

Galaxy Simulation

Jugend Forscht 2018/2019

Emile Hansmaennel

Theodor-Fliehdner-Gymnasium, Heinrich Heine Universität Düsseldorf

2018 - 2019

Ist es möglich die Entstehung von Galaxien zu simulieren? Um diese Frage zu beantworten bin ich zu dem Schluss gekommen, dass ich das doch einfach mal ausprobieren sollte. Dazu habe ich das Navarro-Frenk-White Profil implementiert um anschließend die Kräfte die Zwischen den Sternen wirken zu berechnen. Dabei statete ich die Sterne mit einer zufälligen Masse aus und Unterteilte die Galaxie in dynamisch-große Zellen um die Simulation stark zu beschleunigen. Um eine Stabile Galaxie zu simulieren müssen jedoch alle Sterne in der Galaxie eine Anfangsgeschwindigkeit besitzen die sie auf eine Kreisbahn lenkt, damit die Kraft, welche die Sterne in die Mitte der Galaxie zieht ausgeglichen werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	
2	Vorgehensweise	
3	Generieren	
3.1	Das Navarro-Frenk-White Profil	1
3.2	Random Sampling	2
3.3	Lookup Tabellen	2
3.4	Beschleunigung der Generierung	2

1 Einleitung

Das Projekt ist nach meinem vorletzten Jugend-Forscht Projekt entstanden: Ich habe ein Praktikum in Astronomischen Rechen Institut in Heidelberg genutzt, um mit einem Doktoranden¹ das Navarro-Frenk-White Profil, das zum generieren von Punkt Wolken genutzt wird, zu visualisieren. Anschließend hat sich das Projekt ein bisschen verlaufen, irgendwann beschloss ich jedoch, dass das Projekt weiterzuführen und statt nur statische Galaxien zu generieren dazu überzugehen die Galaxien zu simulieren, also die Entwicklung einer virtuellen Galaxie zu untersuchen. Eines der Entscheidenden Probleme war die Laufzeit der Simulation. Das Problem das es zu lösen galt, war die Nutzung von mehreren Threads mit der Nutzung des Barnes-Hut Algorithmus zu kombinieren. Das Ergebnis ist sehr schön: Durch die Nutzung der Programmiersprache Go war das einbauen der Nutzung von mehreren Threads vergleichsweise einfach.

¹Tim Tugendhat

2 Vorgehensweise

- 1 Wie schon in der Einleitung beschrieben habe ich mehrere Techniken kombiniert um mein Ziel zu erreichen. Das komplette Projekt lässt sich in mehrere Abschnitte unterteilen: Die Generierung der Punkt Wolke, aus der eine Galaxie abstrahiert wird. Die Simulation der Galaxie bei der die Kräfte die in der Galaxie wirken berechnet werden und daraus die Geschwindigkeit und Richtung in die der Stern fliegt.

3 Generieren

Das Generieren der Statischen Punkt Wolke aus der die Galaxie abstrahiert wird ist ein wichtiger Bestandteil des Gesamtprojektes, denn alles baut auf ihr auf. Kurz: um Kräfte zwischen Sternen zu berechnen braucht man erstmal Sterne!

3.1 Das Navarro-Frenk-White Profil

Das Navarro-Frenk-White Profil (NFW-Profil) ist ein Profil das genutzt wird, um die Räumliche Massen Verteilung von dunkler Materie anhand von Halos die in N-Körper Simulationen simuliert wurden, zu generieren. Das NFW-Profil kann jedoch auch genutzt werden um die Massen Verteilung von Sternen darzustellen. Das Profil generiert für einen gegebenen Abstand r zum Mittelpunkt der Galaxie eine Wahrscheinlichkeit ρ . Die Funktion sieht dabei wie folgt aus: NFW

$$\rho_{NFW}(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \exp\left(\frac{-\phi(r)}{\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$$\phi(r) = \frac{4\pi \cdot G \cdot f_0 \cdot R_s^3}{r} \cdot \ln\left(1 + \frac{r}{R_s}\right)$$

Es kann nun mithilfe der Random-Sampling Methode (3.2) ermittelt werden, ob ein Stern beibehalten wird oder nicht.

Möchte man nun herausfinden wie weit ein Punkt mit der Koordinate (x_1, x_2, x_3) vom Mittelpunkt des Raumes entfernt ist, kann der Satz des Pythagoras (2) verwendet werden.

$$r_3 = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2} \quad (2)$$

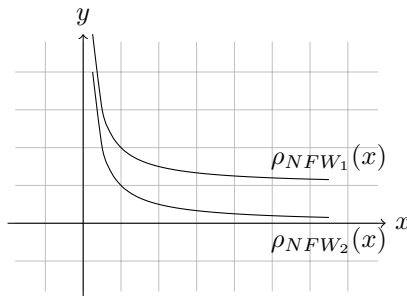
Der Abstand r_3 zum Mittelpunkt des Raumes kann nun in das NFW-Profil (1) gegeben werden um einen Wert s zu ermitteln welcher beim Random Sampling verwendet wird:

$$\rho_{NFW}(r) = \dots = s \quad (3)$$

Dieser Wert s stellt die Wahrscheinlichkeit dar, das ein Stern der eine Entfernung r vom Mittelpunkt der Galaxie besitzt existiert.

Die Galaxie sieht aus der Ferne jetzt jedoch aus wie ein Würfel, da die aus ρ_{NFW_1} resultierende Kurve abrupt endet. Dies kann gelöst werden, indem statt $\rho_{NFW_1}(r)$ folgendes gerechnet wird: $\rho_{NFW_1}(r) - \rho_{NFW_1}(r_{max}) = \rho_{NFW_2}(r)$

Veranschaulichung:



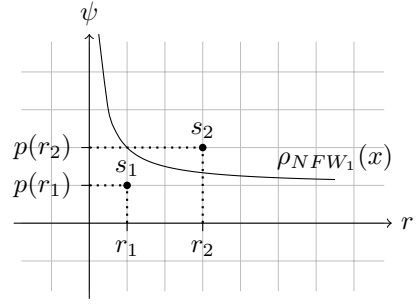
Problematisch ist hierbei die Tatsache, dass aufgrund der Verschiebung die Anzahl der Sterne die in Relation zu dem Bereich in dem sie generiert werden sehr stark sinkt.

3.2 Random Sampling

$$\psi = [\rho(r_{min}); \rho(r_{max})] \quad (4)$$

Sei s ein zufälliger Wert im Intervall ψ . Generiert man nun einen zufälligen Wert r im Intervall ψ , kann man schauen ob $s > r \vee s < r$ gilt. Ist $r > s$, wird der Stern verworfen, ist $r < s$ wird der Stern behalten.

Veranschaulichung:



In der obigen Abbildung ist zu sehen wir zwei zufällige Punkte s_1 und s_2 generiert wurden.

Angenommen es wurde ein Stern generiert für den nach Formel (2) gilt: $r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2} = \dots = r_1$. Es wird dann ein zufälliger Wert $p(r_2)$ im in (4) definierten Intervall generiert. Die folgenden zwei Fälle können dann eintreten und werden wie in (5) abgehandelt.

$$\begin{cases} s_1 \leq NFW(r_1) & \rightarrow \text{Stern wird beibehalten} \\ s_1 > NFW(r_1) & \rightarrow \text{Stern wird verworfen} \end{cases} \quad (5)$$

3.3 Lookup Tabellen

Statt nun für jeden Stern die Distanz des jeweiligen Sternes r in das NFW-Profil (1) einzusetzen, kann das NFW-Profil im vorhinein berechnet werden. Es wird dabei eine Tabelle erstellt in der die Entfernung des Sternes zum Mittelpunkt der Galaxie der jeweiligen Wahrscheinlichkeit zugeordnet wird:

r_n	$n \in \mathbb{N}$	ρ_n	$n \in \mathbb{N}$
r_1		ρ_1	
r_2		ρ_2	
r_3		ρ_3	
\dots		\dots	
r_n		ρ_n	

Die Tabelle kann jedoch nicht so genaue Ergebnisse liefern wie das NFW-Profil, sie kann jedoch so angepasst werden, dass sie in den Arbeitsspeicher passt und somit das NFW-Profil so genau wie möglich widerspiegelt und das Generieren stark verbessert. Mit genügend Arbeitsspeicher ist der Fehler dann auch vernachlässigbar. Ein Kritischer Faktor, der beachtet werden muss wenn Lookuptabellen genutzt werden, ist die Geschwindigkeit des jeweiligen Speichermediums. Nutzt man z.B. Eine sehr langsame Festplatte kann es mehr Sinne machen die jeweiligen Werte direkt zu berechnen. Dagegen ist eine schnelle SSD (Solid-State-Drive) um einiges schneller.

TODO: Versuchsreihe.

3.4 Beschleunigung der Generierung

Es existieren mehrere Möglichkeiten die Generierung der Punkte zu verbessern.

Eine gute Möglichkeit ist die Nutzung von mehr Rechenleistung. Bei der Nutzung von n mal sovielen Rechenkernen ist das Generieren von Sternen n mal schneller. Die Server des Server-Hosters Hetzner können dabei gut verwendet werden: Es wird stündlich abgerechnet und 32 Kerne mit 128 GB RAM kosten $\approx 50\text{ct/h}$ was es ermöglicht

für einen vergleichsweise günstigen Preis, sehr viele Koordinaten zu generieren.

Die Ausgabe von jeder potentiellen Koordinate in die Kommandozeile verlangsamt die Generierung unglaublich stark, da der Rechner darauf wartet, dass die Ausgabe fertig ist, bevor er mit der nächsten Rechnung beginnt, was zu einer relativ starken Verlangsamung der Generierung führt.