

## **Treball final de grau**

**Estudi:** Grau en Enginyeria Informàtica

**Títol:** Eina educativa de suport per l'estudi de resoladors SAT

**Document:** Resum

**Alumne:** Marc Cané Salamià

**Tutors:** Mateu Villaret i Jordi Coll

**Departament:** Informàtica, Matemàtica Aplicada i Estadística(IMAE)

**Àrea:** Llenguatges i Sistemes Informàtics (LSI)

**Convocatòria (mes/any):** Setembre 2019

## **Index**

1. Introducció.....	3
1.1 - Motivacions.....	3
1.2 - Objectius del projecte.....	4
2. El problema de satisfactibilitat booleana.....	4
3. Resultats.....	5
4. Conclusions.....	7

# 1. Introducció

A la Universitat de Girona s'ofereix el Grau en Enginyeria Informàtica on al quart curs els alumnes han d'escollir un dels 4 itineraris proposats.

En l'itinerari *Enginyeria de la Computació* es cursa l'assignatura *Programació declarativa. Aplicacions*, on s'estudien varies tècniques per resoldre problemes combinatoris.

Una d'aquestes tècniques és la reducció al *problema de satisfactibilitat booleana* o *SAT*, explicat més endavant.

A part d'aprendre com reduir els problemes a *SAT* també s'estudia el funcionament dels solucionadors *SAT* i les tècniques que aquests solucionadors utilitzen.

Entendre el funcionament dels solucionadors *Conflict-Driven Clause-Learning (CDCL)*, especialment les tècniques de *Clause learning* i *Backjumping*, pot ser complicat al principi.

L'objectiu del projecte és crear una eina de caràcter educatiu, interactiva i visual a disposició dels estudiants i el professorat per tal de facilitar l'estudi dels solucionadors *SAT*.

## 1.1 - Motivacions

M'interessa el món dels problemes combinatoris perquè són generalment problemes desafiants on quasi mai hi ha una solució perfecte.

Com que són problemes que porten estudiant-se des de fa temps existeixen una gran varietat d'eines i utilitats per atacar-los, que estan en continuu procés de millora i refinament. *SAT* és una bona opció per resoldre molts d'aquests problemes.

Estudiar les estratègies que s'utilitzen per fer-hi front és interessant per entendre l'estat de l'art, els punts forts i febles i idear possibles millores.

Vaig veure aquest projecte com una oportunitat d'aprofundir en el camp dels problemes combinatoris i aprendre sobre les tècniques (algoritmes, estructures d'acceleració, heurístics,...) que s'utilitzen per resoldre'n un dels problemes centrals.

## 1.2 - Objectius del projecte

La idea era fer una eina per facilitar l'estudi dels algoritmes que s'usen en els solucionadors SAT moderns, en concret, per als estudiants de l'assignatura de *Programació declarativa. Aplicacions*.

Aquesta eina de suport havia d'ajudar a l'alumnat a poder traçar visualment les passes de resolució que feia l'algoritme per arribar a una solució, de manera que la pogués usar per entendre el seu funcionament, validar els resultats dels exercicis proposats a classe i trobar l'errada en cas d'error.

A l'assignatura s'expliquen 3 algoritmes per resoldre SAT, que augmenten en complexitat i potència. El primer és usar l'esquema de *backtracking*, molt lent i ineficient, el segon és l'algoritme de *DPLL* (*Davis–Putnam–Logemann–Loveland*), la base de gairebé tots els solucionadors SAT i finalment el *CDCL* (*Conflict Driven Clause Learning*), una evolució que incorpora les tècniques *aprenentatge de clàusules* i *backtracking no cronològic*.

L'objectiu principal del projecte és el desenvolupament d'aquesta eina per estudiar els solucionadors *SAT*. L'aplicació, que s'anomena *SAT-IT* (de *SAT Interactive Tracer*), tindrà els següents elements:

- Tres solucionadors que implementaran els diferents algoritmes vistos a classe
- Una interfície gràfica interactiva per poder seguir les passes dels solucionadors
- Una interfície en mode terminal per poder obtenir solucions al problema *CNF SAT*

## 2. El problema de satisfactibilitat booleana

El problema de satisfactibilitat booleana o *SAT* és el problema de determinar si existeix una interpretació que satisfà una fórmula booleana donada. Dit d'altre manera, aquest problema respon a la pregunta de si les variables d'una fórmula donada poden ser substituïdes consistentment pels valors *cert* o *fals* de tal manera que la fórmula s'avalui a *cert*.

Aquest problema va ser el primer que es va demostrar pertànyer a la classe de complexitat *NP-Completa*. Tot i ser un problema intractable en el cas general, moltes instàncies de problemes reals poden ser resoltes en un temps raonable.

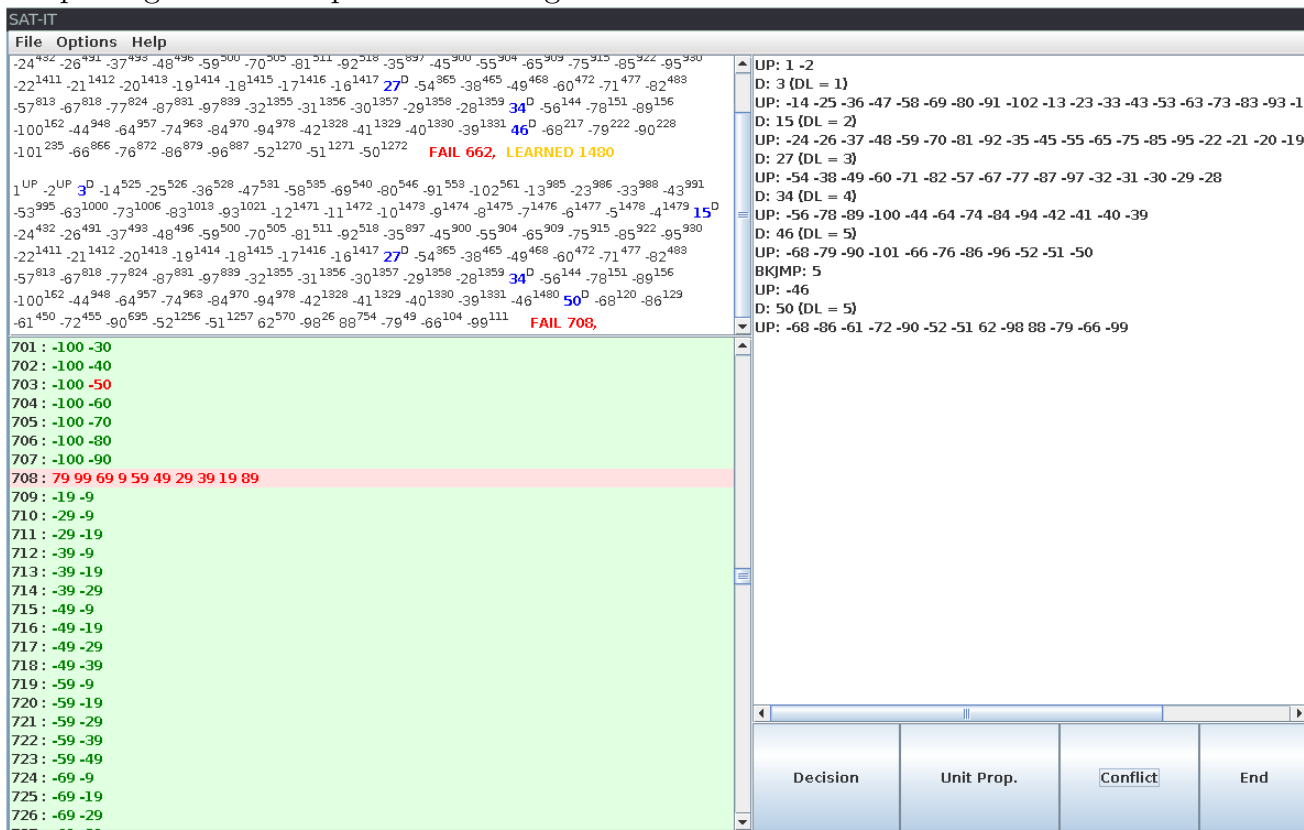
Això és degut a que la seva gran popularitat i senzillesa l'han convertit en un dels problemes més estudiats. Fruit d'aquesta recerca han aparegut molts solucionadors potents que són capaços de resoldre instàncies amb milers de variables i milions de símbols.

Els solucionadors SAT tenen aplicacions pràctiques en problemes d'intel·ligència artificial, disseny de circuits i demostracions automàtiques de teoremes.

### 3. Resultats

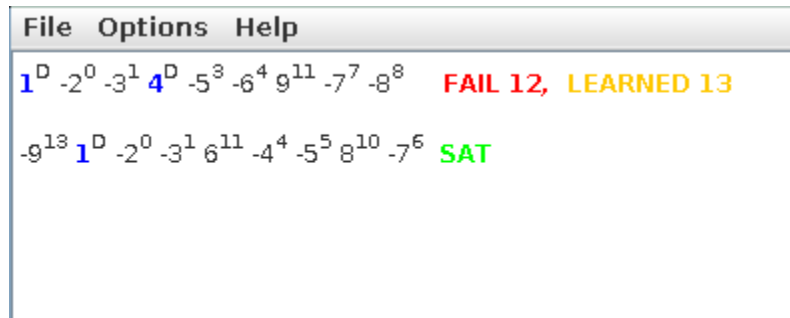
L'aplicació permet carregar una instància d'un problema CNFSAT, triar quin algoritme es vol fer servir per resoldre-la (backtracking, DPLL o CDCL), i obtenir la seqüència de passos que ha seguit l'algoritme. Aquesta seqüència es pot obtenir pas a pas, aspecte crucial per a l'estudi i comprensió de l'algorisme, o de cop. Els passos mostrats contenen la informació necessària per a poder entendre com s'han anat assignant els valors de veritat. Molta d'aquesta informació està ressaltada en color per ajudar a l'usuari a no perdre's en traces que poden ser molt llargues.

L'aspecte general de l'aplicació és el següent:



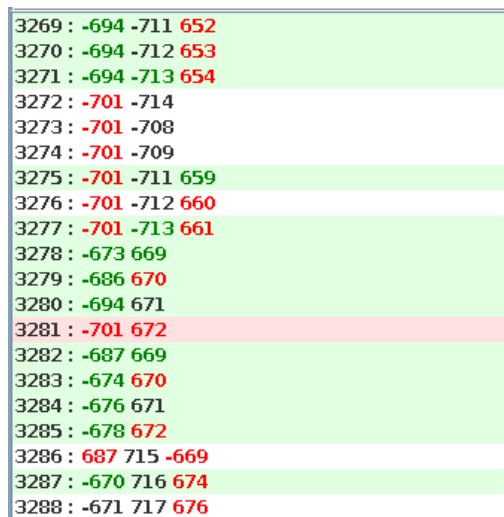
Vista general de l'interfície

La finestra superior esquerra correspon al visualitzador del *trail*. En aquesta finestra hi apareix tot l'històric d'assignacions de variables que s'han fet al llarg de la traçada de la instància. Cada vegada que es fa un *backtrack* o *backjump*, que és quan s'han de desfer assignacions, s'inicia una nova línia. El conjunt d'assignacions més recent apareix sempre a la part inferior.



*Detall del visualitzador del trail*

La finestra inferior esquerra és el visualitzador de clàusules. En aquesta finestra hi podem veure les clàusules inicials i les clàusules apreses junt amb el seu estat i l'estat dels seus literals.



*Detall del visualitzador de clàusules*

L'aplicació permet també estudiar l'anàlisi de conflicte. A cada pas de resolució hi intervenen dos clàusules, separades per el símbol de coixinet #.

A la part esquerra i dreta del coixinet apareixen els resolvents. La primera clàusula que apareix és sempre la que ha causat el conflicte i l'última és la clàusula apresada.

## Conflict Analysis

```
69 56 46 29 6 28 38 9 -62 59 49 86 39 48 18 16 26 8 58 36 19 68 # -56 -62
-----
69 46 29 6 28 38 9 -62 59 49 86 39 48 18 16 26 8 58 36 19 68 # 42 52 102 92 32 22 12 72 82 62
-----
69 42 52 46 29 6 102 28 38 92 9 32 22 59 12 49 86 39 48 18 16 72 26 8 58 82 36 19 68 # -52 -50
-----
69 42 -50 46 29 6 102 28 38 92 9 32 22 59 12 49 86 39 48 18 16 72 26 8 58 82 36 19 68 # -72 -50
-----
69 42 -50 46 29 6 102 28 38 92 9 32 22 59 12 49 86 39 48 18 16 72 26 8 58 82 36 19 68 # -86 -50
-----
69 42 -50 46 29 6 102 28 38 92 9 32 22 59 12 49 39 48 18 16 26 8 58 82 36 19 68 # -68 -50
-----
69 42 -50 46 29 6 102 28 38 92 9 32 22 59 12 49 39 48 18 16 26 8 58 82 36 19
```

### *Exemple d'un anàlisi de conflicte*

A cada nivell de resolució hi ha marcat, en color blau, el literal amb qui es fa resolució.

## 4. Conclusions

Crec que l'eina serà útil en l'entorn acadèmic perquè amplia els recursos disponibles per l'estudiant i ho fa com cap recurs tradicional ho pot fer. L'eina permet a l'estudiant treballar al seu ritme i practicar amb la tranquil·litat de saber que no està cometent errors. També pot incentivar a fer més exercicis ja que pot utilitzar l'eina per validar més instàncies que les donades pel professor. En cas d'error, poder avançar per la resolució pas a pas permet trobar ràpidament l'origen de l'error i corregir-lo.

Intentar crear instàncies difícils i veure com es resolen pot ser un exercici interessant per aprofundir en el camp.

Si hagués tingut una eina així a disposició quan vaig fer l'assignatura segur que l'hagués fet servir. Les eines de suport de les que s'ha disposat al llarg de la carrera com ara el Matlab, el Logicweb, l'ACME o el TILC quasi sempre m'han sigut útils.

Amb aquest projecte he pogut aprofundir en el món de SAT, he pogut fer un tast de la dificultat d'idear i implementar estructures per millorar els algorismes, he vist i entès tècniques i estratègies de l'estat de l'art i cap on es dirigeixen i he vist la quantitat de feina que comporta avançar en un camp tant exigent i desafiant com aquest.