 USB 端口事件, 提供数据存储方式的功能, 因此, 在本系统中选择了支持 USB1.1 协议的 PHILIPS 公司生产的 PDIUSB12 芯片。

S3C44B0X 与 PDIUSB12D 连接的相关电路见图 2。在图中, USB12 的 D0~D7 脚分别连接 S3C44B0X 的数据总线 D0~D7, A0 连接 S3C44B0X 的地址总线的 ADR0。S3C44B0X 的 nWE 和 nOE 分别与 PDIUSB12 的 WR\_N 和 RD\_N 相接, PDIUSB12 的片选连接 S3C44B0X 的 nGCS4 上。

#### 1.3 音乐键盘及扫描电路

音乐键盘采用的是电子琴最常用的 61 键标准键盘, 因此键盘扫描电路可以采用 8×8 矩阵电路, 共可以识别 64 个键。考虑到使用环境一般比较好没有强干扰, 矩阵电路常态可以使用高阻电路即可。电路示意图见图 3。

#### 1.4 键盘面板功能设计

键盘的面板可以直接使用市场上已有的电子琴面板代

收稿日期: 2009-01-06; 修回日期: 2009-02-26。

作者简介: 刘利军 (1962-), 男, 河北秦皇岛人, 副研究员, 主要研究方向: 应用数学、嵌入式系统; 马艳东 (1981-), 男, 河北保定人, 主要研究方向: 应用数学、嵌入式系统。

替,也可以仿照实际的电子琴的面板制作,可设有电源、节奏选择、伴奏选择、录音、音色选择等各种功能性按钮和一些指

示灯。功能的实施也由 S3C44B0X 扫描到按键信息后上传给计算机,由计算机来实现。

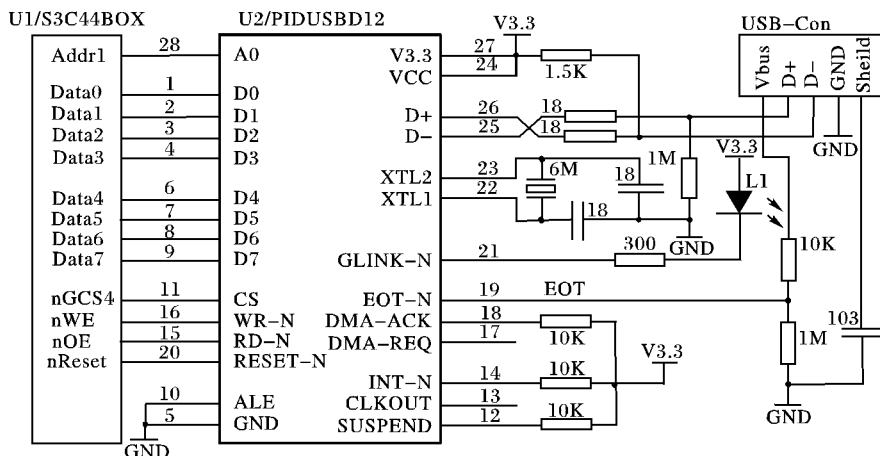


图2 PDIUSB12 与 S3C44B0X 的接口电路图

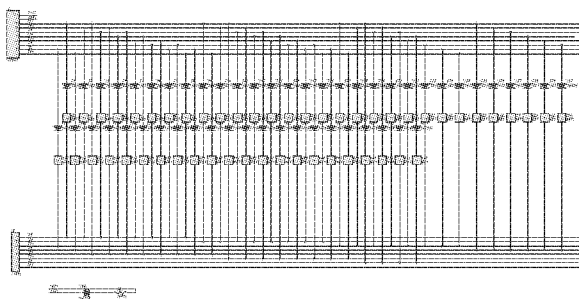


图3 矩阵扫描电路示意图

马上就再提交下一个异步读,这样才能保证实时性。

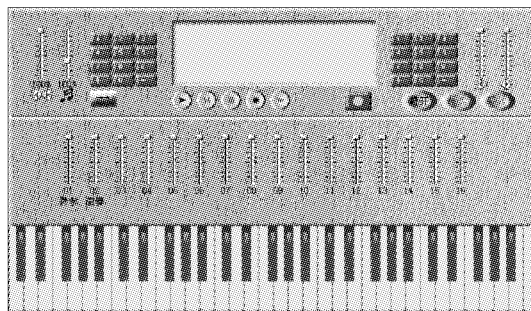


图4 主机系统主界面

## 2 程序设计

程序设计包含固件程序设计和主机系统程序设计两大部分。

### 2.1 固件程序设计

固件程序设计除了必要的启动初始化功能外,还有两部分任务:1)部分循环扫描音乐键盘和功能键的按键和释放信息,并及时上传给计算机;2)接收和处理计算机发出来的各种信息。

### 2.2 主机系统程序设计

主机程序则根据需求,即可以作得功能复杂强大,也可以相对简单一些。图4所示的主界面是本文提出的一种设计。其主要功能有:

- 1)基本的演奏功能:根据 S3C44B0X 传来的按键信息,发出演奏声音或者根据特定的功能按键执行某种功能,还可以改变音色等。
- 2)能播放 MIDI(标准数字音乐)文件。
- 3)能把演奏结果记录为 MIDI 文档,并可重放。
- 4)可以在演奏中配置各种伴奏曲,并提供伴奏编辑接口
- 5)与音乐键盘通信,控制音乐键盘上各种指示灯
- 6)设计可用的算法,评价演奏的结果。

### 2.3 USB 驱动程序设计

USB 驱动程序除具有一般驱动程序的功能外,主要考虑实时性的问题。首先,在驱动程序中使用中断端口,这样 USB 总线驱动才能保证定时访问端口,以保证实时性。其次在应用程序读取键盘数据时,要使用异步的读,在任何时刻都要有一个已提交但未返回的异步读操作。异步读操作返回后

## 3 教学评估模块

### 3.1 模拟退火算法

模拟退火(Simulated Annealing, SA)算法具有全局寻优、自适应、快速收敛等特点的一种启发式随机搜索算法。

- 1)初始化:初始温度  $T$  (充分大),初始解状态  $s$  (即算法的迭代起点),每个  $T$  值的迭代次数  $L$  及控制参数  $t$ 。
- 2)对  $k = 1, \dots, L$ ,重复 3) ~ 6)。
- 3)生成新解  $s'$ 。
- 4)计算  $\Delta f = f(s') - f(s)$ ,其中  $f(\cdot)$  为评价函数。
- 5)若  $\Delta f < 0$ ,则接受  $s'$  为新解;否则,以概率  $e^{(-\Delta f/T)}$  接受  $s'$  作为新解。
- 6)如果满足终止条件,则输出当前解作为最优解,跳出。其中,终止条件一般取为连续若干个新解都没有被接受时跳出。

7)  $T$  逐步减小,趋于 0。

8)转 2)。

### 3.2 基于 SA 的音乐教学评估算法

为了对弹奏者的演奏结果作出客观、量化的评估,不仅需要对本次演奏作出科学的整体评价,而且还需要对演奏者的每一次按键进行评估,包括每次按键的对错、按键的时机、长短,是否多按键、少按键等。为此,可以将音乐大师演奏的结果作为标准,进行对比评价。为了降低算法设计的复杂性,对和弦的判断暂不考虑。

为了利用模拟退火算法能够找到全局最优解,收敛速度快的优点,将标准曲目按照曲谱分成若干按键组,并对每一组

按键引入如下的评价函数:

$$f = \left[ \sum (|x - 1| \cdot \left| \frac{T_{\text{real}} - T_{\text{std}}}{T_{\text{std}}} \right|) + \sum \left| \frac{T'_{\text{real}}}{\text{avg}(T_{\text{std}})} \right| \right] / N \quad (1)$$

其中,  $x \in \{0, 1\}$ , 且  $x = 1$  表示按键正确; 为 0 表示按键错误或少按键,  $T_{\text{real}}$  为实际按键的时长,  $T_{\text{std}}$  为标准按键的时长,  $T'_{\text{real}}$  为多按键的时长,  $\text{avg}(T_{\text{std}})$  为平均标准按键的时长,  $N$  为按键数。则针对整个演奏结果 (及实际所有的按键) 有如下的 SA 评价函数:

$$F = \min \sum f \quad (2)$$

在应用模拟退火算法产生新解时, 应满足的约束条件如下:

$$\begin{cases} \alpha_1 = \frac{\sum T_{\text{std}}}{\sum T_{\text{real}}} \in o(1, \delta) \\ \alpha_2 = \frac{\sum T_{\text{std}} \text{ 内标准按键数}}{\sum T_{\text{std}} \text{ 内实际按键数}} \in o(1, \delta) \end{cases} \quad (3)$$

### 3.3 关于判断是否按错键、按多键、少按键的算法

出于判断、描述的方便, 引入如下的概念:

主键: 与标准按键时长之比  $\rho = \frac{T_{\text{real}}}{T_{\text{std}}} \in o(1, \delta)$ , 其中  $\delta$

为  $< 1$  的某正常量。

次键: 与标准按键时长之比  $\rho < 1 - \delta$ 。

错键: 即为按错的键。

#### 3.3.1 判断实际按键是否为主键的方法

不失一般性, 假设第  $i$  个实际按键之前的  $i - 1$  个按键已经判断完毕, 现在从第  $i$  个按键开始判断实际按键是否为主键。

当  $\rho \geq 1 - \delta$  时, 无论按键种类是否正确, 我们都认为该按键是错键, 不再给予考虑;

当  $\rho \in o(1, \delta)$  时, 该按键为主键。主键将会进入下一轮, 等待进一步的评估;

当  $\rho < 1 - \delta$  时,

$$\begin{cases} \alpha > 1 + \delta, & \text{情况 1} \\ \alpha \in o(1, \delta), \begin{cases} \beta = \sum \frac{T_{\text{real}}}{T_{\text{std}}} > 1 & \text{情况 2} \\ \beta = \sum \frac{T_{\text{real}}}{T_{\text{std}}} < 1 & \text{情况 3} \end{cases} \\ \alpha < 1 - \delta, \begin{cases} \beta = \sum \frac{T_{\text{real}}}{T_{\text{std}}} > 1 & \text{情况 4} \\ \beta = \sum \frac{T_{\text{real}}}{T_{\text{std}}} < 1 & \text{情况 5} \end{cases} \end{cases}$$

其中,  $\alpha = \frac{T_{\text{real}}(i+1)}{T_{\text{real}}(i)}$ 。情况 1 为第  $i$  个按键为主键; 情况 2 为第  $i$  或  $i + 1$  个键是主键, 最终将根据具体按键情况给予判断; 情况 3 为第  $i$  和  $i + 1$  个键为次键, 第  $i + 2$  个按键为主键; 情况 4 为第  $i, i + 1$  和  $i + 2$  个键是次键, 第  $i + 3$  个按键为主键; 情况 5 第  $i$  到  $i + 3$  个键是次键, 没有与该标准按键相对应的主键。

#### 3.3.2 判断按键情况的算法

令  $T_{\text{real}}(\text{start})$  为第  $i$  个实际按键的开始时刻,  $T_{\text{std}}(\text{end})$  为第  $i$  个标准按键结束的時刻,  $\delta$  为某个正常量。引入如下判

断条件:

$$T_{\text{real}}(\text{start}) - T_{\text{std}}(\text{end}) > -\delta \quad (4)$$

那么该算法可简单的描述为。

1) 对每一组按键进行如下的操作。

2)  $i = 1, \dots, L, L$  为该组按键的数目, 则对第  $i$  个按键有:

(a) 判断是否满足式 (4);

(b) 如果满足, 则转到 (d);

(c) 否则说明被评价者漏弹了该键;

(d) 在满足式 (3) 的条件下, 根据上面介绍的算法, 寻找主键;

(e) 如果找到主键, 与标准按键进行对比, 一样则按键正确; 不一样则按键错误;

(f) 否则被考查键都是次键, 这些次键都为多按的键。

3) 输出结果, 跳出。

该算法的流程如图 5 所示。

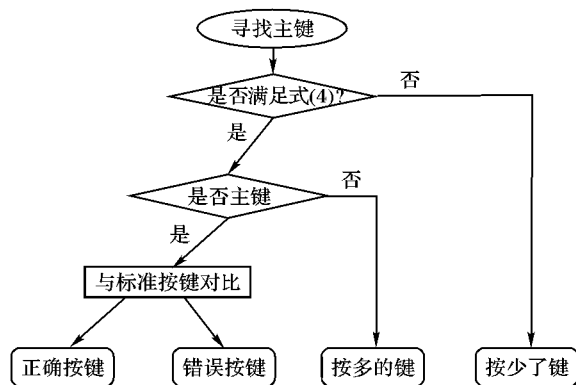


图 5 判断按键情况的算法流程

有了上面的论述, 就可以利用模拟退火算法对演奏结果进行科学客观的评估。该算法除了能给出被评价者演奏的整体评价  $F^*$ , 而且参考 SA 算法的最优解的构造, 可以推理出每一次按键的对错、按键的时机、长短, 是否多按键、少按键等情况, 这将对被评价者有针对性的改进自己的演奏技艺有着指导意义。

## 4 结语

本文提出的基于 ARM 芯片与模拟退火算法的音乐辅助教学系统, 经过实际测试, 效果突出, 完全实现了预期的设计目标。另外, 本系统还具有性价比高、功能强大、系统的软硬件功能可扩展性强等优点, 因此, 本系统将具有很强的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] 周立功. ARM 微控制器基础与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [3] 田泽. 嵌入式系统开发与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [4] 封景刚, 吴宝江. ARM 嵌入式系统开发完全入门与主流实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [5] 蒋吉明. 基于 ARM 的嵌入式系统板级设计的原理、方法及应用[DB/OL]. [2008-11-20]. <http://epub.cnki.net/grid2008/detail.aspx?filename=2006153489.nh&dbname=CMFD2006>.
- [6] KIRKPATRICK S, GELATT C D, VECCHI M P. Optimization by simulated annealing[J]. Science, 1983, 220(4598): 671-680.