

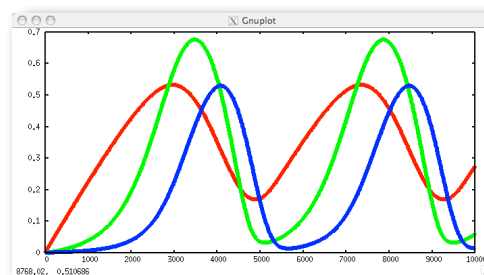
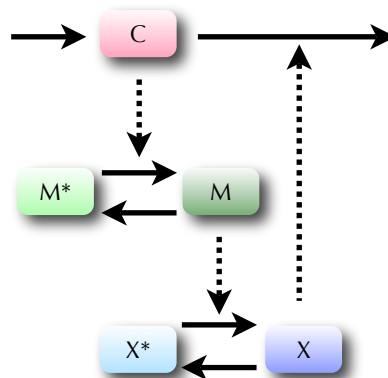
ReCSiP: a Reconfigurable Cell Simulation Platform

FPGA の生命科学への応用

現代の生命科学の研究には計算機の利用が不可欠です。このプロジェクトでは特に、生命現象をより深く理解するために、細胞内で起こるさまざまな化学反応を数理的にモデル化して、計算機上でシミュレーションするプロセスに焦点を当てています。

細胞内の一連の化学反応のモデル (生化学モデル) は、右の図のような有向グラフで表されます。グラフのノードに相当するのが物質、辺に相当するのが化学反応であり、それぞれ初期濃度や反応速度定数などを与えて計算を行うと、右下のグラフのように、物質の経時的な濃度変化の経過を得ることができます。

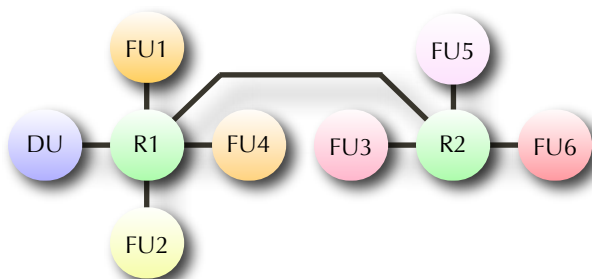
モデルは連立常微分方程式や確率モデルを用いて記述されますが、計算に長い時間が必要になるケースが多く、研究を効率よく進めるには大型の並列システムが必要になるのが現状です。FPGA による低価格なシステムで高速なシミュレーション環境の実現を目指しています。



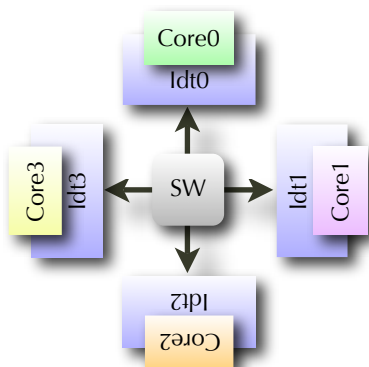
FPGA による生化学シミュレーション

ハードウェアで演算処理を行う場合、複数の演算器を組み合わせることで、高いスループットを実現する方法が一般的です。FPGA を用いると自由に回路を構成できるため、アプリケーションごとに最適なパイプラインとその制御回路を構成し、高い実効性能を得ることが可能になります。

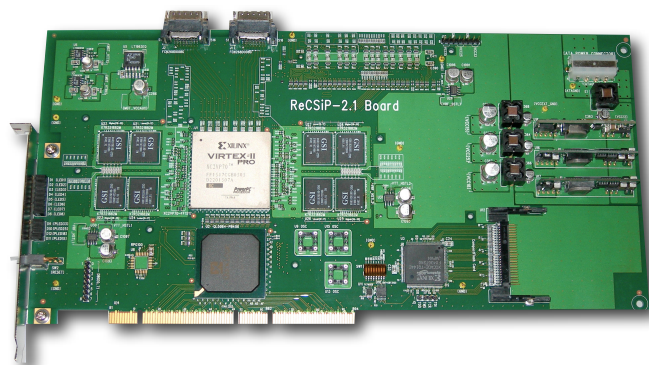
個々の化学反応を離散的なイベントとして取り扱う確率モデルと、連続時間系で計算を行う解析モデルでは問題の性質が大きく異なります。解析モデルではデータのアクセスパターンが決まっているため、固定的なデータパスを用いてメモリから連続的にデータを供給し、確率モデルではネットワークを用いて複数のスレッドから次々にデータを投入することでパイプラインの稼働率を向上しています。

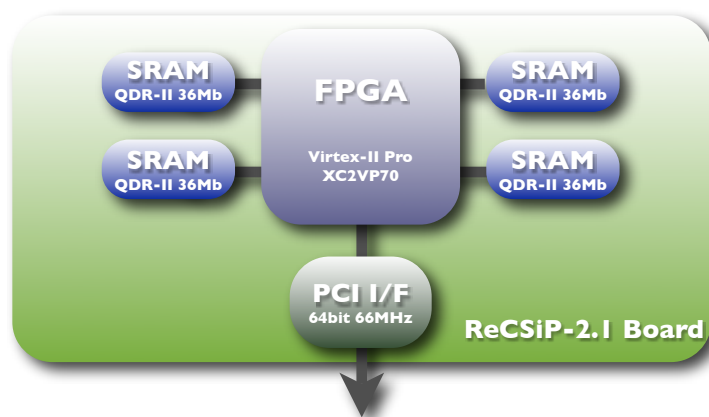


確率モデルシミュレータの構成



解析モデルシミュレータの構成





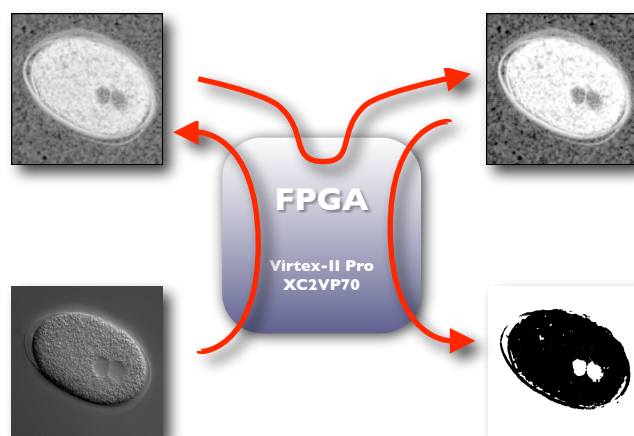
画像のフィルタリング処理

生命科学の研究でも、顕微鏡画像などを自動処理して実験からデータを得ようとする試みが行われるようになってきました。ReCSiP は FPGA によるシミュレーションの高速化を目指すプロジェクトですが、同時に開発されている ReCSiP Board では FPGA の周辺にメモリを配置することで、画像処理のような大きなデータを扱うアプリケーションにも対応しています。

細胞分裂の自動追跡システム

顕微鏡画像から細胞の核の位置を自動検出することで、細胞分裂の時刻と場所を記録し、受精卵からの発生過程を追跡するためのシステムの高速化を行いました。このアプリケーションでは 32 台の PC クラスを 1 枚の FPGA ボードで置き換えることにより、大幅な小型化・低価格化を実現しています。

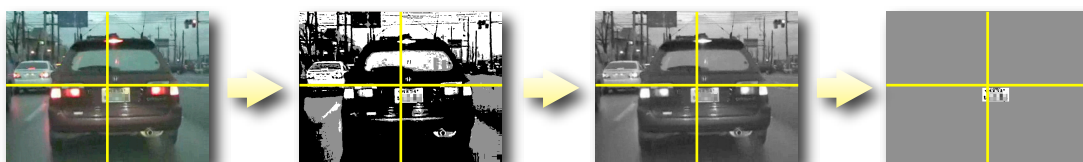
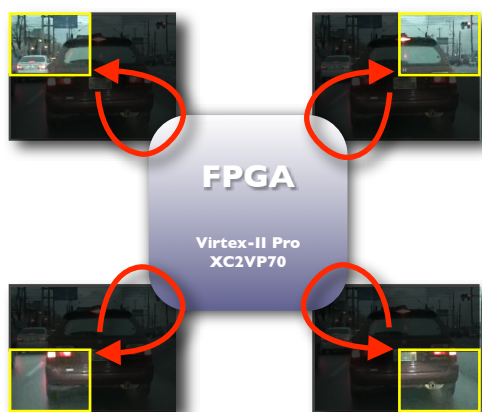
PCIバスから FPGA ボードに入力されたデータは、FPGA の周辺に配置された 4 つのメモリを経由しながら、3 つのパイプライン化されたフィルタを順次通過します。各フィルタをパイプライン化してスループットを向上するとともに、QDR-SRAM を利用して同時に Read/Write 操作を行うことでメモリアクセスを効率化しています。



ナンバープレート抽出

これは生命科学向けのアプリケーションではありませんが、同じ基板を使って実装されたアプリケーションです。車載カメラからリアルタイムでナンバープレート部を認識・抽出する処理を FPGA で処理します。このアプリケーションでは、FPGA 周辺の各メモリに画像を 1/4 ずつ格納し、並列に認識処理を行うことで処理時間を短縮しています。

FPGA で処理を行うことにより、マイクロプロセッサよりも低い周波数で同等の処理能力を発揮できるため、システムの小型化や低消費電力化に貢献することができます。また、このシステムは C 言語からのデザインエントリを行っており、複雑なアルゴリズムを高位の記述言語から実装することに成功した例でもあります。



<http://www.recsip.org/>

Keio Univ. / Nagasaki Univ. / The Systems Biology Institute