

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 3 年 5 月 18 日現在

機関番号： 1 0 1 0 1
研究種目： 奨励研究
研究期間： 2020 ~ 2020
課題番号： 2 0 H 0 1 1 6 4
研究課題名 非同期アナログアニーリング回路のイジング計算機への応用と可能性についての研究

研究代表者

吉川 浩 (Yoshikawa, Hiroshi)

北海道大学・事務局・特定専門職

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 480,000 円

研究成果の概要：アナログ・アニーラが発振する問題に対して、回路に与えるノイズの振幅を徐々に減衰させる手法が有効であることを実験的に示し、この成果を情報処理学会第83回全国大会で発表した。
この回路安定化により、昨年度は12個のスピンのみしか扱えなかった実験基板の規模を32個のスピンのみまで拡大し、4色問題を解くデモにより動作を検証した。
一方で、このアナログ回路が実際にイジングモデルと等価であることを数学的なモデルで示し、その成果を発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、「イジングモデル」と「焼きなまし法（シミュレーテッド・アニーリング）」を用いた最適化問題を解く手法にアナログ回路の性質を応用して高速に解くアニーラの実現を目指している。
アナログ回路は回路定数や接続状態に応じて電圧が自然に決定されるので、この原理をアニーラに应用することで、デジタル回路で必要であった極小値を探索するための繰り返し計算を大幅に削減できデジタル回路より高速に計算できる可能性がある。
本研究成果は、考案したアナログ回路がイジングモデルと等価であることを示し、アナログ回路によるアニーリングが可能であることを実証するとともに新しい計算機の原理を開拓するものである。

研究分野： 電子回路工学

キーワード： アナログ電子回路 イジングモデル 最適化問題 焼きなまし法

1. 研究の目的

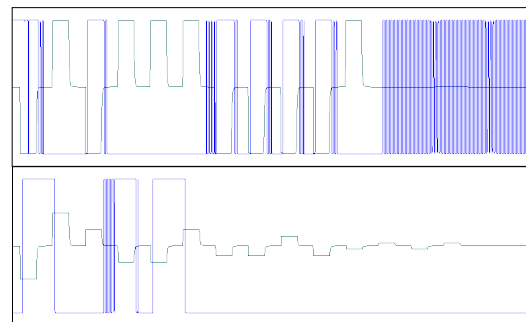
本研究は、「イジングモデル」と「焼きなまし法（シミュレーテッド・アニーリング）」を用いた最適化問題を解く手法に応用可能な、アナログ回路の性質を利用して高速に解くアニーラを実現しようとしている。アナログ回路は回路定数や接続状態に応じて電圧が自然に決定されるので、この原理をアニーラに応用することで、デジタル回路で必要であった極小値を探索するための繰り返し計算を大幅に削減でき、新しい計算機の原理を開拓できる可能性がある。

今年度の研究計画では3つの目標を立てた。

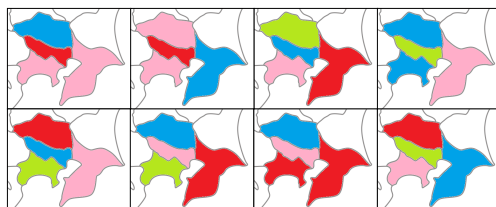
- (1) 前年度に見つかったアナログ・アニーラ回路が発振する問題に対する対策
- (2) 問題規模の拡大。昨年度はスピンの12個のイジングモデルを扱い回路の発振問題にぶつかった。今年度は回路を安定化させて規模の大きな問題を解くことを目指す。
- (3) アナログ回路の特徴を活かした計算モデルの検討

2. 研究成果

(1) アナログ・アニーラ回路が発振する問題に対する対策について、回路に与えるノイズの振幅を徐々に減衰させる手法が有効であることを詳細なシミュレーションモデルを作成して実験的に示し、実験用の基板に実装した。右図はシミュレーション結果を示している。対策前（上段）では波形の最後に発振が発生しているが、対策後（下段）では波形が収束していることが分かる。シミュレーションを1000回行った結果、対策後の波形の全てが安定して収束していることを確認できた。この成果は情報処理学会第83回全国大会で発表している。

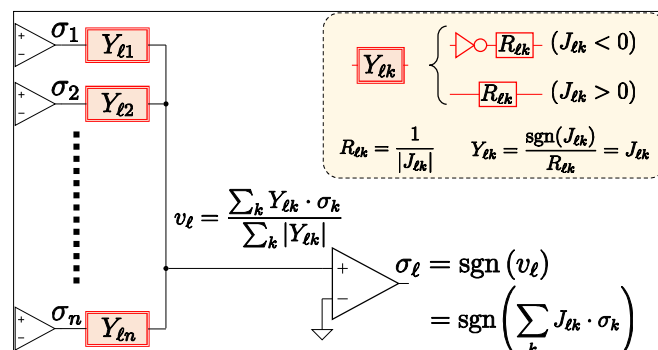


(2) 問題規模の拡大について、昨年度はスピンの12個のイジングモデルを扱い回路の発振問題にぶつかったが、今年度はノイズ振幅を減衰させることで回路が安定化し、4色問題を解かせることに成功した。左図は実機により4色問題の実験を8回試行した結果を示しており、8回とも正しく4色に塗り分けられている。この後も回路規模を拡大しており、現在は32個のスピンを扱えるようになっている。なお、更なる回路規模の拡大については、現状の手はんだで回路を接続する方法では配線数が多すぎて現実的ではないため、今後FPGAで配線する方法を検討する予定である。



(3) 3つ目の目標であるアナログ回路の特徴を活かした計算モデルの検討については、アイデアを出すところで終わってしまったが、次年度の研究において詳細に実施する。そこでは、ハミルトニアンを3次式へ拡張し、最終的に述語論理等の高度な問題を扱えることを目指す予定である。

(4) 上記以外の成果として、本研究で考案したアナログ回路が実際にイジングモデルと等価であることを数学的なモデルで示した。右図は、その数式モデルを表している。イジングモデルのスピンをアナログコンパレータの出力電圧によって表し、スピン間の相互作用の強さをアドミッタンス（抵抗値の逆数）で表すことで数学的に同じ式が得られることが分かった。この成果はFIT2020で発表した。



主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1．著者名 吉川 浩	4．巻 19
2．論文標題 アナログ電子回路を用いたイジング・アニーラの開発	5．発行年 2020年
3．雑誌名 情報科学技術フォーラム講演論文集（FIT）	6．最初と最後の頁 27-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1．著者名 吉川 浩	4．巻 1
2．論文標題 アナログ・イジング・アニーラ回路の発振対策	5．発行年 2021年
3．雑誌名 情報処理学会第83回全国大会講演論文集	6．最初と最後の頁 13-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1．発表者名 吉川 浩
2．発表標題 アナログ電子回路を用いたイジング・アニーラの開発
3．学会等名 情報科学技術フォーラム（FIT）
4．発表年 2020年

1．発表者名 吉川 浩
2．発表標題 アナログ・イジング・アニーラ回路の発振対策
3．学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4．発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名
----	--------