

# 消息序列图的范畴论语义描述

于立兴, 陈中育, 高毅

(浙江师范大学数理与信息工程学院, 浙江 金华 321004)

**摘要:** 消息序列图(MSC)作为一种描述和规范系统部件之间交互行为的图文语言, 对实例和消息等元素本身没有相应的描述结构, 使得描述功能扩展有诸多限制。为了增强 MSC 描述的精确性与灵活性, 对其进行语义形式化。在原有消息机制的基础上, 采用范畴论的数学方法, 给出 MSC 的语义描述结构, 并对其结构进行扩展, 增强带时间概念的 MSC 描述功能。

**关键词:** 交互行为; 范畴论; 形式化语义; 时间概念

## Category Theory Semantic Description of Message Sequence Charts

YU Li-xing, CHEN Zhong-yu, GAO Yi

(College of Mathematics Physics and Information Engineering, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

**【Abstract】** Message Sequence Charts(MSC) is a graphic and text language for describing and specifying interactions among system components. Because the factors of instance and message itself lack description structure, extension for description function has much limit. The purpose of formalization is to enhance the accuracy of its description. In this paper, using mathematical methods, a semantic structure of MSC based on message mechanism is given. And the function of describing MSC with time concept is extended, with the result of enhanced capabilities of its description.

**【Key words】** interaction behavior; category theory; formal semantics; time concept

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.020

### 1 概述

消息序列图(Message Sequence Charts, MSC)<sup>[1]</sup>是一种强调消息的时序交互图, 是用于描述系统间消息传递的有效图形和文本语言。MSC 最初只是作为 SDL(Specification and Description Language)语言<sup>[2]</sup>的补充, 随着 MSC 的发展, 其形式化的描述和直观的表述方式使它支持从领域分析到测试的整个工程领域<sup>[3]</sup>。MSC 也正因其特殊的应用价值而在越来越多的领域中被广泛运用, 新的概念和内容以及形式化方法被越来越多的使用者提出。

由于广泛的应用领域, 使得不同角色的使用者对 MSC 的描述能力有了更多的要求, 而现有的 MSC 将描述的重点放在消息的动态行为上<sup>[4]</sup>, 对 MSC 的实例和消息等元素本身并没有相应的描述结构, 这一缺陷对 MSC 描述功能扩展上有了很大限制, 给实际应用带来了许多不便。如文献[5]对 MSC 做了精确的代数语义描述, 但缺乏对实例等元素本身的相应描述, 而是在元素本身之外加上相应的约束条件, 给描述工作带来一定的困难。本文在范畴论的理论方法指导下, 对 MSC 及实例、消息、事件等结构进行描述, 如同对 MSC 的各个部件进行了对象化, 增强了其功能扩展的灵活性。

本文利用范畴论的数学方法, 给出一种 MSC 的形式化语义描述, 使得 MSC 概念能被更加精确有效地刻画出来。对 MSC 的基本结构组成做了相应的描述, 利用范畴论的理论方法给出形式化的描述结构, 并根据 MSC2000 新增的时间概念, 给出相应的扩展。

### 2 背景知识

本文将基于范畴论的理论方法, 给出一种 MSC 的形式化语义描述, 其中, 与范畴论相关的一些概念主要参考文献[6-8]。

**定义 1**(范畴 Category) 一个范畴  $G$  是一个元组  $\langle G, ; \rangle$ ,

其中,  $G$  是一个图, 记为  $graph(G)$ ;  $;$  是一个从  $G_2$  到  $G_1$  的映射(叫作复合律); 对于  $G_2$  中的每个  $fg$ , 用  $f;g$  表示由复合产生的箭头;  $id$  是一个从  $G_0$  到  $G_1$  的映射(叫作恒等映射); 对于每个结点  $x$ , 用  $idx$  表示其恒等箭头。

对于  $G_1$  中  $f$ 、 $G_2$  中  $fg$ 、 $G_3$  中  $fgh$ , 则有:

$$(1) src(f;g)=src(f) \text{ 且 } trg(f;g)=trg(g)$$

$$(2) src(idx)=trg(idx)=x$$

$$(3) (f;g);h=f;(g;h)$$

如果  $f:x \rightarrow y$ , 则有  $idx:f=idy:f$ 。

范畴图  $G$  中的结点也叫作范畴  $C$  中的对象, 记为  $c:C$ , 对象集记为  $|C|$ 。范畴图  $G$  中的箭头也叫作范畴  $C$  中的态射, 任意给定  $x$  和  $y$  是  $c:C$ , 从  $x$  到  $y$  的态射集合记为  $HomC(x,y)$ 。从上述定义看, 一个范畴包括下面 3 个组成部分:

(1) 一个对象的集。

(2) 态射集合: 任何 2 个对象  $A$  和  $B$ , 存在一个从  $A$  到  $B$  的态射集合  $Hom(A,B)$ 。如果  $f$  属于  $Hom(A,B)$ , 则记为  $f:A \rightarrow B$ 。

(3) 复合态射: 任何 3 个对象  $A$ 、 $B$  和  $C$ , 存在一个二元运算  $Hom(A,B) \times Hom(B,C) \rightarrow Hom(A,C)$ 。如果由  $f:A \rightarrow B$  和  $g:B \rightarrow C$  复合而成, 记为  $f;g$ 。

以上组成部分若满足如下 2 条公理, 则称为范畴:

(1) 结合律: 如果有  $f:A \rightarrow B$ ,  $g:B \rightarrow C$  和  $h:C \rightarrow D$ , 则  $(f;g);h=f;(g;h)$ 。

(2) 恒等律: 对任意对象  $X$ , 存在一个态射  $idX:X \rightarrow X$ , 称为  $X$  的恒等态射, 使得对任何态射  $f:A \rightarrow B$ , 都有  $idA:f=f;idB$ 。

由定义可知, 范畴论是依据对象的社会活动 social lives

**作者简介:** 于立兴(1986—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 软件工程, 形式化方法; 陈中育, 教授、博士研究生; 高毅, 硕士研究生

**收稿日期:** 2010-12-27 **E-mail:** crendy@126.com

来刻画对象的,主要强调各对象间保持对象结构不变的态射,而不像传统的数学方法那样只集中注意力于数学对象本身。范畴提供一个更高的抽象形式,是一个方便的概念语言,软件工程形式化方法的许多概念可以从范畴论获得很好的解释<sup>[9]</sup>。

### 3 MSC 的范畴语义描述

MSC 是一种图形描述语言,通常用于软件系统需求的可视化描述。MSC 的基本元素是构件实例(Instance)和消息流(Message)<sup>[10]</sup>。可见一个 MSC 由有限多个实例组成,而消息表示了实例之间的交互。

实例是一个抽象实体,表示系统的组成部分(如构件、用户及环境等),用带有题头(用矩形表示)的垂直直线代表实例,题头中书写实例的名称,垂直线为时间轴,自上而下依次排列一系列事件,这些事件可以是消息发送、接收和本地动作等事件。一个时间线定义了输入/输出事件的完整顺序,而整个 MSC 定义了全部事件的部分顺序。可见一个实例是由一组被定义顺序的事件组成,也就是 MSC 事件集上存在偏序关系<sup>[11]</sup>。图 1 是一个 MSC 的示例。

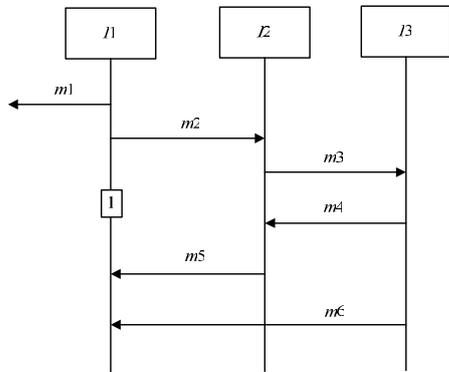


图 1 MSC 示例

**定义 2(消息序列图 MSC 范畴)** MSC 的基本元素是构件实例(Instance)和消息流(Message)<sup>[12]</sup>,确定 MSC 范畴  $M$  为一个元组  $\langle I, F_t, M \rangle$ ,其对象为实例,态射为实例之间的交互关系(消息),恒等式空消息,复合是消息的串联,因此,根据定义 1 可以确定消息序列图 MSC 范畴是一个范畴。其中,  $I$  是对应 MSC 中实例的集合;  $F_t$  是范畴  $M$  对象之间时刻  $t$  的态射。由于 2 个实例之间交互的消息可能不止一个,但同一实例上事件的时间约束,使得某个时刻  $t$  两实例的交互唯一;  $M$  是消息集合。

事件是 MSC 中可观察的基本单位,本文把 2 个实例之间的一条消息看成 2 个事件:发送事件( $s$ )和接收事件( $r$ ),而本地事件( $l$ )是一个独立的事件,如图 2 所示。

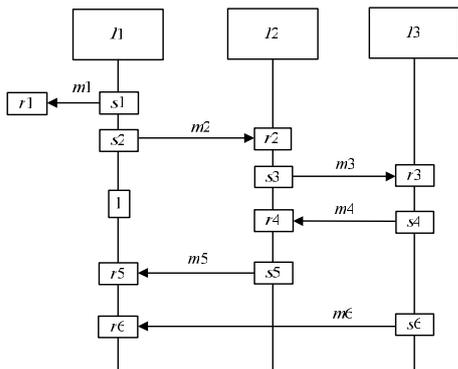


图 2 带事件的 MSC 示例

**定义 3(实例 Instance 范畴)** 实例是一个抽象实体,由一系列存在偏序关系( $<$ )的事件组成。因此,约定实例范畴  $I$  是一个范畴,它的对象是事件( $E$ ),态射是事件之间的偏序关系( $<$ )。其结构可以确定为一个元组  $I = \langle E, <, L, K, M, P \rangle$ 。其中:

- (1)  $E$  为对应实例上的事件集合;
- (2)  $<$  为对象之间的态射(事件之间的偏序关系)。如果存在态射  $<: e_0 \rightarrow e_1$ , IFF 事件  $e_0 < e_1$ ;
- (3)  $L: E \rightarrow I$  每一个事件与实例的映射;
- (4)  $K: E \rightarrow \{s, r, l\}$  每一个事件与事件类型的一个映射,  $s$ : 发送事件,  $r$ : 接收事件,  $l$ : 本地事件;
- (5)  $M: E \rightarrow M$  每一个事件与消息的一个映射;
- (6)  $P \subseteq E \times E$  是  $\langle s, r \rangle$  对的集合,即发送事件与接收事件对,每一个发送事件  $s$ ,都与一个唯一的接收事件  $r$  相匹配。如果事件  $e_1$  与  $e_2$  可以表示为  $P(e_1, e_2)$ , IFF  $M(e_1) = M(e_2)$ , 并且  $K(e_1) = s, K(e_2) = r$ 。

通过上面对 MSC 范畴式的定义,虽然抽象,但不乏具体,如给出一个消息序列图(MSC),对于 2 个有序的事件  $e_1$  和  $e_2$ ,有  $e_1 < e_2$ , 当且仅当满足下面 2 种描述之一:

- (1)  $e_1$  和  $e_2$  是一个  $\langle s, r \rangle$  对,即  $P(e_1, e_2)$  存在,  $M(e_1) = M(e_2)$ 。
- (2)  $e_1$  和  $e_2$  属于同一个实例,并且在此实例的时间轴上  $e_1$  早出现于  $e_2$ 。

再例如,如果要对交叉信息的发生(如图 3 所示)进行限制,只需要保证如下命题之一为真即可:

- (1)  $(P(s_1, r_1) \wedge P(s_2, r_2) \wedge s_1 < s_2 \wedge L(s_1) = L(s_2) \wedge L(r_1) = L(r_2)) \Rightarrow r_1 < r_2$
- (2)  $(P(s_1, r_1) \wedge P(s_2, r_2) \wedge s_2 < s_1 \wedge L(s_1) = L(s_2) \wedge L(r_1) = L(r_2)) \Rightarrow r_2 < r_1$

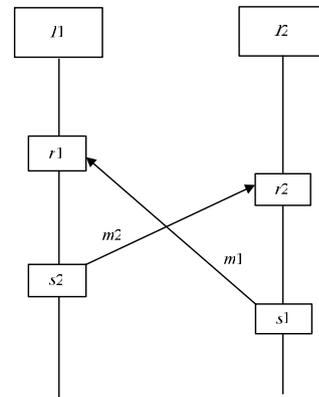


图 3 带交叉事件的 MSC 示例

针对图 2 中给出的例子,对于任何一个消息  $M_i, 1 \leq i \leq 6$ ,都将其事件标注为  $s_i$ (发送事件)和  $r_i$ (接收事件)。根据上面的定义可得到:

- $I = \{I_1, I_2, \dots, I_6\}$ ;
- $M = \{m_1, m_2, \dots, m_6\}$ ;
- $F_{t_1}(I_1 \rightarrow I_2) = m_2$ ;
- $E = \{s_1, s_2, \dots, s_6, l_1, r_1, r_2, \dots, r_6\}$ ;
- $L^{-1}(I_1) = \{s_1, s_2, l_1, r_5, r_6\}$ , 并且  $s_1 < s_2 < l_1 < r_5 < r_6$ ;
- $K^{-1}(s) = \{s_1, s_2, \dots, s_6\}, K^{-1}(r) = \{r_1, r_2, \dots, r_6\}, K^{-1}(l) = \{l\}$ ;
- 对于  $\forall i, M(s_i) = M(r_i) = M_i$ ;
- 对于  $\forall i$ , 如果存在  $P(s_i, r_i)$ , 则  $s_i < r_i$ 。

如果将偏序关系标注为可视图形中的符号  $\rightarrow$ , 则可得到如下可见顺序的 MSC 图,如图 4 所示。

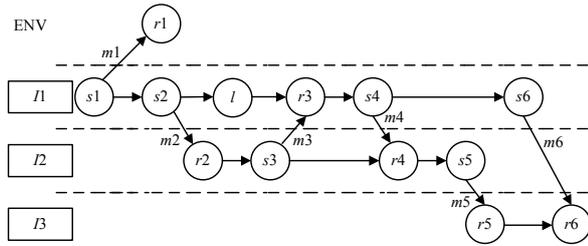


图4 可见顺序的 MSC 图

### 4 MSC 形式化语义的扩展

MSC2000 引入了时间概念<sup>[13]</sup>, 采用量化的时间值扩展了 MSC 事件的表达范围, 如图 5 所示, 时间概念的引入就如 MSC 发生了一个特殊事件, 这个事件只代表了事件的延迟, 没有具体的事件行为。

MSC 范畴  $M \langle I, F, M \rangle$  中的态射  $F_i$  很准确地描述了实例之间的交互关系, 但如果要描述带时间概念的 MSC, 还需要对此进行扩展, 如图 6 所示, 在原来基础上加入了一个特殊事件  $t_0$ , 并且有一个延迟时间约束  $\Delta t(t_0)=5s$ , 称这种事件为时间事件( $t$ )。

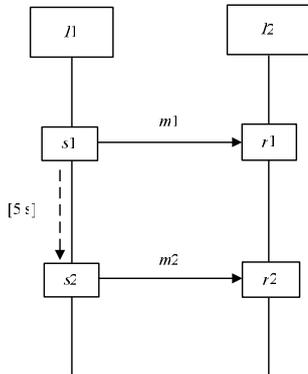


图5 带时间概念的 MSC 示例

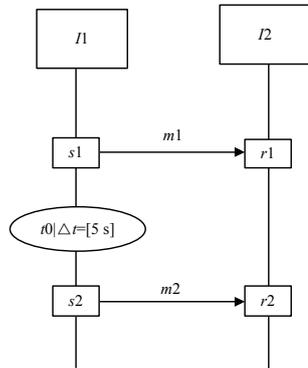


图6 带时间概念的 MSC 扩展

因此, 需要重新定义实例范畴, 结构不需要变, 只需更改事件类型即可, 如定义 4 所示。

**定义 4(实例 Instance 范畴)** 实例 Instance 范畴  $I$  结构可以确定为一个元组  $\langle E, <, L, K, M, P \rangle$ 。其中,  $E$  为对应实例上的事件集合;  $<$  为对象之间的态射(事件之间的偏序关系)。如果存在态射  $\langle e_0 \rightarrow e_1$ , IFF 事件  $e_0 < e_1$ ;  $L: E \rightarrow I$  每一个事件与实例的映射;  $K: E \rightarrow \{s, r, l, t\}$  每一个事件与事件类型的一个映射;  $s$ : 发送事件;  $r$ : 接收事件;  $l$ : 本地事件;  $t$ : 时间事件, 并且带有  $\Delta t$  属性;  $M: E \rightarrow M$  每一个事件与消息的一个映射;  $P \subseteq E \times E$  是  $\langle s, r \rangle$  对的集合, 即发送事件与接收事件对, 每一个发送事件  $s$ , 都与一个唯一的接收事件  $r$  相匹配。如果事件  $e_1$  与  $e_2$  可以表示为  $P(e_1, e_2)$ , IFF  $M(e_1)=M(e_2)$ , 并且

$$K(e_1)=s, K(e_2)=r。$$

根据上面的定义, 如图 6 所示 MSC 的描述如下:

- $I = \{I1, I2\}$ ;
- $M = \{m1, m2\}$ ;
- $F_{i1}(I1 \rightarrow I2) = m1$ ;
- $E = \{s1, s2, t_0, r1, r2\}$ ;
- $L^{-1}(I1) = \{s1, s2, t_0\}$ , 并且  $s1 < s2 < t_0$ ,  $\Delta t(t_0) = 5s$ ;
- $K^{-1}(s) = \{s1, s2\}, K^{-1}(r) = \{r1, r2\}, K^{-1}(l) = \emptyset, K^{-1}(t) = \{t_0\}$ ;
- 对于  $\forall i, M(si) = M(ri) = Mi$ ;
- 对于  $\forall i$ , 如果存在  $P(si, ri)$ , 则  $si < ri$ 。

### 5 结束语

本文基于范畴论的理论方法, 给出了 MSC 的一种抽象易扩展的形式化描述结构, 并对其结构进行了扩展, 使其能够描述带时间概念的 MSC。本文对 MSC 及范畴的相关知识进行了简单介绍, 展示了范畴语义形式化 MSC 的可能性, 根据 MSC 的结构特征和范畴论的理论方法, 给出了 MSC 的形式化语义, 对形式化结构进行扩展, 加入了对时间概念的描述, 增强了 MSC 范畴结构的描述能力。

### 参考文献

- [1] ITU-T. ITU-T Recommendation Z 120-1998 Formal Semantics of Message Sequence Charts[S]. 1998.
- [2] Freeman W, Miller E. An Experimental Analysis of Cryptographic Overhead in Performance-critical Systems[C]//Proc. of the 7th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems. Maryland, USA: College Park, 1999: 348-357.
- [3] 杨成伟, 李长英, 曹宝香. 基于 MSC 的构件及组装模式形式化描述研究[J]. 计算机与现代化, 2008, (8): 92-96.
- [4] 褚秉华, 仇佩亮. 形式化语言 MSC 消息机制的扩展[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2003, 37(2): 167-172.
- [5] 李伟, 魏仰苏. MSC 代数语义研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(28): 67-69.
- [6] 杨先娣, 何宁, 吴黎兵. 基于范畴论的本体集成描述[J]. 计算机工程, 2009, 35(6): 76-78.
- [7] MacLane S. Categories for the Working Mathematician[M]. 2nd ed. [S. l.]: Springer-Verlag, 1998.
- [8] Asperti A, Longo G. Categories, Types, and Structures: An Introduction to Category Theory for the Working Computer Scientist[M]. [S. l.]: MIT Press, 1991.
- [9] 屈文建. 范畴论在软件设计中的应用[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2009, 33(1): 90-97.
- [10] Ladkin P B, Leue S. Interpreting Messageflow Graphs[J]. Formal Aspects of Computing, 1995, 7(5): 473-509.
- [11] ITU-T. ITU-T Recommendation Z 120-1999 Message Sequence Chart(MSC)[S]. 1999.
- [12] Alur R, Holzmann G J, Peled D. An Analyzer for Message Sequence Charts[J]. Software Concepts and Tools, 1996, 17(2): 70-77.
- [13] Engels A. Design Decisions on Data and Guards in MSC2000[C]// Proc. of the 2nd Workshop on SDL and MSC. Col de Porte, Grenoble, France: [s. n.], 2000: 33-46.



