

基于有穷自动机的智能家居语音指令解析系统设计

1 引言

《形式语言与自动机》是计算机科学的重要理论基础，它通过抽象数学模型帮助我们理解与构建计算系统。随着人工智能与物联网技术的发展，智能家居场景已日益普及，用户通过语音指令控制家中设备成为趋势。然而，现有语音识别系统多依赖于复杂的深度学习模型，对资源有较高要求，难以在边缘设备上部署。

本项目尝试利用形式语言与自动机中的确定有穷状态自动机（DFA），构建一个可解释、结构清晰的智能家居语音指令解析模型。该系统能够验证用户输入指令是否满足预设语法结构，从而实现语义合法性的判断。这一设计不仅体现了形式语言理论的工程实践价值，也展示了自动机模型在新兴领域中的应用潜力。

2 问题描述

在智能家居环境中，用户通过语音或文本发出操作指令，如“打开卧室的灯”、“关闭客厅的空调”等。这些指令大多具备相对固定的语法模式。

本系统的目标是识别并验证一类结构固定的语音指令，其语法形式为：

动作 + 地点 + 的 + 设备

系统需判断输入的指令是否符合该语法结构与词汇限定。可识别的词汇如下：

- 动作词：** 打开、关闭
- 地点词：** 客厅、卧室
- 连接词：** 的
- 设备词：** 灯、风扇、空调

合法指令示例：

- 打开客厅的灯
- 关闭卧室的空调

非法指令示例：

- 打开灯（缺地点）
- 客厅的灯打开（语序错误）
- 打开书房的灯（地点词不在词表）

3 解决方案

我们使用**确定有穷状态自动机（DFA）**模型完成该解析器的设计。该 DFA 顺序读取输入的每一个词，并根据语法规则在状态间跳转。若最终到达接受状态，则说明指令合法。

3.1 DFA五元组定义

自动机 $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ ，具体定义如下：

- **Q (状态集合) :**
 - q_0 : 初始状态
 - q_1 : 识别动作词后状态
 - q_2 : 识别地点词后状态
 - q_3 : 识别连接词“的”后状态
 - q_4 : 识别设备词后的终态 (接受状态)
 - q_{err} : 非法状态 (任意非法转移落入)
- **Σ (输入符号集) :**
{ "打开", "关闭", "客厅", "卧室", "的", "灯", "风扇", "空调" }
- **q_0 :** 初始状态
- **F (终态集合) :** { q_4 }
- **δ (状态转移函数) :**

当前状态	输入词汇	下一个状态
q_0	打开	q_1
q_0	关闭	q_1
q_1	客厅	q_2
q_1	卧室	q_2
q_2	的	q_3
q_3	灯	q_4
q_3	风扇	q_4
q_3	空调	q_4

其余所有未定义转移： $\delta(q, x) = q_{err}$

3.2 状态转移图说明

你可根据上述五元组绘制 DFA 状态图（建议使用如 draw.io、LaTeX TikZ、Visio 等工具）。图示包括：

- 起点箭头指向 q_0 ；
- 每个状态用圆圈表示，终态 q_4 用双圈；
- 箭头标注每个词汇对应的转移；
- 所有非法路径统一省略，但在文中说明存在 q_{err} 吸收非法输入。

4 课程收获与感悟

通过本次大作业，我们深刻感受到形式语言与自动机理论在实际场景中的应用潜力。

首先，该设计将“语音指令解析”这一现实问题简化为“模式匹配与验证”的抽象模型。通过 DFA 对指令进行合法性判定，我们掌握了如何将自然语言交互形式化为有限状态过程。

其次，本项目让我们体会到 DFA 的优势与局限。它高效、易实现，适合对输入有明确结构要求的系统。但它也无法应对自由语序、词义泛化等更复杂语言现象，这促使我们思考如何将更高级的自动机模型（如NFA、PDA）或机器学习方法与之结合。

最后，我们通过团队协作完成本设计，在分工协作、理论建模、系统抽象等方面都获得了宝贵的经验，为后续科研或工程实践打下良好基础。

5 工作量描述

姓名	工作内容	自评分（10分）
王小明（组长）	统筹项目进度与分工，设计DFA结构，撰写五元组与状态图说明	10
李华	设计系统输入词汇集，撰写问题描述与语法规则	9
张伟	制作状态转移图，撰写课程收获与总结	9

是否需要我为你生成 `.docx` 格式的 Word 文档来正式提交？或者嵌入图像的 DFA 状态图？我都可以继续为你完成。