

# アニーリングマシンを利用するアプリケーションのための 実用的な開発環境・実行環境の開発 ー ハードウェアと疎結合な計算グラフでアルゴリズムを記述 ー

## 1. 背景

アニーリングマシンによる最適化アプリケーションを既存のビジネスロジックに組み込んで社会実装した場合、以下のような課題が考えられます。

- ① 実行環境の構築
- ② アプリケーションとアニーリングマシンの間で最適化問題の係数を送信する際のデータスループット
- ③ ハミルトニアンを作成
- ④ 非アニーリングマシンによる計算とのハイブリッドアルゴリズム
- ⑤ 部分ハミルトニアンの重みや、スケジューリングを指定するハイパーパラメータのチューニング
- ⑥ アニーリングスケジュール等の、アニーリングマシン固有のアルゴリズムのプログラミングインターフェイスの統一
- ⑦ ビジネスロジックへの透過的な組み込み

これらは GPU/TPU 等専用ハードウェアと同様の制約であり高スループットかつ包括的なアーキテクチャ設計が必要です。

## 2. 目的

本プロジェクトでは、アニーリングマシンが社会的に実用化される際のアプリケーション及びミドルウェアレベルでのこれらの課題を解決するためのフレームワーク開発を目指しました。

## 3. ソフトウェア開発内容

本プロジェクトでは、アニーリングアプリケーションの社会実装において必要な、CPU 上でのアニーリング処理の事前最適化を含む開発環境を構成するため、開発に用いるソフトウェア開発キット(SDK)/ドメイン固有言語(DSL)の設計から、サーバサイドインフラストラクチャ、及びクライアントサイドフレームワークまで、ソフトウェアライフサイクルを含めた将来の実用に耐え得るシステム構成の開発を目指しました。さらに、GPU アニーラ等の既存の計算機との透過的なハイブリッド計算環境、及びアニーラ向けアプリケーションの配布プラットフォームを開発し提供することを目指しました。メンバーの時間的制約のため、報告書作成時点で成果物は未完成です。

本ソフトウェアは、以下のような計算パイプラインをヘテロジニアスな環境で分散実行するための、ミドルウェア及び埋め込み DSL と、これを用いたアニーリングマシ

ン用ボルツマンマシン機械学習フレームワークからなります。

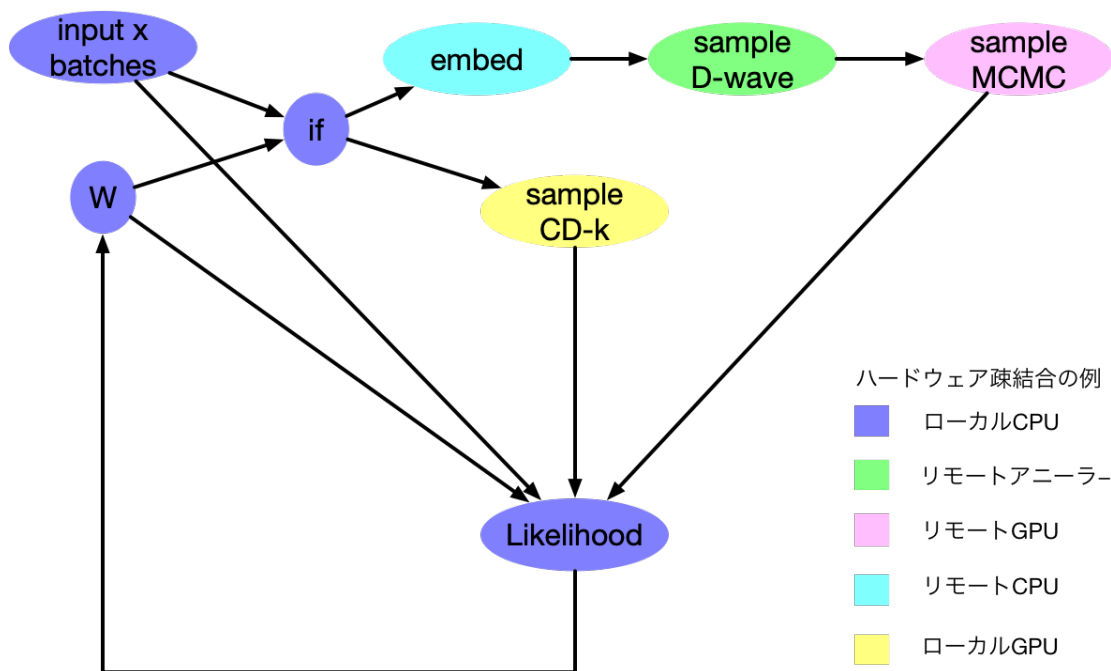


図 1 本ソフトウェアの概要イメージ

本ソフトウェアは gRPC, docker 等の汎用技術を用いて作成されるため、プラットフォームに関する絶対的な制約は無いと考えています。

このソフトウェアが完成した場合、以下のようなユーザーにメリットがあると考えられます。

- ① アプリケーションユーザー…ハードウェアアクセラレーションによって処理速度が向上する
- ② ライブラリ開発者…アニーリングマシン向けプラグイン開発の単一インターフェイスによって開発・メンテナンスコストが軽減される
- ③ ハードウェア開発者…汎用アニーリングマシン向け API の存在によりハードウェア開発への新規参入や、既存ハードウェアの互換性確保に有効であると考えられる
- ④ ソフトウェア開発者…プラグイン開発が活発になれば、プラグインのインストールだけで高速化が実装できるようになる
- ⑤ 機械学習アルゴリズム開発者…容易にボルツマンマシンを使うことが出来る

#### 4. 新規性・優位性

アニーリングマシンを念頭に置いているため、GPGPU よりも更に汎用性の低いプロセッサを対象にすることになり、かつプロセッサがローカルにないケースに重点を置いて構想するため、非並列の分散コンピューティング構想として新規性がある可能性が高いと考えております。この研究の結果が、ASIC やゲート型量子コンピュータ等の専用プロセッサを分散

環境で使用する場合にも、汎用的に適用出来ることを期待しています。

本研究においては、アニーリングマシンのユースケースとして特にボルツマンサンプラーを想定しています。この検証のために、ボルツマンマシンによる機械学習フレームワークを作成するのが望ましいと考えています。ボルツマンマシンが実用で使われるケースは希少であるため、現時点でニーズは低いと考えられますが、仮にアニーリングマシンによるサンプリングによって大規模な非制約のボルツマンマシンが学習できた場合フレームワークとしての優位性を持つことが出来ると考えられます。このフレームワークでは、フィードフォワードニューラルネットワークとのハイブリッド学習や、既存のフィードフォワードニューラルネットワーク向けフレームワークへのプラグイン開発等を構想しています。

## 5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

本ソフトウェアが利用されることにより、以下の効果が考えられます。

- アニーリングマシンのオープンプラットフォーム化を促進することにより、活発な技術開発が行われる
- 専用高性能ハードウェアを既存処理のボトルネックに使用するようなアルゴリズムが、容易にデプロイできるようになる
- ハードウェアサンプリングを用いたボルツマンマシン機械学習の研究が促進される

## 6. 氏名（所属）

小林 俊平（FunnelSphere 合同会社）