

基于 FPGA 的 SMT 生产线智能控制研究

朱小祥

(武汉软件工程职业学院 湖北武汉 430205)

摘要: 科技发展到今天, 工业制造正在经历第四次革命, 即所谓的工业 4.0 (I4.0)。现在数字化和物联网使智能制造超越智能工厂, 实现更高的机械自动化和更高的灵敏性, 大数据正在改变我们生活的方方面面。工业物联网 (IIoT) 可以将信息技术 (IT) 转变为运营技术 (OT), 其扩展增加了智能制造设备、流程和管理。智能制造在物联网中使用连接的传感器和设备来实时提高机器和技术人员的互通, 并将数据传递到本地或云服务器以进行更深层次的分析。这种转变的益处体现在以下几个方面: 提高生产力和企业吞吐量、提高生产质量、更高水平的可靠性和正常运行时间、改进的预测性维护和模型开发、提高系统的灵活性、敏捷性和自动化水平管理。基于目前从云到端点的工业制造, 完成实现工作负载整合、管理网络流量增长并推动实现工业 4.0 的转型。本文的研究是基于 intel FPGA 的表面贴装技术(SMT) 系列实现工业 4.0 转型的创新方法。

关键词: 智能控制; FPGA; SMT; REP 架构

一. FPGA 与 SMT 介绍

FPGA (field programmable gate array, 现场可编程门阵列) 是一种半导体器件, 制造后可在其上定义功能。FPGA 能够对产品特性和功能进行编程, 适应新标准, 并为特定应用重新配置硬件, 即使在产品已在现场安装后。现代 FPGA 由可配置静态随机存取存储器 (SRAM)、高速输入/输出引脚 (I/O)、逻辑块和路由的混合组成。更具体地说, FPGA 包含可编程逻辑元件, 即逻辑元件 (LE), 以及允许 LE 彼此物理连接的可重新配置互连的层次结构。可以配置 LE 来执行复杂的功能或者简单地执行基本的逻辑门, 例如 AND 和 OR, 大多数 FPGA 还包含内存块。

SMT (Surface Mounting Technology) 是表面组装技术的英文缩写, 国内也常叫做表面装配技术或表面安装技术。它是一种直接将表面组装元器件贴装、焊接到印制电路板表面规定位置的电路装联技术, 是目前电子组装行业里最流行的一种技术和工艺。

SMT 在计算机、通信设备、投资类电子产品、军事装备领域、家用电器等几乎所有的电子产品生产中都被广泛地应用。SMT 是电子装联技术的主要发展方向, 已成为世界电子整机组装技术的主流。

SMT 是一门包括元器件、材料、设备、工艺以及表面组装电路板设计与制造的系统性综合技术, 是突破了传统的印制电路板通孔基板插装元器件方式而发展起来的第四代组装方法, 也是电子产品能有效地实现“短、小、轻、薄”, 多功能、高可靠、优质量、低成本的主要手段之一。

在 SMT 电子产品的大批量生产过程中, 焊锡膏印刷机、贴片机和再流焊设备是不可缺少的。近年来, 各种生产设备正朝着高密度、高速度、高精度和多功能方向发展, 高分辨率的激光定位、光学视觉识别系统、智能化质量控制等先进技术得到推广应用。

二. 传统生产线的改造

针对传统 SMT 生产线基础设施改造的目标是提高其生产力、提高生产线灵活性、简化机器转换过程、减少机器停机时间、提高产品质量和提高利用率。其目的是设计一个能够移植、能够扩展且安全的系统方式, 为每台 SMT 机器提供强大、高效和准确的智能控制。通过将当前跨许多不同硬件系统完成的新工作负载和现有工作负载整合到一个可配置和可定制的平台, 可以降低系统的复杂性。这需要一个能够进行快速数据计算并具有精确、实时决策过程的平台。

传统的 SMT 生产线由带有控制器的机器组成, 例如 PLC、运行软件及处理程序的工业 PC。这样的结构无法满足动态高效决策和快速计算的前瞻性要求。此外, 这些机器没有完全联网, 分散的数据不能收集起来, 不能从中获得数据分析以提高生产效率。

现有生产线面临两个重大挑战: 决策操作的综合性质和数据计算延迟。数据收集、过滤和处理的复合过程会导致了复杂的决策过

程。另外, 信号在传统生产线中的同步、计算引擎架构和有限的计算能力 (操作频率和吞吐量) 会导致数据处理的延迟。采用 FPGA 控制的生产线力求简化系统架构和数据处理, 同时提高系统的实时性能力, 其关键因素是 SMT 生产线的流程整合和集中计算的能力。在实际中, 需要解决两个技术问题: 第一个是整合的实时处理需要真正的并行性, 第二个是联网的网络安全。利用 FPGA 设计生产线的技术难题是管理多个实时计算之间的排序关系, 这些排序可以在多种情况下以多种方式出现。当一个进程等待来自另一个进程的信号到达时, 两个进程之间会出现模糊的依据关系, 比如在 Wi-Fi 连接握手信号之后向传送器发送宽度调整控制字节, 会出现在多个细分对象的读写操作 (传统的 Read-After-Write、Write-After-Write 和 Write-After-Read) 中。管理依据是关键, 因为依据不仅可以限制并行性能, 而且影响正确性。例如跨越网络安全层边界的数据依据性需要在层之间进行同步通信。分析在哪里存在数据依赖性, 即使没有事先映射计算的某个方面首先导致序列关系, 也可以理解并行性和正确性的后果。

一些工业架构师使用诸如工业 PC、微处理器和微控制器或通用图形处理器等计算平台来克服这些问题, 虽然这些平台是准确的, 并且在某些任务中非常有效, 但它们没有满足在功耗预算内具有足够性能的确定性、低延迟计算的要求。相反, 需要一个具有高效并发和并行架构的平台, 能够进行实时、高性能计算; 足够低的功耗, 具有 I/O 连接灵活性以及集成强大的网络安全来保护其能顺利生产。

三. FPGA 创新生产方法

在基于 FPGA 平台上开发的 SMT 生产线具有智能“机器大脑”, 在系统架构中, 两层连接以分散的方式集成在 SMT 生产线中。每个端点机器 (例如自动装载机、链式输送机、卸载机等) 都有一个相应的 FPGA, 它可以根据需要与层中的其他机器进行左右方向自动通信, 并与 SMT 生产线主机通过无线网络自动通信, 如图 1 所示。该结构非常灵活, 决策很大程度上本地化。



图 1 通过 FPGA 实现两层连接
这种架构的好处是降低了与主 FPGA 系统的通信带宽, 释放处

理空间以与生产中的其他 SMT 生产线进行更高级别的连接。SMT 生产线中安装了数十个这样的机器大脑，能够安全实时地操作和收集传感器数据，所有这些都与连接到内部网络的线路网关具有无线连接。图 2 和图 3 描述了 SMT 生产线的顶层设计和体系结构层次。正如在顶层架构中所明确的那样，并行性是在嵌入式设计中融合效率和性能的关键因素。它将两个可重配置嵌入式处理器 (REP) 计算引擎、四个过滤器线、嵌入式存储器、地址生成器、输入单元管理器、仿真器和时钟生成器以及 Wi-Fi 控制器和其他控制子系统全部集成在一个 FPGA 芯片上。



图 2 SMT 生产线顶层设计

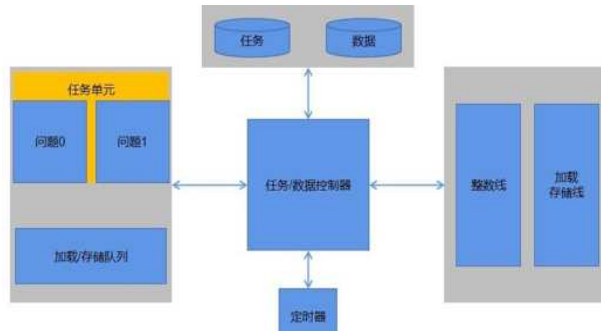


图 3 REP 架构

生产线主要设计单元如下：

输入单元管理器：FPGA 有足够的片上内存来缓冲传入的高带宽数据，从而实现高效的嵌入式处理。与使用片外存储器相比，大大提高了运算速度。双端口存储器配置为允许并发读/写操作，以预处理从不同制造商跨 SMT 生产线构建的不同机器接收的各种传入数据格式。输入可以是 ASCII 数据、HEX 数据、十进制数据，都具有不同的数据包大小和格式。在此过程中可以过滤掉生产操作不需要的数据，同时使用最少的内存，最后以标准化的格式传递。

嵌入式并行脉动滤波器：FPGA 的空间计算结构非常适合流水线过滤阶段的实现。控制器以一系列流水线和时钟步骤在这些功能单元上编排执行，确保所有步骤在允许的抖动时间内具有预定的时隙。在每个脉冲上通过这些功能单元流水线化的并发计算可以实现高计算效率，总体上花费更少的周期，同时还使用最小的 FPGA 资源区域。每个同步流水线都有几个计算阶段，每个阶段执行离散任务。嵌入式寄存器存储部分结果，使用分配给每个阶段的标志位来指示其状态，可以克服潜在的数据和控制冲突。例如，是空闲还是仍在处理数据。

信号仿真器：这是在 SMT 生产线中实现的独立单元，可以仿真来自各种工厂机器的信号和控制字。借助此功能，可以单独进行单元测试，以诊断系统出现的问题，并提供性能和效率保证。

控制子系统：向其它连接的机器发出命令。命令是发送到机器以指示它们执行各种任务和处理操作的复杂控制字，例如宽度调整、自动模式流、启用和禁用。命令字通常由几个 ASCII 字节组成，这些字节具有与进程功能相关的不同字长。

主核由两个 REP 组成，分别负责浮点和定点任务处理。这些

自定义任务处理计算引擎自动执行常见的所需任务，例如校准板宽并自动进行调整。REP 引擎由一个双问题计算单元和一组可配置的流水线功能单元组成，以形成众多嵌入式定制流程。REP 由两个阶段的双任务获取和解码以及加载/存储线、任务和数据存储单元以及定时器组成。任务单元每个周期可以获取、解码和发布两个任务，由流水线功能单元执行。这些单元广泛使用线程和围绕小任务集的循环来执行本地子任务。使用这种架构，可以在相对较小的内存中实现较大的计算带宽。

这些计算通道功能单元可以重新配置以实现许多不同的任务，使其可扩展到任何 SMT 生产线，不管机器设备是什么品牌。除了即时控制功能外，FPGA 还提供包括分析功能以评估和监控每台机器的状况，从而进一步减少停机时间，并通过预测维护提高生产效率。

智能机器学习解决方案包括有监督和无监督的方法。极端随机树(ERT)和决策树(DT)等算法一起使用，以非常高的准确度判断机器运行健康状况。为了实现这一点，需要捕获超过一百万个数据点的大型数据集，并以 80% 的数据用于训练和 20% 的数据用于测试的比例，分析的结果是生产线组件在一系列时间范围内的状态视图。在短期内，机器对机器 (M2M) 网关通过机器大脑使用边缘分析来了解即时生产力、效率和缺陷率，并触发动作。例如在检测到连续缺陷时停止传送带。从长远来看，软件中运行的分析会突出显示异常情况，提供趋势并预测单个机器的性能和健康状况，并提前几周预测，这为企业提供了在问题出现之前解决机器维护问题的信息，系统的架构也改善了 SMT 生产线的更新时间。传统的生产线更新分析需要 20 分钟的手动操作。在更新产品分类中使用模型时，现在是一个按钮过程，可以在 2.5 分钟内依次下线。此外，FPGA 可以同时存储和在多个模型之间切换，这意味着可以在 SMT 生产线全面生产时无空闲发生。

四. FPGA 如何克服突破性能的障碍

FPGA 选择 Cyclone IV 系列芯片实现每个机器 CPU，它能够满足苛刻的计算和操作要求，包括低功耗、可靠性和长寿命，以及有效的成本。

FPGA 可以提供并行同步计算架构，在该架构上实现 SMT 等高速生产线所需的低延迟和确定性控制功能。选择 CycloneIV 系列芯片的关键性能指标是数据获取、同步和处理能力。该平台能够处理大量并行数据，跨越输入单元管理器、过滤模块、可重新配置的嵌入式处理器、数据缓冲、控制子系统、Wi-Fi 控制器，所有计算都在微秒内可靠地进行，并且设备和通信完整性受到保护，同时平衡成本和功耗。

综上所述，系统组件的粗粒度和细粒度都是管理依赖约束的关键。FPGA 提供了一个具有极低抖动的稳定性平台，并具有允许精确控制数据的周期执行。在此基础上，可以实现所需的架构子模块，并将计算与精心参数化的硬件资源联系起来，以满足设计的特定需求。

网络安全是互联智能制造的另一个重要问题。安全攻击是一种真正的威胁，Stuxnet、Triton 和 Industroyer 等攻击就证明了这一点。选择 FPGA 的另一个原因是它们很难远程攻击，没有操作系统，数据漏洞更少，公开的攻击也更多。没有系统是 100% 安全的，因此防御必须灵活，应对新威胁并修补任何已发现的弱点。FPGA 在硬件级别是可编程的，可提供向下到硬件级别定制的灵活性。

此外，密码学、安全性和相邻算法通常是前馈数学繁重的计算，它们非常适合具有数字信号处理 (DSP) 块逻辑和嵌入式存储器阵列的 FPGA 空间计算架构。Cyclone IV 的实施提供了全面的网络安全，包括具有多层保护的纵深防御方法（如图 2 的 4 层所示）；包括高级加密标准 (AES) 加密/解密层、身份验证层以及“幻想”层中的最后一行入侵检测、预防和缓解机制。

(下转第 261 页)

(三) 违反关系准则而产生的幽默

合作原则中的关系准则要求说话人提供的信息与谈话内容密切相关。

例 3:

Mary: Thank you, God, for this food we are about to receive and for the nourishment of our bodies. And bless the hands that prepared it. And, God, we ask that you watch over our Sheldon...as he begins his wonderful new...as he begins this wonderful new chapter in his life. Amen.

Georgie: Why you cryin' ?

Connie: Why you stupid?

在第一季第十集中, Sheldon 去了离家三小时车程的天才学校, 并在学校校长家寄宿生活, 在 Sheldon 离家的第一晚, Mary 十分担心 Sheldon 初次离家, 能否照顾好自己, 以至于在饭前祈祷时一度哽咽。在祈祷结束后, Georgie 十分没有眼色地问 Mary 为什么哭? 而紧接着 Mary 的母亲 Connie 就问 Georgie: 你为什么那么蠢? 显然对话中 Connie 违反了关系准则, 根据正常语境, 在 Georgie 提出问题后, 说话人应该给予解答, 但 Connie 非但没有给予解答, 反而直接对 Georgie 抛出了另一个问题。Connie 的问题表面上看似与 Georgie 的问题毫无关联, 但其传达的真正含义却是为什么你这么愚蠢看不出来 Mary 是因为 Sheldon 独自离家生活而感到担心, 由此产生幽默效果。

(四) 违反方式准则而产生的幽默

合作原则中方式准则要求说话人虽说内容清楚明白, 条理清晰, 没有歧义。

例 4:

Sheldon: I was told you're the head of the drama department.

Lundy: Mm-hmm, and the girls' volleyball coach, which, between us, is the real drama department.

Sheldon: Was that a joke?

Lundy: I thought so.

这段对话发生在第一季的第 16 集, Sheldon 因为没能在学校举办的科学展上面获得冠军, 大失所望, 因此准备放弃科学, 并在心

理医生的开导下, 准备投身演员行业, 因此他找到了学校的戏剧部兼女子排球队的负责人 Lundy, 例 4 是他们之间的对话, Lundy 说对 Sheldon 说女子排球队的人才才是真正的“戏多”。这里显然 Lundy 已经违反的合作原则中的方式准则, 因为“volleyball”在属性上与“drama”并没有任何关系, 这样很容易使观众感到困惑, 而根据接下来的对话, 观众能够发现这实际上是 Lundy 的一个笑话, 这时, Lundy 令观众费解的回答产生了它原有的幽默效果。

四、结语

通过对情景喜剧《小谢尔顿》中部分角色对话所作的语用分析, 可以看出言语幽默的产生一定程度上都体现了对合作原则中的某一准则的违反, 通过以上分析, 可以帮助更好地理解对违背四项准则所产生的会话含义和幽默效果; 同时从合作原则的角度对西方言语幽默的产生机制进行分析, 也为外语学习者感受和探索西方文化提供了新的视角。

References:

- [1]何自然. "Grice 语用学说与关联理论." 外语教学与研究. 04(1995):23-27.
- [2]胡壮麟. 语言学教程. (2019). 北京:北京大学出版社.
- [3]蒋澄生, 廖定中. "试析幽默的语用理据." 外语教学. 05(2005):26-29.
- [4]彭玲, 姜忠莉. "会话的合作原则与英语幽默." 中南民族学院学报(人文社会科学版). 04(2000):136-138.
- [5]吴清. "合作原则和情景喜剧中的幽默." 江南大学学报(人文社会科学版). 02(2005):107-110.
- [6]徐盛桓. "新格赖斯会话含意理论和语用推理." 外国语(上海外国语学院学报). 01(1993).
- [7]张德岁. "合作原则研究综述." 江淮论坛. 04(2009):135-140.

作者简介: 李鑫(1997.7-), 女, 汉族, 籍贯: 辽宁省葫芦岛, 沈阳师范大学外国语学院, 21 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 外国语言文学, 研究方向: 外国语言学及应用语言学

(上接第 249 页)

FPGA 的一个优点是, 如果事实证明并非如此, 则可以在固件中进行更新。我们可以进一步利用 FPGA 的低级硬件定制来进一步阻止攻击, 例如通过在多个嵌入式内存位置分割和分配密钥来进行混淆。Authentication Code 层负责为所有通信和数据传输生成握手代码, 这些代码是由使用嵌入式微分方程的自定义单向数学函数生成的, 没有这些代码验证无法进行传输。最后, 握手验证授权并验证数据已成功接收。防御的最后一层(幻想层)观察异常情况, 包括握手响应失败。在可疑活动中, 它通过将所有数据归零(在这种情况下用新的虚拟数据覆盖)并锁定所有 I/O (用于系统抢救的两个引脚除外)来确保没有入侵者可以访问数据。

FPGA 架构非常适合解决所有这些设计挑战, 它包含可编程逻辑器件以及可配置的静态随机存取存储器(SRAM)、高速输入/输出(I/O)引脚和路由互连。这些计算元件分布在芯片内部, 以执行并行的计算任务。它为用户提供了设计定制处理器的能力, 该处理器专为管理所需的独特数据流而定制。Cyclone IV 芯片因其平衡良好的低功耗逻辑结构和 I/O 性能具有长生命周期和高可靠性, 非常适用于工业用例。

五. 结束语

FPGA 真正的并行实时计算能够整合 SMT 生产线工艺流程, 满足高效的决策制定和快速处理要求。灵活的 I/O 和网络安全使它们能够在多层分散式架构中安全连接。

物联网正在彻底改变机器、建筑、供应链、工厂和电网的智能控制, 帮助工业世界应对工业时代的新挑战以及大数据、安全漏洞和 IT/OT 融合。在整个工厂, 通过将数据转化为实时洞察力来帮助释放数据的潜力, 从而增加正常运行时间、提高质量并增加效益。

参考文献:

- [1]吴焜. 基于 FPGA 的模糊 PID 控制器设计. 上海船舶运输科学研究所学报. 2011.
- [2]张月红. 一种基于 FPGA 的产品智能装配生产线监控系统及方法. 发明专利(CN110989525A). 2020.
- [3]刘莹. 一种基于 FPGA 的室内电器监控管理系统. 实用新型专利(CN201220559670.3). 2013.
- [4]作者简介: 朱小祥(1970.3--), 男, 武汉人, 副教授, 研究方向: 电子信息技术。