2020 年度未踏ターゲット事業

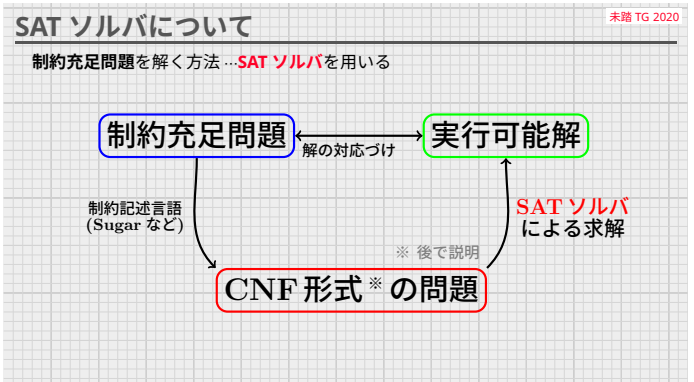
アニーリングを用いた効率的な制約充足問題ソルバの実装
ー制約充足問題をアニーリングで解こうー

小津 泰生 (名古屋大)

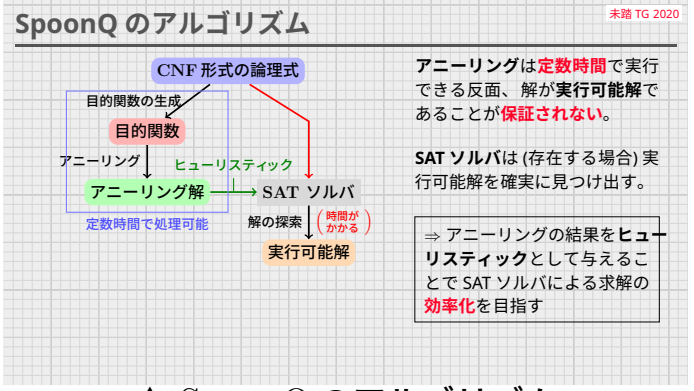
世の中の多くの問題は制約充足問題として表される。多くの場合、制約充足問題は CNF 形式に変換した上で、SAT ソルバというソフトウェアを用いて解かれる。既存の SAT ソルバは古典コンピュータ上で実行されるが、逐次的に解の探索を行うため時間がかかる場合がある。

今回開発した SpoonQ の SAT ソルバでは、アニーリングによって得られた解を SAT ソルバに入力することで、より効率的に求解を行う。

アニーリング技術を応用し、既存の SAT ソルバと互換性のある SAT ソルバをつくることで、既に古典コンピュータ上で制約充足問題を解いていたユーザーに対して、アニーリングに興味を持ってもらうきっかけを提供したいと考えている。



▲ SAT ソルバを用いた制約充足問題の解き方



▲ SpoonQ のアルゴリズム

2020 年度未踏ターゲット事業

アニーリングを用いた効率的な制約充足問題ソルバの実装
ー制約充足問題をアニーリングで解こうー

小津 泰生 (名古屋大)

RustQUBO の使用例

未踏 TG 2020

```rust
let exp = -10_i32 * Expr::Binary(1) + 5_i32 * Expr::Binary(2) + 12_i32;
let compiled = exp.compile();
let solver = SimpleSolver::new(&compiled);
let (c, sol) = solver.solve().unwrap();
println!("{}, {:?}", &c, &sol); // 2, {1: true, 2: false}
```

実数型

Rust 標準のすべての実数型 (i8, i32, i128, f32, f64 など) が利用できる。
使用する Solver(Annealer) の**ビット深度**に対応

変数

- Expr::Binary(...)
- Expr::Spin(...)

が使える。... 部 (ラベル) には数値や文字列等、好きな型を入れられる。

その他

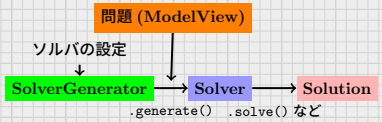
- 解のエネルギー、部分場の計算
- Constraint
- WithPenalty
- Placeholder

▲ RustQUBO の特徴

annealers について

未踏 TG 2020

複数の**アニーリングマシン**を**同じインターフェース**で扱えるようにするため、アニーリングマシンや解くべき問題を一般化する。



問題について

Order
- Quadric… 高々 2 次
- HighOrder… N 次

Node
- DiscreteNode…3 つ以上の値を取る変数
- SingleNode… 真偽 2 つの値をとる変数
- Spin / Binary / TwoVal

Real
ビット深度を表す。i8, i32, f64 など

ソルバについて
- ClassicalSolver… 古典コンピュータ上で動作する。与えられた乱数ジェネレータを用いて処理を行う
- AsyncSolver… 他のコンピュータと通信して処理を行う。
- UnstructuredSolver… 全結合かつ変数の番号の欠番がないソルバ
- UnsizedSolver… 変数の数に制限がないソルバ

▲ annealers の特徴

SpoonQ の他、以下の 2 つの Rust 言語向けライブラリを開発した。

RustQUBO

目的関数及び制約を扱うためのライブラリ。目的関数をアニーリングマシンで扱えるようにするため、石川の方法に基づいた次元削減を行う。RustQUBO 及び後述する annealers を組み合わせることにより、目的関数をアニーリングマシンまたはシミュレーテッドアニーリングを用いて解くことができる。また、解のエネルギーや部分場を求める機能も含む。

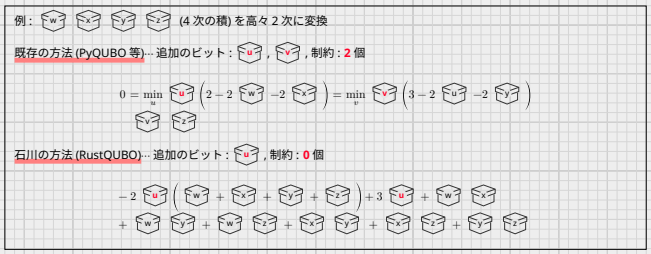
annealers

与えられた問題を内蔵シミュレーテッドアニーリングまたは外部アニーリングマシンによって解くためのライブラリである。各アニーリングマシンの特徴を抽象化したインターフェースを持っており、複数のアニーリングマシンを同じプログラムで扱うことができる。

RustQUBO について

未踏 TG 2020

特徴… QUBO 生成アルゴリズムに**石川の方法**を使用している



- アルゴリズムが制約を増やさない → **アニーリングのやり直しが減る**
- 追加のビット (Ancilla) が少なくて済む → **アニーリングマシンに乗せやすい**

▲ 石川の方法