محاكاة الوكلاء الزمانية-المكانية لنطاقات الحياة المجتمعية بدمج الاختيار المتقطع والنمذجة القائمة على الوكلاء: بناء النموذج النظري وإطار البحث

المؤلفون

تشه قوانتشيونغ؛ تشيو باوشينغ؛ وانغ ييتيان؛ لان شو

الملخص

تتوقف كفاءة الخدمات في نطاق الحياة المجتمعية على فهم التفاعل بين الأنشطة المتباينة للسكان وتوزيع المرافق. وقد انتقل البحث الراهن من التحليل المكاني الساكن إلى الأنشطة الزمانية-المكانية الدينامية، ومن المشاريع الفردية المجهرية إلى محاكاة القرار السلوكي. غير أن قياس تفضيلات الأفراد وتمثيل أبعاد القرار بصورة منهجية ما يزالان محدودين، كما أن التفاعل بين الأفراد غير المتجانسين والفضاء وآليات النشوء من أسفل إلى أعلى لم يتضحا بما يكفي. انطلاقا من نظام المشروع-النشاط في جغرافيا الزمن بوصفه نموذجا نظريا أوليا، تقترح هذه الدراسة إطارا يدمج نموذج لوجيت المختلط مع النمذجة القائمة على الوكلاء. ويتكون الإطار من ثلاث مراحل: تهيئة وكلاء السكان والفضاء بخصائص ساكنة وديناميةة؛ تصميم آلية القرار وتقديرها بما يعكس تغاير التفضيلات الفردية؛ ثم تشغيل محاكاة قائمة على الوكلاء تدمج التخطيط والتنفيذ والتغذية الراجعة. وبذلك تدرج التوزيعات الإحصائية لتغاير تفضيلات السكان في نموذج محاكاة الوكلاء، فتتشكل حلقة تغذية راجعة بين النمذجة النظرية والتحقق العملي. وتقترح الدراسة أربعة مجالات تطبيق: تقييم دينامي متعدد الأبعاد لأداء خدمات نطاق الحياة؛ تحليل إسنادي لآليات التفاعل بين السكان ونطاقات الحياة؛ تشكيل تعدد دلالات المكان وبناء المشاهد اعتمادا على محاكاة الأنشطة؛ والتنبؤ بالسيناريوهات وتقييم التدخل في تطور نطاق الحياة. ويوفر الإطار نموذجا قابلا للحوسبة لتحليل تعقيد وتغاير التفاعل بين الإنسان والفضاء في نطاقات الحياة المجتمعية، ويدعم حوكمة تجديد دقيقة ومتمحورة حول الإنسان.

الكلمات المفتاحية

محاكاة السلوك الزماني-المكاني؛ نموذج لوجيت المختلط؛ النموذج القائم على الوكلاء؛ نطاق الحياة المجتمعية؛ التخطيط المتمحور حول الإنسان

1 تقدم البحوث النظرية والمنهجية في نطاقات الحياة

مع تعمق استراتيجية التحضر الجديد في الصين، أعيد تنظيم البنية المكانية الحضرية والحياة الاجتماعية على نحو عميق، وأصبح الفضاء الاجتماعي أكثر تنوعا وحركية وتعقيدا [1-3]. ولم يعد نموذج البحث التخطيطي المتمركز حول الفضاء المادي الساكن قادرا على تفسير حاجات السكان المتنوعة وسلوكياتهم الدينامية وتفاعلاتهم المركبة مع البيئة المكانية. لذلك يغدو بحث عمليات التفاعل بين الإنسان والفضاء وآليات القرار تحت قيود زمانية-مكانية متعددة المقاييس مدخلا ضروريا لفهم تعقيد الفضاء الاجتماعي الحضري وتراكب أزمنته، كما أنه مطلب لاستراتيجية التحضر الجديد المتمحورة حول الإنسان [4-5].

في هذا السياق، يمثل نطاق الحياة المجتمعية حقلا نشطا يحمل أنشطة السكان المتعددة ويربطها، ويؤمن تبادلا مستمرا للمواد والمعلومات والعواطف. فهو ليس حاملا مجهريا للتفاعل بين الإنسان والفضاء فحسب، بل وسيط رئيس يصل الفرد بالمجتمع والفضاء. لذلك أصبح مدخلا مهما لتحليل آليات التفاعل بين الإنسان والفضاء وترجمة مفهوم مدينة الشعب إلى ممارسة [6-7]. ويتسم هذا التفاعل بطابع عملي واضح، يظهر في التطور المستمر لمسارات النشاط وفي الاعتماد التسلسلي للقرارات الزمانية-المكانية. كما يتسم بتعقيد عميق لأنه ينشأ من تغاير الأفراد والشبكات الاجتماعية والبيئة المكانية والمؤسسات والثقافة [8-9].

غير أن الدراسات القائمة كثيرا ما تعتمد على بيانات ساكنة "مثبتة" داخل حدود إدارية أو وحدات تعداد، أو على بيانات مقطعية تجعل الأفراد داخل الجماعة متجانسين. وتقدم هذه البيانات لقطات في لحظات محددة، لكنها لا تلتقط بفاعلية عمليات نشاط الأفراد المتمايزين تحت القيود الزمانية-المكانية ولا تفاعلهم الديناميي مع البيئة المبنية [4]. وينتج عن هذا القصور النظري والمنهجي عدم تطابق بين تهيئة نطاق الحياة وحاجات السكان الفعلية، مما يضعف دعم الحوكمة المكانية العالية الجودة والمتمحورة حول الإنسان.

لذلك تركز هذه الدراسة على سؤالين محوريين في بحث نطاق الحياة. نظريا، كيف يمكن تجاوز تحليل اللقطات الساكنة وتفسير الروابط الدينامية والأنماط الناشئة بين تسلسلات النشاط الفردي والقرارات المكانية بدقة؟ وعمليا، كيف يمكن بناء أدوات تحاكي التفاعل الحقيقي بين الإنسان والفضاء وتوفر دعما قراريا دقيقا وديناميا لتهيئة مرافق نطاق الحياة وتحسين الفضاء؟ وللإجابة عن هذين السؤالين، تجمع الدراسة بين مفهوم "المشروع" في جغرافيا الزمن، بما يؤكد القيود المزدوجة بين نيات النشاط الذاتية والشروط الموضوعية والارتباط الديناميي بين تسلسلات النشاط والاختيارات المكانية، وبين النمذجة القائمة على الوكلاء المدفوعة بالذكاء

الاصطناعي. وتقترح نموذجا لمحاكاة الوكلاء الزمانية-المكانية لنطاقات الحياة المجتمعية يدمج الزمن والفضاء والنشاط [10-12]. ويجعل النموذج وكلاء السكان ذوي الخصائص المتغايرة في المركز، ويستخدم نموذج الاختيار المتقطع لتمثيل عملية "التقييم المكاني - الاختيار - الحركة"، كما يستخدم محاكاة السيناريوهات للكشف عن تفاعل السكان الأفراد مع فضاء الحياة تحت قيود متعددة. وبذلك يقدم نموذجا تحليليا من أسفل إلى أعلى يستجيب ديناميا للسلوك الفردي.

1.1 من الفضاء الساكن إلى النشاط الزماني-المكاني الديناميي

بدفع من الاندماج العميق بين التخطيط الحضري-الريفي وجغرافيا الزمن والجغرافيا السلوكية والتقنيات الجديدة مثل البيانات الضخمة الزمانية-المكانية، انتقل بحث نطاقات الحياة من الفضاء المادي إلى أنشطة السكان، ومن الأماكن العقدية إلى شبكات التدفق. فقد انطلقت الدراسات المبكرة من أنطولوجيا الفضاء وواصلت نظريات التخطيط المكاني التقليدية، مثل نظرية الحلقات المتحدة المركز ووحدة الجوار. وكانت تنظر إلى نطاق الحياة بوصفه حاوية مكانية ساكنة ذات حدود واضحة وشكل حلقي [13]. ومن هذا المنظور ركز البحث على التنظيم المكاني الداخلي، سعيا إلى كشف السمات البنائية الكلية وتوليفات الاستخدامات السكنية والتجارية والخضراء وغيرها [14]. كما استخدمت مناهج الاقتصاد القياسي المكاني ونظم المعلومات الجغرافية لتقييم أداء مرافق الخدمة العامة وإنصافها، بما وفر أدلة للتخصيص المعياري للموارد المكانية [15-16].

ومع ازدياد حركة الأنشطة البشرية وتداخلها، أصبح بناء نطاقات الحياة بحاجة إلى نظريات ومناهج تبدأ من نظم النشاط لدراسة علاقات الإنسان بالفضاء. وقد أحدث إدخال جغرافيا الزمن تحولا منهجيا أساسيا. فمن خلال مفهومي المسارات والمناشير الزمانية-المكانية، أمكن وصف مسارات النشاط الفعلية ومجموعات الفرص الممكنة، وانتقل الاهتمام من فضاءات النشاط الساكنة والعقدية إلى عمليات النشاط وشبكات التدفق [17-19]. وفي الوقت نفسه أغنى تقدم البيانات الضخمة الزمانية-المكانية بيانات المسارات الفردية والنشاط الحضري، ودفع بحث نطاق الحياة نحو استقراء أنماط النشاط، وتحديد مستويات نطاق الحياة ووظائفه، وتحليل آليات فضاء النشاط [20]. وقد شملت البحوث ترسيم هرمية نطاقات الحياة وبنيتها وأنواعها اعتمادا على المسارات الزمانية-المكانية [21-22]، ومطابقة الطلب والسلوك والعرض في مرافق الخدمة [23-24]، وتقييم كفاءة الاستخدام المكاني والحيوية اعتمادا على السلوك الزماني-المكاني [25]، وآليات البيئة المبنية المؤثرة في السلوك الزماني-المكاني [26-29]، والتمايز الاجتماعي في سلوك نطاق الحياة [30-31]. وتوفر هذه الدراسات دعما نظريا قويا للتعرف الوظيفي الدقيق، وتحليل التفاعل بين الناس والفضاء، وتحسين جودة الحياة من منظور إنساني.

1.2 من النشاط الزماني-المكاني الكلي إلى المشاريع الفردية المجهرية

أدخلت جغرافيا الزمن والجغرافيا السلوكية منظورا إنسانيا قائما على النشاط إلى بحث نطاقات الحياة، إلا أن معظم الدراسات ما تزال تلخص أنماط النشاط الزماني-المكاني على مستوى تجميعي. وهي لا تراعي بما يكفي الفروق الفردية والإدراك المكاني والقيود الاجتماعية-الاقتصادية، مما يصعب فحص آليات النشاط وترابط تسلسلاته تحت القيود المزدوجة للفرد والبيئة. لذلك يبقى البحث غالبا في مستوى الملاحظة اللاحقة ولا يدعم التنبؤ السابق [2,8].

واستجابة لذلك، طرحت دراسات ذات صلة مفهوم المشروع، مؤكدة أن الأنشطة ترتبط ارتباطا وثيقا بنوايا الأفراد وخططهم، وأنها تخضع في الوقت نفسه لقيود القدرة والاقتران والسلطة [32-33]. ويتجاوز مفهوم المشروع تصنيف الأنشطة بحسب خصائصها، ليصنفها وفقا للطريقة التي تنظم بها النيات الفردية والأوضاع الخارجية النشاط بصورة مشتركة. وبهذا يعمق فهم الأثر المشترك للفاعلية الذاتية والقيود الموضوعية في سياقات النشاط، ويوفر إطارا تحليليا جديدا لتفسير آليات سير السلوك الزماني-المكاني وتعقيد نظم النشاط [1,6].

ضمن هذا الإطار، درس باحثون من داخل الصين وخارجها نظم المشروع-النشاط اليومية في ثلاثة اتجاهات. أولا، تكشف دراسات الرفاه والإنصاف الاجتماعي عن فروق في مشاريع الحياة والصعوبات الزمانية-المكانية والآثار الاجتماعية بين الفئات المختلفة. وتركز على الركاب اليوميين والنساء وكبار السن وذوي الدخل المنخفض، محللة القيود واستراتيجيات التكيف المرتبطة ببعد السكن عن العمل، ومسؤوليات الأسرة، والقدرة الجسدية، والقدرة الاقتصادية [34-41]. ثانيا، تبحث الدراسات كيف تعيد التحولات التقنية تشكيل صورة المشاريع ومرونتها؛ إذ تستطيع الحركة الذكية وخدمات التوصيل تقليل قيود القدرة على الحركة وتمكين تسلسلات نشاط مركبة ومتعددة الأغراض [23,42-44]. ثالثا، تطورت المسوح متعددة الوسائط بالبيانات الضخمة وطرق التصور. فبيانات الموقع والمسار وبيانات وسائل التواصل الاجتماعي والعلوم الاجتماعية الحاسوبية تتيح تمثيلا عالي الدقة لمسارات النشاط الزمانية-المكانية لدى الجماعات الاجتماعية، وتساعد على تحديد القيود الكامنة خلف مسارات مشروعية بعينها، بما يدفع قياس المشروع من الوصف الكلي إلى الدقة المجهرية والتحليل الديناميي [12,45].

1.3 من النماذج المفاهيمية للمشروع إلى محاكاة القرار السلوكي

نقل طرح مفهوم المشروع وتطبيقه بحث الحياة اليومية من المستوى الجمعي الكلي إلى المستوى الفردي المجهري. وقد اقترحت دراسات قائمة خوارزميات لبناء فضاءات النشاط الفردي اعتمادا على مراسي النشاط [46]. واستخدمت دراسات أخرى نماذج اختيار متقطع قائمة على نظرية المنفعة العشوائية، مع محاكاة متعددة الوكلاء، لتحليل اختيار المقاصد والمسارات تحت القيود المشتركة لنوايا الوكلاء والبيئة المبنية وتخصيص الزمن [47-49]. وتؤكد هذه الدراسات جدوى النمذجة القائمة على الوكلاء في محاكاة السلوك المجهري، لكنها تبقى غالبا عند مستوى محاكاة السكان النمطيين، ولا يزال التعبير الكمي عن التفضيلات والفروق الفردية بحاجة إلى تعميق.

لذلك تتخذ هذه الدراسة نظام المشروع-النشاط في جغرافيا الزمن نموذجا نظريا أوليا. وتفهم صنع القرار بوصفه تقييما للمنفعة واختيارا يقوم به أفراد ذوو تفضيلات متغايرة داخل مجال من الفرص والقيود تحدده البيئة المبنية. وإجرائيا، تجمع الدراسة بين نموذج لوجيت المختلط والنمذجة القائمة على الوكلاء لبناء نموذج محاكاة للوكلاء الزمانية-المكانية في النشاط اليومي. وفي هذا النموذج يمثل الوكلاء الزمانيون-المكانيون الأفراد. وتحت القيود المشتركة للشروط الخارجية التي تصوغها البيئة المبنية والتفضيلات الداخلية، يتخذ الوكلاء قرارات النشاط وفق تعظيم المنفعة. وتقدر معاملات التفضيل التي تعكس التغاير الفردي عبر نموذج لوجيت المختلط، بما يؤسس آلية لتقييم المنفعة واتخاذ القرار في ظل الفعل المشترك بين "القيود والتفضيلات". ويستطيع النموذج أن يقيس كميا إسهام العوامل غير المرصودة، مثل التفضيلات الفردية، وعتباتها الفاعلة في مخرجات الأنشطة اليومية الزمانية-المكانية، وأن يتنبأ بالتغيرات الكلية من خلال تعديل المعاملات. وبذلك يعمق فهم آلية التفاعل بين الأفراد والقرارات والأنشطة والزمن والفضاء، ويوفر أساسا قراريا لتجديد نطاق الحياة وحوكمته بما يعكس التغاير الفردي.

2 بناء نموذج محاكاة الوكلاء الزمانية-المكانية لنطاقات الحياة المجتمعية

يوصف النموذج باستخدام إطار ODD الشائع في النماذج القائمة على الوكلاء، أي "النظرة العامة - مفاهيم التصميم - التفاصيل" [50]. وتشمل النظرة العامة أهداف المحاكاة ووكلاء النموذج واختيار المتغيرات؛ وتناقش مفاهيم التصميم قواعد قرار الوكلاء الزمانيين-المكانيين؛ أما تفاصيل النموذج فتشمل التشغيل والتحقق.

2.1 هدف بناء النموذج

لمعالجة عجز الدراسات القائمة عن التقاط التفضيلات الفردية المتغايرة وتفاعلها الديناميي مع البيئات المكانية، تدمج هذه الدراسة نماذج الاختيار المتقطع والنمذجة القائمة على الوكلاء لبناء منصة محاكاة للوكلاء تقودها التفضيلات الفردية وتتلقى تغذية راجعة من البيئة الزمانية-المكانية. وتركز المنصة على ثلاثة أسئلة رئيسة. التعرف على الأنماط: ما أنماط النشاط الزماني-المكاني التي تنشأ من التفاعل الديناميي بين اختيارات النشاط-السفر المتغايرة والبيئات المكانية متعددة الطبقات؟ استكشاف الآلية: كيف تتفاعل التفضيلات المتغايرة مع النظم المكانية-الاجتماعية المركبة عبر التغذية الراجعة، وما العوامل الرئيسة والعتبات الفاعلة؟ تقييم السياسات: ما الآثار المتمايزة للبدائل التصميمية المختلفة في نطاق الحياة ككل وفي الأفراد؟

2.2 وكلاء النموذج ومتغيراته: إعداد الوكلاء الزمانيين-المكانيين

2.2.1 وكلاء السكان

يمتلك وكلاء السكان قدرة نشطة وتكيفية على اتخاذ القرار. وانطلاقا من أهدافهم وتفضيلاتهم وحالاتهم الراهنة وإدراكهم للبيئة، يقيمون المنفعة ويختارون المقاصد والمسارات والترتيبات الزمنية بصورة فعالة. وتشكل خصائصهم العوامل الأساسية المؤثرة في قرارات النشاط. وتنقسم هذه الخصائص إلى ساكنة وديناميية، وتستمد معاملاتها من البيانات الإحصائية الكلية وبيانات المسوح المجهرية ونتائج معايرة النموذج [51-52]. وتحدد الخصائص الساكنة السمات الاجتماعية-الديموغرافية والتفضيلات طويلة الأمد المستقرة، وهي أساس توليد أنماط النشاط الأولية ومعاملات القرار. أما الخصائص الديناميية فتسجل الحالات الفورية أثناء المحاكاة، وهي في آن واحد أساس القرارات ونتيجتها.

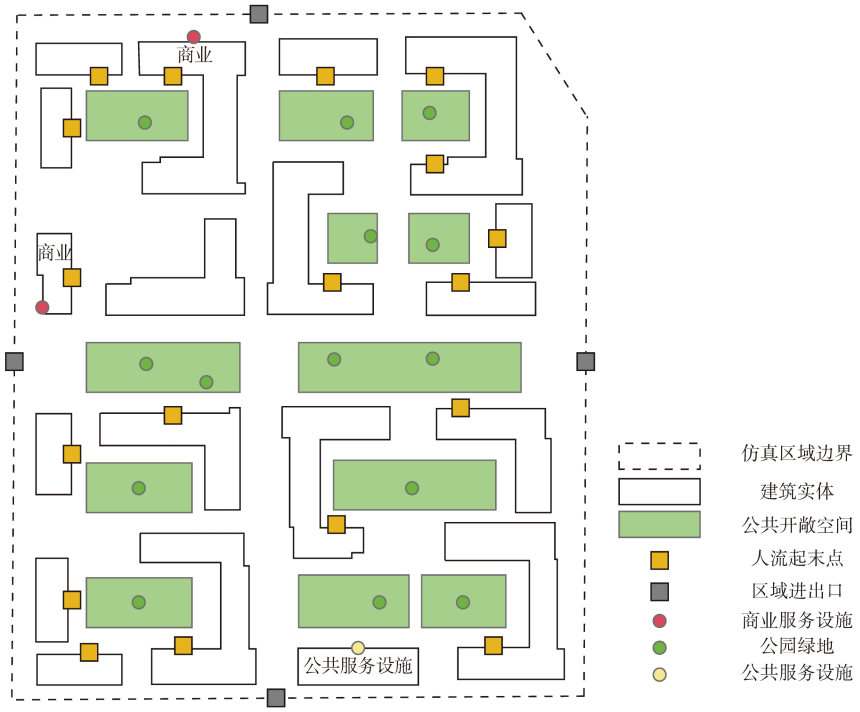
الجدول 1. خصائص وكلاء السكان ومصادر البيانات

مجموعة الخصائص	المتغيرات	المعنى الرئيس	مصادر البيانات
ساكنة: خصائص اجتماعية-ديموغرافية	العمر؛ المهنة؛ بنية الأسرة؛ الدخل؛ موقع السكن؛ امتلاك وسائل النقل	تعكس اختلافات الطلب على النشاط، والقدرة على الحركة، وقيود الوقت، وتسلسل الأنشطة، والحساسية للكلفة، والقدرة	بيانات التعداد؛ بيانات الشبكة المجتمعية؛ بيانات العقارات

		الاستهلاكية، وإمكان الوصول المكاني، واختيار نمط التنقل، ونطاق النشاط المحتمل	
ساكنة: معاملات التفضيل الداخلي	الحساسية للوقت؛ الحساسية للكلفة؛ تفضيل جودة المرفق؛ النفور من الازدحام؛ معامل القصور الذاتي	تعبر عن الحساسية لزمن السفر والكلفة النقدية، والاهتمام ببيئة المرفق وجودة الخدمة، والنفور من الازدحام، وتفضيل الفضاءات والمرافق المألوفة حتى عندما لا تكون مثلى	سجلات النشاط؛ تقدير معاملات نموذج لوجيت المختلط
دينامية: الحالة الزمانية-المكانية	برنامج الأنشطة اليومية؛ الموقع الحالي؛ النشاط الحالي؛ حالة الحركة	تسجل تسلسلات النشاط المخططة والمنفذة، والإحداثيات الحالية، ونوع النشاط الحالي ووقت بدئه، والمسار، وزمن السفر المتبقي	سجلات النشاط؛ بيانات الخدمات المعتمدة على الموقع
دينامية: الحالة الفيزيولوجية والنفسية	التعب؛ الاستعجال؛ الرضا أو المنفعة المتراكمة	تعكس قدرة تحمل النشاط، والضغط الزمني قبل النشاط الثابت التالي، والمنفعة المتراكمة من الأنشطة المنجزة	سجلات النشاط؛ بيانات الخدمات المعتمدة على الموقع
دينامية: الذاكرة والموارد والقيود	الذاكرة والتعلم؛ ميزانية الكلفة اليومية؛ ميزانية الوقت اليومية؛ قائمة المهام	تؤثر في الاختيارات اللاحقة وتسجل حدود الإنفاق اليومي، والوقت الحر المتبقي، والمهام الثابتة أو المرنة المطلوب إنجازها	سجلات النشاط؛ مسوح السلوك؛ تحديثات المحاكاة

2.2.2 وكلاء البيئة المكانية لنطاق الحياة

تشكل البيئة المكانية لنطاق الحياة موضوع القرار وحامل النشاط وإطار القيود بالنسبة إلى وكلاء السكان. وتمثل بوصفها سطحا ثنائي الأبعاد مكونا من نقاط وخطوط ومضلعات: تمثل النقاط مرافق الخدمة الجاذبة لوكلاء السكان، وتمثل الخطوط مسارات الحركة الممكنة، وتمثل المضلعات الكيانات البنائية. وتمتلك وكلاء البيئة المكانية خصائص ساكنة وديناميكية. وتعكس الخصائص الساكنة الصفات الثلاثية الأبعاد والبنى الطوبولوجية للبيئة المكانية، فتؤسس نظام مؤشرات يغطي بنية شبكة الشوارع والمرافق الوظيفية والجودة البيئية. وتخزن هذه الخصائص في الفضاء الثنائي الأبعاد كمعلومات وصفية وتعمل عوامل في إدراك وكلاء السكان للفضاء وتقييمهم له. أما الخصائص الدينامية فتعكس سمات متغيرة زمنيا مثل مستوى الإشغال والازدحام الراهن، وتعود في الزمن الحقيقي عبر متغيرات دالة المنفعة لتؤثر في قرارات النشاط اللاحقة.



الشكل 1. البيئة المكانية الافتراضية.

الجدول 2. نظام مؤشرات البيئة المكانية

المؤشر الأولي	المؤشر الثانوي	الدلالة	مصادر البيانات
شبكة الشوارع	الطول؛ العرض؛ كثافة شبكة الطرق؛ القرب أو التكامل؛ التوسط أو الاختيار	تقيس طول الطرق وعرضها، وكثافة الشبكة ضمن نطاقات حياة مختلفة، وإمكان الوصول في الشوارع وقدرتها على جذب التدفقات المتجهة إلى مقاصد، واحتمال مرور تدفقات عابرة	بيانات التخطيط؛ OpenStreetMap وبيانات ضخمة أخرى
المرافق الوظيفية	الحجم؛ التوزيع؛ الكثافة؛ معامل المسطح؛ الاختلاط؛ ساعات العمل	تقيس حجم المرافق وتوزيعها المكاني وكثافتها ومعامل مسطحاتها واختلاط وظائفها وزمن خدمتها داخل نطاق الحياة	بيانات نقاط الاهتمام POI؛ المسح الميداني
الجودة البيئية	الغطاء الأخضر؛ عامل رؤية السماء؛ نسبة عرض الشارع إلى ارتفاع المباني؛ نسبة الواجهة	تعكس تخضير الحدائق والشوارع، وانفتاح السماء عند عقد الشارع، ونسبة عرض الشارع إلى ارتفاع المبنى، ونسبة واجهات المباني إلى طول خط التنظيم الأحمر للطريق	صور الاستشعار عن بعد؛ المسح الميداني

2.3 تصميم النموذج: إعداد آلية القرار وتقدير المعاملات

تمثل آلية قرار الوكلاء جسرا حسابيا بين السلوك الفردي المجهري والظواهر النظامية الكلية. ومقارنة بالبحوث السابقة، يتمثل الاختراق الرئيس في هذا النموذج في إدخال نموذج لوجيت المختلط. إذ تستخدم توزيعات تغاير المعاملات لوسم الفروق الفردية بين وكلاء السكان، بما يسمح للوكلاء ذوي المعاملات الشخصية باتخاذ القرارات والتفاعل في بيئة افتراضية. وبذلك يمكن الكشف بعمق أكبر عن أثر التفضيلات الفردية غير المرصودة في الأنماط الزمانية-المكانية والأداء المكاني لنطاق الحياة. ويتضمن النموذج خطوتين: تعريف مجموعة اختيار النشاط، وبناء دالة المنفعة لخطط النشاط وتقديرها.

2.3.1 تعريف مجموعة اختيار النشاط

استنادا إلى سجلات النشاط وبيانات البيئة المكانية لنطاق الحياة، يولد النموذج لكل وكيل سكاني مجموعة أنماط نشاط ممكنة C_n تحت قيود القدرة والاقتران والسلطة. وتتكون المجموعة من أنماط نشاط j_n مثل "البيت-العمل-البيت" أو "البيت-إيصال الطفل إلى المدرسة-العمل-التسوق-البيت". ويحمل كل نمط خصائص مثل زمن السفر والكلفة النقدية ونوع النشاط، ثم تستخدم هذه الخصائص في تقييم المنفعة عند اختيار النشاط.

2.3.2 بناء دالة المنفعة وتقدير المعاملات

بعد توليد مجموعة أنماط النشاط الممكنة والمشخصة C_n، يقيم كل وكيل سكاني الخطط اليومية الممكنة ويختار بينها وفق تفضيلات متغايرة، رابطا خصائص صانع القرار ببدائل اختيار النشاط. ويدخل النموذج نموذج اختيار متقطع قائم على نظرية المنفعة العشوائية. وبوجه خاص، يستخدم نموذج لوجيت المختلط لبناء دالة المنفعة ومعاملاتها وتقديرها لكل نمط نشاط j، بما يدفع سلوك الاختيار الاحتمالي.

بالنسبة إلى الوكيل السكاني n، تتكون المنفعة العشوائية U_nj لاختيار نمط النشاط j من حد حتمي قابل للرصد V_nj وحد عشوائي غير قابل للرصد epsilon_nj:

U_nj = V_nj + epsilon_nj (1)

وتعرف المنفعة المرصودة V_nj بوصفها تركيبا خطيا لخصائص نمط النشاط j، أي X_nj:

V_nj = beta_n X_nj

= beta_n1 T_nj + beta_n2 C_nj + sum_{m in M} gamma_nm D_jm (2)

هنا تمثل beta_n = (beta_n1, beta_n2, gamma_n1, gamma_n2, ...) متجه معاملات التفضيل العشوائية للوكيل السكاني n، وهي تختلف بين الأفراد لالتقاط تغاير التفضيلات. ويمثل T_nj إجمالي زمن السفر في نمط النشاط j، ويمثل C_nj إجمالي الكلفة النقدية لنمط النشاط j، وتمثل M مجموعة أنواع النشاط كلها، مثل العمل والتسوق والترفيه، ويمثل m نوعا معينا من النشاط ضمن M، أما D_jm فهو متغير وهمي ثنائي. فإذا تضمن نمط النشاط j النوع m، فإن D_jm = 1، وإلا فإن D_jm = 0. ويمثل gamma_nm معامل تفضيل الوكيل n لنوع النشاط m؛ فإذا كان gamma_nm > 0 دل ذلك على تفضيل هذا النوع، وإذا كان gamma_nm < 0 دل على النفور منه.

تتمثل الفرضية المركزية في أن beta_n ليست ثابتا واحدا، بل متجه يتغير عشوائيا بين الأفراد، ملتقطا تغاير التفضيلات الذي لا تفسره المتغيرات المرصودة. ويمكن استخدام طريقة الاحتمال الأعظمي بالمحاكاة لتقدير توزيع هذه المعاملات من بيانات مسوح سجلات نشاط السكان، والحصول على توزيع إحصائي كمي لتغاير التفضيلات في منطقة الدراسة. وأثناء التهيئة اللاحقة لنموذج ABM، يسحب كل وكيل سكاني n بصورة مستقلة متجه معاملات عشوائية محددا beta_n من التوزيع المقدر، ثم يثبت هذا المتجه. وبذلك يمتلك كل وكيل منطق قرار خاصا ومستقرا ومتسقا مع الانتظامات السلوكية التجريبية. وينقل هذا النموذج من الاستدلال البسيط القائم على القواعد إلى محاكاة قائمة على السلوك التجريبي، ويزيد قوته التفسيرية وصلاحيته التنبؤية.

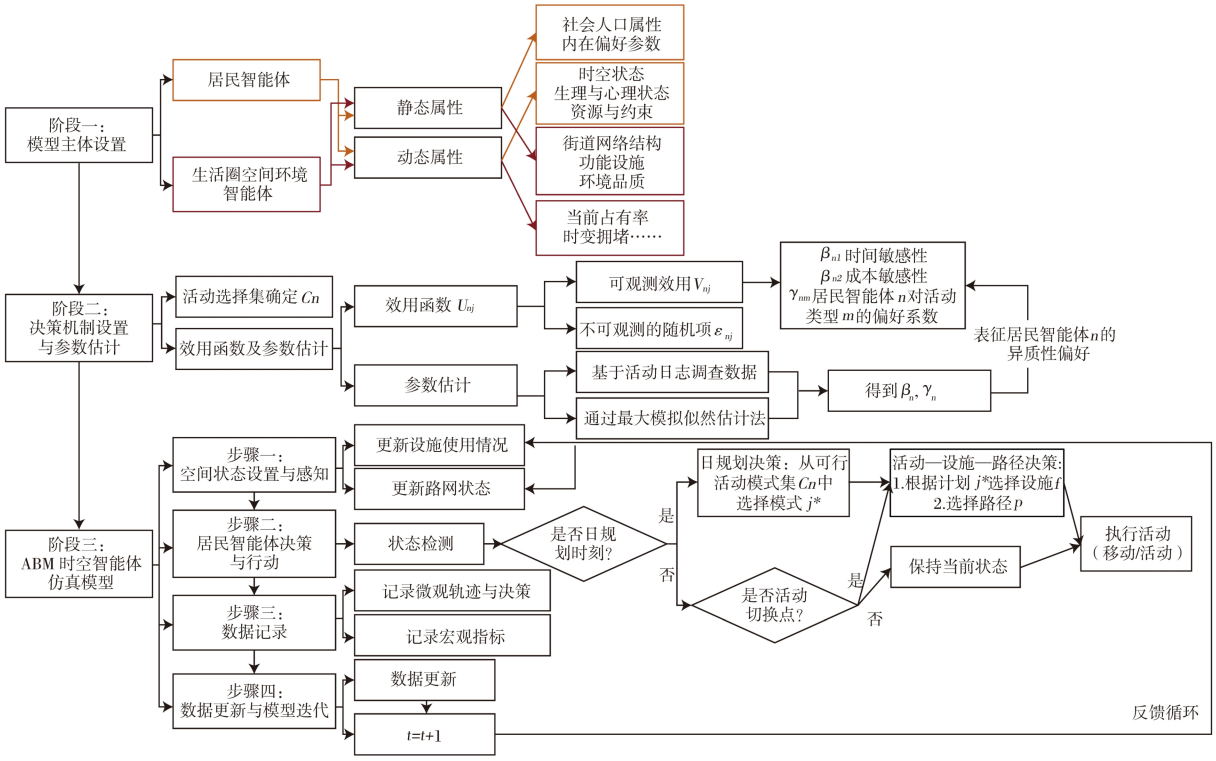
2.4 تشغيل النموذج والتحقق منه

2.4.1 تهيئة النموذج

تهدف تهيئة النموذج إلى توليد حقل افتراضي متسق مع البيئة المكانية الواقعية لنطاق الحياة وخصائص السكان. ويمكن تنفيذ ذلك على منصات محاكاة مثل NetLogo وAnyLogic، ويتضمن ثلاث وحدات متتابعة. أولا، رقمنة البيئة المكانية؛ إذ تستورد أو تحول طوبولوجيا شبكة الطرق، وبصمات المباني، ونقاط مرافق الخدمة العامة، وغيرها من المعلومات الجغرافية الرقمية في منصة المحاكاة اعتمادا على بيانات GIS عالية الدقة، ثم تهيأ الخصائص الساكنة والدينامية وفقا لنظام مؤشرات وكلاء البيئة المكانية. ثانيا، توليد وكلاء السكان؛ إذ تستخدم خوارزميات مثل الملاءمة النسبية التكرارية وبيانات التعداد متعددة الأبعاد لبناء قائمة بوكلاء سكان افتراضيين متسقة مع الخصائص الديموغرافية الواقعية لنطاق الحياة. ولكل وكيل يسحب متجه معاملات عشوائية فريد beta_n من توزيع التفضيلات الذي سبق تقديره بنموذج لوجيت المختلط، ممثلا تفضيلاته الداخلية. ثالثا، المطابقة المكانية وتهيئة وكلاء السكان؛ إذ تخصص قائمة الوكلاء المولدة إلى المباني السكنية وفق الوحدات الإحصائية، وتستكمل تهيئة المراسي المكانية. ثم تولد مجموعات اختيار النشاط وفق الأدوار الاجتماعية للوكلاء، وفي بداية المحاكاة يختار أحد خطط النشاط وينفذ احتماليا للحصول على جدول أولي وحالة زمانية-مكانية ابتدائية.

2.4.2 سير التشغيل الديناميي: تخطيط - تنفيذ - تغذية راجعة

بعد التهيئة يدخل النموذج دورة تكرارية تتكون من قرارات تخطيط يومية منخفضة التواتر، وقرارات نشاط-مرفق-مسار عالية التواتر، وتغذية راجعة مكانية. وتتضمن الدورة أربع خطوات. أولا، ضبط الحالة المكانية وإدراكها. ففي بداية كل خطوة محاكاة t، تضبط الحالة البيئية أو تحدث وفقا لنتائج أفعال وكلاء السكان في الجولة السابقة، وتصبح مدخلا للإدراك المكاني في الجولة الراهنة. ثانيا، اتخاذ القرار والفعل من جانب وكيل السكان. وتحدد شروط تشغيل التخطيط اليومي وتنفيذ النشاط، ثم يطبق نموذج قرار ذي مستويين: التخطيط اليومي واختيار النشاط-المرفق-المسار. على مستوى التخطيط اليومي، يحسب كل وكيل المنفعة العشوائية U_nj لكل نمط j في مجموعة أنماطه الممكنة C_n، اعتمادا على معاملات تفضيله الخاصة beta_n، ثم يسحب نمطا واحدا وفق احتمالات الاختيار الناتجة عن نموذج لوجيت المختلط بوصفه الخطة العامة j لذلك اليوم. وعلى مستوى اختيار النشاط-المرفق-المسار، يختار الوكيل، بناء على نمط النشاط المختار j، مرفقا محددا f من مجموعة المرافق المتاحة زمانيا ومكانيا في اللحظة الراهنة وفق دالة المنفعة، وبذلك يكتمل اختيار المقصد. ثم تحسب منفعة المسار من زمن السفر المتوقع، ويختار المسار احتماليا باستخدام نموذج لوجيت [52]. ثالثا، تسجيل البيانات. يسجل النموذج المسارات الزمانية-المكانية الكاملة، وسجلات النشاط، والمنفعة المتراكمة، وتسلسلات القرار لكل وكيل سكاني، إضافة إلى حالات الاستخدام الكلية مثل كثافة المشاة وأنواع النشاط في المرافق المكانية. وتدعم هذه البيانات التحقق اللاحق من النموذج وتقييم أثر التخطيط. رابعا، تحديث البيانات وتكرار النموذج. وبعد هذه الخطوات تحدث الحالات الداخلية لوكلاء السكان والحالات المكانية، وتبدأ جولة جديدة من الإدراك والقرار والفعل والتسجيل. ومن خلال التكرار تعيد قرارات السكان تشكيل الحالات المكانية باستمرار، مثل خلق الازدحام أو تخفيفه، بينما تتحول الحالات المكانية المحدثة إلى معاملات إدخال تؤثر في القرارات اللاحقة. وبذلك تنشأ ديناميا مستويات متعددة من أنماط النشاط الزماني-المكاني.



الشكل 2. سير تقدير المعاملات والمحاكاة في نموذج الوكلاء الزمانية-المكانية.

2.4.3 التحقق من صلاحية النموذج

لتقييم صلاحية النموذج وموثوقيته، وضمان قدرته على العمل كمنصة تجارب حسابية موثوقة لتفسير آليات قرار نشاط السكان والتنبؤ بآثار التدخل المكاني، تقام منظومة تحقق ذات مستويين تجمع بين مطابقة الأنماط الكلية واختبار المنطق المجهري. أولا، تنفذ مطابقة نمط السلوك الكلي. يشغل النموذج حتى يبلغ حالة مستقرة، أو يستخدم متوسط عدة أيام من المحاكاة. وتطبق تحليلات الارتباط المكاني وملاءمة الزمن للمقارنة بين خرائط الحرارة المحاكاة والمرصودة لكثافة المشاة والتوزيع الزماني-المكاني، وكذلك

منحنيات الزيارة اليومية أو الأسبوعية لمختلف المرافق المكانية. كما تستخدم اختبارات K-S أو مقارنات الكوانتيلات لمقارنة توزيعات عدد سلاسل النشاط اليومية، ومسافات الرحلات المفردة، ومدد النشاط الناتجة عن المحاكاة وتلك المستخلصة من المسوح، بهدف اختبار قدرة النموذج على إعادة إنتاج انتظامات النشاط الزماني-المكاني الكلية المستقرة في منطقة الدراسة. ثانيا، تنفذ تحليلات الحساسية والتحقق الداخلي. فتغير تحليلات الحساسية أحادية العامل معاملات الإدخال بصورة مستقلة، مثل سعة المرفق والانحراف المعياري لتوزيعات التفضيل، وتفحص ما إذا كان اتجاه التغير وحجمه في المخرجات الرئيسة، مثل زيارات المرافق، معقولين. كما تحاكي سيناريوهات قصوى، مثل الارتفاع الحاد في الطلب على النشاط خلال العطل أو إغلاق مرفق، لرصد ما إذا كان النموذج يولد سلوكا متوقعا مثل الازدحام أو فراغات الخدمة في بعض المناطق، وبذلك تختبر متانة منطق النموذج.

3 تطبيقات نموذج الوكلاء الزمانية-المكانية لنطاقات الحياة المجتمعية

3.1 من القياس الساكن إلى الإدراك الديناميي: تقييم دينامي متعدد الأبعاد لأداء الخدمة

لا يستطيع تحليل إمكانية الوصول الساكن التقليدي، القائم على نقاط المرافق وتراكب الحواجز المكانية، أن يراعي بالكامل نطاقات النشاط الفعلية وحدود السلوك لدى الأفراد تحت القيود المزدوجة للقدرة الزمانية-المكانية وتفاعل الجماعات. لذلك لا يقدم تمثيلا واقعيا للأداء الخدمي الديناميي للفضاءات والمرافق بالنسبة إلى الأفراد المتغايرين. وبإدراج نموذج لوجيت المختلط ومعاملات تغاير التفضيلات، يمثل نموذج الوكلاء الزمانية-المكانية البيئة المكانية كنظام من الفرص والقيود يختلف باختلاف الأشخاص. وعلى هذا الأساس يحاكي قرارات النشاط-السفر لدى السكان المتغايرين تحت قيود متعددة وتغذيتهم الراجعة المستمرة مع الفضاء. ويمكنه تقييم نطاق الحياة ديناميا ومن منظور إنساني عبر ثلاثة أبعاد: العقد والشبكات والأماكن، بما يغطي أداء المرافق والخدمات الاجتماعية ومرونة النظام.

على مستوى العقد، يحاكي النموذج اختيار المرافق تحت قيود واقعية. ويمكنه تشخيص الفرق بين السكان النظريين المخدومين والسكان الفعليين المخدومين من مرفق واحد، وتقييم مطابقة العرض والطلب وكفاءة الاستخدام. وبذلك ترتقي مؤشرات التقييم من "وجود تغطية أو عدمها" و"نطاق التغطية الهندسي" إلى "نسبة التغطية الفاعلة" و"خريطة التذبذب الزماني-المكاني لجودة الخدمة". كما يستطيع تحديد مناطق العمى الخدمي الناتجة عن تعارضات الزمن وعتبات السعر وغيرها من العوائق، موفرا دعما قراريا أدق لتوزيع المرافق وتحديد نوعيتها وإدارة تشغيلها.

وعلى مستوى الشبكة، ينظر النموذج إلى نطاق الحياة كنظام مركب من عقد مرافق وتدفقات سكان. ومن خلال محاكاة سيناريوهات مثل تعطل مرفق رئيس أو إضافة عقد جديدة، يمكن تقييم المرونة الكلية والكفاءة البنيوية لشبكة الخدمة، وتحديد المحاور الرئيسة والروابط الهشة، وتحليل التكرار الوظيفي والإحلال بين المرافق، بما يدعم تحسين الكفاءة والإنصاف في نظام مرافق الخدمة.

أما على مستوى المكان، فيركز النموذج على الفضاء بوصفه حاملا للتفاعل الاجتماعي. ومن خلال تتبع مسارات النشاط الزمانية-المكانية، يمكنه تقييم الشمولية والتمايز الزماني-المكاني في استخدام الفضاء العام كميا، وتشخيص مواقع تجمع محتملة أو تعارضات بين الجماعات. كما يستطيع، عبر محاكاة إدخال أنواع أعمال جديدة أو تعديل قواعد الفضاء، استباق تغير حيوية المكان في ظل تدخلات تصميمية مختلفة، بما ينقل تقييم الفضاء من قياس الحاويات الوظيفية إلى تقدير قابلية تنمية المكان.

3.2 من الارتباط الكلي إلى الآلية المجهرية: التفاعل والإسناد بين السكان ونطاقات الحياة

غالبا ما يتوقف البحث التقليدي عند الارتباط الإحصائي الكلي بين الناس والفضاء، ولا يكشف الدوافع المجهرية للظواهر المرصودة. ويبني نموذج الوكلاء الزمانية-المكانية جسرا تفاعليا بين تغاير تفضيلات السكان، وقرارات النشاط-السفر، والبيئة المكانية. ويمكنه نمذجة آليتين رئيسيتين وتحليلهما.

على المستوى المجهري، يصف النموذج آلية الاقتران والتكيف بين السلوك الزماني-المكاني الفردي والبيئات متعددة الأبعاد. وبإدراج قواعد قرار لوجيت المختلط والتغذية الراجعة المكانية الديناميية، يستطيع النموذج محاكاة دورة الإدراك المكاني، وتقييم المنفعة، وحركة النشاط، وتحديث الخصائص بدقة. وعلى هذا الأساس يمكن تتبع الجذور المجهرية لأي ظاهرة كلية. فمثلا يمكن تتبع انخفاض استخدام مرفق ما عبر سلاسل القرار لجميع وكلاء السكان، وإسناده إلى عدم ملاءمة ساعات العمل بوصفها قيدا اقترانيا، أو إلى كلفة مرتفعة بوصفها قيدا سلطويا، أو إلى جودة متدنية بوصفها قيدا تفضيليا. وتعمق هذه القدرة التحليلية التقييم من سؤال "هل يستخدم المرفق؟" إلى "لماذا لا يستخدم؟" و"من سيستخدمه؟"، بما يدعم مباشرة سياسات خدمة عامة دقيقة ومتمايزة بحسب السكان.

وعلى المستوى الكلي، يكشف النموذج كيف ينشأ النظام الكلي من تفاعلات فردية مجهرية. فالسلوكيات التكيفية للأفراد المتغايرين تتراكب وتتفاعل وتتكرر في فضاء مشترك، مولدة في النهاية أنماطا اجتماعية-مكانية كلية لا يمكن التنبؤ بها بمجرد الجمع البسيط، أي

نظاما محليا [8]. ولا يستطيع نموذج الوكلاء الزمانية-المكانية تمثيل أنماط النشاط والنظام المحلي فحسب، بل يمكنه أيضا تحديد توليفات العوامل والشروط الحرجة والمسارات التي تنتج نظاما معينا من خلال تعديل المدخلات. ومن خلال ضبط القواعد الأولية والمعاملات المكانية، يمكن للتخطيط أن يوجه التنظيم الذاتي نحو نظم محلية أكثر مرونة وحيوية وشمولا، منتقلا من التحكم الحتمي الشبيه بالمخطط الثابت إلى تدخلات تكيفية تنمي الاحتمالات الإيجابية.

3.3 من التهيئة الوظيفية إلى صناعة المكان: تعدد دلالات المكان وبناء المشاهد اعتمادا على محاكاة النشاط

يركز التخطيط التقليدي على التهيئة الوظيفية المادية للفضاء، ويصعب عليه رؤية الأنشطة الاجتماعية وروح المكان التي يحملها الفضاء. ومن خلال محاكاة اختيارات النشاط وآليات التفاعل لدى السكان المتغايرين تحت قيود واقعية، يتيح نموذج الوكلاء الزمانية-المكانية للمخططين تقييم الفضاء لا من زاوية "ما الذي ينقصه" فقط، بل من زاوية "لماذا لا تستطيع الفضاءات القائمة دعم مشاريع أغنى". ومن ثم يمكنه استكشاف كيف تحفز التدخلات المكانية الدقيقة أنشطة يومية نشطة ومتنوعة وتفاعلات بين أفراد مختلفين في الزمان والمكان نفسيهما. وهكذا ترتقي صناعة المكان من تصميم شكلي-جمالي إلى تصميم عملية اجتماعية قائم على ديناميات السلوك. وعلى وجه التحديد، يدعم النموذج استراتيجيتين متكاملتين لصناعة المكان تقودهما محاكاة النشاط.

أولا، يتيح إدراج محفزات مكانية بدقة لتفعيل الإمكانات متعددة الدلالة للعقد. فدلالات الفضاء المتعددة تتوقف على مدى مطابقته لمشاريع المستخدمين [50]. ومن خلال تحليل العوامل المؤثرة في قرارات السكان ومسارات نشاطهم، يستطيع النموذج تشخيص الفجوات بين العرض المكاني القائم وطلب النشاط المتنوع من حيث المرافق وأنواع الأعمال وإمكان الوصول. ثم يحاكي الاستجابات الدينامية في أنواع النشاط وكثافته وأنماطه الاجتماعية بعد إدخال عناصر محفزة في مواقع وأنواع مختلفة. وبذلك يتحول التصميم من الحكم التجريبي إلى التنبؤ الدقيق القائم على نشوء السلوك، مما يساعد على ضمان أن كل تجديد مجهري ينشط الفضاء بفاعلية ويمنحه إمكانات مرنة كغرفة معيشة اجتماعية أو سوق نابض بالحياة.

ثانيا، يساعد النموذج على نسج شبكات لقاء زمانية-مكانية بصورة منهجية لتنشيط حيوية النظام. فدلالات الفضاء الواحد محدودة، في حين أن ربط عقد متعددة متكاملة أو متشابهة يستطيع، عبر أثر الشبكة، تحفيز مشاهد أغنى تتجاوز الجمع البسيط للأفراد. ويستطيع النموذج محاكاة العملية التي يصنع بها الاتصال تعدد الدلالة. فعلى سبيل المثال، لا يقتصر تخطيط مسار ملائم للمشاة يربط حديقة مجتمعية ومتجرا صغيرا ونقطة خدمة للمسنين ومحطة حافلات على التنبؤ بتداخل تدفقات التنقل اليومي والترفيه، بل يحاكي أيضا سلاسل نشاط جديدة مثل التسوق في الطريق والتفاعل الاجتماعي القائم على المشي. ويعيد هذا النسج المنهجي لفرص اللقاء الزماني-المكاني بناء نطاق الحياة من مجموعة قطع وظيفية إلى مسرح متدفق يدعم اللقاءات والأنشطة العفوية والاستكشاف المستمر.

3.4 من وصف الحاضر إلى محاكاة المستقبل: التنبؤ بالسيناريوهات وتقييم التدخل

يوفر نموذج الوكلاء الزمانية-المكانية منصة تجارب محاكاة عالية القابلية للتحكم للتخطيط وتقييم السياسات، ناقلا التقييم من مرحلة ما بعد التنفيذ إلى التنبؤ الاستباقي. وتتمثل تطبيقاته الرئيسة في جانبين. أولا، يدعم محاكاة تحسين تخصيص الموارد. فمن خلال محاكاة خطط تخطيطية في ظل أهداف وقيود مختلفة، يمكنه التنبؤ بالتغيرات الكلية في توزيع المشاة الزماني-المكاني، وأحمال استخدام المرافق، وضغط شبكة النقل، والمنافع الاجتماعية. كما يمكنه الدخول إلى الآلية المجهرية، متتبعا تغير سلاسل السفر الفردية، ومتوسط زمن السفر، وفروق إمكانية الوصول بين الفئات الاجتماعية استجابة للتغير المكاني. وهذا المنظور المزدوج للظواهر الكلية والإسناد المجهري يرتقي بتقييم التخطيط من مقارنة ساكنة بين المخططات إلى فهم دينامي للاستجابة السلوكية، ويوفر أساسا قراريا من محاكاة النظم المركبة لتحديد استراتيجية تخصيص الموارد المثلى والموازنة بين الكفاءة والإنصاف.

ثانيا، يدعم التقييم الدقيق لتدخلات السياسات، ولا سيما الاختبار الكمي للسياسات غير المكانية اللينة. فمن خلال تعديل قواعد الزمن في النموذج، مثل ساعات عمل المرافق، أو روافع السعر مثل الخصومات الزمنية، أو إعدادات الإذن مثل الخدمات الخاصة بفئات معينة، يمكن محاكاة آثار انتقال استراتيجيات الإدارة إلى سلوك السكان وأداء النظام والتنبؤ بها. فعلى سبيل المثال، يستطيع النموذج أن يحسب بدقة أثر تمديد ساعات العمل الليلية لمرافق الخدمة المجتمعية في زيادة استخدامها من قبل العاملين، أو أن يقيم كيف تحسن إعانات الأسعار فرص النشاط للأسر منخفضة الدخل. وتتيح هذه القدرة على تحويل السياسات المجردة إلى معاملات قابلة للتعديل وإجراء تجارب سياسات أن يستبق صانعو القرار العواقب المركبة قبل التنفيذ، وأن يحسنوا شدة التدخل وأهدافه، وأن يرفعوا دقة السياسة العامة وفاعليتها وشمولها.

4 آفاق البحث

تبني هذه الدراسة نموذجا رباعيا يجمع الأفراد والأنشطة والزمن والفضاء لمحاكاة الوكلاء الزمانية-المكانية لنطاقات الحياة المجتمعية. وهي تدمج بصورة ابتكارية قدرة نموذج لوجيت المختلط على تحليل التغاير الفردي مع قدرة النموذج القائم على الوكلاء على محاكاة

النشوء التفاعلي، وتقترح ثلاث زوايا رئيسة لتحليل التفاعل. أولا، التفاعل الذاتي-الموضوعي بين الأفراد والفضاء: يوسم نموذج لوجيت المختلط التفضيلات المتمايزة لوكلاء السكان عبر توزيعات تغاير المعاملات، ثم تحاكي النمذجة القائمة على الوكلاء الانتظامات الزمانية-المكانية، والتمايز المكاني، وآليات التفاعل بين الأفراد المتمايزين والفضاء. ثانيا، التفاعل عابر المقاييس بين القرارات الفردية المجهرية والأنماط الجماعية الكلية: تستطيع محاكاة الوكلاء الزمانية-المكانية الكشف عن كيفية تفاعل القرارات المحلية والمجهرية لاخطيا وتوليد أنماط زمانية-مكانية كلية منظمة. ويمكن للتجارب المضبوطة أن تحدد العوامل الرئيسة والعتبات الفاعلة التي تقود تشكل الأنماط. ثالثا، التفاعل القصير والطويل الأمد بين الناس والفضاء: فعلى مقياس زمني قصير يستطيع النموذج تحليل أنشطة السكان في أوقات مختلفة من اليوم واستخدامهم للفضاء؛ أما على مقياس زمني طويل، فيمكن لجمع البيانات التاريخية ومحاكاة السيناريوهات تحليل تغير أنشطة السكان والبنية المكانية بفعل التحول الديموغرافي وتكنولوجيا المعلومات وتغير السياسات. ومن خلال هذه الزوايا الثلاث، يرسم النموذج بدقة الفروق الفردية في نطاقات الحياة، ويفسر آليات التفاعل بين الأفراد والفضاء، ويتنبأ استباقيا بأداء تخطيط نطاق الحياة وخدماته. لذلك يقدم دعما قراريا متمحورا حول الإنسان للاستخدام المكاني الكفء، وتحسين أداء الخدمة، وصناعة حيوية المجتمع.

تنجز هذه الدراسة أساسا بناء الإطار، واستدلال الآليات، وتكامل المناهج. ولتمكين ممارسة تخطيط نطاق الحياة القابلة للتنفيذ والمتمحورة حول الإنسان بصورة حقيقية، يلزم مزيد من البحث في اتجاهين. أولا، الاكتساب العميق لبيانات النشاط الزماني-المكاني الفردية والتعبير عن التغاير. ففي الوقت الراهن تواجه البيانات الزمانية-المكانية المجهرية واسعة النطاق معضلة ثلاثية بين الاتساع والدقة والعمق. وتكمن الاختراقات المستقبلية في دمج بيانات زمانية-مكانية متعددة الحبيبات ومتعددة الوسائط، والجمع بين مسارات GPS وسجلات نشاط عالية الدقة وغنية بالدلالة وبين بيانات إشارات الهاتف المحمول واسعة التغطية. وعلى هذا الأساس تستطيع خوارزميات التعلم الآلي والاستدلال العكسي للبيانات إعادة بناء الخصائص الكاملة ودلالات النشاط للأفراد على نطاق واسع، واستخراج وسوم رقمية تمثل سلوكا فرديا مستقرا، وإدراجها كمتغيرات كامنة في نموذج اختيار لوجيت المختلط. وبذلك يصبح نمذجة البيانات والسلوك والتفضيلات من طرف إلى طرف ممكنا، وتصبح الاختيارات المكانية المتغايرة قابلة للقياس والتفسير. ثانيا، المحاكاة الدينامية للتفاعل ثنائي الاتجاه بين الإنسان والفضاء والتطور طويل الأمد. فما تزال النماذج القائمة محدودة في وصف حلقة التغذية الراجعة الدينامية التي يؤثر فيها الناس في الفضاء ويعيد الفضاء تشكيل الناس، وفي وصف آليات التطور الطويل. وعلى المستوى المجهري، يمكن إدخال مناهج مثل الشبكات العصبية المتكررة RNNs لوصف كيفية تراكم الأنشطة الفردية وعودتها إلى الإدراك المكاني والتقييم، ومن ثم تأثيرها في الاختيارات اللاحقة. وعلى المستوى الكلي، يمكن دمج نماذج ديناميات النظم لمحاكاة الآثار الطويلة وغير الخطية للتغير الديموغرافي، وتجديد البيئة المبنية، وتدخل السياسات التخطيطية، ومن ثم تقييم الآثار المستدامة للتخطيط. وبهذه التوسعات يمكن بناء نموذج وكلاء زماني-مكاني لا يفسر آليات التفاعل المعقدة بين الفرد والفضاء فحسب، بل يحاكي أيضا المنافع الطويلة لمخططات التخطيط ويقيمها، موفرا نواة منهجية لتخطيط حضري متمحور حول الإنسان وقابل للحوسبة والمحاكاة.

المراجع

[1] Chai Yanwei, Ta Na. الثورة السلوكية في الجغرافيا الصينية ودلالاتها النظرية2024 ,[J]. Geographical Research, 43(9): 2259-2270.

[2] Wang De, Ren Xiyuan, Hu Yang. نمذجة القرار السلوكي للتخطيط الحضري القائم على الزمن وأدلة استكشافية من لوجياتسوي في شنغهاي2024 ,[J]. Urban Planning International, 39(3): 40-50.

[3] SILVA B N, KHAN M, HAN K. نحو مدن ذكية مستدامة: مراجعة للاتجاهات والمعماريات والمكونات والتحديات المفتوحة في المدن الذكية2018 ,[J]. Sustainable Cities and Society, 38: 697-713.

[4] Zhou Suhong, Chai Yanwei, Kwan Mei-Po, et al. آفاق النظريات والمناهج في الجغرافيا السلوكية في الصين[J]. Geographical Research, 2024, 43(9): 2235-2258.

[5] ELLEGARD K. التفكير في جغرافيا الزمن: المفاهيم والمناهج والتطبيقات2018 ,[M]. London, UK: Routledge.

[6] Wu Zhiqiang, Wang Kai, Chen Wei, et al. نقاش أكاديمي حول التفكير الابتكاري في الحوكمة الدقيقة للفضاء المجتمعي2020 ,[J]. Urban Planning Forum, 2020(3): 1-14.

[7] Sun Yiyuan, Feng Jian. إطار بحثي للتفاعل بين الحياة اليومية والفضاء تحت تأثير تقنيات المعلومات والاتصال[J]. Acta Geographica Sinica, 2025, 80(8): 2055-2071.

[8] Zhang Yan, Chai Yanwei. تحول جغرافيا الزمن نحو بحث نظام المشروع-النشاط2022 ,[J]. Progress in Geography, 41(1): 53-63.
[9] CHEN B Y, LUO Y B, et al. نموذج بيانات زماني-مكاني وبنية فهرسة لجغرافيا الزمن الحاسوبية[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2023, 37(3): 550-583.
[10] Li Chunjiang, Chai Yanwei, Li Yanxi, et al. بحث استكشافي في نظام تصنيف المشروع-النشاط[J]. Geographical Research, 2024, 43(9): 2295-2307.
[11] SADOWSKI J. الفضاء السيبراني ومشاهد المدينة: في نشوء حضرية المنصات2020 ,[J]. Urban Geography, 41(3): 448-452.
[12] SHAW S L. جغرافيا الزمن في عالم هجين مادي-افتراضي2023 ,[J]. Journal of Geographical Systems, 25(3): 339-356.
[13] Liu Quan, Qian Zhenghan, Huang Dingfang, et al. خصائص تطور الأنماط المكانية واتجاهاتها في نطاق الحياة المجتمعية لمدة 15 دقيقة2020 .[J]. Urban Planning Forum, (6): 94-101.
[14] Huang Huiming, Zhou Dailin, Wang Ye. نماذج التنظيم المكاني لنطاقات الحياة المجتمعية اعتمادا على الشكل السكني: أدلة من قوانغتشو2021 .[J]. Urban Planning Forum, (2): 94-101.
[15] Shen Yuhui, Tong Ziyu. مناهج تقييم ملاءمة نطاق الحياة المجتمعية على المقياس الإنساني[J]. South Architecture, 2022(7): 72-80.
[16] Cai Xingfei, Wang Hao, Li Li, et al. تقييم نطاق الحياة المجتمعية: ممارسة التطبيق والتحديات والآفاق[J]. Planners, 2023, 39(5): 47-52.
[17] KIM H M, KWAN M P. مقاييس إمكانية الوصول الزمانية-المكانية: خوارزمية جغرافية-حسابية تركز على مجموعة الفرص الممكنة ومدة النشاط المحتملة2003 ,[J]. Journal of Geographical Systems, 5(1): 71-91.
[18] YIN L, SHAW S L. استكشاف المسارات الزمانية-المكانية في فضاءات القرب المادي والاجتماعي: مقاربة GIS زمانية-مكانية[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2015, 29(5): 742-761.
[19] Liao Jingying, Lin Yaoyu, Xiao Zuopeng, et al. نموذج مفاهيمي وقياس للفضاء المتاح في الزمن الحقيقي اعتمادا على المنشور الزماني-المكاني2024 .[J]. Acta Geographica Sinica, 79(4): 931-948.
[20] Niu Xinyi, Lin Shijia. البيانات الضخمة الزمانية-المكانية في بحوث التخطيط الحضري: التطور التقني وقضايا البحث واتجاهات الواجهة2022 .[J]. Urban Planning Forum, (6): 50-57.
[21] Chai Yanwei, Li Chunjiang, Xia Wanqu, et al. نموذج لترسيم نطاقات الحياة المجتمعية الحضرية: أدلة من حي تشينغخه في بكين2019 .[J]. Urban Development Studies, 26(9): 1-8.
[22] Liang Hong, Ju Qiuwen, Chai Yanwei, et al. قياس وتصنيف البنية المكانية لنطاقات الحياة الحضرية متعددة المستويات من منظور السلوك الزماني-المكاني: أدلة من بكين2025 .Shanghai Urban Planning Review, [J](3): 49-58.
[23] Zhang Shanqi, Zhen Feng, Kong Yu, et al. تقييم مرافق خدمة نطاق الحياة المجتمعية وتهيئتها المثلى بناء على التفاعل بين الفضاء الافتراضي والمادي: تقدم البحث وآفاقه2023 .[J]. Journal of Natural Resources, 38(10): 2435-2446.
[24] Wang De, Hu Yang. تخطيط السلوك الحضري الزماني-المكاني: المفاهيم والإطار والآفاق[J]. Urban Planning Forum, 2022(1): 44-50.
[25] Zou Sicong, Zhang Shanqi, Zhen Feng. قياس فضاء النشاط اليومي المجتمعي والعوامل المؤثرة في الحيوية اعتمادا على السلوك الزماني-المكاني للسكان: أدلة من شارعي شاجو ونانيون في نانجينغ2021 ,[J]. Progress in Geography, 40(4): 580-596.
[26] Zhang Wenjia, Lu Daming. مراجعة قياس البيئة المبنية والبحوث التجريبية المؤثرة في السلوك الزماني-المكاني[J]. Urban Development Studies, 2019, 26(12): 9-16.
[27] TAO T, WANG J, CAO X. استكشاف العلاقات غير الخطية بين الخصائص المكانية ومسافة المشي إلى النقل العام[J]. Journal of Transport Geography, 2020, 82: 102560.

[28] Tao Yinhua, Chai Yanwei, Yang Jie. منظور سلوكي زماني-مكاني لأنماط الحياة الصحية لدى السكان الحضريين[J]. Human Geography, 2021, 36(1): 22-29.
[29] Luo Xueyao, Zhang Wenjia, Chai Yanwei. آثار العتبة للبيئة المبنية في نطاقات الحياة لمدة 15 دقيقة[J]. Geographical Research, 2022, 41(8): 2155-2170.
[30] Zhang Xue, Chai Yanwei. إطار بحثي للتمايز الاجتماعي في المجتمعات السكنية المختلطة بناء على السلوك الزماني-المكاني2022 ,Human Geography. [J], 37(6): 39-46.
[31] Zhao Meifeng, Zhang Lanqing, Wang Degen. تمايز تخصيص مرافق الخدمة العامة الحضرية وعوامله المؤثرة من منظور نطاق الحياة: مقارنة بين مدن مختلفة الحجم في منطقة بكين-تيانجين-خبي2024 ,Urban Development Studies. [J], 31(10): 77-86.
[32] Zhang Yan, Chai Yanwei. جغرافيا الزمن "الجديدة": بحوث ابتكارية لفريق كايسا في السويدHuman Geography. [J], 2016, 31(5): 19-24.
[33] LATHAM A. تخطيط الاجتماعي: استكشاف إرث المناظر التخطيطية لتورستن هاغرستراندLandscape Research. [J], 2020, 45(6): 699-711.
[34] Ta Na, Chai Yanwei, Kwan Mei-Po. القياس السلوكي والتفاعل بين الفضاء والسلوك في أنماط الحياة اليومية لسكان الضواحي في بكين2015 ,Acta Geographica Sinica. [J], 70(8): 1271-1280.
[35] ZHANG S Q, YANG Y, ZHEN F, et al. فهم سلوكيات السفر وأنماط النشاط لدى الفئات الهشة باستخدام بيانات البطاقات الذكية: مقاربة قائمة على فضاء النشاط2021 ,Journal of Transport Geography. [J], 90: 102938.
[36] Jiao Jian, Wang De, Cheng Ying. أنماط النشاط اليومية وخصائص الفئات الفقيرة زمنيا في شنغهايCity Planning. [J], 2023, 47(4): 31-44.
[37] He Jiaming, Zhou Suhong, Xie Xuemei. أغراض التنقل اليومي والعوامل المؤثرة لدى النساء المقيمات في قوانغتشو من منظور الجغرافيا النسوية2017 ,Geographical Research. [J], 36(6): 1053-1064.
[38] GIURGE L M, WHILLANS A V, WEST C. لماذا يهم فقر الوقت للأفراد والمنظمات والدولNature Human Behaviour, 2020, 4: 993-1003. [J].
[39] KWAN M P. حدود أثر الجوار: لايقين السياق في بحوث الجغرافيا والصحة البيئية والعلوم الاجتماعيةAnnals of the American Association of Geographers, 2020, 108(6): 1482-1490. [J].
[40] MUURISEPP K, JARV O, TAMMARU T, et al. فضاءات النشاط ومصادر البيانات الضخمة في بحوث الفصل المكاني: مراجعة منهجية2022 ,Frontiers in Sustainable Cities. [J], 4: 861640.
[41] Wei Yue, Yang Dongfeng. آثار البيئة المبنية في الحي والمقصد على فرص النشاط اليومي لكبار السن: منظورا الإدراك والمشاركة2023 ,Progress in Geography. [J], 42(1): 89-103.
[42] YUAN Y H, XU Y. نمذجة فضاءات النشاط باستخدام البيانات الجغرافية الضخمة: التقدم والتحدياتGeography Compass, 2022, 16(11): e12663. [J].
[43] Niu Qiang, Yi Shuai, Gu Chongtai, et al. مفاهيم ومناهج جديدة لتوفير مرافق الخدمة في نطاقات الحياة المجتمعية المتصلة وغير المتصلة: أدلة من ووهان2019 ,Urban Planning Forum. [J](6): 81-86.
[44] Wu Lei, Niu Qiang, Ajiaibibula Ainiwar, et al. نطاقات الحياة المجتمعية المتصلة وغير المتصلة المندمجة بين الفضاء الافتراضي والمادي: ترقية تكرارية واستكشاف تخطيطي2024 ,Urban Planning Forum. [J](2): 25-33.
[45] ARRANZ-LOPEZ A, SORIA-LARA J A. استخدام تكنولوجيا المعلومات والاتصال والتجزؤ المكاني للمشاركة في النشاط في المجتمعات الحضرية بعد كوفيد-2022 ,Land Use Policy. [J]19, 120: 1-11.
[46] Yuan Zehao, Luo Yubo, Zhang Yu, et al. مناهج وتطبيقات بناء فضاءات النشاط الفردي اعتمادا على مراسي النشاط[J]. Journal of Geo-information Science, 2025, 27(11): 2652-2669.
[47] OMER I, KAPLAN N. الخصائص البنيوية لمركزيات شبكة الشوارع الزاوية والمترية ودلالاتها لتدفقات الحركةUrban Analytics and City Science, 2019, 46(6): 1182-1200. [J].

[48] Che Guanqiong, Qiu Baoxing, Wang Yitian, et al. تخطيط نطاق الحياة المجتمعية اعتمادا على محاكاة نشاط المشي لدى السكان: إطار البحث وقضاياه[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2024, 39(2): 139-143.
[49] Che Guanqiong, Lan Xu, Wang Yitian. التحسين المكاني للمناطق السكنية في نطاق الحياة تحت محاكاة مشي السكان[J]. South Architecture, 2025(2): 21-29.
[50] Zhou Zhifei. عدم التطابق بين السكان والفضاء في الفضاءات العامة للمجتمعات القديمة واستجابات التصميم[J]. Urban Problems, 2021(6): 25-33.
[51] YANG S Q, DANE G, ARENTZE T A. نموذج قائم على الوكلاء لمحاكاة الخبرات والأنشطة الوجدانية للمشاة من أجل تقييم تصميم الفضاء العام الحضري[J]. Cities, 2025, 166: 106292.
[52] WOLPERT L, OMER I. تحليل مقارن لنماذج حجم المشاة: النماذج القائمة على الوكلاء، ومناهج التعلم الآلي، وتحليل الانحدار المتعدد[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2025, 117: 102238.
ترجمة بمساعدة الذكاء الاصطناعي