

# 形式化智能世界的建模过程

孙善武<sup>1,2</sup> 王楠<sup>1,2</sup> 欧阳丹彤<sup>3</sup>

(吉林财经大学管理科学与信息工程学院 长春 130117)<sup>1</sup>

(吉林财经大学物流产业经济与智能物流吉林省重点实验室 长春 130117)<sup>2</sup>

(吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室 长春 130012)<sup>3</sup>

**摘要** 各种网络化实体或智能实体的嵌入将物理世界转变为智能世界,增加了基于物理世界统一抽象模型的推理复杂性。基于 Saitta 和 Zucker 定义的知识重构与抽象模型,提出一种新的表示智能世界的方法。通过感知重构过程,根据构成实体之间的通信关系自动构建 3 个可区分的、相互关联的子模型,即物理世界、网络化世界和虚拟世界,3 个子模型之间的关系构成了智能世界的一个集成化模型。着重介绍了感知重构过程的形式化表示和推理机制。实际搭建的智能世界设计诊断推理实验表明,与基于知识重构和抽象一般物理世界模型相比,基于提出的智能世界模型的推理过程可以将系统故障限制在一个子模型中,从而较大幅度地缩小了诊断的搜索空间。

**关键词** 抽象, KRA 模型, 物理世界, 网络化世界, 虚拟世界

中图分类号 TP391 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.5.004

## Formalizing Modeling Process of Intelligence World

SUN Shan-wu<sup>1,2</sup> WANG Nan<sup>1,2</sup> OUYANG Dan-tong<sup>3</sup>

(College of Management Science and Information Engineering, Jilin University of Finance and Economics, Changchun 130117, China)<sup>1</sup>

(Laboratory of Logistics Industry Economy and Intelligent Logistics, Jilin University of Finance and Economics, Changchun 130117, China)<sup>2</sup>

(Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130012, China)<sup>3</sup>

**Abstract** Various networked objects or smart objects are embedded in physical world to transfer it into an intelligent world, which increases the reasoning complexity based on the unified abstraction model framework. This paper presented a new method to represent such an intelligent world based on the knowledge reformulation and abstraction model proposed by Saitta and Zucker. We automatically constructed three distinguishable and interrelated sub-models, i. e., the model of physical world, networked world and virtual world, according to the communicational ways of the compositive entities by a perception reformulation process. The relationships between the three sub-models are constructed to make them form an integrated model of the intelligent world. We focused on the formalized representation of the perception reformulation and reasoning mechanism in this paper. We built practical intelligent worlds and set up diagnosis reasoning experiments, showing that comparing to the knowledge reformulation and abstraction model, the reasoning process of the proposed modeling method can limit malfunctions to one of the sub-models to reduce the diagnosis space.

**Keywords** Abstraction, KRA model, Physical world, Networked world, Virtual world

## 1 引言

统一的抽象建模框架以及形式化表示可以帮助实现自动推理,很多学者对人工智能领域内的抽象概念做了大量的研究。Saitta 和 Zucker<sup>[1-4]</sup>两位学者提出了表示改变的模型,其既包含了语法重构过程,也包含了抽象过程。该模型简称 KRA 模型(Knowledge Reformulation and Abstraction),用来帮助实现问题的概念化以及抽象算子的自动应用<sup>[14,15]</sup>。但是物联网技术<sup>[13]</sup>的发展给物理世界带来了很大的改变,一些

物理对象添加了处理器、传感器和发射器等电子设备,进而转化为网络化对象或者智能对象<sup>[5]</sup>。传感器可以感知世界的物理特性,执行器可以以某种方式影响物理世界<sup>[6]</sup>。这些电子设备的嵌入使得智能对象与传统对象相比,呈现出非常不同的行为表现,它们都是可计算的并且可以连接到网络中,因此在未来,物理世界和虚拟世界将会相互整合、交互操作<sup>[7]</sup>,从这一点看,浏览现实世界即相当于浏览 Web<sup>[8]</sup>。目前已经开发了很多处理终端用户需求(如安全、存储、娱乐等)以及使用不同策略(如中央网络、与设备无关的应用程序开发工具等)

到稿日期:2014-05-29 返修日期:2014-09-22 本文受国家自然科学基金(61272208,61133011,60973089,61003101,61170092,61402193),吉林省科技发展计划项目(20100173,20130522177JH),吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目(2012190,2011463,2012189,2014160)资助。  
孙善武(1969-),男,硕士,副教授,主要研究领域为物联网技术、网络安全,E-mail:ctusunshanwu@126.com;王楠(1980-),女,博士,副教授,CCF会员,主要研究领域为自动推理、模型抽象,E-mail:ctuwangnan@126.com(通信作者);欧阳丹彤(1968-),女,博士,教授,主要研究领域为基于模型的诊断、自动推理,E-mail:ouyangdantong@163.com。

的框架和中间件<sup>[9]</sup>。笔者在文献[10]中将包含大量智能对象的特殊的物理世界称为智能世界,并探讨了在 KRA 模型表示框架下对其进行形式化,但是并没有给出详细的形式化过程描述。本文形式化具体的感知重构过程,构建 3 个可区分的、相互关联的子模型,并生成 3 个子模型之间的关联关系,构造智能世界的集成化模型,为推理提供支持。

## 2 相关概念

为了刻画由网络化实体或智能实体构成的智能世界,部分引入文献[11,12]中的一些概念以及文献[10]中的一些扩展。

**定义 1(物理实体, PhEntity)** 一个物理实体是任意一个带有自然属性或设计属性的对象,不仅包含具体的人、物或其它人造的物理设备(如开关、打印机等),也包含各种抽象的内容(如环境、空气等)。

**定义 2(网络化实体, NWEntity)** 嵌入了传感器、执行器或处理器(称为网络化设备)的物理实体定义为网络化实体,一个网络化实体是一个组合对象,可以由各种物理实体以及其它的组成部件网络化实体构成。

**定义 3(虚拟实体, VEntity)** 一个虚拟实体是一个软件对象、软件服务或软件对象与软件服务的组合对象,表示智能世界以及与智能世界进行通信。

**定义 4(网络化连接, NWConn)** 一个网络化实体与另一个实体(物理实体、网络化实体或者虚拟实体)通过网络化设备相连称为网络化连接。

**定义 5(物理连接, PhConn)** 物理连接通过实际物理链路(如电线、管道等)来连接两个物理实体。

**定义 6(虚拟连接, VConn)** 虚拟连接用来连接两个虚拟实体。

**定义 7(物理世界)** 实体以及它们之间的物理连接构成了物理世界。

**定义 8(网络化世界)** 实体以及它们之间的网络化连接构成了网络化世界。

**定义 9(虚拟世界)** 实体以及它们之间的虚拟连接构成了虚拟世界。

引入文献[11]中的实验用例,同时为了描述提出的概念,在结构和功能上对其进行了一些改变<sup>[10]</sup>。其中的物理开关对象集成了一个传感器和一个执行器,传感器感知周围环境的变化并且将这些变化发送给虚拟世界中某个对应的应用程序。虚拟世界处理接收的数据并且发送控制信号到执行器,以此决定开关的开和关状态。开关和灯通过物理线路连接。该智能世界  $IntW$  如图 1 所示。

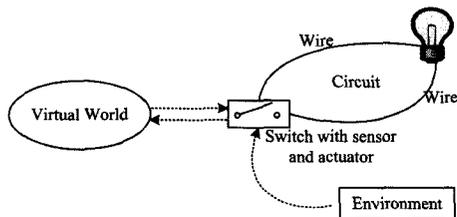


图 1 从文献[11]中变化而得到的实验用例

在图 1 所示的用例中,电线、灯泡和周围环境具有客观的或者设计的属性,称为物理实体。添加了传感器和发射器的开关称为网络化实体,其中也包含了一个物理实体“物理开

关”,用来通过物理线路控制整个电路。虚拟实体则由一些虚拟服务构成,通过网络化连接与网络化实体进行通信。

## 3 形式化感知重构过程

本节首先引入并修改文献[10]中的感知表示作为初步感知的形式化表示,扩展对象的具体属性内容。然后基于这种扩展,重构基本感知的表示并自动构建 3 个可区分的子模型及之间的关系,从而生成智能世界的集成化模型。

### 3.1 基本感知

根据文献[4, 10, 14],定义基本感知为一个五元组,即  $PriP = (PriOBJ, PriATT, PriBEHAV, PriCONN, PriOBS)$ ,其中  $PriOBJ$  包含智能世界  $IntW$  中的实体类型, $PriATT$  表示实体属性的类型, $PriBEHAV$  确定了行为功能集合, $PriCONN$  是实体类型间的连接关系类型。3 个集合表示如下:

$$\bullet PriOBJ = \{TYPE_i \mid 1 \leq i \leq N\}$$

$$\bullet PriATT = \{NWAtt: TYPE_j \rightarrow \Delta\} \cup \{A_j: TYPE_j \mid TYPE_j, NWAtt[i] \rightarrow \Delta_j, 1 \leq j \leq M, \Delta = \{D_k \mid Type(D_k) = NWDevice, 1 \leq k \leq T\} \mid \{D_k \mid Type(D_k) \neq NWDevice, 1 \leq k \leq T\} \mid \emptyset\}$$

$$\bullet PriBEHAV = \{b_k: TYPE_k \times TYPE_{j_k} \times \dots \rightarrow C_k \mid 1 \leq k \leq S\}$$

$$\bullet PriCONN = \{r_h \subseteq TYPE_{j_h} \times TYPE_{i_h} \mid 1 \leq h \leq R\}$$

为了实现 3 个可区分世界的自动建模,在基本感知中添加了一个公有属性  $NWAtt$ (网络化属性),它的值表示网络化实体使用的通信方式和虚拟化实体的服务类型。同时,定义了子实体的属性和行为(网络化属性的值)。在基本感知过程中,首先获得基本对象及属性和行为,然后将具有网络化属性的实体进一步定义为子实体并对其行为进行细化描述。

以图 1 中的智能世界  $IntW$  为例,基本感知包含 5 种类型的部件,即  $light$ 、 $wire$ 、 $nswitch$ 、 $environment$ 、 $virtualservice$ 。每个部件有输入/输出接口将其互联。假设  $IntW$  的基本感知是  $PriP = (PriOBJ, PriATT, PriBEHAV, PriCONN, PriOBS)$ ,每一个部分描述如下:

$$\bullet PriOBJ = \{LIGHT, WIRE, NWSWITCH, ENV, VIRSER\}$$

$$\bullet PriATT = \{NWAtt: PriOBJ \rightarrow \{SWITCH, SENSOR, ACTUATOR, RECEIVE, CONTROL, OPERATION\} \cup \emptyset, PriObjType: PriOBJ \mid PriOBJ, NWAtt[i] \rightarrow \{light, wire, nswitch, env, virser, switch, sensor, actuator, receive, control, operation\}, isNWDevice: PriOBJ, NWAtt[i] \rightarrow \{yes, no\}, InType: PriOBJ \mid PriOBJ, NWAtt[i] \rightarrow \{signal, current, pressure, data\}, OutType: PriOBJ \mid PriOBJ, NWAtt[i] \rightarrow \{signal, current, pressure, data\}, State: NWSWITCH, NWAtt[i] \rightarrow \{open, closed\}, OP: NWSWITCH, NWAtt[i] \rightarrow \{turnon, turnoff, null\}, isEmpty: ENV \rightarrow \{yes, no\}\}$$

$$\bullet PriBEHAV = \{PriBlight: LIGHT \rightarrow \{\Delta c_{out} = \Delta c_{in}; \Delta r_{out} = \Delta r_{in}\}, PriBwire: WIRE \rightarrow \{\Delta c_{out} = \Delta c_{in}; \Delta r_{out} = \Delta r_{in}\}, PriBnswitch_{sw}: NWSWITCH \rightarrow \{NWAtt(SWITCH) \Rightarrow state(close) \Rightarrow \Delta c_{out} = \Delta c_{in}; \Delta r_{out} = \Delta r_{in} \mid state(open) \Rightarrow \Delta c_{out} = \Delta c_{in} = -; \Delta r_{in} = +\}, PriBnswitch_s: NWSWITCH \rightarrow \{NWAtt(SENSOR) \Rightarrow SENSOR_{out1} = SENSOR_{in1}, SENSOR_{out2} = SENSOR_{in2}\}, PriBswitch_a: NWSWITCH \rightarrow \{NWAtt(ACTUATOR) \Rightarrow ACTUATOR_{in} = turnon \Rightarrow op(turnon); state$$

(close); ACTUATOR<sub>out</sub> = closed}; {ACTUATOR<sub>in</sub> = turnoff  
 $\Rightarrow op(turnoff); state(open); ACTUATOR_{out} = open\}$ , PriB-  
 env: ENV  $\rightarrow \{If\ isEmpty\ (no),\ SENSOR_{in1} = somebody; if\ not,\ SENSOR_{in1} = nobody\}$ , PriBvirser: VIRSER  $\rightarrow \{NWAtt\ (RECEIVE) \Rightarrow RECEIVE_{out1} = RECEIVE_{in1}; RECEIVE_{out2} = RECEIVE_{in2}\}$ , PriBvirser<sub>o</sub>: VIRSER  $\rightarrow \{NWAtt\ (OPERATION) \Rightarrow \{OPERATION_{in1} = somebody \wedge OPERATION_{in2} = open \Rightarrow OPERATION_{out1} = 1; OPERATION_{in1} = nobody \wedge OPERATION_{in2} = closed \Rightarrow OPERATION_{out1} = 0\}\}$ , PriBvirser<sub>c</sub>: VIRSER  $\rightarrow \{NWAtt\ (CONTROL) \Rightarrow \{CONTROL_{in} = 1 \Rightarrow CONTROL_{out} = turnon; CONTROL_{in} = 0 \Rightarrow CONTROL_{out} = turnoff\}\}$

• PriCONN = {connected  $\subseteq$  PriOBJ  $\times$  PriOBJ}

利用定性行为表示 wire, light 以及网络化开关的物理部分, 这里只考虑每个部件的正常行为。基本感知表示的形式存储在基本结构 PriS 中:

• TablePriObj = (PriObj, NWAtt, PriObjType, isNWDevice, InType, OutType, State, OP, isEmpty)

• TableSubPriObj = (PriObj, SubPriObj, ObjType, isNWDevice, InType, OutType, State, OP)

• TableConnected = (PriObj<sub>1</sub>, PriObj<sub>2</sub>)

具体内容如表 1—表 3 所列。

表 1 实际系统中的基本对象及其属性 (TablePriObj)

PriObj	NWAtt	ObjType	InType	OutType	isEmpty
L	$\emptyset$	light	{current, pressure}	{current, pressure}	N/A
W <sub>1</sub>	$\emptyset$	wire	{current, pressure}	{current, pressure}	N/A
W <sub>2</sub>	$\emptyset$	wire	{current, pressure}	{current, pressure}	N/A
W <sub>3</sub>	$\emptyset$	wire	{current, pressure}	{current, pressure}	N/A
E	$\emptyset$	env	signal	signal	yes
NWSW	{SW, S, A}	nswitch	{current, pressure, signal}	{current, pressure, signal, op}	N/A
VS	{R, OP, C}	virser	{signal, data}	{signal, data}	N/A

表 2 TablePriObj 表中的基本对象 NWAtt 属性值中包含的对象 (TableSubPriObj)

PriObj	SubPriObj	ObjType	isNWDevice	InType	OutType	State	OP
NWSW	SW	switch	no	{current, pressure}	{current, pressure}	close	N/A
NWSW	S	sensor	yes	signal	signal	N/A	null
NWSW	A	actuator	yes	signal	{signal, op}	N/A	null
VS	R	receive	N/A	signal	data	N/A	N/A
VS	OP	operation	N/A	data	data	N/A	N/A
VS	C	control	N/A	data	signal	N/A	N/A

表 3 基本对象之间的关联关系 (TableConnected)

(IN)PriObj	(OUT)PriObj	(IN)PriObj	(OUT)PriObj
W <sub>1</sub>	L	W <sub>3</sub>	NWSW
L	W <sub>2</sub>	E	NWSW
W <sub>2</sub>	Other physical entities	NWSW	VS
Other physical entities	W <sub>3</sub>		

基本感知的其它构成部分的表示详见文献[10]。构造的基本感知如图 2 所示。

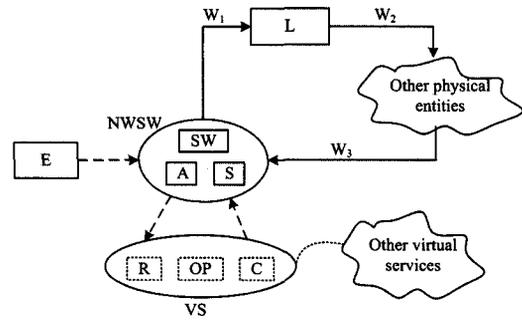


图 2 PriW 中的基本感知的非形式化描述

对于构成一个复合型物理实体的物理实体集合, 没有将其定义为 NWAtt 属性的值, 而是仍然将其作为单独的实体进行定义, 并且将在后续工作中通过抽象过程给出其分层关系。

### 3.2 感知重构过程

在基本感知阶段, 为智能世界中的每个实体添加了一个特殊属性使得能够对实体及之间的关系进行分类。为了根据第 2 节提出的概念形式化生成 3 个可区分的模型过程, 首先给出重构感知的形式化表示。

重构感知 RefP 定义为一个五元组, 即  $RefP = (RefOBJ, RefATT, RefBEHAV, RefREL, RefOBS)$ , 表示如下:

•  $RefOBJ = \{(EntityCLS_i, TYPE_i) \mid EntityCLS_i \in \{PhyEntity, NWEntity, VEntity\}, 1 \leq i \leq N\}$

•  $RefATT = PriATT$

•  $RefBEHAV = \{b_k : TYPE_k \mid TYPE_k. NWAtt[s] \times TYPE_k \mid TYPE_k. NWAtt[t] \times \dots \rightarrow C_k \mid 1 \leq k \leq S\}$

•  $RefREL = \{(ConnCLS_h, r_h) \mid ConnCLS_h \in \{PhyConn, NWConn, VConn\}, r_h \subseteq TYPE_h \mid TYPE_h. NWAtt[i] \times TYPE_h \mid TYPE_h. NWAtt[i], 1 \leq h \leq R\}$

感知重构过程遵循的规则从两方面描述:

1) 设 A 是所考虑的智能世界中的一个实体

if  $NWAtt(A) = \emptyset$ , then  $EntityCLS(A) = PhyEntity$ ;

if  $NWAtt(A) \neq \emptyset$

if  $(\exists E_i \in NWAtt(A) \text{ and } isNWDevice(E_i) = \text{yes})$ , then  $EntityCLS(A) = NWEntity$ ;

if (For every  $E_i \in NWAtt(A)$ ,  $isNWDevice(E_i) = N/A$ ), then  $EntityCLS(A) = VEntity$ ;

2) 设 A 和 B 是所考虑的智能世界中的两个实体

if connected(A, B) and the relation between A and B is r

//A 的输出与 B 的输入相连;

if  $OutType(A)$  and  $InType(B)$  are both physical quantity or physical operation,

then  $ConnCLS(r) = PhyConn$ ;

else if  $OutType(A)$  and  $InType(B)$  are both signal quantity,

then  $ConnCLS(r) = NWConn$ ;

比如, 得到 3 个世界的可区分实体如下。

•  $PhyEntities: L, W_1, W_2, W_3, E$ ;

•  $NWEntities: SW$ ;

•  $VEntities: VS$ 。

实体间的可区分关系:

•  $PhyConn: \{(W_1, L), (L, W_2), (W_2, \text{Other physical entities}), (\text{Other physical entities}, W_3), (W_3, NWSW), (NWSW, W_1)\}$ ;

•  $NWConn: \{(E, NWSW), (NWSW, VS), (VS, NWSW)\}$ ;

•  $VConn: \{(VS, \text{Other virtual services})\}$ 。

感知重构过程可以基于基本结构  $PriS$  自动生成, 根据已经分类的实体及之间关系, 可以得到如图 3 所示的 3 个可区分的、相互关联的子世界。

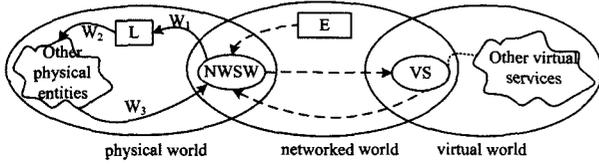


图 3  $PriW$  中的 3 个可区分的、相互关联的子世界

根据输入/输出类型以及  $NWEntities$  和  $VEntities$  的网

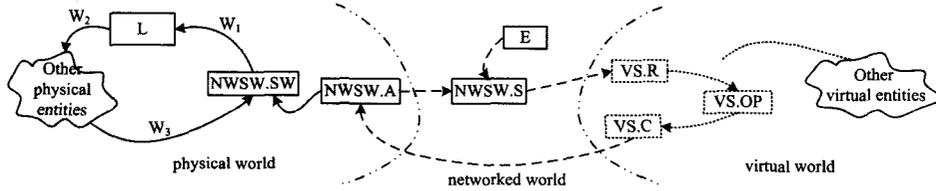


图 4  $PriW$  中的细化的子世界表示

### 3.3 关系重构过程

3 个子世界之间的关系通过它们之间相交的实体构建。对于本文的实例, 将物理世界和网络化世界之间的关系表示为  $R_1$ , 网络化世界和虚拟世界之间的关系表示为  $R_2$ , 物理世界和虚拟世界之间的关系表示为  $R_3$ , 如图 5 所示。

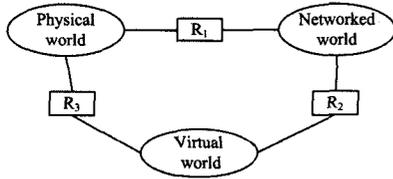


图 5  $PriW$  中的 3 个子世界之间的关系

3 个关系非形式化描述如下:

•  $R_1: NWSW.A$  sends signal (the state of the  $NWSW.SW$ , i.e., open or closed) to  $NWSW.S$

•  $R_2: NWSW.S$  sends sensor signal (the state of  $E$  and the state of  $NWSW.SW$  it receives from  $NWSW.A$ ) to  $VS$ .

•  $R_3: VS.C$  sends control signal (turn on or turn off the light) to  $NWSW.A$

仅选择网络化关系作为 3 个子世界之间的关联关系, 因此可以保证物理世界实体间的关系都是物理连接的, 网络化世界中的实体之间都是网络化连接的, 虚拟世界实体之间都是虚拟连接的, 这可以为求解一些推理问题和抽象操作提供便利, 将作为我们下一步的研究内容。

## 4 实验与分析

用类似于图 1 所示的实验用例, 基于笔者所在的物联网与智能物流实验室实际搭建了 5 个智能世界: ( $IntW_1, IntW_2, IntW_3, IntW_4, IntW_5$ ), 并分别构造了它们的 KRAM 模型 ( $KRAM_1, KRAM_2, KRAM_3, KRAM_4, KRAM_5$ ) 和智能世界的重构模型 ( $IntM_1, IntM_2, IntM_3, IntM_4, IntM_5$ )。假设每个重构模型的子模型为  $subM_P, subM_N$  和  $subM_V$ , 即物理世界、网

络化属性中对象的行为描述, 实体间的可区分关联关系可以进一步定义如下。

•  $PhyConn: (W_1, L), (L, W_2), (W_2, \text{Other physical entities}), (\text{Other physical entities}, W_3), (W_3, NWSW.SW), (NWSW.SW, W_1), (NWSW.A, NWSW.SW)$ ;

•  $NWConn: (E, NWSW.S), (NWSW.A, NWSW.S), (NWSW.S, VS.R), (VS.C, NWSW.A)$ ;

•  $VConn: (VS.R, VS.OP), (VS.OP, VS.C), (VS, \text{Other virtual services})$ 。

图 1 所示的智能世界的重构模型由 3 个可区分的、相互关联子模型构成, 如图 4 所示。

络化世界和虚拟世界对应的模型。相应的关系如表 4 所列。

表 4 5 个智能世界的模型

智能世界	KRAM 模型	重构的模型	子模型及其包含的部件数目		
$IntW_1$	$KRAM_1$	$IntM_1$	$subM_P/8$	$subM_N/2$	$subM_V/3$
$IntW_2$	$KRAM_2$	$IntM_2$	$subM_P/12$	$subM_N/5$	$subM_V/5$
$IntW_3$	$KRAM_3$	$IntM_3$	$subM_P/7$	$subM_N/3$	$subM_V/5$
$IntW_4$	$KRAM_4$	$IntM_4$	$subM_P/10$	$subM_N/5$	$subM_V/7$
$IntW_5$	$KRAM_5$	$IntM_5$	$subM_P/8$	$subM_N/5$	$subM_V/3$

根据故障功能所在的子模型的不同, 设计 7 种故障功能  $MF_i, 1 \leq i \leq 7$ , 分别发生在  $subM_P, subM_N, subM_V, subM_P \cup subM_N, subM_P \cup subM_V, subM_N \cup subM_V$ , 或者  $subM_P \cup subM_N \cup subM_V$  中。为每个智能世界中的每种故障功能设计了 3 个不同的、具体的故障, 然后分别基于 KRAM 模型和重构模型进行故障诊断。对于每个智能世界中的每种故障功能, 记录 3 次推理过程的平均时间, 表示该类故障的推理时间。对于每种故障, 计算 5 个模型的推理时间平均值表示该类故障基于 KRAM 模型的诊断过程和基于重构模型的诊断过程运行时间的具体值, 分别记为  $T_{KRAM}$  和  $T_{IMM}$ , 并求二者的比值:  $T_{IMM}/T_{KRAM}$ , 结果如图 6 所示。从图 6 看出, 在平均情况下, 对于故障功能  $MF_1, MF_2$  和  $MF_3$ , 基于重构模型诊断花费的时间比基于 KRAM 模型诊断花费时间减少了 65%; 对于故障功能  $MF_4, MF_5$  和  $MF_6$ , 基于重构模型诊断花费的时间比基于 KRAM 模型诊断花费时间减少了 83%; 对于故障功能  $MF_7$ , 基于重构模型诊断花费的时间比基于 KRAM 模型诊断花费时间减少了 95%。对于所有的故障类型, 基于重构模型诊断花费的时间是基于 KRAM 模型诊断花费时间的 74.3%。

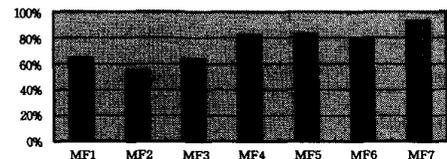


图 6 平均情况下 7 种故障的基于重构模型诊断过程与基于 KRAM 模型诊断过程花费的平均时间比较结果

实验结果表明,提出的智能世界重构后的 KRA 模型可以进行正确的故障推理,并通过将推理限制在某一个子模型中,缩小了基于 KRA 模型诊断的诊断空间,提高了推理效率。

**结束语** 本文重定义了 KRA 模型,特别是重定义了其感知过程,以描述智能世界。重构的感知过程自动生成 3 个可区分的子模型及其之间的关联关系,从而构成了智能世界的集成化模型。同时,保持每个子世界中的关系类型的一致,以便于推理及进一步的抽象操作。

实际上,本文表示的模型框架及形式化过程主要为未来 3 方面的研究工作打下基础:首先,该框架缩小了推理空间,特别是基于模型的诊断<sup>[10]</sup>,可以将故障限制在一个子模型中;其次,抽象算子可以应用于每个子模型,关系抽象过程可以根据 3 个子模型之间的关系形式化定义,从而构造智能世界的分层关系,降低推理复杂性;第三,网络化连接导致了模型的安全性问题,因此 3 个子模型及之间的关系将作为模型可生存性分析的基础。

### 参 考 文 献

- [1] Saitta L, Zucker J. Semantic abstraction for concept representation and learning[C]//Proc. SARA. 1998;103-120
- [2] Saitta L, Zucker J. A Model of Abstraction in Visual Perception [J]. Applied Artificial Intelligence, 2001, 15(8):761-776
- [3] Saitta L, Zucker J, Abstraction and Complexity Measures[C]//Proc. SARA. 2007;375-390
- [4] Saitta L, Torasso P, Torta G. Formalizing the abstraction process in model based diagnosis[M]// Abstraction, Reformulation, and Approximation. 2007;314-328
- [5] The hammersmith group. The Internet of Things: Networked Objects and smart devices [R]. New York: The hammersmith group, 2010
- [6] Elson J, Estrin D. Sensor networks: a bridge to the physical world [J]. Wireless Sensor Networks, 2004, 1:3-20
- [7] Joseph A D. Ubiquitous System Software[J]. IEEE Pervasive Computing, 2004, 3(3):57-59
- [8] Boone G. Reality Mining: Browsing Reality with Sensor Networks [OL]. 2004[2010-09-30], <http://sensormag.com/articles/0904/14/main.shtml>
- [9] Middleware Y G M. Smart Environments: Technologies, Protocols and Applications [M]. Cook D J, Das S K. John Wiley & Sons, Inc. , 2005;101-127
- [10] 王楠, 欧阳丹彤, 孙善武. 智能世界的建模与诊断[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(9):1954-1962
- [11] Bodhuin T, Canfora G, Preziosi R, et al. Hiding complexity and heterogeneity of the physical world in smart living environments [C]//Proc. of the 2006 ACM Symposium on Applied Computing. New York, US: ACM, 2006;1921-1927
- [12] Barton J, Kindberg T. The Challenges and Opportunities of Integrating the Physical World and Networked Systems [R]. HPL Technical report HPL-2001-18
- [13] Yen-Kuang C. Challenges and Opportunities of Internet of Things[C]//Proc. of IEEE Design Automation Conference, Asia and South Pacific, 2012;383-388
- [14] 王楠, 欧阳丹彤, 孙善武. 基于模型诊断的抽象分层过程[J]. 计算机学报, 2011, 34(2):383-394
- [15] 王楠, 欧阳丹彤, 孙善武. 基于本体的分层抽象模型[J]. 计算机科学, 2011, 38(2):184-186
- [16] AAI, 2004. Menlo Park: AAI Press, 2004;697-702
- [106] Conitzer V. Computing Slater Rankings Using Similarities among Candidates[C]//Proc. 21st National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-06). Boston: AAI Press, 2006;613-619
- [107] McCabe-Dansted J C, Pritchard G, Slinko A. Approximability of Dodgson's Rule[J]. Social Choice and Welfare, 2008, 31(2):311-330
- [108] Caragiannis I, Kaklamani C, Karanikolas N, et al. Socially Desirable Approximations for Dodgson's Voting Rule[C]//Proc. 11th ACM Conference on Electronic Commerce (EC-2010). Cambridge, 2010;253-262
- [109] Airiau S, Endriss U. Iterated Majority Voting[C]//Proc. 1st International Conference on Algorithmic Decision Theory (ADT-2009). Berlin: Springer-Verlag, 2009;38-49
- [110] Meir R, Polukarov M, Rosenschein J S, et al. Convergence to Equilibria in Plurality Voting [C]// Proc. the 24th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2010). Atlanta, 2010;823-828
- [111] Nguyen T T. Approximability and Inapproximability of Social Welfare Optimization in Multiagent Resource Allocation[D]. Düsseldorf: University of Düsseldorf, 2013

(上接第 9 页)

- [98] Matsui Y, Matsui T. NP-Completeness for Calculating Power Indices of Weighted Majority Games[J]. Theoretical Computer Science, 2001, 263(1/2):305-310
- [99] Elkind E, Goldberg L A, Goldberg P W, et al. On the Computational Complexity of Weighted Voting Games[J]. Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, 2009, 56(2):109-131
- [100] Balinski M L, Young H P. Fair Representation: Meeting the Ideal of One Man, One Vote (2nd edition) [M]. Washington D. C: Bookings Institution Press, 2001
- [101] Bart Jacobs, Wolter Pieters. Electronic Voting in the Netherlands, From Early Adoption to Early Abolishment[M]. Foundations of Security Analysis and Design V Lecture Notes in Computer Science, Volume 5725. 2009;121-144
- [102] Rivest R L. The ThreeBallot Voting System [R]. MIT-CSAIL, Cambridge, 2006
- [103] Laslier J-F. Tournament Solutions and Majority Voting[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1997
- [104] Brandt F, Fischer F, Harrenstein P, et al. A Computational Analysis of the Tournament Equilibrium Set[J]. Social Choice and Welfare, 2010, 34(4):597-609
- [105] Davenport A, Kalagnanam J. A Computational Study of the Kemeny Rule for Preference Aggregation [C] // Proc. 19th