

Grupo 4 – trabalho experimental envolvendo o processamento e análise de dados

OBJETIVO

Pretende-se familiarizar os alunos com o processamento e análise de dados, gerados por sistemas de instrumentação utilizados em ensaios em voo.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO

A cada grupo são entregues três ficheiros, diferentes para cada grupo, que devem ser processados de acordo com o indicado neste enunciado. O relatório final deverá conter:

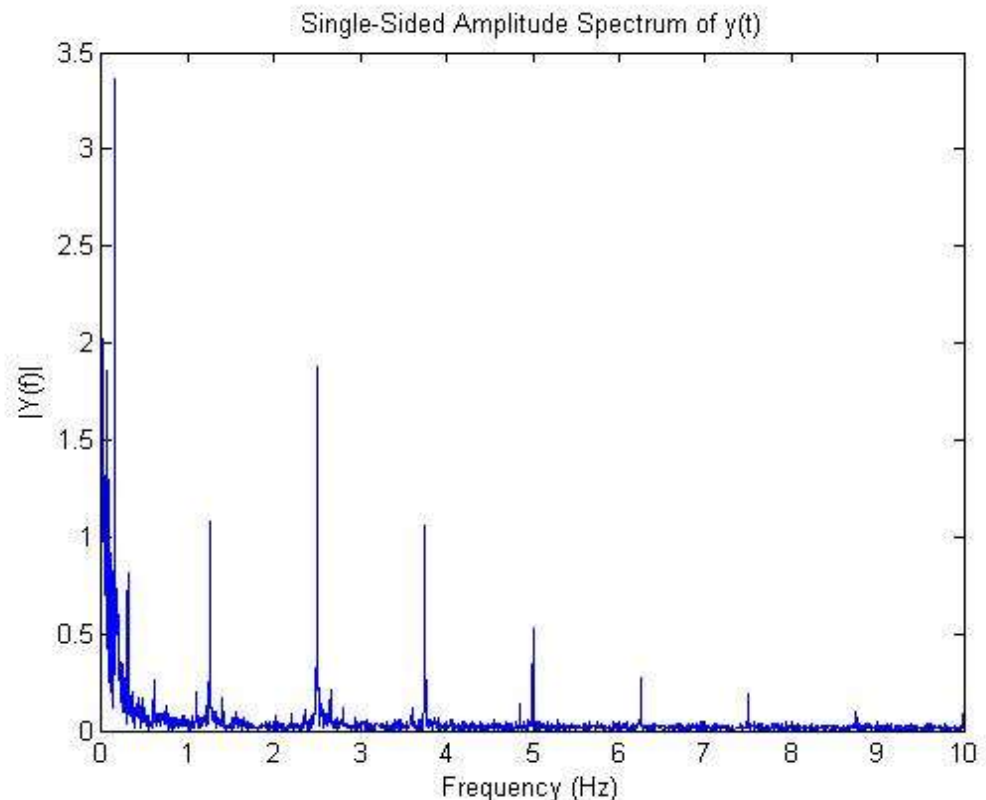
- as listagens dos programas desenvolvidos e utilizados no processamento e na análise dos dados;
- os resultados obtidos, sua análise e conclusões.

O ficheiro **EV_2021.04A** é um ficheiro de texto, contendo dados obtidos em laboratório e utilizando um sistema de instrumentação PCM de Classe I, como estipulado no Capítulo 4 das normas RCC IRIG 106-20. Este ficheiro de dados utiliza como separador decimal o ponto (.), utiliza como separador entre os diversos valores o ponto-e-vírgula (;) e é constituído pelos seguintes campos:

- t - tempo expresso em segundos (s)
- a1 - aceleração a_1 expressa em m/s^2
- a2 - aceleração a_2 expressa em m/s^2
- a3 - aceleração a_3 expressa em m/s^2
- a4 - aceleração a_4 expressa em m/s^2 .

O processamento requerido consiste nos seguintes passos:

1. representar graficamente a variação temporal das grandezas medidas;
2. determinar e apresentar o espectro unilateral de amplitude (*single-sided magnitude spectrum*) de cada um dos sinais, com a frequência expressa em Hz – a título de exemplo, a seguinte figura apresenta o espectro unilateral de amplitude de um sinal;



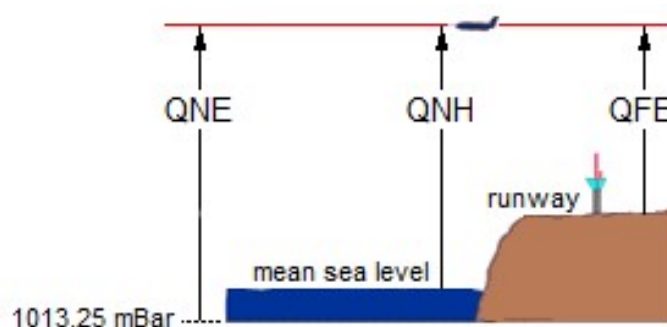
3. para cada sinal e para as frequências às quais há picos significativos da correspondente amplitude, determinar as correspondentes frequências e amplitudes;
4. apresentar e comentar os resultados obtidos no ponto anterior.

O ficheiro **EV_2021.04B** é um ficheiro de texto, contendo dados obtidos em voo numa aeronave DORNIER/DASSAULT ALPHA-JET. Este ficheiro de dados utiliza como separador decimal o ponto (.), utiliza como separador entre os diversos valores o ponto-e-vírgula (;) e é constituído pelos seguintes campos:

t - tempo expresso em segundos (*s*)

EAS - velocidade ar equivalente (*Equivalent Airspeed* - EAS) expressa em *kts*

QNE - altitude barométrica QNE expressa em *ft* - a seguinte figura ilustra diferentes altitudes barométricas utilizadas no domínio aeronáutico



a_z - aceleração vertical expressa em m/s^2

N2_rh - velocidade de rotação N2 do motor direito, expressa em percentagem do regime de funcionamento nominal

FF_rh - consumo de combustível (*Fuel Flow* - FF) do motor direito, expresso em *lb/h*

EGT_rh - temperatura dos gases de escape (*Exhaust Gas Temperature* - EGT) do motor direito, expressa em *K*

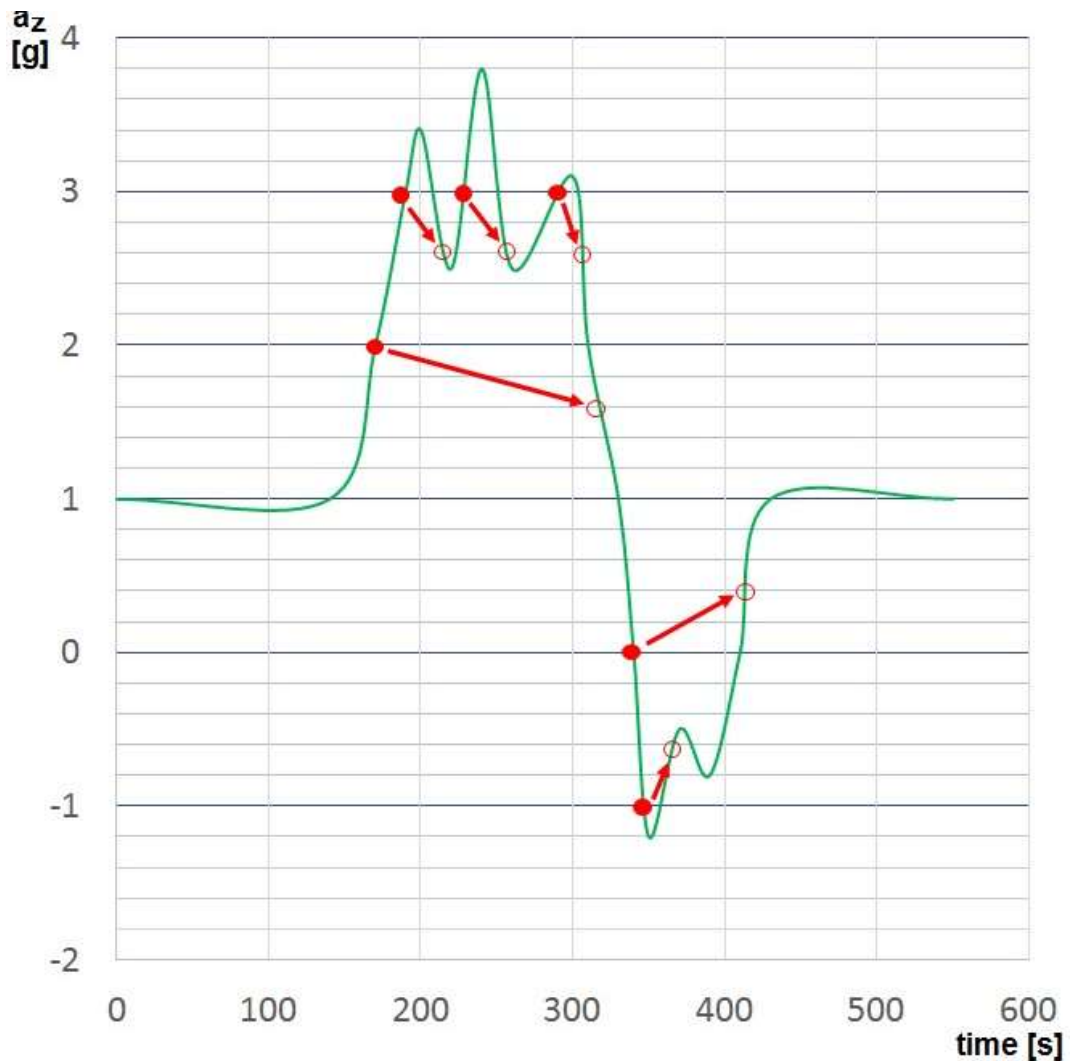
N2_lt - velocidade de rotação N2 do motor esquerdo, expressa em percentagem do regime de funcionamento nominal

FF_lt - consumo de combustível (*Fuel Flow* - FF) do motor esquerdo, expresso em *lb/h*

EGT_lt - temperatura dos gases de escape (*Exhaust Gas Temperature* - EGT) do motor esquerdo, expressa em *K*.

O processamento requerido consiste nos seguintes passos:

5. representar graficamente a variação temporal de todas as grandezas medidas;
6. converter o valor da aceleração vertical medida para g – g é a aceleração da gravidade ao nível médio das águas do mar (também referida como g_0), sendo $1g = 9.80665 m/s^2$, como estabelecido pela ICAO para uma atmosfera padrão internacional (*International Standard Atmosphere* – ISA);
7. criar um ficheiro que contenha apenas picos e vales, isto é, extremos relativos da aceleração vertical medida e expressa em g ;
8. elaborar um algoritmo para contagem de ocorrências de ciclos de aceleração vertical – o processo de contagem de 1 (uma) ocorrência de um ciclo de valor N_1 , é iniciado quando a aceleração vertical ultrapasse o valor N_1 ($a_z > N_1$ se $N_1 > 1g$ ou $a_z < N_1$ se $N_1 < 1g$) e é concluído quando o valor da aceleração vertical ultrapasse o valor N_2 ($a_z < N_2$ se $N_1 > 1g$ ou $a_z > N_2$ se $N_1 < 1g$) – a seguinte figura ilustra o processo de contagem ciclos da aceleração a_z , que no caso ilustrado resulta em 1 (um) ciclo de valor $N_1 = 2.0g$, para $N_2 = 1.6g$, 3 (três) ciclos de valor $N_1 = 3.0g$, para $N_2 = 2.6g$, 1 (ciclo) de valor $N_1 = 0.0g$, para $N_2 = 0.4g$, 1 (um) ciclo de valor $N_1 = -1.0g$, para $N_2 = -0.6g$;



9. Implementar o algoritmo anterior para os seguintes pares de valores

$N_1 = 2.0 \text{ g}$	$N_2 = 1.8 \text{ g}$
$N_1 = 3.5 \text{ g}$	$N_2 = 3.3 \text{ g}$
$N_1 = 5.0 \text{ g}$	$N_2 = 4.8 \text{ g}$
$N_1 = 6.0 \text{ g}$	$N_2 = 5.8 \text{ g}$
$N_1 = 7.0 \text{ g}$	$N_2 = 6.8 \text{ g}$
$N_1 = 0.0 \text{ g}$	$N_2 = 0.2 \text{ g}$
$N_1 = -1.5 \text{ g}$	$N_2 = -1.3 \text{ g}$
$N_1 = -2.5 \text{ g}$	$N_2 = -2.3 \text{ g};$

10. aplicar o algoritmo implementado sobre o ficheiro de dados criado no ponto 9;

11. apresentar e comentar os resultados obtidos.

O ficheiro **EV_2021.04C** contém dados recolhidos num voo de calibração de um sistema convencional de navegação.

A recolha de dados da constelação *Global Positioning System* (GPS) e do sistema *European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS) foi realizada por intermédio de um recetor embarcado SEPTENTRIO POLARX2, ligado a uma antena NOVATEL L1/L2 GPSANTENNA MODEL 512 REV. 2. Os dados foram recolhidos ao ritmo

de 1Hz e foram gravados na memória interna do recetor. Para obtenção da trajetória de referência, ou trajetória “verdadeira” da aeronave, foi utilizado o programa TOTAL TRIMBLE CONTROL, da TRIMBLE, e dados obtidos em estações de referência GNSS. A solução de navegação EGNOS foi gerada após a realização do voo, utilizando o pacote de programas PEGASUS do EUROCONTROL.

O ficheiro de dados é um ficheiro de texto, utiliza como separador decimal o ponto (.), utiliza como separador entre os diversos valores o ponto-e-vírgula (;) e é constituído pelos seguintes campos:

RX_TOM – tempo da semana, em segundos (s)

RX_WEEK – número da semana GPS

NSV_LOCK – número de satélites, incluindo geoestacionários, observados pelo recetor embarcado na aeronave

NSV_USED – número de satélites utilizados na determinação da solução de navegação EGNOS

NS_LAT – latitude da solução de navegação EGNOS, expressa em graus (°) e medida no sistema de coordenadas *World Geodetic System* 84 (WGS84)

NS_LON – longitude da solução de navegação EGNOS, expressa em graus (°) e medida no sistema de coordenadas WGS84

NS_ALT – altitude da solução de navegação EGNOS, expressa em metros (m) e medida relativamente ao elipsoide WGS84

NS_VE – componente horizontal da velocidade na direção Este, expressa em metros por segundo (m/s)

NS_VN – componente horizontal da velocidade na direção Norte, expressa em metros por segundo (m/s)

NS_VU – velocidade vertical, expressa em metros por segundo (m/s)

NS_HPL – nível de proteção horizontal, expresso em metros (m) e associado à solução de navegação EGNOS

NS_VPL – nível de proteção vertical, expresso em metros (m) e associado à solução de navegação EGNOS

REF_LAT – latitude da posição “verdadeira” da aeronave, expressa em graus (°) e medida no sistema de coordenadas WGS84

REF_LON – longitude da posição “verdadeira” da aeronave, expressa em graus (°) e medida no sistema de coordenadas WGS84

REF_ALT – altitude da posição “verdadeira” da aeronave, expressa em metros (m) e medida relativamente ao elipsoide WGS84.

Utilizando estes dados, pretende-se que efetuem a avaliação do desempenho do sistema de navegação EGNOS, de acordo com os requisitos impostos pelo ICAO e definidos no documento *Standards and Recommended Practices* (SARPs). De acordo com este documento, são definidos três modos de operação para um sistema de aumento por satélite (*Satellite Based Augmentation System* - SBAS):

- *precision approach CATegory I* (CAT-I);
- *Approach Procedure with Vertical guidance II* (APV-II);
- *Approach Procedure with Vertical guidance I* (APV-I).

Para cada um destes modos de operação são definidos os correspondentes limites de desempenho.

Exatidão (*accuracy*) - A exatidão é quantificada pelos erros de navegação horizontal (*Horizontal Navigation Error* – HNE) e vertical (*Vertical Navigation Error* - VNE). Os correspondentes percentis 95 das amostras obtidas devem verificar os seguintes limites:

Modo de operação	HPE (95%)	VPE (95%)
APV-I	16 m	20 m
APV-II	16 m	8 m
CAT-I	16 m	5 m

Integridade (*integrity*) - A integridade é quantificada pelos níveis de proteção horizontal (*Horizontal Protection Level* – HPL), vertical (*Vertical Protection Level* - VPL) e pela sua relação com os correspondentes erros de navegação. Os percentis 99 dos níveis de proteção das amostras obtidas devem verificar os seguintes limites, definidos como níveis de alerta horizontal (*Horizontal Alert Level* – HAL) e vertical (*Vertical Alert Level* – VAL):

Modo de operação	HAL	VAL
APV-I	40 m	50 m
APV-II	40 m	20 m
CAT-I	40 m	12 m

Comparando os níveis de proteção, horizontal e vertical, com os correspondentes erros de navegação, há a ocorrência de um evento de integridade se, num determinado instante de tempo, um dos níveis de proteção for inferior ao correspondente erro de navegação. Estes eventos devem ser contabilizados e identificados, para posterior análise.

Disponibilidade (*availability*) – A disponibilidade é definida como a percentagem de tempo, relativamente ao período de análise, em que o sistema de navegação permite um determinado modo de operação. Para o efeito, considera-se que o sistema de navegação permite um determinado modo de operação, num determinado instante de tempo, se os níveis de proteção, horizontal e vertical, forem inferiores aos correspondentes níveis de alerta, definidos anteriormente. De acordo com os requisitos impostos pelo ICAO, se a disponibilidade verificada para um determinado modo de operação for superior a 99%, o sistema de navegação por satélite poderá vir a ser adotado no correspondente modo de operação.

Continuidade (*continuity*) – A validação da continuidade do serviço disponibilizado é feita pela contabilização dos eventos de continuidade, isto é, pela contagem dos períodos em que o sistema exibiu disponibilidade para cada um dos modos de operação. A título de exemplo, se o sistema nunca esteve disponível, o número de eventos de continuidade será 0 (zero). Caso tenha estado sempre disponível o número de eventos de continuidade será 1 (um).

Com base nestes dados e informação, devem efetuar as seguintes ações:

12. determinar os erros do sistema de navegação EGNOS, ou seja, os erros da solução de navegação EGNOS, no plano horizontal (*Horizontal Position Error* – HPE) e no eixo vertical (*Vertical Position Error* – VPE) – atenção, tanto a posição da aeronave, obtida a partir da solução de navegação

EGNOS, como a sua posição “verdadeira” estão expressas no sistema de coordenadas WGS84;

13. representar graficamente, em função do tempo (RX_TOM), para o plano horizontal e para o eixo vertical, os erros do sistema de navegação, os limites de proteção e o número de satélites utilizado na geração da solução de navegação EGNOS;
14. determinar os correspondentes parâmetros de desempenho (exatidão, integridade, disponibilidade e continuidade);
15. identificar eventuais eventos de integridade, indicando todas as suas características que considerem relevantes;
16. apresentar e comentar os resultados obtidos.

AVALIAÇÃO

A avaliação do trabalho será essencialmente baseada na análise do relatório produzido e devidamente estruturado. Como referido anteriormente, este relatório deverá conter, eventualmente em anexo, as listagens dos programas desenvolvidos e utilizados, no processamento e na análise dos dados.