

# 定理証明支援系のための ライブラリ検索システム作成に向けて



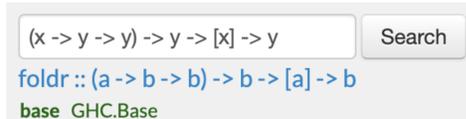
瀧本哲史・森口草介・渡部卓雄（東京科学大学 情報理工学院）

## 概要

- 背景：AgdaやRocq, Leanと言った定理証明支援系(ITP)を用いる開発において定義や証明の再利用を促進するには、既存のライブラリを網羅的かつ柔軟に検索するシステムが必要不可欠である
- 目的：表現力の強い型システムを持つといった定理証明支援系の特性を考慮に入れたライブラリ検索システムを開発する

## ライブラリ検索システム

- ライブラリのAPIを効率的に検索するためのシステム
- 現在は型主導検索が主流
  - クエリとして型を入力, その型を持つ関数を推薦
  - 例：Hoogle(Haskell)<sup>[1]</sup>, Scaps(Scala), Loogle(Lean)<sup>[2]</sup>



## 既存の型主導検索手法を定理証明支援系へ適用する際の課題

構文的な検索では意味的に適切なAPIを推薦できない可能性がある

- 引数の順序やカーリー化の有無などの違い
- より一般的な型を持つAPI
- 依存型：型レベルでの簡約, definitionalでない等式

Batteries.Vector ?a (?n + 1) -> ?a

#find

Found 12 definitions mentioning Batteries.Vector, instHAdd, HAdd.hAdd, Nat, instAddNat and OfNat.ofNat. Of these, 2 match your pattern(s).

Batteries.Vector.back Batteries.Data.Vector.Basic  
{α : Type u\_1} → {n : ℕ} → Batteries.Vector α (n + 1) → α

Batteries.Vector.head Batteries.Data.Vector.Basic  
{α : Type u\_1} → {n : ℕ} → Batteries.Vector α (n + 1) → α

Batteries.Vector ?a (1 + ?n) -> ?a

#find

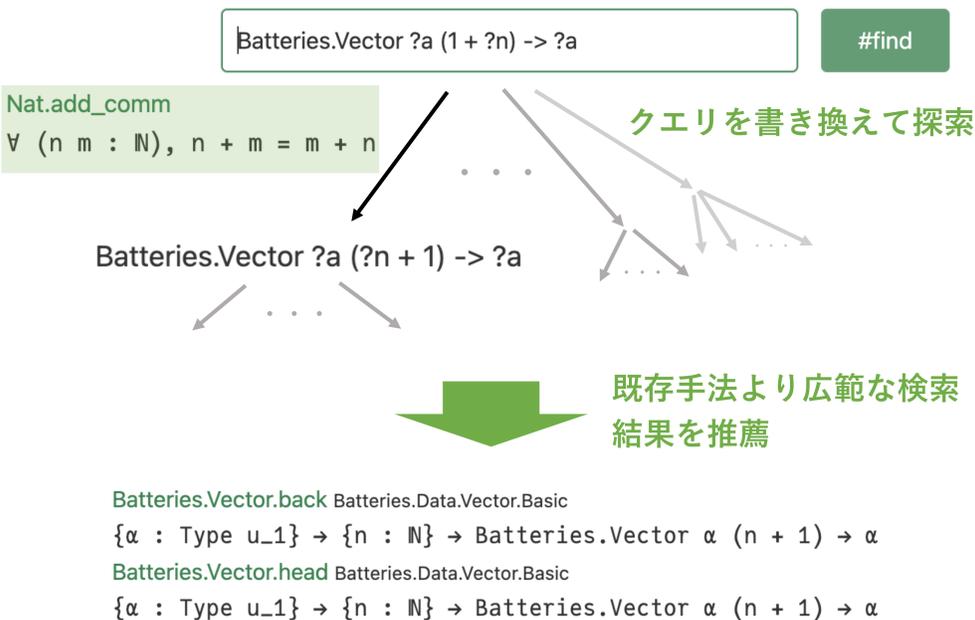
Found 12 definitions mentioning Batteries.Vector, instHAdd, HAdd.hAdd, Nat, instAddNat and OfNat.ofNat. Of these, 0 match your pattern(s).

Loogleにおける適切なAPIが推薦されない事例

## 研究の構想：意味的な検索を効率的に行う型主導検索手法

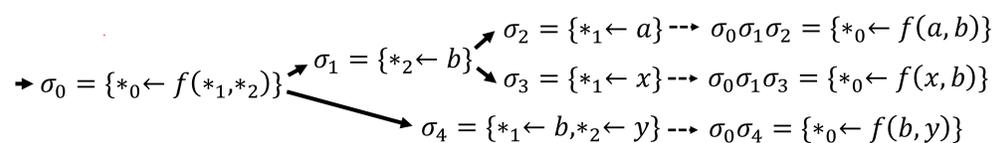
簡約やライブラリから提供されている等式などを考慮したより網羅的な検索を実現したい

- 大まかにはMatching modulo ( $\beta$   $\delta$ ...変換 & 基本的な同型 & ライブラリ中の等式)を実現したい



## 課題1：高速な検索アルゴリズムとコンパクトな索引データ構造の実装

- 何らかの正規形に書き換えた上でマッチングをするか
- A\*などの探索アルゴリズムを用いるか
- インデックス手法にはSubstitution tree<sup>[3]</sup>などの利用を検討



Substitution tree: 根から順に代入を合成して得られる項が葉に入っている

## 課題2：書き換えに用いる等式の種類が及ぼす、検索の網羅率に対する影響の形式的・定量的分析

- 一階/高階, 線形/非線形, 無向(non-oriented)な等式...
- 完全に網羅できるか否かの形式的分析
- 現実のライブラリに対する定量的な分析

## 課題3：ランキング手法の確立

- 検索結果数が多くなるため, 検索の質向上のためには良いランキング手法が必須
- Idrisのようなヒューリスティックな編集距離に基づいた手法か<sup>[4]</sup>

## 現在取り組んでいること

- 同型に基づいた既存の型主導検索アルゴリズムの実装
  - HM型システムやSystemF, 依存型向けなどいくつか
  - GitHubにて公開 (wasabi315/type-search-zoo)
- 依存型向けの検索アルゴリズムでより一般的な型にもマッチできるように

## 今後の展望

- 実装と評価を通じた有効性の評価
- 自然言語的な検索手法との協調
  - ベクトル検索やLLM
  - ファジーな検索を可能にしてユーザーフレンドリーに
  - 自然言語的な意味まで考慮に入れた検索を可能に

[1] Neil Mitchell, 2004, Hoogle, <https://hoogle.haskell.org/>

[2] Joachim Breitner, 2023, Loogle, <https://loogle.lean-lang.org/>

[3] Peter Graf, 1995, Substitution tree indexing, RTA 1995, pp. 117-131.

[4] Idris, Type Directed Search :search, <https://docs.idris-lang.org/en/v1.3.4/reference/type-directed-search.html>