

# 基于有限状态自动机极小化的 Web 应用系统测试

王琳琳<sup>1</sup>, 刘耀军<sup>2</sup>

(1. 太原科技大学计算机科学与技术学院, 太原 030024;

2. 太原师范学院计算机科学与技术系, 太原 030012)

**摘 要:** 有限状态自动机可以描述软件的行为, 将 Web 应用系统转化成有限状态自动机的模型, 该模型可以作为设计测试用例以及判定输出结果是否正确的基础。因此测试的问题转化成了检验自动机状态转移是否符合要求的问题。利用有限状态机的极小化理论方法, 可以降低 Web 应用系统模型的状态空间规模, 从而达到简化测试的目的。

**关键词:** 自动机; 极小化; Web 应用系统; 测试

**中图分类号:** TP311.5 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1673-2057.2017.01.003

随着 IT 基础设施建设的飞速发展, 瘦客户端逐渐成为计算机工业发展的一个趋势, Web 应用系统逐渐代替现有的运行在个人 PC 端的胖客户端应用程序, 即把大部分的数据处理放在服务器端进行。基于有限自动机模型的测试理论已经得到很多的研究, 然而, 在工业界这些理论成果并没有得到广泛的应用。

软件测试是提高软件可靠性和保证软件质量的重要手段, 传统软件测试依赖手工测试, 是一项耗资大, 劳动密集型的活动, 并且人工测试可靠性低、易出错, 为提高软件测试效率, 降低测试费用, 软件测试自动化必然是未来的趋势<sup>[1]</sup>。基于模型的测试是自动化测试的一个重要方向, 该方法通过软件的规格说明书生成测试序列, 再检测待测软件系统的运行是否符合它的规格说明。由于测试序列的生成、测试执行和结果分析能够在一定程度上实现自动化, 所以提高了测试效率, 降低了测试成本<sup>[2]</sup>。理论上, Web 应用系统可以完全用有限状态自动机建模, 但甚至是一个简单的 Web 应用系统都避免不了状态空间爆炸的问题<sup>[3]</sup>, 所以有限状态自动机模型的极小化可以在一定程度上解决状态空间爆炸的问题。

本文介绍了 Web 应用系统建模的相关研究成果, 同时引入了确定的有限状态自动机理论、自动机等价理论、自动机化简理论。最后探讨了把自动机极小化的理论应用在 Web 应用系统的测试上, 从而降低 Web 应用系统的状态空间, 简化测试, 并且通过一个实例加以分析。

## 1 Web 应用的建模

基于模型的 Web 应用系统的测试首要任务就是构建 Web 应用系统的抽象模型, 目前针对 Web 应用系统建模已经有了广泛的研究, 每一种方法都有不同的目的, 所关注的 Web 特性也不一样, 缪淮扣等人<sup>[4]</sup>提出根据 Web 应用系统 UML 的不同图形, 从不同的角度, 针对 Web 应用的特点建立模型。钱忠胜<sup>[3]</sup>提出了把 Web 应用系统看做是多个交互组件的组合, 每一个复合组件由多个其它组件组成, 对每一个组件建立一个组件有限状态机, 根据规格说明书, 完整的 Web 应用系统就抽象成一个组件交互的有限状态机模型, 该建模方法在一定程度上解决了状态空间爆炸问题, 但是没有提到从 Web 应用组件抽象成有限状态机的方法。鹿钰若等人<sup>[5]</sup>提出了一种从对象、导航行为和系统结构 3 个

收稿日期: 2015-12-15

作者简介: 王琳琳(1989-) 男, 硕士研究生, 主要研究方向为软件测试。

方面分析的建模方法,并且将浏览器行为的影响加入到导航行为的模型中,根据控制流和数据流来反映系统结构,该模型更加具体的描述了 Web 应用系统的行为,但是也增加了自动生成测试用例的难度。

本文采用的建模方法是首先对待测 Web 应用系统建立流程图,再根据流程图抽象成有限状态自动机模型,最后再通过有限状态自动机的极小化方法化简自动机模型。

## 2 相关概念

定义 1<sup>[6]</sup>: 确定的有限自动机

确定的有限自动机(Deterministic finite automaton, DFA) 是一个五元组:  $D = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , 其中:

$Q$ : 状态的非空有穷集合。 $\forall q \in Q$ ,  $q$  称为  $D$  的一个状态;

$\Sigma$ : 输入字母表;

$\delta$ : 状态转移函数,又叫作移动函数  $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$  ( $\delta(q, \alpha) = p$ , 对于任意的  $q \in Q$ ,  $\alpha \in \Sigma$ ,  $\delta(q, \alpha)$  均有确定的值;

$q_0$ :  $D$  的开始状态,也叫作初始状态或启动状态  $q_0 \in Q$ ;

$F$ :  $D$  的终止状态集合,  $F$  被  $Q$  包含。任给  $q \in F$ ,  $q$  称为  $D$  的终止状态。

定义 2<sup>[7]</sup>: 自动机识别的语言

设  $D$  为一台 DFA,  $L(D) = \{x \mid x \in \Sigma^* \text{ 且 } \delta(q_0, x) \in F\}$  称为由自动机  $D$  识别的语言。

定义 3<sup>[7,8]</sup>: 自动机的等价

两台自动机  $D_1$  和  $D_2$ , 分别有语句  $L(D_1)$  和  $L(D_2)$ , 如果  $L(D_1) = L(D_2)$ , 即两台自动机识别的语言是一致的, 那么称自动机  $D_1$  与  $D_2$  等价, 记作  $D_1 \sim D_2$ 。如果  $D_1$  的状态数小于  $D_2$  的状态数, 那么称  $D_1$  是  $D_2$  的简化自动机。

定义 4<sup>[8]</sup>: 自动机状态的可区分性

任意  $\alpha \in \Sigma^*$ , 如果  $\delta^*(q, \alpha) \in F$ , 那么  $\delta^*(p, \alpha) \in F$ , 或者如果  $\delta^*(q, \alpha) \notin F$ , 那么  $\delta^*(p, \alpha) \notin F$ , 则称状态  $q$  和  $p$  是不可区分的。

存在  $\alpha \in \Sigma^*$ , 如果  $\delta^*(q, \alpha) \in F$  且  $\delta^*(p, \alpha) \notin F$  或者  $\delta^*(q, \alpha) \notin F$  且  $\delta^*(p, \alpha) \in F$ , 则称状态  $q$  和  $p$  是可区分的。

引理 1: 给定自动机  $D_1, D_2$ , 如果  $D_1$  由  $D_2$  的不可区分状态归并得到, 那么  $D_1$  是  $D_2$  的极小化自动机。

## 3 DFA 的极小化

对于一台 DFA, 它的状态越少, 那么在相同的硬件和软件资源前提下, 效率就越高。因此, 可以把一台 DFA 的“冗余”状态归并掉, 就可以使这台 DFA 极小化。对于任意一台 DFA, 都可以把其进行极小化, 并且这台自动机是唯一的。下面通过一个例子来说明他的归并过程。

有穷状态自动机  $D = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ ,  $Q = \{A, B, C, D, E, F\}$ ,  $\Sigma = \{0, 1\}$ ,  $q_0 = A$ ,  $F = \{B\}$ ,  $\delta(A, 0) = B$ ,  $\delta(A, 1) = C$ ,  $\delta(B, 0) = B$ ,  $\delta(B, 1) = C$ ,  $\delta(C, 0) = B$ ,  $\delta(C, 1) = E$ ,  $\delta(D, 0) = B$ ,  $\delta(D, 1) = C$ ,  $\delta(E, 0) = E$ ,  $\delta(E, 1) = D$ ,  $\delta(F, 0) = B$ ,  $\delta(F, 1) = E$ , 如图 1 所示:

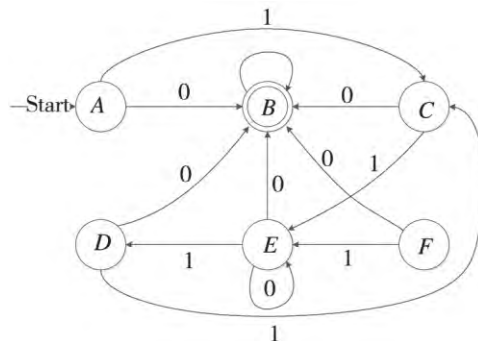


图 1 DFA 的状态转移图

Fig. 1 Transition diagram for DFA

通过状态区分表寻找可以归并在一起的状态, 如果  $p$  和  $q$  不可区分, 则在表中对应的栏中打“√”, 如果  $p$  和  $q$  可区分, 则在表中对应的栏中打“×”。

见表 1, 状态  $A$  和  $B$ , 存在  $\alpha = "1"$ , 使得  $\delta(A, \alpha) \notin F$  且  $\delta(B, \alpha) \in F$ , 根据定义 4 可知, 状态  $A, B$  是可区分的, 所以在表中状态  $A, B$  对应的栏中打“×”; 状态  $A$  和  $D$ , 对于任意  $\alpha \in \Sigma^*$ , 如果  $\delta(A, \alpha) \in F$  那么  $\delta(D, \alpha) \in F$ ,  $\delta(A, \alpha) \notin F$ , 那么  $\delta(D, \alpha) \notin F$ , 根据定义 4 可知, 是不可区分的, 所以在表中状态  $A, D$  对应的栏中打“√”, 同理得出不可区分的状态有  $(C, F)$ , 最终得出的状态区分表如表 1 所示。

根据表 1, 把不可区分的状态归并在一起, 作为新的状态, 即:  $\{A, D\}$ ,  $\{C, F\}$ ,  $\{B\}$ ,  $\{E\}$  为新的状

态,根据新的状态,做出新的 DFA,如图 2 所示。

表 1 状态区分表

Tab. 1 Status distinction table

	A	B	C	D	E	F
F	×	×	√	×	×	
E	×	×	×	×		
D	√	×	×			
C	×	×				
B	×					
A						

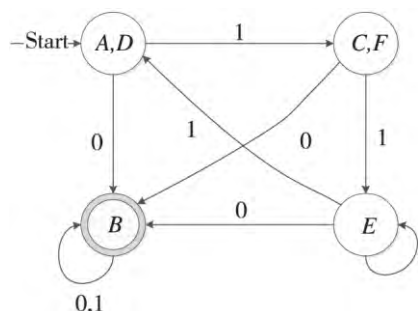


图 2 极小化后 DFA 的状态转移图

Fig. 2 Transition diagram for DFA after minimization

设图 1 所示的 DFA 为  $D_1$ , 图 2 所示的 DFA 为  $D_2$ . 对于  $D_1$  能识别的任意的语句,  $D_2$  都能识别, 根据定义 2 可知  $D_1 \sim D_2$ . 根据引理 1 可知,  $D_2$  是  $D_1$  的极小化 DFA.

#### 4 Web 应用系统功能测试中自动机理论的应用

Web 应用系统的测试包括功能测试和非功能测试, 非功能测试包括安全性测试、性能测试、负载测试、兼容性测试和可用性测试等, 本文的自动机理论仅适用于功能测试。

Web 应用系统的功能测试是按照产品说明书中的功能说明, 逐项测试, 来检查 Web 应用系统是否实现预期的功能。为了测试 Web 应用系统的每一个功能点, 测试工程师可以根据功能说明书, 在某一个状态下输入各种数据, 执行某一操作, 使其按照功能说明书, 跳转到下一个预期的状态, 如果不能正常跳转到预期状态, 则测试不通过。整个测试过程是一系列状态、输入和操作的合理与不合理的组合<sup>[9]</sup>。

以上分析可以看出, Web 应用系统功能测试过程中的所有状态可以抽象成 DFA 中的状态非空集

合  $Q$ , 所有的输入可以抽象成输入字母表  $\Sigma$ , 所有的操作以及跳转过程可以抽象成状态转移函数  $\delta$ . 因此 Web 应用的功能测试的整个过程就可以完整的抽象成一台 DFA, 同理, 也可以抽象成一台 NFA.

不确定的有限状态自动机 (non-deterministic finite automaton, NFA) 定义与 DFA 相似, 区别在于 NFA 的转移函数  $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ ,  $\delta(q, \alpha) = p$ , 对于任意的  $q \in Q$ ,  $\alpha \in \Sigma$ ,  $\delta(q, \alpha)$  可能有多个值<sup>[10]</sup>, 即在面对一个输入符号的时候, 它所转换的可能不只是一个状态, 也就是说 DFA 是 NFA 的特例。

把 Web 应用系统转化成自动机模型后, 测试问题就变成有对应的自动机的状态转移过程的检验, 本文通过一个电商网站登录的一个简单模块流程的测试来分析一下自动机模型在 Web 应用系统功能测试中的应用, 如图 3 所示。

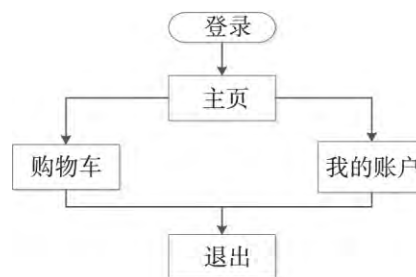


图 3 电商登录简易流程图

Fig. 3 Simple flow chart for the electric business login

设  $M$  为一个 NFA, 图中所示的“登录”、“主页”、“购物车”、“我的账户”、“退出”五个状态分别抽象为自动机  $M$  的状态  $A, B, C, D, E$ ; 登录到主页时输入用户信息, 抽象为  $a$ , 其他的输入信息均为单击, 抽象为  $b$ ; 起始状态  $q_0$  为登录, 是状态集合中的  $A$ ; 终止状态集合  $F$  中的状态为退出, 只有状态集合中的  $E$ , 得出 NFA 为  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ ,  $Q = \{A, B, C, D, E\}$ ,  $\Sigma = \{a, b\}$ ,  $q_0 = A$ ,  $F = \{E\}$ ,  $\delta(A, a) = B$ ,  $\delta(B, b) = C$ ,  $\delta(B, b) = D$ ,  $\delta(C, b) = E$ ,  $\delta(D, b) = E$ , 如图 4 所示:

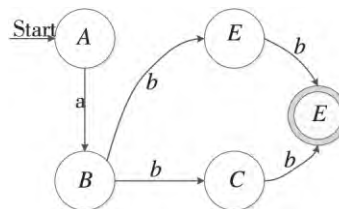


图 4 电商登录模块抽象后的 NFA 的状态转移图

Fig. 4 NFA's transition diagram for the electric business login

根据 3 中提供的简化方法,可以把状态 C、D 归并在一起,最后的出的 NFA 如图 5 所示。

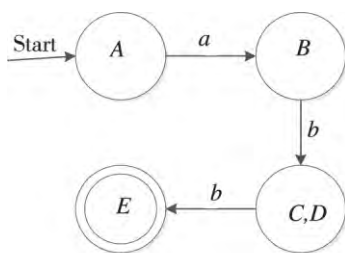


图 5 极小化后的 NFA 的状态转移图

Fig. 5 Transition diagram for NFA after minimization

图 5 与图 4 相比,状态、流程都减少了,在同等软硬件资源的前提下明显可以更好更快的对 Web 应用系统进行测试。

用自动机的简化理论对 Web 应用系统抽象成的自动机进行极小化,极小化后的自动机归并了冗余的状态,从而把之前自动机可以一起执行的状态转移函数合并在了一起,减少了不必要的测试流程,简化了测试过程。

## 5 结 语

综上所述,通过把 Web 应用系统的测试行为抽象成有限状态自动机,再通过自动机的极小化理论压缩自动机的状态数量,从而达到简化测试的目的。基于有限自动机的测试方法理论能够有效的降低编写测试用例的成本,提高测试用例生成的自动化程度<sup>[11]</sup>,由于没有相关测试工具的支持以及理论上的不成熟性,基于有限自动机的测试方法尚未在软件工业开发中广泛的实践应用,为提高 Web 应用系统的测试效率以及推动自动机理论在软件工业中的应用,本文对基于有限自动机的 Web 应用系统的测试方法和理论进行了补充。但是把自动机极小化理论应用到 Web 应用系统中,也会在一定程度上会对测试的质量产生一些不确定的影响,因此在固定时间、软硬件资源的前提下,如何平衡简化测试后测试的质量和测试的进度将是下一步要研究的问题。

## 参考文献:

- [1] J ANDRADE J ARES. An architectural model for software testing lesson learned systems [J]. Information and Software Technology 2013 ( 55) : 18-34.
- [2] 刘攀, 缪淮扣, 曾红卫 等. 基于 FSM 的测试理论、方法及评估 [J]. 计算机学报, 2011, 34( 6) : 965-984.
- [3] 钱忠胜. 利用组件交互自动机测试基于组件的 Web 应用 [J]. 小型微型计算机系统 2013, 34( 8) : 1813-1818.
- [4] 缪淮扣, 陈圣波, 曾卫红. 基于模型的 Web 应用测试 [J]. 计算机学报 2011, 34( 6) : 1012-1028.
- [5] 鹿钰若, 王峰, 邓波. 一种组合的 Web 应用测试建模方法 [J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版 2013, 14( 6) : 617-622
- [6] 蒋宗礼, 姜守旭. 形式语言与自动机理论: 第三版 [M]. 北京: 清华大学出版社 2013.
- [7] 王晓峰. 有穷自动机状态极小化方法及正则语言判定优化 [J]. 广西民族大学学报: 自然科学版 2008, 14( 3) : 81-82.
- [8] 秦永彬, 许道云. 有穷自动机中的等价性与等价归并算法 [J]. 济南大学学报: 自然科学版 2006, 20( 4) : 354-355.
- [9] 李翰芳, 许道云. 非确定型有穷自动机的极小化 [D]. 吉林大学学报: 理学版 2007.
- [10] 张明明, 秦永彬. 基于前序关系的非确定型有穷自动机极小化算法 [J]. 山东大学学报: 理学版 2010, 45( 7) : 35-36.
- [11] 颜炯, 王戟, 陈火旺. 基于模型的软件测试综述 [J]. 计算机科学 2004, 31( 2) : 185-186.

## Testing Web Application System Based on the Minimization of Finite State Machine

WANG Lin-lin<sup>1</sup>, LIU Yao-jun<sup>2</sup>

( 1. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China; 2. Department of Computer Science and Technology, Taiyuan Normal University, Taiyuan 030012, China)

# 基于残差分布式压缩感知的视频软组播研究

刘珊珊, 王安红, 王海东, 卓东风

(太原科技大学电子信息工程学院, 太原 030024)

**摘要:** 提出了一种基于压缩感知理论的新型无线视频传输方案残差分布式压缩感知组播(RDCS-cast)。在编码端, 我们提出运用残差压缩感知技术来表示非参考帧, 然后把参考帧的原始观测值和非参考帧的残差观测值一起打包进行传输, 最主要的是我们提出了对每一个包里面的残差观测值和原始观测值进行最佳能量分配方案。在解码端, 不同信道特性的接收者能够获得相应数量的包, 最后运用运动估计重建视频帧。实验结果表明对于无线视频组播, RDCS-cast方法比现有的 Softcast 和 DCS-cast 方法更有效且保持了低复杂度的编码。

**关键词:** 无线视频组播; 残差分布式压缩感知; 最佳能量分配

**中图分类号:** TN92 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1673-2057.2017.01.004

随着无线网络发展, 各种广播服务得到了快速的发展, 如移动电视、新闻广播、多媒体共享等, 进行实时可靠的无线视频传输已成为必然需求。无线视频组播的目的是将同一个编码的视频流传输给多个用户, 然而大量异构用户面临的不同信道状况和不同的实际接受能力, 因此, 如何在无线环境中实现数据同时传输到多个用户成为无线组播技术的关键。

传统的无线视频组播常采用两种信源编码框架, 分别是分层编码<sup>[1]</sup>和多描述视频编码<sup>[2]</sup>方法。无线视频传输时, 分层编码不能选择分层和码率, 信道的连续变化会引起视频产生悬崖效应, 即: 当噪声的能量大于一定的阈值, 视频码流会导致传输

损失和错误, 导致解码失败。多描述编码框架只能发出一个特定的信源码率, 只有与发送码率匹配的接受用户才能恢复视频, 不能满足多个接收者同时享受视频的要求。Jakubczak等提出了一种新无线视频软组播(SoftCast)<sup>[3-4]</sup>, SoftCast传输的不再是被编码的二进制码流, 而是经过编码后的实数序列, 简单的星座图映射在OFDM中信道传输, 消除了悬崖效应。范晓鹏等在SoftCast的基础上提出了DCast<sup>[5]</sup>, 利用了帧间相关性, 提高了SoftCast性能。但是编码后的码流被打包时, 每个包里的数据仍有重要性区分, 不同用户在丢包时仍然有重要性区分, 不符合组播的特性。吴庆典等人提出了一种基于小波四叉树的无线视频组播方案<sup>[6]</sup>, 将小波技术

收稿日期: 2015-12-11

基金项目: 国家自然科学基金(61272262), 山西省回国留学人员科研资助项目(2014-056), 教育部新世纪优秀人才项目(NCET-12-1037), 山西省科技攻关项目(2015031003-2)

作者简介: 刘珊珊(1990-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向是现代网络与通信系统。

**Abstract:** Finite State Machine (FSM) can be used to describe the behavior of software. The FSM of the Web application system can be served as the basic for designing test cases and judging outputs. Therefore, the problem of testing is transformed into checking the states of FSM to meet the requirements or not. By using the theory of minimization in FSM, the software testing can be simplified.

**Key words:** FSM, Web Application System, Minimization, Testing