Joint Usage / Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures

EX18201 (東北大学サイバーサイエンスセンター推薦課題)

松岡 浩(技術士事務所AIコンピューティングラボ)

リカレントニューラルネットワークによる高解像度流体解析コードの開発



1. 研究の目的

ものづくりにおける設計アイデア探索のための"高解像度流体解析コード"の開発

- ⇒ 例: 飛行機や船舶等の設計で"小型流動制御デバイスの形状を解像できる微細スケール"から、 "機体や船体等のまるごとスケール"までを同時に解析し、局所形状の連続的な変化が全体の流動を どのように変えていくか?をリアルタイム応答で観察できるツールを実現し創造的な設計を可能にする。
- 2. 次世代超高速計算機による具体的な達成目標と方法(←東北大学サイバーサイエンスセンターSX-ACEの利用経験から設定)
- (1)「多速さ格子ガス法4次元FCHCモデル+1格子点1ビット幅の時間発展計算」により"基盤構築"を目指す。
- ①固体壁形状変化へのリアルタイム応答計算: ⇒ 1億格子点規模の連続可視化感度解析を単相流で実現
- ②試作・実験レベルを超える精度の詳細計算:⇒ 1兆格子点規模の高解像度単相流過渡変化を1日で計算
- ③どんな流動挙動にも答えをだせる頑強計算: ⇒ 激しく変化する乱流もビット演算時間発展計算で安定算出
- (2)「"階層型リカレントニューラルネットワーク計算"+"マクスウェルの達人操作"」により"新展開"を目指す。
- ①格子点数を増やさずにゼロ近傍正粘性計算: ⇒ 到着粒子と出発粒子の確率差を個別粒子操作で強調
- ②初期条件・境界条件が不明でもそれなり計算:⇒ 計測データ等が与えられた時空間から自己組織化伝達

近年において著しく発展したコンピュータによる超高速計算技術

+

+

微分方程式数值解法計算原理

①微分方程式等を離散化した計算が進行 ②完備された初期条件と境界条件を準備

AI(ニューラルネット)学習推論計算原理

①各計算要素ごとに簡易な計算が分散並列で進行 ②学習機能によって各計算要素の機能を逐次修正

高精度災害予測や実験試作不要の ものづくりのための高解像度な 物理シミュレーションを実現

※「連続的な物理シミュレーション空間を離散化した概念としての"格子点"」を「ニューロン群」に対応させ、「次の時刻ステップにおける状態を予測計算をする格子点演算」と「学習過程における演算機能の逐次修正計算」を局所並列的に同時に進行させる。

現実世界における不完全な情報獲得 環境下でも高速学習により妥当な 結論を導く推論技術を実現

融合

"高解像度物理シミュレーションの新展開" 初期条件や境界条件が不完全にしか得られない 現実世界においても 実用に耐える高精度な "物理シミュレーション"をリアルタイムで実現!

〇"高解像度物理シミュレーション"の実社会における実用化を妨げる基本的問題の解決! 〇AI専用超高速プロセッサの爆発的な需要増大

に伴う性能向上と低コスト化
OIoTの進展に伴う計測データのリアルタイム
利用技術の性能向上と低コスト化

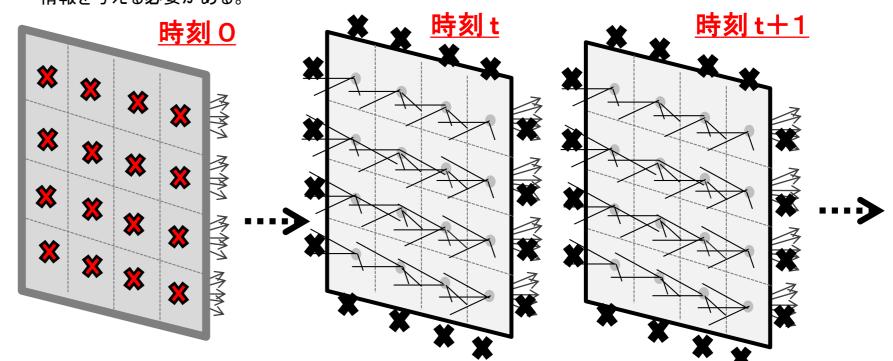
安全・安心で創造的な 人間社会の構築に貢献 (防災・ものづくり設計)

1. 解像したいひとつひとつの微細領域を、離散化された"格子点"とみなし、これを "ニューロン群"に対応させる。(cf.右図は、物理空間を2次元で表現。)

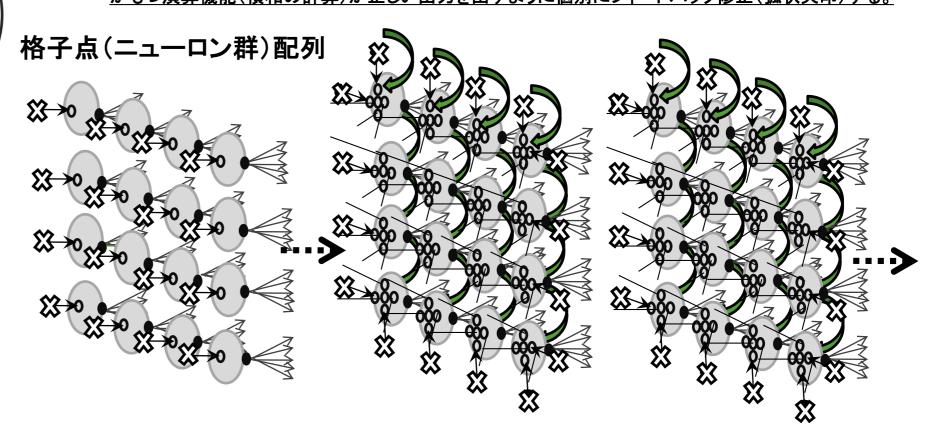
2. 各格子点(ニューロン群)では、時間進展に伴って、質量、運動量、エネルギーなどの物理量が周辺格子点(ニューロン群)から入力され、ある情報処理(演算処理)がなされた後に、周辺格子点(ニューロン群)へ出力される。このとき、各格子点(ニューロン群)において局所分散的になされる演算が簡単な内容であっても、格子点間(ニューロン群間)での情報のやりとりを繰り返すくうちに、複雑に見える大局的な挙動も自己組織化により自動的に生成されてくる。

☆"多速さ格子ガス法"では、多数の仮想粒子が「衝突」と「並進」を繰り返しながら格子点間を移動する様子を疎視化してマクロな流体挙動を得る。開発中の非熱流体解析コードの場合、仮想粒子は48個の向きに移動可能で、各格子点での衝突は、「到着粒子の各向き存否パターン」を「出発粒子の各向き存否パターン」に変換する階層型ニューラルネットワークで表現できる。"粘性制御"では、出発粒子パターンを求めた後に、過去の到着粒子パターンと比較する操作が必要なので「リカレント型」のネットワークを採用する。

<u>微分方程式数値解法計算原理</u>: すべての格子点における演算機能は、どこも同じで時間的に不変。 初期時刻ステップの全格子点(×印)と、その後の全時刻ステップの全境界点(×印)に、もれなく完全な情報を与える必要がある。



AI学習推論計算原理: 初期時刻ステップの全格子点(白×印)と、その後の時刻ステップの境界 格子点(白×印)には、不明の乱数入力で構わない。 各時刻ステップごとに全格子点(ニューロン群) がもつ演算機能(積和の計算)が正しい出力を出すように個別にフィードバック修正(弧状矢印)する。



3. もし、初期条件と境界条件に関する知識が欠如し、ランダムに仮定された数値が、初期時刻ステップの格子点やそれ以降の時刻ステップにおける境界上の格子点に入力されていたとしても、その値を前提にした演算機能の逐次修正がところどころで与えられる計測情報をもとに各格子点で実行されるので、必要な領域においては、妥当なシミュレーション結果を常に出力できるようになる。

JHPCN

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第10回シンポジウム