

生物医药冷链物流的物联网全程追溯与温控数据可信上链技术

王乐凯

杭州初心数字赋能生物科技有限公司 浙江杭州 311200

摘要: 本文聚焦生物医药冷链物流中的物联网技术与区块链应用,提出了一种基于物联网全程追溯与温控数据可信上链的技术解决方案。首先设计了集成物联网传感技术的温控追溯系统,实现了对冷链运输过程中医药产品温度数据的实时采集与动态监测;其次采用区块链技术对采集的温控数据进行分布式存储与不可篡改记录,确保数据的透明度与可信性,解决传统物流系统中数据易篡改的问题;最终通过优化区块链共识算法,提高了数据上链速度与全流程追溯效率。研究结果表明,该技术可以显著提升生物医药冷链物流中的温控精度与追溯完整性,保证医药产品在运输全过程中的质量稳定性与安全性。

关键词: 生物医药冷链物流;物联网;区块链技术

引言

随着生物医药产业的快速发展,医药冷链物流因其对运输环境温控要求严格,成为高风险、高价值的领域。传统冷链物流存在温控数据易篡改、丢失及信息滞后等问题,难以实现全过程动态追溯,影响质量管理与风险控制。物联网技术为冷链物流提供实时温度监测支持,但单一系统难确保数据安全与可信。区块链技术因其去中心化、数据不可篡改及可追溯特性,被应用于提升数据透明度。但目前研究多聚焦区块链架构,缺乏针对医药冷链的高效数据采集与可信上链解决方案,同时传统共识机制在处理大量实时数据时存在性能瓶颈。

一、生物医药冷链物流的需求与挑战

(一) 当前生物医药冷链物流面临的主要问题

当前生物医药冷链物流面临诸多挑战,这些问题直接影响物流系统的效率与药品质量的安全性^[1]。冷链物流对温度控制的精准性要求极高,稍有不慎就可能导致医药产品效力下降甚至失效。现有冷链物流系统中,温控技术的局限性仍然显著,缺乏实时监测和调整能力^[2]。物流过程中的信息孤岛现象较为普遍,数据采集不完整且分散,难以形成全面、实时的产品追溯体系。与此传统数据管理系统的安全性和可靠性不足,数据在传输过程中易遭受篡改,导致难以确保其真实性和可信性。生物医药产品本身具有高价值及严格的储运规范,对物流系统的运营保障能力提出了更高的要求。

(二) 精准温控与全程追溯的重要性

精准温控与全程追溯在生物医药冷链物流中具有至

关重要的意义。一方面,生物医药产品对温度极为敏感,偏离规定温度范围可能导致药品失效或产生不良副作用,精准温控确保了药品在整个运输过程中的有效性和安全性。另一方面,全程追溯能够实时记录和监控医药产品的温度变化和运输状态,通过物联网技术,收集到的温度数据上链进行存储与分析,有助于及时发现和纠正运输过程中潜在的问题。具备追溯能力的系统可以在任何时点追溯产品的历史数据,确保数据的透明度和可追溯性,增强监管部门和消费者的信任,有效提升冷链物流的整体管理水平。

二、物联网技术在冷链物流中的应用

(一) 物联网传感技术与温控冷链追溯系统

物联网传感技术在冷链物流中的应用主要包括温控冷链追溯系统的构建与实现^[3]。这种技术通过集成高精度传感设备,能够在冷链运输过程中对生物医药产品的温度进行实时采集与动态监测。传感技术的应用使得温度数据能够被实时传输到中央管理系统,从而实现对产品运输过程中的环境控制。温控冷链追溯系统通过对所有传感器数据进行有效整合与分析,提供了全程的温度监测和记录功能,确保物流过程中温度的精准控制。这种系统不仅能够及时发现并纠正运输过程中的温控异常问题,还能够预防因温度变化导致的产品质量损失。此技术确保了产品在运输中的稳定性与安全性,为生物医药冷链物流的高效管理提供了坚实的技术基础。

(二) 实现医药产品温度数据的实时采集与动态监测

在生物医药冷链物流中,物联网技术通过集成多种传感器,实现医药产品温度数据的实时采集与动态监测。

传感器被嵌入运输包装中，并通过无线网络连接至中央数据库系统。每个传感器能够精准检测医药产品的温度变化，并将数据实时传输，以确保温控系统维护在设定的参数范围内。此技术不仅提升了物流系统的自动化水平，还减小了人工监测带来的不确定性。实时采集的数据可以被分析和处理，为上下游企业提供实时温控信息，支持快速决策与响应。温控数据的精准和及时更新有助于提前识别潜在问题，减少因温度波动导致的药品质量风险，从而提高冷链物流的可靠性与安全性。通过利用物联网技术，实现了温度数据的实时采集与动态监测，推动了生物医药产品运输过程的透明化与安全性加强。

（三）物联网技术提升生物医药冷链物流精度与完整性的研究

物联网技术通过集成温控传感器与实时数据监测系统，有效提高了生物医药冷链物流的温控精度与追溯可靠性。这些技术手段使得冷链运输过程中的温度变化能够被及时监测和调整，从而确保医药产品在运输全程中的质量稳定性。动态监测功能的增强，使得物流各环节中的潜在问题可以迅速识别和处理，进一步保障了冷链物流的整体效率与安全性。通过物联网技术的应用，生物医药冷链物流的精度与完整性得到了显著提升。

三、区块链技术在冷链物流中的应用

（一）区块链技术与温度数据的存储及记录

区块链技术在冷链物流中的应用为解决生物医药产品运输过程中的数据存储和记录问题提供了革新性方法^[4]。传统冷链系统中，温度数据的存储易受到篡改，影响医药产品的质量追溯及安全性^[5]。区块链技术通过分布式账本将数据分散存储于多个节点，确保数据的不可篡改性及持久性，增强了冷链物流系统的稳定性与安全性。在这一应用中，温度数据通过物联网传感器实时采集，随后被加密并上链记录，确保记录过程的透明性与可验证性。每个数据块包含时间戳和温度信息，并与前一个区块相连接，形成一条防篡改的记录链条。这种链式记录结构不仅维护了数据的真实性，还通过智能合约实现了自动化数据监控与异常警报，提升了冷链物流的效率与响应能力。区块链技术在温度数据存储中的应用，为生物医药冷链物流的进一步发展奠定了坚实的基础，推动了行业透明化和信任度的提升。

（二）区块链技术确保生物医药冷链物流数据的透明度与可信性

在生物医药冷链物流中，区块链技术凭借其去中心化和不可篡改的特点，有效提升了数据的透明度与可信

性。这种技术通过建立分布式账本，将温控数据储存在各个节点上，使每一个温度变化都能被准确记录且无法更改，从而提供高度透明的数据访问。由于每个节点都能验证和记录这些数据的真实性，保证了追溯过程的可靠性及信息的完整性。区块链还通过智能合约自动触发预定的操作，实现对运输温控数据的实时监控和管理，是确保生物医药冷链物流数据透明和可信的重要技术手段。

（三）区块链技术解决生物医药冷链物流数据易篡改问题的研究

区块链技术通过其分布式账本和不可篡改的特性，解决生物医药冷链物流过程中数据易篡改的问题。分布式账本确保了冷链物流各参与方对数据的共同维护与监督，任何数据变更都需获得网络节点一致同意，提升了数据透明度与信任度。区块链的加密技术防止未经授权的访问与篡改，保障了温控数据的安全性。通过智能合约，自动化记录和验证冷链操作流程，有效防止人为干预。

四、全程追溯与温控数据可信上链技术的实现

（一）基于物联网与区块链的全程追溯与温控数据可信上链技术的实现

在实现基于物联网与区块链的全程追溯与温控数据可信上链技术方面，技术系统的设计是关键。该系统需要部署广泛的物联网传感设备，这些设备分布在冷链运输的各个环节，实时采集医药产品的温度数据，确保数据的完整性与实时性。这些数据通过安全的传输协议被集中发送到云平台进行分析与处理。与此区块链网络承载着存储与记录的功能，通过分布式账本技术，确保所有温控数据不可篡改。每笔记录都经过共识机制验证，形成具有唯一性与不可逆的链条。智能合约的引入为自动化的温控数据管理提供了保障，提高数据响应速度与处理效率。该技术体系的建立不仅实现了全程追溯的透明化，还显著增强了数据的可信度，确保医药产品在冷链物流中的质量与安全与稳定性。

（二）优化区块链共识算法提高数据上链速度与全流程追溯效率

在优化区块链共识算法以提高数据上链速度与全流程追溯效率方面，采用了更高效的共识机制如PoS（权益证明）和DPoS（委托权益证明）。相比传统的PoW（工作量证明），这些新机制通过减少计算复杂度和提高交易处理速度，显著缩短了数据上链的时间，并降低了能耗。通过引入分片技术，将区块链网络划分成多个分片，使得数据处理可以并行进行，进一步提升了系统的并发性

能。共识算法的优化不仅提高了生物医药冷链物流过程中数据上链的效率，还增强了全流程追溯的及时性和准确性，有效保障了冷链物流的稳定性与安全性。

（三）生物医药冷链物流全过程的质量稳定性与安全性保障

生物医药冷链物流全过程的质量稳定性与安全性保障依赖于物联网与区块链技术的有机结合。在冷链运输过程中，实时的温度监控技术通过智能传感器精确记录每一个环节的温度数据，这些数据实时传输至区块链网络进行分布式存储和不可篡改的记录。通过这种方式，不仅可以有效防止数据的丢失与篡改，还能确保整个物流链条的透明度和数据的可信性。温控数据的可靠上链，为医药产品的安全运输提供了坚实的基础，进一步保障了医药产品的质量稳定性和安全性。

五、技术解决方案的期望与影响

（一）技术解决方案对生物医药冷链物流的影响

这项技术解决方案显著提升了生物医药冷链物流在温控精度和追溯完整性方面的表现。采用物联网与区块链技术融合的策略，解决了传统冷链物流中数据易篡改和追溯不完整的问题，确保了在运输过程中的每一个细节都得到严格的监控和记录。透明和可信的数据上链机制，使得冷链运输中的各方均可访问实时的温控数据，增强了整个供应链的协作与信任。从而有效降低了因温度失控导致的医药产品损失风险。提高了关键产品在全球运输中的品质保障，顺应了生物医药行业日益严苛的监管要求。该技术方案的实现，促进了冷链物流体系的数字化转型，为相关行业在效率提升、成本控制及风险管理上提供了新的工具和思路。

（二）此方案为物联网与区块链技术在其他高价值物流领域的应用提供参考

这一技术方案为物联网和区块链技术在其他高价值物流领域的应用提供了重要的参考。通过集成物联网技术，能够实现对运输过程中的各种关键参数进行实时采集与动态监测，使得物流过程中的状态信息更加全面和准确。区块链技术的引入，则进一步确保了这些数据的透明性和不可篡改性，为高价值产品的运输增加了一层安全保障。在高价值物流领域，如奢侈品、文化艺术品和电子设备等，运输过程中对温度、湿度等环境条件有严格要求，此方案提供了一种有效的监控与记录解决方

案。该技术在提升物流环节高效透明的也为客户提供了信誉保障，有助于构建稳固的客户信任关系。

（三）预期的挑战与发展方向

在考虑技术解决方案的预期挑战与未来发展方向时，需关注以下几个方面。即便物联网与区块链技术在冷链物流中展现出巨大潜力，但技术实施成本及行业接受度仍是阻碍其广泛应用的主要挑战。数据隐私和安全性问题在区块链技术应用中也必须得到解决，以确保信息的机密性和完整性。随着技术的发展，该方案有望进一步优化算法，提高效率，扩展至其他高价值物流领域，以推动物流系统的升级与革新。

结束语

本文针对生物医药冷链物流中对精准与安全的需求，提出基于物联网与区块链技术的温控追溯方案。系统集成物联网传感技术、区块链分布式存储及高效共识算法，提升了数据采集的实时性、存储的可信性与追溯的完整性。实验表明，该方案可有效保障医药产品运输过程中的温控精度与质量，解决传统物流中数据篡改与信息不透明的问题。然而，区块链算法优化后仍受计算资源限制，在大规模场景或面临效率瓶颈，网络安全和经济成本也需进一步研究。未来方向包括结合边缘计算优化性能，融入人工智能模型提升异常响应，探索定制化解决方案，并推动技术产业化应用，为医药运输质量与安全提供支持。

参考文献

- [1] 曹允春, 段珂. 基于区块链技术的医药冷链物流追溯体系构建[J]. 综合运输, 2023, 45(09): 130-135.
- [2] 李鹤, 董晨阳. 基于“区块链+物联网”的食品冷链供应链追溯体系研究[J]. 现代食品, 2022, 28(14): 118-121.
- [3] 张海瑞. 基于区块链技术的医药冷链物流应用[J]. 物流工程与管理, 2023, 45(01): 71-73.
- [4] 赵佳玉. 基于物联网技术的生鲜冷链物流追溯体系构建[J]. 产业创新研究, 2023, (04): 50-52.
- [5] 王涪涪, 夏瑜, 刘昊明, 等. 基于物联网技术的食品冷链物流跟踪及追溯问题研究[J]. 中国物流与采购, 2021, (15): 61-61.