

ALGORITMOS DE ORDENAÇÃO: UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO E CONSUMO ENERGÉTICO PARA PLATAFORMA ANDROID

VIEIRA, Andrus Aires¹; DEBASTIANI, Daniel Santin¹; AGOSTNI, Luciano Volcan²; MARQUES, Felipe Sousa²; MATTOS, Júlio C. B.²

¹ Universidade Federal de Pelotas, Ciência da Computação, PET Computação

² Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico
aavieira, dsdebastiani, agostini, felipem, julius {@inf.ufpel.edu.br}

1 INTRODUÇÃO

Os algoritmos de ordenação constituem bons exemplos de como resolver problemas utilizando computadores. As técnicas de ordenação permitem apresentar um conjunto amplo de algoritmos distintos para resolver uma mesma tarefa. Dependendo da aplicação, cada algoritmo considerado possui uma vantagem particular sobre os outros (ZIVIANI, 2004). A operação de ordenação é fundamental em muitos programas que utilizam como uma etapa intermediária de sua execução e, como resultado, um grande número de algoritmos de ordenação tem sido desenvolvido.

Os sistemas embarcados são sistemas dedicados que possuem uma funcionalidade restrita para atender uma tarefa específica em sistemas maiores nos quais estão inseridos (MARWEDEL, 2006). Devido à variedade de aplicações nas quais os sistemas embarcados estão envolvidos, como também ao grande número de funcionalidades em um único dispositivo, existem diferentes necessidades de computação para cada tipo de aplicação. Por exemplo, os telefones celulares de última geração reúnem todas as funções de um telefone, de um mini-computador com acesso a Internet, reprodução de áudio e vídeo, câmera fotográfica, conexão de dados via infravermelho, GPS, entre outras. Assim, os requisitos dos sistemas computacionais envolvidos são os mais diversos. Pode-se afirmar que os sistemas embarcados são naturalmente heterogêneos, pois são constituídos de componentes de hardware (analógico e digital) e de software (MATTOS, 2009).

Atualmente *smartphones* e *tablets* vêm se destacando dentre os sistemas embarcados. A previsão é que até 2013 dispositivos móveis como smartphones e tablets vão ultrapassar os PCs como os dispositivos mais utilizados para acesso à internet (GARTNER, 2012). Neste nicho de dispositivos, a plataforma Android lidera o mercado. Em smartphones pesquisas demonstram que os aparelhos com o sistema operacional do Google já representam 59% do mercado, representando mais da metade dos aparelhos do mundo (MOTOROLA, 2012).

O Android é uma plataforma de desenvolvimento para aplicativos móveis baseada em um sistema operacional Linux (LECHETA, 2010), sendo um projeto de código aberto e liderado pela Google. Por ter seu código fonte aberto e pelo tipo de licença a plataforma se torna flexível, permitindo que customizações sejam feitas sem que os fabricantes precisem compartilhar tais alterações. O desenvolvimento de aplicações para Android é facilitado devido ao kit de desenvolvimento que disponibiliza ferramentas e APIs necessárias para o desenvolvimento de aplicações e fornecem fácil integração com diversos recursos físicos disponíveis no aparelho.

Durante o desenvolvimento de aplicações embarcadas se faz necessário à análise de requisitos não funcionais como desempenho, consumo de potência e energia, tendo em vista que estas aplicações são executadas em aparelhos com

bateria. Prolongar a vida útil da bateria em dispositivos móveis é um desafio. Neste contexto, muito pesquisadores têm como objeto de estudo metodologias para otimização e eficiência em energia (KUNDU, 2010) (ZHANG, 2010).

O objetivo deste trabalho é a análise de aplicações embarcadas, mais especificamente diferentes algoritmos de ordenação, na plataforma Android considerando desempenho e consumo de energia e potência. Desta forma, os diferentes algoritmos serão caracterizados e utilizados de acordo com os requisitos de uma aplicação específica.

2 METODOLOGIA (MATERIAL E MÉTODOS)

A complexidade dos dispositivos modernos está crescendo rapidamente, aumentando sua capacidade computacional. Esse aumento na capacidade de processamento tende a aumentar o consumo de energia. Entretanto, esse aumento do consumo é indesejado, pois queremos estender o tempo de vida útil da bateria do dispositivo (KUNDU, 2010).

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionados, implementados e analisados diferentes algoritmos de ordenação para a plataforma Android, a fim de avaliar o impacto das características de cada algoritmo no consumo de energia em dispositivos embarcados. Dentre os algoritmos populares os escolhidos foram: *Merge Sort*, *Heap Sort*, *Counting Sort*, *Bucket Sort*, *TimSort* e o *Insertion Sort* em suas duas versões (iterativa e recursiva).

O *Merge Sort* aproveita a facilidade de fundir listas já ordenadas em uma nova lista de classificação. É um algoritmo que se adapta bem a listas muito grandes, pois sua ordem de crescimento no pior caso é $O(n \log n)$. Já o *Heap Sort* é uma versão muito eficiente de algoritmos de ordenação por seleção e sua execução no pior caso em um tempo $O(n \log n)$.

Ao contrário dos algoritmos citados anteriormente, o *Counting Sort* não é um algoritmo de comparação, ou seja, ele não realiza comparações entre os elementos da lista para determinar o maior elemento. O algoritmo é executado em tempo $O(|S| + n)$.

Insertion sort, ou ordenação por inserção, é um simples algoritmo de ordenação, eficiente quando aplicado a um pequeno número de elementos. O *Insertion Sort* possui a mesma complexidade nas versões iterativa e recursiva, sua complexidade assintótica $O(n^2)$ para pior caso e $O(n)$ para o melhor caso (array já ordenado)

Timsort é um algoritmo de ordenação híbrido derivado do *merge sort* e do *insertion sort*, projetado para ter bom desempenho em vários tipos de dados. Sua complexidade é no melhor caso $O(n)$ e no pior caso $O(n \log n)$.

Para os testes foi utilizado um conjunto de entrada que é formado por 10 arrays (listas) de 200 números inteiros positivos, onde os valores deste conjunto variam entre 0 e 200 aleatoriamente em 8 dos 10 arrays, o nono array está ordenado de forma crescente e o décimo array esta ordenado de forma decrescente, assim finalizando nosso conjunto de entrada. O conjunto de dados usados como entrada é o mesmo para todos os algoritmos. Desta forma estabelecendo uma análise mais precisa sobre o comportamento de cada algoritmo de ordenação.

Para análise do consumo de energia e desempenho foi utilizada a ferramenta PowerTutor. O PowerTutor (ZHANG, 2010) é um sistema de estimativa de consumo de energia em tempo real implementado para smartphones com

plataforma Android. PowerTutor fornece estimativas precisas de consumo de energia em tempo real para os componentes de hardware como CPU, display LCD, GPS, Wi-Fi, áudio e interfaces de rede de celular. Com auxílio desta ferramenta, foram extraídos os *traces* (sequências de informações) que contém informações de potência dissipada em mW (miliwatts) por um intervalo de tempo em segundos.

Todas as análises foram realizadas em um Tablet Coby Kyros modelo MID7016 com seguintes características: Processador ARM 11 Telechips 800 MHz, 256 MB de memória RAM e 4GB Memória Flash para armazenamento de dados e com sistema operacional Android 2.3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da execução dos algoritmos de ordenação em termos de potência dissipada em relação ao tempo de execução em segundos são apresentadas no gráfico da Figura 1.

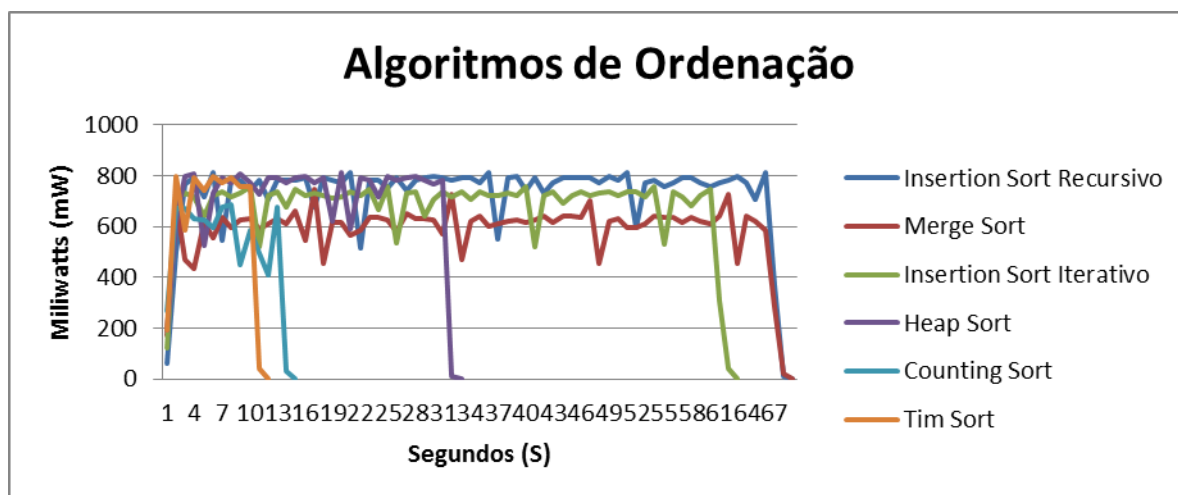


Figura 1. Resultados dos algoritmos de ordenação em termos de potência dissipada em relação ao tempo de execução em segundos.

Analisando o tempo de execução de cada algoritmo, podemos perceber claramente a diferença apresentada pelo comportamento assintótico de cada algoritmo. De acordo com a bibliográfica, os algoritmos com pior desempenho seriam os que apresentam complexidade $O(n^2)$, neste caso, o *Insertion Sort* recursivo e iterativo deveriam ser os piores algoritmos analisados, porém não foi o que aconteceu na prática para dispositivos com Android embarcado.

Analisando os resultados é possível observar que os dois algoritmos que demoram mais tempo para executar foram o *Insertion Sort* Recursivo e o *Merge Sort*. Isto acontece devido ao comportamento dos algoritmos recursivos na plataforma Android. Algoritmos recursivos na plataforma Android por usarem intensivamente a pilha (área de memória limitada), o que requer alocações e desalocações de memória nesta pilha, assim tendendo a serem mais lentos. Outro problema com relação a algoritmos recursivos na plataforma Android é o estouro desta pilha. Neste caso específico, quando pilha chega perto de trezentas chamadas ocorre um estouro de pilha, assim abortando a aplicação (VIEIRA, 2012).

Os algoritmos iterativos apresentaram resultados de acordo com a bibliografia, com destaque para o algoritmo *Tim Sort*, sendo o mais rápido dentre

todos, provando ser a melhor escolha dos algoritmos analisados para plataforma Android.

4 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma análise de diferentes algoritmos de ordenação na plataforma Android considerando desempenho e consumo de energia e potência. A partir desta análise pode-se efetuar uma escolha adequada de um algoritmo de ordenação para a plataforma Android.

A partir dos resultados, pode-se concluir que a melhor escolha dos algoritmos de ordenação analisados para sistemas com dispositivos com Android é o *Tim Sort* apresentando o melhor desempenho – 13 Segundos, e o menor consumo de energia 7023 mJ. Já a pior opção seria o *Insertion Sort* recursivo, que levou cerca de 70 S e consumiu 49742 mJ.

5 REFERÊNCIAS

GARTNER. **Gartner Highlights Key Predictions for IT Organizations and Users in 2010 and Beyond.** Disponível em: <<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1278413>>. Acesso em: 01 julho 2012.

KUNDU, T.K; PAUL, K. Android on Mobile Devices: An Energy Perspective. In: IEEE 10th International Conference on Computer and Information Technology, 2010. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2010.

LECHETA, Ricardo R. **Google Android: Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK - 2ª edição.** São Paulo: Novatec Editora, 2010.

MARWEDEL, Peter. **Embedded Systems Design.** Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006.

MATTOS, Júlio; BRISOLARA, Lisane. Desafios no Projeto de Sistemas Embarcados. In: MATTOS, Júlio; ROSA, Leomar; et al. **Desafios e Avanços em Computação: o estado da arte.** Pelotas: Ed. da UFPel, 2009.

MOTOROLA. **Blog Motorola.** Disponível em: <<http://blogmotorola.com.br/2012/06/13/android-dominio-mundial/>>, Acesso em: 01 julho 2012.

VIEIRA, Andrws et al. An analysis of power and performance of applications for mobile devices with Android OS. In: XXVII South Symposium on Microelectronics, 2012. **Proceedings** ... Ijuí: UNIJUI, 2012.

ZHANG, Lide et al. Accurate online power estimation and automatic battery behavior based power model generation for smartphones. In: IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis, 2010. **Proceedings** ... Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2010.

ZIVIANI, Nívio. **Projeto de algoritmos: com implementações em Pascal e C.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.