

医疗保健中的区块链技术：系统评价

迈克尔·阿克伯, 卡内利·莫哈末, 曲塞尔·艾克蓝
医学与保健研究所, 卡里纳, 芬兰

摘要: 区块链技术在过去十年中出现, 并引起了金融、政府、能源、健康等多个行业的广泛关注。本文对区块链在医疗保健领域的应用进行了广泛的调查。事实上, 该领域正在进行的研究正在迅速发展。因此, 我们已经确定了几个应用区块链技术的最新用例, 例如共享电子病历、远程患者监控、药物供应链等。我们还专注于确定研究方法的局限性, 最后我们已经讨论了一些开放的研究问题和未来研究的领域。

自从通过比特币引入区块链以来, 一直在研究将其应用扩展到非金融用例。医疗保健是区块链有望产生重大影响行业之一。这方面的研究相对较新, 但发展迅速; 因此, 健康信息学研究人员和从业人员一直在努力跟上这一领域的研究进展。本文报告了对区块链技术在医疗保健中应用的正在进行的研究的系统评价。研究方法基于系统评价和元分析 (PRISMA) 指南的首选报告项目和系统映射研究过程, 其中使用精心设计的搜索协议搜索四个科学数据库, 以识别、提取和分析所有相关出版物。审查表明, 许多研究为区块链在医疗保健中的应用提出了不同的用例; 然而, 缺乏足够的原型实现和研究来描述这些提议用例的有效性。该审查进一步强调了医疗保健区块链应用程序开发的最新技术、它们的局限性以及未来研究的领域。因此, 为此, 仍然需要更多的研究来更好地理解、表征和评估区块链在医疗保健中的效用。

关键词: 区块链; 医疗保健; 系统评价

Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review

J. Mikael C. Agbo, Cornelius H. Mahmoud, and Qusay Eklund
Institute of Medical Research and Health Care, Kaarina, Finland

Abstract: Blockchain technology has been emerged in the last decade and has gained a lot of interests from several sectors such as finance, government, energy, health, etc. This paper gives a broad ranging survey of the application of blockchain in healthcare domain. In fact, the ongoing research in this area is evolving rapidly. Therefore, we have identified several use cases in the state of art applying the blockchain technology, for instance for sharing electronic medical records, for remote patient monitoring, for drug supply chain, etc. We have focused also on identifying limitations of studied approaches and finally we have discussed some open research issues and the areas of future research.

Keywords: blockchain, healthcare, systematic review

引言:

在过去十年中, 区块链正在成为最有前途的技术之一, 引起了多项学术研究和行业的关注。这个概念最初是由中本聪在 2008 年的白皮书中提出的。它被定义为一种去中心化、分布式、不可变的账本, 用于在对等网络中安全地记录跨多台计算机的交易, 而无需第三方派对。

第一代区块链区块链 1.0 以比特币为基础, 这是第一个基于加密货币应用程序的区块链实现¹。下一代, 称为区块链 2.0, 出现了智能合约的概念, 它被视为在分布

式账本中定义、执行和记录的一段代码。第三代区块链技术, 区块链 3.0, 主要处理非金融应用, 如政府、能源、健康等。事实上, 一些组织已经采用了这项技术, 并将其应用于医疗保健领域的多个用例。区块链中对医疗保健应用有益的最有趣的特性是去中心化、隐私和安全, 因为区块链技术可以确保例如患者和各种利益相关者 (保险公司、医院、医生等) 安全访问医疗数据。

在本次调查中, 我们展示了在医疗保健领域应用区块链的最相关研究。所研究的方法根据广泛的用例进行

分类, 例如电子病历、远程患者监控、药品供应链和健康保险索赔。此外, 本研究讨论了这些解决方案的适用性及其技术限制。此外, 还确定了经验教训和一些研究方向。

本文的其余部分安排如下。第 2 节介绍了理解区块链技术的关键概念。昆虫。3, 我们提供了一些使用这种有前途的技术的医疗用例。在本节的最后, 我们将总结主要结果。昆虫。4、研究挑战和机遇突出。最后, 教派。5 总结了论文并对今后的工作提出了建议。

继 2008 年 10 月发布的比特币白皮书之后, 区块链作为一种分布式账本技术获得了普及。作为比特币的底层技术, 区块链的主要用途在于它使分布式网络中的参与者之间的电子硬币交换成为可能, 而无需集中的、受信任的第三方。涉及个人或公司之间的电子货币交换的交易传统上依赖于受信任的第三方 (TTP), 例如银行, 作为中介。出于多种原因, 对 TTP 的依赖是不可取的。受信任的第三方可能会出现故障、失败或被恶意破坏, 从而导致金融系统不可用或不安全; 因此, TTP 作为单点故障可能会破坏系统。TTP 还收取交易费用并增加一些交易延迟。因此, 比特币背后的动机是克服与在电子交易中依赖 TTP 相关的这些限制。

在著名的比特币白皮书发表一年后, 比特币加密货币开始实施, 代码以开源形式发布, 这使得其他人可以修改和改进代码, 以创建不同代的基于区块链的技术。比特币等基于区块链的加密货币的首次实现构成了第一代区块链技术, 也称为区块链 1.0。其他区块链 1.0 技术包括 Monero、Dash 和 Litecoin 等等。第二代区块链技术 (blockchain 2.0) 与智能财产和智能合约的引入相关。智能财产是那些所有权可以由基于区块链的平台控制的数字财产或资产, 而智能合约是编码智能财产如何控制和管理的规则的软件程序。区块链 2.0 加密货币的示例包括以太坊、以太坊经典、NEO 和 QTUM。

在此基础上, 第三代区块链技术 (blockchain 3.0) 现在关注区块链的非金融应用。为此, 已努力将该技术应用到金融以外的其他应用领域, 以便其他行业和用例能够从区块链的有趣特性中受益。因此, 区块链现在被认为是一种通用技术, 已在不同行业和用例中找到应用, 例如身份管理、争议解决、合同管理、供应链管理、保险和医疗保健等。

随着对区块链的日益浓厚的兴趣及其在不同组织和行业中的采用, 医疗保健已成为一个重要领域, 已确定了许多用于区块链应用的应用。然而, 区块链作为一项

相对较新的技术, 在媒体和灰色出版物中以观点文章、评论、博客文章、采访等形式进行了大量炒作, 存在大量不准确的信息、猜测和区块链在医疗保健行业的潜在效用存在不确定性。研究界成员和从业者希望了解区块链在医疗保健行业的具体应用领域或用例; 在这些确定的用例中, 已经开发了哪些基于区块链的医疗保健应用程序? 基于区块链的医疗保健应用有哪些挑战和局限性, 目前这些挑战是如何解决的, 还有哪些需要改进的地方?

本文报告为了解决上述问题而进行的系统评价。虽然在文献中存在一些与该主题相关的有趣评论, 但我们在方法和目标方面有所不同。在 Angraal 等人进行的审查中, 他们确定了区块链技术在医疗保健中的一些应用示例。其中包括 Guardtime, 这是一家运营基于区块链的医疗保健平台的公司, 用于为爱沙尼亚公民验证患者的身份; 以及 MedRec 项目, 该项目旨在促进医疗实体之间的权限、授权和数据共享管理。同样, Engelhardt 概述了医疗保健领域区块链技术公司的一系列“值得注意”的例子。这些公司分为不同的医疗保健用例, 即; 处方药欺诈检测、以患者为中心的医疗记录和牙科行业。这篇评论与 Mettler 进行的评论同样相似, 他在其中报告了一些基于区块链的应用程序和公司在制药行业公共卫生管理、医学研究和药品假冒领域的例子。就他们而言, Ku 等人。与传统的医疗保健应用数据库相比, 公布了区块链的主要优势。他们进一步解释了如何利用这些好处来改善病历管理、加强保险索赔流程、改进临床研究和推进医疗数据分类账。最后, Roman-Belmonte 等人。在他们的评论中, 涵盖了区块链在不同医学领域的现有和潜在应用, 包括法律医学、健康数据分析、生物医学研究、电子病历、有意义的使用、医疗服务支付等领域。

我们的方法与上述综述中采用的方法不同, 因为我们遵循系统文献综述和系统映射研究过程的指南以及系统综述和元分析 (PRISMA) 声明的首选报告项目在进行和报告我们的审查。我们的系统审查基于精心设计的研究方案, 确保对所有已发表的与主题相关的同行评审文章进行全面和公正的抽样。基于该协议, 我们从著名的科学数据库中检索相关文章, 我们将这些文章分类并映射到不同的类别中, 以揭示正在进行的区块链技术在医疗保健中应用研究的真实状态。我们研究得出的地图对于从业者和研究人员了解最新领域和未来研究领域非常有价值。据我们所知, 这是第一篇关于区块链在医疗保健中应用的文献综述, 遵循系统的映射研究过程。Yli-

Huumo 等人进行的系统评价。启发了我们选择这种方法；然而，他们对区块链技术的技术挑战的评论与我们的主题无关，即区块链在医疗保健中的应用。Holbl 等人的系统评价。也类似，但我们的范围明显不同；例如，评论涵盖 33 篇文章，而我们的评论涵盖 65 篇文章。

还值得注意的是，本次审查的目的不仅是确定医疗保健中基于区块链的应用程序的用例或示例，而且还要了解基于区块链的医疗保健应用程序的局限性和挑战以及当前在开发这些应用程序（以及克服限制）中采用的技术方法、方法和概念方面的趋势，以揭示未来研究的领域。此外，本次审查涵盖了许多在先前审查时尚未发表的新材料。如前所述，区块链在医疗保健中的应用是一个相对较新的范式，并且正在迅速发展，因此，有许多关于该主题的新出版物。为了说明这一点，本研究的 65 篇选定论文中有 32 篇发表于 2018 年，而大多数现有评论发表于 2017 年或更早。

一、区块链关键概念

在本节中，我们将讨论区块链技术的核心特征，以帮助理解本文的其余部分。

i. 区块链概述和架构

从本质上讲，区块链是一个位于互联网之上的点对点网络，它是在 2008 年作为比特币提案的一部分引入的。区块链是一个由一系列区块组成的公共分类账，其中包含网络内发生的交易记录的完整历史记录。块基本上由标题和正文组成。每个区块的头部包含前一个区块的哈希值。因此，块形成链或链表，其中每个块结构都基于前一个块结构。

区块头还包含一个时间戳，指示区块发布的时间，一个随机数，这是一个任意数字，矿工会频繁更改以获得某个哈希值来解决数学难题，以及一个从根本上减少所需工作量的默克尔树检查块内的交易。

区块链交易可以定义为存储在公共块中的一个小任务单元。每笔交易都通过大多数系统参与者的共识进行验证。这样，一旦交易被打包到区块链中，就可以确保防篡改。关于区块链的不变性，所有参与者都复制、托管和维护同一份账本副本。

无论区块链的类型如何，业务逻辑都使用智能合约进行编码，智能合约是区块链框架上的一种自动执行代码，允许直接处理。当嵌入区块链中时，智能合约将永久防篡改，因为没有人可以更改已编程的内容，由于自动化的可能性而进行自我验证，并且在所有阶段都满足规则时自我执行。

在区块链的重要特征中，通过使所有参与者都可以访问分类账来实现去中心化，不可篡改，因此区块链几乎不可能被篡改并且是抗审查的，通过为所有对等方提供区块链副本以访问所有时间戳交易记录的可用性，匿名性，每个用户都可以使用生成的地址与区块链进行交互，这不会透露用户的真实身份。

ii. 区块链系统分类

当前的区块链系统分为四种类型：公共、私有、联盟和混合区块链。

·公共区块链：公共区块链提供了一个完全去中心化的网络，每个成员都可以访问区块链内容并可以参与共识过程（例如比特币和以太坊）。

·私有区块链：私有区块链专用于单一企业解决方案，用于跟踪不同部门或个人之间发生的数据交换。每个参与者都需要同意才能加入网络，并在加入网络后被视为已知成员。

·联盟区块链：联盟区块链是一个许可网络，仅对特权群体公开。它用作可审计且可靠同步的分布式数据库，用于跟踪参与者的数据交换。

·混合区块链：混合区块链结合了私有和公共区块链的优势。因此，使用公共区块链使账本完全可访问，并在后台运行私有区块链，可以控制对账本中修改的访问。

二、医疗保健中的区块链用例

区块链被认为具有巨大潜力的领域之一是医疗保健。了解区块链在医疗保健中的相关性和重要性，2016 年，国家卫生信息技术协调员办公室（ONC）提出了一个构思挑战，要求提供有关区块链在医疗保健中的潜在用途的白皮书。这一挑战为区块链带来了一些提议的医疗保健应用。

在本节中，我们将重点关注按几个用例分类的最重要的研究，例如电子病历、远程患者监控、药品供应链和健康保险索赔。

i. 电子病历

为了改变医疗保健，重点应该放在健康数据的管理上，这些数据可以从连接异构系统和提高电子健康记录（EHR）准确性的潜力中得到改进。虽然电子病历（EMR）和 EHR 可以互换使用，但这两个术语之间存在差异。EMR 术语首先出现，它是临床医生办公室纸质图表的数字版本。EMR 在一次实践中包含患者的医疗和治疗历史。然而，EHR 关注患者的整体健康状况——超越了在提供者办公室收集的标准临床数据，并包含对患者

护理的更广泛观点。

从映射研究来看, 区块链技术支持 EHR 的管理。在这种情况下, Ekblaw 等人。目前 MedRec, 一种与 EHR 相关的实现, 它提出了一种分散的方法来管理医疗保健利益相关者之间的授权、权限和数据共享。MedRec 使用以太坊平台使患者能够获得有关谁可以获取其医疗保健信息的知识和信息。

集成 EHR 的第二个应用程序是 FHIRChain (快速健康互操作性记录 + 区块链)。这是一个使用以太坊实现的基于区块链的应用程序, 用于共享专注于医疗记录管理的临床数据。FHIRChain 为满足 ONC 要求的患者提供解决方案。

同样, 夏等人。提出 Medshare 一个以太坊应用程序, 用于系统由于显示私有数据内容的不利风险而缺乏在云服务之间共享数据的协作。Medshare 在大数据实体之间提供数据来源、审计和控制, 以便在云存储库中共享医疗数据。

其他基于区块链的 EMR 应用程序包括 MedBlock 和 BlockHIE。MedBlock 提供了一种记录搜索机制。提议的系统维护包含患者记录的块的地址, 按医疗保健提供者或部门分组。每个患者清单都包含对区块链上相应记录的引用。姜等人提出的 BlocHIE。他们在其中展示了一个基于区块链技术的医疗保健平台。

为了继续利用现有数据库, BlocHIE 结合了链下存储 (数据存储在外部医院的数据库中) 和链上验证。区块链系统存储外部记录的散列值。作者通过提出 FAIR-FIRST 和 TP&FAIR 这两种基于公平的交易打包算法来提高公平性和吞吐量。还有另一个基于医疗保健区块链的框架, Ancile, 它使用以太坊智能合约来实现 EMR 的数据隐私、安全、访问控制和互操作性。

罗尔斯等人。提出了 omniPHR, 这是一种分布式模型, 可维护个人健康记录 (PHR) 的可互操作单一视图。所提出的解决方案基于 PHR 数据的弹性、可互操作和可扩展的架构。此外, omniPHR 评估可以确保将 PHR 划分为数据块及其在路由覆盖网络中的分布。

ii. 远程病人监护

为了能够远程监控患者的状态, 远程患者监控包括通过移动设备、身体区域传感器和 IoT (物联网) 设备收集医疗数据。区块链在存储、共享和检索远程收集的生物医学数据方面发挥着重要作用。

在这种情况下, Ichikawa 等人。提出了一个应用程序, 其中移动设备用于将数据传输到 Hyperledger Fabric 上基

于区块链的应用程序。

格里格斯等人。展示了以太坊智能合约如何通过支持实时患者监测应用程序在安全环境中提供自动化干预。其他提议的方法展示了物联网 (IoT) 在许多领域的巨大潜力, 特别是它在电子医疗中得到大量开发和使用。在这个方向上, Ray 等人。提出 IoBHealth, 这是一种将物联网与区块链相结合的数据流架构, 可用于访问、存储和管理电子健康数据。

iii. 药品供应链

另一个确定的区块链用例是在制药行业。提供假药或不充分的药物可能对患者产生严重后果。区块链技术已被确定有能力解决这个问题。博切克等人。介绍 Modum.io AG, 这是一家使用区块链实现数据不变性的初创公司。为了验证是否符合质量控制温度要求, 这家初创公司创建了药品在运输过程中温度记录的公共可访问性。

也解决了假药问题, 作者通过提出基于区块链技术的安全、不可变和可追溯的药品供应链来防止假药。关于药品法规问题, Jamil 等人。解决了药物标准化问题。作者强调了检测假药的困难, 并提出了一种基于区块链的解决方案来检测假药。虽然有少数论文介绍了拟议系统的实施, 但一些有趣的评论讨论了药品供应链问题。

iv. 健康保险索赔

健康保险索赔是可以从区块链上存储的数据的不变性、透明度和可审计性中受益的医疗保健领域之一。

而医疗保险索赔处理是区块链具有潜力的重要领域。然而, 这种系统的原型实现非常有限。我们可以找到 MISore, 这是一个基于区块链的医疗保险系统, 它为医疗保险行业提供加密且不可变存储的医疗保险数据。

三、研究挑战与机遇

基于提出的原型和开发的应用程序, 我们可以识别基于医疗保健区块链的应用程序的不同限制。首先, EMR 系统不解决语义互操作性。因此, 需要医疗和健康数据专家对预定义本体进行手动检查和映射。第二, 临床医疗事故不能控制在这个层面。此外, 可扩展性和互操作性问题代表了该领域当前和未来研究的主要焦点。互操作性挑战揭示了基于区块链技术开发医疗保健应用程序缺少标准的事实。因此, 不同开发的应用程序可能无法互操作。此外, 可扩展性是基于区块链的医疗保健系统中的一个主要问题, 尤其是涉及的医疗数据量。由于大量医疗保健数据, 将其存储在链上即区块链上是不切实际的, 因为这可能会导致严重的性能下降。此外,

在基于区块链的系统中, 还存在由交易处理速度和链下数据加载引起的延迟问题。最后, 另一个弱点与区块链的不变性和代码的自我执行有关, 因为智能合约可能容易受到黑客攻击。就在 2016 年至 2018 年之间, 去中心化自治组织 (DAO) 攻击等攻击导致智能合约持有的资产损失数百万美元。

结论

本研究概述了区块链在医疗保健中的应用。事实上, 由于这项技术的指数级增长, 区块链已应用于多个用例, 旨在提高医疗服务的自动化程度。

我们的研究表明, 在医疗保健中应用区块链的大多数研究都集中在共享电子健康记录上。区块链研究人员应考虑在生物医学研究、药品供应链、保险等领域进行其他调查。此外, 我们注意到很少有论文涉及实现细节。

尽管区块链技术提供了有前途的功能, 但仍需要更多的研究来更好地理解、有效和安全地开发和评估这项技术。一直在努力克服可扩展性、安全性和隐私方面的限制, 以提高利益相关者对使用该技术的信心并增加其在医疗保健中的采用。

参考文献:

[1]Electronic health and medical records. <https://www.healthit.gov/buzz-blog/electronic-health-and-medical-records/emr-vs-ehr-difference>

[2]Ahram, T., Sargolzaei, A., Sargolzaei, S., Daniels, J., Amaba, B.: Blockchain technology innovations. In: IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON), pp. 137 - 141. IEEE (2017)

[3]Bender, D., Sartipi, K.: HL7 FHIR: an agile and restful approach to healthcare information exchange. In: Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-based Medical Systems, pp. 326 - 331. IEEE (2013)

[4]Bocek, T., Rodrigues, B.B., Strasser, T., Stiller, B.: Blockchains everywhere - a use-case of blockchains in the pharma supply-chain. In: IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM), pp. 772 - 777, May 2017

[5]Bryatov, S., Borodinov, A.: Blockchain technology in the pharmaceutical supply chain: researching a business model based on hyperledger fabric. In: International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), Samara, Russia (2019)

[6]Engelhardt M.A. Hitching Healthcare to the Chain: An Introduction to Blockchain Technology in the Healthcare Sector. *Technol. Innov. Manag. Rev.* 2017;7:22 - 34. doi: 10.22215/timreview/1111.

[7]Mettler M. Blockchain Technology in Healthcare the Revolution Starts Here; Proceedings of the 2016 IEEE 18th International Conference on E-Health Networking, Applications and Services (Healthcom); Munich, Germany. 14 - 17 September 2016; pp. 520 - 522.

[8]Kuo T.T., Kim H.E., Ohno-Machado L. Blockchain Distributed Ledger Technologies for Biomedical and Health Care Applications. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 2017;24:1211 - 1220. doi: 10.1093/jamia/ocx068.

[9]Roman-Belmonte J.M., De la Corte-Rodriguez H., Rodriguez-Merchan E.C.C., la Corte-Rodriguez H., Carlos Rodriguez-Merchan E. How Blockchain Technology Can Change Medicine. *Postgrad. Med.* 2018;130:420 - 427. doi: 10.1080/00325481.2018.1472996.

[10]Kitchenham B., Charters S. Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Engineering.* 2007;2:1051. doi: 10.1145/1134285.1134500.