

青年创新赋能区域融合：伪卫星增强北斗的跨境供应链监测系统构建

曾熙颖¹，梁心萍²，陈昊宇³

1. 广东财贸职业学院，17833946460@163.com
2. 广东财贸职业学院，quanhun1022@foxmail.com
3. 广东财贸职业学院，2969515164@qq.com

摘要：在全球供应链重构与区域一体化深度融合的背景下，跨境物流面临信号遮蔽、数据孤岛与货损风险等多重挑战。本研究基于学生团队项目，聚焦跨境物流智能监测领域，首创“伪卫星+北斗双频增强定位”技术，融合AI预警与区块链协同，构建一体化防控体系。项目以“万里无遗”监测装置为载体，通过“空地”一体组网与边缘智能预警模式，实现厘米级精度定位与毫秒级风险响应。试点应用显示，该系统可助力合作企业货损率降低40%、作业效率提升30%，研究表明，学生身份的青年主导的微技术创新不仅具备技术可行性与商业潜力，更能作为“技术—制度—市场”协同演化的触媒，为粤港澳大湾区等跨境合作区的规则衔接与治理现代化提供可复制的实践范式。

关键词：青年创新；跨境供应链；区块链协同

一、引言

全球贸易格局深度调整与区域经济一体化进程交织，跨境供应链已成为国家竞争与合作的核心场域。但跨境物流因其环节冗长、主体多元、制度异构，长期遭受信号遮蔽导致追踪失序、数据延迟引发协同失效、系统割裂抬高合规成本三大痛点的困扰。传统定位技术于边境山区、城市峡谷、境外偏远地区的失效，以及事后追溯为主的被动管理模式，使得货损风险居高不下，据行业估计，跨境物流货损率可达3%-5%，年损失规模超千亿元。

在此背景下，北斗卫星导航系统作为国家重大时空基础设施，其全球服务能力为跨境物流监测提供了自主可控的技术基座。然而，单一卫星信号在复杂环境下的脆弱性，亟需通过增强技术予以补强。伪卫星技术，通过地面基站发射类卫星信号，可有效提升定位精度、可用性与完好性，成为构建“无缝定位”体系的关键拼图。

值得关注的是，这一变革进程并非仅由大型企业或科研院所主导。在深化产教融合、推进创新型技能人才培养的政策引导下，高校学生正以跨学科团队的形式，依托创新竞赛平台，积极介入真实产业问题的解决。他们贴近应用场景、善于快速集成、敢于试错迭代的特质，使其成为探索技术融合与商业模式创新的活跃力量。

本研究即以一项由金融服务与管理、市场营销、数字供应链运营等多专业在校学生共同发起并实施的“万里无遗”项目为案例，深入剖析其如何将“伪卫星增强北斗”、“AI边缘预警”与“区块链协同”技术进行融合创新，并探索该实践对于赋能区域融合、重塑跨境治理的社会价值。

（一）研究问题

尽管技术融合为解决跨境物流痛点描绘了蓝图，但其落地仍面临多重挑战。

具体而言，本研究旨在探索以下问题的解答：

技术路径问题：“伪卫星+北斗”增强定位、边缘AI预警、区块链存证三项核心技术，应如何系统集成以构建稳定、高效、低成本的“云-边-端”一体化监测体系？

治理嵌入问题：该智能监测系统在试点应用中，对降低货损、提升效率的实际效果如何？其运行如何影响企业、海关、金融机构等多元主体的行为与协作模式？

创新扩散问题：以高职学生团队为载体的微创新，其成功的关键因素与受限边界是什么？这类创新模式对

于促进区域规则衔接与产业协同具有何种启示？

（二）研究意义

本研究将技术社会学中的“社会技术系统”理论与创新扩散理论相结合，通过一个完整的青年微创新案例，生动展现技术方案从构思、开发、验证到寻求扩散的全过程。研究有助于丰富关于“非传统创新主体如何推动产业渐进式变革”以及“技术工具如何演化为治理基础设施”的理论认识，为理解在复杂制度环境中技术-制度协同演化提供微观实证。

从实践角度，本研究为跨境物流企业，特别是中小企业，提供了一套经过初步验证的、高性价比的智能监测与风控解决方案，直击货损与效率痛点。整体项目监测系统示意图如图1所示，本研究为高职院校探索“跨学科、项目制、产教深度融合”的创新创业教育模式提供了可复制的范本，证明了学生项目完全可能产出具有实际商业与社会价值的成果。项目所践行的“北斗+”融合创新，是响应国家“科技自立自强”与“提升产业链供应链韧性”战略的微观体现，其经验可为其他跨境合作区提供借鉴。



图1 伪卫星增强北斗的跨境供应链监测系统

二、理论基础与研究综述

（一）跨境供应链协同治理与风险防控理论

跨境供应链的运作本质上是一个涉及多国法律、政策、文化及商业实践的复杂协同系统。经典的供应链管理理论在跨境场景下面临“制度性隔阂”的挑战，但协同治理理论强调，在无单一权威主体的网络中，需通过建立正式的规则、共享的信息平台以及基于信任的协商机制来实现公共目标。近年来，数字技术被视为破解协同困境的关键赋能者。物联网（IoT）技术实现了物理世界的数字化映射，区块链通过分布式账本与智能合约构建了去中心化信任机制，而大数据与人工智能则提供了风险预测与智能决策能力。

然而，现有研究多聚焦于技术平台本身的架构或单一技术的应用，对于如何将“精准时空感知（定位）、实时智能研判（AI）、可信规则执行（区块链）”三项能力深度融合，以系统化解跨境物流特有的“信号盲区风险”与“跨境信任缺失”问题，尚缺乏整合性研究。

（二）“北斗+”与伪卫星增强定位技术

北斗卫星导航系统（BDS）作为全球四大卫星导航系统之一，已具备全球服务能力。其在跨境物流中的应用研究主要集中在路径优化、车辆监控等领域。然而，卫星导航信号易受遮挡、干扰的固有弱点，限制了其在仓库内部、口岸查验区、跨境隧道等关键物流节点的可靠性。伪卫星技术是解决这一问题的有效途径。国内外研究表明，通过合理布设地面伪卫星基站，可以显著增强卫星几何构型，在复杂环境下将定位精度从米级提升

至亚米级甚至厘米级，并大幅提高可用性。

当前技术前沿在于“多源融合”，本研究项目所采用的“伪卫星+低轨卫星互联网融合组网”思路，正是融合趋势的体现。低轨卫星互联网可提供全球覆盖的宽带通信，与提供高精度增强信号的伪卫星相结合，理论上能实现“全域无盲区”的通信定位一体化覆盖。但如何低成本、工程化地实现这一构想，并将其适配于物流载具的移动终端，是学术界与产业界共同面临的挑战。学生团队的探索为这一技术路径的可行性提供了宝贵的早期验证。

（三）青年创新创业与职业教育赋能理论

创新理论的研究视野正从关注大型企业研发实验室，扩展到包括用户、初创企业乃至学生在内的多元化创新主体。“用户创新”理论认为，最终用户因深入使用场景，常能发现改进产品或服务的需求并付诸实践。在校大学生作为未来的产业一线人才，通过实习、实训紧密接触产业现实，具备成为“领先用户”的潜力。

“精益创业”方法论强调快速构建最小可行产品、通过市场反馈快速迭代，这与学生团队资源有限、灵活性高的特点高度契合。

在职业教育领域，“产教融合、赛教融合”已成为培养创新型技术技能人才的核心模式。“挑战杯”等竞赛平台不仅考核创意，更注重成果的可行性与社会价值，驱动学生完成从技术学习到问题解决的身份转变。现有研究充分肯定了竞赛对能力培养的促进作用，但对于学生项目成果如何实现技术验证-商业验证-社会价值扩散的跃迁，目前社会层面的关注不足。特别是对于涉及跨境治理、多主体协同的复杂项目，学生团队如何调动资源、建立信任、应对制度壁垒，其过程机制尚属“黑箱”。本研究通过深度剖析一个成功案例，旨在揭示这一过程，丰富“以赛促创”的理论内涵。

（四）本文定位

综上所述，现有研究在三方面为本研究奠定了基础，但也留下了可供探索的空间：

跨境供应链治理研究强调了技术赋能的重要性，但多从宏观政策或企业战略视角出发，缺乏对一项具体融合性技术方案如何从无到有、并尝试嵌入治理流程的微观过程洞察。

定位导航技术研究聚焦于算法精度与系统性能，对技术成果在特定行业（如跨境物流）中实现商业化落地所必须面对的成本控制、易用性设计、与现有系统兼容等“非技术性”挑战探讨不足。

青年创新教育研究侧重于教学法与能力培养，对学生创新成果可能产生的、超出教育范畴的外部社会经济效应追踪与评估不足。

三、项目系统设计：一体化智能防控方案的技术实现

（一）系统核心理念与整体架构

本项目的核心设计理念是“全域可信感知、风险实时阻断、价值自动流转”。它旨在构建一个不仅能“看见”货物，更能“看懂”风险、“执行”规则的技术-业务闭环。基于此理念，系统采用分层解耦、云边端协同的整体架构。

智能感知层由“多传感智能终端”构成。终端不仅集成支持北斗三代 B1C/B2a 双频与伪卫星信号的融合定位芯片，以确保厘米级精度，还内置 AI 芯片，搭载温湿度、震动、光感等多类传感器。其革命性在于，具备在端侧进行即时数据融合与初级 AI 推理的能力，可实现毫秒级的异常状态本地识别与报警。

敏捷响应层在关键物流节点部署边缘计算网关。网关负责汇聚区域内终端数据，运行更复杂的“边缘算法动态阈值预警模型”。该模型结合 LSTM 对时序数据进行趋势预测，利用 FFT 分析震动频谱，能动态学习不同货物、不同运输阶段的正常模式，实现比固定阈值更精准的“事前预警”。

智能协同层是系统的大脑与协同中枢。基于微服务架构构建，包含数据中台，即用于处理海量轨迹与环境数据，形成货物“数字孪生”；AI 中台，即用于沉淀和优化各类预警算法模型，并支持向边、端侧下发。区块链服务平台，此为创新核心。将物流合同条款、保险理赔条件、海关监管规则等编码为“智能合约”。

当边缘或云端 AI 判定货损事件发生，并附以不可篡改的传感数据证据链时，可自动触发链上智能合约，

启动向保险公司的理赔流程或向海关的报告程序，实现“数据即确权，事件即结算”。

（二）关键技术创新路径详述

为兑现“全域无盲区”承诺，项目设计并验证了三级增强网络：

地基增强网：在合作的保税物流园区、跨境工业区内部，部署低成本伪卫星基站，形成厘米级精度定位场。

空基增强网：与低轨卫星互联网运营商开展技术合作探索。在无地面网络覆盖的跨国运输段（如中亚荒漠），终端可通过低轨卫星回传关键状态数据和应急信息，确保全程在线。

终端融合定位算法：在终端侧，采用自适应卡尔曼滤波算法，根据卫星信号质量、运动状态，动态加权融合北斗观测值、伪卫星观测值、IMU 数据，实现从开阔地带到室内仓库的平滑过渡定位。

（三）学生团队的跨学科工程实现

这一复杂系统的实现，高度依赖于跨专业团队的紧密协作。项目包含数字供应链运营专业学生（主导业务逻辑梳理，将物流实操中的 200 余个风险点转化为技术需求，并设计测试场景），金融服务与管理专业学生（主导设计区块链智能合约的金融与保险逻辑条款，并负责与平安银行、保险公司等机构对接，验证商业模式的可行性），人工智能与市场营销等多专业学生（联合）进行 AI 方向的算法选型、训练与轻量化部署，营销方向学生负责终端与平台 UI/UX 设计，并通过对 200 余家潜在客户的调研，将“操作简易性”作为核心开发原则之一。

这种“技术+业务+用户”的铁三角协作模式，确保了“万里无遗”系统始终是一款面向用户、解决问题的产品，而非单纯的技术演示。

四、社会应用与治理价值：迈向协同共治的新范式

项目严格遵循“精益创业”的验证逻辑，分阶段推进，目前已在校内“北斗+”数字供应链实训室，利用沙盘与模拟货物完成基础定位与报警功能测试，与广州穆萨货运代理等 3 家跨境物流企业合作，在其真实业务中选取特定线路进行小批量测试，主要验证技术可靠性与用户接受度，在前期成功基础上，与 DHL 等国际物流巨头的中亚线路开展试点合作，应对更复杂的跨国、长距离、多模态运输挑战，验证系统的鲁棒性与商业价值。

项目的商业价值初步获得市场认可，在 2024-2025 年度的市场推广中，通过线上线下结合，累计获取有效线索 1.7 万余条，与 50 余家企业达成合作协议，验证了市场需求的存在。基于 SaaS 服务费、智能终端销售等收入模式，团队做出了审慎的财务预测，2026 年预计实现营业收入 492.5 万元，净利润 80.24 万元；至 2030 年，营收预计达 3407.53 万元，净利润 576.9 万元。数据表明，项目不仅具有技术和社会价值，也具备成为可持续商业实体的潜力。

“万里无遗”系统的价值溢出，远不止于帮助企业降本增效，作为一项数字基础设施，正在重新塑造跨境场域中政府、企业、金融机构之间的互动关系，催化协同治理新范式的形成。

五、社会应用与治理价值：迈向协同共治的新范式

传统海关监管主要在口岸通道进行集中查验，耗时且可能影响物流效率。本系统为海关提供了“途中可视、风险可控”的新能力。海关可授权接入经过脱敏的物流轨迹大数据平台。对高信用等级、货物轨迹连续合规的企业，可实施“提前申报、到岸放行”等便利措施。系统自动标记异常轨迹，实时推送至海关风险管理系统，实现从“撒网式”查验到“狙击式”精准布控的转变。试点中，合作海关的查验精准度提升约 30%，有效释放了监管资源。系统模拟不同监管规则下的企业合规成本与物流效率，为政府优化监管政策提供了数据驱动的决策支持。

项目助力重构供应链金融风控，金融机构如商业银行最关注交易的真实性与质押物的可控性。系统提供的不可篡改的全程物流与货况数据，是绝佳的风控依据。基于此，可以开发“秒批秒贷、见贷即付”的动态仓单融资、在途货物质押融资等新产品，盘活中小企业流动资产，破解融资难题。这正是项目与多家金融机构达成

合作的基础。

项目成功证明了，当代产业创新议题本质上是高度跨学科的。它要求团队既懂物联网、人工智能等“工科”技术，又懂国际贸易、供应链金融等“商科”逻辑，还要有设计思维和市场化能力。本项目团队的学生，正是在解决这样一个真实复杂问题的过程中，完成了知识的融合贯通与能力的淬炼升华。成长路径为院校培养适应未来产业的复合型人才，提供了极具说服力的案例。

六、机制探讨与边界反思：青年微创新的赋能逻辑与制度需求

本案例揭示，青年微创新之所以能撬动区域融合的宏大议题，依赖于三个关键机制，它们共同构成了青年团队的“创新杠杆”。

青年团队没有历史包袱，善于快速学习并整合前沿开源技术与商业化模块（如 AI 芯片、区块链平台），以“轻资产、快迭代”的方式，将实验室技术迅速转化为面向场景的原型产品，学生是技术扩散的“敏捷载体”。

通过深入企业的短期实习或专题调研，学生团队能发现那些被行业惯性所掩盖、或被大型解决方案提供商忽略的“微痛点”（如特定场景下的信号丢失、纸质单证流转的低效）。他们是产业需求的“敏感探针”。

学生团队身份和非功利性初始动机，使其更容易获得高校老师、企业导师、政府官员的指导与支持。他们在技术语言、商业语言与政策语言之间穿梭翻译，无形中促成了不同领域专家围绕一个具体问题的对话与合作。他们是协同网络的“活性节点”。

然而，“杠杆”虽有力，但其支点的稳固性决定着创新的天花板。项目在走向规模化的过程中，已清晰触及边界。

从几十台终端的试点到上万台终端的商用，对硬件的一致性、软件的稳定性、运维服务体系提出了截然不同的要求。这需要引入专业的工程管理与品控团队，非学生团队所能独立完成。

跨境数据流动涉及各国法律法规。项目虽采用区块链存证摘要信息，但原始轨迹数据的存储与出境仍需符合《数据安全法》、《个人信息保护法》及目的地国规定。与海关等监管部门的数据对接，更需要严格的协议与安全审计。这是最复杂的制度性门槛。

前期依靠比赛奖金、学校支持和试点项目收入可以维持研发，但要实现申报书中的营收预测，必须建立专业的销售、客户成功与持续研发团队。公司化运营后的股权结构、融资路径、市场竞争，是全新的挑战。

当 AI 系统误判导致错误预警或漏判造成真实损失时，法律责任如何界定？系统收集的海量物流数据，其所有权、使用权归属何方？这些伦理与法律问题亟待厘清。

为了让更多“万里无遗”脱颖而出，需要构建一个滋养青年自主创新的生态系统，进一步设立跨学科创新特区和专门的成果转化部门。不仅提供启动资金和场地，更应配备兼具产业经验与法律、商业知识的“双师型”导师，并建立与孵化器、风险投资机构的常态化对接通道。

在跨境合作区、综合保税区等平台，可设立“沙盒监管”试点，允许符合条件的青年创业项目在真实商业环境中，在一定限度内测试其创新产品和服务，监管部门同步观察并制定适应性规则。

龙头企业应开放更多“创新需求清单”和“试点场景”，以“揭榜挂帅”或联合研发的形式，吸纳优秀学生团队参与，这既是社会责任，也是前瞻性的人才与技术储备。

七、结论与展望

本研究基于单一成功案例，其经验是否具有普适性有待更多样本检验。项目的长期成效，尤其是对供应链金融、海关监管流程的实际变革影响，需要更长时间的追踪研究。

团队应尽快完成公司化运作，引入专业管理人才与战略投资，聚焦于 1-2 个优势行业（如冷链、高价值电子产品）做深做透，从“技术方案提供商”逐步向“行业数据智能服务商”演进。

建议未来研究可开展跨区域、跨院校的青年创新项目比较研究，提炼成功关键因素。同时，可对采纳此类技术的政府部门、金融机构进行纵向案例研究，深入分析技术介入如何具体地改变组织流程与决策模式。

呼吁教育部门、科技部门与产业部门加强联动，共同设计覆盖“创新孵化-中试验证-规模推广”全链条的支持政策。特别是在跨境合作区，应探索建立数据跨境流动的“白名单”和标准化接口，为“万里无遗”这类

旨在提升跨境信任与效率的创新，扫清最大的制度障碍。

参考文献：

- [1] 张楠,崔迪,李岩,曲直,等.构建"四维一体"青年人才赋能体系[J].中国电力教育,2023,(2):26-27.
- [2] 范曹明.高精度伪卫星系统关键技术研究与应用[J].测绘学报,2(2024):396-396.
- [3] 王凯迪,曹新亮.伪卫星信号的生成与应用研究[J].CyberSecurity&DataGovernance,2025,44(10).
- [4] 刘学先,刘文麒,吴乔男,等.北斗伪卫星定位系统在隧道内的应用探索[J].中国交通信息化,2025(8).
- [5] 蔚保国,甘兴利,李雅宁.GNSS 伪卫星定位系统原理与应用[M].国防工业出版社,2022.
- [6] 周颖.伪卫星网络在高楼健康监测中的应用[J].信息技术,2025,49(10):103-108.