

Distribuição de Serviço Docente

Resolução de um problema de otimização

Afonso Pinto e Tomás Oliveira

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação - 3º Ano
Programação em Lógica 2017/2018
Distribuição de Serviço Docente Grupo 1 - Turma 3

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Roberto Frias, sn, 4200-465 Porto, Portugal

Resumo

Criado no âmbito da disciplina Programação em Lógica leccionada no 3.º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação, este projeto consiste na resolução de um problema de otimização, distribuição de serviço docente, segundo um paradigma de programação em lógica com restrições sobre domínios finitos.

1. Introdução

Este projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular Programação em Lógica leccionada no 3º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação da Universidade do Porto.

O objetivo deste projeto é solucionar um problema de otimização, distribuição de serviço docente, em linguagem Prolog segundo uma paradigma de programação em lógica com restrições sobre domínios finitos.

O principal foco do grupo foi garantir um resultado ótimo com tempos de busca rápidos para o problema, permitindo diferentes complexidades através da alteração tanto do número de aulas, como de professores e unidades curriculares, o tipo e preferências do professor e ainda as áreas científicas envolvidas.

O presente relatório servirá para explorar a estratégia utilizada, fornecendo detalhes sobre a sua implementação e resultados.

2. Descrição do Problema

A distribuição de serviço docente é incontornavelmente um problema de otimização. Dado um conjunto de professores e unidades curriculares o nosso programa deverá encontrar uma solução ótima segundo determinada heurística à escolha (otimização da correspondência entre áreas científicas de aulas práticas e professores que as lecionam; otimização de horas leccionadas por professores de acordo com o esperado; ambas).

É esperado que a entrada de dados siga o seguinte formato:

- Professor[ID, Nome, Categoria¹, ID Área Científica, Preferência];
- Unidade Curricular [ID, Nome, ID Área Científica, Semestre, [Horas Por Teórica], [Horas Por Prática];
- Área Científica[ID, Área].

Segue em anexo um exemplo de um possível ficheiro de dados. (Figura 1)

O resultado do algoritmo deverá alocar a cada aula um professor segundo os critérios supracitados.

3. Abordagem

Na implementação do algoritmo de otimização, o grupo optou por representar o problema através de uma **matriz**, onde linhas e colunas representam respetivamente aulas e professores.

3.1. Variáveis de Decisão

Tendo em consideração a representação sobredita, as variáveis de decisão utilizadas correspondem ao valor de cada uma das células da matriz. Adicionalmente são utilizadas outras variáveis auxiliares de forma possibilitar a otimização, a saber:

- *PracticalMaximize*;
- *DiffHoursExpectedMinimize*.

3.2. Restrições

Neste trabalhos foram implementadas várias restrições, de forma a cumprir com todos os critérios de resolução do problema.

Em primeiro lugar foi imposto um domínio entre 0 e 1 a todas as células da matriz que representa o problema, tendo em vista um mapeamento para o professor não dá e dá a aula respetivamente.

¹ Deverá ser uma entre 'Professor', 'Associated', 'Assistant'

Seguidamente foram aplicadas as restantes restrições:

- **Área científica em aulas teóricas**

É obrigatório que cada aula teórica de uma determinada área científica tenha sido atribuída a um professor da mesma área. Para isso percorremos todas as aulas (linhas), verificamos se se trata de uma aula teórica e em caso de sucesso obtemos a área científica em questão, de seguida percorremos todos os professores (colunas) dessa linha e obtemos a sua área científica de eleição, no caso das duas não coincidirem a célula é marcada com 0. Se não existir nenhum professor suscetível para dar essa aula o predicado deve falhar.

- **Todas as aulas devem ter um professor**

É mandatório que todas as aulas tenham sido atribuídas a um (e um só) professor, assim, tirando partido da representação adotada e com recurso ao predicado ***sum(List, Rel, Value)*** sobre cada linha, fomos capazes de implementar a restrição mencionada, na medida em que a soma de cada linha deveria ser exatamente 1.

- **Carga horária semanal de cada professor**

Cada categoria de professor tem uma carga semanal expectável diferente. Os professores catedráticos têm uma carga semanal expectável de 7 horas, os associados de 8 horas e os assistentes de 9 horas.

Para implementar esta restrição, recorremos ao predicado ***scalar_product(List1, List2, Rel, Value)*** para aplicar o produto escalar entre a lista de durações das aulas (calculada anteriormente) e a coluna de cada professor.

A diferença entre o valor obtido e o valor esperado é acumulada no que virá a ser a variável de decisão *DiffHoursExpectedMinimize*.

- **Área científica em aulas práticas**

É preferível que cada aula prática de uma determinada área científica seja atribuída a um professor da mesma área.

Tendo em vista pôr em funcionamento esta restrição, e de forma semelhante à restrição das aulas teóricas, percorremos todas as aulas (linhas), verificamos se se trata de uma aula prática e em caso de sucesso obtemos a área científica em questão, de seguida percorremos todos os professores (colunas) dessa linha e obtemos a sua área científica de eleição, no caso das duas coincidirem o valor da célula é acumulado no que virá a ser a variável de decisão *PraticalMaximize*.

- **Preferência de cada professor**

Além da categoria, cada professor apresenta como atributo uma preferência - diferença permitida de carga horária entre os dois semestres. Ou seja, se um professor escolher ter uma preferência de 2, ele deverá ter no máximo mais 2 horas de carga horária semanal no segundo semestre do que no primeiro.

Para isto ser possível, colocamos para cada professor uma restrição em que a preferência terá de ser sempre maior do que a diferença entre a soma das durações das aulas no semestre 2 e a soma das durações das aulas no semestre 1.

3.3. Estratégia de Pesquisa

Para verificar a “satisfabilidade” de todas as restrições bem como otimizar as variáveis necessárias, foi utilizado o predicado **labeling(Options, Variables)** como método de pesquisa.

Os predicados de otimização utilizados estão dependentes do modo que o utilizador escolhe mas consistem em:

- **maximize(PracticalMaximize)** - caso 1;
- **minimize(DiffHoursExpectedMinimize)** - caso 2;
- **maximize(Quotient)**, onde $Quotient \neq \frac{PracticalMaximize}{DiffHoursExpectedMinimize}$ - caso 3;

A ordenação das variáveis segue o método **leftmost** por nenhum método se ter destacado dos outros no que toca à rapidez em obter a solução ótima.

A seleção de valores segue a metodologia **step** pelas mesmas razões.

4. Visualização da Solução

A visualização da solução é disponibilizada tanto com o estado da matriz como em modo texto para uma interpretação fácil por parte do utilizador.

O predicado principal que disponibiliza a solução é o **printMatrix**:

```
printMatrix(Matrix, Columns, Teachers, Classes):-
    getAllRows(Matrix, Columns, Rows),
    findall(TeacherID, (member(Teacher, Teachers), getTeacherID(Teacher, TeacherID)), TeachersIDS),
    findall(ClassID, (member(Class, Classes), getClassID(Class, ClassID)), ClassesIDS),
    write(' '), printTeachersIDS(TeachersIDS),
    write(' '), printBorder(Columns),
    printRows(Rows, ClassesIDS), nl, nl,
    printStats(Matrix, Columns, Teachers, Classes, 0).
```

Para além disso também são disponibilizadas estatísticas sobre com informações sobre a execução do programa.

5. Resultados

Realizamos alguns problemas de diferentes complexidades e podemos dizer que o tempo que nos foi apresentado é eficaz. Os resultados são apresentados seguidamente.

Problema com 3 professores e 5 aulas:

```
Teacher DCS has a PLOG Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
```

```
Time Elapsed: 0.59s
Resumptions: 4504
Entailments: 560
Prunings: 2112
Backtracks: 60
Constraints created: 39
```

Problema com 4 professores e 11 aulas:

```
Teacher DCS has a PLOG Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a COMP Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher DCS has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
```

```
Time Elapsed: 0.88s
Resumptions: 126517
Entailments: 24535
Prunings: 64740
Backtracks: 750
Constraints created: 57
```

Problema com 5 professores e 17 aulas:

```
Teacher DCS has a PLOG Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a COMP Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a IART Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher DCS has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher DCS has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
```

```
Time Elapsed: 4.86s
Resumptions: 10480474
Entailments: 2420638
Prunings: 6338424
Backtracks: 97134
Constraints created: 80
```

6. Conclusões e Trabalho Futuro

Com a realização deste projeto pudemos familiarizar-mos-nos com a linguagem PROLOG, e com as restrições sobre domínios finitos.

Concluimos que os objetivos principais impostos no enunciado da distribuição de serviço docente foram cumpridos. A realização desta parte do projeto foi vista com grande interesse pelos elementos do grupo e revelou-se um excelente método para tomar conhecimento de como podemos usar a programação lógica em qualquer lugar.

Anexos

Código do trabalho está num ficheiro zip à parte.

```
subjects([
  %Subject[ID, Name, AreaID, Semester, [Hours Per Theoretical], [Hours Per Pratical]]
  [1, 'PLOG', 1, 1, [1], [2,2]],
  [2, 'COMP', 1, 2, [1], [2,2,2]],
  [3, 'LTW', 2, 1, [1,1], [2,2]],
  [4, 'LBAW', 2, 2, [1], [2,2]],
  [5, 'IART', 3, 1, [1], [2,2]]
]).

teachers([
  %Teacher[ID, Name, Category, Area, Preference]
  [1, 'HLC', 'Assistant', 1, -4],
  [2, 'RCS', 'Associated', 1, 0],
  [3, 'DCS', 'Assistant', 1, 0],
  [4, 'AOR', 'Professor', 2, 0],
  [5, 'ECO', 'Professor', 3, 4]
]).

scientificArea([
  [1, 'Programming'],
  [2, 'Information'],
  [3, 'AI']
]).
```

Exemplo de um Ficheiro de Dados

Comparações de Tempos para as 3 opções de um exemplo com 17 aulas e 5 professores:

```
Teacher DCS has a PLOG Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a COMP Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a IART Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher DCS has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher DCS has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
```

```
Time Elapsed: 4.86s
Resumptions: 10480474
Entailments: 2420638
Prunings: 6338424
Backtracks: 97134
Constraints created: 80
```

Pratical Matching

```
Teacher DCS has a PLOG Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a COMP Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a IART Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher DCS has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher RCS has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher RCS has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
```

```
Time Elapsed: 126.03s
Resumptions: 534520700
Entailments: 82552839
Prunings: 271624525
Backtracks: 4018610
Constraints created: 80
```

Teachers Workload

Teacher DCS has a PLOG Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher DCS has a COMP Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LTW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher AOR has a LBAW Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a IART Theoretical class with a duration of 1 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a PLOG Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a COMP Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a LTW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher ECO has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher ECO has a LBAW Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 2 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester
Teacher HLC has a IART Pratical class with a duration of 2 hour(s) in the 1 semester

Time Elapsed: 96.54s
Resumptions: 390572386
Entailments: 60784114
Prunings: 201313875
Backtracks: 2682898
Constraints created: 81

Both