

数字农业物联网平台研究

曹怡轩¹⁾

¹⁾(华中科技大学 电子信息与通信学院, 武汉市 430070)

摘 要 在数字农业物联网 (Digital Agriculture Internet of Things, DAIoT) 迅猛发展的同时, 其在现代农业中的关键应用不仅为农业生产带来了显著的变革, 也为实现农业可持续性和科学化决策提供了有力支持。通过分析 FarmBeats、SmartHerd 和 Comosum 等系统案例, 我们不仅仅了解了这些技术在无人机传感器使用时长、牲畜健康管理和气象感知等方面的卓越成果, 更进一步揭示了数字农业物联网如何通过建立传感器网络、充分利用云计算等手段, 为农业决策提供更全面、更精准的信息支持。研究结果表明, 数字农业物联网不仅提高了农业生产的效益, 还在推动农业决策的科学化和可持续性发展方面发挥着关键作用。数字农业物联网的引入不仅仅是技术的创新, 更是对农业传统模式的一次颠覆性改变。通过数字农业物联网, 农业从依赖经验和观察的传统模式转变为更加依赖数据、传感器和先进技术的现代模式。然而, 正如许多技术发展一样, 数字农业物联网也面临一系列亟待解决的挑战。通信范围的限制、数据隐私的保护、成本降低以及定位和跟踪技术的精进, 都是当前亟需解决的问题。在技术推动农业进步的同时, 需要共同努力克服这些挑战, 确保数字农业物联网的广泛应用能够更好地服务于农业生产、环境保护和社会可持续发展的目标。

关键词 数字农业 物联网 云计算 数据分析 数据聚合

中图法分类号 ***** DOI 号 *投稿时不提供 DOI 号*

Research on Digital Agricultural Internet of Things Platform

Cao Yixuan¹⁾

¹⁾(Faculty of Electronic Information and Communication, Huazhong University of Science and Technology, 430070)

Abstract While the Digital Agriculture Internet of Things is growing rapidly, its key applications in modern agriculture are not only bringing significant changes to agricultural production, but also providing strong support for achieving agricultural sustainability and scientific decision-making. Through in-depth analysis of system cases such as FarmBeats, SmartHerd and Comosum, we not only peep into the excellent results of these technologies in terms of drone sensor usage, livestock health management and weather sensing, but also further reveal how the digital agricultural IoT can provide more comprehensive and accurate information support for agricultural decision-making by establishing sensor networks and making full use of cloud computing. It further reveals how digital agricultural IoT can provide more comprehensive and accurate information support for agricultural decision-making by establishing sensor networks and fully utilizing cloud computing. The results show that digital agricultural IoT not only improves the efficiency of agricultural production, but also plays a key role in promoting the scientific and sustainable development of agricultural decision-making. The introduction of digital agricultural IoT is not only a technological innovation, but also a disruptive change to the traditional model of agriculture. Through digital agri-IoT, agriculture has shifted from a traditional model that relied on experience and observation to a modern model that is more reliant on data, sensors, and advanced technology. However, as with many technological developments, digital agricultural IoT faces a number of pressing challenges. Limitations in communication range, protection of data privacy, cost reduction, and refinement of

positioning and tracking technologies are all pressing issues that need to be addressed today. While technology is driving progress in agriculture, concerted efforts are needed to overcome these challenges and to ensure that the widespread use of digital agricultural IoT can better serve the goals of agricultural production, environmental protection and sustainable social development.

Key words Digital Agriculture , Internet of Things , Cloud Computing , Data Analytics , Data Aggregation

1 引言

农业一直以来都是人类社会的支柱，提供了粮食、肉类、奶制品等基本食品和原材料。不仅满足人类的生存需求，而且在农村创造就业机会，维持着农村经济的稳定。然而，全球人口的急剧增加对农业提出了空前的需求，而有限的自然资源却成为生产的瓶颈。土地、水源、气候等资源的匮乏，导致传统农业在满足食品需求方面逐渐显得捉襟见肘。气候变化的影响更是让传统农业雪上加霜，不断发生的极端天气事件，如干旱、洪涝等，给农业生产带来了巨大的不确定性。这些问题使得传统农业难以应对当今复杂多变的生产环境，需要更加智能和创新的手段来提高适应性和生产力。

在当今社会背景下，数字农业（Digital Agriculture, DA）正崭露头角，成为解决传统农业所面临挑战的先进方案。数字农业不仅仅是技术的运用，更是一种智能、可持续的农业管理理念的体现。融合先进的信息技术，数字农业为农业生产带来了新的解决方案，能够更智能地管理农业资源，提高农业生产效率^[1]，减轻环境负担，为全球食品安全创造更为可靠的基础。

在这一演进的过程中，数字农业物联网（Digital Agriculture Internet of Things, DAIoT）平台作为智能化农业管理系统的代表之一，整合了感知、通信、计算和控制技术，致力于提升农业生产的智能水平、可持续性和高效性。通过多种先进技术的有机融合，该平台使得农业生产过程更加智能化和精准化，为农业从业者提供了更为强大和便捷的工具，以适应迅速变化的环境和市场需求。

虽然目前的技术解决了其中几个数字农业问题，数字农业的发展也仍然一些面临待解决的挑战，主要挑战有：

1) 天气影响：难以预测和应对气象变化对农业生产的实际影响，因此数字农业系统需要具备实

时监测和适应性管理的能力。

2) 农村基础设施：在农村地区改善数字基础设施，包括网络覆盖、电力供应等，需要克服投资、资源和政策等多方面的困难。

3) 无人机传感器：电池寿命很差，获取农场的航拍影像需要多次无人机飞行，并且在电池充电期间需要等待很长时间。

4) 数据聚合^[2]：难点在于整合来自不同农业环节和设备的数据，涉及多样的数据格式和来源，需要解决数据标准化和互操作性的问题。

5) 数据分析：大规模农业数据的分析复杂度较高，需要应对数据量庞大、多维度、多变量的情况，以及确保分析结果对农业决策的准确性和可解释性。

6) 容错：建立高度可靠的数字农业系统，确保在面对技术故障、网络中断或其他异常情况时保持系统的可用性，是一项技术和管理上的挑战。

7) 供应商锁定：选择数字农业技术和服务提供商时，需要考虑未来的扩展和灵活性，以避免长期依赖特定供应商导致的技术限制和成本增加。

面对天气影响、农村基础设施较差、无人机传感器使用等挑战，Deepak Vasisht 等人提出了名为 FarmBeats^[3]的端到端的数据驱动型农业的物联网平台，可以从各种传感器、摄像头和无人机无缝收集数据。

FarmBeats 不仅能够确保系统在恶劣天气条件下，如电力和互联网中断的情况下依然保持高度可用性，而且能够支持将传感器数据连接到云端，实现对数据的持久存储，以及进行长期或跨服务器场的深度分析。

在 FarmBeats 的网关中，采用了一种新颖而创造性的路径规划算法，该算法独特地利用风力作为辅助因素，帮助无人机更有效地进行加速和减速，从而显著降低了电池的能耗，为系统的稳健性和高效性提供了独特的优势。

在 FarmBeats 中有效融合了无人机的实时视频

信息和地面传感器的数据，为农业生产提供了更为全面和准确的地理信息，为农民和农业专业人士提供了有力的决策支持。

面对农村基础设施较差、数据聚合、数据分析、容错等挑战，Mohit Taneja 及其团队提出了 SmartHerd，这是一款专为奶牛养殖场景设计的端到端物联网平台，用于进行动物行为分析和健康监测的雾计算辅助。

Mohit Taneja 等人将新兴的雾计算基础设施视为在互联网连接受限的场景中推动物联网应用和服务的关键因素。为协助应用程序在混合雾云环境中运行，提出了一种基于微服务的方法，并针对智能奶牛养殖场景中的连接性和动物福祉问题提出了解决方案。

在 SmartHerd^[4]物联网平台中，采用了基于无线电而非 WiFi 的传感器通信，以确保在互联网和天气故障情况下实现广泛的数据收集。这一举措不仅提供了降低成本、更长电池寿命和更广泛覆盖农场动物分布的优势，还增强了系统的鲁棒性。

此外，SmartHerd 物联网网关的采用雾计算技术实现了数据在源头附近的智能处理，从而支持对牲畜的实时处理和监测。在实际部署中的经验表明，通过基于活动的聚类对牛群进行监测，可以识别奶牛的行为并跟踪它们。当个体奶牛的行为异常时，系统能够向农民发出警报，即使云端处于非活动状态。

SmartHerd 的整体架构和设计的多功能性使该系统能够更好地适应农场面临的互联网限制、中断和连接问题，从而成为了智能奶牛养殖场景中可靠的牲畜监控和管理解决方案。

面对农村基础设施较差、数据聚合、数据分析、容错、供应商锁定等挑战，Gloire Rubambiza 等人提出了 Comosum^[5]，Comosum 是一种系统软件架构，旨在支持数字农业应用在研究和商业农场中的广泛应用。

该架构涵盖了硬件、软件和分布式云抽象，致力于为农场建立具有可扩展性、可重新配置性和容错性的传感器网络。

Comosum 模块提供了对感测、存储、计算和推动农场数据行为的高度抽象，这种抽象源自可继承实例的面向对象编程思想，使得可以根据不同的数字农业应用程序进行定制。

Comosum 的分布式云解决了在支持弹性、供应商中立、容错数据聚合与分析方面的复杂挑战；通

过重新思考以前已有的方法。

Comosum 的设计巧妙地实现了在网络中断期间的离线数据收集和边缘分析。其控制平面有效协调了模块之间的通信，确保对异构设备的可重新配置性和可扩展性。

此外，引入了主动数字孪生的概念，以简化从传感器到基于云的模块的故障检测、升级和可选修复的复杂流程。

通过在多个云中支持不同的 DA 应用程序，研究团队成功地展示了 Comosum 的实施应用。FarmBIOS 是该架构的应用实例，它在实际应用中充分满足了设计目标，为农场数字化提供了可持续、高效且具有前瞻性的解决方案。这表明 Comosum 在数字农业领域中具有广泛的应用前景，为农业生产的数字化转型提供了有力支持。

综上，现有的工作以及它们的贡献总结如下：

1) FarmBeats 通过引入端到端的数据驱动型农业的物联网平台，解决了传统农业面临的气候变化和基础设施不足等挑战。FarmBeats 引入了新颖的路径规划算法和雾计算技术，降低了无人机的能耗，提高了系统的稳健性和高效性。整合了无人机的实时视频信息和地面传感器的数据，为农业生产提供全面、准确的地理信息，为决策提供有力支持。

2) SmartHerd 是专为奶牛养殖场景设计的端到端物联网平台，致力于动物行为分析和健康监测。SmartHerd 利用雾计算基础设施，解决了互联网连接受限的场景中动物养殖的连接性和动物福祉问题。并且采用无线电传感器通信，确保在互联网和天气故障情况下实现广泛的数据收集，提高了系统的鲁棒性。

3) Comosum 是一种系统软件架构，旨在支持数字农业在研究和商业农场中的广泛应用。Comosum 提供了对感测、存储、计算和数据行为的高度抽象，支持定制化，具有可扩展性和可重新配置性。通过分布式云解决了数据聚合和分析的复杂挑战，为农场建立了具有容错性的传感器网络。

2 数字农业物联网平台关键技术

数字农业物联网是一种利用现代信息和通信技术，通过连接和整合各类传感器、设备和系统，实现农业生产全过程数字化、网络化的技术体系。通过数字农业物联网，农业生产者可以实时获取农田、牲畜和气象等多维数据，以便科学决策，提高

农业生产效益。数字农业物联网的基本组成包括感知、通信、计算和控制四个方面。感知通过各类传感器获取农业生产环境的数据，通信通过无线技术将这些数据传输到云端，计算则利用云计算技术进行大数据分析和处理，最后，通过控制系统实现对农业生产的智能化管理和控制。

2.1 传感器技术

在数字农业物联网平台中，需要在无线传感器网络节点上安装不同类型的传感器，无线传感器节点的计算和通信功能可实现传感器读数的基本存储、处理和发送。每个传感器节点通常都知道其精确的地理位置，大多数是从卫星定位系统自动获得或手动预定义的。因此，传感器节点提供精确的空间图像和观测参数的分布。

传感器在数字农业中发挥关键作用，可用于监测气象条件、土壤状况、作物生长状态等，为农业生产提供精准的数据支持，帮助农业生产者进行科学决策。例如，光照传感器能够测量阳光强度，为农业生产者提供有关植物所处环境光照水平的关键信息；二氧化碳传感器监测大气中的 CO₂ 浓度，有助于评估植物生长环境中的碳含量，提供对光合作用和生长状况的重要洞察；风速传感器测量风的速度，为风能、气候和作物蒸发等方面的研究提供关键数据。

通过这些多样化的传感器，数字农业物联网平台能够实时获取关键环境数据，为农业决策提供全面、精准的信息支持，从而最大程度地提高农业生产的效率和可持续性。

传感器网络的有效部署和管理是数字农业物联网平台稳定运行的基础。合理的传感器布局、密度和高效的数据采集是保障农业数据准确性和实时性的关键。管理系统需要具备传感器状态监测、故障诊断和远程配置的功能，以确保传感器网络的可靠性和可维护性。

2.2 无线通信技术

数字农业物联网采用多种无线通信技术实现传感器数据的远程传输。这些技术具有低功耗、远距离传输等特点，为数字农业提供了可靠的通信手段。

2.2.1 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 标准是专为低速率无线个人区域网络（Low-rate wireless personal area network, LR-WPANs）而设计的低功耗标准。该标准详细定

义了 LR-WPANs 的物理层和介质访问控制层，为其其他许多高层规范提供了基础。Zigbee 则是基于 IEEE 802.15.4 的典型低功耗、低成本无线标准的典型代表。

Zigbee 的独特之处在于其能够创建具备网状架构的低速率无线网络。这种架构对于对功耗要求高、能够容忍低数据速率且不支持高节点移动性的嵌入式应用而言具有显著的优势。在农业领域，特别是农业传感器节点的通信需求上，Zigbee 展现了其理想的通信技术特性。它能够有效地满足农业生产环境中对通信稳定性和低功耗的双重要求，为农业生产者提供可靠的数据传输和信息获取手段。

尽管 Zigbee 在局部范围内表现卓越，但在远距离连接方面存在一定的限制。这一特性使得其更适用于在特定区域内建立稳定而高效的通信网络，而不是连接远距离位置。

2.2.2 蓝牙

蓝牙最初设计是用于在短距离内连接小型设备的无线通信标准。蓝牙 4.0 标准于 2011 年推出，被称为低功耗蓝牙。它以低功耗为特点，适用于物联网和机器对机器通信。由于智能农业应用需要定期交换少量数据，低功耗蓝牙节点在单个小型电池上可以有几年的寿命，简单且经济实惠。

但是低功耗蓝牙的应用范围相对较小。其适用于在特定位置（如农田）建立本地互连，将多个节点与网关连接。由于低功耗蓝牙的传输范围有限，不适合用于连接远距离位置的应用场景。尽管存在这一限制，低功耗蓝牙在局部范围内建立可靠的通信网络，成为农业生产过程中的理想选择，尤其是对于需要高效低功耗通信的智能农业设备。

2.2.3 WiFi

WiFi 是目前便携式设备（例如平板电脑、智能手机、笔记本电脑）中广泛采用的无线技术。尽管最初未专为智能农业应用而设计，但 WiFi 在数字农业中具备潜力。它可用于实现传感器节点之间的本地通信，以及与远程网关的连接，提供相当大的带宽支持。通过 WiFi 通信，农业生产者能够轻松获取大量数据，包括农田状态、气象信息等，从而进行更加精准的农业管理和决策。

然而 WiFi 通信也存在一些缺点。首先，相对较高的功耗可能在某些应用场景下对电池寿命产生影响。其次，WiFi 通信的传输范围相对较短，这在需要覆盖广大农场的情况下可能带来一定的局限性。尽管如此，WiFi 作为一种传输大量数据的有

效手段，仍然在一些特定的智能农业应用中发挥着关键作用。

2.2.4 蜂窝网络

蜂窝网络可用于与远程位置连接，而在本地用于传感器节点之间的通信（短程和中程通信），会采用其他通信标准。从 2G 到 5G 的所有蜂窝网络的各个世代都可以适用于数字农业的应用。更新的蜂窝网络世代具有更高的带宽，可以更轻松地传输更大量的数据，例如图像或视频。蜂窝网络是用于广域连接的相当安全可靠的选择。蜂窝网络的主要缺点一个是成本，除了设备成本外，还需要向网络运营商支付订阅费用；另一个缺点功耗较大。

2.2.5 远程无线电（LoRa）

LoRa 使用线性调频扩频调制技术，将窄带信号扩展至更宽的信道带宽。LoRa 提供了与机器对机器 WiFi 或蜂窝技术相匹配的双向解决方案。LoRaWAN 协议通过使用多个基站来提高成功接收率，因为每个传输的消息将被范围内的所有基站接收，重复的消息稍后将在服务器上过滤。虽然它提高了可靠性，但这种方法可能会增加成本。

2.2.6 SigFox

SigFox 是一种超窄带无线蜂窝网络，主要面向低数据速率应用，因而非常适用于物联网和机器通信系统。作为一家 LPWAN 网络运营商，Sigfox 提供端到端的物联网连接解决方案。该公司在全球范围内内部署专有基站，并通过 IP 网络将其与服务器连接。网络节点与基站通信时采用超窄带（100 Hz）和二进制相移键控（binary phase shift keying, BPSK）调制。SigFox 技术的优点在于它极低的功耗和成本效益设计，缺点是其传输速度相对较低，仅为 100 bps。

2.3 云计算与存储

数字农业物联网产生的庞大数据量为农业生产者提供了宝贵的信息资源，而云计算为数字农业提供了强大的计算和存储支持，使得这些数据的高效处理和分析成为切实可行的任务。通过云服务平台，农业生产者能够将数据集中存储，实现便捷的数据管理和共享。

数据分析是数字农业物联网平台的核心功能之一，而机器学习算法则在这一过程中发挥着关键作用。决策树、支持向量机、深度学习等算法通过深入挖掘庞大的农业生产数据，能够提供对未来发展趋势的准确预测和相关建议。

这一系统不仅能够根据实时数据动态调整建

议，还能适应不同农场和作物的独特需求，从而提高整体农业生产效益。通过数字农业物联网的数据分析和决策支持功能，农业生产者能够更加科学、精准地制定决策，实现可持续农业发展。

2.4 控制与执行

数字农业物联网通过集成先进的控制系统，实现对农业设备的全面自动化控制，涵盖了农业生产的各个环节。以自动灌溉系统为例，该系统能够依据实时获取的土壤湿度数据，智能调整灌溉水量，从而提高水资源的利用效率。这样的自动化技术不仅涉及到灌溉，还覆盖了种植、施肥等农业生产全过程，为农业生产者提供了更为高效和精密的农业管理手段。

在数字农业物联网平台中，远程监控系统是关键的重要组成部分。通过设计可靠、实时的监控系统，农业生产者能够在任何时间、任何地点监测农田、设备和生产环境的状态。这种远程监控系统使得农业生产者能够实现对农业生产的远程控制，提高生产管理的灵活性。

通过数字农业物联网平台的自动化技术和远程监控系统的协同作用，农业生产者能够更加智能、便捷地管理整个农业生产过程，实现资源的高效利用和生产效益的提升。这种全面自动化和远程监控的手段有助于构建更为可持续和智能的数字农业生态系统。

3 研究现状

3.1 FarmBeats

3.1.1 FarmBeats 介绍

FarmBeats 是一款专注于农业的物联网平台，通过利用传感器、摄像头和无人机等设备进行数据收集和分析，为农业生产提供了全面的解决方案。该平台成功地应对了农场有限连接性和电力中断等挑战，并在美国两个农场进行了长期的实际部署。

FarmBeats 通过使用电视空白空间（Television Blank Space, TVWS）建立高带宽链路，采用太阳能供电并引入天气感知设计太阳能供电的物联网基站，并通过网关实现基站本地计算和持续可用性；利用风力协助无人机减少电池消耗。这包括这些创新设计使 FarmBeats 成功应用于多种农场场景。

FarmBeats 系统的成本较低，使其更易于被广

大农民所接受。此外，该平台还支持精准农业、动物监测和存储监测等多种应用，并计划为研究人员提供匿名数据共享的功能。

3.1.2 太阳能供电的物联网基站

FarmBeats 在农场上的太阳能供电物联网基站考虑天气预报和电池的当前充电状态采用循环工作模式。基站主要面临两个挑战：1) 传感器连接模块的功耗要明显低于 TVWS 设备，需要在这些组件之间智能地分配电力，以实现最佳性能。2) 功耗的可变因素：FarmBeats 允许农民手动启动基站连接互联网，使用其手机上程序。

基站的唯一电源是一组太阳能电池板。太阳能输出随着一天中的时间和天气条件而变化。假设太阳能电池板在下一个规划周期内的能量输出为 S_I 。由于可能会有一些来自上一个周期的借款或贷款。我们用 C_I 表示这个额度。因此，基站在下一个规划周期的总电力预算是 $S_I + C_I$ 。

循环工作方法是按照计划周期 T_P 的顺序做出的。将 T_P 设置为一天。1 个 T_P 期间，由于电池漏液和极低功率基站控制器而导致的平均能量损失为 E_D 。为了让农民能够按需使用 Wi-Fi，分配了固定的电视时间预算。用 P_T 表示 TVWS 设备的功耗，用 P_S 表示传感器连接模块的功耗，则需要分配 $T_v(P_T + P_S)$ 用于可变 WiFi 访问。

TVWS 模块将基站缓存中的数据与网关进行同步。用于基站与 FarmBeats 网关同步的时间集合命名为 S ， S 取决于农民的使用模式、传感器类型。集合 S 中的同步时间有相应的权重集合 W 。

如果传感器没有向基站发送任何数据，则无需打开 TVWS 设备，可以使用以下贪婪算法来识别要执行的同步。

用 $S_1 \subset S$ 表示要执行的同步的子集。该子集初始化为空集，FarmBeats 首先将最高优先级的同步添加到 S_1 中，然后从电力预算中减去 $|S_1|P_T T_S$ ，其中 $| \cdot |$ 表示集合的基数， T_S 表示执行同步操作的时间。然后，FarmBeats 计算传感器连接模块的相应占空比率。如果此速率确保 S 中次高权重同步将具有来自传感器的附加数据以与网关同步，则将此同步操作添加到集合 S_1 中。它按权重递减的顺序重复此过程，直到达到 S_1 中某个同步没有新数据可共享的状态。

传感器连接模块在一个时间周期 T_{off} 内关闭，然后一个时间周期 T_{on} 内开启， $\gamma = T_{on}/T_{off}$ 。那么系统的能量消耗是 $E_D + (P_S + P_T)T_v + P_T T_S |S_1| +$

$P_S T_p \gamma$ 。

估计 T_{on} 和 T_{off} ，使得能量消耗在规划周期内不超过能量预算，有以下约束：

$$S_I + C_I \geq E_D + (P_S + P_T)T_v + P_T T_S |S_1| + P_S T_p \gamma \quad (1)$$

$$\Rightarrow \gamma \leq \frac{S_I + C_I - E_D - (P_S + P_T)T_v - P_T T_S |S_1|}{P_S T_p} \quad (2)$$

$T_{connect}$ 表示传感器连接模块打开并与传感器建立连接所需的时间， T_{sensor} 表示所有传感器唤醒并向基站传输所需的时间。

由于模块的开启时间必须足够长，使得传感器能够将其数据传输到基站，有以下约束：

$$T_{ON} \geq T_{connect} + T_{transfer} \quad (3)$$

$$\Rightarrow \gamma T_{off} \geq T_{connect} + T_{transfer} \quad (4)$$

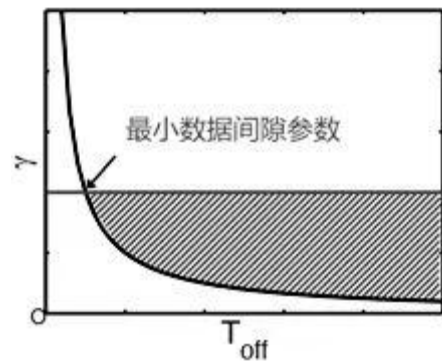


图1 循环工作方法：阴影区域显示了不等式2和不等式4的可行区域。当两个等式在边界上同时满足时，延迟最小化。

由于我们的目标是在不等式2和4施加的功率约束下最小化数据差距，即需要最小化 T_{off} 。式2和式4中的不等式定义了 (γ, T_{off}) 二维空间中的凸区域，如图1中的阴影区域所示。由于成本函数 T_{off} 是线性的，因此最小值出现在由两个不等式定义的交集区域的拐角处。

总体而言，FarmBeats 基站算法通过细致的能量管理和同步调度，确保太阳能供电的物联网基站在不同天气和使用条件下能够稳定高效地运行。

3.1.3 无人机飞线路径规划与偏航控制算法

大多数无人机是由其 GPS 坐标定义的一系列航点，它们按顺序从一个航点移动到下一个航点。在农业方面，需要最大限度地减少覆盖给定区域所需的时间。而在总路径长度相同的情况下，增加覆盖相同区域的航点数量将增加覆盖该区域所需的时间。FarmBeats 中提出了一种飞行计划算法，该算法最大限度地减少了覆盖农场给定部分所需的航点数量。如下：

- 1) 给定一个区域，进行构建。
- 2) 确定扫线的方向。对于每条边及其对足（截

然相反)顶点,画两条平行线并测量它们之间的距离。与边与对足顶点之间的最小距离对应的边的斜率成为扫线的方向。

3) 根据飞行高度、相机的视野和所需的图像质量确定航点。

4) 给定飞行路径的起点和终点,对航点进行排序以最小化总行进距离。

其中设计了一种新颖的偏航控制算法来利用农场的风能。由于农场是大型开放空间,通常风很大,而不对称物理轮廓的四旋翼飞行器可以利用风进行更有效的推进或减速。偏航是四旋翼飞行器相对于垂直轴的角度。对于顺风段,自适应控制首先使偏航垂直于飞行路径,从而在四旋翼加速时最大限度地利用有利风。然而,随着速度的增加,四旋翼飞行器轮廓产生的空气阻力也会增加。四旋翼加速,偏航就会减少,以便最大限度地利用风,同时最大限度地减少由于侧面轮廓引起的寄生阻力。同样,减速阶段可以通过使其偏航垂直于飞行路径来有效地利用空气阻力。

3.2 SmartHerd

3.2.1 SmartHerd 介绍

SmartHerd 是一项以微服务为基础的雾计算辅助物联网平台,其独特之处在于专注于奶牛养殖场景,致力于解决与动物福利相关的问题,通过监测和分析奶牛的行为和健康状况,通过智能技术为奶牛提供更好的生活,为智能奶牛养殖提供了物联网解决方案。

并且 SmartHerd 采用了面向微服务的设计,将物联网应用程序可以分解为微服务的集合,这些微服务可以分布在云和网络边缘可用的物理资源中。这不仅使其更加灵活和可扩展,而且确保了多供应商之间的互操作性。这意味着用户可以更加自由地选择和整合各种服务和设备,以满足其在奶牛养殖方面的独特需求。

总体而言,SmartHerd 是一项为农业提供前瞻性解决方案的创新平台,旨在推动智能奶牛养殖的发展,同时有效地克服传统养殖中存在的多种难题。

3.2.2 微服务应用设计

大多数支持物联网即启用传感器/智能的奶牛场都有某种农场管理系统,农民可以使用它来维护日志或保留一些细节。因此,SmartHerd 利用这种设置中已有的计算资源,并在雾计算范式下利用它们。SmartHerd 将系统即代码库与软件框架开发为

可下载的软件,可以在任何个人计算机设备上运行。

表 1 数据要求和延迟限制

应用/服务	延迟限制	数据要求
查询传感器数据	几分钟	即时
牲畜定位监控和流动性分析	几分钟	即时
发情检测	几小时	即时
跛行及其他疾病检测	几小时-几天	非即时
动物健康统计	几小时-几天	非即时
日志记录和其他应用程序性能日志记录服务	几小时-几天	非即时
通过数学建模分析动物行为和变异性	几天	非即时

在智能奶牛养殖场景中,各种应用和服务的数据需求和延迟约束主要可以分为表 1 所示的几个类别。这推动了在智能奶牛养殖场设置中采用基于微服务的架构和雾计算方法。从应用部署的角度来看,雾计算可以被看作是在网络边缘以及云中运行的应用程序的组成部分,而在雾中运行的组件具有延迟敏感性和时间关键性质。尽管雾计算最初的目标是改善传感器、应用程序和用户之间的网络延迟,然而,结合基于微服务的应用程序设计,可以作为一种使服务能够有效利用雾计算基础设施的启用器,适应了互联网连接受限的情况。

在雾设备异构的场景中,服务抽象变得更加重要,可以通过容器化来实现。示例有 Java 虚拟机 (Java Virtual Machine,JVM)、Python 虚拟机 (Python Virtual Machine ,PVM)、Linux 容器和 Docker。容器技术的选择是系统整体效率和性能的重要因素。作者在雾节点上使用了 PVM 和 JVM 作为容器技术,并在构建 SmartHerd IoT 系统时使用了 IBM Cloud 中默认可用的容器技术,即 Docker 作为平台和 Kubernetes 作为 Docker 容器的容器编排系统,来将雾节点上的服务管理开销尽量降低。在开发过程中使用的编程语言包括 Python 和 Java。

通过将代码基的开发模块化部分作为隔离的进程进行跟踪(命名空间和 Cgroups),可以将它们作为独立的不同服务使用,通过一个简单的服务注册表(以简单文件的形式)而不是使用额外的软件/框架来执行相同的操作。

SmartHerd IoT 生态系统的设计和构建的微服务放置在智能奶牛养殖场的网络边缘和云,即 IBM Cloud 中,以一种满足每个服务的资源需求的有效

方式放置在雾节点上的延迟敏感型服务和具有即时数据需求的服务，并在云端放置其余的服务。

SmartHerd 采用基于微服务的应用流程，整合了特定服务，例如奶牛的跛行检测以及通过数据分析和年龄分组来监测奶牛行为异常。这意味着系统通过微服务架构能够将不同功能模块化，使其更易于维护和扩展。以跛行检测服务为例，系统能够及时发现奶牛的健康问题，实现迅速的干预和治疗。同时，通过数据分析和年龄分组，系统能够识别异常行为，比如老年奶牛的异常行为可能与年龄相关，有助于农民更好地管理牲畜。

这种基于微服务的应用流程不仅提升了系统的灵活性和可维护性，还使系统更容易适应不同的需求和场景。

3.3 Comosum

3.3.1 Comosum 介绍

Comosum 是一款为数字农业设计的物联网平台，其特性为可扩展性、可重配置性和容错性，旨在解决农场环境中的数据聚合、数据分析和容错等方面的挑战。这一系统的设计理念融合了硬件设备、软件模块以及分布式云架构，以满足不同应用场景的需求，能够容忍网络故障，并在不同的云提供商中进行部署。

可扩展性意味着它能够轻松适应不同规模和复杂度的数字农业系统。该平台的可重配置性使其能够根据农场的具体需求进行调整和定制，以满足多样化的农业生产要求。同时，系统的容错性使其能够在面对网络故障或其他异常情况时保持稳定运行，确保数字农业生产的连续性和可靠性。

Comosum 的架构包括分布式云、传感器等硬件设施和用于遥测、存储、计算和执行的软件模块，这些模块共同构建了一个强大而灵活的数字农业物联网平台。该系统已成功在 FarmBIOS 中进行实施，并在不同类型的农场和不同的部署环境中进行了全面评估。

3.3.2 分布式云

在传感器数据的生成和处理过程中，数字农业应用程序的数据量大，且类型繁杂。虽然大部分传感器数据是在本地产生的，但最初的存储和计算操作通常由传感器供应商的远程服务器按需执行。在这个过程中，Comosum 面临了一个重要的挑战，即如何实现供应商中立性。供应商中立性指在采用和整合技术时，机构或组织应该避免对某个特定供应商产生过分依赖，以降低风险、确保灵活性，并为

未来的技术演变做好准备。这意味着硬件和软件创新不能与特定的云服务供应商绑定在一起。

为了解决这个问题，提出了 Comosum 分布式云抽象，以支持灵活的、与供应商无关的传感、存储、计算和驱动功能。Comosum 分布式云由边缘云、核心云和供应商云组成。边缘云提供更接近数据源的存储和计算；核心云和供应商云提供更多的存储和计算能力。一些数据必须从传感器供应商的服务器中提取，而不能直接从 Comosum 提取的传感器中获取。但将边缘云、核心云与供货商云进行分离，只需要供货商服务器提供一些基础的数据和简单的操作，而不过度依赖供货商服务器对数据进行更多的分析，将数据的分析过程转移到边缘云与核心云中，从而实现供应商中立性。

尽管边缘云、核心云和供应商云的分离有助于实现资源弹性和供应商中立性，但也存在与农场有限带宽相冲突的问题。边缘云提供更接近数据源的存储和计算，消除了核心云连接和延迟方面的挑战，尤其适用于短暂存储和计算需求的应用程序。然而，它通常不适用于存储和计算密集型的 Comosum 应用程序。另一方面，核心和供应商云提供更多的存储和计算能力，但面临着较高的网络延迟成本。因此，在远程地区，对与核心和供应商云的一致连接依赖的应用程序可能会遇到困难，这可能导致基于云的时间关键决策的失败，对农民的决策产生实际影响。

综上所述，虽然边缘云、核心云和供应商云的分离有助于实现 Comosum 的资源弹性和供应商中立性目标，但也揭示了在系统中难以平衡的一些挑战。

3.3.3 控制平面

Comosum 的设计允许对设备和软件模块进行集成。它充分利用了多种网络和存储基元，这些基元进而定义了可扩展的库和配置模板，以适应当前和未来数字农业系统中设备和软件模块之间的通信需求。

在硬件层面，传感设备需要新的串行设备驱动程序包装器或现有标准接口的包装器，而网络设备需要新的数据包处理接口。同时，控制设备通常会提供其可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 的包装器。

在软件和云组件方面，控制平面规定了模块之间的通信方式。模块通过向调度器调用消息来指定要联系的对等模块，调度器将消息队列映射到与对

等模块的套接字连接。这种方案使得模块不必关心底层网络细节,并且简化了控制平面的一部分,仅涉及 IP 地址元组,可以根据底层网络的变化进行编辑。对于 Comosum 模块与其他系统的模块调用(例如传感器供应商云),则采用外部系统公开的任何更高级别的抽象。

因此,硬件和软件组件的设计是可重新配置的,以解决数字农业系统面临的各种挑战。

3.3.4 主动数字孪生

Comosum 系统能够通过依赖离线数据收集和标准硬件冗余来容忍长达数天的网络中断。在恢复连接之前,传感器数据只是简单地存储在边缘设备上。然而,数据聚合和分析仍受到故障传感器和人为错误的影响。例如,故障的传感器导致电池更快地耗尽,配置错误将数据放置在不正确的列中。这两种故障都将导致数据的不连续性。

为了简化故障检测,Comosum 通过引入主动数字孪生实现了在不同的故障范围内检测、升级,以及可选地修复系统故障。

数字孪生是物理对象、过程或环境的数字表示,其行为类似于其真实世界的对应物。相比之下,主动数字孪生体将传统的数字孪生概念与 Comosum 相结合。当数字孪生体偏离其物理孪生体超出可重配置边界时,系统将采取行动,比如向人类操作员发送通知。

具体而言,实现了一个基于 Web 的、可重配置的通知系统,具有三个关键功能。1)状态页面利用传感器中枢的数字孪生显示它们的连接状态和最后的活动。2)配置页面提供了一个界面,用于检索和编辑每个传感器中枢的端口配置。3)通知页面提供了一组可重配置的功能,包括通知系统是否启用,触发停机通知的可编辑阈值,停机检查的可编辑频率,以及在停机期间通知的电子邮件集合。通知系统依赖于跨多个独立云服务的数据聚合和分析,而实施只需插入 Comosum 模块实现这些服务,对其他模块几乎没有或没有变化。因此,它广泛适用于在从农场的传感器到云中的模块的不同阶段检测故障。

4 实际应用

4.1 FarmBeats

4.1.1 部署

Deepak Vasisht 等人在华盛顿州和纽约州北部

的两个农场部署了 FarmBeats,面积分别为 5 英亩和 100 英亩。部署包括:传感器、摄像头、无人机、物联网基站、网关个人电脑(Personal Computer, PC)、云服务和仪表板(移动应用程序和网页)。

传感器:每个农场都配备了测量土壤温度、pH 值和湿度的传感器。将不支持 Wi-Fi 的传感器与 Arduino 或 NodeMCU 连接以添加 Wi-Fi 功能。并在田间的不同部分部署了 Microseven IP 摄像机,以监控农场,并捕捉农作物的红外图像。

无人机:使用 DJI Phantom 2、Phantom 3 和 Inspire 1 进行无人机飞行并使用 DJI Mobile SDK 创建了一个自动驾驶应用程序来与 FarmBeats 交互。用户可以使用该程序来选择飞行高度,并在地图上确定要覆盖的区域。然后, FarmBeats 规划飞行路径。无人机完成任务后,自动返回原位,通过物联网基站将飞行过程中的视频记录传输到网关。

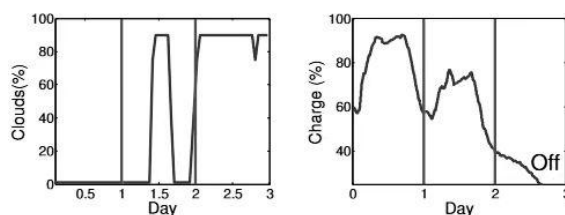
物联网基站:在每个物联网基站部署中,使用美国联邦通信委员会认证的 Adaptrum ACRS 2 无线电和 11 dBi 定向天线(90 度扇区)来设置 TVWS 网络。互联网连接由农民的家庭互联网连接提供。并且设置了一个太阳能充电系统给基站供电,该系统由两个连接到太阳能充电控制器的 60 瓦太阳能电池板组成。带有 3 GB SD 卡的 Raspberry Pi 64 用作基站控制器。传感器通过 802.11b 路由器与基站连接。

网关:网关是西澳农场的联想 Thinkpad 和纽约州北部农场的戴尔 Inspiron 笔记本电脑。

云:将 Azure IoT 套件用于 FarmBeats。传感器读数、相机图像和无人机视频摘要通过 Azure IoT 中心填充到存储中,使用斑点作为图像,使用表格作为传感器读数。

4.1.2 天气感知基站

FarmBeats 基站对不同的组件进行循环工作。FarmBeats 使用 OpenWeather 应用程序编程接口(Application Programming Interface,API)来获取天气预报,并计划第二天的工作方案。



(a) 云层覆盖量

(b) 无工作周期

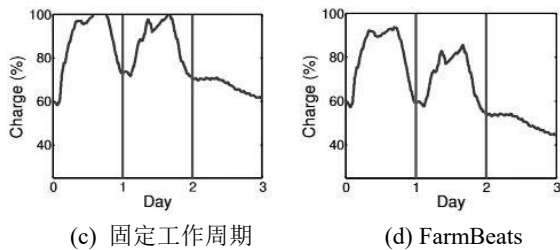


图 2 功率感知基站: (a) 3 天内的云量百分比。(b) 在没有轮转的情况下, 基站在阴天关闭。(c) 固定的保守占空比可以防止基站宕机, 但它收集的传感器数据会少 15 倍。(d) FarmBeats 的功率感知基站可以通过在预计多云的日子减少占空比来保持基站开启。

三天的云量百分比如图 2(a)所示。在这三天的时间里, 对三种功率方案进行比较。将一天的开始时间定义为当地时间早上 6 点, 然后定期记录太阳能电池的充电状态。

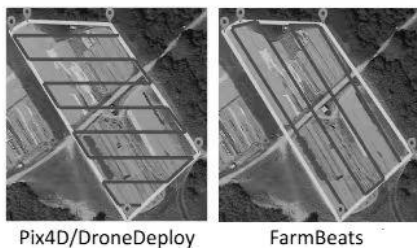
方案一: 让基站始终处于开启状态。如图 2(b)所示, 电池电量在阳光明媚的白天上升, 在夜间下降。虽然基站在第一天保持能量中性, 但在随后的几天里, 由于多云的天气, 其电池耗尽, 导致第三天不可用。

方案二: 将基站设置为保守的循环工作周期。虽然这确保了基站在阴天可用, 但基站电池在晴天充电高达 100%, 从而浪费了本可以利用的太阳能。此外, 其收集的数据比图 2(d)中绘制的最佳 FarmBeats 解决方案少 15 倍。

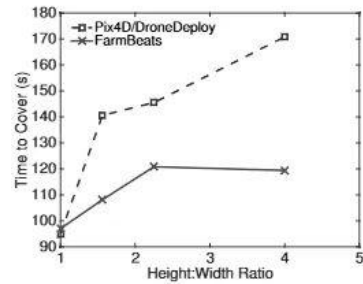
方案三: 由于太阳能的高可用性, FarmBeats 在前两天更频繁地收集数据。然而, 在第三天, 它切换到保守的循环工作时间以节省电力。比方案二的数据收集频率提高 15 倍中, 2 倍是因为 TVWS 客户端与 Wi-Fi 路由器的工作时间不同。

因此, FarmBeats 的功耗感知设计实现了在保持能源中立的同时最大限度地提高数据新鲜度的目标。

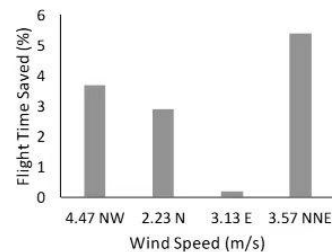
4.1.3 无人机飞线路径规划与偏航控制算法



(a) Pix4D/DroneDeploy 与 FarmBeats 的飞行规划算法



(b) Pix4D/DroneDeploy 与 FarmBeats 分别的纵横比与覆盖完成时间的关系



(c) 风速与节省时间的关系

图 3 (a) FarmBeats 的飞行规划算法最大限度地减少了覆盖某个区域的航点数量。(b)根据场地的纵横比, 没有 FarmBeats 算法的飞行需要多花费 42% 的时间。在我们农场的平均情况下, 这时间缩短了 1.26 倍。(c)此外, 偏航控制算法根据风速实现了高达 5% 的增益。

区域覆盖算法对无人机飞行时间的影响: 对 FarmBeats 在覆盖给定区域方面的性能与最先进的从东到西算法 (Pix4D、DroneMapper) 进行了比较。如图 3(a)所示, 无论区域形状如何, 从东到西的算法都会生成从东到西的扫描模式。但是, FarmBeats 会生成一条路径, 以最大程度地减少航点的数量。

两种算法完成计划飞行以覆盖给定区域所需的时间: 最大速度设置为 10m/s, 高度设置为 20m。图 3(b)绘制了两种算法在不同区域几何形状中完成飞行所需的时间, 由它们的高度与宽度之比定义, 其中高度是沿南北方向的距离, 宽度是沿东西方向测量的。正如预期的那样, FarmBeats 实现的增益随着高宽比的增加而增加。这是因为 FarmBeats 算法生成的航点较少, 无法覆盖同一区域。一般而言, 对于我们部署的平均情况, FarmBeats 将覆盖一个区域所需的时间减少了 26%。

偏航控制算法在不同风力条件下的影响: 最大速度设置为 10m/s, 高度设置为 30m。每次飞行前将无人机电池充满电。如图 3(c)所示, 根据风速, FarmBeats 最多可以节省 5% 的时间。此外, 随着风的南北分量 (这组实验的主要运动方向) 的增加,

FarmBeats 可以更好地利用风速。

4.2 SmartHerd

4.2.1 部署

试验在爱尔兰沃特福德的一家当地农场进行，该农场拥有 150 头奶牛。在试验中使用的 150 头奶牛中，有 147 头奶牛被用于本文提出的分析。

鉴于可用于牲畜监测的传感器/可穿戴设备有多种选择，SmartHerd 选择了基于无线电的远程计步器 (Long-Range Pedometer,LRP)。LRP 不依赖互联网进行操作，可用于在互联网连接性低和频繁停电的农场中进行数据采集。这种传感器涉及较少的运营支出，并且不使用基于 WiFi 的连接将感测数据发送到基站。

计步器由一个具有长达 12 小时数据保留能力的有源系统组成，该系统以 8 毫秒的采样频率测量奶牛的活动，由此产生的数据单元每 6 分钟发送到相应的接收器和收发器。连接到接收器和收发器的天线范围各为 2 公里，这提供了足够的覆盖范围，可以随时收集奶牛的数据。

接收器是主控单元，它通过有线连接将接收到的数据发送到通信单元，然后通信单元将其发送到 SmartHerd 物联网网关。Message Queue Telemetry Transport (MQTT) 作为雾节点 (即本地个人计算机) 和云 (在 IBM Cloud 上运行的服务实例) 之间的连接协议。MQTT 专门针对具有特征性不可靠网络环境的远程位置连接。来自雾节点的数据使用 MQTT 流式传输到 IBM Watson IoT 平台;IBM Watson IoT 平台接收所有这些消息，监控此代理事件的 MQTT 订阅者获取所有数据并将其存储在 IBM Cloud 上的数据库服务中。

SmartHerd IoT 生态系统设计和构建的微服务被放置在 SmartHerd IoT 网关和 IBM Cloud 的网络边缘，其中延迟敏感的微服务和具有即时数据需求的微服务被放置在雾节点，其余的微服务被放置在云端，每个服务所需的资源需求都以有效的方式得到满足。雾节点还为农民提供了一个界面，来查看事件信息和其他相关传感器数据。

4.2.2 动物预警系统

SmartHerd 平台根据奶牛的活动对奶牛进行后期监控、分析，解决了奶牛养殖场景中的关键问题，在出现问题场景中，农民会及时收到需要关注和干预的奶牛活动警报，生成的警报包括以下内容：

- 发情检测：牛群繁殖是奶农最有利可图、最重要的活动之一，不仅对于维持常年产奶量很重

要，而且对于增加牛群规模也很重要。牛奶产量也在产犊后最初几个月后逐渐下降，最终干奶。于是准确识别发情动物至关重要，奶牛的这一周期为 21 天，而在这 3 周的周期中，确切的发情期仅持续一次，持续时间约为 18 小时，因此及时识别确切的发情期至关重要。

检测动物发情的准确方法之一是监测步态活动，这是一种越来越不安的行为，步态活动突然激增，表征奶牛发情期的开始，需要向农民需及时发出警报，以便他们在授精窗口期之前采取行动。

- 监测动物在集群之间的迁徙：并非所有奶牛处于休眠状态的情况都意味着生病，可能存在处于休眠状态且完全健康的奶牛，只要它们在群体中的行为在整个过程中保持一致。虽然奶牛可能会随着时间的推移在集群群体之间逐渐改变其行为，但潜在的担忧是动物从高或正常活动水平突然进入休眠状态，或者即使在休眠状态下其活动也突然下降。这可能表明突然生病、感染，或更常见的是跛行。

- 产犊警报：当接近分娩时，怀孕的母牛往往会寻找远离牛群的僻静地点休息，表现出躺卧时间增加。因此，当跟踪受精日期和怀孕阶段时，躺卧活动可以非常准确地提醒农民奶牛的产犊活动。

4.3 Comosum

4.3.1 部署

Comosum 架构的具体实例是农场基本输入输出系统 FarmBIOS，可以互换使用 FarmBIOS 和 Comosum。图 4 显示了 FarmBIOS 结构。

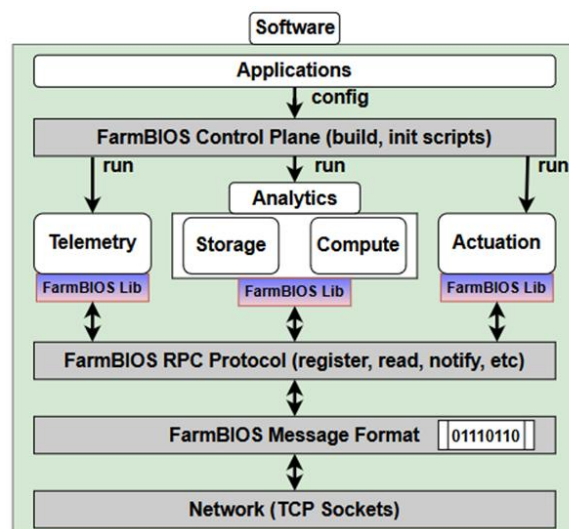


图 4 FarmBIOS - Comosum 的实现

为了简化资源受限环境的应用程序开发和分区，TinyLink^[6]和 EdgeProg^[7]公开高级 API 和

If-ThisThen-That(IFTTT) 语言, 与它们一致, Comosum 公开了用于与物联网平台连接的高级 API, 而无需深入了解底层网络和硬件。与 EdgeProg 使用 IFTTT 和 TinyLink 对类 C 语言应用程序开发的独家支持不同的是, Comosum 支持使用与模块共享的序列化协议兼容的任何语言进行模块开发。

在 FarmBIOS 结构的顶部, 应用程序向 FarmBIOS 控制平面指定软件配置, 该控制平面 (1) 提供适当的边缘和核心云计算和存储资源, (2) 实例化所需的模块, (3) 构建任何所需的 Docker 容器。根据应用程序的具体要求, 模块在边缘或核心云中部署和启动, 但并非每个应用程序都需要中间层的所有模块。这些应用程序配置是 Comosum 供应商中立性的核心。

FarmBIOS 库 (FarmBIOS Lib) 是 Comosum 模块抽象的实现, 该库允许自定义基本遥测、存储、计算和驱动模块类, 以适应不同应用程序的目的和配置。实际上, 该库应对与现场硬件和软件库永久弃用相关的挑战。FarmBIOS Lib 通过为一系列服务提供包装器来解决这一数据处理挑战。FarmBIOS Lib 是一个结构化的、独立于云的应用层。

FarmBIOS 以与网络无关的方式构建。这种实现选择对于数字农业平台的可扩展性非常重要。这些模块不知道本地和远程对等模块之间的差异。本地和远程操作需要模块向调度程序传递消息或从调度程序接收消息。调度程序的任务是根据控制平面配置将过程调用路由到适当的对等模块。远程过程调用(Remote Procedure Call, RPC)依赖于基于传输控制协议(Transmission Control Protocol, TCP)套接字的客户端-服务器架构, 该套接字由操作每个连接队列的选择器包装, 并且每个连接都通过隧道连接到对等模块。在这两种情况下, 任何数据通信都通过通用 FarmBIOS RPC 协议进行。底层 (TCP) 通信协议只有调度程序知道, 模块不知道。此外, RPC 协议对数据格式不做任何假设, 从而通过 FarmBIOS Lib 保持应用程序的数据自省/格式化灵活性。

Comosum 模块利用 OOP、UNIX、IPC 和其他直观语义。代表研究农场和传感器提供商之间技术兼容性谈判的数据格式的数量既笨重又容易发生意外的变化。因此, 与 Linux 文件抽象类似, Comosum 为模块间数据通信提供了统一的、字节可寻址的格式, 即 FarmBIOS 消息格式。这种格式是非结构化的平台层。主机操作系统最终会升级或

失去长期支持。Comosum 通过利用 Docker 和 Kubernetes 等应用程序编排工具实现了独立于主机操作系统。

4.3.2 CowsOnFitbits

CowsOnFitbits 是一个支持早期疾病预测模型的数据聚合组件, 可实现 97% 的训练准确度。

边缘云是一台运行 Windows 10 Enterprise 操作系统的农场个人电脑。该操作系统在其 Windows Subsystem for Linux (WSL) 上部署了 Docker 引擎。边缘通过 1Gbps 以太网连接连接到供应商云和大学云。

CowsOnFitbits 利用 FarmBIOS 模块。传感器报告由提供商通过文件传输协议(File Transfer Protocol, FTP) 转储到边缘云来提供。遥测模块不断轮询本地磁盘, 等待 FTP 转储。新报告触发遥测模块的通知函数调用, 进而通知其本地计算模块。遥测模块的读取方法由计算模块调用。计算模块聚合来自多个流的传感器数据, 并将其存储在私有云中, 其中一个模块公开 REST API, 用于机器学习(Machine Learning, ML)应用程序的数据访问和查询。在云中, 可以通过农场唯一的奶牛 ID 在数据流中识别奶牛。存储调用是对操作 Cassandra 数据库的中间非 FarmBIOS 模块进行的。

供应商方面未宣布的 API/格式更改(通常每隔几周发生一次)会在 FarmBIOS Lib 中引入重大更改。API 重大更改影响了特定于供应商的应用程序层更改(即中断)的 API。FarmBIOS 通过与供应商无关的层隔离来容忍这些 API 更改, 这些层使用非结构化文件来存储来自供应商的数据以及可以根据最新供应商接口定义解释非结构化数据的方法。CowsOnFitbits 系统在大约一天内适应了最近的变化。这需要对应用程序进行少量更改并部署新的 Docker 容器。

4.3.3 WineGuard

WineGuard 是一个用于葡萄病害检测的数据分析平台; 训练准确率高达 86%。WineGuard 的传感器数据源自 2020 年 9 月使用 NASA 机载可见光/红外成像光谱仪 (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer, AVIRIS) 飞越加州葡萄园的飞机。光谱传感器数据可从 NASA 云公开访问。AVIRIS 数据与来自同一时期选定叶子的分子测试的疾病真实数据合并。合并后的数据将上传到 Azure 云以进行实验检索。

WineGuard 使用 FarmBIOS 模块如下。我们

为 Azure ML 构建了一个包装器来启动可重新配置的模型训练通道。发出计算模块的分析命令后，将部署配置以进行训练。

无论训练位置如何，模型精度都相对稳定，并且正如预期的那样，使用本地数据在边缘进行训练所需的运行时间最少。修复边缘位置时会产生 31% 的运行时开销，这是由于从云端下载训练数据的初始“预热”造成的。在最好的情况下，基于云的训练和推理是即时的。

5 总结与展望

通过深入研究农业领域中的智能化技术应用，观察到智能技术在农业领域的多样化应用，涵盖了土壤监测、牲畜健康管理、气象感知等方面。这种多样性为农业生产提供了更全面的数据和智能化决策支持；通过分析 FarmBeats、SmartHerd、Comosum 等数字农业物联网平台在实际农场中的成功部署可以看出这些系统不仅提高了生产效率，还改善了资源利用和农业可持续性；数字农业物联网平台通过传感器、监测设备和大数据分析，为农民提供了更准确、实时的信息。这使得农业决策更加科学和可持续，有助于最大化农田产量和优化资源利用。

尽管数字农业物联网平台取得了显著进展，但我们也发现一些挑战，如通信范围、数据隐私、成本降低和定位与跟踪。未来的研究和发展需要解决这些问题，以进一步推动智能农业的发展。

综上所述，数字农业物联网技术在不断创新和进步中为现代农业注入了新的活力，为农民提供了更多工具来应对日益复杂的农业环境。在未来，我们期待看到更多可持续、智能的农业实践，以满足不断增长的全球食品需求，并为农业可持续发展开创新的篇章。

参考文献

- [1] Dr. Rashmi Sharma, Vishal Mishra, Suryansh Srivastava. Enhancing Crop Yields through IoT-Enabled Precision Agriculture. 2023 International Conference on Disruptive Technologies (ICDT). Greater Noida, India,2023,279-283.
- [2] Nikhat Parveen, Suresh N S, Balachandra Pattanaik, Balamurugan D. Data Aggregation in IOT Networks for Energy Constrained Applications. 2023 International Conference on Disruptive

Technologies (ICDT). Greater Noida, India,2023, 144-147.

- [3] Deepak Vasisht, Zerina Kapetanovic, Jongho Won, Xinxin Jin, Ranveer Chandra, Ashish Kapoor, Sudipta N. Sinha, Madhusudhan Sudarshan. FarmBeats: An IoT Platform for Data-Driven Agriculture. 14th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation. Boston, MA, USA,2017,515-529.
- [4] Mohit Taneja, Nikita Jalodia, John Byabazaire, Alan Davy, Cristian Olariu. SmartHerd management: A microservices-based fog computing-assisted IoT platform towards data-driven smart dairy farming. Software: Practice and Experience.2019,49(7): 1055-1078.
- [5] Gloire Rubambiza, Shiang-Wan Chin, Mueed Rehman, Sachille Atapattu, José F. Martínez, and Hakim Weatherspoon. Comosum: An Extensible, Reconfigurable, and Fault-Tolerant IoT Platform for Digital Agriculture. 2023 USENIX Annual Technical Conference. BOSTON, MA, USA,2023,197-214.
- [6] DONG, W., LI, B., GUAN, G., CHENG, Z., ZHANG, J., AND GAO, Y. TinyLink: A Holistic System for Rapid Development of IoT Applications. ACM Transactions on Sensor Networks.2020,17(1): 2:1–2:29.
- [7] LI, B. AND DONG, W. EdgeProg: Edge-centric Programming for IoT Applications. In 2020 IEEE 40th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS) , Singapore, Singapore ,2020, 212–222.

附录

问题一：为什么选择这篇论文？

因为我是一名非计算机学院的学生，也没有什么计算机的理论基础，在选择论文的时候，看见其他的论文专业名词有点发怵，而且由于家里是农村农民的原因，对于数字农业这个内容比较感兴趣，所以选择了这篇论文。

问题二：目前生活中农村面对网络环境差的解决方法有什么？

政府建设了许多农村网络基础设施，包括建设农村宽带网络和提升通信基站覆盖，以解决农村地区的网络连接差问题。

无线通信技术的改进也可以改善网络环境差的问题。例如文中列出的 IEEE 802.15.4、蓝牙、WiFi、蜂窝网络、LoRa、SigFox 等。

在农场内建设局域网，通过本地网络进行农业物联网设备的连接和数据传输，从而降低对外部互联网的依赖性。

问题三：Comosum 是如何解决供应商锁定的？

Comosum 数字农业物联网平台是利用分布式云，来解决供应商锁定的。Comosum 分布式云由边缘云、核心云和供应商云组成。边缘云提供更接近数据源的存储和计算；核心云和供应商云提供更多的存储和计算能力。因为一些数据必须从传感器供应商的服务器中提取，而不能直接从 Comosum 提取的传感器中获取，所以不能舍去供应商云这一部分。但可以通过将边缘云、核心云与供货商云进行分离，只需要供货商服务器提供一些基础的数据和简单的操作，而不过度依赖供货商服务器对数据进行更多的分析，将数据的分析过程转移到边缘云与核心云中，从而实现供应商中立性，解决供应商锁定问题。