

# DFA 用于设计人工智能助理

180400715—杨卓宸

Frank Young

---

摘要:

随着智能手机, 智能平板电脑等个人设备的普及和人工智能, 物联网的高速发展, 人工智能助理 (Intelligent Personal Assistant) 普及大众。相信如今每个人的手机中, 或多或少都会有不同品牌, 不同商家出品的各式各样的人工智能助理, 例如 Apple 的 Siri, Microsoft 的 Cortana, Google 的 Google Now 等, 而随着物联网的普及, 专注于人工智能的设备也随之兴起, 例如小米的小爱同学, 阿里的天猫精灵等等。人工智能助理虽然需要依托互联网和大数据, 语音识别等高端算法, 但是溯其本源, 其依然需要利用有穷状态自动机进行状态转换和识别。为了更深入了解人工智能助理的工作原理, 我设计了一套可以读取语音并进行分析功能的 IPA。

## 1. 基本介绍

假设 IPA 可接受的语音类型可分为三种: 使用者提出的问题, 使用者提出的命令和使用者的日常闲聊。问题可以细分为两种具体问题: 寻找歌曲播放, 查询当地天气。指令可以细分为三种具体指令: 关机, 恢复播放歌曲, 暂停播放歌曲。对话可以细分为两种具体对话: 打招呼, 背诵古诗。根据 IPA 的需求分析, 我们将 IPA 的整个过程看作是一个有限状态自动机, 表示为  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ 。

## 2. 人工智能助理的 DFA 设计

### 2.1 DFA 状态集

设计一组状态  $Q$ ，表示在 IPA 的整个工作周期的所有状态，共 15 个。

$Q = \{ q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}, q_{13}, q_{14} \};$

$q_0$ ——开机状态（初始状态）

$q_8$ ——识别到播放状态

$q_1$ ——等待语音输入状态

$q_9$ ——识别到暂停状态

$q_2$ ——输入问题状态

$q_{10}$ ——识别到对话你好状态

$q_3$ ——输入命令状态

$q_{11}$ ——识别到对话背古诗状态

$q_4$ ——输入对话状态

$q_{12}$ ——识别到古诗名状态

$q_5$ ——识别到查找状态

$q_{13}$ ——语音播报状态

$q_6$ ——识别到歌名状态

$q_{14}$ ——关机状态（终止状态）

$q_7$ ——识别到当地天气状态

### 2.2 输入字母表

设计输入字母表  $\Sigma$ ，表示所有输入的状态情况，共 14 个。

$\Sigma = \{ a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, s, w, n, o \};$

$a$ ——唤醒设备

$f$ ——歌名

$s$ ——背古诗

$b$ ——问题

$g$ ——当地天气

$w$ ——古诗名

$c$ ——指令

$h$ ——播放

$n$ ——语音播报

$d$ ——对话

$i$ ——暂停

$o$ ——关机

$e$ ——查找

$j$ ——你好

## 2.3 开始状态和终止状态

将 IPA 的开机状态作为初始状态，表示为  $q_0$ ；

将 IPA 的关机状态作为终止状态，表示为  $q_{14}$ 。

## 2.4 DFA 的传递函数

将 IPA 的状态的操作和变化用状态转移函数表示，共有 210 个。

**$\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$** ，对  $\forall (q, a) \in Q \times \Sigma$ ， $\delta(q, a) = p$ ， $M$  在状态  $q$  读入字符  $a$ ，将状态变成  $p$ ，并将读头向右移动一个带方格而指向输入字符串的下一个字符。

$\delta(q_0, a) = q_1$	$\delta(q_1, b) = q_2$	$\delta(q_2, c) = q_3$	$\delta(q_3, d) = q_4$
$\delta(q_0, b) = q_0$	$\delta(q_1, c) = q_3$	$\delta(q_2, d) = q_4$	$\delta(q_3, e) = q_5$
$\delta(q_0, c) = q_0$	$\delta(q_1, d) = q_4$	$\delta(q_2, e) = q_5$	$\delta(q_3, f) = q_3$
$\delta(q_0, d) = q_0$	$\delta(q_1, e) = q_1$	$\delta(q_2, f) = q_2$	$\delta(q_3, g) = q_3$
$\delta(q_0, e) = q_0$	$\delta(q_1, f) = q_1$	$\delta(q_2, g) = q_2$	$\delta(q_3, h) = q_8$
$\delta(q_0, f) = q_0$	$\delta(q_1, g) = q_1$	$\delta(q_2, h) = q_2$	$\delta(q_3, i) = q_9$
$\delta(q_0, g) = q_0$	$\delta(q_1, h) = q_1$	$\delta(q_2, i) = q_2$	$\delta(q_3, j) = q_3$
$\delta(q_0, h) = q_0$	$\delta(q_1, i) = q_1$	$\delta(q_2, j) = q_2$	$\delta(q_3, s) = q_3$
$\delta(q_0, i) = q_0$	$\delta(q_1, j) = q_1$	$\delta(q_2, s) = q_2$	$\delta(q_3, w) = q_3$
$\delta(q_0, j) = q_0$	$\delta(q_1, s) = q_1$	$\delta(q_2, w) = q_2$	$\delta(q_3, n) = q_3$
$\delta(q_0, s) = q_0$	$\delta(q_1, w) = q_1$	$\delta(q_2, n) = q_2$	$\delta(q_3, o) = q_{14}$
$\delta(q_0, w) = q_0$	$\delta(q_1, n) = q_1$	$\delta(q_2, o) = q_2$	$\delta(q_4, a) = q_1$
$\delta(q_0, n) = q_0$	$\delta(q_1, o) = q_{14}$	$\delta(q_3, a) = q_1$	$\delta(q_4, b) = q_2$
$\delta(q_0, o) = q_0$	$\delta(q_2, a) = q_1$	$\delta(q_3, b) = q_2$	$\delta(q_4, c) = q_3$
$\delta(q_1, a) = q_1$	$\delta(q_2, b) = q_2$	$\delta(q_3, c) = q_3$	$\delta(q_4, d) = q_4$

$\delta(q4, e) = q5$	$\delta(q6, a) = q1$	$\delta(q7, s) = q7$	$\delta(q9, g) = q9$
$\delta(q4, f) = q4$	$\delta(q6, b) = q6$	$\delta(q7, w) = q7$	$\delta(q9, h) = q8$
$\delta(q4, g) = q4$	$\delta(q6, c) = q6$	$\delta(q7, n) = q13$	$\delta(q9, i) = q9$
$\delta(q4, h) = q4$	$\delta(q6, d) = q6$	$\delta(q7, o) = q7$	$\delta(q9, j) = q10$
$\delta(q4, i) = q4$	$\delta(q6, e) = q5$	$\delta(q8, a) = q1$	$\delta(q9, s) = q11$
$\delta(q4, j) = q10$	$\delta(q6, f) = q6$	$\delta(q8, b) = q8$	$\delta(q9, w) = q12$
$\delta(q4, s) = q11$	$\delta(q6, g) = q5$	$\delta(q8, c) = q8$	$\delta(q9, n) = q9$
$\delta(q4, w) = q12$	$\delta(q6, h) = q8$	$\delta(q8, d) = q8$	$\delta(q9, o) = q14$
$\delta(q4, n) = q4$	$\delta(q6, i) = q6$	$\delta(q8, e) = q8$	$\delta(q10, a) = q1$
$\delta(q4, o) = q4$	$\delta(q6, j) = q6$	$\delta(q8, f) = q8$	$\delta(q10, b) = q10$
$\delta(q5, a) = q1$	$\delta(q6, s) = q6$	$\delta(q8, g) = q8$	$\delta(q10, c) = q10$
$\delta(q5, b) = q5$	$\delta(q6, w) = q6$	$\delta(q8, h) = q8$	$\delta(q10, d) = q10$
$\delta(q5, c) = q5$	$\delta(q6, n) = q13$	$\delta(q8, i) = q9$	$\delta(q10, e) = q10$
$\delta(q5, d) = q5$	$\delta(q6, o) = q6$	$\delta(q8, j) = q8$	$\delta(q10, f) = q10$
$\delta(q5, e) = q5$	$\delta(q7, a) = q1$	$\delta(q8, s) = q8$	$\delta(q10, g) = q10$
$\delta(q5, f) = q6$	$\delta(q7, b) = q7$	$\delta(q8, w) = q8$	$\delta(q10, h) = q10$
$\delta(q5, g) = q7$	$\delta(q7, c) = q7$	$\delta(q8, n) = q13$	$\delta(q10, i) = q10$
$\delta(q5, h) = q5$	$\delta(q7, d) = q7$	$\delta(q8, o) = q8$	$\delta(q10, j) = q10$
$\delta(q5, i) = q5$	$\delta(q7, e) = q5$	$\delta(q9, a) = q1$	$\delta(q10, s) = q10$
$\delta(q5, j) = q5$	$\delta(q7, f) = q7$	$\delta(q9, b) = q9$	$\delta(q10, w) = q10$
$\delta(q5, s) = q11$	$\delta(q7, g) = q7$	$\delta(q9, c) = q9$	$\delta(q10, n) = q13$
$\delta(q5, w) = q12$	$\delta(q7, h) = q7$	$\delta(q9, d) = q9$	$\delta(q10, o) = q10$
$\delta(q5, n) = q5$	$\delta(q7, i) = q7$	$\delta(q9, e) = q9$	$\delta(q11, a) = q1$
$\delta(q5, o) = q5$	$\delta(q7, j) = q7$	$\delta(q9, f) = q9$	$\delta(q11, b) = q11$

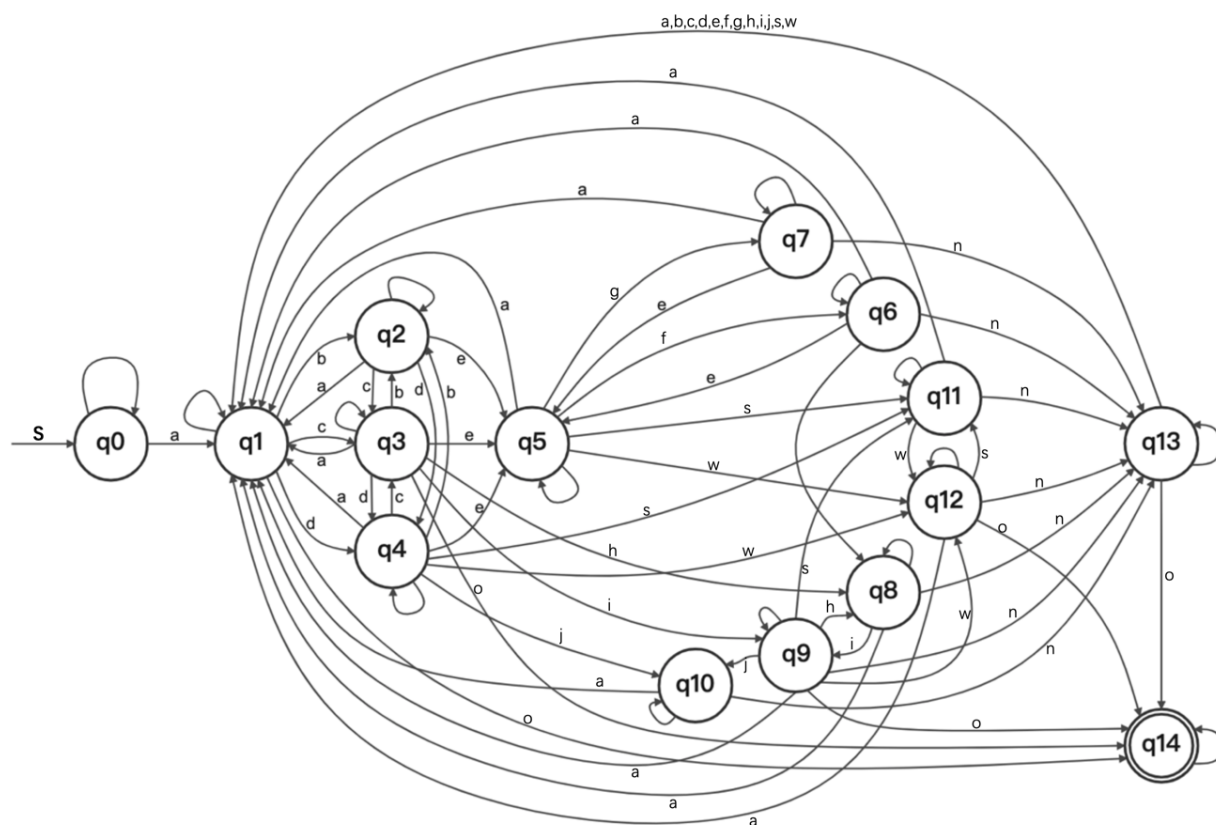
$\delta(q11, c) = q11$	$\delta(q12, c) = q12$	$\delta(q13, c) = q1$	$\delta(q14, c) = q14$
$\delta(q11, d) = q11$	$\delta(q12, d) = q12$	$\delta(q13, d) = q1$	$\delta(q14, d) = q14$
$\delta(q11, e) = q11$	$\delta(q12, e) = q12$	$\delta(q13, e) = q1$	$\delta(q14, e) = q14$
$\delta(q11, f) = q11$	$\delta(q12, f) = q12$	$\delta(q13, f) = q1$	$\delta(q14, f) = q14$
$\delta(q11, g) = q11$	$\delta(q12, g) = q12$	$\delta(q13, g) = q1$	$\delta(q14, g) = q14$
$\delta(q11, h) = q11$	$\delta(q12, h) = q12$	$\delta(q13, h) = q1$	$\delta(q14, h) = q14$
$\delta(q11, i) = q11$	$\delta(q12, i) = q12$	$\delta(q13, i) = q1$	$\delta(q14, i) = q14$
$\delta(q11, j) = q11$	$\delta(q12, j) = q12$	$\delta(q13, j) = q1$	$\delta(q14, j) = q14$
$\delta(q11, s) = q11$	$\delta(q12, s) = q11$	$\delta(q13, s) = q1$	$\delta(q14, s) = q14$
$\delta(q11, w) = q12$	$\delta(q12, w) = q12$	$\delta(q13, w) = q1$	$\delta(q14, w) = q14$
$\delta(q11, n) = q13$	$\delta(q12, n) = q13$	$\delta(q13, n) = q1$	$\delta(q14, n) = q14$
$\delta(q11, o) = q11$	$\delta(q12, o) = q14$	$\delta(q13, o) = q14$	$\delta(q14, o) = q14$
$\delta(q12, a) = q1$	$\delta(q13, a) = q1$	$\delta(q14, a) = q14$	
$\delta(q12, b) = q12$	$\delta(q13, b) = q1$	$\delta(q14, b) = q14$	

## 2.5 DFA 的状态转换图

将 IPA 的状态的操作和变化用状态转换图表示。

q0 为开始状态，q14 为终止状态。

（自转状态上的字符省略标注，其上字符为此状态未标注出度的所有字符）



### 3. 人工智能助理的语音识别处理过程

针对人工智能助理的语音识别处理过程，在我查阅相关论文和研究资料后，我将其分为六大处理模块：接收分类指令模块、查询天气歌曲功能模块、播放暂停控制功能模块、日常对话交流功能模块、语音播报模块、关机模块。

此次 DFA 的设计，我采用了新式设计。取消陷阱状态，将不应出现的状态进行自旋，允许其部分出错。在某个功能模块出现故障不断自旋时，可以通过输入新语音指令打断当前所有执行操作，跳转到新操作，以此解决可能出现的机器故障，保障机器可以一直保持正常状态运行。

#### 3.1 接收分类指令模块

接收分类指令模块包含等待语音输入状态  $q_1$ 、问题状态  $q_2$ 、命令状态  $q_3$ 、对话状态  $q_4$ 。

在人工智能助理开机状态  $q_0$  下，识别到新语音，即进入接收分类指令模块。在  $q_1$  状态下，当外设对语音指令  $a$  进行识别后，将指令分为三大类：问题指令  $b$ ，命令指令  $c$ ，对话指令  $d$ 。进行语音指令分类后可以进入下一状态。用户可以在任意状态（关机状态除外）通过输入新语音指令，来打断当前任何操作，进行新语音的识别处理。 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$  状态之间也可以通过指令分类的修正，更改进行相互转换，以此确保指令能够正确分类并继续识别执行下去。

#### 3.2 查询天气歌曲功能模块

查询天气歌曲功能模块包括查找状态  $q_5$ ，歌曲名查询状态  $q_6$ ，当地天气查询状态  $q_7$ 。

在问题状态  $q_2$ 、命令状态  $q_3$  和对话状态  $q_4$  下，识别到查找关键字  $e$ ，进入查找状态  $q_5$ 。查找状态可以接收歌曲名  $f$ ，当地天气关键字  $g$ ，进入相应的天气、歌曲查询功能状态。

查询天气歌曲功能模块的所有功能状态不允许识别关机关键字  $o$  转换到终止状态。

### 3.3 播放暂停控制功能模块

播放暂停控制功能模块包含播放状态 q8、暂停状态 q9。

播放暂停控制功能模块可以通过 q3 状态识别播放关键字 h、暂停关键字 i，直接进入播放状态 q8、暂停状态 q9，也可以通过 q6 状态，查找成功自动播放歌曲后，识别暂停关键字 i 进入暂停状态。

播放状态和暂停状态之间也可以通过识别相应关键字 h、i 互相转换。

播放暂停控制功能模块的暂停状态 q9 允许识别关机关键字 o 转换到终止状态，其余状态不允许转换。

### 3.4 日常对话交流功能模块

日常对话交流功能模块包含对话你好状态 q10、对话背古诗状态 q11、古诗名状态 q12。

日常对话交流功能模块可以通过 q4 对话状态识别你好关键字 j、古诗名关键字 w、背古诗关键字 s 直接进入 q10、q11、q12 状态进行相应功能的实现。

其次，可以通过查找状态 q5 识别关键字 s、w 进入古诗相关状态。

最终，也可以通过暂停状态 q9 识别关键字 i、s、w 进入相对应的功能状态。

日常对话交流功能模块的部分功能状态允许识别关机关键字 o 跳转到终止状态。

### 3.5 语音播报模块

语音播报模块包含语音播报状态 q13，是每个功能（播放功能除外）最终实现并对外输出的唯一手段。在每个功能状态成功实现功能后，需要识别命令输入的关键字 n 进入语音播报状态，将对应功能进行播报输出。

语音播报模块允许识别关机关键字 o 跳转到终止状态。这是问题指令转换到关机状态的唯一途径。



## 3.6 关机模块

关机模块是此次设计的 DFA 的唯一终止状态，仅包含关机状态 q14。

设计规定，关机状态只能通过等待语音输入状态 q1、命令状态 q3、暂停状态 q9、部分对话状态 q12、语音识别状态 q13，这五个状态进行转换。

## 4. DFA 设计总结

通过对智能语音助理对语音指令处理的过程的模拟实现，我更深入的了解了人工智能的工作原理和有穷状态自动机的实现过程。此次论文我模拟的仅仅是一部分可实现的功能和指令，已经如此复杂庞大，更别说其他成熟的市面推广的智能语音助理了。相信这次形式语言自动机大作业，对我以后的工作和学习有着很大的帮助。

### 参考资料

- [1] 引用《智能管家:个人智能助理的定义与未来探究》，作者：齐凯隆，来源：创产科技有限公司，2020.03.063, 42(2): 115-122.
- [2] 引用《人工智能助理能力等级评估团体标准解读》，作者：彭黔平 1、江洁羽 2，来源：1. 杭州方得智能科技有限公司 2. 浙江成功软件开发有限公司，2020 110(10):1532–1536.
- [3] 引用《人工智能的发展与应用简述》，作者：付皓、卢燕青、桂烜、刘大方，来源：中国电信股份有限公司广东研究院、中国电信股份有限公司、广东研究院终端研发中心中国电信集团公司市场部，271: 372-376.
- [4] 引用《小音，我想听首抒情歌！——“IT 生存法则”之智能语音助手》，作者：高洪福，来源：清华大学，2019:1624–1630.
- [5] Atieh Poushneh. Humanizing voice assistant: The impact of voice assistant personality on consumers' attitudes and behaviors. California State University-Bakersfield, School of Business and Public Administration, Management and Marketing Department, USA, 104(10), 2020.102283:1597–1600.