

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.01.040

# 精准农业信息物理融合系统的事件模型研究\*

聂娟<sup>1,2</sup> 孙瑞志<sup>1</sup> 曹振丽<sup>3</sup> 邓雪峰<sup>1</sup> 杨昊<sup>4</sup>

(1. 中国农业大学农业部农业信息获取技术重点实验室, 北京 100083; 2. 北京农学院计算机与信息工程学院, 北京 102206;  
3. 中国农业大学烟台研究院, 烟台 264670; 4. 首都信息发展股份有限公司, 北京 100029)

**摘要:** 信息物理融合系统(CPS)具有严格的实时性和空间约束,根据其事件驱动性,对CPS时空事件模型进行了描述,并依据精准农业的特点对CPS体系结构中的组成部件(物理世界、传感器、计算(控制)单元、执行器、计时器)建立了时空事件模型,并以精准农业大棚的洒水事件闭环过程为例对每一部件进行了分析,证明这些事件模型可以用于精准农业中的基本事件。

**关键词:** 精准农业 信息物理融合系统 事件模型 时空特性

**中图分类号:** TP274.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)01-0285-07

## Preliminary Study on Event Model in Cyber-physical Systems for Precision Agriculture

Nie Juan<sup>1,2</sup> Sun Ruizhi<sup>1</sup> Cao Zhenli<sup>3</sup> Deng Xuefeng<sup>1</sup> Yang Hao<sup>4</sup>

(1. *Key Laboratory of Agricultural Information Acquisition Technology(Beijing), Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100083, China*

2. *College of Computer and Information Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China*

3. *Yantai Academy, China Agricultural University, Yantai 264670, China*

4. *The Capital Information Development Ltd., Beijing 100029, China*)

**Abstract:** Cyber-physical systems have strict real-time and space constraints, and event driven is one of its important characteristics. In CPS, events are composed of the change of the physical environment and object state, which form the closed-loop process of events trigger, perception, decision-making, control, then to events, and ultimately change the physical state of the object. This paper outlines some preliminary exploration of spatial-temporal event model of CPS, and then make a further study. According to CPS' event-driven nature, spatial-temporal event model was described from time, space and observer, and established for major components of CPS based on the characteristics of precision agriculture (PA): the physical world, sensors, calculation (control) unit, actuators, and timer. Finally established spatial-temporal event model was validated by closed-loop process of sprinkler incident in precision agriculture, and it was proved that these events model can be used in PA. It turns out that spatial-temporal events in precision agriculture CPS are preliminarily discussed which lays the foundation for future research on event model applied to PA.

**Key words:** Precision agriculture Cyber-physical systems Event model Spatial and temporal characteristics

收稿日期: 2014-04-09 修回日期: 2014-06-27

\*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAH26B01)、北京市教委科技面上资助项目(KM201210020004)和北京市高等学校青年英才计划资助项目(YETP1723)

作者简介: 聂娟, 博士生, 北京农学院讲师, 主要从事信息物理融合系统和事件模型研究, E-mail: nie\_juan\_10@163.com

通讯作者: 孙瑞志, 教授, 博士生导师, 主要从事工作流和物联网研究, E-mail: sunrz\_cn@sina.com.cn

## 引言

信息物理融合系统 (Cyber-physical system, CPS) 是计算、通信与控制技术的有机与深度融合, 实现计算资源与物理资源的紧密结合与协调的下一代智能系统<sup>[1]</sup>。CPS 中关键问题的攻克, 能够有力地支持物联网技术的深入应用。

除了传统的计算技术、通信技术和控制技术所具有的特点以外, CPS 还具有很多独特的特点, 其中, CPS 的事件驱动性就是特点之一<sup>[2]</sup>。在 CPS 中, 物理环境和对象状态的变化构成 CPS 事件, 形成触发事件、感知、决策、控制, 再到事件的闭环过程, 最终改变物理对象状态。在这个过程中, CPS 要根据时空传感器信息进行反应和操作。因此, 需要有能够捕捉这些信息的模型和方法, 以任务为中心提高传感器和系统资源的可扩展性和运营效率<sup>[3]</sup>。

精准农业的智能控制关键要解决信息与决策和执行机构的科学关系问题, 牵涉到复杂的非线性行为, 传统的解决方法并不适用。因为传统的自动控制方法需要首先建立线性微分方程组, 为物理系统建立离散模型, 但精准农业控制受到很多非线性和不可预测的因素影响, 无法有效建立线性微分方程组, 因此需要采用具有 CPS 特色的建模、决策方法, 兼顾连续与离散、线性与非线性。CPS 的概念是在嵌入式混成系统的基础上演化产生的, 侧重于解决离散连续混合系统的问题, 可以更精确地获取外界信息, 并做出有针对性、智能化的实时反映从而控制物理世界, 可以有效提高精准农业智能控制系统的性能。

本文在对 CPS 时空事件模型进行描述的基础上, 构建一个面向精准农业 CPS 的系统模型, 并以精准农业大棚的智能浇水作为案例对每一组成部分进行分析。

## 1 相关研究工作

CPS 系统涉及物理世界和信息世界之间的密切相互作用, 一个世界的某些变化必定会在另一个世界以时间敏感或空间敏感的方式反映出来。把所关注的状态称为“事件”, 把监测到事件后期望的预定义的操作称为“行为”。因此, 每一个 CPS 任务都可以表示为“事件—行为”。

事件的概念在信息领域和物理领域中很多方面已经被探索过了。然而, 由于已有的基于事件的设计方法不能直接用在 CPS 上, 如数据库中以数据为中心的事件模型和分布式应用中以时间为中心的事件模型, 因为传统的系统设计对时空是用连续的眼

光, 事件模型通常只涉及到一个单独的实体。

一般的事件模型研究中, “事件—状态—行为” (ECA) 模型是常见的模型, 在该模型中, 事件在一定状态下, 会导致行为的进行<sup>[4]</sup>。ECA 模型中, 行为是由独立的事件触发的。扩展的 ECA 模型<sup>[5-6]</sup>介绍了一套完整的组成事件的模型, 定义了什么是复合事件。SnoopIB 进一步认为, 在时间领域内事件发生是在时间间隔内, 而不是在时间点上<sup>[7]</sup>。文献[8,9]对不同事件之间的空间关系进行了研究, 为每个拓扑关系构建了一个通用的模型。

在上述研究中, 都有一个隐含的假设, 就是事件的观察者是独一无二的、全局的, 即系统或程序。因此, 大部分的时间和空间信息与事件相关联, 但其观察者被省略了或是采取默认的“系统”。在分布式计算中, 观察者的事件是不同的, 然而, 观察者对同一组事件感兴趣, 目标都是获得有关这些事件的连续的看法。本文从不同观察者角度对信息物理融合系统的 4 大类离散事件进行了描述, 是对传统事件模型的改进。

在与 CPS 相关的时空模型研究方面, 文献[10]提出了一种针对 CPS 系统异构性的时空事件模型。这种时空事件模型主要解决 CPS 中不同模块对于同一事件有不同抽象方式的问题。文章定义了 CPS 中可能存在的不同事件类型及其对应的时空模型。文献[11]提出了一个 PTIDES 模型, 该模型引入了时间语义, 计算部件对事件产生时间戳并将其输出, 执行器负责接收和解释事件, 并执行相应的控制操作。文献[12]指出一种基于格的事件模型。在此模型下, CPS 事件被表示为 3 个部分: 事件类型、内在属性和外在属性。这三者共同描述了事件被观察到(发生)的时间、地点以及事件的观察者。该文的主要贡献在于定义了一个统一描述 CPS 事件的结构, 利用格理论给出一种从底层事件形成 CPS 事件的机制。文献[13]将基于 Duration Calculus 的时间语义加入架构分析和设计语言中来建模系统(软件与硬件)的时间行为。文献[14]指出在一开始的设计中如果没有考虑到环境的变化可能带来的问题, 这些没有考虑到的事件可能会损害 CPS 精确工作的能力, 甚至导致系统的崩溃。于是提出一种自适应离散事件模型 (Adaptive discrete event, ADE), ADE 模型采用离散的事件微积分 (DEC) 来克服一阶逻辑所指定的组合规则中可能存在的内在不一致性。

综上所述, 已有的研究工作主要对 CPS 中的动态事件模型和并发行为等方面进行了考虑, 但是在分析准确度、复杂性和实际应用中的有效性还需进

一步优化,尤其在系统级的设计上需要综合考虑多种因素,本文从精准农业实际应用的角度对已有的事件模型进行综合和改进,将农业信息感知到智能化处理的过程描述为时间、事件与行为的语义转换。

## 2 CPS 时空事件模型描述

许多学者都给出过“事件”的定义。WordNet 中给出了很宽泛的“事件”定义:在特定地点和时间发生的某件事。一些语言学家给出了事件及其语义结构的定义,常包括目的、时间和外在条件<sup>[15]</sup>。事件这一概念虽然仍在探讨中,但一般认为:事件不仅是时空目标状态开始或终结的标志,而且还表示状态变化的原因<sup>[16]</sup>。Ying 等对时空事件模型进行了定义和分析<sup>[10,12]</sup>,本文在其研究的基础上对时空事件的定义等进行综合和改进。

首先给出时空事件的形式化定义:

定义 1:时空事件是针对信息世界或物理世界所发生的感兴趣的事件,描述一个或多个对象的属性、时间、位置、观察者。可以用一个通用表达式

$$\mathcal{E}_{\text{CPS}} := \mathcal{E} \{ id_1, T_\varepsilon^g, L_\varepsilon^g, T_\varepsilon^{eo}, L_\varepsilon^{eo}, V_\varepsilon, O \}$$

式中  $\mathcal{E}$ ——事件类型  $id_1$ ——事件编号

$T_\varepsilon^g$ ——事件发生的时间

$L_\varepsilon^g$ ——事件发生的地点

$T_\varepsilon^{eo}$ ——从观察者角度事件预期发生的时间

$L_\varepsilon^{eo}$ ——从观察者角度事件预期发生的地点

$V_\varepsilon$ ——事件发生时的属性集

$O$ ——事件的观察者

CPS 事件语法规则集为

$$\mathcal{E}_{\text{CPS}} := \mathcal{E} \{ id, T_\varepsilon^g, L_\varepsilon^g, T_\varepsilon^{eo}, L_\varepsilon^{eo}, V_\varepsilon, O \}$$

$$T_\varepsilon^g, T_\varepsilon^{eo} := [t_1, t_2]$$

$$L_\varepsilon^g, L_\varepsilon^{eo} := ((x, y, z), r)$$

$$O := \mathcal{E}_{\text{CPS}} | v \quad [ := ( | [ ] := ) | ]$$

$$t_1, t_2, r \in \mathbf{R}^+ \quad x, y, z \in \mathbf{R}$$

此规则集中定义  $\mathcal{E}$  为一个 CPS 系统中所有的事件案例,  $O$  为所有的事件观察者,其中包含全局观察者  $O_v$ ,显然  $O \in \mathcal{E}$ 。  $[t_1, t_2]$  代表事件发生时间的范围,  $((x, y, z), r)$  表示事件发生地点的范围,  $(x, y, z)$  为球心,  $r$  为半径,当然  $r$  可以为零。

### (1) 事件按发生时间的分类

在 CPS 中,物理层发生的事件被传感设备感知,再通过有线或无线网络传输到信息层,因此信息层得到事件发生的时间必然比物理层会有延迟,  $T_\varepsilon^g$  是在物理层事件发生的时间,  $T_\varepsilon^{eo}$  是在信息层事件发生的时间。根据事件发生的时间是一个时间点还是一段时间间隔,事件可以被分为准时事件和间隔事

件。

准时事件是指事件发生的时间是一个时间点。对于准时物理事件,它表示物理对象或现象在一个特定的时间点发生的任何时空特征和属性的变化。

间隔事件是指一个事件的发生时间是一段时间间隔,标记为起始时间点和结束时间点。对于间隔物理事件,它表示物理对象或现象的空间特征和所有属性在一段时间内都保持不变。准时事件和间隔事件取决于最终用户的定义。

基于这些定义,两个事件的时间关系可以扩展成 3 种类型:准时-准时事件,如“在...之前,在...之后”;准时-间隔事件,如“在...之间,属于...集合”;间隔-间隔事件,如“...与...重叠”。

### (2) 事件按发生地点的分类

事件的空间属性与事件预计发生地点相关。  $L_\varepsilon^g$  是在物理层事件发生的地点,  $L_\varepsilon^{eo}$  是在信息层事件发生的地点,根据这个地点是一个点还是一片区域,事件可以分为两类:点事件和区域事件。

点事件是指事件的发生地点是空间坐标上的一个点  $(x, y, z)$ ,在物理世界里,一个点事件可以是一个物理静止的物体属性的变化,也指一个事件的预计发生地点是一个点。

区域事件是指一个事件的发生地点在拓扑空间上是一片区域,形式化描述为  $z = f(x, y)$  或  $z = ((x, y, z), r) (r > 0)$ 。

### (3) 观察者的分类

观察者是一个设备或人,能够收集数据,根据事件的条件评估这些数据,并且在事件条件得到满足的情况下能够输出相应的事件案例。例如,一个传感站点是一个观察者,因为它可以使用采样的数据作为输入,并根据一些预定义的事件条件处理此数据,最后产生相应的事件案例。另一方面,属于一个传感站点上的某个特定的传感器不是观察者,因为它能够测量物理数值,并转换成属性、时间或空间的信息,但是它不能基于事件的条件处理这些捕获的数据,所以它不算观察者。

定义 2:一个观察者事件可以表示为

$$\mathcal{E}_{\text{obs}} := Obs \{ g, id_2, \langle \Gamma_s \rangle, T_o^g, L_o^g, V_o, O_v \}$$

式中  $g$ ——与观察者相关联的事件生成规则集

$id_2$ ——观察员 ID

$\langle \Gamma_s \rangle$ ——观察者可以生成的事件类型集

$T_o^g$ ——观察者事件发生的时间

$L_o^g$ ——观察者事件发生的地点

$V_o$ ——跟特定的观察者相关的观察者事件相关属性

观察者可以分为全局观察者和移动观察者。全

局观察者是系统分析而定义的,可以提供一个共同的参照框架。对于任何一个特定的 CPS 系统,只有一个全局观察者  $O_e$ ,它的位置是系统的中心,时间间隔被定义为系统的寿命。

观察者动态地加入或离开一个 CPS 系统也可表示为事件,这可以由任何观察者报告,包括实体加入或离开,移动观察者也可以做类似的处理。应用程序需要确定空间精度要求的粒度,这将决定移动实体必须报告位置更新的频率。

### 3 面向精准农业应用的 CPS 事件建模

精准农业技术是基于农田内部小区作物生长环境时空差异性,实施精准变量投入,实现作物生产的检测和控制<sup>[17]</sup>。精准农业应用的典型 CPS 体系结构中可以分为 5 类组件,即物理世界、传感器、计算(控制)单元、执行器和计时器,如图 1 所示<sup>[18]</sup>,下面就每一部分进行具体的事件建模分析。

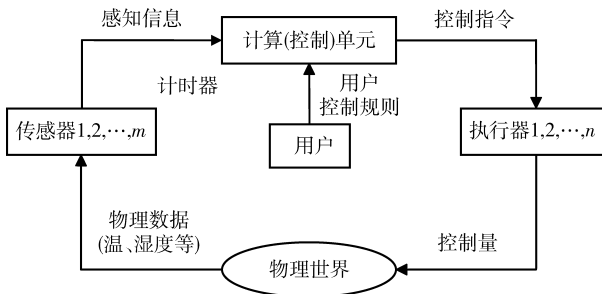


图 1 面向精准农业应用的 CPS 体系结构

Fig. 1 CPS architecture for precision agriculture

#### 3.1 物理世界的事件建模

在物理世界中,物理实体和物理环境都可以看作是物理世界中的对象,称为物理对象。精准农业中物理实体包括各种植被、作物、病虫害和农机具等,物理环境包括大气、土壤、阳光等。不管物理实体还是物理环境都应该具备以下几个特征:①拥有唯一的标识,以区别其他物理实体或物理环境。②拥有一定的物理属性,对物理世界中所有属性的一个赋值,认为是物理世界的一个状态。③允许被感知和改变,即属性值可通过主动或被动的方式由传感器获取,并且可通过执行器来改变。

所有的对象除了具备上述的特征之外,还具有各自主动或被动的行为。土壤和作物是精准农业中最重要的物理对象,其属性的变化直接影响农业生产的结果,也是事件模型中最为主要的研究对象。

物理对象的事件模型表述了物理世界中单个或多个对象在状态属性、时间和空间特征上的任何变化。这里先给出一个通用的物理对象事件定义:

定义 3:一个物理对象事件可表示为

$$\varepsilon_{PO} := PO \{ id_3, T_{PO}^g, L_{PO}^g, V_{PO} \}$$

式中  $PO$ ——物理对象

$id_3$ ——物理对象的序列号

$T_{PO}^g$ ——事件发生的时间

$L_{PO}^g$ ——事件发生的地点

$V_{PO}$ ——事件发生时的属性集

在精准农业中物理环境的属性有大气和土壤的温湿度、光照强度、农业大棚空气中的  $CO_2$  浓度、土壤的养分、电导率等,物理实体的属性包括作物的各种生长与生理参数、病虫害信息。其中,每种属性值根据作物种类的区别而有一定的正常范围,超出这个范围执行器就需要执行一定的行为,形式化表示为

$$g_{V_{PO}} [ V_1, V_2, \dots, V_n ] OP_R C$$

式中  $g_{V_{PO}}$ ——各种代数函数,如最大值、平均值等

$n$ ——实体数

$OP_R$ ——各种关系函数,如大于、小于、介于等

$C$ ——一个数值约束,可以是一个数值或是一个区间

在精准农业中对于不同种类不同品种的作物,种植在不同类型的土壤上,在不同的生育期对土壤温湿度的要求是不同的。如宁麦 3 号种植在黄棕壤里,肥力中等,在拔节-开花期对土壤湿度属性要求为:  $S_H \in [21\%, 37\%]$ ,  $S_H$  表示土壤湿度,若土壤湿度被检测到低于 21%,小麦的经济产量会有大幅下跌,这时触发感知层的湿度传感器,把检测到的数据传回到网关,再通过有线或无线网络传回到数据管理中心,数据在管理中心会知道在何时、何地甚至是哪个传感器检测到数据,经过比对、处理,知道需要给土壤增加水分,于是把控制信息传给洒水器上的接收传感装置,控制洒水器打开,完成浇水<sup>[19]</sup>。

#### 3.2 传感器的事件建模

农田信息采集是精准农业的关键技术,传感器是最主要的信息采集设备。每种传感器通常只涉及同一类的物理对象,它们按照一定的时间频率获取或发送所感知的数据。

定义 4:一个传感器事件可表示为

$$\varepsilon_{SR} := SR \{ id_4, i, CU_{id}, PO_{id}, T_{SR}^g, L_{SR}^g, V_{SR} \}$$

式中  $SR$ ——传感器

$id_4$ ——事件序列号

$i$ ——计算执行的次数

$CU_{id}$ ——传感器所连接的计算(控制)单元

$PO_{id}$ ——传感器所感知的某个物理对象,即定义 3 中的物理对象

$T_{SR}^g$ ——传感器事件发生的时间

$L_{SR}^g$ ——传感器事件发生的地点

$V_{SR}$ ——传感器事件发生时的属性集

### 3.2.1 事件发生时间

闭环系统中,传感器事件发生时的时间要求符合一定的条件,时间条件可以形式化表示为

$$g_T [T_1, T_2, \dots, T_n] OP_T C_T$$

式中  $g_T$ —— $n$  个实体事件发生时间的代数函数

$OP_T$ ——时间运算符,如“在…之前”、“在…之后”、“在…之间”等

$C_T$ ——时间约束

### 3.2.2 事件发生地点

闭环系统中,传感器事件发生时的地点也要求符合一定的条件,地点条件可以形式化表示为

$$g_S [L_1, L_2, \dots, L_n] OP_S C_S$$

式中  $g_S$ —— $n$  个实体事件发生地点的代数函数

$OP_S$ ——空间运算符,如“在…地点”、“在…里”、“在…外”等

$C_S$ ——空间约束,可以是一个空间点或空间区域

以上时间、地点要求的形式化表示同样适用于 3.1~3.5 节的其他模型。

### 3.3 计算(控制)单元的事件建模

农田信息管理和分析并进行决策是精准农业实施的关键步骤,计算(控制)单元负责对目标监测区域发出各项环境指标的查询请求命令,并对收集上来的数据进行分析处理,然后进行决策分析,最后以系统输出的形式反馈给执行器执行。精准农业 CPS 被用来监测和控制物理环境时,需要大量的数据在传感器和执行器间传递,尤其是大面积的数据检测,可以把 CPS 的计算单元作分布式部署,分步把监测到的数据转换成信息进行处理,与执行器通过网络化分别实现协同决策与协同控制,再设置一个最高级别的总控制单元来管理分布的计算控制单元<sup>[20]</sup>。

定义 5:一个计算(控制)单元事件可表示为

$$\varepsilon_{CU} = CU \{ id_s, i, T_{CU}^g, L_{CU}^g, T_{CU}^{eo}, L_{CU}^{eo}, V_{CU}, \rho_{CU} \}$$

式中  $CU$ ——计算(控制)单元

$id_s$ ——计算(控制)单元的序列号

$T_{CU}^g, L_{CU}^g$ ——计算(控制)单元事件发生的时间、地点

$T_{CU}^{eo}, L_{CU}^{eo}, V_{CU}$ ——观察者期望的计算(控制)单元事件发生的时间、地点、属性集

$\rho_{CU}$ ——计算(控制)单元的可信度

### 3.4 执行器的事件建模

决策的田间实施是精准农业实现的最终环节,执行器主要负责田间实施,能够接收控制指令并对

受控对象施加控制作用,每种执行器通常也只涉及同一类的物理对象。精准农业要求实现 3 个精确:定时精确、定量精确和定位精确。

定义 6:一个执行器事件可表示为

$$\varepsilon_{AR} = AR \{ id_6, PO_{id}, T_{AR}^g, L_{AR}^g, T_{AR}^{eo}, L_{AR}^{eo}, V_{AR}, \rho_{AR} \}$$

式中  $AR$ ——执行器

$id_6$ ——执行器的序列号

$PO_{id}$ ——执行器产生事件的物理对象

$T_{AR}^g, L_{AR}^g$ ——执行器事件发生的时间和地点

$T_{AR}^{eo}, L_{AR}^{eo}, V_{AR}$ ——观察者期望的执行器事件发生时间、地点、属性集

$\rho_{AR}$ ——执行器的可信度

在精准农业的温室大棚中执行器可以控制各种传感器的休眠和唤醒、天窗的开启和关闭、喷水器的开启和关闭、精密播种、施肥、洒药机械的操作、风扇和暖气等。

### 3.5 整个系统的事件建模

面向精准农业应用的 CPS 包含农田信息获取、农田信息管理和分析、决策分析、决策的田间实施等部分,而且感知、决策和控制执行子系统大多不在同一位置,依托于拥有强大计算资源和数据库的网络基础设施(如 Internet、数据库/知识库服务器和其他类型数据传输网络等),逻辑上紧密耦合的基本功能单元构成了完整的 CPS 系统<sup>[17]</sup>。整个系统的事件模型由各个组成组件的事件模型构成。

定义 7:一个 CPS 事件从系统构成的角度可表示为

$$\varepsilon_{CPS} = PO | SR | | CU | AR$$

CPS 的事件驱动机制贯穿整个精准农业系统,通过传感器等进行农田信息采集的数据变化构成了第 1 类事件,然后驱动了第 2 类事件——计算控制单元的信息处理部分,再驱动第 3 类事件——根据第 2 类事件的分析结果,安装在各种农业设备上的执行器发生动作,最后再监测第 1 类事件的发生,周而复始,构成一个完整的闭环事件过程。

## 4 案例分析

以中国农业大学农业实验大棚中 50 m × 15 m 的区域作为试验田,布置 6 个土壤温湿度传感器、6 个大气温湿度传感器、2 个光照传感器,土壤微量元素含量测定于采样后在实验室进行,所以没有布置土壤养分传感器。拓扑图如图 2 所示。

6 个土壤温湿度传感器用  $A_1 \sim A_6$  来表示,6 个大气温湿度传感器用  $B_1 \sim B_6$  来表示,2 个光照传感器用  $C_1$  和  $C_2$  来表示。整个试验田被平均分成 6 个区域,从左上到右下依次为  $R_1 \sim R_6$ ,每个温湿度传

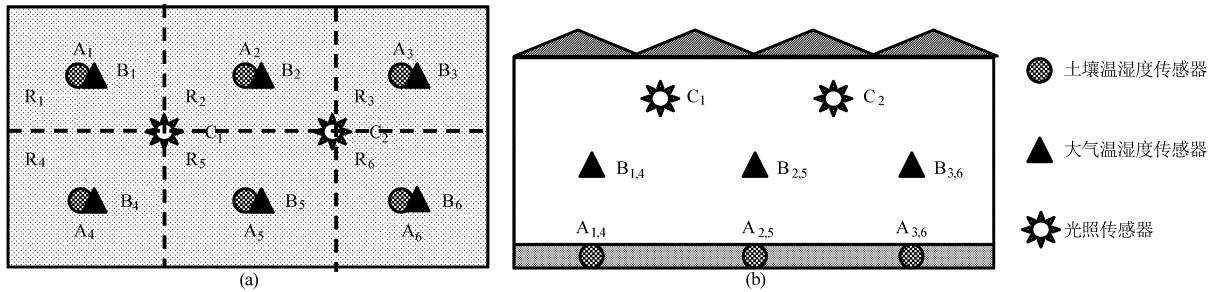


图2 精准农业大棚传感器布置拓扑图

Fig.2 Sensor layout topology in precision agriculture greenhouse

(a) 俯视图 (b) 侧视图

传感器位于每片区域的中心。以洒水事件为例对事件模型进行详细分析,其他事件模型与此类似。

根据作物类型不同,当土壤湿度降低到此类作物要求的最低湿度以下时,需要打开洒水设备进行增湿。根据 CPS 事件驱动特征,按照以上事件描述,洒水事件应该经历以下闭环过程,如图 3 所示。

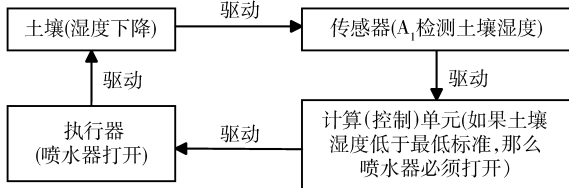


图3 洒水事件驱动过程

Fig.3 Driven process diagram of sprinkler event

以  $R_1$  为例,构建以下的事件模型:

(1) 物理对象事件

$$\varepsilon_{PO} = \text{SoilHumidityDecrease} \{ 1, [t_1, t_2], R_1, h \}$$

式中  $h$ ——湿度

物理对象为土壤,发生事件类型为湿度下降,序列号假设为第 1 次,发生时间为  $[t_1, t_2]$ ,针对精准农业对农作物生长环境监测应具备实时性,且土壤中的传感器不易经常更换,所以传感器一般采用定时唤醒,如每隔 0.5 h 进行一次采样,然后进入休眠以延长整个系统寿命,因此  $t_2 - t_1 \geq 30 \text{ min}$ 。发生地点是区域 1,土壤属性有很多,这里关注的是湿度。说明这次事件是间隔时间事件和区域空间事件。

(2) 传感器事件

$$\varepsilon_{SR} = \text{SensorDetectsHumidity} \{ A_1, 1, CU_1, SR_1, t_3, (x_1, y_1, z_1), V_{SR} \}$$

发生事件类型为传感器检测湿度,传感器的序列号为  $A_1$ ,假设为此传感器第 1 次检测湿度,本案例因为农田面积小只有一个计算控制单元  $CU_1$ ,此次事件面向的物理对象为区域 1 的土壤,发生时间为  $t_3, t_3 \in [t_1, t_2]$ ,发生地点为区域 1 的中心,坐标为  $(x_1, y_1, z_1)$ ,其中假设以整个试验田的中央为原点,因此这里  $x_1 < 0, y_1 > 0, z_1 < 0$ 。 $V_{SR}$  为传感器检测时的属性,如精度、响应时间等。

(3) 计算(控制)单元事件

$$\varepsilon_{CU} = \text{ControlUnit} \{ 1, 1, [t_4, t_5], (x_2, y_2, z_2), [t_6, t_7], (0, 0, 0), V_{CU}, 99.9\% \}$$

本案例只有一个计算(控制)单元,所以序列号为 1,第 2 项 1 代表第 1 次进行计算控制,本次事件发生时间为  $[t_4, t_5]$ ,为了满足 CPS 的实时性,  $t_5 - t_4$  必须小于一个设定的标准值,  $(x_2, y_2, z_2)$  为在以农田中心为原点的坐标系中计算单元所处的坐标(假设计算控制单元很小,近似只占一个点),  $[t_6, t_7]$  为期望的计算、发出控制命令时间,一般来说,  $(t_7 - t_6) < (t_5 - t_4)$ ,如果  $t_4$  大于  $t_6$  过多,说明计算延迟过久,信号传输有障碍。 $(0, 0, 0)$  表示以计算单元为中心,它的坐标就是原点,  $V_{CU}$  是计算(控制)单元工作时的属性,例如工作电压、工作主频等,99.9% 说明这个计算控制单元可信度很高,以往出错很少。

(4) 执行器事件

$$\varepsilon_{AR} = \text{OpenSprinkler} \{ 1, 1, Sp_1, t_8, (x_3, y_3, z_3), t_9, (0, 0, 0), V_{AR}, 100\% \}$$

事件类型为打开喷水器,为第 1 次打开区域 1 中的 1 号喷水器,1 号喷水器上的控制执行器序列号为 1,实际打开喷水器的时间是  $t_8$ ,控制单元期望打开喷水器的时间是  $t_9, t_8 > t_9$ ,两者相差时间越短,说明执行速度越快,  $(x_3, y_3, z_3)$  为喷水器在以农田中心为原点的坐标系中所处的位置,若以自身为中心,则坐标就是原点,  $V_{AR}$  是执行器的属性,如响应时间、工作电压等,100% 说明 1 号喷水器上的控制开关性能可靠。

(5) 整个系统的事件

从观察者的角度来对整个系统的事件建模,其中物理世界没有收集数据的能力,不能算是观察者,现在的传感器节点除了采集数据外,一般都有简单的数据处理能力,所以也可以看作是观察者。在本例中  $A_1$  记为观察者  $Ob_0$ ,计算(控制)单元记为观察者  $Ob_1$ ,执行器  $Actor_1$  负责打开喷水设备记为  $Ob_2$ ,总的有一个全局观察者。输出的事件组包含土壤太干、增加湿度等,整个系统事件模型图如图 4 所示。

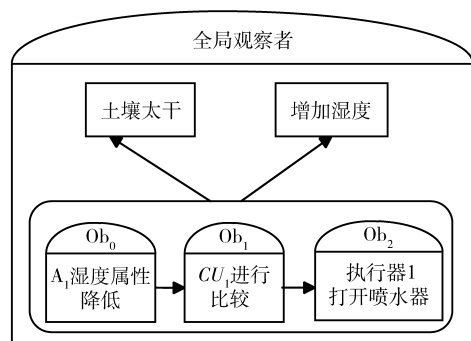


图 4 整个系统事件模型图

Fig. 4 Model figure of whole system event

本事件模型将时空因素引入到精准农业的建模中,并给出了形式化的描述,其中综合考虑了大棚里的多种因素以及物理系统与信息系统的连接情况,相对于传统大棚控制考虑更加全面,细化到每一个组件,从全局角度对精准农业 CPS 进行了底层的全新设计,从而保证从一开始就考虑到环境变化带来的各种问题,提高了农业 CPS 精确工作的能力,避免了因为这些没有考虑到的事件导致系统的崩溃。这种从底层重新设计的方法可以改变现有农业智能

化不足的现状,将 CPS 的异构性和跨层性充分考虑,尽量自适应解决精准农业环境多变的情况,是对 CPS 时空模型应用于精准农业有益的探索。

## 5 结束语

本文依据 CPS 的事件驱动性,根据精准农业的特征在已有研究的基础上对精准农业 CPS 时空事件模型进行了初探,并在分析 CPS 体系结构的基础上,对每一个组成部分分别进行事件模型研究。本事件模型不仅可以捕捉在分布式和异构的环境中有相关事件的基本信息,也说明事件可以由信息和物理领域中不同的组件和设备构成,有利于整个系统的实现。但是模型建立中没有考虑特殊情况,如某个传感器的损坏或电力耗尽,天窗、风扇、喷水器或暖气开关的损坏,大规模的农业数据进入计算控制单元造成的数据处理减缓或失败,需要进一步优化事件模型。从实际应用的层面看,文中的 CPS 模型还没能够优化解决农业智能化环节的具体问题,需要制定相应的规则,它的应用方法还有待进一步深入研究和探索。

## 参 考 文 献

- 1 Rajkumar R, Lee I, Sha L, et al. Cyber physical systems: the next computing revolution [C] // Proceedings of the 47th Design Automation Conference, DAC 2010, 2010: 731 - 736.
- 2 Lee E A. Cyber physical systems: design challenges [C] // 2008 11th IEEE International Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008: 363 - 369.
- 3 Wang Yunbo, Vuran Mehmet C, Goddard S. Cyber-physical systems in industrial process control [J]. ACM SIGBED Review, 2008, 5(1): 1 - 2.
- 4 McCarthy D, Dayal U. The architecture of an active database management system [J]. SIGMOD Record, 1989, 18(2): 215 - 224.
- 5 Chakravarthy S. Sentinel: an object-oriented DBMS with event-based rules [J]. SIGMOD Record, 1997, 26(2): 572 - 575.
- 6 Gatzu S, Dittrich K R. Detecting composite events in active database systems using petri nets [C] // RIDS'94: Proceedings of the 4th International Workshop on Active Database Systems, 1994: 2 - 9.
- 7 Adaikkalavan R, Chakravarthy S. SnooIB: interval-based event specification and detection for active databases [J]. Data & Knowledge Engineering, 2006, 59(1): 139 - 165.
- 8 Abraham T, Roddick J F. Survey of spatio-temporal databases [J]. Geoinformatica, 1999, 3(1): 61 - 99.
- 9 Egenhofer M J, Al-Taha K K. Reasoning about gradual changes of topological relationships [C] // Proceedings of the International Conference GIS, 1992: 196 - 219.
- 10 Ying Tan, Vuran M C, Goddard S. Spatio-temporal event model for cyber-physical systems [C] // Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2009: 44 - 50.
- 11 Lee E A, Matic S, Seshia S A, et al. The case for timing-centric distributed software [C] // Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2009: 57 - 64.
- 12 Ying Tan, Vuran M C, Goddard S, et al. A concept lattice-based event model for cyber-physical systems [C] // Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber Physical Systems, 2010: 50 - 60.
- 13 Wang Hanbo, Zhou Xingshe, Dong Yunwei, et al. Modeling timing behavior for cyber-physical systems [C] // Proceedings of 2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, 2009: 1 - 4.
- 14 Yue Ke, Wang Li, Ren Shangping, et al. An adaptive discrete event model for cyber-physical system [C] // Proceedings of 2010 Analytic Virtual Integration of Cyber-Physical Systems Workshop, 2010: 9 - 15.
- 15 周文, 刘宗田, 孔庆苹. 基于事件的知识处理研究综述 [J]. 计算机科学, 2008, 35(2): 160 - 162.  
Zhou Wen, Liu Zongtian, Kong Qingping. A research review of event-based knowledge processing [J]. Computer Science, 2008, 35(2): 160 - 162. (in Chinese)

- Li Shunfeng, Zhang Lihua, Liu Xinghua, et al. Discriminant analysis of apple moldy core using near infrared diffuse reflectance spectroscopy based on principal component analysis [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(10): 158 - 161. (in Chinese)
- 30 周淼,田富强,胡和平. 基于联合主成分分析的宜昌站径流中长期预报[J]. 水力发电学报,2013,32(1):37-43.  
Zhou Miao, Tian Fuqiang, Hu Heping. Medium and long-term prediction of river runoff at Yichang with joint principal component analysis [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(1): 37 - 43. (in Chinese)
- 31 马灿. 半干旱区玉米茎流特征及能量平衡研究[D]. 兰州:兰州大学,2013.  
Ma Can. Research on characteristics and energy balance of maize sap flow in semi-arid area [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013. (in Chinese)
- 32 Swaef D, Hanssens J, Cornelis S, et al. Non-destructive estimation of root pressure using sap flow, stem diameter measurements and mechanistic modelling [J]. Annals of Botany, 2012, 111(2): 271 - 282.
- 33 赵永玲,刘钰,蔡甲冰. 夏玉米茎流和茎直径变化规律及其关系分析[J]. 灌溉排水学报,2010,29(3):24-28.  
Zhao Yongling, Liu Yu, Cai Jiabing. The movements and relationships between the stem diameter variation and sap flow for summer maize [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(3): 24 - 28. (in Chinese)
- 34 郭文忠. 日光温室黄瓜结果期植株信息与环境相关性研究及灌溉软件开发[D]. 北京:中国农业大学,2008.  
Guo Wenzhong. The study on correlation between the plant information of cucumber in the fruit stage and environment in solar greenhouse and development of irrigation software [D]. Beijing: China Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- 

(上接第 291 页)

- 16 林广发,冯学智,王雷,等. 以事件为核心的面向对象时空数据模型[J]. 测绘学报,2002,31(1):71-76.  
Lin Guangfa, Feng Xuezhi, Wang Lei, et al. Object-oriented spatio-temporal data model of event as the core [J]. Journal of Surveying and Mapping, 2002, 31(1): 71 - 76. (in Chinese)
- 17 Edward A Lee. Cyber-physical systems-are computing foundations adequate? [C]//Position Paper for NSF Workshop on Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap, 2006:1-9.
- 18 陈志辉. 基于时间自动机的信息物理融合系统建模与验证[J]. 计算机与现代化,2012(10):125-130.  
Chen Zhihui. Cyber-physical systems modeling and validation based on timed automata [J]. Computer and Modernization, 2012(10):125-130. (in Chinese)
- 19 高峰,俞立,张文安,等. 基于无线传感器网络的作物水分状况监测系统研究与设计[J]. 农业工程学报,2009,25(2):107-112.  
Gao Feng, Yu Li, Zhang Wen'an, et al. Research and design of crop water status monitoring system based on wireless sensor network [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 107 - 112. (in Chinese)
- 20 李仁发,谢勇,李蕊,等. 信息-物理融合系统若干关键问题综述[J]. 计算机研究与发展,2012,49(6):1149-1161.  
Li Renfa, Xie Yong, Li Rui, et al. A summary of some cyber-physical systems key issues [J]. Journal of Computer Research and Development, 2012, 49(6): 1149 - 1161. (in Chinese)