

僕より賢い SAT ソルバー

- パズルを解く AI に対する新しいアプローチ
- 近年、充足可能性問題を高速に解くアルゴリズムが、飛躍的に進歩した。これを実装した SAT ソルバーは、パズルなどを解くのに適しており、組み込み可能なコード量、ライセンスで、OSS としてリリースされているものもある。SAT ソルバーを汎用 AI エンジンとして用いることで、ミニゲーム集などの開発効率向上が期待できる。本講演では、SAT ソルバーの概要と、使い方について述べる。SAT ソルバーをバックエンドに用いる制約ソルバーによる、制約プログラミングについても述べる

注意

- 「SAT ソルバー」を動かした経験がある人には、タブン新しい発見はありません。ごめんなさい。今給黎さんところに急げ w
- セッション概要を見て「SAT ソルバー」でググったけど、イマイチ分からなかった人には、ちょうどいい感じかも
- この枠、特に見たい講演がなかったので、取りあえず入ってみた人には、少し難しいかも。でも、きっと大丈夫。根拠はないけど

講師

- ハイパーコンテンツ（株）開発部マネージャ
主に懇親会をマネージメント
- 早稲田大学 MNC 非常勤講師
データマイニングとか
- IGDA AI インターフェイス標準化委員会メンバ
ちょっと遠い目 w
- 神保町（竹橋）や半蔵門で目撃されることも
- 若い頃は江坂にいました
- blog 「日々 mnagaku」

講師

- 著書「Java ゲームプログラミング アルゴリズムとフレームワーク第2版」
- 研究報告「NPC 動作アルゴリズムの自動生成に関する考察」
- 雑誌特集「生物の生きるしくみを応用する免疫アルゴリズム」
- TopSE 修了制作
「FDR による RPG シナリオの検証」

ここまでのあらすじ

- 国立情報学研究所 TopSE でモデル検査器に出会う
- モデル検査器では、時相論理式で書かれた性質の検査に SAT ソルバーが使われてるらしい
- 問題を論理式表現すれば、SAT ソルバーが解いてくれるらしい
- スゲー

ここまでのあらすじ

- ググると、みんな、数独を SAT ソルバーで解いてる
- いまさら、同じことは出来ない
- 子供とカードゲーム。これは充足可能性問題に帰着されるぞ
- やってみた
- できた

献立

- 対象とするゲームを説明
- SAT ソルバーについて説明
- やってみた
- その他の情報

カードゲームのルール

- カードゲーム「DETECTIVE」
2-6 人用（プレイアベニュー）
- 服の色（赤、青、黄、緑）、凶器（毒、ナイフ、ピストル）、年齢（若、老）、性別（女、男、オカマ）、4つの属性の組み合わせで72枚の人物カードを使う
- プレイヤに人物カードを1枚ずつ伏せて配る。これが犯人カード
- プレイヤは自分の左隣の犯人を当てる



カードゲームのルール

- 山から引いた人物カードを、左隣に見せて、全ての属性が違っていたら「NO」、そうでなければ「YES」を言ってもらう
- 引いたカードは YES/NO を区別し、オープンにして並べていく
- オープンなカードの情報から、犯人を当てたら勝ち

カードゲームのプレイ

- NO が 1 枚出ると、年齢が確定する
- NO に近い特徴を持った YES のカードは重要な情報源。もし、NO と属性が 1 種類しか違わなかったら、その属性は犯人の属性を示す
- 既にオープンになった人物に犯人はいない
- などなど

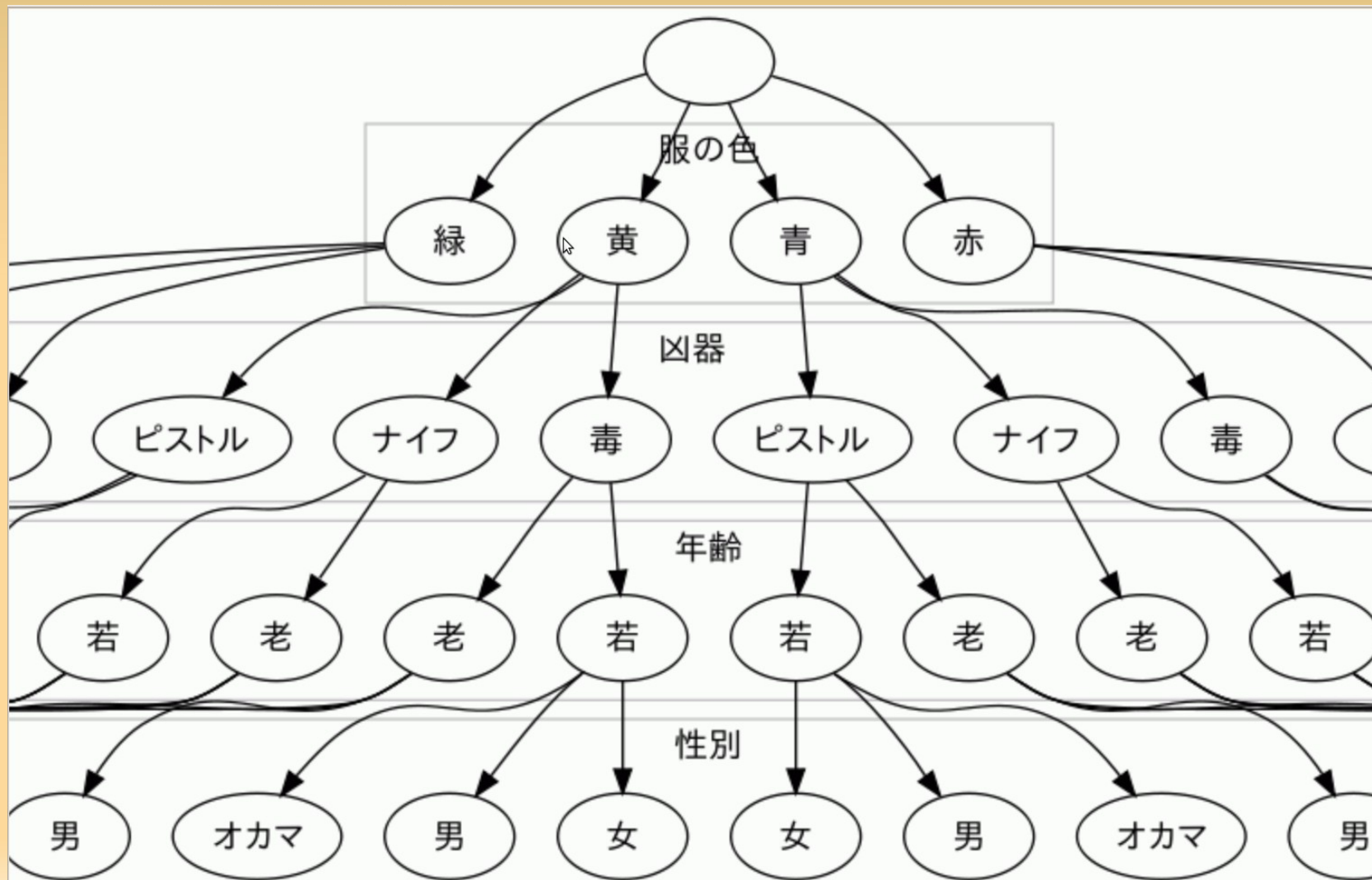
献立

- 対象とするゲームを説明
- SAT ソルバーについて説明
- やってみた
- その他の情報

コンピュータの解き方

- 犯人候補は 72 人しかいない
- 条件から消去法で絞り込める
- 72 人を探索木に表現しトラバース（なめる）
- 条件に合うパス（人）が見つかったら、それを除く、とゆー条件を付けて、再度トラバース
- 条件に合うパスが見つからなかったら、先のパスが唯一の解と分かる
- 条件に合うパスが複数あるうちは、まだ犯人を特定できないとゆーこと

コンピュータの解き方



条件を CNF で表現

- 探索木と条件を与えればコンピュータは頑張る
- 探索木は条件の表現形式によっては導出可能
条件を論理式で与えると探索木は導出可能
- CNF: 乗法標準形
- C 言語族的にゆーと、bool な値を持つ変数、もしくはその「!」否定形を、「||」で繋げて出来た選言節を、更に「&&」で繋いで出来る条件式

条件を CNF で表現

- 服の色に応じて真となる 4 つの変数、Cr、Cb、Cy、Cg があつた時、必ず、どれか 1 つの色になる、とゆー条件

$(Cr \vee Cb \vee Cy \vee Cg)$ // どれかが true

$\&\& (!Cr \vee !Cb) \&\& (!Cr \vee !Cy)$

$\&\& (!Cr \vee !Cg)$

$\&\& (!Cb \vee !Cy) \&\& (!Cb \vee !Cg)$

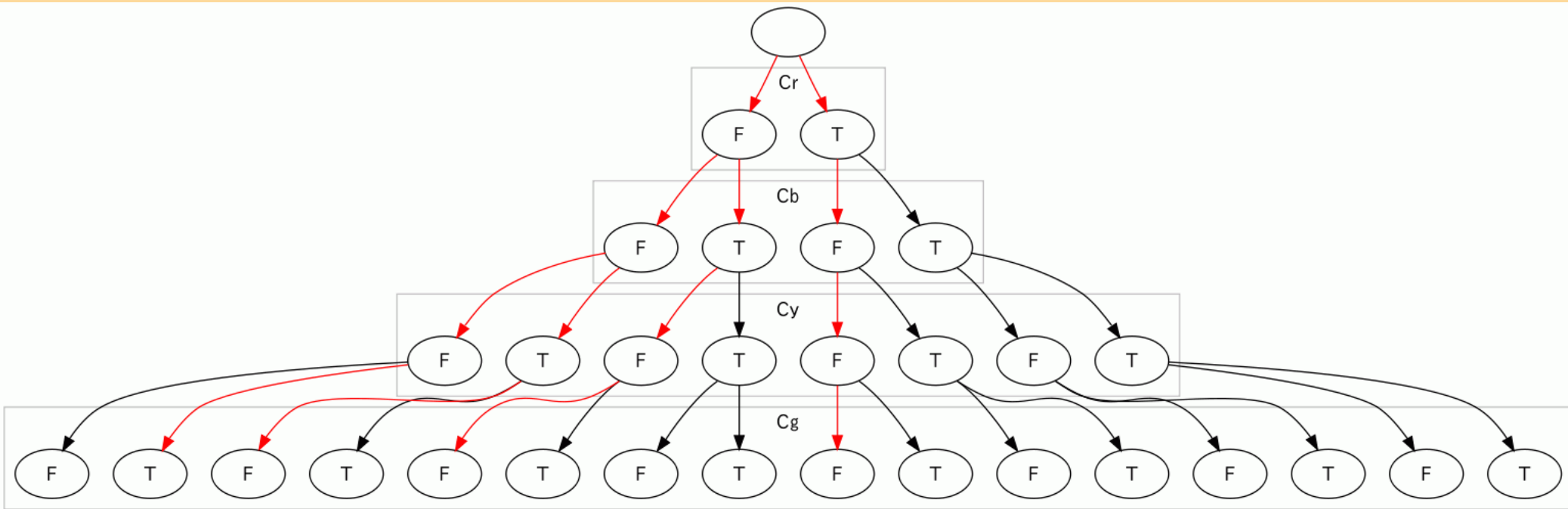
$\&\& (!Cy \vee !Cg)$

// どの 2 つの組み合わせも

// 同時に真にならない

条件を CNF で表現

- 変数の個数から、探索木は $2^4=16$ 通りのパスを持つことが分かる
- 条件を満たすパスは 4 本だけ



SAT

- 条件が CNF で与えられると、探索木を構築して、条件を満たす解を探すことが出来る
- 探索木をトラバースして解を 1 つ見つけるか、解がないことを示すのが、充足可能性問題、 SAT
- 探索木をトラバースしやすいように構築したり、探索時の枝刈りなどを実装し、高速に SAT を解くのが SAT ソルバー

条件を DIMACS 形式で表現

- SAT ソルバーは CNF を DIMACS 形式で食べる
- DIMACS 形式
変数は番号で、否定は「-」で、選言節は行末を 0 で示す要素を列挙した行で、連言は行の列挙で表現する。最初の行に、変数の個数と選言節の行数を与える
- Cr、Cb、Cy、Cg を 1、2、3、4 とすると
p cnf 4 7
1 2 3 4 0
-1 -2 0
-1 -3 0
-1 -4 0
-2 -3 0
-2 -4 0
-3 -4 0

SAT ソルバー

- 答えが見つかったかどうか。見つかった答えは何か。教えてくれる
- 見つかった答えの否定を条件に加えてみる。加え続けると答えがなくなる
- demo
`$ minisat2 color.cnf /dev/stdout`

献立

- 対象とするゲームを説明
- SAT ソルバーについて説明
- やってみた
- その他の情報

ゲームのルールを書く

- 服の色（赤、青、黄、緑）、凶器（毒、ナイフ、ピストル）、年齢（若、老）、性別（女、男、オカマ）の順で変数とする。変数は 12 個
- 属性毎に、先に見た服の色と同じように書ける

YES のカードを条件として書く

- カードの 4 つの属性のどれか、もしくは複数が真
- 赤、毒、若、女、が YES なら、犯人の属性は、次の選言節を満たす
1 5 8 10 0

NO のカードを条件として書く

- カードの 4 つの属性全てが偽
- 赤、毒、若、女、が NO なら、犯人の属性は、次の連言を満たす
 - 1 0
 - 5 0
 - 8 0
 - 10 0

オープンのカードを条件として書く

- 他のプレイヤーがオープンにしているカードは、犯人ではない
- $!(\text{赤} \ \&\& \ \text{毒} \ \&\& \ \text{若} \ \&\& \ \text{女})$
 $=(!\text{赤} \ || \ !\text{毒} \ || \ !\text{若} \ || \ !\text{女})$
※ ド・モルガンの法則
- 赤、毒、若、女、がオープンなら、犯人の属性は、次の選言節を満たす
-1 -5 -8 -10 0

SAT ソルバーで DETECTIVE

- ゲーム開始時はルールのみ
- ゲームが進み、カードがオープンになっていく度に、条件が加えられる
- 条件が増えていくと、解が絞られていく
- 解が 1 つだけになったら終わり
- demo
`$ minisat2 detective.cnf /dev/stdout`

献立

- 対象とするゲームを説明
- SAT ソルバーについて説明
- やってみた
- その他の情報

SAT ソルバーで解ける問題

- DETECTIVE

空間的実体を持たない組み合わせ問題は比較的簡単
一般的にボードゲームよりカードゲームが得意かも

- 数独、一手詰

空間的実体を持つと解候補が増える

- 三手詰

手続きを持つと解候補が増える

- 条件が変化していく問題では、変化が起こる度に探索実行必要

- 条件が変化していく問題で、解候補が複数ある状態から絞り込む問題では、解が唯一か調べるのに 2 回の探索実行が必要

- 条件が変化していく問題で、解候補が無い状態から探す問題では、探索実行は 1 回

MiniSat

- <http://minisat.se/>
- MIT ライセンス
- C++ で 3757 行 (minisat2-070721.zip)
- 組み込める
CNF で表現可能な様々なゲームを解ける
- 作者以外による改造も活発（並列化とか）
- ML もある
- 近いうちに新しい版が出るらしい

PicoSAT

- <http://fmv.jku.at/picosat/>
- MIT ライセンス
- C で 8500 行 (picosat-913.tar.gz)
- 組み込める
CNF で表現可能な様々なゲームを解ける

Sugar 制約ソルバー

- CNF は人に優しくない
→ CNF より記述性の高い文法で書き、
それを CNF にコンパイルし、
SAT ソルバーで解かせる
- Sugar 制約ソルバー : SAT 変換型制約ソルバー
- <http://bach.istc.kobe-u.ac.jp/sugar/puzzles/>
- 日本製 (神戸大学工学部田村研究室)
- 独自ライセンス
商業利用規程が記されていない。別途問い合わせが吉
- 組み込みには向いていないので、CNF のテンプレート開発とかツールチェーンに入れて利用

Sugar 制約ソルバー

- Sugar vs CNF
数独で見してみる
- Sugar:sudoku-0.scf 121 行 (コメント入り)
- CNF:sudoku-0.cnf 7999 行 (コメント無し)
Sugar が sudoku-0.scf を変換したもの
- Sugar で小さく書いて、CNF を見て、パターンをつかむ
- Sugar と生 CNF の中間的アプローチとして、
スクリプト言語で CNF 生成とかも

まとめ

- ゲームのルールと進行を CNF で書く
- ゲーム毎にソルバーを書かない
- SAT ソルバーを組み込もう
- Sugar で CNF のお勉強
- SAT、かわいいよ、SAT
- 続きは、ググる先生と英語で

おまけ

- 国立情報学研究所 GRACE センタ
- TopSE やってるよ
来春開講 5 期生募集中
- GRACE セミナやってるよ
形式手法やセキュリティをテーマに海外
の一線級の研究者の話がタダで聞けるよ
- TopSE 教育センタ、はじまるよ
 세미나や集中講義がそろそろ
(って本位田先生が先週言ってたよ)

このあと

- 2 階 211+212 に移動
- RT 「各社の QA 関連の取り組み」
- RT 「ゲーム AI を横浜で語る」
ゲーム AI ML に参加申請
- オライリーで松原本を買う
- 裏
- 生きて帰る

ご清聴有難う御座いました

- mnagaku@aoni.waseda.jp
- 教育や技術導入支援など、開発支援業務を請け負います。まずは気軽に、ご相談下さい