iSpace: استكشاف مفاهيمي وممارسات التخطيط الحضري استنادًا إلى 246 حالة عالمية

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

الملخص. مع انتقال تطوير المدن الذكية من التصميم الاستراتيجي إلى التنفيذ، أصبحت أتمتة الفضاءات الحضرية وإكسابها الذكاء وسيلة حاسمة لتحقيق رؤى المدينة الذكية. يستعرض هذا البحث واقع الممارسة بالاستناد إلى 246 مشروعًا من مشروعات iSpace أُنجزت أو يجري إنشاؤها في أنحاء العالم خلال العقد الماضي. ومن خلال دمج هذه الشواهد بالبحوث النظرية، يعرّف iSpace بأنه بيئة حضرية توظف التقنيات المتقدمة لاستشعار احتياجات المستخدمين والظروف البيئية، واتخاذ قرارات مستنيرة، وتقديم استجابات تكيفية، والتعلم والتحسين بصورة مستمرة. ويتميز iSpace بسمتين أساسيتين هما التمكين التكنولوجي والحامل المكاني، ويقوم على أربعة عناصر تخطيطية: الإدراك الشامل، والتقييم الدقيق، والاستجابة الملائمة، والتحسين القائم على التعلم. كما يقترح البحث مسارات قابلة للتطبيق للتحول الذكي للفضاءات الحضرية، بما يوفر إطارًا نظريًا وإرشادات عملية لتعميم التنفيذ.

الكلمات المفتاحية: iSpace؛ المدينة الذكية؛ المفهوم؛ إنترنت الأشياء؛ الذكاء الاصطناعي.

تصنيف المكتبة الصينية: TU984. رمز الوثيقة: A. DOI: 10.16361/j.upf.202405002. رقم المقال: 1000-3363 (2024) 05-0012.06.

يؤدي التطور التكنولوجي إلى تراكب البعدين المادي والرقمي للمدن، مولّدًا تصورات حضرية جديدة ومغيرًا أنماط تفاعل الناس واستخدامهم للفضاء. وقد ركزت بحوث المدن الذكية وممارساتها في السنوات الأخيرة أساسًا على المفاهيم الاستراتيجية وبنى المنصات [1-2]، أو على التحديث الذكي للبنى التحتية مثل النقل واللوجستيات وأنفاق المرافق [3-5].

غير أن الشوارع والساحات والأحياء السكنية وغيرها من البيئات اليومية هي المواقع التي تتجسد فيها الحياة الحضرية ويتعامل فيها السكان مباشرة مع خدمات المدينة الذكية. ومن ثم أصبح نقل الذكاء من الاستراتيجيات العليا والبنى التحتية الأساسية إلى فضاءات الحياة الحضرية أولوية مركزية للتطوير عالي الجودة للمدن الذكية. وتضم مشروعات مثل Sidewalk Toronto في كندا، وWoven City في اليابان، وThe Line في المملكة العربية السعودية عددًا كبيرًا من التصورات لمشاهد الحياة الحضرية الذكية. وعلى الرغم من أن هذه المشروعات لا تزال في معظمها عند مرحلة التصميم، فإنها تقدم مراجع مهمة وإلهامًا لتطوير الفضاءات الحضرية الذكية مستقبلًا.

1 الواقع الراهن لممارسة iSpace

أجرى هذا البحث مسحًا واسعًا لمشروعات الفضاءات الحضرية الذكية المنجزة أو قيد الإنشاء في العالم خلال العقد الماضي. واستُخدمت في البحث كلمات مفتاحية من قبيل «الفضاء الذكي» و«المكان الذكي» و«المبنى الذكي» و«المجتمع السكني الذكي». وقد جرى تحديد 246 مشروعًا وتنظيمها ضمن إطار تحليلي وقاعدة بيانات للحالات.

تتراوح مساحة المشروعات المنفذة من بضعة أمتار مربعة إلى مئات الآلاف من الأمتار المربعة. ويشمل أصحاب المشروعات شركات خاصة ومؤسسات عامة وجهات حكومية، بينما تتنوع فرق التنفيذ من مكاتب العمارة والتخطيط التقليدية إلى فرق التقنيات الذكية وشركات المعدات الكهربائية. ولمعالجة قضايا السلامة واستهلاك الطاقة والراحة، تستخدم هذه المشروعات مواد جديدة مثل ألياف الكربون والمستشعرات الحيوية، إلى جانب تقنيات مثل إنترنت الأشياء (IoT) والتوائم الرقمية، لإنتاج فضاءات حضرية أقل استهلاكًا للطاقة الكربونية، وأكثر ابتكارًا في الخبرة الحسية، وأشد تخصيصًا في التغذية الراجعة.

تشمل الحالات طيفًا واسعًا من الأنماط المكانية، منها السكن والثقافة والتعليم والبحث والرعاية الصحية والتجارة والمكاتب والصناعة واللوجستيات والتخزين والطرق والنقل والبنى التحتية والمساحات الخضراء والساحات العامة (الشكل 1). وقد شهدت البيئات السكنية، على وجه الخصوص، انتشارًا سريعًا للذكاء المنزلي المتكامل. فمن خلال ربط أنظمة الصوت والإضاءة والكهرباء المنزلية، تتيح هذه التطبيقات بيئات معيشية أكثر تخصيصًا وراحة، وتستجيب في الوقت نفسه لاحتياجات عملية مثل رعاية المسنين في منازلهم ورعاية الأطفال. كما نشأت سلسلة صناعية متكاملة نسبيًا في مجالات المعايير والسياسات الصناعية وحلول التصميم ونماذج الأعمال.

الشكل 1. حالات نموذجية للمشروعات

في المباني التجارية والمكتبية، يستهدف التحول الذكي أساسًا خفض استهلاك الطاقة. إذ يجري التحكم آليًا في أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والمصاعد وغيرها، بينما تُدار الأنظمة الكهربائية للمبنى بأكمله عبر منصات متكاملة. كما أفضى الانتشار الحديث للعمل المرن، إلى جانب استشعار إشغال محطات العمل، إلى أساليب جديدة في تصميم فضاءات المكاتب واستخدامها. وفي البيئات الصحية والتعليمية والثقافية، تُبنى المنصات الذكية عادة حول وظائف محددة، مثل غرف العمليات الذكية والفصول الذكية وقاعات العرض متعددة الوسائط.

في المساحات الخضراء الحضرية والشوارع والساحات وغيرها من البيئات العامة، يُستكمل التصميم التقليدي للشكل المكاني والأنشطة إما بأثاث حضري مدعوم بالتكنولوجيا، مثل المقاعد والمظلات ومحطات النقل، أو بتقنيات العرض ثلاثي الأبعاد من دون نظارات والإسقاط الهولوغرافي والواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR)، بما يثري تجربة الفضاء العام الحضري.

في هذه المشروعات، تتولى قطاعات مختلفة عادة بناء الأنظمة الرقمية وتصميم الفضاء المادي وإنشاءه. وتؤدي الحواجز التخصصية والصناعية المرتفعة إلى ضعف التكامل وقصور التنسيق، بل قد ينشأ تعارض بين النظامين أثناء التشغيل. فضلًا عن ذلك، لا يزال استخدام التقنيات والمواد الجديدة في مرحلة استكشافية، وتبقى تكاليف البحث والتطوير والإنشاء مرتفعة نسبيًا. ولذلك تؤدي بعض المشروعات أساسًا وظيفة التجريب أو العرض الابتكاري. وما زال هذا النمط من الذكاء الموجه بالتكنولوجيا والاستعراض بعيدًا عن الذكاء المنطلق من المشكلات الفعلية للمستخدمين [6].

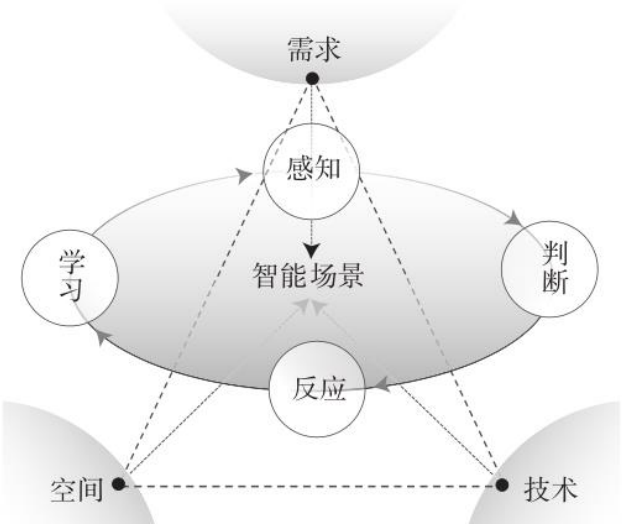
2 المفهوم والخصائص

تنتمي معظم الدراسات الحالية للبيئات المكانية الذكية إلى مجالات هندسة التبريد والتدفئة والتهوية وتكييف الهواء، وعلوم الحاسوب، والأتمتة، وإنترنت الأشياء [7-8]. وهي تركز غالبًا على تحقيق اختراقات تقنية محددة أو إجراء تجارب محاكاة في موضوعات مثل استهلاك الطاقة، والتحكم الآلي في المعدات، وإشغال الفضاء، والواقع الافتراضي [9-12]. كما ظهرت مؤخرًا دراسات في تخصصات البيئة المبنية، منها تصور المدينة بوصفها تكاملًا بين الإنسان والتكنولوجيا والمكان [13]، واقتراح محطات طرفية ذكية للمباني تجمع بين الحامل المعماري والذكاء المحيطي [14]، وتحديد وحدات زمانية-مكانية جديدة للنشاط الاجتماعي على المقياس المكاني الدقيق [15]. ومع ذلك،

لا يزال الربط بين الرؤى الأمامية للمدينة الذكية والمنتجات التقنية التطبيقية غير كافٍ [16]. وعلى وجه الخصوص، يختلف معنى «المشهد الذكي» باختلاف السياقات، ولم يحظ بعد بتعريف واضح أو تأطير منهجي.

2.1 التعريف المفاهيمي لـ iSpace

استنادًا إلى تحليل مشروعات الفضاءات الذكية عالميًا وإلى البحوث الأكاديمية القائمة، يعرّف هذا البحث iSpace بأنه بيئة حضرية تتيح فيها التقنيات المتقدمة للفضاءات المختلفة استشعار احتياجات السلوك البشري وحالات البيئة، وإجراء التقييم واتخاذ القرار، وتغيير الحالة البيئية لتحسين السلامة وكفاءة الطاقة والراحة، فضلًا عن التعلم المستمر وتحسين التشغيل.



الشكل 2. بنية iSpace

2.2 الخصائص الرئيسة لـ iSpace

يتشكل iSpace من خلال استخدام التقنيات الذكية الناشئة (i) لإكساب الفضاء الحضري (space) الذكاء. وهو شكل مكاني جديد للمدن الذكية المستقبلية، ينشأ عن التكامل العميق بين التقنيات المتقدمة والبيئة المبنية في العمارة والتخطيط وتصميم المناظر الطبيعية. وتتمثل سمتاه المحددتان في التكنولوجيا الذكية والحامل المكاني.

الخاصية الأولى: تطبيق تقنيات «i». يتطلب تحقيق iSpace توظيف منجزات علوم الحاسوب والميكاترونيات وعلم النفس وهندسة العوامل البشرية وغيرها من المجالات. وتدمج ست مجموعات رئيسة من التقنيات، تشمل الاستشعار الذكي، وإنترنت الأشياء والاتصالات، وإدارة المباني والبيئة الذكية، وتحليلات البيانات والذكاء الاصطناعي، والتحكم الآلي، والواقع الافتراضي أو المعزز، بين الفضاءات والمعدات، والبيانات والشبكات، والبيئتين المادية والمعلوماتية في منظومة مترابطة (الجدول 1).

الجدول 1. التقنيات المستخدمة في iSpace

مجال التطبيق	التقنية	البعد التكنولوجي	مجال التطبيق	التقنية	البعد التكنولوجي
المستخدمون	منصة لتحليلات البيانات	تحليلات البيانات والذكاء الاصطناعي	المستخدمون	مستشعرات ذكاء اصطناعي لمسح الطرق	الاستشعار الذكي
المستخدمون	خوارزميات التعلم العميق		البيئة	الاستشعار الذكي بالطائرات المسيّرة	

مجال التطبيق	التقنية	البعد التكنولوجي	مجال التطبيق	التقنية	البعد التكنولوجي
المستخدمون	خوارزميات التعلم الاتحادي		المستخدمون	رادار الموجات المليمترية	
المستخدمون	تقنيات GPT		البيئة	التصوير الحراري	
المستخدمون	تحليلات بيانات قائمة على الذكاء الاصطناعي		المستخدمون	مستشعرات العمق	
البيئة	نظام تحكم آلي	التحكم الآلي	البيئة	مستشعرات إنترنت الأشياء	إنترنت الأشياء والاتصالات
البيئة	منصة مراقبة ذكية		البيئة	التحكم الذكى فى الإضاءة	
البيئة	خوارزمية SLAM		البيئة	NB-IoT	
البيئة	خوارزمية تحكم بالذكاء الاصطناعى		البيئة	نظام زراعة ذكي	
البيئة	تقنيات هياكل تكيفية		البيئة	نظام إدارة الطاقة	إدارة المباني والبيئة الذكية
المستخدمون	تقنيات AR وVR وMR	الواقع الافتراضي والمعزز	البيئة	نظام إدارة المباني الذكية	
المستخدمون	الإسقاط الهولوغرافي		البيئة	نظام المراقبة البيئية	

الخاصية الثانية: الفضاء بوصفه حاملًا. الفضاء في جوهره نظام حجمي تحده الأسطح. وتحتضن الأماكن الحضرية أنشطة متنوعة، وتمثل نقطة تقديم خدمات المدينة الذكية، كما تشكل الواجهات التي يختبر السكان من خلالها التطبيقات الذكية مباشرة. ولذلك فهي تؤثر في شعورهم بالمنفعة والرفاه والأمان.

لا بد من نشر المستشعرات والشبكات وأجهزة الحوسبة وسائر المكونات اللازمة للذكاء ماديًا داخل الفضاء. ويمكن لأسطح الطرق [17] وواجهات المباني [18] وأعمدة الإنارة [19] وحاويات النفايات [20] وغيرها من أسطح الأثاث الحضري أن تعمل حوامل مكانية. وبناءً على قاعدة الحالات، يمكن تصنيف الحوامل المكانية المستخدمة في iSpace، وفقًا لدورها في النظام المكاني، إلى فئتين وخمسة أنواع من الأسطح (الجدول 2): أسطح محدِّدة وأسطح وسيطة، تشمل الجدران والأرضيات والأسقف وأسطح الأثاث الحضري وخطوط الأنابيب.

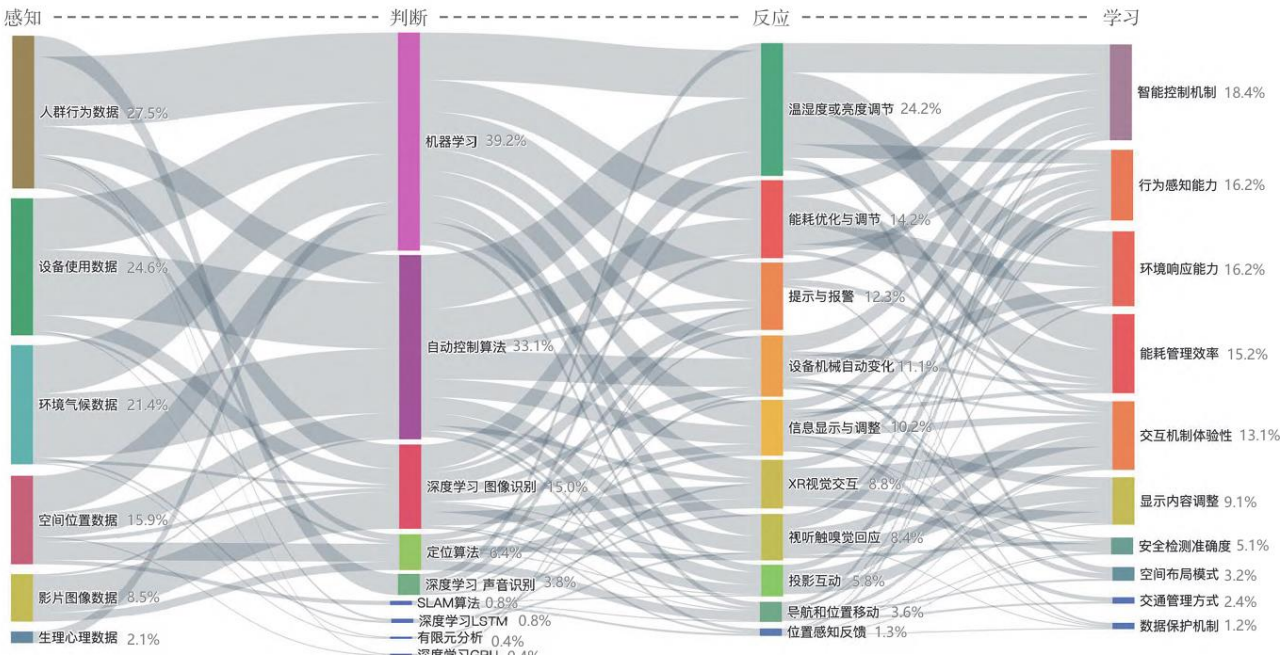
الجدول 2. أنواع الأسطح المكانية والحالات النموذجية

الفئة	الحامل	الحالات النموذجية
الأسطح المحدِّدة	الجدار	الجدار التفاعلي LUMES في مستشفى Cabrini[1]؛ الواجهة الكهروضوئية التكيفية فى ETH Zurich[2]
	الأرضية	الأرضية الذكية SensFloor فى Fisher Care Home[3]
	السقف	السقف التفاعلي الذكي في مبنى Ping An Property & Casualty Insurance، شينزن[4]
الأسطح الوسيطة	سطح الأثاث الحضري	مقطع تجريبي لأعمدة الإنارة الذكية في Huahua Road، شينزن[5]؛ مأوى ذكي خارجي للقطط[6]
	خطوط الأنابيب	تطبيق واقع معزز لشبكة المرافق تحت الأرض فى تونغتشو، بكين[7]

الشكل 3. حالات نموذجية لـ iSpace

3 عناصر التخطيط

تدفع المدينة الذكية مسار الذكاء المستدام عبر دورة متكررة من الإدراك والتقييم والاستجابة والتعلم [21]. وتتبع عملية تخطيط البيئات المكانية الحضرية وتصميمها منطق العناصر الأربعة نفسه (الشكل 4). إذ تُستشعر بصورة شاملة ست فئات من بيانات البيئة المبنية، ثم تدعم خوارزميات متعددة للذكاء الاصطناعي التقييم الدقيق، وتُقدَّم الاستجابات الملائمة من خلال التفاعل أو التحكم، ويتيح تعلم الأنماط المتكررة للبيئة أن تحسن نفسها ذاتيًا.



الشكل 4. مخطط سانكي الذي يربط عناصر iSpace الأربعة

3.1 الإدراك الشامل

يمثل الإدراك الشامل الخطوة الأولى والأساسية التي لا غنى عنها في إنشاء iSpace. وتنتج البيئة المبنية أشكالًا متنوعة من البيانات [22]، وتستخدم المستشعرات وأجهزة المراقبة على نطاق واسع لجمع المعلومات المكانية من أجل الرصد الآني والإدارة المتكاملة للبيئة والنشاط البشري.

يمكن تصنيف المعلومات القابلة للاستشعار في الفضاء الحضري، بحسب طبيعتها وغرضها، إلى ست فئات: البيانات البيئية والمناخية، وبيانات استخدام المعدات، وبيانات الموقع المكاني، وبيانات الفيديو والصور، وبيانات سلوك الحشود، والبيانات الفسيولوجية والنفسية. ويلخص الجدول 3 أنواع هذه البيانات وأجهزة استشعارها، بما يوفر أساسًا لتحليل خصائصها واستخداماتها بدقة ودعم المراحل اللاحقة من الذكاء المكاني.

الجدول 3. أنواع البيانات وأجهزة الاستشعار

فئة البيانات	نوع البيانات	تفاصيل البيانات	أجهزة الاستشعار
البيانات البيئية والمناخية	الظروف البيئية	سرعة الرياح، وشدة الإضاءة، ودرجة الحرارة، والرطوبة، وجودة الهواء، والضغط الجوي، والضوضاء	محطات الأرصاد الجوية؛ مستشعرات الحرارة والرطوبة؛ مقاييس شدة الرياح؛ مقاييس مستوى الصوت؛ مستشعرات جودة الهواء
	بيانات الإضاءة	شدة الإضاءة الداخلية والخارجية، وموقع الشمس، والضوء المحيط	مستشعرات الاستضاءة؛ متتبعات موقع الشمس
بيانات استخدام المعدات	بيانات حالة المعدات	حالة المعدات وتشغيلها واستخدامها	RFID؛ NFC؛ أنظمة مراقبة المعدات؛ مستشعرات المعدات
	بيانات استهلاك الطاقة	استهلاك الطاقة وبيانات الأحمال	أجهزة مراقبة الطاقة؛ العدادات الذكية
	بيانات تشغيل المعدات	بيانات تحكم المستخدم، وإعدادات الأجهزة، وسجلات التشغيل	محطات تحكم المستخدم؛ مسجلات التشغيل؛ أنظمة التسجيل

فئة البيانات	نوع البيانات	تفاصيل البيانات	أجهزة الاستشعار
بيانات الموقع المكاني	بيانات موقع المستخدم	موقع المستخدم، وإحداثيات الأفراد، وموقع الزوار	رادار الموجات المليمترية؛ الكشف بالأشعة تحت الحمراء؛ أجهزة التموضع عبر Wi-Fi
	بيانات الحركة	مسارات الحركة، وطرق التنقل، ومسارات المشى	أجهزة GPS؛ متتبعات متنقلة؛ مستشعرات المشى
	بيانات موقع المركبات	مواقع المركبات، وبيانات أماكن الوقوف، وتدفق المرور	GPS على متن المركبة؛ أنظمة تتبع المركبات؛ معدات مراقبة مواقف السيارات
	بيانات استخدام المكان	الإشغال، ومعدلات استخدام الغرف، وأنماط الاستخدام المكاني	كاميرات مراقبة داخلية؛ مستشعرات الإشغال؛ كواشف الأشعة تحت الحمراء
بيانات الفيديو والصور	بيانات الفيديو	فيديو المراقبة، والصور الفوتوغرافية، والصور الملتقطة	كاميرات المراقبة؛ الكاميرات الرقمية؛ كاميرات لوحة القيادة
	بيانات التصوير الحراري	الصور الحرارية وصور الأشعة تحت الحمراء	أجهزة التصوير الحراري؛ كاميرات الأشعة تحت الحمراء
	بيانات التعرف على الوجوه	صور الوجوه، والتحقق من الهوية، وبيانات السمات الشخصية	كاميرات التعرف على الوجوه؛ كاميرات عالية الدقة
	بيانات الواقع الافتراضي	المشاهد الافتراضية، وبيانات الواقع الافتراضي، والإسقاط الهولوغرافي	خوذات الواقع الافتراضي؛ كاميرات بانورامية؛ أجهزة التقاط الحركة
بيانات سلوك الحشود	بيانات سلوك المستخدم	الحركة، والمسارات السلوكية، والصوت، واللمس	رادار الموجات المليمترية؛ ميكروفونات؛ مستشعرات حساسة للضغط
	بيانات تدفق الحشود	أعداد المشاة، وحالات الحركة، وبيانات المشاة	عدادات الأشخاص؛ كاميرات حرارية؛ أرضيات حساسة للضغط
	بيانات التغذية الراجعة والتفاعل	ملاحظات المستخدمين، وتقييماتهم، والتفاعل الاجتماعي	جمع بيانات وسائل التواصل الاجتماعي؛ برمجيات التحليلات الاجتماعية
البيانات الفسيولوجية والنفسية	بيانات مشاعر المستخدم	التعرف على المشاعر، والحالة النفسية، وتقلبات الانفعال	كاميرات تحليل تعبيرات الوجه؛ أجهزة التعرف إلى المشاعر من الصوت
	بيانات الصحة	تخطيط القلب الكهربائي، وتخطيط الدماغ الكهربائي، وتخطيط العضلات الكهربائي، والحالة الصحية، ومراقبة العلامات الحيوية	أجهزة ECG؛ أجهزة مراقبة الصحة مثل الأساور والساعات
	بيانات الضغط النفسي	مستوى الضغط والعبء النفسي	مستشعرات الضغط؛ أجهزة مراقبة معدل ضربات القلب

3.2 التقييم الدقيق

تلتقط أجهزة الاستشعار في الفضاءات الحضرية في الغالب بيانات آنية وعالية التواتر وضخمة الحجم. ولذلك يلزم استخدام خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق [23] لإجراء تحليلات وصفية وتشخيصية وتنبؤية، بما يتيح تقييم حالات البيئة والمعدات والسلوك البشري واحتياجات المستخدمين بدقة (الجدول 4).

تتلاءم خوارزميات التعلم الآلي، مثل آلات المتجهات الداعمة (SVM) والغابات العشوائية، مع البيانات المهيكلة، ويمكنها إجراء التصنيف والانحدار بكفاءة. فعلى سبيل المثال، يستطيع نموذج الغابة العشوائية التنبؤ بحالة المعدات المكانية والكشف المبكر عن الأعطال المحتملة، بينما تستطيع آلة المتجهات الداعمة تصنيف البيانات السلوكية للتعرف إلى احتياجات المستخدمين المختلفين وتفضيلاتهم.

أما خوارزميات التعلم العميق، مثل الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) والشبكات العصبية المتكررة (RNN)، فتتميز في معالجة البيانات غير المهيكلة، ومنها الصور والصوت والفيديو، لقدرتها على استخراج السمات آليًا والتعرف إلى الأنماط المعقدة. ويمكن للشبكات المتكررة معالجة البيانات التسلسلية للتنبؤ بحركة الأشخاص واتجاهات السلوك، في حين تدعم الشبكات الالتفافية التعرف إلى الصور من خلال الكشف الآلي عن الأجسام في البيئة المكانية وتصنيفها (الشكل 5).

الجدول 4. الخوارزميات والبيانات المستخدمة في التقييم المكاني

الخوارزميات الشائعة	البيانات	التقييم المكاني
التجميع بطريقة K-means؛ أشجار القرار	بيانات جودة الهواء والضوضاء ودرجة الحرارة والرطوبة	الرصد البيئي
الانحدار الخطي؛ أشجار تعزيز التدرج (GBT)	بيانات استهلاك الطاقة وحالة المعدات والبيئة	إدارة الطاقة
آلات المتجهات الداعمة (SVM)؛ الغابات العشوائية	بيانات تشغيل المعدات واستهلاك الطاقة وسجلات الصيانة	رصد حالة المعدات
الشبكات العصبية الالتفافية (CNN)؛ نماذج ماركوف المخفية (HMM)؛ OpenPose؛ كشف الأجسام YOLO	بيانات سلوك المستخدم والمستشعرات والفيديو	التعرف على السلوك
معالجة اللغة الطبيعية (NLP)؛ BERT؛ شبكات الذاكرة الطويلة قصيرة الأجل (LSTM)	بيانات الكلام وأوامر المستخدم	التعرف على الكلام
الشبكات التوليدية التنافسية (GAN)؛ الشبكات العصبية الالتفافية (CNN)	بيانات الفيديو والصور؛ بيانات هوية المستخدم	التعرف على الوجه
الشبكات المتبقية العميقة (ResNet)؛ الشبكات العصبية الالتفافية (CNN)	المراقبة بالفيديو، وحالة المعدات، وبيانات كشف التسلل	كشف السلامة
تحديد الموقع وبناء الخريطة في آن واحد (SLAM)	معلومات الموقع المكاني، وبيانات العوائق، وبيانات الخرائط	تخطيط المسار

الشكل 5. أمثلة على التقييم المكاني

3.3 الاستجابة الملائمة

تعد قدرة البيئة على توليد استجابة ملائمة استنادًا إلى نتائج التقييم معيارًا حاسمًا لمستوى ذكائها. ويمكن تقسيم الاستجابات المكانية إلى فئتين عامتين: التفاعل والتحكم (الجدول 5).

تُشرك الاستجابات التفاعلية المستخدمين أساسًا عبر عرض المعلومات المرئية. وهي لا تحسن تجربة الاستخدام فحسب، بل تتيح أيضًا استقبال التغذية الراجعة ومعالجتها في الوقت الحقيقي. فعلى سبيل المثال، يمكن لشاشة LED تحديث حالة المرور أو الإعلانات ديناميكيًا باستخدام التحليل الآني للبيانات؛ ويمكن للمستخدم التفاعل بالإيماءات مع المحتوى المسقط وفحص الأجسام الافتراضية أو معالجتها؛ كما يمكن لدليل المعرض تشغيل المعلومات ذات الصلة تلقائيًا وفق موقع الزائر.

أما استجابات التحكم فتشغّل المعدات الإلكترونية والمكونات الميكانيكية بذكاء، ومن ثم تتطلب مستوى تقنيًا أعلى وتعقيدًا هندسيًا أكبر. ويمكن للإضاءة ضبط السطوع ودرجة حرارة اللون في الوقت الحقيقي وفق الضوء المحيط ونشاط المستخدم؛ ويمكن لمراقبة المشي

كشف السقوط وإرسال إنذار تلقائي إلى الأشخاص المحددين؛ كما يمكن للمصاعد ومرافق المبنى تغيير حالتها تبعًا لموقع المستخدم لتوفير وصول رأسي خالٍ من العوائق.

الجدول 5. أنماط الاستجابة في iSpace

النوع	نمط الاستجابة	مثال توضيحي
التفاعل	عرض المعلومات وضبطها	تحديث محتوى شاشة LED في الوقت الحقيقي؛ جدران دوّارة تعرض أنماطًا تفاعلية
	التفاعل بالإسقاط وفق وضعية الجسم	التفاعل بالإيماءات مع الصور ثلاثية الأبعاد؛ ضبط المحتوى المسقط وفق الموقع
	تغذية راجعة مستجيبة للموقع	تتبع موقع المستخدم لتقديم تذكيرات صحية واجتماعية؛ محتوى عرض مخصص
	التفاعل الهولوغرافي	التفاعل مع صور هولوغرافية ثلاثية الأبعاد؛ عرض دوّار لصور عائمة
التحكم	ضبط درجة الحرارة أو الرطوبة أو السطوع	ضبط تلقائي للحرارة والرطوبة؛ التحكم في الإضاءة وتكييف الهواء
	تحسين الطاقة وتنظيمها	مراقبة توليد الكهرباء في الوقت الحقيقي؛ تحسين استخدام الطاقة
	التحول الميكانيكي الآلي	ضبط آليات الطي؛ تحسين زوايا الألواح؛ تنظيم الستائر ووسائل التظليل
	استجابة متعددة الحواس	كشف السقوط وإطلاق الإنذارات؛ اهتزاز منخفض التردد؛ تحفيز كهربائي للعضلات

3.4 التعلم والتحسين

حققت معظم مشروعات iSpace الحالية تحسينًا ذكيًا في المراحل الثلاث: الإدراك والتقييم والاستجابة، لكنها لم تدخل بعد دورة التحسين الذاتي المكونة من الإدراك والتقييم والاستجابة والتعلم. ويحد غياب التكرار المستمر من قدرتها على تقديم خدمات فعالة طويلة الأجل في البيئات الحضرية المعقدة والمتغيرة.

يقوم التحسين الذاتي في iSpace على تحليل الأنماط المتكررة. إذ تُنمذج المعلومات القيّمة وتُستخرج من كميات كبيرة من البيانات المعقدة وغير المتجانسة بهدف تحديد الانتظامات والتنبؤ بالاتجاهات (الشكل 7)، بما يسمح للبيئة بتحسين ذاتها وتوليد تغذية راجعة ذكية أكثر فاعلية (الجدول 6). ومع توسع تطبيقات iSpace، سيغدو التعلم التعاوني بين الفضاءات المختلفة وسيلة مهمة أخرى لرفع مستوى الذكاء. فمن خلال دمج البيانات المستشعرة وتبادل خبرات التعلم، يمكن للذكاء المكاني الجماعي دعم إدارة حضرية أكثر كفاءة وتحسين الخدمات.

الجدول 6. اتجاهات التحسين الذاتي في البيئات المكانية

اتجاه التحسين	طريقة التنفيذ	التفسير
قدرة استشعار السلوك	تحليل سلوك المستخدم ومشيه؛ تحسين التنبؤ بالسقوط؛ تحليل البيانات الصحية	تحليل مشية المستخدم ونشاطه وبياناته الصحية لتحسين خوارزميات كشف الشذوذ وتحليل السلوك ورفع سرعة الاستجابة.
الاستجابة البيئية	تدريب نماذج التعلم الآلي والضبط الديناميكي	تحليل البيانات البيئية التاريخية لتسريع الاستجابة للتغيرات البيئية وضبط التكوين المكاني ديناميكيًا.
كفاءة إدارة الطاقة	تحليل البيانات في الوقت الحقيقي ومراقبة كفاءة الطاقة	المراقبة المستمرة لاستخدام الطاقة بواسطة المستشعرات، وتطبيق تحليلات البيانات لتحسين استراتيجيات الطاقة وتقليل الهدر.
تجربة العرض التفاعلي	تحليل بيانات سلوك المستخدم وتحسين أنماط التفاعل	تحليل بيانات تفاعل المستخدم مع الفضاء لتحسين محتوى العرض وتعميق الانغماس ورفع مستوى التفاعلية وتجربة المستخدم.
آليات التحكم الذكي	تحليل بيانات المستخدم والبيئة؛ تحسين خوارزميات التحكم	استخدام بيانات المستخدم والبيئة لتحسين خوارزميات نظام التحكم، ورفع ذكاء المعدات، وتعزيز استقرار النظام.
أنماط التخطيط المكاني	تحليل أنماط سلوك المستخدم والتحسين الديناميكي للمحتوى	ضبط محتوى العرض والتفاعل من خلال تحليل سلوك المستخدم لتحسين القدرة الديناميكية للفضاء على التكيف.

اتجاه التحسين	طريقة التنفيذ	التفسير
آليات حماية البيانات	تقنيات تشفير البيانات وخوارزميات حماية الخصوصية	تحليل متطلبات خصوصية المستخدمين، وتحسين خوارزميات التشفير، وتعزيز حماية البيانات وأمن الخصوصية.
دقة كشف السلامة	تحسين بيانات التصوير الحراري وكشف الأحداث	استخدام بيانات التصوير الحراري لتحسين حماية الخصوصية في الكاميرات وخوارزميات كشف الأحداث، وتقليل الإنذارات الكاذبة، ورفع الدقة.

الشكل 7. تحليل البيانات المكانية والتحسين القائم على التعلم

4 الخلاصة والآفاق المستقبلية

بعد أكثر من عقد من استكشاف الاستراتيجيات الكلية والتصميم من المستوى الأعلى، يتجه تطوير المدن الذكية سريعًا نحو مرحلة تنفيذ أعمق وأكثر منهجية. وبوصف الفضاءات الحضرية الذكية الحوامل المادية للحياة الحضرية والبيئات التي يتعامل معها السكان مباشرة، فإنها ستصبح حتمًا اتجاهًا مركزيًا ووسيلة حاسمة لتحقيق رؤية المدينة الذكية.

إن دمج الابتكار التكنولوجي بالتجديد الحضري، ولا سيما التكامل العميق بين تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT) والذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) من جهة، والتحول المكاني من جهة أخرى، يحول الفضاء الحضري إلى مجال مهم لتطبيق القوى الإنتاجية الجديدة النوعية. وفي المستقبل، لن يقتصر دور iSpace، القائم على الإدراك الشامل والتقييم الدقيق والاستجابة الملائمة والتحسين القائم على التعلم، على تحفيز الابتكار التكنولوجي وتعزيز السلامة الحضرية، بل سيعيد أيضًا تشكيل أنماط الحياة والبنى الوظيفية للمدينة، ويدفع نحو تكامل أعمق بين التنمية المستدامة والرعاية المتمحورة حول الإنسان.

ملاحظات

[1] https://www.eness.com/permanent/cabrini

[2] https://systems.arch.ethz.ch/research/adaptive-solar-facade

[3] https://future-shape.com/

[4] https://www.archiposition.com/items/20210118062458

[5] https://mp.weixin.qq.com/s/J871vUp2AzuPxoK1iCby2A

[6] https://www.gooood.cn/outdoor-intelligent-cat-nest-china-by-zaoshi-architecture.htm

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

المراجع

[1] ZHANG Weiwen, JIN Han, LENG Jiaxin. كيف يمكن لبناء المدن الذكية تحديث الحوكمة الاجتماعية؟ «عقل المدينة» في هانغتشو تحت اختبار جائحة كوفيد-19 [J]. Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences), 2020, 50(4): 117-129.

[2] WU Xibo, YANG Zaigao. مفهوم المدينة الذكية وتطور مدن المستقبل [J]. Urban Development Studies, 2010, 17(11): 56-60.

[3] WANG Mengshu, WANG Yonghong, TAN Zhongsheng, et al. استكشاف الاستخدام المتكامل للفضاء تحت الأرض في المدن الذكية الصينية 8-1 :(4)40 ,2016 ,Journal of Beijing Jiaotong University. [J].

[4] ZHANG Xiaochun, SHAO Yuan, SUN Chao. تصور متكامل للنقل الذكي في مدن المستقبل [J]. Urban Transport of China, 2018, 16(5): 1-7.

[5] CHEN Yulan, ZHANG Ling. دراسة مقارنة لتطور الصناعة الذكية في دلتا نهر اليانغتسي [J]. Journal of Nantong University (Social Sciences Edition), 2017, 33(6): 6-11.

[6] WU Zhiqiang, WANG Jian, LI Deren, et al. تأملات «باردة» وسط طفرة المدن الذكية: منتدى أكاديمي [J]. Urban Planning Forum, 2022(2): 1-11.

[7] NIZETIC S, SOLIC P, LOPEZ-DE-IPINA D, et al. إنترنت الأشياء (IoT): الفرص والقضايا والتحديات نحو مستقبل ذكي ومستدام 122877 :274 ,2020 ,Journal of Cleaner Production. [J].

[8] JAVED A R, SHAHZAD F, REHMAN S U, et al. متطلبات مدن المستقبل الذكية، والتقنيات الناشئة، والتطبيقات، والتحديات، والآفاق المستقبلية 103794 :129 ,2022 ,Cities. [J].

[9] ZHU C, FONG L H N, GAN M. إعادة التفكير في تبعات الأصالة ما بعد الحداثية: حالة موقع تراث ثقافي عالمي في الواقع المعزز [J]. Current Issues in Tourism, 2023, 26(4): 617-631.

[10] COPIACO A, HIMEUR Y, AMIRA A, et al. كشف عميق مبتكر للشذوذ في استهلاك طاقة المباني باستخدام صور السلاسل الزمنية للطاقة 105775 :119 ,2023 ,Engineering Applications of Artificial Intelligence. [J].

[11] PENG Y, RYSANEK A, NAGY Z, et al. استخدام تقنيات التعلم الآلي للتحكم في تبريد مباني المكاتب استنادًا إلى توقع الإشغال [J]. Applied Energy, 2018, 211: 1343-1358.

[12] JEON Y, CHO C, SEO J, et al. نظام لكشف الإشغال قائم على إنترنت الأشياء في البيئات السكنية الداخلية [J]. Building and Environment, 2018, 132: 181-204.

[13] ZHEN Feng, KONG Yu. إطار لتخطيط المدن الذكية يدمج الإنسان والتكنولوجيا والمكان [J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 45-52.

[14] ZHOU Ying, XU Yayin, DING Lieyun. محطات طرفية ذكية للمباني قائمة على الذكاء المحيطي [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 50(8): 1-10.

[15] LIU Quan, SHI Yiting, LAI Yani. تفسير مفاهيمي وإدراك خصائص سيناريوهات المدن الذكية [J]. Urban Planning International, 2023.

[16] LIU Quan, CHEN Yaoyao, HUANG Dingfang, et al. منهج تصميم معياري لسيناريوهات الشوارع الذكية ذات التكامل الثلاثي: التصميم المفاهيمي لشارع المستقبل في هواكيانغبي 118-110 :(2)2023 ,Urban Planning Forum. [J].

[17] HIJJI M, IQBAL R, PANDEY A K, et al. إطار للمركبات المتصلة بالجيل السادس لدعم الصيانة الذكية للطرق باستخدام دمج بيانات التعلم العميق 7735-7726 :(7)24 ,2023 ,IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. [J].

[18] LIU Xiaoqing, HE Rui. تخطيط بنية تحتية حضرية معلوماتية جديدة: الممارسة والاستكشاف في شيونغآن [J]. Urban Planning Forum, 2022(5): 112-118.

[19] DE PAZ J F, BAJO J, RODRIGUEZ S, et al. نظام ذكي للتحكم في الإضاءة في المدن الذكية [J]. Information Sciences, 2016, 372: 241-255.

[20] ABUGA D, RAGHAVA N S. آلية حاوية نفايات ذكية في الوقت الحقيقي لإدارة النفايات الصلبة في المدن الذكية .[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 75: 103347.

[21] WU Zhiqiang, PAN Yunhe, YE Qiming, et al. نظام مؤشرات لتقييم المدن الذكية: التطوير والتطبيق ,Engineering .[J]. 2016, 2(2): 105-137.

[22] PERERA C, ZASLAVSKY A, CHRISTEN P, et al. نموذج الاستشعار كخدمة للمدن الذكية بدعم من إنترنت الأشياء .[J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2014, 25(1): 81-93.

[23] ZHANG J, TAO D. إضفاء الذكاء على الأشياء: مراجعة للتقدم والتحديات والفرص في الذكاء الاصطناعي للأشياء IEEE .[J]. Internet of Things Journal, 2021, 8(10): 7789-7817.

مراجعة النص: أغسطس 2024
ترجمة بمساعدة الذكاء الاصطناعي