Elitenetzwerk Bayern

Einblicke in die Forschungsarbeit

MASTERARBEIT

„Schneller durch BSGs“

Jonathan Schmalfuß

Elitestudiengang „Scientific Computing“

Universität Bayreuth, 2025

Optimierte Ozeansimulation durch BSGs

Jonathan Schmalfuß' Masterarbeit beschreibt die Generierung block-strukturierter Gitter für die Ozeansimulation und deren Einfluss auf die Rechenleistung. Im Rahmen des Elitestudienprogramms „Scientific Computing“ an der Universität Bayreuth untersucht er verschiedene Optimierungsstrategien, um Ozeanströmungen auf block-strukturierten Gittern effizienter zu simulieren, ohne an Genauigkeit zu verlieren.

Block-strukturierte Gitter

Numerische Simulationen spielen eine zentrale Rolle in der modernen Ozeanforschung. Sie ermöglichen es, komplexe Strömungsmuster, Gezeiten und Küstendynamiken rechnerisch zu erfassen und vorherzusagen. Eine zentrale Rolle spielt dabei das verwendete Gitter, also die Aufteilung des Simulationsbereichs in kleine, berechenbare Einheiten. Es gibt zwei grundlegende Gitterarten: strukturierte Gitter, bei denen die Anordnung der Gitterelemente einer festen, regelmäßigen Struktur folgt, sodass sich benachbarte Elemente, zum Beispiel Dreiecke oder Rechtecke, anhand ihrer Position eindeutig bestimmen lassen. Im Gegensatz dazu bestehen unstrukturierte Gitter aus einer Menge von Elementen mit flexibler Topologie, also einer nicht festen Anzahl an einfallenden Kanten pro Kontenpunkt. Ein strukturiertes Gitter gleicht dabei einem Pflastersteinweg mit gleichmäßigen Formen, während ein unstrukturiertes Gitter eher einem Seifenschaum ähnelt, bei dem die Zellen nach und nach gewachsen sind, ohne Ordnung.

Best of both worlds

Während unstrukturierte Gitter besonders flexibel sind und sich an komplexe Küstenlinien oder Inseln anpassen lassen, ermöglichen strukturierte Gitter eine effizientere Berechnung. Block-strukturierte Gitter kombinieren diese Ansätze, indem sie den Simulationsbereich in mehrere strukturierten Blöcke unterteilen. Sie vereinen damit die Flexibilität unstrukturierter Gitter mit der numerischen Effizienz strukturierter Gitter – ein „Best of both worlds“-Ansatz. Ein weiterer entscheidender Faktor für die Genauigkeit und Geschwindigkeit solcher Simulationen ist der numerische Lösungsansatz. Eine Methode für die Lösung der Flachwasser-Gleichungen (Shallow-Water Equations, SWE) ist das Discontinuous-Galerkin-Verfahren (DG). Dieses erlaubt eine präzise Darstellung der Strömungsdynamik, ist aber rechnerisch anspruchsvoll. Daher ist es besonders wichtig, effiziente Gitterstrukturen und Optimierungsstrategien zu entwickeln, um die Rechenleistung zu verbessern.

Optimierungstechniken

Insbesondere bei der Verwendung block-strukturierter Gitter gibt es verschiedene Ansätze, um die Berechnungen zu beschleunigen und Speicherzugriffe effizienter zu gestalten. Zwei zentrale Optimierungstechniken werden hier herausgegriffen:

- Cache Blocking: Hierbei werden Daten so organisiert, dass sie optimal in den schnellen Cache-Speicher der Prozessoren passen. Dies reduziert Zugriffe auf den langsameren Hauptspeicher und verbessert die Rechengeschwindigkeit.

- Explicit Indexing: Statt indirekter Speicherzugriffe werden Speicheradressen direkt verwaltet, um den Zugriff auf Simulationsdaten zu beschleunigen und unnötige Berechnungen zu vermeiden. Jedes Element in einem strukturierten Block weiß welches seine Nachbarn sind.

Diese Optimierungen tragen dazu bei, die Rechenzeit zu verkürzen und die Nutzung der verfügbaren Hardware zu verbessern. Ihre Wirksamkeit wird anhand verschiedener Szenarien analysiert und bewertet.

Man muss auch der Zukunft etwas überlassen - J. W. v. Goethe

Diese Arbeit hat gezeigt, dass block-strukturierte Gitter effizient in der Ozeansimulation eingesetzt werden können. Optimale Blockgrößen und die sinnvolle Kombination strukturierter und unstrukturierter Blöcke sind sinnvolle Erkenntnisse. Zukünftige Forschung sollte die Parallelisierung und Optimierung für GPUs und andere Systeme weiter untersuchen. Auch alternative Algorithmen zur Gittergenerierung bieten vielversrechendes Potenzial – denn Fortschritt bleibt ein offener Prozess.

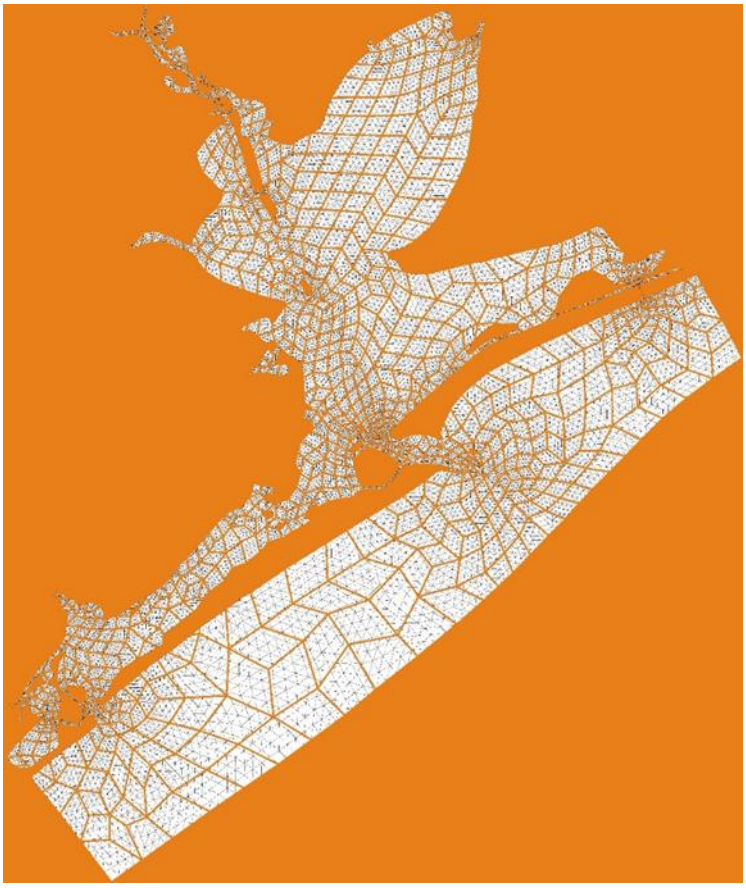

Abbildung 1: Ein Block-strukturiertes Gitter der Bucht von Galveston

Rechte : © Jonathan Schmalfuß

Mehr zum Elitestudiengang:

www.elitenetzwerk.bayern.de

https://www.uni-bayreuth.de/master/scientific-computing