

面向对象的可信构件网的组装研究

赵 娜^{1,3} 王 剑² 李 彤^{1,3} 郁 涌^{1,3} 李 鹏⁴ 谢仲文^{1,3}

(云南大学软件学院 昆明 650500)¹ (昆明理工大学信息工程与自动化学院 昆明 650500)²

(云南省软件工程重点实验室 昆明 650500)³ (云南大学 昆明 650500)⁴

摘 要 以当前可信软件研究中的一个热点问题——基于构件的可信软件构造及其关键理论和技术为主要内容开展研究工作。在前期的工作中,根据面向对象的思想对 Petri 网进行扩展,提出了基于面向对象思想的可信构件网,从而对构建的基于构件的可信软件模型中的可执行的构件集进行描述。在描述的可信构件网模型框架中,将讨论两个构件基于连接件的并行组装、选择组装、顺序组装、循环组装。通过连接件的连接作用,根据一定的组织关系协调构件之间的关系,最终将组合的构件形成一个有机的整体。

关键词 可信构件,构件网,Petri 网,构件组装

中图法分类号 TP311.5 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.11.016

Study of Component Assembling Technologies under Object-oriented Trusted Component Model

ZHAO Na^{1,3} WANG Jian² LI Tong^{1,3} YU Yong^{1,3} LI Peng⁴ XIE Zhong-wen^{1,3}

(School of Software, Yunnan University, Kunming 650500, China)¹

(College of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)²

(Key Laboratory in Software Engineering of Yunnan Province, Kunming 650500, China)³ (Yunnan University, Kunming 650500, China)⁴

Abstract The component-based trusted software construction and its key theories and technologies are some of the research focuses in the domain of the trusted software. Our previous work proposed a trusted component net model based on extended object-oriented Petri net so as to provide a set of description tools for component evolution. This paper studied the component assembling techniques under our trusted component net model. Components are assembled together in a meaningful and organic way by means of connectors. The definitions of four types of connector-based components assembling approaches, named parallel assembling, selective assembling, sequential assembling, repetitive assembling, were given, and subsequently their properties and proofs were detailed.

Keywords Trusted component, Component net, Petri net, Component assembly

1 引言

构件组装机制是构件开发的重要组成部分^[1]。构件组装的本质是将多个构件组装成应用系统或者更高级的构件。构件的组装有多种技术,本文选择基于连接器的构件组装方法,因为该方法可以实现构件的功能实现与构件间的互操作彼此分离,可以提高构件组装过程的可操作性,同时也是目前构件组装的有效方法。

虽然程序控制结构和构件组装过程存在本质上的区别,但是它们都有相似的控制结构。构件是从实际的应用中抽取出来的相对独立、具有完整的二进制功能的单元,其功能一般

符合置顶向下的方法。构件组装的本质是将多个构件组装成应用系统或者更高级的构件,因此可以将构件组装机制^[2]分为构件并行组装、构件选择组装、构件顺序组装、构件连接组装等。

由于多个构件之间的组装实质上是在两个构件组装基础上的扩展,因此本文仅讨论两个构件之间的组装关系。

目前在面向构件的软件工程领域常用的形式化方法主要有 B 方法^[3]、PICCOLA 语言^[4]、Darwin^[5-6]、Rapid^[7]、Wright^[8-9]等。文献[10-14]在构件形式化及演化方面也作了一些工作。

到稿日期:2016-10-16 返修日期:2016-12-23 本文受国家自然科学基金(61662085,61379032,61364024,61462091,61462095,61462092),云南省软件工程重点实验室 & 交通大数据中心应用基础研究专项(2016SE202),云南省软件工程重点实验室开放基金资助项目(2017SE205),云南大学中青年骨干教师培养计划资助。

赵 娜(1982—),女,博士,讲师,CCF 会员,主要研究领域为软件工程,E-mail:zhaonayx@126.com;王 剑(1976—),男,硕士,副教授,主要研究领域为软件工程、人工智能,E-mail:obcs2002@163.com(通信作者);李 彤(1963—),男,博士,教授,主要研究领域为软件工程;郁 涌(1980—),男,博士,副教授,主要研究领域为软件工程;李 鹏(1976—),男,博士,副教授,主要研究领域为软件工程;谢仲文(1982—),男,博士,讲师,主要研究领域为软件工程。

在我们前期的工作中^[15]根据面向对象的思想对 Petri 网进行扩展,提出基于面向对象思想的可信构件网(Object-Oriented Trusted Component Model, OOTCM),从而对所构建的基于构件的可信软件模型中的可执行的构件集进行描述。在构建过程中,充分考虑了面向对象建模的特性,以提高可信构件网的可重用性、可扩展性、可维护性。

在本文所描述的可信构件网框架中,将讨论两个构件基于连接件的并行组装、选择组装、顺序组装、重复组装。通过连接件的连接作用,根据一定的组织关系协调构件之间的关系,最终将组合的构件形成一个有机的整体。由于构件组装的一个重要方面是要确保构件之间端口连接的匹配性,因此在对构件组装的讨论中,将基于库所、变迁和弧上的约束函数 G_P, G_T, G_F 来约束构件之间的组装。本文为了简化对连接件的描述,将连接件看作一个抽象变迁。

2 基础概念

下面是 OOTCM 构件网的相关定义。

定义 1 一个 OOTCM 构件网是一个七元组: $M = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$, 其中:

(1) P 是有限库所的集合。其中, 构件识别库所 oip (object identify place) ($oip \in P$) 是一个特殊的库所, 它是一个拥有构件的标识符和构件的入口和出口的库所, 可以定义为一个四元组 $oip = (id, p, ip, E)$, 其中:

- 1) id 是 OOTCM 构件网中构件的唯一识别变量名;
- 2) p 是对构件输入输出接口的封装;
- 3) ip 是构件的实例的变量名, 用以区分一个构件的多个实例;

4) 构件的可信性评价参数 E 由四元组构成, $E = (Ct, Co, T, D)$, 其中, Ct 描述消息传递可靠度, Co 描述构件的可靠度, T 描述构件的有效度, D 描述构件的可信度。

(2) T 是有限变迁的集合, $P \cup T \neq \emptyset$ 且 $P \cap T = \emptyset$ 。

(3) F 是有限弧的集合, $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 。

(4) S 是一个类型的非空有限集合, 称为 OOTCM 的颜色集或类型集。

(5) $G_P: P \rightarrow L_P(S)_+$, G_P 是库所的颜色函数。其中, $L_P(S)$ 表示定义在颜色集 S 上的一个非负整数系数线性函数, $L_P(S)_+$ 表示系数不全为 0 的 $L_P(S)$ 。即对于 $\forall p \in P$, $G_P(p)$ 表示库所 p 能接受的 Token 的颜色种类和数量。

(6) $G_T: T \rightarrow L_T(S)_+$, G_T 是变迁的识别 (guard) 函数。其中, $L_T(S)$ 表示定义在颜色集 S 上的一个非负整数系数线性函数, $L_T(S)_+$ 表示系数不全为 0 的 $L_T(S)$ 。即对于 $\forall t \in T$, $G_T(t)$ 表示能使变迁 t 发生点火的颜色的组合或表达式。

(7) $G_F: F \rightarrow L_F(S)_+$, G_F 是弧表达式函数。其中, $L_F(S)$ 表示定义在颜色集 S 上的一个非负整数系数线性函数, $L_F(S)_+$ 表示系数不全为 0 的 $L_F(S)$ 。即对于 $\forall f \in F$, $G_F(f)$ 表示弧 f 上一次能流过的颜色的组合。

定义 2 一个 OOTCM 网的运行规则与 EOOPN 系统^[15]的运行规则系统相同。

本文中 OOTCM 构件网是构件的表示方式, 因此后文提到的构件均用构件网表示, 若无特别声明, 构件与构件网都可以指构件。

定义 3 在一个 OOTCM 构件网 $M = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$ 中, $M' = (P', T', F', S', G_{P'}, G_{T'}, G_{F'})$ 称为 M 的内部子网, 当且仅当:

- 1) $P' \subseteq P$;
- 2) $T' \subseteq T$;
- 3) $F' = F \cap (P' \times T' \cup P' \times T')$;
- 4) $S' \subseteq S$;
- 5) $\forall p' \in P', G_{P'}(p') = G_P(p')$;
- 6) $\forall t' \in T', G_{T'}(t') = G_T(t')$;
- 7) $\forall f' \in F', G_{F'}(f') = G_F(f')$ 。

定义 4 一个描述连接件的 OOTCM 构件子网是一个七元组: $LN = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$, 其中:

1) P 是有限库所的集合, 用来表示连接件 LN 中的内部状态; $P \setminus oip$ 即不包含构件的入口和出口库所。

2) T 是有限变迁的集合, $P \cup T \neq \emptyset$ 且 $P \cap T = \emptyset$, 用来表示连接件 LN 中的各个操作; 其中, 连接件入口变迁 t_{in} ($t_{in} \in T$) 和出口变迁 t_{out} ($t_{out} \in T$) 是两个特殊的变迁, t_{in} 是连接件中接收消息的变迁, t_{out} 是连接件中发送消息的变迁。

3) F, S, G_P, G_T, G_F 的定义与 OOTCM 构件网的相同。

定义 5 对于某构件的接口 $C_i.oip$ 和连接件 LN 的出、入口变迁 $LN.t_{out}, LN.t_{in} \in LN$, 分别有 $G_F(C_i.oip, LN.t_{in}) \in L_m(G_P(C_i.oip))$, $G_F(LN.t_{out}, C_i.oip) \in L_m(G_P(C_i.oip))$, 则称构件接口 $C_i.oip$ 与连接件 LN 之间是类型匹配的。

定义 6 在构件 $M = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$ 中, 如果满足下列条件, 则称构件 C 是良构的:

- 1) 构件网 M 是单入口、单出口的, 即 $|M.oip| = 1$;
- 2) 对于任意的库所 $\forall p \in P$ 和变迁 $\forall t \in T$, 若 $(p, t) \in F$ 或者 $(t, p) \in F$, 则构件 C 中的库所 p 与变迁 t 之间是类型匹配的;
- 3) 对于任意的变迁 $\forall t \in T$ 和 $\forall p_i \in \cdot t (i = 1, 2, \dots, n)$, 有

$$\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t) = G_T(t);$$

4) $M.oip.E.Ct > 0, M.oip.E.Co > 0, M.oip.E.T > 0, M.oip.E.D > 0$ 。

3 OOTCM 构件网的顺序组装

定义 7 对于两个 OOTCM 构件网 $M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 和 $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$, 及连接件 t , 令 $M = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$, 如能满足以下条件, 则称 M 是 M_1 和 M_2 的顺序组装:

1) $P = P_1 \cup P_2$, 其中 $M.oip$ 由 $M_1.oip$ 中的入接口和 $M_2.oip$ 的出接口合并而成。其中, $M.oip.E.Ct = M_1.oip.E.Ct \times M_2.oip.E.Ct$, $M.oip.E.Co = M_1.oip.E.Co \times M_2.oip.E.Co$, $M.oip.E.T = M_1.oip.E.T \times M_2.oip.E.T$, $M.oip.E.D = M_1.oip.E.D \times M_2.oip.E.D$ 。

$$2) T = T_1 \cup T_2 \cup t.$$

$$3) F = F_1 \cup F_2 \cup (P_1. oip, t) \cup (t, P_2. oip).$$

$$4) G_P = G_{P_1} \cup G_{P_2}.$$

$$5) G_T = G_{T_1} \cup G_{T_2} \cup G_T(t).$$

$$6) G_F = G_{F_1} \cup G_{F_2} \cup G_F(P_1. oip, t) \cup G_F(t, P_2. oip).$$

$$7) G_F(P_1. oip, t) \in L_m(G_{P_1}(P_1. oip)), G_F(t, P_2. oip) \in L_m(G_{P_2}(P_2. oip)), G_T(t) = G_F(P_1. oip, t).$$

定理 1 两个 OOTCM 良构件网 $M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 和 $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 及连接件 t , 经过顺序组装而成的构件网 $M = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$ 也是良构的。

证明:

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$, $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(1)有 $|M_1. oip| = |M_2. oip| = 1$, 且合并后的 $M. oip$ 由 $M_1. oip$ 中的入接口和 $M_2. oip$ 的出接口合并而成, 因此, 构件网 M 仍是单入口、单出口的, 即 $|M. oip| = 1$, M 满足构件良构的性质(1)。

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$, $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(2)有: 对于任意的库所 $\forall p' \in P_1 \cup P_2$ 和变迁 $\forall t' \in T_1 \cup T_2$, 若 $(p', t') \in F_1 \cup F_2$ 或者 $(t', p') \in F_1 \cup F_2$, 则 p 与 t 之间是类型匹配的; 根据顺序组装的规则(7)中的 $G_F(P_1. oip, t) \in L_m(G_{P_1}(P_1. oip))$, $G_F(t, P_2. oip) \in L_m(G_{P_2}(P_2. oip))$, 连接件 t 与 $P_1. oip, P_2. oip$ 之间是类型匹配的。因此, 在组合后的构件网 M 中, 对于任意的库所 $\forall p \in P$ 和变迁 $\forall t \in T$, 若 $(p, t) \in F$ 或者 $(t, p) \in F$, 则构件 M 中的库所 p 与变迁 t 之间是类型匹配的, M 满足构件良构的性质(2)。

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$, $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(3), 对于任意的变迁 $\forall t' \in T_1 \cup T_2$ 和 $\forall p_i \in \cdot t'$ ($i=1, 2, \dots, n$), 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t) = G_T(t)$ 。根据顺序组装的规则(7)中的 $G_T(t) = G_F(P_1. oip, t)$, 在构件网 M 中, 对于任意的变迁 $\forall t \in T$ 和 $\forall p_i \in \cdot t$ ($i=1, 2, \dots, n$), 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t) = G_T(t)$, M 满足构件良构的性质(3)。

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$, $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(4)有: $M_1. oip. E. Ct > 0$, $M_1. oip. E. Co > 0$, $M_1. oip. E. T > 0$, $M_1. oip. E. D > 0$, 且 $M_2. oip. E. Ct > 0$, $M_2. oip. E. Co > 0$, $M_2. oip. E. T > 0$, $M_2. oip. E. D > 0$ 。根据顺序组装的规则(1)有: $M. oip. E. Ct > 0$, $M. oip. E. Co > 0$, $M. oip. E. T > 0$, $M. oip. E. D > 0$, M 满足构件良构的性质(4)。

综上所述, 定理 1 得证。证毕。

4 OOTCM 构件网的并行组装

定义 8 对于两个 OOTCM 构件网 $M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 和 $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 及

连接件 t_{in}, t_{out} , 库所 p_{in}, p_{out} , 令 $M = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$ 如能满足以下条件, 则称 M 是 M_1 和 M_2 的并行组装:

1) $P = P_1 \cup P_2 \cup p_{in} \cup p_{out}$, 其中 $M. oip$ 由 p_{in} 和 p_{out} 合并而成。其中, $M. oip. E. Ct = \min(M_1. oip. E. Ct, M_2. oip. E. Ct)$, $M. oip. E. Co = \min(M_1. oip. E. Co, M_2. oip. E. Co)$, $M. oip. E. T = \min(M_1. oip. E. T, M_2. oip. E. T)$, $M. oip. E. D = \min(M_1. oip. E. D, M_2. oip. E. D)$ 。

$$2) T = T_1 \cup T_2 \cup t_{in} \cup t_{out}.$$

$$3) F = F_1 \cup F_2 \cup (P_{in}, t_{in}) \cup (t_{in}, P_1. oip) \cup (t_{in}, P_2. oip) \cup (P_1. oip, t_{out}) \cup (P_2. oip, t_{out}) \cup (t_{out}, P_{out}).$$

$$4) G_P = G_{P_1} \cup G_{P_2} \cup G_P(p_{in}) \cup G_P(p_{out}).$$

$$5) G_T = G_{T_1} \cup G_{T_2} \cup G_T(t_{in}) \cup G_T(t_{out}).$$

$$6) G_F = G_{F_1} \cup G_{F_2} \cup G_F(P_{in}, t_{in}) \cup G_F(t_{in}, P_1. oip) \cup G_F(t_{in}, P_2. oip) \cup G_F(P_1. oip, t_{out}) \cup G_F(P_2. oip, t_{out}) \cup G_F(t_{out}, P_{out}).$$

$$7) G_F(P_{in}, t_{in}) \in L_m(G_P(p_{in})), G_T(t_{in}) = G_F(P_{in}, t_{in}), G_F(t_{in}, P_1. oip) \in L_m(G_{P_1}(P_1. oip)), G_F(t_{in}, P_2. oip) \in L_m(G_{P_2}(P_2. oip)), G_F(P_1. oip, t_{out}) \in L_m(G_P(P_1. oip)), G_F(P_2. oip, t_{out}) \in L_m(G_P(P_2. oip)), G_T(t_{out}) = G_F(P_1. oip, t_{out}), G_T(t_{out}) = G_F(P_2. oip, t_{out}), G_F(t_{out}, P_{out}) \in L_m(G_P(p_{out})).$$

定理 2 两个 OOTCM 良构件网 $M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 和 $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 及连接件 t_{in}, t_{out} , 经过并行组装而成的构件网 $M = (P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$ 也是良构的。

证明: 根据并行组装的规则(1)中的 $M. oip$ 由 p_{in} 和 p_{out} 合并而成可知, 构件网 M 仍是单入口、单出口的, 即 $|M. oip| = 1$, M 满足构件良构的性质(1)。

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$, $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(2), 对于任意的库所 $\forall p' \in P_1 \cup P_2$ 和变迁 $\forall t' \in T_1 \cup T_2$, 若 $(p', t') \in F_1 \cup F_2$ 或者 $(t', p') \in F_1 \cup F_2$, 则 p 与 t 之间是类型匹配的。根据并行组装的规则(7)中的 $G_F(P_{in}, t_{in}) \in L_m(G_P(p_{in}))$, $G_F(t_{in}, P_1. oip) \in L_m(G_{P_1}(P_1. oip))$, $G_F(t_{in}, P_2. oip) \in L_m(G_{P_2}(P_2. oip))$, $G_F(P_1. oip, t_{out}) \in L_m(G_P(P_1. oip))$, $G_F(P_2. oip, t_{out}) \in L_m(G_P(P_2. oip))$, 连接件 t_{in}, t_{out} 与 p_{in}, p_{out} 之间是类型匹配的。因此, 在组合后的构件网 M 中, 对于任意的库所 $\forall p \in P$ 和变迁 $\forall t \in T$, 若 $(p, t) \in F$ 或者 $(t, p) \in F$, 则构件 M 中的库所 p 与变迁 t 之间是类型匹配的, M 满足构件良构的性质(2)。

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$, $M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(3), 对于任意的变迁 $\forall t' \in T_1 \cup T_2$ 和 $\forall p_i \in \cdot t'$ ($i=1, 2, \dots, n$), 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t) = G_T(t)$ 。根据并行组装的规则(7)中的 $G_T(t_{out}) = G_F(P_1. oip, t_{out})$, $G_T(t_{out}) = G_F(P_2. oip, t_{out})$, 在构件网 M 中, 对于任意的变迁 $\forall t \in T$ 和 $\forall p_i \in \cdot t$ ($i=1, 2, \dots, n$), 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t) = G_T(t)$, M 满足构件良构的性质(3)。

$M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1}), M_2=(P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(4)有: $M_1. oip. E. Ct > 0, M_1. oip. E. Co > 0, M_1. oip. E. T > 0, M_1. oip. E. D > 0$, 且 $M_2. oip. E. Ct > 0, M_2. oip. E. Co > 0, M_2. oip. E. T > 0, M_2. oip. E. D > 0$ 。根据并行组装的规则(1)有: $M. oip. E. Ct > 0, M. oip. E. Co > 0, M. oip. E. T > 0, M. oip. E. D > 0$, M 满足构件良构的性质(4)。

综上所述, 定理 2 得证。证毕。

5 OOTCM 构件网的循环组装

定义 9 对于 OOTCM 构件网 $M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 及连接件 t , 令 $M=(P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$, 如能满足以下条件, 则称 M 是 M_1 的循环组装:

- 1) $P=P_1$, 其中 $M. oip=M_1. oip$ 。其中, $M. oip. E. Ct=M_1. oip. E. Ct, M. oip. E. Co=M_1. oip. E. Co, M. oip. E. T=M_1. oip. E. T, M. oip. E. D=M_1. oip. E. D$ 。
- 2) $T=T_1 \cup t$ 。
- 3) $F=F_1 \cup (t, P_1. oip) \cup (P_1. oip, t)$ 。
- 4) $G_P=G_{P_1}$ 。
- 5) $G_T=G_{T_1} \cup G_T(t)$ 。
- 6) $G_F=G_{F_1} \cup G_F(t, P_1. oip) \cup G_F(P_1. oip, t)$ 。
- 7) $G_F(P. oip, t) \in L_m(G_P(P. oip)), G_T(t)=G_F(P. oip, t), G_F(t, P. oip) \in L_m(G_P(P. oip))$ 。

定理 3 OOTCM 良构件网 $M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 及连接件 t , 经过选择组装而成的构件网 $M=(P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$ 也是良构的。

证明:

$M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 是一个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(1)有 $|M_1. oip|=1$, 且合并后的 $M. oip=M_1. oip$, 因此构件网 M 仍是单入口、单出口的, 即 $|M. oip|=1$, M 满足构件良构的性质(1)。

$M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 是一个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(2)有: 对于任意的库所 $\forall p' \in P_1 \cup P_2$ 和变迁 $\forall t' \in T_1 \cup T_2$, 若 $(p', t') \in F_1 \cup F_2$ 或者 $(t', p') \in F_1 \cup F_2$, 则 p 与 t 之间是类型匹配的。根据循环组装的规则(7)中的 $G_F(P. oip, t) \in L_m(G_P(P. oip)), G_F(t, P. oip) \in L_m(G_P(P. oip))$, 连接件 t 与 $P_1. oip$ 之间是类型匹配的。因此在组合后的构件网 M 中, 对于任意的库所 $\forall p \in P$ 和变迁 $\forall t \in T$, 若 $(p, t) \in F$ 或者 $(t, p) \in F$, 则构件 M 中的库所 p 与变迁 t 之间是类型匹配的, M 满足构件良构的性质(2)。

$M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 是一个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(3)对于任意的变迁 $\forall t' \in T_1 \cup T_2$ 和 $\forall p_i \in t' (i=1, 2, \dots, n)$, 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t)=G_T(t)$ 。根据循环组装的规则(7)中的 $G_T(t)=G_F(P. oip, t)$, 在构件网 M 中, 对于任意的变迁 $\forall t \in T$ 和 $\forall p_i \in t (i=1, 2, \dots, n)$, 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t)=G_T(t)$, M 满足构件良构的性质(3)。

$M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 是一个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(4)有: $M_1. oip. E. Ct > 0, M_1. oip. E. Co > 0, M_1. oip. E. T > 0, M_1. oip. E. D > 0$ 。根据循环组装的规则(1)有: $M. oip. E. Ct > 0, M. oip. E. Co > 0, M. oip. E. T > 0, M. oip. E. D > 0$, M 满足构件良构的性质(4)。

综上所述, 定理 3 得证。证毕。

6 OOTCM 构件网的选择组装

定义 10 对于两个 OOTCM 构件网 $M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 和 $M_2=(P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$, 及连接件 $t_{in1}, t_{in2}, t_{out1}, t_{out2}$, 库所 p_{in}, p_{out} , 令 $M=(P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$, 如能满足以下条件, 则 M 是 M_1 和 M_2 的选择组装:

- 1) $P=P_1 \cup P_2 \cup p_{in} \cup p_{out}$, 其中 $M. oip$ 由 p_{in} 和 p_{out} 合并而成; 其中, $M. oip. E. Ct = M_1. oip. E. Ct$ 或 $M. oip. E. Ct = M_2. oip. E. Ct; M. oip. E. Co = M_1. oip. E. Co$ 或 $M. oip. E. Co = M_2. oip. E. Co; M. oip. E. T = M_1. oip. E. T$ 或 $M. oip. E. T = M_2. oip. E. T; M. oip. E. D = M_1. oip. E. D$ 或 $M. oip. E. D = M_2. oip. E. D$ 。
- 2) $T=T_1 \cup T_2 \cup t_{in1} \cup t_{in2} \cup t_{out1} \cup t_{out2}$ 。
- 3) $F=F_1 \cup F_2 \cup (p_{in}, t_{in1}) \cup (p_{in}, t_{in2}) \cup (t_{in1}, P_1. oip) \cup (t_{in2}, P_2. oip) \cup (P_1. oip, t_{out1}) \cup (P_2. oip, t_{out2}) \cup (t_{out1}, P_{out}) \cup (t_{out2}, P_{out})$ 。
- 4) $G_P=G_{P_1} \cup G_{P_2} \cup G_P(p_{in}) \cup G_P(p_{out})$, 且 $|G_P(p_{in})|=1$ 。
- 5) $G_T=G_{T_1} \cup G_{T_2} \cup G_T(t_{in1}) \cup G_T(t_{out1}) \cup G_T(t_{in2}) \cup G_T(t_{out2})$ 。
- 6) $G_F=G_{F_1} \cup G_{F_2} \cup G_F(p_{in}, t_{in1}) \cup G_F(p_{in}, t_{in2}) \cup G_F(t_{in1}, P_1. oip) \cup G_F(t_{in2}, P_2. oip) \cup G_F(P_1. oip, t_{out1}) \cup G_F(P_2. oip, t_{out2}) \cup G_F(t_{out1}, P_{out}) \cup G_F(t_{out2}, P_{out})$ 。
- 7) $G_F(p_{in}, t_{in1}) \in L_m(G_P(p_{in})), G_F(p_{in}, t_{in2}) \in L_m(G_P(p_{in})), G_T(t_{in1}) = G_F(p_{in}, t_{in1}), G_T(t_{in2}) = G_F(p_{in}, t_{in2}), G_F(t_{in1}, P_1. oip) \in L_m(G_{P_1}(P_1. oip)), G_F(t_{in2}, P_2. oip) \in L_m(G_{P_2}(P_2. oip)), G_F(p_1. oip, t_{out1}) \in L_m(G_P(p_1. oip)), G_T(t_{out1}) = G_F(p_1. oip, t_{out1}), G_F(t_{out1}, p_{out}) \in L_m(G_P(p_{out})), G_F(p_2. oip, t_{out2}) \in L_m(G_P(p_2. oip)), G_T(t_{out2}) = G_F(p_2. oip, t_{out2}), G_F(t_{out2}, p_{out}) \in L_m(G_P(p_{out}))$ 。

定理 4 两个 OOTCM 良构件网 $M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1})$ 和 $M_2=(P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 及连接件 $t_{in1}, t_{in2}, t_{out1}, t_{out2}$, 经过选择组装而成的构件网 $M=(P, T, F, S, G_P, G_T, G_F)$ 也是良构的。

证明:

$M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1}), M_2=(P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(1)有 $|M_1. oip|=|M_2. oip|=1$, 且 $M. oip$ 由 p_{in} 和 p_{out} 合并而成, 因此, 构件网 M 仍是单入口、单出口的, 即 $|M. oip|=1$, M 满足构件良构的性质(1)。

$M_1=(P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1}), M_2=(P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构件网, 根据构件良构的性质(2)有: 对于任意的库所 $\forall p' \in P_1 \cup P_2$ 和变迁

$\forall t' \in T_1 \cup T_2$, 若 $(p', t') \in F_1 \cup F_2$ 或者 $(t', p') \in F_1 \cup F_2$, 则 p 与 t 之间是类型匹配的。根据选择组装的规则(7)中的 $G_F(P_{in}, t_{in1}) \in L_m(G_P(p_{in}))$, $G_F(P_{in}, t_{in2}) \in L_m(G_P(p_{in}))$, $G_F(t_{in1}, P_1.oip) \in L_m(G_{P_1}(P_1.oip))$, $G_F(t_{in2}, P_2.oip) \in L_m(G_{P_2}(P_2.oip))$, $G_F(p_1.oip, t_{out1}) \in L_m(G_P(p_1.oip))$, $G_F(t_{out1}, p_{out}) \in L_m(G_P(p_{out}))$, $G_F(p_2.oip, t_{out2}) \in L_m(G_P(p_2.oip))$, $G_F(t_{out2}, p_{out}) \in L_m(G_P(p_{out}))$, 连接件 $t_{in1}, t_{in2}, t_{out1}, t_{out2}$ 与 $P_1.oip, P_2.oip$ 之间是类型匹配的。因此, 在组合后的构件网 M 中, 对于任意的库所 $\forall p \in P$ 和变迁 $\forall t \in T$, 若 $(p, t) \in F$ 或者 $(t, p) \in F$, 则构件 M 中的库所 p 与变迁 t 之间是类型匹配的, M 满足构件良构的性质(2)。

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1}), M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构构件网, 根据构件良构的性质(3), 对于任意的变迁 $\forall t' \in T_1 \cup T_2$ 和 $\forall p_i \in \cdot t'$ ($i=1, 2, \dots, n$), 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t) = G_T(t)$ 。根据选择组装的规则(7)中的 $G_T(t_{in1}) = G_F(p_{in}, t_{in1}), G_T(t_{in2}) = G_F(p_{in}, t_{in2}), G_T(t_{out1}) = G_F(p_1.oip, t_{out1}), G_T(t_{out2}) = G_F(p_2.oip, t_{out2})$, 在构件网 M 中, 对于任意的变迁 $\forall t \in T$ 和 $\forall p_i \in \cdot t$ ($i=1, 2, \dots, n$), 有 $\sum_{i=1}^n G_F(p_i, t) = G_T(t)$, M 满足构件良构的性质(3)。

$M_1 = (P_1, T_1, F_1, S_1, G_{P_1}, G_{T_1}, G_{F_1}), M_2 = (P_2, T_2, F_2, S_2, G_{P_2}, G_{T_2}, G_{F_2})$ 是两个 OOTCM 良构构件网, 根据构件良构的性质(4)有: $M_1.oip.E.Ct > 0, M_1.oip.E.Co > 0, M_1.oip.E.T > 0, M_1.oip.E.D > 0$, 且 $M_2.oip.E.Ct > 0, M_2.oip.E.Co > 0, M_2.oip.E.T > 0, M_2.oip.E.D > 0$ 。根据选择组装的规则(1)有: $M.oip.E.Ct > 0, M.oip.E.Co > 0, M.oip.E.T > 0, M.oip.E.D > 0$, M 满足构件良构的性质(4)。

综上所述, 定理 4 得证。证毕。

结束语 可信构件及基于构件的可信系统的建模和分析等方面的研究是可信软件问题中一个具有重要意义和应用价值的研究热点之一。在前期的工作中, 我们根据面向对象的思想对 Petri 网进行扩展, 提出了基于面向对象思想的可信构件网, 从而对所构建的基于构件的可信软件模型中的可执行的构件集进行描述。

本文在所描述的可信构件网模型框架中, 给出了面向对象的可信构件网的子网组合的定义。在可信构件网框架中, 本文讨论了两个构件基于连接件的并行组装、选择组装、顺序组装、循环组装。通过连接件的连接作用, 根据一定的组织关系协调构件之间的关系, 最终将组合的构件形成了一个有机的整体。

参 考 文 献

- [1] YUSOF Y, OMER F R. Combining structure and function-based descriptors for component retrieval in software digital libraries [J]. Integrated Computer-Aided Engineering, 2008, 15(4): 279-296.
- [2] LIU H, MA Z Y, SHAO W Z. Progress of Research on Meta-modeling [J]. Journal of Software, 2008, 19(6): 1317-1327. (in Chinese)

- 刘辉, 麻志毅, 邵维忠. 元建模技术研究进展. 软件学报, 2008, 19(6): 1317-1327.
- [3] ABRIAL J R. The B-Book: Assigning Programs to Meanings [M]. Cambridge University Press, 1996.
- [4] LUMPE M, ACHERMANN F, NIERSTRASZ O. A formal language of composition. Foundations of Component-based Systems [M]. Cambridge University Press, 2000: 69-90.
- [5] MAGEE J, DULAY N, EISENBAEH S, et al. Specifying distributed software architectures [C] // Fifth European Software Engineering Conference, September 1995: 137-153.
- [6] MAGEE J, KRAMER J. Dynamics structure in software architectures [C] // Proceedings of the Fourth ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering. San Francisco, CA, 1996: 3-14.
- [7] LUCKHAM D C, AUGUSTIN L M, KENNEY JAMES VERA J J, et al. Specification and analysis of system architecture using RaPide [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1995, 21(4): 336-355.
- [8] ALLEN R. A formal approach to software architecture [D]. Carnegie Mellon University, 1997.
- [9] ALLEN R, GARLAN D. A formal approach to software architectures [C] // Proceedings of IFIP'92. Elsevier Science Publishers B. V., 1992: 134-141.
- [10] YANG H B, QIAO Y M. Component assembly model based on Petri net [J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2010, 31(4): 452-457. (in Chinese)
- 杨鹤标, 乔亦民. 基于 Petri 网的构件组装模型 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2010, 31(4): 452-457.
- [11] YANG X, MA J, HOU J K. Formal description for architecture model based on feature and category theory [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(7): 1317-1322. (in Chinese)
- 杨潇, 马军, 侯金奎. 基于特征和范畴理论的体系结构模型形式化描述 [J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(7): 1317-1322.
- [12] CHANG Z M, MAO X J, QI Z C. Component Model and Its Implementation of Internetware Based on Agent [J]. Journal of Software, 2008, 19(5): 1113-1124. (in Chinese)
- 常志明, 毛新军, 齐治昌. 基于 Agent 的网构软件构件模型及其实现 [J]. 软件学报, 2008, 19(5): 1113-1124.
- [13] ZHANG J J, DONG W. Component Composition Operations and Properties Based on Petri Net [J]. Microelectronics & Computer, 2006, 23(Sup): 95-99. (in Chinese)
- 张继军, 董卫. 基于 Petri 网的构件组装运算及其性质 [J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(增刊): 95-99.
- [14] ZHU Q, WANG X P, XUE X P, et al. Dynamic Evolution of Internetware System Based on Component [J]. Computer Engineering, 2010, 36(1): 55-60. (in Chinese)
- 朱庆, 王小平, 薛小平, 等. 基于构件的网构软件系统动态演化 [J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 55-60.
- [15] ZHAO N. The Description and Evolution of Components on the Basis of EOOPN [D]. Kunming: Yunnan University, 2011. (in Chinese)
- 赵娜. 基于 EOOPN 的构件描述及演化研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2011.