

Política Ótima de Controle Para o Problema de Conservação de Energia em Nós de Redes de Sensores Sem Fio

Sóstenes P. Gomes¹, Solon V. de Carvalho², Rita de Cássia M. Rodrigues²

¹Programa de Mestrado em Computação Aplicada – CAP/LAC,

²Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – CAP/LAC,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE,
São José dos Campos – SP – Brazil

{sostenes.gomes,solon,rita}@lac.inpe.br

***Abstract.** This work considers the problem of energy conservation in a single node in a wireless sensor network, by changing your status from active to sleep, for the sake of consumption reduction. However, the inactivity period of the node may compromise the network performance. In this context, is proposed an extension to the behavior model of a single sensor of Chiasserini [Chiasserini e Garetto 2004] to a Discrete Time Markov Decision Process model, that enable to assure a good balancing between energy consumption and sensor inactivity.*

***Resumo.** Neste trabalho considera-se o problema de conservação de energia em um nó de uma rede de sensores sem fio, que pode mudar seu estado de ativo para desligado, em prol da redução do consumo desse recurso. Porém, leva-se em conta que um nó em período de inatividade pode comprometer a performance de toda a rede, reduzindo opções de roteamento de pacotes e diminuindo a cobertura da rede em geral. Neste contexto é proposta a extensão do modelo de um único sensor de Chiasserini [Chiasserini e Garetto 2004] a um Modelo Markoviano de Decisão em Tempo Discreto, com o intuito de assegurar um balanceamento entre consumo de energia e inatividade do sensor.*

1. Introdução

Redes de sensores sem fio têm sido identificadas como uma das tecnologias mais inovadoras e importantes do século 21. O avanço e redução do preço da tecnologia utilizada em dispositivos computacionais embarcados, com comunicação sem fio, têm fornecido oportunidades de aplicações sem precedentes. Hoje, micro-sensores estruturados em rede são empregados em diversas áreas, como sistemas de defesa, instrumentação e monitoramento de casas, cidades e do meio-ambiente.

Apesar de a tecnologia para redes de sensores sem fio ser relativamente conhecida, ela ainda não está completamente consolidada, principalmente em redes *ad hoc*, pois diversos problemas continuam sem boas soluções. Os principais desafios encontrados na literatura ocorrem em duas áreas chaves: consumo de energia e conectividade da rede. O primeiro problema, que é o foco deste trabalho, é o mais

abordado e possui maior prioridade, pois qualquer atividade exercida por um sensor (sensoriamento, envio ou recepção de dados, ativação de dispositivos) demanda energia, fazendo com este tenha seu tempo de vida útil restrito à duração deste recurso, que em geral é limitado. Além disso, os locais onde os sensores operam podem ser inóspitos ou de difícil acesso, não possibilitando a troca da fonte de energia. Destarte, a conservação de energia é um elemento chave a ser levado em consideração em projetos de redes de sensores sem fio, e torna-se importante o desenvolvimento de métodos e modelos que forneçam boas soluções, e possibilitem o aumento da vida útil de seus nós.

2. Modelo Proposto

Este estudo tem como base o modelo markoviano a tempo discreto de um único nó em uma rede de sensores sem fio, proposto por Chiasserini em [Chiasserini e Garetto 2004], onde os sensores podem estar em um estado ativo (A) ou desligado (S). Assume-se que os tempos em que o sensor permanece em A e em S, expressos em *slots* de tempo, são geometricamente distribuídos. Ressalta-se ainda que o estado A é subdividido em dois estados: R e N. Em R o nó pode receber, transmitir e gerar dados. Já no estado N o nó pode apenas transmiti-los. O sensor entra no estado N quando o tempo da fase A termina e o nó ainda possui dados armazenados no *buffer*, que precisa estar completamente vazio antes de entrar em S. Na Figura 1 apresenta-se o diagrama de transição de estados da modelo de Chiasserini.

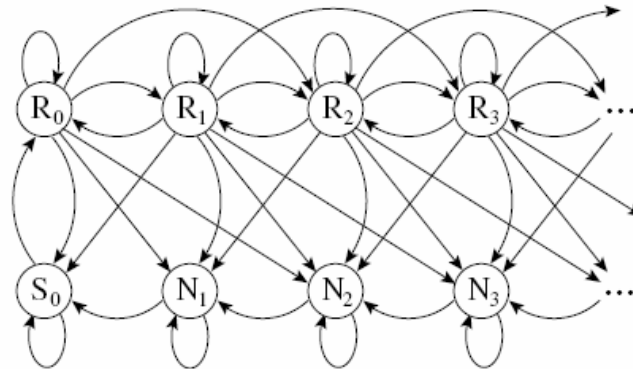


Figura 1. Diagrama de transição de estados do modelo de um sensor, com os índices numéricos representando a quantidade de unidades de dados armazenados no *buffer* em cada passo de tempo.

Neste modelo, também é levada em consideração a possibilidade de não haver nenhum nó adjacente ao sensor que está no estado R. Para representar a dinâmica dos nós adjacentes, é adicionada ao modelo a possibilidade de ocorrência de um entre dois estados: W e F, onde W representa o desligamento de todos os nós adjacentes e F a existência de ao menos um nó no estado R.

No presente trabalho é proposta a utilização de Processos Markovianos de Decisão para modelar este sistema e obter uma política que controle as transições entre os estados A e S, em um horizonte de planejamento finito.

O modelo proposto pode ser descrito através de uma quádrupla (E, A, P, C) . E é um conjunto finito de estados, onde um estado é representado pela tripla (l, k, b) , sendo l

o estado do nó (que pode ser R, N ou S) no momento da observação do sistema no início de cada passo de tempo, k o estado dos sensores adjacentes (W ou F) e b a quantidade de unidades de dados armazenadas no *buffer*. Para cada estado i em E , existe um conjunto de decisões ou ações $A(i)$. As ações são definidas por: 0 = desligar ou manter o nó desligado; e 1 = ligar ou manter o nó ligado. Assim, temos: $A(R, k, b) = A(S, k, b) = \{0, 1\}$ e $A(N, k, b) = \{0\}$. Se no estado i uma ação a é escolhida, na próxima época de decisão, o sistema estará no estado j com probabilidade $p_{ij}(a)$, definida pela função de probabilidades P , onde $\sum_{j \in E} p_{ij}(a) = 1, i \in E.$, e um custo $C_i(a)$ é incorrido. Definem-se então os custos: D , custo de o nó estar acordado em um passo de tempo; M , custo de o nó estar desligado em um passo de tempo; e c , custo de se manter uma unidade de dado armazenada no *buffer*. Os custos D e c têm a finalidade de representar o consumo de energia, e assim, a função de custo nos estados em que o nó está ligado, é dada por: $C_i(1) = D + cb, i \in E$. Como o objetivo é minimizar o consumo de energia, a melhor ação seria manter o sensor desligado sempre, o que é indesejável, pois é necessário que ele esteja ativo para manter a cobertura da rede, coletar dados e possibilitar rotas. Sendo assim, define-se M como uma penalidade incidida em cada passo que o nó está desligado.

Dados os parâmetros do modelo, deseja-se determinar uma regra ou política que prescreva uma ação a ser executada em cada época de decisão, para todo estado em E , tal que o custo total esperado até o fim do horizonte de planejamento seja mínimo. Para o modelo proposto, é sempre possível determinar essa política ótima (*política estacionária*) [Puterman 1994], já que o espaço de estados e o conjunto de ações são finitos. Para obter uma política estacionária, utiliza-se de técnicas de Programação Dinâmica, como o Algoritmo de Iteração de Valores.

3. Considerações Finais

Neste trabalho é proposto um Modelo Markoviano de Decisão em Tempo Discreto, visando obter uma política de controle ótima das transições entre seus estados ativo e desligado, com o intuito de assegurar um balanceamento entre consumo de energia e inatividade. Sob a política ótima, pode-se obter a quantidade máxima de dados armazenados com a qual o sensor pode permanecer ligado, de modo a manter este balanceamento. Extensões para este trabalho incluem aplicações de Controle de Topologia, isto é, investigar a relação existente entre consumo de energia dos nós e a qualidade da conectividade e cobertura da rede, visando otimizar o tempo de vida útil destas características.

4. References

- Chiasserini, C.-F. and Garetto, M. (2004) "Modeling The Performance of Wireless Sensor Networks". IEEE INFOCOM 2004.
- Puterman, M.L. (1994) "Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming". John Wiley & Sons, Inc., New York.