أساليب الإدراك الديناميكي الحضري وتطبيقاتها في المشاهد المصغرة بناءًaa على الرسوم البيانية المعرفية

الباحثون: يان فنغ ييننغ، لو جون مو

الملخص: تُعد المدن أنظمة معقدة تتشكّل من الفضاء المادي والأنشطة البشرية معاً، وتتميز بعمليات تشغيل تتطور باستمرار وتتمتع بآليات تغذية راجعة. يتيح التطور السريع للإنترنت وإنترنت الأشياء في الوقت الراهن إمكانية رصد الأنشطة الحضرية آنياً، غير أن استخلاص بنيات معرفية قابلة للتفسير من بيانات الإدراك المجزّأة لا يزال يمثل تحدّياً جوهرياً للإدراك الديناميكي الحضري. لذا يقترح هذا البحث إطاراً منهجياً قائماً على الرسوم البيانية المعرفية، يدمج –بيانات مكانية–زمانية متعددة المصادر ويُبني منهجية إدراك النشاط البشري الحضري حول البنية الدلالية »إنسان شيء–مكان–زمان–حدث–أثر«، مما يتيح الإدراك الشبكي متعدد الأبعاد والتعبير المُنظّم عن الفضاء الحضري والنشاط البشري. واتُخذ الحرم الجامعي نموذجاً كمشهد مصغّر تمثيلي، حيث بُني رسم بياني معرفي يضم نحو 54 ألف عقدة كيانية و118 ألف حافة علائقية، لإجراء استخلاص العلاقات وتحليل التتبّع السببي. وتُظهر النتائج أن هذه المنهجية قادرة على دعم إسناد الأنشطة والاستجابة للحوكمة المكانية في البيئات المعقدة بكفاءة، من خلال التتبّع العكسي للأنشطة والربط الدلالي، كما تتسم بقابلية عالية للتوسّع والنقل عبر المقاييس المكانية، مما يوفر مساراً منهجياً عملياً للتخطيط والحوكمة الحضريتين المدفوعتين بالسلوك في عصر التقنيات الحضرية الحديثة.

الكلمات المفتاحية: الإدراك الديناميكي الحضري؛ النشاط البشري؛ الرسم البياني المعرفي؛ الحوكمة المكانية؛ الحرم الجامعي

المدن أنظمة معقدة تتسم بارتباط عناصر متعددة وتطور متعدد المقاييس، ولا يمثّل تشغيلها مجرد نتيجة توازن هيكلي جامد، بل هو عملية إعادة تكوين ديناميكية مستمرة. إن التفاعل بين الفضاء المادي والنشاط البشري يضع المدينة في حالة إعادة تنظيم دائمة ،[1]وهذا الديناميكية ليست نتاجاً ثانوياً للتحضّر، بل هي نمط وجود المدينة ذاته. ومن هنا، لا ينبغي أن يقتصر الإدراك الحضري على الشكل المكاني الهيكلي، بل يجب أن ينصبّ على رصد وتفسير العمليات الجارية للتفاعل بين النشاط والبيئة، وكذلك الآليات والمنطق الكامن وراءها[2-3].

ومع تطور تكنولوجيا المعلومات، أصبحت الديناميكية الحضرية تُسجَّل وتُقاد كمياً بدقة غير مسبوقة. فشبكات أجهزة الاستشعار وإشارات الهاتف المحمول ووسائل التواصل الاجتماعي [5]وغيرها من البيانات الضخمة المكانية–الزمانية متعددة المصادر تتيح الإدراك الفوري للتوزيع المكاني–الزماني والخصائص التطورية للنشاط البشري، مما يدفع البحث الحضري من الوصف الجامد نحو التحليل الديناميكي [6]. غير أن تراكم كميات هائلة من البيانات لم يتحوّل تلقائياً إلى فهم أعمق لتشغيل المدينة: فالأبحاث القائمة لا تزال تعتمد بشكل رئيسي على الوصف الظاهري والإحصاء وتفتقر ،[7]إلى آليات ترحيل نتائج الإدراك متعدد الأبعاد إلى أطر معرفية قابلة للتفسير. وهكذا أصبح الانتقال من تراكم البيانات إلى تعميق الإدراك قضية محورية يواجهها علم المدن المعاصر.

وتستطيع تقنيات الإدراك وأساليب التحليل الحالية التقاط خصائص الأنشطة، لكنها لا تستطيع التعبير بشكل منظّم عن العلاقات الدلالية والسلاسل السببية بين العناصر المتعددة. ولمعالجة هذه المعضلة، أُدخلت الرسوم البيانية المعرفية (Knowledge Graph) — إلى البحث الحضري. وعلى كأداة للتعبير الدلالي المُنظّم والاستدلال المعرفي — عكس أساليب التحليل المعتمدة على المعلومات الثابتة، تتخذ الرسوم البيانية المعرفية من الثلاثيات »كيان–علاقة–كيان« وحدة أساسية، لتبني شبكات دلالية ديناميكية تربط المعلومات متعددة الأبعاد وتُحقّق التعبير المُنظّم عن وقد أُثبتت إمكانات تطبيق الرسوم البيانية المعرفية في الاستدلال السببي والتعبير المنطقي .[8]عملية النشاط الحضري للأنشطة الحضرية في مشاهد حوكمية محددة، منها الإدراك الوظيفي الحضري، وإرشاد المرور، وإدارة استهلاك الطاقة.

وعلى هذا الأساس، يقترح هذا البحث منهجية إدراك ديناميكي حضري قائمة على الرسوم البيانية المعرفية. تستخدم هذه المنهجية بنية الحلقة المغلقة »إدراك–فهم–تدخّل« لربط عمليات جمع البيانات متعددة المصادر، والنمذجة الدلالية، والاستدلال الآلي، ومن خلال بناء خريطة معرفية شاملة للعناصر »إنسان–شيء–مكان–زمان–حدث–أثر« ،تُحقّق الانتقال من تكامل البيانات إلى إدراك الآليات. واتُخذ فضاء الحرم الجامعي النموذجي ساحة تجريبية للتحقق من جدوى وقابلية توسيع النموذج في مجالات التعرف على الأنشطة، وتتبع النتائج، والتدخّل الديناميكي. تهدف هذه المحاولة إلى توفير إطار معرفي جديد لفهم آلية الارتباط بين النشاط البشري الحضري والبيئة المكانية المادية، وتقديم ابتكار منهجي ودعم نظري للحوكمة الحضرية المدفوعة بالسلوك.

1 من الإدراك المكاني إلى التحليل الشامل

1.1 تطور نظرية الإدراك الحضري

يشير الإدراك الحضري عادةً إلى عملية تمثيل وفهم البنى المكانية والعلاقات الوظيفية والمعاني الاجتماعية أثناء تفاعل الإنسان مع البيئة الحضرية. وهو لا يقتصر على »كيف تُدرَك المدينة«، بل يشدد على »كيف تُفهَم المدينة وتُفسَّر« ،ويمثّل وسيطاً جوهرياً يربط الفضاء المادي والآليات السلوكية وقرارات التخطيط.

تأثرت الدراسات المبكرة للإدراك الحضري بشدة بالبنية الشكلية وعلم شكل الفضاء، وركزت بشكل رئيسي على قوانين تنظيم الشكل المادي الحضري والنظام البصري. في منتصف القرن العشرين، طرح كيفن لينش من خلال دراسات [9-10]ميدانية تجريبية نظرية العناصر الخمسة للصورة الحضرية — المسارات، والحدود، والأحياء، والعقد، والمعالم كاشفاً بشكل منهجي عن المنطق المعرفي الذي يدرك من خلاله الأفراد الفضاء الحضري. أرست هذه النظرية — من منظور التفاعل الاجتماعي على تعقيد الحياة [11]النموذج المؤسس للإدراك الحضري. بينما شدّدت جين جايكوبز في الشوارع وتنوعها، موسّعة نطاق الاهتمام بالأنشطة الحضرية. وعززت الجغرافيا الوضعية من خلال الاستدلال الاستنباطي والاستقرائي التوصيف الكمي للعمليات المكانية. ركّز هذه المرحلة على قابلية المدينة للقراءة وإحساسها بالنظام، كاشفةً عبر الأساليب الوصفية عن تأثير الشكل المكاني على إدراك الفرد، ومأسسةً الأساس النظري لاهتمام التخطيط بقابلية الفضاء للتعرّف وقيم الأماكن.

غير أن التبسيط المفرط للمشكلات المكانية أدى إلى إهمال البحث لفترة لدور »الإنسان« في المدينة، مما أثار موجة فقد شدّدت الجغرافيا السلوكية، التي نشأت في ستينيات القرن العشرين، على أهمية الفرد والعمليات .[12]تأمل أكاديمي مقدمةً منظورات جديدة لفهم العلاقات المكانية–الزمانية المعقدة بين النشاط البشري والبيئة ،[13-14]الجزئية الأسس الفكرية للإدراك الحضري من منظور الظاهراتية [16]ويي-فو تيان [15]الجغرافية. وقد عمّق نوربرغ شولتز والنزعة الإنسانية، مركزين على توليد الخبرة الإدراكية والعاطفة والمعنى في الفضاء. وكشفت الجغرافيا الزمانية عند تورستن هاغرستراند من خلال »المسارات الزمانية–المكانية« عن العلاقات الديناميكية بين النشاط والقيود مما وسّع منظور الإدراك الحضري من الإدراك المكاني الجامد إلى الفهم المنهجي للعمليات السلوكية ،[17]والفرص المكانية–الزمانية. وأظهرت الدراسات حول القيود السلوكية وآليات اتخاذ القرار مزيداً أن النشاط الفردي ليس موزعاً عشوائياً، بل يُظهر أنماطاً قابلة للتحليل تحت قيود متعددة للزمان والموارد والشبكات الاجتماعية، دافعةً الإدراك الحضري من التمثيل البصري نحو تحليل العمليات، وموفّرةً أسساً نظرية جديدة لفهم السلسلة السببية بين التشكيل المكاني والاختيارات السلوكية.

وعلى هذه الأسس، أدرك الأوساط الأكاديمية تدريجياً أن البعد الواحد — سواء المكاني أو السلوكي — لا يكفي لتفسير –تعقيد تشغيل المدينة. فدفعة جديدة من التكامل النظري، تمثلت بنظرية الفضاء الاجتماعي ونظرية تفاعل الفضاء ومع .[18]السلوك، دفعت الإدراك الحضري إلى مرحلة بحثية مركّزة على »ارتباط الفضاء المادي–النشاط البشري« دخول عصر المعلوماتية، أدت نشأة معلوماتية المدن وإدخال البيانات المكانية–الزمانية متعددة المصادر والذكاء الاصطناعي والرسوم البيانية المعرفية إلى انتقال الإدراك الحضري من المفهوم النظري إلى النمذجة المنظّمة، فلم تعد المدينة مجرد موضوع للإدراك والتمثيل، بل أصبحت نظاماً معقداً قابلاً للفهم والتنبؤ والتدخّل في الوقت الفعلي .[19]وبالنظر إلى الصورة الإجمالية، سلك نظرية الإدراك الحضري مساراً تطورياً من التوصيف المكاني إلى التحليل السلوكي، ثم إلى الإدراك المنظومي المدفوع بالبيانات. لم يوفر هذا المسار الأساس الفكري لابتكار الأساليب فحسب، بل جعل أيضاً »التفاعل بين الفضاء والنشاط« القضية المحورية لفهم آليات التشغيل المعقدة للمدينة.

1.2 تطور تقنيات الإدراك الحضري

مع الانتقال التدريجي للأطر النظرية من ارتباط الفضاء–السلوك إلى الإدراك المنظومي، ركّزت الدراسات ذات الصلة على تحقيق الإدراك الديناميكي لآليات تشغيل المدينة من خلال الوسائل التكنولوجية — من خلال تقنيات متعددة ،للحصول على المعلومات حول البيئة المادية والنشاط البشري في المدن، وتحديد وجمع وتصنيف هذه المعلومات لتوفير أساس قابل للحوسبة للإدراك الحضري. مرّ تطور تقنيات الإدراك الحضري من الاستدلال التجريبي والمسح ،اليدوي إلى الإدراك الذكي، وتكمن مسيرته الجوهرية في توسيع موضوعات الإدراك من الفضاء المادي إلى النشاط البشري والانتقال بأساليب الإدراك من مصدر بيانات وحيد إلى الدمج متعدد المصادر، وتحويل محتوى الإدراك من التوصيف الجامد إلى العمليات الديناميكية المكانية–الزمانية.

اعتمد الإدراك الحضري البدائي بشكل رئيسي على الملاحظة اليدوية والبحوث التجريبية، حيث كان الباحثون يحصلون على خصائص الفضاء الحضري من خلال المسح الميداني والاستبيانات والبيانات الإحصائية، مع محدوديات جوهرية في اكتمال البيانات ونطاق التغطية. ومع الانتشار الواسع لصور الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)،

وكانت موضوعات .[20]دخل الإدراك الحضري مرحلة رسم خرائط رقمي تتمحور حول »الفضاء–الصورة–المؤشرات« — الإدراك في هذه المرحلة تتمثل بشكل رئيسي في العناصر المكانية المادية — استخدام الأراضي، والمباني، والطرق وهياكل البيانات بشكل أساس صواري أو متجهي، مما حقق التعبير الكمي الدقيق للمعلومات المكانية الثابتة.

–ومع تطور الإنترنت المحمول وتكنولوجيا إنترنت الأشياء، اكتملت تدريجياً البنى التحتية الذكية المتكاملة للفضاء وبالاستناد إلى صور الاستشعار عن بُعد .[21]الجو–الأرض، ودخل الإدراك الحضري مرحلة ذكية ومتعددة المصادر متعددة الأزمنة والأطياف التي تجمعها أجهزة استشعار متخصصة، وصور الشوارع وبيانات رصد البيئة، مقترنةً بالإدراك الاجتماعي المحمول بالإنسان)إشارات الهاتف المحمول، وسائل التواصل الاجتماعي، بيانات المسارات(والإدراك التشاركي)الصور والنصوص ومعلومات الموقع التي يرفعها المستخدمون(، أصبحت الخصائص الديناميكية الحضرية ولم تقتصر أبحاث هذه .[22]تُلتقط الآن في الوقت الفعلي، وتحوّل مركز ثقل الإدراك من »الأشياء« إلى »الناس« ،المرحلة على الشكل المادي للفضاء الحضري فحسب، بل أولت اهتماماً أكبر للتعرف على المعلومات العملية وتحليلها ومن بين الأبحاث التمثيلية: تحديد شدة .[23]مثل سلوك الأفراد والجماعات، وأنماط التنقل، وتغيّرات استهلاك الطاقة والتعرف على ،[25-24]النشاط البشري والحدود الوظيفية الديناميكية من خلال بيانات إشارات الهاتف المحمول والإدراك الفوري للتنقل ،[27-26]المشاعر الحضرية والتفضيلات المكانية من بيانات وسائل التواصل الاجتماعي وقد حوّل دمج هذه البيانات غير المتجانسة .[29-28]الحضري من خلال أجهزة استشعار المرور والمراقبة بالفيديو متعددة المصادر المدينة من موضوع مُراقَب ك»صورة ثابتة« إلى موضوع مُراقَب ك»عملية ديناميكية«، واضعاً أساساً للتحليل الدقيق لتشغيل المدينة.[30]

وحالياً، يتعمق الإدراك الحضري نحو اتجاهات التكامل والذكاء والإدراكية. غير أن الاعتماد على وسائل الإدراك فقط للحصول على البيانات ودمجها لا يزال غير كافٍ لكشف العلاقات المنطقية الجوهرية بين العناصر الحضرية. فأصبح التحليل المنهجي للفضاء المادي والنشاط البشري لدعم الإدراك الحضري واتخاذ القرارات القضية المحورية للمرحلة البحثية التالية.

تعميق أساليب التحليل الحضري 1.3

يمثّل التحليل الحضري — على أساس الإدراك — عملية تحديد وتفسير والتنبؤ بالعلاقات التفاعلية بين الفضاء المادي والنشاط البشري، بهدف كشف الآليات الداخلية لتشغيل المدينة وتقديم الدعم لاتخاذ القرارات. تطورت أساليب التحليل الحضري من الإحصاء المكاني إلى النمذجة الشبكية، ثم إلى الاستدلال الدلالي، وهدفها الجوهري انتقل تدريجياً من تحليل التشكيلات الثابتة إلى إدراك الآليات الديناميكية.

اعتمد التحليل الحضري البدائي بشكل رئيسي على الإحصاء المكاني والنماذج الإقليمية لكشف الأنماط الكلية للشكل الحضري والتوزيع الوظيفي. فقد كشفت الأساليب المتمثلة بتحليل التوزيع المكاني–الزماني عن الارتباط الذاتي المكاني ؛ وشدّدت الدراسات الكمية المتمثلة بالنماذج الإحصائية التقليدية)نماذج[31]والخصائص التطورية للعناصر الجغرافية ؛ أما الدراسات المركزة على النماذج[33-32]الجاذبية، نماذج الانحدار، إلخ(على الارتباط الإحصائي للعلاقات المكانية المكانية وتحليل الشبكات، فقد وصفت كمياً منطق تنظيم البنى المكانية من خلال أساليب مثل بناء الجملة المكانية ومع تطور الذكاء الاصطناعي، أُدخلت نماذج تعلّم الآلة والتعلّم العميق إلى البحث .[35-34]وتحليل إمكانية الوصول انتقل التحليل الحضري في هذه المرحلة من .[36]الحضري، مما عزّز بشكل كبير القدرة على تحليل المشكلات المعقدة الوصف الهيكلي إلى الاستدلال الآلي، لكنه بقي في الغالب على المستوى الكلي وببيانات مجمّعة، مما صعّب التقاط خصائص التنظيم الذاتي وعمليات التفاعل المكاني–الزماني للعناصر المتعددة داخل النظام الحضري المعقد.

ولذلك أُدخلت نظرية الشبكات المعقدة إلى هذا المجال، حيث تُجرّد المدينة كشبكة علائقية مكونة من الناس والأماكن والمرافق والأحداث، ومن خلال تحليل توزيع الدرجات، وخصائص العالم الصغير، ومعاملات التجمع، وفّرت منظوراً ووصفت نماذج الشبكات العصبية متعددة الطبقات المطوّرة على .[37]جديداً لكشف القوانين الكامنة لتشغيل المدينة ؛ وأدخلت نماذج[38]هذا الأساس العلاقات المتتالية بين المستويات المختلفة للأرض والصناعة والسكان والنقل التفاعل متعدد الوكلاء منطق السلوك وآليات اتخاذ القرار في إطار التحليل، كاشفةً عن الاستجابة الديناميكية بين سلوك الحشود وحالات الفضاء. وبنت هذه المقاربات الثلاث معاً أساس تحليل النظم الحضرية المعقدة، دافعةً –التحليل الحضري من »الإدراك الموازي« إلى »الاستدلال التفاعلي«، ومحققةً تقدماً مهماً في فهم ارتباط الفضاء النشاط–الأثر.

غير أن هذه النماذج لا تزال تعاني قصوراً في التعبير الدلالي والاستدلال المنطقي، لا سيما في مواجهة البيانات غير المتجانسة متعددة المصادر، حيث يصعب تحقيق دمج المعلومات عبر المجالات وتفسير الآليات السببية. وقد وفّر إدخال الرسوم البيانية المعرفية نقطة اختراق لحل هذه المشكلة، فهي ترث مزايا تحليل بنية الشبكات وفي الوقت ذاته

تعزّز القدرة على دمج البيانات عبر المجالات ونمذجة العلاقات السببية. وأصبح الإدراك الوظيفي الحضري المدفوع ووسائل التواصل الاجتماعي والإدراك البصري نقطة بحث ساخنة، حيث طُبّقت الرسوم (POI) ببيانات نقاط الاهتمام البيانية المعرفية للوظائف الحضرية المبنية على بيانات متعددة المصادر لدعم الإدراك الوظيفي الحضري وتحليل ،رسوم بيانية ديناميكية من بيانات التنقل خلال الجائحة [40]وآخرون Chen وقد بنى .[39]التطور المكاني–الزماني رسوم تدفق [41]وآخرون Zhu للمساعدة في توجيه تدفقات الأشخاص وتعديل استراتيجيات الإغلاق آنياً. واستخدم فقد دمجوا الرسوم [42]وآخرون Hu المرور وبيانات الطقس البيانية لتحسين دقة التنبؤ المروري قصير المدى. أما البيانية المعرفية مع الشبكات العصبية البيانية لنمذجة العلاقة السببية بين تدفقات الأشخاص واستهلاك الطاقة في المباني بمراكز المدن، محققين التحكم الذكي في أنظمة المباني. وتُظهر هذه الدراسات أن الرسوم البيانية المعرفية لا يمكن استخدامها للتكامل الدلالي للعناصر الحضرية فحسب، بل يمكن أن تكون أيضاً وسيطاً للنمذجة السلوكية والاستدلال الحوكمي، منظّمةً العناصر الحضرية في نظام معرفي قابل للحوسبة والتفسير.

وفي ضوء هذا السياق، تسعى هذه الدراسة لبناء منهجية إدراك حضري تتمحور حول الرسوم البيانية المعرفية، من خلال إطار تحليلي مُنظّم ودلالي وديناميكي، لبناء نموذج تعبيري معرفي للتفاعل الشامل بين الفضاء المادي الحضري والنشاط البشري، واستكشاف نظام إدراك ديناميكي يربط »الإدراك–الفهم–الاستجابة«، لدعم تطبيقات الحوكمة الحضرية المدفوعة بالسلوك في مشاهد ومقاييس متعددة.

2 التخطيط الشامل للنشاط البشري الحضري بناءً على الرسوم البيانية المعرفية: المنطق والأساليب

لأجل إدراك وتحليل العمليات المعقدة لتشغيل المدينة، تُنشئ هذه الدراسة نظام إدراك ديناميكي حضري موجّهاً نحو المعلومات متعددة الأبعاد للفضاء المادي الحضري والنشاط البشري، مستخدمةً الرسوم البيانية المعرفية كإطار تمثيلي. ،[43]يدعم النظام التعبير المُنظّم والإدارة الديناميكية للعناصر المتمثلة بـ»إنسان–شيء–مكان–زمان–حدث–أثر« ويمكن تعريفه شكلياً على النحو التالي:

$$K_G = \{E, R, S, A\} (1)$$

حيث: K_G (Knowledge Graph) يرمز إلى الرسم البياني المعرفي؛ E (Entity) يرمز إلى الكيانات، ويشمل الأشياء والظواهر الملموسة للنشاط البشري، ويمثل العقد في الرسم البياني المعرفي؛ R (Relationship) يرمز إلى العلاقات بين هذه الكيانات، ويشكل الحواف في الرسم البياني المعرفي، حيث $R = \{(e_1, r, e_2) | r \in R, e_1, e_2 \in E\}$؛ S (Set) يرمز إلى الثلاثيات كيان–علاقة–كيان المتشكلة من ربط العقد بالحواف، ويشكل الوحدات الدلالية الأساسية للرسم البياني المعرفي؛ A (Attribution) يرمز إلى خصائص الكيانات، ويحقق $\forall e \in E$، $a_e \in A$، مع الخاصية المقابلة. ويُستخدم لوصف خصائص الهوية والزمان والمكان والقيم العددية للكيانات.

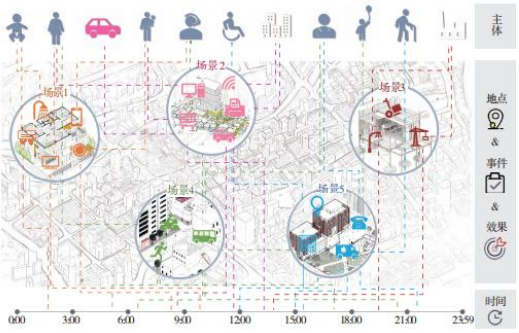
2.1 تعريف الكيانات ووضع العلامات على الخصائص

المفتاح لترحيل العمليات الحضرية الديناميكية إلى التمثيل بالرسم البياني المعرفي:

إن المهمة الأولى لبناء رسم بياني معرفي للنشاط البشري الحضري هي تحديد وتعريف الكيانات متعددة الأبعاد. يتضمن النشاط البشري في المدن مجموعة واسعة من العناصر غير المتجانسة، والتي يمكن تفكيكها إلى سلسلة من فئات المعلومات: الإنسان، الشيء، المكان، الزمان، الحدث، والأثر)الشكل 1(. تشكل هذه الكيانات الدلالية معاً عُقد المعلومات الأساسية لتشغيل المدينة، وهي أيضاً الأساس الهيكلي لبناء الرسم البياني المعرفي. ومن بينها: الإنسان أو الشيء هما فاعلا النشاط، ويغطيان مختلف الأفراد والحاملات الذين ينفذون الأنشطة في الفضاء الحضري؛ والمكان يشير إلى المواقع المكانية التي تجري فيها الأنشطة، بما في ذلك المباني والطرق والساحات، بالإضافة إلى المناطق والشبكات المتشكلة من تركيباتها؛ والزمان يُستخدم لوصف السياق الزمني لوقوع الأنشطة، ويدعم نمذجة إيقاعات السلوك والقوانين الدورية؛ والحدث يقابل العمليات المحددة التي ينفذها فاعلو النشاط في سياقات زمانية ومكانية معينة، ويشمل كلاً من الاستخدام الثابت للموارد)مثل استهلاك الكهرباء والماء والغاز(والعمليات السلوكية الديناميكية)مثل مسارات التنقل، والتدفقات المكانية، والتجمعات الاجتماعية(؛ والأثر يعكس التأثيرات الناتجة عن النشاط البشري الحضري عبر أزمنة وأماكن مختلفة، بما في ذلك على سبيل المثال لا الحصر المعلومات الواردة من أجهزة الإدراك المتعددة حول استهلاك المباني للطاقة، وأحمال المرور، وكثافة الفضاء، وهو نقطة نهاية حاسمة في سلسلة الإدراك الديناميكي الموجّهة نحو التدخّل الحوكمي.

يجب أن يتوفر لكل نوع من الكيانات في الرسم البياني معلومات كاملة عن الخصائص. لا يتم تحديد أنواع الخصائص بأبعاد ثابتة، بل ينبغي تعريفها بمرونة وفقًا لخصائص الكيان في سياقه الواقعي، وتشمل عادة علامات الهوية)مثل الاسم، المعرف(، والخصائص المكانية–الزمانية)مثل خطوط الطول والعرض، الطوابع الزمنية(، والخصائص السلوكية)مثل الدور، الحالة(، والمعلومات العددية)مثل استهلاك الطاقة، حجم التدفق(وغيرها من المعلومات القادرة على

توصيف الكيان، وذلك لتحقيق وصف متعدد الزوايا لحالات الكيانات. تشكل الكيانات وخصائصها البعد الهيكلي الأول



.للرسم البياني المعرفي، وهي الأساس للبنى المنطقية اللاحقة والتعبير السببي

الشكل 1. الكيانات متعددة الأبعاد في الرسم البياني المعرفي للنشاط الحضري

2.2 جوهر ترحيل العناصر الحضرية متعددة الأبعاد إلى بناء الشبكات الدلالية: المعالجة المُنظّمة ورسم العلاقات

في إطار تعريف الكيانات والخصائص، يجب تحويل الحجم الهائل من بيانات إدراك النشاط البشري إلى معلومات مُنظّمة قابلة للتشغيل الموحد. تستخدم هذه الدراسة أساليب التعلّم العميق لمعالجة المعلومات متعددة الأبعاد القادمة من صور الفيديو، ونصوص وسائل التواصل الاجتماعي، ومسارات التحديد المواقع، وغيرها من المصادر. وتحديداً، تُعالج صور الفيديو من خلال نماذج كشف الأشياء لتحديد فاعلي الحشود والمرور، وتُعالج نصوص وسائل ا ،مع مساعدة من تواصل الاجتماعي نماذج اللغة لاستخلاص الأحداث السلوكية والمواقع المكانية والعلامات الزمانية وتحلّل بيانات المسارات بالاقتران مع أساليب النمذجة الزمنية لتحديد أنماط المسارات وخصائص الأنشطة. وتخضع وتُخزّن بشكل موحد في قاعدة بيانات ،Python جميع البيانات لتحويل الصيغ وتحليل إحداثيات الفضاء في بيئة محققةً بذلك تحويل البيانات الخام غير المتجانسة متعددة المصادر إلى وحدات دلالية ،Neo4j الرسوم البيانية .مُنظّمة

وعلى أساس البيانات المُنظّمة، يجب تحديد العلاقات الدلالية بين الكيانات بشكل إضافي لبناء شبكة هيكلية قادرة على ،التعبير المنطقي. تتضمن العلاقات الدلالية في النظم الحضرية، على سبيل المثال لا الحصر: التجاور المكاني والانتماء والتسلسل الزماني والاستمرارية، وتنفيذ السلوك، والاستجابة للأحداث. تعكس هذه العلاقات التفاعلات الحقيقية بين – العناصر الحضرية على المستوى الدلالي، وتوفر دعماً دلالياً لبناء السلسلة المن منطقة » مَن – عين – لماذا – كيف . « ما النجدة

وعلى هذا الأساس، يُبنى نظام قواعد يربط القيود المكانية والزمانية والسلوكية لتحقيق الاستدلال شبه التلقائي للعلاقات الدلالية بين البيانات المُنظّمة. وتحديداً: تُولّد العلاقات الأساسية)مثل »يقع في«، »يتبع لـ«(تلقائياً من خلال ؛ وتحسب العلاقات المكانية بناءً على إحداثيات خطوط الطولPython في pandas مطابقة الحقول باستخدام دوال لحساب المسافات المكانية، وعندما تكون المسافة أقل من shapelyو geopandas والعرض، باستخدام مكتبات عتبة محددة، يولّد النظام تلقائياً علاقات مثل »يقع في«، »مجاور لـ«، »يعبر من«. وتُحدد العلاقات الزمانية)مثل »متزامن«، »متتابع«(من خلال فروقات الطوابع الزمانية؛ وتُستنتج العلاقات السلوكية)مثل »يشارك في«، »يظهر مع«(تلقائياً بناءً على تداخل معرّفات الفاعل وسجلات الأحداث في نوافذ زمنية، ويتم تنفيذ المنطق بواسطة دوال أما بالنسبة للعلاقات الدلالية المعقدة)مثل »يؤثر في«، »يستجيب لـ«، »يسبب«(.pandas السلاسل الزمنية في فتُدمج معرفة الخبراء لوضع قواعد منطقية، لتشكيل آلية توليد هجينة »وصف يدوي + استدلال بالقواعد«، لتحقيق .التوازن بين الدقة الدلالية وقابلية التوسّع الحسابي

وأخيراً، تُرسم القطع المُنظّمة على شكل ثلاثيات تتمحور حول »إنسان–حدث–مكان–زمان–شيء–أثر«، وتُدماج في ،محققةً تنظيم العقد والعلاقات، والاستعلام، والتحديث الديناميكي ،Neo4j الرسم البياني المعرفي عبر منصات مثل .مما يوفر بذلك حاملاً معرفياً قابلاً للتشغيل لإدراك آليات تشغيل المدينة وحوكمتها. انظر الشكل 2

الشكل 2. مسار رسم الفضاء المادي الحضري–النشاط البشري بناءً على الرسم البياني المعرفي

2.3 الجسر من دمج البيانات إلى الإدراك المعرفي: استعلام المسارات وتحليل الاستدلال

بعد إنجاز بناء الرسم البياني المعرفي، تدمج هذه الدراسة بشكل إضافي أساليب استدلال وتحليل الرسوم البيانية القائمة على مطابقة المسارات العلائقية وحساب التشابه الدلالي، لتحقيق الإدراك المعرفي من العلاقات الصريحة إلى السلاسل السببية الكامنة داخل الشبكة الدلالية متعددة الأبعاد.

يكشف مطابقة المسارات العلائقية من خلال الاستدلال متعدد القفزات عن السلاسل السلوكية الكامنة أو التبعيات المكانية. على سبيل المثال، عندما يتواجد »الفاعل أ — يشارك في — الحدث ب — يقع في — المبنى ج« و»المبنى ج مجاور لـ — المبنى د« في الوقت ذاته، يمكن من خلال الاستدلال بالمسار تحديد العلاقة الضمنية بأن »الفاعل أ قد — يكون نشطاً بالقرب من المبنى د«. تعتمد هذه الطريقة على وظائف مطابقة أنماط المسارات في لغة الاستعلام Cypher في قاعدة بيانات Neo4j، مقترنةً بمكتبة NetworkX في Python، لتحليل الرسوم البيانية لتحقيق الاسترجاع التلقائي والاستدلال على المسارات متعددة القفزات.

أما حساب التشابه الدلالي فيُستخدم لتحديد الكيانات ذات الخصائص المتشابهة أو الوظائف المتقاربة أو أنماط السلوك المتسقة بين الكيانات متعددة المصادر. ومن خلال استدعاء مكتبات scikit-learn و gensim في Python لمعالجة معلومات خصائص عُقد الكيانات إلى تمثيل شعاعي، مقترنةً بخوارزمية تشابه العقد (node similarity) في Neo4j، يجري تقييم شامل للتشابه الدلالي بين الأماكن المكانية والأحداث السلوكية، كاشفاً بذلك عن ظواهر تكرار الأنماط والارتباط الوظيفي داخل النظم الحضرية.

وتتم المعالجة المسبقة للبيانات واسترجاع المسارات، Neo4j يُنفذ نظام الاستدلال البياني في بيئة قاعدة بيانات Cypher، عبر عبارات Neo4j وتُعاد نتائج الاستدلال إلى قاعدة بيانات Python، وحساب التشابه الدلالي في منصة مشكّلةً شبكة معرفية محدّثة ديناميكياً. لا تقتصر هذه العملية على تحقيق التعبير الشامل عن الفضاء المادي الحضري والنشاط البشري فحسب، بل تسهم أيضاً في كشف السلاسل السلوكية والتبعيات المكانية وآلياتها السببية.

3 الإدراك متعدد الأبعاد للمشاهد الحضرية المصغرة بناءً على الرسوم البيانية المعرفية: حالة الحرم الجامعي

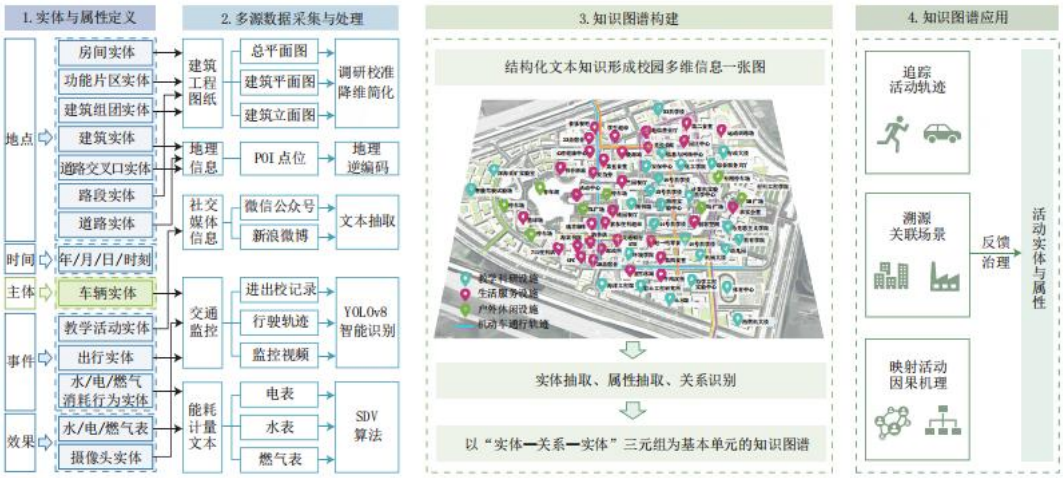
3.1 موضوع البحث واختيار المشهد

للتحقق من جدوى وإمكانات تطبيق الطريقة المقترحة، اختير الحرم الجامعي الجديد للجامعة)أ(في ضواحي تيانجين كمنصة تجريبية على المستوى المجهري، نظراً لتمثيله وسهولة الحصول على بياناته. تبلغ المساحة الإجمالية للحرم الجامعي الجديد للجامعة)أ(أكثر من 2.4 مليون متر مربع، ومساحة المباني 1.55 مليون متر مربع، ويعتمد تخطيطه المكاني نمط »حزام تخصصي + حزام وظيفي«، بحدود وظيفية واضحة وأنواع أنشطة غنية. وفي الوقت ذاته، يوجد في الحرم الجامعي أنظمة مراقبة فيديو كاملة وأجهزة قياس ذكية، مما يوفر الدعم البياني اللازم لبناء الرسم البياني المعرفي.

3.2 جمع البيانات متعددة المصادر والمعالجة المُنظّمة

بدمج المسح الميداني مع البيانات الضخمة للإنترنت، جُمعت معلومات الأنشطة للفصل الدراسي الخريفي من عام 2023)1 سبتمبر 2023 — 1 يناير 2024(، وبُني نظام بيانات مركّب يشمل المخططات الهندسية للمباني والمعلومات الجغرافية، ومعلومات وسائل التواصل الاجتماعي، ومراقبة المرور، ونصوص قياس استهلاك الطاقة. تأتي البيانات بشكل رئيسي من المواد الإحصائية التي تقدمها إدارة الخدمات اللوجستية بالجامعة، ومن البيانات المفتوحة للمنصات العامة على الإنترنت. ونظراً لأن بيانات إشارات الهاتف المحمول يصعب الحصول عليها بسبب قيود حماية الخصوصية وتفويض البيانات، استُخدمت تنقلات المركبات الآلية كمتغير بديل لتنقلات الإنسان، لوصف سلوك التنقل في الحرم الجامعي.

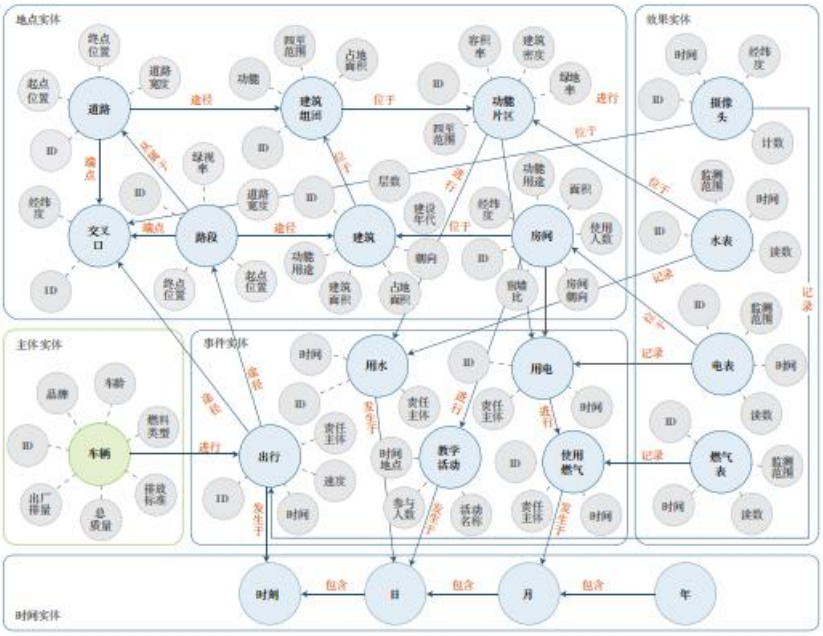
وفي مرحلة معالجة البيانات، أُدخلت أساليب ذكية تشمل نموذج SDV (Synthetic Data Vault) وخوارزمية YOLOv8، لتنفيذ توحيد الصيغ، ومحاذاة الطوابع الزمانية، وترميز الكيانات الموحد على البيانات متعددة الوسائط ودمجها في خريطة معلوماتية شاملة متعددة الأبعاد للحرم الجامعي)الشكل 3(، مما يوفر واجهات بيانات عالية الجودة ومُقيّسة لبناء الرسم البياني المعرفي.



الشكل 3. المسار التقني لبناء الرسم البياني المعرفي للحرم الجامعي)أ(في تيانجين

نتائج نمذجة الرسم البياني المعرفي لأنشطة الحرم الجامعي وخصائصه 3.3

بُني الرسم البياني المعرفي لأنشطة الحرم الجامعي باستخدام قاعدة بيانات Neo4j بناءً على البيانات المعالجة مُنظّماً،)الشكل 4(، ويضم نحو 54 ألف عقدة و118 ألف حافة علائقية، ويغطي مختلف فاعلي الأنشطة، والأحداث السلوكية، والكيانات المكانية، وسجلات استهلاك الطاقة داخل الحرم الجامعي. في الرسم البياني، تشكل العلاقات متعددة المستويات بين الكيانات وخصائصها الزمانية والمكانية والسببية معاً شبكة معرفية، قادرة على تحقيق تحليل الاستجابة السريعة لقضايا الحوكمة الرئيسية — مثل المسارات غير الطبيعية للأنشطة، والأماكن ذات استهلاك الطاقة العالي، وأحداث التجمع الكثيف — من خلال الاستعلام الدلالي والتتبع السببي.



الشكل 4. تعريفات الكيانات والخصائص في الرسم البياني المعرفي لأنشطة الحرم الجامعي)أ(في تيانجين

تطبيقات الرسوم البيانية المعرفية في الإدراك الحضري: التطبيقات والاستلهامات 4

تطبيقات الحوكمة في مشهد الحرم الجامعي 4.1

تستطيع منهجية الإدراك الديناميكي الحضري المدفوعة بالرسوم البيانية المعرفية المقترحة في هذه الدراسة تحقيق التعبير المُنظّم لأنماط الأنشطة على مستوى النطاق الكامل، ودعم تجميع المعلومات متعددة الأبعاد والتحليل السببي من أي عقدة. وتمثّل بُعد » الاثر « الاستجابة الناتجة عن النشاط البشري في الزمان والمكان، وهو الحلقة الجوهرية في الإدراك البياني، ونقطة قدم الحوكمة الحضرية. لذا، وبالاستناد إلى الرسم البياني المعرفي لأنشطة الحرم الجامعي)أ(،

،من يوم 18 ديسمبر 2023 — وهو يوم دراسي نموذجي — كنافذة مراقبة (7:30–8:30) اختيرت فترة ذروة الصباح واختيرت مركبة دخلت الحرم الجامعي بشكل عشوائي كنقطة انطلاق للاستعلام الدلالي، مع التركيز على خصائص الأثر ودلالاته الدلالية، لاستكشاف إمكانات الرسوم البيانية المعرفية في التكامل الدلالي وتحديد المنطق السببي.

4.1.1 تحديد مسارات التنقل: النشاط الفردي والمسار المكاني

بالاستناد إلى قدرات التنظيم المُنظّم والاستعلام الدلالي للرسم البياني المعرفي، بدأ النظام الاستعلام من المركبة ذات T041 الناتجة عن التي التقطتها كاميرا المراقبة عند البوابة الشمالية، محدّداً عقدة نشاط التنقل *Jing H1Z اللوحة دخول المركبة الحرم الجامعي في الساعة 8:17 من يوم 18 ديسمبر 2023، وقام بالتتبع العكسي لهذا السلوك التنقلي]الشكل 5)أ([. استرجع الرسم البياني تلقائياً خصائص المسار وعلاقات العقد المجاورة لهذا حدث التنقل، مكتملاً إعادة البناء الدلالي للمسار الفردي للمركبة داخل الشبكة المكانية للحرم الجامعي.

— أظهرت نتائج تتبع المسار أن المركبة، بعد دخولها الحرم الجامعي من البوابة الشمالية، مرت تباعاً بخمسة تقاطعات XY وتوقفت أخيراً بالقرب من مبنى التدريس رقم 55، مشكلةً مسار التنقل »طريق — P58و P57و P56و P37و P01 الشمالي«. ومن خلال خصائص حجم تدفق المركبات لعُقد الكاميرات في MD الأوسط — طريق XY الشمالي — طريق الرسم البياني، حُدّد مسار التنقل هذا كممر رئيسي ذو ضغط مروري أكثر تركيزاً خلال فترة ذروة الصباح، بكثافة تدفق متوسط أعلى بكثير من المسارات الأخرى المتزامنة، حاملاً حجم كبير من سلوكيات التنقل بين المناطق داخل الحرم الجامعي.

تُظهر إعادة بناء مسار المركبة قدرة الرسم البياني المعرفي على بناء سلاسل سلوكية كاملة من عُقد فردية، مما يوفر أساساً هيكلياً لتحديد أنماط التنقل عالية التكرار واستكشاف منطق استخدام الفضاء.

4.1.2 الربط المعلوماتي الدلالي: شبكات العناصر المكانية وخصائص التجمع

على أساس مسار التنقل المحدد، حلّل النظام بشكل إضافي البنى المكانية متعددة الأبعاد والعُقد الوظيفية المرتبطة من خلال خصائص الكيانات وآليات الارتباط الدلالي للرسم البياني المعرفي، كاشفاً عن المنطق المكاني السلوكي الكامن.

تُظهر النتائج أن وجهة التنقل، مبنى التدريس رقم 55، ينتمي إلى مجمع كلية المعلوماتية، وهو أحد الوحدات ذات أكبر عدد من الأساتذة والطلاب وأكثر الأنشطة التعليمية والبحثية كثافة في الحرم الجامعي — وجهة نموذجية للتنقلات ،عالية التكرار]الشكل 5)ب([. وعلى طول مسار التنقل هذا تمر العديد من مساكن الطلاب، والمكتبة، ومراكز الأنشطة :ومبنى التدريس رقم 45، وغيرها من الأماكن العامة المهمة، رابطةً السلسلة السلوكية اليومية لمجموعة الطلاب »السكن–الدراسة–التواصل«. وفي الوقت ذاته، يغطي هذا المسار أيضاً عُقد مرافق الخدمات في المجمع السكني، بما والمطاعم ونقاط البريد. يرفع التراكب بين تأثير التجمع المكاني للمرافق التجارية والمرافق supermarkets في ذلك التعليمية بشكل كبير من قدرة هذه المنطقة على جذب تدفقات الأشخاص، مشكّلاً بذلك علاقة ارتباط بين نقاط ساخنة مكانية–سلوكية يدفعها معاً وظائف التدريس وخدمات المعيشة.

يُثبت الاستعلام المرتبط للمعلومات المكانية قدرة نظام الرسم البياني المعرفي على الارتباط التلقائي من السلاسل السلوكية الفردية إلى المعلومات متعددة الأبعاد على مستوى النطاق الكامل، مقدماً مساراً إدراكياً لفهم علاقات التفاعل بين البنى المكانية المعقدة والآليات السلوكية في الحرم الجامعي.

4.1.3 تحليل المنطق السببي: الأحداث المحرّكة واستجابة استهلاك الطاقة

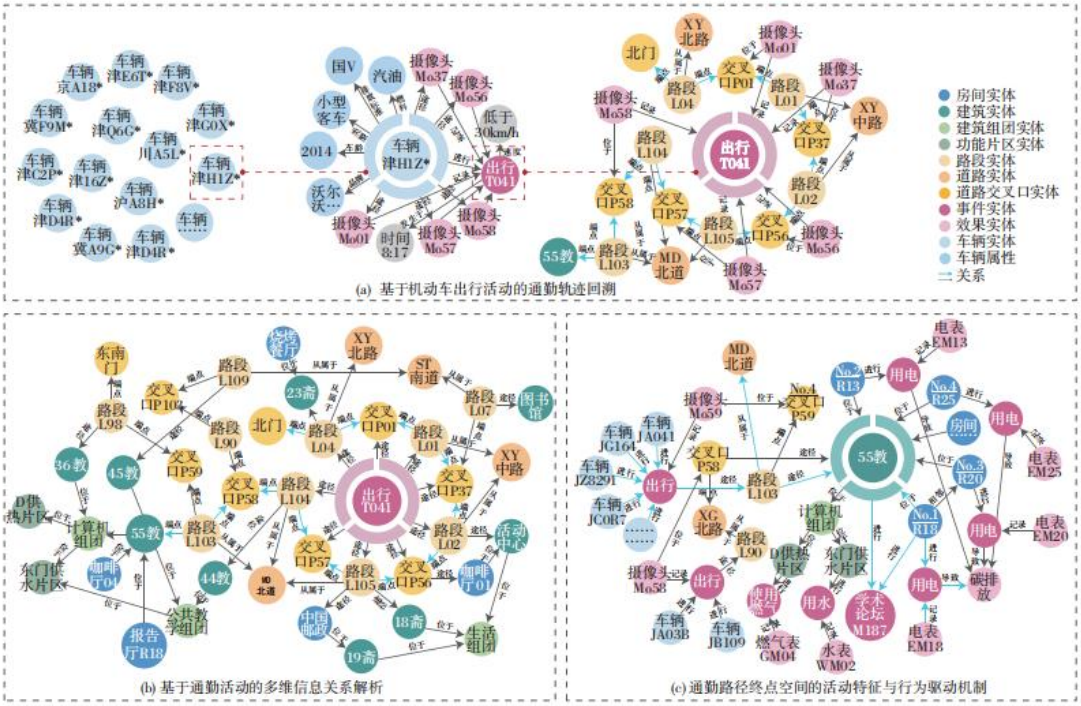
بناءً على الموقع النهائي لسلوك التنقل المذكور، استدعى النظام بشكل إضافي وحدة الارتباط الدلالي للرسم البياني المعرفي لإجراء استعلام عميق وتتبع هيكلي للكيانات المكانية ومحتويات الأنشطة المرتبطة بمبنى التدريس رقم 55.

أولاً، أظهرت نتائج الاستعلام المبنية على خصائص عُقد المباني أن مجمع التدريس للمعلوماتية حيث يقع مبنى رقم 55 ومنطقة إمداد المياه عند البوابة الشرقية، وأنشطته لاستهلاك الماء والطاقة مسجّلة في D ينتمي إلى منطقة التدفئة جداول المنطقة. يحتوي المبنى على 174 غرفة، تغطي وظائف متنوعة مثل الفصول الدراسية، والمختبرات، وغرف الاجتماعات، وقاعات المحاضرات، والمقاهي، ودورات المياه، وتُجمع بيانات الكهرباء يومياً من عدادات فردية في كل غرفة وتسجَّل في الوقت الفعلي في خصائص عُقد استهلاك الطاقة في الرسم البياني. وأظهر الاستعلام الإضافي لخصائص استهلاك الطاقة لعُقد الغرف المُجمّعة يومياً أن من بين 29 غرفة المصنفة ضمن أعلى 3‰ من استهلاك الكهرباء سجّلت R18 اليومي، تقع 11 غرفة داخل مبنى التدريس رقم 55، بنسبة 37.9%. والجدير بالذكر أن قاعة المحاضرات استهلاكاً يومياً للكهرباء بلغ 87.3 كيلوواط ساعي، بما يعادل 69.4 كجم من انبعاثات الكربون، في المرتبة الأولى بين ما يقرب من 10,000 غرفة في الحرم الجامعي بأكمله في ذلك اليوم، بحمل طاقة أعلى بكثير من المساحات التعليمية العادية الأخرى.

ثانياً، استدعى النظام وظيفة التتبع الدلالي للرسم البياني المعرفي لربط معلومات متعددة الأبعاد تشمل البنية المكانية

)مجمع التدريس، المنطقة الفرعية للطاقة(، والأحداث السلوكية في ذلك اليوم، وعُقد العليا لمبنى التدريس رقم 55 المرور المحيطة]الشكل 5)ج([. أظهرت النتائج أنه في 18 ديسمبر، نظّمت كلية المعلوماتية منتدى أكاديمياً كبيراً في هذا المبنى، واستُخدمت عدة قاعات لأنواع مختلفة من الندوات وعروض النتائج والأنشطة التعليمية. وكانت قاعة هي المكان الرئيسي للمنتدى، بعدد المشاركين الأكبر ومدة النشاط الأطول، مما شكّل أكثر احتياجات R18 المحاضرات من الطرق الرئيسية للتنقل المجاورة لمبنى L103و L90 الطاقة تركيزاً في ذلك اليوم. وفي الوقت ذاته، أظهر القسمان التدريس رقم 55 تذبذبات زمنية متسقة جداً مع تغيّرات استهلاك الكهرباء لعدة غرف في المبنى في ذلك اليوم في منحنيات كثافة المرور، كاشفةً عن الآلية النموذجية »مُحفّز سلوكي–تجمع مكاني–استهلاك طاقة« المدفوعة بالأنشطة التعليمية الكبيرة، وعاكسةً العملية الديناميكية لتفاعل العناصر المتعددة في وحدات المقياس المجهري الحضري.

من خلال تتبع مسارات الارتباط الدلالي بين عُقد الرسم البياني، نجح النظام في دمج المعلومات متعددة الأبعاد المشتتة في الأصل، وأعاد بناء المنطق السببي الكامن وراء أنشطة الحرم الجامعي، مقدّماً دعماً هيكلياً للتدخّل الحوكمي.



الشكل 5. تطبيقات الرسم البياني المعرفي في حوكمة مشهد الحرم الجامعي

المصدر: مُعاد رسمه من الرسم البياني المعرفي لأنشطة الحرم الجامعي)أ(

الترويج متعدد المشاهد والاستلهامات المنهجية 4.2

لا تثبت الدراسة التجريبية المبنية على الرسوم البيانية المعرفية في مشهد الحرم الجامعي قدرة هذه الطريقة على دمج المعلومات والنمذجة الدلالية في الفضاءات عالية الكثافة فحسب، بل توفر أيضاً منهجاً تحليلياً قابلاً للتعميم لفهم العمليات السلوكية على المقاييس الحضرية الأكبر. فمن خلال تحديد سلاسل النشاط الفردي، وتكرار استخدام الفضاء، وعلاقات التواجد السلوكي المشترك، يمكن كشف المنطق السلوكي وقوانين الاستجابة المكانية الموجودة بشكل عام في التنظيم المكاني الحضري، مقدّمةً مرجعاً مجهرياً للإدراك الديناميكي للمشكلات الحضرية المعقدة.

وكحامل جوهري يربط العملية الكاملة »تحديد–إسناد–محاكاة–تغذية راجعة«، يتمتع الإطار الدلالي للرسوم البيانية المعرفية بقدرة عالية على إعادة البناء، حيث يمكن تعريف أنواع الكيانات والعلاقات وتعديلها بمرونة وفقاً لمشاهد التطبيق، ويمكن أيضاً تحديث الخصائص ديناميكياً، مما يتيح التكيف مع مصادر بيانات متنوعة ومتطلبات إدراكية مختلفة دون تغيير المنطق الدلالي العام. تتيح هذه الخاصية للنموذج الإدراكي المبنى في هذه الدراسة الحفاظ على الاتساق الدلالي والقابلية المنطقية للتفسير عبر مستويات مكانية ومجالات موضوعية مختلفة. ومن هنا، يمكن توسيع الطريقة لتشمل أحياء السكن، والمناطق الصناعية، والمناطق التجارية، وغيرها من أنواع الفضاءات الحضرية، وحتى المدينة بكاملها، وتحقيق نمذجة الإدراك متعدد الأبعاد والاستجابة في مجالات مختلفة مثل إدارة الطاقة، والتنظيم البيئي، وحماية التراث، والتجديد الحضري.

ومن الناحية التأديبية، تدفع الرسوم البيانية المعرفية بحث التخطيط الحضري من الوصف المكاني الجامد نحو التحليل الإدراكي الديناميكي، مبنيةً السلسلة المنطقية »معلومات–معرفة–إدراك«، ولا تكمن أهميتها فقط في تحقيق التكامل المُنظّم والتعبير الشامل للعناصر الحضرية متعددة الأبعاد، بل الأهم من ذلك في كشف آليات تشغيل المدينة بطريقة قابلة للحوسبة والتفسير، مقدمةً مسارات تحقيق جديدة لبناء المدن التوأم الرقمية والحوكمة الذكية، ودافعةً قرارات التخطيط من التوجيه القائم على الخبرة نحو النهج المدفوع بالبيانات والمعرفة، ومحققةً التكامل ثنائي الاتجاه والابتكار بين النظرية التأديبية والممارسة الحوكمية.

5 الخلاصة والتطلعات

في مواجهة التحديات الحالية المتمثلة في عدم كفاية دقة تحليل الارتباط بين الفضاء المادي الحضري والنشاط البشري، وانفصال آليات الاستجابة، اقترحت هذه الدراسة منهجية إدراك ديناميكي حضري قائمة على الرسوم البيانية المعرفية. تتمحور هذه المنهجية حول البنية الدلالية »إنسان–شيء–مكان–زمان–حدث–أثر«، محققةً حلقة مغلقة كاملة من جمع البيانات متعددة المصادر، ونمذجة السلوك، إلى دعم الاستجابة.

في الدراسة التجريبية في الحرم الجامعي، أظهر الرسم البياني المعرفي للنشاط البشري المبنى قدرات جيدة على تجميع المعلومات والارتباط الدلالي، ودعم بشكل فعّال مهام التحليل متعددة الأبعاد — من تتبع المسارات الفردية، وتحديد العلاقات المكانية، إلى تحليل الآليات السببية. أثبتت الدراسة جدوى وقابلية توسيع هذه الطريقة في الحوكمة المكانية على المستوى المجهري، مجسدةً إمكانات الرسوم البيانية المعرفية في تعزيز التكامل الدلالي، والتعبير الهيكلي، والاستدلال والاستنتاج لأساليب الإدراك الديناميكي. ومن منظور حوكمة التخطيط الحضري، توفر هذه الطريقة مساراً تقنياً لبناء نظام إدراك ديناميكي يتمحور حول منطق »إنسان–مشهد–سلوك«، تمتلك أساليب تحليلية قابلة للتعميم ونماذج منهجية قابلة للنقل والتوسيع، ويمكن دمجها في مختلف مشاهد الممارسة التخطيطية — بما في ذلك تنظيم المرور في المناطق المركزية، ورصد وتنظيم البيئة في المناطق الصناعية، وحماية التراث الثقافي والتاريخي وتجديده — مما يساعد على تحقيق التحول في نموذج الحوكمة من التوجيه الجامد للتوزيع إلى النهج الديناميكي المدفوع بالسلوك.

وفي المستقبل، لا تزال أنظمة الإدراك الديناميكي الحضري تحتاج إلى التعميق المستمر في ثلاثة اتجاهات رئيسية: أولاً، دفع أتمتة الوصول إلى البيانات عند طرف الإدخال، وتعزيز القدرة على معالجة البيانات غير المتجانسة في الوقت الفعلي؛ ثانياً، تعزيز عمق استخراج المعلومات داخل الرسم البياني، وتقوية القدرة على تحديد وبناء أنماط السلوك المعقدة والعلاقات الدلالية؛ ثالثاً، توسيع آليات الارتباط بين الرسم البياني وأطراف اتخاذ القرار، وتعزيز القدرة على التغذية الراجعة الاستراتيجية، ومحاكاة المشاهد، والتنسيق بين الإدارات. ستعمل هذه المسارات معاً على دفع الرسوم البيانية المعرفية الحضرية من أداة تنظيم بيانات نحو منصات حوكمة حضرية، مقدمةً الدعم لبناء نظم حوكمة حضرية جديدة.

المراجع

[1] BATTY M. The pulse of the city[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2010, 37(4): 575-577.

[2] YANG Junyan, ZHANG Xun, YANG Qingxin, et al. Tracing origins and building foundations: a geomorphological analysis of disciplinary development in urban-rural planning[J]. City Planning Review, 2025, 49(5): 4-16.

[3] WANG De, HU Yang. Urban spatiotemporal behavior planning: concept, framework, and prospects[J]. Urban Planning Forum, 2022(1): 44-50.

[4] SHAO Yuntong, WU Xiao. The evolution pattern of city connectivity in the Yangtze River Delta under the "hierarchy-network" dual dimension: an analysis based on population flow big data[J]. Urban Planning Forum, 2023(6): 59-67.

[5] WANG Weiqiang, MA Xiaojiao. Research on waterfront public space vitality evaluation based on multi-source data: a case study of the Huangpu River waterfront area[J]. Urban Planning Forum, 2020(1): 48-56.

[6] WU Zhiqiang, HE Rui, CHEN Zeyin, et al. Intelligent scenarios: conceptual discussion and urban planning practice of 246 global cases[J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 12-17.

[7] NIU Xinyi, LIN Shijia. Spatiotemporal big data in urban planning research: technological evolution, research agendas, and frontier trends[J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 50-57.

[8] ZHAO Ke, DUAN Linling, LI Jielian. Knowledge graph technology support: smart urban planning approaches inspired by the DIKW model[J]. Urban Planning International, 2023, 38(1): 1-13.
[9] LI Jiewen, WANG Hongyang. Dialectics and transcendence of urban spatial homogenization: a case study of the Wukang Road project in Shanghai[J]. City Planning Review, 2024, 48(1): 79-89.
[10] XIAO Zuopeng, DONG Ziye, CUI Chong, et al. Exploration of time-oriented urban design theory and practice[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2024(2): 8-14.
[11] JACOBS J. The death and life of great American cities[J]. New York Times Book Review, 2021, 12625.
[12] JOHNSTON R J. Philosophy and human geography: an introduction to contemporary approaches[M]. New York: Wiley, 1986.
[13] TA Na, CHAI Yanwei. The disciplinary positioning and frontier directions of behavioral geography[J]. Progress in Geography, 2022, 41(1): 1-15.
[14] ZHANG Wenjia, LU Daming. Methodology of behavioral geography and the micro human-land relationship research paradigm[J]. Progress in Geography, 2022, 41(1): 27-39.
[15] NORBERG-SCHULZ C. Genius loci: towards a phenomenology of architecture[M]. New York: Rizzoli, 1979.
[16] TUAN Y F. Space and place: the perspective of experience[M]. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1977.
[17] ELLEGÅRD K, SVEDIN U. Torsten Hägerstrand's time-geography as the cradle of the activity approach in transport geography[J]. Journal of Transport Geography, 2012, 23: 17-25.
[18] CHAI Yanwei, TAN Yiming, SHEN Yue, et al. Basic ideas for constructing the space-behavior interaction theory[J]. Geographical Research, 2017, 36(10): 1959-1970.
[19] LIU Chao, WU Zhiqiang. Research progress of urban informatics in planning science, practice, and education[J]. Urban Planning International, 2024, 39(1): 1-10.
[20] NING Xiaogang, WANG Hao, ZHANG Hanchao, et al. High-precision urban boundary extraction and spatiotemporal expansion analysis of Chinese cities at or above the prefecture level from 2000 to 2016 based on remote sensing[J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2018, 43(12): 1916-1926.
[21] GONG Jianya, ZHANG Xiang, XIANG Longgang, et al. Progress and application of comprehensive sensing and intelligent decision-making for smart cities[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2019, 48(12): 1482-1497.
[22] TU Wei, CAO Jinzhou, GAO Qili, et al. Fusing multi-source spatiotemporal big data for perceiving urban dynamics[J]. Journal of Wuhan University (Information Science Edition), 2020, 45(12): 1875-1883.
[23] HAN Shengfa, LI Jijun, CUI Yunze. New discoveries in urban image theory based on image and spatiotemporal data: limitations, extensions, and applications[J]. Urban Planning Forum, 2024(Suppl. 1): 127-133.
[24] TIAN Lin, CHENG Yao, NIU Xinyi. Spatial organization of towns and villages from a network perspective: an analysis based on residents' travel connections in Lin'an District, Hangzhou[J]. Urban Planning Forum, 2023(1): 104-110.
[25] XIAO Hongwei, ZHAO Min, ZHANG Jie, et al. Multi-scale spatial correlation analysis and planning issues of "new towns" in the new era: examples from Beijing, Shanghai, and Guangzhou[J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 18-27.

[26] LIU Jian, MENG Bin, CHEN Siyu, et al. Exploration of residents' dining activities and urban spatial relationships in Beijing based on multi-source big data[J]. Human Geography, 2021, 36(2): 63-72.
[27] LI Zherui, ZHEN Feng, HUANG Gang, et al. Urban centrality measurement and planning application based on multi-source data: a case study of Changzhou[J]. Urban Planning Forum, 2019(3): 111-118.
[28] KONG Yu, ZHEN Feng, ZHANG Shanqi. Research progress and prospects on the impact of intelligent technology on urban residents' activities[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(3): 413-425.
[29] LI Xiaojiang, LYU Xiaobei, SHAO Ling, et al. "Community carbon reduction": measurement methods, emission characteristics, and realization pathways[J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 40-46.
[30] CHEN Jun, ZHANG Shanqi, ZHANG Bing, et al. Development direction of spatiotemporal information empowering territorial spatial planning[J]. Urban Planning Forum, 2025(2): 20-27.
[31] XU Y, CHEN D, ZHANG X, et al. Unravel the landscape and pulses of cycling activities from a dockless bike-sharing system[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 75: 184-203.
[32] LIN J J, YANG A T. Structural analysis of how urban form impacts travel demand: evidence from Taipei[J]. Urban Studies, 2009, 46(9): 1951-1967.
[33] LU Xigang, SONG Zuxuan, PANG Lei. Measurement and interpretation of spatial interaction in population migration: evidence from inter-provincial migration flows in the sixth and seventh censuses[J]. Urban Planning Forum, 2025(2): 35-42.
[34] LONG Y H, JIANXIN Q, WU Y, et al. Analysis of urban park accessibility based on space syntax: take the urban area of Changsha city as an example[J]. Land, 2023, 12(5): 1061.
[35] PAN Z G, LAN G W, FAN D L, et al. Analysis of accessibility of urban roads based on space syntax and distance measurement[J]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2020, 42(3/W10): 159-165.
[36] YANG Dongfeng, WANG Xiaomeng, HAN Ruina. Nonlinear impacts and interaction effects of built environment on street vitality: a case study of Shenyang[J]. Urban Planning Forum, 2023(5): 93-102.
[37] ZHANG Jining, ZHUO Jian, ZHAI Duanqiang, et al. Research on the representation, logic, dilemma, and response of job-housing spatial relationships from a network perspective[J]. Urban Planning Forum, 2025(4): 112-121.
[38] ZHANG D S, HE T, ZHANG F, et al. Urban-scale human mobility modeling with multi-source urban network data[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2018, 26(2): 671-684.
[39] PANDEY S, PATEL A S. Urban scene representation and summarization using knowledge graph[J]. Expert Systems with Applications, 2025, 275: 126956.
[40] CHEN T, ZHANG Y M, QIAN X W, et al. A knowledge graph-based method for epidemic contact tracing in public transportation[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2022, 137: 103587.
[41] ZHU J W, HAN X, DENG H H, et al. KST-GCN: a knowledge-driven spatial-temporal graph convolutional network for traffic forecasting[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 23(9): 15055-15065.
[42] HU Y Q, CHENG X Y, WANG S H, et al. Time series forecasting for urban building energy

consumption based on graph convolutional network[J]. Applied Energy, 2022, 307: 118231.
[43] RODRIGUEZ H, CLIMENT S, VOSSEN P, et al. The top-down strategy for building EuroWordNet: vocabulary coverage, base concepts and top ontology[J]. Computers and the Humanities, 1998, 32(2-3): 117-152.