



Research
Smart Society—Article

智慧社会与人工智能——用于智能维护的大数据调度和全球标准方法

Ruben Foresti ^{a,d,*}, Stefano Rossi ^a, Matteo Magnani ^b, Corrado Guarino Lo Bianco ^c, Nicola Delmonte ^c

^a Department of Medicine and Surgery, University of Parma, Parma 43126, Italy

^b Sidel S.p.a., Parma 43126, Italy

^c Department of Engineering and Architecture, University of Parma, Parma 43124, Italy

^d Center for Research in Toxicology (CERT), University of Parma, Parma 43126, Italy

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 July 2019

Revised 25 October 2019

Accepted 7 November 2019

Available online 29 January 2020

关键词

智能维护

智慧社会

人工智能

以人为本的管理系统

大数据调度

全球标准方法

社会5.0

工业4.0

摘要

人工智能 (AI) 在智慧社会中的运用需要对人类习惯进行分析, 而这需要使用智能应用、智能基础架构、智能系统和智能网络的自动数据调度与分析。在这种情况下, 培训和操作流程之间存在鸿沟, 因此需要一种专门的方法来管理和提取海量数据, 并进行相关的信息挖掘。本文提出的方法致力于在智能管理中使用接近零故障的高级诊断 (AD) 来缩小这种差距。该诊断程序在社会5.0的任何情况下都可以使用, 由此降低所有管理层面的风险, 并保证质量和可持续性。我们还开发了创新应用程序, 可用于以人为本的管理系统, 以支持操作流程维护工作的安排, 从而降低培训成本、提高产量, 并创建用于智能基础架构设计的人机网络空间。来自12家国际公司的研究结果证明, 操作流程可进行全球标准化, 因此我们设计了一种能够自主学习和升级的接近零故障的智能系统。本文提出的新方法为选择新一代智能制造和智能系统提供了指导, 从而优化了人机交互以及相关的智能维护和教育。

© 2020 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

尽管社会4.0集成了用于获取和分析数据的网络技术, 但是没有本体论[1]的研究, 信息共享与相关知识之间仍有一道鸿沟。本体论研究是社会5.0的重要组成部分, 随着全球可持续性所需流程的复杂性的不断增加, 环境和人类生物学分析的大量数据也不断增加。此外, 使用大数据的实时决策对于增强公司的竞争优势愈加重要[2]。文献表明, 人工智能 (AI) 可被应用于大数据处理[3]。大数据分析可通过已安排流程为预测性

创新提供指导[4–6]。

数字创新使得客户的终身价值降低[7], 而这需要为非“数字原住民”(不熟悉数字系统的人)的人力资源(HR)提供灵活且具有智能人机交互技术的制造系统[8]。

尽管这些问题已经存在了一段时间[9], 但许多公司至今还没有准备好利用智能分析工具来管理大数据[10,11], 尤其是在显然需要商业分析软件的信息技术(IT)系统的生产线方面。

从自动化流程中收集信息的主要困难之一在于生产系统的创新, 其必须通过整合新型生产机器或采用不同

* Corresponding author.

E-mail address: ruben.foresti@unipr.it (R. Foresti).

制造商开发的各项技术进行重新配置，以应对市场变化[12]。例如，为了缩短从下订单到产品装运之间的时间[13]，大规模定制需要以高质量标准进行快速生产，同时在物理空间和网络空间之间使用智能系统[6,14,15]。为了找出易于掌握的程序以确保机器的快速重新配置，人力资源习惯的分析是必不可少的一环。

在本文中，我们提出了一种无需对非“数字原住民”的人力资源进行专业培训就可以管理高度定制化产品生命周期的新方法[16-18]。该方法在不同的维护操作中应用同一项标准协议[19]，以评估人-信息-物理系统(HCPS)的智能基础架构设计。

我们将这一方法应用于12家饮料公司的生产线，这些生产线均安装了高级诊断(AD)系统。之所以选择这些公司，是因为瓶子样式的更改不需要高难度的软件(SW)定制，因此降低了可变性，使我们能够专注于人类活动的分析。这项工作要解决的主要问题是开发一种与人力资源培训无关且基于定制安排的智能系统来连接网络空间和物理空间，以便利用智能基础架构和应用程序自动管理大量数据，从而减少故障和停工时间。本研究证明该方法可以减少人力资源培训并提高生产效率。

2. 背景介绍

制造业中应用的信息和通信技术使得生产系统具有高度自动化、高效、灵活和智能的特点[20]。这些生产系统需要有效的维修组织，而这些组织可以通过工程学方法实现[21]，即利用工程工具和方法设计控制论系统，如用于数字化、网络化和人工智能的工具与方法。越来越多的公司采用先进的生产系统，利用计算机集成制造来保持自己的竞争优势[22]。这种先进的方法在高质量标准、低成本的自动化生产中拥有出色的表现，可以为智能企业设计一种经验检验方法。

在这种情况下，我们可以执行一套完整的流程，该流程根据人力资源经验和统计数据定义过程参数，其中经验案例让我们可以在应用的人工神经网络(与不同流程相关的共有变量)中识别节点，使得网络空间中的感兴趣区域(ROI)成为扩展至工业4.0的有效选择[14]。在一般的过程中，为了让人力资源能够应对异常的操作条件(如机器在制造过程中出现故障)，相应的新的培训课程数据需要用与恢复干预相关的数据进行更新，并

由人工智能算法加以分析与精确，以确保系统得以持续改进。

本文提出的方法基于以下5种假设：

(1) 智慧社会通过人工智能评估人类的需求，以实施最佳的自动化操作流程，以人道的方式考虑问题和刺激因素，其结构可以在现代数字环境中收集并学习人类的习惯。

(2) 在特定制造过程中应用的自动化程序必须通过获取(来自实际案例的)经验信息来改善程序本身，以防止人机交互引起的任何错误，确保所提供设施的安全性，并根据全球需求利用智能工厂合并操作流程。

(3) 大数据链的分析可以以一种可扩展的方式进行，从而利用高级诊断技术使其适应不同的企业流程。

(4) 得益于人工智能的进步，智能基础架构和应用程序可以被用于直至决策和协作机器人设计的所有管理流程的自动化。

(5) 各流程可自动由智能自主学习系统管理，并通过数字应用程序(配备用户界面的软件)进行人与网络空间的连接。

表1总结了各种社会范式中的常用术语。在不同的范式下，一个名词对应不同的实体。以下3小节将对有关不同社会的假设进行解释。

2.1. 社会 4.0

在社会4.0中，知识和信息的跨部门共享是有难度的，人们通过互联网访问网络空间中的云服务(数据库)来检索和分析数据。工业4.0基于信息物理系统(CPS)、物联网(IoT)和服务互联网的概念和技术[23]，其目标是拉近人与机器之间的距离，从而轻松构建组件均一分布的、满足人类需求的数字框架(如网络化的卫生系统)[24]。在目前的情况下，人机合作反映了各种各样的变化，这对通信、协调和协作产生了广泛的影响[25]，尤其对协作机器人的使用产生了影响。这些机器人需要拥有灵活的配置，可以适应任何操作流程，而且必须在很短的时间内做出响应。

2.2. 社会 5.0

在社会5.0中，人工智能将从物理空间中获取的信息累积在网络空间中，而人-信息-物理系统的使用让我们可以对流程数据进行未来分析[20]。人-信息-物理系统是新一代的人工智能，它以本体论为基础[1]，而且

表1 各种社会范式下的常用术语及其相关实体

Terms	Entities		
	Society 4.0	Society 5.0	Smart Society
Core	Process	AI	Human
Scheduled output	Process parameters	Planned processes	Socially characterized AI
Standardization	Cyberspace	Physical space	Global systems
Manufacturing	Industry 4.0	Industry 5.0	Smart factories
Analysis	Big data and CPS	Process data and HCPS	Predictive and adaptive data
Machine education	Advanced diagnostics	Environment and biology	Smart infrastructure and applications
Human assistance	Co-working and zero failure	Smart systems and network	Smart cities

CPS: cyber-physical system.

考虑了每一种人机交互的情况。此外，这一过程还考虑了环境和人类生物学方面的问题，为工业和社会提供了新的数据，而这在以前是不可能的。社会5.0的目标是在经济发展与解决社会问题之间实现平衡[26]，这需要科学家仿照生物进化过程中能够确定的结构和过程。工业4.0侧重于采取不同的数字或网络技术来获取并监控数据，而工业5.0侧重于由合成生物学产生的地缘战略转变[27]。工业5.0设想的动态城市需要根据环境条件进行设计，使用生物基产品、能源和服务，以在智能城市中实现结合人工智能的零故障流程。其目的是将制造流程与环境 and 人类需求完美匹配，并不断升级流程数据、服务和产品，以及智能系统和相关基础架构[28]。此外，基于社会4.0的经验和相关物理空间中经过验证的参数，本文介绍的数据调度功能可以使我们建立用于决策的人工神经网络。

2.3. 智慧社会

智慧城市代表的是一种城市发展的概念模型，其基础是人力、集体和技术资本的开发[29]。智慧城市的概念[30]可以扩展到智慧社会。实际上，社会5.0和人工智能可以通过标准化流程来评估人类的需求。因此，这种由数字驱动且以知识为基础的社会必须朝着社会、环境和经济可持续发展的方向发展[14]。人力资本和社会资本是智慧城市和智慧社会发展的核心，且需要为预测性和适应性流程提供创新的方法。这一目的是设计一种以知识为基础的经济体，该经济体具有可以协同工作的数字基础架构，而且可以在各个智慧城市子系统之间实现动态实时交互[31]。目前，尽管研究者对智慧城市的定义未达成共识，但是文献中包含了数十种关于智慧城市或智能城市的描述[32–35]。无论如何，可以说智慧城市是以人为本的社会，其中人工智能选择流程的目的在于利

用智能工厂获取最佳的生活条件。这些智能工厂配备了智能设备（传感器/执行器）、可编程逻辑控制器（PLC）、流程管理和制造执行系统、企业资源计划软件以及人-信息-物理系统。也就是说，人们可以在网络中的任何地方下订单，然后基于智能基础架构和本体，制造流程可由即插即用技术实现远程控制[36]和重组。由此，生产设备的一体化、更换或替换将无需人力资源对系统重新配置的特殊支持。实际上，即插即用技术能够让智能设备的智能重新配置和交互与可编程逻辑控制器相连，从而实现与其他设备的智能协作[37]。

3. 理论与方法

3.1. 智能维护

常见的维护方法包括修正法、预防法、预测法和主动法[38]。修正法是未经计划的和在发生随机故障时进行维修的方法。其他3种方法均为有计划的方法，并且会评估预防性和（或）预测性分析中的数据。预防性维护加大了对组件的利用程度，评估了统计学研究和设备手册，从而在出现故障之前为换件程序提供支持。预测性维护使用传感器进行组件分析、数据收集和制造流程分析，并根据历史趋势逐步减少问题，从而提高生产效率。主动维护的基础在于对问题及其原因的了解，可以评估组件与流体或润滑剂之间的所有关系，列出每个潜在的问题并不断改进。

本文提出的智能维护是一种以人为本的方法，它将人类习惯和相关知识水平纳入考量，对新机器/组件与人力资源之间的关系进行评估，旨在通过采用一种新型的人机培训方法来改进主动维护。该人机培训法具有针对高级诊断的自主系统（参见人-信息-物理系统），还可以通过零故障分析逐步升级为设施管理提供支

持的网络空间。

3.2. 全球标准方法的提议

每个制造系统中的人类习惯和操作可能会有所不同，这取决于环境条件、现有资源、网络、基础设施、设备等。所以，我们必须对每种人机交互中的感兴趣区域，以及在质量、可持续性和效率方面具有较高的成功潜力的操作提议进行定义。

本文提出的社会5.0全球标准方法（GSM5）（图1）能够不断完善自身，并且可以利用预测分析来优化运行与维护（O&M）流程。

社会5.0全球标准方法的目的是开发生产流程和支持流程[39]，以实现一种能够在所有运营管理级别上提供正确信息的多核循环系统[40]，从而确保人工智能的完整调度[16,41]。专用的智能系统、网络[42]和应用[43]为创新教育提供了基础。为实现情境化的大规模定制[13]，我们必须对社会5.0中典型智能工厂的环境进行分析[44,45]。

培训和调度系统（即智能维护）通过大数据链得以构建，而流程设计可使社会5.0中典型的智慧城市不断加以完善，也可改进跨企业活动以实现自适应。从已安装的机器（即与人类协作的机器）中获得的数据可被用于人类进行创新教育，从而预测和计划未来的维护工作。如今，环境问题和人类需求要求我们创造更多的可持续流程，这界定了现有资源和生产限制（即由人类训练的机器）。这样做的目的是确保全球化的扩展（即由机器训练的机器），并且缩短所投入和浪费的时间。

具有智能应用的数据调度[46]从执行新的操作流程开始，评估了以下相关宏观领域中的人机交互：零故障、大数据链、高级诊断，以及新一代智能制造（NGIM）。结构化的网络空间通过新一代智能制造为大规模定制流程及其在具有现有生物资源的特定环境中的零故障整合

提供支持。信息与智能系统和网络的实时共享，可实现创新教育、相关数据分析和高级诊断。

因此，基于特定环境下得出的未来结果，为了获得从网络空间到物理空间的简单的、经过验证的、可扩展的演示程序，所有操作流程都需要完整的大数据分析来建立和开发程序，以减少故障和浪费。

空间是无限的三维范围，其中物体和事件具有相对的位置和方向。人-信息-物理空间分析人-信息-物理系统（物体和事件）和操作流程（位置和方向）。

网络空间和物理空间之间的连接需要硬件（HW）和软件，它们可以在人-信息-物理系统中通过本体将人机交互数字化并进行完善。具有相关数据调度管理流程的自主网络空间的创建，使我们可以根据社会5.0的参数模拟新一代智能制造的操作过程。

自动化的预测性创新基于图2所示的原理，图中展示了该目标的实现途径。支持设施管理的操作流程定义了目标、资源、规则和利用现有硬件（感兴趣区域）的时间安排。

为了指出效率低下的情况或应该在人机交互中做出的改变，操作流程需要采用经验演示案例进行人为定制。操作流程的评估可以减少问题数量并确保效率、高质量和可持续性，而整个大数据链必须从操作流程的评估开始，被用于研究任何特定的环境和相关资源（例如，电子商务具有可持续性并且可以减少浪费，但前提是必须接入互联网）。因此，我们需要定制用于提供可行性和零故障反馈的功能性高级诊断和智能应用程序，将人类习惯与生产绩效数据合并在一起，并根据任务成功的可能性整合现有的选择（如减少浪费、增加产量）。此外，循环系统必须能够识别为了实现预测性创新而必须考虑的行动，从而自主地改进。这需要通过使用网络空间的数字结构完成，其中大数据输出有助于实现高级诊断，而零故障追踪有助于实现可行性分析。公司治理生成的

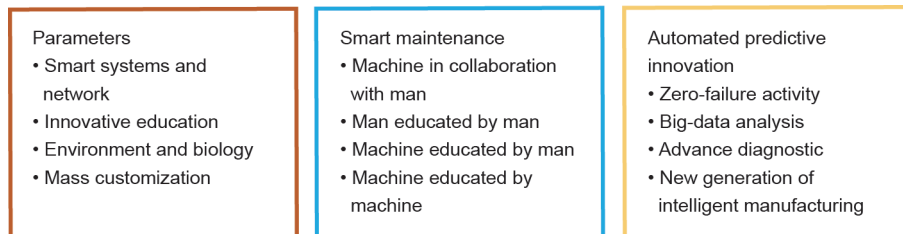


图1. 用于人-信息-物理空间的社会5.0全球标准方法和运营管理方法。社会5.0的物理空间：环境资源、用于统一时间定义的智能系统和网络、提高运营效率的创新教育，以及大规模定制目标（棕色方框）。智能维护调度和人-信息-物理系统信息数据流（蓝色方框）。网络空间运营管理调度的宏观领域（黄色方框）。

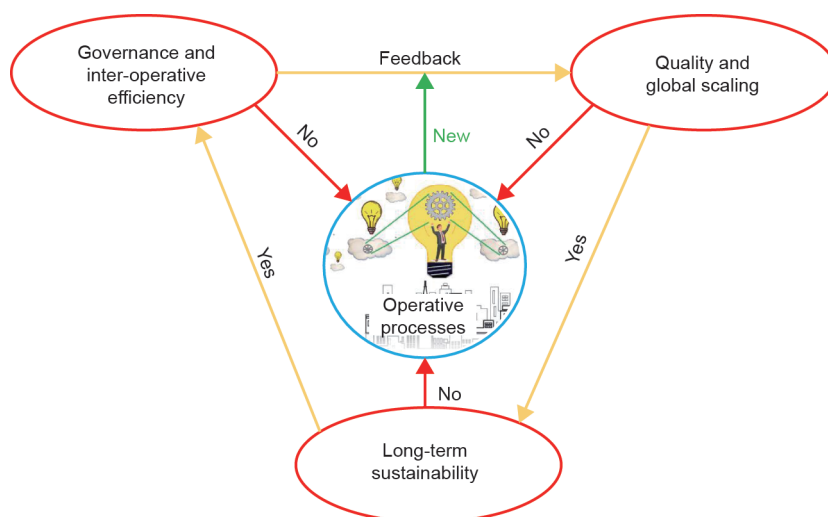


图2. 操作流程的预测性创新示意图。操作流程：深度学习和想法。质量和全球扩展：适用性和地理定位。长期可持续性：附加值以及收益与成本之间的关系。治理和互操作效率：真正的适用性和管理指令。新增：存在问题和必须被测试的可能的解决方案(技术、调度阶段和网络空间调度)。不断改进的数据流（黄色和红色箭头）：Yes表示新过程改进了现有技术；Feedback表示网络空间调度；No表示提议的解决方案不符合指导原则。

反馈对于提高流程质量有所帮助，同时全球扩展的潜力和可持续性从经济、环境和社会的角度得到了评估。在每一步中，我们都可能会错过目标，因此需要对操作流程进行修订以改善系统并重塑理想的循环。不断推出改进措施的各管理层（战略、战术和运营管理）将分析并储存经验结果，从而推出操作教程以修复机器故障。此外，我们需要利用机器历史记录让人工神经网络（节点）能更加准确地预测故障并安排维护工作，以便在年度维护计划之外尽可能地减少干预和意外或多余的停工（即在理想情况下，将干预行为减少到接近零）。因此，智能维护系统会提供适当的服务，并且产品管理的反馈会生成一个定制的高级诊断算法。该方法的效率通过接近零故障的高级诊断（nZ-FAD）流程不断得到更新，该流程将确保方法的不断改进和完善。

我们的目标是达成一项自动的自我修复流程。因此，我们以建筑信息模型（BIM）流程为例，以便为智能工厂、社会5.0、工业5.0和智慧城市设计一份智能协议。这使我们能够研究一些经验案例，从而获得对人工智能原始数据和调度设计的效率反馈。

4. 信息数据流——管理和操作流程

在这项研究中，为了以一种智能的方式收集数据，我们决定参考一个通常被用于大数据处理和管理的逻辑模型[47]，该模型集成了上述所有技术。数据分析强调了以往经验与模拟方法[48]相结合的结果。该结构旨在关联长期算法，识别促成因素并评估其对成本、风险和

操作流程的影响(图3)。网络物理空间和相关调度(图4)必须通过用户友好系统[49]进行更新，以确保效率、质量和可持续性；信息和通知必须持续可用、保密和完整。

目标是实现操作过程的持续自动化创新，这将为适当的供应链管理[50]（采用预测算法[51]）奠定基础。本案例研究将有助于探索建筑信息模型的概念，其中包括对结构的物理和功能特征进行数字表示。建筑信息模型涉及多个维度上区域的物理和功能特性的数字表示的生成和管理[52]。在这种情况下，工业4.0提供了支持人机交互的所有必需的技术，其功能目标是降低成本并增强对自动化过程的控制。在这一点上，明确用于调度和相关阶段的操作宏区域是至关重要的。

功能区域的运营商和代理商定制高级诊断，以获得足够的数量和质量来确保零故障和零浪费。人工智能系统中处理信息学的部分必须通过提供用于预测和模拟操作过程的所有必要数据来确保可行性。专家从操作过程开始，通过描述质量、可持续性和可行性，定义了全局区域指令，这些指令在任何全局范围内是可扩展的，可用于未来人工智能培训和数据调度。之后，可以将物理空间与网络空间连接起来以实现数据处理。

4.1. 数据集和警报消息

优化维护对于提高性能至关重要[53–56]。在制造系统中，警报消息用于连接网络空间和物理空间，并显示改进高级诊断所需的内容（图5）。

在模拟了大量的真实环境（ACT）后，高级诊断系统会记录协议编号、故障类型和持续时间（PLAN），同

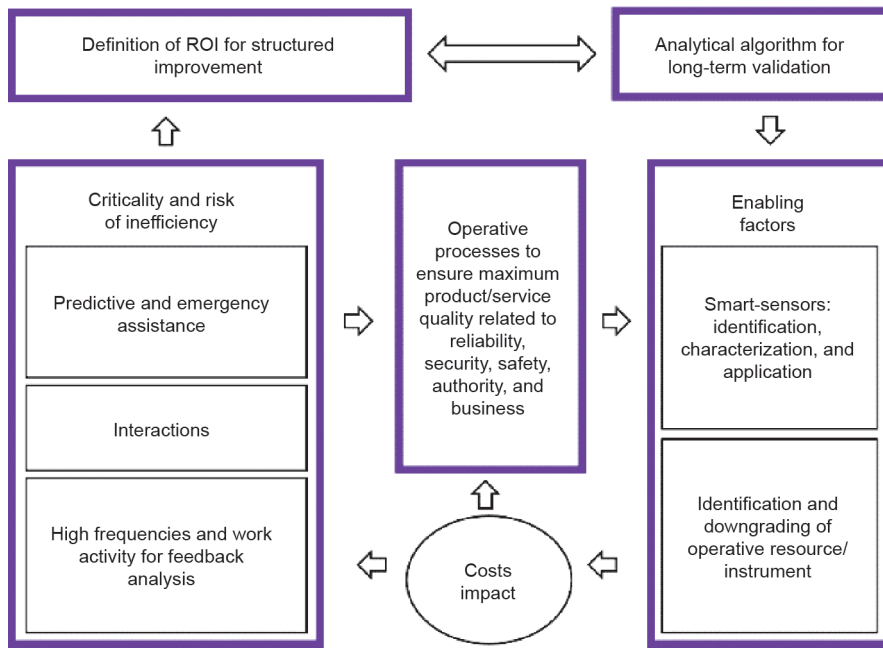


图3. 功能过程管理及其操作流程。

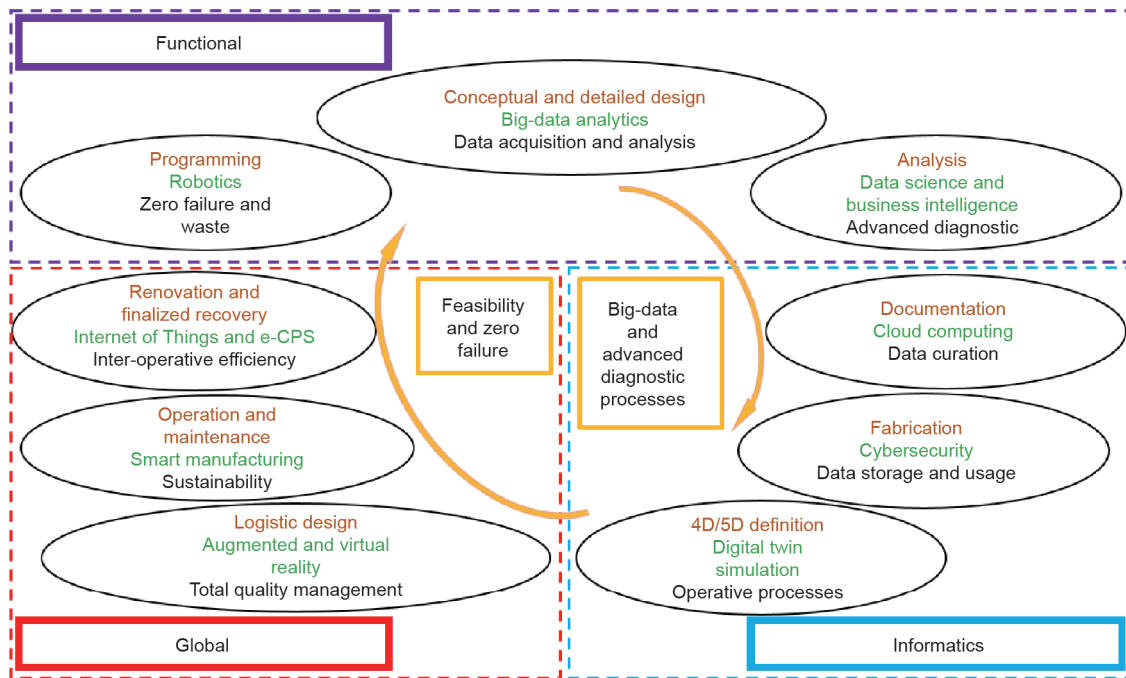


图4. 网络物理空间中（功能、信息学和全局）的操作宏区域和用于自动预测创新的系统信息调度。橙色：建筑信息模型；绿色：工业4.0技术；黑色：调度阶段；黄色：网络空间调度。

时提醒系统进行物资回收和操作管理。这些智能系统在测试不同类型的智能应用程序（DO）时非常有用，而且主管可以实时控制和评估人力资源，以实现持续改进和零故障程序。因此，我们将从“失败和修复”（fail-and-fix）实践转变为“预测和预防”（predict-and-prevent）方法的系统称为接近零故障的高级诊断系统。

主动维护方法可以在故障发生之前直接或间接地检测（即预测）到这些故障。当识别出故障趋势时，应根据人力资源的习惯进行分析，并着眼于人机交互以提高安全性和舒适性（即人机工程学），从而提出专门用于快速恢复自动化制造系统正常活动的文档和设备的建议，以减少或避免（即预防）强迫停机。

在这种情况下，为进行关键性控制分析（CCA），对以下4种类型的机器警报进行分类，即警告、检查员、操作员和主管警报。对于零故障过程，系统根据关键问题识别警报，并发送通知或图片（被留下的或被找到的部件）通报人力资源有关机器的状况。一旦确定了与故障有关的部件，执行器就可以降级到正常水平，而且发出故障警报的传感器也可以降级到正常水平。

4.2. 流程数据流——功能化和定制

图6显示了应用于本文所述方法的信息技术系统的架构。信息系统基于Windows应用程序来存储和处理来自生产线的数据，由通过与可编程逻辑控制器连接的传感器进行监控。

当警报发生时，应用程序通过人机界面（HMI）加密通知（.txt格式）从计算机的可编程逻辑控制器收集信息，并提供给用户。通过一个名为硬件组件识别协议（H-CIP）的功能协议，警报消息总结了通过通知传输的信息，该协议报告了人机交互[57]、故障和干预之间的时间以及可能的风险识别。人机界面上可用的数据存储

于专用云[58]，该云与信息技术系统（如用于维护的移动应用程序、管理软件等）共享信息（如硬件节点配置、节点或组件、模块）。

运营中心确定目标和资源，目的是基于长期数据分析开发接近零故障的高级诊断，以实现高级产品/服务控制。所选参数将根据任务和非定域自动化机器的典型使用情况来确定新一代智能制造的性能以及相关的角色和时机。为了满足运营与维护优化的需求，使用MIT App Inventor 2软件开发了两个特殊的Android应用程序[supervisor应用程序（SVA）和maintainer应用程序（MNA）]。这无需支付硬件（如智能手机和平板电脑）的安装或分发服务费用，就可快速可靠地开发人机界面应用程序。数据库从非定域机器和管理层收集所有组件和相关的關鍵性分析数据，并与支持系统进行双边合作，以定义可用于软件设计的操作程序。因此，对所有类型的问题和程序进行分析，目的是执行人力资源的功能指令。

工业5.0环境允许更容易、更有效地定制用于数据收集、管理和辅助决策工具的数字系统。当名为SVA的

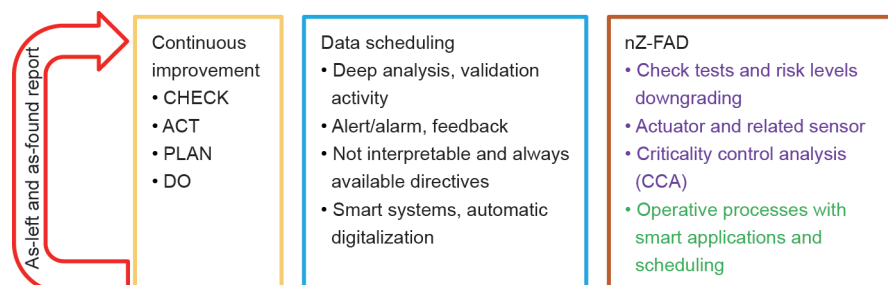


图5. 零故障操作过程的持续改进（黄色方框和红色箭头）数据调度设计（蓝色方框）和横截面分析（棕色方框）。CHECK：用于零故障数据管理的移动应用程序。ACT：数字图书馆和设备故障以及停机事件的显示和分析。PLAN：基于云的产品/服务长期管理和实时数字协助架构。DO：具有数字辅助和操作过程验证的自动化生产线。紫色字符：微功能区。绿色字符：智能维护操作流程。

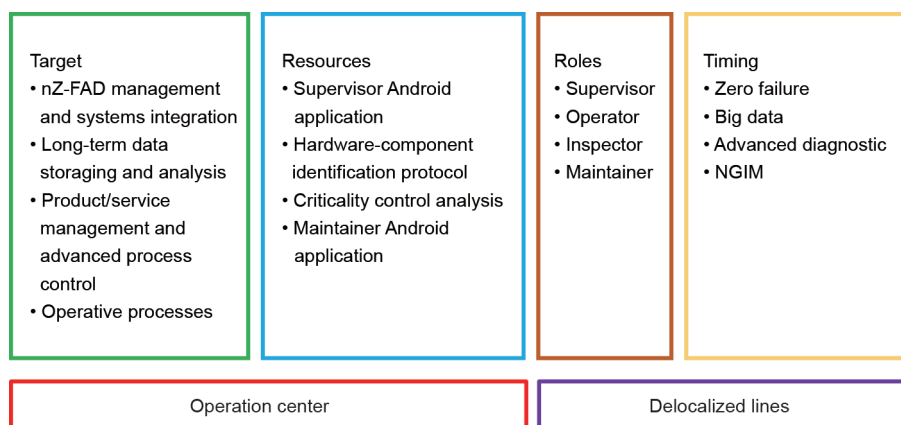


图6. 使用人-信息-物理系统优化生产的运行与维护的系统架构。绿色框：全球目标识别；蓝色框：信息学改进活动的可用资源；棕色框：角色；黄色框：用于计时和网络空间调度的改进阶段。

Android主管应用程序收到警报后，它会要求对出现故障的机器或部件拍照，并记录机器的状态和环境（如工作场所安全隐患），同时根据预览体验提供观点。主管在这一阶段获得的信息由应用程序进行处理，并按照被称为单点课程（OPL）的说明来评估如何修复机器。单点课程通过相关的识别协议将操作员所阐述的部件信息与检查员警报执行的分析相结合，以尽量减少在传感器和执行器之间实施持续改进所涉及的故障风险。当发生故障时，高级诊断算法会在MNA应用程序上显示警报，并与单点课程一起逐步支持维护活动，以减少外包支持。此外，高级诊断考虑了组织合作者的必要技能（如机械、电气、电子、软件等），并根据可用性和一些重要参数（如维修时间和保证质量）分配等级。高级诊断还考虑了人类经验，通过运行人工神经网络（根据实际案例的历史数据进行趋势分析，从而获得任务成功的可能性），并选择维护人员（即从公司现有人员名单中选出最适合的专业技术人员）进行维修。主管管理恢复活动，在这些阶段中，系统支持将为他提供帮助。

当主管结束此描述和选择步骤时，将向选定的维护人员发送一个带有照片和注释的请求，该维护人员在执行维护的同时可以使用MNA Android应用程序访问云中存储的警报。一旦获得正确数量的已验证的操作过程，协作机器人就可以被逐步改进以进行自动化维护活动。

5. 数据评估方法（大数据价值链）

为了实现接近零故障的高级诊断的自动运行与维护，在众所周知的大数据价值链分析之后进行了初步分析[59]。

5.1. 数据采集

灵活且模块化的系统的实施需要数据调度标准化。我们的目标是提供一个与重要机器消息相关的数据结构（库），然后对其进行定义，以便更好地解释数据收集以供下次使用。针对硬件组件识别协议和关键性控制分析两个宏观领域，开发与生产线组件相关的人机界面记录和显示。

该数据库是通过分析每一个硬件和软件设备开发的，根据维护过程中遇到的典型问题，对相关的功能代码（参见硬件组件识别协议）进行数字化：“发生了什么事？”和“怎么办？”。对于快速的地理定位，硬件

组件识别协议可以在生产线上显示“发生了什么事？”，同时回答：“哪里出了问题？”。“为什么会这样？”考虑了与硬件及其相关风险相关的因素，而“谁可以恢复它？”则包括有关设备功能使用和更换的所有附加信息。为了提供必要的数字支持，根据以往的经验 and 关键性控制分析，熟练的人力资源会对快速更换部件进行指导。关键性控制分析通过提供关于“要做什么？”的必要信息，并通过确定3个子记录来实现快速的问题评估，即“要使用哪些设备和工具？”的手段描述、“什么时候做？”的优先级，以及“如何做好它？”的为了更好地修复、改进并最终回收组件所必需的操作活动。在这种情况下，分析侧重于人工神经网络的适当布局记录，从而形成一个数据分析模型，其中唯一的身份证明文件（ID）与链接到相关操作过程的每个微功能区域有关（表2）。

因此，我们实现了一个基于一些基本和间接的人类问题的调度。自古以来，这些问题对于任何类型的假设和论证的发展都非常重要，因此对于问题解决阶段（发现、形成和解决）也非常重要。

事实上，人脑可以被视为一个处理器，一旦收到刺激（警报），就会明白“发生了什么事？”“为什么会发生？”以及“哪里发生了问题？”，最后给出解决方案。同样的方法（确定问题、原因和位置，以及可以实施解决方案的人员）也可被用于智能维护操作过程，以提供基本的操作说明，即“怎么办？”和“如何做好？”来恢复正常活动，并考虑主题类型及其“使用哪些设备和工具？”的功能以及问题的重要性，即“什么时候做？”。

5.2. 数据分析

数据分析的目的是使获得的原始数据适用于决策或其他特定用途（如文献参考、定性影响、症状的现象学分析、风险预防、建议的改造活动、操作影响和优先处置过程）。每个错误字符串都与唯一的ID匹配，并创建一个专用文件，其中包含解决引起警报的故障所需的指令。数据分析的主要目标是在操作员层面提供一种方法，在无需专门人力资源的特殊干预的情况下，重启每台存在故障的非活动的机器。这将减少工厂停工时间、未售出产品的费用以及人为活动的费用（这些活动的持续时间难以确定）。基于这些原因，针对每个问题创建一个指南。换言之，数据分析会导致为每种故障编写单点课程，这样在机器上工作的操作员可以在故障发生时有效地使用单点课程。

为了在特定的环境中实现该方法的功能，同时考虑人们有不同类型的习惯[60]，高效的互操作调度是必须的。数据分析实现的示例如表3所示。

该过程由一个专用的宏逐步构建，从目标的定义和对可用资源的评估开始，直到确定关键角色和正确的时机。这样，就可以开始模拟和测试阶段（分别为阶段1和阶段2），以便计划操作过程的自动化（阶段3）。

5.3. 数据管理、存储和使用

除了选择、分类和验证等操作外，主要还需要对数据进行处理以避免重复[61]。所有这些操作都要确保数据是可信的、可发现的、可访问的、可重复使用的，并且适合于此目的。然而，在不同的工业水平上获取所有数据通常仍然依赖于环境[62]。

本文采用的解决方案可以立即使用，并且涉及一个公共云计算平台，该平台确保了互操作性、可伸缩性和灵活性[63]。之所以做出这样的选择，是因为即使需要

昂贵的冗余存储系统来确保为灾难恢复而设计的可靠服务（即能够避免人为的和自然的灾难性故障导致代价昂贵的系统中断服务），共享的公共云也可以降低其成本。本研究旨在为未来的计划实施奠定基础，并且无需外部人力资源干预就可管理所有类型的警报[64]，从而减少停机时间。

近年来，云计算和存储技术不断发展[10]。根据美国国家标准技术研究所的定义，云计算系统包含5个基本特征：按需自助服务、广泛的网络接入、资源的集中、快速的弹性和可衡量的服务。该网络的服务提供商能够存储大量数据，并且能够使用数据高效地执行计算[65]。当一个独立系统与云技术相结合时，即使计算资源有限且存储容量较小，性能和功能也会显著扩展，从而形成一个为多个用户提供共享服务的网络。通过云容量、物联网、中间件和大数据的结合来控制产品质量和设备的第一步[66]是定义连接到网络的机器的数据存储技术。在这项工作中，我们利用了外部云存储，外部云存储可

表2 “8W”（或“7W 1H”）用于接近零故障进程的过程区域分区，即发生了什么？哪里发生了问题？为什么会发生？谁能修复？怎么办？使用哪些设备和工具？什么时候做？如何做好？

Name and operations	Question	Micro-functional area	Operative process
H-CIP and MESSAGES (What has happened?)	Where is the problem?	Area of interest	Activity and processes
	Why has it happened?	Risks	Materials
	Who can restore it?	Production data	Technical schema and storage area identification
CCA and MAINTENANCE (What to do?)	Which devices and tools to use?	ID component; sources component; impact typology	H-CIP; functional description; from 1 to 10
	When to do it?	Criticality level; impact area; diseases validation activity	High, medium, or low; quality, safety, and business; system phenomena; risks and alarms OPL
	How to do it Well?	Operative procedures; zero-failure activities; disposal process	Maintenance; analysis and algorithms; finalized recovery

表3 高互操作效率和相关阶段的数据分析示例

Process	Macro	Operative process	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Target	Functional segmentation	Total quality segmentation and structured personalization	Preventive	Consumptive	Automatic report
Resources	Operative costs and statistics	Operative supply system and finalization	Statistical incidence	Criticality quantification	Adaptation to the real case
Roles	Customization and dimension	Best time allocation and its validation	Customized rotation	Scheduling	Sustainability validation
Timing	Feasibility study	Real case and structural validation of the system	Real available resources	Requirements satisfaction	Inter-operative efficiency

以与工业测试案例中的机器或不同的信息技术组件（即人机界面、个人计算机、平板电脑、本地硬盘等）进行通信。每当发生故障时，可编程逻辑控制器都会向人机界面发送警报信息，而人机界面会向专用云发送文本文件，以丰富历史数据库。高级诊断功能将记录传感器记录的所有数据，或通过一个名为“警报历史管理”(Alarms Historical Management)的专用功能在本地硬盘上计算所有数据，并将警报存在云端，以确保数据保护。通过电子邮件可以将警报发送给所有参与维护活动的操作员。

最终数据库被工业机器用于优化管理。收集到的数据也可以被组织用于商业活动或通过通常由数据分析开发的测量模型来提高其行动的有效性[11,67]。借助智能的自动化决策流程，可以通过降低成本、增加价值或任何其他可衡量的参数来增强公司的竞争力[68]。高级诊断的实施将操作员警报与采用单点课程格式和接近零故障模型的故障排除相结合。它针对工业环境进行了功能化，恢复了监督程序，并改进了发送给相关人力资源的图像和文本。

我们为Android设备开发了维护跟踪和监控移动应用程序(MAM-TAM)，该应用程序通过验证和显示链接到警报代码的单点课程的文本文件、图像和pdf文档直接访问云，并可用于从外部和本地内存检索数据。针对Windows加固平板电脑的类似应用程序已经在工业应用中实现。通过MAM-TAM可以对系统进行实时监控，这样每个专门的人力资源可以执行监督，并可以提醒其他操作员所存在的不同风险状况。在不改变自动化生产过程的管理机制的情况下，收集所有级别的实时信息的能力可以使安全级别保持不变[10]，同时不需要使用HMI存储器。

6. 结果

在过去4年中，本文提出的方法已被应用于12家公司。对已经取得的进步进行评估，重点关注了停机时间、培训活动、故障和外包支持的减少以及产量的增加。如前所述，我们选择了12家饮料公司的生产线，因为瓶字型的变化不需要棘手的软件定制。因此，这一选择减少了变异性，使我们能够专注于人类活动分析。此外，这些公司也代表了世界各地不同的地点，他们的营业额也不同（其中有3家位于世界10大食品和饮料公司之列）。考虑人类和机器的不正确操作，我们在所有的企业中都应用了专门的单点课程来提供智能帮助。表4显示了在

采用接近零故障的高级诊断期间（12~38个月）获得的结果。

与应用该实现方法前相同数量的月数相比，包含编写良好的单点课程的智能助手减少了 $(23 \pm 6)\%$ 的停机时间，测量结果没有时间相关性($R^2 = 0.163$)，且显示减少了 $(9 \pm 3)\%$ 的故障。

我们还注意到，与机器购买前后的相同时间间隔相比，内部人员的培训费用减少了 $(36 \pm 16)\%$ 。故障和培训成本的降低与协议应用的时间没有相关性($R^2 = 0.552$ 和 $R^2 = 0.071$)。为了确定数字辅助系统是否正常工作，我们还评估了外包服务请求是否减少。事实上，尽管测量值减少了 $(35 \pm 13)\%$ ，其与接近零故障的高级诊断的应用时间之间也是无关的($R^2 = 0.400$)。这一发现表明，故障和停机时间的减少与人力资源培训无关。尽管没有历史相关性($R^2 = 0.144$)，但产量增加了 $(19 \pm 3)\%$ ，而停机事件数量减少了 (3504 ± 1250) 次，且与接近零故障的高级诊断的应用时间呈线性相关($R^2 = 0.927$)。仔细的规划通常会导致月份与干预次数之间的正线性关系，又或者干预的数量通常会随着机器年龄的增长而增加。持续改进系统必须与所有严重程度维护的逐步减少相互作用。在12~38个月的时间内，停机事件的次数与接近零故障的高级诊断的应用时间之间的关系是一个对数曲线，该曲线倾向于6年后平均每月有100次的潜在干预(图7)。

总之，本文所提供的智能系统能够支持人类活动，减少停机时间、故障和培训成本，并提高生产力。得益于联系网络空间与物理空间、大数据分析和智能应用设计的全球管理方法，智能维护减少了售后协助的数量，并通过数字平台的不断改进，使外包维护活动趋向零。

7. 讨论

对本文所描述的方法的采用会产生一个自学过程，在这个过程中，不再需要人员培训；相反，该过程足以在需要时遵循单点课程。事实上，实验结果表明，故障、停机事件和相关成本的减少与专门的人力资源培训无关，而是来自调度和机器学习。

这种方法的灵感来自社会5.0的愿景，它将物理空间与网络空间[69]联系起来。在社会5.0中，环境定义了使用智能系统[70]实现最大效率的全球感兴趣区域，并使用创新的方法来管理大规模定制[71]。通过将先进的计算技术应用于广泛的数据收集的统计分析，系统能够

表4 全球12家不同的公司对接近零故障的高级诊断的应用时间和结果，重点关注停机时间、故障、培训成本和外包服务的减少，产量的增加以及实施方法应用后的停机事件数量

Company	Country	nZ-FAD application time (month)	Downtime reduction (%)	Reduction in failures (%)	Reduction in training costs (%)	Reduction in outsource services (%)	Increase in production (%)	Number of downtimes
#1	United States	12	23	13	50	50	18	1770
#2	France	12	32	12	45	50	20	1450
#3	Peru	16	25	10	30	30	15	1900
#4	United States	19	20	10	40	60	15	2900
#5	South Africa	25	21	9	20	20	22	3400
#6	France	26	23	8	15	25	20	3950
#7	Cambodia	28	30	10	30	30	25	3950
#8	Belgium	30	16	5	60	40	20	4300
#9	Belgium	30	13	5	60	40	19	4500
#10	Thailand	31	30	10	40	30	18	4930
#11	Italy	32	17	10	20	28	22	3800
#12	France	38	20	5	18	20	19	5200
Average		25	23	9	36	35	19	3504

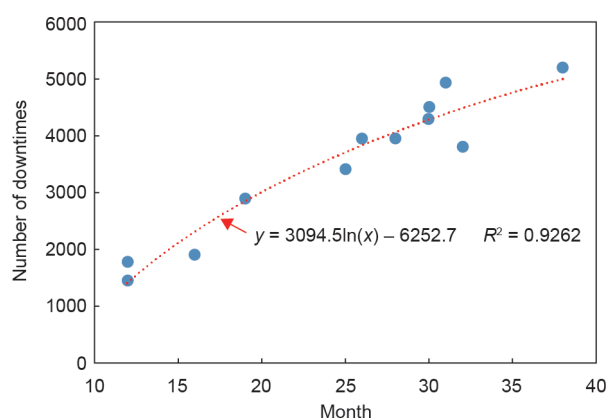


图7. 在12~38个月的时间里停机事件呈现的趋势。

降低定制和恢复活动的标准差。本文提出的方法解决了现代维护系统从“预测和预防”实践到“分析根本原因并保持积极主动”方法的范式转变。

为了在智能社会中发展所提出的持续改进系统，有必要：

- 界定以人为中心的人-信息-物理空间；
- 实施自主学习的跨操作结构；
- 使工业4.0的结构功能化；
- 以不断完善为目的，设计与智能系统一致的网络；
- 设计管理物理空间和网络空间的操作和硬件结构；
- 为流程的定制和AI的未来实现建立功能调度。

在这个框架中，自动数据收集是强制性的，以便使用所有可用的工具定义大数据链，并确定过程中所需的

人力资源。随着时间的推移，高效的个性化设备可以通过接近零故障的高级诊断系统自我改进，这一方法可被视为适用于任何类型的组织的一般管理方法。

GSM5方法使部分决策过程自动化，提高了互操作性效率，同时提供了过程的功能分析，从而促进定制高级诊断的软件工具的开发。这些过程是相互联系的，在保证人类始终处于核心位置的同时，产生一个在各级自动持续改进的循环。因此，即便不是“数字原住民”[18]或信息技术组件专家，操作人员也能够完成他们的活动并履行他们的职能（如使用单点课程）。这样，智能工厂和智能组织的发展就更加可持续。一旦探索了所有工艺（包括生物和绿色部门内的工艺，如与环境影响和毒理学有关的工艺），就有可能将活动转移给人工智能。所有这些被描述的步骤都使工业5.0的实现成为可能。

8. 未来发展方向及局限性

通过实施所提出的方法，可以减少技术升级到工业4.0的培训时间和成本，以提高生产力。为了实现全球缩放标准化下操作过程的持续改进，我们首先从允许软件结构定义和重组的数据收集开始，其次，在降低风险和增加吞吐量的同时，定制操作过程。

通过设计人工智能实现的调度，我们测试了所提出的遏制风险方法，为数字时代的每一次变化确定维护方

法中的适当问题。

由于所有这些原因，我们假设，通过训练神经网络来考虑人类的习惯（性格），可以最大限度地提高智能系统的性能，并保持高标准的质量、可持续性和互操作性。一旦从实际案例中获得了令人满意的数据，就有可能实现具有“特征人工智能”（characterized AI）的自动决策，就像一个成长中的孩子，即使在行动能力不足的情况下，仍能利用其感官实现与系统的交互。根据传感器的不同，“特征人工智能”神经网络可能会生成与不同问题相关的消息，这与所研究的人类非常相似，尽管受到与信息物理系统连接的自动化的限制，其仍能帮助人力资源用自动操作恢复原始条件。

许多硬件植入物被用于确认结果的趋势（至少需要70个月，见图7），从而确定维修活动的实际数量及其与实现的预测分析的接近性。

9. 结论

本研究对于更新诊断系统非常重要，通过研究和调度人与技术之间的相互作用，使公司与工业5.0保持一致。在这个框架内，建立生产者和机器程序员之间的直接关系是非常有意义的，这种关系具有一个灵活的、可定制的并且易于扩展的管理系统。

GSM5可以被认为是一种智能维护活动和智能应用设计的自动化管理的通用方法。专用的软件结构将故障减少到接近零；与维护和管理团队进行交互，以持续改进质量；管理自动线路的警报，且无需对人力资源进行具体培训。业务活动可通过友好的用户界面持续访问，并且监测活动反馈的数字数据收集可被定制。

结果被用作综合维护计划管理的输入，以便在智能工厂的所有情况下减少备件、存储成本和停机时间，以及保持产品的高质量。

该系统包括实时评估和调节，允许人工逻辑网络的优化和组织流程的交互更新。

作为网络空间和物理空间之间的连接点，警报的调度和功能化使用已经证明了它们减少延迟时间和降低成本的潜力。这些过程使这项技术十分切合持续改进与多部门集成概念一致的情况，而工业4.0正是以此为基础。

人机交互活动是专门针对所分析的背景进行开发和定制的，同时通过有效的调度来改进，从而确保减少偏差，使其不再符合全球化和浪费消除的思想。

为了减少失败的风险，必须应用一种能够在最短的时间内确保人力资源教学活动的方法，因为最重要的问题不在于变化本身，而在于可持续性和健康目标的快速实现。

作为一种初步评估，本文可能有助于建立一个零故障及零浪费的全球标准方法和持续改进的操作过程。本文的实证结果与基于工业4.0技术的环境功能化有关，由于引入了新的工艺，这一结果还可以被当作未来影响的一个例证。高水平数字培训的工业4.0的技术升级，使得通过减少培训时间和降低培训成本来提高生产力成为可能，进而朝着未来工厂（即智能工厂）迈出了重要的一步。

本文可以为管理者和决策者选择最优的操作程序提供指导，用于实现智能系统及维护最佳的人机交互。

Acknowledgements

This study was financially supported by the Grant 2017, Cariparma Foundation, Department of Medicine and Surgery, for the founded project: Center for health workers medical simulation and training (Original title: Centro per la simulazione in medicina e l' addestramento degli operatori sanitari) where we started new tests in surgical training context. Center for Studies in European and International Affairs (CSEIA) grant for scientific publication to Ruben Foresti related to the containment risks approaches.

We extend our thanks to: Sidel S.p.a. Parma for the cooperation in the development of the AD system; CSEIA of the University of Parma for the award assigned to nZ-FAD applied to cover the costs of open-access publication; Prof. Antonio Mutti, Department of Medicine and Surgery, for the possibility to start test applying the GSM5 method to the School of Specialization in Medicine and Surgery at the University of Parma.

Author contributions

Ruben Foresti, conceptual design; Ruben Forest and Matteo Magnani, experimental design, technology design, and implementation; Ruben Foresti, Stefano Rossi, and Nivola Delmonte, big data analysis, drafting and revision

of the manuscript. All authors wrote, critically read, and approved the final manuscript.

Compliance with ethics guidelines

Ruben Foresti, Stefano Rossi, Matteo Magnani, Corrado Guarino Lo Bianco, and Nicola Delmonte declare that they have no conflict of interest or financial conflicts to disclose.

References

- [1] Poli R, Healy M, Kameas A. Theory and applications of ontology: computer applications. New York: Springer; 2010.
- [2] Cao G, Duan Y, Cadden T. The link between information processing capability and competitive advantage mediated through decision-making effectiveness. *Int J Inf Manage* 2019;44:121–31.
- [3] Allam Z, Dhunny ZA. On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities* 2019;89:80–91.
- [4] Chen H, Chiang RHL, Storey VC. Business intelligence and analytics: from big data to big impact. *Quarterly* 2018;36(4):1165–88.
- [5] Mehmood R, Meriton R, Graham G, Hennelly P, Kumar M. Exploring the influence of big data on city transport operations: a Markovian approach. *Int J Oper Prod Manage* 2017;37(1):75–104.
- [6] Mehmood R, Graham G. Big data logistics: a health-care transport capacity sharing model. *Procedia Comput Sci* 2015;64:1107–14.
- [7] Shirazi F, Mohammadi M. A big data analytics model for customer churn prediction in the retiree segment. *Int J Inf Manage* 2019;48:238–53.
- [8] Kováčová L, Vacková M. Applying innovative trends in the process of higher education security personnel in order to increase efficiency. *Procedia Soc Behav Sci* 2015;186:120–5.
- [9] Lee J, Kao HA, Yang S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP* 2014;16:3–8.
- [10] Kaw JA, Loan NA, Parah SA, Muhammad K, Sheikh JA, Bhat GM. A reversible and secure patient information hiding system for IoT driven e-health. *Int J Inf Manage* 2018;1.
- [11] Karjaluoto H, Shaikh AA, Saarijärvi H, Saraniemi S. How perceived value drives the use of mobile financial services apps. *Int J Inf Manage* 2019;47:252–61.
- [12] Arai T, Aiyama Y, Maeda Y, Sugi M, Ota J. Agile assembly system by “plug and produce”. *Cirp Ann Manuf Technol* 2000;49(1):1–4.
- [13] Avventuroso G, Foresti R, Silvestri M, Frazzon EM. Production paradigms for additive manufacturing systems: a simulation-based analysis. In: Proceedings of the 2017 International Conference on Engineering, Technology, and Innovation (ICE/ITMIC); 2017 June 27–29; Funchal, Portugal. New York: IEEE; 2017.
- [14] Mehmood R, See S, Katib I, Chlamtac I. Smart infrastructure and applications: foundations for smarter cities and societies. New York: Springer; 2019.
- [15] Ahmad N, Mehmood R. Enterprise systems: are we ready for future sustainable cities. *Supply Chain Manage* 2015;20(3):264–83.
- [16] Amin A, Shah B, Khattak AM, Lopes Moreira FJ, Ali G, Rocha A, et al. Crosscompany customer churn prediction in telecommunication: a comparison of data transformation methods. *Int J Inf Manage* 2019;46:304–19.
- [17] Hussain ZI, Sivarajah U, Hussain N. The role of a digital engineering platform in appropriating the creation of new work-related mind-set and organisational discourse in a large multi-national company. *Int J Inf Manage* 2019;48:218–25.
- [18] Mehmood R, Alam F, Albogami NN, Katib I, Albeshri A, Altowaijri SM. UTILearn: a personalised ubiquitous teaching and learning system for smart societies. *IEEE Access* 2017;5:2615–35.
- [19] Cooke R, Paulsen J. Concepts for measuring maintenance performance and methods for analysing competing failure modes. *Reliab Eng Syst Saf* 1997;55(2):135–41.
- [20] Zhou J, Zhou Y, Wang B, Zang J. Human-cyber-physical systems (HCPSs) in the context of new-generation intelligent. *Manuf Eng* 2019;5(4):624–36.
- [21] Bokrantz J, Skoogh A, Ylipää T. The use of engineering tools and methods in maintenance organisations: mapping the current state in the manufacturing industry. *Procedia CIRP* 2016;57:556–61.
- [22] Hu YM, Du RS, Yang SZ. Intelligent data acquisition technology based on agents. *Int J Adv Manuf Technol* 2003;21(10–11):866–73.
- [23] Roblek V, Meško M, Krapež A. A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open* 2016;6(2):23.
- [24] Muhammed T, Mehmood R, Albeshri A, Katib I. UbeHealth: a personalized ubiquitous cloud and edge-enabled networked healthcare system for smart cities. *IEEE Access* 2018;6:32258–85.
- [25] Spinuzzi C, Bodrožić Z, Scaratti G, Ivaldi S. “Coworking is about community”: but what is “community” in coworking? *J Bus Tech Commun* 2019;33(2):112–40.
- [26] Government of Japan. The 5th science and technology basic plan. Tokyo: Government of Japan; 2016.
- [27] Sachsenmeier P. Industry 5.0—the relevance and implications of bionics and synthetic biology. *Engineering* 2016;2(2):225–9.
- [28] Schlingensiepen J, Nemtanu F, Mehmood R, McCluskey L. Autonomic transport management systems—enabler for smart cities, personalized medicine, participation and industry grid/Industry 4.0. Intelligent transportation systems—problems and perspectives. Cham: Springer; 2016.
- [29] Angelidou M. Smart cities: a conjuncture of four forces. *Cities* 2015;47: 95–106.
- [30] Yigitcanlar T, Kamruzzaman M, Foth M, Sabatini-Marques J, Da Costa E, Ioppolo G. Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. *Sustain Cities Soc* 2019;45:348–65.
- [31] Mehmood R, Bhaduri B, Katib I, Chlamtac I, editors. Smart societies, infrastructure, technologies and applications. New York: Springer; 2018.
- [32] Hollands RG. Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City* 2008;12(3):303–20.
- [33] Kominos N. Intelligent cities: variable geometries of spatial intelligence. *Intell Build Int* 2011;3(3):172–88.
- [34] Nam T, Pardo TA. Petri nets for systems and synthetic biology. *Lect Notes Comput Sci* 2011;5016:215–64.
- [35] Wolfram M. Deconstructing smart cities: an intertextual reading of concepts and practices for integrated urban and ICT development. In: Proceedings of the 2012 International Conference on Urban Planning and Regional Development in the Information Society; 2012 May 14–16. Schwechat: Austria; 2012.
- [36] Zuehlke D. SmartFactory—towards a factory-of-things. *Annu Rev Contr* 2010;34(1):129–38.
- [37] Foresti R. Plug and produce 2013 [Internet]. [cited 2019 Oct 2]. Available from: https://it.wikipedia.org/wiki/Plug_and_Produce.
- [38] De Faria H Jr, Costa JGS, Olivas JLM. A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;46:201–9.
- [39] Ariyaluran Habeeb RA, Nasaruddin F, Gani A, Targio Hashem IA, Ahmed E, Imran M. Real-time big data processing for anomaly detection: a survey. *Int J Inf Manage* 2019;45:289–307.
- [40] Tong X, Lai KH, Zhu Q, Zhao S, Chen J, Cheng TCE. Multinational enterprise buyers’ choices for extending corporate social responsibility practices to suppliers in emerging countries: a multi-method study. *J Oper Manage* 2018;63:25–43.
- [41] Reyshav I, Weisberg J. Going beyond technology: knowledge sharing as a tool for enhancing customer-oriented attitudes. *Int J Inf Manage* 2009;29(5):353–61.
- [42] Lim C, Kim KJ, Maglio PP. Smart cities with big data: reference models, challenges, and considerations. *Cities* 2018;82:86–99.
- [43] Belletti B, Berardengo M, Collini L, Foresti R, Garziera R. Design of an instrumentation for the automated damage detection in ceilings. *NDT Int* 2018;94:31–7.
- [44] Rouvinen P, Ketokivi M, Turkulainen V. Why locate manufacturing in a highcost country? A case study of 35 production location decisions. *J Oper Manage* 2017;49:51:20–30.
- [45] Gellert A, Florea A, Fiore U, Palmieri F, Zanetti P. A study on forecasting electricity production and consumption in smart cities and factories. *Int J Inf Manage* 2019;49:546–56.
- [46] Zhong RY, Xu X, Klotz E, Newman ST. Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: a review. *Engineering* 2017;3(5):616–30.
- [47] Al-Qahtani ND, Alshehri SS, Abdaziz A. The impact of total quality management on organizational performance. *Eur J Bus Manag* 2015;7:119–27.
- [48] Chandrasekaran A, Linderman K, Sting FJ. Avoiding epistemological silos and empirical elephants in OM: how to combine empirical and simulation methods?. *J Oper Manage* 2018;63(1):1–5.
- [49] Jimenez-Marquez JL, Gonzalez-Carrasco I, Lopez-Cuadrado JL, Ruiz-Mezcua B. Towards a big data framework for analyzing social media content. *Int J Inf Manage* 2019;44:1–12.
- [50] Villena VH, Gioia DA. On the riskiness of lower-tier suppliers: managing sustainability in supply networks. *J Oper Manage* 2018;64(1):65–87.
- [51] EL Idrissi T, Idri A, Bakkoury Z. Systematic map and review of predictive techniques in diabetes self-management. *Int J Inf Manage* 2019;46:263–77.
- [52] Eastman C, Teicholz P, Sacks R, Liston K. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2008.
- [53] Dekker R, Wildeman RE, Van der Duyn Schouten FA. A review of multicomponent maintenance models with economic dependence. *Math Methods Oper Res* 1997;45(3):411–35.
- [54] Nicolai RP, Dekker R. Optimal maintenance of multi-component systems: a review. In: Kobbacy KAH, Murthy DNP, editors. Complex system maintenance

- handbook. London: Springer; 2008. p. 263–86.
- [55] Wang S, Xie J. Integrating Building Management System and facilities management on the Internet. *Autom Construct* 2002;11(6):707–15.
- [56] Wang WC. Simulation-facilitated model for assessing cost correlations. *Comput Civ Infrastruct Eng* 2002;17(5):368–80.
- [57] Gupta M, George JF, Xia W. Relationships between IT department culture and agile software development practices: an empirical investigation. *Int J Inf Manage* 2019;44:13–24.
- [58] Karaca Y, Moonis M, Zhang YD, Gezgez C. Mobile cloud computing based stroke healthcare system. *Int J Inf Manage* 2018;45(45):250–61.
- [59] Curry E. The big data value chain: definitions, concepts, and theoretical approaches. In: Cavanillas J, Curry E, Wahlster W, editors. *New horizons a data-driven economy*. Cham: Springer; 2016. p. 29–37.
- [60] Hossain A, Quaresma R, Rahman H. Investigating factors influencing the physicians' adoption of electronic health record (EHR) in healthcare system of Bangladesh: an empirical study. *Int J Inf Manage* 2019;44:76–87.
- [61] Huovila A, Bosch P, Airaksinen M. Comparative analysis of standardized indicators for smart sustainable cities: what indicators and standards to use and when?. *Cities* 2019;89:141–53.
- [62] Chang YC, Ku CH, Chen CH. Social media analytics: extracting and visualizing Hilton hotel ratings and reviews from TripAdvisor. *Int J Inf Manage* 2019:263–79.
- [63] Shao Z. Interaction effect of strategic leadership behaviors and organizational culture on IS-Business strategic alignment and Enterprise Systems assimilation. *Int J Inf Manage* 2019;44:96–108.
- [64] Karambakhsh A, Kamel A, Sheng B, Li P, Yang P, Feng DD. Deep gesture interaction for augmented anatomy learning. *Int J Inf Manage* 2018;45:328–36.
- [65] Chen HM, Chang KC, Lin TH. A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs. *Autom Construct* 2016;71:34–48.
- [66] Li J, Tao F, Cheng Y, Zhao L. Big data in product lifecycle management. *Int J Adv Manuf Technol* 2015;81(1–4):667–84.
- [67] Carvalho JV, Rocha Á, Vasconcelos J, Abreu A. A health data analytics maturity model for hospitals information systems. *Int J Inf Manage* 2019;46:278–85.
- [68] Wang X, Li L, Yuan Y, Ye P, Wang FY. ACP-based social computing and parallel intelligence: Societies 5.0 and beyond. *CAAI Trans Intell Technol* 2016;1(4):377–93.
- [69] Zhou J, Li P, Zhou Y, Wang B, Zang J, Meng L. Toward new-generation intelligent. *Manuf Eng* 2018;4:11–20.
- [70] Kakegawa M. Smart & safe energy society. *Energy Procedia* 2017;143:880–3.
- [71] Savić D, Vamvakieridou-Lyroudia L, Kapelan Z. Smart meters, smart water, smart societies: the iWIDGET project. *Procedia Eng* 2014;89:1105–12.