

RECONSTRUCTION AGNOSTIQUE DE LENTILLES GRAVITATIONNELLES DE TYPE GALAXIE-GALAXIE

par

Alexandre Adam

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Maître ès sciences (M.Sc.)

Département de physique
Université de Montréal

Résumé

Abstract

Table des matières

Résumé	ii
Abstract	iii
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Acronymes	viii
Liste des symboles	ix
Remerciements	xi
1 Introduction	1
1.1 Lentilles gravitationnelles	1
1.2 Simulation magnétohydrodynamiques	2
1.2.1 Description lissée des particules	3
1.2.2 Arbres kd	3
1.2.3 Densité de masse projeté avec lissage adaptif	3
1.3 Apprentissage machine	3
1.3.1 Réseaux de neurones convolutionnels	3
1.3.2 Réseaux de neurones récurrents	3
1.3.3 Machine à inférence récurrentielles	3
1.3.4 Auto-encodeur variationnel	3
1.3.5 Transfert de l'apprentissage	3

1.4	Formalisme des problèmes inverses	3
1.4.1	Approche bayésienne	3
1.4.2	Biais inductifs	3
1.4.3	3
1.5	Motivation scientifiques	3

Liste des tableaux

Liste des figures

Acronymes

RIM Machine à inférence récurrentielles.

Liste des symboles

$\mathbb{1}_n$ Matrice identité de taille $n \times n$.

À Maman et Julia

Remerciements

Chapitre 1

Introduction

- Paragraphe qui décrit le paradigme dans lequel la recherche se conduit. Donc matière noire, questions sur sa nature, rôle des lentilles gravitationnelles pour révéler cette masse par la distortion
- Mentionner la motivation générale de notre recherche

La recherche présentée dans ce mémoire approche le problème de cartographier la masse gravitationnelle de galaxies-lentilles de façon agnostique. C'est-à-dire que l'on ne suppose pas de modèle analytique simple pour résoudre le problème de reconstruction non-linéaire et mal posé. Plutôt, cette recherche exploite le cadre des machines à inférence récurrentielles (RIM) pour encoder des biais inductifs dans un réseaux de neurones qui vont rendre l'inférence de paramètres dans un espace à très haute dimension efficace et précise.

Avant de décrire ce travail, je vais introduire les concepts et les motivations nécessaires pour contextualiser ma recherche. En premier lieu, je vais décrire le concept de lentille gravitationnelle à la section 1.1. Ensuite, je vais décrire quelques concepts liés à l'extraction de profils de masses provenant de large simulation magnétohydrodynamiques à la section 1.2. Cette section sera suivie d'une introduction rapide à quelques concepts liés à l'apprentissage machine utiles pour ma recherche à la section 1.3. Je vais décrire le formalisme bayésien pour le problème inverse qui sous-tend ma recherche à la section 1.4. Finalement, je vais décrire le cadre plus large des motivations scientifiques dans lequel cette recherche se situe à la section 1.5.

1.1 Lentilles gravitationnelles

Selon le principe de Fermat, les photons suivent des trajectoires qui extrémisent la durée de la trajectoire. Ce principe est formalisé dans le langage du calcul des variations

$$\delta \int_{\lambda_A}^{\lambda_B} n(\mathbf{x}(\lambda)) d\lambda = 0 \quad (1.1)$$

où n est un indice de réfraction et λ paramétrise la trajectoire du photon.

Pour déterminer l'indice de réfraction, on utilise le formalisme de la relativité générale. Un élément de distance ds^2 est calculé à partir d'une métrique $g_{\mu\nu}$

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (1.2)$$

Un espace plat est décrit par la métrique de Minkowsky. Pour décrire le champ gravitationnel d'une galaxie, on fait l'approximation que le potentiel gravitationnel est celui d'un fluide parfait. Opérationnellement, on entend par là que ce fluide est décrit entièrement par sa pression et sa densité. Le potentiel gravitationnel est ainsi déterminé par une équation de Poisson

$$\nabla^2 \Phi = 4\pi G \rho \quad (1.3)$$

Dans la limite où ce potentiel est faible $\frac{2\Phi}{c^2} \ll 1$

— Mentionner la dégénérescence entre la morphologie de la source et la lentille

1.2 Simulation magnétohydrodynamiques

— Devrait être courte, mais établir le ground work pour SPL

— Décrire généralement les éléments intéressants d'Illustris, et comment en général ce genre de simulations sont pertinentes pour notre travail -> realistic mass models.

- 1.2.1 Description lissée des particules
- 1.2.2 Arbres kd
- 1.2.3 Densité de masse projeté avec lissage adaptif
- 1.3 Apprentissage machine
 - 1.3.1 Réseaux de neurones convolutionnels
 - 1.3.2 Réseaux de neurones récurrents
 - 1.3.3 Machine à inférence récurrentielles
 - 1.3.4 Auto-encodeur variationnel
 - 1.3.5 Transfert de l'apprentissage
- 1.4 Formalisme des problèmes inverses
 - 1.4.1 Approche bayésienne
 - 1.4.2 Biais inductifs
 - 1.4.3
- 1.5 Motivation scientifiques

This is a symbol $\mathbb{1}_n$.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus.

Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetur a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.