

Relatório do Projeto de Estruturas de Dados Avançadas

Sistema de Gestão de Antenas com Detecção de Interferências

Licenciatura em Engenharia de Sistemas Informáticos – 2024/25

31513 - Diogo Pereira

11 de abril de 2025

Resumo

Este relatório apresenta o desenvolvimento de um sistema para gestão de antenas e detecção de interferências electromagnéticas, implementado em C utilizando listas ligadas. O trabalho aborda a problemática da interferência em ambientes urbanos densos, propondo uma solução eficiente baseada em estruturas dinâmicas. O sistema desenvolvido permite carregar mapas de antenas, identificar automaticamente zonas de interferência e realizar operações de gestão com complexidade ótima. A implementação segue princípios de modularidade e documentação rigorosa, com validação através de casos de teste representativos. Os resultados demonstram a eficácia da abordagem na identificação de padrões complexos de interferência com complexidade $O(n^2)$, adequada para cenários de média dimensão.

Conteúdo

1	Introdução	2
1.1	Motivação	2
1.2	Enquadramento	2
1.3	Objetivos	2
1.4	Metodologia	2
2	Estado da Arte	4
2.1	Conceitos Fundamentais	4
2.2	Soluções Existentes	4
3	Trabalho Desenvolvido	5
3.1	Análise e Especificação	5
3.2	Implementação	5
3.2.1	Estruturas de Dados	6
3.2.2	Algoritmos Chave	6
4	Análise de Resultados	7
4.1	Casos de Teste e Validação	7
4.1.1	Carregamento Inicial do Mapa	7
4.1.2	Deteção de Interferências	7
4.1.3	Operações Dinâmicas	8
4.2	Visualização Gráfica	9
5	Conclusão	10
	Repositório GitHub	11

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

O crescimento exponencial de sistemas de comunicação sem fios em ambientes urbanos tem originado desafios complexos na gestão do espectro radioelétrico. A interferência electromagnética entre antenas constitui um problema crítico que afeta a qualidade dos serviços de telecomunicações. Neste contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de ferramentas computacionais eficientes para modelagem e análise destes fenómenos.

1.2 Enquadramento

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Estruturas de Dados Avançadas do curso de Licenciatura em Engenharia de Sistemas Informáticos. O projeto visa aplicar conceitos de estruturas dinâmicas na resolução de um problema real de gestão de infraestruturas de telecomunicações, com particular enfoque na eficiência algorítmica.

1.3 Objetivos

Os principais objetivos do trabalho são:

- Modelar uma rede de antenas através de listas ligadas
- Implementar algoritmos de deteção de interferência com complexidade controlada
- Desenvolver um sistema modular para gestão dinâmica de antenas
- Validar a solução com cenários realistas de diferentes dimensões

1.4 Metodologia

A abordagem seguida baseou-se no ciclo de desenvolvimento ágil:

1. Análise de requisitos e modelagem teórica
2. Projeto da estrutura de dados e algoritmos
3. Implementação incremental com testes unitários

4. Validação experimental com diferentes cenários
5. Otimização e documentação final

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 Conceitos Fundamentais

A gestão de interferência entre antenas baseia-se em princípios de propagação electro-magnética e geometria analítica. O efeito nefasto ocorre quando duas antenas da mesma frequência estão alinhadas numa relação geométrica específica, criando padrões de interferência destrutiva.

2.2 Soluções Existentes

As abordagens existentes para detecção de interferência incluem:

- Sistemas baseados em matrizes estáticas
- Algoritmos de força bruta com complexidade $O(n^3)$
- Soluções comerciais de simulação electromagnética

A Tabela 2.1 apresenta uma análise comparativa das diferentes abordagens.

Abordagem	Vantagens	Limitações
Matrizes estáticas	Simplicidade	Ineficiência em grandes conjuntos
Força bruta	Precisão	Complexidade inadequada
Listas ligadas	Eficiência espacial	Implementação complexa

Tabela 2.1: Comparação de abordagens para gestão de interferência

Capítulo 3

Trabalho Desenvolvido

Este capítulo descreve detalhadamente a análise, especificação e implementação do sistema desenvolvido, seguindo os princípios de engenharia de software.

3.1 Análise e Especificação

O sistema foi especificado considerando os seguintes requisitos funcionais críticos:

- Carregamento dinâmico de mapas com diferentes dimensões
- Detecção precisa de padrões de interferência
- Gestão eficiente de operações CRUD sobre antenas
- Visualização clara do estado do sistema

A estrutura de dados principal consiste numa lista ligada ordenada por coordenadas, otimizada para:

- Inserções/remoções em $O(n)$
- Consultas espaciais eficientes
- Redução de complexidade para detecção de interferência

3.2 Implementação

O sistema foi implementado em C seguindo princípios de modularização, com a seguinte estrutura:

- `funcoes.h/c` - Núcleo das operações sobre listas ligadas
- `util.h/c` - Manipulação de ficheiros e visualização
- `main.c` - Lógica de controlo e interface

3.2.1 Estruturas de Dados

A estrutura central é definida como:

```
typedef struct Antena {  
    char frequencia;      // Caracter da frequencia  
    int x;                 // Coordenada X (0-based)  
    int y;                 // Coordenada Y (0-based)  
    struct Antena *prox;  // Proximo elemento  
} Antena;
```

Esta estrutura permite representar tanto antenas como zonas de interferência, mantendo a consistência de dados.

3.2.2 Algoritmos Chave

O algoritmo de detecção de interferências implementa uma estratégia de força bruta otimizada:

A implementação utiliza aninhamento de ciclos para comparar pares de antenas:

```
Antena* calcularEfeitoNefasto(Antena* lista) {  
    Antena* efeitos = NULL;  
    for(Antena* a1 = lista; a1 != NULL; a1 = a1->prox) {  
        for(Antena* a2 = lista; a2 != NULL; a2 = a2->prox) {  
            if(a1 != a2 && a1->frequencia == a2->frequencia) {  
                // Calculo geometrico das interferencias  
            }  
        }  
    }  
    return efeitos;  
}
```


Capítulo 4

Análise de Resultados

4.1 Casos de Teste e Validação

Para validação do sistema, considerou-se um mapa padrão de 12x12 células com diferentes configurações de antenas. Os resultados demonstram a correta aplicação dos algoritmos de detecção de interferência e gestão dinâmica da estrutura de dados.

4.1.1 Carregamento Inicial do Mapa

Listing 4.1: Estado inicial do mapa carregado

```
.....
.....0...
.....0.....
.....0.....
.....0.....
.....A.....
.....
.....
.....A...
.....A..
.....
.....
```

A lista de antenas carregadas é apresentada conforme:

Listing 4.2: Antenas identificadas no mapa inicial

```
Antena: 0 (4, 4)
Antena: 0 (5, 2)
Antena: A (6, 5)
Antena: 0 (7, 3)
Antena: 0 (8, 1)
Antena: A (8, 8)
Antena: A (9, 9)
```

4.1.2 Detecção de Interferências

Como demonstrado na Listagem, o algoritmo identificou 10 pontos críticos de interferência, distribuídos de forma simétrica em relação às antenas de mesma frequência. Esta

distribuição condiz com os princípios teóricos de propagação electromagnética, onde cada par de antenas com frequência idêntica (0 e A no caso analisado) gera padrões de interferência característicos nas direções cardinais e diagonais.

Listing 4.3: Pontos de interferência detectados

```
Efeito: # (1, 5)
Efeito: # (2, 3)
Efeito: # (3, 1)
Efeito: # (3, 6)
Efeito: # (6, 0)
Efeito: # (7, 7)
Efeito: # (9, 4)
Efeito: # (10, 2)
Efeito: # (10, 10)
Efeito: # (11, 0)
```

4.1.3 Operações Dinâmicas

O sistema demonstrou robustez nas operações de atualização dinâmica, conforme ilustrado na Listagem. A remoção automática de antenas em zonas de interferência preservou a integridade dos dados, prevenindo colisões sem afetar o desempenho geral, com complexidade média de $O(m)$ para m efeitos nefastos.

A inserção das antenas adicionais revelou:

- Tempo constante ($O(1)$) para inserções em posições não críticas
- Verificação automática de duplicados durante a inserção
- Atualização imediata dos relacionamentos de interferência

Listing 4.4: Estado final após operações

```
[REMOVIDO] Antena 0 em (2,3) em localizacao de efeito nefasto
[REMOVIDO] Antena 0 em (10,10) em localizacao de efeito nefasto
```

```
Antenas apos remocao:
Antena: 0 (4, 4)
Antena: 0 (5, 2)
Antena: 0 (7, 3)
Antena: 0 (8, 1)
Antena: 0 (8, 2)
Antena: A (8, 8)
Antena: A (9, 9)
```

4.2 Visualização Gráfica

Listing 4.5: Mapa final com interferências

```
.....#.....#
...#.....0...
.....0..0.#.
..#.....0....
.....0.....#..
.#.....
...#.....
.....#.....
.....A...
.....A..
.....#.
.....
```

Esta visualização comprova que:

- As zonas de interferência (#) não sobrepõem antenas existentes
- A remoção automática preveniu colisões em (2,3) e (10,10)
- A estrutura de dados mantém integridade após múltiplas operações

Capítulo 5

Conclusão

O trabalho desenvolvido demonstrou a viabilidade da utilização de listas ligadas para gestão eficiente de redes de antenas. A solução implementada atinge os objetivos propostos, mostrando-se adequada para cenários de média dimensão. Como trabalho futuro, sugere-se a implementação de estruturas espaciais hierárquicas para otimização de consultas.

Repositório GitHub

O código fonte completo deste projeto está disponível publicamente no repositório:

`https://github.com/FrozenProduction/TP_EDA_Fase1`

O repositório contém:

- Implementação completa em C com documentação Doxygen
- Ficheiros de teste com diferentes configurações de mapas
- Histórico de commits detalhado
- Instruções de compilação e execução
- Versão PDF deste relatório