

Coordenação de Veículos Aéreos não Tripulados e Redes de Sensores Sem Fio para Aplicações de Monitoramento

Tales Heimfarth¹, Jesimar S. Arantes¹, Ariel F. F. Marques¹,
Renato R. R. de Oliveira¹, Edison Pignaton de Freitas²

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Caixa Postal 3037 – Lavras – MG – Brasil
tales@dcc.ufla.br, jesimar@bsi.ufla.br, amarques@sistemas.ufla.br
renatorro@comp.ufla.br

²Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade de Brasília
Brasília – DF – Brasil
edisonpignaton@unb.br

Resumo. Este artigo apresenta um melhoramento no algoritmo bio-inspirado de coordenação de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e nós sensores terrestres para aplicações de monitoramento. Nessas aplicações, nós sensores são distribuídos em uma área de interesse e têm a tarefa de monitorá-la. Quando um evento de interesse é detectado, um alarme é gerado e este deve ser entregue ao VANT para tratá-lo. O melhoramento consiste em aumentar a extensão da trilha de feromônio com um mecanismo de retropropagação.

1. Introdução

A combinação de redes de sensores sem fio (RSSFs) com os veículos aéreos não tripulados (VANTs) permite a construção de sistemas de monitoramento avançados [Xiao and Zhang 2009]. Para isso, no presente trabalho, utiliza-se a seguinte estratégia: nós estáticos de baixo custo fazem a detecção inicial de eventos. A detecção de um determinado evento dispara um alarme que é responsável por alocar um VANT para a análise mais detalhada do mesmo. Esse VANT desloca-se até a área de interesse e monitora o evento com seus sensores de alto custo. Com essa estratégia, um número reduzido de sensores móveis pode ser utilizado, reduzindo o custo total do sistema, porém fornecendo dados semanticamente ricos.

Este trabalho apresenta um método de entrega de alarmes emitidos pelos nós móveis para os VANTs, de forma a possibilitar a cooperação necessária para um monitoramento eficiente. Essa abordagem é uma extensão dos trabalhos [Freitas et al. 2010, Freitas et al. 2011], onde uma técnica de retropropagação é acrescentada.

2. Cenário da Aplicação

No cenário considerado, dois tipos de nós são utilizados: nó sensor estático terrestre e nó móvel aéreo (VANT). Os nós estáticos são espalhados na área de cobertura, chamada de área da missão, de acordo com distribuição de probabilidade uniforme. Nós terrestres realizam medições simples, como diferença no campo magnético, nível de ruído, etc, as quais podem indicar a ocorrência de eventos. Um ou mais VANTs sobrevoam a área da missão, equipados com sensores sofisticados, como câmeras de luz visível e infravermelho. Os nós sensores comunicam-se uns com os outros através da rede sem fio.

O comportamento do sistema é assim definido: nós sensores são configurados para detectar fenômenos indicando possíveis eventos de interesse. Quando uma medida ultrapassa um limiar, um alarme é criado e deve ser mandado para o VANT. Alarmes são pacotes unitários contendo *timestamp*, a posição do emissor e o tipo do evento. O problema tratado no presente trabalho consiste em como esses alarmes serão encaminhados para um VANT presente no sistema. Esse VANT realiza voo de monitoramento de regiões da rede. Quando um alarme é emitido, a posição atual do VANT é desconhecida pelos nós sensores. A técnica descrita no artigo é responsável por realizar o roteamento do alarme para o VANT. Com a posição do emissor, após receber o alarme, o VANT pode se deslocar para região de ocorrência e realizar um monitoramento mais elaborado.

3. Algoritmo de roteamento de alarme para VANT

Na ocorrência da detecção de um evento, um alarme deve ser roteado até o VANT. Para guiar o alarme, trilhas de feromônio são utilizadas. Enquanto o veículo aéreo não está tratando nenhum evento em específico, durante seu voo de observação, ele deixa marcas de feromônio sobre os sensores que ele sobrevoa, utilizando para isso mensagens de *beacon* periódicas. Assim, uma trilha de feromônio se formará, com um gradiente crescente em direção ao VANT. Essa etapa é chamada de *mecanismo de distribuição de feromônio*.

No momento que um evento acontece, um alarme é criado e deve ser roteado através da rede como já mencionado anteriormente. Quando o nó que contém o alarme participa do rastro de feromônio, o alarme é retransmitido em *broadcast* e todos os nós com nível de feromônio maior que o emissor aceitam o mesmo. Nós com nível menor de feromônio descartam o alarme. Assim que um alarme alcança uma trilha de feromônio, cópias serão retransmitidas na direção de aumento do gradiente de feromônio, até o VANT. Essa etapa do algoritmo é chamada de *mecanismo de direcionamento na trilha*.

No caso da inexistência de feromônio em um nó que contém o alarme, este deve circular por nós da rede até achar um rastro. Essa situação acontece com maior frequência na fase inicial de operação do sistema. Diferentes estratégias podem ser utilizadas para a procura: caminhada aleatória, caminhada em uma determinada direção (reta), etc. Essa etapa é chamada de *mecanismo de busca de trilha*.

A inovação do presente artigo sobre os anteriores [Freitas et al. 2010, Freitas et al. 2011], é uma etapa extra que tem como objetivo aumentar a área de feromônio afim de reduzir o tempo que o sistema gasta com o *mecanismo de busca de trilha*. Neste mecanismo, durante a procura da trilha, cada nó sensor que recebe o alarme armazena o identificador do nó anterior (que o enviou). Assim, o caminho percorrido durante a busca pela trilha é armazenado na rede. Com um aumento da trilha de feromônio presente no sistema, a probabilidade de buscas longas por uma trilha diminui. Essa parte do algoritmo é chamada de *mecanismo de retropropagação*.

A ideia básica da retropropagação é percorrer esse caminho armazenado na ordem inversa (do VANT para o nó sensor emissor), distribuindo feromônio nesse processo. Durante o processo de retropropagação, cada *hop* visitado pelo agente de retropropagação recebe uma quantidade de feromônio do nó anterior menos um *delta*, formando um gradiente direcionado ao VANT. Para evitar-se trilhas de feromônio muito extensas, um limiar é utilizado para terminar a retropropagação: assim que o nível de feromônio depositado pelo agente está abaixo de um valor, o processo é finalizado.

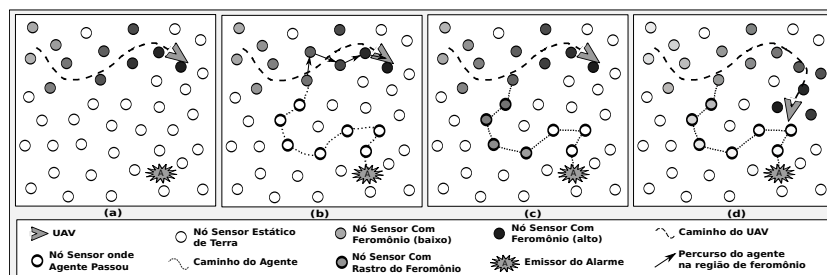


Figura 1. Exemplo de roteamento de alarme para VANT.

Um exemplo do algoritmo de roteamento é apresentado na Figura 1. A Figura 1a apresenta um mecanismo de distribuição de feromônio. A tonalidade de cinza de cada nó corresponde a taxa de feromônio presente. A Figura 1b apresenta o mecanismo de busca de trilha e, após o seu encontro, o mecanismo de direcionamento na trilha. Nessa figura o alarme é entregue ao VANT. Na Figura 1c, o mecanismo de retropropagação é exemplificado: parte dos nós visitados durante a procura da trilha recebem feromônio, fazendo parte agora do rastro do mesmo. Na Figura 1d, o VANT se desloca em direção ao nó que detectou o evento, para realizar o monitoramento com sensores de maior precisão.

4. Resultados

Experimentos foram realizados utilizando-se do simulador *GrubiX*, uma extensão do simulador *ShoX* [Lessmann et al. 2008]. Os cenários utilizados nas simulações foram dois. Um cenário foi baseado em um ambiente onde os intrusos ficam espalhados aleatoriamente, chamado aqui de *Intrusos Dispersos (I.D.)*. Já o segundo cenário, baseia-se em um ambiente no qual os intrusos estão concentrados em uma região do ambiente. Este cenário foi inspirado em um ambiente onde os animais habitam em bandos, chamados aqui de *Intrusos Agrupados (I.A.)*. As configurações das simulações encontram-se na tabela 1. Para cada configuração foram feitas 50 execuções.

Configurações da Rede			
Quantidade de nós	500	Quantidade de VANTs	1
Área monitorada	350m × 350m	Raio de alcance do rádio	30m
Conectividade da rede	99,56%	Disposição dos nós	Aleatória
Quantidade de Intrusos	{2, 4, 6, ..., 16}	Tipos de ambientes	I.D. e I.A.

Tabela 1. Configurações das simulações executadas.

A Figura 2 (a) apresenta a quantidade de intrusos em função do número médio de *hops* por intruso. Pode-se notar que o sistema escala com a quantidade de intrusos. Pode-se também verificar que a retropropagação é mais efetiva para I.A., pois quando os alarmes acontecem em posições próximas, a probabilidade de achar-se um rastro de feromônio formado na retropropagação aumenta. O gráfico da Figura 2 (b) mostra a quantidade de intrusos em função da taxa de atendimento médio por intruso. Esse atendimento descreve o percentual de intrusos processados durante o percurso do VANT na rede. Esse gráfico apresenta também um comportamento escalável, portanto a taxa de atendimento não depende da quantidade de intrusos presente na rede.

Analisando os resultados vê-se um pequeno ganho (2%) na taxa de atendimento médio quando se trata eventos disparados por I.A. Percebe-se também um pequeno ganho (4,4%) no número médio de *hops* em eventos disparados por I.A. Esses ganhos devem-se a proximidade de um novo alarme da trilha formada pela retropropagação em alarme

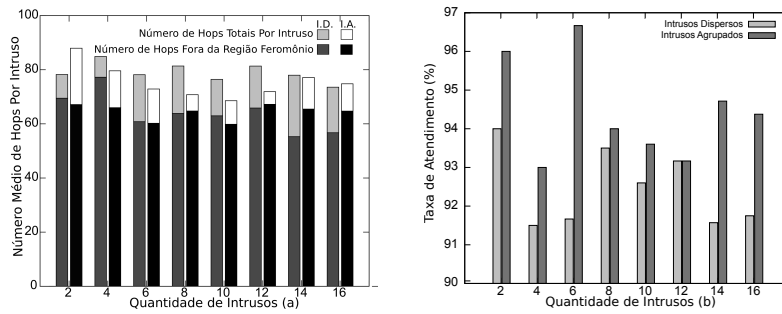


Figura 2. Resultado geral dos experimentos.

anterior. Ao analisar as taxas de atendimento dos intrusos, vê-se que não são atendidos 100% dos mesmos, isto ocorre devido a desconectividades da rede.

5. Conclusão

O presente trabalho apresenta uma técnica de coordenação de VANT e RSSF para aplicações de monitoramento. Para efetuar o monitoramento da rede foi utilizada uma técnica bio-inspirada (feromônio digital). Um VANT patrulha a rede e, ao mesmo tempo, distribui feromônio nos nós sensores dentro do seu alcance. Na ocorrência de algum evento detectado pelos nós sensores, um agente contendo o alarme é enviado a procura do VANT. Essa procura baseia-se na trilha de feromônio, que é ampliada utilizando para isso o método de retropropagação apresentado. Dessa forma, o algoritmo apresenta característica adaptativa, uma vez que a ocorrência de eventos altera os níveis de feromônio na rede, alterando de forma implícita o comportamento futuro da rede. Assim, áreas com um grande número de alarmes recebem uma grande quantidade de feromônio, sendo que alarmes subsequentes na mesma região são atendidos mais rapidamente.

Os experimentos mostraram que a quantidade de intrusos é escalável em relação ao número médio de *hops* por intruso. Com o aumento da quantidade de intrusos, a taxa de atendimento médio mantém-se alta. Pretende-se fazer experimentos com múltiplos VANTs, incluindo negociação para a escolha do mais apropriado para cada evento.

Agradecimento: Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesq.do Estado de MG.

Referências

- Freitas, E., Heimfarth, T., Netto, I., Pereira, C., Ferreira, A., Wagner, F., and Larsson, T. (2011). Handling failures of static sensor nodes in wireless sensor network by use of mobile sensors. In *Advanced Information Networking and Applications (WAINA), 2011 IEEE Workshops of International Conference on*, pages 127–134.
- Freitas, E., Heimfarth, T., Pereira, C., Ferreira, A., Wagner, F., and Larsson, T. (2010). Experimental analysis of coordination strategies to support wireless sensor networks composed by static ground sensors and uav-carried sensors. In *Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA), 2010 International Symposium*, pages 152–161.
- Lessmann, J., Heimfarth, T., and Janacik, P. (2008). Shox: An easy to use simulation platform for wireless networks. In *UKSIM '08: Proceedings of the Tenth International Conference on Computer Modeling and Simulation*, pages 410–415.
- Xiao, Y. and Zhang, Y. (2009). Surveillance and tracking system with collaboration of robots, sensor nodes, and rfid tags. In *Computer Communications and Networks, 2009. ICCCN 2009. Proceedings of 18th International Conference on*, pages 1–6.