Angluin's L* AlgorithmをRustで実装してみた

長谷川　央

問題設定

中身の分からない有限状態オートマトンがあります。

取り得る状態数の最大値とアルファベットは分かっています。

このオートマトンを学習するためには、何が必要でしょうか？

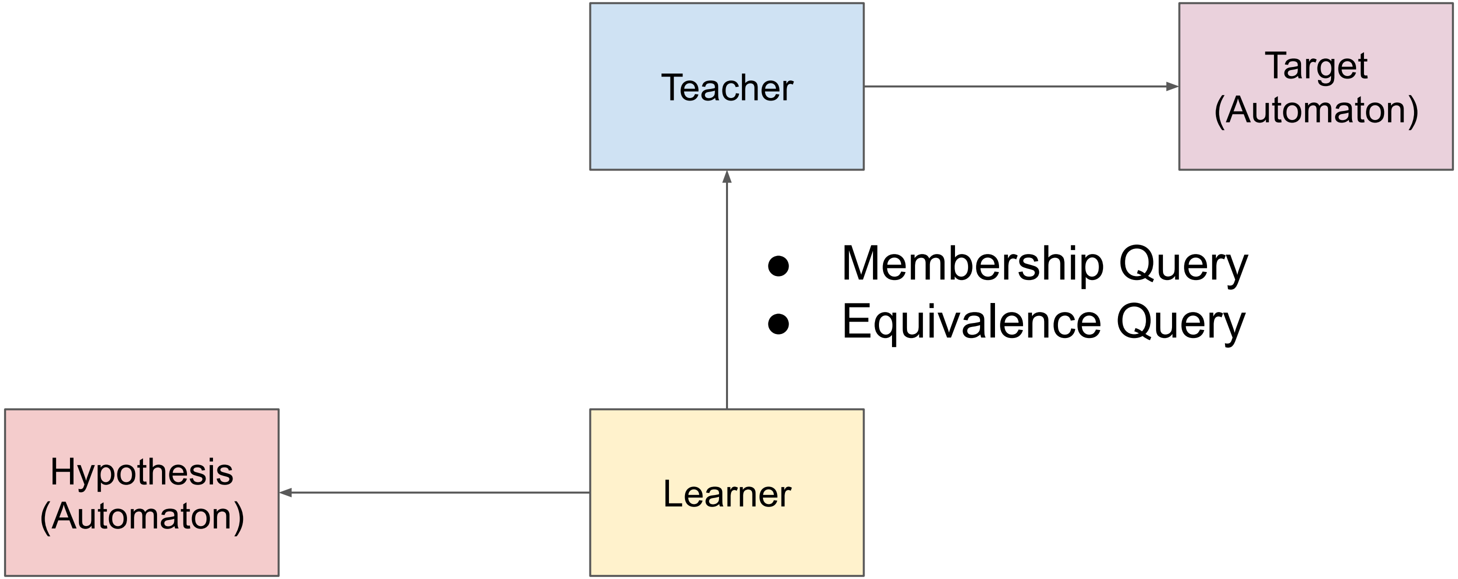
Minimally Adequate Teacher

以下の2つのクエリに正しく答える存在をMinimally Adequate Teacherと呼ぶ。

- Membership Query
  - 入力：語（アルファベットの列）
  - 出力：入力された語が学習対象のオートマトンで受理される場合はYes
    されない場合はNoを返す
- Equivalence Query
  - 入力：オートマトン
  - 出力：入力されたオートマトンの言語と学習対象のオートマトンの言語　が
    等しい場合はYes、等しくない場合には反例を返す

D. Angluin, "Learning regular sets from queries and counterexamples," Information and Computation, vol. 75, no. 2, pp. 87-106, 1987

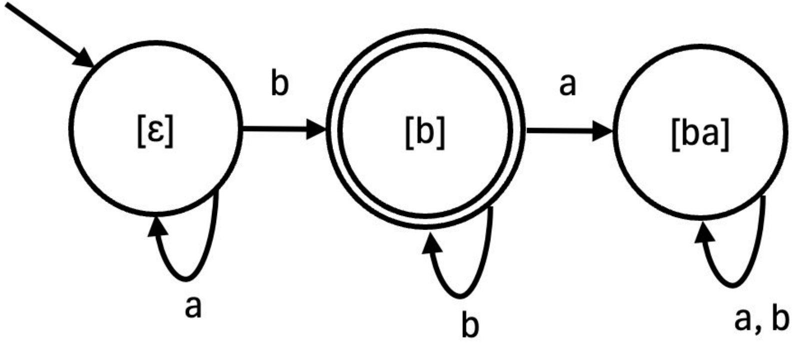
Minimally Adequate Teacherの図



2つのクエリを使ってどのように学習するのか

2つのクエリを使って、表を埋めながら学習を行う

	ε
ε	0
a	0
b	1



	ε	b
ε	0	1
b	1	1
ba	0	0
bab	0	0
a	0	1
bb	1	1
baa	0	0
baba	0	0
babb	0	0

Angluin’s L* Algorithm

Initialize S and E to $\{\lambda\}$.
Ask membership queries for λ and each $a \in A$.
Construct the initial observation table (S, E, T).

Repeat:
    While (S, E, T) is not closed or not consistent:
        If (S, E, T) is not consistent,
          then find s_1 and s_2 in S, $a \in A$, and $e \in E$ such that
          $row(s_1) = row(s_2)$ and $T(s_1 \cdot a \cdot e) \neq T(s_2 \cdot a \cdot e)$,
          add $a \cdot e$ to E,
          and extend T to $(S \cup S \cdot A) \cdot E$ using membership queries.
        If (S, E, T) is not closed,
          then find $s_1 \in S$ and $a \in A$ such that
          $row(s_1 \cdot a)$ is different from $row(s)$ for all $s \in S$,
          add $s_1 \cdot a$ to S,
          and extend T to $(S \cup S \cdot A) \cdot E$ using membership queries.

    Once (S, E, T) is closed and consistent, let $M = M(S, E, T)$.
    Make the conjecture M.
    If the Teacher replies with a counter-example t, then
        add t and all its prefixes to S
        and extend T to $(S \cup S \cdot A) \cdot E$ using membership queries.
Until the Teacher replies *yes* to the conjecture M.
Halt and output M.

FIG. 1. The Learner L^*.

D. Angluin, "Learning regular sets from queries and counterexamples," Information and Computation, vol. 75, no. 2, pp. 87-106, 1987

closed・consistent

- A table T is closed if and only if for each s.a ∈ S.Σ, there is some s’ ∈ S such that S.a ≡ s’ mod (E).
例）[b]の状態が表上に無い

- A table T is consistent if for all s1, s2 ∈ S such that s1 ≡ s2 mod(E), for each a ∈ Σ, we have that s1.a ≡ s2.a mod(E).
例）ε ≡ ba mod(E)だが、b ≢ bab mod(E)

	ε
ε	0
a	0
b	1

	ε
ε	0
b	1
ba	0
bab	0
a	0
bb	1
baa	0
baba	0
babb	0

E. M. Clarke, O. Grumberg, and D. Peled, Model Checking, Second edition, Cambridge, MIT Press, 2022.

デモ

https://github.com/mkakh/Rust-Lstar