

Chess-Num Puzzles Solver

Diogo Samuel Gonçalves Fernandes and Paulo Jorge Salgado Marinho Ribeiro

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, Portugal,
FEUP-PLOG, Turma 3MIEIC06, Grupo Chess-Num_2
`up201806250@fe.up.pt`
`up201806505@fe.up.pt`

Abstract. Este projeto foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular *Programação em Lógica* e consiste na resolução de um problema de decisão, recorrendo ao uso de restrições em PROLOG através do uso da biblioteca CLPFD. O objetivo do nosso trabalho é resolver os puzzle de Xadrez de forma a que todas as casas numeradas do tabuleiro estejam a ser atacadas esse número de vezes.

Keywords: Programação em Lógica · Prolog · Restrições · clpfd · SIC-Stus · Problemas de Otimização · Problemas de Decisão.

1 Introdução

A Programação em Lógica com Restrições trata-se de uma classe de linguagens de programação, que combina a declaratividade característica da programação em lógica e a eficiência da resolução de restrições.

As suas principais aplicações baseiam-se na resolução de problemas de pesquisa ou otimização combinatória, tal como problemas de escalonamento, geração de horários, alocação de recursos, gestão de produção, entre outros.

Dada a sua distinção e eficiência, a Programação em Lógica com Restrições tem diversas aplicações industriais e comerciais na atualidade, destacando-se a sua utilização na Renault, para planeamento de produção a curto prazo, na Nokia, para configuração de software para telemóveis, e na Siemens, para verificação de circuitos. // Citar isto?

Neste trabalho, aplicaremos estas capacidades na resolução de puzzles Chess-Num, que consistem na colocação de uma peça de Xadrez de cada tipo [Peão, Torre, Bispo, Cavalo, Rainha, Rei] num tabuleiro com casas numeradas, de modo a que todas as casas numeradas sejam atacadas N vezes, sendo N o número apresentado em cada uma dessas casas. Alguns exemplos de puzzles deste tipo podem ser observados no site que contém as regras deste puzzle [1].

Este relatório procura explicar a nossa abordagem do problema de forma aprofundada e organizada nos seguintes tópicos:

- **Descrição do Problema:** Descrição do problema detalhadamente e restrições envolvidas.
- **Abordagem:** Implementação do problema, com enumeração das variáveis de decisão e dos seus domínios.
- **Visualização da Solução:** Exploração dos predicados que permitem a visualização do problema resolvido e respetivas imagens exemplificativas.
- **Experiências e Resultados:** Análise dimensional do problema, para distintas quantidades de células numeradas e diferentes tamanhos do tabuleiro.
- **Conclusões e Trabalho Futuro:** Conclusões que retiramos deste projeto, com base nos resultados obtidos, e sugerir formas de melhorar o trabalho desenvolvido
- **Referências:** com enumeração das várias fontes bibliográficas que utilizamos para a procura de conhecimento
- **Anexos:** que contêm imagens explicativas de alguma secção do relatório, e imagens exemplificativas do programa em execução

2 Descrição do Problema

O nosso tema aborda um problema de decisão, que consiste na resolução de um tipo de puzzle envolvendo peças de xadrez. No tabuleiro vão existir casas numeradas, de 1 a 6. A solução consiste em colocar uma peça de cada tipo [Peão, Cavalo, Rei, Torre, Bispo, Rainha] no tabuleiro, de modo a que cada uma destas casas seja atacada N vezes, sendo N o número presente na casa. O ataque das peças é idêntico ao do jogo Xadrez [2]:

- O peão ataca na diagonal, para cima atacando duas casas distintas.
- O cavalo ataca em L, pelo que ataca oito casas distintas.
- O bispo ataca todas as diagonais.
- A torre ataca todas as verticais e horizontais.
- O rei ataca todas as casas à sua volta, num alcance de uma casa atacando oito casas distintas.
- A rainha todas as diagonais, verticais e horizontais.

É importante referir ainda que ao contrário do jogo de xadrez, é possível colocar os peões na primeira e última linha. Não é possível colocar duas peças na mesma casa, nem numa casa que tenha numeração. Deve-se ter também em conta que tanto a torre como o bispo e a rainha não atacam uma dada casa se existir alguma peça entre eles, bloqueando o caminho.

3 Abordagem ao Problema

O nosso problema trata-se de um problema de satisfação de restrições (PSR), e pode ser modelizado por um conjunto de variáveis que representam diferentes aspetos do problema, os seus respetivos domínios, e restrições que limitam os valores que estas podem tomar dentro dos seus domínios. A solução consiste na atribuição de valores às variáveis de modo a que todas as restrições sejam satisfeitas. No nosso caso, a solução consiste em encontrar uma disposição de peças de tal forma a que cada casa numerada seja atacada um número de vezes igual àquele que contém.

Para a resolução deste problema utilizando a *CLPFD* em *PROLOG* foi utilizada uma lista de listas para representar a o tabuleiro de xadrez.

Além disso é importante realçar que este representa um problema de satisfação de restrições, uma vez que é modelizado por variáveis que representam os diferentes aspetos do problema juntamente com os seus domínios e as restrições que limitam os valores que as variáveis podem ser dentro dos seus domínios. A sua solução é a atribuição de um valor que pertença ao domínio a cada variável de forma a que todas as restrições impostas pelo programa sejam satisfeitas.

3.1 Variáveis de Decisão

A solução ao problema encontra-se nas seguintes variáveis listadas abaixo. As variáveis *pieceX*, *pieceY* representam a posição X e Y no tabuleiro de xadrez da peça *piece*.

- PawnX, PawnY
- KnightX, KnightY
- KingX, KingY
- RookX, RookY
- BishopX, BishopY
- QueenX, QueenY

Estas variáveis de decisão são reunidas numa lista, *Positions*, que será depois utilizada ao efetuar o labeling. Cada par destas variáveis corresponde à posição de uma dada peça no tabuleiro, sendo o primeiro elemento do par a linha onde a peça se encontra, e o segundo elemento a coluna. Assim, as variáveis pertencem ao domínio $[1, N]$ em que N é o tamanho do tabuleiro. Estes são os valores possíveis que a linha/coluna podem ser no tabuleiro.

3.2 Restrições

As restrições a definir devem garantir a solução do problema, isto é, que para cada casa numerada, esta seja atacada N vezes, sendo N o número que contém. Para isto, foi necessário definir a zona de ataque de cada tipo de peça. Nos anexos, é possível observar estes predicados para cada tipo de peça (Peão, Cavalo, Rei, Torre, Bispo, Rainha). Em todos usamos restrições materializadas (*reified*), para

que a variável `Attack` ficasse definida com o valor 1 no caso de as restrições que verificam se a célula é atacada por uma dada peça serem cumpridas, e 0 caso contrário. Assim, após serem chamados todos os seis predicados, basta somar os seis ataques retornados nos predicados de cada peça, e o resultado será o número de vezes que a casa está atacada, que terá de ser igual ao número que essa casa contém. Isto tudo é realizado no predicado `cell_attacks`, que verifica estas condições para uma dada casa numerada. A verificação destas restrições para todas as casas numeradas é realizada no predicado principal, `solve`, com recurso ao predicado `maplist`, que aplica este predicado `cell_attacks` a cada uma das casas numeradas, que foram reunidas numa lista, no início do programa, numa chamada ao predicado `getCellsNumber`. É necessário ter em conta também os possíveis bloqueios de peças, nos casos da Torre, Bispo e Rainha. Para isto, criamos um predicado `nothing_between`, que verifica se não há nenhuma peça a bloquear o caminho entre a Torre/Rainha e a casa numerada, na horizontal e vertical. Da mesma forma, foi necessário criar o predicado `nothing_between_diagonal`, que verifica se não há nenhuma peça a bloquear o caminho entre Bispo/Rainha e a casa numerada, nas diagonais. Estas duas funções que analisam os bloqueios podem também ser observadas nos anexos (METER IMAGEM)

4 Visualização da Solução

Para uma melhor compreensão das soluções encontradas, decidimos implementar duas formas de apresentação das soluções:

- **Forma Escrita:** Apresenta-se no ecrã as posições de cada uma das seis peças, no formato [Linha, Coluna]. Isto é efetuado pelo predicado `show_results`, que recebe a lista das posições das peças e o número da peça a que a próxima posição corresponde. Trata-se de um ciclo simples, e recorre ao predicado `piece`, que recebe o número da peça e retorna o respetivo nome. Tanto a implementação deste predicado como o seu funcionamento com o programa em execução podem ser visualizados nos anexos. (LINK IMAGENS)
- **Tabuleiro:** É apresentado um tabuleiro com as células numeradas e com as seis peças já colocadas conforme a solução encontrada, com uma respetiva legenda. Isto é efetuado pelo predicado `display_solution`, que chama o predicado `add_pieces`, responsável por substituir os valores das células dos tabuleiros contidos em `Positions`, pela peça de Xadrez correspondente. De seguida, é chamado o predicado `display_board`, que representa visualmente o tabuleiro já preenchido. Da mesma forma, é apresentado o tabuleiro do problema (apenas com as células numeradas) antes de se iniciar a procura da solução.

5 Experiências e Resultados

5.1 Análise Dimensional

Para o estudo do comportamento do programa face à dimensão do problema, consideramos dois tipos de testes:

- Variação da dimensão do tabuleiro
- Variação do número de células numeradas.

(METER FIGURA) É possível verificar os resultados para os testes do primeiro tipo, sendo que testamos, para um mesmo número de casas numeradas, distintos tamanhos para os tabuleiros. É possível verificar que o tempo de execução aumenta com a dimensão do tabuleiro, o que seria de esperar, uma vez que aumenta também o domínio das variáveis de decisão (é de 1 a N, sendo N o tamanho do tabuleiro, que é o valor mínimo e máximo que a Linha/Coluna da peça pode tomar, respetivamente), e portanto aumenta o número de testes efetuados pelas restrições.

Quando à variação do número de células numeradas, testamos para um mesmo tabuleiro (8x8), diferentes valores, o que pode ser verificado nos anexos (METER FIGURA). Como seria também de esperar, o tempo de execução aumenta com o número de casas numeradas, uma vez que aumenta também o número de restrições a ter em consideração, e, consequentemente, o número de tentativas a serem efetuadas pelo programa.

5.2 Estratégias de Pesquisa

De modo a detetar possíveis melhorias no tempo de resolução dos problemas, foram testadas diversas combinações para as opções de pesquisa do labeling.

Na (METER FIGURA) pode-se verificar os tempos de execução do programa para um mesmo problema (Problema 11), para diferentes combinações de opções de pesquisa.

Após realizar estes testes, chegamos à conclusão que no nosso caso a melhor combinação de opções do labeling seriam a `anti_first_fail` e a `bisect`. A opção escolhida para a ordenação de variáveis (`anti_first_fail`) define que a próxima variável a ser escolhida na colocação das restrições é a variável mais à esquerda das que têm o maior domínio. A complementá-la, a opção escolhida para a seleção de valores define que os valores de uma variável são decididos através de uma escolha binária entre $X \# \leq M$ e $X \# > M$, onde M é o ponto médio do domínio de X (média entre valores mínimo e máximo do domínio de X, com arredondamento para baixo).

6 Conclusões e Trabalho Futuro

A realização deste trabalho permitiu a resolução de um problema através da utilização de restrições lógicas na linguagem PROLOG, através da utilização do módulo CLPFD. Durante a realização do mesmo foram encontradas diversas dificuldades, nomeadamente na elaboração dos ataques para a torre e para o bispo e rainha, devido aos possíveis bloqueios de peças que se encontrem entre estas peças e as casas numeradas. Com o tempo, descobrimos solução para esta dificuldade, recorrendo a restrições materializadas (`reified`).

Apesar de cumprir todos os requisitos pedidos no enunciado, há certos aspetos que poderiam ser melhorados futuramente, nomeadamente a questão da

eficiência do programa, tendo em conta que o tempo de execução do programa é elevado no caso de tabuleiros com um elevado número de casas numeradas.

Em suma, o projeto foi concluído com sucesso, tendo em conta que implementamos todos os requisitos do enunciado, e conseguimos ultrapassar todas as dificuldades que enfrentamos durante o seu desenvolvimento. Implementamos também certas funcionalidades extra e interessantes, como a geração aleatória de tabuleiros, de diferentes dimensões, e com números distintos de casas numeradas. Para além disto, tornamos a interface de interação com o utilizador bastante simples e fácil de compreender, com representação gráfica dos tabuleiros antes e após as soluções. Este projeto permitiu-nos aplicar o conhecimento obtido nas aulas teóricas e práticas da unidade curricular, e consolidá-lo para que possamos aplicá-lo em situações futuras.

Bibliografia

1. Chess-Num Puzzles, <https://erich-friedman.github.io/puzzle/chessnum/>. Último acesso a 3 Jan 2021
2. Chess Pieces and How they move, <https://www.wholesalechess.com/pages/new-to-chess/pieces.html>. Último acesso a 3 Jan 2021

7 Anexos