

引言

《形式语言与自动机》是计算机科学的理论基石，它为我们理解和设计计算过程提供了强大的数学工具。随着人工智能和物联网（IoT）技术的飞速发展，智能家居系统已成为一个重要的新兴领域。在智能家居场景中，如何让机器准确、高效地理解人类的指令，是人机交互的核心问题。目前主流的解决方案依赖于复杂的自然语言处理（NLP）模型，但对于许多结构固定的简单指令，运用形式语言与自动机理论构建一个轻量级的解析器，不仅在计算效率上具有优势，更能体现计算机科学理论的实践价值。本项目旨在结合理论深度与应用场景，设计一个基于有穷状态自动机的智能家居指令解析系统，通过该系统验证特定格式指令的合法性，从而加深对自动机理论的理解与应用。

2 问题描述

在典型的智能家居环境中，用户需要通过语音或文字指令控制家中的设备，如灯、空调、风扇等。这些指令通常具有相对固定的结构。本设计旨在解决对这类指令的有效性验证问题。

我们定义了一个简化的指令集，其语法规则可以概括为“动作 + 地点 + 的 + 设备”的结构。系统需要判断输入的指令字符串是否符合该预定语法。

具体要求如下：

- 可识别的动作词汇：“打开”、“关闭”
- 可识别的地点词汇：“客厅”、“卧室”
- 连接词：“的”（作为语法结构的一部分）
- 可识别的设备词汇：“灯”、“风扇”、“空调”

合法的指令示例：

- 打开客厅的灯
- 关闭卧室的风扇

不合法的指令示例：

- 打开灯 (缺少地点)
- 客厅的灯打开 (语序错误)
- 关闭书房的灯 (包含未定义的地点词汇“书房”)

系统的核心任务是构建一个自动机，该自动机接受所有合法的指令字符串，并拒绝所有不合法的字符串。

3 解决方案

为了解决上述问题，我们选择构建一个确定性有穷自动机（DFA），因为它能完美地匹配这种具有固定结构和有限词汇的规则文法。该DFA将顺序读取指令中的词汇，并根据预设的转移规则在不同状态间跳转，最终根据停止时的状态判断指令是否合法。

3.1 五元组数学定义

我们将指令解析DFA定义为五元组 $M=(Q,\Sigma,\delta,q_0,F)$:

- Q : 状态的有限集合。
 - q_0 : 初始状态, 等待输入。
 - q_1 : 接收到合法的“动作”词汇。
 - q_2 : 接收到合法的“地点”词汇。
 - q_3 : 接收到合法的连接词“的”。
 - q_4 : 接收到合法的“设备”词汇, 为终态 (接受状态)。
 - q^{**err} : 错误状态, 一旦进入则表示输入串非法。
- Σ : 输入字母表的有限集合, 即我们的系统词汇库。
 - $\Sigma=\{\text{"打开"},\text{"关闭"},\text{"客厅"},\text{"卧室"},\text{"的"},\text{"灯"},\text{"风扇"},\text{"空调"}\}$
- q_0 : 初始状态, $q_0 \in Q$ 。
- F : 终态 (接受状态) 的集合。
 - $F=\{q_4\}$
- δ : 转移函数, $\delta:Q \times \Sigma \rightarrow Q$, 定义如下 (为简洁起见, 所有未明确定义的转移均指向 q^{**err} 状态):
 - $\delta(q_0,\text{"打开"})=q_1$
 - $\delta(q_0,\text{"关闭"})=q_1$
 - $\delta(q_1,\text{"客厅"})=q_2$
 - $\delta(q_1,\text{"卧室"})=q_2$
 - $\delta(q_2,\text{"的"})=q_3$
 - $\delta(q_3,\text{"灯"})=q_4$
 - $\delta(q_3,\text{"风扇"})=q_4$
 - $\delta(q_3,\text{"空调"})=q_4$

3.2 状态转移图

根据上述五元组定义, 我们可以构建如下的状态转移图。图中, 开始状态以箭头指示, 接受状态 (终态) 以双圈表示。所有图中未画出的转移路径均默认指向一个汇点“错误状态” (q^{**err}), 为使图形清晰, 该状态及相关路径已省略。

<https://i.imgur.com/gK49sKq.png>

4 课程收获与感悟

通过本次大作业, 我们深刻体会到了理论与实践相结合的乐趣与挑战。在学习《形式语言与自动机》课程时, 五元组、状态转移图等概念或许有些抽象, 但当我们将它们应用于解决一个实际问题时, 这些理论知识立刻变得生动和具体起来。

首先, 我们认识到“计算思维”的本质是将复杂问题进行抽象、简化和形式化的过程。面对“自然语言理解”这样一个宏大的人工智能课题, 我们通过限定语法和词汇, 将其简化为一个有穷自动机可以解决的模式匹配问题。这个过程让我们明白了在工程实践中, 如何根据现实约束选择合适的技术模型。

其次，本次设计加深了我们对有穷自动机局限性的理解。我们设计的DFA虽然高效，但其“刚性”也显而易见。它无法处理同义词（如“开启”与“打开”），无法应对语序颠倒（如“把客厅的灯打开”），更无法理解上下文或进行推理。这让我们意识到，要实现更强大、更鲁棒的自然语言交互，就需要引入下推自动机、图灵机乃至更复杂的机器学习和深度学习模型。有穷自动机是这条技术路径的起点，为我们后续的学习打下了坚实的基础。

最后，团队合作是本次项目成功的关键。从确定选题、界定问题，到设计自动机、撰写报告，每个环节都凝聚了团队成员的智慧和努力。我们学会了如何分工协作，如何进行有效的技术讨论，这对于未来的学习和工作都是宝贵的经验。

5 工作量描述

本项目由团队成员共同协作完成，具体分工如下：

- **王小明 (组长)**：负责项目的整体规划与协调。主导了核心技术方案的设计，完成了DFA的五元组数学定义和状态转移逻辑的构建。撰写了报告的“引言”、“解决方案”和“工作量描述”部分。自我打分：10/10。
- **李华 (组员)**：负责前期调研，收集和分析了智能家居领域的应用场景。定义了系统的词汇表（字母表 Σ ）和语法规则。撰写了报告的“问题描述”部分，并对全文进行了校对和润色。自我打分：9/10。
- **张伟 (组员)**：负责将DFA的转移函数进行可视化，使用绘图工具制作了规范的状态转移图。撰写了“课程收获与感悟”部分，总结了项目经验与个人理解。自我打分：9/10。