

基于混成自动机的车联网服务建模方法

封 飞, 陈名才, 张广泉*, 邵玉珍, 李烨静

(苏州大学 计算机科学与技术学院, 江苏 苏州 215006)

摘要:针对汽车信息物理融合系统(CPS)软件的异构性、分布式等特点,提出一种车联网服务建模方法.对混成自动机进行通信端口扩展,采用扩展的混成自动机作为形式化建模工具,从服务提供的角度,分别将待监测和控制的设备实体抽象为服务作为系统的基本组成单元.以汽车速度控制系统为例,说明该建模方法的有效性.

关键词:混成自动机;车联网服务;建模;汽车 CPS

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1673-2340(2013)02-0006-05

Modeling Method of Vehicle Networking Service Based on Hybrid Automaton

FENG Fei, CHEN Ming-cai, ZHANG Guang-quan*, SHAO Yu-zhen, LI Ye-jing

(School of Computer Science and Technology, Suzhou University, Suzhou 215006, China)

Abstract: A complex environment, a typical vehicular CPS, of embedded network is formed because of many ECUs used in modern cars. This paper analyses the features of vehicular CPS software in depth such as heterogeneity and distribution, then hybrid automaton with communication ports was extended and a modeling method for service of Internet of vehicle from the perspective of service providing was proposed, the monitor and control device entities were treated as device services respectively, as the basic units of system. At last, the case of the vehicle speed control system was presented to show the validity of the modeling method.

Key words: hybrid automaton; vehicle networking service; modeling; vehicular CPS

信息物理融合系统(Cyber-Physical Systems, CPS)是一种融合了计算与物理进程的复杂的嵌入式网络系统^[1]. CPS将物理过程与计算相结合,通过嵌入式系统和网络对物理设备进行监测与控制,计

算与物理过程通过反馈机制相互影响^[2-3].

现代汽车由多达 100 个通过 FlexRay 和 CAN 总线通信的电子控制单元(ECU)组成,形成了一个嵌入式网络环境^[4]. 汽车支持大量控制功能,这些功能

收稿日期: 2012-12-26

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2011281);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX12_0809);江苏省高等学校大学生实践创新训练计划项目(2012yb010);苏州市应用基础研究计划项目(SYG201241);苏州大学大学生课外学术科研基金项目(KY2013053A)

作者简介: 封飞(1992—),男.

* 通信联系人: 张广泉(1965—),男,教授,博士,主要研究方向为网络软件工程与服务计算、传感网与物联网(CPS). E-mail: gqzhang@suda.edu.cn

大部分都是涉及物理设备、传感器和控制器并使用反馈机制的闭环控制算法. 因此, 汽车内的系统是一个典型的 CPS, 称之为汽车 CPS (Vehicular Cyber-Physical System, VCPS).

汽车 CPS 内部是一个复杂的嵌入式网络系统^[5], 除了信息系统之外, 还包含了大量嵌入式和实时软件子系统. 汽车 CPS 软件具有异构^[6]、交互^[5]、实时^[6]和并发^[7]等特征. 在进行系统建模时, 需要充分考虑汽车的这些特征, 因而给汽车 CPS 软件建模带来了新的挑战. 利用传统方法缺乏有效的整体设计建模, 很难进行可靠有效的设计^[8-9].

传统的汽车建模方法主要有 Simulink/Stateflow 和基于 UML 的方法. Simulink/Stateflow 可以为系统的事件和行为建模, 但只顾及与硬件紧密相关的嵌入式系统设计, 对于汽车中的信息系统仍需要使用其他方法进行建模. 汽车 CPS 功能包括两个层次^[10-11]: 第一层次是提供原始的数据收集; 第二层次是为用户提供必要信息服务^[11]. 传统的建模方法只涉及到第一层次, 对第二层次的支持不够.

随着汽车系统的复杂化, 软硬件标准接口对维护和复用非常重要. AUTOSAR 组织提出了网络接口标准化及企业应用程序软件模块化, 致力于推进在不同汽车平台上的软硬件重用^[5]. Broy 等^[8]提出了一种基于消息序列表 (Message Sequence Charts, MSC) 的方法和工具来获取系统需求, 明确子系统之间的交互. 他们提出了将汽车系统内的通用功能包装成服务, 并进行重用, 以降低开发成本.

文献[12]将物联网服务的行为建模为与其相关的环境实体的交互, 并引入环境实体以刻画物理世界各种物体的属性和行为. 文中以时间自动机为建模工具, 分别对待监测和需控制的物理环境实体以及不同种类的物联网服务独立建模, 以表现它们的独立性和自主性. 但时间自动机的表达能力有限, 对于既包含连续动态又有离散迁移的嵌入式设备的建模显得力不从心.

本文针对汽车软件开发所面临的问题, 以混成自动机为形式化建模工具, 从服务提供的角度, 提出了一种新的基于车联网服务的汽车 CPS 软件建模方法.

1 车联网服务建模框架

混成系统 (hybrid system) 结合了传统的基于状态机的离散控制模型和基于经典微分方程表示物理活动的连续变化模型, 是最适合对嵌入式控制系统建模的模型^[13]. 下面定义本文所用到的混成自动机.

混成自动机可表示为有向图, 其中有向边表示离散迁移, 顶点表示系统的连续变化^[14]. 恒温器的混成自动机模型如图 1 所示.

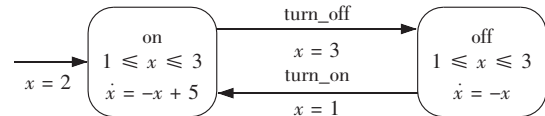


图 1 恒温器混成自动机模型示意图

定义 1 混成自动机是一个七元组

$$H = (Modes, Var, Inputs, Outputs, Updates, InitialState, Inv)$$

其中:

$Modes$ 为模式的集合;

Var 为变量的集合;

$Inputs$ 为输入;

$Outputs$ 为输出;

$Updates: Modes \times Inputs \rightarrow Modes \times Outputs$ 为更新函数;

Inv 为不变式的集合, 不变式可以用微分方程表示系统的连续动态, 也可以用代数方程表示变量之间的依赖关系;

元素 (s, g, o, r, s') 为从模式 s 到 s' , 标记有保卫条件 g , 输出 o 和赋值序列 r 的迁移.

汽车 CPS 架构如图 2 所示, 服务接口层对底层的设备物理层进行抽象, 将各种设备 (如感知设备、控制设备等) 封装成通用的设备服务. 应用层的应用通过访问服务接口层的各种服务来完成自己的需求.

服务的功能通过其与环境之间的交互体现, 服务通过交互感知环境的状态, 及时地实施对环境控制, 实现改变环境状态的目的^[12]. 本质上讲, 车联网服务是运行于联网 ECU 的逻辑容器中的分布式应用, 其功能用定义完好的接口描述. 车联网服务之间通过接口进行通信.

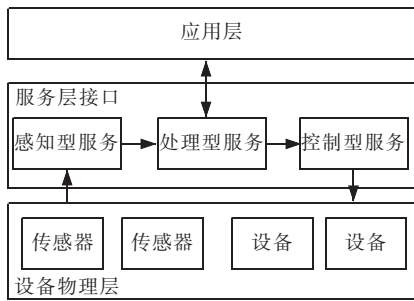


图 2 汽车 CPS 架构示意图

定义 2(通信端口) 一个通信端口为元组 $port = (pid, value, dom)$. pid 为端口 Id, 唯一区别每一个端口; $value$ 存储端口通信数据; dom 表示端口通信的数据类型, 可以是整型、浮点型等, 也可以是用户自定义的数据类型.

定义 3(端口操作) 端口的操作分为读和写两种, 分别用“?”和“!”表示, 如:

$port? a$ 从端口 $port$ 读入数据到变量 a 中;

$port! a$ 将变量 a 的值从端口 $port$ 输出.

定义 4(设备类) 一个设备类为元组

$DT = (DtId, Attr, Inputs, Output, Dom)$

其中:

$DtId$ 为设备的唯一标志符;

$Attr$ 为设备关键属性;

$Inputs$ 为设备输入的集合;

$Output$ 为设备输出的集合;

$Dom: Attr \rightarrow DataType$ 为设备属性到数据类型的映射关系.

每一个设备实体都属于一种设备类, 设备实体是设备类的一个实例.

定义 5(设备实体) 一个设备实体为三元组

$Dev = (DevId, DT, HA)$

其中:

$DevId$ 为唯一的设备标志符;

DT 是设备所属的设备类;

HA 为表示设备动态行为的混成自动机.

下文给出汽车 CPS 软件的基本组成单位——车联网服务的定义. 一个车联网服务通常需要调用多个设备实体的功能来完成正常工作, 因此车联网服务包含一个设备实体类型的集合.

定义 6(原子服务) 一个车联网原子服务形式

化表示为一个三元组 $(Sid, VSet, SHA)$, 其中: Sid 为车联网服务的标志符; $VSet$ 为设备实体类型的集合; SHA 为一个混成自动机, 用于描述服务的动态行为.

2 实例分析

以汽车速度控制子系统为例, 运用上文提出的建模框架对汽车速度控制子系统软件进行建模. 汽车速度控制子系统的应用场景如图 3 所示. 用户发送一个油门命令给发动机, 发动机输出一个转速给传动器, 传动器将发动机的转速转换为能驱动汽车运动的输出力矩. 油门传感器实时将油门的状态信息传递给传动控制器, 车速传感器实时将车速状态报告给传动控制器, 传动控制器根据用户的油门命令和当前的车速以及控制规则向传动器发出控制指令, 以改变汽车的运行速度.

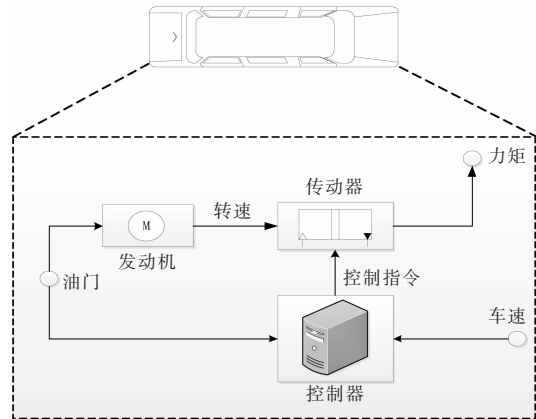


图 3 汽车速度控制系统应用场景示意图

2.1 创建传动器类和传动服务

命令控制端口建模为 $Cmd = (pcmd, c, c \mapsto \{UP, DOWN, STOP\})$, 传动器 $Trans = (Transmission, \{gear, cmd, t, n\}, \{retateSpeed, Cmd\}, \{tout\}, Dom_t)$, n 为发动机的转速, $gear$ 为加速档, t 为传动器的输出矩, $Dom_t(t) = R^+$, $Dom_t(n) = R^+$, $Dom_t(gear) = \{1, 2, 3, 4\}$. 传动服务 $TransService = (transService, \{Trans\}, TransHA)$, $TransHA$ 如图 4a 所示.

2.2 油门端口和油门感知服务

油门感知服务将油门状态发送到油门端口 $throttle = (pthrottle, x, x \mapsto [0, 1])$, 其中 $x \in [0, 1]$ 表示油门开起的程度.

油门感知服务 $ThrottleService = (throttleSer-$

vice, {Throttle}, ThrottleHA), 如图 4b 所示。

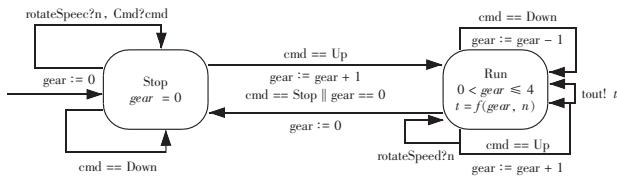
2.3 车速感知服务

SpeedService = (speedService, {Vehicle}, SSA), SSA 如图 4c 所示。

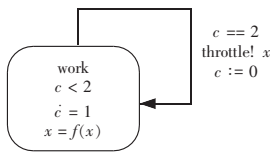
2.4 传动器控制服务

TransControllerService = (transControllerService, {Throttle, Trans, Speed}, TCS), TCS 如图 4d 所示。

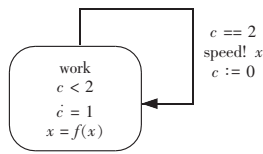
系统仿真的结果如图, 我们的模型有效。



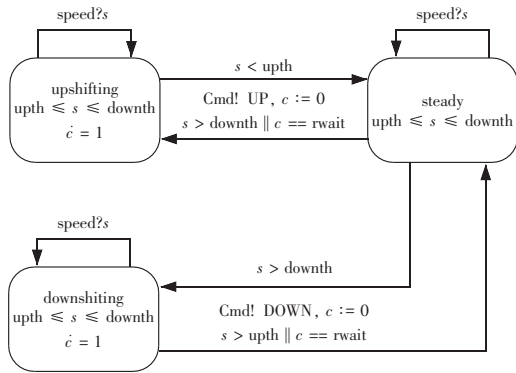
a 传动服务



b 油门感知服务



c 发动机服务

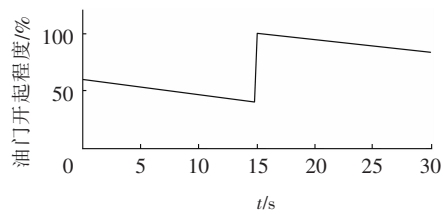


d 传动控制服务

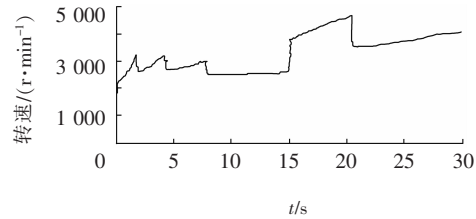
图 4 VCPS 速度控制系统模型示意图

2.5 系统仿真

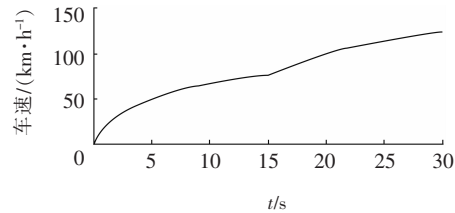
利用 Matlab 中 Simulink 对系统模型进行仿真, 得到的仿真结果如图 5 所示. 图 5a 显示了油门输入随时间的变化图; 图 5b 显示了在图 5a 的油门输入下, 发动机转速随时间的变化图; 图 5c 显示了在图 5a 的油门输入下, 汽车速度随时间的变化情况. 从图 5 中可以看到, 在 15 s 的时候, 油门输入突然增加, 发动机转速也相应的增加, 同时也导致了车速的明显增加. 可见, 该模型与实际情形相吻合。



a 油门



b 发动机转速



c 车速

图 5 系统仿真图

3 结论

现代汽车由大量 ECU 组成, 功能由软件实现^[15]. 基于软件的功能不仅决定了汽车的吸引力、创新性、增强特征和开发速度, 而且决定了汽车的复杂性和开发成本^[4]. 为降低汽车软件的开发成本, 本文以混成自动机为形式化建模工具, 提出了一种汽车 CPS 中的车联网服务形式化建模方法, 但该方法还有待进一步优化和完善. 下一步的工作将对汽车 CPS 软件中的不确定性进行研究, 并对建立的模型进行验证。

参考文献:

[1] Lee E A. Cyber physical systems; design challenges [C]// Proceedings of 11th IEEE International Symposium on ObjectOriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), May 5-7, 2008, Orlando, F L. Washington, D C: IEEE Xplore, 2008; 363-369.
 [2] Rajkumar R, Insup Lee, Lui Sha, et al. Cyber-physical

- systems; the next computing revolution[C]// Proceedings of 47th Design Automation Conference(DAC), June 13-18, 2010, Anaheim, C A. New York:ACM, 2010:731-736.
- [3] Lee E A. CPS foundations[C]//Proceedings of 47th Design Automation Conference(DAC), June 13-18, 2010, Anaheim, C A. New York:ACM, 2010:737-742.
- [4] Broy M, Chakraborty S, Ramesh S, et al. Cross-layer analysis, testing and verification of automotive control software [C]//Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Embedded Software(EMSOFT), Oct 9-14, 2011, Taipei. New York:ACM, 2011:263-272.
- [5] Belta C. Formal methods for dynamical systems [C]//Proceedings of 15th ACM International Conference on Hybrid Systems:Computation and Control, Beijing. New York:ACM, 2012:3-4.
- [6] Byeongdo K, Young-Jik K, Lee R Y. A design and test technique for embedded software[C]//Proceedings of Third ACIS International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications, Aug 11-13, 2005. Washington, D C:IEEE Xplore, 2005:160-165.
- [7] Derler P, Lee E A, Vincentelli A S. Modeling cyber-physical systems[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(1): 13-28.
- [8] Broy M, Kruger I H, Pretschner A, et al. Engineering automotive software[J]. Proceedings of the IEEE, 2007, 95(2): 356-373.
- [9] Broy M. Automotive software and systems engineering[C]// Proceedings of Third ACM and IEEE International Conference on Formal Methods and Models for Co-Design, July 11-14, 2005. Washington, D C:IEEE Xplore, 2005:143-149.
- [10] Bensalem S, Goossens K, Kirsch C M, et al. Time-predictable and composable architectures for dependable embedded systems[C]//Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Embedded Software (EMSOFT), Taipei. New York:ACM, 2011:351-352.
- [11] Abid H, Phuong L T T, Wang Jin, et al. V-Cloud:vehicular cyber-physical systems and cloud computing [C]//Proceedings of 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), Barcelona, Spain. New York:ACM, 2011:1651-1655.
- [12] 李力行, 金芝, 李戈. 基于时间自动机的物联网服务建模和验证[J]. 计算机学报, 2011, 34(8):1365-1377.
- [13] Alur R. Formal verification of hybrid systems[C]//Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Embedded Software(EMSOFT), Oct 9-14, 2011, Taipei. New York:ACM, 2011:273-278.
- [14] Alur R, Courcoubetis C, Halbwachs N, et al. The algorithmic analysis of hybrid systems[J]. Theoretical Computer Science, 1995, 138(1):3-34.
- [15] Berry G. Challenges and potential solutions for complex embedded systems[C]//Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Embedded Software (EMSOFT), Oct 9-14, 2011, Taipei. New York:ACM, 2011:1-2.

(责任编辑:仇慧)