

数字微流控生物芯片(DMFB) 模拟界面

计 84 2018011446 刘泓尊
2019.8

1 软件用途

微流控生物芯片(DMFB)是把生物、化学、医学分析过程的样品制备、反应、分离、检测等基本操作单元集成到一块微米尺度的芯片上,自动完成分析全过程。本软件模拟了DMFB中液滴的移动(Move)、合并(Merge)、分裂(Split)、混合(Mix)等及基本过程,以及轨迹的清洗、污染的避免等功能,是一个基于Qt的DMFB用户界面系统。

2 运行方式

本压缩包目录\app 中放有 DMFB.exe 可执行程序,如果你的电脑上安装有 Qt 相关动态链接库,程序可正常打开。

以上方法若不可行,请你安装 QtCreator5.13,将\sourceCode 中的 DMFB.pro 文件导入 QtCreator,重新编译运行。

3 功能介绍

3.1 主界面及帮助



图 1 主界面

如图 1 所示,左上角的工具栏列出了本程序的主要功能,相应的在菜单栏中也存有按钮。相关按钮的使用说明可以点击 Help->Help 来查看,如图 2 所示:

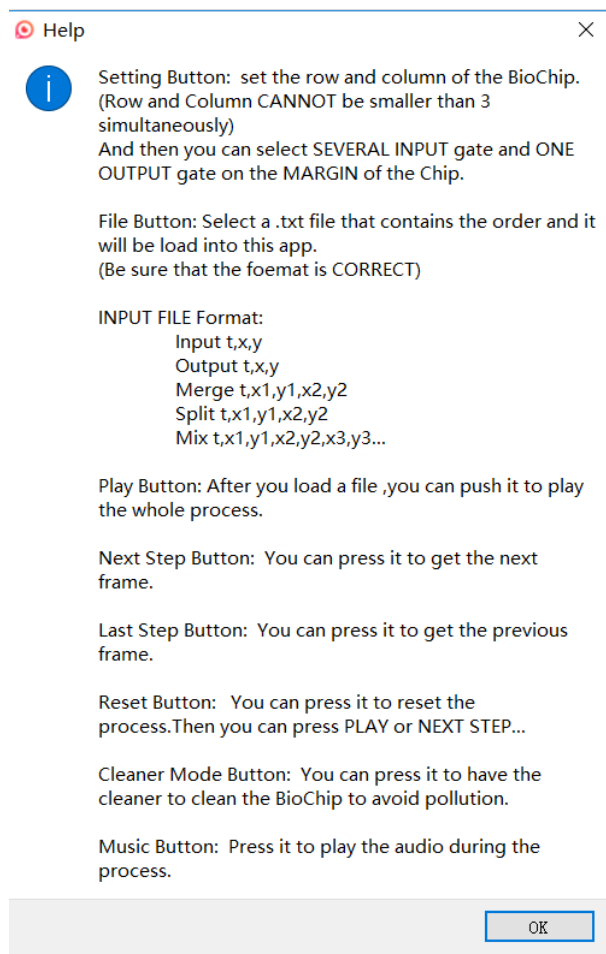


图 2 Help 子窗口

点击左侧“设置”按钮，弹出对话框，在此处设置芯片尺寸以及液滴输入输出端口。当行数和列数同时 ≤ 3 时，会弹出警告。当输入口或输出口不在芯片边界时，会弹出警告。如图 3 所示：

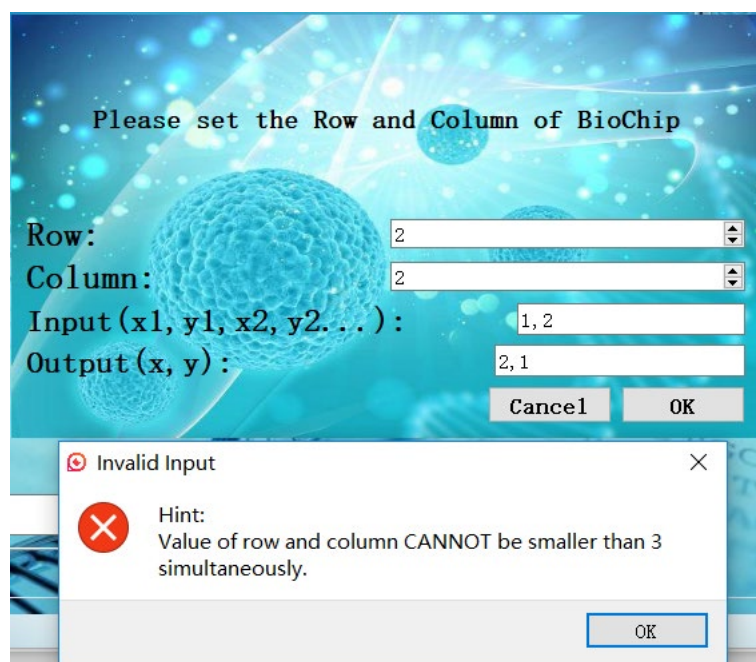


图 3 行列或出入口设置不满足条件则报错

3.2 解析命令，显示过程

点击工具栏“文件”按钮会弹出对话框，选择相应文件并载入。此时按下“播放”或“下一步”可以观看全程或者下一时刻的芯片状态，左下角的 timeLCD 显示了当前时间。每个小球的轨迹以不同颜色显示。如图 4 所示：

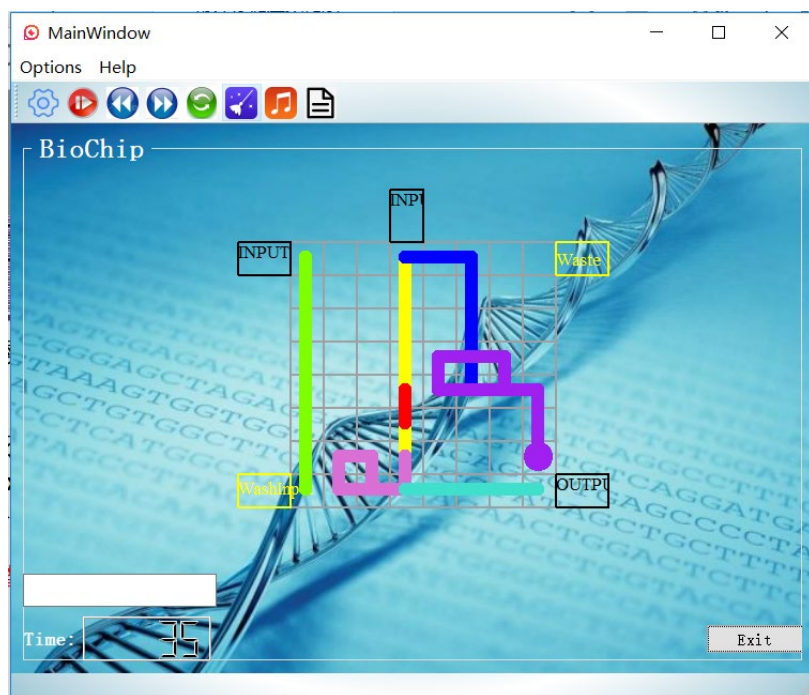


图 4 过程绘制

液滴的移动、融合、分裂过程如图 5 所示：

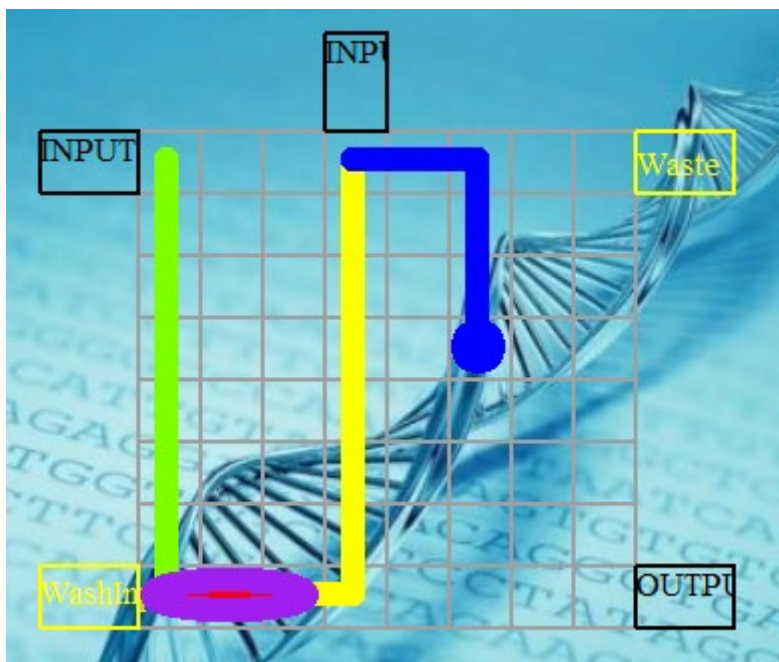


图 5 液滴的移动、融合、分裂过程

3.3 灵活播放

工具栏及菜单栏提供了多种播放方式，点击“播放”按钮可以连续播放图像，点击“上一步”或“下一步”按钮可以查看当前状态前一帧或后一帧的局面。点击“复位”按钮可以回到初始状态。如图 6 所示：



图 6 菜单栏及工具栏

3.4 音效播放

点击工具栏或菜单栏“音乐”按钮，可以在任务执行过程中放音频，不同的动作会出发不同的音乐。

3.5 约束检查

为防止液滴意外混合，本程序对液滴之间的位置关系进行“静态约束检查”和“动态约束检查”，当同一时刻两液滴距离 <2 或相邻时刻两液滴距离 <2 时，会出发警告，终止命令执行。如图 7 所示：

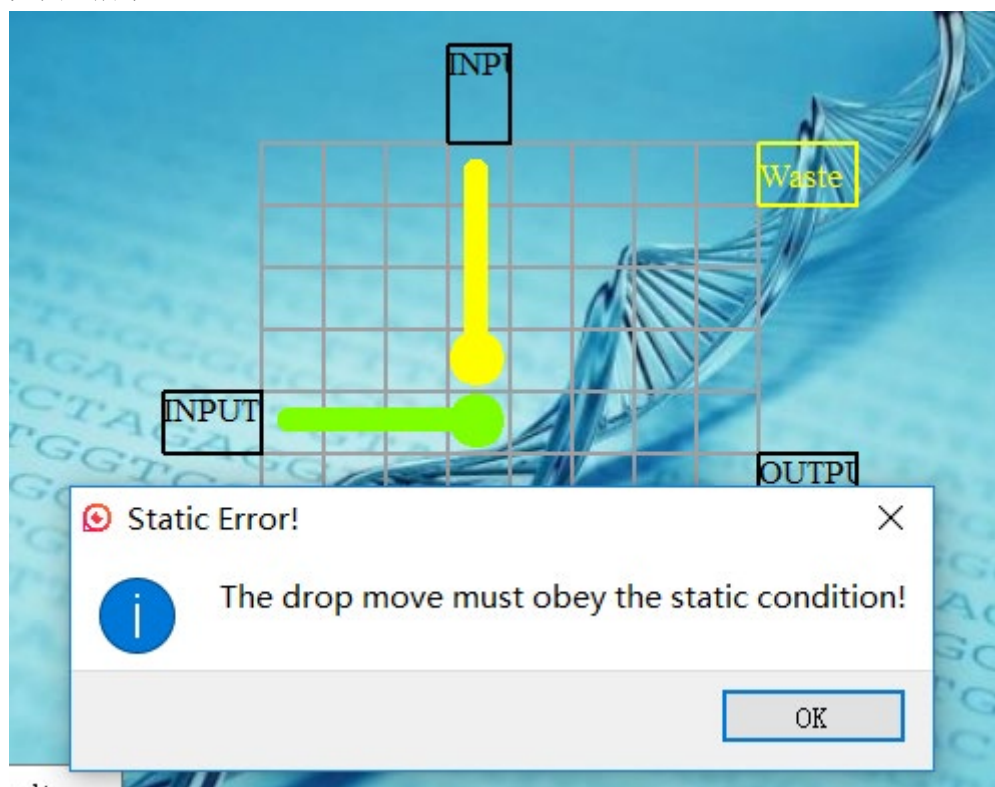


图 7 不满足约束条件则报错

3.6 污染情况显示

本程序采用显示液滴移动轨迹的方式实现芯片污染情况的显示，每个液滴的轨迹用不同颜色进行标注。在整个过程执行完成之后，在每个电极（方格）上绘制污染次数。如图 8 所示：



图 8 过程完成后显示污染情况

3.7 清洗污染

本程序默认在芯片左下角和右上角放置清洗液滴的输入、输出口。选择“清洗模式”之后，当侦测到即将有污染情况发生时，清洗液滴（灰色）会出发前往污染点（至多 3 个），防止污染事件的发生，并最终从输出端口废弃。在清洗过程中，用户点击某电极，该电极将变色，清洗液滴会自动避开该障碍。如图 9 所示：

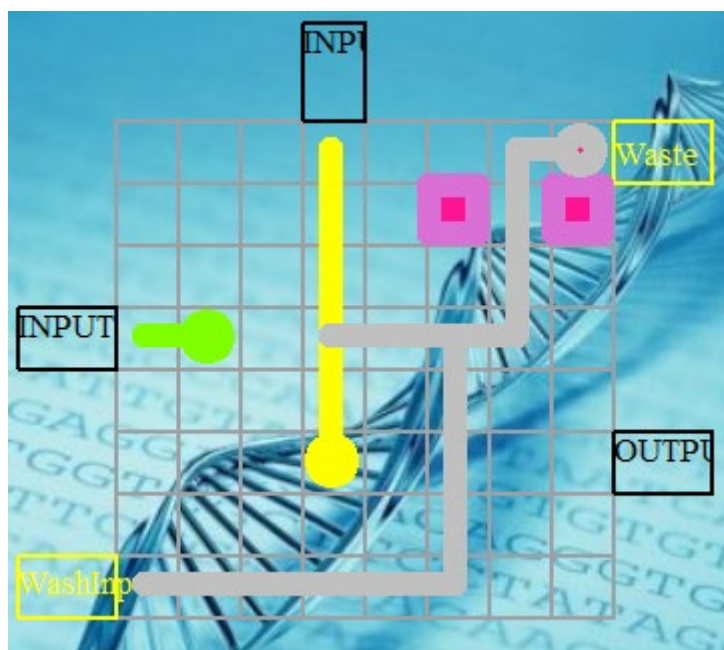


图 9 清洗液滴过程中设置障碍后自动寻路

3.8 扩展功能 1 - 清洗液滴有限化、智能化

本程序实现了每个清洗液滴都至多清洗 3 个污染点，超过该限制将被废弃。同时，本程序采用启发式算法中的 A*算法，通过引入估价函数 h，使得寻路的时间、搜索空间范围都

大大缩小，比常用的 BFS、DFS 算法更加高效实用，也减少了程序的运行损耗。¹

3.9 扩展功能 2 - 实时情况展示

本程序在左下角设置了一个文本框用于显示运行过程中的错误信息，如“污染情况”，“清洗液滴被锁定”等状态，使得用户可以在不中断程序的情况下获取芯片的运作情况。同时 LCD 显示器会实时显示该过程已经运行的时间，便于用户实时监测数据。如图 10 所示：



图 10 实时情况显示

4 清洗算法实现

4.1 出发时间规划

本程序引入四元数 (x, y, t_1, t_2) 来记录每一个污染事件， (x, y) 为污染事件发生坐标， t_1 为第一个液滴经过它的时间， t_2 为第二个液滴经过它的时间。对于程序全程情况的监视可以得到所有的污染事件。此时清洗液滴会对该四元数列表时间 t_2 靠前的前三个 (t_1, t_2) 区间求交集。如果该交集 > 0 ，则通过一个清洗液滴可以清洗这三个事件对应的点，否则便只清洗一个或两个。并将污染事件发生前 2-3 帧的时刻出发，进行清洗。

4.2 寻路算法

清洗液滴会获取出发时刻芯片局面，通过“入口 \rightarrow 污染点 1 \rightarrow (污染点 2) \rightarrow (污染点 3) \rightarrow 出口”的方式进行路径检索（此时鼠标点击可以设置新障碍）。寻路算法对每两个节点之间使用 A* 算法。A* 算法是一种启发式算法，相比于通常寻路采用的 BFS/DFS 等，A* 更加高效，时间更短，搜索范围更小，可以极大地节省程序运行时间成本，防止等待时间过长。经过我在测试中的对比，搜索时间减少近一半，使得程序连续播放的观感更加流畅。

5 Qt 界面实现

5.1 界面结构

本程序设计了 3 个界面及 7 个对话框。界面包括主界面、setting 界面以及绘图图层。其中绘图图层覆盖在主界面上，用于绘制芯片。如图 1、图 3 等所示，主界面和 setting 界面都引入与“生物学”相关的背景，使得程序的学科属性鲜明，也增强了程序的观感。

5.2 图层设计

芯片以及液滴轨迹的绘制主要采用 QPainter 进行绘制，部分采用扁平化设计。与众不同之处在于我对不同类型的轨迹进行了图层设计，例如：在清洗液滴清洗过程中，清洗液滴轨迹被显示在上层图层；当任务执行过程中，清洗液滴轨迹衬于其他轨迹下方，使得程序使用者能很快得到重点，提升了程序的观赏度。

¹ 关于 A* 算法与其他搜索算法的对比，请参见 <https://www.cnblogs.com/v-July-v/archive/2011/03/10/2009186.html>

5.3 用户友好

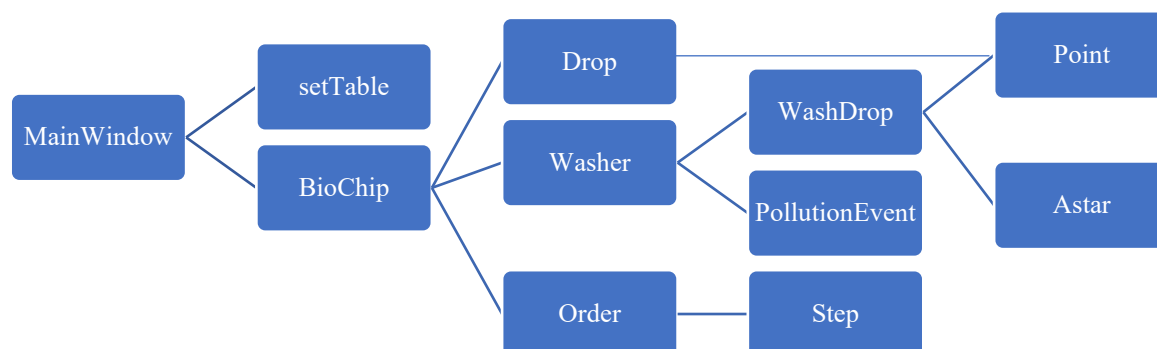
在每一个 Button 上都设置了快捷键，用户使用鼠标和键盘都可以实现操作的过程。同时在视频播放过程中，由于 A*算法的高效性，使得过程的播放帧率大幅提升，动画的连续性显著提升。每次按下“下一步”或“上一步”就刷新界面，使得用户可以在视频播放过程中实现“快进”功能，更加贴近一个“视频播放器”的功能。同时，在载入文件之初，我缓存了初始数据，使得用户得以在“清洗模式”下实现视频的 reset 和倒放，增加了视频播放的灵活性。

6 代码简述

6.1 数据存储

在载入文件之初，我将数据以每帧一个像素阵列的形式存储在三维数组中，同时为每一个新产生了液滴创建了 Drop 对象，里面存有它从产生到结束的路径。对于污染事件，如前所述，我将其写入形如 (x,y,t1,t2) 的四元数中，方便清洗液滴出发时间的规划。同时，我为每一个文件的初始状态进行了缓存，使得 reset 之后不会因为用户上一次设置的障碍或者清洗液滴而丢失原始情况。我为每个清洗液滴创建了 Washdrop 对象，并通过 washer 对象同一管理所有的 Washdrop（其路径存储在 QList 中）。同时，本程序使用了大量的 QTL 作为底层中间数据，提高了程序开发的效率和安全性。

6.2 架构



7 感想

作为一名转系生，初次拿到题目时，由于没有 Qt 的开发经验，自己也没有学过 OOP（我是平转生），自己真的是一点写完的信心也没有。当别人第一天在入手 Qt 的时候，我正在恶补 C++ 和 STL 的相关知识，花了一天把大致的基础知识看完后才开始着手 Qt。由于经验不足，开始时确实遇到了很多架构上的障碍：比如我没有为每个液滴建立一个对象，而是用帧矩阵去存储，这就导致后面判断污染事件和清洗液滴的创建带来了极大的困难。在经历了一整天的架构升级之后，我才步入正轨。前 2 天一直在坚持每天完成 2-3 个任务（简直是双倍 996），对于我这样一个 C++ 还用不熟的人确实是很高的强度。不过所幸架构升级及时，很顺利的完成了任务 1-6。说实话我对自己可以做到 6 都十分惊讶。最后两天开始构思清洗液滴的绘制和算法，吸取了先前的经验，我一开始就为清洗液滴构建了对象，事实证明这极大地方便了后续的开发。

算法的设计又是我一个坎，因为没有学过图论，所以我一开始使用的 BFS 和后来使用的 A* 算法都是临时学的。我花了很大的力气在理解算法上，中间一度怀疑自己。最后我

分别使用了 BFS 和 A*, 定义了接口 `getPath(begin_pos, end_pos, curtime, row, column)`; 在效率的对比之后, 我选择了 A* 作为寻路算法, 提升了算法的效率。

第一个大作业之于我, 意义不在于任务的完成, 而在于自身的成长。这短短的不到一周, 让我重新定位了自己。我从一开始 C++ 都用不熟、OOP 零基础, 到最后提前实现所有基础任务, 并且在第一次检查 (周六) 的时候就通过, 真的让我被自己震撼到。在这一周, 尽管过程坎坷, 我学习了众多的 OOP 知识, 认识了 Qt 的开发过程和特性, 也学习了很多之前没有学到的算法, 让我的代码水平得到了锻炼, 我这一周的收获是进入大学以来最大的。

最后, 真的感谢课程团队的精心设计给我的锻炼, 也感激于助教在群中不辞辛苦的答疑解惑! 也许之后我在迷茫失败之时, 回想起这段从“一穷二白”到“平稳实现目的”的艰难之路, 我会重新振奋精神, 继续坚持自己的方向。