الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
المدرسة العليا للإعلام الآلي 8 ماي 1945 - سيدي بلعباس
Higher School of Computer Science
8 Mai 1945 - Sidi Bel Abbes

THESIS

To obtain the diploma of **Master's degree**

Field of Study: **Computer Science**

Specialization: **Artificial Intelligence and Data Science**

Theme

Applications of LLMs in Geospatial Reasoning and Spatial Knowledge Extraction

---

Presented by
Fettache Dina

Submitted on: **July, 2025**
In front of the jury composed of

Mr. Chaib Souleyman	President of the Jury
Mr. Khaldi Miloud	Thesis Supervisor
Ms. Noha Ibrahim	Co-Supervisor
Mr. Bejaoui Mohammed	Examiner

Academic Year: 2024/2025

Abstract

The integration of spatial knowledge into artificial intelligence particularly large language models (LLMs), marks a major improvement for geospatial AI. Spatial reasoning covers navigation, urban planning, environmental monitoring, and mobility analysis, yet LLM competence in representing and manipulating spatial information remains unclear. This thesis surveys recent progress in spatial knowledge extraction with LLMs, organized around four pillars: (1) spatial representation and reasoning, (2) GPS-trajectory modelling, (3) geoparsing and geocoding, and (4) emerging LLM based GIS agents.

We first examine how models encode spatial relations through structured prompts, spatial templates, and finetuning with annotated corpora. Architectures such as GeoLLM, and LLMGeoVec are compared on spatial QA benchmarks. For trajectory modelling, transformer variants like TraceBERT capture sequential movement patterns and benefit from pretraining on large mobility datasets. In geoparsing, we assess how LLMs identify, disambiguate, and link place names in unstructured text, contrasting them with classical NLP and rule-based systems.

We then explore LLMs as interactive GIS agents that convert natural language queries into geospatial operations or visualisations, and review multimodal extensions that fuse map imagery, satellite data, and spatial embeddings to ground text.

The survey concludes by outlining research opportunities at the intersection of spatial computing and language modelling: hybridising LLMs with symbolic spatial engines, including benchmark datasets with rich spatial annotations, and injecting domain priors from cartography and GIScience. By charting accomplishments and remaining gaps, this work provides a foundation for developing spatially intelligent language models.

Keywords: language models, spatial reasoning, spatial knowledge extraction, geoparsing, GIS, GPS trajectories, geospatial artificial intelligence

Résumé

L'intégration des connaissances spatiales dans l'intelligence artificielle, en particulier dans les grands modèles de langage (LLMs), marque un avancement majeur pour l'IA géospatiale. Le raisonnement spatial soutient la navigation,la planification urbaine, la surveillance environnementale et l'analyse de mobilité, mais la capacité des LLMs à représenter et manipuler l'espace reste embryonnaire. Cette étude explore l'état de l'art des progrès récents en extraction de connaissances spatiales par les LLMs selon quatre axes : (1) la représentation et raisonnement spatiaux, (2) la modélisation des trajectoires GPS, (3) le géoparsing et géocodage, (4) les agents SIG alimentés par des LLMs.

Nous détaillons d'abord l'encodage des relations spatiales via les prompts structurés, patrons spatiaux et finetuning sur corpus annotés. Les performances de GeoLLM, et LLM-GeoVec sont comparées sur des benchmarks de questions-réponses spatiales. Pour les trajectoires, TraceBERT capture les patrons séquentiels du mouvement et tirent parti d'un pré-entraînement massif sur données de mobilité. En géoparsing, nous évaluons comment les LLMs identifient, désambiguïsent et lient les toponymes, face aux approches classiques fondées sur règles et NER.

Nous analysons ensuite les LLMs comme agents SIG conversationnels capables de traduire des requêtes naturelles en opérations ou visualisations géospatiales, et présentons des extensions multimodales combinant cartes, imagerie satellite et embeddings spatiaux pour ancrer le texte.

Enfin, nous identifions les pistes de recherche: hybrider les LLMs et les moteurs symboliques de raisonnement spatial, construire des jeux de données richement annotés, et injecter les savoirs de la cartographie et de la géomatique. En dressant le bilan des avancées et lacunes, cette revue offre une base pour la conception de modèles de langage véritablement spatiaux.

Mots-clés: modèles de langage, raisonnement spatial, extraction de connaissances spatiales, géoparsing, SIG, trajectoires GPS, intelligence artificielle géospatiale

الملخص

يُشكِّل إدماج المعرفة المكانية في الذكاء الاصطناعي، ولا سيّما في النماذج اللغوية الضخمة (LLMs)، نقلةً نوعيّة في مجال الذكاء الاصطناعي الجغرافي. فالاستدلال المكاني يدعم تطبيقاتٍ حيويةً مثل الملاحة، والتخطيط الحضري، والرصد البيئي، وتحليل التنقّل، بينما تبقى قدرة الLLMs على تمثيل المعلومات المكانية ومعالجتها محدودة. تستعرض هذه المراجعة أحدث التقدّم في استخراج المعرفة المكانية بواسطة الLLMs عبر أربعة محاور رئيسة: (١) تمثيل العلاقات المكانية والاستدلال عليها، (٢) نمذجة مسارات GPS، (٣) التعرّف على الأسماء الجغرافية وتكويدها، (٤) صعود وكلاءٍ لأنظمة المعلومات الجغرافية المدعومين بالLLMs.

أولًا، نحلّل ترميز العلاقات المكانية باستخدام المطالبات المهيكلة، والقوالب المكانية، وضبط النماذج على مجموعاتٍ نصيّةٍ مُعنونةٍ مكانيًّا، مع مقارنة GeoLLM وLLMGeoVec على معايير الأسئلة-الأجوبة المكانية. ثانيًا، تُظهِر نماذج التحويل مثل TraceBERT قدرتها على التقاط الأنماط التسلسلية والدلالية للحركة، مستفيدةً من تدريبٍ مسبقٍ واسعٍ على بيانات التنقّل. ثالثًا، نقوِّم كفاءة الLLMs في التعرّف على الأسماء الجغرافية، وإزالةِ الغموض عنها، وربطِها، مقارنةً بالأساليب التقليدية القائمة على القواعد أو التعرّف الكياني.

رابعًا، نستكشف الLLMs كوكلاءَ تفاعليّين لأنظمة المعلومات الجغرافية، يترجمون الاستفسارات الطبيعية إلى عملياتٍ أو تصوّراتٍ جغرافية، مع عرض الامتدادات متعددة الوسائط التي تمزج الخرائط وصور الأقمار الصناعية والتضمينات المكانية لربط النّص بالسياق.

ختامًا، نحدّد فرصًا بحثيّة مستقبليةً تشمل تهجين الLLMs بمحركاتِ استدلالٍ مكانيٍّ رمزية، وبناءَ مجموعاتِ بياناتٍ معياريةٍ غنيةٍ بالترميز المكاني، وحقنَ معارفَ متخصّصةٍ من علم الخرائط وعلوم المعلومات الجغرافية. توفّر هذه المراجعة أساسًا للباحثين والممارسين الساعين إلى تطوير نماذجَ لغويةٍ ذات ذكاءٍ مكانيٍّ حقيقي.

الكلمات المفتاحية: النماذج اللغوية الضخمة، الاستدلال المكاني، استخراج المعرفة المكانية، التعرّف على الأسماء الجغرافية، نظم المعلومات الجغرافية، مسارات GPS، الذكاء الاصطناعي الجغرافي