

一种基于图复杂度的移动导航服务回归测试优先方法

成 静^{1,2} 张 涛² 王 涛² 董占伟²

(西安工业大学计算机科学与工程学院 西安 710021)¹ (西北工业大学软件与微电子学院 西安 710072)²

摘 要 随着现代移动导航服务的实时化、智能化发展,导航服务算法日益复杂,影响其服务质量的因素众多,使得移动导航服务测试验证较为困难。文中提出一种基于图复杂度的移动导航服务回归测试优先方法,该方法通过设定导航服务区域,基于图复杂度理论,提出可达交叉点数、交叉点的交叉度、可达路段数、最短可达路线的路段数等5个优先指标,用于对回归测试数据优先排序,以提高移动导航服务的回归测试效率。

关键词 移动应用测试,移动导航服务,测试数据优先,回归测试

中图分类号 TP311.5 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.06.024

Graphic Complexity-based Prioritizing Technique for Regression Testing of Mobile Navigation Service

CHENG Jing^{1,2} ZHANG Tao² WANG Tao² DONG Zhan-wei²

(School of Computer Science and Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)¹

(School of Software and Microelectronics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)²

Abstract Mobile navigation service is an important and popular location-based service, which help to recommend routes to mobile users to reach their destinations. Because of various navigation strategies and many complex situations which are related to modern mobile navigation service, it is difficult to validate the mobile navigation service. In this paper, an approach was presented to prioritize test cases for the regression testing of mobile navigation service. The approach proposes some prioritizing metrics based on navigation graph complexity theory. To evaluate the proposed approach, this paper conducted a case study on a popular navigation software. Comparing with random test approach, the proposed prioritizing test approach helps to improve test efficiency.

Keywords Mobile App testing, Mobile navigation service, Prioritizing test cases, Regression testing

1 引言

移动导航服务是一种基本的移动位置服务。随着移动云计算技术的发展,现代移动导航服务通常在移动端提供地图和导航数据显示,在云端实现地图数据的存储管理以及智能导航路径规划等服务。因此,谷歌导航、高德导航、百度导航等新一代移动导航服务能够为用户提供基于实时路况的智能导航服务。

现代移动导航服务的智能性与复杂性,使得对其的测试验证极为困难和复杂。主要挑战与困难如下:1)移动导航测试区域广袤,环境复杂,工作量大;2)移动导航服务的影响因素众多,具有时间动态性;3)导航服务推荐的结果难以验证和评价;4)需要持续、敏捷的回归测试,以适应激烈的市场竞争。

移动应用测试受到学术界和工业界的高度重视,是当前移动计算和软件测试领域的研究热点之一。目前,移动测试研究主要集中于移动云测试框架^[1]、兼容性测试^[2]、GUI测

试^[3]、易用性测试^[4]等方面。已有学者对移动位置服务测试展开了研究与探索。Aktouf等通过分析移动位置服务测试问题,提出了初步的测试模型和覆盖率度量指标^[5-6]。Zhai等提出了一种对兴趣点敏感的位置服务回归测试用例优先算法^[7]。侯可佳等应用模拟退火算法和贝叶斯分类器方法,以区域覆盖和故障检测为优化目标生成位置服务的测试数据^[8]。相关学者也探讨了移动位置服务测试方法^[9],以及随机生成测试数据的方法^[10]。

测试用例优先是回归测试研究的热点,其通过设定排序准则,优化测试用例的执行次序,以尽早发现最多的软件缺陷。陈翔等对测试用例优先技术进行分类,总结了常用的评测指标,讨论了其在组合测试、Web服务测试等领域中的应用^[11]。但目前移动导航服务领域,鲜有对回归测试数据优先方法的研究。

与上述研究不同,本文针对移动导航服务测试的问题与挑战,探索了基于复杂度的导航服务回归测试优化方法。首

收稿日期:2017-03-06 返修日期:2017-06-18 本文受陕西省工业科技攻关项目(2016GYG100),西安市科技计划项目(XAGY016),西北工业大学研究生创新创业种子基金(Z2016201720),西北工业大学研究生双创项目(Z2016194)资助。

成 静(1982—),女,博士,讲师,主要研究方向为软件工程、软件测试;张 涛(1976—),男,博士,主要研究方向为智能软件、软件测试,E-mail:tao_zhang@nwpu.edu.cn(通信作者);王 涛(1991—),男,硕士生,主要研究方向为软件测试;董占伟(1992—),男,硕士生,主要研究方向为软件测试。

先,给出移动导航服务的图测试模型;然后,给出基于图复杂度的若干优先指标,用于回归测试数据的优先选择;最后,通过实验验证了所提优先指标的有效性。

2 移动导航服务图测试模型

下面给出移动导航服务测试模型的相关概念及基本定义。

定义 1 P_i 为一个地理位置点在地球表面的经纬度坐标,即: $P_i=(long_i, lat_i)$ 。

定义 2 导航区域 D 为包括其起点 P_i 、终点 P_j 和搜索半径 R 的矩形区域,即 $D(P_i, P_j, R)$ 。

定义 3 在导航区域 $D(P_i, P_j, R)$ 内,对于某个位置点 P_s ,如果至少存在一条到起点 P_i 或者终点 P_j 的路线,则称 P_s 是导航区域 $D(P_i, P_j, R)$ 的可达位置点。

定义 4 由两个位置端点 (P_i 和 P_j) 确定的线段被称为路段,记为 $S_i(P_i, P_j)$ 。这里的线段是闭合的,即单个线段中没有其他岔路。

定义 5 如果某个路段 $S_i(P_i, P_j)$ 的两个端点 P_i 或者 P_j 是导航区域 $D(P_i, P_j, R)$ 的可达位置点,则称该路段是导航区域的可达路段。

定义 6 如果若干个路段 S_1, S_2, \dots, S_k 有公共端点 P_x , 则称这些路段是交叉路段,其交叉点为 P_x , 记为 $P_x = S_1 \wedge S_2 \wedge \dots \wedge S_k$ 。交叉点 P_x 的交叉度 $CP(P_x)$ 定义为在该交叉点上相互交叉的路段数量,即 $CP(P_x) = |\{S_1, S_2, \dots, S_k\}|$ 。

如果某个端点不是交叉点,则其交叉度为 1。

定义 7 路线 L_i 由一组 m 个依次相连的路段组成,记为 $L_i=(S_1, S_2, \dots, S_m)$ 。线路中所含的路段数为 $NS(L_i) = |\{S_1, S_2, \dots, S_m\}|$ 。

由于组成路线中的路段是相连的,即前一个路段的终点是下一个路段的起点,因此路线 L_i 还可以记为 $L_i=(P_0, P_1, P_2, \dots, P_m, P_{m+1})$ 。其中, P_0 是第一个路段 S_0 的起点,而 P_{m+1} 是最后一个路段 S_m 的终点。

定义 8 在导航区域 $D(P_i, P_j, R)$ 内,若某条线路 L_i 是以 P_i 为起点、以 P_j 为终点,则称该线路为区域内的一条可达线路。

在图 1 所示的导航示例中,虚线部分为导航区域。该区域包括交叉节点 14 个,即 $\{P_1, P_2, \dots, P_{14}\}$; 导航路段 20 个,如 $(P_1, P_5), (P_5, P_6)$ 和 (P_6, P_7) ; 导航线路 25 条,如 $(S, P_5, P_6, P_7, P_8, E)$ 和 $(S, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}, E)$ 。



图 1 移动导航区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of mobile navigation area

3 基于图复杂度的回归测试数据优先排序方法

为了应对激烈的市场竞争、适应日新月异的交通状况,并满足客户对导航服务质量需求的不断提升,移动位置导航服务必须持续更新升级。每次发布新版本之前,都需要对导航应用进行充分的回归测试。对大量回归测试数据进行优先排序,有助于尽早发现导航软件中的缺陷,从而提高测试效率。为此,本文提出了一种基于复杂度的回归测试数据优先方法。

在设定导航测试的起点和终点后,即可确定其导航区域,进而确定区域内的位置点、交叉点、导航线段、导航路线。在此基础上,给出了一组针对导航服务复杂度的度量指标,以支持对测试数据的优先选择。

1) 可达交叉点数

可达交叉点数是导航区域内所有从起点或者终点有路线可达的交叉点的总数。由于移动导航服务需要在每个交叉点进行计算,从而为用户推荐导航路线,因此可达交叉点数可以作为导航复杂性的度量指标。

假设在导航区域 $D(P_s, P_e, R)$ 内,所有的可达交叉点集为 $\{P_{x1}, P_{x2}, \dots, P_{xk}\}$, 则可达交叉点数 NRP 为:

$$NRP(D(P_s, P_e, R)) = |\{P_{x1}, P_{x2}, \dots, P_{xk}\}| \tag{1}$$

2) 交叉点的交叉度

每个交叉点的交叉度不同,例如三叉路口的交叉度为 3, 十字路口的交叉度为 4 等。交叉度越大,交叉点的导航计算复杂度将越大。

假设在导航区域 $D(P_s, P_e, R)$ 内,所有的可达交叉点集为 $\{P_{x1}, P_{x2}, \dots, P_{xk}\}$, 则总的交叉点的交叉度 ACP 可按式(2)进行计算:

$$ACP(D(P_s, P_e, R)) = \sum_{i=1}^k CP(P_{xi}) \tag{2}$$

3) 可达路段数

在导航区域内,将可达路段的总数称为可达路段数。假设在导航区域 $D(P_s, P_e, R)$ 内的所有可达路段集为 $\{S_1, S_2, \dots, S_k\}$, 则可达路段数 NRS 的计算式如下:

$$NRS(D(P_s, P_e, R)) = |\{S_1, S_2, \dots, S_k\}| \tag{3}$$

4) 最短可达路线的路段数

可达路线数是指在导航区域内,从起点到终点的所有可行导航路线的数量。假设在导航区域 $D(P_s, P_e, R)$ 内的所有可达线路集为 $\{L_1, L_2, \dots, L_k\}$ 。如果可达路线 L_i 的路段数最小,即满足 $NS(L_i) \leq NS(L_j) (1 \leq j \leq k)$, 则称路线 L_i 为最短可达路线,并称 $NS(L_i)$ 为最短可达路线的路段数。

$$MLS(D(P_s, P_e, R)) = NS(L_i) \tag{4}$$

5) 最短可达路线的交叉度

可达路线的交叉度表征了路线的复杂性。假设在导航区域 $D(P_s, P_e, R)$ 内,最短可达路线为 $L_i=(P_1, P_2, \dots, P_m, P_{m+1})$, 则最短可达路线的交叉度为该路线上所有交叉点的交叉度之和,计算式如下:

$$ACL(D(P_s, P_e, R)) = \sum_{i=1}^{m+1} (CP(P_i) - 1) \tag{5}$$

在上述 5 个复杂性度量指标中,前 3 个指标是从导航搜索区域来全局性评价导航推荐算法的复杂性,后 2 个指标则是与最短可达路线相关的复杂性度量指标,因为最短可达路

线通常为推荐路线,代表了导航路线推荐计算的最低复杂度。例如,图 1 中的示例共包含 14 个交叉点和 20 个可达路段,表 1 列出了其交叉点的交叉度。在该导航区域内,导航路线 $L_i=(S,P_5,P_6,P_7,P_8,E)$ 。该路线包含的路段数为 5,交叉度为 15。

表 1 交叉点的交叉度

Table 1 Intersecting degree of cross points

交叉点	交叉度	交叉点	交叉度
P_1	2	P_2	3
P_3	3	P_4	2
P_5	3	P_6	4
P_7	4	P_8	4
P_9	2	P_{10}	2
P_{11}	3	P_{12}	3
P_{13}	3	P_{14}	2

4 实验验证

本节将通过一个测试实例来验证所提出的基于复杂度的移动导航服务的回归测试方法的有效性,以判断该方法是否有助于提高移动导航服务的回归测试效率和测试质量,以及所提出的 5 个复杂度度量指标是否具有相同的效果,或者某个指标的效果更优。

4.1 实验方法与过程

在实验中,与某地图导航公司合作(基于隐私,略去该公司的名称),由其提供该公司在西安市区的导航测试数据集,以及在西安市区内一个月的汽车导航服务数据集。导航测试数据集共包含 2000 条测试数据,在其中 248 条测试数据中共发现 56 项缺陷。导航服务数据集包括用户导航服务请求数据、导航推荐路径数据、用户实际行驶数据、西安市区地图数据等,共计约 150 万条。

城市道路情况更为复杂,本次实验只测试城市市区内的导航服务情况。由于城市道路密集,通过分析所提供的测试数据的推荐路径范围,设定搜索半径 R 为 2.5 km 来计算测试数据的复杂性。

首先,采用随机方法生成测试数据集的随机队列;然后,分别根据 5 个复杂度指标生成 5 个测试数据优先队列,并分别将 5 个优先队列与随机队列进行比较,分析其是否有助于提高导航服务的测试效率;最后,将 5 个优先队列进行相互比较,验证 5 个复杂度指标的有效性。

为了分析测试数据集规模对测试结果的影响,将实验中的测试数据集的大小分别设定为:128,256,512,1024。为了评估所提方法的稳定性,对不同大小的数据集分别采样并重复实验 10 次。

4.2 实验评价指标

常用的测试数据优先评价指标主要包括:故障发现调和均值(Harmonic Mean of Fault Detection, HMFd)和平均故障发现率(Average Percentage of Fault Detection, APFD)。

HMFd 是一种与测试数据集大小无关的度量指标^[7]。此处,假设 T 是一组测试数据集,包含 n 个测试数据; F 是由测试数据集 T 所发现的故障集,故障数量为 m ; F_i 是测试数据集 T 中第一个发现故障 i 的测试数据的序号。因此,

HMFd 的计算式为:

$$HMFd = \frac{m}{\frac{1}{TF_1} + \frac{1}{TF_2} + \dots + \frac{1}{TF_m}} \quad (6)$$

HMFd 可以用于评估测试数据优先方法的有效性,其值越低,测试数据集发现故障的效率越高。HMFd 同样可以用于评估方法的有效性。

APFD 基于算术平均值来统计测试数据集的故障发现效率^[11]。假设 T 是一组测试数据集,包含 n 个测试数据; F 是由测试数据集 T 所发现的故障集,故障数量为 m ; TF_i 是测试数据集 T 中第一个发现故障 i 的测试数据的序号。因此,APFD 的计算式如下:

$$APFD = 1 - \frac{TF_1 + TF_2 + \dots + TF_m}{n * m} + \frac{1}{2n} \quad (7)$$

显然,平均故障发现率 APFD 受测试数据集大小和其所包含故障数的影响。其值越大,测试数据发现故障的效率就越高。

例如,假设有一组共包含 10 个测试的测试数据集,共发现了 3 个故障,且这 3 个故障分别是在前 3 个测试数据中被发现的,则其 HMFd 和 APFD 分别如下:

$$HMFd = \frac{3}{\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}} = 1.64 \quad (8)$$

$$APFD = 1 - \frac{1+2+3}{10 * 3} + \frac{1}{2 * 10} = 0.85 \quad (9)$$

在实验中,将分别采用 HMFd 和 APFD 来评估所提优先方法的有效性。同时,在不同规模的测试数据集下,对比所提优先选择方法的故障发现效率。

4.3 实验结果分析

分别随机选择规模为 128,256,512,1024 的测试数据集,基于随机排序 RAN、可达交叉点的数量 NRP、交叉点的交叉度 ACP、可达路段数 NRS、最短可达路线的路段数 MLS、最短可达路线的交叉度 ACL 等的复杂度优先排序指标,计算测试数据队列的故障发现调和均值 HRFD 和平均故障发现率 APFD。

为了验证实验结果的稳定性,对相同大小的测试数据集,随机取 10 次测试数据集进行重复实验。表 2 对比了不同数据集下的故障发现调和均值 HMFd,图 2 给出了故障发现调和均值 HMFd 的箱线图。表 3 对比了不同数据集下的平均故障发现率 APFD,图 3 给出了平均故障发现率 APFD 的箱线图。

表 2 故障发现调和均值 HMFd

Table 2 Harmonic mean of fault discovery HMFd

优先方法	128	256	512	1024	均值	标准差
随机排序(RAN)	8.794	9.151	10.326	12.243	10.129	1.346
可达交叉点数(NRP)	5.259	6.254	6.947	5.872	6.083	0.612
交叉点的交叉度(ACP)	3.645	5.459	4.869	4.149	4.531	0.690
可达路段数(NRS)	3.645	5.459	4.869	4.149	4.531	0.690
最短可达路线的路段数(MLS)	3.248	3.694	2.945	3.287*	3.294	0.266
最短可达路线的交叉度(ACL)	3.168*	2.875*	1.782*	3.449	2.819*	0.632

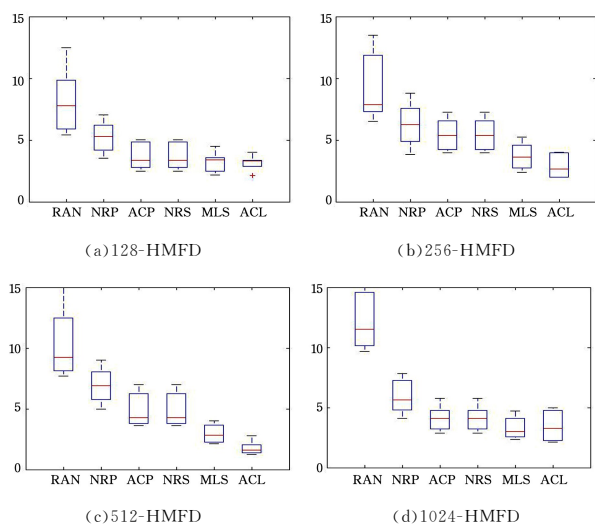


图2 基于复杂度优先的 HMFDF 箱线图

Fig. 2 HMFDF box plot based on complexity priority

表3 平均故障发现率 APFD

Table 3 Average percentage of fault detection APFD

优先方法	128	256	512	1024	均值	标准差
随机排序(RAN)	0.268	0.314	0.219	0.286	0.272	0.035
可达交叉点数(NRP)	0.425	0.493	0.543	0.474	0.484	0.042
交叉点的交叉度(ACP)	0.664	0.724	0.594	0.651	0.658	0.046
可达路段数(NRS)	0.664	0.724	0.594	0.651	0.658	0.046
最短可达路线的 路段数(MLS)	0.729	0.775	0.739	0.804 *	0.762	0.030
最短可达路线的 交叉度(ACL)	0.741 *	0.812 *	0.805 *	0.768	0.782 *	0.029

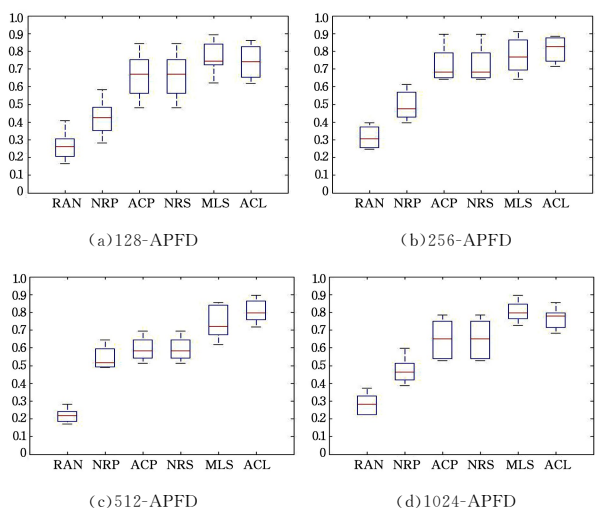


图3 基于复杂度优先的 APFD 箱线图

Fig. 3 APFD box plot based on complexity priority

实验结果表明,所提出的优先指标排序的测试数据集的故障发现调和均值 HMFDF 和平均故障发现率 APFD 均明显优于随机算法生成的测试数据集,从而证明了上述优先指标均是有效的。

在所提出的 5 个优先指标中,前 3 个指标(可达交叉点数、交叉点的交叉度、可达路段数)均是基于导航搜索区域的优先指标;后 2 个指标(最短可达路线的路段数、最短可达路线的交叉度)则是基于最短路线的优先指标。显然,前 3 个指

标的有效性依赖于所设定的导航区域范围。但现代导航软件的路径搜索区域通常是动态调整的,而不是简单的最短路线推荐,因此基于最短路线的优先指标可能存在误差。通过分析实验结果可知,基于最短路线的优先指标优于基于导航区域的优先指标。

在基于导航搜索区域的 3 个优先指标中,交叉点的交叉度和可达路段数两个指标具有完全等价的效果,其优先排序的测试数据集完全相同,并且其故障发现调和均值 HMFDF 和平均故障发现率 APFD 指标均优于可达交叉点数。

而在基于最短路线的两个优先指标中,最短可达路线的交叉度指标则略优于最短可达路线的路段数指标,说明交叉度是反映导航服务计算复杂度和潜在故障的重要因素。

结束语 由于现代移动导航服务具有智能化、个性化、开放性、实时性等特征,因此对其进行测试验证尤为困难。特别地,为了应对激烈的市场竞争,需要研究高效的回归测试方法。本文探索了基于图复杂度的移动导航服务回归测试方法,通过对回归测试数据进行复杂度优先排序来提高回归测试的效率,以更早地发现软件缺陷。经过初步实验,所提方法的有效性得到验证。

现有的优化指标只考虑了导航路线的复杂度因素,未能综合考虑道路类型、流量变化、突发路况、用户偏离等其他因素。下一步将研究基于多因素综合的移动导航服务回归测试方法。

参考文献

- [1] GAO J, BAI X, TSAI W T, et al. Mobile application testing: a tutorial[J]. IEEE Computer, 2014, 47(2): 26-35.
 - [2] ZHANG T, GAO J, CHENG J, et al. Compatibility Testing Service for Mobile Applications[C]// Service-Oriented System Engineering IEEE. 2015: 179-186.
 - [3] CHOI W, NECULA G, SEN K. Guided GUI Testing of Android Apps with Minimal Restart and Approximate Learning[J]. Acm Sigplan Notices, 2013, 48(10): 623-640.
 - [4] COURSAIRIS C K, KIM D J. A Meta-Analytical Review of Empirical Mobile Usability Studies[J]. Journal of Usability Studies, 2011, 6(3): 117-171.
 - [5] AKTOUF O E, ZHANG T, GAO J, et al. Testing location-based function services for mobile applications[C]// Proc. of the First International Workshop on Mobile Cloud TaaS. 2015: 564-572.
 - [6] ZHANG T, GAO J, OUM-EL-KHEIR A, et al. Test Model and Coverage Analysis for Location based Mobile Services[C]// Proc of the 27th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. 2015: 348-356.
 - [7] ZHAI K, JIANG B, CHAN W K. Prioritizing Test Cases for Regression Testing of Location-Based Services: Metrics, Techniques, and Case Study[J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2014, 7(1): 54-67.
 - [8] HOU K J, HUANG J, BAI X Y, et al. Geographical Data Generation for Testing Location-Based Services[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 39(11): 1-15. (in Chinese)
- 侯可佳, 黄军, 白晓颖, 等. 一种位置服务测试数据生成技术研究[J]. 计算机学报, 2015, 39(11): 1-15.