

Точное отображение базового уровня городского населения в контексте технологий цифровых двойников: *Инновационная технологическая структура и перспективы применения в планировании*

Wu Jiang, Zhang Yiping, Yuan Ye, Tang Ge, Duan Ruiyan, Xu Shiyan, Kong Ling

Аннотация: Технология цифровых двойников является основой для реализации интеллектуального территориального планирования. В отличие от традиционных инженерных цифровых двойников, городские цифровые двойники сталкиваются с проблемой отсутствия достаточной точности отображения базового уровня населения из-за динамических и сложных социальных факторов. Это затрудняет использование текущих технологий цифровых двойников для предоставления точной информации о населении в целях поддержки городского планирования. В статье рассматриваются общие тенденции развития городских цифровых двойников, их технические проблемы, а также текущие основные методы отображения населения и их недостатки. В рамках логики «реальное пространство, реальное население, реальные потребности» предложена инновационная технологическая структура для точного отображения базового уровня населения города. Эта структура интегрирует различные источники данных, в первую очередь государственные данные, для создания цифровой платформы, ориентированной на потребности государственного обслуживания. Эта технология способствует достижению высокого уровня анализа городской популяции, уточнению предоставления общественных товаров на уровне сообщества и обеспечению качественного территориального планирования.

Ключевые слова: Городской цифровой двойник; базовый уровень населения; точное отображение; инновационная технологическая структура; перспективы применения в планировании.

Городская урбанизация в Китае вступила в новую стадию развития, ориентированную на повышение качества, сталкиваясь с новыми возможностями и вызовами в моделях развития городов и управления. Одним из важных стратегических направлений является создание умного планирования, способного воспринимать, учиться, эффективно управлять и адаптироваться с помощью цифровой экологии нового пространства и времени. Технология цифровых двойников, как средство отображения реального мира в виртуальном, является основой для реализации интеллектуального планирования. Одновременно, доклад XX съезда партии подчеркивает концепцию «города для народа», утверждая, что «город для народа строится народом, город для народа — для народа». Под воздействием технологий цифровых двойников, с одной стороны, создаются разнообразные платформы цифрового управления городами, активно вовлекающие мнения жителей о развитии и обновлениях города, что способствует реализации принципа «город для народа строится народом»; с другой стороны, с помощью цифрового отображения точно описываются потребности различных групп населения в общественных делах, что предоставляет объективные данные для снабжения общественными товарами и

помогает реализовать принцип «город для народа — для народа». Однако, под влиянием традиционных инженерных цифровых двойников, существует проблема «недооценки людей» в городских цифровых двойниках, что проявляется в недостаточном отображении информации о населении или в фокусировании на отображении определённых типов «населения», что приводит к значительным расхождениям между отображённым в цифровом двойнике «слоем базового уровня населения» и реальной ситуацией. Если цифровой двойник города не может точно отобразить реальные данные о населении города, то при планировании, строительстве и управлении городом невозможно точно выявить и оценить проблемы общественных дел, что может привести к ошибкам в оценке или принятию решений, а затем к ошибкам в принятии решений или их неэффективности, что в свою очередь повлияет на социальную справедливость и благосостояние жителей. Поэтому в городских цифровых двойниках крайне важно точно отображать «слой базового уровня населения». Исходя из этих соображений, в статье вначале дается обзор развития цифровых двойников городов в мире, обобщаются методы отображения базового уровня населения и их проблемы, затем, основываясь на практическом опыте, предлагается инновационная технологическая структура для отображения реальной информации о населении города с целью достижения точности в отображении базового уровня населения, а в конце обсуждается, как эта технология может быть использована в планировании.

1. Обзор развития и проблем цифровых двойников городов

1.1 Цифровой двойник и цифровой двойник города

Цифровой двойник (digital twin) — это динамическая виртуальная модель, созданная для физического объекта с использованием цифровых технологий, которая описывает, моделирует и отображает его характеристики, поведение и правила в реальной среде. Концепция цифрового двойника была впервые предложена профессором Майклом Гривсом в 2003 году на курсе управления жизненным циклом продукции в Университете Мичигана, где он определил цифровой двойник как цифровое отображение физического объекта или процесса. В 2012 году NASA в своем отчете «Цифровой двойник для будущих американских космических и воздушных судов» предложило одно из самых значимых определений цифрового двойника. В течение более десяти лет глобальные ученые активно исследовали и развивали теории цифровых двойников. В последние годы, в рамках активной цифровой трансформации в Китае, во многих областях были проведены значительные исследования, и предложены новые прикладные рамки для цифровых двойников в таких областях, как спутниковые и космические коммуникации, полный жизненный цикл судов, устойчивость транспортных средств к повреждениям, интеллектуальное управление электростанциями и цифровые двойники городов.

Идея цифрового двойника вошла в городскую сферу в конце 2010-х годов как технология взаимодействия реального и виртуального мира, направленная на достижение

пространственно-временного обмена данными на всех этапах жизненного цикла планирования, строительства и управления городом, а также на поддержку точных управленческих решений и цифровую капитализацию ресурсов. В последние годы развитые страны провели множество исследований в области цифровых двойников городов, таких как предложенный Сингапуром «План умного Сингапура» (2015), план ЕС «Destination Earth» (2021), разработка цифровой платформы городского двойника SmartWorldPro в Нью-Мексико (2019), проект PLATEAU, инициированный Министерством земельных, инфраструктурных, транспортных и туристических дел Японии (2021), и платформа Unity, созданная французским правительством для управления строительством и проектированием городов (2021). Эти новые проекты цифровых двойников ориентированы на решение общественных проблем, таких как: проект «Destination Earth», нацеленный на мониторинг и прогнозирование взаимодействия человеческой деятельности и окружающей среды для поддержки решений в области природных бедствий; SmartWorldPro, оптимизирующий использование энергии в городе для продвижения низкоуглеродной и чистой энергии; PLATEAU, интегрирующий данные о строительстве, транспорте, географии, экономике, здравоохранении и защите от бедствий для мониторинга городской активности, реагирования на чрезвычайные ситуации и моделирования реализации планов.

1.2 Проблемы цифровых близнецов городов: Городская сложность и точная карта населения

Сложность городов — это главная проблема при применении технологии цифровых близнецов в городской среде. Цифровые близнецы появились в аэрокосмической и авиационной промышленности с классическими приложениями, такими как мониторинг в реальном времени условий эксплуатации самолетов с использованием датчиков и компьютерных симуляций[19]. Однако, как отметил Питер Холл, космические программы имеют четкие цели, похожие на фиксированные мишени, чьи траектории можно предсказать[8]; в то время как городское планирование сталкивается с динамическими неопределенностями социальных факторов, больше напоминающих попадание в движущуюся цель, что делает его гораздо более сложным для реализации, чем космические программы. Батти и другие[4] также считают, что основная концепция цифровых близнецов представляет собой абстракцию физической системы, которая является «жесткой». Если она пытается «отразить» «мягкие» системы, доминирующие человеческим поведением, это будет намного более сложной задачей. Поэтому применение технологии цифровых близнецов в городском планировании принципиально отличается от ее использования в инженерии, особенно тем, что цифровые близнецы городов, помимо отображения физического пространства, также должны всесторонне учитывать принимающих решения и тех, кто подвергается воздействию изменений в физическом пространстве, а также критически реагировать на институциональные элементы городов[7], что само по себе наполнено динамической сложностью.

Мультиагентные, многозадачные, многоповеденческие и многоорганизационные

характеристики населения способствуют городской сложности и формируют «основную логику», которая влияет на городские решения по развитию, поведенческие взаимодействия и институциональные конструкции. Некоторые ученые сравнивают цифровой близнец города с моделью сложной стековой структуры[20], которая собирается через вертикально интегрированные, многотиповые, многомасштабные, многоатрибутивные и многомодульные операционные слои, с внутренними интерфейсами и протоколами для авторитарной интеграции и непрерывной итерации этих слоев. Однако это не означает, что чем больше данных у цифрового близнеца города, тем лучше; напротив, он должен отображать «необходимое полное количество» на основе фактических потребностей[8]. Среди различных городских данных базовое население играет ключевую роль в выявлении общественных проблем, анализе отношений спроса и предложения, оценке городской справедливости и других задачах, что делает его наиболее важными данными, которые необходимо полностью отобразить. Поэтому цифровые близнецы городов должны прежде всего решить вопрос подлинности и точности картографирования базового населения, создавая предпосылки для эффективного и результативного городского государственного управления. В настоящее время существует несколько методов картографирования информации о городском населении, которые возникли в ходе исследований в области науки о данных, географии, компьютерного зрения и смежных междисциплинарных областях, предоставляя основу для исследования путей построения баз населения города.

2. Существующие методы картографирования баз населения и их проблемы

2.1 Растризация данных о населении

Картирование данных о населении на растровые единицы — это распространенный метод представления характеристик распределения населения с использованием однородных единиц. Современные исследования в основном используют два подхода к растризации: первый — это детальное картографирование, при котором данные переписи подразделяются на сетки с использованием дополнительных данных, таких как географические пространственные данные, социоэкономическая статистика и др.[21-22]. К методам этого подхода относятся интерполяция поверхности, статистическая регрессия, машинное обучение и интегрированное наложение. Этот метод относительно зрелый, с несколькими связанными продуктами данных, разработанными как национальными, так и международными организациями, которые достигают высокой разрешающей способности растровой конверсии данных переписи[23] (Таблица 1). Вторым подходом — это статистическая агрегация, где широкое использование мобильных устройств, таких как смартфоны, привело к использованию данных мобильной сигнализации для исследования распределения населения[24]. Этот метод использует данные, оставленные мобильными устройствами с информацией о времени и местоположении, суммируя индивидуальные данные в каждой сетке согласно регулярным поведением, отражая трудовую занятость, место жительства, досуг и другие характеристики активности в распределении населения по сетке[25-26].

2.2 Пространственная обработка данных о населении на основе конкретных многоугольных единиц

Принцип и методы использования конкретных многоугольных единиц похожи на растризацию данных о населении, но обычно предполагают картирование данных о населении на административные единицы (например, сообщества), транспортные зоны, районы медицинского обслуживания, школьные округа, жилые зоны и другие «многоугольники». Этот метод помогает исследовать вопросы, такие как распределение населения и эффективность общественных услуг. Например, исследования пространственно-временного распределения населения обычно используют административные деления в качестве многоугольников для картографирования[27-28]; исследования транспортных услуг используют транспортные зоны, разделенные основными дорогами города, а данные о населении, отображенные на этих зонах, могут помочь в исследовании таких вопросов, как поездки на работу и домой[29] или услуги общественного транспорта[30]; исследования расположения медицинских учреждений используют буферы сервисов больниц в качестве многоугольников для оценки различий в доступности медицинских услуг для населения в разных районах[31-32]; исследования образовательных учреждений используют школьные округа в качестве многоугольников для картографирования населения, чтобы оценить, соответствуют ли структура населения и потребности в зачислении в каждый округ мощности образовательных учреждений[33].

Помимо крупных пространственных единиц, некоторые исследования уточняют данные о населении до уровня многоугольников зданий. Например, некоторые ученые[34] описывают жилое пространство, используя такие характеристики, как площадь жилого участка, коэффициент застройки, количество этажей и коэффициент общего пользования, и создают модели, связывающие постоянное население с характеристиками жилого пространства, что позволяет вывести численность населения на основе особенностей земельных участков. Другие исследования разработали модели, связывающие объем зданий с распределением населения[35], и на основе этого, комбинируя различные пространственные географические данные, оценивают соответствующее население через функциональный анализ и идентификацию уровня вакантных помещений[36-40]. Эти исследования уточняют масштаб многоугольников до жилых зданий и используют связанные с блоками здания индикаторы в качестве переменных модели для оценки населения, но их выводы касаются «моделируемых популяций», а не реальных людей.

2.3 Картографирование данных о населении на основе городских сенсорных устройств

С развитием технологии Интернета вещей (IoT) инфраструктура городских сенсоров постоянно совершенствуется, предоставляя новые источники данных для картографирования информации о населении. Архитектура Интернета вещей состоит из слоя восприятия, интернет-слоя и прикладного слоя. Сенсоры в слое восприятия отвечают за идентификацию объектов и получение данных в реальном времени, играя важную роль

в сборе данных о населении (Таблица 2). Эти данные можно разделить на два типа: первый — это изображения и видеоданные, собранные камерами видеонаблюдения, которые могут оценивать размер толпы с помощью анализа компьютерного зрения (Таблица 3). В городском планировании, сфере общественных услуг и других областях исследователи далее выполняют пространственное картографирование на основе географической информации изображений, храня их как данные ГИС и агрегируя оценки в определенных пространственных единицах[41]. Второй тип — это не визуальные данные, собранные такими устройствами, как Wi-Fi сигналы, радиочастотные сигналы и данные об окружающей среде. Эти данные разнообразны и имеют относительно высокую точность, также полезны для картографирования данных о населении. Например, Wi-Fi зонды оценивают численность населения, записывая объем посещений мобильных терминалов через сбор Wi-Fi сигналов; устройства RFID на входах оценивают пешеходный трафик, подсчитывая количество прерываний сигнала; устройства для взаимодействия с окружающей средой оценивают пешеходный трафик, собирая различные данные о взаимодействии людей с построенной средой[42].

2.4 Сводка существующих проблем: неточность, недостоверность и недостаточное покрытие картирования базового населения

Три вышеупомянутых метода картирования данных о населении активно используются в исследованиях и практике. Однако с точки зрения создания «базового населения», необходимого для управления городом, текущие методы имеют недостатки в точности, достоверности и покрытии.

Во-первых, метод с использованием сетки абстрагирует данные о населении в виде сеточных ячеек, что имеет свою ценность на макроуровне, но на мезо- и микроуровне он приводит к искажению, так как этот метод игнорирует конкретные воздействия сложной застроенной среды на изменение распределения населения.

Во-вторых, метод, основанный на определенных единицах (например, административных участках, транспортных зонах и т. д.), учитывает сложность застроенной среды и ее морфологические особенности, а точность расчетов с каждым годом возрастает. Однако этот метод чаще всего использует статистические модели для оценки численности населения, что игнорирует местную идентичность населения, и поэтому он не может точно определить потребности жителей в общественных услугах.

В-третьих, методы, использующие сенсорные устройства для определения потоков людей, применяются в ключевых городских районах и имеют свои преимущества в области городского проектирования, управления безопасностью и других сфер. Однако их область охвата ограничена конкретными зонами, и они не могут удовлетворить требования по «полным» базовым данным для городского планирования, строительства и управления.

Таким образом, существует острая необходимость в методе, который сочетает точность, достоверность и полное покрытие для удовлетворения потребностей управления жизненным циклом города в эпоху цифровых двойников.

3. Инновационная техническая структура для точного картирования базового населения города

С цифровизацией городских правительств в последние годы на платформах электронных правительственных сервисов хранится большое количество данных о гражданах. Эти данные становятся новым источником информации под названием «государственные данные», который предоставляет основу для точного, детализированного и полного картирования населения. В последние годы моя исследовательская группа проводила практические работы по созданию цифровых двойников в разных районах города, таких как Пудун, Хуанпу и Цзинань, в процессе которых мы проводили валидацию, корректировку и оптимизацию, что позволило создать операбельную инновационную техническую структуру для решения задач построения базового населения города. В процессе создания этой структуры был установлен принцип «реализма», и логика «пространство— население—потребности» была расширена на три составляющие: «картирование реального пространства», «описание реального населения», «реагирование на реальные потребности» (см. рисунок 1).

(1) Картирование реального пространства: создание «детализированной» карты городского физического окружения, включающей два элемента: (1) географические данные для различных административных границ, а также данные о застроенной среде, такие как кварталы, участки, здания и т. д.; (2) данные по адресам, основанные на зданиях и их квартирах, которые получают через различные каналы государственных данных. С объединением данных об административных границах, застроенной среде и адресных данных можно создать «детализированную» карту, точную до уровня домохозяйств. Этот метод не только избегает искажений данных, получаемых через сетку, но и повышает гранулярность и достоверность данных.

(2) Описание реального населения: получение актуальной информации о населении через многозадачные государственные данные и соединение ее с картой пространства для создания «точных данных о населении до уровня домохозяйства». Далее интегрируются многозначные большие данные о населении, что позволяет дополнить и расширить информацию о населении на основе официальных государственных данных. Затем создается профиль жизненного цикла населения для точного описания, при этом соблюдаются требования конфиденциальности.

(3) Реагирование на реальные потребности: использование графовой базы данных как инженерного решения для «пространственно-населенного» базиса, создания платформы данных и разработки технологий для поддержки обновления, мониторинга и обслуживания данных. На этой основе из графовой базы данных можно извлекать определенные наборы данных, чтобы поддерживать приложения для различных общественных услуг.

3.1 Картирование реального пространства: создание карты пространства «точно до домохозяйства»

3.1.1 Создание карты пространства на основе застроенной среды и административных границ

Население города, занимающееся любыми неувличными видами деятельности, всегда будет опираться на застроенную среду (жилые, офисные, коммерческие функции), которая является носителем этих видов деятельности. Также с точки зрения управления городом существует система административных границ, которая определяет «город» как территорию для решения публичных дел на разных уровнях. Эта система служит границами полномочий различных государственных органов.

Таким образом, при создании карты пространства должны быть учтены обе системы: с одной стороны, это пространственные модели отдельных зданий, участков, улиц, функциональных зон, районов города и даже всего города; с другой стороны, это различные уровни административных границ, включая фасады зданий, микро-сети управления, границы районов и города, которые динамически изменяются с изменением административных единиц.

Технический путь создания этой карты следующий:

1. Сбор и упорядочивание данных из различных картографических ресурсов. Данные об административных границах поступают из официальных правительственных источников, данные о физической среде — из географических данных картографических агентств, оффлайн записей и интернет-карт.
2. Стандартизация собранных данных и приведение их к единому формату. В случае отсутствия данных о административных границах можно их дополнить вручную, для данных интернета с разнообразными форматами применяются технологии искусственного интеллекта, распознавания изображений и извлечения информации.
3. Привязка стандартизированных географических данных с учетом их иерархии: каждый уровень административных границ должен полностью покрывать все нижележащие единицы, а модели зданий — все этажи и квартиры. См. рисунок 2.

3.1.2 Уточнение информации о «домохозяйстве» в пространственной базовой карте

Точная пространственная базовая карта должна опираться на реальные адресные данные, обычно представленные единицей «домохозяйства» в здании. Хотя «домохозяйства» являются пространственными носителями для населения, эти данные обычно не встречаются в данных обследований или картографирования и могут быть получены только через другие каналы. Исходя из текущего практического опыта, получение данных о «домохозяйстве» в пространственной базовой карте обычно делится на две ситуации: первая ситуация заключается в том, что в некоторых крупных городах были созданы специализированные данные о зданиях и жилищах в государственных системах, такие как базы данных жилищного фонда, поддерживаемые департаментами жилищного управления, базы данных о самостроенных домах, созданные комитетами улиц или районов (в виде баз данных или карт жилищного состояния на бумаге), а также системы, такие как «Community Cloud» (Шанхай) или «Четыре платформы для 基层治理» (Ханчжоу) на уровне города. Эти данные содержат информацию о местоположении и адресах «точно до домохозяйства» и обновляются в реальном времени через визиты на местах. В этом случае данные можно непосредственно получить и интегрировать в пространственную базовую карту. Вторая ситуация заключается в том, что в некоторых регионах отсутствует полная база данных о зданиях и жилье, и для получения данных о домохозяйствах требуется использование «технологии адреса домохозяйства населения». Этот принцип основан на получении информации о адресах жителей из государственных данных о населении для восстановления «точных данных о домохозяйствах». Конкретно, сначала собирается информация о адресах жителей, а затем применяются методы обработки естественного языка, такие как сегментация слов на основе словарей, для определения структуры адреса («Провинция — Город — Район — Улица — Переулок — Номер — Комната») и извлечения точных данных о «домохозяйствах», которые затем связываются с моделью домохозяйства зданий и интегрируются в пространственную базовую карту.

3.2 Изображение реальных популяций: Привязка населения к пространству и создание систем портретов

Точные данные о населении — это основа для анализа вопросов общественных услуг и включают два основных аспекта: во-первых, «местная» информация о населении, которая достигается путем связи с пространственной базовой картой. Во-вторых, изображение характеристик населения, что включает создание портретов населения. В статье предлагается концепция «карты портретов населения на протяжении всего жизненного цикла» и, путем интеграции многоканальных данных, полученных из частных источников, дополнительно обогащаются «тематические портреты». Эти шаги вместе образуют основу для картографирования уточненной базы населения. См. Рисунок 3.

3.2.1 Привязка данных о населении к пространственной базовой карте

Данные о населении в первую очередь поступают из государственных источников различных ведомств, таких как данные о регистрации домохозяйств от полиции, данные о

рождении и здоровье от медицинской комиссии, данные о браке и пенсиях от бюро гражданских дел, данные о трудоустройстве и социальном обеспечении от департамента человеческих ресурсов. Кроме того, предприятия как социальные субъекты оставляют соответствующие корпоративные данные при регистрации бизнеса, подаче заявок на патенты или участия в инвестиционных и финансовых операциях. Также различные департаменты данных или департаменты городского управления создали цифровые приложения и накопили специфические данные о деятельности населения, такие как горячие линии по заказам и консультации по сделкам. Для построения уточненной базы населения необходимо интегрировать эти различные типы данных. В процессе интеграции различным источникам данных присваиваются разные уровни приоритета, чтобы избежать дублирования сбора данных. После интеграции государственных данных, данные о населении связываются с пространственной базовой картой через поле информации о адресах, например, связывая данные о домохозяйствах из адреса проживания населения с соответствующими пространственными данными здания или связывая корпоративные кредитные коды из данных о социальном обеспечении населения с соответствующими пространственными данными офисных зданий.

3.2.2 Портреты населения на протяжении всего жизненного цикла

Информации о личности являются ключом к отражению «подлинности» данных о населении. В то же время необходимая информация о личности также удовлетворяет потребности эффективного государственного управления и точных общественных услуг. На основе концепции «управления на протяжении всего жизненного цикла» была создана всеобъемлющая структура «карты портретов населения», которая в первую очередь ориентируется на следующие три аспекта: во-первых, академические исследования жизненного цикла населения, жизненного цикла семьи и портретов населения; во-вторых, текущие стандарты кодирования и классификации населения, включая национальные стандарты, отраслевые стандарты и местные стандарты; в-третьих, текущее состояние классификации данных в административных департаментах, а также сценарии применения данных в зависимости от потребностей ведомств. В статье в основном опираются на исследования команды по строительству баз данных населения в таких городах, как Шанхай, Пекин и Ханчжоу. На основе этого исследования предложена система карт «1+9+X» для портретов населения: «1» относится к основным атрибутам населения, включая пол, возрастную группу, этническую принадлежность и местный статус домохозяйства, где «местный статус домохозяйства» указывает, живет ли житель «на местности» в соответствии с записями в сообществе или зарегистрирован ли он «на месте» в соответствии с регистрацией домохозяйства полиции. «9» относится к множеству информационных измерений населения, тесно связанных с управленческими сценариями с точки зрения «управления на протяжении всего жизненного цикла», включая образование, трудоустройство, брак и деторождение, пенсии, социальные активности и социальную идентичность. «X» относится к атрибутам населения в рамках конкретных или особых условий, таких как чувствительные по времени общественные события, например, «положительный/отрицательный результат теста» в период кризиса общественного здравоохранения, или атрибуты, тесно связанные с региональными традициями, такие как

важный старейшина в этнической группе. «X» в системе портретов открыто и может быть гибко настроено в зависимости от реальных условий.

3.2.3 Интеграция многоканальных данных

Государственные данные в основном отражают постоянное и рабочее население города, но им не хватает описания населения, занимающегося другими разнообразными активностями в городе, такими как досуг, туризм и потребление. Для изображения этих групп населения необходимы дополнительные негосударственные коммерческие большие данные. Например, анализируя мобильные сигнальные данные с использованием алгоритмов моделирования, можно изобразить распределение досугового населения в городе, показывая закономерности проживания, направления движения и другую информацию, связанную с активностью. Точно так же, комбинируя данные с интернет-платформ, связанные с потреблением, отзывами, социальными медиа-постами и публикациями видео, можно изобразить уровень активности и пространственно-временное распределение потребительского населения. Сравнивая и интегрируя многоканальные большие данные из негосударственных источников с государственными базами населения, можно дополнить и уточнить размеры данных о населении, а также создать «тематические» портреты населения.

3.3 Реагирование на реальные потребности: реализация многоцелевых государственных услуг с использованием методов инженерной обработки данных

Различные департаменты и государственные учреждения городских администраций имеют разные потребности в базовых данных о населении из-за специфики их служебных задач. Чтобы удовлетворить потребности различных департаментов в условиях «многопользовательского, многосценарного и высокоизменчивого» подхода, исследовательская группа разработала инженерный метод, который позволяет преобразовать базовые данные о населении в цифровую платформу. Эта платформа предназначена для повседневного использования различными пользователями и обеспечивает полностью автоматизированный замкнутый цикл работы данных: «интеграция — управление — поддержка — обновление». Данный метод включает две системы: «Систему архитектуры базы данных» и «Систему эксплуатации и обслуживания данных» (Рисунок 4). Первая служит для поддержки сетей взаимосвязей данных и их отображения в базовых данных о населении, а также для обработки запросов пользователей. Вторая гарантирует точность, достоверность и своевременность данных через соответствующий технический механизм.

«Система архитектуры базы данных» — это инженерный метод, обеспечивающий синхронное обновление данных о населении и сложных городских объектах, а также их гибкое расширение. Таким образом, архитектура базы данных должна обладать высокой универсальностью, минимальными ограничениями и высокой эффективностью интеграции. Так как базовые данные о населении содержат сложные взаимосвязи и

динамические изменения между “пространством — населением — потребностями”, использование традиционных реляционных баз данных может привести к таким проблемам, как медленный вызов данных, низкая производительность системы и недоступность для пользователей во время обновлений. Поэтому в качестве базовой структуры продукта была выбрана графовая база данных с основой на принципе “сущность — связь”. В детализации базовых данных о населении физические пространства, такие как здания, и социальные субъекты, такие как население и предприятия, рассматриваются как “сущности”, а их взаимосвязи — как “связи”. Например, гражданин “проживает в” здании, “работает в” компании или “зарегистрирован в” определённой организации. Когда данные изменяются, достаточно скорректировать свойства “связей”. Простая структура “сущность — связь” графовой базы данных обеспечивает расширяемость и гибкость применения платформы базовых данных о населении для различных пользователей.

“Система эксплуатации и обслуживания данных” включает три компонента: инженерия управления данными, мониторинг качества данных и замкнутый цикл обслуживания данных. Инженерия управления данными является “производственным процессом” для создания базовой карты данных. После этого данные поступают в графовую базу данных, где проходят начальный ввод, очистку и корректировку, агрегирование и статистическую обработку, маркировку профилей населения и разбиение данных для применения. Таким образом, на конечном этапе данные могут быть напрямую использованы в различных сценариях государственных услуг. Мониторинг качества данных — это “поток мониторинга”, который с помощью автоматизированных и ручных методов, а также анализа применения данных проверяет их согласованность, точность и актуальность, обеспечивая высокое качество на этапе выгрузки. Замкнутый цикл обслуживания данных представляет собой “поток обновления” и включает два направления. Вверх по циклу происходит регулярное обновление и обратная связь с источниками данных высшего уровня (например, центрами данных или профильными департаментами). Вниз по циклу обновление, проверка и корректировка выполняются пользователями в процессе непосредственного использования данных.

4 Перспективы применения уточнённых базовых данных о населении

4.1 Необходимость применения и обеспечение безопасности данных

Процесс отображения уточнённых базовых данных о населении затрагивает значительное количество личной информации, включая возраст, идентификацию, адрес проживания, состояние здоровья, маршруты передвижения и так далее. Согласно *Гражданскому кодексу*, такие данные, как имя, дата рождения, паспортные данные, биометрия, адрес, телефон, электронная почта, информация о здоровье и маршрутах передвижения, находятся под правовой защитой. Это поднимает два вопроса:

1. Насколько необходимо использование таких массивов конфиденциальных

данных?

2. Если использование необходимо, то как обеспечить их безопасность?

По первому вопросу, действующее законодательство Китая поощряет использование персональных данных в целях предоставления государственных услуг и решения общественно значимых задач. Например, *Гражданский кодекс* указывает, что сбор данных, направленных на защиту общественных интересов и законных прав человека, не влечёт за собой гражданской ответственности. *Закон о безопасности данных* уточняет, что государство поддерживает разработку и использование данных для повышения уровня интеллектуализации государственных услуг, уделяя особое внимание потребностям пожилых людей и лиц с инвалидностью. Таким образом, с точки зрения оптимизации качества общественных услуг и улучшения управления городами, отображение “полного” массива данных о населении представляется необходимым.

По второму вопросу можно сделать выводы на основе практического опыта. Уточнённые базовые данные о населении включают два этапа: “разработка” и “применение”. На этапе “разработки” происходит отображение многокомпонентной информации о населении в базу данных, работающую в закрытой сети органов власти, что исключает участие “пользователей” и обеспечивает безопасность данных через изоляцию сетевой среды. На этапе “применения”, где участвуют многочисленные конечные пользователи, в более открытой операционной среде безопасность данных обеспечивается за счёт строгой системы контроля доступа, регламентов управления и механизмов ответственности.

4.2 Применение уточнённых базовых данных о населении в городском анализе населения

Уточнённые базовые данные о населении поступают из множества источников, включая государственные и негосударственные данные. Частота их обновления имеет следующие особенности:

1. Государственные данные обновляются с “неопределённой” частотой. Например, данные о регистрации по месту жительства, зачислении детей в школу, выплате пособий по безработице, амбулаторном лечении или использовании социальных услуг обновляются в соответствующих системах в зависимости от события. Регистрация или зачисление в школу происходят редко, тогда как данные по пособиям и социальным услугам обновляются чаще.
2. Частота ведения отчётности на местном уровне зависит от посещаемости работников и варьируется для разных групп населения. Например, за группами особого внимания наблюдение ведётся чаще, поэтому их данные обновляются с большей частотой.
3. Негосударственные данные, такие как сигналы мобильных устройств, GPS-движения или данные социальных сетей, обычно фиксируются во время использования

мобильных устройств. Платформа может агрегировать эти данные в часовые, дневные, недельные или месячные интервалы по мере необходимости.

Таким образом, частота обновления данных из различных источников варьируется в зависимости от событий, людей и их потребностей.

Интеграция «многоресурсных и разночастотных» данных о населении в платформу точной базы данных позволяет достичь следующих целей:

1. Агрегация данных по пространственным единицам разного масштаба: Данные могут быть агрегированы для анализа различий в частотах демографических показателей в различных пространственных единицах.

2. Многомерный пространственно-временной анализ населения города: На основе различных подходов можно анализировать пространственно-временные характеристики населения, включая:

- На основе административных данных: Анализ временных и пространственных характеристик регистрации жителей, перемещения детей при поступлении в детские сады и школы, пространственно-временной дифференциации занятых и безработных, а также частоты использования медицинских учреждений. Эти данные предоставляют основу для разработки городских публичных политик.

- На основе данных местных органов: Платформа позволяет точно учитывать информацию о месте проживания и регистрации жителей, выявляя категории, такие как «человек проживает по месту регистрации», «человек проживает не по месту регистрации» и «человек не проживает, но зарегистрирован».

- Категория «человек проживает по месту регистрации» является частью постоянного населения и относится к оседлому населению.

- Категория «человек проживает не по месту регистрации» может быть разделена на постоянное и миграционное население в зависимости от продолжительности проживания (более или менее 6 месяцев).

- Категория «человек не проживает, но зарегистрирован» относится к выездному населению.

Эти данные обеспечивают высокую детализацию для анализа постоянного и фактического населения.

- На основе негосударственных данных: Эти данные уже активно используются, например, для анализа плотности города, оценки его активности и идентификации структур. Интеграция таких данных в платформу расширяет информационные возможности для анализа распределения населения в городе.

4.3 Применение точной базы данных о населении в планировании управления сообществами

Сообщества являются основными единицами пространственного управления, и одной из главных задач управления является предоставление точных публичных услуг. В условиях сложной и изменчивой системы «пространство–население» точное предоставление общественных благ является ключом к повышению качества жизни жителей и эффективному использованию ограниченных ресурсов. Точная база данных о населении служит научной основой для достижения этой цели.

Решения принимаются с учетом потребностей различных групп населения, что позволяет разрабатывать соответствующие планы по предоставлению общественных благ в следующих направлениях:

1. Предоставление объектов и пространственных общественных благ:

Комбинация точных данных о населении с городскими дорожными сетями, точками интереса (POI) и использованием алгоритмов и моделей позволяет планировать предоставление общественных благ. Например:

- **Планирование объектов в пределах 15-минутной доступности:** С помощью пространственных алгоритмов рассчитывается реальная пешеходная доступность, а затем оценивается охват целевых групп населения для определения масштабов объектов.
- **Планирование образовательных ресурсов:** Платформа позволяет прогнозировать численность детей школьного возраста, количество мест в учебных заведениях, а также соответствие образовательных ресурсов с помощью анализа данных и делиться этой информацией с жителями.

2. Предоставление услуг для отдельных групп населения:

Метки профилей в базе данных позволяют точно определять целевые группы и предоставлять индивидуализированные услуги. Например:

- **Помощь уязвимым группам:** Идентификация пожилых людей, лиц с инвалидностью и безработных, а также предоставление адресной помощи.
- **Медицинские услуги:** Для повышения охвата услугами семейных врачей платформа помогает выявить беременных женщин и тяжелобольных пациентов, а также предложить им целевые медицинские консультации.

3. Участие граждан и другие общественные услуги:

Интеграция базы данных с технологиями виртуальной реальности и цифровыми аватарами расширяет возможности для гражданского участия. Например, участие в собраниях жителей и совещаниях через интернет после подтверждения личности.

4.4 Применение точной базы данных о населении в территориальном планировании

Совершенствование системы территориального планирования требует повышения точности цифрового двойника города. Точная база данных о населении, построенная на основе данных о домохозяйствах и агрегированная в пространственные единицы различного масштаба, предоставляет точные данные для различных задач планирования:

1. Общее планирование:

База данных обеспечивает полное покрытие населения и карты профилей, что способствует идентификации структурных связей, оптимизации функционального размещения и динамическому корректированию планов.

2. Детальное планирование:

Точные данные о населении поддерживают стандарты, выбор и корректировку границ для планирования территориальных единиц.

3. Диагностика и оценка:

Точная база данных выявляет соответствие между населением и инфраструктурой в заданных границах, предотвращая несоответствия из-за недостаточной точности данных.

4. В области мониторинга реализации. С принятием плана по созданию сети мониторинга реализации территориального планирования (CSPON) важной задачей стало создание цифровой платформы для базовой информации “одна карта” на национальном, провинциальном, городском и районном уровнях. Эта информационная платформа координирует несколько ведомств и интегрирует различные типы бизнес-систем, создавая новую модель открытого управления с принципами совместного строительства, совместного управления и общего использования[55]. Точное население может стать одной из бизнес-систем, интегрированных в эту сеть, встроенной в платформу CSPON. Она не только предоставляет платформе CSPON точную информацию о населении, но и может пересекаться и интегрироваться с другими данными на платформе, что позволяет точно отслеживать взаимосвязь “пространство — население” в процессе мониторинга реализации, повышая эффективность мониторинга.

5. Заключение

Цифровой двойник города не должен воспроизводить все элементы реального города. Как отмечают Батти и др.[4], создание двойника, полностью идентичного реальному объекту, не имеет смысла, иначе сам двойник станет частью реальной системы. Идея двойника должна заключаться в том, что двойник каким-то образом интегрируется с реальной системой, но не становится ее частью. С этой точки зрения “цифровой двойник города” должен служить “основной картой данных” в городском планировании, строительстве и управлении, являясь научной основой для анализа общественных проблем и разработки улучшенных политик, а среди множества объектов, которые могут быть воспроизведены, точная информация о населении города является самой важной и сложной частью. В этой статье, основываясь на анализе существующих методов отображения численности населения и их проблем, а также на практике, была разработана детализированная

методология отображения численности населения, объединяющая картографические данные, данные госуправления, метки профилей и коммерческие большие данные. Кроме того, обсуждается, как эта технология может способствовать развитию городского планирования в будущем. Эта технологическая концепция была предложена в ответ на неотложную потребность в цифровой трансформации городского планирования, строительства и управления и не только отражает изначальную миссию “человекоцентричного” городского планирования, но и помогает реализовать концепцию “города для людей” в новом развитии.

Благодарности: благодарим техническую команду компании Shanghai Maice Data Technology Co., Ltd. за поддержку, а также руководителей проектов цифровых городов в районах Пудун, Цзиньнан и Хуанпу за оказанную помощь; благодарим рецензентов за конструктивные замечания и ценные предложения.

Примечания:

1. Определение NASA: цифровой двойник (digital twin) — это интегрированное моделирование с использованием существующих физических моделей, новых датчиков, исторических данных и других источников, для многослойного, многомасштабного и вероятностного моделирования реального объекта или системы, отражающее его использование в течение всего жизненного цикла. После того как было предложено это важное определение, концепция цифровых двойников стала обсуждаться в различных областях.

2. Графовая база данных (GDB) — это понятие в области компьютерных наук, которое означает использование “графовой структуры” для семантического запроса в базе данных, где данные представляются и хранятся с помощью узлов, рёбер и атрибутов. Ключевым понятием этой системы является граф, который напрямую связывает элементы данных с узлами данных и рёбрами, представляющими связи между узлами. Эти связи позволяют напрямую соединять данные в хранилище и, во многих случаях, извлекать их с помощью одного запроса. Графовая база данных придает приоритет отношениям между данными.

3. “Микросеточные схемы” — это сохранение существующего уровня рабочих сеток и дальнейшее сокращение области управления, с фокусом на здания и квартиры, что позволяет создавать три уровня сетки: общая сетка района, общая сетка здания и микросетка для каждого здания.

4. Офлайн реестр — это не подключённый к сети реестр административных данных. Этот реестр обычно используется для записи различных рабочих задач, прогресса проектов, протоколов встреч, исполнения решений, итогов работы и т. д.

5. Из опыта видно, что данные специализированной базы данных по жилым домам в управлении жильём трудно получить, и на практике они используются редко.

6. Метод словарного разбиения — это один из алгоритмов обработки естественного

языка (NLP), который использует словарь для разбиения текста на слова, основываясь на существующем корпусе. Этот метод позволяет быстро разбираться в тексте, но ограничен размером словаря.

7. Реляционная база данных (RDB) — это метод построения информационной структуры с использованием таблиц, строк и столбцов. RDB использует соединение таблиц для установления связей между данными, что позволяет пользователям анализировать и понимать отношения между различными точками данных. Недостатком реляционных баз данных является снижение производительности при высоком уровне параллельных операций записи и чтения, а также при большом объеме данных.

Список литературы:

[1] Жоун Сяочин, Чжао Синшоу, Ли Чэнььюань. Измерения и температура территориального планирования [J]. Городское планирование, 2020, 44(1): 9-13.

[2] Дан Аньжун, Тянь Ин, Ли Цюань и др. Развитие и перспективы управления умным территориальным планированием в Китае [J]. Технический вестник, 2022, 40(13): 75-85.

[3] Тао Фэй, Лю Вэйран, Чжан Мэн и др. Пятимерная модель цифровых двойников и приложения в десяти основных областях [J]. Системы интегрированного производства, 2019, 25(1): 1-18.

[4] Майкл Батти, Линь Сюйхуэй. Цифровой двойник, тест Тьюринга и городские модели [J]. Городское планирование Шанхая, 2023(5): 1-3.

[5] FULLER A, FAN Z, DAY C и др. Цифровой двойник: возможности технологий, проблемы и открытые исследования [J]. IEEE Access, 2020, 8: 108952-108971.

[6] SEMERARO C, LEZOCHE M, PANETTO H и др. Парадигма цифрового двойника: систематический обзор литературы [J]. Компьютеры в промышленности, 2021, 130: 103469.

[7] Ван Ли, Ин Лоюй, Тан Цзюньцин и др. Критическое осмысление применения цифровых двойников в практике городского планирования [J]. Городское планирование Шанхая, 2023(5): 18-23.

[8] Ян Тао, Тянь Ин, Сюй Яньцзе. Влияние цифрового двойника на взаимодействие и генеративное планирование [J]. Городское планирование Шанхая, 2023(5): 4-10.

[9] И Сюэцин. Опыт и уроки по созданию цифровых городов в Китае и за рубежом [J]. Информационные и коммуникационные технологии и политика, 2023, 49(8): 25-30.

[10] У Чжицян, Ган Вэй, Цан Вэй и др. Концепция и развитие городских интеллектуальных моделей (CIM) [J]. Городское планирование, 2021, 45(4): 106-113.

[11] Ян Тао, Ян Баоцзюнь, Бао Цяолинь и др. Размышления о цифровом двойнике города и модели городского информатики (CIM): пример проекта платформы управления BIM в новом районе Сюань [J]. Урбанизация и строительство, 2021(2): 34-37.

[12] Чжоу Юй, Лю Чунчэн. Логика и инновации строительства цифрового города в Сюани

- [J]. Исследования в области городского развития, 2018, 25(10): 60-67. по цифровым технологиям в архитектурных институтах, 2021.
- [13] Данг Анжун, Ван Фэйфэй, Цюй Вэй и др. Обзор использования модели городской информационной системы (СІМ) для развития умных городов нового поколения [J]. Китайские известные города, 2022, 36(1): 40-45.
- [14] Ян Цзюньян. От цифрового проектирования к цифровому управлению: Исследование четвертого поколения городского дизайна в Вэйхае [J]. Журнал градостроительства, 2020(2): 109-118.
- [15] Ян Баоцзюнь, Ян Тао, Фэн Чжэньхуа и др. Цифровая платформа планирования: Новая модель для проектирования и планирования будущих городов [J]. Градостроительство, 2022, 46(9): 7-12.
- [16] Чжэн Дэгао, Линь Чэнхуэй, У Хао и др. Пространственные исследования и цифровая визуализация для устойчивого городского развития [J]. Журнал градостроительства, 2023(6): 32-39.
- [17] Ян Тао, Ли Цзин, Ли Мэньяо и др. Метод цифровых двойников для охраны и оживления исторического и культурного наследия старого города Сучжоу [J]. Журнал градостроительства, 2024(1): 82-90.
- [18] У Чжицян, Чжоу Мими, Лю Ци и др. "Межпоколенческий двойник": Проекция жизненных характеристик города [J]. Журнал градостроительства, 2024(1): 9-17.
- [19] Тянь Ин, Ян Тао, Данг Анжун. Логика создания цифрового двойника города на основе сценических итераций [J]. Планирование города Шанхая, 2023(5): 24-30.
- [20] Хань Тао, Го Си. От культурного двойника к технологическому и цифровому: Логический анализ цифрового двойника города с точки зрения макроистории [J]. Планирование города Шанхая, 2023(5): 31-35.
- [21] Ван Сюэмэй, Ли Синь, Ма Минго. Исследования и анализ пространственной визуализации данных о населении на основе дистанционного зондирования и GIS [J]. Технологии и приложения дистанционного зондирования, 2004(5): 320-327.
- [22] CHENG L., WANG L., FENG R. и др. Слияние данных дистанционного и социального зондирования для создания карт населения с высокой детализацией с использованием нейронной сети на основе многомоделей [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2021, 14: 5973-5987.
- [44] Ли Жупин, Хэ Цзыци, Чжан Линьян и др. Система мониторинга потока людей на основе облачной разработки мини-программы WeChat [J]. Электронные технологии и программное обеспечение, 2021(8): 68-70.
- [45] KANNAN P G, VENKATAGIRI S P, SHAN M C и др. Недорогой метод подсчета толпы с использованием аудиотонов [C]// Материалы 10-й конференции ACM по встраиваемым сенсорным сетям. 2012: 155-168.
- [46] Чжан Цзюньцзюнь, Ши Чжигуан, Ли Цзичэн. Современное состояние и тенденции

исследований технологий подсчета людей и оценки плотности населения [J]. Компьютерная инженерия и науки, 2018, 40(2): 282-291.

[47] Ли Цзянин, Чжан Ипин, Тан Гэ и др. Начальное построение системы цифрового двойника города для базового управления: пример цифрового двойника города Хуа Му [J]. Шанхайское градостроительное планирование, 2023(6): 91-97.

[48] Чэнь Сы. Модель пространственного сопоставления на основе жизненного цикла населения [J]. Географическая информация, 2020, 18(12): 24-26.

[49] Национальный народный конгресс Китайской Народной Республики. Гражданский кодекс Китайской Народной Республики [S]. 2020-05-28.

[50] Национальный народный конгресс Китайской Народной Республики. Закон о защите данных Китайской Народной Республики [S]. 2021-06-10.

[51] Ван Дэ, Жэнь Сиуань. Распределение и мобильность реального населения в Шанхае с точки зрения повседневной мобильности [J]. Журнал градостроительного планирования, 2019(2): 36-43.

[52] Чжан Шанву, Ян Лунсю, Ван Дэ и др. Исследование путей оптимизации пространственной структуры метрополии Шанхай: на основе анализа распределения населения [J]. Журнал градостроительного планирования, 2015(6): 12-19.

[53] Чжан Шанву, Лю Чжэньюй, Чжан Хао. Исследование детализированного планирования в рамках системы территориального планирования и его операционных моделей [J]. Журнал градостроительного планирования, 2023(4): 12-17.

[54] У Цзян, Ван Синь, Чэнь Е и др. Вызовы “городской диагностики” для сверхкрупных городов и практика в Шанхае [J]. Журнал градостроительного планирования, 2022(4): 28-34.

[55] Ван Вэй, Лю Цзе, Линь Юйсянь и др. От планирования территориального пространства “одной карты” до CSPON “одной сети”: академическое обсуждение [J/OL]. Пекинское планирование и строительство, 2024-01-17: 1-39.

<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2882.tu.20240110.1523.002.html>.