

Assisted Design of DNA Computing Systems : the DNA Toolbox and Beyond

その他のタイトル	DNAコンピューティングシステムの設計支援 : DNAツールボックスとその拡張
学位授与年月日	2014-03-24
URL	http://doi.org/10.15083/00007162

審査の結果の要旨

氏 名 オベル ナタナエル ヤン イバン

未来の情報処理技術を切り開くコンピュータの新たな計算原理の探求は、継続的にかつ精力的に進められている。将来が期待されている計算原理にはいくつかあるが、DNA コンピューティングはそれらのなかで最も有力なものの一つである。DNAは化学反応が詳しくわかっており、また分析や合成の方法が確立していて、基本的な計算を実際に試験管の中で行うことができるまでに基礎技術が成熟している。

しかしながら、複雑な動作をするDNAを自由自在に設計することは、現在でも難しい。計算させたい反応を確実に実現しつつ、期待していない反応を十全に抑制するようなDNAおよび酵素の設計は、いまだに容易にできるようにはなっていない。

このような課題のある中で、本論文では、DNA計算システムを容易にデザインすることができるツールを目指して複合的な研究を展開し、DNAコンピューティング実用化にむけて突破口を開くことを目指している。

本論文は8つの章からなる。

第1章はイントロダクションであり、DNAコンピューティングの原理、可能性と、現在の課題とを導入し、本論文の目標を指し示す。また、本論文の構成とともに、本論文で用いられる主要な用語の説明も付されていて、DNAなどに詳しくない読者に便宜を図っている。

第2章においては、まず Montagne らにより導入された DNA toolbox を説明したうえで、著者が DNA toolbox のために構築した独自の数理モデルを説明している。各種パラメタの調整方法と、実験との比較によるモデルの評価が示されており、本論文の残りの部分の基礎を成している。

第3章においては、delay gate と呼ばれる新しい DNA コンピューティングの構成要素（ゲートという）を提案している。Delay gate は出力 DNA が生成されるまでの時間を遅らせるもので、その時間は適切に設計されたタイマーと呼ばれる DNA の濃度により自由に調節できる。提案する delay gate には fuel-driven version と fuel-less version とがある。シミュレーションおよびウェットの実験により、期待される遅延効果が確認された。さらに、delay gate を用いた発振器や producer-consumer 型同期機構を提案し、シミュレーションでその動作を確認した。

第4章は DACCAD という DNA 計算のための CAD ツールを提案している。基本要素の導入、パラメタの設定、方程式の立式と求解のみならず、DNA回路の局所最適化やアニメーションディスプレイの機能を有している。これらの機能の有効性をそれぞれ実証する基本的な結果も示されている。この後の章は、これらの機能をさらに詳しく説明してゆく。

第5章は DACCAD を用いた複雑な DNA回路 の設計事例として、mastermind ゲームを解く DNA回路 や、3-SATを解くDNA回路を設計している。設計方針から、DACCADを用いたDNA回路の設計、シミュレーションによる結果の確認が詳細に説明されている。

第6章は DNA 設計のためのデバッグツールを論じている。設計ガイドライン順守の点検、経験的にバグを招きがちな反応の自動的な追加、確率的アルゴリズムによる現実的な時間でのシミュレーションを提供し、実例を用いてその有効性を示した。

第7章は bioNEAT という、進化的最適化手法による DNA 設計の改良について論じている。これは NEAT と呼ばれる手法をベースに反応シミュレーションをしつつ DNA 設計を改良する。実例としてじゃんけんをする DNA回路 を設計しているが、相手の手を見て自分の手を決めたり、途中で出す手を変えたりする複雑な DNA 回路が自動生成された。

第8章は結論であり、本研究をまとめ、今後の展望を論じている。

これらの成果は、DNAコンピューティングを実用に近づける大きな進歩であり、事例として挙げられたDNA回路も極めて興味深いものが多く、この分野に顕著な貢献をなした。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。