

Sumário

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Fish School Search | 7 |
| 1.1 | Motivação, Histórico e Inspiração | 7 |
| 1.2 | Visão Geral | 8 |
| 1.3 | Operadores | 9 |
| 1.3.1 | Operador de Alimentação | 10 |
| 1.3.2 | Operadores de Nado | 10 |
| 1.3.3 | Operador de Movimentação Individual | 11 |
| 1.3.4 | Operador de Movimento Coletivo Instintivo | 12 |
| 1.3.5 | Operador de Movimento Coletivo Volitivo | 12 |
| 1.4 | Dinâmica e Critérios de Parada | 13 |
| 1.5 | Exemplo | 14 |
| 1.5.1 | Estudo Comparativo | 14 |
| 1.6 | Variações do FSS | 14 |
| 1.6.1 | Discussão e Conclusões | 14 |

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Fish School Search

Os problemas do mundo real apresentam-se complexos e difíceis de serem resolvidos com métodos computacionais tradicionais e a busca por parâmetros ou soluções candidatas é frequentemente associada com essa complexidade. A razão desta é principalmente relacionada com a quantidade elevada de dimensões que alguns espaços de busca apresentam. Geralmente, problemas que possuem grandes espaços de busca e utilizam computação tradicional, mostram-se computacionalmente caros. Por outro lado, algoritmos computacionais inspirados na natureza tem-se mostrado mais eficientes do ponto de vista da performance computacional em relação aos métodos tradicionais. Neste capítulo faremos uma abordagem do algoritmo Fish School Search (FSS) que utiliza-se da metáfora do comportamento dos cardumes de peixes na busca por soluções.

O fundo do mar é um belo exemplo de imensidão onde diversos problemas de sobrevivência são resolvidos a todo o momento. Os peixes buscam no fundo do mar as soluções para sua sobrevivência de forma coletiva, em cardumes com alto grau de interação entre os componentes, facilitando a busca por alimentos, a fuga de predadores, bem como, na sua locomoção. Fish School Search (FSS) é um algoritmo de busca inspirado no comportamento de algumas espécies de peixes que vivem suas vidas inteiramente em cardumes.

1.1 Motivação, Histórico e Inspiração

Inteligência de Enxames tem sido usada frequentemente para solucionar problemas de otimização em espaços contínuos multidimensionais e muitas abordagens foram propostas nos últimos anos: Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO), Artificial Bee Colony Algorithm (ABC), entre outros. Embora existam diversas abordagens de busca, infelizmente não há uma estratégia de busca ótima. Dessa forma, resolver problemas de busca é, muitas vezes, mais uma forma de arte do que uma prática de engenharia. Apesar da customização de algoritmos parecer uma boa opção para resolver problemas específicos, uma busca automática mais genérica seria uma grande contribuição

para resolver problemas de grande dimensionalidade. O FSS, desenvolvido recentemente pelo grupo de pesquisa em Computação Inteligente da Universidade de Pernambuco, foi proposto como uma opção valiosa para buscas em espaços multidimensionais e não-estruturados.

Mais da metade das espécies de peixes formam cardumes em algum momento de suas vidas e este fenômeno apresenta algumas vantagens: proteção mútua contra predadores, sinergia para executar tarefas coletivamente, aumento das chances de localizar alimento e facilidade para reprodução.

A proteção mútua reduz a chance de um peixe ser capturado por predadores e a sinergia para executar tarefas refere-se à capacidade de comunicação entre os peixes para alcançar objetivos coletivos, como localizar comida, por exemplo. Este comportamento sinérgico pode ser caracterizado em pelo menos dois níveis: de acordo com reações comportamentais, onde não necessariamente implicam na melhora de sua posição em relação a vizinhos imediatos e de acordo com reações de curto prazo com a intenção de modificar a posição de um peixe em relação a seus vizinhos imediatos.

Essa estratégia de sobrevivência dos peixes foi a inspiração para a criação do algoritmo FSS, que propõe realizar buscas nas diversas dimensões de um espaço usando coletividade e metas comuns entre os seus diversos agentes. Basicamente, o FSS é composto por vários operadores que juntos exercem um comportamento inteligente na busca da solução. Nas próximas seções estaremos elucidando os conceitos referentes ao FSS, bem como, exemplos, estudos comparativos e variações do uso da técnica em problemas de otimização.

1.2 Visão Geral

Conforme já mencionado, o FSS é um algoritmo de busca baseado em cardume, desenvolvido para resolver problemas multidimensionais e de difícil resolução. Alguns conceitos relacionados a cardumes reais foram adaptados para essa abordagem: o aquário pode ser considerado o espaço de busca, este contém alimentos, que são regiões que podem conter boas soluções para o problema e estas soluções candidatas são representadas pelos peixes.

A busca no FSS é conduzida por uma população de entidades de memória limitada, os peixes. O peso do peixe representa o acúmulo da porção de alimento que ele recebeu ao longo da execução do algoritmo e pode ser interpretado como sua memória acerca de seu próprio processo de busca. Esta memória intrínseca de sucesso é a principal característica da metáfora do FSS, em outras palavras, o peso do peixe é um indicativo de sucesso e nos diz quão próximo ele está da solução do problema. Esta propriedade é muito interessante pois, em oposição ao PSO, elimina-se a necessidade de manter um registro das melhores posições visitadas por todos os indivíduos, suas velocidades e outras variáveis competitivas. Outro grande recurso do FSS é a ideia de evolução através da combinação da movimentação do cardume, ou seja, o FSS é dotado de operadores que avaliam, em tempo real, o sucesso dos peixes. Definindo assim, uma otimização de comportamento durante o processo de busca de solução.

O FSS possui quatro operadores: movimento individual, alimentação, movimento coletivo instintivo e movimento coletivo volitivo. Esses operadores são os responsáveis pelo direcionamento da busca, representada pela natação dos peixes, e influenciarão diretamente no resultado.

Com o intuito de melhorar a performance de busca de soluções em espaços multidimensionais, os autores estabeleceram uma série de princípios para o correto funcionamento do FSS, são eles:

- (i) Os peixes são agentes simples;
- (ii) A memória do sistema está distribuída em cada indivíduo, representada pelo seu peso;
- (iii) Computação nos arredores do cardume;
- (iv) Baixa comunicação entre agente vizinhos;
- (v) Mínima centralização de controle possível (preferencialmente nenhuma);
- (vi) Geração de diversidade entre indivíduos.

Diante dos princípios enumerados acima, faremos um breve comentário a respeito de como os mesmos influem na performance de busca do algoritmo: (i) reduz significativamente o custo computacional da busca, devido a simplicidade do mesmo; (ii) permite o aprendizado adaptativo, pois a memória está distribuída no cardume; (iii), (iv), (v), mantém o custo dos cálculos baixo, do ponto de vista computacional, permitindo o compartilhamento de conhecimento e acelerando a busca devido a diferenciação dos indivíduos. Com base nesses enunciados, os autores acreditam na potencialidade do FSS para a resolução de problemas multimodais em relação a abordagens com o PSO.

1.3 Operadores

Após o estabelecimento dos conceitos enunciados anteriormente, podemos prosseguir com nossa abordagem dos dois operadores que compõem as principais rotinas do algoritmo. Para entender esses operadores, alguns conceitos precisam ser definidos.

O conceito de "comida" está relacionado com a função de interesse (a função que será otimizada no processo), como exemplo, em um problema de minimização a quantidade numa região é inversamente proporcional a função de avaliação da região. O "aquário" é definido como a região delimitada no espaço de busca onde o peixe pode ser posicionado.

Os operadores são agrupados do mesmo modo que eles são observados em um cardume real. São eles:

- Alimentação ("comida"): metáfora utilizada para indicar ao peixe quais regiões do aquário são boas candidatas para o processo de busca;

- Movimentação ("nado"): composto de operadores que são responsáveis em guiar a busca através de subespaços do aquário que são percorridos coletivamente por todos os peixes, direcionando a busca em largura e a busca em profundidade.

1.3.1 Operador de Alimentação

Como em situações reais, os peixes do FSS são atraídos pela distribuição de comida. Apesar do cardume apresentar um movimento organizado, um peixe pode mover-se de forma independente caso o mesmo esteja mais próximo a uma grande concentração de comida.

Com isso, cada peixe pode ganhar ou perder peso, dependendo de seu sucesso ou falha na busca por comida. Ou seja, o peso do peixe é uma metáfora para quantificar o sucesso do processo de busca de um peixe como um todo. Quanto maior seu peso, maior a probabilidade desse peixe estar em uma região potencialmente boa no espaço de busca.

Foi proposto que a variação do peso do peixe seja proporcional a diferença normalizada entre a avaliação da função de aptidão da posição do peixe anterior e do peixe atual em relação a concentração de comida desses locais. A avaliação da concentração de "comida" considera todas as dimensões do problema e é atualizado de acordo com (1.1):

$$W_i(t+1) = W_i(t) + \frac{\Delta f_i}{\max(\Delta f)}, \quad (1.1)$$

onde $W_i(t)$ é o peso do peixe i , Δf_i é a diferença da aptidão entre a posição atual e a nova posição para o peixe i , $\max(\Delta f)$ é uma função que obtém o maior valor da diferença Δf para todos os peixes do cardume. Note que $\Delta f_i = 0$ para peixes cujo execução do movimento individual não resultou em melhora de sua aptidão para a iteração atual.

Algumas medidas adicionais foram incluídas para assegurar uma convergência rápida em regiões mais ricas do aquário:

- A variação do peso do peixe é avaliada a cada iteração do FSS;
- Um parâmetro adicional chamado de escala do peso (W_{scale}) foi criado e define o peso limite que um peixe pode alcançar. O peso de um peixe só pode variar entre "1" e W_{scale} ;
- Na inicialização do cardume, todos os peixes têm o peso de $\frac{W_{scale}}{2}$.

1.3.2 Operadores de Nado

É sabido que na natureza, por instinto, os animais reagem a estímulos do meio ambiente ou a falta deles. No FSS, o nado é considerado uma forma elaborada de manter a sobrevivência. O movimento do cardume é resultado de uma combinação de três diferentes causas.

Para o peixe, nadar está diretamente relacionado a todos os importantes comportamentos individuais e coletivos do cardume, como alimentação, reprodução, fuga de predadores, mudança para posições mais seguras do aquário ou simplesmente ficar agrupado.

Diante do cenário de motivações para o nado apresentado, os peixes apresentam as seguintes classes de movimento: individual, coletivo-instintivo e coletivo-volitivo. Abaixo seguem informações adicionais sobre como cada um desses movimentos é realizado.

1.3.3 Operador de Movimentação Individual

O movimento individual ocorre para todos os peixes a cada iteração do algoritmo do FSS e é uma reação comportamental que contribui tanto para os peixes individualmente como para o cardume como um todo. Cada peixe calcula aleatoriamente uma nova posição em sua vizinhança e avalia essa nova posição usando a função objetivo. As posições candidatas estão no espaço delimitado pelo aquário, com isso, cada peixe avalia se a densidade de comida na próxima posição é melhor ou não do que na posição corrente. Ou seja, o peixe somente se move para a nova posição calculada se este movimento acarretar uma melhora na sua aptidão. Caso a futura posição não seja melhor, o peixe permanece em sua posição atual, no entanto, poderá mudar devido ao movimento coletivo do cardume, pois a informação adquirida pelo movimento individual que resultou em melhora para um determinado peixe será usada no próximo operador de movimento coletivo instintivo com o objetivo de melhorar o cardume como um todo.

A posição-candidata é determinada adicionando-se a cada dimensão da posição atual um valor aleatório distribuído uniformemente entre $[-1,1]$ multiplicado por um passo como mostrado em (1.2).

$$n_i(t) = x_i(t) + rand(-1, 1) step_{ind}, \quad (1.2)$$

onde x_i é a posição atual do peixe na dimensão i , n_i é a nova posição do peixe calculada para a dimensão i , e $rand()$ é a função que retorna um número randômico uniformemente distribuído em um intervalo para cada dimensão i . $step_{ind}$ é dado como uma porcentagem do espaço de busca e decai linearmente com as iterações com o objetivo de balancear habilidade de exploração do algoritmo. O passo do peixe é atualizado de acordo com (1.3).

$$step_{ind}(t+1) = step_{ind}(t) - \frac{(step_{ind\ initial} - step_{ind\ final})}{iterations}, \quad (1.3)$$

onde $iterations$ corresponde ao número de iterações adotadas, $step_{ind\ initial}$ e $step_{ind\ final}$ são respectivamente os tamanhos inicial e final do passo a ser dado por um peixe em seu movimento individual, onde o $step_{ind\ initial}$ deve ser maior que o $step_{ind\ final}$. Isto garante que o algoritmo seja capaz de fazer buscas em profundidade quando o peixe estiver mais próximo do alimento.

1.3.4 Operador de Movimento Coletivo Instintivo

Após o movimento individual de todos os peixes, onde $\Delta \vec{x}_i \neq 0$, a média dos pesos individuais é calculada baseada na função de avaliação de cada peixe do cardume. Isto significa que cada peixe influi no movimento do cardume como um todo, ou seja, a direção resultante (\vec{I}) do cardume é dada pelos peixes que estão com os maiores pesos e é calculada segundo (1.4). Em seguida, todos os peixes no cardume têm suas posições atualizadas segundo (1.5).

$$\vec{I}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta \vec{x}_i \Delta f_i}{\sum_{i=1}^N \Delta f_i}, \quad (1.4)$$

$$\vec{x}_i(t+1) = \vec{x}_i(t) + \vec{I}(t). \quad (1.5)$$

1.3.5 Operador de Movimento Coletivo Volitivo

Tendo em vista que os movimentos dos peixes foram ajustados individualmente e coletivamente, baseados nos peixes que obtiveram mais sucesso na busca por comida, ainda se faz necessário outro fator de movimento do cardume: o movimento coletivo volitivo. Este movimento é derivado da avaliação do sucesso da busca do cardume como um todo.

O comportamento do movimento influi diretamente na convergência da solução, ou seja, se o cardume aumentou de peso, o processo de busca como um todo está sendo bem sucedido. Assim, o raio do cardume deve contrair. Caso contrário, o raio deve aumentar e permitir que o cardume saia de mínimos locais e descubra melhores regiões do que a atualmente explorada pelo cardume. Este operador é responsável por balancear a capacidade de busca em amplitude e busca em profundidade.

A dilatação ou contração do cardume é aplicada como um pequeno ajuste para cada posição do peixe em respeito ao baricentro do cardume. O cálculo do baricentro do cardume é obtido por meio de uma média da posição de todos os peixes ponderada com os respectivos pesos dos peixes no cardume, como mostrado em (1.6).

$$\vec{B}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{x}_i W_i(t)}{\sum_{i=1}^N W_i(t)} \quad (1.6)$$

O cálculo da dilatação ou contração do raio do cardume em relação ao seu baricentro é dado pela comparação ao peso do cardume entre o ciclo anterior e o ciclo atual do FSS. Caso o peso do cardume aumente em relação à iteração anterior, os peixes devem atualizar suas posições de acordo com (1.7). Se o peso do cardume diminuir, todos os peixes devem atualizar suas posições usando (1.8).

$$\vec{x}(t+1) = \vec{x}(t) - \text{step}_{vol} \text{rand}(0,1) \frac{(\vec{x}(t) - \vec{B}(t))}{\text{distance}(\vec{x}(t), \vec{B}(t))}, \quad (1.7)$$

$$\vec{x}(t+1) = \vec{x}(t) + step_{vol} rand(0,1) \frac{(\vec{x}(t) - \vec{B}(t))}{distance(\vec{x}(t), \vec{B}(t))}, \quad (1.8)$$

onde $distance()$ é uma função que calcula a distância Euclidiana entre o baricentro e a posição atual do peixe, $step_{vol}$ é o tamanho do passo usado para controlar o deslocamento do peixe de ou para o baricentro.

O $step_{vol}$ deve estar na mesma ordem de grandeza do passo usado no movimento individual, $step_{ind}$. Devido ao fato de $step_{vol}$ ser multiplicado por uma distribuição uniforme no intervalo $[0,1]$ com valor esperado igual a 0,5, propõe-se que o valor de $step_{vol}$ seja o dobro do valor de $step_{ind}$.

1.4 Dinâmica e Critérios de Parada

O FSS é inicializado aleatoriamente, gerando um cardume com parâmetros que ditam o tamanho dos peixes e as suas posições iniciais. A principal proposta do algoritmo é que os agentes trabalhem de forma independente uns dos outros. O processo de busca é colocado em um loop, onde os operadores apresentados anteriormente serão processados até que pelo menos uma condição de parada seja satisfeita. Atualmente as condições de parada do FSS são: limitação do número de ciclos, limite de tempo, o raio máximo do cardume, cardume de peso mínimo e número máximo de peixes.

Segue abaixo o pseudo-código para o algoritmo Fish School Search. Na etapa de inicialização, cada peixe no enxame tem o seu peso inicializado com o valor $\frac{W_{scale}}{2}$ e sua posição em cada dimensão inicializada aleatoriamente no espaço de busca.

Algoritmo 1: Pseudo-código do FSS

Inicializa aleatoriamente a posição de todos os peixes

para Cada peixe **faça**

Avalia sua aptidão;

fim

enquanto Critério de parada não for alcançado **faça**

para Cada peixe **faça**

Executa movimento individual;

Alimenta os peixes;

fim

para Cada peixe **faça**

Executa movimento instintivo

fim

Calcula o baricentro;

para Cada peixe **faça**

Executa movimento volitivo

fim

Atualiza o tamanho do passo
fim

1.5 Exemplo

TBD

Experimentos e Resultados

TBD

1.5.1 Estudo Comparativo

TBD

1.6 Variações do FSS

TBD

dFSS

O dFSS, *Density based Fish School Search*, é uma adaptação do FSS tradicional que tem como objetivo localizar simultaneamente múltiplas soluções (globais ou locais) de Problemas de Otimização de Função Multimodal (POFMM). Para essa nova abordagem, foram criados dois novos operadores: Operador de Memória ou Afinidade e Operador de Divisão do Cardume. Adicionalmente os Operadores de Movimento Individual, de Alimentação, Coletivo Instintivo e Coletivo Volitivo foram modificados com o objetivo de: (1) permitir a divisão do cardume em subcardumes e (2) preservar os subcardumes criados nas regiões correspondentes aos seus respectivos valores ótimos. O dFSS, ao final do processo de busca, oferece como resposta ao usuário o conjunto de todos os valores ótimos encontrados para um dado POFMM.

1.6.1 Discussão e Conclusões

O FSS apresenta-se como um algoritmo de busca bastante promissor para lidar com problemas multimodais e de várias dimensões.

Apesar de alguns trabalhos anteriores possuírem títulos e motivações similares, a abordagem do FSS diferencia-se por considerar operadores inspirados na natureza para guiar o processo de busca. Além disso, o FSS apresenta um equilíbrio interessante entre suas habilidades de exploração em amplitude e em profundidade, rápida auto-adaptação quando em mínimos locais e em se auto-regular de acordo com a granularidade da busca.

É provável que o FSS receberá um grande número de extensões em um futuro próximo, ou seja, as correntes marítimas, mananciais, predadores, recifes, corais e outras barreiras para a progressão dos cardumes; todas elas são situações que devem ser evitadas ou aproveitadas.

No geral, estas extensões podem permitir ao FSS lidar com o ruído, atratores, repulsores e regiões proibidas. Finalmente, a reprodução é uma outra característica bio-inspirada, que deve ser considerada em um futuro próximo.