1
Introdução

A Simulação Computacional é um recurso muito utilizado por ter um custo muito menor do que os obtidos utilizando experimentos. Quase todos os campos da ciência aplicada, como Matemática, Física, Química, Biologia e Informática, fazem esse tipo de simulação, o que torna possível o avanço científico cada vez mais rápido e resultados previsíveis a partir da modelagem computacional. O uso da simulação computacional possibilita alguns fatores importantes, como a otimização de custos e a diminuição substancial do tempo gasto em novas descobertas.

Durante muitos anos, as simulações eram feitas exclusivamente em supercomputadores de alto desempenho. Assim, os grupos de pesquisas que não dispunham de grandes recursos econômicos não conseguiam bons resultados, pois para se fazer uma modelagem o mais realista possível do sistema estudado, era necessária uma quantidade muito grande de processamento e isso aumentava o custo em muitas ordens de grandeza. Com a implementação, em 1995, dos primeiros clusters de computadores, conjuntos de computadores pessoais que trabalham em paralelo para resolver uma determinada tarefa, reduziu-se significativamente o custo do processamento em relação ao processamento em supercomputadores. Dessa forma, os grupos de pesquisas com menos recursos econômicos conseguiam obter melhores resultados.

O conceito de processamento paralelo foi amplamente difundido, e atualmente as indústrias que fabricam processadores passaram a utilizá-lo; já é possível encontrar no mercado microcomputadores com vários processadores, na ordem de algumas dezenas. Sistemas com multiprocessadores estão por toda parte, em especial na área de jogos computacionais, que necessitam de um grande poder de cálculos matriciais na formação de imagens tridimensionais. De olho no mercado de entretenimento, as indústrias de jogos assumiram uma posição pioneira na produção de processadores para placas de vídeos com mais de 100

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA

núcleos (processadores) em um único chip, dentre elas a NVidia (http://www.nvidia.com.br/page/home.html) com a placa GeForce GTX 580 com 512 núcleos e 16 engines PolyMorph, que buscam reduzir ao mínimo o efeito de pixelização de imagens, vídeos e jogos.

O surgimento de novas placas de vídeo com alta capacidade de processamento de imagem veio abrir novas possibilidades na área de pesquisa, sendo absorvidas rapidamente por toda a comunidade científica para fazer parte de suas ferramentas de Simulações Computacionais. Atualmente, no Brasil, alguns grupos têm se mostrado interessados em adaptar seus programas de Simulação para usarem CUDA e GPGPU, recursos computacionais existentes nas placas de vídeo para disponibilizar seus processadores paralelos na programação de efeitos visuais e até mesmo como suporte à álgebra computacional. O software MATLAB MathWorks também incluiu suporte ao CUDA a partir da versão de 2007 [32].

A Robótica também tem se beneficiado, nos últimos anos, de todo esse avanço computacional. Milhares de microprocessadores, microcontroladores e circuitos integrados dos mais diversos tipos têm gerado uma grande explosão tecnológica na criação de robôs com dispositivos e ferramentas acessíveis a qualquer usuário. Entretanto, a criação de robôs móveis de ponta, em especial os rovers, ainda tem um alto custo de desenvolvimento e produção. Com a Simulação Computacional abre-se uma ampla e nova vertente: a simulação virtual desses robôs, auxiliando em projetos e no desenvolvimento de algoritmos de controle.

Rovers são veículos robóticos de exploração, que podem ser utilizados neste ou em outros planetas. Os robôs para exploração de outros planetas têm obtido notoriedade em recentes estudos de simulações virtuais na área de Robótica [1 e 2]. Mas igualmente importantes são os rovers projetados para a exploração do nosso planeta. Há regiões que apresentam terrenos tão intrigantes e desafiadores quanto os encontrados em outros planetas. Ao observar com o cuidado necessário o nosso planeta, e mais precisamente o Brasil, percebe-se um dos mais ricos biomas terrestres com cerrados, florestas, caatingas, campos, pantanal, dentre outros. Tudo isso é um grande desafio para empresas que exploram os recursos existentes nessas regiões e que precisam de monitoração constante.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA

O acesso a essas áreas geralmente envolve obstáculos que aumentam muito o custo operacional. Por isso, a simulação virtual de veículos robóticos, em vários tipos de configurações de terrenos, deixa de ser uma simples alternativa para ser uma necessidade, diminuindo os custos de desenvolvimento e permitindo planejar melhor os experimentos.

O estudo do comportamento de um rover em um determinado tipo de terreno não traz apenas economia em termos financeiros e, consequentemente, em tempo de execução, mas também vem facilitar o planejamento e o desenvolvimento da tecnologia robótica, aumentando o grau de eficiência e segurança dos futuros veículos.

Uma das regiões mais estudadas é a Amazônica [4], por apresentar uma estrutura rica de solos, florestas e milhares de veios de rios. Vencer os obstáculos impostos pelos diversos tipos de terrenos é um desafio muito grande.

O estudo de incursões de um rover em solos amazônicos ou em qualquer tipo de terreno irregular é sem dúvida um rico laboratório de pesquisa para criação de uma grande gama de veículos robóticos monitores a serem aplicados em parques industriais, campos abertos e até mesmo em residências.

As plataformas computacionais existentes ainda não são capazes de fazer a simulação de veículos robóticos em terrenos acidentados (*rough terrain*), e que permitam prever o comportamento dinâmico com a possibilidade de implementação de técnicas avançadas para controle de estabilidade e tração. Elas são, sim, capazes de modelar terrenos com ondulações, cujos gradientes/inclinações variam pouco ao longo da projeção do veículo sobre o terreno, mas terrenos realmente acidentados podem apresentar gradientes/inclinações completamente diferentes em cada uma das rodas do veículo. Tais estudos de comportamentos dinâmicos em terrenos acidentados têm a vantagem de possibilitar reduções de custos operacionais bem significativos, já que toda a operação será virtual.

Com o projeto Cognitus [4], a Petrobras tem desenvolvido uma série de robôs voltados para monitoração e chamados de AmazonBots. Esses robôs são projetados com o objetivo principal de monitorar dutos em uma região de difícil acesso, onde a prevenção de riscos ambientais é encarada com alta prioridade.

Vencer os mais de 1.500 km de monitoração de dutos, por onde são escoados todo o petróleo e gás explorados na bacia Amazônica, tem sido um

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA

grande obstáculo para a Petrobras [4], já que toda essa extensão passa por uma mescla de vários tipos terrenos. A detecção de anomalias ambientais não é a única forma de minimizar um problema, já que a partir de uma anomalia a ação deve ser paliativa, isto é, conter o problema. Já a prevenção, aliada a robôs incursores, pode trazer um alto grau de controle, onde cada incursor será capaz de fazer coletas de dados do meio ambiente, com diagnósticos em tempo real e disponibilizados via satélite. Para isso, há de se trabalhar sinergicamente na construção de rovers capazes de gerar resultados satisfatórios.

Um exemplo de aplicabilidade de uma plataforma de simulação virtual é o robô ambiental híbrido (Figura 1) desenvolvido pelo CENPES/Petrobras, dentro do projeto Cognitus. Ele será usado para monitorar uma região da Amazônia por onde passa o gasoduto Coari-Manaus, com 420 km de extensão (Figura 2). Como seu uso será para monitoramento ambiental, exige um avançado sistema de controle de tração e estabilidade. Foi todo animado virtualmente, mas sem nenhuma modelagem dinâmica.

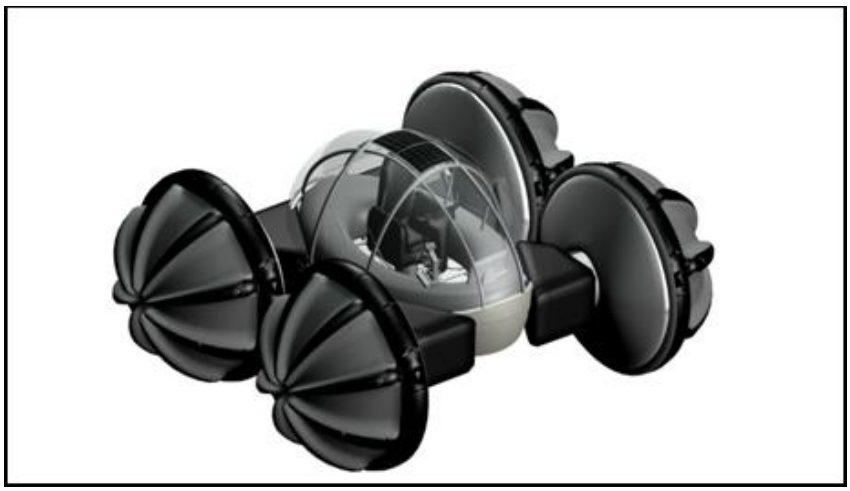

Figura 1 – Protótipo desenvolvido pelo Grupo de Robótica CENPES/Petrobras a ser utilizado na região amazônica

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA

Figura 2 – Gasoduto Coari, Manaus (Barral, 2007, p. 20) [4]

1.1.

Definição de Rover

O conceito de rover muitas vezes traz a ideia de atividades em outros planetas. No entanto, eles não estão restritos a essas atividades. Esta é a definição sugerida por alguns centros de pesquisa na área:

> *"Um manipulador reprogramável e multifuncional projetado para transportar materiais, partes, ferramentas, ou outros dispositivos especializados através de vários movimentos programados a fim de realizar uma grande variedade de tarefas."*
>
> **Robot Institute of America (1979)**

Algumas outras definições de rover, porém, sugerem seu uso apenas em outros planetas:

> *"Veículo para exploração da superfície de um corpo extraterrestre (como a Lua ou Marte)."*
>
> **Phoenix Mars Mission**

> *"Um rover é um veículo planetário de exploração espacial projetado para se mover sobre uma superfície de um planeta ou outro corpo astronômico."*
>
> **Wikipédia (http://en.wikipedia.org/wiki/Rover_(space_exploration))**

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA

Entre as várias definições de rover, fica bem claro que ele é um tipo de robô bem específico e muito vinculado ao conceito de exploração de terreno. E é exatamente esse tipo de tarefa que um rover executa ao chegar ao seu destino neste ou em outro planeta: explorar o ambiente.

1.2. Definição de Robô Móvel (*Mobile Robot*)

Segundo o Robotics Research Group, da Universidade do Texas, em Austin [23], a definição mais condizente com o pensamento de ideias que envolvem a definição de robô seria a do Webster:

> *"Um dispositivo automático que executa tarefas normalmente atribuídas a humanos, ou uma máquina na forma de um humano."*

Semelhante à definição de um robô industrial, da Organização de Padrões Internacional, um robô móvel pode ser definido assim:

> *"Um robô móvel é um sistema autônomo capaz de atravessar um terreno com obstáculos naturais ou artificiais. Seu chassi é equipado com rodas ou pernas e possivelmente um manipulador fixado ao seu chassi para segurar objetos, ferramentas ou dispositivos especiais. Várias operações de pré-planejamento são executadas baseadas numa estratégia de navegação pré-programada que leva em conta o estado atual do ambiente" [24].*

Com esta definição, qualquer máquina inteligente e autônoma que se move em um ambiente é chamado de *mobile robot*, ou robô móvel. Logo, pode-se chamar também de veículo robótico ou veículo autônomo.

Os robôs móveis podem ter várias aplicações, como operação em áreas de perigo, exploração planetária (rovers), inspeção de dutos e vários tipos de serviços domésticos de limpeza e segurança. É perceptível que a atuação desses tipos de robôs vai das indústrias às residências, levando a crer que farão parte da nossa vida diária em um futuro bem próximo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA

1.3. Objetivo

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver um simulador dinâmico em 3D para veículos robóticos que permita o deslocamento por vários tipos de ambientes com terrenos acidentados e o uso de diversas técnicas de controle.

1.4. Estrutura da Dissertação

O capítulo 2 apresenta referências a trabalhos de pesquisas aplicados ao controle de tração de rovers em terrenos acidentados, ou irregulares, como Barral [4], Auderi [5] e Iagnemma [1 e 2]. Mostra uma avaliação de 11 simuladores de veículos robóticos disponíveis no mercado, focando características relacionadas à renderização 3D, licença de uso, facilidades de uso de diversos tipos de terrenos, possibilidade de usar diferentes tipos de veículos robóticos e de fazer uma simulação em tempo real, portabilidade, arquitetura de software, biblioteca gráfica e biblioteca de dinâmica.

O capítulo 3 apresenta, no início, a relevância de um simulador desse porte no estudo de comportamentos de robôs reais. Também se descrevem os recursos implementados e toda a sua organização, em detalhes. Neste capítulo, é possível entender a modelagem utilizada para o terreno, modelagem do veículo robótico separado em parâmetros geométricos, forças externas sobre o veículo, forças internas entre a roda e o chassi e o algoritmo de busca do ponto de contato entre roda e terreno. A modelagem dinâmica do veículo robótico é apresentada, bem como o modelo da força de contato pneu-terreno, as equações usadas para calcular as derivas longitudinal e lateral e o cálculo das forças longitudinal e lateral. Por fim, descreve-se a implementação do atuador para cada roda do veículo robótico e método de integração.

O capítulo 4 apresenta o controle implementado com ênfase no controle dinâmico para terrenos acidentados (CDTA) de estabilidade 2D proposto por Silva [56] para terrenos acidentados. Além disso, explica-se a importância do uso de um joystick no simulador.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA

O capítulo 5 apresenta a validação do simulador, comparando-o com modelos analíticos de casos simples conhecidos.

O capítulo 6 apresenta os resultados de simulações comparando o controle proposto por Silva [56] com o controle PID com compensador de gravidade.

O capítulo 7 apresenta as conclusões.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0812229/CA