

## Цифровые технологии планирования — данные и знания

Ню Синъи, Линь Шицзя, Санг Тянь, Чжан Сяокэ

**Аннотация:** В статье рассматриваются цифровые технологии планирования, ориентированные на два ключевых парадигмы — на данные и знания. Систематически анализируются области и типы цифровых технологий планирования, а также выявляются передовые тенденции и основные проблемы. На основе различия понятий цифровых технологий и технологий цифрового планирования, а также с учетом эволюции таких направлений, как технологии моделирования городов, технологии планирования с использованием пространственно-временных больших данных и технологии планирования с использованием искусственного интеллекта, выделяются две парадигмы технологий: «данные» и «знания». Это помогает осознать текущие применения и проблемы цифровых технологий планирования. В статье также обсуждаются передовые тенденции технологий цифрового планирования с точки зрения данных и знаний. Цифровые технологии планирования применяются на различных этапах планирования и подразделяются на три основные группы: анализ, моделирование и принятие решений. Парадигма данных и парадигма знаний определяют назначение цифровых технологий планирования. Парадигма данных хорошо поддерживает задачи анализа и моделирования, но ограниченность парадигмы знаний затрудняет использование цифровых технологий планирования для задач принятия решений. Перспективы развития цифровых технологий планирования заключаются в их совместном движении с опорой на данные и знания. Ключевым моментом является преодоление проблемы «перехода от данных к знаниям» — обучение и извлечение «белых ящиков знаний» из данных и использование этих знаний для анализа, моделирования и принятия решений в планировании.

**Ключевые слова:** технологии цифрового планирования; цифровые технологии; данные; знания; технологическая парадигма

В современную эпоху цифровых технологий, цифровые технологии глубоко изменяют образ жизни и работы людей. Развитие таких технологий, как облачные вычисления, большие данные, искусственный интеллект, способствует цифровой трансформации всего общества, включая жизнь, экономику и управление. Дисциплина городского и регионального планирования также ощущает сильное влияние цифровизации и цифровых технологий. Последние 10 лет стали периодом значительного воздействия цифровых технологий на дисциплину городского и регионального планирования. Например, технологии цифровых двойников, виртуальной реальности изменили способы восприятия и исследования городского пространства[1-2], а пространственно-временные большие данные, искусственный интеллект и другие технологии быстро внедрились в исследования и практику планирования[3-5]. Стремительно развивающаяся технология генерации контента с использованием искусственного интеллекта (AIGC) меняет способы создания планов и отчетов. От технологий, поддерживающих исследования планирования, до практических результатов планирования, цифровые технологии оказывают всестороннее влияние на

городское и региональное планирование.

Последние 10 лет также стали временем наибольшего интереса к цифровым технологиям планирования в дисциплине городского и регионального планирования. В этой дисциплине технологии пространственно-временных больших данных и искусственного интеллекта стали ключевыми темами, вызвавшими две волны интереса. С начала 2010-х годов технологии пространственно-временных больших данных привлекли большое внимание, оказав позитивное и глубокое влияние на исследования городского пространства. Технологии пространственно-временных данных быстро нашли применение в различных областях исследований, таких как структура городского пространства, региональная пространственная структура, поведение и застроенная среда, управление городом, и стали основой "эпохи больших данных" в исследовании планирования[6]. С конца 2010-х годов искусственный интеллект привлек большое внимание в области планирования[7]. Особенно технологии машинного обучения заинтересовали ученых в области планирования как в стране, так и за рубежом, и количество исследовательских статей по этой теме резко возросло после 2018 года[8]. В области планирования искусственный интеллект продолжает набирать популярность[9]. Цифровые технологии планирования стали широко использоваться в исследованиях планирования, охватывая различные направления.

В эпоху цифровых технологий цифровые технологии планирования стали основным направлением в области планирования. Несмотря на существование множества видов цифровых технологий в текущих исследованиях и практике планирования, вопросы, касающиеся самих цифровых технологий планирования и воздействия, которое они оказывают, остаются актуальными и требуют прояснения. Цель этой статьи — ответить на эти вопросы. Вначале дается определение концептуальной области цифровых технологий планирования, затем с точки зрения данных и знаний рассматривается эволюция цифровых технологий планирования, систематически анализируются их технологические парадигмы, после чего обсуждаются передовые тенденции и трудности в области цифровых технологий планирования и прогнозируется будущее цифровых технологий планирования в дисциплине городского и регионального планирования.

## **1. Категория и использование цифровых технологий в планировании**

### **1.1. Различие между цифровыми технологиями и цифровыми технологиями планирования**

Для точного определения концепции и категории цифровых технологий планирования необходимо начать с понимания значения слова «технология». Определения слова «технология» в различных словарях в основном совпадают и объясняются через отношение науки и технологии, описывая технологию как «применение определённых методов науки на практике»<sup>①</sup>. Исходя из этого отношения между техникой и наукой, можно чётко разграничить технологии, используемые в текущих исследованиях и практике планирования, на два типа.

Первый тип можно прямо назвать «цифровыми технологиями». Хотя такие технологии, как виртуальная реальность, облачные вычисления и Интернет вещей, появляются в приложениях в сфере планирования, наукой, которая лежит в их основе, является компьютерная наука, это знания в области компьютерных технологий. Конкретно, при

применении этих технологий в планировании, наука и методы, которые используются, фактически не отличаются от тех, которые применяются в других областях и дисциплинах. Типичный пример — виртуальная реальность для демонстрации результатов планирования и базы данных для управления информацией в планировании.

Второй тип можно назвать «цифровыми технологиями планирования». Цифровая технология планирования представляет собой метод применения цифровых технологий на разных стадиях исследования и практики планирования, с использованием цифровых технологий для анализа текущего состояния планирования, моделирования и прогнозирования, разработки и выбора вариантов, реализации и мониторинга планов. Хотя эти технологии основаны на цифровых технологиях, движущей силой этих технологий является знания в области планирования, а не в области компьютерных наук. Конкретно, на разных стадиях, таких как анализ текущего состояния, моделирование и прогнозирование, разработка и выбор вариантов, реализация, мониторинг и оценка, использование этих технологий зависит от наук и методов, которые существенно отличаются от применения этих технологий в других областях.

До появления цифровых технологий уже существовали различные технологии планирования. Один из примеров может наглядно показать связь и различие между «цифровыми технологиями» и «цифровыми технологиями планирования». В начале 1960-х годов МакХарг предложил метод наложения для анализа пригодности земли. Он использовал вручную подготовленные прозрачные пленки и с помощью наложения световых фильтров реализовывал метод «слоёного теста». Метод наложения, предложенный МакХаргом, является технологией планирования, основанной на принципах планирования, выдвинутых им, которые лежат в основе знаний в области планирования[10]. Технология планирования МакХарга вдохновила ранних исследователей ГИС в 1960-е годы, что привело к разработке функции пространственного наложения ГИС, которая позже стала одной из базовых функций пространственного анализа ГИС. Пространственное наложение ГИС является «цифровой технологией», движущей силой которой является географическая информационная наука. После 1980-х годов развились методы анализа пригодности земли, использующие полное наложение ГИС[11-12], что стало «цифровой технологией планирования». Но при этом движущей силой этого анализа остаются принципы планирования, предложенные МакХаргом. Этот пример чётко демонстрирует, как сначала появляется «технология планирования», затем возникает новая «цифровая технология», которая в итоге объединяется в новую «цифровую технологию планирования». Это наглядно показывает необходимость и возможность различать концепции цифровых технологий и цифровых технологий планирования.

## **1.2. Типы применения цифровых технологий планирования**

Теперь, когда мы различили цифровые технологии и цифровые технологии планирования, можно обсудить типы применения цифровых технологий планирования. Цифровые технологии планирования можно разделить на три категории применения: анализ планируемых эффектов, моделирование планируемых явлений и принятие решений по объектам планирования. Аналитическое применение относится к анализу эффектов, факторов и механизмов. В последние годы часто используется термин «диагностика», который является типичным примером аналитического применения. Например,

использование анализа временно-пространственных больших данных для оценки восприятия общественностью местных сообществ может эффективно диагностировать эффективность местного управления[13]. Моделирующее применение включает в себя как моделирование, так и симуляцию. Часто используемый термин «прогнозирование» является типичным примером моделирующего применения. Например, моделирование того, как реализация политики компактного города повлияет на общественные услуги и городские финансы[14]. Применение для принятия решений касается разработки и выбора планов и является основным видом применения в планировании. Например, использование глубокой нейронной сети для генерации оптимальной схемы уличной сети[15]. Все три типа применения цифровых технологий планирования зависят от различных цифровых технологий в качестве основных средств реализации, но движущими силами этих технологий являются знания в области планирования, связанные с анализом текущего состояния, моделированием и прогнозированием, разработкой и выбором вариантов, реализацией планов, а также мониторингом и оценкой.

После того как мы определили концепцию и виды применения цифровых технологий планирования, рассмотрим три типичных цифровых технологии планирования, такие как технологии моделирования городов, технологии планирования на основе временно-пространственных больших данных и технологии искусственного интеллекта в планировании, начиная с их эволюции и анализируя их технические парадигмы и их связь с типами применения.

## **2. Технологии моделирования городов: управление знаниями и данные как движущая сила**

### **2.1. Технологии моделирования городов с 21 века**

Технологии моделирования городов (urban modeling) — это давно устоявшаяся технология в области планирования. Возникнув в 1950-х годах, изначально технологии моделирования городов не были цифровыми технологиями планирования, модели требовали ручных вычислений. В 1960-х годах технологии моделирования городов стали широко распространяться, и рациональная мысль в планировании способствовала развитию городских моделей, в частности больших моделей городов (large scale urban model), которые стали популярными, при этом основным назначением было принятие решений — эта эпоха в истории планирования известна как эпоха рационального планирования (rational planning). Эпоха рационального планирования закончилась в 1970-х годах, и большие модели городов подверглись массовой критике и сомнениям[16]. Тем не менее, технологии моделирования городов не исчезли и продолжали развиваться в академической среде[17]. С 1990-х годов эти технологии начали интегрироваться с такими цифровыми технологиями, как ГИС (Географическая информационная система)[18], что привело к превращению технологий моделирования городов в типичные цифровые технологии планирования.

С начала 21 века существует три типа технологий моделирования городов, которые развиваются параллельно. Первый тип — традиционные большие модели городов, которые продолжают развиваться в 21 веке; второй тип — модели, основанные на правилах (rule-based model), которые появились в середине 1990-х годов и в основном были связаны с развитием ГИС технологий; третий тип — микросимуляционные модели, такие как

клеточные автоматные модели (CA). Эти три типа моделей городов продолжают развиваться, и их технические парадигмы и цели постоянно эволюционируют.

## **2.2. Управление знаниями и данные как движущая сила технологий моделирования городов**

Первый тип — большие модели городов, которые продолжают использоваться для планирования земельных участков и транспортной инфраструктуры в городах, и типичным примером является модель UrbanSim[19-20]. С конца 1990-х годов большие модели городов изменили своё назначение с целей принятия решений на цели моделирования, чтобы предсказать последствия реализации различных планов. В технической парадигме большие модели городов относятся к технологиям планирования, основанным на знаниях, а сами модели построены на знаниях в области планирования, учитывающих взаимодействие пространства и транспорта, а также принципы принятия решений домохозяйствами, предприятиями и правительством. Большие модели городов часто называют технологиями, основанными на «черных ящиках» или «серых ящиках», потому что для выражения взаимодействий между землёй, транспортом и окружающей средой требуются сложные математические формулы, которые не только содержат множество параметров, но и трудны для понимания, и не могут быть прямо связаны с пространственными целями и стратегиями планирования.

Второй тип — модели, основанные на правилах, примерами которых являются CUF[21] и What if[22-23]. Модели, основанные на правилах, изначально разрабатывались для моделирования политики, для оценки возможных воздействий планируемых политик и для проверки разумности и выполнимости планов, а не для принятия решений. В технической парадигме эти модели также относятся к знаниям, но принципы их работы выражены через чёткие и простые правила. Например, в модели CUF сначала предсказывается общий спрос, затем на основе пригодности земель распределяются виды использования земель[24]. Модели, основанные на правилах, больше не используют сложные математические формулы для описания пространственных взаимодействий и дискретных выборов. Напротив, такие модели называют технологиями, основанными на «белых ящиках», так как они используют чёткие правила, основанные на знаниях. Появление таких моделей стало возможным благодаря интеграции цифровых технологий ГИС.

Третий тип — микросимуляционные модели, включая модели клеточных автоматов (CA)[25] и модели с множественными агентами (ABM)[26]. Микросимуляционные модели изначально разрабатывались для прогнозирования и моделирования будущих моделей использования земли, и до сих пор относятся к применению для моделирования. Эти модели используют принципы, заимствованные из компьютерных наук, такие как клеточные автоматы и модели с множественными агентами, что приводит к появлению совершенно новой парадигмы, основанной на данных. Микросимуляционные модели используют длительные временные ряды исторических данных для калибровки правил преобразования моделей, и необходимо использовать большие объёмы исторических данных для тренировки модели, чтобы предсказать будущее изменение использования земли. Например, для калибровки модели могут использоваться 200 лет данных для моделирования изменений в использовании земли в следующие 50 лет[27]. Клеточные автоматы, происходящие от компьютерных наук, привели к методам моделирования,

основанным на данных, где основным элементом являются правила преобразования, и эти модели вообще не содержат теорий и принципов планирования. Такие «выученные» правила, даже если они существуют, представляют собой «черные ящики».

Исходя из парадигм, основанных на данных и знаниях, знание всегда было ключевым понятием в технологиях моделирования городов. Традиционные большие модели городов основаны на «серых ящиках»<sup>②</sup>, модели, основанные на правилах, используют «белые ящики», а микросимуляционные модели привнесли «данные как движущую силу» в моделирование и «черные ящики» (см. таблицу 1). В настоящее время технологии моделирования городов чаще всего используются в качестве лабораторий для моделирования эволюции городской среды, где моделирование является основной целью, а не принятие решений, как это было в эпоху рационального планирования. Независимо от того, основаны ли они на знаниях или данных, современные технологии моделирования городов в первую очередь используются для моделирования и не могут эффективно удовлетворить потребности в принятии решений.

Таблица 1. Технические парадигмы и применения технологий моделирования городов

	Крупномасштабные городские модели	Модели на основе правил	Микросимуляционные модели
Технологическая парадигма	Знание-ориентированная	Знание-ориентированная	Данные-ориентированная
Применение	От принятия решений к моделированию	Моделирование	Моделирование

### 3. Технологии планирования пространственно-временных больших данных на основе данных

#### 3.1 Эволюция технологий пространственно-временных больших данных

Пространственно-временные большие данные появились в области планирования более 10 лет назад. Они сами по себе могут быть использованы как цифровая технология в планировании. Первый проект **\*\*Mobile Landscapes\*\*** использовал данные о мобильных звонках для восприятия изменений интенсивности городских активностей в пространственно-временном контексте, при этом пространственно-временные большие данные в этом проекте также являлись частью цифровых технологий [28]. За последние 10 лет пространственно-временные большие данные в городском и сельском планировании постепенно трансформировались из цифровых технологий в цифровые технологии планирования, исследующие связь между городским пространством и городскими активностями. Они стали важной поддерживающей технологией для исследований таких вопросов, как городская пространственная структура, региональная пространственная структура, взаимодействие между поведением и построенной средой, а также городское управление. Технологии планирования пространственно-временных больших данных поддерживают исследование "городских активностей" и "городского пространства" в четырех аспектах: "восприятие пространственно-временных явлений в активности", "познание пространственно-временных закономерностей активности", "обнаружение пространственных факторов, влияющих на активность", "изучение механизмов взаимодействия между пространством и активностью" [6]. Эти аспекты также требуют осознания технологий пространственно-временных больших данных в рамках парадигм,

основанных на данных и знаниях.

### **3.2 Исследования активности и пространства на основе данных**

"Восприятие пространственно-временных явлений активности" означает использование пространственно-временных больших данных для количественного описания явлений активности в городском пространстве, не затрагивая факторы и механизмы, которые их влияют. В этом типе технологии пространственно-временные большие данные служат для восприятия пространственно-временных характеристик городской активности. Например, проект **\*\*Mobile Landscapes\*\*** использует данные о мобильных звонках для измерения изменений интенсивности активности в городах[28].

"Познание пространственно-временных закономерностей активности" включает использование пространственно-временных больших данных для обобщения моделей и закономерностей активности в городе. Например, использование пространственно-временных данных для выявления закономерностей передвижения различных групп населения[29]. Этот тип технологии может исследовать закономерности активности как с временной, так и с пространственной точки зрения, но не начинает с анализа взаимодействия между пространством и активностью. Эти два типа исследований с использованием пространственно-временных данных относятся к подходам, основанным на данных.

"Обнаружение пространственных факторов, влияющих на активность", предполагает использование пространственно-временных данных для выявления факторов, влияющих на городскую активность. Например, с помощью многозначных пространственно-временных данных можно делать выводы о городских функциях, исходя из характеристик городской активности[30]. Это технология интерпретации информации о городских функциях, извлеченной из данных.

"Изучение механизмов взаимодействия пространства и активности" предполагает использование пространственно-временных данных для исследования особенностей взаимодействия между городским пространством и городской активностью, а также для понимания механизмов их воздействия. Например, использование пространственно-временных данных для измерения пространства обслуживания различных функциональных городских торговых центров и проверки теории центральных мест в планировании торговых систем[31]. Это технология интерпретации данных о городских активностях и пространстве с целью проверки существующих знаний в этой области. Эти два типа технологий также основаны на данных.

Таким образом, технологии планирования пространственно-временных больших данных всегда были частью парадигмы, основанной на данных, начиная с извлечения информации из данных и последующего обнаружения новых явлений или подтверждения существующих знаний. С момента своего появления технологии пространственно-временных данных в основном использовались для анализа, эффективно решая вопросы анализа пространства и активности. Они пока не могут быть использованы для моделирования и принятия решений (см. таблицу 2). Пространственно-временные данные начинают переходить от "диагностики" городского пространства к его "прогнозированию", что в дальнейшем поддерживает принятие решений в планировании, что является одной из передовых областей технологии планирования пространственно-временных данных.

Таблица 2. Технические парадигмы и применения технологий планирования на основе пространственно-временных больших данных

	Восприятие пространственно-временных явлений в пространстве восприятия	Закономерности активности в когнитивном пространстве	Обнаружение пространственных факторов, влияющих на активность	Исследование механизмов взаимодействия пространства и активности
Техническая парадигма	Данные как движущая сила	Данные как движущая сила	Данные как движущая сила	Данные как движущая сила
Назначение	Анализ (анализ явлений)	Анализ (извлечение знаний)	Анализ (объяснение явлений)	Анализ (объяснение явлений)

#### 4. Технологии искусственного интеллекта в планировании: знания и данные

##### 4.1 Технологии экспертных систем на основе знаний

Искусственный интеллект (ИИ) является цифровой технологией с долгой историей. Первая волна ИИ была связана с экспертными системами (ЭС), также известными как системы на основе знаний (СОЗ). В конце 1970-х — начале 1980-х годов различные области начали исследовать применение экспертных систем, и городское планирование не стало исключением. Первая технология ИИ в планировании появилась в 1980-х годах, с публикациями в виде статей [32], монографий [33], а также несколькими системами, такими как экспертная система для зонирования (разделения на зоны) [34] и экспертная система для выбора места [35]. Еще в конце 1980-х годов китайская научная общественность в области планирования начала исследовать экспертные системы для городского планирования, и статья Чэнь Бинчжао и других авторов о системе экспертного управления планированием, опубликованная в 1989 году, считается первой статьей в области ИИ городского планирования Китая [36]. Эти исследования шли почти синхронно с международными исследованиями.

Экспертная система предназначена для поддержки принятия решений по планировочным целям. Ее особенности заключаются в извлечении экспертных знаний, создании базы знаний, записи знаний в виде четких правил, согласно которым машина принимает решения. Экспертные системы принадлежат типичной парадигме, основанной на знаниях, где ключевым моментом является формулировка планировочных знаний в виде четких, доступных для машины "if-then" правил, составляющих "прозрачные" знания в базе данных. Система принимает решения на основе этих правил.

Однако технологии экспертных систем столкнулись с множеством трудностей [37]. К 1990-м годам научное сообщество пришло к единому мнению, что существует два основных препятствия, которые трудно преодолеть [33, 38]. Первое препятствие — извлечение знаний, то есть как представить планировочные знания на обычном языке. Знания в области планирования сложно выразить, сложно извлечь — это главное препятствие при разработке экспертных систем для городского планирования, что связано с особенностями

самих знаний в области планирования. Второе препятствие — выражение знаний, то есть использование стандартизированных "правил" для представления планировочных знаний. Но не все планировочные знания можно выразить с помощью "if-then" правил, поскольку многие суждения являются неопределенными и нечеткими. Трудности с извлечением и выражением планировочных знаний в виде четких правил объясняют, почему исследования в области ИИ в планировании начали замедляться в 1990-е годы.

#### **4.2 Технологии машинного обучения на основе данных**

С развитием машинного обучения в 2010-х годах началась вторая волна ИИ. В конце 2010-х годов машинное обучение также вошло в городское планирование и стало основной технологией ИИ в планировании[8]. Машинное обучение больше не требует извлечения знаний, оно обучается на основе большого объема "данных", позволяя машине самостоятельно накапливать знания и затем использовать их для принятия решений и решения проблем. Методы машинного обучения как раз и позволяют избежать проблем с нечеткостью и сложностью выражения планировочных знаний. С другой стороны, ключевым аспектом машинного обучения являются данные, поскольку оно "обучается" на данных. Большие данные обеспечивают необходимое количество данных для обучения машин, и это стало одной из причин, почему машинное обучение стало популярным в эпоху больших данных. Технология машинного обучения в планировании относится к парадигме, основанной на данных.

Применение машинного обучения для оценки качества городской застройки, начиная с уличных пейзажей, уже стало довольно распространенным[39]. Оценка качества застроенной среды — это полностью основанная на данных технология планирования, которая использует большие данные изображения для реализации интеллектуальных оценок. Использование методов машинного обучения для генерации планировочных решений активно исследуется[40-41]. Например, обучение на основе структуры городской дорожной сети позволяет автоматически генерировать дорожные сети, гармонично вписывающиеся в исторические районы, что относится к решению, связанному с проектированием[15]. Стоит отметить, что последняя категория — это принятие решений, а первая — анализ.

В 2023 году на фоне роста технологий искусственного интеллекта возникла новая тенденция — создание контента с помощью ИИ (AIGC). AIGC включает в себя методы глубокого обучения, обработки естественного языка и другие методы машинного обучения, что может рассматриваться как практическое применение машинного обучения. На основе универсальных крупных моделей можно обучать специализированные модели для планирования, которые затем используются для генерации отчетов и чертежей, связанных с планированием. Когда такие специализированные модели будут понимать задачи конкретного планирования, они смогут создавать различные виды контента, такие как текстовые документы и изображения. Это обещает стать значимым шагом вперед в области ИИ в планировании.

#### **4.3 Признание искусственного интеллекта в планировании через "данные и знания"**

Для понимания технологий ИИ в планировании полезно рассматривать их через призму "данных и знаний". Знания всегда были ключевым элементом ИИ в планировании. Ранее

экспертные системы были "знание-ориентированными", основанными на "прозрачных знаниях", но извлечение планировочных знаний оказалось их главной проблемой. В настоящее время технологии машинного обучения позволяют машине обучаться на данных и создавать модели знаний, но эти знания являются "черными ящиками". Это означает, что даже разработчики алгоритмов не могут объяснить, почему машина приняла то или иное решение, поскольку оно основано на данных, а не на явных правилах. Даже технологии ИИ в планировании, основанные на данных, функционируют вокруг знаний, только эти знания являются "черными ящиками".

Из эволюции технологий ИИ в планировании можно сделать вывод, что ИИ в планировании начинался как технология, основанная на знаниях, но развитие машинного обучения привело к появлению парадигмы, основанной на данных. Независимо от того, являются ли технологии знания-ориентированными или данные-ориентированными, на данный момент ИИ в планировании в основном используется для аналитики и не может полностью удовлетворить потребности в принятии решений (см. таблицу 3). Особенности дисциплины планирования определяют, что ИИ в планировании не может опираться только на знания, как и не может полагаться исключительно на данные, поскольку машинное обучение дает "черные ящики", и планировочные решения не могут основываться на "черных ящиках".

**Таблица 3. Технические парадигмы и применения технологий планирования на основе искусственного интеллекта**

	Экспертные системы (ES/KBS)	Машинное обучение (ML)
Техническая парадигма	Управляемая знаниями	Управляемая данными
Назначение	Принятие решений	Анализ, принятие решений

Peng и другие[42] предложили 4 стадии отношений между планировщиками и ИИ: стадия 1 — AI-ассистированный (AI-assisted), стадия 2 — AI-усиленный (AI-augmented), стадия 3 — AI-автоматизированный (AI-automated), стадия 4 — AI-автономный (AI-automatized). Упомянутый пример автоматической генерации городской дорожной сети относится к стадии 3, когда человек устанавливает планировочные цели, а ИИ предлагает решения. Ключевая идея четырех стадий искусственного интеллекта в городском планировании заключается в том, что на любой стадии нельзя исключать человека из процесса планирования, поскольку планирование всегда остается деятельностью, ориентированной на человека. С учетом "данных и знаний" можно лучше понять этот ключевой момент, поскольку решения, ориентированные на человека, требуют "прозрачных знаний", а не "черных ящиков", полученных с помощью машинного обучения.

## **5. От данных к знаниям»: Перспективы и вызовы цифровых технологий планирования**

### **5.1 Технологии, основанные на знаниях, и технологии, основанные на данных**

Техническая парадигма, основанная на знаниях, полагается на знания в области планирования для выполнения анализа, моделирования и принятия решений, требуя наличия известных знаний в данной области. Например, в моделях больших городов знания из области планирования представляют собой математические формулы модели; в

экспертных системах они представлены в виде правил. В парадигме, основанной на знаниях, данные всё равно необходимы, но они используются с учетом знаний дисциплины для выполнения анализа, моделирования и принятия решений.

Техническая парадигма, основанная на данных, использует данные для выполнения анализа, моделирования и принятия решений, при этом не требуется опора на известные знания в области планирования. Технологии, основанные на данных, либо напрямую извлекают характеристики планировочных эффектов, факторы воздействия и механизмы действия из данных, как в случае технологий планирования на основе пространственно-временных больших данных, либо используют данные для обучения моделей, которые затем применяются для анализа, моделирования и принятия решений, как в случае технологий планирования на основе машинного обучения.

Технология, основанная на знаниях, исходит из системы знаний дисциплины планирования и является неотъемлемой частью этой области. Технологии, основанные на данных, возникли в результате развития цифровых технологий, и эти технологии стали возможными только после интеграции цифровых технологий с планировочными практиками. Интеграция цифровых технологий значительно ускорила развитие технологий планирования, решив многие проблемы, которые долгое время осложняли работу в этой области. Оглядываясь на эволюцию трёх типичных технологий планирования с 1990-х годов, можно заметить, что парадигма, основанная на данных, стала доминирующей в современных цифровых технологиях планирования.

## 5.2 Знания: Белые, серые и чёрные ящики

«Технология — это применение научных методов на практике». Это определение уже само по себе раскрывает взаимосвязь между знаниями и технологиями. Оглядываясь на эволюцию трёх типов цифровых технологий планирования, можно увидеть, что многие из них можно классифицировать как «белые», «серые» и «чёрные» ящики. В моделях, основанных на правилах, и экспертных системах знания представляют собой «белый ящик»; в моделях крупных городов знания являются «серым ящиком»; в клеточных автоматах и технологиях планирования на основе машинного обучения знания представлены как «чёрный ящик». (См. Рис. 1)

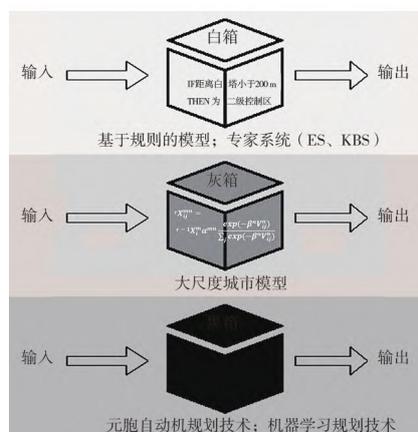


Рис. 1. Белые, серые и чёрные знания в цифровых технологиях планирования

«Белые знания» — это те, которым можно доверять, и идеальная технология планирования

должна основываться на «белых знаниях». Главной проблемой «белых знаний» в области планирования является извлечение и выражение знаний, а именно то, как превратить неопределённые, скрытые и неясные знания в чёткие и формализованные «белые знания». История экспертных систем уже показала, что эта проблема обусловлена самими особенностями дисциплины планирования. Это и есть главный барьер для технологии, основанной на знаниях.

Технологии, основанные на данных, избегают проблемы извлечения и выражения знаний, но вместо этого создают проблему «чёрных знаний». Искусственный интеллект, использующий машинное обучение для планирования, является типичным примером. Хотя эти технологии могут давать впечатляющие результаты, их «чёрные знания» не менее критикуются, чем «серые знания» в моделях крупных городов. Принятие решений в планировании не может опираться исключительно на «чёрные знания», особенно когда речь идёт о крупных и важных проектах. Поэтому парадигма, основанная на данных, хорошо поддерживает анализ и моделирование, но она сталкивается с трудностями при принятии решений.

### **5.3 Цифровые технологии планирования должны решить ключевую задачу «от данных к знаниям»**

Именно тот факт, что планирование ориентировано на принятие решений людьми, определяет изменения в целях анализа, моделирования и принятия решений с использованием цифровых технологий. Это также объясняет развитие парадигм, основанных на данных и знаниях. Критика рационального планирования в своё время уже показала, что решение, основанное на знаниях, имеет явные недостатки. Парадигма, основанная на данных, обогатила и улучшила технологии планирования, но при этом возникла проблема «чёрных знаний». Это объясняет, почему технологии планирования, основанные на данных, хорошо подходят для анализа и моделирования, но всё ещё имеют трудности при поддержке принятия решений.

Целью планирования всегда было создание технологий, поддерживающих принятие решений. Для эффективной поддержки принятия решений будущее цифровых технологий планирования заключается в парадигме «совместного управления данными и знаниями». Существующие технологии уже могут извлекать «чёрные знания». Если удастся научиться извлекать «белые знания» из данных или выявить «белые знания» на основе результатов машинного обучения, использование этих знаний для планирования, моделирования и принятия решений станет надёжным и заслуживающим доверия подходом. Ключевым моментом здесь будет решение задачи «от данных к знаниям», или, более точно, «от данных к белым знаниям». Необходимо научиться извлекать «белые знания» из данных, чтобы использовать их для анализа, моделирования и принятия решений.

Тренд цифровых технологий планирования — это парадигма «совместного управления данными и знаниями». Для решения задачи «от данных к знаниям» необходимо извлекать закономерности из данных и использовать эти закономерности для поддержания целей анализа, моделирования и принятия решений. В настоящее время технологии AIGC и большие модели уже продемонстрировали свою ценность и перспективы. Использование универсальных моделей позволяет преодолевать проблемы неопределённости и неясности выражения знаний в дисциплине планирования. На этой основе можно построить специализированные большие модели, которые будут включать уже известные знания из

области планирования, что, возможно, станет решением задачи «от данных к знаниям» и поддержит принятие решений.

## **6. Заключение и перспективы**

В статье были определены концепция и цели цифровых технологий планирования. Исходя из измерений данных и знаний, были выделены два технических парадигма цифровых технологий планирования, рассмотрены актуальные исследования и трудности в этой области, и сделаны следующие 4 вывода:

Определена концепция цифровых технологий планирования, четко разграничены цифровые технологии планирования и цифровые технологии. Цифровые технологии планирования — это методы, использующие цифровые технологии на различных этапах планирования, таких как анализ текущего состояния, моделирование, прогнозирование, разработка и выбор вариантов, внедрение и мониторинг. Эти технологии выполняют три основные функции в процессе планирования: анализ, моделирование и принятие решений. Цифровые технологии планирования можно отнести к двум техническим парадигмам: основанной на данных и на знаниях. Парадигма, основанная на знаниях, является неотъемлемой частью технологий планирования, тогда как парадигма, основанная на данных, является результатом интеграции цифровых технологий. Эти парадигмы определяют типы применяемых цифровых технологий планирования.

Цифровые технологии планирования, используемые для принятия решений, всё ещё требуют значительных прорывов. Парадигма, основанная на данных, хорошо поддерживает анализ и моделирование, но ограничения «чёрных знаний» затрудняют её использование для принятия решений. Особенности самой дисциплины планирования создают барьеры для извлечения и выражения знаний в парадигме, основанной на знаниях. Эти два аспекта препятствуют эффективному использованию цифровых технологий планирования для принятия решений.

Будущее цифровых технологий планирования заключается в переходе к парадигме «совместного управления данными и знаниями», где ключевым моментом является решение задачи «от данных к знаниям», а именно извлечение «белых знаний» из данных с помощью цифровых технологий для выполнения задач анализа, моделирования и принятия решений в области планирования.

Необходимо понимать, что наше внимание к цифровым технологиям планирования и исследованиям в области интеллектуального планирования не является возвращением к «рациональному планированию» 60-летней давности. Даже если в будущем удастся преодолеть сложности «от данных к знаниям», цифровые технологии планирования будут продолжать поддерживать планирование, ориентированное на человека. Технологии планирования всегда использовались людьми, а не для замены их решений — это результат особенностей самой дисциплины планирования.

## **Примечания**

① Этот перевод основан на определении термина "технология" из Cambridge Academic Content Dictionary [издательство Cambridge University Press, издание 2017 года]: "Технология — это особый метод, с помощью которого наука используется для практических целей."

② В 1970-е годы критика рационального планирования включала прямое осуждение моделей крупных городов как «чёрного ящика» знаний. Если сравнивать модели крупных городов с более поздними моделями, такими как клеточные автоматы и машинное обучение, то модели крупных городов скорее подходят под категорию «серого ящика» знаний.

## References

- [1] WHITE G, ZINK A, CODECÁ L, et al. A digital twin smart city for citizen feed- back[J]. Cities, 2021, 110: 103064.
- [2] SILVENNOINEN H, KULIGA S, HERTHOGS P. et al. Effects of Gehl's urban design guidelines on walkability: a virtual reality experiment in Singaporean public housing estates[J]. Environment and Plan- ning B: Urban Analytics and City Science, 2022, 49(9): 2409-2428.
- [3] 王焱, 钮心毅, 宋小冬. 基于城际出行的长三角城市群空间组织特征[J]. 城市规划, 2021, 45(11): 43-53.
- [4] 杨俊宴, 邵典, 王桥, 等. 一种人工智能精细识别城市用地的方法探索: 基于建筑形态与业态大数据[J]. 城市规划, 2021, 45(3): 46-56.
- [5] 王建国, 杨俊宴. 应对城市核心价值的数字化城市设计方法研究: 以广州总体城市设计为例[J]. 城市规划学刊, 2021(4): 10-17.
- [6] 钮心毅, 林诗佳. 城市规划研究中的时空大数据: 技术演进、研究议题与前沿趋势 [J]. 城市规划学刊, 2022(6): 50-57.
- [7] 吴志强. 人工智能辅助城市规划[J]. 时代建筑, 2018(1): 6-11.
- [8] KOUTRA S, IOAKIMIDIS C S. Unveiling the potential of machine learning appli- cations in urban planning challenges[J]. Land, 2022, 12(1): 83.
- [9] 吴志强, 甘惟, 刘朝晖, 等. AI 城市: 理论与模型架构[J]. 城市规划学刊, 2022(5): 17-23.
- [10] 麦克哈格. 设计结合自然[M]. 芮经纬, 译. 天津: 天津大学出版社, 2020.
- [11] CARVER S J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems[J]. International Journal of Geo- graphical Information System, 1991, 5(3): 321-339.
- [12] MALCZEWSKI J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview[J]. Progress in Planning, 2004, 62(1): 3-65.
- [13] KONTOKOSTA C E, FREEMAN L, LAI Y. Up-and-coming or down-and- out? social media popularity as an indicator of neighborhood change[J]. Journal of Planning Education and Research, 2021: 0739456X21998445.
- [14] KIKUCHI H, EMBERGER G, ISHIDA

H. et al. Dynamic simulations of compact city development to counter future population decline[J]. *Cities*, 2022, 127: 103753.

[15] FANG Z, JIN Y, YANG T. Incorporating planning intelligence into deep learning: a planning support tool for street network design[J]. *Journal of Urban Technology*, 2022, 29(2): 99-114.

[16] LEE D B. Retrospective on large-scale urban models[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1994, 60(1): 35-40.

[17] WEGENER M. Operational urban models state of the art[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1994, 60(1): 17-29.

[18] KLOSTERMAN R E. Large-scale urban models retrospect and prospect[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1994, 60(1): 3-6.

[19] WADDELL P A. Behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: residential location and housing market components of urbansim[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000, 27(2): 247-263.

[20] KAKARAPARTHI S K, KOCKELMANK M. Application of urbansim to the Austin, Texas, region: integrated-model forecasts for the year 2030[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2011, 137(3): 238-247.

[21] LANDIS J D. The California urban futures model: a new generation of metropolitan simulation models[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1994, 21(4): 399-420.

[22] KLOSTERMAN R E. The what if? collaborative planning support system[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1999, 26(3): 393-408.

[23] PETTIT C, BIERMANN S, PELIZAROC. et al. A data-driven approach to exploring future land use and transport scenarios: the online what if? tool[J]. *Journal of Urban Technology*, 2020, 27(2): 21-44.

[24] LANDIS J D. Imagining land use futures: applying the California urban futures model [J], *Journal of the American Planning Association*, 1995, 61(4), 438-457.

[25] COUCLELIS H. From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1997, 24(2): 165-174.

[26] BENENSON I. Multi-agent simulations of residential dynamics in the city[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1998, 22(1): 25-42.

[27] CLARKE K C, GAYDOS L J. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, 12(7): 699-714.

[28] RATTI C, FRENCHMAN D, PULSELI R M, et al. Mobile landscapes: using location data from cell phones for urban analysis[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, 33(5): 727-748.

[29] BWAMBALE A, CHOUDHURY C F, HESS S. Modelling trip generation using mobile phone data: a latent demographics approach[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 76: 276-286.

[30] ZHANG Y T, LI Q Q, TU W, et al. Functional urban land use recognition integrating multi-source geospatial data and crosscorrelations[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2019, 78: 101374.

[31] VAN MEETEREN M, POORTHUIS A. Christaller and "big data": recalibrating central place theory via the geoweb[J]. *Urban Geography*, 2018, 39(1): 122-148.

[32] ORTOLANO L, PERMAN C D. A planner's introduction to expert systems[J]. *Journal of the*

American Planning Association, 1987, 53(1): 98-103.

[33] KIM T J, WIGGINS L L, Wright J R. Expert systems: applications to urban planning [M]. New York, NY: Springer New York, 1990.

[34] DAVIS J R, GRANT I W. ADAPT: A knowledge-based decision support system for producing zoning schemes[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1987, 14(1):53-66.

[35] FINDIKAKI I. SISES: an expert system for site selection[M]//Expert systems: applications to urban planning. New York, NY: Springer New York, 1990.

[36] 陈秉钊, 潘志伟, 宋小冬, 等. 城镇建设项目规划管理智能辅助决策系统[J]. 计算结构力学及其应用, 1989, 6(2): 1-10.

[37] HAN S Y, KIM T J. Can expert systems help with planning? [J]. Journal of the American Planning Association, 1989, 55(3): 296-308.

[38] RUBENSTEIN-MONTANO B. A survey of knowledge-based information systems for urban planning: moving towards knowledge management[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2000, 24(3): 155-172.

[39] 叶宇, 张昭希, 张啸虎, 等. 人本尺度的街道空间品质测度: 结合街景数据和新分析技术的大规模、高精度评价框架[J]. 国际城市规划, 2019, 34(1): 18-27.

[40] 杨俊宴, 朱晓. 人工智能城市设计在街区尺度的逐级交互式设计模式探索[J]. 国际城市规划, 2021, 36(2): 7-15.

[41] 甘惟, 吴志强, 王元楷, 等. AIGC 辅助城市设计的理论模型建构[J]. 城市规划学刊, 2023(2): 12-18.

[42] PENG Z R, LU K F, LIU Y. et al. The pathway of urban planning AI: from planning support to plan-making[J]. Journal of Planning Education and Research, 2023: 0739456X231180568.

#### Ссылки

[1] WHITE G, ZINK A, CODECÁ L, и др. Цифровой двойник умного города для обратной связи от граждан [J]. Cities, 2021, 110: 103064.

[2] SILVENNOINEN H, KULIGA S, HERTHOOGS P, и др. Влияние руководящих принципов городского дизайна Гела на удобство передвижения пешком: эксперимент в виртуальной реальности в жилых районах Сингапура [J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2022, 49(9): 2409-2428.

[3] Ван Яо, Нью Синьи, Сун Сяодун. Особенности пространственной организации городской агломерации района дельты реки Янцзы на основе межрегиональных поездок [J]. Городское планирование, 2021, 45(11): 43-53.

[4] Ян Цзюньянь, Шао Дянь, Ван Цяо, и др. Исследование метода точного распознавания городских земель с использованием искусственного интеллекта: на основе данных о формах и функциях зданий [J]. Городское планирование, 2021, 45(3): 46-56.

[5] Ван Цзяньго, Ян Цзюньянь. Исследование методов цифрового городского дизайна для сохранения ключевых ценностей города: на примере общего городского дизайна Гуанчжоу

- [J]. Журнал городского планирования, 2021(4): 10-17.
- [6] Нью Синь, Линь Шицзя. Пространственно-временные большие данные в исследованиях городского планирования: эволюция технологий, исследовательские темы и передовые тенденции [J]. Журнал городского планирования, 2022(6): 50-57.
- [7] У Чжицян. Искусственный интеллект в помощи городскому планированию [J]. Современная архитектура, 2018(1): 6-11.
- [8] KOUTRA S, IOAKIMIDIS C S. Раскрытие потенциала применения машинного обучения для решения проблем городского планирования [J]. Land, 2022, 12(1): 83.
- [9] У Чжицян, Гань Вэй, Лю Чжаохуэй, и др. Искусственный интеллект и город: теория и архитектура модели [J]. Журнал городского планирования, 2022(5): 17-23.
- [10] Макхург. Дизайн в гармонии с природой [M]. Перевод: Жуй Цзиньвэй. Тяньцзинь: Издательство Тяньцзиньского университета, 2020.
- [11] CARVER S J. Интеграция многокритериальной оценки с географическими информационными системами [J]. International Journal of Geographical Information System, 1991, 5(3): 321-339.
- [12] MALCZEWSKI J. Анализ пригодности земельного использования на основе ГИС: критический обзор [J]. Progress in Planning, 2004, 62(1): 3-65.
- [13] KONTOKOSTA C E, FREEMAN L, LAI Y. Вверх или вниз? Популярность в социальных сетях как индикатор изменений в районах [J]. Journal of Planning Education and Research, 2021: 0739456X21998445.
- [14] KIKUCHI H, EMBERGER G, ISHIDA H, и др. Динамическое моделирование развития компактного города для противодействия снижению численности населения [J]. Cities, 2022, 127: 103753.
- [15] FANG Z, JIN Y, YANG T. Интеграция планировочной информации в глубокое обучение: инструмент поддержки планирования для проектирования уличных сетей [J]. Journal of Urban Technology, 2022, 29(2): 99-114.
- [16] LEE D B. Ретроспектива моделей крупномасштабного городского планирования [J]. Journal of the American Planning Association, 1994, 60(1): 35-40.
- [17] WEGENER M. Операционные городские модели: современное состояние [J]. Journal of the American Planning Association, 1994, 60(1): 17-29.
- [18] KLOSTERMAN R E. Крупномасштабные городские модели: ретроспектива и перспектива [J]. Journal of the American Planning Association, 1994, 60(1): 3-6.
- [19] WADDELL P A. Модель поведения для анализа политики мегаполисов и планирования: компоненты жилого размещения и рынка недвижимости в UrbanSim [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2000, 27(2): 247-263.
- [20] КАКАРАПАРТИ S К, КОСКЕЛМАНК М. Применение UrbanSim в районе Остина, Техас: прогнозы интегрированной модели на 2030 год [J]. Journal of Urban Planning and Development, 2011, 137(3): 238-247.
- [21] LANDIS J D. Модель будущего городов Калифорнии: новое поколение моделей мегаполисов [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1994, 21(4): 399-420.
- [22] KLOSTERMAN R E. Система поддержки коллективного планирования «What if?» [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1999, 26(3): 393-408.
- [23] PETTIT C, BIERMANN S, PELIZARO C, и др. Подход, основанный на данных, к изучению будущих сценариев землепользования и транспорта: онлайн-инструмент «What if?» [J].

Journal of Urban Technology, 2020, 27(2): 21-44.

- [24] LANDIS J D. Представление о будущем землепользования: применение модели будущего городов Калифорнии [J]. Journal of the American Planning Association, 1995, 61(4): 438-457.
- [25] COUCLELIS H. От клеточных автоматов к городским моделям: новые принципы разработки и реализации моделей [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997, 24(2): 165-174.
- [26] BENENSON I. Многокомпонентное моделирование динамики жилой застройки в городе [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 1998, 22(1): 25-42.
- [27] CLARKE K C, GAYDOS L J. Связь модели клеточных автоматов и ГИС: долгосрочное прогнозирование городского роста для Сан-Франциско и Вашингтона/Балтимора [J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(7): 699-714.
- [28] RATTI C, FRENCHMAN D, PULSELLI R M, и др. Мобильные ландшафты: использование данных о местоположении сотовых телефонов для анализа городов [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2006, 33(5): 727-748.
- [29] BWAMBALE A, CHOUDHURY S F, HESS S. Моделирование генерации поездок с использованием данных мобильных телефонов: подход с учетом скрытой демографии [J]. Journal of Transport Geography, 2019, 76: 276-286.
- [30] ZHANG Y T, LI Q Q, TU W, и др. Распознавание функционального использования городской территории с интеграцией многокомпонентных пространственных данных и перекрестных корреляций [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 78: 101374.
- [31] VAN MEETEREN M, POORTHUIS A. Кристаллер и «большие данные»: перекалибровка теории центральных мест через геовеб [J]. Urban Geography, 2018, 39(1): 122-148.
- [32] ORTOLANO L, PERMAN C D. Введение в экспертные системы для планировщиков [J]. Journal of the American Planning Association, 1987, 53(1): 98-103.
- [33] KIM T J, WIGGINS L L, Wright J R. Экспертные системы: приложения к городскому планированию [M]. Нью-Йорк, NY: Springer New York, 1990.
- [34] DAVIS J R, GRANT I W. ADAPT: интеллектуальная система поддержки принятия решений для создания зонированных схем [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1987, 14(1): 53-66.
- [35] FINDIKAKI I. SISES: экспертная система для выбора места [M]// Экспертные системы: приложения к городскому планированию. Нью-Йорк, NY: Springer New York, 1990.
- [36] Чэнь Бинчжао, Пань Чживай, Сун Сяодун, и др. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления проектами градостроительства [J]. Компьютерная структура механики и ее применения, 1989, 6(2): 1-10.
- [37] HAN S Y, KIM T J. Могут ли экспертные системы помочь в планировании? [J]. Journal of the American Planning Association, 1989, 55(3): 296-308.
- [38] RUBENSTEIN-MONTANO B. Обзор информационных систем, основанных на знаниях, для городского планирования: переход к управлению знаниями [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2000, 24(3): 155-172.
- [39] Е Ё, Чжан Чжаоци, Чжан Сяоху, и др. Оценка качества уличного пространства в масштабе человеческого восприятия: масштабируемая и высокоточная оценка, основанная на данных о уличных пейзажах и новых аналитических методах [J]. Международное городское планирование, 2019, 34(1): 18-27.

[40] Ян Цзюньянь, Чжу Сяо. Исследование прогрессивных взаимодействующих моделей искусственного интеллекта для дизайна города на уровне квартала [J]. Международное городское планирование, 2021, 36(2): 7-15.

[41] Гань Вэй, У Чжицян, Ван Юанькай, и др. Конструкция теоретической модели для городского дизайна с использованием AIGC [J]. Журнал городского планирования, 2023(2): 12-18.

[42] PENG Z R, LU K F, LIU Y, и др. Путь искусственного интеллекта в городском планировании: от поддержки планирования до создания планов [J]. Journal of Planning Education and Research, 2023: 0739456X231180568.