

# Sistema integrado de navegação para o Robô Ambiental Híbrido na Floresta Amazônica

Procópio Silveira Stein <sup>1,2</sup>  
Ney Robinson Salvi dos Reis <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/CTC/DAS  
88040-900 - Florianópolis - SC, Brasil  
procopiostein@gmail.com

<sup>2</sup> Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello -  
CENPES/Petrobras  
Quadra 7 - Ilha do Fundão - 21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
{procopiostein.Estudante, salvireis}@petrobras.com.br

**Abstract.** Petrobras is developing an environment monitoring robot that will operate around a future gas-line which is being built along Solimões River, in the heart of the Amazon jungle. For referencing collected samples and aiding the robot's pilot to operate in remote areas, a navigation system is required. However, Amazon's vegetation, due to its high density foliage, degrades and sometimes completely blocks GPS signals, making a GPS-only approach not practical. To overcome this, an integration of GPS with Inertial Sensors is suggested, followed by a brief description of an integration technique, namely the Kalman filter.

**Palavras-chave:** kalman filter, inertial systems, Amazon, GPS, filtro de kalman, sistemas inerciais, Amazônia.

## 1. Introdução

Em junho de 2006 a Petrobras deu um passo importante na história da exploração de óleo e gás na floresta amazônica, ao iniciar a construção de um gasoduto ao longo do rio Solimões ligando as cidades de Coari à Manaus. Devido ao impacto que as atividades da empresa têm na natureza, desde 2002 existe uma parceria firmada entre a Petrobras e o Programa Piatam, da Universidade Federal do Amazonas, que visa o monitoramento das atividades de produção e transporte de óleo e gás na região e seus potenciais impactos sócio-ambientais.

Este acompanhamento é feito através de excursões trimestrais ao longo do Rio Solimões onde pesquisadores e técnicos colhem amostras e dados sobre o ecossistema e as populações humanas, Piatam (2006). Mas há uma série de dificuldades para a coleta destas amostras, como a constante presença de animais selvagens e insetos transmissores de doenças perigosas além da inacessibilidade de certos lugares como as regiões de plantas flutuantes, as quais barcos ou pessoas não conseguem atingir.

Para possibilitar aos técnicos e pesquisadores do projeto Piatam a coleta de informações e amostras nestas áreas remotas de maneira segura, bem como servirem de pontos móveis de monitoramento ambiental, foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) o Robô Ambiental Híbrido. Suas principais características são: a possibilidade de locomoção tanto na água como na terra e a capacidade de embarcar uma série de instrumentos de medição e coleta que servirão aos pesquisadores remotamente, como mostra a **Figura 1**.

## 2. Necessidade de um Sistema de Navegação

Durante os primeiros testes na floresta amazônica ficou evidente a necessidade de um sistema que provesse ao operador informações relativas à navegação do veículo, como o trajeto percorrido desde o início da missão e a posição e orientação do robô em qualquer instante.

Com estes dados o operador poderia, entre outras coisas, saber a qualquer momento a localização do veículo, seguir um caminho predeterminado mesmo sem um sistema de visão

para seu auxílio ou mesmo retornar à base em caso de falhas das câmeras apenas seguindo o caminho inverso.

Estas informações serão úteis não só para o operador, mas também para os pesquisadores, no georreferenciamento de amostras, mapeamento da região e desenvolvimento futuro de sistemas do robô, como o controle de tração e o controle de suspensão.



**Figura 1** – Robô Ambiental Híbrido em região alagada coletando amostras de água com seu braço robótico.

### **3. Peculiaridades da Floresta Amazônica**

A primeira opção para a criação de um sistema de navegação é a Navegação por Satélites, onde através de sinais enviados a um usuário na superfície da Terra, este pode calcular sua posição com grande exatidão. Existem diversos sistemas deste tipo, o mais conhecido e difundido é o Sistema de Posicionamento Global, ou GPS.

Entretanto, a floresta amazônica apresenta uma série de complicadores para a utilização de um sistema de Navegação por Satélites. A vegetação nesta área é caracterizada por grandes árvores, com uma densa folhagem. Isto causa uma grande degradação e por vezes um bloqueio, parcial ou total, dos sinais provenientes dos satélites que integram o GPS, Salytcheva (2004).

Uma forma de amenizar este problema é através do uso de receptores GPS de alta sensibilidade (HSGPS), que conseguem uma melhor aquisição dos sinais, mas à custa de uma menor exatidão na solução de posicionamento. Assim, uma solução que dependa apenas do GPS é inviável.

### **4. Sistema de Navegação Proposto**

Para preencher as lacunas que um sistema composto somente por um receptor GPS teria na floresta amazônica, precisamos de um sistema de navegação paralelo e independente, que seja capaz de manter uma solução de navegação na completa ausência de sinais dos satélites que compõem o GPS.

Um dos métodos que possibilitam isto é conhecido como Integração de Caminho (Dead-Reckoning), que é uma técnica de posicionamento relativo capaz de calcular a posição de um corpo baseado em três entradas: um conjunto de coordenadas iniciais; a direção de deslocamento; a velocidade de deslocamento.

Estas entradas podem ser obtidas através de diferentes sensores, como bússolas, giroscópios, acelerômetros, altímetros, etc. Alguns podendo ser combinados em uma Unidade de Medições Inerciais (IMU), composta de três acelerômetros e três giroscópios dispostos em

eixos ortogonais, Park (2004). Um Sistema de navegação inercial (INS) é uma IMU em conjunto com um processador de navegação.

Mas este sistema apresenta algumas desvantagens se for utilizado sem uma fonte de correção externa. Isto é causado principalmente pela deriva dos giroscópios, que mesmo estáticos mudam a solução com o tempo, além do erro sistemático de leituras dos acelerômetros, causando uma rápida degradação na solução de posição, Petovello (2003). Assim, o erro das medições será acumulado e cada vez maior se não houver uma fonte externa que aponte este erro, pois cada novo cálculo é baseado no anterior.

## 5. Integração por Filtro de Kalman

Segundo Levy (1997), a integração de um Sistema de Navegação Inercial com um receptor GPS através de um filtro de Kalman resulta em um sistema de excelente desempenho. Isto porque enquanto um INS realiza medições com pouco ruído, estas derivam com o tempo, já em um receptor GPS, a solução é mais afetada por ruídos, mas praticamente não há deriva. O filtro de Kalman, através de modelos estatísticos dos sistemas é capaz de minimizar o erro da solução de navegação.

Este é um filtro muito prático porque não necessita de informação sobre todas as medições feitas até então e seu posterior reprocessamento, mas apenas das últimas. Isto facilita bastante a sua implementação. Outro aspecto importante do filtro de Kalman é a capacidade de incorporar toda a informação que é provida a ele, processando todas as medições disponíveis, contanto que: haja conhecimento da dinâmica do sistema e dos sensores; seja feita uma descrição estatística dos ruídos do sistema, erros de medições e incertezas dos modelos; existam informações sobre as condições iniciais das variáveis de interesse.

## 6. Conclusão

Com o sistema integrado proposto, composto de um receptor GPS e um INS, é esperado um desempenho superior a qualquer implementação que incorpore somente um destes sistemas. Isto justamente devido às características complementares destes, com o receptor GPS fornecendo uma solução de navegação absoluta e com boa exatidão de longo prazo e com os sensores de navegação inercial com excelente exatidão de curto prazo, operando mesmo em locais onde os sinais do GPS não estão disponíveis.

## Referências

Piatam - Potenciais Impactos e Riscos Ambientais na Indústria do Petróleo e Gás no Amazonas. Disponível em: <<http://www.piatam.ufam.edu.br>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

Levy, J. L. **The kalman filter: Navigation's integration workhorse**. Column Innovation. Disponível em: <<http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/Levy1997/index.html>>. Acesso em: 20 out. 2006

Salytcheva, A. O. **Medium Accuracy INS/GPS Integration in Various GPS Environments**. 2004. 247 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geomática) - University of Calgary - Geomatics Engineering, Calgary, Canadá. 2004.

Park, M. **Error Analysis and Stochastic Modeling of MEMS based Inertial Sensors for Land Vehicle Navigation Applications**. 2004. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geomática) - University of Calgary - Geomatics Engineering, Calgary, Canadá, 2004.

Petovello, M. **Real-time Integration of a Tactical-Grade IMU and GPS for High-Accuracy Positioning and Navigation**. 2003. 269p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Geomática) - University of Calgary - Geomatics Engineering, Calgary, Canadá, 2004.