

人工智能课程项目报告

使用基于规则的专家系统解决“数墙”谜题

14307130167 蒋骥泽

目录

问题说明1

解题使用的规则2

程序说明5

 程序界面5

 程序代码6

专家系统效果分析7

 解题结果7

 系统的改进8

问题说明

					4
	2			3	
2					
		5			

一个数墙谜题

					4
	2			3	
2					
		5			

完成的数墙谜题

“数墙”谜题是由若干白色小正方形组成的一个矩形，在一些小正方形中有一个正整数。谜题的目的是将部分小正方形涂黑，称为墙，并使谜题最终满足下列要求：

1. 有数字的小正方形必定为白色。
2. 在四连通下，一个由若干白色小正方形组成的连通块内必须有且仅有一个数字，且这个数字等于这个连通块的小正方形数。

					4
	2			3	
2					
		5			

错误的填涂方式，左上角的白色连通块不含数字

3					
3					
					10

错误的填涂方式，一个连通块中有两个数字

3. 在四连通下，被涂黑的小正方形必须刚好为一个连通块。

	3				
	3				
					9

错误的填涂方式，被涂黑的格子未四连通

4. 被涂黑的小正方形不能拼出 2*2 的矩形。

	3				
	3				
					10

错误的填涂方式，红框标记的是一个全为黑色的 2*2 的矩形

一般来说，一个数墙谜题保证了最终有且仅有一个答案。

对于数墙谜题，最终的目的就是得到哪些格子是黑的。同时，假设我们最开始不把所有格子都看作是白的，而是看作未知黑白的，最终目的就是得到每一个格子是黑的还是白的。将每一个格子看作事实，即通过专家系统推理出每一个事实是真的还是假的。而规则即

为我们在做数墙问题进行推理时的推理内容。所以将推理规则总结出来，就可以用基于规则的专家系统来解题。

解题使用的规则

首先，我们通过要求 1 可以得到所有含有数字的格都是白格，而其余格的状态未知。我们需要从这些事实开始推理，得到剩余格子是黑格还是白格的信息。下面的图例中，为了区分已经被确定的白格和未确定的格子，对于已确定是白格的格子会用一个小圆点填充。

1. 白格数量足够，其相邻的格子是墙

首先，在正确推理的情况下，是不会出现一块连通块中有两个及以上的数字的。因此，只要检查含有数字的格子，如果含这个数字的连通块大小和数字一样，那么就可以用黑格将这个连通块包围住。如果其相邻的格子不是墙的话，那么这个连通块的大小就会超过数字，违反要求。

		1
•		
3	•	

左下角的 3 所组成的连通块已经有三个白格了，因此可以推出这个连通块相邻的格子均为黑块

		1
3		

特殊地，当有一个格子的数字是 1 时，它自身就构成了数量足够的连通块。这个格子相邻的块均为黑块

2. 一个格子与两个不属于一个连通块且均含数字的白格相邻，则其为墙

当一个格子和两个含有数字的连通块相邻时，如果这格为白格就会导致一个连通块中含有两个数字，因此必须为墙。

4	•		2
•			

由于灰色格与 2 和 4 的连通块相邻，所以必须为墙

3. 当 2 的非对面两个格子是墙，另两格子同时相邻的格子是墙

如样图所示，2 只有两个方向可以延伸。而不论怎么延伸，运用规则 1 将连通块包围时灰色块都会被作为墙。所以，在这种情况下这格一定是墙。

	2	

2 的对角格是墙

4. 白格数量不足或不含数字，且只有一格可以延伸，那一格是白格

当一个白连通块只有一格可以延伸时，如果这一格是墙的话这个白连通块就会被封闭。如果此时连通块大小和数字不符，或者这个连通块内不含数字都是不合法的，因此在这下情况下那唯一的一个可以延伸的格子是白格。

2		2
•		•

灰色块不是白格的话，数字 2 所在连通块大小就不为 2 了，因此肯定是白格

3	•	•		
				•
	6			•

灰色块不是白格的话，就会出现有白连通块不拥有数字，新词肯定是白格

5. 墙连通块只有一格可以延伸，那一格是墙

由于墙必须要连通，所以只有一格可以延伸时必须延伸。

2	•		
			3
2	•		

灰色格不为墙的话，两个 2 之间的墙就会被完全包住。因此必为墙

6. 2x2 里三格是墙，剩下的是白格

由于要求了墙不能组成 2x2 的方块，所以如果出现有一个 2x2 的方块中有三格墙了，那么剩下的一格一定是白格。

7	•	•	•
•			
•		•	2
•			

如果灰色格为墙的话会形成 2x2 的墙方块，因此其为白格

7. 没有数字可以延伸到，那一格是墙

由于任何白格所在的连通块都必须有数字，如果目前没有一个数字能够延伸到某一个格子，那么这个格子显然只能是墙。

		4	•		

4 所在连通块还能往外延伸两格，无法延伸到灰色的部分，因此那些部分均为墙

8. 当数字的非对面两个格子是墙，另两格子同时相邻的那个格子相邻有数字，则其为墙

这条规则与规则 3 原理相似。如样图，可以发现 3 必定要往上方或者右方之一延伸。而不论朝哪个方向延伸，根据规则 2，灰色格子会和两个都有数字的白色连通块相邻。因此灰色的格子必定是墙。

		2
3		

3 的对角格是墙

9. 一格与其他白格八连通后会将已有墙分隔，则其为墙

由于墙必须连通，如果某一格和白块在八连通的情况下，可以形成从边界经由白格和此格到另一个边界的路径，且由该路径切成两块的区域中都含有墙，那么显然这样两边的墙就没有办法在四连通的情况下形成一个连通块了。因此，枚举的这一格一定是墙。

			•	5
5	•			

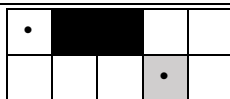
灰色的格子通过左下和右上的白格可以分割谜题，这两边的黑块

不可能成为一个连通块，因此灰色格为墙

10. 一格与墙八连通后会将已有白格与所有数字分隔，则其为白格

与规则 9 类似，只是这次被分割的是白格。白格与墙不同，并不需要全部连通。但是白格连通块必须包含恰好一个数字，如果这个分割导致了某些白格无法连向任何数字了，那么这个格子一定是白格。

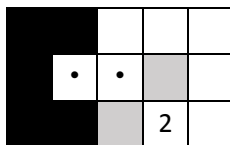
		8	
--	--	---	--



灰色格子和墙通过八连通可以将左边的白格和所有数字隔离，因此这个格子必须是白格

11. 一格相邻于多个不连通白格，其中一连通块含数字，若这些块格数和大于等于数字，则其为黑格

由于每个连通块的大小需要和其包含的数字一样大，所以当前连通块的大小是肯定不能超过这个块包含的数字的。而当这个块向外延伸时，可能并入一些不包含数字的块，那么如果并入后会导致块的大小超过限制，就说明这个不包含数字的块属于另外一个白连通块，需要和当前的连通块隔开。

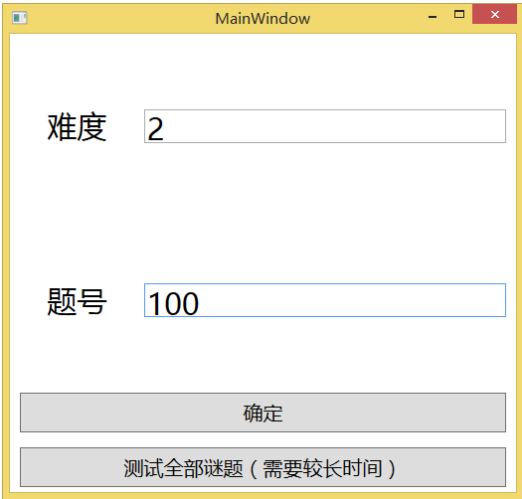


如果灰色块是白格，数字 2 所在的连通块至少有 4 的大小，违反要求，因此是墙

程序说明

程序界面

程序运行与 Windows 环境，需要.NET Framework 4.0。



主界面，输入难度和题号点确定可以选择一个题。难度为 2-7 之间，数字越大越难。题目共有 7400 题左右，除了难度 2 的题目较少外其余难度基本为 1000-1500 题。点击测试全部谜题则会将全部谜题进行一遍测试，并给出综合结果。综合结果可在之后的数据分析看到。测试期间难度和题号会发生变化，表示目前测试到的难度和题号，以便估计还需要多久。



如果选择一道题，会进入做题界面。

如果想要人工做题只要点击对应格子，就可以改变这个格子的状态，是未知、墙还是白格。

点错了可以使用上方的撤销和恢复来还原状态。

做到一半想重做的话点击重做就可以清空答案。

点击检查可以告诉你目前已经填上黑色和白色的格子有多少填错的。

点击解答可以直接显示答案。

点击使用专家系统进行一步推理，会调用专家系统对目前状态进行推理，并确定一个格子是黑的还是白的并填涂。同时，会在最下方给出根据哪条规则，将哪个格子涂成了什么颜色。

点击使用专家系统解题，就会反复调用专家系统解题，直到解不出来为止。

人工做题和专家系统是可以穿插的，通过专家系统解题到解不出来后，可以人工标注一些通过另外方法获得的答案，然后可以继续利用专家系统解题。

程序代码

`data` 文件夹存储了所有谜题的 `xml` 数据。`Nurikabe` 文件夹中为程序代码。`Nurikabe.exe` 为主程序，需和 `data` 文件夹处于同一目录不然不能正确读取谜题数据。

`MainWindow.xaml(.cs)` 为主界面代码

`ShowPuzzle.xaml(.cs)` 为做题界面的代码

`Puzzlemap.cs` 为维护目前谜题状态（如完成情况，标准答案，每一步的操作等）的类定义

`exsys.cs` 为专家系统的知识和推理相关的代码

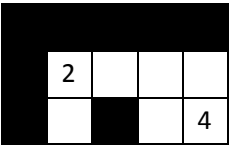
专家系统效果分析

解题结果

使用专家系统对谜题库中所有题目的解答尝试结果如下：



可以看出，前两个难度的题目拥有一定的解出率，从难度 4 开始就几乎无法解出题目了。观察解出的方块数也可以得到差不多的结论，前两个难度的题目方块解出率有约 90%和 70%，说明只有少量的状态无法继续推理。而到后面的谜题解出率降到 30%以下，仅仅是简单的一些推理后专家系统就无法继续了。导致这个的原因之一是专家系统目前还不够“专家”，存在一些知识没有被专家系统获得。但是我认为这个谜题的一些高级技巧和一些情况很难总结成规则也是一个原因。



上图即为难度 2 编号 100 的题目最终无法推理的部分。稍加思索我们可以发现 2 的右边

一格应该是墙，然后谜题就解决了。但是为什么那格是墙很难写成规则。我们的思路很可能是“如果这一格是白格，那么可以发现这是无解的，所以这一格应该是墙”。这在专家系统中是一种后向链接推理技术。然而，在专家系统中后向推理一般需要少量规则导向这个结论，且规则比较明确。在这里，虽然仅有 11 条规则，但是很多规则的前提都是类似“连通块”，“八连通”等概念性的前提，进行后向链接推理很困难。

系统的改进

由于上述的复杂情况，如果想解出更多的题目，我觉得最好的方法是不局限于专家系统。在出现专家系统无法继续的时候，可以使用类似搜索的方法，对于一些可能比较关键的没有推出是黑是白的格子进行猜测黑白，同时猜测后立即使用专家系统进行若干推理。如果发现这个猜测在经过若干推理后导致了矛盾，那么就说明这个猜测是错误的。这是将专家系统和搜索结合起来，比起漫无目的的胡乱搜索，在专家系统的辅助下可以在相当于搜索一个格子后得到大量格子的情况，大大降低了搜索的复杂度，提高效率。