التصميم الحضري في مواجهة الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي: تحوّل النمط المعرفي والتمكين الرقمي الذكي

LIU Yibo، WU Zirong، SUN Cheng

ملخص: لا يزال التصميم الحضري، بوصفه مجالاً وسيطاً بين التخطيط الحضري والعمارة، في مرحلة مبكرة من البناء النظري والاستكشاف التقني في سياق تطور الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي. وتواجه عملية التصميم أساساً مأزقين: مأزق عقلانية القيم ومأزق العقلانية الأداتية. ومن ثمّ ينبغي للتصميم الحضري أن يعزز عمق الإدراك واتساع التنفيذ من خلال تحوّل نمطي وتمكين رقمي ذكي. ففي مواجهة مأزق عقلانية القيم، يحتاج التصميم الحضري إلى الانتقال من نمطي الكلية والقيم إلى نمط تفاعلي، عبر إعادة بناء آليات العمل، وإعادة تشكيل منظومة القيم، وإعادة تنظيم الفضاء. أما في مواجهة مأزق العقلانية الأداتية، فينبغي الانتقال من نموذج تمكين رقمي مدفوع بالبيانات إلى نموذج مدفوع بالذكاء الاصطناعي، مع استكشاف مسارات دمج تقنيات عابرة للتخصصات مثل أشكال الحياة الاصطناعية، وسلاسل الكتل، ونماذج توليد الصور والفيديو، بما يوفر قوة تقنية دافعة لتحول النمط. كما ينبغي للتصميم الحضري المستقبلي أن يعود إلى مقصد التكنولوجيا الأول، وأن يحدد دور الذكاء الاصطناعي بوصفه مساعداً لا بديلاً، وصولاً إلى إدارة بيئة العمران طوال دورة حياتها.

الكلمات المفتاحية: الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي؛ التصميم الحضري؛ تحوّل النمط؛ التمكين الرقمي الذكي

تصنيف المكتبة الصينية: TU984؛ رمز الوثيقة: A

DOI: 10.16361/j.upf.202501009؛ رقم المقال: 1000-3363(2025)01-0064-07

نبذة عن المؤلفين: LIU Yibo، أستاذ مشارك ومشرف على طلبة الماجستير في كلية العمارة والتصميم، معهد هاربين للتكنولوجيا، والمختبر الرئيس لتخطيط الفضاء الإقليمي في المناطق الباردة وحماية البيئة وترميمها التابع لوزارة الموارد الطبيعية. البريد الإلكتروني: lyb@hit.edu.cn؛ WU Zirong، طالبة ماجستير في كلية العمارة والتصميم، معهد هاربين للتكنولوجيا، والمختبر الرئيس نفسه؛ SUN Cheng، أستاذ ومشرف على طلبة الدكتوراه في كلية العمارة والتصميم، معهد هاربين للتكنولوجيا، والمختبر الرئيس لعلوم وتقنيات بيئة السكن الحضري والريفي في المناطق الباردة التابع لوزارة الصناعة وتكنولوجيا المعلومات؛ المؤلف المراسل. البريد الإلكتروني: suncheng@hit.edu.cn.

التمويل: مشروع الشباب للصندوق الوطني للعلوم الطبيعية في الصين «آليات تأثير التحليل الكمي للخصائص الشكلية في الأداء الصحي المكاني للكتل الحضرية في المناطق الباردة وطرائق تحسين التصميم» (رقم المشروع: 52308018)؛ صندوق الابتكار للتعاون بين الجامعات والصناعة والبحث في الصين «بحث تطبيقي في تخطيط الفضاء وتوليد التصميم بمساعدة الذكاء الاصطناعي للأحياء الحضرية المخصصة للمشاة» (رقم المشروع: 2024SE031)؛ الصندوق الأساسي للبحوث في الجامعات المركزية «دراسة مقارنة للتصورات الجمالية الصينية والغربية في تصميم شكل الكتل الحضرية» (رقم المشروع: HIT.HSS.202312).

يتغلغل الذكاء الاصطناعي تدريجياً في الحياة الاجتماعية ويعيد تشكيلها بعمق. ومع الاختراقات في تقنياته المحورية وتسارع بناء سيناريوهات التطبيقات الناشئة، أصبح التمكين العلمي والتقني علامة بارزة للتنمية العالية الجودة. وقد غدا الذكاء الاصطناعي قوة مهمة تقود التحديث الصيني، كما يعيد تشكيل منظومات العناصر وآليات التشغيل في مجالي العمارة والتخطيط على نحو عميق[1].

منذ دخول الذكاء الاصطناعي إلى حقل التصميم الحضري في أواخر القرن العشرين، أصبحت الرقمنة والمعلوماتية سنداً متزايد الأهمية لتطوره. وتوفر تقنيات الذكاء الاصطناعي، مثل الواقع الافتراضي[2] والرؤية الحاسوبية[3]، بيانات عالية الدقة وكبيرة الحجم للتحليل الحضري. وبالاستناد إليها، تدعم وظائف مثل تفسير العناصر[4-7]، ومحاكاة التطور[8-12]، وتوليد القرارات[13-14]، وتقييم التنفيذ[4,15-17] التنبؤ بأهداف التنمية الحضرية المستدامة وتنفيذها[18]، وتعزز في الوقت نفسه حماية البيئة والنمو الاقتصادي والعدالة الاجتماعية[19-22]. وقد قدمت الدراسات القائمة[23-24] محاولات مفيدة لاستخدام الذكاء الاصطناعي في استخراج ومحاكاة قوانين تطور السكان والفضاء الحضري وتقييم آثار مواقع المنشآت، وحققت عموماً كشفاً أدق للانتظامات وبناءً علمياً للنظم، بما يلبي جزئياً الحاجات الأساسية للتخطيط والتصميم الحضريين في تحليل البيانات الحضرية ومحاكاة التنمية وتحسين البنية المكانية وتوزيع الوظائف. واليوم بدأت آثار الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي في دفع التصميم الحضري تظهر، غير أن البحث لا يزال في بدايات البناء النظري والاستكشاف التقني. لذلك فإن تحليل مأزق التصميم الحضري الراهن وتجاوزه بتقنيات الذكاء الاصطناعي الجديدة، في إطار استشراف منهجي، يمثل اتجاهاً حتمياً لتطوره الابتكاري.

1 المآزق: مفارقات واقعية في مسار تطور التصميم الحضري

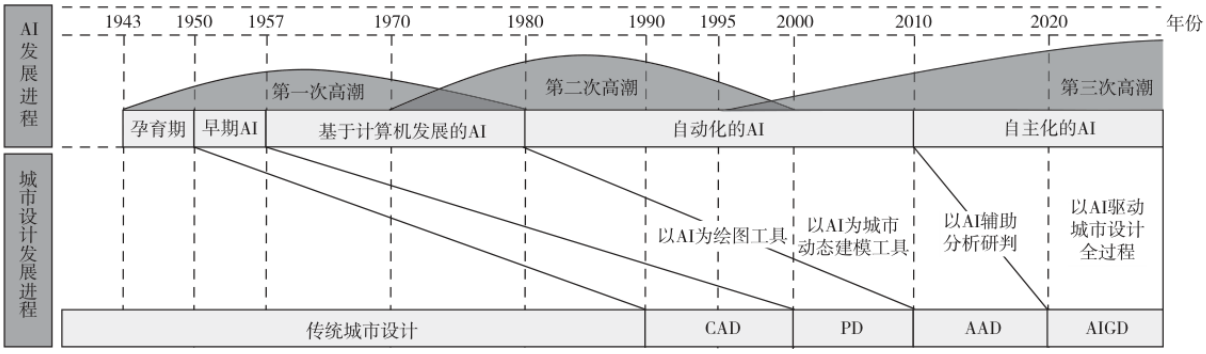
بوصفه مجالاً عابراً للتخصصات يصل بين التخطيط الحضري والعمارة، يتسم التصميم الحضري بالدافعية الإبداعية، وبوحدة العقل والعاطفة، وبالتوجه الإنساني، وبالتجسيد المكاني[25-26]. يحلل هذا القسم مسار تطور التصميم الحضري تحت تأثير الذكاء الاصطناعي وخصائصه، ثم يلخص المفارقات القائمة في مراحل العملية التصميمية في ظل الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي، ليستخلص مأزقين واقعيين: عقلانية القيم والعقلانية الأداتية.

1.1 تطور التصميم الحضري تحت تأثير الذكاء الاصطناعي

منذ منتصف القرن العشرين، استخدم الذكاء الاصطناعي في مجالي الأحياء والصناعة طرائق بحثية مثل الخوارزميات الوراثية للنماذج المغلقة[27] والتصميم الأمثل المتكامل للموجات الميكروية[28]. لكنه لم يدخل مجال الدراسات الحضرية إلا في أواخر القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين، وكانت وظيفته غير واضحة؛ لذلك تأخر إدخاله إلى التصميم الحضري نظرياً وتقنياً. وتحت تأثيره مر التصميم الحضري تباعاً بمرحلة التصميم بمساعدة الحاسوب (computer-aided design, CAD)، حيث كان الذكاء الاصطناعي المبكر أداة للرسم؛ ثم مرحلة التصميم البارامتري (parametric design, PD)، حيث صار الذكاء الاصطناعي القائم على تطور الحوسبة أداة لنمذجة الديناميات الحضرية؛ ثم مرحلة التصميم بمساعدة الخوارزميات (algorithms-aided design, AAD)، حيث دعمت الأتمتة التحليل والحكم. وكما يبين الشكل 1 والجدول 1، تشكل مبدئياً نظام نظري ومنهجي وتقني لمساندة التصميم الحضري بالذكاء الاصطناعي[33-35]، وتتزايد شموليته وعمليته وابتكاريته وعلميّته مع تقدم البحوث والممارسات ذات الصلة.

في السنوات الأخيرة، جعل تعقّد أشكال تطور النظم البيئية الحضرية وعدم يقين السياقات السياساتية مهام التصميم الحضري أكثر تعقيداً. ومع ذلك لا تزال البحوث الحضرية تواجه مشكلات انقطاع حلقات التصميم، وارتفاع كثافة العمل المعرفي وكلفته[32]. ومن ثم أصبحت الحاجة ملحة إلى تجديد مخرجات التخطيط والتصميم، وإلى بناء علاقة ترابط وتغذية راجعة بين التخطيط-التصميم وحوكمة الفضاء. وعلى الرغم من أن الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي، ممثلاً في نماذج اللغة الكبيرة مثل ChatGPT ونماذج توليد الصور مثل Stable Diffusion، لا يزال في بدايات تطوره التقني، فإن قدرته على دمج البيانات الضخمة العالية الأبعاد والمتعددة المصادر، وإمكاناته في التدريب الذاتي والتكيف، وعلميّته وقابليته للتفسير، تبشر بآفاق التصميم المولّد بالذكاء الاصطناعي (artificial intelligence-generated design, AIGD)[36]. إن قيادة الدراسات الحضرية بالذكاء الاصطناعي تستجيب لموجة تقنية جديدة وتتمحور حول حاجات التحول الابتكاري في العمارة والتخطيط.

في الوقت الراهن، حظي الذكاء الاصطناعي باعتراف واسع كتقنية محورية لدعم تطور التصميم الحضري. غير أن آثار جيله الجديد في الفضاء الحضري ونظام عمل عناصره، وكذلك في بحوث التخطيط الحضري وممارساته، ولا سيما التصميم الحضري، ما زالت تطرح أسئلة واقعية معلقة.



الشكل 1 العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والتصميم الحضري

الجدول 1 تطور التصميم الحضري تحت تأثير الذكاء الاصطناعي

城市设计进程	发展时间	AI工具	城市设计发展优势	城市设计发展问题
CAD	20世纪末21世纪初	早期AI	借助以CAD等计算机绘图软件为代表的AI传达设计方案[29]，主要使用勘测调研、问卷调查等田野调查法获取城市空间数据	设计数据精度较低，设计要素单一，设计空间大多仅停留在人视角下建筑和场地空间的功能和美学层面，设计工作单向传导，繁重低效，且存在与城市规划、城市治理逻辑分离
PD	2000年至2010年	基于计算机发展的AI	通过AI提供的描述城市情境的参数化工具和可将参数化工具与城市社会经济数据进行空间融合的设计平台，构建城市多元性能的量化指标体系，建立短期时间演变下的城市立体模型，使构想经济效益达成最优解的空间方案成为可能	由于计算、存储能力限制，基于计算机发展的AI离识别与获取高精度、高产量、高质量数据尚有一段距离，此外城市动态模型建设成本极高，在城市设计中的普及性和实施性不强，相当一部分城市设计仍以质性研究为决策依据[30]
AAD	2010年至2020年	自动化的AI	利用自动化AI，突破CAD等绘图软件和BIM等3D建模软件的局限性，学习城市系统要素特征的能力，结合专家决策预测城市系统发展、提出风险防控决策和监督系统运转[31]	由于AI尚未形成基于城市规划建设理论研究和实践经验的城市空间认知，其设计决策输出质量不高，且设计师需在该过程中投入大量时间成本，因此城市多方利益主体对其智能决策模型的实施性仍保持观望态度[32]
AIGD	2020年至今	新一代自主化的AI	具备海量高维度多源数据集成能力、自训练和自适应潜力、科学性和可解释性	

1.2 المآزق الواقعية للتصميم الحضري

يمكن تلخيص العملية النموذجية للتصميم الحضري في حلقات عدة: طرح مشكلة التصميم، وتطوير خطة التصميم، وتقييمه، واتخاذ القرار بشأنه، ثم حل المشكلة[25]. وقد عوض تنوع مصادر البيانات وذكاء المنصات المتكاملة بين الإنسان والآلة، في ظل دفع الذكاء الاصطناعي، قصور الأدوات القائمة في القرار والإبداع التصميميين. ففي كل مرحلة يمكن للتقنيات ذات الصلة معالجة نماذج بيانات التصميم الحضري وتحليلها ومحاكاتها وعرضها، بما يرفع الكفاءة ويحل المشكلات ويحسن جودة التصميم. وقد أصبح الرأي القائل بأن

الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي سيقود تحولاً شاملاً في عملية التصميم الحضري محل توافق بحثي[15,23,26,37-38]. وتتجلى المآزق الراهنة للتصميم الحضري أساساً فيما يأتي (الشكل 2).

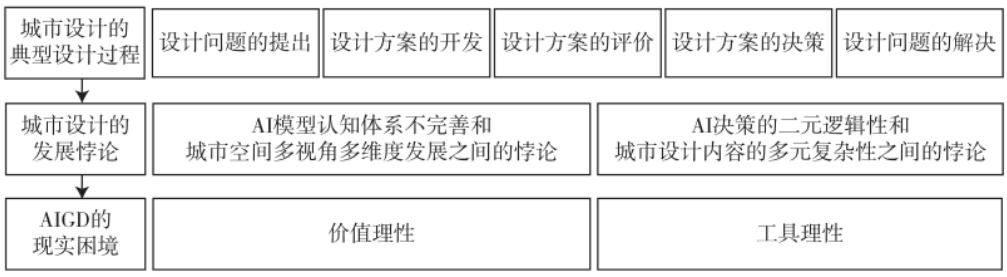
(1) في مرحلتي طرح مشكلة التصميم وتطوير الخطة، تظهر مفارقة بين عدم اكتمال المنظومة الإدراكية لنماذج الذكاء الاصطناعي وبين تطور الفضاء الحضري متعدد المناظير والأبعاد. وتتجلى حدود إدراك نماذج الذكاء الاصطناعي في مستويين: أولهما أن نماذج التصميم الحالية تميل إلى تحسين القدرة التنافسية الاقتصادية للفضاء الحضري، بينما تفتقر إلى معالجة المعلومات المكانية غير المادية التي لا تلتقطها مستشعرات البيانات، مثل السياق التاريخي وجماليات التصميم. وقد طُورت بعض المناهج التي تمزج المؤشرات الكمية والنوعية، إلا أنها لا تزال في بدايتها ولا تصلح إلا لتصميم عنصر منفرد، ولم تطبق بعد في مشاهد حضرية معقدة؛ كما أن الدراسات الخاصة بالتصميم الثلاثي الأبعاد ومتعدد المقاييس ما زالت محدودة. وثانيهما أن تجدد تقنيات الذكاء الاصطناعي يتسم بعبور التخصصات، بينما ينطوي التصميم الحضري على مصالح متعددة، الأمر الذي يرفع متطلبات خرائط المعرفة والنماذج المتكاملة في AIGD. ومن ثم أصبح تحديد علاقة الإنسان بالآلة وموقع التخصص، وبناء منصات مساعدة متعددة المستويات قائمة على بيانات متغايرة ومتعددة المصادر، ودمج المعرفة المهنية المركبة، وإنشاء آليات AIGD تجمع خوارزميات وآليات توليد مختلفة، قضايا أساسية.

(2) في مرحلتي تقييم التصميم واتخاذ القرار، تظهر مفارقة بين المنطق الثنائي لقرار الذكاء الاصطناعي وبين التعدد والتعقيد في محتوى التصميم الحضري. فمعظم طرائق البحث المتعلقة بالذكاء الاصطناعي لا تزال في طور المفهوم أو التحقق التجريبي، وتركز على رفع ذكاء النماذج والمنصات، غير أن مستوى الذكاء لا يساوي بالضرورة القدرة على القرار التصميمي. ويتجلى الذكاء غالباً في سرعة الحساب والقرار وقدرة المعالجة متعددة الخيوط، بينما تتطلب المدينة، بما لها من تعددية أبعاد وطابع هندسي واجتماعي، تقويماً متعدد الأهداف لمشاهد تصميم معقدة، وتعزيز الصلة بين البحث العلمي في الذكاء الاصطناعي والإبداع التصميمي، ورفع قدرة تقنيات الذكاء الاصطناعي على التعميم. كما أن منطق نظم القرار الحالية في الذكاء الاصطناعي يختلف عن تفكير أصحاب المصلحة في المدينة؛ وقد تتباين نتائج تفسيره المكاني عن واقع المدينة، وتكون قراراته ثنائية غالباً، فتقع بين الأبيض والأسود، مما قد يؤدي إلى نقص في الاعتبار الأخلاقي وإلى لاعدالة مكانية[39] أو إلى الانفصال عن الواقع.

إجمالاً، وانطلاقاً من خصائص تطور تقنيات الذكاء الاصطناعي والنظم الحضرية ومنطق التصميم الحضري، فإن التصميم الحضري الموجه إلى الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي يحتاج في جوهره إلى حل مأزقين:

(1) مأزق عقلانية القيم. يتطور الذكاء الاصطناعي بقوة، لكنه يصعب أن يتوافق تماماً مع آليات التصميم الحضري؛ وتعود حدود الإدراك والقرار في التصميم الحضري في جوهرها إلى عدم وضوح حقوق ومسؤوليات الفاعلين المتعددين في تشغيل الذكاء الاصطناعي. وسيحدد ذلك إيكولوجيا تطور AIGD، أي درجة اندماج تقنية الذكاء الاصطناعي مع عمل المصممين، وأدوات التصميم الحضري، وأعمال الحوكمة الحضرية، لينعكس في النهاية على فاعلية قرارات التصميم وقوة تنفيذها. وعلى مستوى عقلانية القيم، ينبغي للتصميم الحضري أن يستجيب عبر استخلاص السمات الجديدة ومتطلبات التحول في نمطه من خصائص تطبيقات الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي.

(2) مأزق العقلانية الأداتية. إن النزعة العابرة للتخصصات في تطور الذكاء الاصطناعي، والمضمون الاجتماعي للمدينة، والفوارق المحلية، تفرض متطلبات تقنية على التصميم المكاني المخصص. وفي هذه المرحلة يصعب على الذكاء الاصطناعي بناء نموذج رقمي ذكي يغطي المدينة بكاملها، كما أن القيمة العملية للخطط الحضرية التي يولدها ما تزال محدودة. وسيحد ذلك من مشاركة السوق والجمهور في AIGD، ويقيّد نطاق تطبيقه الصناعي، ويؤثر في قوة تطوره وفي تحقق عقلانيته. وعلى مستوى العقلانية الأداتية، ينبغي للتصميم الحضري أن يوضح منطق التمكين الرقمي الذكي من الانتقال من النموذج المدفوع بالبيانات إلى النموذج المدفوع بالذكاء الاصطناعي.



الشكل 2 المأزق الواقعي للتصميم الحضري

2 تحوّل النمط: من التصميم الأحادي إلى التصميم الهجين

لتحقيق تصميم حضري متوافق مع عقلانية القيم في سياق الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي، ينبغي أولاً تفسير اتجاه تحول نمط التصميم الحضري في هذه المرحلة. ويمكن تلخيص تطور أنماط التصميم الحضري بحسب خصائص علاقة الإنسان بالآلة في ثلاث مراحل: نمط كلي، ونمط قيمي، ونمط تفاعلي؛ أي الانتقال من نمط تصميم حضري ذاتي لم يتأثر بالذكاء الاصطناعي ويعتمد على العقل البشري وحده، إلى النمط الموضوعي الراهن الذي تستند فيه نماذج بارامترية وخوارزميات إلى القرار الحاسوبي، ثم إلى نمط مستقبلي هجين قائم على تفاعل الإنسان والآلة. ويتضمن هذا التحول إعادة بناء الآليات، وإعادة تشكيل القيم، وإعادة تنظيم الفضاء.

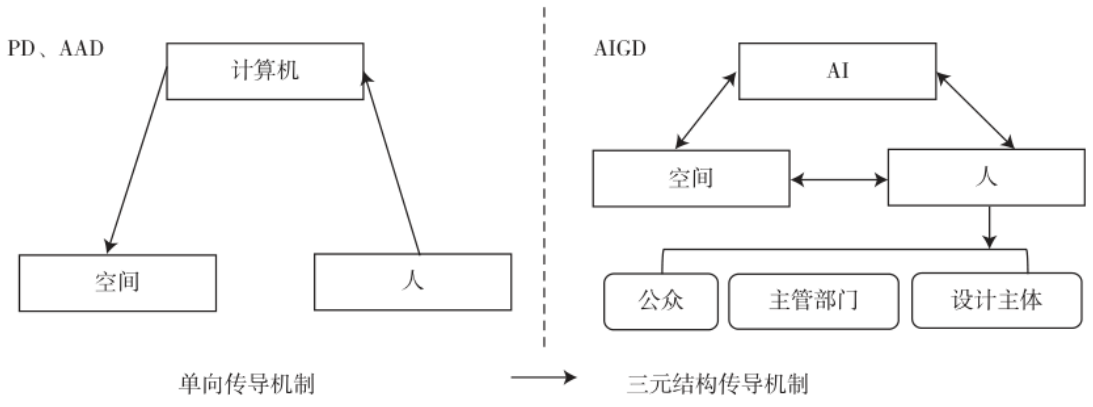
2.1 إعادة بناء آلية الانتقال

في مرحلتي PD وAAD جذبت قدرات الحاسوب القوية على التخزين والحساب اهتمام القطاع. واتسم التصميم الحضري حينها بسمة دعم بيانات واضحة، وبدت آلية انتقاله في بنية أحادية الاتجاه «حاسوب-فضاء-إنسان». فكان المصممون يتلقون سلبياً نماذج التحليل والمراقبة والتنبؤ الحضري التي يقدمها الذكاء الاصطناعي ثم يستكملونها. وقد سرّع ذلك، من جهة، تحويل الإدراك المكاني الحضري من تعبير نوعي إلى معلومات كمية تضم التطور التاريخي ومتعددة المقاييس وقابلة للتحديث الديناميكي؛ لكنه، من جهة أخرى، جعل نتائج التصميم تميل إلى اختزال مصالح المدينة المتعددة في التنافسية الاقتصادية، وإلى النظر إلى الفضاء الحضري كفضاء فيزيائي مُكمّم بالكامل وخالٍ من العناية الإنسانية، وإلى اعتبار التخطيط والتصميم مجرد صيانة لأعطال نظام البيانات الحضرية.

ومع ابتكار تقنيات الذكاء الاصطناعي، سيولي التصميم الحضري، طلباً لقابلية التحكم، مزيداً من الاهتمام لمنطق عمل أنظمة الذكاء الاصطناعي ومعناه الدلالي، وللارتكازات المكانية المحددة، وللتعاون مع المصممين في التنفيذ. وبناءً على مزايا الآليات السابقة وحدودها، يُقترح بناء آلية ثلاثية للتغذية الراجعة «إنسان-ذكاء اصطناعي-فضاء» (الشكل 3).

ومن حيث الوظائف، سينتقل المصممون من دور الرسامين والمخططين إلى دور خبراء في الخبرة والمنطق التصميميين ومبدعي خطط التصميم. وعليهم أن يزودوا الذكاء الاصطناعي بخبرة التصميم، وأن يتحققوا في الوقت المناسب من إدراكه التصميمي ومن تشغيل نماذجه ومن تنفيذ方案ه ويحسنوها. أما الجهات المختصة فستحدد أساساً معايير AIGD وقواعده وتوجهاته القيمية، وتدير رقابة وتقييماً دوريين لنماذج التصميم الحضري ومخرجاته. وينقل الجمهور، عبر نموذج الذكاء الاصطناعي، تجدد فهمه للذكاء الاصطناعي ولمخرجات التصميم المدفوعة به، إضافة إلى التعبير عن احتياجاته ومقترحاته الرقابية. وسيفسر الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي الإطار المنطقي وخطط التصميم الحضري المكتسبة عبر معلمات محددة، ثم يولد نماذج للآثار الحضرية المثلى كمرجع للتغذية الراجعة الأولية. أما الفضاء الحضري، بوصفه مرجعاً واقعياً للتدريب الذاتي والتكيف في النماذج، فسيسمح بتحديث منظومة الإدراك المكاني في اتجاه يجمع الرأسي والأفقي والذاتي والموضوعي، كما يعمق منظومة التصميم المكاني باتجاه الجمع بين الحس التصميمي والعلمية، وبين الوظيفة والإنسانية.

تكسر هذه البنية الثلاثية جمود التصميم السلبي الراهن، وتبين أن الذكاء الاصطناعي، في جوهره، يتشكل بالمدينة وبالإنسان، مما يمنح AIGD ترابطاً داخلياً قوياً وقابلية للتطور. فالمدينة، بوصفها مركباً يشكل الديناميات الاجتماعية، لا تتلقى AIGD سلبياً، بل تعيد تشكيل الفضاء المادي عبر السلوك البيئي في التصميم الحضري؛ وتوفر عناصرها المكانية وبياناتها المواد الأولية والطاقة للذكاء الاصطناعي، كما تؤثر في طبيعته نفسها[40].



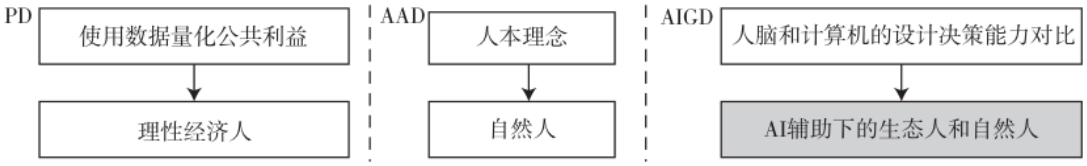
الشكل 3 منطق إعادة بناء آلية انتقال AIGD

2.2 إعادة تشكيل القيم الإنسانية

الإنسان هو العنصر البنيوي والمحرك المركزي للمدينة وللذكاء الاصطناعي، وهو أيضاً نقطة انطلاق تعريف مشكلات التصميم الحضري والذات التي تدرك نتائجه. وينبغي أن ينجز الإنسان عمليات التصميم والبناء والرقابة بمساعدة الذكاء الاصطناعي، كما تؤثر حلول مشكلات التصميم مباشرة أو غير مباشرة في الجماعات البشرية. ركزت مرحلة PD على تكميم المصلحة العامة وعدّت أصحاب المصلحة المتعددين فاعلين اقتصاديين مثاليين؛ أما مرحلة AAD فأدخلت الفكرة الإنسانية بدرجة أكبر ووضعت الإنسان في موقع الشخص الطبيعي. وفي مواجهة الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي، يحتاج التصميم الحضري، انطلاقاً من خصائص عمل الدماغ البشري والحاسوب وحاجات تطور المجتمع والفرد، إلى توضيح علاقة الإنسان بالآلة وإعادة تشكيل قيم التصميم.

من منظور قدرات القرار التصميمي، يجمع الدماغ البشري بين قدرة حسابية محدودة ووحدة العقل والعاطفة. ويتمتع الذكاء الاصطناعي، بفضل قدراته القوية نسبياً في الحساب والتخزين، بمزايا في الإدراك الحضري وكفاءة التعلم والربط المعرفي، لكنه يفتقر إلى أساس إدراكي في التصميم الحضري وإلى قدرة إبداعية حقيقية[41]. ويمكن للجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي أن يلتقط بيانات

مكانية حضرية ومعلومات إدراكية بشرية عالية الدقة ومتعددة الأبعاد؛ وبذلك يصبح امتداداً مادياً يستعين به الإنسان في التعمق في قوانين عمل المدينة وحاجات التصميم، وأحد قوى الإنتاج في التصميم الحضري الذي يقوده الإنسان. ففي البيئة الطبيعية يُفهم الإنسان عبر التركيب المكاني لصفاته الاجتماعية والطبيعية؛ وفي البيئة الاجتماعية تتضح حقوق ومسؤوليات وآليات رقابة الفاعلين ضمن تقسيم العمل في التصميم الحضري. وهكذا يدفع الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي نحو إدماج الإنسان البيئي والإنسان الطبيعي في التصميم الحضري (الشكل 4).



الشكل 4 منطق إعادة تشكيل القيم الإنسانية في AIGD

2.3 إعادة تنظيم فضاء التصميم

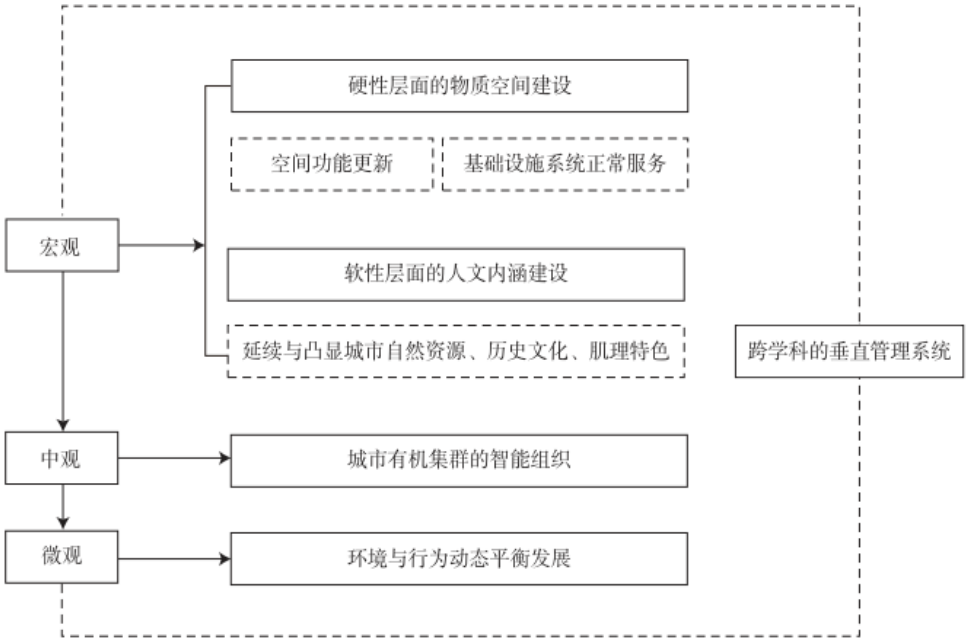
بما أن التصميم الحضري هو إبداع لنظام مكاني، فإن نمط التمكين الذي يقدمه الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي سيتجلى في النهاية في إعادة تنظيم فضاء التصميم. وتتم هذه العملية على مستويات كلي ومتوسط وجزئي (الشكل 5).

2.3.1 المستوى الكلي: نظام تطور للتصميم الحضري يجمع الأبعاد المادية واللامادية

على المستوى الكلي، يستطيع AIGD تحقيق نموذج للتطور المكاني يجمع الصلب واللين، أي يزاوج بين البناء المادي للفضاء والبناء الإنساني. فالتصميم الحضري «الصلب» يركز أساساً على تحديث الوظائف المكانية وتشغيل نظم البنية التحتية بصورة طبيعية، لضمان الأنشطة الأساسية للإنتاج والحياة وتعزيز مرونة الفضاء. أما التصميم «اللين» فيؤكد استمرارية موارد الطبيعة والتاريخ والثقافة والخصائص الشكلية للمدينة وإبرازها، حتى يحتفظ الفضاء الحضري بآثار نموه، ويعبّر عن مشاركة الجمهور في تاريخ المدينة، ويرفع قيمته الإنسانية وإحساس الانتماء إليه.

2.3.2 المستوى المتوسط: نظام ذكي لتنظيم العناقيد العضوية الحضرية

على المستوى المتوسط، سيظهر فضاء التصميم الحضري المُمكّن بالجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي منطقاً ذكياً لعناقيد عضوية معقدة. فقد عززت تطبيقات الذكاء الاصطناعي السابقة التطور العقلاني للتصميم الحضري ويسرت التشغيل والإدارة الحضرية، لكنها ضغطت أيضاً إمكانات الفضاء في عناقيد وظيفية متعددة[42-43]. ويمكن للجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي أن يبني فضاءً حضرياً افتراضياً بمقياس الواقع، وأن يحسب إمكانات التركيب العضوي لعناصر حضرية متعددة بحسب الأنشطة الحضرية، وأن يحاكي أنماط تنظيم العناقيد، ويستخلص متطلبات التصميم المكاني الناتجة عن التنظيم الذاتي للأنشطة الحضرية ويراقب تنفيذها. وهكذا تصبح العناقيد وحدات لخلق الحيوية المكانية والمرونة الوظيفية وتعزيز تنمية حضرية أكثر ذكاءً وعضوية.



الشكل 5 منطق إعادة تنظيم فضاء التصميم في AIGD

2.3.3 المستوى الجزئي: وساطة مكانية للتوازن الديناميكي بين البيئة والسلوك

على المستوى الجزئي، سيركز التصميم الحضري المدعوم بالجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي على أنماط التشغيل المحددة للعناقيد العضوية الحضرية، أي على منطق المكان والسلوك وتأثيراتهما المتبادلة، من أجل تحقيق توازن ديناميكي بين البيئة والسلوك. فمن جهة، قد تثير خصائص مكانية مثل انخفاض نسبة التشجير، وارتفاع كثافة السكان والبناء، ورتابة النسيج الحضري، أو عدم ملاءمة مقياس المدينة للأنشطة الزمانية-المكانية مشاعر سلبية وتخفض كفاءة الأنشطة الحضرية؛ ومن جهة أخرى، يمكن أن تؤدي زيادة السلوكيات السلبية لدى السكان بدورها إلى خفض كفاءة استخدام الفضاء الحضري وإعاقة كفاءة إنتاج المدينة وتقاسم المرافق وانفتاح الفضاءات العامة. ويستطيع الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي استخراج انتظامات زمانية-مكانية محددة بين السلوك البشري والبيئة الحضرية، ومساعدة المصممين على تحقيق تصميمات مكانية دقيقة متوافقة مع المبادئ الإنسانية.

إضافة إلى ذلك، يستطيع نظام الإدارة العمودية للتصميم الحضري الحفاظ على النظام العضوي لفضاء التصميم من المستوى الكلي إلى الجزئي، وقياس عمل كل مستوى ديناميكياً ورصد تنفيذه. وبوجه عام، فإن الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي، بفضل قدرته على تخزين بيانات ضخمة وعلى التفسير المتكامل، يدفع إلى اندماج المستويات الكلية والمتوسطة والجزئية وامتدادها، وإلى عرضها بصرياً ومتكاملاً وواقعياً، مما يعزز إدراك التصميم الحضري وتنفيذه عمقاً واتساعاً.

3 التمكين الرقمي الذكي: من نموذج مدفوع بالبيانات إلى نموذج مدفوع بالذكاء الاصطناعي

كان الانتقال من CAD وPD إلى AAD وAIGD مدفوعاً دائماً بالتقنية. فقد تجلت المراحل الأولى أساساً في تعزيز قدرات التحليل المكاني الحضري والرصد الديناميكي بدفع من البيانات. ومع الظهور المتواصل لمنصات أكثر ذكاءً للتكامل بين الإنسان والآلة، بدأ التصميم الحضري أيضاً استكشاف تقنيات يقودها الذكاء الاصطناعي، وذلك في ثلاثة اتجاهات رئيسة.

أولاً، حول رسم خرائط الكيانات، يتيح استكشاف تطور النماذج الحضرية الذكية إمكانات جديدة لتمثيل خصائص المدينة. فـ«التوأم الحضري»، الذي تتمحور تقنياته حول الواقع الافتراضي والتعلم الآلي، يستطيع الحصول على بيانات مكانية واقعية عبر تتبع البيانات الديناميكية والتعرف إليها، وبناء روابط آنية وتغذية راجعة ديناميكية بين المدينة المادية والمدينة الرقمية.

ثانياً، حول المحاكاة والتنبؤ، يوفر استكشاف تقنيات الاستدلال الذكي مسارات تحليل لألعاب تفسير المعلومات الحضرية متعددة الأبعاد وتحسينها ديناميكياً. ومع تعزيز الذكاء الاصطناعي قدرات المحاكاة والتنبؤ في النماذج الحضرية الذكية، ركزت دراسات كثيرة على التنبؤ بحجم السكان ونمو الأراضي وتدفقات المرور وغيرها[19,21-22,44].

ثالثاً، حول التصميم الدقيق، يوفر التصميم التوليدي المدعوم بخوارزميات متعددة للتعلم العميق والتعلم الآلي سنداً تقنياً للتنفيذ في بيئات مبنية معقدة. وقد استعانت دراسات متتابعة بالذكاء الاصطناعي للتفاعل المكاني واتخاذ القرار التصميمي، عبر بناء منصات تفاعلية بواسطة توليد نماذج التصور المكاني وتصميمها، بما يدفع التصميم الدقيق قدماً.

في الوقت الراهن لا يزال مجال التصميم مدفوعاً أساساً بالبيانات والخوارزميات. غير أن الطب والأحياء والرياضيات بدأت تستكشف الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي[45] وتقترح مسارات لدمج التقنيات العابرة للتخصصات مع الذكاء الاصطناعي. وهذه المسارات تقدم مراجع تقنية للتصميم الحضري كي يصبح حقاً مدفوعاً بالذكاء الاصطناعي ويتجاوز مأزق العقلانية الأداتية. ويمكن تلخيصها في ثلاثة اتجاهات.

3.1 الذكاء الاصطناعي + أشكال الحياة الاصطناعية

لا تزال تقنيات الذكاء الاصطناعي الحالية محدودة غالباً بعمليات ذكية في مجالات منفردة، مثل التعرف إلى الصور أو الكلام أو الإجابة الحوارية[46-47]. ولذلك يتجه الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي إلى تعاون وظائف دماغية كلية، مثل الفهم الذاتي، والضبط الذاتي، والوعي الذاتي، والدافعية الذاتية. ويطور نماذج تعلم لذكاء الدماغ (brain intelligence, BI) انطلاقاً من الحياة الاصطناعية (artificial life, AL) وتقنيات الذكاء الاصطناعي، مستخدماً لا بنى الشبكات العصبية وآليات تحسين المعلمات فحسب[48]، بل أيضاً نماذج جينية مثل شبكات تنظيم الجينات (gene regulatory network, GRN) وشبكات التفاعل التطورية (evolutionary reaction network, ERN)[49]. وتعوض هذه النماذج بعض نواقص التعلم العميق، مثل عجز نماذج التدريب الذاتي عن أداء عدة مهام في الوقت نفسه وعن نقل مكتسبات التعلم بين التخصصات والمجالات، فتتيح للذكاء الاصطناعي العمل باستقلالية وكفاءة في بيئة غير مراقبة. كما يستطيع ذكاء الدماغ بناء علاقات بين عناصر لا تبدو مرتبطة بوضوح، على غرار الدماغ البشري[50]. ولا تزال أبحاث نماذج تعلم ذكاء الدماغ في الطب والأحياء في المستوى النظري، إلا أن إطارها المنطقي يقدم مرجعاً لتحقيق تغذية راجعة معلوماتية بين الذكاء الاصطناعي والمصممين في التصميم الحضري.

3.2 الذكاء الاصطناعي + سلسلة الكتل

تقدم تقنية الذكاء الاصطناعي للتصميم الحضري بيانات حضرية متنوعة وعالية الدقة، لكنها لم تكتسب بعد، على أساس تجربة البناء الحضري، قدرات كافية على تنظيف البيانات وفرزها وتفسيرها الدقيق وحماية أصولها[51]. ويؤدي ذلك، من جهة، إلى زيادة كلفة تحليل البيانات وتنفيذ المشروعات على المصممين، ومن جهة أخرى إلى تهديد محتمل للتنمية الحضرية والفضاء الإقليمي وحتى الأمن الوطني. ولإنشاء أنماط آمنة لإدارة البيانات غير المهيكلة، تقترح مجالات الصحة العامة والاتصالات الجمع بين سلسلة الكتل والذكاء الاصطناعي. فوظائف التخزين والتشفير اللامركزية وعالية الدقة في سلسلة الكتل يمكن أن تعزز قابلية إعادة إنتاج بيانات الذكاء الاصطناعي، وقدرته على الربط، وأمن التخزين، وكذلك قدرته على توليد عمليات تنظيف البيانات واستخدامها ذاتياً بحسب خصائصها[52-54]. وبذلك يصبح ممكناً الحصول على أصول بيانات عالية الجودة والتحكم بها في فضاءات حضرية متعددة بل وعلى المستوى الإقليمي. وعلى الرغم من أن هذه التقنية لا تُطبق حالياً إلا في تخزين البيانات الطبية والمالية وإحصائها، فإنها تحمل إمكانات لرفع كفاءة استخراج البيانات المكانية الحضرية واستدعائها وحمايتها.

3.3 الذكاء الاصطناعي + نماذج توليد الصور والفيديو

في التعبير عن مفاهيم التصميم الحضري ومشروعاته، تعالج نماذج النص إلى الصورة مثل DALL-E[55-56] ونماذج النص إلى الفيديو مثل Sora[57] مشكلة الإخفاق المتكرر في نماذج التدريب القائمة على خوارزميات GAN[58]. فمن خلال التدريب والتكيف المتعدد الوسائط بين النص والصورة، تدعم هذه النماذج بناء صور التصميم الحضري، وإعادة تمثيل العالم الفيزيائي الواقعي، ومحاكاة المشروعات. وهي في جوهرها تعيد تنظيم بنى معرفية مكانية متعددة الوسائط ومجزأة، وتحاكي قواعد تشغيل الفضاء الفيزيائي وتوسعها، مما يثري تفكير الإنسان وأفقه. فمن جهة توفر للتصميم الحضري تفسيرات متنوعة لسياقات معقدة، وتنقل المصمم من متلقٍ سلبي للبيانات إلى منتج نشط للمشروعات؛ ومن جهة أخرى تطور موضوع التصميم من الصورة المكانية إلى فضاءات إقليمية وحضرية تشكل بيئات مشهدية معقدة، فتُحسّن النظام العضوي لأنشطة الإنتاج والحياة على المستوى الإقليمي.

4 الخاتمة والآفاق: تصميم حضري موجه إلى المستقبل

في مواجهة مأزقي عقلانية القيم والعقلانية الأداتية تحت دفع الذكاء الاصطناعي، يمتلك التصميم الحضري فرصاً وضرورة للتحول النمطي والتمكين الرقمي الذكي. وبوجه عام، فإن الخروج من مأزق التصميم الحضري المدفوع بالجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي يتطلب العودة إلى مقصد التكنولوجيا الأول، وتحديد دورها من منظور أخلاقيات الذكاء الاصطناعي وأمنه بوصفها مساعدة لا بديلاً، بما يحقق إدارة بيئة العمران طوال دورة حياتها.

4.1 الجوهر: العودة إلى مقصد التكنولوجيا الأول

مهما حققت تقنيات الذكاء الاصطناعي من قفزات، فإن تطبيقها في التصميم الحضري يجب أن يظل موجهاً بالمقصد الأصلي للتصميم. ويمكن لـ AIGD أن يبرز التكافل المتبادل النفع بين الإنسان والفضاء الحضري عبر ما يأتي: ① بناء منطق قيمي وإطار تقني للذكاء الاصطناعي يعززان في الوقت نفسه قدرة التدريب الذاتي المتعدد الوسائط واستقلالية المصممين الحضريين؛ ② استخراج بيانات الفضاء الحضري وتوضيح أهداف التصميم انطلاقاً من خبرة التصميم الحضري ومشكلات الفضاء الراهنة وحاجات تطور المدينة والسكان؛ ③

توقع المخاطر المكانية ونقاط التحسين عبر محاكاة مشروعات التصميم الحضري التي يخصصها المصممون؛ ④ تحسين المشروعات والممارسات من خلال الجمع بين الإدراك المكاني المعبر عنه في المشاركة العامة وخبرة البناء لدى المصممين الحضريين.

4.2 الأخلاق: المساعدة لا الاستبدال

يقوم مبدأ تطور الذكاء الاصطناعي على رفع قابلية نماذج التدريب الذاتي للتكيف مع سيناريوهات متعددة، وزيادة قدرات التخزين والحساب، وتعزيز التحكم الذاتي والرقابة الذاتية للنماذج؛ ولا يستطيع هذا التطور ولا ينبغي له أن يحل محل دور المصمم. فمشروعات التصميم الحضري تتجدد مع تطور الإنسان وتتعمق من خلال العلاقة بين البيئة الحضرية والسلوك البشري. ولأن الذكاء الاصطناعي ليس طرفاً صاحب مصلحة في الفضاء الحضري، فهو لا يستطيع إدراك الأثر المكاني للتصميم مباشرة ولا تحديث إدراكه وتقنياته المكانية ذاتياً؛ بل يقتصر دوره على مساعدة المصممين في توسيع تفكيرهم التصميمي ثم تضييقه. وحتى مع دعم الذكاء الاصطناعي والبيانات عالية السعة، لا ينبغي للمصممين الإفراط في الاعتماد على تحليل البيانات والتصميم التوليدي؛ بل عليهم استخدام الأدوات الذكية لاستخلاص خبرة التصميم الحضري بكفاءة أكبر، وابتكار أفكار مستقبلية، وتحقيق وصل بين تمكين الناس والتمكين التقني على مستوى التصميم الحضري.

4.3 الإسهام: إدارة بيئة العمران طوال دورة الحياة

يمكن للجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي تبسيط إطار تشغيل التصميم الحضري وتحسين قابلية التنبؤ بالعناصر المكانية والتحكم بها. فعلى سبيل المثال، تسمح نماذج التوأم الرقمي القادرة على محاكاة عبور الزمان والمكان بفرز ظواهر محددة في بيئة العمران ومقارنتها؛ وتزيد خطط التصميم الحضري المخصصة بالذكاء الاصطناعي من علمية القرار وتعدديته؛ وتتيح تقنيات التعلم الآلي بناء أطر متنوعة للتعلم الذاتي في الفضاء الحضري، بما يعزز قدرة الذكاء الاصطناعي على التعميم وقابلية الخطط للتنفيذ؛ ويمكن لتقنيات الحوكمة بالذكاء الجمعي، انطلاقاً من فكرة التكافل بين أشكال حياة متعددة، أن تراقب ديناميكياً تنفيذ مشروعات التصميم الحضري. وباتخاذ الجيل الجديد من الذكاء الاصطناعي منصة، ستنجز آليات تشغيل التصميم الحضري ونماذج البيانات المكانية وصل المعلومات وتكامل التطور، وصولاً إلى إدارة دقيقة لبيئة العمران طوال دورة حياتها.

المراجع

[1] CAI Yuezhou. Gouvernance de l’innovation scientifique et technologique sous la direction du Parti communiste chinois et transformation numérique : perspective de construction et d’amélioration d’un nouveau système national fondé sur les données [J]. Management World, 2021, 37(8): 30-46. (بالصينية)

[2] DUAN Xuejun. Ville virtuelle : solutions techniques et applications [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2001(12): 1-3. (بالصينية)

[3] YE Yu, DAI Xiaoling. Possibilités d’application de la perception spatiale et du design dans les conditions des nouvelles technologies et des nouvelles données [J]. Time + Architecture, 2017(5): 6-13. (بالصينية)

[4] LONG Ying, SHEN Yao. Design augmenté par les données : réponses et transformations de la planification et du design dans un nouvel environnement de données [J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(2): 81-87. (بالصينية)

[5] WANG De, WANG Can, XIE Dongcan, et al. Comparaison des zones d’influence de centres commerciaux de différents niveaux à Shanghai à partir de données de signalisation mobile : cas de Nanjing East Road, Wujiaochang et Anshan Road [J]. Urban Planning Forum, 2015(3): 50-60. (بالصينية)

[6] JIANG Haobo, LU Shan, XIAO Yang. Méthode d’évaluation des couleurs urbaines des quartiers historiques et culturels de Shanghai fondée sur la technologie Street View [J]. Urban Planning Forum, 2022(3): 111-118. (بالصينية)

[7] TIAN Baojiang, NIU Xinyi. Pratique du design urbain appuyée par le big data : planification du réseau d’espaces d’activités publiques du quartier historique et culturel Hengshan Road-Fuxing Road [J]. Urban Planning Forum, 2017(2): 78-86. (بالصينية)

[8] LI Xia, YE Jiaan. Automates cellulaires fondés sur les réseaux neuronaux et simulation de systèmes complexes d’occupation des sols [J]. Geographical Research, 2005(1): 19-27. (بالصينية)

[9] WADDELL P, BORNING A, NOTH M, et al. Microsimulation of urban development and location choices: design and implementation of UrbanSim [J]. Networks and Spatial Economics, 2003, 3(1): 43-67.

[10] GAN Wei. Théorie et modèle de planification par IA du point de vue de la vie urbaine [J]. Planners, 2018, 34(11): 13-19. (بالصينية)

[11] WU Zhiqiang, GAN Wei. Pratique des technologies intelligentes de planification urbaine en période de transition [J]. Urbanism and Architecture, 2018(3): 28-31. (بالصينية)

[12] WU Zhiqiang. Planification urbaine assistée par IA [J]. Time + Architecture, 2018(1): 6-11. (بالصينية)

[13] ZHENG H, YUAN P F. A generative architectural and urban design method through artificial neural networks [J]. Building and Environment, 2021, 205(6): 108178.

[14] YANG Junyan, ZHU Xiao. Exploration d'un mode de conception interactive progressive à l'échelle de l'îlot pour le design urbain par intelligence artificielle [J]. Urban Planning International, 2021, 36(2): 7-15. (بالصينية)

[15] WANG Jianguo. Conception urbaine numérique fondée sur l'interaction homme-machine : réflexions sur la quatrième génération de paradigme de conception urbaine [J]. Urban Planning International, 2018, 33(1): 1-6. (بالصينية)

[16] SUN Cheng, HAN Yunsong, WANG Jiabiao. Recherche et pratique sur la conception computationnelle de la morphologie des enveloppes architecturales adaptatives [J]. Architectural Journal, 2022(2): 1-8. (بالصينية)

[17] BATTY M, SHEN Yao. L'IA dans l'urbanisme et la conception urbaine [J]. Time + Architecture, 2018(1): 24-31. (بالصينية)

[18] PAN Y, TIAN Y, LIU X, et al. Urban big data and the development of city intelligence [J]. Engineering, 2016, 2(2): 171-178.

[19] JIANG F, MA J, WEBSTER C J, et al. Generative urban design: a systematic review on problem formulation, design generation, and decision-making [J]. Progress in Planning, 2023, 180(1-35): 100795.

[20] QUAN S J, PARK J, ECONOMOU A, et al. Artificial intelligence-aided design: smart design for sustainable city development [J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2019, 46(8): 1581-1599.

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

[22] SHEN J, LIU C, REN Y, et al. Machine learning assisted urban filling [C]//Proceedings of the 25th CAADRIA Conference. Hong Kong: Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 2020, 2: 679-688.

[23] LONG Ying, ZHANG Enjia. Trois voies par lesquelles la révolution scientifique et technologique favorise les études et pratiques urbaines : laboratoires urbains, nouvelles villes et villes futures [J]. World Architecture, 2021(3): 62-65. (بالصينية)

[24] DENG Kaixuan, ZHANG Zhao, WANG Jun. Émergence et exploration du design intelligent de la morphologie urbaine dans le contexte numérique [J]. Urban and Rural Planning, 2023(3): 80-90. (بالصينية)

[25] GAN Wei, WU Zhiqiang, WANG Yuankai, et al. Construction d'un modèle théorique pour l'assistance AIGC à la conception urbaine [J]. Urban Planning Forum, 2023(2): 12-18. (بالصينية)

[26] WANG Jianguo. Les quatre générations de paradigmes de conception urbaine du point de vue de la planification rationnelle [J]. City Planning Review, 2018, 42(1): 9-19. (بالصينية)

[27] RENNER G, EKÁRT A. Genetic algorithms in computer aided design [J]. Computer-Aided Design, 2003, 35(8): 709-726.

[28] BANDLER J W. Optimization methods for computer-aided design [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1969, 17(8): 533-552.

[29] SARCAR M M M, RAO K M, NARAYAN K L. Computer Aided Design and Manufacturing [M]. Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.

[30] SCHUMACHER P. Design parameters to parametric design [M]//KANAANI M, KOPEC D. The Routledge Companion for Architecture Design and Practice. New York: Routledge, 2015.

[31] TEDESCHI A, LOMBARDI D. The algorithms-aided design (AAD) [M]//HEMMERLING M, COCCHIARELLA L. Informed Architecture: Computational Strategies in Architectural Design. Cham: Springer, 2017.

[32] POPELKA S, ZERTUCHE L, BEROCHE H. Urban AI Guide [M]. Geneva: Zenodo, 2023.

[33] GAN Wei. Étude des types et caractéristiques des technologies de planification urbaine intelligente en Chine et à l'étranger [J]. Urban Planning International, 2018, 33(3): 105-111. (بالصينية)

[34] YANG Junyan. Du design numérique au contrôle numérique : exploration par Weihai du paradigme de quatrième génération de la conception urbaine [J]. Urban Planning Forum, 2020(2): 109-118. (بالصينية)

[35] YANG Junyan, ZHU Xiao, SHAO Dian. Retour sur l'histoire : évolution et perspectives d'un siècle de technologies de conception urbaine fondées sur les graphes de connaissances [J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 20-27. (بالصينية)

[36] HERZOG O, PAN Haixiao, DENG Zhituan, et al. L'IA de nouvelle génération au service de l'urbanisme : opportunités et défis [J]. Urban Planning Forum, 2023(4): 1-11. (بالصينية)

[37] WANG Shifu, LIANG Xiaoqi, DENG Zhaohua. Réflexions sur les idéaux spatiaux de la conception urbaine en Chine [J]. Zhuangshi, 2021(1): 32-37. (بالصينية)

[38] WANG Fang. Accompagner la nature, intégrer l'humanisme et l'autonomisation numérique : intégration d'un paradigme de conception urbaine de la nouvelle ère dans Urban Design (4e éd.) [J]. The Architect, 2023(5): 126-129. (بالصينية)

[39] ZHANG Y. CityMatrix: an Urban Decision Support System Augmented by Artificial Intelligence [D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2017.

[40] CUGURULLO F, CAPROTTI F, COOK M, et al. Artificial Intelligence and the City: Urbanistic Perspectives on AI [M]. Oxfordshire: Taylor & Francis, 2023.

[41] GRIFFITHS T L. Understanding human intelligence through human limitation [J]. Trends in Cognitive Sciences, 2020(11): 873-883.

[42] VEREBES T. Modèles urbains interactifs : histoire et héritage liés au prototypage de la ville du XXIe siècle [J]. Urbanism and Architecture, 2015(28): 73-87. (بالصينية)

[43] VEREBES T, LI Xuening. Ville adaptative : changement urbain, résilience et trajectoire vers un urbanisme de caractère [J]. World Architecture, 2013(9): 101-105. (بالصينية)

[44] YIGITCANLAR T, CORCHADO J M, MEHMOOD R, et al. Responsible urban innovation with local government artificial intelligence (AI): a conceptual framework and research agenda [J]. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 2021, 7(1): 71-87.

[45] FUJII H, MANAGI S. Trends and priority shifts in artificial intelligence technology invention: a global patent analysis [J]. Economic Analysis and Policy, 2018, 58: 60-69.

[46] LI Y, LU H, LI J, et al. Underwater image de-scattering and classification by deep neural network [J]. Computers & Electrical Engineering, 2016, 54: 68-77.

[47] LU H, LI B, ZHU J, et al. Wound intensity correction and segmentation with convolutional neural networks [J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2017, 29(6): e3927.

[48] EMMERT-STREIB F, DEHMER M, HAIBE-KAINS B. Gene regulatory networks and their applications: understanding biological and medical problems in terms of networks [J]. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 2014, 2: 38-45.

[49] DINH H Q, AUBERT N, NOMAN N, et al. An effective method for evolving reaction networks in synthetic biochemical systems [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2014, 19(3): 374-386.

[50] LU H, LI Y, CHEN M, et al. Brain intelligence: go beyond artificial intelligence [J]. Mobile Networks and Applications, 2018, 23: 368-375.

[51] LUUSUA A, YLIPULLI J, FOTH M, et al. Urban AI: understanding the emerging role of artificial intelligence in smart cities [J]. AI & Society, 2023, 38(3): 1039-1044.

[52] TAGDE P, TAGDE S, BHATTACHARYA T, et al. Blockchain and artificial intelligence technology in e-health [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28: 52810-52831.

[53] GHOSH P K, CHAKRABORTY A, HASAN M, et al. Blockchain application in healthcare systems: a review [J]. Systems, 2023, 11(1): 38-82.

[54] ZUO Y, GUO J, GAO N, et al. A survey of blockchain and artificial intelligence for 6G wireless communications [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2023, 25(4): 2494-2528.

[55] JHAJARIA S, KAUR D. Study and comparative analysis of ChatGPT, GPT and DALL-E2 [C]//2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT). Piscataway: IEEE, 2023: 1-5.

[56] MARCUS G, DAVIS E, AARONSON S. A very preliminary analysis of DALL-E 2 [J]. arXiv preprint arXiv, 2022, 2(2204): 13807-13821.

[57] LIU Y, ZHANG K, LI Y, et al. Sora: a review on background, technology, limitations, and opportunities of large vision models [J]. arXiv preprint arXiv, 2024, 3(2402): 17177-17215.

[58] TANG R, LIU L, PANDEY A, et al. What the DAAM: interpreting stable diffusion using cross attention [J]. arXiv preprint arXiv, 2022, 5(2210): 4885-4898.

المراجعة: ديسمبر 2024

(تُرجم هذا المقال بمساعدة الذكاء الاصطناعي.)