


Sistema de Navegação Inercial

para posicionamento *indoor*

Jhonatan Brandel de Souza

Introdução

Sistema de Navegação Inercial (INS):

- Permite obter e determinar a posição em relação ao ponto de partida em latitude e longitude, por meio do processamento de dados fornecidos por giroscópios, acelerômetros, e magnetômetros .

Fonte: www.decea.gov.br/sirius

Introdução

- INS foi largamente utilizado na era Pré-GPS, por aviões, navios e mísseis.
 - Ainda é utilizado, como meio principal de controle de atitude de naves espaciais e satélites.
-

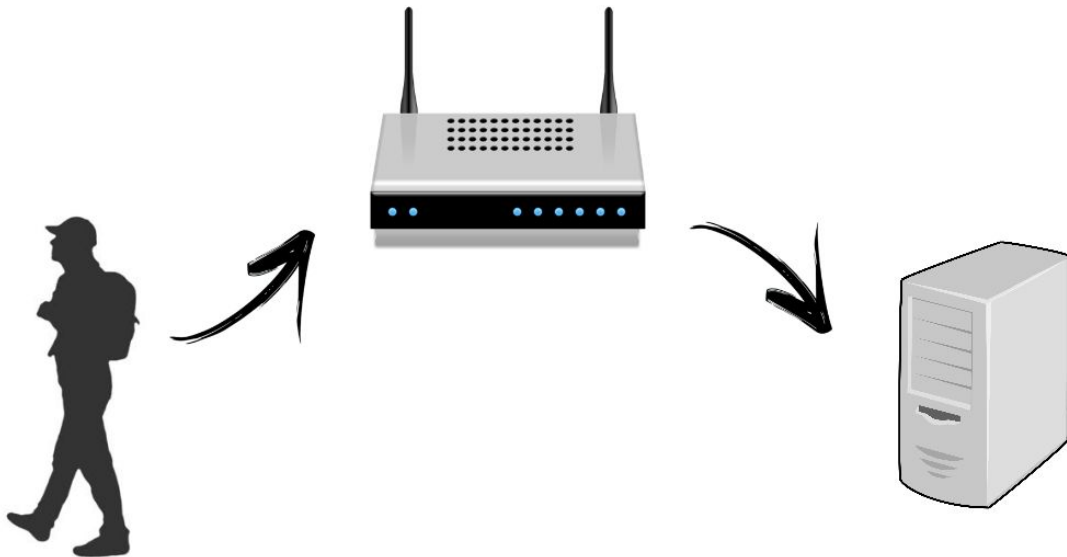
Proposta de trabalho

- Criar dispositivo portátil para estimar a posição de um indivíduo caminhando, sem auxílio de outros sistemas de posicionamento (como GPS e AGPS).
 - Determinar o comprimento de cada passo do usuário, para corrigir a distância percorrida, agindo como pedômetro otimizado.
-

Projeto

O dispositivo INS portátil é colocado na mochila do usuário, e através de uma conexão WLAN, os dados são coletados e exibidos em tempo real no lado do servidor.

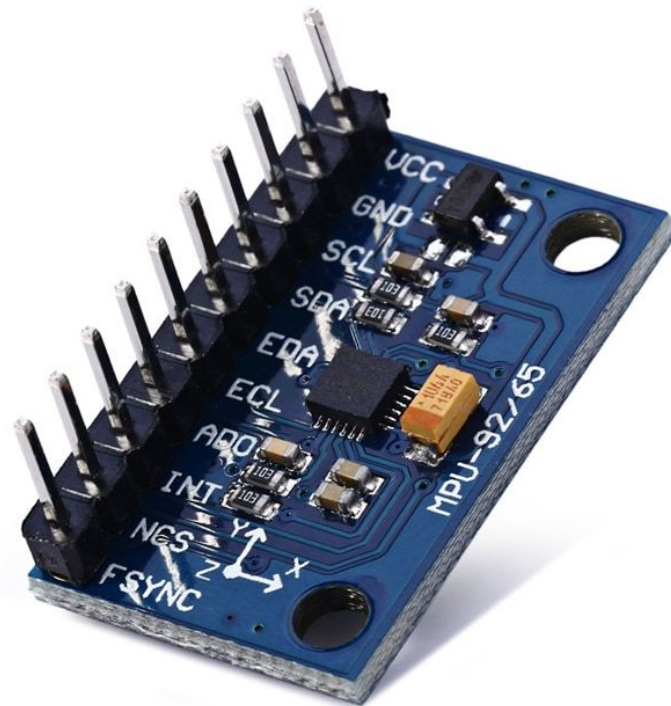
O dispositivo INS também registra os dados, armazenando em um arquivo CSV.



Desenvolvimento da solução

A solução foi elaborada com base no módulo MPU9250, que conta com acelerômetro, giroscópio e magnetômetro, todos triaxiais e com resolução de 14 bits para o magnetômetro, e 16 bits para os outros 2 sensores.

Todos dispositivos MEMs, integrados. Com interface I²C.



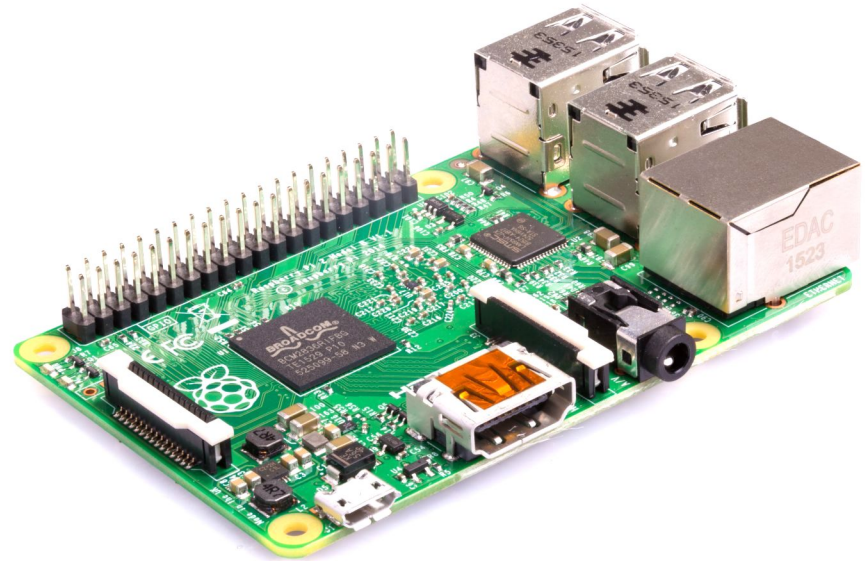
—

Desenvolvimento da solução

O Raspberry Pi 2 B foi a placa escolhida para fazer a coleta e processamento das leituras.

Comunicando com o módulo MPU9250 por I²C, e fazendo a conexão com o servidor remoto por meio de rede WLAN.

Foi desenvolvida uma biblioteca em Python para comunicação com o módulo, assim como um script para estimar a posição.



Funcionamento

1. Auto-Calibração de acelerômetros e giroscópios;
 2. Detecção de passos;
 3. Determinação de azimuth;
 4. Determinação do comprimento do passo
 5. Integração e transformação de domínio;
 6. Exibição dos dados.
-

Calibração

1. É feita com o dispositivo parado, na posição inicial.
 2. Serve para correção da polarização do acelerômetro e do giroscópio.
 3. Realiza o desvio padrão a partir de um conjunto de medidas, para determinar um limiar, utilizado como margem segura, garantindo que o novo dado não é somente um erro aleatório, e sim, um novo dado válido.
 4. O desvio padrão acaba caracterizando o ruído mecânico presente.
 5. Ao término desta rotina, o sistema está pronto para iniciar as leituras.
-

```
pi@raspberrypi:~/Scripts/IMU/Código para trabalho de Instrumentação $ python3 SOCALIBRA.py
Accelerometer scale setted to: 0b0
Gyroscope scale setted to: 0b0
Gyroscope calibration data:

Axis offsets:

X= 221.1
Y= -188.79375
Z= 117.68
Axis standart deviations:

X= 91.54632706995952
Y= 92.34974938210449
Z= 149.271154614681
Accelerometer calibration data:

Axis offsets:

X= -2857.96
Y= -1230.94
Z= 16132.28
Axis standart deviations:

X= 81.2137820816124
Y= 72.64431429919193
Z= 100.09156607806837
```

Detecção de passos

1. A rotina de detecção de passo monitora aceleração do eixo vertical (Z).
2. Quando um passo é dado, há um pico de aceleração.
3. O detector é um mecanismo de trigger, quando um limiar é ultrapassado um novo passo é computado, ao mesmo tempo a função de trigger fica inativa por um período de tempo, para não contar múltiplos passos erroneamente.

O limiar foi encontrado empiricamente, e é de 11 m/s^2 .

O tempo morto do trigger é de 400 ms.

Determinação de azimuth

1. No momento inicial, a variável de azimuth, é atualizada com o dado do magnetômetro.
 2. A partir deste ângulo, as leituras de velocidade angular do giroscópio são lidas, e integradas para obter o novo ângulo de azimuth.
 3. Como há um erro associado com a velocidade angular, ao integrar o erro, há um acúmulo de erro na variável de ângulo a medida que o tempo passa. Este fenômeno chama-se deriva.
 4. Para combater a deriva, toda vez que o magnetômetro indica o norte magnético, o valor de azimuth é zerado. Dessa forma eliminando a deriva provocada pelo giroscópio.
 5. O magnetômetro não é usado sozinho para determinar azimuth pois é sensível às distorções de campo, logo o valor de azimuth só é validado pelo magnetômetro, se o módulo de campo for compatível.
-

$$Az = \arctan \left(\frac{B_x}{B_y} \right)$$

Determinação do azimute por meio do magnetômetro.

$$\theta(t) = \int_0^t \dot{\theta}(t) dt \approx \sum_0^t \dot{\theta}(t) T_s$$

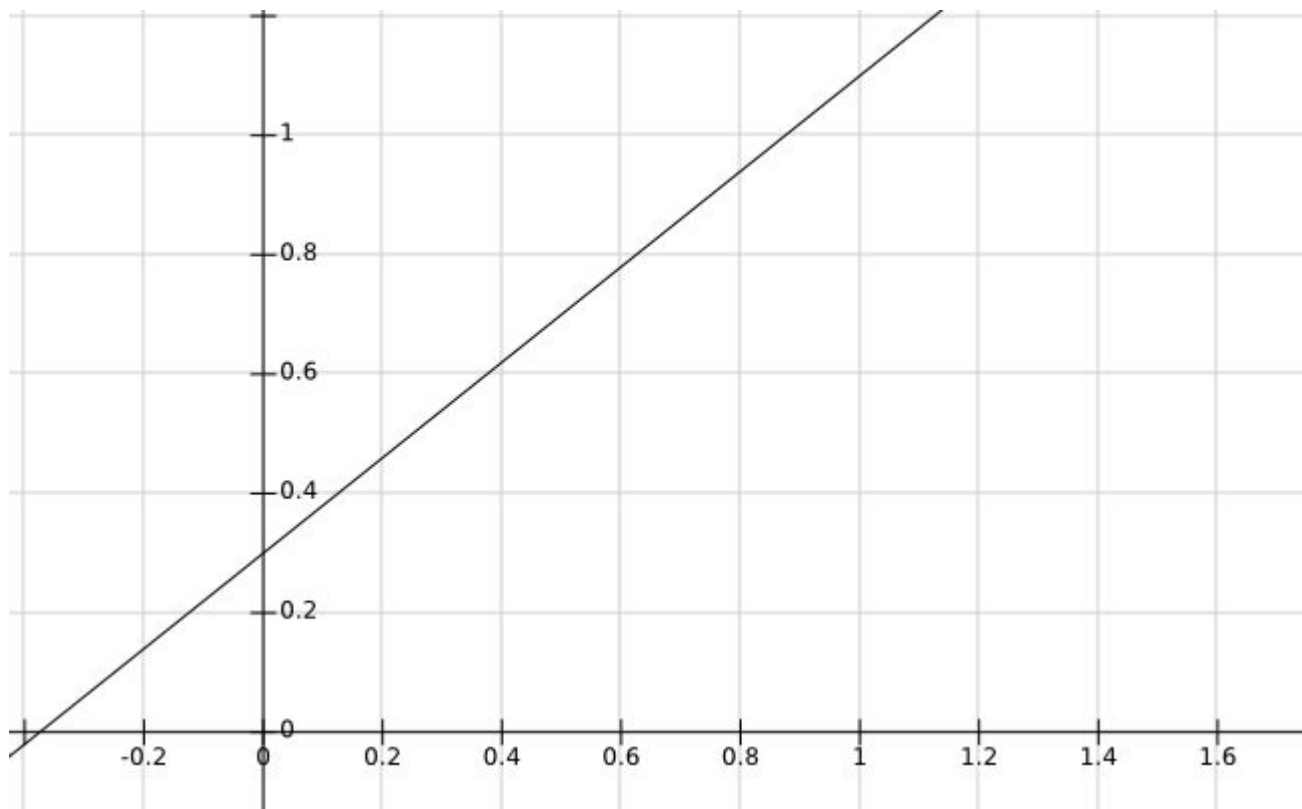
Determinação do azimute por meio do giroscópio.

Comprimento de passo

Existe uma correspondência entre o comprimento do passo, e o período de tempo entre os passos. Essa correspondência foi modelada neste projeto através de um polinômio do primeiro grau.

A premissa utilizada foi: passos rápidos são curtos, e passos longos demoram um período de tempo maior.

A cada passo dado é avaliado o tempo entre o passo dado e o passo anterior, calculando assim o período do passo, e esta é a variável independente da função, que retorna o comprimento do passo.



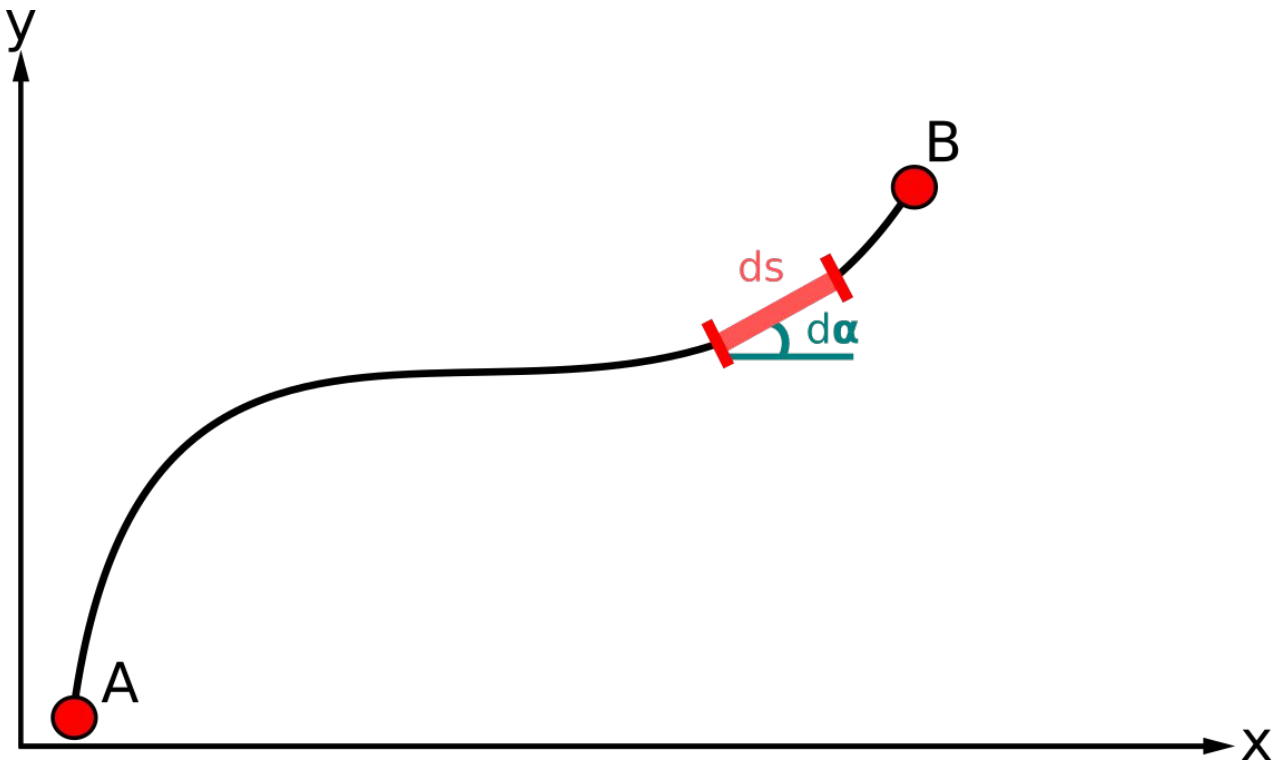
$a=0.3$

$b=0.8$

Obtenção da posição por integral de linha

Toda vez que um passo é dado, a posição do usuário é recalculada. Sendo que a posição é mapeada em um plano cartesiano, tendo como origem a posição inicial.

Para atualizar a posição, toma-se um vetor, com comprimento igual ao comprimento de passo calculado, e ângulo igual ao de azimuth, decompondo esse vetor nas direções x e y , obtém-se as suas componentes, e soma-se o valor de posição anterior.



RESULTADOS

Sistema Inercial

Em azul as medidas de campo, em vermelho o caminho real percorrido.



Sistema Inercial

Em azul as medidas de campo (rotacionado $21,5^\circ$), em vermelho o caminho real percorrido.



300m

Foi a distância percorrida dentro de um erro menor que 7m.

Sistema Inercial

Em azul as medidas de campo, em vermelho o caminho real percorrido.



Google Earth

© 2018 Google
Image © 2018 DigitalGlobe

Sistema Inercial

Em azul as medidas de campo (rotacionado 21.5°), em vermelho o caminho real percorrido.

Deslocamento



Google Earth

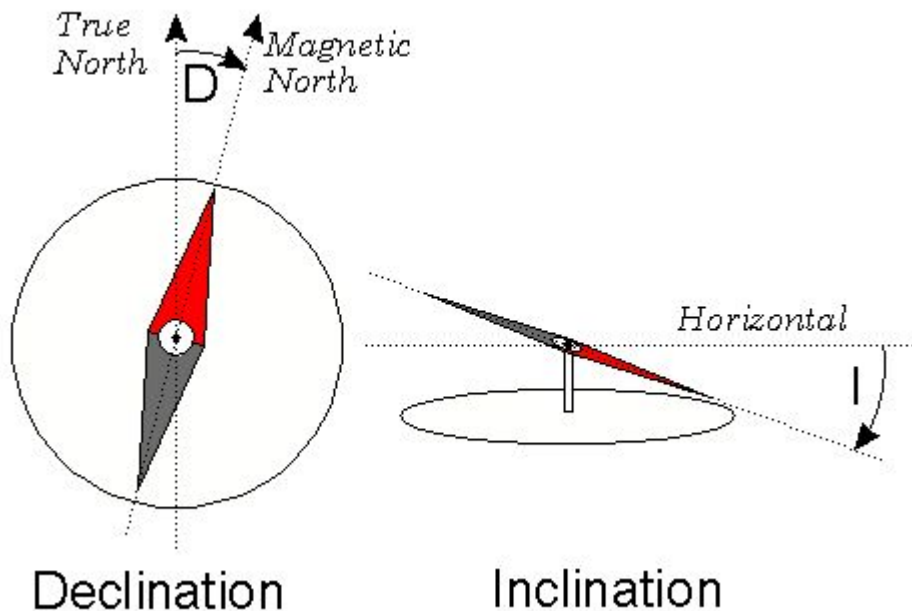
© 2018 Google
Image © 2018 DigitalGlobe

<5%

Apesar dos erros de trajetória, a distância percorrida teve um erro menor que 5%.

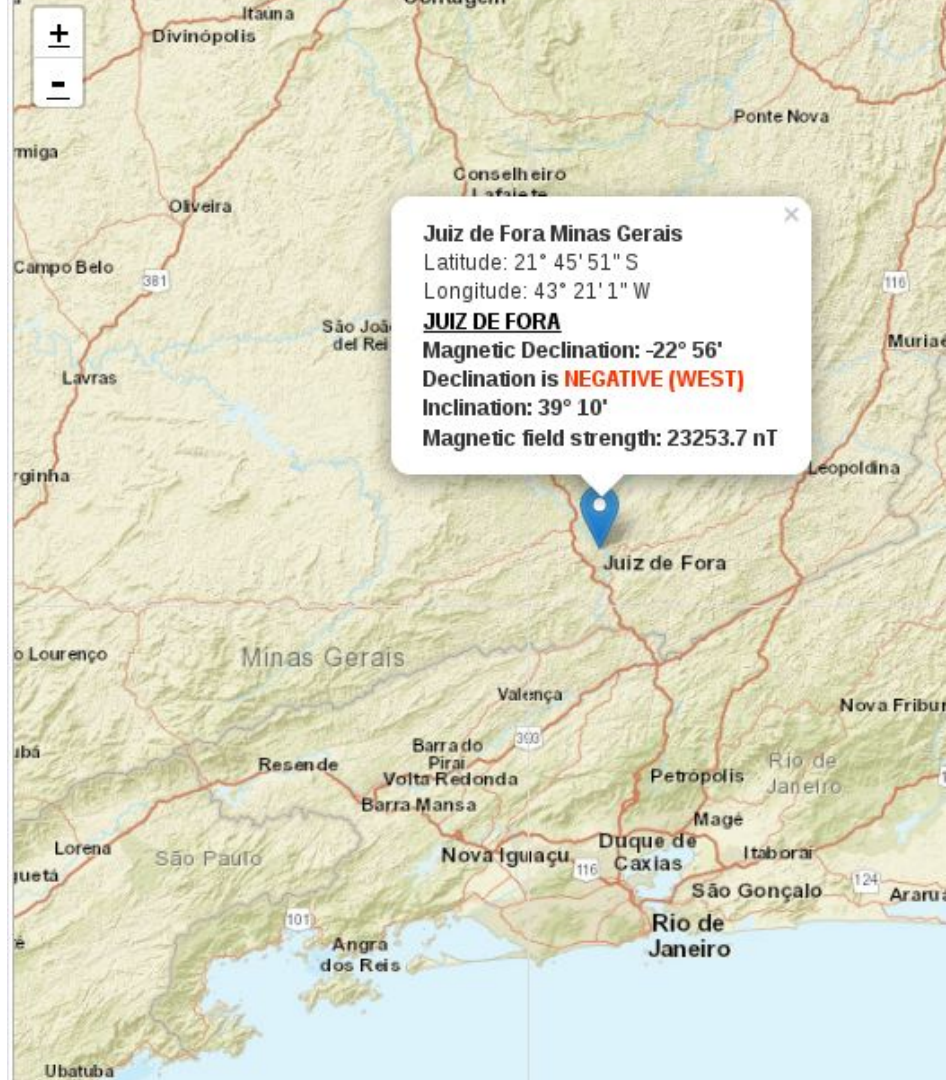
Fontes de erros sistemáticos

O campo magnético possui uma inclinação, que cria uma distorção na hora do cálculo do ângulo de azimuth através do arco-tangente das componentes x e y, paralelas ao solo.



Fontes de erros sistemáticos

Uma sugestão de trabalho futuro é compensar a inclinação magnética, decompondo a componente inclinada em relação ao plano de referência do dispositivo, determinando a inclinação do dispositivo por meio dos acelerômetros.



**Agora é hora de ver
funcionando!**

Obrigado!

Jhonatan Brandel de Souza



jhonatan.brandel@engenharia.ufjf.br

