

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.20180625.001

一种基于 FPGA 的趋势曲线快速连续化设计方法研究

韩文兴,赵 洋,岳婷婷,李 昆

(中国核动力研究设计院,四川 成都 610213)

摘要:事故后监视系统是核电厂仪控系统的重要组成部分,它需要将监视的温度、液位等物理量以趋势图的形式展现给操纵员.本研究在常规分段线性插值法的基础上提出了显示采样点多、连续化运算简单的改进插值方法,同时采用减小更新运算数据量的图层平移法增长 LCD 屏幕显示的采样时间长度,实现趋势曲线快速连续化绘制.

关键词:纵向插值;图层平移;趋势图

中图分类号:TN492 **文献标志码:**B **文章编号:**1673-0062(2018)04-0040-07

A Fast Continuity Method of Trend Curve Based on FPGA

HAN Wenxing, ZHAO Yang, YUE Tingting, LI Kun

(Nuclear Power Institute of China, Chengdu, Sichuan 610213, China)

Abstract: The post-accident monitoring system is an important part of the nuclear power plant's instrument control system. It will provide the monitored physical quantities such as temperature and liquid level to operator in the form of trend charts to the operators. Based on the conventional piecewise linear interpolation method, this paper proposes an improved interpolation method with multiple sampling points and continuous operations. The layer shift method that reduces the amount of update operation data is used to increase the length of sampling time displayed on the LCD screen. The trend curve is drawn continuously and continuously. The article described how to use the FPGA to realize the improved interpolation method and shift the graphic layer in detail. The actual results show that the use of the trend curve of the rapid continuous method significantly improves the continuous speed and efficiency of the trend curve.

key words: longitudinal interpolation; layer translation; trend chart

收稿日期:2018-03-27

作者简介:韩文兴(1983-),男,工程师,主要从事安全级仪控系统研究.E-mail:drsi_hanwenxing@163.com

0 引言

趋势图是一种特殊的线图,其中一个变量是时间,时间通常标注在水平轴上,右侧为最近数据,趋势图通常只给出近似值^[1].某些核电厂要求,在一定 LCD 幅面内显示出不少于特定时间段的物理量变化趋势,这个时间段通常为 30 min 或者更多.不同时刻的采样点离散分布在 LCD 的不同位置,影响操纵员对采样值的分析.如果采用插值方法来连续化各个采样点,又会导致 LCD 上能够显示的采样时间大幅减小,同时离散的采样点在进行连续化时,需要耗费大量的控制周期,降低整体性能.

复杂的连续化方法会增大系统的运算负荷、降低实时性能,而过于简单的连续化方式又使得曲线连续性变差.本文以分辨率为 1 024×768 的 LCD 为例,并将趋势曲线绘制尺寸固定为 800×600,来探究既能连续化趋势曲线而算法又不复杂的设计方法^[2].

1 插值方法分析

曲线连续化时通常在离散的点之间按照一定的数学方法插入若干点的方式使得曲线显得更光滑和连续^[3],常用的插值方法如线性插值、多项式插值等.计算量大的插值方法并不适用于核电厂事故后监视系统,本文仅就分段线性插值方法展开分析,并提出一种改进的插值方法^[4].

1.1 分段线性差值方法分析

图 1 是趋势图局部放大后的示意图.其中,每条纵向栅格线在横轴的投影表示一个采样时刻,黑色实心点为不同时刻的采样数据,采样点离散分布在趋势图的各个位置.为更好的反映被监视物理量的变化趋势,需要将这些点进行平滑处理,分段线性插值可以较好的平衡运算时间和显示效果.图 2 为分段线性插值的效果图.

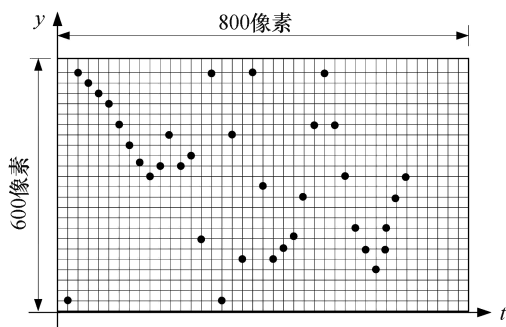


图 1 离散分布的采样点

Fig.1 The sample point of discrete distribution

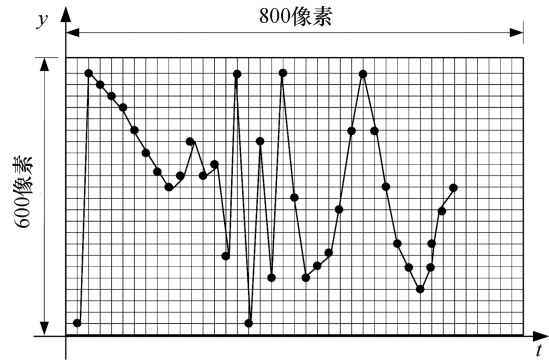


图 2 预期的连续化趋势线

Fig.2 The expected smoothing trend curve

采用分段线性插值实现离散采样点的连续化,则在进行曲线绘制时,采样点之间需空置多个列来填充插值结果,采样点之间的数值跳变越大,需要空置的列越多,在同样尺寸的 LCD 上,使用分段线性插值的方法来能够显示的采样点数量明显少于未连续化前,无法满足采样点数显示要求,而通过观察曲线,发现曲线变化多为周期变化,较为平缓,当出现相邻采样值急剧变化时,多为异常值或状态跳变,此时已不太关注其平滑性,如果牺牲此种状态的一部分平滑性,只在相邻像素列考虑连续化插值,则既能满足采样点数显示要求,又能保证大多数时间的趋势曲线平滑.

1.2 插值方法改进

提出了一种改进的线性插值方法以满足以下要求:

- 要求 1:尽可能多的显示采样点;
- 要求 2:采样点之间的连续化运算简单.

为了更好的显示采样点,设定 LCD 的每一个像素列都表示一个采样时刻,在这种设定下,趋势图可显示 800 s 的物理量趋势.采样点之间没有空置的像素列,改进的插值方法只考虑垂直方向的像素填充.

如图 3 所示,改进插值法分为 4 种典型的区域.黑色实心点为采样点,灰色实心点为插值点.栅格线的交点为 LCD 的像素点.

约定: Δy 为相邻采样点 y 坐标的差值,当右侧采样点的 y 值大于左侧采样点时, Δy 符号为正,反之 Δy 符号为负.另外,左侧的采样点出现时刻早于右侧采样点.

图 3 中各区域的采样点 y 坐标分布特征如下:

- 1) 区域 1:相邻采样点之间 $|\Delta y|$ 值较大;

- 2) 区域2:连续多个相邻采样点之间的 $|\Delta y|$ 值变化小,且 Δy 符号未发生翻转;
- 3) 区域3:连续多个相邻的采样点的 Δy 符号持续发生翻转;
- 4) 区域4:单个采样点两侧的 Δy 符号发生翻转.

区域1、2、4均通过在右侧采样点的 y 方向填充数量为 $|\Delta y|-1$ 的像素点实现连续化.

区域3中, Δy 符号持续翻转,如果采取与区域1、2、4相同的方法会导致图4的情况出现,即区域3出现了密集的填充像素,此时已无法反映出被监视物理量的变化趋势.

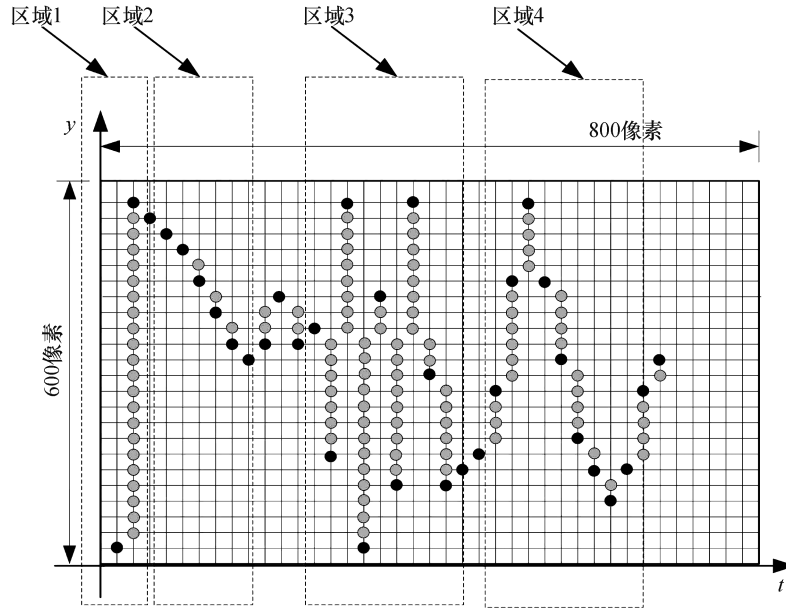


图3 改进后的线性插值方法示意图

Fig.3 The scheme for the improved linear interpolation

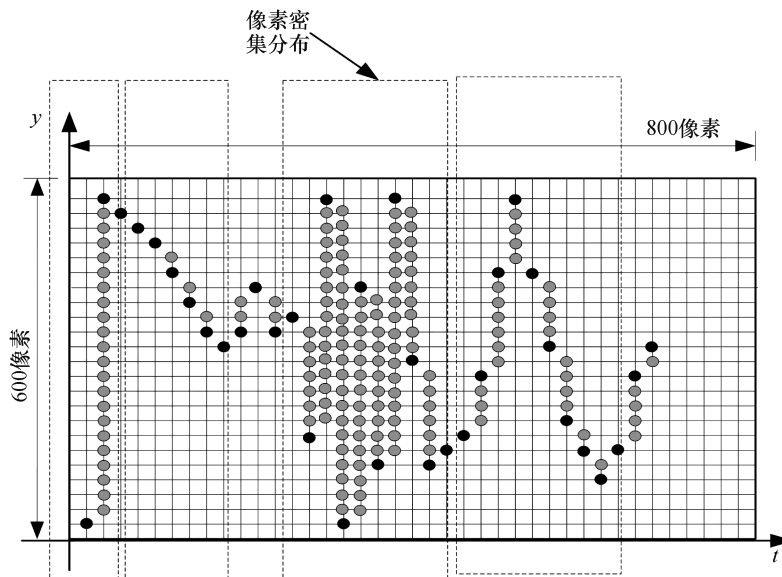


图4 像素密集分布示意图

Fig.4 The scheme for the dense distribution of the pixel dots

以坐标为 (t, y_0) 的像素为例来说明图3中区域3插值的步骤:

- 1) 先判断 $(t-1, y_0)$ 像素是否被填充过;
- 2) 若 $(t-1, y_0)$ 已填充, (t, y_0) 不填充,继续

判断 (t,y_1) 是否需要填充;

3)若 $(t-1,y_0)$ 未填充, (t,y_0) 填入需要的灰度值后继续判断 (t,y_1) 是否需要填充.

图 5 为使用改进插值法后,将采样点和填充像素点连接为折线图的效果图.

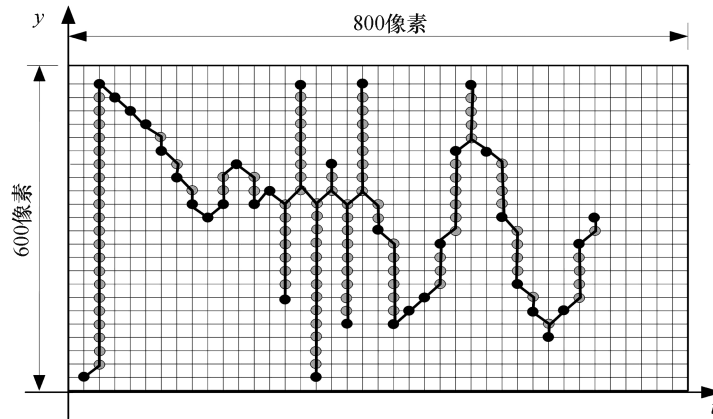


图 5 改进线性插值方法效果图

Fig.5 The effect drawing for the improved linear interpolation

结合图 3、图 5 来看,区域 1、2、4 的连续化效果较好.区域 3 中由于 Δy 的符号持续发生翻转,连续化后,急速变化的采样点处出现尖峰.该尖峰反映出了采样值的剧烈跳变,可以为工程应用接受.

另外,使用改进后的插值方法, t 方向仅涉及对 1 的累加运算,纵向像素例填充时也只涉及 Δy 的减法运算和 Δy 符号逻辑判定以及 y 方向的步进计算,算法简单.

2 图层平移方法分析

在连续化前,每个采样时刻更新趋势图时,需生成的像素数据量为 800 个.使用改进线性插值方法后需生成像素数据量的最大值为 $(|\Delta y| - 1) \times 400$,其中, $|\Delta y|$ 取值为 599,即连续 800 个相邻采样点的 $|\Delta y|$ 均为 599.此时像素数据量为 239 200,是连续化前的 299 倍,数据量的提升导致后续实现变得困难.

对比发现,趋势图更新前后仅两个时刻的值不同:增加一个最新采样点,剔除一个最旧的采样点.直观上,趋势图的更新是图像的向左平移.

本文提出,使用图层来解决趋势图更新数据量过大的问题:

1)趋势图作为一个单独的图层,与其他显示元素以图层堆叠的方式生成最终使用的显示画面;

2)趋势图对应的图层(后文简称为图层)映

射到 LCD 显存存储器中的一个分段连续的存储区,趋势图中的每个点均映射至 LCD 显存存储器的一个地址单元,该点的灰度值与对应地址的数据相同.

图 6 中各个灰色填充的窗口表征在不同时刻图层在显存存储器中的位置.图层最左侧的点表示最旧的采样点,最右侧的点表征最新的采样点, t 轴的每个刻度代表一个采样时刻.直观上,随着采样时间的流逝,图层以一个滑动采样窗口的形式在时间轴上移动,实现趋势曲线的实时更新.

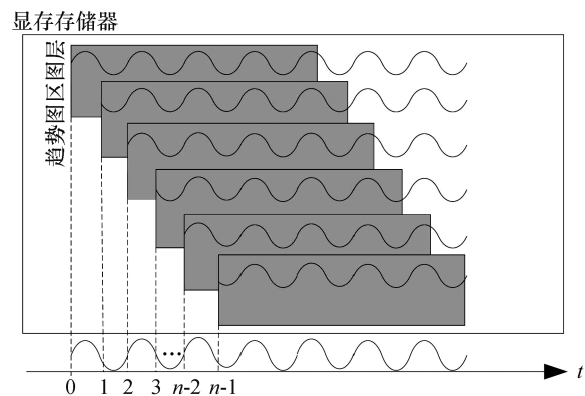


图 6 图层移动

Fig.6 The scheme for graphic layer shift

图 6 中, $n-1$ 时刻到来时,应该在 $n-2$ 时刻的趋势图基础上丢弃左侧最老的采样点,同时在最右侧增加一个采样点,生成 $n-1$ 时刻的趋势图,

具体步骤如下:

1) 将 $n-2$ 时刻的图层向右移动一次, 此时图层中不再包含 $n-2$ 时刻最旧的采样点;

2) 在前一步的基础上, 根据前文描述的改进插值方法将 $n-1$ 时刻的采样值与 $n-2$ 时刻最新的采样值执行一次连续化运算, 并将插值运算生成的填充像素和 $n-1$ 时刻的采样值填入图层最右列中, 生成 $n-1$ 时刻的趋势图。

每个采样时刻, 仅执行一次图层平移操作和相邻两点间的连续化操作, 生成的填充像素数据量最大值为 $|\Delta y|-1$, 其中 Δy 取值为 599, 小于连续化前的需要填充的像素数量。

3 基于 FPGA 的趋势曲线连续化设计

核电厂事故后监视系统中, 控制器架构通常为 MCU+显存存储器+LCD. MCU 控制单元, 执行

自诊断、数据通信、曲线显示以及人机交互等功能^[5]。

显存存储器用于暂存当前需要显示的图像数据。

本文提出使用 FPGA (field-programmable gate array) 作为趋势图绘制协处理器, 完成趋势图插值、图层移动控制以减轻 MCU 的工作负荷^[3-4]。

3.1 总体设计

基于 FPGA 的趋势图绘制协处理器如图 7 所示, 其包括三个功能块:

- 1) MCU 接口: 与 MCU 以特定的总线互联, 实现对 MCU 的指令解析;
- 2) 改进插值方法: 实现前文提及的插值方法;
- 3) 图层平移控制。

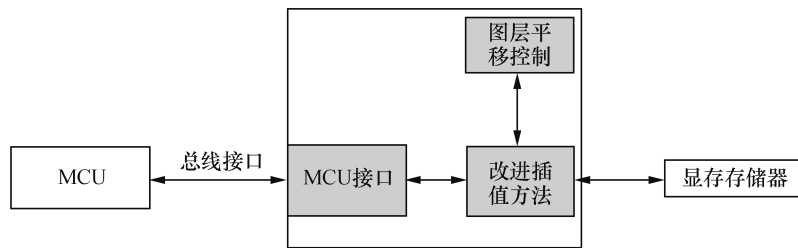


图 7 基于 FPGA 的趋势曲线连续化设计

Fig.7 The design based on FPGA for trend curve smoothing

FPGA 中分配了 5 个可以被 MCU 访问的地址, 各个地址的数值和功能如表 1 所示。

表 1 FPGA 地址分配

Table 1 The address assignment for FPGA

地址	功能
0	MCU 启动 FPGA 执行趋势图绘制
1	MCU 查询 FPGA 执行趋势图绘制状态
2	MCU 查询 FPGA 执行趋势图绘制状态
3	第一个采样点的 t 坐标
4	新增采样点的 y 坐标

3.2 改进插值方法的 FPGA 实现

本文提出的改进插值方法的关键点如下:

- 1) 计算相邻采样点 y 坐标的差值 Δy ;
- 2) 根据前一采样时刻纵向像素列的填充情况决定当前纵向像素列的填充。

图 8 为 FPGA 实现改进插值方法的内部功能

框图。其中, RAM 暂存了前一采样时刻纵向像素列的全部灰度值, 并在连续化过程中逐步更新为当前采样时刻纵向像素列的灰度值。

第一步: 计算出新采样值与锁存的前一时刻采样值的差值 Δy ;

第二步: 计算出 Δy 的绝对值;

第三步: 计算出当前列需要的插值像素:

1) 首先, 确定当前像素列需插值的像素的 y 坐标范围;

2) 其次, 连续逐个读取 RAM 对应地址数据的值, 并判断读取值是否已经填充了需要的灰度值:

若已填充, 则当前列对应 y 坐标的点不需要插值, 继续寻找下一个需要插值的点;

若未填充, 则将当前列对应 y 坐标的点插入需要的灰度值, 同时将该灰度值填入 RAM 对应地址后继续寻找下一个需要插值的点,

3) 最后, 插值结束, 生成一个插值结束标志

信号.

3.3 图层平移控制的 FPGA 实现

LCD 上的像素位置一般使用二维坐标 (t, y) 来描述, t 表示像素的水平方向坐标, y 表示像素

的垂直方向坐标. 显存存储器的地址为一维线性地址, 其存储的数据与 LCD 上的各个像素灰度值一一对应. 为了更直观的体现出这种对应关系, 构造了一张二维线性表如图 9 所示.

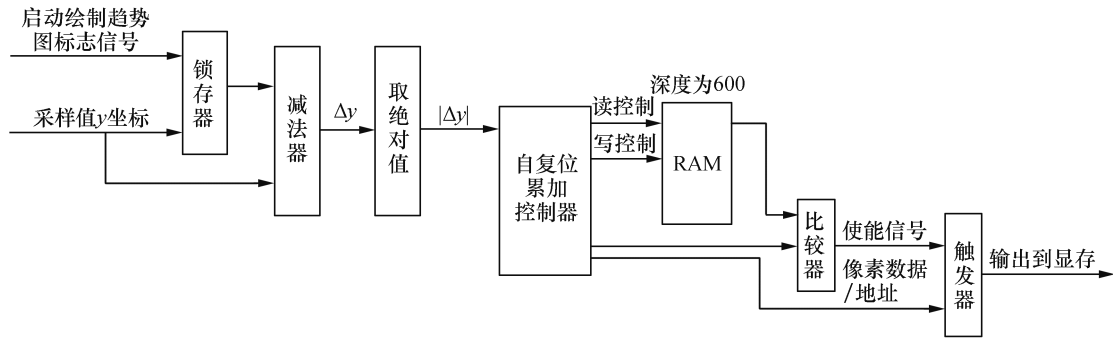


图 8 改进插值法 FPGA 实现的内部功能框图

Fig.8 The inner block diagram for improved linear interpolation method in FPGA

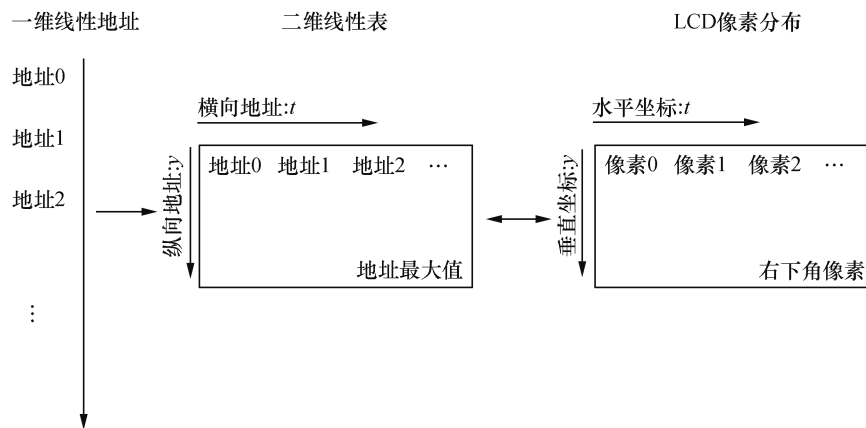


图 9 显存存储器地址到 LCD 像素坐标的映射关系

Fig.9 The mapping between the display storage and the pixel dot coordinate

1) 二维线性表与一维线性地址的对应关系
 二维线性表是显存存储器地址空间的映射, 具有横向地址 t 和纵向地址 y . 假定一维线性地址为 x , 其与二维线性表中的地址对应关系为: $x = y * T_{max} + t$, T_{max} 是横向地址最大值+1^[6].

2) 二维线性表与 LCD 像素坐标的对应关系
 横向地址与 LCD 像素的水平坐标 t 对应, 表征一个 LCD 的纵向像素列的序号, $t \in [0, 1023]$ 且为整数;

纵向地址 LCD 像素的垂直坐标 y 对应, 纵坐标的取值范围与显存存储器的最大存储量有关, 本文暂定为 $y \in [0, 1023]$ 且为整数.

图层在二维线性表中是一个滑动的矩形存储窗口, 如图 10 所示.

约定: 图层在二维线性表中仅在 t 方向移动, 且可移动范围设定为 0~1 023.

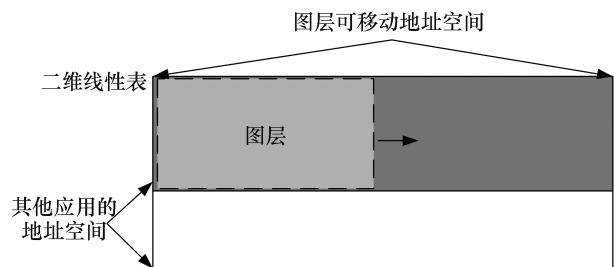


图 10 图层在二维线性表内移动示意图

Fig.10 The scheme for the graphic layer shifting in the two-dimension linear table

随着采样时间的持续,图层移动到二维线性表的右边界.为了防止图层中的数据出现丢失,图层移动到右侧最大值后超出边界部分自动进入二

维线性表的左侧起始位置,如图 11 所示.

FPGA 按照如图 12 的结构来实现插值地址的生成.

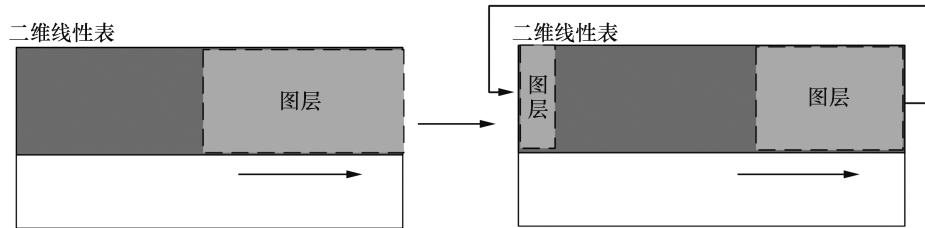


图 11 图层移动到右侧边界示意图

Fig.11 The scheme for the graphic layer shifting to the right boundary of the two-dimension linear table

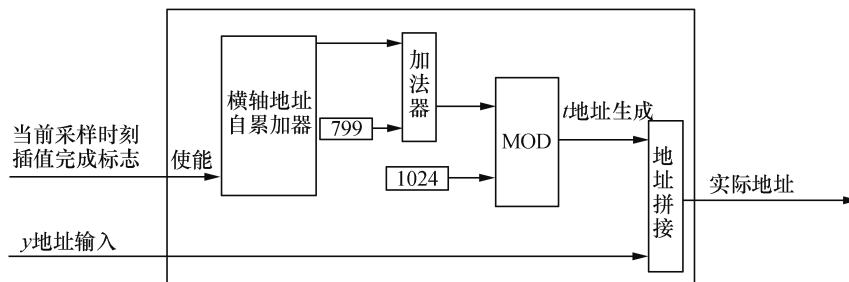


图 12 插值地址计算

Fig.12 The calculation method for interpolation address

具体的计算方法描述如下:

1) 插值结束后图层的第一列横向地址 ST 自动累加 1, $ST \in [0, 1023]$ 且为整数, 实现 t 方向的移动,

2) ST 计数达上限后自动溢出为 0, 实现 t 方向环形移动;

3) 当前需要插值的 t 地址计算方法: $(ST + 799) \text{MOD } 1024$.

图层中每个列在二维线性表中的横向地址计算方法为: $(ST + i) \text{MOD } 1024$, i 表示图层中各列的序号, $i \in [0, 799]$ 且为整数. 当需要更新 LCD 上的趋势图时, 可以根据 ST 的值, 可快速寻址图层的全部数据.

4 结 论

本文从工程应用的实际出发, 针对核电厂事故后监视系统中趋势曲线的连续化显示面临的难题, 提出了改进的曲线插值方法、图层平移控制方法, 并对比了使用这两种方法前后图像数据量的增减, 通过 FPGA 实现了改进的曲线差值方法和

图层平移控制方法, 提升了趋势曲线的连续化速度和效率.

参考文献:

- [1] 毕艳梅, 王晋. 核电 DCS 系统数据结构和图形模板设计与实现[J]. 核电子学与探测技术, 2015, 35(7): 689-694.
- [2] 莫迪涵, 杜慧敏, 沈绪榜. 基于线性插值法图像缩放的设计与 FPGA 实现[J]. 西安邮电大学学报, 2013, 18(3): 52-55.
- [3] WANG L L, WANG Z T, ZHAO S, et al. Stock market trend prediction using dynamical Bayesian factor graph[J]. Expert systems with applications, 2015, 42(15/16): 6267-6275.
- [4] 俞海军, 陈瑾怡. 三种插值方法的研究与比较[J]. 河南科技, 2013(20): 210-211.
- [5] 王怀敬. 基于 FPGA 的核电厂安全级仪控系统 V&V 技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2016.
- [6] BERRUT J P, KLEIN G. Recent advances in linear barycentric rational interpolation[J]. Journal of computational and applied mathematics, 2014, 259(4): 95-107.

(责任编辑: 扶文静)