

Veículos aéreos não tripulados

A.Bianchi Figueiredo

andre.bianchi@lsa.isep.ipp.pt

Filipe Santos

filipe@lsa.isep.ipp.pt

*Laboratório de Sistemas Autónomos
Instituto Superior de Engenharia do Porto
<http://www.lsa.isep.ipp.pt>*

Sumário



- **Conceito UAV**
- **Classificação**
- **Caracterização**
- **Aplicações**
- **Veículo Aéreo Autónomo do ISEP: FALCOS**
- **Aplicação de sistemas de navegação global por satélite em veículos autónomos**

Conceito UAV



UAV “Unmanned Aerial Vehicle” - veículo aéreo não tripulado

- Veículo aéreo
- Voo autónomo/controlo remoto
- Sensores navegação e outros
- Estação de controlo de terra
- Sistema de comunicações
- Sistema de lançamento
- Sistema de recolha
- Expansível e recuperável

Conceitos relacionados

- RPV
- Drones

● Classes principais

- Alcance
- Altitude
- “endurance”
- Capacidade de incursão
- Dimensão

● “Tier”

- 3 categorias
- Sub-categorias

Classes principais

Categoria	Acrónimo	Alcance (km)	Altitude de voo (m)	“endurance” (horas)
Close Range	CR	10 a 30	3.000	2 a 4
Short Range	SR	30 a 70	3.000	3 a 6
Medium Range	MR	70 a 200	5.000	6 a 10
Long range	LR	> 500	5.000	6 a 13
Endurance	EN	> 500	5.000 a 8000	12 a 24

Classes principais



Categoria	Acrónimo	Alcance (km)	Altitude de voo(m)	“endurance” (horas)
Low altitude Deep Penetration	LADP	> 250	0,12 a 9.000	1
Medium Range Endurance	MRE	< 500	8.000	10 a 18
Low Altitude Long Endurance	LALE	> 500	3.000	> 24
Medium Altitude Long Endurance	MALE	-	14.000	20 a 48
High Altitude Long Endurance	HALE	> 2000	20.000	24 a 48

Classes principais



Categoria	Acrónimo	Alcance (km)	Altitude de voo (m)	“endurance” (horas)
Micro Air Vehicle (< 15 cm)	MAV	< 10	250	1
Miniature (< 30 kg)	Mini	< 10	150 a 300	< 2
UAVs para fins específicos				
Military Tactical UAV	TUAV	50 a 300 (limitado à linha de visão)	-	> 2
Unmanned Combat Aerial Vehicle	UCAV	Aprox. 1500	10.000	Aprox. 2
Lethal	LETH	300	4.000	3 a 4
Stratospheric	STRATO	> 2000	20.000 a 30.000	> 48

Veículos aéreos não tripulados

Classificação “Tier”



Categoria		designação	Altitude (m)	Raio de acção (km)	Endurance (horas)	Velocidade (nós)
Tier I	Tactical	“Interim-Medium Altitude, Endurance”	> 4.000	> 250	5 a 24	60 a 100
Tier II	Operative	“Medium Altitude, Endurance”	914 a 7.500	> 900	> 24	70
Tier II plus	Strategic HAE	“High Altitude, Endurance”	Aprox. 20.000	> 5000	> 42	350
Tier III Minus	Strategic LO HAE	“Low Observable High Altitude, Endurance”	14.000 a 20.000	> 800	> 12	300

Tipos de veículos

- Asa fixa
- Balões ou dirigíveis
- VTOLs



Lançamento

Catapulta



Descolagem horizontal



Largados



Veículo



À mão



Foguete



Descolagem vertical



Recolha

Gancho



Rede



Vertical



Paraquedas



Parapente



Estação de controlo em terra

Dual Redundant Pilot/Payload Operator Control Stations



Estação de controlo em terra



Portáteis



“Menos” Portáteis



Interface gráfico



Aplicações

Militares

- Reconhecimento
- Ataque
- Apoio a combate
- Alvos

Civis

- Busca e salvamento
- Mapeamento
- Prevenção de fogos
- Comunicações
- Monitorização ambiental
- Investigação Atmosférica
- Agricultura
- Monitorização de tráfego
- Fotografia e filmagem
- Promoção e publicidade

Aplicações



- **Vigilância**
 - Possibilidade de operação contínua
 - Longos períodos de tempo
 - Grandes áreas
 - Áreas remotas e difícil acesso
- **Repetidores de Comunicação**
 - Dados para unidades no campo de batalha
 - Repetidor celular e aplicações comerciais
- **Investigação atmosférica**
 - Ultra alta altitude e voos de extrema longa duração
 - Exploração áreas perigosas da atmosfera
 - Altitude entre aeronaves convencionais e satélites

Aplicações



- **ISR (“Intelligence Surveillance Reconnaissance”)**
 - **Custos reduzidos (satélites, plataformas tripuladas)**
 - **Imagens em tempo real (ou próximo)**
 - **Visão elevada**
 - **Grandes áreas**
 - **ISR + equipamento letal =UCAV (sem risco e ataque exacto)**
- **Agricultura**
 - **Monitorização de grandes campos**
 - ✓ **“pathfinder Plus”, plantação de café, Havai**
 - ✓ **RCATS/APV-3, campos de vinhas, Califórnia**

SPAWAR - Space and Naval Warfare Systems Center



- Vigilância/reconhecimento
- “Polícia aérea”
- Cenários urbanos



MSSMP - Multipurpose Surveillance and Security Mission Platform

DoD - Darkstar

- Tier III Minus
- Reconhecimento
- LO HAE



- Autônomo
(descolagem/voo/aterragem)
- Sistema GPS

DoD - Predator (General Atomic)



- MAE

- Sistema

- ✓4 UAVs (sensores e comunicação)

- ✓Estação controlo

- ✓Sistema de disseminação de dados



Operações

Outubro 2001, Afeganistão (informação táctica)

1999, Kosovo (procura de alvos, vigia de refugiados)

Desde 1995, Bósnia

Veículos aéreos não tripulados

DragonFly (Univ. Stanford)



- Controlo remoto/autónomo após lançamento
- 4 antenas GPS

Plataforma investigação

- sistema “avionics” modular e expansível
- Navegação robusta
- Algoritmos de controlo



Aerosonde - aerosonde robotic aircraft pty, ltd



- EN /LR UAV

- Vigilância

- Monitorização ambiental

- Reconhecimento ambiental/meteorológico
(oceano e grandes áreas)

- 1º UAV a atravessar o norte-atlântico
(1998)

NASA Perseus B e Altus II



•HALE UAV



Plataforma de investigação

(20 km altitude)



- Amostras atmosfera
- Monitorização clima
- Repetidor comunicações

NASA Proteus

- EN
- Amostragem atmosférica e monitorização terrestre
- pilotado, semi-autónomo ou controlo remoto



NASA Helios

- Ultra alta altitude
- longo endurance
- a seguir ao “pathfinder”
- painéis solares

Missões objectivo

- Repetidor comunicações
- Investigação atmosférica



Nota: queda oceano pacifico 2003

Organizações



European Unmanned Vehicle Systems Association
www.euro-uvs.org



Unmanned Aerial Vehicle Systems Association
www.uavs.org



Association for Unmanned Vehicle Systems International
www.auvsi.org

UAV CENTER
information & operational consultation

Unmanned Aerial Vehicle Center
www.uavcenter.com

Veículo Aéreo Autônomo do ISEP

FALCOS - Flight Aerial Light
Cooperative Observation System

Conceito



Aplicações



- **Prevenção fogos florestais**
- **Vigilância marítima**
- **Operações de busca e salvamento**
- **Monitorização ambiental**
- **Mapeamento e fotografia aérea**

Requisitos



- **Baixo custo**
- **Areas de operação de média dimensão (dezenas de km)**
- **Baixa altitude**
- **Elevada autonomia (em tempo e em execução da missão)**
- **Equipamento de suporte em terra reduzido e portátil**
- **Fácil operação, lançamento e recolha**

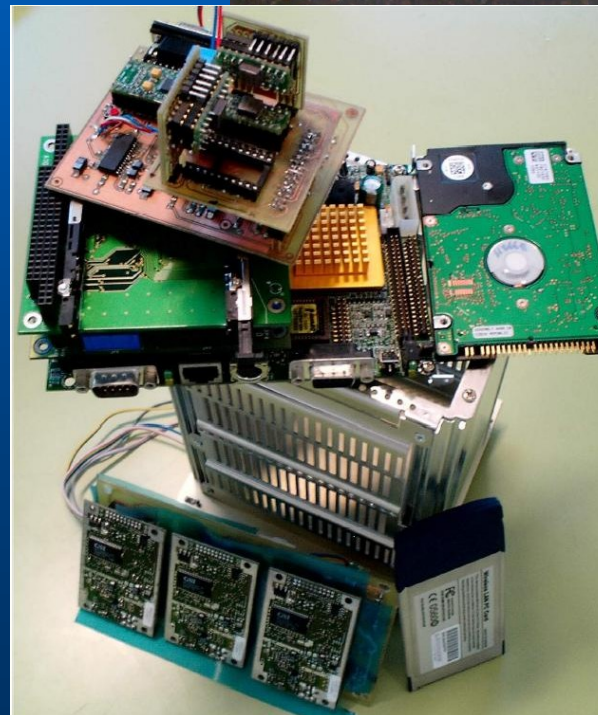
Plataforma



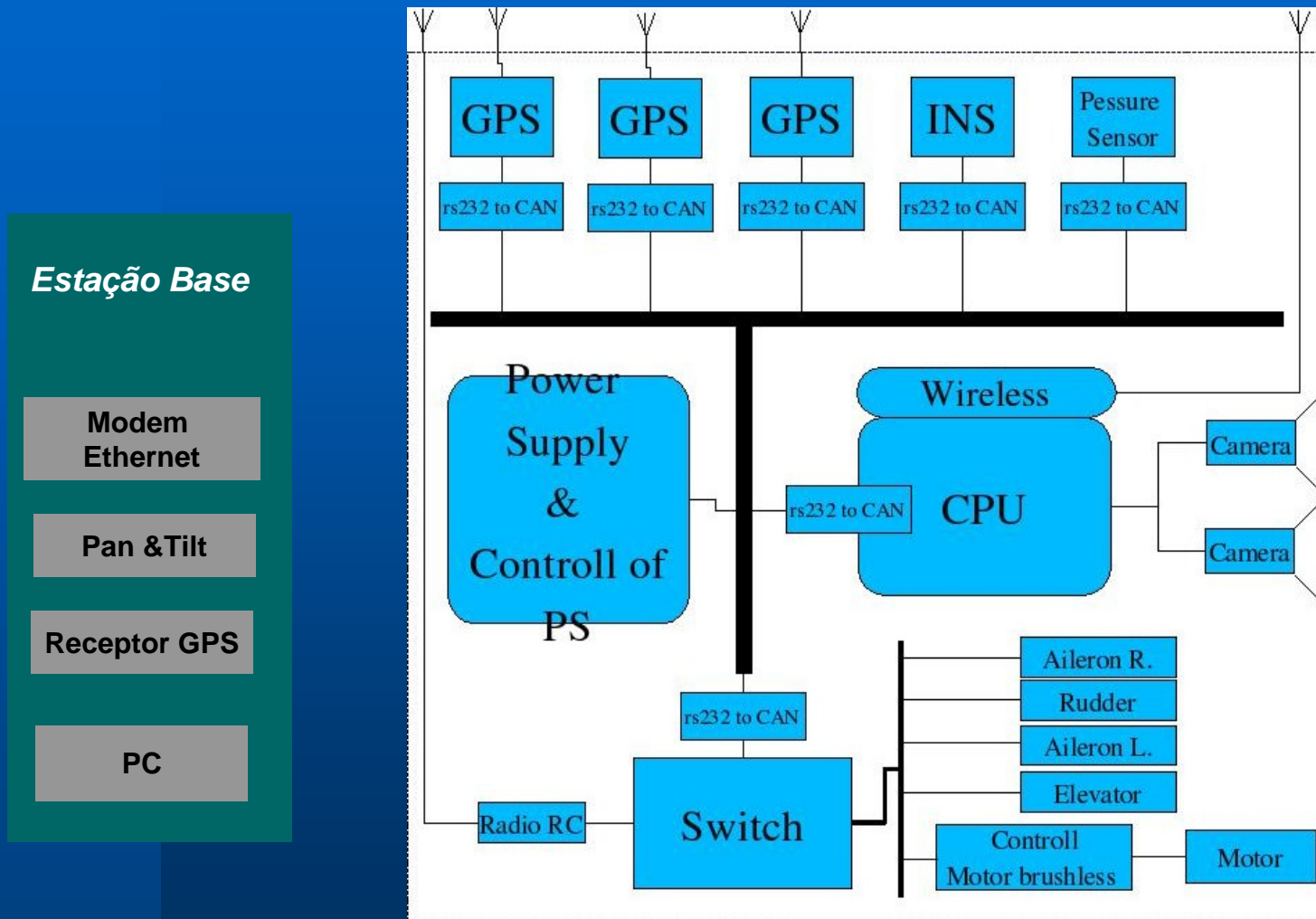
- Piper j3 Cub 1/5
- Precedent T240 1/4

Protótipo

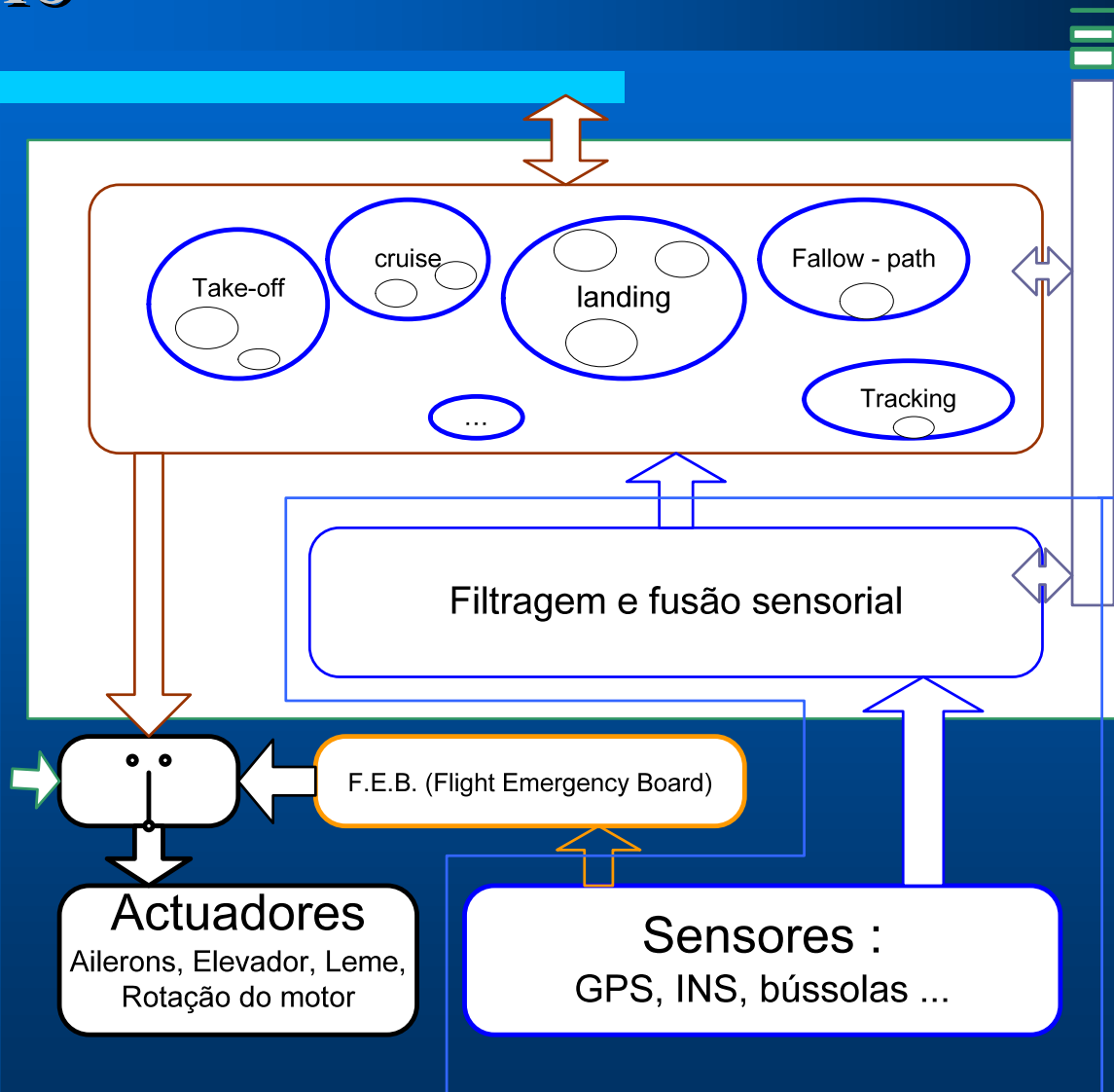
- 1 protótipo de teste disponível
- modelo RC com 1.8m envergadura
- SBC x86 com Linux
- motor brushless
- 3 receptores GPS
- sensor pressão
- sensor pressão diferencial
- giroscópio baixo custo
- acelerómetros triaxiais
- bússola digital
- link rádio ethernet



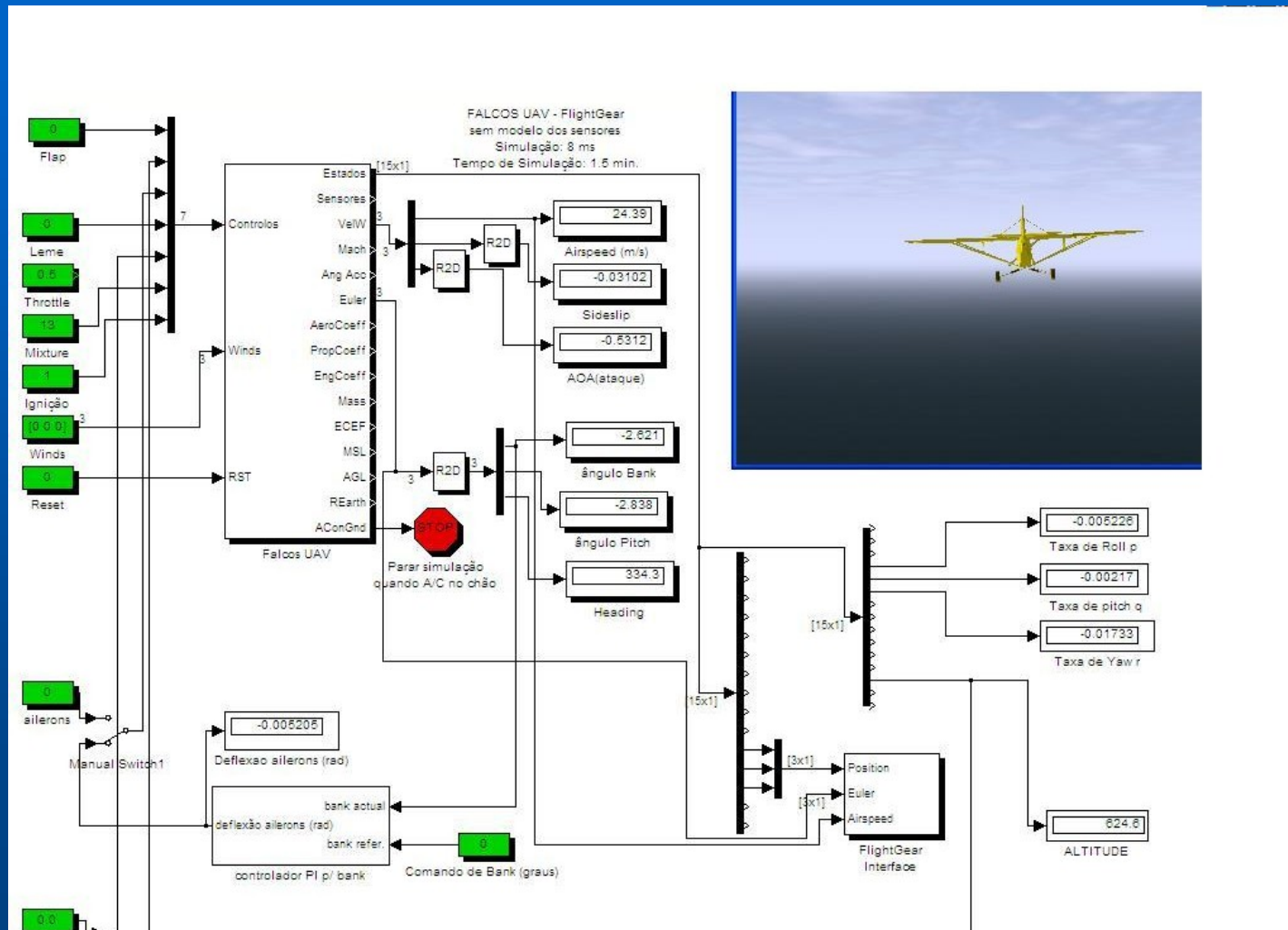
Arquitectura do sistema



Controlo



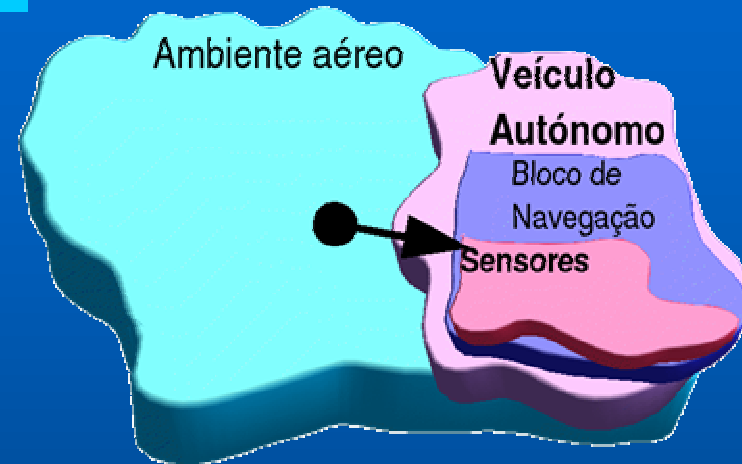
Simulação



Testes



Aplicação de sistemas de navegação global por satélite em veículos autónomos



Análise do bloco de navegação

Sensores

Sensores absolutos

GNSS(Sistema de Navegação Global por Satélite)

Fusão dos dados e correção

Caracterização das aplicações do GNSS

Aplicações de GNSS em veículos autónomos

O desafio da navegação num veículo autónomo

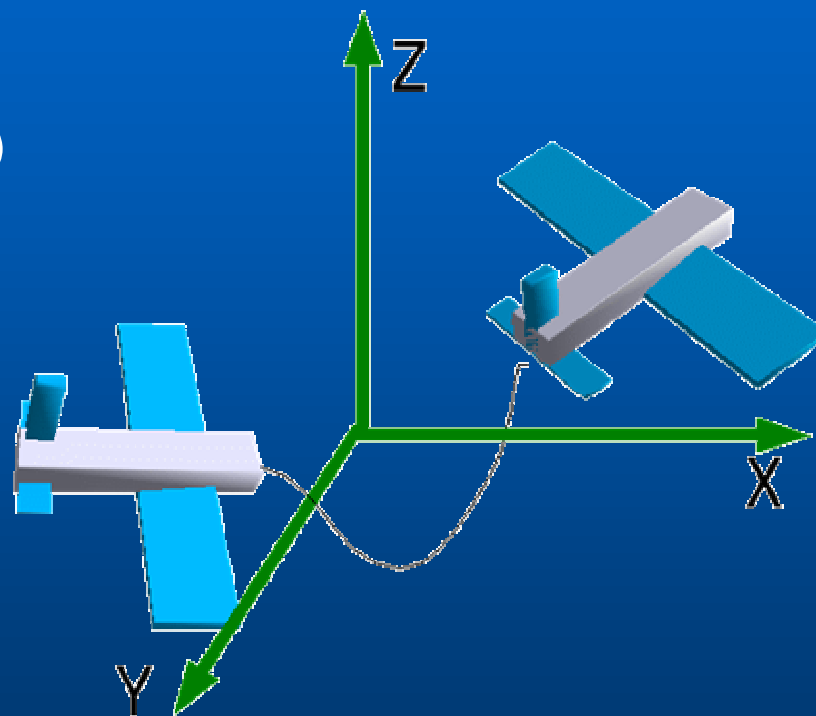
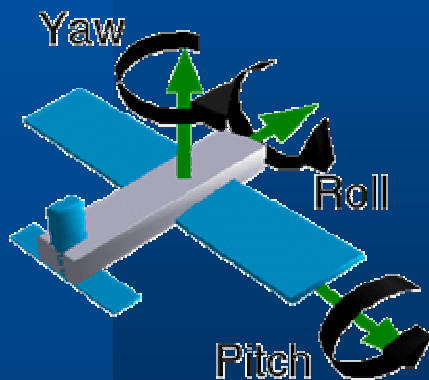


A navegação de um veículo autónomo, em paralelo com o controlo assume um papel estruturante no desempenho deste tipo de veículos.

- > Exactidão e precisão
- > Disponibilidade
- > Confiabilidade
- > Redundância
- > Integridade

Variáveis de navegação

- > Posição
- > Velocidade (dx/dt)
- > Aceleração (dv/dt)
- > Atitude



Sensores de navegação

“Dead reckoning” (de integração)

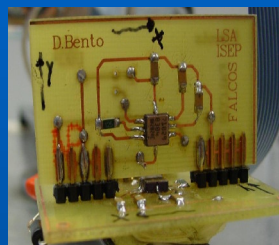
hometria
acelerómetro
giroscopio, ...

Relativos

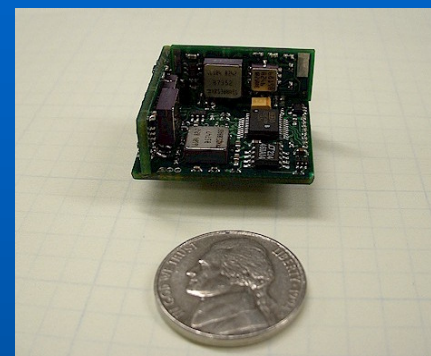
visão
lazers
sonares,

Absolutos

GNSS (GPS, GLONASS, Galileu)
Compasso magnético
Gyrocompass, ...



acelerómetro



INS (Sistema de navegação Inercial)



Antena GPS



Receptor GPS

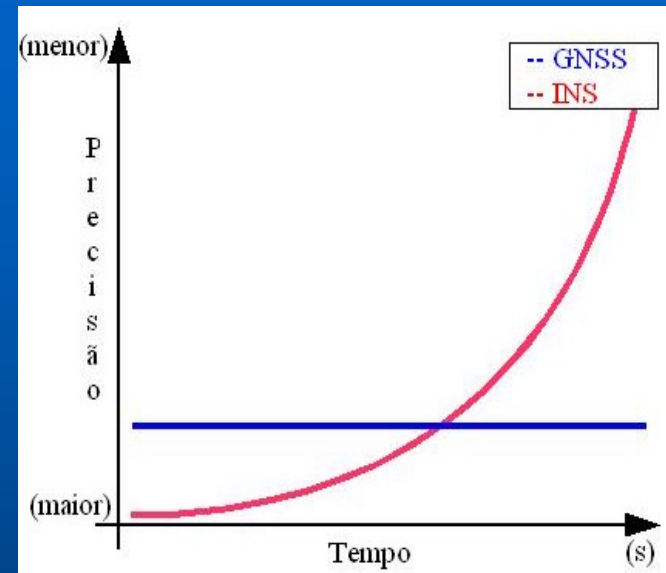
Sensores de navegação (caracterização)

INS:

alta taxa de amostragem
baixa exactidão ao longo prazo
posicionamento relativo

GNSS:

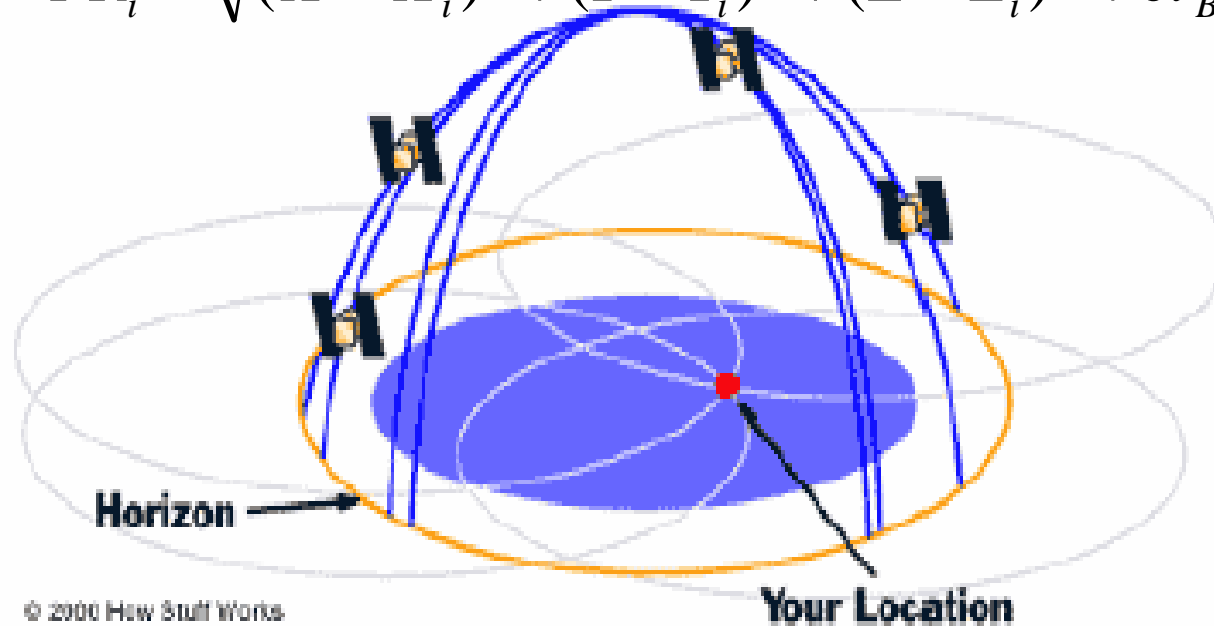
baixa taxa de amostragem
alta exactidão
posicionamento absoluto



Evolução temporal da precisão do sistema GNSS versus INS, para o grupo de variáveis referidas (posição)

O sistema GNSS (Principio básico)

$$PR_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} + ct_B$$



O sistema GNSS (Princípio básico)

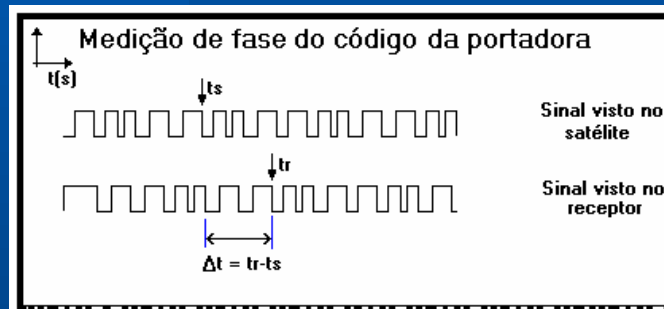


Distância

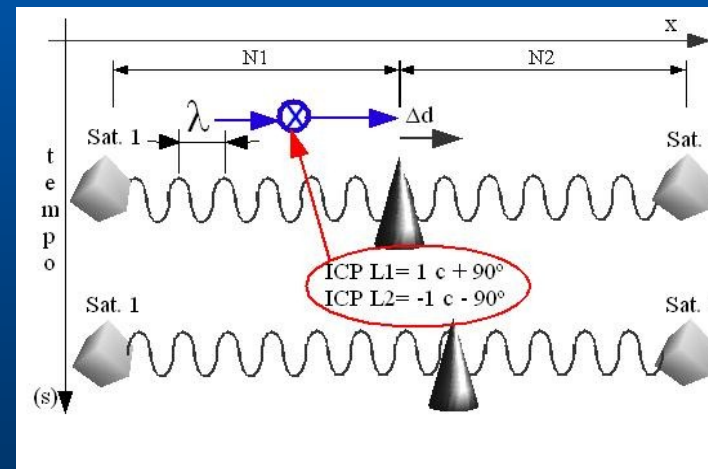
- Fase do código da portadora (Pseudo-distância)
- Fase da portadora (numero de ciclos)

Velocidade

- Efeito de Doppler

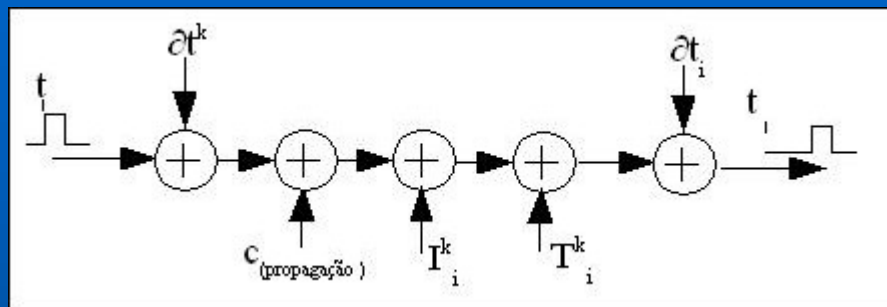


Fase do Código



Fase da portadora

Erros associados as medidas dos GNSS



Fontes de erro	Erro tipico (1σ)
Efemérides	2.8 - 5.4
Troposfera	0.5 - 1.5 m
Ionosfera	4.0 - 5.0 m
Multi caminho	0 - 2.5 m
Ruído na medida	0.5 - 1.5 m
Erro RMS	4.5 - 8.1 m
Total=Erro x PDOP(valor tipico 2 a 4)	16 - 32 m

Erros típicos na pseudo-medidas do sistema

Soluções existentes nos GNSS para a correcção



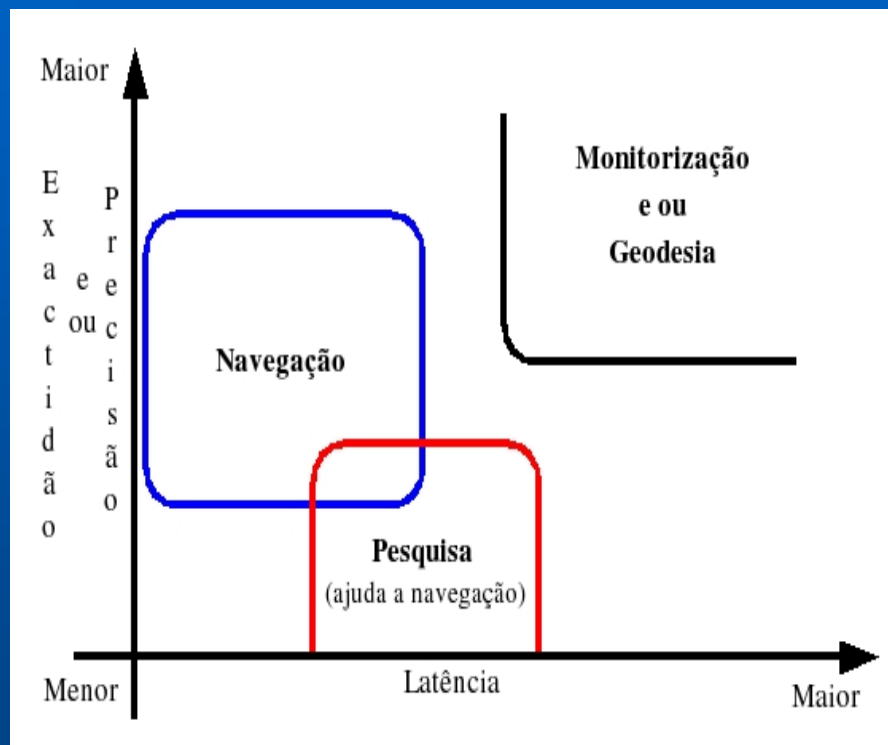
Solução 1 - Modelo estático do erro

Solução 2 - Modelo dinâmico do erro

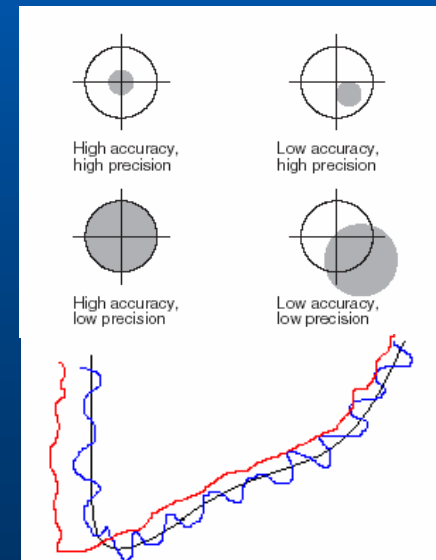
Solução 3 - Medir dinamicamente e quantitativamente o valor do erro:

- Uso de 2 ou mais portadoras (frequências diferentes)
- Correção diferencial ou diferenças simples
- Métodos diferenças duplas

Caracterização dos sistemas de Posicionamento baseados em GNSS



- > Exactidão
- > Precisão
- > Latência
- > Taxa de amostragem



Sistemas GNSS disponíveis

-> GPS convencional

-> DGPS convencional

Fase do código

-> WADGPS (WAAS EGNOS ...)

-> DGPS convencional + filtro Hatch

-> RTK-GPS

Fase da portadora

-> Pós-Processamento

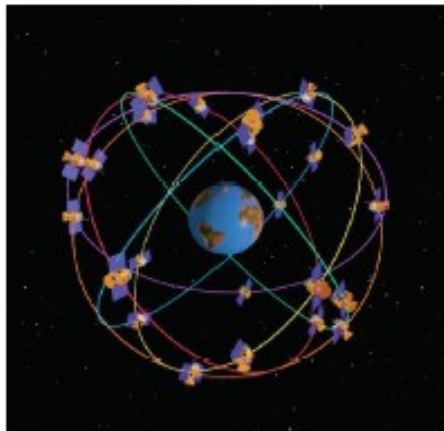
Caracterização do valor da exactidão (GNSS)

Sistema	Exactidão
GPS (SA activo)	50-100 m
GPS (SA desactivado)	12-15 m
DGPS	0.5 até 3m
RTK	1 Até 5 cm
Pós - Processamento	1mm até 2 cm

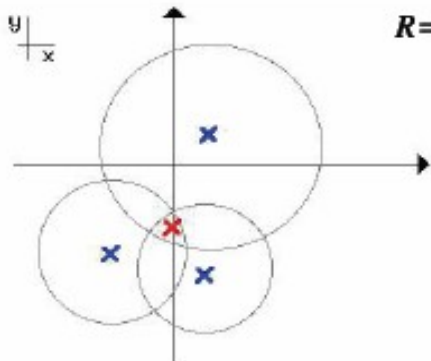
Algoritmo RTK-GPS (FALCOS)



Sistema GPS (Introdução)



- 29 satélites (actualmente)
- ~ 20.000 km (superfície terrestre)



$$R = \sqrt{(x^s + X_r)^2 + (y^s + Y_r)^2 + (z^s + Z_r)^2}$$

$$R_1 = \sqrt{(x^1 + X_r)^2 + (y^1 + Y_r)^2 + (z^1 + Z_r)^2}$$

$$R_2 = \sqrt{(x^2 + X_r)^2 + (y^2 + Y_r)^2 + (z^2 + Z_r)^2}$$

$$R_3 = \sqrt{(x^3 + X_r)^2 + (y^3 + Y_r)^2 + (z^3 + Z_r)^2}$$

$$R = \sqrt{(x^s + x_r)^2 + (y^s + y_r)^2 + (z^s + y_r)^2 + k}$$

Algoritmo RTK-GPS (FALCOS)



Sistema GPS (Introdução)

$$R = \sqrt{(x^s + x_r)^2 + (y^s + y_r)^2 + (z^s + y_r)^2 + k}$$

Expansão série de Taylor

$$R \approx R(x_0, y_0, z_0, \tau_0) + \frac{\delta R}{\delta x}(x - x_0) + \frac{\delta R}{\delta y}(y - y_0) + \frac{\delta R}{\delta z}(z - z_0) + \frac{\delta R}{\delta \tau}(\tau - \tau_0)$$

$$R \approx R(x_0, y_0, z_0, \tau_0) + \frac{\delta R}{\delta x} \Delta x + \frac{\delta R}{\delta y} \Delta y + \frac{\delta R}{\delta z} \Delta z + \frac{\delta R}{\delta \tau} \Delta \tau$$

$$\begin{bmatrix} \delta R^1 \\ \delta R^2 \\ \delta R^3 \\ \dots \\ \delta R^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\delta R^1}{\delta x} & \frac{\delta R^1}{\delta y} & \frac{\delta R^1}{\delta z} & 1 \\ \frac{\delta R^2}{\delta x} & \frac{\delta R^2}{\delta y} & \frac{\delta R^2}{\delta z} & 1 \\ \frac{\delta R^3}{\delta x} & \frac{\delta R^3}{\delta y} & \frac{\delta R^3}{\delta z} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\delta R^n}{\delta x} & \frac{\delta R^n}{\delta y} & \frac{\delta R^n}{\delta z} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \\ C_b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v^1 \\ v^2 \\ v^3 \\ \dots \\ v^n \end{bmatrix}$$

$$\delta R = H \delta x + v_k$$

$$v_k = \delta R - H \delta x$$

$$J(x) = \sum_{i=1}^m v_i^2 = v^T v = (b - Ax)^T (b - Ax)$$

$$\delta x = (H^T H)^{-1} H^T \delta R$$

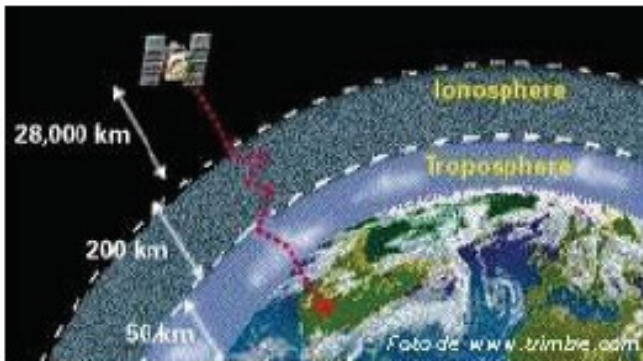
Matriz Covariância (Não escalada)

$$\hat{x} = x_0 + \delta x$$

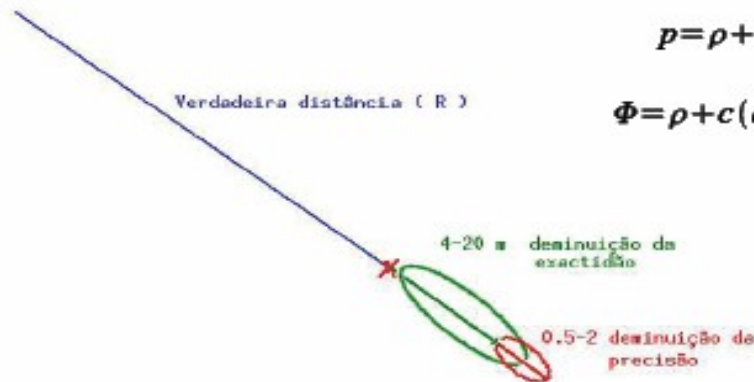
Algoritmo RTK-GPS (FALCOS)



Observações (erros)



- Efemérides (5 m)
- Ionosfera (10 m)
- Troposfera
- “Drift” relógios
- Multi caminho

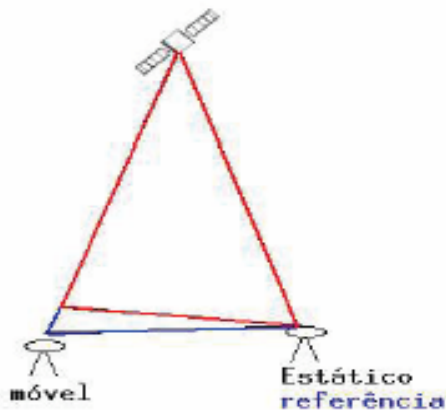


$$p = \rho + c(dt - dT) + d\rho + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(P_{mult}) + \varepsilon(P_{rec})$$

$$\Phi = \rho + c(dt - dT) + \lambda N + d\rho - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(P_{mult}) + \varepsilon(P_{rec})$$

~ Uma inexactidão de 5 a 20 metros

Observações (soluções)



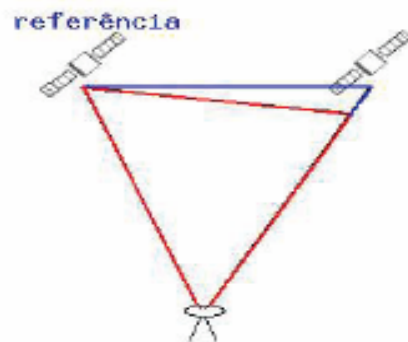
$$p = \rho + c(dt - dT) + d\rho + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(p_{mult}) + \varepsilon(p_{rec})$$

$$\Phi = \rho + c(dt - dT) + \lambda N + d\rho - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(p_{mult}) + \varepsilon(p_{rec})$$

>>As diferenças simples entre receptores **atenuam** os erros comuns aos receptores (Δ)

$$p_1 = \rho + c(dt_1 - dT) + d\rho + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(p_{mult_1}) + \varepsilon(p_{rec_1})$$

$$p_2 = \rho + c(dt_2 - dT) + d\rho + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon(p_{mult_2}) + \varepsilon(p_{rec_2})$$



>>As diferenças simples entre os satélites **atenuam** os erros do receptor (∇)

$$p^1 = \rho^1 + c(dt_1) + \varepsilon(p_{mult}^1) + \varepsilon(p_{rec1})$$

$$p^2 = \rho^2 + c(dt_1) + \varepsilon(p_{mult}^2) + \varepsilon(p_{rec1})$$

Projecto FALCOS

Podem ser definidos dois tipos de categorias de soluções GPS (DGPS):

- medidas obtidas principalmente pela fase de código
- medidas obtidas principalmente pela fase da portadora

Requisitos projecto
FALCOS (navegação):
- Tempo real
- Exactidão: ~1cm a 10cm
(atitude) ~1°

Resolução da ambiguidade
de ciclos em tempo real

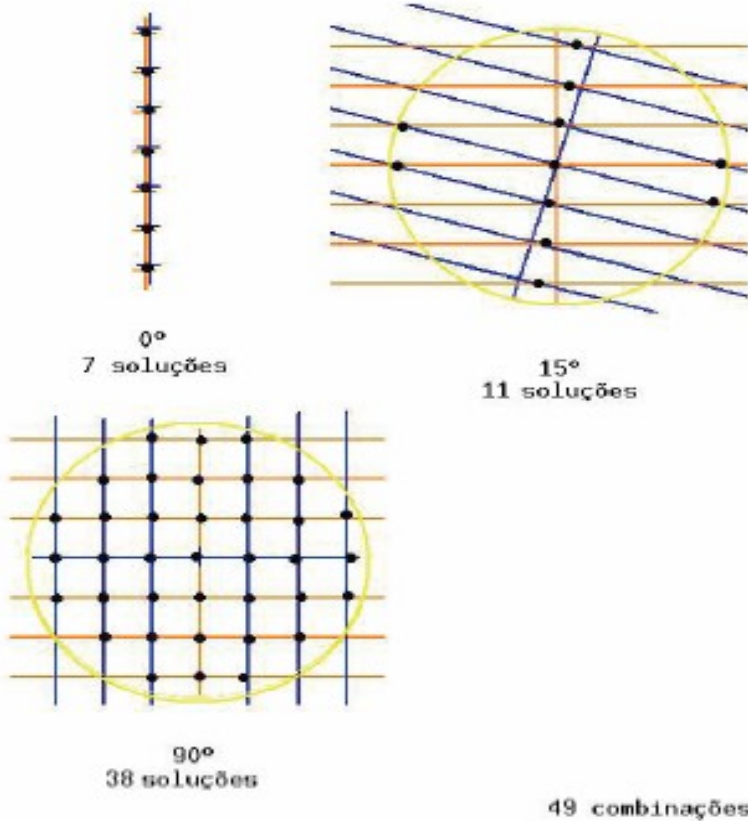
RTK-GPS

Uso de técnicas diferenciais
(diferenças simples e duplas)

Algoritmo RTK-GPS (FALCOS)



Resolução da ambiguidade (LSAST)



- Agrupar 4 satélites para um grupo principal
- Agrupar os restantes no grupo Secundário (Satélites redundantes)

O que implica no mínimo 5 satélites em vista

- Determinar pela fase do código (diferencial) uma solução aproximada

Nota: considerar que os erros comuns (ionosfera e efemérides) foram atenuados pela estação de referência

Algoritmo RTK-GPS (FALCOS)



Resolução da ambiguidade (LSAST)

$$\begin{bmatrix} \phi^1 + N^1 \\ \phi^2 + N^2 \\ \phi^3 + N^3 \\ \phi^4 + N^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_i^1 & C_j^1 & C_k^1 & 1 \\ C_i^2 & C_j^2 & C_k^2 & 1 \\ C_i^3 & C_j^3 & C_k^3 & 1 \\ C_i^4 & C_j^4 & C_k^4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \phi_c \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ (\phi^2 - \phi^1) + N^2 \\ (\phi^3 - \phi^1) + N^3 \\ (\phi^4 - \phi^1) + N^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_i^1 & C_j^1 & C_k^1 & 1 \\ C_i^2 & C_j^2 & C_k^2 & 1 \\ C_i^3 & C_j^3 & C_k^3 & 1 \\ C_i^4 & C_j^4 & C_k^4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ (\phi_c - \phi^1) \end{bmatrix}$$

$$M_p = H_p X_p$$

$$X_p = H_p^{-1} M_p$$

$$(M_1)^T = (0100)$$

$$(M_2)^T = (0010)$$

$$(M_3)^T = (0010)$$

$$M_p^T = (0 \alpha \beta \gamma) \quad X_p = \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3$$

$$Y_s = M_s - H_s X_p$$

$$\Delta X = (H_c H_c^T)^{-1} H_c^T Y_s = C Y_s$$

$$R = Y_c - H_c^T \Delta X$$

$$q = \frac{(R^T R)}{(n-4)}$$

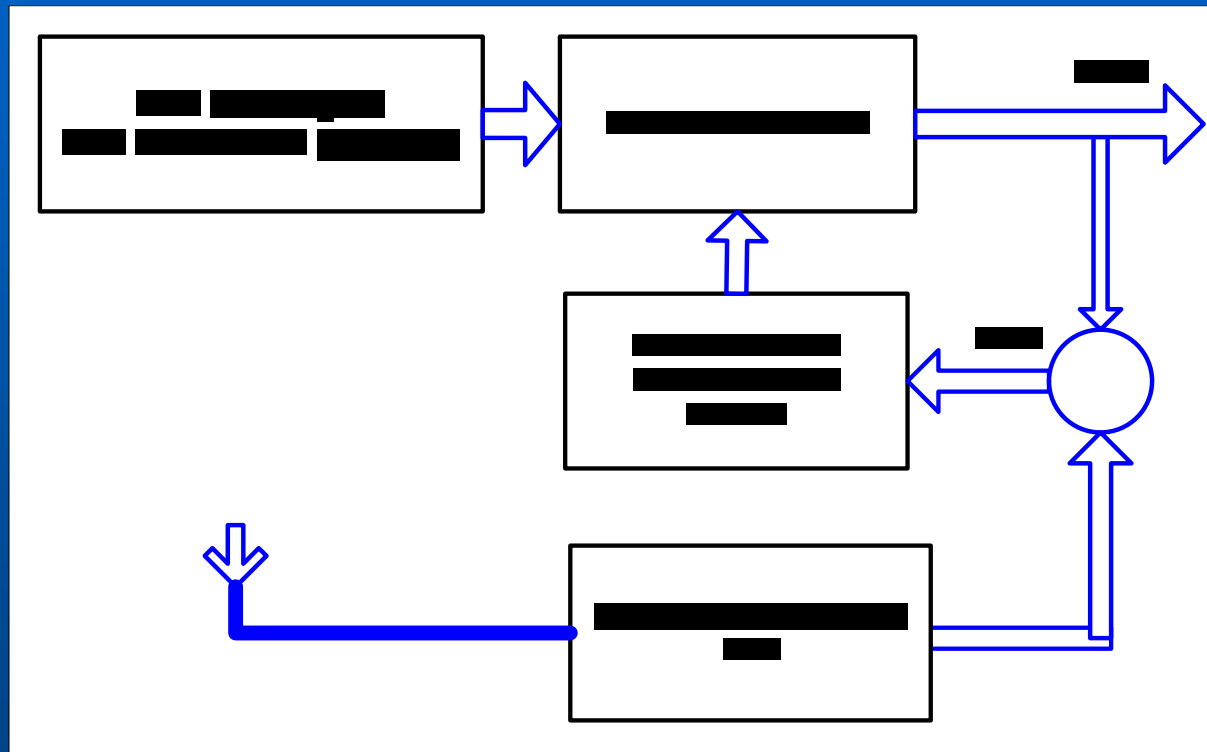
Fusão dos dados e correcção



Considerando um veículo autónomo equipado com sensores relativos e de integração, a adição de um sistema de GNSS a esse mesmo veículo, implica:

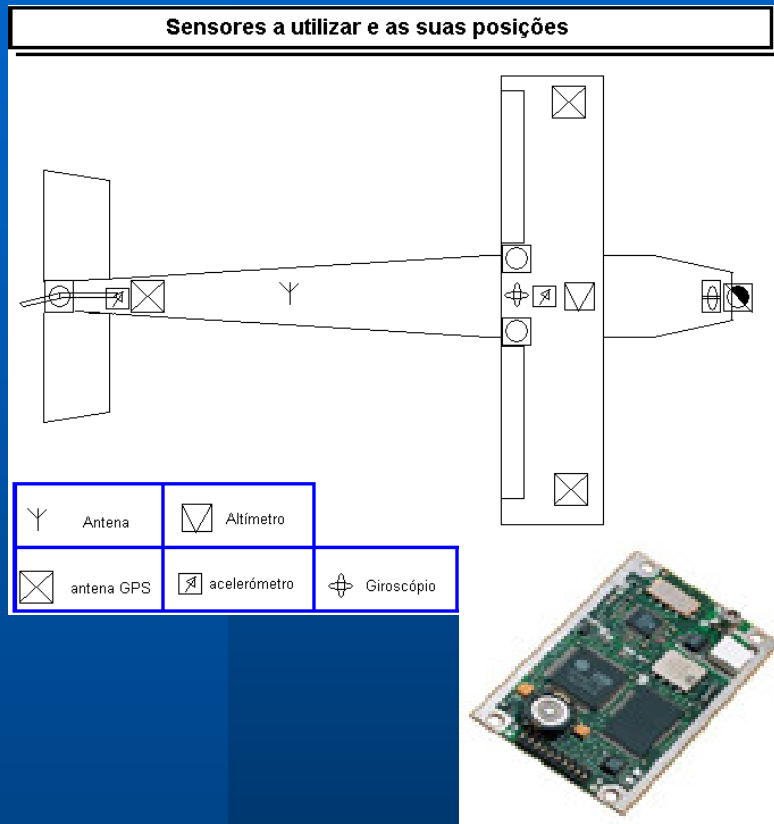
- Maior exactidão e precisão
- Mais Disponibilidade
- Mais Confiabilidade
- Redundância
- Maior Integridade

Fusão dos dados e correcção



Fusão típica dos dados INS e GPS

Aplicações do GNSS



Projecto FALCOS



LSA Contactos:

André Bianchi

andre.bianchi@lsa.isep.ipp.pt

Filipe Santos

filipe@lsa.isep.ipp.pt

Domingos Bento

dbento@lsa.isep.ipp.pt

Alfredo Martins

amartins@dee.isep.ipp.pt

Eduardo Silva

eaps@dee.isep.ipp.pt

José Almeida

jma@dee.isep.ipp.pt

SITE: <http://www.lsa.isep.ipp.pt>

The word 'FIM' is displayed in large, 3D, teal-colored letters with a blue-to-teal gradient and a white outline. A horizontal cyan bar is positioned above the letters.

Obrigado pela vossa atenção!

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.