

iSpace: концептуальное осмысление и градостроительные практики на материале 246 международных проектов

WU Zhiqiang, HE Rui, CHEN Zeyin, ZHU Yumo, TENG Yuwei, YANG Xinyu, JIANG Limin

Аннотация. По мере перехода развития умных городов от стратегического проектирования к практической реализации интеллектуализация городских пространств становится ключевым средством воплощения концепции умного города. На материале 246 проектов iSpace, реализованных или строящихся в разных странах мира за последнее десятилетие, в статье систематизировано современное состояние практики. Сопоставление эмпирических данных с теоретическими исследованиями позволило определить iSpace как городскую пространственную среду, в которой передовые технологии обеспечивают восприятие потребностей пользователей и параметров окружающей среды, обоснованное принятие решений, адаптивное реагирование, а также непрерывное обучение и оптимизацию. Двумя определяющими признаками iSpace являются технологическое обеспечение и пространственный носитель; к четырём планировочным элементам относятся комплексное восприятие, точная оценка, адекватное реагирование и оптимизация на основе обучения. Предложены также практические направления интеллектуальной трансформации городских пространств, формирующие теоретическую основу и прикладные ориентиры для широкого внедрения.

Ключевые слова: iSpace; умный город; концепция; Интернет вещей; искусственный интеллект.

Классификационный индекс Китайской библиотечной классификации: TU984. Код документа: А. DOI: 10.16361/j.urpf.202405002. Номер статьи: 1000-3363 (2024) 05-0012-06.

Технологические изменения приводят к наложению физического и цифрового измерений города, формируя новые городские образы и преобразуя способы взаимодействия людей и использования пространства. В последние годы исследования и практика умных городов преимущественно были сосредоточены на стратегических концепциях и архитектуре платформ [1-2] либо на интеллектуальной модернизации инфраструктуры — транспорта, логистики и инженерных коллекторов [3-5].

Однако именно улицы, площади, жилые кварталы и другие повседневные пространства служат средой городской жизни и точками непосредственного доступа жителей к сервисам умного города. Поэтому распространение интеллектуальных решений от стратегий верхнего уровня и базовой инфраструктуры к пространствам городской жизни становится одной из главных задач качественного развития умных городов. Проекты Sidewalk Toronto в Канаде, Woven City в Японии и The Line в Саудовской Аравии содержат многочисленные визуализации интеллектуальных сценариев городской жизни. Хотя большинство из них пока остаётся на стадии проектирования, они дают важные ориентиры для дальнейшего развития интеллектуальных городских пространств.

1 Современное состояние практики iSpace

В рамках исследования проведён широкий обзор проектов интеллектуализации городских пространств, завершённых или находящихся в стадии строительства в разных странах мира за последнее десятилетие. Поиск выполнялся по ключевым словам «умное пространство», «умное

место», «умное здание» и «умный жилой комплекс». Всего выявлено 246 проектов, систематизированных в аналитической схеме и базе кейсов.

Площадь реализованных проектов варьирует от нескольких квадратных метров до нескольких сотен тысяч квадратных метров. Заказчиками выступают частные компании, государственные учреждения и органы власти; исполнителями — как традиционные архитектурно-планировочные бюро, так и команды разработчиков интеллектуальных технологий и производители электротехнического оборудования. Для повышения безопасности, энергоэффективности и комфорта используются новые материалы, включая углеродное волокно и биосенсоры, а также Интернет вещей (IoT) и цифровые двойники. Это позволяет создавать городские пространства с меньшим углеродным следом, новыми сенсорными впечатлениями и более персонализированной обратной связью.

Рассмотренные проекты охватывают широкий спектр пространственных типов: жильё, культуру, образование и исследования, здравоохранение, торговлю и офисы, промышленность, логистику и складирование, улично-дорожную и транспортную инфраструктуру, инженерные объекты, зелёные зоны и общественные площади (рисунок 1). Особенно быстро в жилой среде распространяются системы комплексного «умного дома». Объединяя звуковое, светотехническое и электрическое оборудование, они создают персонализированную и более комфортную среду проживания и одновременно решают практические задачи, включая уход за пожилыми людьми на дому и присмотр за детьми. В области стандартов, промышленной политики, проектных решений и бизнес-моделей уже сформировалась относительно целостная производственная цепочка.



Рисунок 1. Типовые примеры проектов

В торговых и офисных зданиях интеллектуальная модернизация прежде всего направлена на снижение энергопотребления. Системы отопления, вентиляции, кондиционирования, лифты и другое оборудование управляются автоматически, а электротехническая инфраструктура здания — через интегрированные платформы. Распространение гибридных и гибких форм занятости в сочетании с датчиками занятости рабочих мест породило новые подходы к проектированию и использованию офисных пространств. В медицинских, образовательных и культурных учреждениях интеллектуальные платформы обычно создаются под конкретные функции — например, умные операционные, умные аудитории и мультимедийные выставочные залы.

В городских парках, на улицах, площадях и в других общественных пространствах традиционное формирование среды и программирование активности дополняются либо технологичным уличным оборудованием — сиденьями, навесами и остановочными павильонами, — либо технологиями безочковой 3D-визуализации, голографической проекции, дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR), обогащающими опыт использования общественного пространства.

В большинстве проектов цифровые системы и физическое пространство проектируются и создаются представителями разных отраслей. Высокие дисциплинарные и отраслевые барьеры приводят к слабой интеграции и недостаточной согласованности, а при эксплуатации обе системы иногда вступают в противоречие. Кроме того, применение новых технологий и материалов пока носит экспериментальный характер, а затраты на исследования, разработку и строительство остаются высокими. Поэтому часть проектов выполняет преимущественно экспериментальную или демонстрационную функцию. Такая технологически и визуально ориентированная интеллектуализация всё ещё заметно отличается от решений, исходящих из реальных проблем пользователей [6].

2 Концепция и характеристики

Современные исследования интеллектуальных пространственных сред ведутся главным образом в холодильной технике и системах отопления, вентиляции и кондиционирования, информатике, автоматизации и Интернете вещей [7-8]. Обычно они нацелены на отдельные технические разработки или имитационные эксперименты в области энергопотребления, автоматического управления оборудованием, занятости пространства и виртуальной реальности [9-12]. В последние годы соответствующие исследования появились и в дисциплинах, связанных с формированием застроенной среды. Среди них — представление города как единства человека, технологии и пространства [13], концепция интеллектуальных строительных терминалов, объединяющих архитектурный носитель и окружающий интеллект [14], а также выявление новых пространственно-временных модулей социальной активности на микроуровне [15]. Тем не менее связь между перспективными концепциями умного города и прикладными технологическими продуктами остаётся недостаточной [16]. В частности, понятие «интеллектуальный сценарий» по-разному трактуется в различных контекстах и пока не имеет чёткого определения и систематического обобщения.

2.1 Концептуальное определение iSpace

На основе анализа международных проектов интеллектуальных пространств и существующих научных исследований iSpace определяется как городская пространственная среда, в которой передовые технологии позволяют воспринимать поведенческие потребности людей и состояние

окружающей среды, формировать оценки и принимать решения, изменять параметры среды для повышения безопасности, энергоэффективности и комфорта, а также непрерывно обучаться и оптимизировать функционирование.

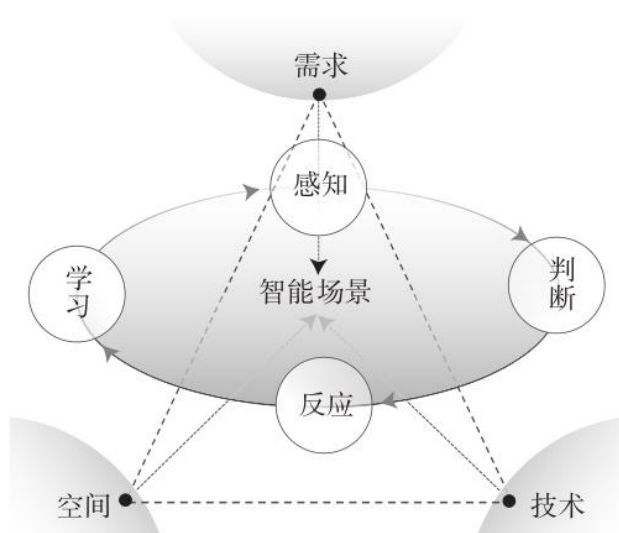


Рисунок 2. Структура iSpace

2.2 Ключевые характеристики iSpace

iSpace формируется за счёт применения новых интеллектуальных технологий (i), делающих городское пространство (space) интеллектуальным. Это новая пространственная форма будущих умных городов, возникающая вследствие глубокой интеграции передовых технологий с застроенной средой, создаваемой архитектурой, градостроительством и ландшафтным проектированием. Двумя её определяющими характеристиками являются интеллектуальные технологии и пространственный носитель.

Характеристика 1: применение технологий «i». Создание iSpace требует достижений информатики, мехатроники, психологии, эргономики и других областей. Шесть основных групп технологий — интеллектуальное восприятие, Интернет вещей и связь, интеллектуальное управление зданиями и средой, аналитика данных и ИИ, автоматизированное управление, виртуальная и дополненная реальность — объединяют пространство и оборудование, данные и сети, физическую и информационную среду в единую взаимосвязанную систему (таблица 1).

Таблица 1. Технологии, применяемые в iSpace

Направление	Технология	Объект	Направление	Технология	Объект
Интеллектуальное восприятие	Датчики ИИ для дорог	Люди	Аналитика данных и ИИ	Платформа анализа данных	Люди
	Сенсоры БПЛА	Среда		Глубокое обучение	Люди

Направление	Технология	Объект	Направление	Технология	Объект
	Радар мм-диапазона	Люди		Федеративное обучение	Люди
	Тепловизоры	Среда		GPT	Люди
	Датчики глубины	Люди		Аналитика на базе ИИ	Люди
IoT и связь	Датчики IoT	Среда	Автоматика	Система автоматизации	Среда
	Управление освещением	Среда		Платформа мониторинга	Среда
	NB-IoT	Среда		Алгоритм SLAM	Среда
	Умная система озеленения	Среда		Управление на базе ИИ	Среда
Управление зданием и средой	Система управления энергией	Среда	Виртуальная и дополненная реальность	Адаптивные конструкции	Среда
	Система управления умным зданием	Среда		Технологии AR, VR и MR	Люди
	Система мониторинга среды	Среда		Голографическая проекция	Люди

Характеристика 2: пространство как носитель. По своей природе пространство представляет собой объёмную систему, ограниченную поверхностями. Городские места вмещают разнообразные виды деятельности, служат точками предоставления сервисов умного города и интерфейсами, через которые жители непосредственно воспринимают интеллектуальные приложения. Тем самым они во многом определяют ощущение пользы, благополучия и безопасности.

Датчики, сети, вычислительное оборудование и другие компоненты интеллектуальных систем должны быть физически размещены в пространстве. Дорожное покрытие [17], фасады зданий [18], опоры освещения [19], мусорные контейнеры [20] и другие поверхности уличного оборудования могут выступать пространственными носителями. По материалам базы кейсов такие носители классифицированы по их роли в пространственной системе на две категории и пять типов поверхностей (таблица 2): ограждающие и промежуточные поверхности, включающие стены, полы, потолки, поверхности уличного оборудования и трубопроводы.

Таблица 2. Типы пространственных поверхностей и репрезентативные примеры

Категория	Носитель	Репрезентативные примеры
Ограждающие поверхности	Стена	Интерактивная стена LUMES в больнице Кабрини ¹ ; адаптивный фотоэлектрический фасад ETH Zurich ²
	Пол	Умное напольное покрытие SensFloor в доме ухода Fisher ³
	Потолок	Интеллектуальный интерактивный потолок в здании Ping An Property & Casualty Insurance, Шэньчжэнь ⁴

Категория	Носитель	Репрезентативные примеры
Срединные поверхности	Поверхность уличного оборудования	Демонстрационный участок умных опор освещения на улице Хуахуа, Шэньчжэнь ⁵ ; уличный умный домик для кошек ⁶
	Трубопровод	AR-приложение для подземных инженерных сетей в Тунчжоу, Пекин ⁷

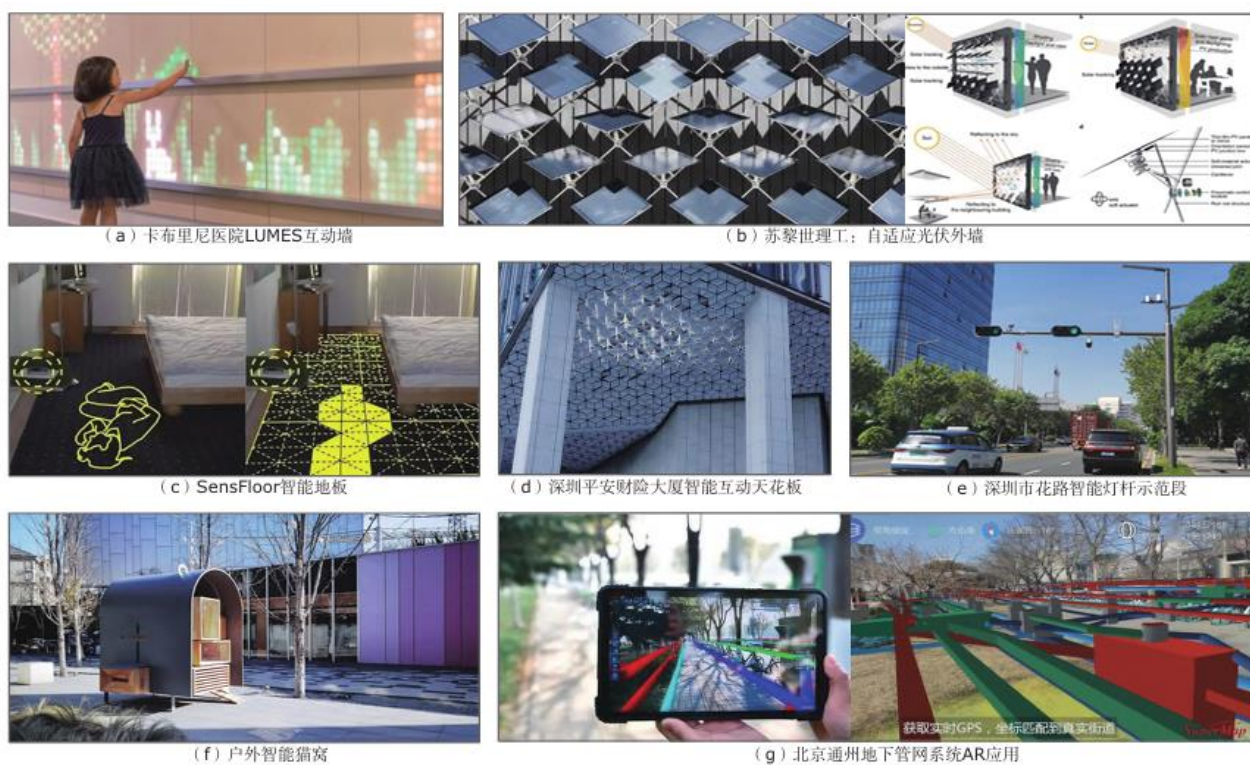


Рисунок 3. Репрезентативные примеры iSpace

3 Элементы планирования

Умный город развивает устойчивый интеллект посредством повторяющегося цикла «восприятие — оценка — реагирование — обучение» [21]. Планирование и проектирование городских пространственных сред строятся по той же четырёхэлементной логике (рисунок 4): комплексно воспринимаются шесть категорий данных о застроенной среде; алгоритмы ИИ обеспечивают точную оценку; посредством взаимодействия или управления формируется адекватная реакция; выявленные закономерности используются для самооптимизации пространства.

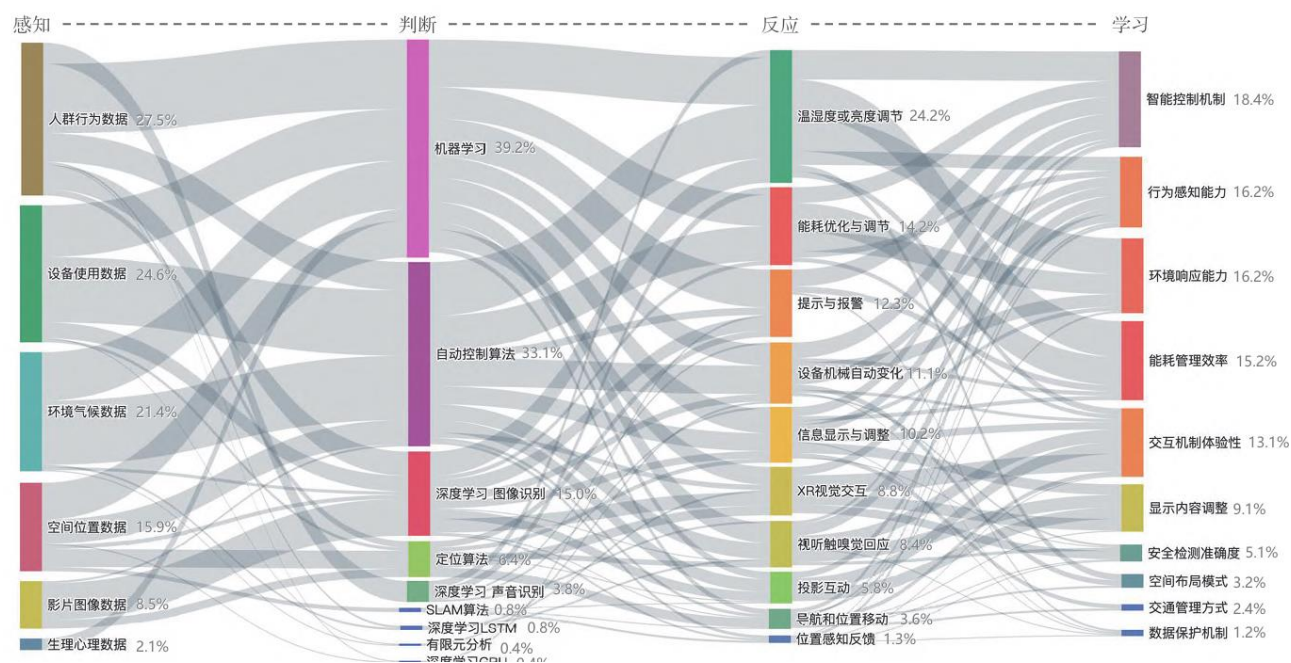


Рисунок 4. Диаграмма Санки, связывающая четыре элемента iSpace

3.1 Комплексное восприятие

Комплексное восприятие — исходный и обязательный этап создания iSpace. Застроенная среда генерирует разнообразные данные [22], а датчики и средства мониторинга широко применяются для их сбора, обеспечивая наблюдение в реальном времени и комплексное управление окружающей средой и деятельностью людей.

По характеру и назначению воспринимаемая в городском пространстве информация объединена в шесть категорий: средовые и климатические данные, данные об использовании оборудования, данные пространственного положения, видео- и графические данные, сведения о поведении людей, а также физиологические и психологические данные. В таблице 3 представлены типы данных и соответствующие устройства восприятия, что создаёт основу для точного анализа их свойств и назначения и поддерживает последующие этапы интеллектуализации пространства.

Таблица 3. Типы данных и устройства восприятия

Категория данных	Тип данных	Состав данных	Устройства восприятия
Средовые и климатические данные	Параметры среды	Скорость ветра, освещённость, температура, влажность, качество воздуха, атмосферное давление и шум	Метеостанции; датчики температуры и влажности; анемометры; шумометры; датчики качества воздуха
	Данные освещённости	Интенсивность света внутри и снаружи, положение солнца и фоновое освещение	Датчики освещённости; трекеры положения солнца

Категория данных	Тип данных	Состав данных	Устройства восприятия
Данные об использовании оборудования	Состояние оборудования	Состояние, режим работы и использование оборудования	RFID; NFC; системы мониторинга оборудования; датчики оборудования
	Расход энергии	Потребление энергии и данные о нагрузке	Мониторы энергопотребления; умные счётчики
	Эксплуатационные данные	Команды пользователей, настройки устройств и журналы работы	Пользовательские терминалы; регистраторы операций; системы журналирования
Данные пространственного положения	Местоположение пользователей	Положение пользователей, координаты персонала и посетителей	Миллиметроволновый радар; инфракрасные датчики; устройства Wi-Fi-позиционирования
	Данные перемещений	Траектории движения, маршруты поездок и пешеходные пути	GPS-устройства; мобильные трекеры; датчики походки
	Местоположение транспорта	Положение транспортных средств, данные парковочных мест и транспортных потоков	Бортовой GPS; системы отслеживания транспорта; оборудование мониторинга парковки
	Использование пространства	Занятость, коэффициенты использования помещений и модели использования пространства	Камеры внутреннего наблюдения; датчики присутствия; инфракрасные детекторы
Видео- и графические данные	Видеоданные	Видео наблюдения, фотографии и захваченные изображения	Камеры наблюдения; цифровые камеры; видеорегистраторы
	Тепловизионные данные	Тепловые и инфракрасные изображения	Тепловизоры; инфракрасные камеры
	Данные распознавания лиц	Изображения лиц, идентификация и индивидуальные признаки	Камеры распознавания лиц; камеры высокого разрешения
	Данные виртуальной реальности	Виртуальные сцены, данные VR и голографические проекции	VR-гарнитур; панорамные камеры; устройства захвата движений

Категория данных	Тип данных	Состав данных	Устройства восприятия
Данные о поведении людей	Поведение пользователей	Перемещения, поведенческие траектории, голос и прикосновения	Миллиметроволновый радар; микрофоны; датчики давления
	Потоки людей	Численность пешеходов, условия движения и пешеходные данные	Счётчики людей; тепловизионные камеры; сенсорные напольные покрытия
	Обратная связь и взаимодействие	Отзывы и оценки пользователей, социальные взаимодействия	Сбор данных социальных сетей; программное обеспечение социальной аналитики
Физиологические и психологические данные	Эмоциональное состояние	Распознавание эмоций, психологическое состояние и эмоциональные колебания	Камеры анализа мимики; устройства распознавания эмоций по голосу
	Данные о здоровье	ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ, состояние здоровья и жизненные показатели	ЭКГ-аппараты; носимые устройства мониторинга здоровья — браслеты и часы
	Данные о стрессе	Уровень стресса и психологическая нагрузка	Датчики давления; мониторы частоты сердечных сокращений

3.2 Точная оценка

Устройства восприятия в городском пространстве преимущественно фиксируют данные в реальном времени, с высокой частотой и в больших объёмах. Для описательного, диагностического и прогнозного анализа необходимы алгоритмы машинного и глубокого обучения [23], позволяющие точно оценивать состояние среды и оборудования, поведение людей и потребности пользователей (таблица 4).

Алгоритмы машинного обучения, в том числе метод опорных векторов (SVM) и случайный лес, хорошо работают со структурированными данными и эффективно решают задачи классификации и регрессии. Например, модель случайного леса может прогнозировать состояние оборудования и заранее выявлять возможные неисправности, а SVM — классифицировать поведенческие данные, распознавая потребности и предпочтения различных пользователей.

Алгоритмы глубокого обучения — свёрточные (CNN) и рекуррентные нейронные сети (RNN) — особенно эффективны при обработке неструктурированных данных: изображений, аудио и видео. Они автоматически извлекают признаки и распознают сложные закономерности. RNN пригодны для анализа последовательностей и прогнозирования перемещений людей и поведенческих тенденций,

тогда как CNN используются для распознавания изображений, автоматически обнаруживая и классифицируя объекты в пространственной среде (рисунок 5).

Таблица 4. Алгоритмы и данные для пространственной оценки

Пространственная оценка	Данные	Типовые алгоритмы
Мониторинг среды	Качество воздуха, шум, температура и влажность	Кластеризация К-средних; деревья решений
Энергоменеджмент	Энергопотребление, состояние оборудования и параметры среды	Линейная регрессия; градиентный бустинг деревьев (GBT)
Мониторинг оборудования	Эксплуатационные данные, энергопотребление и журналы обслуживания	Метод опорных векторов (SVM); случайный лес
Распознавание поведения	Поведение пользователей, данные датчиков и видео	Свёрточные нейронные сети (CNN); скрытые марковские модели (HMM); OpenPose; детекция объектов YOLO
Распознавание речи	Речевые данные и команды пользователей	Обработка естественного языка (NLP); BERT; сети долгой краткосрочной памяти (LSTM)
Распознавание лиц	Видео- и графические данные; идентификационные данные пользователей	Генеративно-состязательные сети (GAN); свёрточные нейронные сети (CNN)
Выявление рисков	Видео наблюдения, состояние оборудования и данные обнаружения вторжений	Глубокие остаточные сети (ResNet); свёрточные нейронные сети (CNN)
Планирование маршрута	Пространственные координаты, данные о препятствиях и карты	Одновременная локализация и картографирование (SLAM)

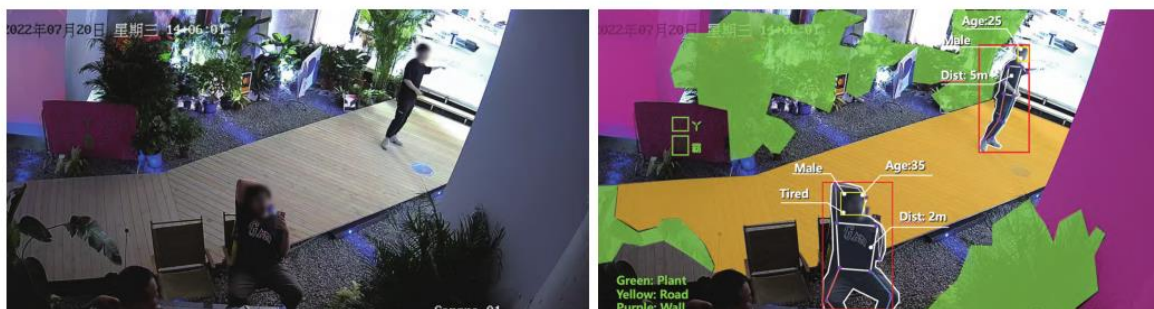


Рисунок 5. Примеры пространственной оценки

3.3 Адекватное реагирование

Способность пространства адекватно реагировать на результаты оценки является ключевым показателем его интеллектуальности. Реакции пространственной среды можно разделить на две основные категории: взаимодействие и управление (таблица 5).

Интерактивные реакции в основном вовлекают пользователей через визуальное представление информации. Они не только улучшают пользовательский опыт, но и обеспечивают обратную связь и обработку данных в реальном времени. Например, LED-экран может динамически обновлять сведения о дорожной обстановке или рекламу на основе текущего анализа данных; пользователь — жестами взаимодействовать с проецируемым содержанием, осматривать и перемещать виртуальные объекты; музейный гид — автоматически воспроизводить релевантную информацию с учётом местоположения посетителя.

Управляющие реакции обеспечивают интеллектуальное воздействие на электронное оборудование и механические компоненты, поэтому предъявляют более высокие технические требования и отличаются большей инженерной сложностью. Освещение может в реальном времени менять яркость и цветовую температуру с учётом внешнего света и действий пользователей; мониторинг походки — обнаруживать падение и автоматически направлять тревожный сигнал ответственным лицам; лифты и инженерные системы здания — изменять режим работы в зависимости от положения пользователя, обеспечивая безбарьерное вертикальное перемещение.

Таблица 5. Способы реагирования в iSpace

Тип	Способ реагирования	Пример реакции
Интеракция	Отображение и корректировка информации	Обновление содержимого LED-экранов в реальном времени; вращающиеся стены с интерактивными узорами
	Жестово-проекционное взаимодействие	Управление 3D-изображениями жестами; корректировка проекции с учётом положения пользователя
	Обратная связь по местоположению	Отслеживание положения пользователя для напоминаний о здоровье и общении; персонализированное содержание выставки
	Голографическое взаимодействие	Взаимодействие с голографическими 3D-изображениями; вращающееся отображение парящих образов
Управление	Регулирование температуры, влажности и освещённости	Автоматическая настройка температуры и влажности; управление освещением и кондиционированием
	Оптимизация и регулирование энергии	Мониторинг выработки электроэнергии в реальном времени; оптимизация энергопотребления
	Автоматизированная механическая трансформация	Настройка складных механизмов; оптимизация угла панелей; управление шторами и солнцезащитой

Тип	Способ реагирования	Пример реакции
	Мультисенсорная реакция	Обнаружение падения и сигнализация; низкочастотная вибрация; электрическая стимуляция мышц

3.4 Обучение и оптимизация

Большинство современных проектов iSpace достигло интеллектуального совершенствования лишь на этапах восприятия, оценки и реагирования. Они ещё не перешли к самооптимизирующемуся циклу «восприятие — оценка — реагирование — обучение». Отсутствие непрерывной итерации ограничивает способность таких сред обеспечивать эффективное долгосрочное обслуживание в сложных и изменяющихся городских условиях.

Самооптимизация iSpace основана на анализе повторяющихся закономерностей. Из больших объёмов сложных и неоднородных данных посредством моделирования извлекается значимая информация, позволяющая выявлять регулярности и прогнозировать тенденции (рисунок 7), а затем оптимизировать среду и формировать более эффективную интеллектуальную обратную связь (таблица 6). По мере распространения iSpace важным направлением повышения интеллектуальности станет совместное обучение различных пространств. Интеграция воспринимаемых данных и обмен накопленным опытом позволят коллективному пространственному интеллекту поддерживать более эффективное городское управление и оптимизацию сервисов.

Таблица 6. Направления самооптимизации пространственной среды

Направление оптимизации	Способ реализации	Пояснение
Распознавание поведения	Анализ поведения и походки; оптимизация прогноза падений; анализ данных о здоровье	Анализировать походку, активность и показатели здоровья для совершенствования алгоритмов выявления аномалий и распознавания поведения и повышения скорости реакции.
Адаптивность к среде	Обучение моделей машинного обучения и динамическая настройка	Анализировать исторические данные среды, ускорять реакцию на изменения и динамически корректировать пространственную конфигурацию.
Управление энергией	Анализ данных в реальном времени и мониторинг энергоэффективности	Непрерывно отслеживать энергопотребление датчиками и применять аналитику данных для оптимизации энергетических стратегий и сокращения потерь.
Интерактивная визуализация	Анализ поведения пользователей и оптимизация схем взаимодействия	Анализировать взаимодействие пользователя с пространством, оптимизировать отображаемое содержание, усиливать эффект присутствия и улучшать пользовательский опыт.

Направление оптимизации	Способ реализации	Пояснение
Интеллектуальное управление	Анализ пользовательских и средовых данных; оптимизация алгоритмов управления	Использовать данные о пользователях и среде для совершенствования алгоритмов управления, повышения интеллектуальности оборудования и устойчивости системы.
Пространственная организация	Анализ поведения пользователей и динамическая оптимизация содержания	Корректировать отображаемое и интерактивное содержание на основе поведения пользователей, повышая динамическую адаптивность пространства.
Защита данных	Шифрование и алгоритмы защиты конфиденциальности	Анализировать требования пользователей к конфиденциальности, совершенствовать шифрование и усиливать защиту данных и частной жизни.
Точность выявления рисков	Оптимизация тепловизионных данных и обнаружения событий	Использовать тепловизионные данные для совершенствования алгоритмов защиты конфиденциальности камер и обнаружения событий, сокращения ложных тревог и повышения точности.



Рисунок 7. Анализ пространственных данных и оптимизация на основе обучения

4 Заключение и перспективы

После более чем десятилетия разработки макростратегий и концепций верхнего уровня развитие умных городов ускоренно переходит к более глубокой и системной реализации. Поскольку городские пространства являются физическими носителями городской жизни и непосредственно

воспринимаются жителями, их интеллектуализация неизбежно станет одним из главных направлений и ключевых инструментов воплощения концепции умного города.

Интеграция технологических инноваций с обновлением городской среды — прежде всего глубокое соединение информационно-коммуникационных технологий (ICT), искусственного интеллекта (AI) и Интернета вещей (IoT) с пространственными преобразованиями — превращает городское пространство в важную сферу применения производительных сил нового качества. В перспективе iSpace, основанное на комплексном восприятии, точной оценке, адекватном реагировании и оптимизации через обучение, будет не только стимулировать технологические инновации и повышать безопасность города, но и преобразовывать образ жизни и функциональную структуру городской среды, углубляя интеграцию устойчивого развития и человекоориентированного подхода.

Примечания

¹ <https://www.eness.com/permanent/cabrini>

² <https://systems.arch.ethz.ch/research/adaptive-solar-facade>

³ <https://future-shape.com/>

⁴ <https://www.archiposition.com/items/20210118062458>

⁵ <https://mp.weixin.qq.com/s/J871vUp2AzuPxoK1iCby2A>

⁶ <https://www.goood.cn/outdoor-intelligent-cat-nest-china-by-zaoshi-architecture.htm>

⁷ https://k.sina.cn/article_1893892941_70e2834d02000vnnn.html

Литература

- [1] ZHANG Weiwen, JIN Han, LENG Jiaxin. Как строительство умных городов может модернизировать социальное управление? «Городской мозг» Ханчжоу в условиях пандемии COVID-19 [J]. Вестник Чжэцзянского университета (гуманитарные и социальные науки), 2020, 50(4): 117-129.
- [2] WU Xibo, YANG Zaigao. Концепция умного города и развитие городов будущего [J]. Исследования городского развития, 2010, 17(11): 56-60.
- [3] WANG Mengshu, WANG Yonghong, TAN Zhongsheng, et al. Комплексное использование подземного пространства в умных городах Китая [J]. Вестник Пекинского университета транспорта, 2016, 40(4): 1-8.
- [4] ZHANG Xiaochun, SHAO Yuan, SUN Chao. Интегрированная концепция интеллектуального транспорта для городов будущего [J]. Городской транспорт Китая, 2018, 16(5): 1-7.
- [5] CHEN Yulan, ZHANG Ling. Сравнительное исследование развития умной индустрии в дельте Янцзы [J]. Вестник Наньтунского университета (социальные науки), 2017, 33(6): 6-11.
- [6] WU Zhiqiang, WANG Jian, LI Deren, et al. «Холодное» осмысление бума умных городов: академический форум [J]. Вестник градостроительства, 2022(2): 1-11.
- [7] NIZETIC S, SOLIC P, LOPEZ-DE-IPINA D, et al. Интернет вещей (IoT): возможности, проблемы и вызовы на пути к умному и устойчивому будущему [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 274: 122877.
- [8] JAVED A R, SHAHZAD F, REHMAN S U, et al. Требования к умным городам будущего, новые технологии, приложения, проблемы и перспективы [J]. Cities, 2022, 129: 103794.

- [9] ZHU C, FONG L H N, GAN M. Переосмысление последствий постмодернистской аутентичности: объект всемирного культурного наследия в дополненной реальности [J]. *Current Issues in Tourism*, 2023, 26(4): 617-631.
- [10] COPIACO A, HIMEUR Y, AMIRA A, et al. Инновационное глубокое выявление аномалий энергопотребления зданий по изображениям временных рядов [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, 119: 105775.
- [11] PENG Y, RYSANEK A, NAGY Z, et al. Применение машинного обучения для управления охлаждением офисных зданий на основе прогнозирования занятости [J]. *Applied Energy*, 2018, 211: 1343-1358.
- [12] JEON Y, CHO C, SEO J, et al. Система определения присутствия в жилых помещениях на основе IoT [J]. *Building and Environment*, 2018, 132: 181-204.
- [13] ZHEN Feng, KONG Yu. Система планирования умного города, объединяющая человека, технологии и пространство [J]. *Вестник градостроительства*, 2021(6): 45-52.
- [14] ZHOU Ying, XU Yayin, DING Lieyun. Интеллектуальные строительные терминалы на основе окружающего интеллекта [J]. *Вестник Хуачжунского университета науки и технологий (естественные науки)*, 2022, 50(8): 1-10.
- [15] LIU Quan, SHI Yiting, LAI Yani. Концептуальная интерпретация и характеристика сценариев умного города [J]. *Международное градостроительство*, 2023.
- [16] LIU Quan, CHEN Yaoyao, HUANG Dingfang, et al. Модульный метод проектирования интегрированных трёхкомпонентных сценариев умной улицы: концепция улицы будущего для Хуацянбэя [J]. *Вестник градостроительства*, 2023(2): 110-118.
- [17] NIJI M, IQBAL R, PANDEY A K, et al. Архитектура подключённых транспортных средств 6G для интеллектуального обслуживания дорог с применением слияния данных глубокого обучения [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2023, 24(7): 7726-7735.
- [18] LIU Xiaoqing, HE Rui. Планирование новой городской информационной инфраструктуры: практика и опыт Сюньаня [J]. *Вестник градостроительства*, 2022(5): 112-118.
- [19] DE PAZ J F, BAJO J, RODRIGUEZ S, et al. Интеллектуальная система управления освещением в умных городах [J]. *Information Sciences*, 2016, 372: 241-255.
- [20] ABUGA D, RAGHAVA N S. Механизм умного мусорного контейнера реального времени для обращения с твёрдыми отходами в умных городах [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 75: 103347.
- [21] WU Zhiqiang, PAN Yunhe, YE Qiming, et al. Система показателей оценки интеллектуальных городов: разработка и применение [J]. *Engineering*, 2016, 2(2): 105-137.
- [22] PERERA C, ZASLAVSKY A, CHRISTEN P, et al. Модель «сенсорика как услуга» для умных городов на основе Интернета вещей [J]. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 2014, 25(1): 81-93.
- [23] ZHANG J, TAO D. Наделение вещей интеллектом: обзор достижений, проблем и возможностей искусственного интеллекта вещей [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021, 8(10): 7789-7817.

Исправленная версия: август 2024 г.

Перевод выполнен с использованием ИИ