引文格式：刘丹,高宇,刘乔阳,等. 面向数据安全与隐私保护的时空信息跨网交换机制研究[J]. 地理空间信息, 2026, 24(4):18-21. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2026.04.004

面向数据安全与隐私保护的时空信息跨网交换机制研究

刘　丹[1]，高　宇[1]，刘乔阳[1]，赵　杰[2]，张小璞[3]，孔维江[4]，王立刚[1*]
（1. 宁夏回族自治区自然资源信息中心，宁夏 银川 750002；2. 宁夏水利信息中心，宁夏 银川 750002；
3. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室，湖北 武汉 430079；4. 西南交通大学 地球科学与工程学院，四川 成都 611756）

摘　要：随着数字化转型的深入推进，时空信息作为国家重要的战略性资源，已成为重要的生产要素，在经济社会发展和自然资源管理中发挥着关键作用。然而，异构性、安全性和隐私保护等问题严重制约了时空信息的应用。针对这些挑战，提出了一种高效、安全、可信的时空信息跨网交换机制：基于国产商用密码技术和摆渡设备，通过文件、库对库和服务接口 3 种交换模式实现信息跨网交互，能够有效防御数据窃取、篡改和非法访问等安全威胁；结合数据压缩和任务调度技术，设计了数据跨网交换系统，实现高效、安全的数据交换。该研究为时空信息跨网交换提供了理论依据和技术支持，具有重要的实际应用价值。

关键词：时空信息；商用密码；跨网交换系统
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）04-0018-04

Research on the Cross-network Exchange Mechanism of Spatio-temporal Information for Data Security and Privacy Protection

LIU Dan[1], GAO Yu[1], LIU Qiaoyang[1], ZHAO Jie[2], ZHANG Xiaopu[3], KONG Weijiang[4], WANG Ligang[1]
(1. Ningxia Hui Autonomous Region Natural Resources Information Center, Yinchuan 750002, China;
2. Ningxia Water Resources Information Center, Yinchuan 750002, China;
3. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
4. School of Earth Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: As digital transformation advances, spatio-temporal information, a key national strategic resource, has become a crucial production factor, playing a significant role in economic and social development as well as natural resource management. Yet, issues like heterogeneity, security, and privacy protection are seriously restricting its application. To address these, we proposed an efficient, secure, and trustworthy cross-network exchange mechanism of spatio-temporal information. Based on domestic commercial cryptography and ferry devices, we used file, database to database, and service interface modes to achieve cross-network interaction of information, which could effectively guard against security threats such as data theft, tampering, and illegal access. Combining data compression and task scheduling technologies, we a cross-network data exchange system for efficient and secure data swapping. This research offers theoretical and technical support for cross-network spatio-temporal information exchange, with great practical application value.

Key words: spatio-temporal information, commercial cryptography, cross-network exchange system

时空信息作为国家经济社会发展和自然资源管理的重要战略性信息资源与关键生产要素，对开展数字化治理、提升自然资源管理现代化水平至关重要[1-2]。然而，由于不同网络之间存在异构性、安全性和隐私保护等问题，时空信息的跨网交换面临着巨大挑战。传统的时空信息交换方式往往依赖于中心化平台，存在单点故障、数据孤岛、隐私泄露等风险，难以满足日益增长的跨域协同需求。因此，研究高效、安全、可信的时空信息跨网交换方法具有重要的理论意义和实际应用价值[3-6]。

近年来，国内外学者在时空信息跨网交换领域进行了广泛研究，并取得了一系列成果[7-12]。然而，现有研究多聚焦于单一网络环境（如政务内网），缺乏对时空信息跨网交换模式的系统性研究，难以满足复杂多变的实际需求。

针对上述问题，本文提出一种基于场景感知的多模式自适应交换框架。通过动态分析数据量、实时性需求和网络状态，系统可自主选择最优交换模式。

项目来源：宁夏回族自治区青年拔尖人才培养工程资助项目（RQ0039）；宁夏回族自治区重点研发计划资助项目（025BEE02013）；宁夏回族自治区重点研发计划资助项目（2025BEG01010）。
第一作者简介：刘丹（1991—），本科，工程师，研究方向为时空信息应用，E-mail：450260648@qq.com。
通信作者：王立刚（1984—），本科，正高级工程师，研究方向为自然资源信息化，E-mail：wangligang@nxgis.ntesmail.com。

实现了时空信息的安全、高效、可信交换，为时空信息跨网交换的实际应用提供了参考[13-14]。

1　时空信息跨网交换系统设计

1.1　系统总体架构

时空数据跨网域交换系统用于解决物理隔离的测绘内网和电子政务外网之间的数据交换，借助光闸或光盘摆渡机设备以特定结构的文件为单位进行生成发送与提取解析，需要能够支持定时扫描和数据提取事件触发机制；另外需要提供对外部系统对接集成的路径。系统共分为4层架构，如图1所示。

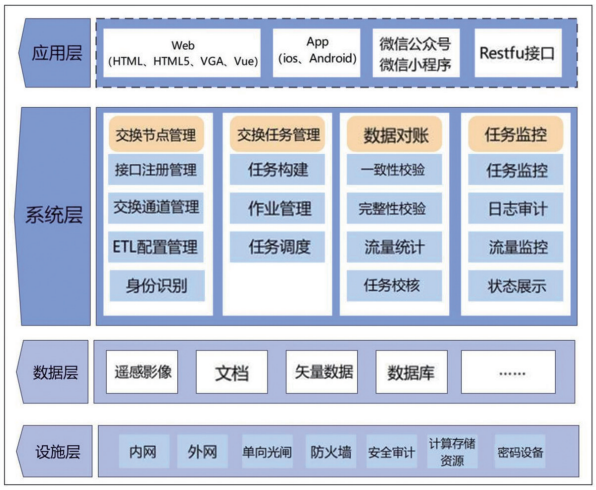


图1　交换系统总体架构图

1.2　回归变量选择

1.2.1　交换节点管理

交换节点管理模块是时空信息跨网交换系统的基础支撑部分，在整个系统架构中占据着关键地位。它主要提供了接口注册管理、交换通道管理、ETL配置管理以及身份识别等核心能力。接口注册管理能够对系统内外的各类接口进行统一注册与管理，确保接口的规范性与可调用性，为信息交换奠定基础。交换通道管理则负责构建和维护安全、高效的信息传输通道，保障数据在不同节点间的顺畅流转。ETL配置管理可以根据数据的特点和交换需求，灵活配置数据的抽取、转换和加载规则，实现数据格式的统一。身份识别功能通过对节点用户身份的精准鉴别，有效防止非法访问，保障系统的安全性和数据的隐私性，为时空信息跨网交换提供了可靠的节点运行环境。

1.2.2　交换任务管

交换任务管理模块是实现时空信息跨网交换的核心执行模块，在系统的四层架构中发挥着重要的调度和控制作用。该模块提供了任务构建、作业管理、任务调度等关键能力。任务构建功能允许用户根据具体的业务需求，灵活创建不同类型的交换任务，明确任务的目标、范围和执行逻辑。作业管理则对任务执行过程中的各个作业进行精细化管理，包括作业的启动、暂停、恢复和终止等操作，确保任务的有序执行。任务调度功能依据任务的优先级、资源占用情况等因素，合理安排任务的执行顺序和时间，提高系统的整体运行效率，保障时空信息能够按照预定的计划和要求准确、及时地完成跨网交换。

1.2.3　数据对账

数据对账模块是保障时空信息跨网交换准确性和完整性的重要保障模块，在系统架构中起着质量把控的关键作用。它提供了一致性校验、流量统计、任务校核、完整性校验等能力。一致性校验通过对交换前后数据的对比分析，检查数据在传输和处理过程中是否发生了不一致的情况，确保数据的准确性。流量统计能够实时监测数据的传输流量，为系统性能评估和资源分配提供依据。任务校核对交换任务的执行情况进行全面检查，确保任务按照预定的流程和标准完成。完整性校验则对数据的内容进行检查，防止数据丢失或损坏，保证交换数据的完整性，从而为时空信息的可靠跨网交换提供坚实的数据质量保障。

1.2.4　任务监控

任务监控模块是时空信息跨网交换系统运行状态的实时监测和管理模块，在系统的四层架构中承担着保障系统稳定运行的重要职责。该模块提供了任务监控、日志审计、流量监控、状态展示等能力。任务监控功能实时跟踪交换任务的执行进度，及时发现并预警任务执行过程中出现的异常情况。日志审计通过对系统运行日志的详细分析，追溯系统操作历史，为问题排查和系统优化提供依据。流量监控持续监测数据传输流量的变化，帮助管理员合理调整网络资源。状态展示则以直观的方式呈现系统和任务的运行状态，让管理员能够及时了解系统的整体情况，以便做出科学的决策，保障时空信息跨网交换系统的稳定、高效运行。

1.3　关键技术

1.3.1　数据加密技术

为保证时空信息在跨网交换过程中的安全性，系统采用国产商用密码技术对传输数据和传输通道进行加密处理，有效解决了数据跨网络交互应用中的安全问题。通过文件加密网关对跨网传输的数据进行加密，确保数据的机密性和完整性，防止数据在传输过程中被窃取或篡改[15]；采用SM4对称加密算法对前置

库中的数据进行加密，确保数据在存储和传输过程中的安全性；结合SMDFS存储技术，对存储中的数据进行加密处理，确保数据在静态存储和动态传输中的双重安全。针对跨网交换中密钥动态管理的难题，提出基于SM2非对称加密的密钥分片机制，结合SM3哈希算法实现密钥的分布式存储与动态重组，避免了传统PKI体系在跨网环境下的单点失效风险。

1.3.2 数据压缩技术

为提高时空信息跨网交换的效率，系统采用SMDFS存储技术，提升了系统对海量时空信息的高效存储和管理能力。通过聚合小文件，减少存储元数据开销，提升海量文件的存储效率；优化文件索引机制，支持快速检索和访问，提高数据交换的效率。

1.3.3 任务调度技术

为实现时空信息跨网交换任务的自动化执行，系统在XXL-Job基础上引入优先级动态调整算法，通过实时监测网络带宽和任务队列状态，结合模糊逻辑动态分配任务权重，解决了传统调度器在跨网高延迟场景下的资源浪费问题[16]。将调度行为抽象形成“调度中心”公共平台，而平台自身并不承担业务逻辑，“调度中心”负责发起调度请求；将任务抽象成分散的JobHandler（任务处理程序），交由执行器统一管理，执行器负责接收调度请求并执行对应的JobHandler中业务逻辑。因此，“调度”和“任务”可以互相解偶，提高系统整体的稳定性和扩展性[17]。

2 时空信息跨网交换模式

2.1 基于文件的交换模式

2.1.1 实现原理

基于文件方式实现数据跨网交换，是由应用系统将交换数据输出成文件包格式，经交换系统对该文件包进行加密/解密处理处理后，通过摆渡机或光闸将文件包从源端网络传输到目标端网络环境的设备上。实现过程如图2所示。

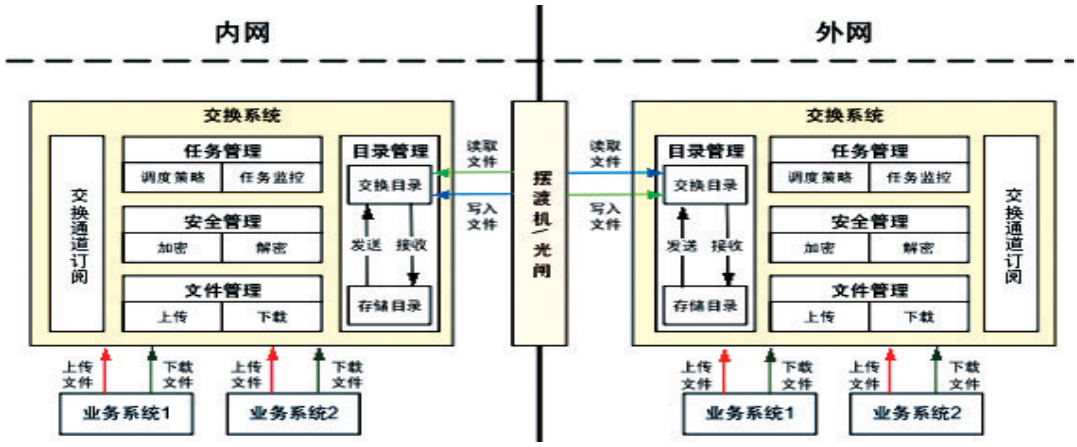


图2 基于文件方式实现跨网交换原理

2.1.2 交换流程

当业务系统需跨网交换数据时，应在交换系统中订阅交换通道，并将数据生成文件包后上传至交换系统。随后，交换系统会对文件包进行加密处理，并将其传输至与摆渡机或光闸约定的交换目录。接着，摆渡机或光闸读取该文件包并同步至目标网络环境的对应目录交换。目标网络环境下的交换系统读取文件包并解密，最后将解密后的文件包传输至与目标业务系统约定的通道，目标业务系统从该通道下载文件包，完成跨网数据交换。

2.1.3 适用场景

基于文件交换的方式通常支持重传、断点续传、离线传输等策略，能够保障数据传输的完整性，但文件过大时，容易造成传输通道堵塞。适用于非结构化数据和文件数据量小、需要离线数据交换的场景。

2.2 基于库对库的交换模式

2.2.1 实现原理

基于库对库方式实现数据跨网交换，是由业务系统将交换数据写入到交换数据库中，交换系统按照应用需求抽取相关数据并进行加密打包，通过摆渡机或光闸将数据包从源端网络传输到目标端网络环境的设备上并进行解密。

2.2.2 交换流程

业务系统存在跨网交换需求时，首先需在交换系统中订阅交换通道，并将待交换的增量数据提取后写入交换数据库对应的用户和表中。交换系统依据订阅信息提取这些增量数据，生成文件包并进行加密处理。加密后的文件包被传输至与摆渡机或光闸约定的交换目录下。摆渡机或光闸读取该文件包，并将其同步至目标网络环境对应的交换目录。目标网络环境下

的交换系统从该目录读取文件并解密，从解密后的文件包中获取数据，写入目标端交换数据库。最终，目标端业务系统查询并获取目标端交换数据库中的数据，完成跨网数据交换。

2.2.3　适用场景

基于库对库方式交换通常以任务的方式进行调度和监控，支持配置不同的频度来触发交换任务[18-20]，数据实时性高，能满足用户增量抽取的需求，需要稳定的网络环境。适用于非实时低频次的结构化数据交换和实时性要求较高的数据库同步

2.3　基于服务接口方式交换

2.3.1　实现原理

基于接口方式实现数据跨网交换，是由业务系统将调用服务接口时涉及到的信息，包括服务接口地址、服务请求参数、业务类型等信息写到JSON（轻量级的数据交换格式）文件中[21]，随后将这个文件上传给交换系统，由交换系统对该文件进行加密/解密处理，通过摆渡机或光闸将文件从源端网络传输到目标端网络环境的设备上，目标端交换系统获取该文件后进行解析并发起请求，通过对服务接口的调用获取结果数据，并将结果数据保存成JSON文件，随后再将此文件回传到源端业务系统。

2.3.2　交换流程

业务系统存在跨网交换需求时，先在交换系统中订阅交换通道，将待调用服务接口的信息写入JSON文件并按订阅通道上传。交换系统加密该文件后，传输至与摆渡机或光闸约定的交换目录。摆渡机或光闸读取并同步该文件至目标网络环境对应目录。目标端交换系统从该目录读取、解密文件，获取服务接口请求参数，按接口调用要求组装参数并发起请求，将返回结果写入JSON文件。随后对结果文件加密，上传至与摆渡机或光闸约定的交换目录。摆渡机或光闸读取结果文件并同步至源端网络环境对应目录。源端交换系统从该目录获取结果文件，传输至与业务系统约定的结果文件目录。源端业务系统从该目录查询并获取服务接口返回的结果数据，完成跨网数据交换。

2.3.3　适用场景

基于服务接口的方式通常支持松耦合的服务配置，可以根据需求定制服务接口，对服务调用过程进行调度管理，灵活性强。适合用于高频度少量实时的数据交换，尤其适用于应用系统数据查询、数据分析等特定应用场景。

2.4　基于场景感知的多模式自适应交换

通过实时采集数据特征（如体量、敏感度）、网络状态（带宽、延迟）及业务需求（实时性、完整性），构建动态决策模型，结合加权多目标优化算法智能选择文件、库对库或服务接口模式，并支持混合执行与故障自动切换。该模式采用轻量级机器学习模型与国产密码技术（SM2/SM4），实现密钥分片加密与双链校验，适用于网络波动大（如卫星通信）、多业务混合负载（实时监控与批量同步并存）及资源受限场景（边缘节点），在保证安全性的同时提升传输效率30%以上，尤其适配跨隔离网络（测绘内网与政务外网）的复杂异构环境。但也存在动态决策机制依赖多维度数据采集、实时分析和智能算法，导致系统架构复杂，维护和调试成本增加，实时监控网络状态和运行机器学习模型需消耗额外计算资源等问题。

3　结　语

随着信息技术的快速发展和应用需求的不断增长，时空信息跨网交换的重要性日益凸显。本文针对当前时空信息跨网交换中存在的异构性、安全性和实时性等问题，提出了基于文件、库对库和服务接口的3种交换模式，分别适用于不同数据量、实时性和灵活性的应用场景；设计并实现了一种高效、安全、可靠的时空信息跨网交换系统，集成国产商用密码技术（如SM2、SM3、SM4）对数据和传输通道进行加密，能够有效抵御数据窃取、篡改和非法访问等安全威胁，为时空信息跨网交换提供了理论依据和技术支持。

参考文献

[1]　常青. 贵州新动力数字经济创新研究院成立[N]. 贵阳日报，2021(0526)

[2]　孟小亮,刘刚,李世华. 时空信息与数据科学专题导言[J]. 地理空间信息,2023,21(12):1-2

[3]　陈可蕴,柳翠明,赵林峰,等. 地理信息时空数据中台的构建与应用:以南沙新区为例[J]. 地理空间信息,2023,21(11):32-35

[4]　赵伟伟,陈庆,张亮,等. 城市时空信息建设现状调查与问题剖析[J]. 地理空间信息,2022,20(6):83-87

[5]　方利超. 智慧城市时空大数据市县一体化建设模式研究[J]. 地理空间信息,2019,17(12):24-27

[6]　沈凤娇,余晓敏. 时空大数据平台云计算及其典型应用服务探讨[J]. 地理空间信息,2021,19(6):32-34

[7]　卢天. 遥感数据账本跨链可信交换技术研究[D]. 北京:中国电子科技集团公司电子科学研究院,2022

（下转第116页）