扫雷 MineSweep

22112020002 蔡志杰

目录

概述

本次 haskell 期末实现了一个扫雷游戏，有基于字符的终端（Terminal）版本（通过键盘输入进行交互)和基于图像的 GUI 版本(通过鼠标的点击进行交互)。两个版本底层的算法和逻辑都是一致的，只是最终呈现的形式不同。扫雷游戏除了支持用户的常规操作（选中格子和标注棋子）还支持一系列自动扫雷的操作用以辅助用户。

接下来将分别介绍扫雷游戏底层的数据结构实现，扫雷中各种操作效果及其算法实现，最后再介绍终端和 GUI 中游戏交互的实现。

一、底层数据结构

1.1、游戏底层数据结构分析

扫雷游戏本质上是对一个二维数组的操作，其中可以看成两个二维数组 vgrid 和 sgrid，分别存储扫雷数据层（value grid，简称 vgrid）和状态掩膜层（state grid，简称 sgrid)。vgrid 将存储扫雷中的数据，这在初始随机生成雷的位置后便直接确定，不会在游戏过程中发生变化，其中每一个格子中的数量对于这格子周围 8 个格子中包含的雷的总数，如果格子本身为雷则数值为-1。sgrid 将存储游戏中每个格子的状态，其中包含未访问（nonVisited)，已访问（Visited）和炸弹标记（Flaged)，sgrid 将会随着游戏的进行不断变化。

1.2、对底层数据的处理方式

为了方便对二维数组的访问，减少参数的传递，同时方便后续的一些算法能方便地套用一些高阶函数，将二维矩阵中每一个格点采用一维索引进行访问。其中一维索引值与将二维数组进行 concat 后得到的一位数组的索引值相对应。此外还实现了二维索引与一维索引相互转换的函数（coor2index，index2coor）其中处理了访问越界的问题。

对二维数组的元素的访问采用!! 操作符（getElementById)。对二维数组某一元素的更新则较为麻烦，采用 Data.Sequence 中的 fromList 函数（fromList :: [a] -> Seq a）将列表转换成序列，再使用 update 函数（update :: Int -> a -> Seq a -> Seq a）对序列中的某一元素进行更新，最后再通过 toList 函数（toList :: Foldable t => t a -> [a]）将序列转换回列表，更新列表元素的函数为 updateElement。

此外为了后续操作的方便还实现了一些基础函数，如 getSurroundingId 获取一个网格周围网格索引值，countSurroundingBomb 获取网格周围的炸弹数（用于初始化 vgrid）以及一些判断函数和计数函数。

二、扫雷功能与算法实现

2.1、随机数生成

为了更方便地获得随机数，基于 System.Randomd 的接口编写了一个随机数模块（MyRandom）。

getR :: RandomGen g => Int -> g -> [Int]，将根据给定的整数 n 和随机种子生成[0，n-1]之间的一个随机数。（用于辅助扫雷功能）

getRList :: RandomGen g => Int -> Int -> g -> [Int]，将根据给定的整数 k, n 和随机种子从[0, n-1]中随机选出 k 个数。（用于初始化地雷的位置）

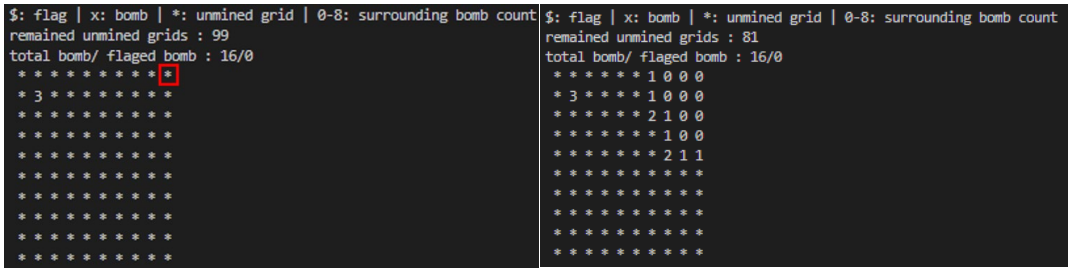
2.2、基本扫雷操作

2.2.1、对普通网格的探索

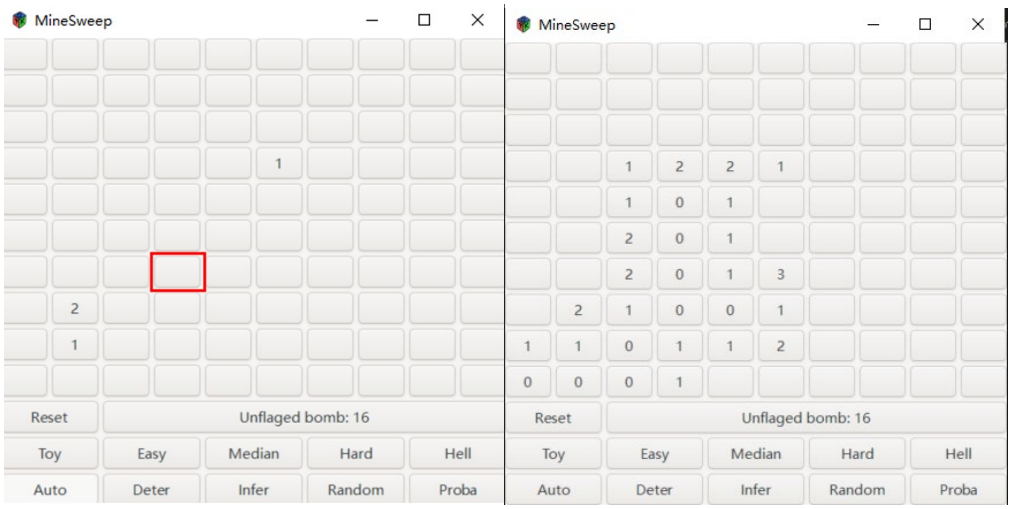
sweep :: [[Int]] -> [[Int]] -> Int -> [[Int]]，将根据给定的 vgrid 和 sgrid 以及选中的网格索引值，对该网格进行探索，返回更新后的 sgrid。如果该网格的值大于 0（周围 8 格中有雷）或为-1（炸弹）就只将该网格的状态从 nonVisited 转换成 visited，否则该网格值为 0，说明周围都没有雷，那么将会递归搜索周围所有的网格。为了实现 0 值网格周围的递归搜索，通过 bfs :: [[Int]] -> [[Int]] -> [Int] -> [[Int]]来完成对某一网格周围网格的广度搜索。

下图展示了两个例子（终端版和 GUI 版）

选中索引为（10，10）的网格后的变化（索引的原点在左下角）



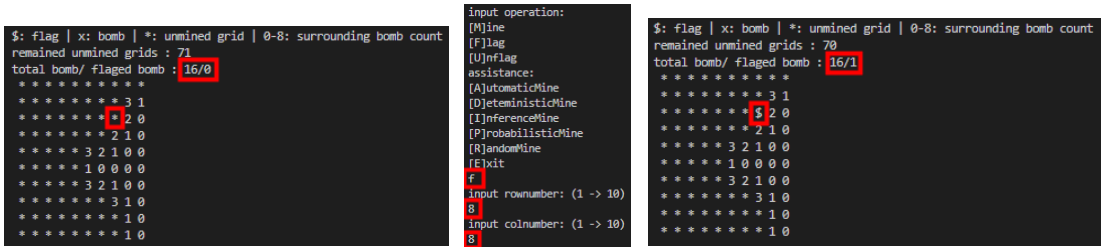
选中（4，4）网格后的变化



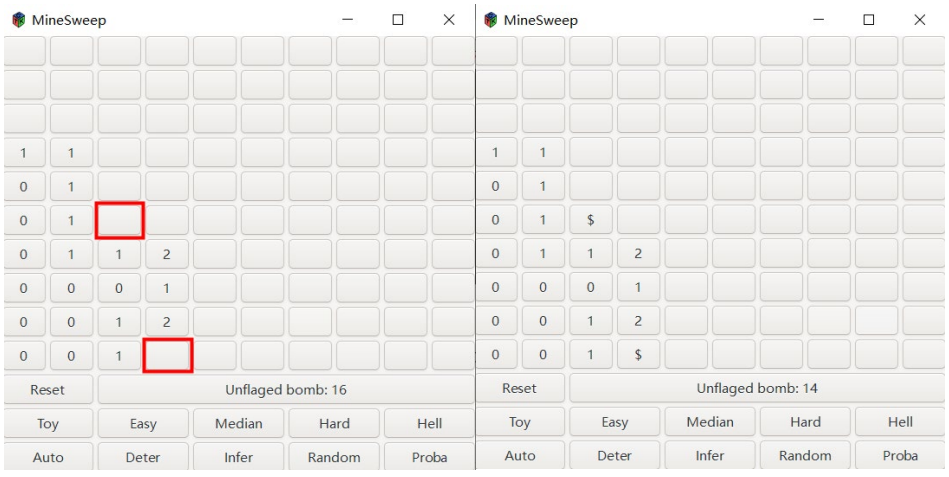
2.2.2、标记雷

setFlag :: [[Int]] -> [[Int]] -> Int -> [[Int]]将根据 vgrid 和 sgrid 以及给定的索引，若对应位置的状态为 nonVisited 就将其转换为 Flag，返回更新后的 sgrid。

将索引为（8，8）的网格标为 flag（'$'为雷标）：



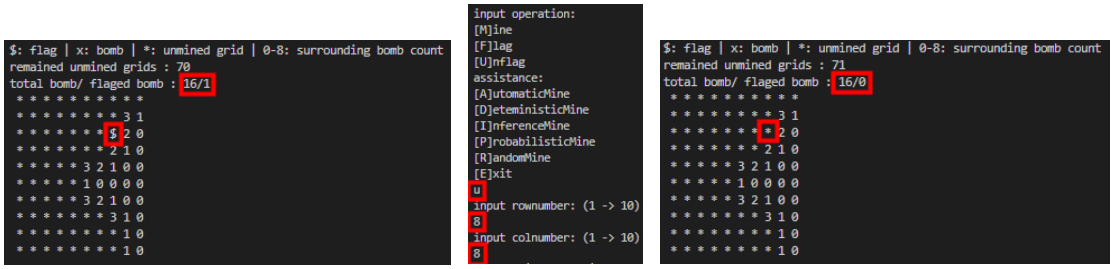
将索引为（3，5）（4，1）的网格标为 flag：



2.2.3、去除雷标

unsetFlag :: [[Int]] -> [[Int]] -> Int -> [[Int]] 将根据 vgrid 和 sgrid 以及给定的索引，若对应位置的状态为 Flag 就将其转换为 nonVisited，返回更新后的 sgrid。

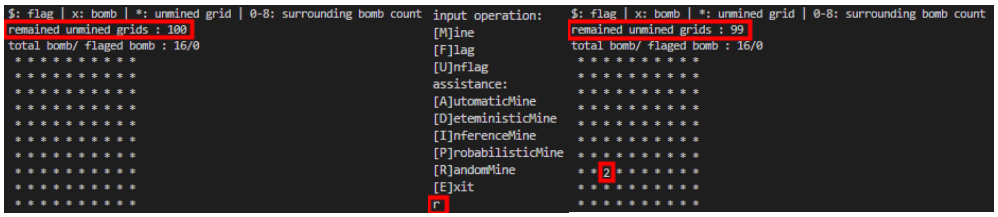
去除索引为（8，8）的雷标：



2.3、自动扫雷算法

2.3.1、随机扫雷

randomMine :: RandomGen g => [[Int]] -> [[Int]] -> g -> [[Int]] 将根据 vgrid，sgrid 和随机种子，从所有 nonVisited 状态下的网格中随机选一个，返回更新后的 sgrid。

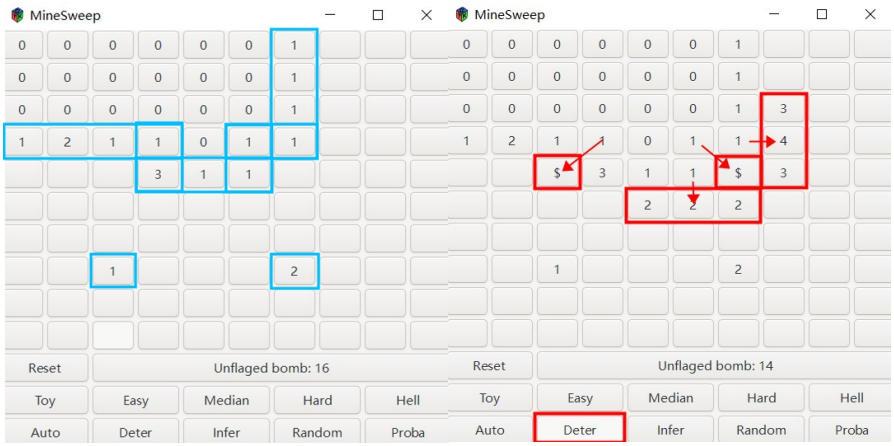


2.3.2、单格推断

deterministicMine :: [[Int]] -> [[Int]] -> [[Int]] 将根据 vgrid 和 sgrid，对已有格子中的每个边界网格单独进行推断，返回更新后的 sgrid。边界网格它们自身为 visited 状态，同时周围至少要有一个处于 nonVisited 状态的网格，下图蓝色边框展示了一个边界网格的例子，如果满足下面的条件就能确定周围 nonVisited 网格的状态：

#周围 flag == 自己的值（周围的炸弹都已确定，剩余 nonVisited 都可以变成 visited）

#周围 nonVisited + #周围 flag == 自己的值（周围剩余 nonVisited 网格都是炸弹，都可以转换为 flag 状态）



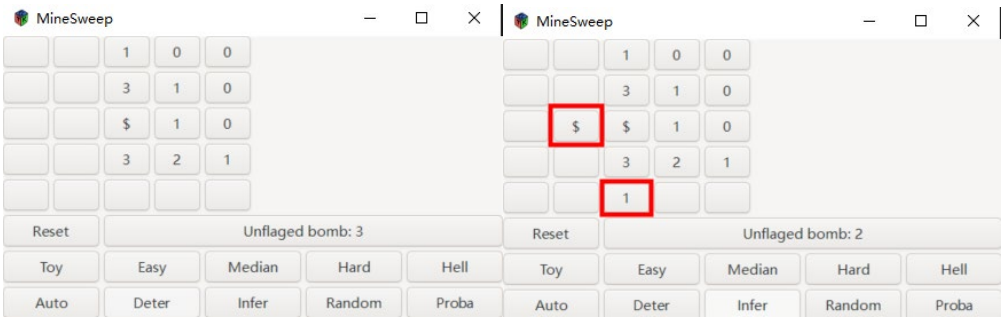
2.3.3、多格推断

inferenceMine :: [[Int]] -> [[Int]] -> [[Int]] 将根据 vgrid 和 sgrid，对已有格子中边界网格进行推断，返回更新后的 sgrid。与单格推断不同，多格推断能结合周围几个格子的信息同时进行推断，得到单格推断得不到的信息。

首先定义轮廓网格，轮廓网格为边界网格周围处于 nonVisited 状态的网格。这里采用的方法为枚举所有轮廓网格的可能（是炸弹或不是炸弹，若轮廓网格有 n 个则有 2^n 种可能），然后根据枚举的可能判断这一可能是否合理，过滤掉不合理的可能，在剩余的可能中，若某个网格的状态在所有可能中都一致则将其置为该种状态（通过 sweep 或 flag 操作对状态确定的轮廓网格进行处理）。

上面提到的方法的复杂度过大，随着轮廓的大小复杂度呈指数增长，这只适用于小规模的问题，为了实现更大规模下的多格推断，采用启发式的方法。根据分析多格推断通常只受到相邻网格的影响，因此可以每次枚举部分相邻的轮廓网格，在通过轮流切换来覆盖所有轮廓网格。具体做法如下，设置每次推测的轮廓网格数量上限 inferenceRange::Int（实验中设置为 10），以及两次推断中可以忽略的交叠部分 inferenceRangeOverlap::Int（实验中设置为 6），每次从轮廓网格列表中选取一个起点，通过广度优先搜索（bfsSurrounding）获得与之相连前 inferenceRange 个轮廓网格，枚举其所有可能性，并进行推断，如果推断成功（有确定的雷或非雷网格）则结束本次多格推断，否则从轮廓列表中删除起始网格相连的前 inferenceRangeOverlap 个轮廓网格，并从剩余的轮廓网格中重新挑选一个网格作为源头继续前面的过程，直至有一次推断成功，或是所有轮廓网格都推断过了。（经实验，设置的参数在 30*30 的网格下运行速度还可以接受）

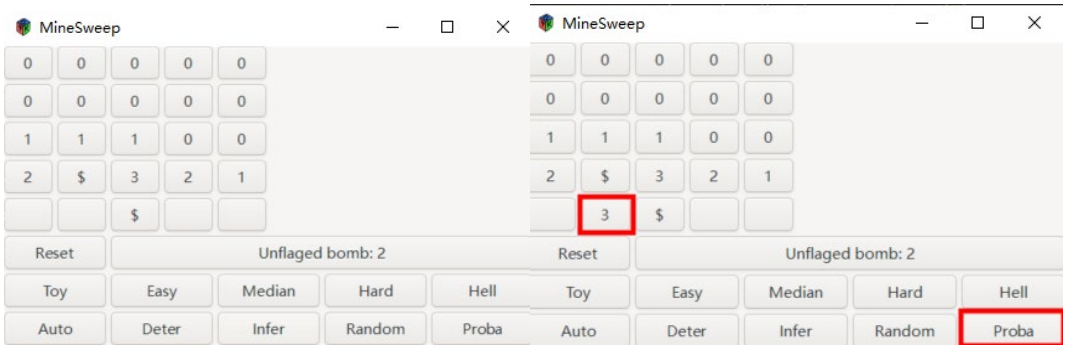
下面左图中的情况使用单格推断无法得到结果，但是多格推断则能得到右边的结果：



2.3.4、概率扫雷

probabilisticMine :: RandomGen g => [[Int]] -> [[Int]] -> g -> [[Int]] 将根据 vgrid 和 sgrid，对当前的轮廓网格进行概率推断，返回更新后的 sgrid。与多格推断的做法类似，会先选取一段轮廓网格，尝试所有可能的状态，最后从所有可能的状态中选出非雷概率最大的网格（这里的概率就是指非雷状态在合法状态中出现的次数）进行 sweep 操作，如果多个网格概率相同则从中随机选一个。

经过分析概率扫雷的操作与随机扫雷大部分情况下相比失败率更大，因为概率扫雷只会考虑轮廓网格（受限于复杂度，本算法还只能考虑 inferenceRange 个的轮廓网格），而随机扫雷会考虑所有 nonVisited 网格。因此在后面综合的自动扫雷算法中遇到单格和多格都无法推断的情况下会采用随机扫雷而非概率扫雷。



2.3.5、自动扫雷

automaticMine :: RandomGen g => [[Int]] -> [[Int]] -> g -> [[Int]] 将根据 vgrid，sgrid 和随机种子，进行综合性的自动扫雷，返回更新后的 sgrid。

自动扫雷算法整合了上面几种自动扫雷的方法，将针对不同情况采用不同的方法。策略如下：

- 首先优先采用单格推断，复杂度中等，且得到的结果一定正确。
- 当单格推断失败（无法更新 sgrid）则进行多格推断，复杂度高于单格推断，但是能够获取的信息更多。
- 当单格和多格推断都失败的时候，进行随机扫雷，复杂度最低，但是有概率失败。

该自动扫雷方法能接近人的最高扫雷能力，和人的唯一区别在于多格推断的时候为了考虑计算复杂度只能考虑部分轮廓网格，而不是全部。但是由于推理过程还是往往局限于临近的一些单元，故该自动扫雷方法已经能达到和人几乎一样的水平了。

2.4、状态判断

在游戏过程中每步操作后都需要对当前状态进行判断，判断当前状态是输、赢还是继续，同时需要进行一些游戏状态的统计来辅助玩家（如剩余炸弹数，剩余没炸弹的网格数量）这些都由函数 evalState :: [[Int]] -> [[Int]] -> IO ()实现。其中又包含 evalWin 和 evalLoss 两个函数来判断是否输赢，输的标准是存在 visited

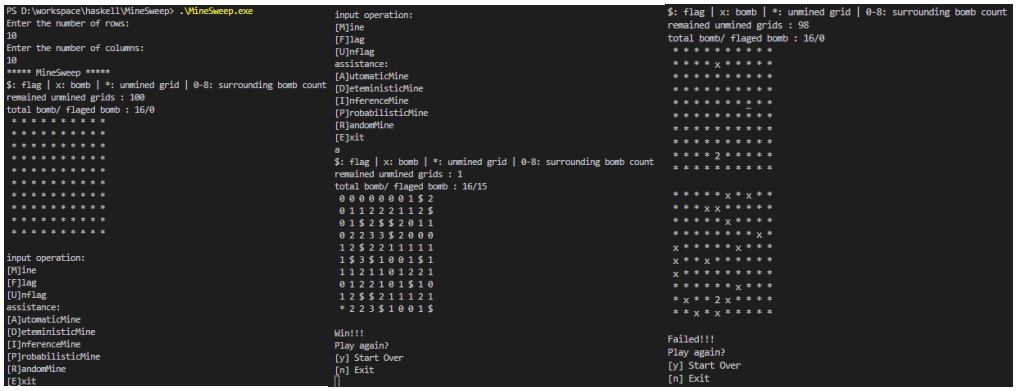
状态的网格数值为-1（炸弹），赢的判断是不存在 nonVisited 状态的非炸弹网格（数值大于等于 0）且没有标记错误的 flag 且没有输。

三、终端与 GUI 界面的实现

3.1、终端模式的实现

为了实现终端版的扫雷游戏，首先定义显示的符号：$为标记的 flag，*为 nonVisited 网格，x 为炸弹，0-8 为网格周围的炸弹数。

为了只显示 visited 和 flag 状态的网格，其余显示'*'，采用函数 maskGrid :: [[Int]] -> [[Int]] -> [[Int]]将根据 vgrid 和 sgrid 生成经过掩膜处理后的数据，再通过自定义的 int2char :: Int -> Char 将整型转换成字符类型便于显示。最后通过 dispGrid :: [[Int]] -> [[Int]] -> IO()函数将其输出到终端中。下图为一个例子：



3.2、GUI 模式的实现

3.2.1、GUI 库

使用 gi-gtk 库进行 GUI 界面的实现。相关的链接和配置过程可见如下链接

gi-gtk: Gtk bindings (haskell.org)

https://github.com/haskell-gi/haskell-gi

Using haskell gi in Windows · haskell-gi/haskell-gi Wiki (github.com)

3.2.2、GUI 实现

将扫雷的网格用 Gtk.Button 类实现。将二维矩阵的 Gtk.Button，绑定在一个 Gtk.Grid 上，通过 Grid 对按键进行管理。

其中按键又分为几类：

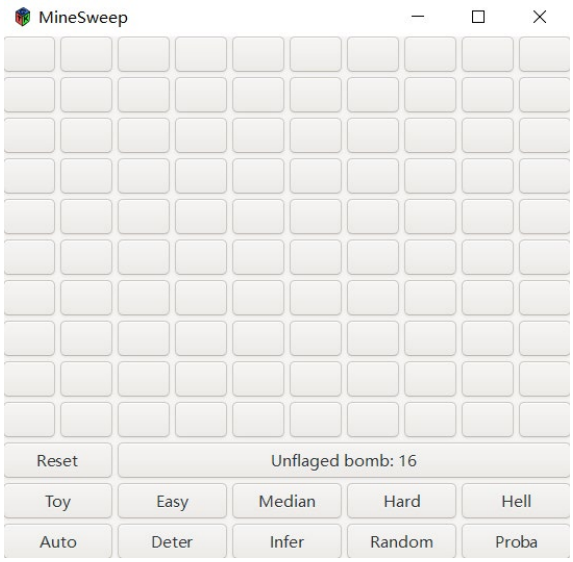
一类是扫雷网格中的普通按键，其回调函数为 gridButtonCallback，会根据该按键当前的状态更新整个地雷网格的按键状态。由于 gi-gtk 中的 Button 只有左键的属性，没有办法通过邮件来标注炸弹，故本游戏的标记炸弹的方法为左键点击一下 nonVisited 的按键，将其转化为 flag 状态，再左键点击一下 flag 状态的按

键则会将其转换成 visited 状态。

一类是重置网格大小（扫雷游戏规模的按键）（Reset，Toy，Easy，Median，Hard，Hell），他们的回调函数是 restartCallBack/scaleCallback，会重置游戏/调整网格的大小以及地雷的数量占比。（Reset 会保留当前网格大小重置游戏，Toy 5x5 网格 0.15 的地雷比例，Easy 10x10 网格 0.15 的地雷比例，Median 15x15 网格 0.16 的地雷比例，Hard 20x20 网格 0.2 的地雷比例，Hell 25x25 网格 0.3 的地雷比例）

最后一类是自动扫雷按钮（Auto，Deter，Infer，Random，Proba），分别对应自动扫雷、单格推断、多格推断、随机扫雷和概率扫雷，其回调函数为 autoMineButtonCallback。同时回调函数中包含一个 string 类型的变量来决定具体的扫雷操作。

此外 GUI 界面还有一个显示当前状态的区域，在游戏过程中会显示剩余炸弹（除去 flag 数量），游戏结束时会显示输赢的状态。



四、文件结构与说明

文件列表

- Util.hs：包含一些功能函数，如生成指定长度统一内容的列表的函数 getUnitList，获得列表最大值的函数 listMax，列表去重复元素函数 unique 等。
- MyRandom.hs：生成随机数的函数，主要有 getR 和 getRList，分别生成一个随机数和一个不重复的有序的随机数列表。
- Grid.hs：包含网格基本操作的函数。
- Mine.hs：包含扫雷基本操作的函数，sweep，setFlag，unsetFlag，automaticMine，deterministicMine，randomMine，inferenceMine，probabilisticMine 等。
- Flow.hs：包含终端版本扫雷的流程控制函数
- MineSweep.hs：包含终端版本扫雷的 main 函数。
- MineSweepGUI.hs：包含 GUI 版本扫雷的流程函数和 main 函数。