

一种度量软件体系结构复杂性的方法

秦怀斌, 郑 瑶, 郭 理

(石河子大学 信息科学与技术学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要: 论文首先介绍了复杂网络及有向加权网络方法, 并给出了 SA 的形式化描述. 其次, 提出了一种通过 SA 边权、构件的入强度、构件的出强度、构件的总强度、SA 凝聚度等度量属性进行 SA 复杂性的度量方法. 最后, 根据给出的度量 SA 复杂性的方法进行了实例验证. 结果表明, 该方法在严格的形式化基础上, 可以较好地对软件系统的 SA 复杂性进行度量, 为系统后续开发及维护等工作提供参考和支持.

关键词: 度量; 软件体系结构; 复杂性; 凝聚度

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)09-0006-04

A Metrics Method of Complexity for Software Architecture

QIN Huai-bin, ZHENG Yao, GUO Li

(College of Information Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: This paper first introduces the complex network and the directed-weighted network method, and gives the formal description of the SA. Second, a metric method of SA complexity is proposed through SA edge weight, in-degree strength of component, out-degree strength of component, overall-degree strength of component and agglomeration of SA. Finally, an example is verified by the method given to metric the complexity of SA. The results shows that this method can metric the complexity of software system well based on strict formalization, and provides reference and support for subsequent development and maintenance of SA.

Key words: metrics; software architecture; complexity; agglomeration

1 引言

软件体系结构 (Software Architecture, SA) 自提出以来, 就引起了许多关注. SA 定义为—组软件构件、连接件、以及作用于构件和连接件之上的约束和配置^[1-2]. 作为软件系统的抽象描述及软件系统实现的蓝图, SA 为软件系统的分析、设计、实现、测试、组装、部署及维护等工作提供支持^[2]. 特别是在基于构件的软件开发 (Component-Based Software Development, CBSD) 方法中, SA 扮演的角色尤为重要^[3].

随着软件规模及复杂性的快速增长, 在较高的 SA 层次上进行软件系统复杂性的度量, 被认为是一种控制软件复杂性行之有效的解决办法. 同时, 在

SA 层次上进行软件系统复杂性的度量和控制, 对于提高软件开发效率和软件质量都具有重要的影响^[1].

复杂网络 (Complex Networks, CN) 作为复杂性科学的一部分, CN 打破了均衡、线性、简单还原系统的传统模式, 致力于复杂系统非线性和非均衡方面的研究^[2,4-6]. CN 不仅对系统的各个组成部分的复杂性进行研究, 同时, CN 也对系统的组成部分之间及系统整体复杂性进行研究^[7-10].

鉴于此, 本文提出了一种利用 CN 进行 SA 复杂性度量的方法, 分别从节点 (构件) 的入强度、出强度、节点的总强度、SA 凝聚度等方面对 SA 的复杂性进行度量, 实现从较高的抽象层对软件系统的复杂性进行度量和把握, 为后续软件系统的开发提供

帮助。

2 复杂网络及有向加权网络

2.1 复杂网络

复杂网络通过图论和统计物理方法对系统的结构、演化机制及规律等进行描述和捕捉。在复杂网络中,将系统的组成元素抽象为节点,元素之间的关系抽象为边。通过二元组 $CN = (V, E)$ 来表示一个复杂网络,其中, $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 为复杂网络中的节点集合, $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ 为复杂网络中的边集合, $N = |V|$ 表示节点总数, $L = |E|$ 表示边总数。在复杂网络中,如果 (V_i, V_j) 与 (V_j, V_i) 为同一条边,则网络为无向网络,否则为有向网络;如果复杂网络中每条边都赋予了相同的固定的权值,则网络为无权网络,否则为加权网络。

2.2 有向加权网络

在有向加权网络中,每条边都有方向性,即, (V_i, V_j) 与 (V_j, V_i) 为不同的边,并且,每条边都赋予了代表不同特征的权值。

定义 1 边权 W_{ij} 定义为节点 V_i 到节点 V_j 连接边的权值。其中, V_i 和 V_j 是相邻节点。

在有向加权网络中, S_i 表示节点 V_i 的强度。节点的强度是指与该节点直接连接的所有边的权值之和。节点 V_i 的入强度指从其他节点直接指向 V_i 的所有边的权值之和;节点 V_i 的出强度指从 V_i 直接指向其他节点的所有边的权值之和。

定义 2 节点的入强度

$$\hat{S}_i = \sum_{j \in V(i)} w_{ji} \quad (1)$$

定义 3 节点的出强度

$$\hat{S}_i = \sum_{j \in V(i)} w_{ij} \quad (2)$$

在定义 2 和定义 3 中, $V(i)$ 表示与节点 V_i 直接连接的节点的集合。

节点 V_i 的总强度是指与该节点直接连接的所有边的权值之和,即,节点 V_i 的入强度与出强度之和。

定义 4 节点的总强度

$$S_i = \hat{S}_i + \hat{S}_i \quad (3)$$

网络凝聚度是指把网络“凝聚成一个节点”的程度。即,如果将关联度非常高的网络节点收缩,整个网络将收缩为一个节点(强凝聚),网络的凝聚程度大大加强;但是将关联度非常低的网络节点收缩,或将非连通网络收缩,则整个网络将不会收缩为一

个节点,网络凝聚程度不会受到太大的影响。一般认为,网络关联度越高的网络,其网络凝聚度也就越高。

定义 5 网络凝聚度

$$\vartheta[CN] = \frac{1}{N \cdot l} = \frac{1}{N \cdot \frac{\sum_{i \neq j \in V} d_{ij}}{N(N-1)}} = \frac{N-1}{\sum_{i \neq j \in V} d_{ij}} \quad (4)$$

式中, N 为网络的节点总数; l 为节点之间的平均路径长度; V 为网络中的节点集合; d_{ij} 为节点 V_i 与节点 V_j 之间的最短距离(即,从节点 V_i 到节点 V_j 之间的所有路径的权值之和最小)。如果 $N = 1$,则网络只有 1 个节点,令 $\vartheta = 1$ 。根据定义 5 可知,如果 $N \geq 2$ 时,必有 $0 < \vartheta < 1$ 。

3 软件体系结构复杂性及度量方法

3.1 软件体系结构复杂性

随着复杂性科学及复杂网络的深入研究,研究人员借助复杂网络理论对许多软件系统的模块图、类图等软件结构进行分析,发现许多软件系统的结构不具有随机网络的特性,也不符合规则网络的特性,大多数软件系统的结构具有无标度(Scale-Free)和小世界(Small-World)等复杂网络的特性^[2]。这些发现与软件工程中倡导的软件设计中应该符合分层设计(Hierarchical Design)、高内聚(High Cohesion)、低耦合(Low Coupling)等思想相吻合。同时,研究者将复杂网络理论中的度、度分布、介数、簇系数、平均路径长度等相关定义运用到软件系统结构的度量中,为软件体系结构 SA 的度量开辟了新的度量视角。

为了后续研究需要,依据 Garlan & Shaw 的 SA 定义: $SA = \{Component, Connector, Constrain\}$,下面给出软件体系结构 SA 的形式化定义^[2]:

定义 6 软件体系结构 $SA = (C, L; F)$ 为一个三元组,并且满足:

(1) $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 为软件体系结构的构件集合, $L = \{L_1, L_2, \dots, L_m\}$ 为软件体系结构的连接件集合, C 和 L 均为有限集, n 和 m 均为有限正整数;

(2) $C \cap L = \emptyset$, 且 $C \cup L \neq \emptyset$;

(3) $F \subseteq \{(C \times L) \cup (L \times C)\}$ 为软件体系结构的构件与连接件之间的关系, $\times$ 表示笛卡尔积;

(4) $C \subseteq F, L \subseteq F$, 且 $C_x \times L_y \times \dots \times L_i \times C_j \times \subseteq F$, 其中, x, y, i, j 均为有限正整数。

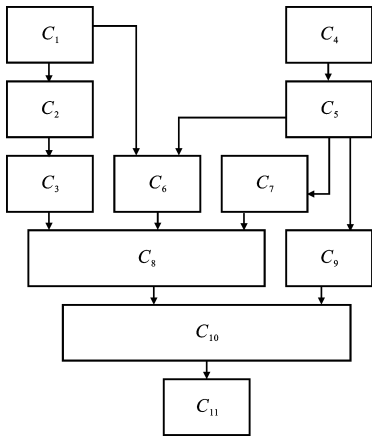


图 2 系统构件结构图

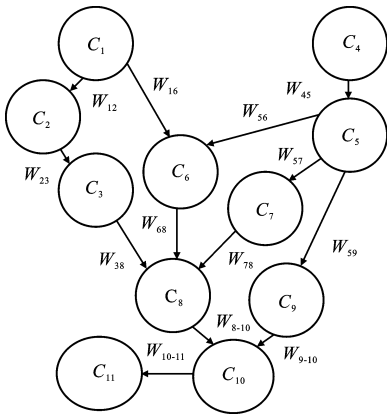


图 3 简化的系统软件体系结构图

图 3 所示的简化的系统软件体系结构图。在图 3 中, 构件集合 $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}\}$, 边权集 $W = \{W_{12}, W_{16}, W_{23}, W_{38}, W_{45}, W_{56}, W_{57}, W_{59}, W_{68}, W_{78}, W_{8-10}, W_{9-10}, W_{10-11}\}$ 。

以系统完整的运行一次为例,通过模拟系统运行场景,以统计系统运行的数据作为系统研究数据。根据以上研究及实际分析可知, W_{ij} = 调用次数,即 W_{ij} 为构件 C_i 直接调用或直接使用构件 C_j 的次数。根据前述的计算 SA 边权 W_{ij} 的具体方法统计得到的边权值。由于本系统较为简单,故边权值均为 1。

根据边权集 W 的结果,计算构件 $C_1 \sim C_{11}$ 的入强度、出强度和总强度值如表 1 所示。

表 1 构件的入强度、出强度和总强度值

属性	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}
入强度	0	1	1	0	1	2	1	3	1	2	1
出强度	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	0
总强度	2	2	2	1	4	3	2	4	2	3	1

根据定义 12,系统的 SA 凝聚度为 $\sigma = \frac{N-1}{\sum_{i \neq j \in C} d_{ij}}$

$=0.158\ 730$ 。

通过利用边权值、构件入强度、构件出强度、构件总强度、系统的 SA 凝聚度等相关属性值对系统的复杂性度量,发现该软件体系结构复杂性与复杂网络的特性相似。与此同时,该软件体系结构具有较高的 SA 凝聚度,与软件工程强调的高内聚、低耦合理论相吻合,基本符合软件开发思想。

5 结束语

本文基于复杂网络理论中有向加权网络的复杂性度量方法,进行软件体系结构复杂性的度量,根据有向加权网络的边权、节点的入强度、节点的出强度、节点的总强度、网络凝聚度等定义,在 SA 形式化定义基础上,分别给出了 SA 边权、SA 边权集、构件的入强度、构件的出强度、构件的总强度、SA 凝聚度的形式化定义,并根据给出的度量 SA 复杂性的方法进行了实例验证。验证结果表明,该方法在复杂网络严格的形式化基础上,可以较好地对软件系统的 SA 复杂性的属性进行度量,度量过程简便,度量值可信。度量结果为相关人员从高层把握系统复杂性提供了参考,同时度量结果也为系统后续开发及维护等工作提供了参考和支持。

参考文献:

[1] 梅宏,黄罡,张路,等. ABC:一种全生命周期软件体系结构建模方法[J]. 中国科学:信息科学,2014,44(5): 564-587.

[2] 秦怀斌,李道亮,郭理,等. 基于复杂网络的软件体系结构复杂性度量方法[J]. 微电子学与计算机,2013,30(2): 5-8.

[3] 齐治昌. 软件设计与体系结构[M]. 北京:高等教育出版社,2016.

[4] 周涛,张子柯,陈关荣,等. 复杂网络研究的机遇与挑战[J]. 电子科技大学学报,2014,43(1): 1-5.

[5] 周北平. 复杂网络在软件工程中的应用[D]. 南京:南京信息工程大学,2008.

[6] 余成进,赵姝,陈洁,等. 复杂网络中的层次结构挖掘[J]. 南京大学学报(自然科学),2016,52(5): 861-870.

[7] Seol K, Kim J D, Baik D K. Common neighbour similarity-based approach to support intimacy measurement in social networks[J]. Journal of Information Science, 2016,42(2):128-137.

[8] 刘丙利,郭雯雯. 基于概率分布的复杂网络结构模块化方法研究[J]. 微电子学与计算机,2017,34(6): 114-117.

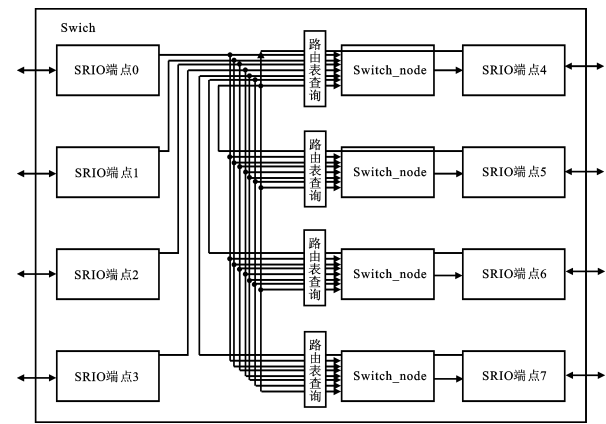


图 7 使用交叉结点构建交叉网络

图 7 画出了端点 4、5、6、7 前的交叉结点,出于画面清晰的考虑,端点 0、1、2、3 前并没有画出,端点 0、1、2、3 也是类似的。

5 验证平台介绍

根据 SRIO 端点传输层的信号时序设计出端点的行为模型并与交叉结点输入和输出接口互连,发送端口的行为模型会自动产生随机长度、随机优先级的数据包,接收端点的行为模型会随机产生缓存的状态标志,记录发送和接口两端的数据包,并在仿真完成后进行数据的自动比对,可以充分模拟 SRIO 交换器的行为,保证设计的正确性,如图 8 所示。

6 结束语

本文基于对 SRIO 端点控制器 IP 传输层行为和 SRIO 交换器数据通路的特点,提出了一种交换器内部的交换网络设计。设计的基本思想是端点与端点之间的点对点传输,通过实例化多个交叉结点可以构建任意端口数目的 SRIO 交换器件。该结构经过改造也可以适用于其它高速串行协议标准的交

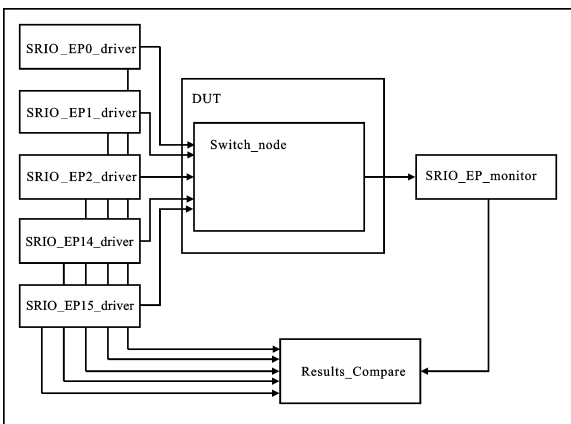


图 8 验证平台示意

换器设备,例如 PCIe 和 10GKR 等。

参考文献:

[1] 谢丽斌,刘凯,尚煜. 串行 RapidIO 交换技术[J]. 电子科技,2012,25(9):129-135.

[2] 翟彦彬,蒋志焱,张保宁. 大规模 RapodIO 协议交换的 FPGA 实现[J]. 现代雷达,2011,33(12):33-35.

[3] 高毅,刘永强,梁小虎. 基于串行 RapidIO 协议的包交换模块的设计与实现[J]. 航空计算技术,2010,40(3):123-126.

[4] 石海洋. 一种 RapidIO 交换网络配置方法的设计与实现[J]. 航空计算技术,2012,42(2):132-134.

[5] 左颜,柴小丽,顾燕飞. 万兆以太网与 RapidIO 网络的互联与传输[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2017,8(2):145-147.

作者简介:

胡孔阳 男,(1986-),硕士,工程师. 研究方向为数字集成电路设计与验证. E-mail:hukongy123@163.com.

韩琼磊 男,(1983-),硕士,工程师. 研究方向为数字集成电路设计与验证.

顾大晔 男,(1987-),硕士,工程师. 研究方向为数字集成电路设计与验证.

作者简介:

秦怀斌 男,(1980-),硕士,副教授. 研究方向为软件工程、复杂网络等. E-mail:qhb_inf@shzu.edu.cn.

郑瑶 女,(1976-),硕士,副教授. 研究方向为软件工程.

郭理 男,(1968-),硕士,副教授. 研究方向为软件工程、人工智能等.

(上接第 9 页)

[9] 吕天阳,谢文艳,郑纬民,等. 加权复杂网络社团的评价指标及其发现算法分析[J]. 物理学报,2012,61(21):210511:1-10.

[10] 贾珺,胡晓峰,贺筱媛. 基于节点动态连接度的网络社团划分算法[J]. 复杂系统与复杂性科学,2016,13(4):56-61.