

Блокчейн и управление строительной информацией (BIM) для устойчивого развития зданий в контексте умных городов



sustainability

Zhen Liu , Ziyuan Chi , Mohamed Osmani , Peter Demian

Blockchain and Building Information Management (BIM) for Sustainable Building Development within the Context of Smart Cities

Sustainability 2021, 13(4), 2090; <https://doi.org/10.3390/su13042090>
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2090/htm>

(Эта статья относится к специальным обзорам и перспективам умных и устойчивых мегаполисов и региональных городов)

Сигнальный перевод 2021 г. Куприяновский В.П. v.kupriyanovsky@rut.digital

Абстракт

«Умные города» - это город нового типа, в котором заинтересованные стороны совместно несут ответственность за управление городским хозяйством. City Information Management (CIM) - это выходящий инструмент для умного городского планирования и управления, который помогает в достижении устойчивого развития городской инфраструктуры и продвигает умные города для достижения целей устойчивого глобального экономического развития, устойчивого экологического развития и улучшения жизни людей. качество жизни. Существующие исследования пока установили, что блокчейн и BIM обладают большим потенциалом для повышения производительности строительных проектов. Тем не менее, мало исследований о том, как блокчейн и BIM могут поддерживать устойчивое проектирование и строительство зданий. Таким образом, цель данной статьи - изучить потенциальное влияние интеграции блокчейна и BIM в среду умного города на повышение устойчивости зданий в контексте CIM / Smart Cities. В документе исследуются взаимосвязи между блокчейном, BIM и устойчивым строительством на всех этапах жизненного цикла строительного проекта. Этот документ запрашивает базу данных Web of Science (WoS) с ключевыми словами для получения соответствующей публикации, а затем использует VOSviewer для визуального анализа взаимосвязей между блокчейном, BIM и устойчивым строительством в контексте умных городов и CIM, что выполняется с помощью библиометрических данных. анализ с последующим анализом микросхемы. Результаты демонстрируют ценность этого метода в оценке важности этих трех тем, подчеркивая их взаимосвязь и выявляя тенденции, давая исследователям объективное направление исследования. Эти аспекты, изложенные в документе, представляют собой оригинальный вклад.

Ключевые слова: умные города; блокчейн; управление строительной информацией (BIM); управление городской информацией (CIM); устойчивое строительство; жизненный цикл; VOSviewer

1. Введение

Термин «умные города» впервые появился в 1990-х годах [1]. С тех пор появилось несколько определений умных городов. В разные периоды разработки разные заинтересованные стороны будут давать разные определения. Одно из более широко используемых определений относится к шести измерениям, а именно: умные люди, умная экономика, умное управление, умная мобильность, умная жизнь и умная среда - для измерения развития умных городов [2]. Города могут вносить дальнейшие корректировки и улучшения в соответствии с собственными фактическими условиями развития и формировать свои собственные характерные пути развития. Британский институт стандартов (BSI) [3] определяет умный город как «эффективную интеграцию физических, цифровых и человеческих систем в искусственную среду для обеспечения устойчивого, процветающего и инклюзивного будущего для его граждан».

Развитие умных городов берет «ориентированность на граждан и повышение качества жизни жителей» [4] в качестве фундаментальной цели и обеспечивает достижение триады экономического, социального и экологического развития в долгосрочном развитии. Новые технологии, как инструмент городского развития, постоянно собирают данные и знания по всему миру, производят качественные изменения в значительных объемах данных и способствуют инновациям и изменениям [5]. Desouza et al. [6] выделяют три пути к развитию умных городов: с нуля, кварталы и платформы. Тем не менее, политики ясно дают понять, что не технологии являются ядром разработки политики и городского развития, а заботой о гражданах. Стратегия умного города приносит в регион инновационные изменения, которые помогают региону улучшить его имидж и статус, способствовать промышленному развитию, привлечь высококвалифицированные таланты и внести свой вклад в формирование модели умного города, которая срочно необходима для устойчивых поселений в климатических условиях. аварийная ситуация [7]. «Умные» устойчивые города в настоящее время являются основным способом развития, принятым городами по всему миру, потому что этот режим может лучше всего реагировать на изменения окружающей среды, обеспечивать чистоту и честность правительства, внедрять инновации в глобальную сетевую экономику и улучшать качество жизни [8].

Городское развитие претерпело многоэтапную эволюцию, столкнувшись с проблемами сохранения и уничтожения, возрождения и упадка, а также эволюции и возрождения множества отраслей, таких как сельское хозяйство и промышленность [9]. Эти изменения сформировали сегодняшнюю городскую стратегию. Каждое обновление города - это процесс итеративной оптимизации города. Западные города претерпели пять преобразований: от реконструкции городов в 1950-х годах, возрождения городов в 1960-х, обновления городов в 1970-х годах, городского развития в 1980-х годах до возрождения городов в 1990-х годах. Реформа города улучшает политику в соответствии с реальными задачами развития и возможностями города, чтобы осуществлять систематическую реализацию и управление городом и в то же время улучшать качество жизни города [5].

Если взять в качестве примера преобразование «умных» городов Барселоны в районе Поблену, его развитие сосредоточено на социальной интеграции [10]. В долгосрочной перспективе развитие общего направления является перспективным и устойчивым. Наличие наукоемкого города может принести ему следующие преимущества:

Приток талантов, основанных на знаниях, придает обществу мощный инновационный импульс и дает возможность решать проблемы городского развития [11];

Содействовать созданию инфраструктуры и обеспечению безопасности жизни, такой как бизнес-среда, культурные и развлекательные объекты, медицинское образование, жилье и транспорт [12];

Содействовать инвестициям в недвижимость, например, в центры талантов, деловые районы и школьные округа; и в государственных секторах, таких как транспорт, университеты, культурные объекты и туризм [13];

Содействовать установлению отношений взаимопомощи между университетским образованием и компаниями, чтобы университет мог получить практический опыт работы, а компания - знания и навыки [14];

Продвигать граждан к участию в обсуждениях городского развития посредством диалога [15];

Как «мягкий актив» знания могут эффективно создавать ценность для городов и обеспечивать более подходящие решения для управления городским хозяйством [16].

Пример «умных» городов Барселоны в районе Побленоу показывает, что для создания «умного города знаний» требуется поддержка всех заинтересованных сторон, анализируется текущая ситуация и разрабатываются стратегические планы. Формулировка плана требует создания структуры управления знаниями, основанной на различных характеристиках, возможностях и ограничениях города. Города могут учиться знаниям и опыту друг у друга; разрабатывать инновационные решения и устойчивые стратегии; и развивать зеленые, открытые, инклюзивные и устойчивые города [17].

Устойчивость - важная опора для развития умных городов [18]. Умные устройства и умные сервисы стали частью умных городов [19], а приложение City Information Management (CIM) са предложить идеи для эффективного решения проблем в городском строительстве [20]. CIM - это не только инновационное и комплексное строительство новой инфраструктуры, но и средство реализации новой инфраструктуры больших данных, которая играет ведущую роль в реализации ускорения цифровой и интеллектуальной трансформации городских отраслей, помогая формированию новых экономических и технологических форм, а также в реализации городской индустриализации и индустриальной урбанизации [21]. Building Information Management (BIM) - ключевое направление управления информацией в строительной отрасли будущего [22]. Его объединенная платформа с ГИС, инструментами анализа данных, инструментами визуализации и инструментами параметрического проектирования составляет CIM [23], которая обеспечивает мощную поддержку для всестороннего управления городами. Как часть умного города, умные здания также должны обеспечивать устойчивое развитие на протяжении всего жизненного цикла. Чтобы сделать общество более устойчивым, появились различные концепции «зеленого», «защиты окружающей среды» и «устойчивого развития», но существует разрыв между концепцией и реальной деятельностью [24]. Реализация устойчивого развития требует технической поддержки, однако строительная отрасль всегда отставала от других секторов в использовании цифровых информационных технологий [25,26].

Все больше работ было опубликовано по BIM. Более того, BIM выполняет разные функции для разных заинтересованных сторон. Однако из-за ограниченного понимания технологии практиками и существующих препятствий ключевые функции BIM не могут быть задействованы, и весь потенциал BIM еще не реализован [27,28]. Функциональной совместимости также препятствует децентрализованное сотрудничество в строительной отрасли. Эта непрозрачность и недостаток коммуникации не могут дать положительную обратную связь всем заинтересованным сторонам [19,29]. Это приведет к разрозненным командам с разными приоритетами, что не способствует общему прогрессу проекта [25].

Блокчейн - это зашифрованная технология распределенного учета, а также децентрализованная база данных, которая может решить проблемы взаимодействия барьеров / проблем, с которыми сталкивается умный город [26,30]. Блокчейн может безопасно и легко хранить данные для запросов в цепочке, обеспечивая поддержку длительного цикла построения и сокращая

ненужную работу. Ограниченные, но постоянно растущие исследования изучали интеграцию блокчейна и BIM в строительные проекты [31,32,33]. Эти исследования, однако, сосредоточены на приложениях в финансовых аспектах строительства (безопасность платежей, комплексная реализация проекта) и безопасности. Пензес [27] далее подчеркивает важность блокчейна в строительной отрасли и описывает его потенциальное применение в управлении платежами и проектами, в управлении закупками и цепочками поставок, а также в BIM и интеллектуальном управлении активами. Есть несколько связанных исследований того, как блокчейн и BIM влияют на развитие всего цикла устойчивого строительства для умных городов, и недостаточно исследований по изучению взаимосвязи между BIM, блокчейном и устойчивым строительством. Кроме того, потенциальные преимущества интеграции блокчейна и BIM не были полностью реализованы в строительной отрасли. Следовательно, в этой статье исследуется интеграция блокчейна и BIM для поддержки методов устойчивого строительства в умных городах.

2. Методология

Принятая методология запрашивает в базе данных Web of Science (WoS) ключевые слова для получения соответствующей публикации, а затем использует VOSviewer для визуального анализа взаимосвязей между блокчейном, BIM и устойчивым строительством в контексте умных городов, что проводится с помощью библиометрического анализа. анализом микросхем. Библиометрический анализ используется через VOSviewer для проведения макроанализа области исследования, который генерирует большие картины направленности исследований и тенденций в этой области. VOSviewer имеет функции визуализации ключевых слов, соавторов и цитат. Он может визуально отображать горячие точки и тенденции исследований из года в год; и представить их актуальность или частоту через изменение цвета и расстояние. Анализ микросхем суммирует развитие устойчивого жизненного цикла зданий в умных городах и применение блокчейна и BIM, который представляет три фазы жизненного цикла здания, а именно, проектирование, строительство и эксплуатацию, для проверки и уточнения контента, полученного в библиометрический анализ.

WoS выбран в качестве источника базы данных, которая является всемирно признанной базой данных, отражающей уровень научных исследований. Он охватывает широкий спектр журналов, признанных авторитетными. Основная коллекция WoS выбрана для поиска по ключевым словам для комплексного поиска публикаций на основе «тем». В области умных городов при одновременном поиске ключевых слов, связанных с устойчивым строительством и блокчейном, есть несколько статей, которые соответствуют всем ключевым словам. Ключевые слова включают «Информационное моделирование зданий», «Устойчивое строительство», «Устойчивое проектирование зданий», «Устойчивое строительство зданий», «Устойчивое функционирование зданий» и «Блокчейн». Таким образом, сочетание «или» будет использоваться гибко, чтобы найти связь между проектированием, строительством, эксплуатацией, блокчейном, устойчивым строительством и BIM. Блокчейн - это современный подход к BIM и устойчивому развитию зданий, поэтому в данном исследовании рассматриваются статьи, опубликованные в период с 2011 по 2020 годы.

VOSviewer использовался для библиометрического анализа. В немногих исследованиях используются методы визуализации ключевых слов среди исследований, описанных в существующих публикациях, в большинстве из которых используются логические диаграммы [34,35,36], диаграммы сцен [37,38,39,40], дорожные карты [41,42,43] и диаграммы стратегии [44,45,46]. VOSviewer использовался для обзора новейших технологий BIM-поддерживаемых строительных характеристик [47], и в то же время vosviewer используется в качестве наукометрического анализа в научных исследованиях устойчивых городских и сельских территорий [48] и картировании двух десятилетий исследование автономных транспортных средств [49]. Однако в остальном мало исследований с использованием анализа совместной

встречаемости ключевых слов в BIM. Такие методы использовались в патентном анализе [50], базах данных [51], сайтах социальных сетей [52], а также при записи и прогнозировании изменений субъектов в биологических и медицинских компьютерах [53]. Результаты исследования ключевых слов демонстрируют эффективность и надежность поиска, выбора и обработки ключевых слов [51,54]. Поэтому в этом документе делается попытка использовать VOSviewer для визуализации ключевых слов, чтобы раскрыть взаимосвязь между блокчейном, BIM, устойчивым развитием зданий и умными городами.

В VOSviewer частотный разрыв между цепочкой блоков и другими ключевыми словами слишком велик, чтобы отображаться в одном представлении одновременно. Следовательно, в дополнение к блокчейну визуализируются другие релевантные ключевые слова. В результате поиска по ключевым словам WoS было извлечено 1305 исследовательских работ, которые были импортированы в VOSviewer, и программа рассчитала 43 531 ключевое слово. Было обнаружено, что 632 из этих ключевых слов используются как минимум в 13 статьях. Затем необработанные ключевые слова отфильтровываются вручную и выбираются 87 ключевых слов, как показано на Рисунке 1. VOSviewer автоматически разделяет эти ключевые слова на три цвета (красный, зеленый и синий) на три категории и отображает горячие точки исследований за последнее время. годы.

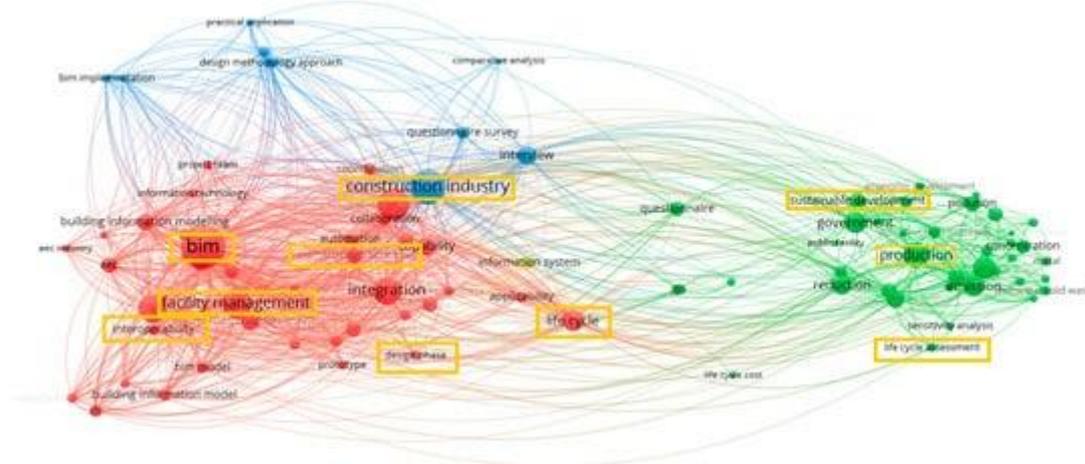


Рисунок 1. Визуализация горячих точек исследования основных наборов кластеров и ключевых слов в строительной отрасли с помощью VOSviewer.

3. Результаты

3.1. Библиометрический анализ

VOSviewer включает три формы анализа: визуализацию сети, визуализацию наложения и визуализацию плотности. Размер каждого кружка представляет собой вес ключевого слова. Расстояние между двумя кругами представляет собой сродство между двумя кругами. Если сродство сильнее, расстояние короче, а чем слабее сродство, тем дальше расстояние. Цвет круга представляет кластер, к которому он принадлежит, а разные кластеры представлены разными цветами.

Рисунок 1 представляет собой сетевую визуализацию. BIM - это ядро в красной области, и степень близости ключевых слов «Facility Management (FM)», «Construction Process» и «Design Phase» уменьшается. Большая часть публикаций связана с FM, а конструкция и дизайн слабые. «Жизненный цикл» соединяет красную и зеленую стороны. Согласно анализу визуализации данных, ключевые слова в зеленой зоне взяли за основу «Производство», где с ним связаны «Устойчивое развитие» и «Оценка жизненного цикла». Однако ключевые слова «Строительная

промышленность» и «BIM» далеки от ключевого слова «Устойчивое развитие», что означает, что они менее релевантны. При этом корреляция со всем жизненным циклом незначительна. Эта ситуация или отсутствие развития строительной отрасли, отражается на устойчивом развитии строительства.

На рисунке 2 показана визуализация исследовательской тенденции со временем в качестве критерия, выделены ключевые слова, которые связаны с BIM, поскольку ядро является горячей точкой исследований за последние пять лет. Таким образом, на основе библиометрического анализа, который резюмирован на рисунках 1 и 2, можно выявить следующую текущую картину в данной области:

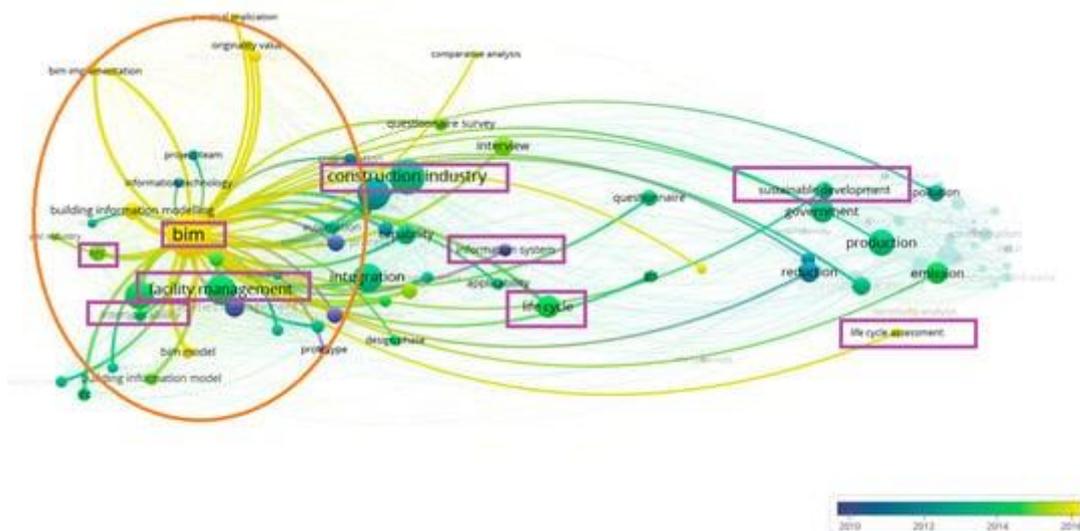


Рисунок 2. Визуализация исследовательских горячих точек в строительной отрасли.

Интеграция BIM и сетевых систем может поддержать улучшение этапов строительства и эксплуатации Архитектуры, Инжиниринга и Строительства (АЕС) [55,56,57,58], что упрощает поиск информации и управление, но в настоящее время находится в стадии разработки. предварительный и промежуточный этап.

Использование BIM на протяжении всего жизненного цикла здания имеет как потенциал, так и препятствия [30,58,59,60,61].

Совместимость данных и информации на протяжении всего жизненного цикла здания все еще остается проблемой [62,63].

В исследованиях строительной индустрии и BIM стадии FM уделялось больше внимания, чем строительной этапам проектирования, строительства и обслуживания. Вопросы жизненного цикла следует решать на ранней стадии, но в последние годы об этом упоминалось много раз.

Как новая технология, блокчейн применяется во многих областях, таких как умные города, сельское хозяйство, медицина, финансы, транспорт, Интернет вещей и другие области. В качестве платформы блокчейн предоставляет заинтересованным сторонам в умных городах механизм для участия в городском строительстве. В последние годы блокчейн стал популярным и широко исследуемым [25,26]. Строительная отрасль также присоединилась к волне этой цифровой технологии. Однако в настоящее время исследований по блокчейну в строительной отрасли мало. Следовательно, необходимо искать ключевые слова блокчейна и строительной отрасли отдельно.

Таким образом, из ScienceDirect было отобрано 11 исследовательских работ с 463 ключевыми словами. 59 из этих ключевых слов были использованы как минимум в двух статьях. Ключевые

Таблица 1. Применение блокчейна, управления информацией о зданиях (BIM) и устойчивого строительства на этапе проектирования жизненного цикла здания.

Source	Year	Research Method	Sustainable Building	Blockchain	BIM
Kuster et al.	2020	Literature and the NeOn methodology	*		
Rajaei et al.	2019	Questionnaire	*		*
Xue et al.	2019	Experimental tests			*
Ghosh	2018	Review			*
Olawumi et al.	2018	A Delphi survey	*		*
Fathi et al.	2016	Case studies	*		*
Kylli et al.	2015	Literature review	*		
Farias Stipo	2015	Literature reviews, case study and interviews	*		
Shoubi et al.	2014	Case study	*		*
Jrade et al.	2013	Modelling	*		*

* indicates that the literature contains the content.

Таблица 2. Применение блокчейна, BIM и устойчивого строительства на этапе строительства жизненного цикла здания.

Source	Year	New Build	Renovation	Research Method	Sustainable Building	Blockchain	BIM
Manganelli et al.	2020		*	Model and a case study	*		
Passer et al.	2020	*		Review	*		*
Shrubsole et al.	2019	*		Literature review	*		
Olawumi et al.	2018	*		A Delphi survey	*		*
Chen et al.	2018		*	Literature review			*
Ghaffarianhoseini et al.	2017	*		Literature review	*		
Bretherton	2017		*	Case studies	*		
Capeluto et al.	2016		*	Comparative analysis	*		
Khaddaj et al.	2016		*	Literature review			*
Jones et al.	2015	*		Literature review	*		*

* indicates that the literature contains the content.

Таблица 3. Применение блокчейна, BIM и устойчивого строительства на этапе эксплуатации жизненного цикла здания.

Source	Year	FM	Maintenance	Research Method	Sustainable Building	Blockchain	BIM
Eicker et al.	2020	-		Case study	-		
Marmo et al.	2020	-	-	Case studies			-
Chen et al.	2020	-		Modelling			-
Olawumi et al.	2020	-		Literature review and questionnaire	-		-
Li et al.	2020	-		Modelling			-
Quinn et al.	2020	-		Case studies			-
Perera et al.	2020	-		Literature review and a use case analysis		-	
Sheng et al.	2020	-		A case study		-	
Elghaleh et al.	2020	-		Experiment		-	-
Chong et al.	2020	-		A questionnaire and a case study		-	-
Marzouk et al.	2020	-		Case study	-		-
Kumar et al.	2020	-		Case studies and test	-		
Matameh et al.	2019	-	-	Literature review			-
Cachat et al.	2019	-		Literature review			-
Ammari et al.	2019	-		Usability testing and questionnaire			-
Chen et al.	2019	-	-	Case study			-
Gao et al.	2019	-		Literature review			-
Gong et al.	2019	-		Case study			-
Bonci et al.	2019	-		Case study			-
Lokshina et al.	2019	-		Evaluation	-	-	-
Yilmaza et al.	2019	-		Expert reviews and case study			-
Bortoluzzi et al.	2019	-		Case studies			-
Chen et al.	2018	-		Literature review			-
Lin et al.	2018	-		Case study			-
Wong et al.	2018	-		Literature review and focus group			-
Pardis et al.	2018	-		Case studies and semi-structure Interview			-
Araszkiewicz	2017	-		Case study			-
Chien et al.	2017	-		Experiment			-
Zadeh et al.	2017	-	-	Case studies			-
Nicak et al.	2016	-		Literature review			-
Aziz et al.	2016	-		Literature review			-
Oti et al.	2016	-		Example description and test case			-
Singh et al.	2011	-		Literature reviews, focus group and case study			-
Arayici et al.	2011	-		Case study			-

Таблица 4. Применение блокчейна, BIM и устойчивого строительства на всем этапе жизненного цикла здания.

Source	Year	Building Life Stage					Research Method	Sustainable Building	Blockchain	BIM
		Design	Construction		Operation					
			New Build	Renovation	FM	Maintenance				
Liu et al.	2020	-					Literature review	-		-
Liu et al.	2019	-	-				Questionnaire & semi-structured Interviews	-	-	-
Tang et al.	2019	-	-	-	-	-	Literature review	-		-
Ustinovichius et al.	2018	-		-			Case study			-
Kim et al.	2018			-	-		Evaluation			-
Turk et al.	2017		-			-	Scenarios		-	-
Wong et al.	2015	-	-	-	-	-	Literature review	-		-

* indicates that the literature contains the content.

Интеграция блокчейна и BIM в строительную отрасль может дать более позитивный импульс для будущего развития умных зданий [25,29]. Как важная технология в строительных проектах, BIM широко используется на всех этапах жизненного цикла строительства. BIM считается эффективным инструментом для интеграции природных систем и технических систем в проектирование зданий [66]. BIM включает базы данных во многих областях [22], обеспечивая основу для редактирования и управления данными на протяжении всего жизненного цикла интеллектуального здания [20]. Это поможет значительно сократить дублирование строительства и отходы, уменьшить количество ошибок, вызванных традиционными методами, и ускорить сроки реализации проекта [42]. В настоящее время разработаны различные модели производительности BIM для помощи в проектировании, строительстве, эксплуатации и обслуживании зданий [45]. Их применимость и направленность различаются, так что удовлетворяются потребности разных пользователей BIM [67].

Как показано в Таблице 1, исследования на этапе проектирования в основном проявляется в строительстве экологически чистых зданий [62,68,69,70] и в комплексных процессах проектирования [71]. Предлагается, чтобы проектировщики усилили способность использовать BIM [62], продвигали сочетание BIM и теории, а также находили решения, поддерживающие устойчивое развитие зданий посредством проектирования [56], и добивались баланса между окружающей средой, экономикой и обществом. [24,62]. Этап проектирования основан на соблюдении строительных норм и правил, и при создании моделей BIM следует учитывать несколько требований: энергетические требования здания, экологические параметры здания, требования контроля качества, комфорт пользователя, требования пользователя, местные климатические условия и культура жизни. [37,72]. Комбинация интеллектуальной сенсорной системы и BIM может помочь создать умную, гуманную и устойчивую застроенную среду, способствовать реализации устойчивых стратегических инициатив в застроенной среде и реализовать зеленые здания, безопасную и здоровую среду обитания [73]. Основными методами исследования, используемыми на этом этапе, являются обзор литературы, анкетирование, эксперимент, анализ случаев и интервью.

Как показано в таблице 2, подробное исследование препятствий и проблем, с которыми сталкиваются заинтересованные стороны при интеграции BIM и практики устойчивого развития на этапе строительства [56,60]. На основе BIM для восстановления исторических зданий [74], построек после землетрясения [75,76] и отремонтированных зданий [77]. Содействовать внедрению платформы BIM для оптимизации процесса строительства, повышения качества трансформации проекта и эффективного отслеживания проекта с помощью визуальных данных [63]. Этот этап отражает обновление городов, которое дает возможность для устойчивого развития и интеллектуального роста городов. Установление индикаторов плана городской реконструкции может проводить проверки качества существующих зданий, снижать уязвимость зданий и способствовать оценке и принятию решений относительно сейсмостойкости зданий [76,77]. Защита здания не означает сохранение старого внешнего вида, но его можно перестроить в устойчивое, устойчивое и экологичное здание с использованием инновационных материалов и технологий [74]. Основные методы исследования, используемые на этом этапе, включают тематические исследования, обзор литературы, интервью и сравнительный анализ.

В Таблице 3 на этапе эксплуатации здания обсуждается, как обновление городов является более устойчивым [34, 61, 78], путем выявления и устранения препятствий для разумных и устойчивых практик в искусственной среде [61] и определения их приоритетности, что обеспечивает основу для принятия решений лицами, принимающими решения. принимать обоснованные решения. Операционная информация управляется посредством интеграции систем BIM и FM. Это традиционное управление техническим обслуживанием сочетается с цифровыми технологиями для повышения эффективности управления и технического обслуживания на будущих этапах

эксплуатации и технического обслуживания [34,35]. Chen et al. структура была разделена на пять модулей, включая проектную документацию, персонал и контакты, планирование и выполнение FM, оценку технических характеристик, а также управление безопасностью и чрезвычайными ситуациями [44]. Кроме того, изучаются потенциал и применение BIM в FM и обслуживании [36,45,55]. С точки зрения руководителей оборудования, оцените и обобщите текущие исследования и прогресс в области применения BIM-O&M, проанализируйте тенденции исследований и найдите пробелы в исследованиях и перспективные направления исследований в будущем [45]. Использование BIM для получения информации в реальном времени [39,79] и проведения заключительной проверки [40] во время завершения проекта для усиления возможностей коммуникации и управления информацией [80]. Арашкевич предлагает возможные направления дальнейших исследований по цифровизации управления недвижимостью и влияния цифровизации на процесс реализации концепции интеллектуального устойчивого строительства [80]. Ссылка [26] доказывает потенциал блокчейна в строительной отрасли и использует его для управления информацией о качестве [81] и комплексной реализации проектов (IPD) [32] в строительстве. Решить проблему безопасности платежей (SOP) за счет интеграции блокчейна, BIM и интеллектуальных датчиков [31]. Основные методы исследования, используемые на этом этапе, включают анализ случая, обзор литературы, фокус-группу, интервью и анкету.

Таблица 4 посвящена литературе, касающейся нескольких фаз жизненного цикла. Видно, что в литературе мало систематических всесторонних исследований всего жизненного цикла здания в соответствии с этапом проектирование – строительство – эксплуатация. С точки зрения устойчивости, интеграция устойчивости на всех этапах строительства - это то, что должны учитывать и реализовывать все заинтересованные стороны в строительной отрасли [62]. Интеграция физических зданий с цифровым моделированием обеспечивает визуальную платформу для совместной работы, которая помогает дизайнерам, архитекторам, инженерам, разработчикам и даже конечным пользователям строить экологичные и устойчивые здания на протяжении всего жизненного цикла проекта. [66]. Чтобы добиться более эффективного управления низкоуглеродными технологиями, инструменты BIM должны включать концепцию «сокращение, повторное использование и переработка». Существует много видов моделей BIM, но по-прежнему необходимо улучшить практичность, простоту использования и совместимость инструментов BIM, чтобы максимизировать их эффективность и беспрепятственно использовать большее количество заинтересованных сторон [28]. Блокчейн предоставляет надежную технологию для построения управления информацией на стадии общего жизненного цикла [33], которая может снизить риски и затраты на подделку без стороннего управления. Это обеспечивает безопасность, надежность и конфиденциальность данных и устанавливает доверие между устройством и пользователем [82].

4. Обсуждение

4.1. Умные города и управление городской информацией (CIM)

Комбинация информации и инфраструктуры закладывает основу для управления умным городом, что значительно повышает эффективность строительства и снижает риски строительства [20]. CIM в городах аналогична роли BIM в архитектуре, которая заключается в интеграции всех моделей пространственных данных. CIM помогает оптимизировать процесс управления [83], улучшить государственные услуги и улучшить качество жизни граждан [84]. В ее уникальной базе данных все заинтересованные стороны совместно участвуют в принятии решений с точки зрения проектирования, планирования, эксплуатации и обслуживания, а также всесторонне интегрируют информацию об искусственной среде, правовой среде и природной среде [85] для получения оптимального решения. Однако в процессе управления модельной информацией интеграция информации представляет собой сложный процесс, и возникает

множество проблем и проблем. Как распределенный реестр, блокчейн может безопасно хранить данные и информацию в цепочке; и сообщения, которые он передает, обладают целостностью, непротиворечивостью и надежностью. Только авторизованные пользователи имеют право вносить изменения, а остальные не имеют права вносить изменения, обеспечивая безопасность информации.

Помимо информационных ресурсов, важная часть умных городов - это инфраструктура. Строительная отрасль - важная сфера умных городов - требует комплексного управления, а строительные проекты предполагают совместное сотрудничество нескольких компаний. С точки зрения устойчивого развития, здания потребляют огромное количество энергии по всему миру. В соответствии с основной предпосылкой обеспечения здоровья пользователей жизненный цикл здания должен быть максимальным для достижения энергосбережения, экономии воды, экономии материалов и защиты окружающей среды [86]. Что касается управления энергопотреблением, это может уменьшить потери энергии за счет разработки интеллектуальных сетей и регулирования выработки электроэнергии по запросу. Что касается управления выбросами углерода и водными ресурсами, компании должны полностью раскрыть свое чувство корпоративной социальной ответственности, визуально раскрывать информацию о выбросах углерода и операциях с водой. Для управления отходами будет разработана единая система управления отходами на основе блокчейна для повторного использования или переработки строительных отходов для достижения устойчивости строительных проектов. Открытость, справедливость и прозрачность блокчейна могут удовлетворить децентрализованное управление информацией о качестве строительства [81]. Все заинтересованные стороны поощряются к сотрудничеству, а коллективные интересы ставятся выше личных интересов [30], чтобы обеспечить упорядоченное внедрение децентрализованного управления строительной отраслью. Блокчейн может эффективно обрабатывать транзакции, защищать данные, снижать затраты на рабочую силу и повышать прозрачность и безопасность [87].

4.2. Блокчейн и BIM

Хотя использование блокчейна в строительной отрасли еще не получило широкого распространения, интеграция BIM и блокчейна показала потенциал в строительной отрасли для устойчивого развития. BIM - это общий ресурс знаний, который может хранить важную информацию, собранную в цепочке блоков, для обеспечения информационной безопасности и получения необходимой информации из цепочки блоков в любое время. Однако информация о BIM будет постоянно обновляться заинтересованными сторонами. Это приведет к созданию нескольких новых файлов BIM с большим количеством повторяющейся информации в файлах. Семантическая дифференциальная транзакция (SDT) может фиксировать эти изменения и защищать эти изменения в цепочке блоков, чтобы уменьшить это дублирование [29].

Более того, BIM и блокчейн являются взаимодополняющими платформами, и блокчейн может компенсировать недостатки приложений BIM. Например, когда разные заинтересованные стороны не могут беспрепятственно сотрудничать и легко общаться при использовании модели и не могут обмениваться эффективной информацией, блокчейн будет надежным средством сотрудничества. Большое количество временных компаний участвует в системе управления строительными активами, которая фрагментирована, сложна и проблематична в управлении. Блокчейн может хранить все необходимые данные, связанные с активами, обеспечивая лучший жизненный цикл активов [31].

Кроме того, данные BIM и блокчейн передаются в электронном виде, но сложная структура совместной работы BIM не может обеспечить полную защиту [25]. Тем не менее, блокчейн может

безопасно хранить PR данные сенсора, чувствительные к ivacy. Следовательно, интеграция блокчейна и BIM может решить препятствия на пути развития BIM [33].

4.3. Блокчейн и устойчивое строительство

Характеристики блокчейна позволяют избежать централизованного контроля традиционного управления. Безопасность блокчейна обеспечивает надежную платформу для заинтересованных сторон в строительной отрасли. Существуют практические приложения или теоретические исследования трех стадий жизненного цикла устойчивого здания: проектирование – строительство – эксплуатация.

На этапе проектирования очень важно защитить результаты проектирования от нарушения. Управление цифровым авторским правом включает в себя объем прав интеллектуальной собственности. Чтобы предотвратить плагиат и кражу, блокчейн устанавливает полную цепочку доверия от правообладателя к поставщику услуг [88]. Мультимедийная структура на основе водяных знаков предотвращает подделку исходного содержимого мультимедиа [87]. В процессе проектирования проектные и строительные чертежи будут постоянно обновляться, также требуется единое мнение строителей. Система блокчейн, основанная на смарт-контрактах [87], может обновлять последнюю информацию о чертежах для всех сторон, не вызывая упущений. Протокол распределенного консенсуса принят для обеспечения согласованности данных в цепочке участников [89], и могут выполняться согласование, модификация и обмен информацией в реальном времени.

На этапе строительства, перед лицом глобальной пандемии или будущих условий, электронные торги являются желательным способом. Этот метод может защитить конфиденциальность личности пользователя, проводить транзакции и подавать заявки анонимно, независимо от расстояния и погодных условий, экономить время и сокращать количество случаев мошенничества при операциях с черным ящиком [64]. При подписании контрактов на строительство и процедурах согласования важно предотвратить подделку цифровых подписей. Это способствует взаимной аутентификации и установлению доверия [90].

На этапе эксплуатации здание потребляет огромное количество энергии на этапе эксплуатации и обслуживания, составляя 90% жизненного цикла здания [91]. Эксплуатация - это длительный процесс, а техническое обслуживание - один из самых дорогостоящих и длительных этапов процесса [34]. Следовательно, очень важно создать круговую и устойчивую систему проектирования, строительства и эксплуатации. Благодаря прозрачности блокчейна, статус запросов на обслуживание и процесс обслуживания могут быть известны, так что обслуживающий персонал будет знать время, место и компоненты обслуживания. Обмениваясь информацией через блокчейн, отдел обслуживания может отслеживать обновление информации в режиме реального времени и поддерживать его вовремя. Это может повысить эффективность управления и обслуживания, снизить стоимость FM [41], а также снизить экономические потери и угрозы безопасности, вызванные строительными опасностями.

Кроме того, операционная фаза также включает в себя различные системы управления. При построении управления цепочкой поставок блокчейн помогает проводить аудит и отслеживать информацию о цепочке поставок. При условии обеспечения качества это снижает эксплуатационные расходы, затраты на логистику и риск фальсификации продукции [88]. Существуют также системы управления зданием (BMS), которые управляют такими компонентами системы, как контроль доступа, контроль здания и мобильные приложения [19].

Средства не должны быть неряшливыми на протяжении всего этапа эксплуатации. Для системы закупок отслеживаемость блокчейна делает надзор более прозрачным и легким, она также может составить подробный график, чтобы избежать дефолта [88]. При оплате доставки (перевод

больших сумм денежных средств) / безопасности платежа (SOP) может быть гарантирована безопасность и устранены платежные риски. Использование виртуальной валюты устраняет необходимость в банкнотах или наличных деньгах, снижая затраты на рабочую силу. Это также может уменьшить просрочку платежа и урегулирование невыполнения обязательств [31]. В интегрированной реализации проектов (IPD) блокчейн помогает в создании децентрализованных, автоматизированных и безопасных финансовых платформ [32], на которых поставщики данных получают оплату, а пользователи получают данные [92].

4.4. Устойчивое строительство, блокчейн и BIM

Интеграция цифровых технологий, таких как BIM и блокчейн, способствовала цифровой трансформации экологичных зданий [19]. Из таблицы результатов видно, что существует несколько исследований, в которых все три обсуждаются вместе.

На этапе проектирования необходимо в целом учитывать информацию, строительные знания, экологические, социальные и экономические воздействия [93]. Необходимо объединить лиц, принимающих решения, надзорных органов, инвесторов, проектировщиков, строительных компаний, владельцев и других заинтересованных сторон для участия в проектировании BIM [8]. BIM интегрируется с моделью процесса устойчивого проектирования зданий [71] для сбора большого количества нестабильной информации. Между тем, блокчейн может сбалансировать конфиденциальность и доступность, чтобы обеспечить безопасную передачу данных организациям или устройствам [94]. Лю и др. [95] установили взаимосвязь и роль BIM и блокчейна в обеспечении устойчивости возможность управления проектной информацией здания с точки зрения архитекторов, которая подчеркивает, как пользователи (заинтересованные стороны проектов устойчивого проектирования зданий / заказчики BIM) управляют.

С помощью BIM проект был разработан с учетом архитектурных и инженерных требований во время предварительного проектирования [73]. В процессе моделирования модель постоянно оптимизируется, а задачи решаются вовремя. Это может предсказуемо избежать многих проблем, с которыми сталкивается традиционный архитектурный дизайн и строительство [96]. Например, порядок строительства, размер, безопасность, размещение, выбор материалов, форм и экологические проблемы, вызванные пространством. Раннее планирование этих проблем сделает первоначальный дизайн более стандартизированным, и каждая заинтересованная сторона сможет понять процесс проектирования, прояснить содержание работы всех сторон и сделать работу более организованной. В то же время блокчейн может предоставлять совместимые протоколы для всех партнеров, чтобы обеспечить эффективное авторизационное взаимодействие между лицами, принимающими решения, проектировщиками и строителями; и хорошо справляется с проблемами взаимодействия данных [97].

На этапе строительства ремонт более энергоэффективен, экологически безопасен и дешевле, чем новый [68]. Тем не менее, BIM недостаточно зрелый, чтобы поддерживать и обновлять существующие BIM в проектах реконструкции, и сбор данных является проблемой [63]. Поэтому очень важно предоставить богатую семантическую базу данных и интегрировать различные источники информации [36]. Использование знаний в области архитектурного проектирования может повысить эффективность реконструкции BIM [98]. Для изношенных зданий, не соответствующих требованиям законодательства, использование BIM для ремонта имеет огромный потенциал энергосбережения [72].

На этапе эксплуатации эффективные операционные действия могут улучшить созданную среду и позволить ей иметь более интегрированные функции [99]. Блокчейн может реализовывать транзакции от продаж и операций до финансирования и управления, из которых смарт-контракт может сбалансировать прибыль каждого партнера и интересы компании и пользователей

открытым и прозрачным образом [100]. Циркулярная экономика проходит через строительную отрасль, сохраняя использованные строительные материалы в качестве библиотеки материалов [101]. Городские менеджеры и архитекторы знакомы с повторным использованием этих строительных материалов. Этот опыт может увеличить рынок повторно используемых материалов, сократить использование сырья, сосредоточиться на экологических преимуществах и способствовать устойчивому строительству умных городов. BIM и блокчейн могут помочь проанализировать наиболее ценные материалы для вторичной переработки [102].

Интеграция FM, BIM и блокчейна может значительно улучшить выполнение строительных проектов и оказать помощь в управлении техническим обслуживанием и оценке эффективности строительства [35]. При внедрении BIM необходимо использовать восходящий подход и гарантировать, что все стороны участвуют в планировании, а участники обладают достаточным пониманием и техническим потенциалом [103]. Блокчейн может помочь BIM эффективно использовать данные для объективной оценки проектов, моделирования работы здания и использования полного цикла для повышения общего качества строительного проекта и достижения цели защиты окружающей среды и эффективного сохранения ресурсов [47,104].

5. Выводы

Цель этой статьи - изучить потенциальное влияние интеграции блокчейна и BIM в среду умного города на повышение устойчивости зданий в контексте CIM / Smart Cities. Этот документ запрашивает базу данных Web of Science (WoS) с ключевыми словами для получения соответствующей публикации, а затем использует VOSviewer для визуального анализа взаимосвязей между блокчейном, BIM и устойчивым строительством в контексте умных городов и CIM, что выполняется с помощью библиометрических данных. анализ с последующим анализом микросхемы. Основными вкладами и нововведениями этой статьи являются следующие: (1) Это первая попытка изучить взаимосвязь между блокчейном, BIM и устойчивым строительством в умных городах и CIM с помощью библиометрического анализа и анализа схем. (2) Инструмент для визуализации научных публикаций, VOSviewer, используется для проведения макроанализа. Метод визуализации ключевых слов может пролить свет на блокчейн, BIM и устойчивое строительство. Это включает в себя взаимосвязь между тремя, тенденцию развития, горячие точки исследований и приложение, обеспечивая надежный метод исследования для будущих исследований. (3) По сравнению с существующими аналогичными публикациями, в этом документе более подробно обсуждается, в том числе взаимосвязь и применение блокчейна и BIM, блокчейна и устойчивого строительства, блокчейна и BIM, а также устойчивого строительства. (4) По сравнению с существующими аналогичными публикациями, эта статья включает в исследование проект – строительство – эксплуатация жизненного цикла здания. Полное исследование жизненного цикла может помочь дизайнерам, конструкторам, лицам, принимающим решения, и руководителям, использующим информационные технологии. логика в строительной отрасли для принятия обоснованных проектных решений. Что касается CIM, хотя на данный момент получено мало исследовательских публикаций по CIM, применение CIM в умных городах будет тенденцией в будущем. Базовая платформа CIM - это новый тип инфраструктуры для умных городов и важный инструмент для распространения большей информации и интеллектуального управления городом. CIM объединяет все городские пространственные модели, включая BIM, а также функции визуализации, анализа данных и параметризации. Он может напрямую получать информацию из виртуальной модели для улучшения городского развития и предоставления услуг гражданам, что имеет большое значение для более устойчивого развития городов. Полученные публикации представлены ключевыми словами, что ограничивает данные, представленные в этом документе, содержанием, содержащимся в базе данных WoS. В будущих исследованиях будет изучено

распространение BIM на более широкий спектр CIM, а также изучено практическое применение CIM для поддержки более устойчивого городского развития.

Вклад авторов

Концептуализация, З.Л. и Z.C.; Методология, Z.L., Z.C., M.O. и P.D.; Программное обеспечение, Z.C.; Валидация, Z.L., Z.C., M.O. и P.D.; Формальный анализ, Z.C.; Расследование, З.Л. и Z.C.; Ресурсы, Z.L.; Курирование данных, Z.L. и Z.C.; Письмо - подготовка оригинального черновика, З.Л. и Z.C.; Написание - просмотр и редактирование, Z.L., Z.C., M.O. и P.D.; Визуализация, Z.C.; Надзор, З.Л.; Администрация проекта, Z.L.; Финансирование, Z.L. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Финансирование

Это исследование финансировалось Годовым проектом «Планирование философии и социальных наук города Гуанчжоу на 2020 год»: грант 2020GZYB12 и Операционными фондами фундаментальных научных исследований Южно-Китайского технологического университета (социальные науки): (x2sjC2191370) номер XYZD201928.

Заявление институционального контрольного совета

Непригодный.

Заявление о доступности данных

В этом исследовании были проанализированы общедоступные наборы данных. Эти данные можно найти здесь: [<https://login.webofknowledge.com>].

Благодарности

Авторы выражают благодарность всем, кто поддерживает это исследование. З.Л. хотел бы поблагодарить певца Джея Чоу, который вдохновил его много лет назад и объединил свой уникальный музыкальный стиль с китайскими и западными элементами, чтобы создать новую музыкальную экосистему, которая продолжает влиять на настоящее и будущее, что то же самое с текущим блокчейном и строительной информацией менеджеры умных городов развиваются в направлении устойчивого развития.

Конфликт интересов

Авторы объявили, что нет никаких конфликтов интересов. Финансирующие организации не играли никакой роли в разработке исследования; при сборе, анализе или интерпретации данных; при написании рукописи или в решении опубликовать результат.

References

1. Yin, C.; Xiong, Z.; Chen, H.; Wang, J.; Cooper, D.; David, B. A literature survey on smart cities. *Sci. China Inf. Sci.* **2015**, *58*, 1–18. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
2. Ibrahim, M.; El-Zaart, A.; Adams, C. Smart sustainable cities roadmap: Readiness for transformation towards urban sustainability. *Sustain. Cities Soc.* **2018**, *37*, 530–540. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
3. BSI (British Standards Institution). Smart Cities Overview—Guide. Available online: <http://shop.bsigroup.com/upload/Shop/Download/PAS/30313208-PD8100-2015.pdf> (accessed on 8 December 2020).

4. Cardullo, P.; Kitchin, R. Smart urbanism and smart citizenship: The neoliberal logic of ‘citizen-focused’ smart cities in Europe. *Environ. Plan. C Polit. Space* **2019**, *37*, 813–830. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
5. Greene, S.; Pettit, K.L.S. *What If Cities Used Data to Drive Inclusive Neighborhood Change*; Urban Institute: Washington, DC, USA, 2016. [[Google Scholar](#)]
6. Desouza, K.C.; Hunter, M.; Jacob, B.; Yigitcanlar, T. Pathways to the Making of Prosperous Smart Cities: An Exploratory Study on the Best Practice. *J. Urban Technol.* **2020**, *27*, 3–32. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
7. Yigitcanlar, T.; Han, H.; Kamruzzaman, M.; Ioppolo, G.; Sabatini-Marques, J. The making of smart cities: Are Songdo, Masdar, Amsterdam, San Francisco and Brisbane the best we could build? *Land Use Policy*. **2019**, *88*, 104187. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
8. Angelo, H.; Vormann, B. Long waves of urban reform. *City* **2018**, *22*, 782–800. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
9. Camerin, F. From “Ribera Plan” to “Diagonal Mar”, passing through 1992 “Vila Olímpica”. How urban renewal took place as urban regeneration in Poblenou district (Barcelona). *Land Use Policy* **2019**, *89*, 104226. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
10. Noori, N.; Hoppe, T.; De Jong, M. Classifying Pathways for Smart City Development: Comparing Design, Governance and Implementation in Amsterdam, Barcelona, Dubai, and Abu Dhabi. *Sustainability* **2020**, *12*, 4030. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
11. Laitinen, I.; Piazza, R.; Stenvall, J. Adaptive learning in smart cities—The cases of Catania and Helsinki. *J. Adult Contin. Educ.* **2017**, *23*, 119–137. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
12. Yigitcanlar, T.; Baum, S.; Horton, S. Attracting and retaining knowledge workers in knowledge cities. *J. Knowl. Manag.* **2007**, *11*, 6–17. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
13. Huston, S.; Warren, C. Knowledge city and urban economic resilience. *J. Prop. Invest. Financ.* **2013**, *31*, 78–88. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
14. Hope, A. Creating sustainable cities through knowledge exchange. *Int. J. Sustain. High. Educ.* **2016**, *17*, 796–811. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
15. March, H.; Ribera-Fumaz, R. Smart contradictions: The politics of making Barcelona a Self-sufficient city. *Eur. Urban. Reg. Stud.* **2016**, *23*, 816–830. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
16. Gascó, M.; Trivellato, B.; Cavenago, D. How Do Southern European Cities Foster Innovation? Lessons from the Experience of the Smart City Approaches of Barcelona and Milan. In *Co-Creating Digital Public Services for an Ageing Society*; Springer Nature: Berlin, Germany, 2015; Volume 11, pp. 191–206. [[Google Scholar](#)]
17. Bibri, S.E.; Krogstie, J. Environmentally data-driven smart sustainable cities: Applied innovative solutions for energy efficiency, pollution reduction, and urban metabolism. *Energy Inform.* **2020**, *3*, 1–59. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
18. Haarstad, H. Constructing the sustainable city: Examining the role of sustainability in the ‘smart city’ discourse. *J. Environ. Policy Plan.* **2016**, *19*, 423–437. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Lokshina, I.V.; Greguš, M.; Thomas, W.L. Application of Integrated Building Information Modeling, IoT and Blockchain Technologies in System Design of a Smart Building. *Procedia Comput. Sci.* **2019**, *160*, 497–502. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
20. Li, Y.-W.; Cao, K. Establishment and application of intelligent city building information model based on BP neural network model. *Comput. Commun.* **2020**, *153*, 382–389. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
21. CIM Brain and CIM Digital Twin New Infrastructure White Paper. Available online: https://mp.weixin.qq.com/s/R6maxZ2XtVRMgHUvTo7_EA (accessed on 15 December 2020).
22. Li, X.; Wu, P.; Shen, G.Q.; Wang, X.; Teng, Y. Mapping the knowledge domains of Building Information Modeling (BIM): A bibliometric approach. *Autom. Constr.* **2017**, *84*, 195–206. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

23. Falcão, G.; Beirão, J. Design Narrative and City Information Modeling. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin, Germany, 2020; pp. 142–147. [[Google Scholar](#)]
24. Passer, A.; Wall, J.; Kreiner, H.; Maydl, P.; Höfler, K. Sustainable buildings, construction products and technologies: Linking research and construction practice. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2014**, *20*, 1–8. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
25. Nawari, N.O.; Ravindran, S. Blockchain and the built environment: Potentials and limitations. *J. Build. Eng.* **2019**, *25*, 100832. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
26. Perera, S.; Nanayakkara, S.; Rodrigo, M.; Senaratne, S.; Weinand, R. Blockchain technology: Is it hype or real in the construction industry? *J. Ind. Inf. Integr.* **2020**, *17*, 100125. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
27. Penzes, B. *Blockchain Technology in the Construction Industry*; Institution of Civil Engineers: Westminster, London, UK, 2018; pp. 1–53. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
28. Wong, J.K.W.; Zhou, J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Autom. Constr.* **2015**, *57*, 156–165. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
29. Xue, F.; Lu, W. A semantic differential transaction approach to minimizing information redundancy for BIM and blockchain integration. *Autom. Constr.* **2020**, *118*, 103270. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
30. Hunhevicz, J.J.; Hall, D.M. Do you need a blockchain in construction? Use case categories and decision framework for DLT design options. *Adv. Eng. Inform.* **2020**, *45*, 101094. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
31. Chong, H.-Y.; Diamantopoulos, A. Integrating advanced technologies to uphold security of payment: Data flow diagram. *Autom. Constr.* **2020**, *114*, 103158. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
32. Elghaish, F.; Abrishami, S.; Hosseini, M.R. Integrated project delivery with blockchain: An automated financial system. *Autom. Constr.* **2020**, *114*, 103182. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
33. Turk, Ž.; Klinc, R. Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. *Procedia Eng.* **2017**, *196*, 638–645. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
34. Chen, C.; Tang, L. BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. *Autom. Constr.* **2019**, *107*, 102944. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
35. Marmo, R.; Polverino, F.; Nicolella, M.; Tibaut, A. Building performance and maintenance information model based on IFC schema. *Autom. Constr.* **2020**, *118*, 103275. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
36. Matarneh, S.T.; Danso-Amoako, M.; Al-Bizri, S.; Gaterell, M.; Matarneh, R. Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions. *J. Build. Eng.* **2019**, *24*, 100755. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
37. Habibi, S. Micro-climatization and real-time digitalization effects on energy efficiency based on user behavior. *Build. Environ.* **2017**, *114*, 410–428. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
38. Kang, T.-W.; Choi, H.-S. BIM perspective definition metadata for interworking facility management data. *Adv. Eng. Inform.* **2015**, *29*, 958–970. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
39. Kim, K.; Kim, H.; Kim, W.; Kim, C.; Kim, J.; Yu, J. Integration of ifc objects and facility management work information using Semantic Web. *Autom. Constr.* **2018**, *87*, 173–187. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
40. Lin, Y.-C.; Lin, C.-P.; Hu, H.-T.; Su, Y.-C. Developing final as-built BIM model management system for owners during project closeout: A case study. *Adv. Eng. Inform.* **2018**, *36*, 178–193. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
41. Chen, W.; Chen, K.; Cheng, J.C.; Wang, Q.; Gan, V.J. BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders. *Autom. Constr.* **2018**, *91*, 15–30. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
42. Oti, A.; Kurul, E.; Cheung, F.; Tah, J. A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation. *Autom. Constr.* **2016**, *72*, 195–210. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

43. Wong, J.K.W.; Ge, J.; He, S.X. Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions. *Autom. Constr.* **2018**, *92*, 312–326. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
44. Chen, L.; Shi, P.; Tang, Q.; Liu, W.; Wu, Q. Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM. *Tunn. Undergr. Space Technol.* **2020**, *97*, 103262. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
45. Gao, X.; Pishdad-Bozorgi, P. BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. *Adv. Eng. Inform.* **2019**, *39*, 227–247. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
46. Shen, W.; Hao, Q.; Xue, Y. A loosely coupled system integration approach for decision support in facility management and maintenance. *Autom. Constr.* **2012**, *25*, 41–48. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
47. Jin, R.; Zhong, B.; Ma, L.; Hashemi, A.; Ding, L. Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. *Autom. Constr.* **2019**, *106*, 102861. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
48. Sheikhejad, Y.; Yigitcanlar, T. Scientific Landscape of Sustainable Urban and Rural Areas Research: A Systematic Scientometric Analysis. *Sustainability* **2020**, *12*, 1293. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
49. Faisal, A.; Yigitcanlar, T.; Kamruzzaman, M.; Paz, A. Mapping Two Decades of Autonomous Vehicle Research: A Systematic Scientometric Analysis. *J. Urban Technol.* **2020**, 1–30. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
50. Noh, H.; Jo, Y.; Lee, S. Keyword selection and processing strategy for applying text mining to patent analysis. *Expert Syst. Appl.* **2015**, *42*, 4348–4360. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
51. Yu, X.; Yu, Z.; Liu, Y.; Shi, H. CI-Rank: Collective importance ranking for keyword search in databases. *Inf. Sci.* **2017**, *384*, 1–20. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
52. Biswas, S.K.; Bordoloi, M.; Shreya, J. A graph based keyword extraction model using collective node weight. *Expert Syst. Appl.* **2018**, *97*, 51–59. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
53. Faust, O. Documenting and predicting topic changes in Computers in Biology and Medicine: A bibliometric keyword analysis from 1990 to 2017. *Inform. Med. Unlocked* **2018**, *11*, 15–27. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
54. Meharwade, A.; Patil, G. Efficient Keyword Search over Encrypted Cloud Data. *Procedia Comput. Sci.* **2016**, *78*, 139–145. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
55. Bonci, A.; Carbonari, A.; Cucchiarelli, A.; Messi, L.; Pirani, M.; Vaccarini, M. A cyber-physical system approach for building efficiency monitoring. *Autom. Constr.* **2019**, *102*, 68–85. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
56. Jones, B. Integrated Project Delivery (IPD) for Maximizing Design and Construction Considerations Regarding Sustainability. *Procedia Eng.* **2014**, *95*, 528–538. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
57. Tang, S.; Shelden, D.R.; Eastman, C.M.; Pishdad-Bozorgi, P.; Gao, X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Autom. Constr.* **2019**, *101*, 127–139. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
58. Zadeh, P.A.; Wang, G.; Cavka, H.B.; Staub-French, S.; Pottinger, R. Information Quality Assessment for Facility Management. *Adv. Eng. Inform.* **2017**, *33*, 181–205. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
59. Nicał, A.; Wodyński, W. Enhancing Facility Management through BIM 6D. *Procedia Eng.* **2016**, *164*, 299–306. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
60. Olawumi, T.O.; Chan, D.W.; Wong, J.K.; Chan, A.P. Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *J. Build. Eng.* **2018**, *20*, 60–71. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
61. Olawumi, T.O.; Chan, D.W. Concomitant impediments to the implementation of smart sustainable practices in the built environment. *Sustain. Prod. Consum.* **2020**, *21*, 239–251. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
62. Jrade, A.; Jalaei, F. Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. *Build. Simul.* **2013**, *6*, 429–444. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

63. Khaddaj, M.; Srour, I. Using BIM to Retrofit Existing Buildings. *Procedia Eng.* **2016**, *145*, 1526–1533. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
64. Li, J.; Greenwood, D.; Kassem, M. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases. *Autom. Constr.* **2019**, *102*, 288–307. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
65. Ge, C.; Liu, Z.; Fang, L. A blockchain based decentralized data security mechanism for the Internet of Things. *J. Parallel Distrib. Comput.* **2020**, *141*, 1–9. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
66. Bonenberg, W.; Wei, X. Green BIM in Sustainable Infrastructure. *Procedia Manuf.* **2015**, *3*, 1654–1659. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
67. Yilmaz, G.; Akcamete, A.; Demirors, O. A reference model for BIM capability assessments. *Autom. Constr.* **2019**, *101*, 245–263. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
68. Capeluto, I.G.; Ben-Avraham, O. Assessing the green potential of existing buildings towards smart cities and districts. *Indoor Built Environ.* **2016**, *25*, 1124–1135. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
69. Cheshmehzangi, A. Feasibility Study of Songao’s Low Carbon Town Planning, China. *Energy Procedia* **2016**, *88*, 313–320. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
70. Kylili, A.; Fokaides, P.A. European smart cities: The role of zero energy buildings. *Sustain. Cities Soc.* **2015**, *15*, 86–95. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
71. Stipo, F.J.F. A Standard Design Process for Sustainable Design. *Procedia Comput. Sci.* **2015**, *52*, 746–753. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
72. Ustinovichius, L.; Popov, V.; Cepurnaite, J.; Vilutienė, T.; Samofalov, M.; Miedziałowski, C. BIM-based process management model for building design and refurbishment. *Arch. Civ. Mech. Eng.* **2018**, *18*, 1136–1149. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
73. Ghosh, S. Smart homes: Architectural and engineering design imperatives for smart city building codes. In Proceedings of the 2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP), Bhubaneswar, India, 28–30 March 2018; pp. 1–4. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
74. Dornelles, L.D.L.; Gandolfi, F.; Mercader-Moyano, P.; Mosquera-Adell, E. Place and memory indicator: Methodology for the formulation of a qualitative indicator, named place and memory, with the intent of contributing to previous works of intervention and restoration of heritage spaces and buildings, in the aspect of sustainability. *Sustain. Cities Soc.* **2020**, *54*, 101985. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
75. Bretherton, J. Christchurch’s High Performance Rebuild. *Procedia Eng.* **2017**, *180*, 1044–1055. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
76. Zhen, X.; Furong, Z.; Wei, J.; Yingying, W.; Mingzhu, Q.; Yajun, Y. A 5D simulation method on post-earthquake repair process of buildings based on BIM. *Earthq. Eng. Eng. Vib.* **2020**, *19*, 541–560. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
77. Manganelli, B.; Tataranna, S.; Pontrandolfi, P. A model to support the decision-making in urban regeneration. *Land Use Policy* **2020**, *99*, 104865. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
78. Olawumi, T.O.; Chan, D.W. Critical success factors for implementing building information modeling and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey. *Sustain. Dev.* **2019**, *27*, 587–602. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
79. Pishdad-Bozorgi, P.; Gao, X.; Eastman, C.; Self, A.P. Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). *Autom. Constr.* **2018**, *87*, 22–38. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
80. Araszkiwicz, K. Digital Technologies in Facility Management—The state of Practice and Research Challenges. *Procedia Eng.* **2017**, *196*, 1034–1042. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
81. Sheng, D.; Ding, L.; Zhong, B.; Love, P.E.; Luo, H.; Chen, J. Construction quality information management with blockchains. *Autom. Constr.* **2020**, *120*, 103373. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
82. Sharma, P.K.; Park, J.H. Blockchain based hybrid network architecture for the smart city. *Futur. Gener. Comput. Syst.* **2018**, *86*, 650–655. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
83. Melo, H.C.; Tomé, S.M.G.; Silva, M.H.; Gonzales, M.M.; Gomes, D.B.O. Implementation of City Information Modeling (CIM) concepts in the process of management of the sewage system in Piumhi, Brazil. In Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,

- SBE19 Brussels—BAMB-CIRCPATH “Buildings as Material Banks—A Pathway For A Circular Future”, Brussels, Belgium, 5–7 February 2019; Volume 225, p. 012076. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
84. Dantas, H.S.; Sousa, J.M.M.S.; Melo, H.C. The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities’ Sustainability. In Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, SBE19 Brussels—BAMB-CIRCPATH “Buildings as Material Banks—A Pathway For A Circular Future”, Brussels, Belgium, 5–7 February 2019; Volume 225, p. 012074. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 85. Reitz, T.; Schubiger-Banz, S. The Esri 3D city information model. In Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8), Kuching, Malaysia, 26–29 August 2013; Volume 18, p. 12172. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 86. Vatalis, K.I.; Manoliadis, O.G.; Charalampides, G.; Platias, S.; Savvidis, S. Sustainability Components Affecting Decisions for Green Building Projects. *Procedia Econ. Financ.* **2013**, *5*, 747–756. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 87. Aggarwal, S.; Chaudhary, R.; Aujla, G.S.; Kumar, N.; Choo, K.-K.R.; Zomaya, A.Y. Blockchain for smart communities: Applications, challenges and opportunities. *J. Netw. Comput. Appl.* **2019**, *144*, 13–48. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 88. Mistry, I.; Tanwar, S.; Tyagi, S.; Kumar, N. Blockchain for 5G-enabled IoT for industrial automation: A systematic review, solutions, and challenges. *Mech. Syst. Signal Process.* **2020**, *135*, 106382. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 89. Huang, B.; Zhang, R.; Lu, Z.; Zhang, Y.; Wu, J.; Zhan, L.; Hung, P.C. BPS: A reliable and efficient pub/sub communication model with blockchain-enhanced paradigm in multi-tenant edge cloud. *J. Parallel Distrib. Comput.* **2020**, *143*, 167–178. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 90. Viriyasitavat, W.; Anuphaptrirong, T.; Hoonsopon, D. When blockchain meets Internet of Things: Characteristics, challenges, and business opportunities. *J. Ind. Inf. Integr.* **2019**, *15*, 21–28. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 91. Martínez-Rocamora, A.; Solís-Guzmán, J.; Marrero, M. Ecological footprint of the use and maintenance phase of buildings: Maintenance tasks and final results. *Energy Build.* **2017**, *155*, 339–351. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 92. Zhao, Y.; Yu, Y.; Li, Y.; Han, G.; Du, X. Machine learning based privacy-preserving fair data trading in big data market. *Inf. Sci.* **2019**, *478*, 449–460. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 93. Kuster, C.; Hippolyte, J.-L.; Rezgui, Y. The UDSA ontology: An ontology to support real time urban sustainability assessment. *Adv. Eng. Softw.* **2020**, *140*, 102731. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 94. Dagher, G.G.; Mohler, J.; Milojkovic, M.; Marella, P.B. Ancile: Privacy-preserving framework for access control and interoperability of electronic health records using blockchain technology. *Sustain. Cities Soc.* **2018**, *39*, 283–297. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 95. Liu, Z.; Jiang, L.; Osmani, M.; Demian, P. Building Information Management (BIM) and Blockchain (BC) for Sustainable Building Design Information Management Framework. *Electronics* **2019**, *8*, 724. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 96. Shoubi, M.V.; Shoubi, M.V.; Bagchi, A.; Barough, A.S. Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Eng. J.* **2015**, *6*, 41–55. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 97. Khezr, S.; Yassine, A.; Benlamri, R. Blockchain for smart homes: Review of current trends and research challenges. *Comput. Electr. Eng.* **2020**, *83*, 106585. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 98. Xue, F.; Lu, W.; Chen, K.; Webster, C.J. BIM reconstruction from 3D point clouds: A semantic registration approach based on multimodal optimization and architectural design knowledge. *Adv. Eng. Inform.* **2019**, *42*, 100965. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
 99. Nam, K.; Dutt, C.S.; Chathoth, P.; Khan, M.S. Blockchain technology for smart city and smart tourism: Latest trends and challenges. *Asia Pac. J. Tour. Res.* **2019**, 1–15. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

100. Chaudhary, R.; Jindal, A.; Aujla, G.S.; Aggarwal, S.; Kumar, N.; Choo, K.-K.R. BEST: Blockchain-based secure energy trading in SDN-enabled intelligent transportation system. *Comput. Secur.* **2019**, *85*, 288–299. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
101. Gepts, B.; Meex, E.; Nuyts, E.; Knapen, E.; Verbeeck, G. Existing databases as means to explore the potential of the building stock as material bank. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* **2019**, *225*, 012002. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
102. Copeland, S.; Bilec, M.M. Buildings as material banks using RFID and building information modeling in a circular economy. *Procedia CIRP* **2020**, *90*, 143–147. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
103. Arayici, Y.; Coates, P.; Koskela, L.; Kagioglou, M.; Usher, C.; O'Reilly, K. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Autom. Constr.* **2011**, *20*, 189–195. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
104. Hong, T.; Langevin, J.; Sun, K. Building simulation: Ten challenges. *Build. Simul.* **2018**, *11*, 871–898. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]