خوانش شهر به روایت خیابان*

تحلیل پیچیدگی خیابان در تهران

چکیده | شهر، امری پیچیده است که توصیف جامع آن غیر ممکن به نظر می‌رسد. از آنجا که شهر ترکیب متنوعی از کل‌های در تعامل را در خود جای می‌دهد، شناخت آن با یک مطالعه ساده ممکن نیست. لذا در این نوشتار، جهت ارائه یک تحلیل از شبکه معابر، عینیت پیچیده خیابان، تنها با داده‌های هندسی[1] بدست آمده از شبکه راه، تحلیل شده است. این داده‌ها که به صورت گراف[2] به نمایش درخواهد آمد، به شناخت بهتر ساختار فضا منتهی می‌شود. چهار شاخص اصلی عینیت مذکور یعنی اتصال، دسترسی، فاصله و پیکره، امکان دست‌یابی به سلسله مراتب میان راه‌ها و زیرمجموعه‌هایی را ایجاد می‌کند که موجب آشکاری فرآیند پیدایش شکل شهر. مورفوژونز (Morphogenèse) می‌شود. سایت مورد مطالعه در این مقاله محله‌های مرکزی شهر در منطقه شهر تهران است.

واژگان کلیدی | شبکه خیابان‌ها، نظریه گراف‌ها، تحلیل فضایی، مدل‌سازی شهری.

کلرلاژس، پژوهشگر دکتری دانشگاه پاریس دیدرو، لابراتوار مواد و سیستم‌های پیچیده.
lagesse.claire@gmail.com

ترجمه:
محمدآتشین‌بار
atashinbar@gmail.com

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تصویر۴
Pic4

تصویر۴ : شاخص فاصله اعمال شده بر منطقه مرکزی شهر تهران.
مأخذ : کلر لاژس، ۱۳۹۳.

pic4: Indicator spacing applied to a sample of Tehran streets network.
Source: Claire Lagesse, 2015.

مقدمه | مطالعات متعددی در مورد شبکه‌های شهری، به‌ویژه خیابان‌ها، صورت گرفته است. برای مثال نرم‌افزار سینتکس فضایی (Syntaxe Spatiale) با تمرکز بر امتداد بصری شبکه از دید مخاطب (Hillier et al., 1976, 1993) و تولید قطعاتی از خطوط مستقیم، شهر را به خطوط دید مستقل از بخش‌های معنایی خیابان، تفکیک می‌کند. در نتیجه، شهر، اصطلاحاً به یال[3]هایی تفکیک می‌شود که در آن، هر زاویه اتصال محاسبه شده است. هدف این روش، فهم تأثیر ساختار خیابان‌ها بر جریان حرکت پیاده است (Hillier and Hanson, 1984, Genre-Grandpierre and Foltête, 2003, Genre-Grandpierre, 2001) که در آن فراوانی استفاده از قطعات راه، به پیکربندی شبکه وابسته است. این مقاله، تعمق در خطوط پرسپکتیو را کنار گذاشته و روش ابداعی مطالعه عناصر جغرافیایی ممتد بین دو تقاطع را به کار می‌گیرد. در حقیقت، تا زمانی که روش سینتکس فضایی به‌طور همزمان جنبه‌های توپولوژیک و روان‌شناختی را در نظر داشته باشد (Penn, 2003)، ویژگی‌های هندسی تقاطع بین قطعات خیابان مد نظر قرار نمی‌گیرد. روش ابداعی مقاله حاضر، تولید عینیتی پیچیده‌تر برای تحلیل خیابان در چند مقیاس فضایی و مؤثر است.

این ایده، در ابتدا توسط کلَرَمانت (Claramunt) و ژیانگ (Jiang) در ۲۰۰۴ مطرح شد که برگرفته از امتداد میان دو یال در یک تقاطع توپونیم[4] بود و اتفاقاً خیابان‌ها را بازسازی می‌کرد. سپس آن‌ها در مدل‌سازی فضایی، با جابجا کردن خط‌ها (امتداد قطعات) با گره‌ها و گره‌ها (تقاطع‌ها) با خط‌ها، دوگانه‌ای از فضای خیابانی را خلق می‌کردند که در آن داده‌های جغرافیایی با قرار گرفتن در سایه اطلاعات توپولوژیک، حذف می‌شود.

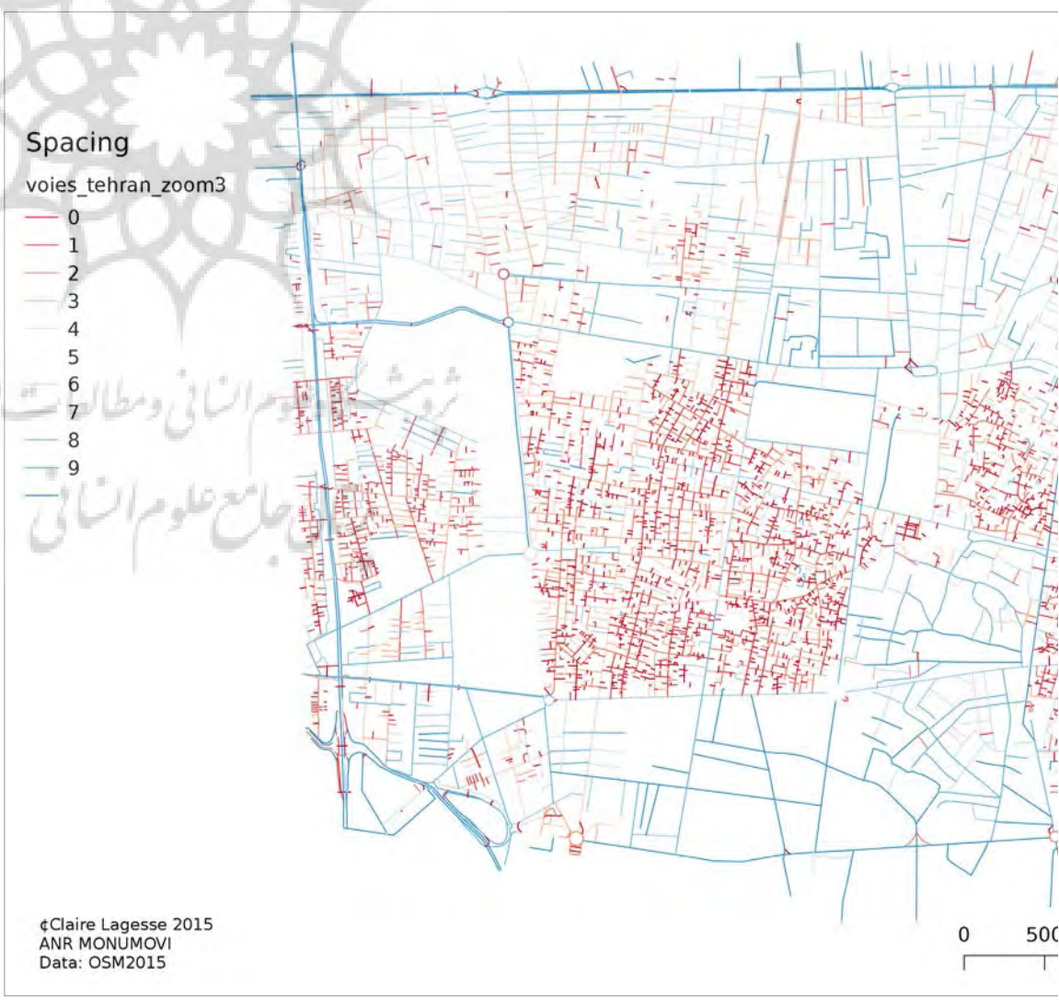
بعدها، لَتورا (Latora)، کروچیتی (Crucitti) و پورتا (Porta) در ۲۰۰۶، از تعریف جدید امتداد با روش «ICN[5]» استفاده کردند. آن‌ها قطعات خطی‌تر هر تقاطع را برای مطالعه ویژگی‌های قسمتی کوچک از شبکه ترکیب کردند. در نهایت، بارتلِمی (Barthelemy) در ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳، براساس همین دوگانه، مرکزیت شبکه را مطالعه کرد. روش ابداعی حاضر بر پایه همین مطالعات، با تأکید بر اسکلت شبکه راه‌ها، به تبیین اهمیت تجمیع اطلاعات هندسی و توپولوژی با هدف تعریف عینیتی می‌پردازد که ویژگی پارامتریک، ضامن صحت آن است.

بدین منظور، از طریق تجزیه شبکه به عینیت‌های اولیه منطبق بر اثر آن روی زمین، عینیت پیچیده ممتدی به نام راه ساخته شده است. این نوآوری، به‌دنبال خلق یک اَبَرگراف[6] از عناصر جغرافیایی است که به یک معیار خاص یک خط شدن پاسخ می‌دهد. راه، چنانچه از توپونیمی رها شود، خود، آنالیز شبکه را مستقل از عوامل اداری، سیاسی و قوانین موجود، تنها بر مبنای معیارهای توپولوژیک و هندسی ممکن می‌سازد. فاکتور زمان بر این تحلیل کم‌اثر بوده و در مواجهه با تحولات سایر عناصر شهری مانند پلاک‌ها و ساختمان‌ها نیز ثابت خواهد ماند. مقاله حاضر روش توصیف این عینیت پیچیده را معرفی کرده و به ارزیابی چهار شاخص اصلی تحلیل شبکه براساس خواص توپوگرافیک و توپولوژیک خواهد پرداخت. نتیجه با بررسی میدانی شهر تهران راستی‌آزمایی خواهد شد.

فرضیه | شبکه خیابان‌ها به مثابه یکی از پایدارترین عناصر شهری، حاوی اطلاعات فراوانی از ساختار فضایی است. عامل زمان در تحولات شبکه خیابان‌ها در مقایسه با ساختمان‌ها و پلاک‌ها، مهم‌تر است زیرا شبکه پشتیبان جریان‌ها و ساخت و سازهای شهری است. مصداق آن شبکه خیابان‌های تهران است که در مقایسه با بازه تخریب و بازسازی ساختمان‌ها دستخوش تحول جزئی می‌شود. لذا شبکه خیابان‌ها مستعد نگهداری ردی از تاریخ ساخت فضا و کاربری آن است.

خیابان: ساخت یک عینیت پیچیده ممتد

در این روش، به دنبال جداسازی اطلاعات منحصر به فرد در داخل شبکه راه، در هر تقاطع[7] یک گره[8] خلق می‌شود. بین دو تقاطع، هر تغییر جهت، به‌مثابه یک نقطه ضمیمه[9] انگاشته می‌شود. بخش واقع بین گره و نقطه ضمیمه یا دو نقطه ضمیمه را یال[10] می‌نامیم. مجموع یال‌های بین دو



گره، یک کمان[11] می‌سازد. این تجزیه فضایی، آغاز شناخت ساختار شبکه راه است که امکان تجمیع اطلاعات هندسی و توپولوژیک را فراهم می‌آورد. اقدام تجمیع، پایه اصلی رویکرد ریاضی در این روش ابداعی بوده و به‌دنبال سنجش کیفی شهر از طریق شبکه راه‌های آن است. براساس این واحدهای ابتدایی، عینیتی پیچیده به نام خیابان ساخته می‌شود که برگرفته از تجمیع کمان‌ها در هر رأس است (تصویر۱). لذا توسعه آن مستقل از معنای برآمده از خوانش شبکه خیابان است. تاکنون سه روش برای توسعه این عینیت استفاده شده است: یکی براساس خط مستقیم، دیگری بر اساس یک خط کلی و آخری که در این نوشتار مدنظر است، براساس تجمیع تصادفی کمان‌ها. برای راستی‌آزمایی تأثیر آن بر امتداد عینیت مورد بحث، حریم زوایای متعددی در نظر گرفته شد. براساس اندازه‌گیری کمیِ فیزیکی ویژگی‌های مختلف خیابان (زاویه، تعداد کمان‌ها در هر راه، طول راه و ...)، پارامترهای لازم (روش و حریم زاویه) برای مناسب‌ترین پیشنهاد، تعریف شده است (Lagesse et al, 2015). تأکید می‌شود مؤثرترین روش برای ساخت عینیت خیابان، تجمیع مکرر اجزای تشکیل‌دهنده کمان‌ها در هر رأس با کمترین زاویه انحراف و حریم زاویه انحراف حداکثر ۶۰ درجه است.

هدف این اقدام، معنابخشی اساسی به این عینیت و گشایش درهای تحقیق چندرشته‌ای در زمینه‌های مختلف است. لذا خیابان، برپایه راهبردهای مخاطب‌مدار (تاکسی و پیاده) و با بهره از پارامترهای توسعه، برآمده از مطالعات جامع آماری، به کانسپت تجربی پیوستگی، بعد ذهنی می‌بخشد. بنابراین عینیت پیشنهادی، به‌عنوان یک کل جغرافیایی، دارای روایی علمی خواهد بود. جهت بهره‌برداری از این جنبه و استخراج ساختارهای اساسی هندسه شبکه، شاخص‌هایی مطرح و چگونگی بروز یک خوانش کلی از مجموعه ویژگی‌هایش تبیین شده است.

تبیین شاخص‌های اعمال‌شده برخیابان

مطالعات بسیاری ثابت کرده‌اند عامل متریک برای شرح ساختار شهرها و کاربرد آن‌ها کافی نیست (Marchand, 1974, Foltête et al, 2002). براین اساس، کوتاه‌ترین مسیر [ویژگی متریک] لزوماً تنها شاخص تحلیل شبکه‌های شهری نیست بلکه تغییر مسیرها [ویژگی پارامتریک] هم دارای اهمیت هستند (Turner, 2001, Dalton, 2001). این استدلال بر عینیت جغرافیایی پیوسته مورد مطالعه یعنی خیابان ـ که از پیش، اهمیت پیوستگی و خطی‌بودن در ساختارش نمود داشته ـ اعمال می‌شود. این پژوهش که به نوعی، تکمیل نواقص‌های نرم‌افزار «سینتکس فضایی» است، به‌دنبال تبیین ویژگی‌های شبکه راه، چه محلی (همسایگی مستقیم بین راه‌ها) و چه کلی (دسترسی به مجموعه شبکه از طریق یک راه)، به ارزیابی حساسیت مسیرها نسبت به زاویه‌های بین قطعه‌ها می‌پردازد.

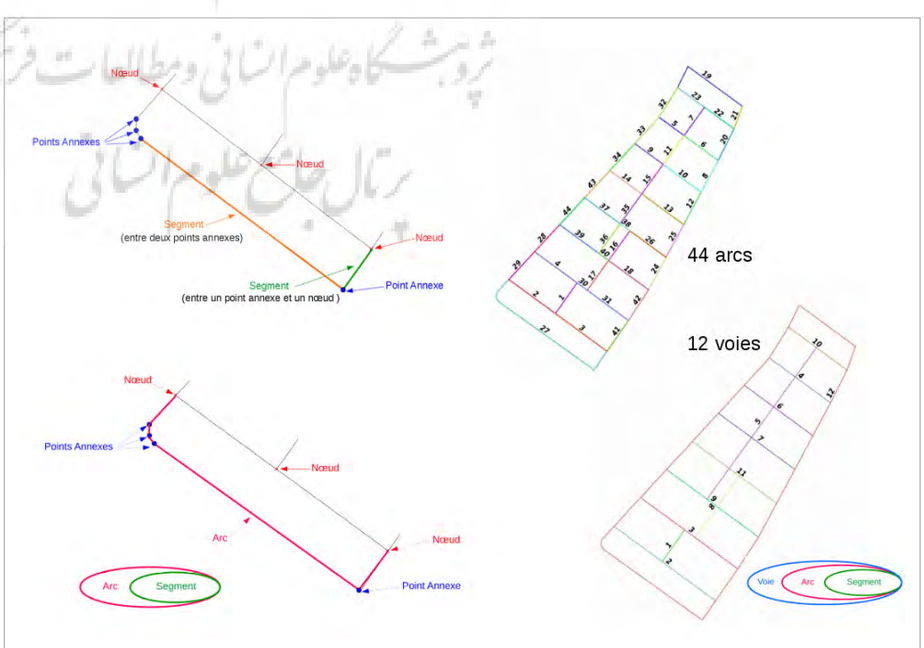
خیابان‌ها به مثابه یکی از پایدارترین عناصر شهری، حاوی اطلاعات فراوانی از ساختار فضایی و ردی از تاریخ ساخت فضا هستند. از آنجا که فاکتورهای متریک برای شرح ساختار خیابان‌ها کافی نیست، بواسطه ساده‌سازی خیابان از طریق چهار شاخص اتصال، دسترسی، فاصله و پیکره به مثابه شاخص‌های توپولوژیک، توضیح عینیت پیچیده و چند مقیاسی خیابان و خوانش کلی فضا امکان‌پذیر است.

شاخص اتصال[12]

این شاخص در یک راه مشخص، امکان شمارش کمان‌هایی متعلق با راهی دیگر را فراهم می‌کند که رأس‌های مشترک دارند.

$$connectivite(v_{ref}) = \left[\sum_{s \in v_{ref}}^{n} deg\,(s) - 2\right] + 2$$

«deg (s)» درجه هر رأس (یا همان تعداد کمان‌های متصل به آن) متعلق به راه مورد مطالعه «Vref» است. با در نظر داشتن اتصال‌های یک راه، همسایگی توپولوژیک آن قابل مشاهده است. لذا شاخصی محلی و مستقل از نمونه



تصویر۱ : تجزیه یک شبکه فضایی به واحدهای ابتدایی و ساخته شدن خیابان.
مأخذ : کلر لاژس، ۱۳۹۳.

pic1: Decomposition of a spatial network in elementary units and way construction.
Source: Claire Lagesse, 2015.

تصویر۱
Pic1

فضایی آن [با مرزهای خارجی‌اش] است. تنها تغییر در هویت آن عینیت است که سبب تغییر این شاخص خواهد شد: حذف یا افزودن یک رأس.

مشاهده نتیجه آنالیز این شاخص جالب است. برای مثال چنانچه مرکز شهر تهران را مورد بررسی قرار دهیم (تصویر ۲)، خیابان‌های بزرگ خدمات‌رسان به فضاها از بزرگ‌راه‌ها و ارتباطات میان آن‌ها، متمایز می‌شود. تحلیل توپولوژیک راه [به‌وسیله شاخص اتصال] بدون درنظر داشتن [موقعیت آن در] مجموعه شبکه، خود، به تنهایی، ساختار، نظم و کاربرد را آشکار می‌کند.

شاخص دسترسی[۱۳]

برای در نظر داشتن اهمیت یک عینیت در شبکه فضایی، لازم است به مفهوم مسافت توجه داشت (Bonnin, & Douady 2013). در یک گراف فضایی، سه گونه مسافت می‌توان برشمرد:

مسافت اقلیدسی: طول یال متصل‌کننده دو عینیت از شبکه (مستقل از شبکه).

مسافت جغرافیایی: مسافت اقلیدسی بین دو عینیت از شبکه با پیروی از شبکه (مداخله نقاط ضمیمه).

مسافت توپولوژیک: مسافت بین دو عینیت از شبکه با احتساب عینیت‌هایی از همان گرافی که در مسیر قرار دارند.

این معانی مسافت، تعریف مسیرهای ویژه بین دو نقطه را ممکن می‌سازد. برای مثال کوتاه‌ترین مسیر دارای حداقل مسافت جغرافیایی بین دو عینیت از شبکه است. به‌همین ترتیب ساده‌ترین مسیر دارای حداقل مسافت توپولوژیک بین دو راه است. پِه‌هاوس (Pailhous) در ۱۹۷۰ با بررسی نقطه نظرات یک راننده تاکسی، که برای او پیوند به شبکه اصلی بر دورشدن از آن جهت ورود به یک زیرشبکه توزیع محلی در فرآیند رسیدن به مقصد نهایی اولویت داشت، ساده‌ترین مسیر را مورد بررسی قرار داد: مسیری که کمترین تغییر جهت را داشته باشد.

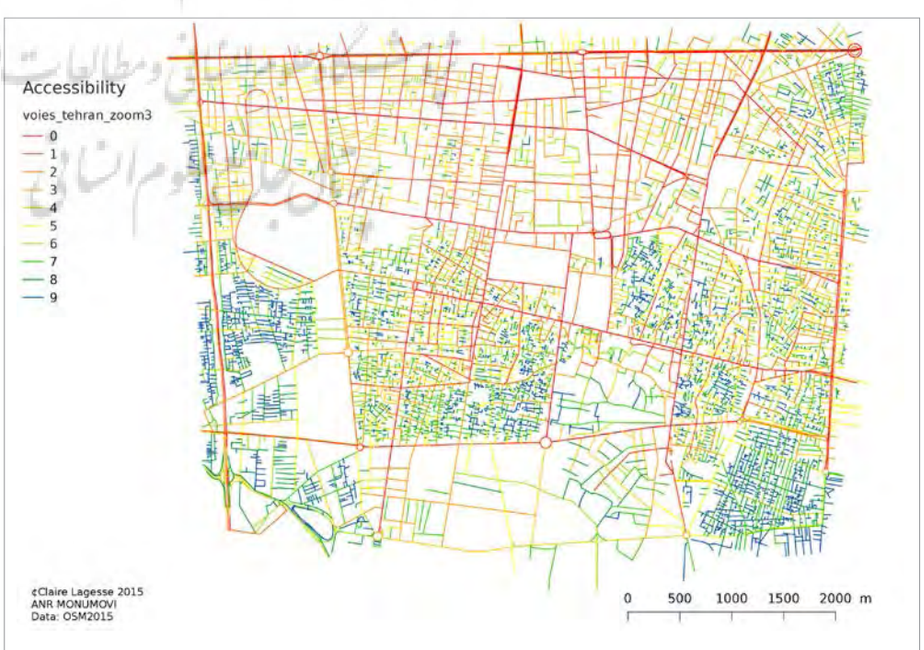
از ترکیب مسافت توپولوژیک بین راه‌ها و مسافت جغرافیایی (طول راه) شاخصی بدست می‌آید که مسافت یک راه را نسبت به مجموعه شبکه نشان می‌دهد: دسترسی. شاخص دسترسی ثمره محاسبه یک مسافت ساده شده مجموعه شبکه (مسافت توپولوژیک اعمال‌شده روی راه‌ها) و برگرفته از طول است (Courtat, Gloaguen, and Douady, 2011). این شاخص نگاه به مجموعه شبکه را از طریق هر راه کمّی می‌کند. هرچقدر ارزش آن کمتر باشد، دسترسی راه بیشتر است؛ به عبارت دیگر، ارتباط مؤثری با راه‌های متعدد دارد (با کمترین تغییر راه).

دسترسی راه مورد مطالعه «Vref» براساس مجموع مسافت‌های توپولوژیک «dsimple» سایر راه‌ها نسبت به «Vref» و طول آن‌ها «longueur(v)» محاسبه می‌شود.

$$accessibilite(v_{ref}) = \left[\sum_{v \in G}^{n} d_{simple}\left(v, v_{ref}\right) * longueur(v)\right]$$

با اعمال این شاخص بر راه‌های مختلف، ویژگی‌های جالبی حاصل می‌شود که قدرت آن را در زمان و فضا نمایان می‌کند: راه‌های قابل دسترس‌تر (سهل‌الوصول‌تر) شبکه، در طول زمان، همچنان قابل دسترس باقی می‌مانند؛ تغییرات طبقه‌بندی عینیت‌های مختلف بستگی به جدایی نمونه کمّی دارد. همچنین، شاخص دسترسی، با سلسله مراتبی‌کردن راه‌ها، ساختاری همبسته را در تحولات توسعه شهر آشکار می‌کند. این ویژگی، با توجه به انفکاک پی در پی شبکه، یک منظر شهری متراکم (مثل تهران. تصویر ۳)، یا مختلط (شهرستان‌ها و حومه، مثل آوینیون[۱۴] در جنوب فرانسه) یا شهری با ساختار درختی (مثل مانوس[۱۵] در برزیل) را نشان می‌دهد.

راه‌هایی که در آن شاخص دسترسی به حداقل می‌رسد، رسیدن به کلیت شبکه را با کمترین تغییر راه انجام می‌دهند و اغلب حاکی از ساختاری قدیمی هستند. این شاخص، عینیت‌ها



تصویر۳ : شاخص دسترسی اعمال شده بر منطقه مرکزی شهر تهران.
مأخذ : کلر لاژس، ۱۳۹۳.

Pic3: Accessibility indicator applied to a sample of Tehran streets network.
Source: Claire Lagesse, 2015.

تصویر۳
Pic3

تصویرة
Pic5

را در مراکز جابجایی در شهر نمایش داده (در حال چاپ) و معمولاً با اسکلت توسعه‌اش گره خورده است. که از طریق آن می‌توان بخشی از تاریخ ساخت یک فضا را ترسیم کرد.

شاخص‌های مشتق : فاصله[16] و پیکره[17]

با اتصال و دسترسی، خصیصه قوی توپوگرافیکی «طول» راه قابل ارزیابی خواهد بود. این خصیصه در یک شبکه فضایی، داده‌ای غیرقابل انکار و مرتبط با مشخصه جغرافیایی خیابان مورد مطالعه است. طول راه، در مقیاس‌های مختلف، یک مشخصه هویتی محسوب می‌شود (ویژگی قوی عینیت و مرتبط با ساخت آن). در همین راستا دو شاخص دیگر ارائه می‌شود : فاصله که زون‌های بسیار متراکم را نمایان می‌کند و پیکره که قرائت چندین لایه‌ای از شبکه را ممکن می‌سازد.

فاصله حاصل تقسیم طول راه بر اتصال‌های آن است و شاخصی محلی برای نمایان‌کردن ساختارهای متراکم (مرکز شهر یا روستا) محسوب می‌شود. راه‌های کوتاه با اتصال‌های زیاد، ضریب فاصله ضعیف دارند :

$$espacement(v_{ref}) = \frac{longueur(v_{ref})}{connectivite(v_{ref})}$$

با اعمال شاخص فاصله بر تهران (تصویر ۴)، قسمت‌های متراکم شهر مشخص می‌شود : مرکز ارگانیک با امکان جابجایی کمتر اما مسکونی‌تر. در مقابل، بزرگراه‌های شهری با ضریب فاصله زیاد متمایز شده‌اند.

برای مشاهده ساختار عمومی شهر، پیکره آن، به شاخص دسترسی، ارجاع داده می‌شود که پیشتر برای اولویت‌بندی راه‌ها از نقطه‌نظر دسترسی استفاده شده بود. برای بدست‌آوردن یک ابرگراف از این شاخص، بر طول راه متمرکز شده‌ایم : نسبت ضریب دسترسی بر طول راه.

$$maillance(v_{ref}) = \frac{accessibilite(v_{ref})}{longueur(v_{ref})}$$

این شاخص امکان خوانشی چندلایه از شبکه با نمایش ساختاری منسجم از فضا را ممکن می‌سازد. شاخص پیکره با تعریف یک ابرساختار قطعه قطعه (شبکه روی شبکه، یا «شبکه اصلی» مورد نظر «پِه‌هاوس» و زیرشبکه‌های دسترسی بیشتر و عموماً محلی، جدولی از خوانش شهر را ارائه می‌دهد (شبکه‌های درجه ۲ و ۳).

از اعمال شاخص پیکره بر راه‌های مرکز شهر تهران (تصویر ۵)، دو سطح خوانش از ابرگراف آن امکان‌پذیر است : یکی رو-ساختار جابجایی سریع در همه فضاها و دیگری زیر-ساختار خدمات محلی که مورد مشاهده و بحث پِه‌هاوس در ۱۹۷۰ بوده است.

تصویر ۵ : شاخص پیکره اعمال شده بر منطقه مرکزی شهر تهران.
مأخذ : کلر لاژس، ۱۳۹۳.

pic5: Meshing indicator applied to a sample of
Tehran streets network.
Source: Claire Lagesse, 2015.

جمع‌بندی | به‌واسطه قوانین ساده اعمال شده در مقیاس محلی، توضیح عینیتی پیچیده و چندمقیاسی همچون راه، تحلیل شبکه خیابان، که نقشی مهم در فضا دارد، امکان‌پذیر است. همچنین، از طریق شاخص‌های توسعه‌ای، خوانش کلی فضا و نمایش پویایی آن امکان‌پذیر است.

یک خط شدن، که به‌واسطه انتخاب کمترین زاویه بین کمان‌ها از هر رأس صورت می‌گیرد، معیاری بوده که از ابتدای ساخت راه وجود داشته است. این معیار برای محاسبه شاخص دسترسی، به‌جای راه در شبکه، میزان تغییر مسیرها را در نظر می‌گیرد. این مطالعات نشان می‌دهد استخراج ساختار و ترسیم تحولات ساخت شبکه از طریق محورهای پیوسته خطی‌شده آن، امکان‌پذیر است.

درحالی‌که دنبال‌کردن مسیر خطی یا هدایت‌شده، عکس‌العمل ویژه‌ای نیست و مخاطب روی خطی با پرسپکتیو مشخص پیش می‌رود، چرخیدن [تغییر مسیر]، یک عمل اختیاری مضاعف از سوی مخاطب است که به ذهن سپرده می‌شود. یک راه می‌تواند شامل تغییر مسیر ناگهانی شود که در یک نقطه ضمیمه شکل می‌گیرد. در این صورت، مخاطب چاره‌ای جز چرخش ندارد، اما هدایت شده است و اختیاری نیست؛ یعنی کمان می‌تواند تقسیم شود حتی اگر همان خط پرسپکتیو را دنبال نکند و این هم از دلایل برتری مدل ارائه شده نسبت به مدل سَنتَکس سپَسیال است. در تحقیقات هیلیِر (Hillier) در ۲۰۰۹، هر یال به‌صورت مستقل در نظر گرفته می‌شود در حالی که مدل حاضر، بر مجموع یال‌ها تأکید دارد که به‌صورت محلی طبق قوانین هندسی گردهم آمده‌اند.

با مطالعه راه‌های حمل و نقل شهری (ساخته شده یا در حال احداث) مشاهده خواهد شد اکثر خطوط روبنایی [براساس شاخص پیکره] دارای بیشترین دسترسی طراحی شده‌اند. برخی دیگر، مورب یا متقاطع، نقش ویژه‌ای دارا بوده و بر این نکته تأکید دارند که تأثیر تغییر مسیر غیر قابل اغماض است. تصمیمات مدیران شهری با مکان‌هایی سازگار است که انتقال سریع به‌سوی سایر نقاط شبکه را تضمین کند.

علاوه بر مشاوره به شهرسازان، این تحقیقات، پتانسیل ترکیب ابعاد جغرافیایی و تاریخی را برای خلق یک مدل مفهومی از تحولات توسعه‌ای یک فضا در مقیاس‌های مختلف به همراه دارد.

پی‌نوشت

*تحقیق حاضر، به پشتیبانی مرکز ملی تحقیقات علمی فرانسه در چارچوب برنامه میان‌رشته‌ای تحقیقات شهر.محیط و آژانس ملی تحقیقات فرانسه در گروه چندرشته‌ای مورفوسیتی صورت گرفته است.

۱. Géométrique

۲. گراف (Graphe) در اصطلاح ریاضی، مجموعه‌ای از نقاط و خطوط متصل به‌هم است که اعضای آن با هم مرتبطند.

۳. یال (Segment) و رأس (Sommet) دو جزء تشکیل‌دهنده گراف هستند.

۴. Toponymie

۵. Intersection Continuity Negotiation

۶. Hypergraphe

۷. Intersection

۸. Nœuds

۹. Point annexe

۱۰. Segment

۱۱. Arc

۱۲. Connectivité

۱۳. Accessibilité

۱۴. Avignon

۱۵. Manaus

۱۶. Espacement

۱۷. Maillance

فهرست منابع

- Barthelemy, M, et. al. (2013). *Self-Organization Versus Top-down Planning in the Evolution of a City*, Scientific Reports 3.
- Barthelemy, M. (2011). *Spatial networks*. Physics Reports, 499: 1–101.
- Bonnin, P & Douady, S. (2013). Les Réseaux Dans Le Temps Et Dans L'espace, In *Ouvrage Collectif Du Groupe FMR* (Flux, Matrices, Réseaux), N°2.
- Courtat, T; Gloaguen, C & Douady. S. (2011). *Mathematics and Morphogenesis of Cities: A Geometrical Approach*, Physical Review E 83.
- Dalton, R. & Conroy, A. (2001). *The Secret Is to Follow Your Nose*, In Proceedings of the 3rd International Space Syntax Symposium, Atlanta. Vol. 47.
- Foltête, J-C. et. al. (2002). *Structures Urbaines, Offres de Transport Et Comportement de Mobilité*, In Rapport de Recherché ACI Ville– 99V358, Ministère de L'Enseignement de La Recherche Et de La Technologie.
- Genre-Grandpierre, C. (2001). *La Structure Topologique Et Fonctionnelle Des Réseaux Routiers Urbains Comme Déterminant de La Géographie Des Flux de Déplacements*, In Actes Du Colloque Géopoint 2000, Avignon, 61–67.
- Genre-Grandpierre, C & Foltête, J-C. (2003). *Morphologie Urbaine Et Mobilité En Marche À Pied*, Cybergéo 248. http://193.55.107.45 /articles /248res.htm.
- Hillier, B. et. al. (1976). Space syntax. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 3 (2) 147 – 185.
- Hillier, B & Hanson, J. (1984). *The Social Logic of Space*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hillier, B. et. al. (1993). Natural Movement or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement, *Environment and Planning B – Planning & Design* 20: 29–66.
- Hillier, B. (2009). Spatial Sustainability in Cities Organic Patterns and Sustainable Forms, Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium ; Edited by Daniel Koch, Lars Marcus and Jesper Steen, Stockholm: KTH.
- Huard, M. (2013). *Atlas Historique de Paris*, http://paris-atlas-historique.fr.
- Jiang, B, & Claramunt, C. (2004). Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B – Planning & Design*, 31: 151–162.
- Lagesse, C; Bordin, P & Douady, S.)2015). *A multi-scale object to analyse road networks*, Network Science, volume 3, issue 01: 156-181
- Marchand, B. (1974). Pedestrian Traffic Planning and the Perception of the Urban Environment: A French Example, *Environment and Planning* A 6: 491–507.
- Pailhous, J. (1970). *Représentation de L'espace Urbain Et Cheminements : L'exemple Du Chauffeur de Taxi*, Presses Universitaires de France.
- Penn, A. (2003). Spatial Syntax and Spatial Cognition or Why the Axial Line?, *Environment and Behavior*, 35: 30–65.
- Porta, S; Crucitti, P & Latora, V. (2006). The Network Analysis of Urban Streets: A Dual Approach, *Physical A – Statistical Mechanics and Its Applications* 369: 853–866.
- Turner, A. (2001). Angular Analysis, *In Proceedings of the 3rd International Space Syntax Symposium*, Atlanta. Vol. 30.

le nombre de changement de voies pour accéder à l'ensemble du réseau. Elles témoignent le plus souvent de structures anciennes. Cet indicateur permet donc de faire ressortir les objets au cœur des déplacements dans la ville (Degouys, à paraître), qui correspondent souvent au squelette de son développement. Il permet ainsi de retracer une partie de l'histoire de la construction d'un espace.

Les indicateurs dérivés : l'espacement et la maillance

À la connectivité et à l'accessibilité nous associons un attribut topographique fort de la voie : sa longueur. En effet, dans un réseau spatial c'est une donnée non négligeable liée au caractère géographique de l'étude. La voie étant multi-échelle, sa longueur revêt donc un caractère identitaire (caractéristique forte de l'objet, liée à sa construction). Nous développons ainsi deux nouveaux indicateurs : l'espacement -qui fait ressortir les zones de forte densité- et la maillance -permettant une lecture multicouche du réseau.

L'espacement est obtenu en divisant la longueur de chaque voie par sa connectivité. C'est un indicateur local qui met en avant les structures denses (centres villes ou hameaux). En effet, les voies courtes et très connectées vont ressortir avec un coefficient d'espacement faible.

$$espacement(v_{ref}) = \frac{longueur(v_{ref})}{connectivite(v_{ref})}$$

En appliquant l'indicateur d'espacement aux voies de Téhéran (Fig.04) nous observons les parties denses de la ville : les centres organiques, moins passants, plus résidentiels. À l'inverse, nous voyons se détacher avec un fort espacement les autoroutes urbaines. Pour visualiser la structure générale de la ville, son maillage, nous utilisons l'indicateur d'accessibilité, ayant déjà pour fonction d'établir une hiérarchie entre les voies pour faire ressortir les plus accessibles. Pour obtenir un hypergraphe couvrant tout l'espace nous lui associons l'attribut de longueur de la voie : pour chaque voie nous divisons son coefficient d'accessibilité par sa longueur et nous obtenons ainsi un nouvel indicateur que nous nommons maillance.

$$maillance(v_{ref}) = \frac{accessibilite(v_{ref})}{longueur(v_{ref})}$$

Cet indicateur permet une lecture multi-couche du réseau en mettant avant une structure cohérente de l'espace. Il défini une grille de lecture en définissant une hyper structure de découpage (réseau sur le réseau, ou « réseau principal » selon Pailhous) et des sous-structures de desserte de plus en plus locale (réseaux secondaire et tertiaire).

Une fois l'indicateur de maillance appliqué sur les voies du centre de Téhéran (Fig.05) nous pouvons lire l'hypergraphe de la ville. En effet, deux niveaux de lecture apparaissent : une sur-structure de déplacement rapide répartie sur tout l'espace et une sous-structure de desserte locale qui rappelle et objective les observations de Pailhous (1970).

Conclusion

À partir de règles simples appliquées localement, il est ainsi possible d'élaborer un objet complexe multi-échelle, la voie, pour analyser et caractériser le réseau viaire. Cet objet se révèle être robuste dans l'espace (Lagesse et al., 2015). De plus, à travers les indicateurs dont il permet le développement, il rend possible une lecture globale de l'espace et une mise en évidence de sa dynamique.

L'alignement, que nous saisissons à travers la sélection de l'angle minimum entre arcs à chaque sommet, est un critère présent à l'origine de la construction des voies. Il est également prégnant dans le calcul de l'accessibilité, qui associe le coût du tournant (ie, changement de voie) à la place de la voie dans le réseau. Cette étude démontre qu'il est possible de faire ressortir une structure du réseau et de retracer ses dynamiques de construction et d'usages à partir de ses lignes continûment alignées.

En effet, tourner implique une action volontaire supplémentaire de l'utilisateur du réseau, ainsi qu'un effort de mémorisation. Suivre un tracé linéaire ou suivre un tracé canalisé n'implique pas de réflexion particulière : l'utilisateur avance sur une ligne deperspective balisée. Une voie peut comporter un changement de direction abrupt s'il intervient sur un point annexe. Dans ce cas, l'utilisateur n'a pas d'autre choix que de tourner, mais il est guidé, il n'a pas à prendre de décision. C'est entre autre ce qui différencie ce travail de ceux qui traitent de syntaxe spatiale, où un arc peut être divisé s'il ne suit pas la même ligne de perspective. Dans les travaux d'Hillier (2009) chaque segment est considéré indépendamment alors que le travail présenté ici s'appuie sur des ensemble de segments, assemblés localement selon des règles géométriques.

Si l'on observe les lignes de transports en commun tracées au sein des villes (existantes ou projetées), on note que la plupart suivent les lignes de superstructure mises en avant par la maillance, ou les voies les plus accessibles. Quelques autres, diagonales ou transversales, jouent alors un rôle très particulier. Cela appuie le fait que le coût du tournant n'est pas négligeable. Les décisions des aménageurs urbains sont en accord avec les lieux assurant un transfert rapide vers le reste du réseau identifiés par nos indicateurs. En plus de pouvoir guider les réflexions des urbanistes, ces travaux ont pour aspiration d'allier les dimensions géographique et historique pour créer un modèle de compréhension des dynamiques d'expansion d'un espace à différentes échelles.

(Marchand (1974), Foltête et al. (2002)). Le chemin le plus court n'est donc pas le seul élément caractéristique des réseaux urbains. Les changements de direction sont également un facteur important (Turner (2001), Dalton (2001)). Nous appliquons ce raisonnement à notre objet géographique continu, la voie, qui porte déjà dans sa construction l'importance de la continuité et de la linéarité. Nous développons des indicateurs prenant en compte le coût du tournant. Notre objectif est de compléter les travaux de syntaxe spatiale, qui évaluent la sensibilité des itinéraires aux angles entre segments. Nous cherchons à caractériser le réseau à la fois localement (en prenant en compte le voisinage direct de la voie) et globalement (en mesurant l'accessibilité de l'ensemble du réseau à partir d'une voie).

L'indicateur de connectivité

Le premier indicateur que nous pouvons mentionner est celui de connectivité. À partir d'une voie, il permet de quantifier le nombre d'arcs appartenant à une autre voie qui partagent un de ses sommets.

$$connectivite(v_{ref}) = \left[\sum_{s \in v_{ref}}^{n} deg\,(s) - 2\right] + 2$$

Où deg(s)est le degré de chaque sommet s (nombre d'arcs y étant liés) appartenant à la voie étudiéevref. En considérant les connexions d'une voie, sa connectivité, nous observons le voisinage topologique de la voie. C'est donc un indicateur local, indépendant des frontières de l'échantillon spatial. Seule une modification de l'identité de l'objet entraînera une variation de sa valeur (ajout ou suppression d'un sommet).

Observer ainsi les connections des voies fait ressortir des structures intéressantes. En effet, si l'on se penche par exemple sur le centre de la ville de Téhéran (Fig.02), on observe les grandes voies qui desservent l'espace, autoroutes urbaines et connections entre celles-ci. L'analyse topologique de la voie, sans considérer l'ensemble du réseau, est donc déjà révélatrice de structures, d'ordre et d'usages.

L'indicateur d'accessibilité

Pour considérer l'importance d'un objet dans un réseau spatial, il est nécessaire d'aborder la notion de distance (Bonnin and Douady (2013)). Dans un graphe spatial, trois distances peuvent être définies :

- la distance euclidienne : longueur du segment joignant deux objets du réseau (indépendamment du réseau) ;
- la distance géographique : distance euclidienne entre deux objets du réseau en suivant le réseau (intervention des points annexes) ;
- la distance topologique : distance entre deux objets du réseau comptabilisant les objets de même nature du graphe qui sont traversés.

Ces notions de distances nous permettent de définir des parcours caractéristiques entre deux points. Ainsi, le chemin le plus court minimise la distance géographique entre deux objets du réseau. Nous définissons de la même manière le chemin le plus simple qui minimise la distance topologique entre deux voies. Il s'agit du chemin mis en évidence par Pailhous (1970) en adoptant le point de vue d'un chauffeur de taxi qui cherche en priorité à se raccorder au réseau principal avant de s'en détacher pour rentrer dans un sous-réseau de distribution locale pour atteindre sa destination. Le chemin le plus simple est ainsi celui qui minimise le nombre de changements de voies.

Nous appliquons à la voie un indicateur combinant distance topologique entre les voies et distance géographique (longueur de la voie). Nous créons ainsi l'indicateur d'accessibilité, qui représente la distance d'une voie par rapport à l'ensemble du réseau. Il est le fruit du calcul d'une distance de simplicité sur l'ensemble du réseau (distance topologique faite sur les voies) pondérée par la longueur (Courtat et al. (2011)). Cet indicateur qualifie la vision de l'ensemble du réseau à partir de chaque voie. Plus sa valeur est faible, plus la voie sera accessible : cela signifie qu'elle permet d'accéder à de nombreuses voies, dont certaines avec un linéaire important, de manière efficace (avec un minimum de changements de voie).

L'accessibilité est donnée pour chaque voie, successivement placée en tant que voie de référencevref, par la somme des produits des distances topologique dsimple des autres voies par rapport à vrefet de leurs longueurs longueur (v).

$$accessibilite(v_{ref}) = \left[\sum_{v \in G}^{n} d_{simple}\,(v, v_{ref}) * longueur(v)\right.$$

Cet indicateur, appliqué à plusieurs espaces de constitutions différentes, révèle des propriétés intéressantes. Ainsi, son application à la voie le rend robuste, à la fois dans le temps et dans l'espace : les voies les plus accessibles dans un réseau le restent au cours du temps ; la hiérarchie établie entre les objets varie très peu selon le découpage de l'échantillon. De plus, l'indicateur d'accessibilité, en hiérarchisant les voies, fait apparaître une structure corrélée à la dynamique de développement de la ville. Cette propriété, due à une construction par fractionnement successif du réseau, se vérifie sur l'ensemble des espaces étudiés, qu'il s'agisse d'un paysage urbain dense (comme Téhéran, Fig.03), d'un paysage urbain mixte (ville provinciale et sa banlieue, comme Avignon dans le Sud de la France) ou d'une ville à la structure arborescente (comme Manaus au Brésil).

Les voies dont l'indicateur d'accessibilité est le plus faible minimisent

montré que la fréquence d'utilisation des tronçons routiers est liée à la configuration du réseau. Nous nous détacherons ici des lignes de perspectives pour étudier des éléments géographiques continus entre deux intersections. En effet, lorsque les travaux de syntaxe spatiale considèrent à la fois les aspects topologiques et psychologiques (Penn, 2003), nous ne prenons en compte les propriétés géométriques d'intersection entre tronçons de rue. Nous construisons ainsi un objet plus complexe afin d'avoir une analyse aux échelle spatiales multiples et robuste aux effet de bords de notre échantillon spatial.
Cette idée a tout d'abord été explorée par Jiang et Claramunt (2004) qui fondaient la continuité entre deux segments à une intersection sur leurs toponymies, reconstituant ainsi les rues. Ils inversent ensuite la modélisation de l'espace en considérant les liens (continuité de tronçons) comme des nœuds et les nœuds (intersections) comme des liens, créant ainsi le dual de l'espace viaire. L'information géographique disparaît ainsi derrière l'information topologique. Plus tard, Porta, Crucitti, et Latora (2006) utilisent une nouvelle définition de la continuité avec la méthode ICN (Intersection ContinuityNegotiation). Ils associent les tronçons les plus alignés à chaque intersection afin d'étudier les propriétés de petit monde du réseau. Enfin, nous pouvons également considérer les travaux récents de Barthelemy (2011) et de Barthelemy et al. (2013) qui, à partir de ce dual, étudient les centralités de réseaux. Nous utilisons les mêmes fondements que ces études, à savoir nous considérons le squelette du réseau viaire. Cependant, nos recherches montrent l'intérêt d'associer l'information géométrique à la topologie et de définir un objet dont la paramétrisation assure la pertinence.
Pour cela, à partir de la décomposition du réseau en objets élémentaires cohérents avec son emprise au sol, nous construisons un objet complexe continu : la voie. Cet objet a pour but de créer un hypergraphe d'éléments géographiques, répondant à un critère d'alignement. Émancipée de la toponymie, la voie permet une analyse du réseau viaire indépendamment des frontières administratives. Construite uniquement sur des critères topologiques et géométriques, elle est indépendante des décisions politiques et législations en vigueur. Elle apparaît être un élément robuste dans le temps, support pérenne à la modification des autres éléments urbains (parcelles, bâtis).
Nous verrons comment est construit cet objet complexe et nous détaillerons l'élaboration de quatre indicateurs qui nous permettent de proposer une analyse du réseau à partir de ses propriétés topographiques et topologiques. Nous appliquerons notre étude et visualiserons nos résultats sur le réseau viaire de Téhéran.

Construction d'un objet complexe continu : la voie

A l'intérieur du réseau viaire, nous cherchons à découper une information unitaire. Ainsi, nous créons des nœuds à chaque intersection. Entre deux intersections, chaque changement de direction sera qualifié de point annexe. Entre un nœud et un point annexe, ou deux points annexes, le tronçon de voirie sera qualifié de segment. L'ensemble des segments entre deux nœuds constituera un arc. Cette décomposition spatiale initie la caractérisation de la structure du réseau. Elle permettra l'association des informations géométriques et topologiques qui est au fondement de notre approche mathématique pour qualifier la ville à travers son réseau viaires. À partir de ces unités élémentaires nous créons un objet complexe que nous nommons la voie (Fig.01). Elle est construite par association d'arcs à chaque sommet. Son élaboration est donc indépendante du sens de lecture du réseau.
Nous avons développé trois méthodes de construction de cet objet. L'une favorise la ligne droite, l'autre un alignement global et la troisième associe les arcs de manière aléatoire, comme étalon de notre étude. Nous avons fixé plusieurs angles seuils afin de tester leur impact sur la continuité de notre objet. À partir de mesures physiques quantitatives, appliquées à différentes caractéristiques du réseau (angles, nombre d'arcs par voies, longueur des voies, etc), nous définissons les paramètres (méthode et angle seuil) nécessaires à la construction la plus appropriée (Lagesse et al. (2015)). Nous établissons
Ainsi que la méthode la plus efficiente pour construire un objet voie pertinent est celle associant itérativement à chaque sommet les arcs qui s'y joignent en formant le plus petit angle de déviation avec un angle seuil de déviation maximal de 60°.
Le but de cette démarche est de donner une signification substantielle à notre objet et d'offrir à un public pluridisciplinaire la possibilité de s'en saisir dans des domaines différents. Ainsi, la voie objective le concept empirique de continuité fondé sur un sentiment de perspective, et sur les stratégies des usagers (taxi et piétons), grâce à des paramètres d'élaboration qui ont été choisis après des études statistiques exhaustives. Elle a donc une pertinence scientifique en tant qu'entité géographique.
La voie possède un caractère multi-échelle. En effet, elle peut traverser l'ensemble de l'échantillon comme elle peut rester cantonnée dans une partie de celui-ci. Nous avons développé des indicateurs afin d'exploiter cet aspect et de mettre en évidence les structures sous-jacentes à la géométrie du réseau. Nous montrons ainsi comment la voie permet une lecture globale de ses caractéristiques d'ensemble alors qu'elle a été construite uniquement en utilisant des règles locales.

Construction d'indicateurs appliqués à la voie

Il a été montré dans plusieurs études que le facteur métrique n'est pas suffisant pour expliciter la structure des villes et leur usage

Lire la ville à travers ses rues
Méthodologie de construction d'un objet complexe et d'indicateurs liés

Application à un quartier de la ville de Téhéran

Claire LAGESSE
Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, Matière et Systèmes Complexes (MSC), UMR 7057, Paris, France
lagesse.claire@gmail.com

La recherche qui est présentée ici, soutenue par le CNRS dans le cadre du PIRVE (Programme Interdisciplinaire de Recherches Ville-Environnement), puis par le programme ANR MoNuMoVi, est issue des travaux de l'équipe pluridisciplinaire MORPHOCITY, animée conjointement par Ph. Bonnin (CNRS-AUS-LAVUE) et S. Douady (CNRS-MSC), composée de Patricia Bordin (ESTP - Géospective), Estelle Degouys (doctorante AUS-LAVUE), Clément-Noël Douady (AUS-LAVUE), Jean-Pierre Frey (CRH-LAVUE), Claire Lagesse (doctorante MSC) et Pierre Vincent (Z-Studio) et à laquelle ont participé Thomas Courtat (docteur), Wang Xi (doctorante) ainsi que les post-doctorants MohammadAtashinbar, Robin Brigand, Cédric Lavigne et Magali Watteaux.

Résumé| La ville est un objet complexe dont la description exhaustive est impossible. Elle allie en son sein une telle diversité d'entités en interactions qu'il est impossible de toutes les inclure dans une même formalisation. C'est pourquoi nous déciderons ici de nous attacher uniquement à l'information géométrique apportée par son réseau de rues. Représenté sous la forme d'un graphe, celui-ci nous servira de support pour tenter de comprendre la structure d'un espace. Notre hypothèse est que le réseau des rues étant un des éléments les plus pérennes de la ville, c'est également un de ceux contenant le plus d'informations sur la structure de l'espace. À la différence des bâtiments et des parcelles, l'échelle de temps de transformation de ce réseau est beaucoup plus importante. En effet, c'est un réseau support, qui alimente l'espace et sur lequel reposent les flux et les constructions. Ainsi, lorsque les bâtiments à Téhéran sont détruits et rebâtis, le réseau routier de la ville subi quand à lui beaucoup moins de transformations sur la même échelle de temps. Cet élément est donc susceptible de conserver une trace de l'histoire de la construction de l'espace qu'il structure et de son utilisation.
Pour permettre une analyse approfondie de ce réseau, nous construisons un objet complexe - la voie – élaboré à partir de ses seules propriétés géométriques. Nous expliciterons ici quatre indicateurs développés pour lire la ville à travers la voie : la connectivité, l'accessibilité, l'espacement et la maillance. Ceux-ci nous permettent de faire ressortir une hiérarchie entre les voies et des sous-ensembles révélateurs d'une morphogenèse. Le terrain d'étude que nous exploiterons dans cet article sera un quartier de la ville de Téhéran.

Mots-clés | réseau viaire, théorie des graphes, analyse spatiale, modélisation urbaine.

Introduction | De nombreuses études analysent la ville à travers ses réseaux ; et plus particulièrement, son réseau viaire. Les travaux en syntaxe spatiale, par exemple, se concentrent sur la continuité du réseau vue à travers ses usagers (Hillier et al. (1976, 1993)). Ces travaux reconstruisent ainsi des fragments de lignes droites, matérialisant les perspectives, et découpant la ville en lignes de vue indépendantes de l'unité sémantique d'une rue. La ville est ainsi découpée en segments dont chaque angle de connexion est analysé. Dans ces travaux il est question de l'impact de la structure de la voirie sur les flux piétonniers (Hillier and Hanson (1984), Genre-Grandpierre (2001), Genre-Grandpierre and Foltête (2003)). Il est

تصویر۲
Pic2

تصویر۲ : شاخص اتصال در نقشه محدوده مرکزی تهران. رنگ‌های تیره‌تر اتصال‌های مهم‌تر را نشان می‌دهند. راه‌های اصلی تردد هم در پس نقشه ساختاری پنهان است.
مأخذ : کلر لاژس،۱۳۹۳.

pic2: Connectivity indicator applied to a sample of Tehran streets network. In the darker colors the way has great connectivity index. The main circulation ways stand in behind of structured plan.
Source: Claire Lagesse, 2015.

Reference list

- Barthelemy, M, et. al.(2013). *Self-Organization Versus Top-down Planning in the Evolution of a City*, Scientific Reports 3.
- Barthelemy, M. (2011). *Spatial networks*. Physics Reports, 499: 1–101.
- Bonnin, P & Douady, S. (2013). Les Réseaux Dans Le Temps Et Dans L'espace, In *Ouvrage Collectif Du Groupe FMR* (Flux, Matrices, Réseaux), N°2.
- Courtat, T; Gloaguen, C & Douady. S. (2011). *Mathematics and Morphogenesis of Cities: A Geometrical Approach*, Physical Review E 83.
- Dalton, R. & Conroy, A. (2001). *The Secret Is to Follow Your Nose*, In Proceedings of the 3rd International Space Syntax Symposium, Atlanta. Vol. 47.
- Foltête, J-C. et. al. (2002). *Structures Urbaines, Offres de Transport Et Comportement de Mobilité*, In Rapport de Recherché ACI Ville– 99V358, Ministère de L'Enseignement de La Recherche Et de La Technologie.
- Genre-Grandpierre, C. (2001). *La Structure Topologique Et Fonctionnelle Des Réseaux Routiers Urbains Comme Déterminant de La Géographie Des Flux de Déplacements*, In Actes Du Colloque Géopoint 2000, Avignon, 61–67.
- Genre-Grandpierre, C & Foltête, J-C. (2003). *Morphologie Urbaine Et Mobilité En Marche À Pied*, Cybergéo 248. http://193.55.107.45/articles/248res.htm.
- Hillier, B. et. al. (1976). Space syntax. *Environment and Planning B: Planning and Design* , 3 (2) 147 – 185.
- Hillier, B & Hanson, J. (1984). *The Social Logic of Space*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hillier, B. et. al. (1993). Natural Movement or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement, *Environment and Planning B - Planning & Design* 20: 29–66.
- Hillier, B. (2009). Spatial Sustainability in Cities Organic Patterns and Sustainable Forms, Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium ; Edited by Daniel Koch, Lars Marcus and Jesper Steen, Stockholm: KTH.
- Huard, M. (2013). *Atlas Historique de Paris*, http://paris-atlas-historique.fr.
- Jiang, B, & Claramunt, C. (2004). Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B - Planning & Design*, 31: 151–162.
- Lagesse, C; Bordin, P & Douady, S.)2015). *A multi-scale object to analyse road networks*, Network Science, volume 3, issue 01: 156-181
- Marchand, B. (1974). Pedestrian Traffic Planning and the Perception of the Urban Environment: A French Example, *Environment and Planning* A 6: 491–507.
- Pailhous, J. (1970). *Représentation de L'èspace Urbain Et Cheminements : L'èxemple Du Chauffeur de Taxi*, Presses Universitaires de France.
- Penn, A. (2003). Spatial Syntax and Spatial Cognition or Why the Axial Line?, *Environment and Behavior*, 35: 30–65.
- Porta, S; Crucitti, P & Latora, V. (2006). The Network Analysis of Urban Streets: A Dual Approach, *Physical A - Statistical Mechanics and Its Applications* 369: 853–866.
- Turner, A. (2001). Angular Analysis, *In Proceedings of the 3rd International Space Syntax Symposium*, Atlanta. Vol. 30.

Reading the City via Its Streets

Analysis of City Complexity via Its Streets

Construction methodology of a complex object and related indicators Application to a quarter of the city of Tehran

Claire Lagesse, Ph.D candidate, Paris Diderot University, Sorbonne Paris Cité, Matter and Complex Systems (MSC), UMR 7057, Paris, France
lagesse.claire@gmail.com

Translate from French by:
Mohammad Atashinbar, Ph.D in Landscape
babak.atashinbar@gmail.com

Abstract | The city is a complex object whose exhaustive description is impossible. It is combined of diversity of interactive entities, which are impossible to be included all in the same formalization. The street network is one of the most permanent elements of the city; it is also one of those with the most information about the space structure. In contrast to the buildings and parcels, network's time transformation scale is more important. Thus, this element is capable to keep a record of construction history of the space and its use. Therefore, we decide to attach ourselves only to the geometric information provided by a network of streets. Represented in the form a graph, it will support to the understanding of space structure.

Allowing further analysis of this network, a complex object - the way – is made from its own geometric properties. Here, four indicators developed in reading cities are explained through defining the way: connectivity, accessibility, spacing and meshing. These allow us to bring out a hierarchy of ways and revealing subsets of morphogenesis and a case study will as a part of the Tehran will be supplemented in this article.

From simple rules applied locally, it is possible to develop a multi-scale complex object, the street, to analyze and characterize the way network. This object appears to be robust in space. Moreover, it enables the development through the indicators and makes a global reading of the space and highlighting its dynamic possible.

The alignment that we seize through the selection of the minimum angle between arcs at each vertex is a criterion at the origin of line construction. It is also carries accessibility calculation which combines the cost of the turning (i.e. lane change) instead of the way in the network. This study demonstrates that it is possible to highlight a network structure, trace its dynamic construction, and use them from their continuously aligned lines.

Observing the public transport lines drawn within cities (existing or proposed), it can be noted that following the superstructure lines is put forward by the meshing, or the most accessible ways. Some other diagonal or transverse ones play a very special role in the second place. This supports the fact that the cost of running is not negligible. The urban planner's decisions are in agreement with places providing rapid transfer to the rest of the network identified by our indicators.

In addition, in guiding the planners, this work is capable to combine geographical and historical dimensions for interpretation of the dynamic model of space expansion at different scales.

Keywords | Road network, Graph theory, Spatial analysis, Urban modelling.