

Выявление, классификация и модели планировочной организации коридоров TOD с позиции сбалансированности пассажиропотоков: пример Шанхая

LIU Bing, WANG Zhiwei, WANG Geyang, ZHU Junyu, CAO Juanjuan, XU Lei

Аннотация: Уровень сбалансированности пассажиропотоков в коридорах Transit-Oriented Development (TOD) непосредственно влияет на их эксплуатационную и сервисную эффективность; определяющую роль при этом играют связи между станциями коридора. На основе OD-данных рельсового транспорта Шанхая в статье применен алгоритм выявления сообществ для идентификации групп станций с тесными межстанционными связями; на этой основе определены интервальные границы коридоров TOD и выделены три типа: радиальные, продольно-поперечные и криволинейно-кольцевые. Далее построены индекс продольной профильной сбалансированности и индекс двунаправленной сбалансированности. Результаты показывают значимые различия между коридорами по обоим показателям; на основе двумерной классификации сформированы четыре типа: «двойная сбалансированность», «сбалансированность по направлению», «профильная сбалансированность» и «двойная несбалансированность». Коридоры с двойной сбалансированностью характеризуются полицентричностью и смешанным землепользованием, тогда как коридоры с двойной несбалансированностью представлены цепочкой периферийных жилых территорий. С позиции сбалансированности пассажиропотоков предложены «принципы 5D» для коридора TOD как пространственной единицы. Метод деления коридоров и оценки сбалансированности их пассажиропотоков формирует интегрированную техническую рамку для пространственной оптимизации TOD на уровне коридора и координации станционных TOD.

Ключевые слова: коридор TOD; сбалансированность пассажиропотоков; индекс профильной сбалансированности; индекс направленной сбалансированности; пространственная модель коридорного TOD; Шанхай

Классификационный номер Китайской библиотечной классификации: TU984; код документа: A

DOI: 10.16361/j.urpf.202501014; номер статьи: 1000-3363(2025)01-0102-09

Сведения об авторах: LIU Bing, профессор и научный руководитель докторантов, Колледж архитектуры и градостроительства Университета Тунцзи; Ключевая лаборатория интеллектуальных технологий планирования территориального пространства Министерства природных ресурсов; Шанхайская ключевая лаборатория городского обновления и технологий пространственной оптимизации; Ключевая лаборатория экологии и энергосбережения высокоплотной жилой среды Министерства образования (Университет Тунцзи). E-mail: liubing1239@tongji.edu.cn; WANG Zhiwei, докторант Колледжа архитектуры и градостроительства Университета Тунцзи; директор по планированию и старший планировщик Института планирования городского транспорта Suzhou Planning & Design Research Institute Co., Ltd.; WANG Geyang, инженер, Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.; автор для корреспонденции. E-mail: wgy_8d183f@126.com; ZHU Junyu, инженер, Shanghai Institute of Urban and Rural Construction and Transportation Development; CAO Juanjuan, заместитель главного планировщика и старший инженер, Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.; XU Lei, докторант Колледжа архитектуры и градостроительства Университета Тунцзи;

заместитель главного инженера и старший инженер Института городского пространства и транспортного планирования и проектирования, Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.

Финансирование: общий проект Национального фонда естественных наук Китая «Пространственные модели и стратегии оптимизации железнодорожных коридоров TOD с позиции сбалансированности пассажиропотоков: на примере Шанхайской метрополитенской зоны» (№ 52178052); проект Министерства образования КНР 2024 года по совместной подготовке кадров в формате «производство - университет» при Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd. «Кейсы проектов планирования общественного транспорта на основе цифровых технологий» (№ 231100155192902); специальная тема Шанхая 2022 года по консультационным исследованиям для принятия решений в области планирования и строительства новых городов «Стратегии интеграционного развития зеленого низкоуглеродного транспорта и городского пространства в новых городах Шанхая на фоне высококачественного развития» (№ 2022-Z-W07-A).

1 Исследовательский контекст

1.1 Возникновение концепции TOD и развитие практики

В 1993 г. Питер Калтрон^[1], опираясь на теорию Нового урбанизма, предложил концепцию TOD как «компактного развития в поддержку общественного транспорта». Она соответствовала североамериканскому движению smart growth, стимулировала переосмысление опыта освоения территорий вдоль железных дорог в Европе и Азии и дала импульс многочисленным практикам, связанным со строительством систем общественного транспорта. За последние почти тридцать лет TOD стала одной из центральных тем в градостроительном планировании. Поскольку TOD продвигает пешеходную доступность, смешение функций, разнообразие жилья и формирование общественных центров - принципы, согласующиеся с целями сдерживания расползания города, улучшения качества воздуха и развития социальных контактов, - соответствующие политики были приняты на городском, региональном и даже национальном уровнях: руководства и регламенты Денвера^[2], Остина^[3] и Дели^[4], стратегии и рекомендации для Центрального Мэриленда^[5] и залива Сан-Франциско^[6], национальная политика Малайзии^[7], а также проектная поддержка международных организаций, включая Institute for Transportation and Development Policy^[8] и Всемирный банк^[9].

В Китай концепция TOD была введена около 2000 г.^[10]. На начальном этапе внимание уделялось роли форм землепользования TOD в развитии общественного транспорта и решении проблем автомобилизации^[11]. «Ускорение формирования модели городского развития, ориентированной на общественный транспорт» было прямо включено в требования демонстрационной программы «городов общественного транспорта»^[12]. По мере расширения протяженности городских рельсовых сетей все большее внимание получила стратегия TOD «рельс + недвижимость», при которой прирост стоимости земли поддерживает строительство и эксплуатацию рельсового транспорта; в 2016 г. Государственный комитет по развитию и реформе провел семинар по инновациям механизмов инвестирования и финансирования городского рельсового транспорта^[13], а исследования возврата прироста стоимости, создаваемого рельсовым транспортом, стали расширяться^[14-18]. Местные практики TOD также активно развиваются: Пекин, Тяньцзинь, Шэньчжэнь, Чэнду, Ханчжоу, Нанкин, Дунгуань, Фошань, Сучжоу и другие города разработали стратегии развития TOD или специальные планы. По неполной статистике, среди более чем пятидесяти городов Китая с действующими системами

городского рельсового транспорта свыше половины приняли политики интегрированного развития территорий вокруг станций, поощряя подготовку и реализацию проектов TOD^[19].

1.2 Возрастающее значение коридорного TOD

Как лидер Нового урбанизма, уделявший особое внимание региональному росту, Калтрон подчеркивал, что TOD по своей сути является «региональной моделью развития Нового урбанизма»: необходимо на региональном уровне интегрировать общественный транспорт и модели землепользования, чтобы сформировать более компактную пространственную структуру^[21]. Региональная модель TOD складывается из скоординированного развития множества станционных TOD квартального масштаба вдоль магистральных и подводящих линий^[1]; такая целостная и упорядоченная сетевая-коридорная структура требует опоры на сеть общественного транспорта для координации городской структуры^[22]. Под влиянием «принципов 3D»^[23] ранние исследования и практики TOD концентрировались на масштабе соседства, акцентируя улучшение застроенной среды станционных районов для стимулирования поездок на общественном транспорте^[24-25]. Однако развитие TOD на уровне отдельных станций ведет к проблеме взаимно изолированных «островов»^[26]. Чтобы уловить сетевые эффекты TOD, исследовательский фокус начал смещаться к макромасштабу^[27], и все большее внимание стало уделяться планированию коридорного TOD (Corridor TOD, CTOD), то есть координации станционных TOD вдоль линий. Тем самым TOD перешел от инструмента планирования сообщества в масштабе соседства к стратегии городского переустройства на региональном уровне^[28].

В раннем американском руководстве Station Area Planning: How to Make Great Transit-Oriented Places «многофункциональный коридор» был выделен как один из типов станционной территории TOD^[29]. Позднее в докладе Transit Corridors and TOD: Connecting the Dots были не только разграничены три пространственных уровня - станция, коридор и регион, - но и предложены три типа коридорного TOD: коридор назначения, маятниковый коридор и коридор локальной циркуляции^[30]. В китайских Guidelines for Planning and Design of Areas along Urban Rail Transit также были предложены ориентиры TOD на уровнях города, линии и станции^[31]; затем на «TOD Platform» Министерства жилищного и городско-сельского строительства была создана трехуровневая система оценки и показателей. В настоящее время TOD понимается как многоуровневая пространственная модель, соединяющая микроуровневую организацию соседства с широкой транспортной стратегией и направленная на максимизацию эффективности пассажирских перевозок общественным транспортом посредством интегрированного планирования землепользования и транспорта^[32]. Коридорный TOD занимает промежуточный уровень между городом и станцией и играет важную роль в координации станционных TOD для формирования иерархических сетей TOD различного масштаба, функций и форм^[30].

1.3 Относительное отставание исследований коридорного TOD

Несмотря на признание необходимости получать более широкие сетевые эффекты через коридорный TOD^[33], методы планирования на уровне коридора остаются недостаточно зрелыми. В теоретическом расширении TOD от принципов «3D» к «5D» только «доступность пунктов назначения» (destination accessibility) отражает существенное влияние городской структуры и сетевых условий макромасштаба на развитие общественного транспорта^[24,34]. Этот показатель оценивает удобство доступа от станции к центрам активности и другим точкам притяжения, но не формирует многомерных принципов, способных направлять пространственное планирование коридоров TOD. Модель «узел - место» (N-P), предложенная Bertolini^[35], позволяет оценивать согласованность узловой и местной ценности станций в многостанционных

анализах коридорного и регионального масштаба, однако по-прежнему остается узловым методом, где единицей анализа является станция. Хотя в последние годы исследователи объединяют «D-принципы» и модель N-P для классификации TOD^[36-37], им пока не удастся выйти за пределы станционной единицы и раскрыть целостные характеристики развития коридоров TOD и их связь с пассажиропотоками. Поэтому крайне важно рассматривать коридор общественного транспорта как пространственную единицу исследования TOD^[38-39]: это не только открывает возможности планировочного улучшения землепользования вдоль линии в интересах общественного транспорта, но и создает основу для оценки координации между станционными TOD. Отмечается, что оптимизация эксплуатационной эффективности общественного транспорта является одним из ключевых направлений исследований коридорного TOD^[33].

Текущие недостатки исследований коридорного TOD можно свести к трем аспектам. Во-первых, критерии определения пространственных границ коридоров общественного транспорта неоднородны: в одних работах напрямую выбирается конкретная линия^[40]; в других за исходную точку принимается сечение с максимальным пассажиропотоком, от которого в обе стороны откладываются участки длиной 3-5 км^[41]; в третьих границы задаются через travel shed - поездку длительностью 55-65 минут или расстояние 15-20 миль (24-32 км)^[28]; в четвертых используется алгоритм выявления сообществ^[42], что снижает сопоставимость исследований. Во-вторых, недостаточно учитываются распределение пассажиропотоков по линиям и условия их эксплуатации. Многие исследования поддерживают высокоинтенсивную застройку вокруг станций как способ стимулировать поездки общественным транспортом, но лишь немногие авторы обращают внимание на неблагоприятные последствия сверхвысоких сеченных нагрузок в плотных районах; например, в Тайбэе показано, что превышение определенного уровня интенсивности развития станционных районов может ухудшать эксплуатацию общественного транспорта и уровень обслуживания общественных объектов^[43]. В-третьих, связь «землепользование - транспорт» на уровне коридора остается измеренной недостаточно, а количественных показателей, описывающих застроенную среду коридора и характеристики пассажиропотоков, не хватает. В последнее время растет число работ, обсуждающих планировку коридоров TOD с позиции сбалансированности потоков: исследование Боготы^[44] показало, что смешение рабочих мест и жилья вдоль линий сглаживает пики пассажиропотока и делает сеченные нагрузки более равномерными; китайские исследователи также обратили внимание на маятниковый характер рельсового транспорта и баланс пассажирской нагрузки^[45-46]. Однако теоретические и методологические обсуждения планирования коридоров TOD все еще весьма ограничены.

Цель данной статьи - построить техническую рамку планирования TOD на уровне коридора с позиции сбалансированности пассажиропотоков. Начиная с определения интервальных границ коридора, статья измеряет уровень сбалансированности потоков и пространственные модели различных коридоров, чтобы поддержать координацию развития между станциями TOD и повышение эксплуатационной эффективности общественного транспорта.

2 Выявление коридоров TOD на основе тесно связанных участков

2.1 Метод выявления коридоров TOD

Коридор TOD представляет собой участок линии с относительно тесными внутренними связями, на который приходится основная активность поездок общественным транспортом вдоль линии. Опираясь на понятие «travel shed»^[33], в статье конкретные границы коридора TOD

определяются через пространственное распределение поездок пассажиров в обслуживаемой зоне. На основе OD-данных между станциями рельсового транспорта Шанхая применяется метод community detection для выявления сообществ станций с тесными связями, которые служат основанием для деления коридоров TOD. Использованы OD-данные за полный рабочий день июля 2022 г. Сначала пассажиропотоки пересадочных станций распределяются по конкретным линиям (например, станция People's Square на линии 1 и станция People's Square на линии 2); затем по объемам потоков строится взвешенный неориентированный граф $G=(V,E)$, где множество вершин V соответствует станциям метро на конкретных линиях, множество ребер E отражает связи потоков между станциями, а вес ребра $e(v_1,v_2)$ равен суммарному пассажиропотоку между двумя станциями, соответствующими вершинам v_1 и v_2 ^①.

В качестве алгоритма выбран лувенский алгоритм выявления сообществ (Louvain community detection algorithms), основанный на модульности^②. Он делит узлы сети на группы, внутри которых связи плотнее, а между группами - разреженнее; таким образом вычисляются TOD-«коридорные сообщества» в сети. Поскольку сообщества, выявленные лувенским алгоритмом, имеют близкие объемы внутренних связей, линии с высоким пассажиропотоком могут быть разделены на несколько сообществ, а линии с низким пассажиропотоком - не подразделяться. Поэтому применяется двухэтапная процедура «общее деление - детализация»: при начальной модульности 2 линии с большим пассажиропотоком сначала делятся на несколько «крупных сообществ» с близкими внутренними объемами потоков; затем для каждого крупного сообщества отдельно выполняется выявление сообществ и получаются более мелкие подсообщества. Если станции одного сообщества дискретно вклиниваются в другое, такие станции рассматриваются как зона перекрытия между соответствующими сообществами; в результате формируется ряд непрерывных коридоров TOD^③.

2.2 Результаты выявления коридоров TOD

По описанному методу в пределах Шанхая было выделено 41 коридор TOD (включая три ответвленных коридора); большинство линий метро разделено на два-три коридора TOD (рис. 1). По морфологии коридоры в целом делятся на три типа: радиальные, продольно-поперечные и криволинейно-кольцевые. Средняя длина 22 радиальных коридоров составляет около 25,0 км, среднее число сечений - 14; 13 продольно-поперечных и 6 криволинейно-кольцевых коридоров в основном расположены в центральном городе и вокруг него. В обеих группах примерно по 12 сечений, а их средние длины близки - 16,1 и 15,8 км соответственно, что составляет около двух третей длины радиальных коридоров и главным образом связано с меньшими межстанционными расстояниями.

Радиальные коридоры в основном соединяют центральный город с новыми городами, пригородными поселками, аэропортом Пудун и другими периферийными территориями; продольно-поперечные коридоры формируют плотную рельсовую сеть, проходящую через центральную зону, особенно Пуси; криволинейно-кольцевые коридоры расположены преимущественно на кольцевых линиях и на участках с изменением направления, обеспечивая прежде всего связи между Пуси и Пудуном. Из-за сетевой природы рельсовых связей центрального города - множества пересадок и переплетения линий - продольно-поперечные и криволинейно-кольцевые коридоры часто перекрываются с другими коридорами: один участок или станция может соответствовать нескольким коридорам TOD, а не находиться с ними в строгом отношении «один к одному». Это как раз подтверждает локальные явления взаимного вклинивания некоторых ранее выявленных «коридорных сообществ». См. табл. 1.

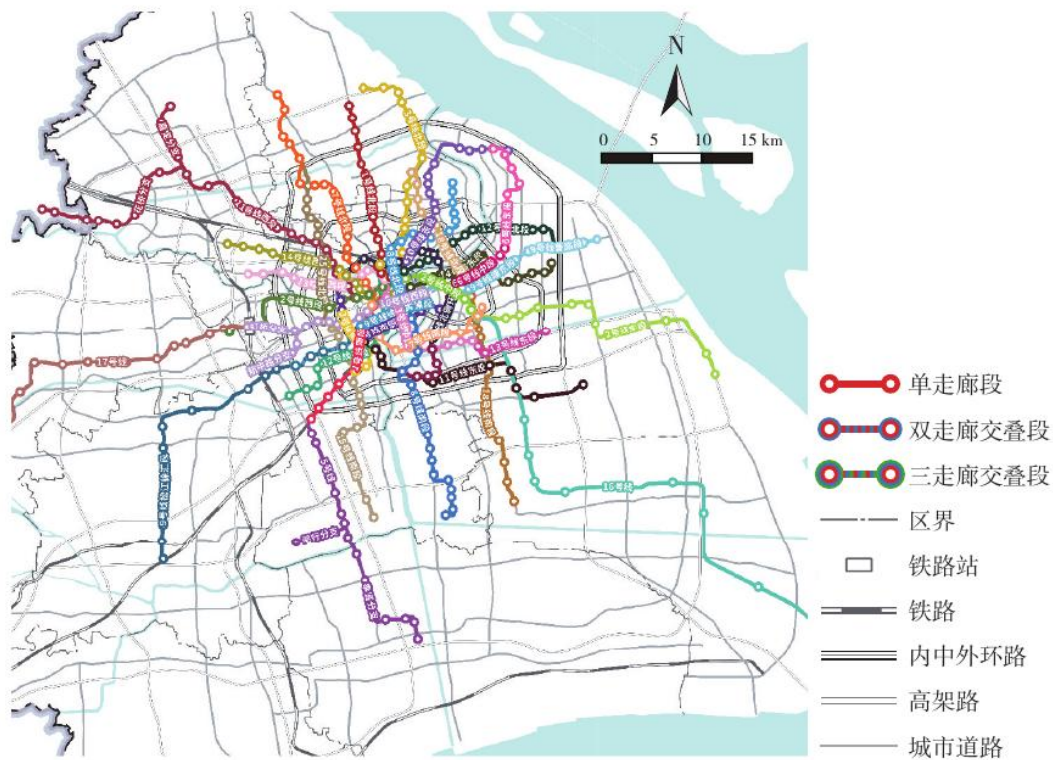


Рис. 1 Коридоры TOD в пределах Шанхая

Табл. 1 Выявление и морфологическая классификация коридоров TOD

走廊形态		构成
放射走廊	北向	1号线北段(富锦路—人民广场)、3号线北段(江杨北路—上海火车站)、7号线北段(美兰湖—静安寺)、10号线东段(基隆路—豫园)、15号线北段(顾村—红宝石路)
	南向	5号线闵行分支(闵行开发区—莘庄)、5号线奉贤分支(奉贤新城—莘庄)、8号线南段(汇臻路—大世界)、15号线南段(紫竹高新区—姚虹路)、16号线(滴水—龙阳路)、18号线南段(航头—杨高中路)
	西向	9号线松江徐汇段(松江南站—宜山路)、11号线西段花桥分支(花桥—江苏路)、11号线西段嘉定分支(嘉定北—江苏路)、17号线(东方绿舟—虹桥2号航站楼)
	东向	2号线东段(浦东国际机场—上海科技馆)、6号线东段(港城路—北洋泾路)、9号线浦东段(民雷路—小南门)、9号线曹路段(曹路—台儿庄路)、11号线东(迪士尼—交通大学)、13号线东段(张江路—陈春路)
纵横走廊	横向	2号线西段(徐泾东—人民广场)、2号线中段(龙阳路—南京东路)、9号线徐汇黄浦段(星中路—陆家浜路)、10号线西段航中路分支(航中路—老西门)、10号线西段虹桥分支(虹桥火车站—老西门)、12号线东段(金海路—天潼路)、13号线西段(金运路—自然博物馆)、14号线西段(封浜—大世界)、14号线东段(桥路—豫园)
	纵向	1号线南段(莘庄—大会址·黄陂南路)、8号线北段(市光路—人民广场)、12号线西段(七莘路—曲阜路)、18号线北段(长江南路—民生路)
弯绕走廊		3号线南段(上海南站—中潭路)、4号线北侧环(蓝村路—曹杨路)、4号线南侧环(金沙江路—塘桥)、6号线西段(云山路—东方体育中心)、6号线中段(巨路—世纪大道)、7号线南段(花木路—常熟路)、13号线中段(北蔡—南京西路)

3 Анализ сбалансированности пассажиропотоков в коридорах TOD

Пространственная сбалансированность распределения пассажиропотоков в коридоре TOD проявляется в двух аспектах: равномерности сечений вдоль линии и сбалансированности двух направлений. Ниже построены соответствующие оценочные показатели, после чего проводится сравнительный анализ коридоров.

3.1 Оценка уровня профильной сбалансированности потоков в коридорах TOD

Заимствуя статистическое понятие эксцесса (kurtosis), статья строит показатель оценки равномерности сеченных пассажиропотоков в коридоре TOD. Можно считать, что когда пассажиропотоки на всех сечениях равны, то есть распределены полностью равномерно, уровень сбалансированности максимален. Поэтому, принимая такую кривую за базовую, предлагается «индекс профильной сбалансированности» (Profile Equilibrium Index, PEI),

выражающий разность между эксцессом фактической кривой распределения потоков и эксцессом кривой равномерного распределения.

Для восходящего или нисходящего направления^④ индекс PEI рассчитывается по формуле:

$$PEI = kurt(X) - 1,8 = E[(X - \mu)/\sigma]^4 - 1,8$$

где PEI - индекс профильной сбалансированности коридора; $kurt(X)$ - эксцесс фактической кривой X сеченных пассажиропотоков; 1,8 - эксцесс равномерного распределения (uniform distribution); $E(x)$ - математическое ожидание переменной x ; μ - среднее распределения X ; σ - стандартное отклонение распределения X .

В расчетах объем пассажиров на каждом сечении в заданном направлении делится на общий объем пассажиров всех сечений коридора; на этой основе строится кривая распределения сеченных потоков вдоль коридора и вычисляется PEI. При значении 0 распределение потоков в коридоре наиболее равномерно; при значении меньше 0 поток выше на двух концах и ниже в середине; при значении больше 0, чем оно выше, тем менее равномерно распределение и тем сильнее концентрация в одну сторону. При значении около 0,6 поток вдоль сечений растет почти линейно; при значении свыше 1 кривая имеет участок с очень низким потоком - «хвост», и чем выше значение, тем заметнее эффект «длинного хвоста».

Расчет PEI для коридоров в утренний пик [рис. 2(а)] показывает, что радиальные коридоры имеют самый низкий уровень сеченной сбалансированности: средние значения эксцесса в восходящем и нисходящем направлениях составляют 0,67 и 0,95, что значительно выше, чем у продольно-поперечных коридоров (0,39 и 0,48) и криволинейно-кольцевых коридоров (0,49 и 0,28). Хотя у большинства коридоров PEI в восходящем направлении ниже, проблема «длинного хвоста» пассажиропотока остается выраженной; поскольку в утренний пик поток в восходящем направлении больше, его влияние на эксплуатацию и обслуживание рельсового транспорта нельзя игнорировать. Среди радиальных коридоров «центральный город - новый город», за исключением цзядинской ветви западного участка линии 11, значения в восходящем направлении для фэнсяньской ветви линии 5, участка Сунцзян - Сюйхуэй линии 9, хуацяоской ветви западного участка линии 11, линии 16 и линии 17 в основном близки к 1.

Напротив, коридоры с PEI ниже 0,3, то есть с более сбалансированным потоком, в основном расположены в центральном городе: например, средние участки линий 2, 6, 9 и 13, проходящие через Central Activity Zone, а также кольцевая линия 4 с пересадками на многие линии. Некоторые коридоры, входящие в Central Activity Zone из прилегающих к центру территорий, имеют PEI в восходящем направлении примерно от 0,3 до 0,5, что соответствует среднему уровню сбалансированности. Такое распределение сеченных потоков - «стабильный поток в центре и резкие перепады на периферии» - тесно связано с пространственными характеристиками муниципальной моноцентричности и полицентричной структуры центрального города.

3.2 Оценка уровня двунаправленной сбалансированности потоков в коридорах TOD

Под влиянием центростремительных маятниковых связей отношение потоков восходящего и нисходящего направлений на сечениях радиальных коридоров в утренний пик, то есть коэффициент двунаправленной неравномерности, достаточно велико и на отдельных сечениях достигает около 4. Поскольку область значений этого коэффициента не замкнута, а при суммировании коэффициентов по сечениям коридора возможна взаимная компенсация больших и малых величин, он не может полноценно отражать общий уровень двунаправленной несбалансированности коридора. Поэтому построен «индекс направленной

сбалансированности» (Directional Equilibrium Index, DEI), основанный на разности двунаправленных потоков по сечениям. В расчетах используется среднеквадратичное значение доли разности пассажиропотоков двух направлений в их суммарном потоке по каждому сечению; показатель оценивает степень двунаправленной несбалансированности коридора и одновременно отражает маятниковость потоков. Значения индекса находятся в пределах 0-1: чем более несбалансировано распределение между двумя направлениями, тем больше значение. Если потоки восходящего и нисходящего направлений на сечении полностью равны, значение равно 0; если в одном направлении поток отсутствует, значение равно 1.

Формула расчета индекса DEI имеет вид:

$$DEI = \sqrt{[(1/n) \sum_i ((u_i/f_i) - (d_i/f_i))^2]}$$

где DEI - индекс направленной сбалансированности; u_i и d_i обозначают соответственно пассажиропотоки восходящего и нисходящего направлений на i -м сечении коридора; f_i - общий поток i -го сечения, равный $u_i + d_i$; n - общее число сечений.

Расчет DEI для коридоров в утренний пик показывает, что его значения в основном находятся в диапазоне от 0,1 до 0,7 [рис. 2(b)]. Если индекс превышает 0,7, ситуация является крайне несбалансированной: отношение потоков двух направлений достигает 6:1; при значении 0,5 несбалансированность также достаточно выражена, а отношение составляет около 3:1; при значении 0,2 сбалансированность относительно хорошая, а отношение потоков находится на уровне 3:2.

В целом наиболее выраженная двунаправленная несбалансированность наблюдается у радиальных коридоров [рис. 2(b)]. В некоторых коридорах, вдоль которых непрерывно размещены жилые территории, уже на начальных периферийных сечениях проявляется явный маятниковый поток, например на северных участках линий 7 и 15 и южном участке линии 18. Несколько коридоров между центральным городом и новыми городами также имеют уровень несбалансированности выше 0,55, включая западный участок линии 9 (центральный город - новый город Сунцзян), западный участок линии 11 (центральный город - новый город Цзядин) и линию 17 (центральный город - новый город Цинпу). Однако их значения не являются самыми высокими, поскольку в этих коридорах имеется «хвостовой» участок, где потоки в обоих направлениях низки.

Коридоры, расположенные в центральном городе, характеризуются относительно сбалансированными потоками в двух направлениях, причем уровень сбалансированности в Пуси выше. К типично сбалансированным относятся западный и средний участки линии 2, участок Сюйхуэй - Хуанпу линии 9, западный участок линии 10, южный участок линии 12 и юго-западное полукольцо линии 4; вместе они формируют структуру «три горизонтальные оси, одна вертикальная ось и полукольцо». Их значения DEI близки к 0,2; в пространственном отношении они проходят через Central Activity Zone и связывают несколько общественных центров.

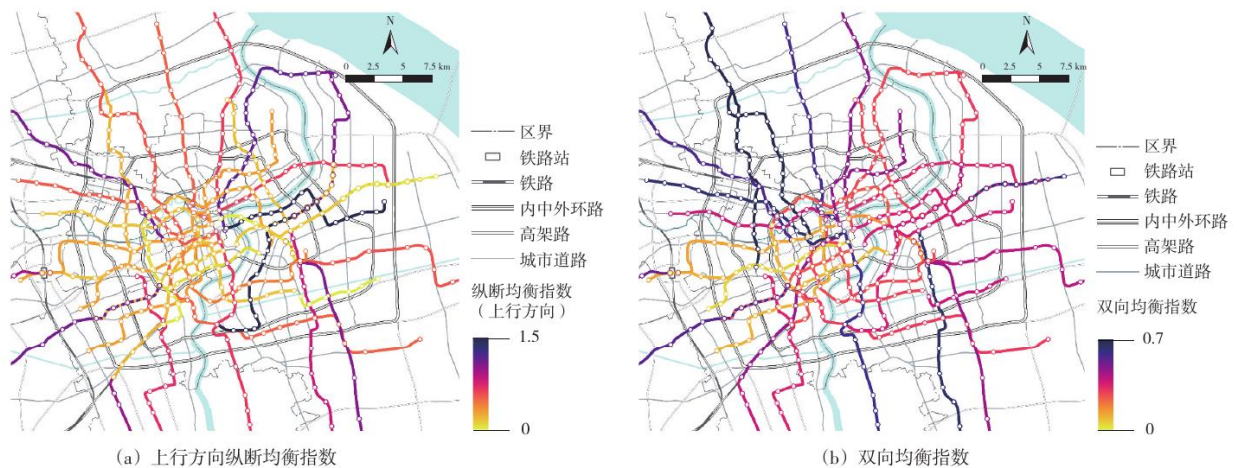


Рис. 2 Коридоры TOD Шанхая по уровню сбалансированности пассажиропотоков

3.3 Двумерный анализ сбалансированности потоков в коридорах TOD

Для совместного анализа сбалансированности потоков вдоль сечений и между двумя направлениями для каждого коридора рассчитываются процентильные ранги PEI и DEI среди всех коридоров, после чего строится двумерная классификационная диаграмма: каждый коридор представлен кругом с центром в точке, соответствующей двум процентилям, а радиус круга показывает среднюю сеченную нагрузку коридора в час утреннего пика. См. рис. 3.

В качестве порога для каждого показателя принят медианный процентиль (50 %), и коридоры TOD разделены на четыре группы. По часовой стрелке от правого верхнего квадранта выделяются: коридоры «двойной несбалансированности» (направленная несбалансированность с «длинным хвостом»), коридоры только с «профильной сбалансированностью» (направленная несбалансированность без «длинного хвоста»), коридоры «двойной сбалансированности» (направленная сбалансированность без «длинного хвоста») и коридоры только с «направленной сбалансированностью» (направленная сбалансированность с «длинным хвостом»). Коридоров двойной сбалансированности насчитывается 13, а коридоров двойной несбалансированности - 14; вместе они составляют 66 % всех коридоров, что указывает на определенную связь между профильной и направленной сбалансированностью.

Эти четыре типа имеют отчетливо различное пространственное распределение. Коридоры двойной сбалансированности в основном расположены к западу от реки Хуанпу и к югу от реки Сучжоу; эта зона в высокой степени совпадает с шанхайской Central Activity Zone (CAZ), а вдоль коридоров преобладают плотные территории со смешанными функциями. Большинство коридоров, сбалансированных только по направлению, находится к востоку от Хуанпу; их профильная несбалансированность отражает быстрое снижение интенсивности развития по мере удаления от прибрежной CAZ Пудуна. Коридоры двойной несбалансированности в большинстве являются радиальными коридорами, протягивающимися от CAZ к дальним пригородам; их конечные участки обычно расположены в новых городах Шанхая (Сунцзян, Фэнсянь и др.) или в сопоставимых периферийных территориях (Пуцзян, Усун и др.). Между этими конечными участками и центральным городом тянутся непрерывные жилые районы: сечения у конечных станций часто несут малый поток и имеют выраженный «длинный хвост», а на станциях, обслуживающих крупные жилые кварталы, поток быстро возрастает и приобретает сильную маятниковую направленность. Коридоры только с профильной сбалансированностью - это радиальные коридоры, выходящие из CAZ наружу, но на относительно небольшую

дистанцию; не имея «хвоста» с низким потоком, они демонстрируют хорошие значения PEI, однако сохраняют очевидную маятниковость, как северные участки линий 8 и 15.

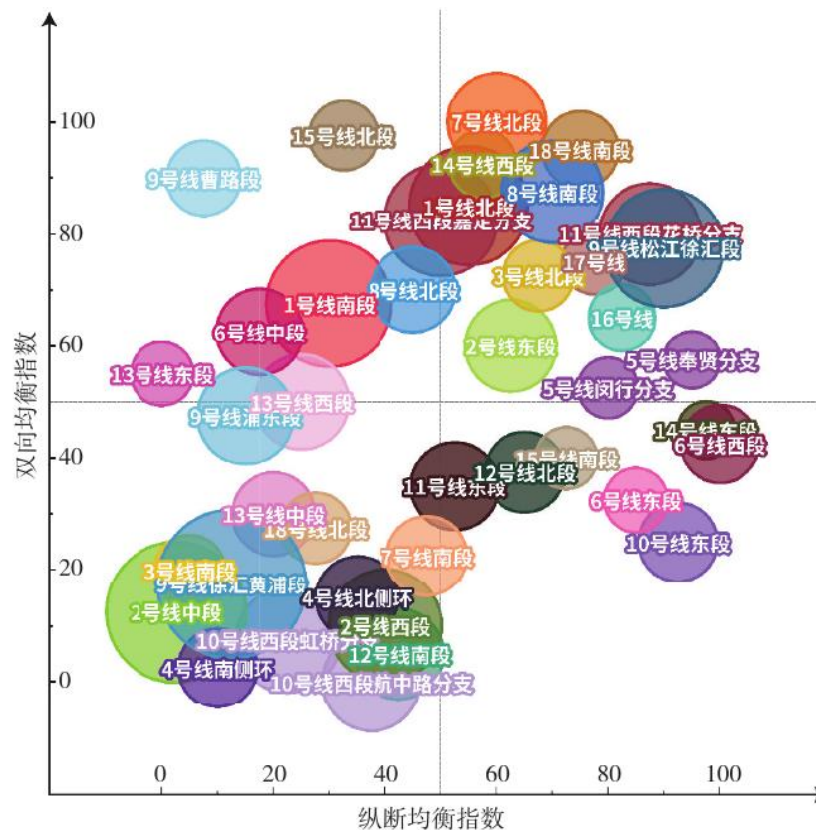


Рис. 3 Процентильные ранги индексов профильной и направленной сбалансированности коридоров

4 Анализ пространственных моделей коридоров TOD с позиции сбалансированности потоков

4.1 Распределение типов станций в коридорах TOD

Структура землепользования коридора TOD проявляется через функции станционных районов, расположенных вдоль него. На основе сходства почасовых кривых пассажиропотока станций в рабочие и нерабочие дни станции классифицируются на шесть функциональных типов: комплексный центр активности, центр с преобладанием общественно-коммерческих функций, смешанный тип с преобладанием офисов, многофункциональный смешанный тип, жилой доминирующий тип и жилой зависимый тип. В этом порядке доля офисных функций уменьшается, а доля жилых функций возрастает. Пространственно станции типов комплексного центра активности и центра с преобладанием общественно-коммерческих функций концентрируются в CAZ; станции смешанного типа с преобладанием офисов и многофункционального смешанного типа в основном расположены в центральном городе; станции жилого доминирующего и жилого зависимого типов распределены преимущественно за пределами центрального города вдоль радиальных коридоров.

В сравнении коридоры двойной несбалансированности чаще всего являются радиальными: они связывают жилые функции новых городов и дальних пригородов с офисными, коммерческими и сервисными функциями центрального города, формируя маятниковые коридоры дальних поездок с выраженным разделением рабочих мест и жилья. Коридоры двойной сбалансированности в основном представлены продольно-поперечными коридорами, соединяющими CAZ, и криволинейно-кольцевыми участками кольцевых линий; они связывают

несколько центров, несут большие объемы потоков и функционируют как коридоры назначения. Две другие категории также имеют различимые особенности землепользования: коридоры, сбалансированные по направлению, но несбалансированные по профилю, обычно завершаются смешанными станциями с преобладанием нежилых функций; определенный баланс рабочих мест и жилья привлекает встречные потоки, но низкая интенсивность периферийного развития создает резкие различия между периферией и центром. Коридоры, сбалансированные по профилю, но несбалансированные по направлению, завершаются станциями жилой зависимости недалеко от центрального города; обильная жилая среда в целом насыщает сеченные потоки, а дефицит других функций усиливает разделение рабочих мест и жилья.

4.2 Анализ типичных коридоров

Участок Сунцзян - Сюйхуэй линии 9 является высоконагруженным коридором двойной несбалансированности. Анализ типов станций и распределения сеченных потоков [рис. 4(a)] показывает, что участок Сунцзяна образует непрерывную последовательность жилых станций; вместе со станциями жилой зависимости Шэшань и Сыцзин он полностью отделен от ряда офисных станций вокруг центра активности Caohejing, что формирует сильную несбалансированность потоков. Двухнаправленное сравнение [рис. 4(b)] показывает, что сеченные потоки в восходящем направлении резко возрастают начиная с Шэшаня и начинают снижаться только в районе Caohejing; в нисходящем направлении поток сразу после Caohejing падает до очень низкого уровня. В результате от станции Songjiang South Railway Station до Xingzhong Road восходящая сеченная нагрузка значительно превышает нисходящую, формируя направленную несбалансированность. В восходящем направлении общий поток в новом городе Сунцзян невелик, тогда как почасовые посадки на станциях Шэшань, Дунцзин и Цзютин превышают 5 000 человек; это создает выраженный «длинный хвост» на участке нового города Сунцзян. В нисходящем направлении концентрация высадок в центре занятости Caohejing приводит к снижению сеченного потока после Hechuan Road до очень низкого уровня, что также вызывает «длинный хвост».

Хунцяоская ветвь западного участка линии 10, напротив, представляет собой типичный коридор двойной сбалансированности. В ней мало жилых станций, а преобладают станции комплексных центров, центров с общественно-коммерческим доминированием и многофункционального смешанного типа [рис. 4(c)]. В восходящем направлении, за исключением более концентрированных высадок на станциях South Shaanxi Road и Songyuan Road, объемы посадок и высадок на большинстве станций близки, что обеспечивает высокий уровень сеченной сбалансированности. Кроме того, периферийным концом коридора является транспортно-деловой узел Хунцяо: посадки у начальной точки восходящего направления велики, а число пассажиров, следующих до конечной станции в нисходящем направлении, также значительно. Такая структура существенно улучшает двухнаправленную сбалансированность; ни в одном из направлений нет «длинного хвоста» с низким потоком [рис. 4(d)].

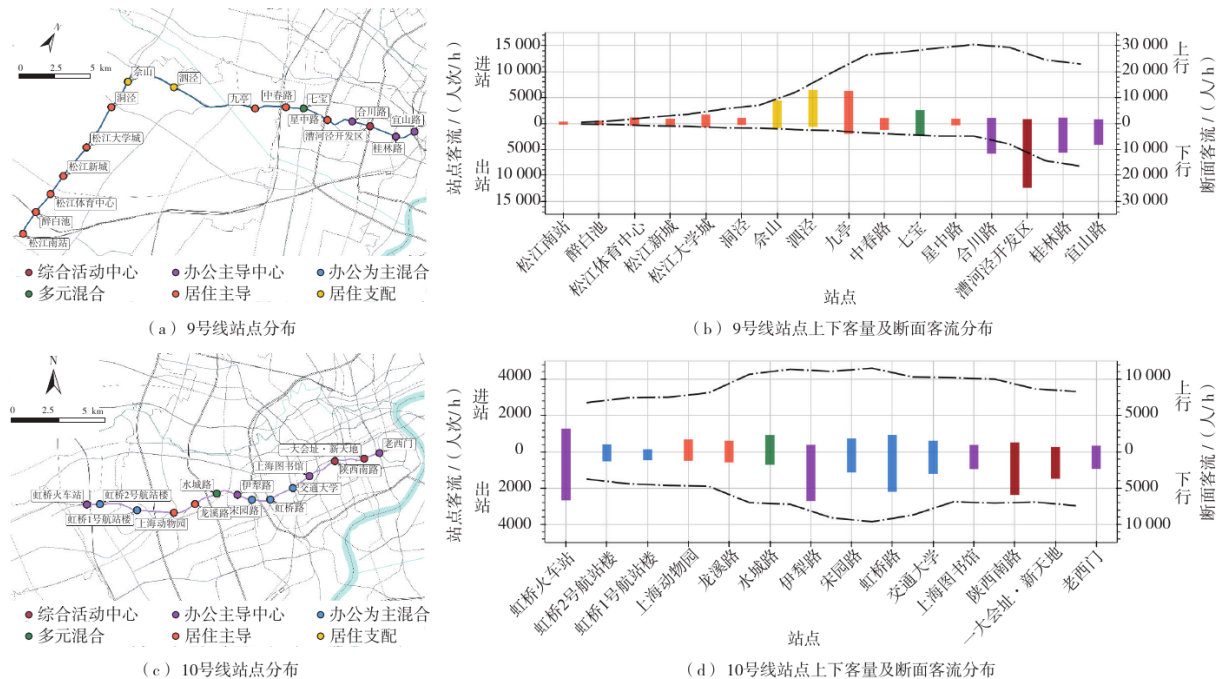


Рис. 4 Объемы посадок и высадок по станциям и распределение сеченных потоков вдоль участка Сунцзян - Сюйхуэй линии 9 и хунцяоской ветви западного участка линии 10

5 Выводы и планировочные импликации

5.1 Основные выводы

В целом данное исследование восполняет пробел в изучении коридоров TOD с позиции сбалансированности пассажиропотоков. Оно способствует формированию в будущем интегрированного пространственного регулирования и оптимизации на уровне коридора, а также повышению эффективности развития коридорного TOD в целом.

Во-первых, метод выявления коридоров TOD, основанный на связях пассажиропотоков, позволяет четко определить составляющие их участки и дает основу для задания пространственных единиц планирования на уровне коридора. С использованием OD-данных станций рельсового транспорта Шанхая алгоритм выявления сообществ позволил получить коридоры TOD. Радиальные коридоры имеют длину 25-30 км при среднем межстанционном расстоянии 1,83 км; коридоры центрального города и его окружения имеют длину 16-20 км при среднем межстанционном расстоянии 1,30 км. В обоих случаях отношения длины и межстанционного расстояния близки к 3:2, что отражает различия в масштабе активности коридорных районов. Число станций в коридорах TOD близко к фактическому числу станций, проезжаемых в средней поездке (около 12), что показывает пригодность метода выявления сообществ для идентификации коридоров TOD; определенные таким образом границы соответствуют пространственным характеристикам поездок общественным транспортом и повышают сопоставимость исследований коридоров TOD.

Во-вторых, построение показателей сбалансированности пассажиропотоков в двух измерениях - профильном и направленном - позволяет всесторонне оценивать эксплуатационную и сервисную эффективность коридоров TOD и выявлять закономерности их пространственного распределения. Расчет PEI и DEI по отдельным коридорам и их комплексный анализ показывают значительные различия в характеристиках сбалансированности потоков; особенно у радиальных коридоров значения обоих индексов заметно выше, чем у двух других

типов коридоров (табл. 2), что указывает на меньшую сбалансированность. В двумерной классификации коридоров TOD коридоры «двойной несбалансированности» в большинстве являются радиальными коридорами, связывающими центральный город с периферией, тогда как типичные коридоры «двойной сбалансированности» представлены главным образом продольно-поперечными и криволинейно-кольцевыми коридорами.

В-третьих, характеристики сбалансированности пассажиропотоков коридоров TOD тесно связаны с организацией землепользования вдоль линий: коридоры назначения имеют относительно сбалансированные потоки, тогда как маятниковые коридоры демонстрируют более выраженные маятниковость и эффект «длинного хвоста». Пространственно коридоры назначения в значительной степени совпадают с Central Activity Zone; типы станций в них разнообразны, они обладают полицентричными и смешанными характеристиками землепользования, а оба конца коридора имеют основные точки притяжения активности, что обеспечивает «двойную сбалансированность» по профилю и направлению. Маятниковые коридоры радиально-центрической структуры характеризуются цепочкой периферийных жилых территорий и преобладанием офисных функций в центральном городе, то есть разделением рабочих мест и жилья; возникающее несбалансированное распределение потоков существенно снижает эксплуатационную эффективность и качество обслуживания общественного транспорта.

Табл. 2 Сравнение уровней профильной и направленной сбалансированности пассажиропотоков в коридорах TOD

走廊类型	总数 / 个	上行方向纵断面均衡指数		下行方向纵断面均衡指数		双向均衡指数		走廊长度 / km		断面数 / 个		
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	合计
放射	22	0.67	0.42	0.95	0.90	0.52	0.12	24.99	11.65	13.64	3.87	300
横纵	13	0.39	0.45	0.48	0.45	0.35	0.15	16.14	3.33	12.23	2.59	159
弯绕	6	0.49	0.73	0.28	0.36	0.32	0.08	15.84	1.81	12.50	1.87	75

5.2 Планировочные выводы

Метод выявления коридоров TOD и анализа их пространственных моделей имеет важное значение для углубления многоуровневой теории TOD и научного руководства планированием коридоров TOD. Предложенный в статье новый метод деления коридоров TOD на основе тесных межстанционных связей и оценки сбалансированности пассажиропотоков формирует интегрированную техническую рамку для планирования TOD на уровне коридора и координации станционных TOD.

Во-первых, коридор TOD является важным носителем интеграции эксплуатации общественного транспорта и станционного развития, а также реализации целей развития, ориентированного на общественный транспорт. Улучшение эксплуатации и повышение уровня обслуживания - важные условия усиления привлекательности общественного транспорта. Только интегрированное планирование землепользования и транспорта в региональном масштабе позволяет максимизировать эффективность пассажирских перевозок общественным транспортом; это соответствует исходному региональному пониманию TOD, согласно которому TOD является моделью регионального развития, ориентированной на общественный транспорт и совместно поддерживаемой станционными TOD, связанными транспортной сетью. TOD на уровне станции с трудом отвечает целям улучшения эксплуатации линий, недостаточно учитывает различное влияние TOD-развития на эксплуатацию при насыщенных или недостаточных потоках и часто игнорирует противоречие между высокими сеченными потоками и провозной способностью общественного транспорта. Интеграция «островных» станционных

TOD вдоль коридора может улучшить сбалансированность распределения сеченных потоков и эффективнее связать ее со стратегической целью роста пассажиропотока.

Во-вторых, необходимо формулировать планировочные принципы и регулирующие стратегии, принимающие коридор TOD как единицу, чтобы оптимизировать пространственную модель коридора. По пространственному распределению поездок общественным транспортом можно выделять коридоры «центральный город - периферия» и внутренние коридоры центрального города. По сравнению со станционным TOD принципы коридорного TOD должны акцентировать требования планирования и проектирования регионального масштаба. Исходя из опыта шанхайских коридоров TOD, статья предлагает «принципы 5D» коридорного TOD с позиции сбалансированности потоков: разнообразие (diversity), которое выходит за рамки функционального смешения станционных районов и предлагает чередовать вдоль коридора станции разных функциональных типов, особенно вставляя станции центрального типа; доступность пунктов назначения (destination), то есть размещение вдоль коридора центров активности с различным функциональным доминированием - коммерческим, офисным, рекреационным и др. - для усиления притягательности нескольких станционных районов и балансирования входящих и исходящих потоков; деполяризация (depolarization), предполагающая повышение функций новых городов и других ключевых узлов, усиление уровня периферийных общественных центров и ослабление однонаправленного поляризационного эффекта радиальных коридоров; близость рабочих мест (distance to workplace), требующая размещать рабочие и жилые функции на обоих концах коридора и усиливать баланс рабочих мест и жилья, особенно избегая однофункциональных последовательностей периферийных жилых станций; рычаг плотности (density leverage), который учитывает масштаб и степень сбалансированности потоков на разных участках коридора, умеренно повышает интенсивность нежилых функций на периферии и одновременно рационально контролирует функциональную конфигурацию и интенсивность развития территорий вдоль высоконагруженных сечений, согласуя их с провозной способностью общественного транспорта.

В-третьих, с целью повышения уровня сбалансированности пассажиропотоков необходимо усилить многосценарное моделирование планировочных решений и политик для коридоров TOD. Сбалансированность потоков не только повышает эксплуатационную эффективность общественного транспорта, но и, снижая переполненность салонов и повышая комфорт поездки, в конечном счете способствует достижению ключевой цели TOD - росту доли поездок общественным транспортом. Состояние сбалансированности потоков является результатом интегрированного взаимодействия землепользования и транспорта вдоль коридора и на региональном уровне; оно зависит от различных пространственных моделей и соответствующих политик, а даже на одной линии может различаться по участкам. Для повышения научной обоснованности планировочных решений по коридорам TOD необходимо срочно усилить моделирование сбалансированности потоков для многосценарных вариантов, сравнивать и выбирать пространственные модели и стратегии «координации станционных TOD», чтобы обеспечить количественную поддержку функциональной агломерации коридоров TOD и проявления их пространственного эффекта.

Благодарности

Авторы выражают особую благодарность старшему инженеру ZHANG Hanshuang за ценные рекомендации в процессе подготовки статьи, а также MIAO Sijing и LU Ming за значительную базовую работу по сбору литературы.

Примечания

- ① Для графа G с V узлами и E ребрами, если число ребер E приближается к V^2 , граф G считается плотным (dense graph); напротив, если E приближается к V , граф G считается разреженным (sparse graph). Поскольку между почти всеми станциями рельсового транспорта существуют пассажиропотоки, то есть почти между каждой парой точек есть ребро, граф, построенный на межстанционных потоковых связях, является плотным. Поскольку модульность рассчитывается по весам ребер, то есть по пассажиропотокам, в взвешенном плотном графе суммы весов внутренних ребер сообществ, создаваемых алгоритмом выявления сообществ, оказываются близкими, то есть близки суммарные внутренние пассажиропотоки каждого сообщества.
- ② Лувенский метод выявления сообществ - это эвристический алгоритм, основанный на принципе максимизации модульности (modularity). Чем выше модульность, тем больше связей внутри сообществ сети и тем меньше связей между сообществами.
- ③ Анализ результатов алгоритма выявления сообществ показывает, что некоторые полученные дискретные сообщества нельзя напрямую определить как коридоры TOD; поэтому требуется дополнительная обработка сообществ для получения непрерывных транспортных коридоров. Для станции s , принадлежащей сообществу a , если соответствующая ей рельсовая линия не является кольцевой и в обоих направлениях вдоль этой линии существуют станции s' и s'' , принадлежащие сообществу b , то станция s одновременно относится к коридору TOD A и коридору TOD B. Полученные по этому правилу коридоры TOD являются непрерывными, однако одна станция может относиться к нескольким коридорам TOD; например, станция Beiyangjing Road линии 6 одновременно относится к восточному, среднему и западному участкам линии 6.
- ④ Из двух конечных точек коридора та, что дальше от центра Шанхая (начала системы координат Shanghai 2000; соответствующий физический объект - центральный флагшток на крыше отеля Park Hotel на Nanjing West Road к северу от People's Park), определяется как начальная точка s_0 , а более близкая к центру - как конечная точка s_1 . Движение от s_0 (дальнего от центра конца) к s_1 (ближнему к центру концу) определяется как восходящее направление, обратное - как нисходящее. Некоторые линии шанхайского метро (например, линия 11) имеют ответвления; поскольку все они расположены вдали от центра, в этом случае у коридора задаются две начальные точки s_{01} и s_{02} , а два пути от s_{01} и s_{02} к конечной точке s_1 рассматриваются как разные ветви одного коридора TOD. Показатели сбалансированности пассажиропотоков для разных ветвей одного коридора рассчитываются отдельно.

Список литературы

- [1] CALTHORPE P. The next American metropolis: ecology, community, and the American dream[M]. New York: Princeton Architecture Press, 1993.
- [2] City of Denver. Denver TOD typology and strategic plan[EB/OL]. (2006-01-01) [2024-09-20]. <http://ctod.org/pdfs/2006TODStrategicPlanDenver.pdf>.
- [3] City of Austin. History of transit oriented development in Austin[EB/OL]. (2023-08-30) [2024-09-20]. https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Planning/Urban_Design/History_of_TOD2.pdf.

- [4] Delhi TOD Policy & Regulations Interpretation. Transit oriented development manual[EB/OL]. (2014-10-14) [2024-09-20]. <https://www.wricitiesindia.org/sites/default/files/Delhi-TOD-Policy-Manual.pdf>.
- [5] Central Maryland Transportation Alliance. Central Maryland TOD strategy: a regional action plan for transit-centered communities[EB/OL]. (2009-07) [2024-09-20]. <http://ctod.org/pdfs/2009CentralMarylandTODStrategy.pdf>.
- [6] ARRINGTON G B, THORNE-LYMAN A, et al. Transit-oriented development guidelines[EB/OL]. (2017-05-01) [2024-09-20]. https://www.bart.gov/sites/default/files/docs/BART_TOD-GuidelinesFinal2017_compressed_0.pdf.
- [7] AHMAD S, RASHID M F, SURATMAN R. Readiness of transit oriented development (TOD) concept implementation in Perak's suburban areas[J]. Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners, 2022, 20(1): 155-165.
- [8] ITDP (Institute for Transportation and Development Policy). TOD standard 3.0[EB/OL]. (2017) [2024-09-20]. <https://www.itdp.org/publication/tod-standard/>.
- [9] OLLIVIER G P, GHATE A, BANKIM K, et al. Transit-oriented development implementation resources and tools[EB/OL]. 2nd ed. Washington, D.C.: World Bank Group, [2021-10-25] [2024-09-20]. <http://documents.worldbank.org/curated/en/472011635146925534/Transit-Oriented-Development-Implementation-Resources-and-Tools-Second-Edition>.
- [10] BOARNET M G, COMPIN N S. TOD в Сан-Диего: постепенный процесс реализации планировочной концепции[J]. Urban Planning Overseas, 2000(4): 38-41. (на китайском яз.)
- [11] CHEN Yanping. Коренной путь решения проблем городского транспорта: сообщества общественного транспорта и формы городского землепользования, ориентированные на общественный транспорт[J]. City Planning Review, 2000(3): 10-14. (на китайском яз.)
- [12] Министерство транспорта КНР. Уведомление о вопросах запуска национальной демонстрационной программы строительства «городов общественного транспорта»[EB/OL]. (2011-11-09) [2024-09-20]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/ysfws/202006/t20200623_3315626.html. (на китайском яз.)
- [13] Государственный комитет по развитию и реформе КНР. Государственный комитет по развитию и реформе организовал семинар по инновациям механизмов инвестирования и финансирования городского рельсового транспорта[EB/OL]. (2016-09-09) [2024-09-20]. https://www.gov.cn/xinwen/2016-09/09/content_5106798.htm. (на китайском яз.)
- [14] PAN Naixiao, ZHONG Baohua. Влияние строительства рельсового транспорта на цены недвижимости: пример Шанхая[J]. Urban Planning Forum, 2008(2): 62-69. (на китайском яз.)
- [15] ZHENG Siqi, HU Xiaoke, ZHANG Bo, et al. Возврат прироста стоимости городского рельсового транспорта: от теории к практике[J]. Urban Development Studies, 2014, 21(2): 35-41. (на китайском яз.)
- [16] LIN Xiongbin, YANG Jiawen, DING Chuan. К более доступной мобильности и жилью: планировочный анализ транзитно-ориентированного развития и его эффектов справедливости[J]. City Planning Review, 2018, 42(9): 122-130. (на китайском яз.)
- [17] LIU Quan. Интерпретация структурной формы TOD-планирования на городском уровне[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2019(6): 72-79. (на китайском яз.)

- [18] LI Wenjing, YANG Jiawen. Стратегии и практика применения модели Transit-Oriented Development (TOD) в Шэньчжэне[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 25(12): 5-12. (на китайском яз.)
- [19] DONG Wei, LIN Xiongbín. Локализованные политики и практики TOD в городах Китая: перспектива инструментов политики[J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 49-57. (на китайском яз.)
- [20] HUANG Jianzhong, CAO Zhejing, WAN Ge. Развитие теории TOD и перспективы исследований в среде новых технологий[J]. Urban Planning Forum, 2023(2): 40-46. (на китайском яз.)
- [21] DAI Xiaohui. Региональная модель развития Нового урбанизма: размышления после прочтения Peter Calthorpe, The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream[J]. Urban Planning Forum, 2000(5): 77-78. (на китайском яз.)
- [22] HICKMAN R, HALL P. Moving the city east: explorations into contextual public transport-orientated development[J]. Planning Practice and Research, 2008, 23(3): 323-339.
- [23] BERNICK M, CERVERO R. Transit villages in the 21st century[M]. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [24] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment: a synthesis[J]. Transportation Research Record, 2001(1780): 87-114.
- [25] HESS D B, ALMEIDA T M. Impact of proximity to light rail rapid transit on station-area property values in Buffalo, New York[J]. Urban Studies, 2007, 44(5-6): 1041-1068.
- [26] CERVERO R, MURAKAMI J. Rail and property development in Hong Kong: experiences and extensions[J]. Urban Studies, 2009, 46(10): 2019-2043.
- [27] RENNE J L, TOLFORD T, HAMIDI S, et al. The cost and affordability paradox of transit-oriented development: a comparison of housing and transportation costs across transit-oriented development, hybrid and transit-adjacent development station typologies[J]. Housing Policy Debate, 2016, 26(4-5): 819-834.
- [28] LIU L, ZHANG M, XU T. A conceptual framework and implementation tool for land use planning for corridor transit oriented development[J]. Cities, 2020, 107(2): 102939.
- [29] Reconnecting America. Station area planning: how to make great transit-oriented places[EB/OL]. (2003-04-08) [2024-09-20]. <http://reconnectingamerica.org/assets/Uploads/tod202.pdf>.
- [30] Center for Transit-Oriented Development. Transit corridors and TOD[EB/OL]. (2010-12-20) [2024-09-20]. <https://ctod.org/portal/node/2161>.
- [31] Министерство жилищного и городско-сельского строительства КНР. Guidelines for Planning and Design of Areas along Urban Rail Transit[EB/OL]. (2015-12-10) [2024-09-20]. https://www.planning.org.cn/news/uploads/2015/12/566a2efee7aad_1449799422.pdf. (на китайском яз.)
- [32] IBRAEVA A, CORREIA G H A, SILVA C, et al. Transit-oriented development: a review of research achievements and challenges[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020, 132: 110-130.
- [33] ZHANG M. Chapter eleven: corridor transit oriented development: concept, practice, and research needs[M] // CAO X J, DING C, YANG J. Advances in transport policy and planning. Academic Press, 2022: 277-299.
- [34] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment[J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.

- [35] BERTOLINI L. Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands[J]. Planning Practice & Research, 1999, 14(2): 199-210.
- [36] KAMRUZZAMAN M, BAKER D, WASHINGTON S, et al. Advance transit oriented development typology: case study in Brisbane, Australia[J]. Journal of Transport Geography, 2014, 34(2): 54-70.
- [37] HIGGINS C D, KANAROGLOU P S. A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region[J]. Journal of Transport Geography, 2016, 52: 61-72.
- [38] CHORUS P, BERTOLINI L. Developing transit-oriented corridors: insights from Tokyo[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2016, 10(1-5): 141217133925009.
- [39] FERRELL M C. Measuring the impact of suburban transit-oriented developments on single-family home values[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2013.
- [40] PAPAGIANNAKIS A, VITOPOULOU A, YIANNAKOU A. Transit-oriented development in the southern European city of Thessaloniki introducing urban railway: typology and implementation issues[J]. European Planning Studies, 2020, 29(1): 117-141.
- [41] WU Jiaorong, LIU Mengyao, XIE Jinhong. Классификация коридорных зон городского рельсового транспорта и корреляция с характеристиками поездок[J]. Urban Transport of China, 2019, 17(5): 105-113. (на китайском яз.)
- [42] LIU Xiang, CHEN Xiaohong, PAN Haixiao. От «интеграции станции и города» к «коридорной интеграции»: теоретическая рамка развития TOD и оптимизация модели с позиции пространства потоков[J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 34-40. (на китайском яз.)
- [43] LIN J J, GAU C C. A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations[J]. Land Use Policy, 2006, 23(3): 353-360.
- [44] GUZMAN L A, CARDONA S G. Density-oriented public transport corridors: decoding their influence on BRT ridership at station-level and time-slot in Bogotá[J]. Cities, 2021, 110: 103071.
- [45] CUI Xu, LIANG Pengpeng, YU Bingjie, et al. Исследование теории планирования и проектирования TOD[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(5): 18-25. (на китайском яз.)
- [46] RU Xianghui, YANG Zhigang, ZHENG Meng, et al. Стратегии согласованного развития рельсового транспорта и пространства сверхкрупных городов: пример Пекина[J]. Urban Transport of China, 2022, 20(2): 21-27. (на китайском яз.)

Доработано: ноябрь 2024 г.

(Настоящая статья переведена при содействии ИИ.)