

Crypto Product Solver

João Renato Pinto^{1,2,3[up201705547]} and Tiago Gonçalves Gomes^{1,2,3[up201806658]}

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - PLOG

² Turma 3MIEIC06

³ Grupo Crypto_Product_05

Resumo. No contexto da Unidade Curricular de Programação Lógica foi nos proposta a escrita de um artigo relativo ao desenvolvimento de um *Solver* para os Puzzles desenvolvidos pelo professor Erich Friedman [1], *Crypto Product*, usando a Programação em Lógica por Restrições. Serão apresentadas as restrições do problema e a abordagem escolhida para o resolver.

1 Introdução

Este artigo irá apresentar um programa escrito em SICSTUS Prolog com o intuito de resolver Puzzles *Crypto Product* [2], começando por fazer uma descrição das regras dos puzzles, para de seguida proceder a uma explicitação da abordagem utilizada para a resolução dos problemas.

Será também demonstrada a visualização do problema e os respetivos resultados, terminando com uma sucinta conclusão de todo o desenvolvimento.

2 Descrição do Problema

Crypto Product é um problema de decisão. Cada puzzle é uma multiplicação de círculo com 2 operandos e 1 resultado e segue uma série de regras:

- Círculos de cores semelhantes contém o mesmo dígito.
- Cada puzzle tem uma solução única.
- Cada círculo tem 1 e 1 só dígito.
- Multiplicação tem de ser verdadeira.
- O resultado tem de ser positivo.


$$\begin{array}{c} 26 \\ \times 24 \\ \hline 624 \end{array}$$

Fig. 1. Exemplo de puzzle *Crypto Product* resolvido

3 Abordagem

3.1 Variáveis de Decisão

Um puzzle *Crypto Product* é representado por 4 listas, uma para cada um dos operandos, outra para o resultado, e a última representa as variáveis. Cada uma das cores utilizadas é representada por uma variável. Para resolver o problema cada uma das variáveis tem de ser substituída com um inteiro de domínio 0 a 9.

Para otimizar o *Solver*, são calculados os domínios possíveis para cada um dos operandos e para o resultado, sendo que cada operando não pode começar por 0, o seu valor mínimo é dado pela fórmula $\text{OperandMin} = 10^{(\text{LengthOperand} - 1)}$ e o valor máximo por $\text{OperandMax} = 10^{\text{LengthOperand}}$.

```
crypto_product(Operand1, Operand2, Result, Variables, PostingConstrainsTime, LabelingTime) :-
    % ----- declarar variáveis e domínios -----
    domain(Variables, 0, 9),

    length(Operand1, LOperand1),
    Operand1Max is 10^LOperand1,
    Operand1Min is 10^(LOperand1-1),
    domain([Operand1Result], Operand1Min, Operand1Max),

    length(Operand2, LOperand2),
    Operand2Max is 10^LOperand2,
    Operand2Min is 10^(LOperand2-1),
    domain([Operand2Result], Operand2Min, Operand2Max),

    length(Result, LResult),
    ResultMax is 10^LResult,
    ResultMin is 10^(LResult-1),
    domain([ResultScalar], ResultMin, ResultMax),
```

Fig. 2. Declaração de variáveis e respetivos domínios

Exemplificando, um puzzle com [B,G] como primeiro operando, [B,R] como segundo operando e [G,B,R] como resultado e [R,G,B] como variáveis.

```

Operand1 = [B,G],
Operand2 = [B,R],
Result = [G,B,R],
Variables = [R,G,B].

```

Fig. 3. Representação em Prolog de puzzle da Fig. 1 por resolver

3.2 Restrições

Para a resolução deste problema, apenas foram utilizadas restrições rígidas, de forma a que a resposta resultante fosse, efetivamente, a resolução do puzzle. Numa abordagem de tradução das restrições dos puzzles para Prolog, calculamos os valores máximos de cada operando e do resultado, conforme o seu número de dígitos, o resultado positivo e restringimos a multiplicação.

Abordagem de tradução direta. Como explicado em cima, traduzimos as restrições do puzzle, criamos também multiplicadores baseados no tamanho dos operandos (e.g. Operando = RGB, Multiplicadores = [100,10,1]). Calculando assim o produto escalar de forma a obter cada um dos valores para os operandos e resultado.

Por fim, restringimos o valor da multiplicação, obtendo assim a solução.

```

% ----- restrições -----

all_distinct(Variables),

generate_multipliers(LOperand1, MultipliersOp1),!,
scalar_product(MultipliersOp1, Operand1, #=, Operand1Result),

!,generate_multipliers(LOperand2, MultipliersOp2),!,
scalar_product(MultipliersOp2, Operand2, #=, Operand2Result),

!,generate_multipliers(LResult, MultipliersResult),!,
scalar_product(MultipliersResult, Result, #=, ResultScalar),!,

Operand1Result * Operand2Result #= ResultScalar,

```

Fig. 4. Implementação em Prolog da abordagem anterior

4 Visualização da Solução

Para mostrar o resultado da resolução do puzzle ao utilizador, utilizamos o predicado *printResult/5*:

```
% Imprime no ecrã a solução do puzzle
printResult(Operand1, Operand2, Result, PostingConstrainsTime, LabelingTime) :-
    nl,nl,
    write('--> Result:'),nl,nl,
    printNumberList(Operand1),write(' x '),
    printNumberList(Operand2),write(' = '),
    printNumberList(Result),nl,nl,nl,nl,
    write('--> Statistics:'), nl,nl,
    print_time('Posting Constraints: ',PostingConstrainsTime),
    print_time('Labeling Time: ',LabelingTime),nl,nl,nl,nl,
    pressEnterToContinue,
    play.
```

Fig. 5. Implementação em Prolog da visualização de resultados

Este predicado recebe os operandos e o resultado da multiplicação em forma de listas, que contêm os dígitos que foram calculados.

Para mostrar cada lista de dígitos como um número, fazemos uso do predicado *printNumberList/2*:

```
% Imprime uma lista de inteiros como um número inteiro
printNumberList(List):-
    length(List,Len),
    printNumberList(List,Len).
printNumberList([],0).
printNumberList([H|T],Len):-
    Len > 0,
    Len1 is Len - 1,
    write(H),
    printNumberList(T,Len1).
```

Fig. 6. Implementação em Prolog de predicado auxiliar para visualização de resultados

Além da solução do problema, também são mostradas algumas estatísticas sobre a geração da solução, nomeadamente o tempo de imposição de restrições e de pesquisa de solução, o número de *backtracks* e o número de restrições impostas:

```

=====
Crypto-Product
=====

--> Result:
26 x 24 = 624

--> Statistics:
Posting Constraints: 18ms
Labeling Time: 3ms

Press <Enter> to continue.

```

Fig. 7. Visualização da Solução apresentada na Fig. 1

```

--> Statistics:
Resumptions: 265
Entailments: 6
Prunings: 384
Backtracks: 13
Constraints created: 6

```

Fig. 8. Visualização das estatísticas para o problema da Fig. 1

5 Geração

Para ser possível ao utilizador inserir novos puzzles, este tem de os inserir num formato específico: uma lista que contém 4 listas compostas por variáveis: as duas primeiras listas contêm os operandos, a terceira contém o resultado e a última as variáveis utilizadas.

```

=====
Crypto-Product
=====

--> Please enter a list with the template [Operand1,Operand2,Result,Variables].
--> Each element in the puzzle's list is by itself a list.
[]: [[B,F,E,H,G,B,C],[B,C,G,E,H,B,C,G,E,I],[B,J,F,H,C,I,E,E,H,A,F,J,G,F,H,G],[B,F,E,H,G,C,I,J,A]].

```

Fig. 9. Exemplo de puzzle

Para facilitar a criação de novos puzzles, desenvolvemos também um *script* em python, facultado nos anexos, que dado dois operandos, nos dá uma lista no formato especificado para o input do puzzle no programa Prolog. Desta forma, é facilitada a criação de novos puzzles com dimensões elevadas, não tendo o utilizador que criar os puzzles manualmente.

```
tiago@tiago-X510UHR:~/Desktop/PL06/proj2/PL06_PROJ2_2021/src$ python3 script.py
Enter the first operand: 1547612
Enter the second operand: 1264712648
[[B,F,E,H,G,B,C],[B,C,G,E,H,B,C,G,E,I],[B,J,F,H,C,I,E,E,H,A,F,J,G,F,H,G],[B,F,E,H,G,C,I,J,A]]
```

Fig. 10. Exemplo de Execução do Script de Geração

6 Resultados

6.1 Análise Dimensional

Devido à natureza do nosso problema, o tempo de execução do nosso solver praticamente não varia com o tamanho dos inputs. No entanto, é de notar que, tendo a biblioteca *clpfd* um limite no domínio, não podemos testar o nosso *solver* para inputs acima desse domínio, o que nos limitou no estudo das estatísticas da resolução do puzzle.

```
=====
Crypto-Product
=====
--> Result:
2 x 42 = 84

--> Statistics:
Posting Constraints: 22ms
Labeling Time: 4ms

Press <Enter> to continue.
|_
```

Fig. 11. Solução de Puzzle com 3 variáveis

```
--> Statistics:
Resumptions: 61
Entailments: 10
Prunings: 81
Backtracks: 2
Constraints created: 6
```

Fig. 12. Estatísticas referentes à solução do Puzzle da fig. 11

```
=====
Crypto-Product
=====

--> Result:
1547612 x 1264712648 = 1957284470596576

--> Statistics:
Posting Constraints: 1ms
Labeling Time: 5ms

Press <Enter> to continue.
|:
```

Fig. 13. Solução de Puzzle com 10 variáveis

```
--> Statistics:
Resumptions: 10570
Entailments: 293
Prunings: 12672
Backtracks: 558
Constraints created: 6
```

Fig. 14. Estatísticas referentes à solução do Puzzle da fig. 13

6.2 Estratégias de Pesquisa

No contexto do nosso problema, consideramos que a melhor estratégia de pesquisa era a *default*, portanto utilizamos o predicado *labeling* com a lista de opções vazia (*labeling([], Variables)*). Isto equivale a ter uma lista de opções com os elementos:

- *leftmost* – é selecionada a variável mais à esquerda
- *step* - escolha binária entre $X \# = B$ e $X \# \neq B$, onde B é a *lower* ou *upper bound* de X
- *up* – o domínio é explorado de forma ascendente
- *all* – todas as soluções são enumeradas

7 Conclusões e Trabalho Futuro

Como futuros aperfeiçoamentos ao projeto poderíamos criar um gerador de puzzles aleatórios com algumas modificações ao script de python e encontrar uma solução para a limitação da biblioteca *clpfd* quanto aos limites de domínio.

Analisando os resultados obtidos, podemos concluir que a biblioteca *clpfd* é extremamente eficiente na resolução deste tipo de problemas, não sendo detetada qualquer diferença de tempo de execução entre um puzzle simples e um puzzle mais complexo, sendo ambas quase instantâneas, o que no paradigma das linguagens de programação imperativa seria impossível.

Referências

1. Erich's Page, <https://erich-friedman.github.io/>. Acedido pela última vez a 2 Jan 2021.
2. Crypto Product, <https://erich-friedman.github.io/puzzle/crypto/>. Acedido pela última vez a 2 Jan 2021.
3. Arithmetic Constraints, <https://sicstus.sics.se/sicstus/docs/latest4/html/sicstus.html/Arithmetic-Constraints.html#Arithmetic-Constraints>. Acedido pela última vez a 2 Jan 2021.