基于区块链技术的数据—算法—场景价值链研究展望

蒋炜，王鸿鹭，郑志强，沈浙

【摘要】当前数字经济发展风起云涌，大数据、云计算、人工智能和5G技术等数字技术与传统产业的融合加快。数据和算法作为数字经济的基石，未来竞争的着力点会更加侧重于如何优化使用数据和如何优化商业逻辑及相应代码化的进程，并通过数据和算法在不同商业应用场景中的互联互通体现其应用价值。本文基于数据—算法交易机制的基础理论研究成果，就数据—算法的确权、追踪、安全、定价、交易、结算、交付、数字资产管理等一系列研究问题进行了梳理和研究展望，相关研究方向也为学界和业界未来的理论研究和实践落地提供了参考。

关键词：数据；算法；场景；数据交易；区块链

当今世界正在进入以信息科技产业为主导的经济发展时期，数字信息已成为基础性的生产要素，数字经济日益成为经济发展的新模式、新趋势。面对数字经济领域激烈的国际竞争，党的十九大对建设网络强国、数字中国、智慧社会等作出了战略部署。数字经济是数字化转型背景下的崭新经济形态，对人类社会正在产生深远的影响。基于此，为加快发展数字经济，建设数字中国，培育经济发展新动能，中央及地方政府不断完善顶层设计，强化制度保障，从而激活数据要素潜能，释放数据要素价值。

数字经济的基石是经济活动的数字化和代码化：所有商业行为都可以被数字化[①]，从而

【作者简介】
蒋炜 上海交通大学安泰经济与管理学院教授、博士生导师，研究方向包括大数据与商务智能分析、数据质量与风险管理、物流与供应链管理等。在国际、国内重要学术期刊上发表论文70余篇。
王鸿鹭 上海交通大学安泰经济与管理学院博士后，主要研究方向为区块链商业创新、数字经济商业模式创新。
郑志强 美国德州大学达拉斯分校教授，主要研究方向为金融科技大数据分析、区块链商业创新。
沈浙 上海交通大学安泰经济与管理学院博士，主要研究方向为隐私计算、联邦学习。

① Gartner survey reveals digital twins are entering mainstream use[EB/OL]. （2019-02-20） [2022-01-10]. https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mai.

产生数据；一切商业运行的规则都可以用逻辑来表示，也就是代码化（亦即图灵完备性的本义）[①]。数据如何使用、产生价值并变现是数字经济的核心；商业逻辑的代码化则以算法形式实现，其金字塔顶端是人工智能。

数据是未来数字经济发展的基础生产资料。随着各种信息技术与人类生产生活日益交汇融合，全球数据、知识的爆发式增长和海量集聚，经济社会发展产生了重大的转变，数据信息已成为信息社会最基本的原材料。数据具有可复制、可共享、非排他等特性，能够无限增长和供给，可以通过市场交易被使用后创造社会财富。数据信息流引领着技术流、物质流、资金流和人才流，能为经济可持续发展提供新的动能。在我国经济发展新时代，数据信息是推动我国产业优化升级、实现跨越式发展的基础性战略资源。用好数据资源，积极推动数字经济的发展，是新时代推动经济高质量发展的现实路径。

算法是驱动数字经济的引擎。数据潜能的释放需要通过算法来激发，如果说数据是数字经济时代的石油，那么算法则是把石油转化为动能的引擎。当数据渐渐成为生产生活的内在要素时，算法优劣就直接影响着制造效率、产品质量、生活服务等，也影响着经济发展的潜能。读懂未来的新时代，需要从读懂程序语言开始，而算法将是数字经济时代的通行语言。

场景是数字经济发展的载体。数据和算法需要在实际应用场景中才能体现出价值。应用场景是数字经济的实际载体，脱离了应用场景的数据和算法开发就好比闭门造车。而在应用场景不断变革升级的过程中又产生了网络经济、平台经济、共享经济、智能经济、区块链通证经济等数字经济新模式。

综上，数字经济的本质如图 1 所示。

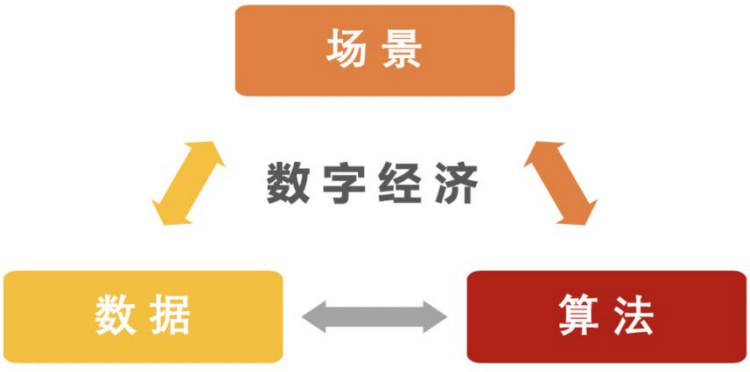

图 1 数字经济的本质

[①]GitHub，Inc. White Paper [EB/OL]. （2020-06-03） [2022-01-10]. https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper#computation-and-turing-completeness.

1 解决数字经济发展的核心问题——“第一公里问题”

就目前而言，数字经济在国内还有诸多亟待解决的难题，其中核心问题就是我们所称的数字经济的“第一公里问题”，即在数据源头上如何解放数据，促进数据共享，突破数据孤岛的禁锢，通过数据流转交易来实现数据价值。大数据时代的美好愿景都是建立在数据公开共享的基础上，如果数据源不能开放，数据共享者无法从中获得应得的利益，那么后续的诸多关于大数据的应用根本没法获得实践验证。国内数据孤岛情况严重，市场有巨大的数据需求，但技术上如何保证共享数据的安全，机制上如何实现数据价值并在共享各方间实现合理分配，以及从监管层面、法律层面如何防范非法行为，保障数据共享者的利益等问题都还在探索阶段，这也导致企业和个人都不愿意将自己的数据共享出来。鉴于此，数据流通公开市场模式得以出现，不同的企业机构乃至个人之间可以互相交换自己所拥有的数据，但这种模式也依然存在许多问题。

除此之外，如何为数据找到合适的算法，充分挖掘数据的价值？如何为算法找到合适的数据，实现算法的持续优化迭代升级？如何让不同的算法实现优势互补，促成算法与算法的耦合？这些都是发展数字经济亟待解决的迫切问题（见图 2）。鉴于此，我们从广度、深度和精度三个维度，将问题归纳为三大部分：①数据/算法的确权及隐私保护；②数据/算法的搜索和匹配；③数据/算法在使用场景中的价值确定及分配机制。

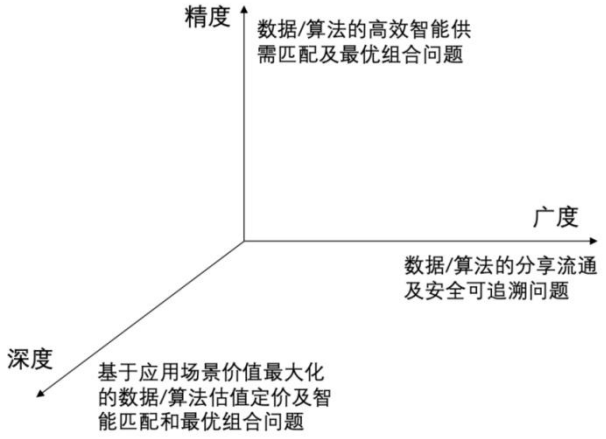

图 2 数字经济发展需解决的主要问题

2 国内外学术研究现状

关于数据交易方面，有学者就基于区块链的数据交易展开了研究。区块链（blockchain）作为一种分布式记账模式，通过分布于全世界的成千上万个计算机节点来提供算力，协助验证网络交易，以达到不需要一个权威中心也能让使用者信任的目的。目前全球区块链走向商业化，首先要解决交易效率问题。最早的比特币区块链和以太坊区块链，历经多年发展仍性

能低下。由于通信、节点性能及共识机制等因素的制约，比特币每秒钟处理的交易平均是 7 笔，以太坊约 20 笔，这样的交易效率无法承载像“双 11”电商交易，12306 平台节假日火车订票那些需要每秒几十万笔交易的实际需求。

DAG（有向无环图）是使用拓扑排序的有向图形数据结构。DAG 应用领域局限于物联网，发展出 IOTA 项目。IOTA 项目的分布式账本结构是基于数据结构 DAG 设计的网状结构 Tangle(中文译名“缠结”)。该项目用 Tangle 取代了传统区块链中，由矿工处理交易、建立共识的机制，因此不再需要“挖矿”，从而以零费用实现了高吞吐量（TPS），满足物联网中 M2M（machine-to-machine）小额大量交易的需求，解决了矿工权力集中的隐患，但其也有协调员带来的中心化嫌疑和三进制编码问题。

区块链第一代技术在速度、公平性、成本和安全性上具有非常严重的限制性，最新一代的技术哈希图（Hashgraph）从某种程度上解决了以上问题。哈希图是一种数据结构和共识算法，通过非链式结构，无需竞争即可同步出块，实现大规模低成本共识，大大提高了工作效率。它利用八卦和虚拟投票协议，实现银行级别的安全保障（完全异步的拜占庭容错）。该功能使得它能够抵御 DDoS 攻击、僵尸网络和防火墙。哈希图可以每秒实现超过 25 万笔的交易，是更好的低交易费、去中心化、无须“挖矿”的互联网底层信任网络。因此，它在金融服务和供应链管理等领域逐步得到推广和应用。关于区块链、有向无环图和哈希图的比较如表 1 所示。

表 1 区块链、有向无环图和哈希图的比较

	区块链	**DAG**	**Hashgraph**
结构	链状	拓扑排序的有向图形数据结构	非链式结构
性质	公有或私有	公有或私有	私有
开源性	开源	开源	专利
记账单位	区块	交易单元	事件
共识机制	PoW 等	PoW 等	八卦协议+虚拟投票
区别	先共识再出块	先出块再共识	
同步/异步	同步，要等一个区块的交易完成后再共识确认	异步，交易一发生就可以直接写入	

	区块链	DAG	Hashgraph
代表项目	Bitcoin	IOTA（物联网）	Swirlds
TPS	——	——	>250000TPS
缺点	速度、公平性、成本和安全性都有严重限制	零费用，吞吐量大，但是有协调员带来的中心化嫌疑和三进编码问题	性能较高的同时，安全性达到银行级别（完全异步的拜占庭容错）

在关于运用区块链技术进行数据隐私保护和溯源等领域，近年来国内外学者也就相关方面开展了大量研究。区块链的安全可信机制使区块链技术与隐私保护问题存在着很好的结合点，还能让数据拥有者切实管理数据的透明性与访问权限。Heilman 等学者提出了一种电子货币激励技术，用来保障在交易过程中的匿名性，提供安全、公平的交易，而且这种技术抗 DoS 攻击和 Sybil 攻击[1]。Zyskind 等则结合链上（on-chain）和链外（off-chain）来构建关注隐私的个人数据管理平台；利用分布式哈希表技术来加密数据，保证高可用性；通过合理的合约设计来保护隐私。他们还讨论了如何让区块链在可信计算中成为一个重要角色，这样做的优势是解决了区块链的公共性，并且让用户在不影响安全性或者受限制的情况下控制个人数据以及敏感数据，而不需要信任第三方。在可信计算中，通过同态加密算法和安全多方计算可以不让服务方观察到原始数据，只让其运行计算，在网络上获取结果[2]。

数据溯源是指对于数据处理流程的管理，用于解决和回答数据为什么是该状态（why）、数据从哪儿来（where）以及如何获得（how）的问题。数据溯源的研究在科学数据管理、数据仓库、数据资产管理的背景下进行。数据溯源方法可分成两大类，即基于批注（annotation-based）的方法和基于非批注（non-annotation-based）的方法。基于批注的方法将每个数据项变换为（s，d，i）三元组标签，其中，s 表示数据项源，d 表示目标数据（当前数据），而 i 则表示中间数据结果。该方法通过在数据处理过程中进行标签传播，实现数据的勾连，以支持数据溯源。基于批注的数据溯源系统包括 DBNotes [3]和 Mondrian [4]。对于非批注的方法，在处理数据的过程中，不需要对源数据和目标数据（处理的结果）附加额外的信息。但是，此时需要了解对于存储、维护数据做了何种处理。当处理是可逆的时候，通过目标数据，就能反推得到源数据。需要注意的是，虽然如 SPJ（select-project-join）这样的查询，数据处理是可逆的，但是仍有很多数据库的常用查询是不可逆的。例如，很多聚集

函数是不可逆的。非标注的数据溯源可用于数据变换、数据集成过程的调试。当源数据与目标数据之间的数据模式改变时，这类方法尤为有用。

Dunphy 等诸多学者提出了将区块链技术应用于各行各业的模型机制中[5]。通过时间戳以及散列算法对物品确认属权，证明一段文字、视频、音频以及学历等有价值的东西的存在性、真实性以及唯一性，并提供不可篡改的数字化证明。一旦属权被确认，其交易记录或变更记录都会被记录在区块链上，配合诸如生物识别等技术，从根本上保障数据完整性、一致性，从而保护属权的唯一性。另外，运用区块链技术对现存方案的不足之处进行优化，能够有效地简化流程，提高效率，还能及时避免信息不透明和容易被篡改的问题。由于区块链技术的可追溯特性，一旦出现问题，可以及时追溯并解决问题。Hallikas、Kim 等诸多学者专家，都提出了基于区块链技术的权限管控、防伪、追溯以及相应的智能合约管理，并分别进行了流程化的建模叙述[6-7]。曹建农等人结合离线储存以及在线认证同时满足隐私保护与数据的权威性，还提出把分布式共识机制用于保护医疗行业中的个人医疗数据[8]。

3 当前数据/算法交易现状

数据交易的内容通常可以分为 4 种：①数据本身。买家拥有对数据的永久或指定期限访问权，并可以在数据上执行任意计算以尽可能多地挖掘有价值的信息。②数据的直接功能 API（应用程序编程接口）。有时买家只对数据的某项简单功能感兴趣，例如搜索结果、统计信息或使用机器学习模型进行训练等。这种情况下，数据平台可以通过提供 API 来为买家提供相应功能，并限制其对数据的操作。③数据分析结果。它是指从数据中挖掘出来的更高层次的有用信息。例如一个商家希望基于分析得到什么样的用户最可能是其潜在客户，而对原始数据并不感兴趣。④数据衍生物。与数据内容无关，而是数据的各种权利许可，例如订阅该数据的相关更新，或持续订阅不断产生的数据流，买断数据的所有权或排他的使用权，甚至一些基于区块链的证书（如基于可信飞行记录的飞行员证书）也可以进行交易。

近年来，海外也开始有公司开发算法交易技术。目前出现了一些算法服务平台，算法科学家可以把算法代码托管到平台上，使用者按照某种模式（如调用次数）付费。比如谷歌投资的 Algorithmia 算法交易平台，着眼于提供一个开放式算法市场。在谷歌看来，算法能够解决问题，如果拥有很多算法，就能解决很多问题。然而在大多数情况下，算法被学术界写在论文中发表，但在工业界无人知晓；另外，大量的互联网企业拥有数据，却没有算法或不懂如何利用算法，因此，数据于这些企业而言处于“无意义”的状态。在 Algorithmia 中出售的算法，如同 PlayStore 中的 App 一样，可以被用户打分、评价，并显示被使用的次数。在 Algorithmia 中，算法开发者（包括学院、科研机构等）将其发明的算法共享并定价，算

法买家通过浏览和查询，找到自己想要的算法，并完成支付。Numerai 是一家对冲基金公司，它将加密的市场数据发送给任何希望参与股市建模竞争的算法科学家。Numerai 将最好的模型提交到一个“元模型”中，然后交易该元模型，并向所提供模型性能良好的算法科学家支付报酬。

国内近年来也在数据交易的落地实操方面开展了诸多卓有成效的探索和尝试。目前国内比较知名的数据交易所有贵阳大数据交易所，上海及浙江的数据交易所。关于新型数据交易中心，北京也已率先进行了探索。2021 年 3 月 31 日，北京国际大数据交易所（下称“北数所”）正式成立。这是国内首家基于“数据可用不可见，用途可控可计量”新型交易范式的数据交易所，定位于打造国内领先的数据交易基础设施和国际重要的数据跨境流通枢纽。但这些已经在运行或正在设想中的交易平台，都是一个收集、存储数据的平台型数据中心，其机制设计仍有不少需要继续优化和完善的地方。

基于未来的发展方向，数据要素市场会演变出一些“数据中介机构”“数据商城”，让数据更好地从最终的提供者流向最终的需求者。数据交易中心在其中提供附加衍生服务（如数据全生命周期追踪溯源的技术服务，智能匹配及价值分配服务等），甚至在不需要存储数据的前提下实现这些服务。具体的机制设计不一定需要采取中心化这一形式，可以采用分布式的，但会有一些“数据中介机构”作为核心节点。

4 未来研究展望

基于上述分析，本文将区块链视为底层技术，围绕数据/算法交易全生命周期这一研究对象，提出研究的逻辑框架及未来研究方向，如图 3 所示。数据/算法交易的流程可按交易时间次序分为交易前、交易中、交易后 3 个阶段，每个阶段包含不同的操作和问题。

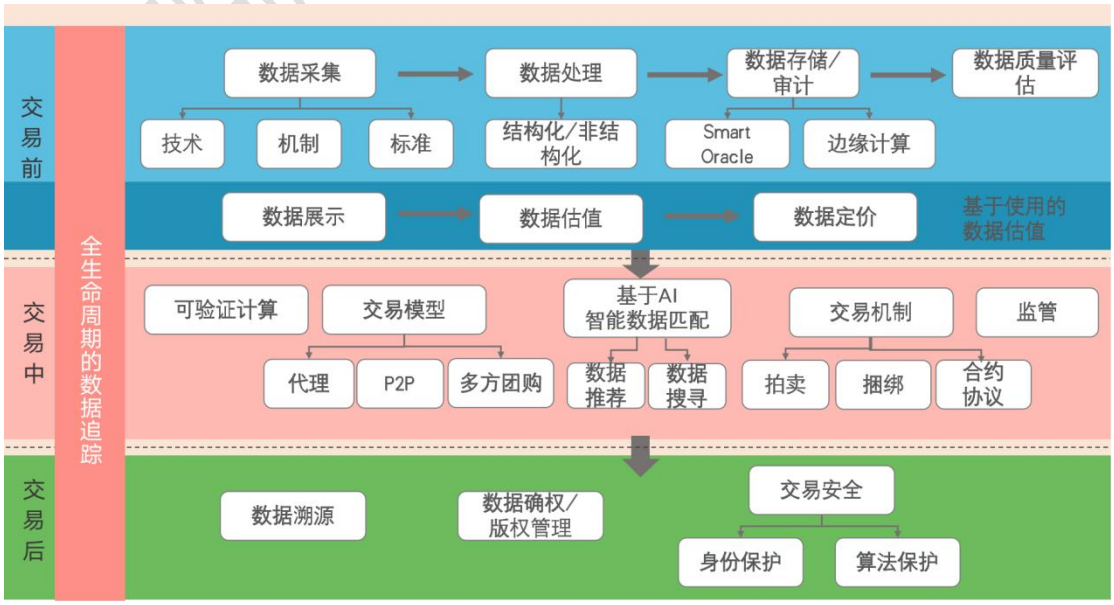

图 3 研究的逻辑框架图

4.1 研究方向一：数据/算法采集，隐私保护与确权

1）数据/算法采集

数据与算法的采集，隐私保护与确权是硬币的两面，交易中心中所容纳的数据商品类型越广，数量越多，准确度越高，侵犯隐私或者侵权的可能性就越大。因此，本方向需要探索数据采集策略，综合考虑质量、价值与隐私及数据交易的社会效用。交易中心同样拥有基础数据处理服务，因此，本方向需要研究采集哪些算法，并且如何对这些算法的开发者进行经济补偿。

2）隐私保护与确权

来源不明的数据可能在数据/算法买家不知情的情况下产生侵权或者侵犯隐私的情况。为了减轻与避免数据的隐私泄露、侵权的问题，交易平台需要在交易前的采集过程与交易后的价值再分配过程中设计有针对性的机制。鉴于此，本方向需要探索算法如何能够在“黑箱”之中运行，以及当数据的卖家同意出售含有其隐私的数据时，采用何种关于数据隐私的事后补偿机制。例如病患出售其医疗病例来换取医疗技术的进步等情况。根据数据隐私泄露的程度，结合市场情况与数据所有者的情况，本研究方向还需要设计出数据隐私补偿算法来补偿数据所有者的隐私。这些补偿机制需要有一个透明公开的渠道来保证数据的买卖双方都能够认可，因此，隐私补偿机制与区块链技术结合将是本方向未来研究的重点之一。

4.2 研究方向二：“数据/算法”质量评估及估值定价

1）数据质量与价值评估

交易平台需要对平台中在售的数据进行质量评估。数据质量是衡量其价值的重要标准之一。高质量的数据本质上应该具有清晰的表现形式，能被精确访问，并且适合买家的实际使用场景。数据质量包含但不限于以下方面：①内在质量是指数据本身的数量、准确性、完整性、及时性、一致性、清洁度、安全性等方面的质量；②表达质量侧重于与数据格式（简洁、一致的表示形式）和意义（易于解释）相关的方面；③可访问性质量强调买家对数据易于获取或检索的程度，例如访问通信延时等；④上下文质量强调数据与应用场景的相关性。前三个指标应作为数据的一般信息，由数据代理商评测并向所有用户公开，最后一个指标取决于买家，此情形下需要买家提供自己的目标场景和相应评估函数。以前的研究工作提出了一系列从不同的方面和视角定义的数据质量指标。然而面对丰富的数据模态和复杂的数据语义，可定量的数据质量评估还有大量尚未解决的难题，例如对不同数据形态的各项质量指标的高效准确量化。

2）算法质量与价值评估

算法的质量包括：①算法的时间复杂度；②不同的问题规模所要执行的指令数目；③算法所占用资源的数量，除了传统资源，如内存等以外，我们还要考虑算法在智能合约上的效率问题（冗长的算法在智能合约上会浪费大量手续费，并降低交易效率）；④算法的复杂度。与数据类似，算法的价值也存在难以评估的特点，例如某些算法在特定的数据类型下效果极佳，但在某些数据类型或者使用场景中表现不佳，优秀的算法有好的鲁棒性，能够适用于多种数据类型与数据场景，然而这种鲁棒性难以量化。无论是质量还是价值评估，都会面临隐私保护这一难点：交易中心以及数据/算法的买家在评估数据的同时要保护各个主体的隐私，例如应该限制在卖家数据上执行的评估函数的内容和次数，以及保护买家的上下文质量评估函数。本方向将进一步研究并拓展现有的同态加密算法与零知识证明方法来探讨数据价值评估中的隐私保护问题，上述问题都是本方向的重要研究内容。

4.3 研究方向三：“数据/算法”交易及智能匹配

1）数据/算法的多方交易

数据交易过程中可能会牵涉到多个交易主体，例如供应链中的各个企业或者部门之间需要同步传输物料数据。但是现有供应链中每个企业可能都会有自己的企业资源计划（ERP）或者物料资源计划（MRP），这阻碍了数据的可追溯性并限制了自动化多方交易的可能，由此产生了数据孤岛。未来需要研究如何通过区块链中的智能合约技术来实现多个可信主体间的自动化微交易、微支付（micropayment），研发新型的适用于微末价值（如毫厘级）的数字支付模式。除了数据的多方交易外，还需研究多方数据治理的问题，多方数据治理指的是多个交易主体在数据的相互比对、交接、校验等场景下遇到的数据不一致的问题，例如供应链上下游之间的数据传送、数据对比、数据检验等场景。

2）数据/算法的智能匹配

传统的商品（包括现有的数据平台）通常采用价格主导的撮合机制，即选择卖方中价格最低者与买方中价格最高者进行撮合，这样的撮合机制虽然简单，但将造成数据的寡头垄断与资源浪费问题。数据与算法的价值是相辅相成的，同样的数据在不同的算法中会产生不同的价值，同样的，同一个算法使用不同的数据能带来的收益也将会不同。未来需要结合数据和算法的估值方法，研究在不同的交易模式下，对数据与算法进行匹配，提高数据买卖双方的整体数据使用效用，简化交易过程，减少交易中间环节。为需要算法的数据拥有者匹配算法时，只需要匹配价值最大的那个即可；而为算法拥有者匹配数据时，面对大量的数据，交易中心需要同时考虑买家的购买预算，备选数据的价值以及算法自身的鲁棒性。

4.4 研究方向四：“数据/算法”使用追溯及价值补偿

1）数据的全生命追踪

数据的全生命追踪是数据使用后价值再分配以及隐私补偿的基础条件。数据的全生命追踪可以分为三个阶段：交易前的数据采集，交易中的数据使用，以及交易后的价值实现及分配。根据这三个阶段，交易中心需要研究如何应用并拓展现有的数据水印、数字指纹以及数字版权管理技术来追踪数据从产生到交易后的状态。

事实上，在某些特定的数据类型下，例如图像数据，已能做到监控并记录数据从产生到后期修改的整个过程，但是大部分传统的数据格式与类型难以实现全生命追踪。因此，交易中心需要设计全新的带有追踪功能的数据格式，并指定数据格式的追踪标准，例如哪些属性必须要被追踪并记录，哪些属性可以根据需求选择性追踪，等等。

2）算法的使用追踪

针对算法的使用追踪，研究将分成两条路线：第一条路线是将算法数据化（如把算法的具体参数值当成一种数据），并为其添加水印与指纹。某些算法的价值体现在其中的部分重要参数上，这些参数可能会耗费算法拥有者大量的时间与金钱进行模型优化后才得到。因此，未来需要研究如何挑选参数以及如何加密使得算法能够被顺利监控。第二条路线是使用算法加密技术，即需要开发新的加密技术使得算法能够在不被揭露的条件下完成计算，从而实现算法的零知识证明。如此，算法的买家每次调用算法都必须通过交易中心，算法的使用就可以被有效地监控，同时第二条路线还能有效提高数据与算法拥有者双方的信任度，防范因双方自身技术能力不足带来的泄露问题。除此之外，未来的研究还需考虑为数据算法交易中心设计数据与算法接口以及制定相关标准。统一的数据与算法接口一方面能够提升交易效率，另一方面能够让交易中心追踪与记录买家对数据或者算法调用的情况。

3）数据价值补偿机制

当前的数据算法估值主要基于概率统计上的机器学习，无论精度如何，其结果都带有不确定性。也就是说，无论是数据还是算法，估值的结果可能会偏离其真实价值。如何降低不确定性给交易参与方带来的损失并加以弥补是我们需要考虑的问题。在数据交易场景下，数据代理商需要衡量每次提供的数据服务对于每个数据贡献者的隐私泄露程度，并对他们进行合理的隐私补偿，以达到在长期时间维度上的价值均衡分配。从这个角度来看，隐私补偿机制可以看作传统的激励机制在个人数据采集场景下的变种。研究要将隐私补偿机制放入整个数据市场的定价框架中，并采用自下向上的设计思路，即底层的隐私补偿总和决定上层的数据服务价格。因此，隐私补偿机制的研究是数据市场定价机制的核心与基石。

5 结语

在数字经济时代，数据是内在核心生产要素已逐渐成为共识，那么算法的优劣则将直接影响生产效率、产品质量、生活服务等，也影响着经济发展的潜力。算法就是数字经济时代的通行“语言”和生产力体现。推动数字经济的发展，不仅仅需要数据中心，更重要的是，要为各行各业的海量数据匹配最合适的算法，充分挖掘数据的内在价值；要为人工智能、机器学习算法匹配高质量的训练数据，促进算法的优化迭代和升级流转，并落地于合适的应用场景中。

因此，本文从理论、方法和商业应用等多个角度出发，对基于人工智能的数据/算法交易、匹配、价值补偿等机制和算法进行了梳理和展望。围绕基于数据/算法交易机制的基础理论研究成果，指出了构建面向未来经济的基于数据/算法使用价值的数据/算法交易平台的研究方向，并就数据/算法的确权、追踪、安全、定价、交易、结算、交付、数字资产管理等综合配套服务等一系列研究问题进行了梳理。基于理论发展和实践需要，我们提出的研究方向具备三大特色：①覆盖了从数据/算法产生、流通到使用场景的数据/算法全生命周期追踪；②提出了基于数据在算法中的使用价值的估值、定价及相应的利益分配机制；③提出了基于人工智能的数据/算法智能匹配算法模型。我们希望通过未来的研究和自主研发技术，能不断完善相应的经营模式与交易产品体系，健全数据/算法交易产业链服务，重构公平高效的数据/算法价值链。

参考文献

[1] Heilman E，Baldimtsi F，Goldberg S. Blindly signed contracts: anonymous on-blockchain and off-blockchain bitcoin transactions[C]//International conference on financial cryptography and data security. Berlin Heidelberg：Springer，2016: 43-60.

[2] Zyskind G，Nathan O. Decentralizing privacy: using blockchain to protect personal data[C]// IEEE Security & Privacy Workshops. IEEE，2015: 180-184.

[3] Choi Y , Zhao J L . Decomposition-based verification of cyclic workflows[J]. Lecture Notes in Computer Science，2005，3707（10）：84 - 98.

[4] Geerts F，Kementsietsidis A，Milano D. Mondrian: annotating and querying databases through colors and blocks[C]// International Conference on Data Engineering. IEEE, 2006: 82-82.

[5] Dunphy P，Petitcolas F. A first look at identity management schemes on the blockchain[J]. IEEE Security and Privacy，2018，16（4）: 20-29.

[6] Korpela K，Hallikas J，Dahlberg T. Digital supply chain transformation toward blockchain integration[C]// Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)，2017.

[7] Kim H，Laskowski M. Toward an ontology-driven blockchain design for supply‐chain provenance[J]. Intelligent Systems in Accounting，Finance and Management，2018，25（1）: 18-27.

[8] Jiang S，Cao J，Wu H. Blochie: a blockchain-based platform for healthcare information exchange[C]// 2018 IEEE International Conference on Smart Computing（SMARTCOMP），2018: 49-56.