

Grupo 10 – 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_2022.A10** é um ficheiro de texto, contendo dados obtidos em laboratório e utilizando um sistema de instrumentação PCM de Classe I, de acordo com o 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

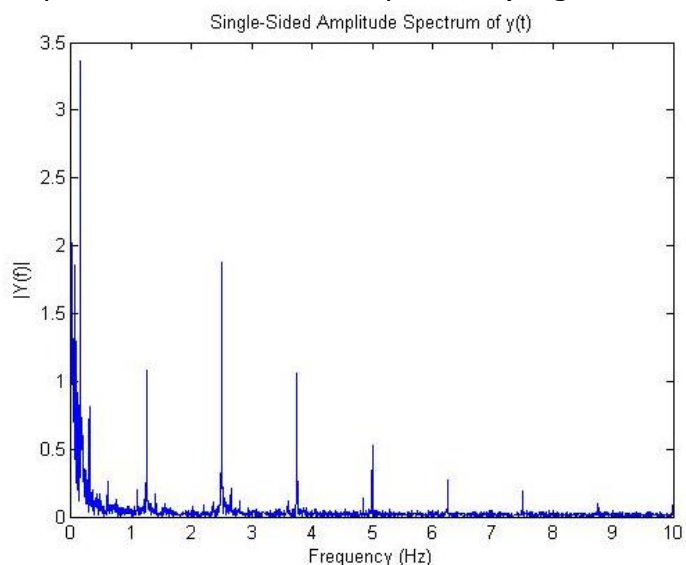
a2 – aceleração a_2 expressa em m/s^2

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 figura ao lado 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_2022.B10** 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:

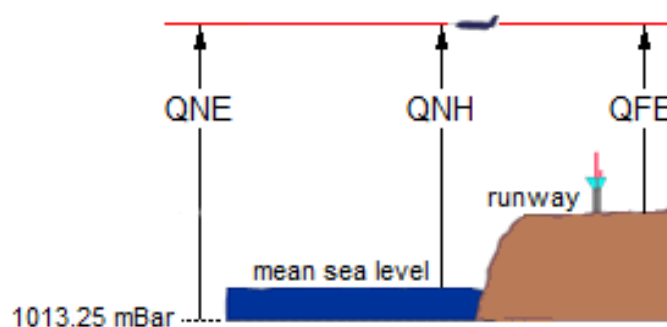
5. determinar os erros do sistema de navegação EGNOS, ou seja, os erros da solução de navegação EGNOS, no plano horizontal (*Horizontal Position Error* – HPE) e no eixo vertical (*Vertical Position Error* – VPE) – atenção, tanto a posição da aeronave, obtida a partir da solução de navegação EGNOS, como a sua posição “verdadeira” estão expressas no sistema de coordenadas WGS84;
6. 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;
7. determinar os correspondentes parâmetros de desempenho (exatidão, integridade, disponibilidade e continuidade);
8. identificar eventuais eventos de integridade, indicando todas as suas características que considerem relevantes;
9. apresentar e comentar os resultados obtidos.

O ficheiro **EV_2022.C10** 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 *knots* (kn)

QNE – altitude barométrica QNE expressa em *feet* (ft) – a seguinte figura ilustra diferentes altitudes barométricas utilizadas no domínio aeronáutico



a_z – aceleração vertical expressa em metros por segundo ao quadrado (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 *pounds per hour* (lb/h)

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

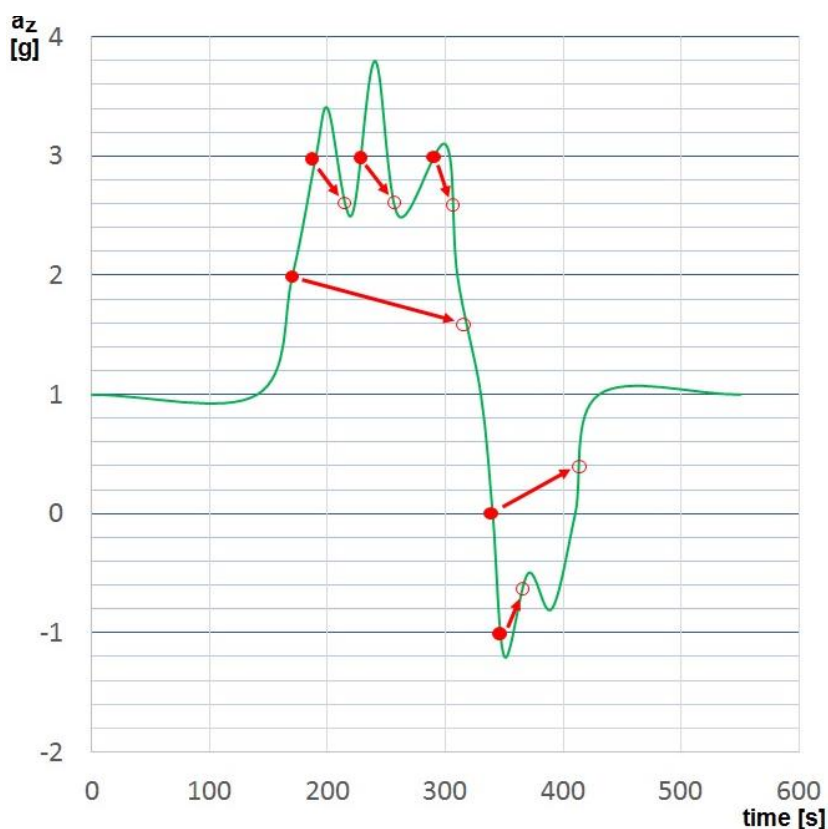
N2_It – velocidade de rotação N2 do motor esquerdo, expressa em percentagem do regime de funcionamento nominal

FF_It – consumo de combustível (*Fuel Flow* – FF) do motor esquerdo, expresso em *pounds per hour* (lb/h)

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

O processamento requerido consiste nos seguintes passos:

10. representar graficamente a variação temporal de todas as grandezas medidas;
11. converter o valor da aceleração vertical medida para g – g é a aceleração da gravidade ao nível médio das águas do mar, por vezes também referida como g_0 , sendo $1\ g = 9.80665\ m/s^2$, como estabelecido para uma atmosfera padrão ICAO (*ICAO Standard Atmosphere*);
12. criar um ficheiro que contenha apenas picos e vales, isto é, extremos relativos da aceleração vertical medida e expressa em g ;
13. 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 $N_1 > 1\ g$ ou $a_z < N_1$ se $N_1 < 1\ g$) e é concluído quando o valor da aceleração vertical ultrapasse o valor N_2 ($a_z < N_2$ se $N_1 > 1\ g$ ou $a_z > N_2$ se $N_1 < 1\ g$) – a seguinte figura ilustra o processo de contagem de ciclos da aceleração a_z , resultando 1 (um) ciclo de valor $N_1 = 2.0\ g$, para $N_2 = 1.6\ g$, 3 (três) ciclos de valor $N_1 = 3.0\ g$, para $N_2 = 2.6\ g$, 1 (ciclo) de valor $N_1 = 0.0\ g$, para $N_2 = 0.4\ g$, 1 (um) ciclo de valor $N_1 = -1.0\ g$, para $N_2 = -0.6\ g$;



14. implementar o algoritmo anterior para os seguintes pares de valores

$$N_1 = 2.0 \text{ g} \quad N_2 = 1.7 \text{ g}$$

$$N_1 = 3.5 \text{ g} \quad N_2 = 3.2 \text{ g}$$

$$N_1 = 4.5 \text{ g} \quad N_2 = 4.2 \text{ g}$$

$$N_1 = 5.5 \text{ g} \quad N_2 = 5.2 \text{ g}$$

$$N_1 = 7.0 \text{ g} \quad N_2 = 6.7 \text{ g}$$

$$N_1 = 0.0 \text{ g} \quad N_2 = 0.3 \text{ g}$$

$$N_1 = -1.0 \text{ g} \quad N_2 = -0.7 \text{ g}$$

$$N_1 = -2.5 \text{ g} \quad N_2 = -2.2 \text{ g};$$

15. aplicar o algoritmo implementado sobre o ficheiro de dados criado no ponto 12;

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.