

Агент городского планирования: понятие, системная архитектура и осмысление практики

Авторы

У Чжицян; У Тао; Чжоу Мими; Чжан Цзяци; Цзян Цинжуй; Ян Шуцзе; Чэнь Ицзе; У Сяолун

Аннотация

Искусственный интеллект глубоко меняет производство знаний, методическую организацию и механизмы управления в городском планировании. По мере усложнения городских систем, роста трудностей согласования общественных интересов и усиления неопределенности реализации планов городское планирование нуждается в профессиональной интеллектуальной методологии, охватывающей весь планировочный процесс. В статье предлагается понятие «агент городского планирования», понимаемый как профессиональная интеллектуальная система, которая использует многоисточниковые городские данные как основу восприятия, опирается на планировочные знания, нормативы и стандарты, модельные методы, опыт кейсов и обратную связь реализации, а суждения формирует на основе общественной ценности, пространственного порядка и целей управления. Рассматриваются концептуальное содержание, структура способностей, системная архитектура, карта приложений и китайский контекст внедрения таких агентов. Предлагается восьмимерная рамка способностей: восприятие, познание, моделирование, создание, принятие решений, исполнение, координация и обучение; строится четырехслойная операционная архитектура данных, вычислений, решений и приложений; выделяются восемь типов специализированных агентов: пространственно-временное восприятие, познание закономерностей, планировочное моделирование, подготовка планов, принятие решений о действиях, организационная координация, реагирование на чрезвычайные ситуации и итерация знаний. В китайском контексте агенты городского планирования должны быть встроены в систему территориально-пространственного планирования и согласованы с единой системой управления природными ресурсами, городской диагностикой, городским обновлением и цифровым правительством. Их работа должна поддерживаться пятью базами данных: природных ресурсов, городской застройки, социально-экономических условий, планировочных стандартов и нормативов, а также планировочных кейсов. Агенты городского планирования способны перевести планирование от подготовки стадийных результатов к непрерывному пространственному управлению и предложить теоретические и практические пути для территориального управления и человеко-ИИ-сотрудничества в планировании.

Ключевые слова

агент городского планирования; интеллектуальное планирование; методы городского планирования; пространственное управление; сотрудничество человека и агента

1 Традиционное городское планирование нуждается в интеллектуальном методическом усилении

В многолетней практике традиционного планирования обследование и анализ, подготовка планов, техническая экспертиза и управление реализацией часто содержали «слепые зоны» принятия решений: иногда им не хватало количественной опоры, иногда точного анализа [1-4]. Целостная экологическая рациональность планирования долгое время ограничивалась произволом авторитета, решениями «по ощущению», игнорированием объективных потребностей жителей и

стремлением к пространственному формализму. Кроме того, недостаточно системно исследовались внутренняя интеллектуальность городской жизни и закономерности ее эволюции и итерации, что затрудняло формирование полноценной дисциплинарной методологии [5].

Однако глубокие изменения эпохи городского развития требуют расширения границ возможностей планирования. Несистемные обследования не позволяют своевременно уловить глубинные причины изменения городского функционирования и социальных потребностей. Подготовка решений, управляемая одним авторитетным субъектом, с трудом обеспечивает баланс множества целей, ограничений и сценариев. Разделенные между ведомствами механизмы реализации не создают устойчивой координации между профессиями, субъектами и уровнями управления. Отклонения, показатели эффективности и новые проблемы реализации также не возвращаются своевременно в систему подготовки, проверки и динамического обновления планов [6-7]. Следовательно, ключевой вызов для городского планирования состоит уже не только в повышении эффективности отдельных звеньев, а в рождении нового планирования, обновлении парадигмы и системной перестройке способностей всего процесса.

Цифровые и интеллектуальные технологии открывают историческую возможность усилить как мыслительные, так и рабочие методы городского планирования. Внедрение цифрово-интеллектуальных систем планирования, включая CIM, городские операционные центры и межпоколенческие цифровые двойники, существенно повысило возможности анализа данных, пространственной диагностики, генерации планов, мониторинга функционирования и управленческой диспетчеризации [8-10]. Но такие точечные улучшения еще не образуют целостного интеллектуального скачка от обследования и диагностики к подготовке планов, реализации и эксплуатации. Существующие приложения технологий остаются фрагментированными: часть систем сосредоточена на платформах данных, не переходя к командам действия и общей связности; пока не сложилась непрерывная методическая система, соединяющая выявление проблем, сценарное моделирование, проверку правил, обратную связь реализации и координацию субъектов [11]. Поэтому глубинное влияние интеллектуальных технологий на планирование проявляется в количественности, экосистемности и интеграции мышления и действия на всем жизненном цикле, что позволяет исторически переорганизовать отношения между планировочным знанием, планировочным суждением и планировочным действием.

В последние годы развитие больших моделей и агентных технологий постепенно наделяет интеллектуальные системы способностями понимать задачи, воспринимать среду, вызывать инструменты, сохранять память процесса, планировать действия и обучаться по обратной связи. Это открывает новые методические возможности для городского планирования: выявление текущего состояния, диагностика проблем, сценарное моделирование, генерация решений, проверка правил, общественная коммуникация, мониторинг реализации и межведомственная координация перестают быть разрозненными этапами и могут быть организованы как непрерывно работающий, динамически самокорректирующийся и совместно эволюционирующий интеллектуальный процесс [12-16]. В этом контексте городскому планированию необходима новая концепция с дисциплинарной природой и отраслевой направленностью, способная объяснить и направить методический переход, связанный с входом искусственного интеллекта в сферу планирования.

Исходя из этого, статья предлагает понятие «агент планирования». Агент планирования - это профессиональная интеллектуальная система, ориентированная на весь процесс городского планирования и способная помогать или участвовать в восприятии, познании, моделировании, создании, принятии решений, исполнении и обучении. Его смысл не в том, чтобы заменить планировщика в отдельной задаче, а в том, чтобы организовать разрозненные планировочные данные, правила знаний, модельные методы, кейсовый опыт и обратную связь реализации в операционную, проверяемую и итерируемую методическую систему. Тем самым он перестраивает отношения между восприятием состояния города, профессиональным познанием, ценностным суждением, пространственным действием и обратной связью реализации [17-18].

Развертывая эту концепцию, статья рассматривает четыре аспекта. Во-первых, она определяет базовое содержание агента планирования и отличает его от систем поддержки планирования, платформ умного города, «городского мозга» и универсальных агентов ИИ. Во-вторых, предлагается структура способностей, включающая восприятие, познание, моделирование, создание, решение, исполнение, координацию и обучение, и раскрывается логика ее работы в обслуживании всего планировочного процесса. В-третьих, строится карта приложений для восьми специализированных агентов: пространственно-временного восприятия, познания закономерностей, планировочного моделирования, подготовки планов, принятия решений о действиях, организационной координации, реагирования на чрезвычайные ситуации и итерации знаний. В-четвертых, опираясь на почти двадцатилетние исследования авторской команды в области цифровизации и интеллектуализации планирования с 2006 г., особенно на участие с 2016 г. в пяти последовательных циклах проектов Китайской инженерной академии по интеллектуальному планированию, статья систематизирует опыт экспериментов, проб и ошибок, рефлексии и итераций. Этот опыт охватывает 96 проектов и исследований по городско-региональной стратегии, генеральному территориально-пространственному планированию, городскому дизайну, городскому обновлению, городскому образу, городскому цвету и инновационной жизненности города. Тем самым впервые обобщаются двадцать лет цифрово-интеллектуальной практики и десять лет теоретического осмысления ИИ-усиленного планирования.

2 Глобальная траектория разработки агентов городского планирования

2.1 Пять исторических этапов разработки агентов планирования

Основания интеллектуальных систем планирования восходят почти к столетию связанных исследований: от описаний городской морфологии школы Конзена в начале XX в. и макромоделей транспорта 1950-х гг. до передовых исследований 2025 г., глубоко связывающих большие модели с планировочными задачами. С точки зрения времени после 2023 г. наблюдается взрывной рост таких исследований: именно в этот год Park и соавторы предложили генеративных агентов, а авторы данной статьи называют его первым годом AIGP (Artificial Intelligence Generated Planning). Это означает, что ИИ перешел от распознавания, анализа и прогнозирования города к генерации планировочных решений и проектному выражению.

2.1.1 Этап I: зарождение на основе правил и символической логики, 1982-1996

Этот этап опирался на сложные адаптивные системы (CAS), клеточные автоматы (CA) и ранние многоагентные системы (MAS). Планирование начало рассматривать город как динамический «живой организм», а не статичный чертеж [19]. Его ключевая черта - моделирование снизу вверх

на основе правил: земля, дороги, транспортные средства, здания, участки, капитал и рыночный спрос абстрагировались как городские микросубъекты, а символическая логика и правила трансформации использовались для имитации эволюции городской пространственной формы. В ранних работах авторов на основе 1 700 кейсов освоения земли в Шанхае исследовались «мягкая информация» и моделирование эволюции городского пространства [20-21]. В 1988-1992 гг. соответствующие методы были применены к пространственному анализу Гамбурга, Франкфурта и Берлина, при этом стали внедряться компьютерные и цифрово-интеллектуальные технологии обработки [22]. Этот этап выдвинул стремление к «экологически рациональному планированию» города и заложил эпистемологическую основу для крупных городских баз данных и вычислительных платформ. С 1988 г. команда авторов начала создавать первое поколение большой городской базы данных.

2.1.2 Этап II: прорыв в интеллектуальном анализе данных и перцептивных вычислениях, 1996-2006

Этот этап опирался на городскую информатику, пространственную науку о данных, традиционное машинное обучение и ранние нейронные сети. Исследования интеллектуального планирования начали переходить от логики, задаваемой правилами, к логике, задаваемой данными. Главная особенность состояла в снижении размерности данных и извлечении признаков для проектов планирования и дизайна. Многоисточниковые пространственно-временные данные, изображения сцен, микроклиматическое моделирование, гидрологическая среда, транспортная экономика и данные динамической активности позволили формировать комплексное восприятие города и участка. Важной практикой этого этапа стало моделирование планирования Шанхайской всемирной выставки: при 70 млн общих посещений, миллионном ежедневном потоке, 256 павильонах и площади 6,28 км² была выполнена ежедневная имитация пространственного распределения миллиона человек с 9:00 до 24:00, проведены многовариантные расчеты, выявлены высокорисковые зоны скопления людей и оптимизированы решения. В частности, были определены десять площадок с наибольшей вероятностью давки, после чего схемы многократно корректировались до устранения скрытых рисков. Масштабная интеллектуальная имитация Expo стала первым в истории человечества планировочным моделированием пространственного распределения населения миллионного уровня; масштаб в 22 525 пространственных единиц также стал мировым прецедентом для городского планирования. На этом этапе команда одновременно итерационно развивала крупнейшую в мире городскую базу данных второго поколения.

2.1.3 Этап III: формирование теории городского интеллекта и генеративной логики, 2006-2016

Этот этап опирался на глубокое обучение, обучение с подкреплением, мультимодальную регрессию, генеративные модели и объяснимые методы. Исследования интеллектуального планирования начали формировать мета-логический контур агента планирования «восприятие - суждение - действие - обучение». Около 2012 г. команда авторов системно предложила теорию City IQ, подчеркивающую, что город необходимо не только воспринимать и диагностировать, но и наделять способностями суждения, действия и обучения [23]. Ключевая черта этапа - переход от диагностики к генерации: интеллектуальная система не только выдает оценочные результаты, но и начинает формировать понятную, сопоставимую и прослеживаемую логику генерации решений. В этот период ИИ вошел в такие планировочные сценарии, как функциональная интеграция,

повышение качества набережных, организация научно-инновационных пространств и генерация концептуального дизайна.

2.1.4 Этап IV: системный прорыв ИИ-усиленного планирования, 2016-2023

После 2016 г. исследования интеллектуального планирования полноценно соединились с глобальным развитием искусственного интеллекта и вступили в этап системного прорыва в ИИ-усилении города и планирования. Авторы участвовали в стратегическом проекте Китайской инженерной академии по ИИ 2.0, сосредоточенном на усилении города и планирования искусственным интеллектом. Глубокое обучение с подкреплением (DRL), генеративно-состязательные сети (GANs), мультимодальное обучение и объяснимый ИИ (XAI/SHAP) продвинули интеллектуальные системы из аналитических инструментов в сферу дизайна. Этап имеет три ключевые черты. Во-первых, переход от диагностики к генерации: в сложных пространственных ограничениях стали возможны уличные, квартальные и районные планировочные симуляции. Во-вторых, преодоление «черного ящика»: объяснимые методы сделали траекторию суждения агента понятной и проверяемой для планировщика. В-третьих, мультимодальная интеграция: совместная обработка пространственных векторов, дистанционных снимков, уличных изображений и планировочных текстов. На этом этапе команда авторов продвигала практическое внедрение ИИ-городского планирования и разрабатывала интеллектуальные алгоритмические рамки для поддержки генерации решений и повышения пространственного качества.

2.1.5 Этап V: зрелость на основе больших моделей и полного человеко-агентного взаимодействия, с 2024 г.

С 2024 г. агенты планирования вступили в этап, движимый большими моделями и полным человеко-агентным взаимодействием (HAI). Мультимодальные большие языковые модели (MLLM), архитектуры LLM Agents и федеративное обучение переводят агентов от отдельных инструментов к платформенным, системным и кооперативным решениям. Ключевая характеристика - формирование полной экосистемы HAI: агенты способны охватывать строительство платформ, проектное проектирование, академическую проверку и инженерное выражение, формируя сквозные возможности от концептуального моделирования до высокореалистичных результатов. Одновременно в чувствительных областях, таких как территориально-пространственное планирование, интеллектуальные платформы начинают обладать многоуровневой классификацией секретности, защитой безопасности и контролем всего процесса. Агенты, обученные на профессиональной литературе, планировочных чертежах, политических нормах и инженерном опыте, становятся «экспертными системами 2.0» с отраслевым здравым смыслом. Команда авторов подчеркивает глубокую интеграцию «машинного интеллекта» и «человеческой мудрости», благодаря чему агент планирования перестает быть только инструментом рисования и становится цифровым соработником в научной инновации, проектировании технических маршрутов и координации пространственного управления.

2.2 Пять направлений разработки агентов планирования

2.2.1 Направление I: большие языковые модели и многоагентные системы - когнитивный и координационный мозг

Это направление задает нижележащую когнитивную рамку агента: когнитивную архитектуру, долговременную память, планирование задач, вызов инструментов, распределение ролей и

механизмы формирования консенсуса. Его смысл - позволить агенту понимать задачи, координировать стороны и формировать суждение о действиях в сложном городском контексте. Оно также может переводить правительство, планировщиков, девелоперов и жителей в ролевых агентов с различными целями и ограничениями, моделируя социальные игры реального планирования. Символические и правилые системы 1970-1990-х гг., а также работы Wooldridge и соавторов [24] заложили теоретическую основу распределенных агентов. В 2000-2010-х гг. распределенный ИИ и многоагентные системы широко применялись для сценарного моделирования землепользования и выбора мест жилой застройки. В 2016 г. разработанная командой авторов модель городских игр CityGo также подтвердила важность совместного принятия решений через многоакторное игровое моделирование. С 2023 г. генеративные агенты, движимые LLM, в частности Generative Agents у Park и соавторов [25], придали агентам память, рефлексию и персонализированное поведение; MetaGPT у Hong и соавторов [26] дополнительно показал возможности распределения ролей и организации рабочих процессов. Узкие места направления - дрейф памяти в длинных циклах моделирования, тупики и групповая поляризация в социальных играх, недостаточная подлинность ролей.

2.2.2 Направление II: генеративный городской дизайн и пространственно-геометрическая генерация - воплощенное тело и руки

Это направление определяет, способен ли агент планирования переводить текстовые цели, планировочные нормы и пространственные ограничения в визуальные и оцениваемые пространственные схемы. В 1980-2000-х гг. CAD и параметрическое моделирование позволили дизайнерам управлять геометрией через правила и параметры. В 2016-2023 гг. глубокое пространственное генерирование, включая условные модели Pix2Pix [27], создало основу для генерации пространственных изображений; обучение с подкреплением и графовые нейронные сети также использовались для оптимизации городского землепользования. С 2024 г. мультимодальные ИИ-агенты стали объединять диффузионные модели, ControlNet, большие модели и GIS-движки, продвигая планировочные задачи от семантического ввода к пространственной генерации. Узкие места - семантические разрывы высокоразмерных топологических структур, искажения межмасштабной пространственной генерации и нестабильность перевода текстовой семантики в планировочные параметры.

2.2.3 Направление III: городская морфология и пространственный синтаксис - профессиональный здравый смысл и научная жесткость

Генеративный ИИ легко создает схемы, которые выглядят правдоподобными, но не имеют профессионального основания. Это направление дает агенту научные ограничения и «нижнюю границу против галлюцинаций», чтобы схема была не только «красивой», но и согласованной с закономерностями пространственной эволюции. Классическая качественная морфология 1970-х гг., включая школу Конзена и итальянскую морфологическую традицию, анализировала городскую ткань через исторические карты. В 1980-2010-х гг. пространственный синтаксис и вычислительная морфология укрепились: Hillier и соавторы [28] заложили теоретические основы пространственного синтаксиса, а Batty [29] объяснял эволюцию городского пространства с позиции сложных систем. С 2023 г. в стадии, совместно движимой данными и теорией, морфологическое знание переводится в графы знаний, оценочные функции и генеративные ограничения. Команда авторов построила «городские деревья» с сеткой 30 м за сорокалетний

период и свела 13 861 городскую застроенную территорию к семи типам развития, показав, что городская форма обладает распознаваемыми, обобщаемыми и обучаемыми закономерностями. Трудности состоят в том, что пространственный синтаксис не полностью выражает исторический контекст и жизненный опыт, а между генеративными моделями и морфологической теорией сохраняется разрыв.

2.2.4 Направление IV: агентное моделирование городского населения и транспорта - поведенческая песочница и стресс-тест

Это направление используется для проверки поведенческих последствий и системной эффективности планировочных решений в реальной эксплуатации. Оно развивается от прогнозирования транспортного спроса и оценки нагрузки дорожных сетей в 1950-1980-х гг. через традиционные АВМ и микротранспортное моделирование 1990-2020-х гг. [30-31] к LLM-усиленной симуляции социального поведения после 2023 г. Требуются дальнейшие прорывы в согласовании вычислительных ресурсов и обратной связи в реальном времени, проверяемости возникающего поведения, а также в замыкании контура между результатами симуляции и генерацией схем.

2.2.5 Направление V: многоцелевая оптимизация и оценка планирования - эволюция и рулевое управление

Это направление поддерживает агента планирования в выявлении конфликтов схем, сравнении их результативности и итерационном исправлении. Одноцелевая численная оптимизация 1960-1990-х гг. решала, например, задачи размещения объектов через линейное программирование. Эвристические алгоритмы и многоцелевая оптимизация 2000-2020-х гг., включая NSGA-II, ввели Парето-оптимизацию в сложные планировочные проблемы, а модели типа ENVI-met создали инструменты оценки микроклимата и экологической эффективности [32]. С 2023 г. человек-в-контуре и обучение с подкреплением включают опыт планировщиков и общественную обратную связь в корректировку схем, формируя механизм совместной оптимизации. Ключевые проблемы - высокая зависимость весов целей от экспертного опыта, трудность сведения разных ценностных логик к устойчивой функции оптимизации, а также сложность перевода интуиции и эстетического суждения мастера-планировщика в исполнимые параметры.

Таблица 1. Обзор пяти основных направлений исследований, связанных с агентами городского планирования

Техническое направление	Соответствующая способность	Поддержка агента городского планирования	Основные проблемы
Большие языковые модели и многоагентные системы	Познание и координация	Понимание задач, распределение ролей, вызов инструментов, память процесса и многоакторные переговоры	Дрейф долговременной памяти, групповая поляризация, недостаточная подлинность ролей
Генеративный городской дизайн и пространственно-	Пространственное производство	Планировка землепользования, организация дорог,	Нестабильные топологические отношения, слабая

геометрическая генерация		форма зданий и генерация пространственных схем	межмасштабная согласованность, трудность включения норм
Городская морфология и пространственный синтаксис	Профессиональные ограничения	Понимание пространственной структуры, распознавание морфологических закономерностей, профессиональная проверка схем	Трудность параметризации морфологических понятий, сложность вычислительного выражения исторического контекста и местного опыта
Моделирование населения и транспорта	Поведенческое моделирование	Моделирование цепочек активности, тестирование транспортной работы и стресс-оценка планов	Высокие вычислительные затраты, трудность проверки поведенческих параметров, слабая замкнутая связь с генерацией
Многоцелевая оптимизация и оценка планирования	Эволюция обратной связи	Сравнение схем, выявление конфликтов, оценка эффективности и итерационная оптимизация	Зависимость весов от согласования, трудность полного перевода ценностных суждений в функции оптимизации

В целом глобальная разработка агентов планирования представляет собой пересечение познания городской формы, поведенческого моделирования, пространственной генерации, оценки планирования и человеко-агентного сотрудничества. Пять исторических этапов показывают эволюцию от правилowego моделирования, восприятия данных и теории городского интеллекта к ИИ-усилению и движению большими моделями. Пять направлений разработки объясняют, как эта эволюция переводится в конкретные способности: LLM и многоагентные системы дают познавательную и координационную основу; генеративный городской дизайн - способность пространственного производства; морфология и пространственный синтаксис - профессиональные ограничения; моделирование населения и транспорта - поведенческую проверку; многоцелевая оптимизация и оценка - механизм коррекции обратной связи. Поэтому агент планирования должен пониматься как комплексная система, формируемая планировочной мыслью и методами, моделями городской науки и технологиями ИИ. Его ключевая ценность состоит в том, чтобы перевести практику, долго опиравшуюся на опыт, чертежи и стадийные результаты, в интеллектуальную методологию, способную непрерывно воспринимать город, объяснять закономерности, генерировать схемы, проверять правила, возвращать реализацию в систему и координировать управление.

3 Техническая архитектура: состав способностей агента городского планирования

Агент городского планирования (UPA) - не отдельная модель ИИ, а комплексная интеллектуальная система, интегрирующая многоисточниковое пространственно-временное восприятие, профессиональное знание и рассуждение, моделирование сложных сценариев и автономное выполнение задач. Ее центральная логика состоит в использовании большой языковой модели (LLM) как когнитивного «центра». По сравнению с традиционными системами поддержки планирования (PSS), агент городского планирования сильнее акцентирует декомпозицию целей, вызов инструментов, память процесса, обучение по обратной связи и координацию действий.

3.1 Концептуальное определение агента городского планирования

Агент городского планирования - профессиональная интеллектуальная система, ориентированная на весь процесс городского планирования. Он использует многоисточниковые городские данные как перцептивную основу, планировочные знания, нормативы и стандарты, модельные методы, кейсовый опыт и обратную связь реализации как когнитивную опору, а общественную ценность, пространственный порядок и цели управления - как основания суждения. Он способен помогать или участвовать в восприятии, познании, моделировании, принятии решений, исполнении, координации и обучении, а также обслуживать подготовку планов, экспертизу, мониторинг реализации, оценочную обратную связь и управленческую координацию.

Это определение требует разграничить три границы. Во-первых, агент планирования отличается от обычных инструментов эффективности: инструмент обычно выполняет отдельную команду, тогда как агент декомпозирует задачи вокруг цели, вызывает инструменты, фиксирует процесс и корректирует действие по обратной связи. Во-вторых, он отличается от универсального агента ИИ: планировочная работа не является обычной пространственной генерацией, а представляет собой процесс общественного принятия решений, затрагивающий земельные ресурсы, общественные услуги, экологическую безопасность, историческую культуру, социальную справедливость и межпоколенческую ответственность [33-34]. Поэтому агент планирования должен быть встроен в цели планирования, нормативные ограничения, местный опыт и институциональные процедуры. В-третьих, он отличается от отдельной модели: это не применение одного алгоритма к одной задаче, а операционная планировочная методическая система, организующая данные, модели, знания, правила, ценности и обратную связь.

С методологической точки зрения агент планирования перестраивает три группы отношений. Первое - отношение факта и проблемы: данные о состоянии города переводятся в пространственные проблемы и управленческие вопросы. Второе - отношение знания и суждения: нормативные тексты, экспертный опыт и кейсовые материалы организуются в знания, с которыми можно рассуждать, которые можно объяснять и проверять. Третье - отношение схемы и действия: планировочная схема включается в экспертизу, реализацию, мониторинг, обратную связь и координацию, превращаясь в реальный эффект пространственного управления.

3.2 Развитие способностей: восемь специализированных планировочных способностей

Структура способностей агента планирования должна выводиться из самого процесса городского планирования. Планирование - не разовая обработка информации, а непрерывный процесс вокруг состояния города, пространственных проблем, будущих сценариев, ценностного суждения, действий реализации и обратной корректировки. Соответственно агенту нужны восемь способностей: восприятие, познание, моделирование, создание, принятие решений, исполнение,

координация и обучение. Это не параллельный перечень функций, а выражение планировочного процесса в способностях интеллектуальной системы.

Пространственно-временное восприятие соответствует непрерывному охвату реального состояния города. Через данные о природных ресурсах, существующей застройке, активности населения, промышленной экономике, транспортных перемещениях, экологической среде, общественных услугах, общественных мнениях и мониторинге реализации агент выявляет изменения городской ситуации и переводит планировочное познание от стадийного обследования к постоянному наблюдению.

Познание закономерностей соответствует профессиональному объяснению городских проблем. Его ключ - превращать факты данных в объяснение пространственных механизмов, локальные явления - в планировочные вопросы, а опытные суждения - в воспроизводимые структуры знаний. Будущее моделирование соответствует организации будущих возможностей. Через постановку сценариев, модельную имитацию, генерацию схем и оценку воздействия агент переводит неопределенность будущего в сопоставимый набор сценариев [35].

Создание планов соответствует содержательной подготовке планировочных схем и юридически значимых результатов. На основе сценариев, сформированных моделированием, агент через генерацию пространственного дизайна, точное размещение элементов, подготовку текстов и автоматическое выражение чертежей переводит планировочные намерения в операционные пространственные чертежи и правила контроля.

Принятие решений о действиях соответствует обработке общественной ценности и конфликтов множества целей. Оно должно организовать систему целей, нормативы и стандарты, модели оценки, экспертный опыт и общественную обратную связь в объяснимые основания суждения [36]. Исполнение сверху вниз и снизу вверх соответствует переводу планировочных суждений в рабочие процедуры: проверку правил, генерацию результатов, расчет показателей, выявление пространственных конфликтов, декомпозицию задач, сопоставление проектов и очередность реализации [37].

Многосторонняя координация соответствует организационной потребности планирования как процесса общественного управления. Через декомпозицию целей, отслеживание задач, обмен информацией, агрегирование мнений и переговоры по схемам агент может способствовать более высокому уровню координации между ведомствами, уровнями, регионами и социальными субъектами.

Машинное обучение соответствует динамическому обновлению планировочной системы. Через накопление кейсов, мониторинг реализации, общественную обратную связь, экспертную коррекцию и пересмотр правил оно непрерывно оптимизирует структуры знаний, правила суждения и стратегии действия. Вместе восемь способностей образуют цепочку процессных возможностей, позволяющую агенту вырасти из инструмента обработки информации в методическую систему полного цикла планирования.

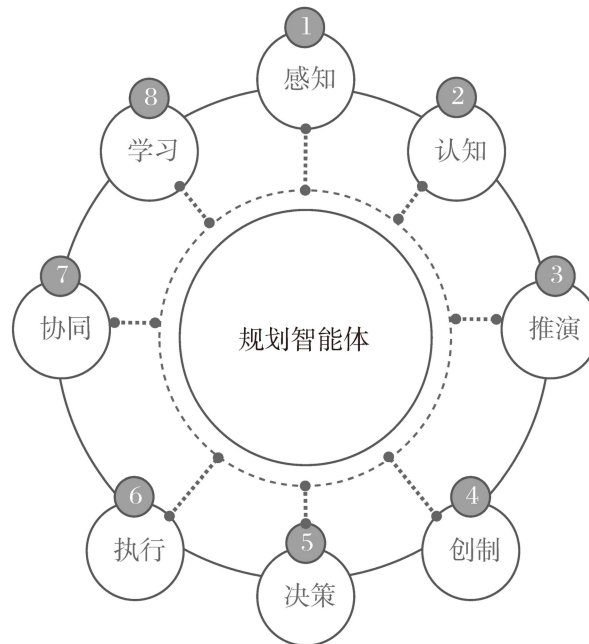


Рисунок 1. Структура способностей агента городского планирования.

3.3 Базовая архитектура: слой данных, вычислительный слой, слой решений и слой приложений

Работа способностей агента планирования требует ясной системной архитектуры. Соединяя рабочий процесс городского планирования с логикой интеллектуальных систем, агент может состоять из четырех слоев: данных, вычислений, решений и приложений. Слой данных предоставляет информацию о состоянии города и планировании; вычислительный слой выполняет выявление проблем и моделирование схем; слой решений формирует ценностные компромиссы и нормативные суждения; слой приложений продвигает выполнение планировочных задач и управленческую координацию. Теоретическое значение четырехслойной архитектуры состоит в том, что она организует городские данные, планировочное знание, модельные методы, общественную ценность и управленческое действие в операционную, проверяемую и итерируемую методическую систему.

Слой данных является фактической основой. Его фокус - пространственная, временная, объектная и семантическая организация модельных данных. Данные о природных ресурсах, городской застройке, социально-экономических условиях, общественных мнениях и мониторинге реализации соответственно поддерживают выявление нижних пределов, оценку текущего состояния, анализ спроса, понимание требований и корректировку обратной связи.

Вычислительный слой является звеном когнитивной генерации. Он переводит данные в выявление проблем, пространственный анализ, сценарную имитацию, генерацию схем, оценку воздействия и проверку правил. Он может вызывать геопространственный анализ, городское моделирование, графы знаний, машинное обучение, генеративные модели и многоцелевую оптимизацию, но его ядро - превращение сложных городских явлений в объяснимые планировочные проблемы.

Слой решений является звеном организации ценности. Он помещает вычислительные результаты в контекст общественной ценности, планировочных целей, нормативных стандартов, экспертного

опыта и ограничений реализации, формируя комплексное суждение. Городское планирование - это общественный выбор, который в конкретном контексте должен быть объяснимым, проверяемым и ответственным.

Слой приложений является звеном преобразования в действие. Он вводит результаты данных, вычислений и решений в подготовку планов, экспертизу, мониторинг реализации, общественную коммуникацию, реагирование на чрезвычайные ситуации и межведомственную координацию. Новые данные, проблемы и обратная связь, возникающие в приложении, снова поступают в слой данных и обновляют модели, правила и способы применения. Так четырехслойная архитектура формирует замкнутый механизм, связывающий состояние города, планировочное познание, общественную ценность и управленческое действие, поддерживая агента планирования на всем процессе.

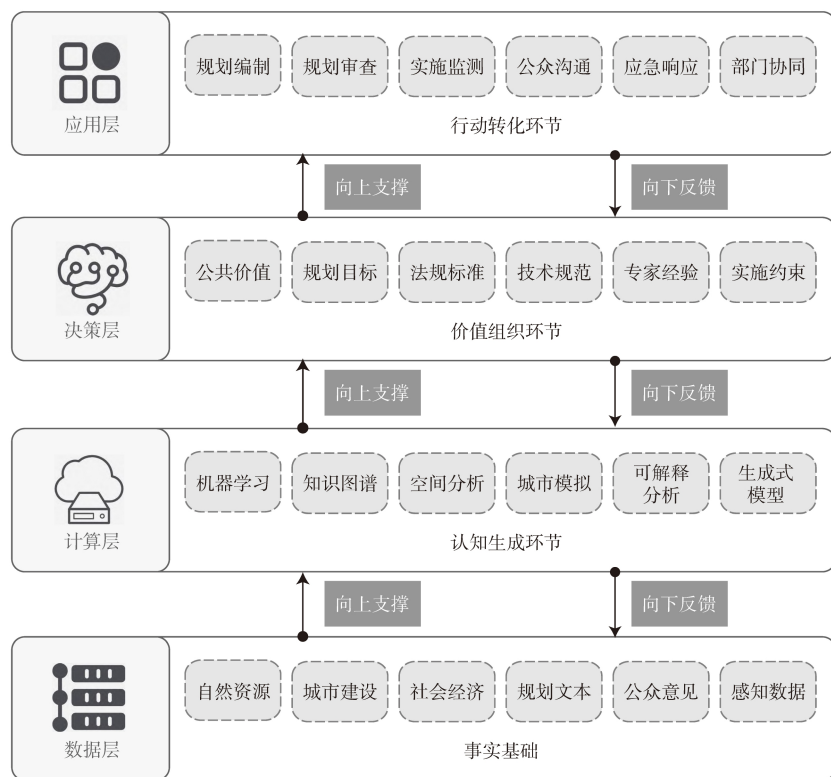


Рисунок 2. Базовая архитектура агента городского планирования.

4 Карта приложений: восемь специализированных агентов для всего процесса планирования

Когда агент планирования входит в сферу городского планирования, его ценность проявляется в системной организации всего процесса. Городское планирование должно учитывать общественные запросы, выявлять городские проблемы, формировать пространственные схемы, поддерживать институциональные правила, оценивать эффективность реализации, отвечать на нестандартные риски и координировать действия многих субъектов. Для удобства изложения профессиональные агенты, ориентированные на конкретные планировочные задачи, называются специализированными агентами. В рамках всего процесса можно выделить восемь типов: пространственно-временное восприятие, познание закономерностей, планировочное моделирование, подготовка планов, принятие решений о действиях, организационная

координация, реагирование на чрезвычайные ситуации и итерация знаний. Они соответствуют диагностике состояния города, выявлению пространственных закономерностей, формированию схем, проверке правил, оценке реализации, координации действий, управлению устойчивостью и обновлению планировочных знаний.

4.1 Агент пространственно-временного восприятия: непрерывное выявление состояния города

Агент пространственно-временного восприятия работает с многоисточниковой информацией о природных ресурсах, существующей застройке, активности населения, промышленной экономике, транспортных перемещениях, экологической среде, общественных услугах, мнениях жителей и мониторинге реализации [38-39]. Он непрерывно выявляет рабочее состояние города и пространственные изменения. Через пространственную, временную и объектную обработку он переводит разрозненные пространственные данные, социальные запросы и операционную информацию в результаты планировочного восприятия с местоположением, типом, интенсивностью и тенденцией развития. Это переводит познание города от стадийного обследования к непрерывному наблюдению и дает реальную базовую карту для последующего познания закономерностей и моделирования схем.

4.2 Агент познания закономерностей: диагностическое объяснение пространственных механизмов

Агент познания закономерностей работает с комплексными проблемами, включая структуру населения, пространственные функции, работу транспорта, общественные услуги, экологическую среду, жилищное предложение и управленческую способность [40]. Он раскрывает пространственную структуру, операционные механизмы и отклонения реализации за наблюдаемыми явлениями. Превращая факты данных в знание о пространственных механизмах, локальные явления - в планировочные вопросы, а опытные суждения - в воспроизводимые знания, он поддерживает диагностику городских проблем, определение управленческих приоритетов и выбор направления планировочного вмешательства.

4.3 Агент планировочного моделирования: организация и сравнение будущих сценариев

Агент планировочного моделирования обращен к неопределенности городского развития. Через постановку сценариев, модельную имитацию, оценку воздействия и сравнение вариантов он переводит демографические изменения, промышленную эволюцию, транспортную организацию, экологические ограничения и ритм обновления в сопоставимые будущие сценарии. Его смысл - помочь планировщику увидеть пространственные последствия разных выборов и превратить трудноуловимые будущие проблемы в набор сценариев, которые можно вычислять, сравнивать и обсуждать.

4.4 Агент подготовки планов: создание пространственных схем и юридически значимых результатов

Агент подготовки планов ориентирован на генерацию пространственных схем и юридически значимых результатов. При ясных целях, нижних ограничениях, условиях реализации и человеческом надзоре он помогает организовать пространственную структуру, оптимизировать землепользование, точно распределить элементы, подготовить тексты и выразить чертежи [41]. Он расширяет широту поиска вариантов и повышает эффективность представления результатов, но определение проблемы, постановка целей, настройка правил и ценностное суждение остаются ключевой ответственностью планировщика.

4.5 Агент принятия решений о действиях: многоцелевые компромиссы и выбор схемы

Агент принятия решений о действиях работает с конфликтами между экологической безопасностью, эффективностью развития, пространственной справедливостью, исторической культурой, общественными услугами, устойчивостью и безопасностью, а также стоимостью реализации. Он организует систему целей, нормативные стандарты, оценочные модели, экспертный опыт и общественную обратную связь в объяснимые основания суждения. Он поддерживает сравнение схем, выявление рисков и выбор действий, переводя планировочное решение от единственного технического оптимума к комплексному компромиссу, ориентированному на общественную ценность, и подчиняя машинные вычисления планировочной рациональности и управленческой ответственности.

4.6 Агент организационной координации: управленческая координация многоакторных действий

Агент организационной координации работает с межведомственными задачами: городским обновлением, улучшением транспорта, экологическим восстановлением, повышением общественных услуг, корректировкой промышленных пространств и региональным сотрудничеством. Он структурно организует планировочные цели, пространственные задачи, политические инструменты и субъектов реализации. Он поддерживает декомпозицию целей, увязку ответственности, отслеживание прогресса и предупреждения обратной связи, создавая более ясные отношения совместного действия между ведомствами, уровнями, регионами и социальными субъектами.

4.7 Агент реагирования на чрезвычайные ситуации: пространственный ответ на нестандартные риски

Агент реагирования на чрезвычайные ситуации работает с экстремальной погодой, паводками, событиями общественного здоровья, отказами инфраструктуры и крупными инцидентами общественной безопасности, поддерживая выявление рисков, диспетчеризацию ресурсов и быстрый ответ [42]. Он соединяет профилактику до события, действия во время события и обратную связь после него, возвращая проблемы, выявленные чрезвычайными ситуациями, - слабость инфраструктуры, дефицит общественного пространства, неэффективную организацию проходов и недостаточную устойчивость сообществ - в территориально-пространственное планирование, детальное планирование и инфраструктурное строительство.

4.8 Агент итерации знаний: постоянное обновление планировочного опыта

Агент итерации знаний работает с практическими материалами: планировочными кейсами, замечаниями экспертизы, результатами реализации, общественной обратной связью, экспертными исправлениями и изменением правил. Он непрерывно накапливает воспроизводимые ресурсы планировочного знания. Опыт, отклонения и уроки планировочного процесса переводятся им в основания обновления знаний, оптимизации правил и коррекции моделей, благодаря чему агент планирования формирует способность к переобучению, перекалибровке и динамической эволюции в постоянной практике.

4.9 Механизм совместной работы восьми специализированных агентов

Восемь специализированных агентов вместе образуют групповую структуру агента городского планирования. Агент пространственно-временного восприятия дает основу состояния города; агент познания закономерностей объясняет пространственные механизмы; агент планировочного

моделирования организует будущие сценарии; агент подготовки планов генерирует пространственные схемы и юридически значимые результаты; агент принятия решений поддерживает многоцелевые компромиссы; агент организационной координации обеспечивает действия многих субъектов; агент чрезвычайного реагирования отвечает на нестандартные риски; агент итерации знаний аккумулирует опыт обратной связи и обновляет правила знания.

Ключ к их взаимодействию - непрерывная связь «состояние - закономерность - сценарий - схема - решение - координация - реагирование - итерация»: состояние города непрерывно воспринимается, пространственные закономерности выявляются и объясняются, будущие сценарии организуются и сравниваются, планировочные схемы генерируются и выражаются, действия комплексно оцениваются, задачи многих субъектов координированно продвигаются, рискованные события получают быстрый ответ, а обратная связь реализации и практический опыт непрерывно осаждаются. В результате агент планирования постепенно развивается от вспомогательного инструмента, прикрепленного к существующим процедурам, в интеллектуальный организационный механизм, поддерживающий весь процесс городского планирования.

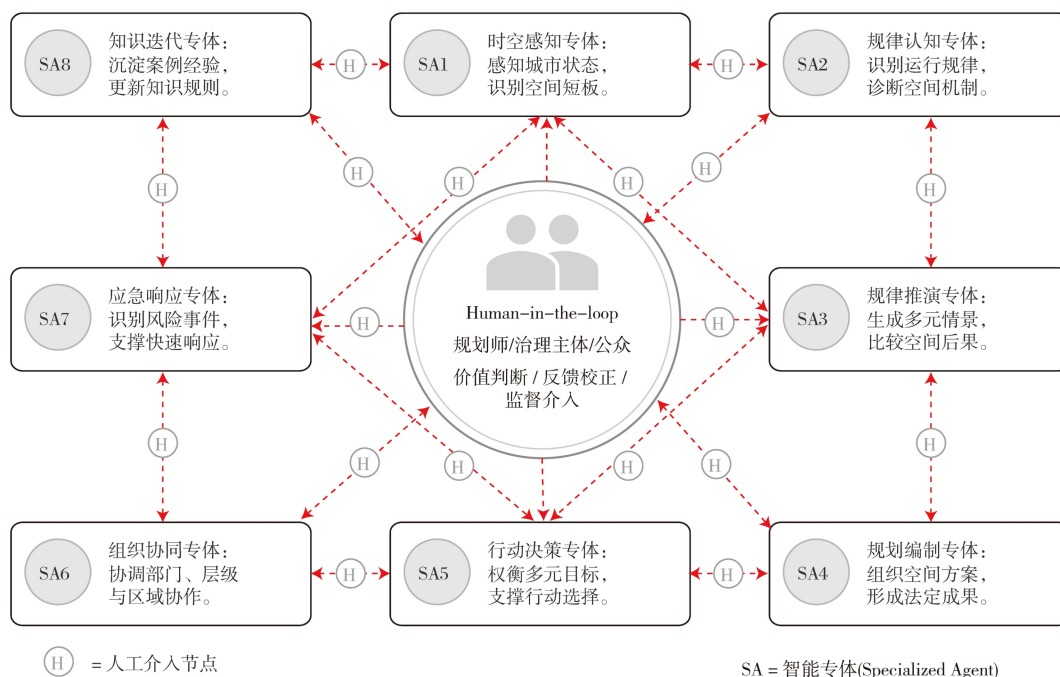


Рисунок 3. Общая схема экологической рациональности взаимосвязей между восемью специализированными агентами городского планирования.

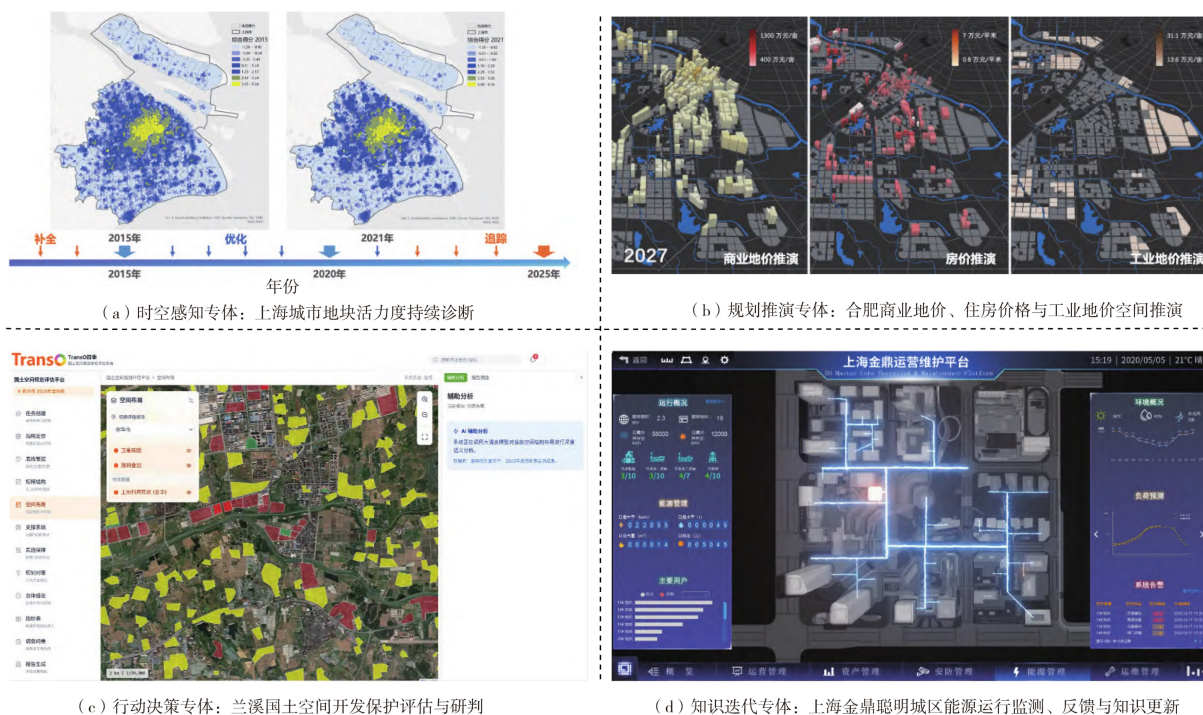


Рисунок 4. Примеры применения отдельных специализированных агентов городского планирования: (a) агент пространственно-временного восприятия - непрерывная диагностика жизненности городских участков в Шанхае; (b) агент планировочного моделирования - пространственное моделирование цен коммерческой земли, жилья и промышленной земли в Хэфэе; (c) агент принятия решений о действиях - оценка и суждение о развитии и охране территориального пространства в Ланьси; (d) агент итерации знаний - мониторинг энергопотребления, обратная связь и обновление знаний в умном районе Shanghai Jinding.

5 Заключение: агент планирования в китайском контексте - институциональные основания и поддержка знаний

5.1 Поддержка знаний в Китае: система пяти баз данных

Работа агента планирования зависит от стабильной, системной и обновляемой основы знаний. Китайское городское планирование располагает богатыми источниками данных, институциональными правилами и практическим опытом, однако эти ресурсы долго были рассеяны между разными ведомствами, платформами, планировочными результатами и проектными процессами [43]. Чтобы агент планирования формировал профессиональные суждения, эти разрозненные ресурсы необходимо организовать в систему знаний, имеющую планировочный смысл.

Вокруг основных задач китайской планировочной практики поддержку знаний можно свести к пяти базам: природных ресурсов, городской застройки, социально-экономических условий, стандартов и нормативов, планировочных кейсов. Главное в этих базах - не накопление материалов, а организация планировочного знания. Только организуя данные, правила, модели, кейсы и обратную связь как вызываемую, объяснимую и обновляемую систему знаний, агент планирования может сформировать подлинно профессиональную способность планировочного суждения.

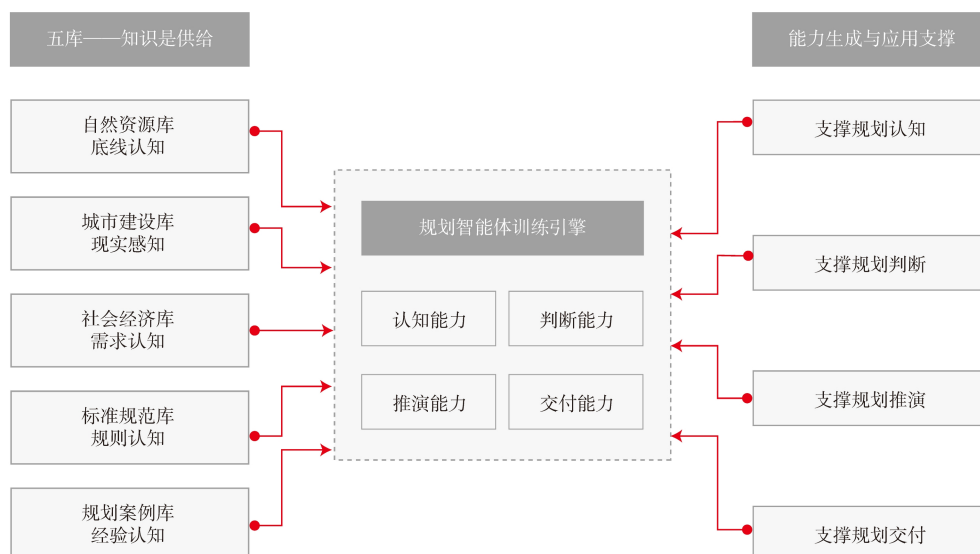


Рисунок 5. Система пяти баз данных, поддерживающая агента городского планирования.

5.2 Методический скачок планирования в эпоху интеллекта

Предложение агента планирования означает, что отношения между городским планированием и искусственным интеллектом вступают в новую стадию. С точки зрения развития дисциплины агент планирования ставит ключевые вопросы, на которые городское планирование должно ответить в интеллектуальную эпоху: как непрерывно познавать город; как точно судить о проблемах; как рационально моделировать схемы; как устойчиво передавать правила; как встраивать ценность в интеллектуальный процесс; как реализация должна возвращаться в систему планирования. Эти вопросы уже выходят за рамки обычного технического применения и указывают на теоретическое обновление самой дисциплины. Планирование не должно рассматривать ИИ только как внешний инструмент и не должно оставаться на уровне переноса технологий. Оно должно активно строить теорию интеллектуального планирования с собственной дисциплинарной позицией, включая сложные городские системы, инженерию планировочных знаний, человеко-агентное совместное принятие решений, ограничения общественной ценности и механизмы пространственного управления в единую рамку, формируя методологию планирования будущего.

С точки зрения развития отрасли агент планирования изменит структуру компетенций планировочной работы. В будущем ключевые способности планировщиков будут больше сосредоточены на определении проблем, постановке целей, ценностном суждении, организации правил, интерпретации сценариев, совместном управлении и контроле ответственности. Агент может расширить диапазон восприятия, способность моделирования, сравнения и обратной связи, но направление планирования, общественная ценность и окончательная ответственность должны оставаться в совместном ведении профессионального сообщества и институтов общественного управления. Чем глубже планирование входит в интеллектуальную эпоху, тем важнее укреплять профессиональную рациональность и удерживать нижние границы общественного интереса, пространственной справедливости, экологической безопасности, культурной преемственности и долгосрочной ответственности. Развитие агента планирования не должно ослаблять

профессиональное суждение человека, а должно повышать способность планировщика управляться со сложными городскими проблемами [44].

Ключ к созданию агента планирования - преобразование накопленных отраслью данных, правил, кейсов, опыта и ценностных суждений в системы знаний, которые можно организовать, объяснить, проверить и обновить. Агент без планировочного знания остается лишь универсальным интеллектуальным инструментом. Агент без ограничений общественной ценности легко попадает в логику приоритета эффективности и локального оптимума. Агент без обратной связи реализации трудно может действительно служить городскому управлению. В будущем агент планирования должен опираться на базы природных ресурсов, городской застройки, социально-экономических условий, стандартов и нормативов, а также планировочных кейсов, непрерывно осаждать знания, методы и опыт планировочной практики и формировать профессиональную систему способностей, поддерживающую подготовку, экспертизу, реализацию, оценку и совместное управление. Тем самым он сможет внести китайскую мудрость и китайский опыт в развитие мировой дисциплины городского планирования и профессиональной практики в интеллектуальную эпоху.

Список литературы

- [1] GALLOTTI R, SACCO P, DE DOMENICO M. Сложные городские системы: вызовы и интегрированные решения для устойчивости и жизнеспособности городов[J]. Complexity, 2021(1): 1782354.
- [2] Zhou Changlin, Bai Yu, Xie Shuimu. Городская пространственная результативность, ориентированная на высококачественное развитие: многоцелевая парадоксальность и модель оценки[J]. Urban Planning Forum, 2022(4): 58-63.
- [3] Yang Xuanmei. Территориально-пространственная устойчивость: концептуальная рамка и пути реализации[J]. Urban Planning Forum, 2021(3): 112-118.
- [4] Wu Zhiqiang, Liu Xiaochang, Zhao Gang, et al. Замена простого расширения ориентацией на пространственную эффективность: ключевые оценочные показатели городского управления[J]. Urban Planning Forum, 2021(5): 15-22.
- [5] ZHOU X, LIN Y, MONSTADT J, et al. Анализ процессов и результатов совместного планирования в городском обновлении: делиберативный поворот в Китае?[J]. Urban Studies, 2024, 62(4): 682-699.
- [6] Cao Chunhua, Lu Tao, Li Peng, et al. Мониторинг, оценка и раннее предупреждение в территориально-пространственном планировании: содержание, задачи и техническая рамка[J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 88-94.
- [7] Sun Shiwen. Базовое исследование системы надзора за реализацией территориально-пространственного планирования[J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 12-17.
- [8] PAN H, GEERTMAN S, DEAL B, et al. Поддержка планирования для умных городов в постковидную эпоху[J]. Journal of Urban Technology, 2022, 29(2): 1-5.
- [9] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Zang Wei, et al. Понятие и развитие модели городского интеллекта (CIM)[J]. City Planning Review, 2021, 45(4): 106-113.
- [10] BATTY M. Цифровые двойники в городском планировании[J]. Nature Computational Science, 2024, 4(3): 192-199.

- [11] RITTENBRUCH M, FOTH M, MITCHELL P, et al. Совместное проектирование систем поддержки планирования в городской науке: вопросы, на которые они отвечают, и вопросы, которые они поднимают[J]. *Journal of Urban Technology*, 2021, 29(2): 7-32.
- [12] SON T H, WEEDON Z, YIGITCANLAR T, et al. Алгоритмическое городское планирование для умного и устойчивого развития: систематический обзор литературы[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 94: 104562.
- [13] PENG Z R, LU K F, LIU Y, et al. Путь ИИ в городском планировании: от поддержки планирования к созданию планов[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2023, 44(4): 2263-2279.
- [14] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Liu Chaohui, et al. AI-город: теория и модельная архитектура[J]. *Urban Planning Forum*, 2022(5): 17-23.
- [15] Gan Wei, Wu Zhiqiang, Wang Yuankai, et al. Построение теоретической модели городского дизайна при поддержке AIGC[J]. *Urban Planning Forum*, 2023(2): 12-18.
- [16] ZHENG H, YUAN P F. Генеративный метод архитектурного и городского дизайна на основе искусственных нейронных сетей[J]. *Building and Environment*, 2021, 205: 108242.
- [17] Wu Zhiqiang, Zhou Mimi, Liu Qi, et al. «Межпоколенческий двойник»: отображение жизненных характеристик города[J]. *Urban Planning Forum*, 2024(1): 9-17.
- [18] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Li Shuran, et al. «Городской коллективный мозг»: теоретическая модель и ключевые вопросы[J]. *Urban Planning Forum*, 2023(6): 20-26.
- [19] Wu Zhiqiang. Изменение методов мышления в городском планировании[J]. *Urban Planning Forum*, 1986(5): 1-7.
- [20] Wu Zhiqiang. Как обращаться с мягкой информацией: методы многокритериального анализа в планировании городского землепользования[J]. *Urban Planning Forum*, 1985(3): 41-49.
- [21] Wu Zhiqiang. Базовое исследование городского освоения земли в Шанхае: распределение объема освоения, измерение стоимости и механизм развития[D]. Shanghai: Tongji University, 1984.
- [22] WU Z Q. Globalisierung der grossstadte um die jahrtausendwende: forschung[D]. Berlin: Technische Universitat Berlin, 1994.
- [23] WU Z Q, PAN Y, YE Q, et al. Система оценки коэффициента городского интеллекта (City IQ): концепция и оценка[J]. *Engineering*, 2016, 2(2): 196-211.
- [24] WOOLDRIDGE M, JENNINGS N R. Интеллектуальные агенты: теория и практика[J]. *The Knowledge Engineering Review*, 1995, 10(2): 115-152.
- [25] PARK J S, O'BRIEN J, CAI C J, et al. Генеративные агенты: интерактивные симулякры человеческого поведения[C]//Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '23). San Francisco, CA, USA: Association for Computing Machinery, 2023: 1-22.
- [26] HONG S, ZHUGE M, CHEN J, et al. MetaGPT: метапрограммирование для многоагентной кооперативной рамки[C]//The Twelfth International Conference on Learning Representations (ICLR 2024). Vienna, Austria: OpenReview.net, 2024.
- [27] ZHENG Y, LIN Y, ZHAO L, et al. Пространственное планирование городских сообществ посредством глубокого обучения с подкреплением[J]. *Nature Computational Science*, 2023(9): 748-762.

- [28] HILLIER B, HANSON J. Социальная логика пространства[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [29] BATTY M. Города и сложность: понимание городов с помощью клеточных автоматов, агентных моделей и фракталов[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 2007.
- [30] HEPPENSTALL A, MALLESON N, CROOKS A. «Пространство, последний рубеж»: насколько хороши агентные модели в имитации индивидов и пространства в городах?[J]. Systems, 2016, 4(1): 9.
- [31] AXHAUSEN K W, HORNI A, NAGEL K, et al. Многоагентная транспортная симуляция MATSim[M]. London: Ubiquity Press, 2016.
- [32] BRUSE M, FLEER H. Моделирование взаимодействий поверхности, растений и воздуха в городской среде трехмерной численной моделью[J]. Environmental Modelling & Software, 1998, 13(3-4): 373-384.
- [33] Tian Li, Xia Jing. Права на развитие земли и территориально-пространственное планирование: логика управления, инструменты политики и практические приложения[J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 12-19.
- [34] HERZOG R H, GONCALVES J E, SLINGERLAND G, et al. Города для граждан! Сферы общественной ценности для понимания конфликтов в городском планировании[J]. Urban Studies, 2023, 61(7): 1327-1344.
- [35] YAP J R, ROMAN O, ADEY B T, et al. Тенденции и возможности адаптивного планирования для застроенной среды: обзор литературы[J]. City and Environment Interactions, 2025, 26: 100196.
- [36] SHEYDAYI A, DADASHPOOR H. Общественный интерес: школы мысли в планировании[J]. Progress in Planning, 2022, 165: 100647.
- [37] NOARDO F, GULER D, FAUTH J, et al. Выявление фактического прогресса цифровых разрешений на строительство: повышение осведомленности через критический обзор состояния исследований[J]. Building and Environment, 2022, 213: 108854.
- [38] Bakowska-Waldmann E, Kaczmarek T. Использование PPGIS: к осмысленному общественному участию в пространственном планировании[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(9): 581.
- [39] MARSHALL S, FARNDON D, HUDSON-SMITH A, et al. Участие в городском дизайне и планировании в цифровую эпоху: уроки экспериментальной онлайн-платформы[J]. Smart Cities, 2024, 7(1): 615-632.
- [40] Wu Jiang, Wang Xin, Chen Ye, et al. Вызовы городской диагностики мегаполисов и практика Шанхая[J]. Urban Planning Forum, 2022(4): 28-34.
- [41] HONG Q, XIA J, LONG Y. Генеративный искусственный интеллект в городском дизайне: обзор недавних приложений[J]. Landscape Architecture, 2026, 32(12): 24-34.
- [42] SAENZ DE TEJADA C, DAHER C, HIDALGO L, et al. Подходы городского планирования, дизайна и управления к формированию городской устойчивости: быстрый обзор доказательств[J]. Cities & Health, 2024, 8(5): 932-955.
- [43] Niu Xinyi, Lin Shijia, Sang Tian, et al. Цифровая планировочная технология: данные и знания[J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 18-24.

[44] FU J, HAN H, SU X, et al. К человеко-ИИ-совместным исследованиям городской науки, поддержанным предварительно обученными большими языковыми моделями[J]. Urban Informatics, 2024, 3(1): 8.

Перевод выполнен при поддержке ИИ