

基于描述逻辑的传感器网络事件检测

张玉利 常亮 孟瑜 古天龙

(桂林电子科技大学广西可信软件重点实验室 桂林 541004)

摘要 基于异构数据源的事件检测是物联网上的一类典型应用。现有技术已经可以实现对异构数据源的收集、过滤、表示及部分数据的低层次融合和分析,但对于隐藏结论获取等高层次信息融合仍然需要人工参与。针对这种情况,给出了基于轻量级描述逻辑 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的传感器网络事件检测方法,实现特定领域事件的实时自动检测。首先,针对传感器网络中的具体场景,用 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 对传感器网络领域知识进行刻画;然后应用描述逻辑对待判定事件进行形式化描述;最后借助描述逻辑推理机制实现事件的自动检测。该方法充分发挥了描述逻辑的知识表示和推理能力,能够基于领域知识和具体数据进行自动的事件检测。

关键词 物联网,异构数据源,传感器网络,描述逻辑,事件检测

中图分类号 TP301 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.12.049

Event Detection in Sensor Network Based on Description Logic

ZHANG Yu-li CHANG Liang MENG Yu GU Tian-long

(Guangxi Key Laboratory of Trusted Software, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract Event detection based on heterogeneous data sources is a typical application in the environment of internet of things. Existing technology can fulfill the collection, filtering and presentation of data from heterogeneous data sources, and also support some data's fusion and analysis in low level. However, the obtainment of domain specific knowledge and automatically drawing hidden conclusions still require human intervention. For this case, this paper presented an intelligent method based on $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ to fulfill automatic detection of events in sensor networks. Firstly, we introduced specific scene about the sensor network and described its domain knowledge with the lightweight description logic $\epsilon\mathcal{L}^{++}$. Secondly, we defined event that is to be judged according to its complexity. Finally, we used an instance to check the proposed method. This method takes full advantage of description logic's clear semantics and good reasoning ability and can give the right results with domain specific knowledge and concrete data.

Keywords Internet of things, Heterogeneous data sources, Sensor network, Description logic, Event detection

1 引言

随着无线传感器网络的出现,智能家居和智能交通两个领域得到迅速发展,尤其是实时检测技术的研究变得火热起来。实时检测技术常用于矿井监控^[1,2]、灾难监测^[1,2]、物体追踪^[1,2]、交通事故检测^[1,2]方面。在这些方面,实时自动事件检测是需要重点考虑的问题。事件发生时,检测系统的服务器接收到不同传感器发来的数据,检测系统通过对不同传感器的数据进行分析、判定,然后对物理环境做出实时的推论。当特殊事件或者异常事件被系统检测到时,检测系统会立刻发出警报,引起注意,人们可以采取一定措施将事件的不良影响降到最低。

目前对事件检测研究的主要方法可以分为 4 大类:1)基于阈值的事件检测方法^[3],该方法通常把实时的传感器数值与定义好的阈值进行比较,如果超过该阈值,则认为出现异常事件;2)基于模型的事件检测方法^[4],基于模型的事件检测是

把事件现象模拟成一种特定的形式,比如用数学公式表现或者用图谱表示,这种模型通常适用于特殊的环境,例如矿底、森林;3)基于学习的事件检测方法^[5,6],该方法对传感器数据进行建模分析,然后对事件做出可能性推理判断;4)基于逻辑推理的事件检测方法^[7],该方法以研究面向事件的知识表示为基础^[8],利用事件中的时间、动作、环境要素对事件进行语义补充,然后利用扩展描述逻辑中概念的可满足性和概念包含的推理功能对事件实例进行检测。

伴随着语义 Web 作为互联网下一代网络概念的提出,语义信息需要更加丰富的描述语言来表示,例如 OWL。目前传感器网络中的检测系统只能支持对不同数据源的收集、过滤、表示,以及对部分标准格式数据的低层次融合和分析。但是领域内特殊知识的获取以及隐藏结论自动获得这些高层次的信息是由人工操作得到的^[9],同时那些针对不同数据源的数据表示方法缺乏规范性、标准性,这些正是未来语义物联网所要解决的问题,以实现计算机对知识的自动发现、获取。

到稿日期:2015-12-30 返修日期:2016-04-25 本文受国家自然科学基金(61363030, 61572146, U1501252),广西自然科学基金(2015GXNSFAA139285),广西高等学校高水平创新团队及卓越学者计划,桂林电子科技大学研究生教育创新计划(YJCXS201539)资助。

张玉利(1990-),男,硕士生,主要研究方向为语义物联网;常亮(1980-),男,博士,教授,主要研究方向为知识表示与推理、智能规划、形式化方法;孟瑜(1977-),女,博士生,副教授,主要研究方向为形式化方法、知识表示与推理;古天龙(1964-),男,博士,教授,主要研究方向为形式化方法、符号计算。

相对于基于学习的事件检测方法,本文给出的基于语义模型的智能化事件检测方法主要依赖于当前领域知识库中的知识,且该方法具备更好的知识可扩展性。在基于语义模型的检测方法中,运用逻辑的方法对传感器网络所得到的数据进行描述、推理,进而检测所需要判断的事件是一个较新的研究方向^[10]。逻辑能对知识进行形式化表示,并能通过严格的推理过程从已有的知识中获取到新的知识。基于逻辑的事件检测是一种最类似于人工发现事件是否发生的过程。在基于逻辑的事件检测方法中,基于描述逻辑的事件探测是一个比较新兴的研究方向^[10]。描述逻辑在众多的形式化表示方法中具有清晰的语义特征,能够基于概念描述表示领域知识,以结构化和形式化的方式对应用领域的知识进行描述并提供有用的推理服务,事实上其已经成为知识表示的标准。由于大部分描述逻辑系统是可判定的,同时对于轻量级描述逻辑 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$,在保证有充足描述能力的情况下,推理复杂度降至多项式时间。所以相对于基于一阶逻辑的事件检测系统而言,基于轻量级描述逻辑 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的事件探测系统将具备更好的实用性。

2 基本概念

$\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 是在 $\epsilon\mathcal{L}$ 的基础上添加了具体域、角色包含(RI)和 \perp 算子扩充而来的^[11]。其推理复杂度仍保持在多项式时间内。 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 概念归纳定义为:由概念名组成的集合 N_C ,由角色名组成的集合 N_R ,由个体名组成的集合 N_I ,以及 \top 、 \perp 、 $\{a\}$ 、 $C\sqcap D$ 、 $\exists r.C$ 构造符概念。用 C, D 代表概念, r 代表角色名, a, b 代表个体名。

$\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的语义解释形如 $I=(\Delta^I, \cdot^I)$,其中 Δ^I 是个体的非空集合,解释函数 \cdot^I 将每个概念名 $A \in N_C$ 解释为 Δ^I 的某个子集 A^I ,将每个角色名 $r \in N_R$ 解释为 Δ^I 的某个二元关系 r^I ,将每个个体名 $a \in N_I$ 解释为 Δ^I 的某个元素 a^I 。给定一个解释 I ,如果满足公理 $C \sqsubseteq D$ (相应的 $R \sqsubseteq S$),则一定有 $C^I \subseteq D^I$ (相应的 $R^I \subseteq S^I$)。解释 I 称作TBox T 的一个模型,当且仅当它满足 T 中的每一个公理。我们用 $Mod(K)$ 来表示知识库 K 的所有模型。如果对于知识库 K 的每个模型 I 都有 $C^I = \emptyset$,则认为概念 C 在知识库中是不可满足的。若知识库可满足,则它至少有一个模型。

表1 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的语法及语义

名称	语法	语义
top	\top	Δ^I
bottom	\perp	\emptyset
nominal	$\{a\}$	$\{a^I\}$
conjunction	$C \sqcap D$	$C^I \cap D^I$
existential restriction	$\exists r.C$	$\{x \in \Delta^I \mid \exists y \in \Delta^I: (x, y) \in r^I \wedge y \in C^I\}$
concrete domain	$P(f_1, \dots, f_k)$ for $p \in P^D$	$\{x \in \Delta^I \mid \exists y_1, \dots, y_k \in \Delta^D: f_i^I(x) = y_i$ for $1 \leq i \leq k \wedge (y_1, \dots, y_k) \in P^D\}$
GCI	$C \sqsubseteq D$	$C^I \subseteq D^I$
RI	$r_1 \circ \dots \circ r_k \sqsubseteq r$	$r_1^I \circ \dots \circ r_k^I \subseteq r^I$
domain restriction	$\text{dom}(r) \sqsubseteq C$	$r^I \subseteq C^I \times \Delta^I$
range restriction	$\text{ran}(r) \sqsubseteq C$	$r^I \subseteq \Delta^I \times C^I$
concept assertion	$C(a)$	$a^I \in C^I$
role assertion	$r(a, b)$	$(a^I, b^I) \in r^I$

$\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 可以通过一个或多个具体域 $D_1 \dots D_n$ 进行参数化,这对应于OWL的数据类型,并且允许引用具体的数据对象,

如字符串和整数。在形式上,一个具体域 D 是一对 (Δ^D, P^D) ,其中 Δ^D 是一个集合, P^D 是谓词名的集合。 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 语法及语义如表1所列。

描述逻辑的知识库KB(Knowledge Base)包含两种不同类型的信息TBox和ABox,其定义如下。

定义1 TBox(Terminological Box)是描述领域结构的公理集。

它包含领域概念定义及公理及描述知识库基本框架的最基本的推理操作包含关系。

定义2 ABox(Aassertional Box)是具体个体的公理集。

它包含使用领域的词汇断言有关个体的事实,即个体的概念断言和角色断言。

轻量级描述逻辑 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 知识库也由相应的TBox和ABox组成。TBox包括一般概念包含(GCIs)、角色包含(RIs)、域限制(DRs)和范围限制(RRs)。ABox是概念断言和角色断言的有限集合。轻量级描述逻辑 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 中最基本的推理问题是概念可满足性问题。在此基础上, $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 还提供了关于知识库一致性的标准推理服务。

定义3(概念的可满足性) 令 \mathcal{T} 为 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的TBox, C 为概念,则认为概念 C 相对于TBox \mathcal{T} 是可满足的,当且仅当存在某个语义解释 $I=(\Delta^I, \cdot^I)$,使得 $I \models \mathcal{T}$ 且 $C^I \neq \emptyset$ 。

定义4(知识库的一致性) 令 \mathcal{T} 为 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的TBox, \mathcal{A} 为ABox,则称知识库 $K=(\mathcal{T}, \mathcal{A})$ 是一致的,当且仅当存在某个语义解释 $I=(\Delta^I, \cdot^I)$,使得 $I \models \mathcal{T}$ 且 $I \models \mathcal{A}$ 。

3 基于 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的事件表示与检测

3.1 案例

本节通过引入现实生活中的具体场景,来检测本文所提方法的有效性。图1示出一房间内的传感器(主要涉及的是温度、湿度、气体3种传感器)分布。

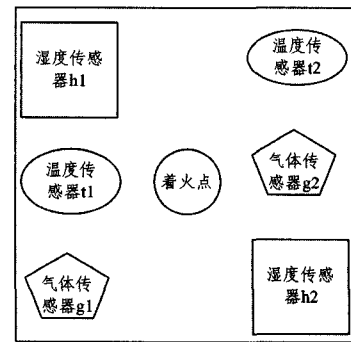


图1 房间内传感器分布

图2—图4分别描述了温度、湿度和气体传感器在一个采样周期内的数据变化。本文所涉及传感器的采样数据均从文献[13]中引用得到。

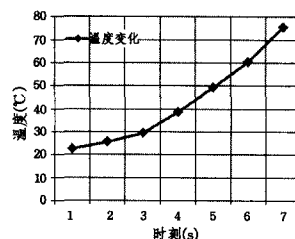


图2 温度变化图

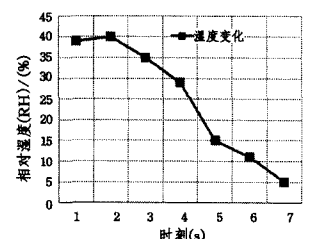


图3 湿度变化图

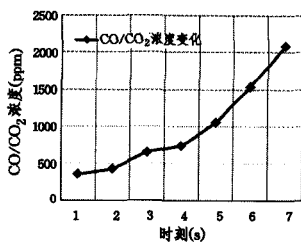


图4 CO/CO₂浓度变化图

在采样周期 $T=7s$ 内各个传感器在每秒对应的采样值如下:

(1)温度传感器 $t1, t2$ 在采样周期内对应每秒的采样值(单位: $^{\circ}C$)分别为: $t1 = \{22.5, 25.5, 29.4, 38.7, 49.3, 60.4, 75.5\}$, $t2 = \{22.3, 25.6, 29.3, 38.9, 49.6, 60.5, 75.3\}$ 。

(2)湿度传感器 $h1, h2$ 在采样周期内每秒的采样值(单位: RH)为: $h1 = \{39\%, 40\%, 35\%, 29\%, 16\%, 11\%, 2\%\}$, $h2 = \{40\%, 39\%, 34\%, 28\%, 14\%, 10\%, 3\%\}$ 。

(3)气体传感器 $g1, g2$ 在采样周期内每秒的采样值(单位: ppm)分别为: $g1 = \{359, 432, 656, 743, 1057, 1541, 2089\}$, $g2 = \{358, 430, 653, 744, 1056, 1540, 2085\}$ 。

设定温度阈值 = $40^{\circ}C$, 湿度阈值 = $20\%RH$, CO/CO₂ 气体浓度阈值 = $450ppm$ 。若温度传感器值大于 $40^{\circ}C$, 表示温度升高事件发生; 若湿度传感器值小于 $20\%RH$, 表示湿度降低事件发生; 若气体传感器值大于 $450ppm$, 表示气体浓度升高事件发生。

基于 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的事件表示与检测主要包括事件定义和事件检测两个模块。其中事件表示模块包含由事件复杂程度定义出的原子事件, 以及在原子事件基础上定义的复杂事件。事件检测模块包括一个背景知识库, 以及基于 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ tableau 算法的检测系统。基于 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的检测系统根据事件定义并结合背景知识推断出传感器网络中是否有待检测事件发生。

3.2 领域知识表示

描述逻辑定义概念常涉及的是概念之间的关系, 如何正确确定概念之间的关系是定义概念的非常重要的一步, 不准确的概念定义会导致后面一系列推理服务不正确。W3C 组织已经给出传感器网络领域相关的定义标准 SSN-XG^[12], 通过该标准指导传感器相关概念正确的形式化描述。本文的概念描述分为 3 个步骤: 1) 列出领域知识涉及的相关概念; 2) 正确描述概念之间的关系, 概念之间的关系通常包括关联 (has-a)、组合 (subclass-of) 两种; 3) 根据 2) 中确定的关系, 用描述逻辑语言给出概念定义。本文结合文献[13]及上述步骤对温度传感器进行建模, 结果如图 5 所示。

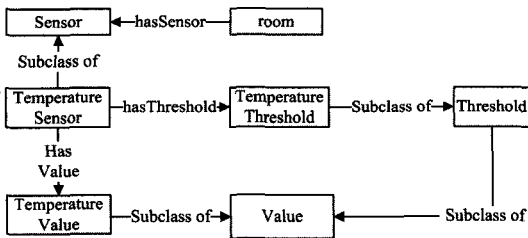


图5 温度传感器建模

由图 5 的建模可得领域知识库的 TBox, TBox 中主要包括预先定义的一些传感器的相关概念, 这里定义了温度传感

器, 温度传感器首先是一个传感器, 同时还具有实时采样值和阈值两个属性, 还说明了具体传感器采样值都归属于采样值概念的一部分, 以及说明了具体传感器阈值是阈值概念的一部分, 这里 room 是原子概念, TBox 内容在本文中不会实时发生变化。

TBox:

```

temperatureSensor == sensor &
  & hasValue. (temperatureValue) &
  & hasThreshold. (temperatureThreshold)
gasSensor == sensor & hasValue. (gasValue)
  & hasThreshold. (gasThreshold)
humiditySensor ==
  sensor & hasValue. (humidityValue) &
  hasThreshold. (humidityThreshold)
temperatureThreshold <= threshold
gasThreshold <= threshold
humidityThreshold <= threshold
temperatureValue <= value
gasValue <= value
humidityValue <= value
threshold <= value
  
```

在 T_1 时刻(采样周期的第 1s 结束时), 根据此时采样数据可得此时刻知识库的 ABox, 记为 \mathcal{A}_1 , 它主要描述传感器相关的概念及原子概念。下面描述的前 3 行表示房间 r 拥有的传感器, 第 4-6 行表示具体传感器的名字和种类, 第 7-9 行给出了具体传感器的阈值, 第 10-12 行是 T_1 时刻特有的各传感器采样值。即说明 ABox 中实时变化的内容只有各传感器的采样值, 其他内容不变。

\mathcal{A}_1 :

```

room(r), hasSensor(r, t1), hasSensor(r, t2)
hasSensor(r, g1), hasSensor(r, g2)
hasSensor(r, h1), hasSensor(r, h2)
temperatureSensor(t1), temperatureSensor(t2)
gasSensor(g1), gasSensor(g2)
humiditySensor(h1), humiditySensor(h2)
hasThreshold(t1, 40), hasThreshold(t2, 40)
hasThreshold(h1, 20%), hasThreshold(h2, 20%)
hasThreshold(g1, 450), hasThreshold(g2, 450)
hasValue(t1, 22.5), hasValue(t2, 22.3)
hasValue(g1, 359), hasValue(g2, 358)
hasValue(h1, 39%), hasValue(h2, 40%)
  
```

以此类推, $T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$ 时刻得到的对应的 ABox 分别为 $\mathcal{A}_2, \mathcal{A}_3, \mathcal{A}_4, \mathcal{A}_5, \mathcal{A}_6, \mathcal{A}_7$ 。

3.3 待检测事件形式化

日常生活中火灾的发生通常伴随着温度升高、CO/CO₂ 气体浓度升高、湿度降低等现象。从事件分类的角度来说, 火灾事件是一种复杂事件, 此类事件发生通常伴随着多种简单事件同时发生, 如温度升高、气体浓度升高、湿度降低都表示一种简单事件。对事件进行形式化需要以下步骤: 1) 判断待检测事件是简单事件还是复杂事件; 2) 若是简单事件, 找出事件所涉及的传感器是哪一类, 事件发生时传感器参数需要满足什么条件, 若是复杂事件, 判断复杂事件是由哪几种简单事件组成, 确定简单事件之间的关系; 3) 结合 3.2 节的传感器建模, 用描述逻辑语言进行描述。

若在某一时刻, 同时满足下面 3 个条件, 就表示火灾事件

已发生:1)存在温度传感器,且温度传感器的采样值大于它本身的阈值;2)存在气体传感器,并且气体传感器的采样值大于它本身的阈值;3)存在湿度传感器,并且湿度传感器的采样值小于它本身的阈值。现在根据实际情况,对温度升高事件、湿度降低事件、CO/CO₂ 气体浓度升高 3 个简单事件进行形式化,并把这些简单事件定义作为 GCI 加入到各时刻对应的 \mathcal{T}_i (其中 $i=1, \dots, 7$) 中去。

$gasRiseEvent \equiv event \sqcap \exists hasSensor. (gasSensor \sqcap \exists hasValue. (gasValue. \geq gasThreshold))$

$humidityReduceEvent \equiv event \sqcap$

$\exists hasSensor. (humiditySensor \sqcap \exists hasValue. (humidityValue. \leq humidityThreshold))$

$temperatureRiseEvent \equiv event \sqcap$

$\exists hasSensor. (temperatureSensor \sqcap \exists hasValue. (temperatureValue. \geq temperatureThreshold))$

火灾事件是否发生需进行判定,形式化定义如下:

$FireEvent \equiv gasRiseEvent \sqcap$

$humidityReduceEvent \sqcap temperatureRiseEvent$

3.4 事件检测

3.4.1 检测原理及过程

通过上面领域知识库 $K = (\mathcal{T}, \mathcal{A})$ 的表示,我们知道若要判断知识库中是否能够推出 $FireEvent(r)$,即判断 $K \models FireEvent(r)$ 是否成立,只需把 $FireEvent(r)$ 的否定 $\neg FireEvent(r)$ 加入到知识库 K 的 ABox 中,然后用 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的 tableau 算法及其拓展规则来判断新知识库 $K' = (\mathcal{T}, \mathcal{A} \cup \{\neg FireEvent(r)\})$ 是否一致即可。若 K' 是一致的,则说明未发生火灾事件,继续监控。否则,说明已发生火灾事件,需马上给出警告,做出反应。现用算法伪代码形式将检测机制表现出来,如图 6 所示。

输入:当前时刻所采集的各传感器数据

输出:知识库是否一致,输出“Yes”/“No”

1. 根据当前时刻 t 各个传感数据器和已有领域知识形式化后得到待判定知识库 $K' = (\mathcal{T}, \mathcal{A} \cup \{\neg FireEvent(r)\})$ 。
2. 用 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的 tableau 算法及其拓展规则来判断知识库 K' 是否一致。如果 K' 一致,输出“Yes”,时刻 $t=t+1$,返回步骤 1; 否则输出“No”,发出警报。
3. 循环结束。

图 6 基于 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 的事件检测算法框架

3.4.2 实例

现根据上述场景,考察在 T_5 时刻房间 r 内是否有火灾事件发生。这里 ABox 内容仅把实时变化的部分表示出来。

\mathcal{A}_5 :

$hasValue(t1, 49.3), hasValue(t2, 49.6)$

$hasValue(g1, 1057), hasValue(g2, 1056)$

$hasValue(h1, 16\%), hasValue(h2, 14\%)$

我们把 $\neg FireEvent(r)$ 加入到知识库 K_5 后,根据 tableau 算法得到库 $K_5' = (\mathcal{T}, \mathcal{A}_5 \cup \{\neg FireEvent(r)\})$ 未加入否定式之前的初始 tableau,如图 7 所示。

再由 tableau 算法的拓展规则可得到知识库 K_5' 的最终 tableau,如图 8 所示。

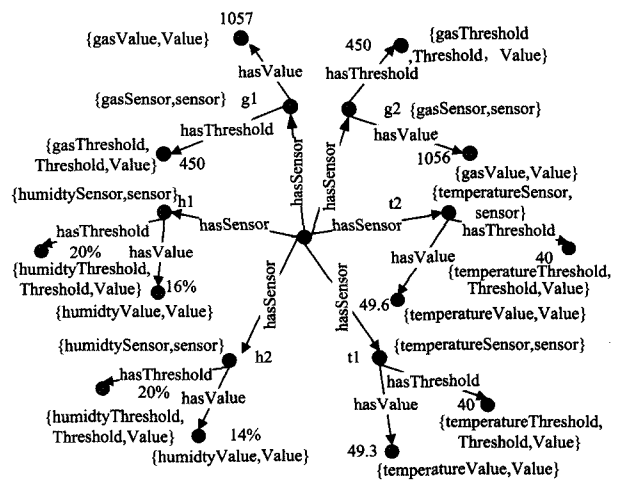


图 7 知识库 K_5' 的初始 tableau

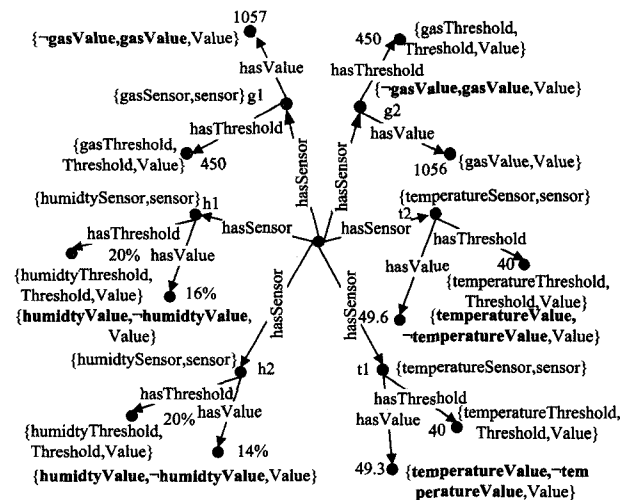


图 8 知识库 K_5' 的最终 tableau

从图 8 可以观察到有冲突出现,即说明在 T_5 时刻火灾事件发生,需马上做出反应。

4 工作讨论与比较

文献中关于事件检测的方法可以分为 4 类:基于阈值的事件检测^[3]、基于模型的事件检测^[4]、基于机器学习的事件检测^[5,6]以及基于逻辑推理的事件检测^[7]。本文的方法实际上可以看作将基于阈值的方法与基于逻辑推理的方法相结合起来。

与基于阈值的事件检测方法^[3]相比,本文方法的特点是对领域知识进行了考察,并应用描述逻辑对关于传感器网络的知识进行了刻画,在此基础上借助描述逻辑推理机制实现事件检测。因此,本文方法的优点是可以充分发掘和利用领域专家的知识,并借助推理机制得到隐含的知识,适用于正在逐步兴起的语义物联网环境。而另一方面,由于需要通过推理机制对领域知识进行考察,因此本文方法在计算效率上必然比纯粹基于阈值的方法要低。具体的定量分析将是下一步的工作。

与基于逻辑推理的事件检测方法^[7]相比,本文方法与该方法共同之处是都借助描述逻辑对知识进行刻画,并借助逻辑推理机制进行事件检测。与该方法不同的地方主要有两

(下转第 286 页)

- [16] Hansen L, Salamon P. Neural network ensembles [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(10):993-1001
- [17] Pang S, Kim D, Bang S. Fraud detection using support vector machine ensemble [C] // Proceedings of the 8th International Conference on Neural Information Processing, Shanghai: Fudan University, 2001: 1344-1349
- [18] Dong Y, Han K. A comparison of several ensemble methods for text categorization [C] // Proceedings of the International Conference on Services Computing (SCC). USA: IEEE, 2004: 419-422
- [19] Hinton G. Training products of experts by minimizing contrastive divergence [J]. Neural Computer, 2002, 14(8): 1771-1800
- [20] Carreira-Perpinan M, Hinton G. On contrastive divergence learning [OL]. <http://www.doc88.com/IP-747820956400.html>
- [21] Yang Su-hong. A voting statistical method of group decision [C] // Proceedings of the International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization (CSO 2009). USA: IEEE, 2009: 873-875
- [22] Tanaka M, Okutomi M. A Novel Inference of a Restricted Boltzmann Machine [C] // Proceedings of the 22th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). USA: IEEE, 2014: 1526-1531
- [23] Wang Lei, Ji Guo-yi. Fault diagnosis of rotor system based on EMD fuzzy entropy and SVM [J]. Noise and Vibration Control, 2012, 32(3): 171-176 (in Chinese)
王磊, 纪国宜. 基于 EMD 模糊熵和 SVM 的转子系统故障诊断 [J]. 噪声与振动控制, 2012, 32(3): 171-176

(上接第 272 页)

点。首先,文献[7]的着力点是构建关于事件的本体^[14],从动作、对象、时间、环境、断言、语言表现等多个方面对事件进行详细的描述;而本文的着力点是应用描述逻辑对关于传感器网络的领域知识进行描述,然后再在这些知识的基础上结合基于阈值的方法对事件进行刻画。其次,文献[7]需要使用描述逻辑 SHOQ(D),该逻辑的推理复杂度为非确定 2 次指数时间;而本文采用了描述逻辑 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$,其推理复杂度为多项式时间。总的来说,在对事件的刻画方面,本文方法考虑的因素没有文献[7]的方法全面;但在计算性能方面,本文方法在理论上要优于文献[7]。在下一步的工作中,将从事件识别的效果(包括精确率和召回率)以及实际计算性能两个方面对两种方法进行定量的分析和比较。

结束语 本文给出了基于语义模型的传感器网络事件检测方法,使用轻量级描述逻辑 $\epsilon\mathcal{L}^{++}$ 对领域知识进行描述,在一定程度上减小了逻辑推理的复杂度。通过用描述逻辑对领域知识进行建模,弱化了元数据的异构性特征,使得数据融合顺利进行。当然描述逻辑不仅仅限于传感器网络领域,它还能应用到更加广阔的空间,尤其适用于语义 Web 环境下对复杂系统进行刻画和有效推理。

本文仅通过实例来验证所提方法的有效性,下一步将通过具体的实验评估方案来检验方法的精确度、召回率、F1 值等统计学指标。此外,本文涉及的传感器数量较少,且未考虑传感器时空特性。下一步将设计具体的实验方案,验证该方法在智能家居领域的事件检测中的实际效果。

参 考 文 献

- [1] Xue W W, Luo Q, Wu H J. Pattern-based event detection in sensor networks [J]. Distributed and Parallel Databases, 2012, 30(1): 27-62
- [2] El Faouzi N E, Leung H, Kurian A. Data fusion in intelligent transportation systems: Progress and challenges A survey [J]. Information Fusion, 2011, 12(1): 4-10
- [3] Abadi D J, Madden S, Lindner W. Reed: Robust, efficient filtering and event detection in sensor networks [C] // Proceedings of the 31st International Conference on Very Large Data Bases. VLDB Endowment, 2005: 769-780
- [4] Xue W, Luo Q, Chen L, et al. Contour map matching for event detection in sensor networks [C] // Proceedings of the 2006 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. ACM, 2006: 145-156
- [5] Wang T Y, Yu C T. Collaborative event region detection in wireless sensor networks using markov random fields [C] // 2nd International Symposium on Wireless Communication Systems, 2005. IEEE, 2005: 493-497
- [6] Wang X R, Lizier J T, Obst O, et al. Spatiotemporal anomaly detection in gas monitoring sensor networks [M] // Wireless Sensor Networks, Springer Berlin Heidelberg, 2008: 90-105
- [7] Tang Ying-ying, Liu Wei, Su Xiao-ying, et al. An Event Detection Method Based on Extended Description Logic [J]. Application Research of Computers, 2014, 31(11): 3285-3290 (in Chinese)
唐英英, 刘炜, 苏小英, 等. 一种基于扩展描述逻辑的事件实例检测方法 [J]. 计算机应用研究, 2014, 31(11): 3285-3290
- [8] Liu Zong-tian, Huang Mei-li, Zhou Wen, et al. Event-Oriented Ontology Research [J]. Computer Science, 2009, 36(11): 189-192 (in Chinese)
刘宗田, 黄美丽, 周文, 等. 面向事件的本体研究 [J]. 计算机科学, 2009, 36(11): 189-192
- [9] Baader F, Bauer A, Baumgartner P, et al. A novel architecture for situation awareness systems [M] // Automated Reasoning with Analytic Tableaux and Related Methods, Springer Berlin Heidelberg, 2009: 77-92
- [10] Wang Xiao-feng, Zhang Da-peng, Wang Fei, et al. Video Event Detection Based on Semantic Trajectory [J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(10): 1845-1858 (in Chinese)
王晓峰, 张大鹏, 王绯, 等. 基于语义轨迹的视频事件探测 [J]. 计算机学报, 2010, 33(10): 1845-1858
- [11] Baader F, Brandt S, Lutz C. Pushing the EL envelope further [J]. Proc of Ijcai, 2010, 26(2): 364-369
- [12] Compton M, Barnaghib P, Bermudez L, et al. The SSN Ontology of the W3C Semantic Sensor Network Incubator Group [J]. Web Semantics Science Services & Agents on the World Wide Web, 2012, 17(4): 25-32
- [13] Ruta M, Scioscia F, Loseto G, et al. A Logic-based CoAP Extension for Resource Discovery in Semantic Sensor Networks [C] // SSN. 2012: 17-32
- [14] Liu W, Xu W, Fu J, et al. An Extended Description Logic for Event Ontology [C] // Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Grid and Pervasive Computing. Springer-Verlag, 2010: 471-481