

5

Resultados

O sistema de navegação proposto foi testado com modelos baseados em dados reais. Foram escolhidos quatro modelos com características distintas, enumerados na Tabela 5.1. O Modelo 1 é um exemplo simples, utilizado como base de teste inicial e representa uma pequena parte dos modelos em uso atualmente. O Modelo 2 foi escolhido por possuir um elevado número de camadas, um caso interessante para testar o desempenho da busca no grafo no modo automático. Já o Modelo 3 apresenta agrupamentos disjuntos em todas as suas camadas. Esta característica é comum em certos reservatórios e o sistema deve ser capaz de tratá-la adequadamente, o que motivou a escolha desse modelo para teste. Finalmente, o Modelo 4, o mais complexo do conjunto, tem como característica um elevado número de células e poços. Este modelo foi escolhido para determinar o comportamento do sistema em uma situação extrema, com alta densidade de poços.

Inicialmente é analisada a construção dos grafos de guia dos modelos. Em seguida, são descritos os testes e resultados do modo automático de navegação. Finalmente, discute-se o modo assistido¹.

5.1

Construção do grafo

A construção do grafo de guia de cada modelo foi monitorada e cada grafo foi analisado conforme descrito na Tabela 5.2. O raio do nó de cada grafo foi ajustado para 40% do tamanho médio da célula do reservatório. Dessa forma, busca-se garantir a criação de arestas entre poços mesmo que estejam localizados em células vizinhas.

Todos os grafos construídos possuíram, ao final, uma grande componente conexa, composta por quase todos os nós, seguida de poucas componentes conexas contendo um nó apenas. As componentes conexas contendo

¹Todos os testes foram realizados em uma máquina Intel Pentium 4 de 2.8GHz, com 1Gb de memória RAM.

um nó representam pontos problemáticos isolados, como uma área cercada de poços, que invariavelmente apresentam impossibilidade de serem atingidas. Ainda assim, a ocorrência de arestas e nós nos arredores destas áreas garante um ponto de visualização próximo e assim uma análise dessas áreas ainda pode ser feita. Todas as componentes conexas de um elemento foram removidas, fazendo com que todos os grafos construídos possuísem uma única componente conexa. A cobertura topológica foi ajustada para 70% em todos os casos e em média, 82% dos nós conseguiram atingi-la. A obtenção de uma única componente conexa cobrindo todas as áreas do reservatório, com a maioria dos nós atingindo cobertura topológica, demonstra que a heurística de construção do grafo é válida e adequada para RNPs.

O Modelo 1, o mais simples do conjunto, obteve o seu grafo de guia em menor tempo. Os Modelos 2 e 3, de complexidade intermediária, também foram construídos em pouco tempo e obtiveram as melhores taxas de cobertura de nós. Em ambos os casos, a geometria e a disposição dos poços foi favorável, necessitando uma amostragem menos refinada do ambiente. Conforme esperado, o maior tempo de construção foi o do Modelo 4, que é o mais complexo do conjunto. A alta densidade de poços provocou a ocorrência de uma grande quantidade de arestas.

5.2

Navegação Automática

O modo automático de navegação foi validado através de dois critérios: a capacidade do sistema de encontrar um caminho entre um ponto qualquer do RNP e um poço localizado em uma determinada camada e o tempo necessário para encontrá-lo. Estes critérios se basearam no fato deste tipo de consulta ser exatamente a que o sistema se propõe a responder em tempo de execução, quando neste modo, juntamente com a necessidade de respondê-la em tempo hábil.

Então, foi codificada uma bateria de testes que realizou 5.000 consultas aleatórias, entre um ponto qualquer do RNP e um poço qualquer situado em uma camada qualquer. A origem de uma consulta é obtida escolhendo-se uma aresta aleatória do grafo e um ponto ao longo da mesma. O nó de origem correspondente é criado e conectado conforme descrito na Seção 4.1. O destino é concebido escolhendo-se um poço aleatório e uma camada aleatória dentre as perfuradas por ele. O nó de destino correspondente também é criado e conectado conforme descrito na Seção 4.1. O tempo total para processar a consulta foi calculado somando-se o tempo gasto em todas

as sub-etapas envolvidas: inserção e conexão dos nós de origem e destino, busca no grafo, compressão do caminho e sua suavização.

Em todos os modelos, o sistema foi capaz de encontrar um caminho em todas as consultas. O desempenho do sistema ao realizá-las, para cada modelo, está descrito na Tabela 5.3. No Modelo 4, o mais complexo do conjunto, o tempo total foi de, em média, 408 milisegundos, um valor considerado satisfatório. Neste caso, a etapa mais custosa foi a busca no grafo, devido à complexidade do grafo de guia correspondente. Em todos os outros modelos, o tempo gasto para processar uma consulta deste tipo é praticamente imperceptível. Especificamente nos Modelos 2 e 3, o tempo foi baixo devido à proximidade dos nós de borda: o Modelo 2 possui camadas estreitas, enquanto que o Modelo 3 possui vários agrupamentos disjuntos, cada um com nós de borda ao redor. Vale lembrar que em grande parte das consultas realizadas os nós de origem e destino estavam entre camadas distintas, mostrando que a heurística descrita no capítulo anterior forneceu um bom resultado.

5.3

Navegação Assistida

O modo assistido também foi validado medindo a capacidade do sistema de responder às consultas que ocorrem neste modo de navegação, bem como o tempo necessário para respondê-las. Para os testes, adotou-se uma divisão de acordo com a natureza dos comandos aceitos pelo sistema. Os requisitos de desempenho dos comandos de navegação em camada (frente, trás, esquerda ou direita) são maiores se comparados aos de mudança explícita de camadas (acima ou abaixo). Na maior parte do tempo, o usuário está navegando sobre uma camada, analisando células e poços em diversas áreas. Eventualmente, o usuário decide prosseguir a análise em outra camada e fornece um comando de mudança explícita. Então, foram feitas duas análises de desempenho: uma em relação aos comandos de mudança explícita de camada e outra em relação aos comandos de navegação em camada.

Uma primeira bateria de testes realizou 2.500 consultas aleatórias, onde foram escolhidos um ponto qualquer do RNP, uma direção de visualização e um dos comandos de navegação de mudança explícita de camada (acima ou abaixo). Analogamente ao modo automático, o tempo total para processar a consulta foi calculado somando-se o tempo gasto em todas as sub-etapas envolvidas.

Nome	Número total de células	Número de camadas	Número de poços
Modelo 1	9.033	11	53
Modelo 2	31.550	23	61
Modelo 3	50.964	12	143
Modelo 4	123.415	15	1.561

Tabela 5.1: Os reservatórios utilizados nos experimentos.

Exceto nos casos onde a câmera não estava voltada para alguma área ocupada do reservatório, o sistema foi capaz de encontrar um caminho e movimentar a câmera de acordo. O desempenho do sistema para estes comandos é descrito na Tabela 5.4. O sistema se comportou bem nos Modelos 1, 2 e 3, alcançando, em média, uma taxa satisfatória de 50Hz. O Modelo 4, devido a sua complexidade, apresentou um tempo muito maior na etapa de busca (cerca de 272 milisegundos). Neste modelo, o algoritmo encontrou maior dificuldade para sair da camada e ir até o objetivo ao chegar na camada de destino, devido à alta densidade de poços. Mesmo assim, obteve uma taxa de 3Hz, que pode ser considerada aceitável visto que se trata de um tipo de comando que não ocorre com frequência.

Uma segunda bateria de testes realizou 2.500 consultas aleatórias, onde foram escolhidos um ponto qualquer do RNP, uma direção de visualização e um dos comandos de navegação em camada aceitos pelo sistema (esquerda, direita, frente ou trás). De forma idêntica ao primeiro teste, o tempo total foi calculado somando-se o tempo gasto em todas as sub-etapas.

Como no teste anterior, o sistema também foi capaz de encontrar um caminho em todas as consultas onde a câmera estava voltada para uma área ocupada do reservatório. O desempenho do sistema para estes comandos é descrito na Tabela 5.5. A busca normalmente realizada ao receber um comando deste tipo é entre nós relativamente muito próximos, daí o ótimo desempenho em todos os modelos, inclusive no Modelo 4, o mais complexo do conjunto. Neste modelo específico, o sistema obteve uma taxa de 38Hz, enquanto que nos outros modelos o sistema obteve, em média, uma taxa de 66Hz, satisfazendo em ambos os casos os requisitos de desempenho discutidos anteriormente.

A Tabela 5.6 ilustra as taxas de redução no número de arestas nas consultas realizadas em todas as categorias de teste. Em todos os casos, o custo para comprimir o caminho encontrado foi irrisório, obtendo-se uma taxa média de redução relevante. A compressão do caminho diminui sua sinuosidade e tende a melhorar o desempenho do processo de suavização.

Modelo	Raio do nó	Número total de nós	Número total de arestas	Porcentagem de nós cobertos	Tempo total de construção (segundos)
Modelo 1	112,0	3.122	23.751	79%	11,5
Modelo 2	52,3	4.860	52.719	86%	36,5
Modelo 3	78,7	3.232	34.338	90%	24,7
Modelo 4	26,7	20.013	119.981	74%	147,3

Tabela 5.2: Os grafos de guia construídos para os reservatórios.

Modelo	Inserção dos nós origem e destino	Busca no grafo	Compressão do caminho	Suavização do caminho	Tempo médio total de consulta
Modelo 1	12,82	8,79	2,88	7,50	31,98
Modelo 2	16,56	9,54	2,50	4,48	33,07
Modelo 3	12,89	12,43	2,53	5,98	33,82
Modelo 4	13,07	368,08	7,20	19,95	408,29

Tabela 5.3: O desempenho do sistema ao realizar consultas no modo automático. São descritos, em milissegundos, os tempos médios de cada etapa de uma consulta, seguidos do tempo total.

Modelo	Inserção dos nós origem e destino	Busca no grafo	Compressão do caminho	Suavização do caminho	Tempo médio total de consulta
Modelo 1	9,34	7,91	1,55	2,35	21,14
Modelo 2	16,22	1,54	1,13	1,13	20,02
Modelo 3	15,25	2,08	0,79	1,33	19,45
Modelo 4	9,76	272,76	4,49	11,87	298,88

Tabela 5.4: O desempenho do sistema ao realizar consultas no modo assistido, recebendo comandos para transpor camada. São descritos, em milisegundos, os tempos médios de cada etapa de uma consulta, seguidos do tempo total.

Modelo	Inserção dos nós origem e destino	Busca no grafo	Compressão do caminho	Suavização do caminho	Tempo médio total de consulta
Modelo 1	8,89	0,44	0,76	1,51	11,59
Modelo 2	15,32	0,58	0,69	0,89	17,48
Modelo 3	14,37	1,17	0,80	1,43	17,77
Modelo 4	9,39	4,78	2,89	9,63	26,69

Tabela 5.5: O desempenho do sistema ao realizar consultas no modo assistido, recebendo comandos para navegação na mesma camada. São descritos, em milissegundos, os tempos médios de cada etapa de uma consulta, seguidos do tempo total.

Modelo	Modo automático	Modo assistido, navegação na mesma camada	Modo assistido, navegação transpondo camadas
Modelo 1	40%	33%	44%
Modelo 2	29%	32%	34%
Modelo 3	33%	40%	34%
Modelo 4	47%	43%	49%

Tabela 5.6: As taxas médias de redução de número de arestas, devido à compressão, em ambos os modos de navegação.