آخر تحديث: November 1, 2026

🗺️ خريطة طريق لأربع سنوات · السنة 4, الخريف

عن هذه الدورة

يتضمن هذا المقرر المجاني 10 وحدات و6 مختبرات. هذه الأعداد الحقيقية وليست منهجًا أطول جرى اختصاره.

التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في صفحة مقرر يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم المعروض الرقم المعاد حسابه.

هذا مخطط دورة مجانية للتعلّم الذاتي كتبته Saving Planets. وهو ليس مقررًا جامعيًا، ولا يمنح ساعات معتمدة، ولا تشارك فيه أي مؤسسة تعليمية.

يتبع نطاقه مقررًا لفصل دراسي واحد للسنة الأخيرة في إلكترونيات الطيران وهندسة النظم. وهو مبني على موضوعات وعمق MIT 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (مجاني على MIT OpenCourseWare) وNASA Systems Engineering Handbook، ونضع روابط لهما حيث يفيدان. لا يتبنى MIT ولا NASA هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة مرتبطة بعمل حقيقي مع مصدر عام موثق (Landsat 9 وهابل وDragonfly ونظام الحركة الجوية لدى FAA)، وكل رقم في الصفحة يعاد حسابه بنص برمجي للتحقق قبل نشره، ولكل مختبر محاكاة مجانية أو جدول بيانات.

تابعها بالترتيب. في كل وحدة أهداف وأفكار أساسية ومعادلات وأمثلة خطوة بخطوة وتمارين بإجابات كاملة وأخطاء شائعة وبطاقات تعليمية واختبار قصير. يُحفظ تقدّمك في هذا المتصفح فقط.

كيف تساعد هذه الدورة في إنقاذ الكوكب

تعتمد أقمار رصد الأرض ومركبات الطقس والحركة الجوية الفعالة كلها على إلكترونيات طيران تعمل سنوات دون زيارة إصلاح، وعلى هندسة نظم تجعل آلاف القطع تعمل كوحدة واحدة.

المتطلبات الجيدة والتكرار الاحتياطي والاختبار هي ما يتيح لقمر صناعي مواصلة قياس الغابات والجليد والمحيطات بعد عمره التصميمي بكثير. تنتهي كل وحدة بقسم قصير موثق المصادر. القيم التي ليست من مصدر مُعلَّمة بأنها قيم نموذجية أو مرجعية.

للمعلمين

يمكنك تدريس هذا المقرر، أو أن يتابعه الطالب وحده. إنه مجاني. Saving Planets لا تمنح درجة ولا ساعات معتمدة.

- هذه الصفحة هي المقرر كاملًا: 10 وحدات و6 مختبرات (AERO 450).
- خطّط لخمسة عشر أسبوعًا، نحو 6 إلى 9 ساعات في الأسبوع، بما في ذلك أسابيع المختبر.
- اتبع جدول الخمسة عشر أسبوعًا. اقرأ الوحدة، حلّ التمارين على الورق، ثم افتح الإجابة. في أسبوع المختبر، نفّذ المختبر أو نسخته المنزلية.
- التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في الصفحة يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم الظاهر الرقم المعاد حسابه.

- استخدم طباعة هذه الصفحة، أو نزّل دليل الدراسة PDF. ورقة القوانين قرب النهاية.
- اسأل: كيف تساعد هذه الوحدة الناس والكوكب؟ في كل وحدة مربع أخضر فيه حقيقة مع مصدرها.
- انسخ نموذج دليل المعلم واكتب اسم صفك والوقت المتاح والأسئلة التي ستطرحها. افتح نموذج دليل المعلم

قبل أن تبدأ

المتطلبات السابقة

- الدوائر: الجهد والتيار والمقاومة والإشارات الرقمية.
- الاحتمالات والإحصاء: قواعد الاحتمال والتوزيع الأسي والتباين.
- ديناميكا الطيران والتحكم: التغذية الراجعة والمستشعرات والمشغلات.
- مقدمة في البرمجة: الحلقات والدوال والتوقيت.

كيف تذاكر

- ابدأ كل مسألة من المتطلب الذي تخدمه.
- ارسم المخططات الكتلية والواجهات قبل أي حساب.
- أبقِ الاحتمالات أعدادًا بين 0 و1 وتحقق من بقائها كذلك.
- تتبّع الوحدات: البتات والبايتات والثواني والهرتز والديسيبل.
- اسأل «ماذا يحدث إذا تعطل هذا الجزء؟» عن كل كتلة ترسمها.
- حل كل تمرين على الورق قبل فتح الإجابة، وأعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام.

ماذا تحتاج

- حاسوب أو جهاز لوحي لمحاكاة PhET Circuit Construction Kit: DC المجانية.
- برنامج جداول بيانات (أي برنامج مجاني يفي بالغرض)، أو Python.
- NASA Systems Engineering Handbook المجاني في متصفح الويب.
- آلة حاسبة.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

نحو 6 إلى 9 ساعات أسبوعيًا: قراءة وتمارين، وفي أسابيع المختبر، المختبر.

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	دورة حياة هندسة النظم والمتطلبات	دورة الحياة والمتطلبات	NASA SE Handbook
2	المعمارية والواجهات والتكامل	المعمارية والواجهات؛ المختبر A	MIT 16.842
3	الموثوقية والتكرار الاحتياطي	نماذج الموثوقية	NASA SE Handbook
4	الموثوقية والتكرار الاحتياطي	التكرار الاحتياطي؛ المختبر B	NASA Hubble

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
5	تحليل السلامة: FMEA وأشجار الأعطال	FMEA وأشجار الأعطال؛ المختبر C	NASA SE Handbook
6	إلكترونيات الطيران الرقمية وحافلات البيانات	إلكترونيات الطيران الرقمية	MIT 16.842
7	إلكترونيات الطيران الرقمية وحافلات البيانات	حافلات البيانات؛ المختبر D؛ تدريب منتصف الفصل	NASA Landsat 9
8	مستشعرات الملاحة: وحدات القياس بالقصور الذاتي وGNSS والكاميرات والليدار	مستشعرات الملاحة	NASA Dragonfly
9	دمج المستشعرات ومرشح كالمان	دمج المستشعرات ومرشحات كالمان؛ المختبر E	MIT 16.842
10	الاتصالات والمراقبة: ADS-B	الاتصالات وADS-B	FAA ADS-B
11	برمجيات الطيران في الزمن الحقيقي	البرمجيات في الزمن الحقيقي	MIT 16.842
12	برمجيات الطيران في الزمن الحقيقي	الحماية من الأعطال؛ المختبر F	NASA Hubble
13	التكامل والتحقق والتشغيل	التكامل والتحقق	NASA SE Handbook
14	التكامل والتحقق والتشغيل	منصات الاختبار وحقن الأعطال	NASA Dragonfly
15	التكامل والتحقق والتشغيل	المراجعة؛ تدريب للامتحان النهائي	MIT 16.842

تقدّمك

ضع علامة على الوحدات والمختبرات عند إنهائها، وخض الاختبارات. يُحفظ التقدم ونتائج الاختبارات في هذا المتصفح فقط، ولا تُرسل إلينا أبدًا.

الوحدات

دورة حياة هندسة النظم والمتطلبات

أصحاب المصلحة، ونموذج V، ومراحل دورة الحياة والمراجعات، والمتطلبات الجيدة، ومقاييس الأداء التقني، والهوامش.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- صِف نموذج V.
- اكتب متطلبات قابلة للتحقق.
- احسب الهوامش مقابل متطلب.
- تتبّع مقياس أداء تقني.

المفاهيم الأساسية

- تحوّل هندسة النظم احتياجات أصحاب المصلحة إلى نظام يعمل، في الموعد وضمن الميزانية، طوال عمره.
- ينزل نموذج V على الجانب الأيسر (المتطلبات والمعمارية والتصميم) ويصعد على الأيمن (التكامل والتحقق والمصادقة).
- المتطلب الجيد ضروري وواضح وقابل للتنفيذ وقابل للتحقق، مع رقم ووحدة وطريقة اختبار.
- تُتتبع مقاييس الأداء التقني مثل الكتلة والقدرة ومعدل البيانات مقابل المخصصات مع هامش.
- المراجعات (المفهوم، والتصميم الأولي، والتصميم الحرج) بوابات لكل مرحلة؛ ويعد طلاب MIT 16.842 تصميمًا بمستوى مراجعة التصميم الأولي.

المعادلات الأساسية

$$\text{Margin} = \frac{C - N}{N}$$

`Margin=(C-N)/(N)`

الهامش فوق الحاجة

$$m_{alloc} = m_{est}(1 + M)$$

`m_alloc=m_est(1+M)`

التخصيص مع الهامش

$$S = \sum w_i s_i$$

`S= w_is_i`

درجة المفاضلة الموزونة

$$\sum w_i = 1$$

$w_i = 1$

مجموع الأوزان واحد

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 تشترط NASA أن يجمع Landsat 9 ما لا يقل عن 400 مشهد يوميًا؛ وهو يجمع 740. أوجد الهامش.

1. $(740 - 400)/400$.

الإجابة: 85% فوق المتطلب.

مثال 1.2 يُقدَّر صندوق إلكترونيات طيران بـ 12 kg. خصّص مع هامش 25% (قيم نموذجية).

1. 12×1.25.

الإجابة: 15 kg.

مثال 1.3 الخيار A يحصل على 7 (التكلفة) و8 (الموثوقية)؛ وB على 9 و6. الأوزان 0.3 و0.7. أيهما يفوز؟

1. $A = 2.1 + 5.6 = 7.7$.
2. $B = 2.7 + 4.2 = 6.9$.

الإجابة: A، بنتيجة 7.7 مقابل 6.9.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. العمر التصميمي لـ Landsat 9 هو 5 سنوات والمواد المستهلكة تدوم 10 سنوات. النسبة؟

2.

2. خصّص 400 W من القدرة بهامش 30%.

520 W.

3. أعد صياغة «يجب أن يكون الراديو سريعًا» كمتطلب قابل للتحقق.

مثلًا: «يجب أن يرسل الراديو في الوصلة الهابطة 300 Mbit/s على الأقل، ويُتحقق من ذلك بالاختبار.»

4. أي جانب من V يتضمن التحقق؟

الجانب الأيمن.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المتطلبات تصف التصميم.
في الحقيقة: بل تحدد ما المطلوب لا كيفيته.

خرافة: الهامش هدر.
في الحقيقة: بل يستوعب النمو والمفاجآت.

خرافة: التحقق والمصادقة شيء واحد.
في الحقيقة: التحقق: بُني بشكل صحيح؛ المصادقة: بُني الشيء الصحيح.

بطاقات تعليمية

نموذج V

التفكيك نزولًا، والتكامل والتحقق صعودًا.

المتطلب

حاجة قابلة للتحقق.

TPM

مقياس أداء تقني متتبَّع.

PDR

مراجعة التصميم الأولي.

التحقق

بُني بشكل صحيح.

التحقق

بُني الشيء الصحيح.

اختبار ذاتي

1. هامش Landsat 9...

85%

74%

40%

185%

.85%. (740 − 400)/400

2. 12 kg + 25%...

15 kg

13 kg

12.25 kg

16 kg

15 kg. اضرب.

3. الفائز في المفاضلة...

A

B

تعادل

لا شيء منهما

A. 7.7 > 6.9.

4. المتطلب الجيد...

قابل للتحقق

غامض

تصميم

اختياري

قابل للتحقق. قابل للاختبار.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تسرد NASA متطلبات Landsat 9، ومنها 400 مشهد يوميًا على الأقل وعمر تصميمي 5 سنوات؛ ويجمع Landsat 9 ما مقداره 740 مشهدًا يوميًا، أي ضعف الحد الأدنى تقريبًا، ويحمل وقودًا يكفي للتشغيل 10 سنوات على الأقل.

مع Landsat 8 يرصد المكان نفسه كل 8 أيام، ما يتيح تنبيهات شبه أسبوعية بإزالة الغابات المدارية ومراقبة جودة المياه وتقارير المحاصيل، وهي ثمار متطلبات كُتبت وتحققت بهامش.

على Saving Planets: رصد الأرض · تصميم المركبات الفضائية

المصادر: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل NASA المجاني، الأقسام 4–3.
- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.

شاهد المحاضرة

Lecture 21: Systems Engineering for Space Shuttle Payloads (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2005/resources/lecture-21/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2005), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

المعمارية والواجهات والتكامل

المعمارية الوظيفية والمادية، وضبط الواجهات، ومخططات N²، وهندسة النظم القائمة على النماذج، ولماذا تنمو الواجهات بسرعة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اربط الوظائف بالمكونات.
- احسب الواجهات المحتملة.
- اقرأ مخطط N².
- اشرح هندسة النظم القائمة على النماذج.

المفاهيم الأساسية

- المعمارية الوظيفية تحدد ما يفعله النظام؛ والمعمارية المادية تحدد أي الصناديق تفعله.
- قد يحتاج كل زوج من المكونات إلى واجهة، لذا تنمو الواجهات المحتملة بمقدار n(n − 1)/2.
- يضع مخطط N² المكونات على القطر والبيانات أو القدرة بينها خارج القطر.
- تثبّت وثائق ضبط الواجهات الموصلات والإشارات والتوقيت وصيغ البيانات كي تعمل الفرق بالتوازي.
- تذكر NASA أن تحديث دليلها يتضمن هندسة النظم القائمة على النماذج (MBSE)، التي تُبقي المتطلبات والمعمارية والتحليلات في نموذج واحد متصل.

المعادلات الأساسية

$$I = \frac{n(n-1)}{2}$$

```
I=(n(n-1))/(2)
```

الواجهات الثنائية الاتجاه المحتملة

$$N_{cells} = n(n-1)$$

```
N_cells=n(n-1)
```

خلايا N² خارج القطر

$$B = \sum_{i} r_i$$

```
B=_i r_i
```

الحمل الكلي للحافلة

$$U = B / B_{max}$$

U=B/B_max

نسبة استخدام الحافلة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 مجموعة إلكترونيات طيران فيها 8 صناديق. كم عدد الواجهات المحتملة؟

1. 7/2 × 8.

الإجابة: 28.

مثال 2.2 أضف 4 صناديق (n = 12).

1. 11/2 × 12.

الإجابة: 66، أكثر من الضعف.

مثال 2.3 ثلاثة صناديق ترسل 20 و35 و15 kbit/s على حافلة 100 kbit/s. نسبة الاستخدام؟

1. 70/100.

الإجابة: 70%.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. خلايا N² خارج القطر عند n = 8؟

56.

2. الواجهات عند n = 4؟

6.

3. لماذا تُبقى نسبة استخدام الحافلة دون 100%؟

مجال للنمو وإعادة المحاولات وتذبذب التوقيت.

4. ما ICD؟

وثيقة ضبط الواجهة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الواجهات تنمو خطيًا.
في الحقيقة: بل تنمو تقريبًا مثل n^2.

خرافة: المعمارية مجرد قائمة قطع.
في الحقيقة: بل تشمل الوظائف والوصلات.

خرافة: MBSE تحل محل المهندسين.
في الحقيقة: بل تربط عملهم.

بطاقات تعليمية

المعمارية

وظائف مرتبطة بالمكونات.

مخطط N²

مصفوفة الواجهات.

ICD

وثيقة ضبط الواجهة.

MBSE

هندسة النظم القائمة على النماذج.

التكامل

ربط المكونات.

حمل الحافلة

مجموع معدلات البيانات.

اختبار ذاتي

1. الواجهات لـ 8 صناديق...

28

56

16

64

28. $n(n-1)/2$.

2. لـ 12 صندوقًا...

66

132

24

144

11/2 × 12 = 66.

3. نسبة استخدام الحافلة...

70%

35%

100%

7%

70/100 = 70%.

4. MBSE تعني...

هندسة النظم القائمة على النماذج

ميزانية الكتلة

خط الأساس للمهمة

متوسط خطأ الحافلة

هندسة النظم القائمة على النماذج. NASA.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن Systems Engineering Handbook الخاص بها حُدّث ليشمل هندسة النظم القائمة على النماذج، مستفيدًا من دروس المهمات والحوادث.

الواجهات الواضحة تتيح لفرق الأجهزة والمركبة البناء بالتوازي، وهكذا تصل مهمات رصد الأرض مثل Landsat 9 إلى المدار في موعدها.

على Saving Planets: تصميم المركبات الفضائية · رصد الأرض

المصادر: NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل NASA المجاني، القسم 4.
- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.

شاهد المحاضرة

Session 8: Systems Integration and Interface Management (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/resources/session-8-systems-integration-and-interface-management/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

الموثوقية والتكرار الاحتياطي

معدلات الأعطال، والموثوقية الأسية، وMTBF، والنظم المتسلسلة والمتوازية، والتكرار المعياري الثلاثي، ونظم k من n، والإتاحة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب الموثوقية من معدل أعطال.
- ادمج كتلًا متسلسلة ومتوازية.
- احسب موثوقية التصويت 2 من 3.
- احسب الإتاحة.

المفاهيم الأساسية

- مع معدل أعطال ثابت λ، تنخفض الموثوقية مثل e^(−λt) ومتوسط الزمن بين الأعطال هو 1/λ.
- النظم المتسلسلة تتعطل إذا تعطل أي جزء، لذا تُضرب الموثوقيات.
- النظم المتوازية (الاحتياطية) لا تتعطل إلا إذا تعطلت كل الأجزاء.
- التكرار المعياري الثلاثي يصوّت 2 من 3؛ ويتفوق على وحدة منفردة في بداية العمر لكن ليس بعد أن تنخفض R دون 0.5.
- الإتاحة هي جزء الزمن الذي يعمل فيه النظام: MTBF/(MTBF + MTTR).

المعادلات الأساسية

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

```
R(t)=e^- t
```

الموثوقية الأسية

$$R_s = \prod R_i,\ R_p = 1 - \prod (1 - R_i)$$

```
R_s= R_i,\ R_p=1-(1-R_i)
```

التوالي والتوازي

$$R_{2/3} = 3R^2 - 2R^3$$

```
R_2/3=3R^2-2R^3
```

التصويت اثنان من ثلاثة

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

```
A=(MTBF)/(MTBF+MTTR)
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 وحدة لها $\lambda = 10^{-5}$ لكل ساعة. الموثوقية على مدى 10000 h؟

1. $e^{(-0.1)}$.

الإجابة: 0.905.

مثال 3.2 وحدتان من هذا النوع على التوازي؟

1. $1 - (1 - 0.9048)^2$.

الإجابة: 0.991.

مثال 3.3 ثلاث وحدات تصوّت 2 من 3؟

1. $3(0.9048)^2 - 2(0.9048)^3$.

الإجابة: 0.975.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. MTBF عند $\lambda = 10^{-5}$ /h؟

   100,000 h.

2. وحدة منفردة ومزدوجة وTMR عند 50000 h؟

   0.607, 0.845, 0.657.

3. الإتاحة مع MTBF قدره 1000 h وMTTR قدره 2 h؟

   0.998.

4. يحتاج هابل إلى جيروسكوب واحد عامل من ثلاثة. أي نموذج؟

   1 من 3 (توازي).

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: التكرار الاحتياطي يساعد دائمًا.

في الحقيقة: يخسر TMR أمام الوحدة المنفردة متى كانت $R < 0.5$.

خرافة: MTBF عمر مضمون.

في الحقيقة: بل هو متوسط؛ وكثير منها يتعطل أبكر.

خرافة: الموثوقية المتسلسلة تُجمع.

في الحقيقة: بل تُضرب.

بطاقات تعليمية

معدل الأعطال

الأعطال في الساعة.

MTBF

متوسط الزمن بين الأعطال.

التكرار الاحتياطي

وحدات احتياطية.

TMR

التكرار المعياري الثلاثي، تصويت 2 من 3.

الإتاحة

جزء الزمن الذي يعمل فيه.

k من n

يعمل إذا عمل k من n.

اختبار ذاتي

1. $R(10{,}000\ h)$...

0.905

0.990

0.1

0.5

$0.905.\ e^{(-0.1)}$.

2. زوج على التوازي...

0.991

0.819

0.905

1

$0.991 . 1 - 0.0952^2$.

3. TMR...

0.975

0.905

0.991

0.857

$0.975 . 3R^2 - 2R^3$.

4. MTBF...

100,000 h

10,000 h

1000 h

10^{-5} h

$\lambda / 1 . 100{,}000$ h.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن هابل تلقى ستة جيروسكوبات جديدة في 2009، بقي ثلاثة منها عاملة، وعندما أعطى أحدها قراءات خاطئة نقلت NASA هابل إلى وضع الجيروسكوب الواحد مع إبقاء آخر احتياطيًا.

أُطلق هابل في 1990 وتجاوز ضعف عمره التصميمي المتوقع؛ فالتكرار الاحتياطي المخطط قبل عقود يُبقي مرصدًا عاملًا في المدار بدل بديل.

على Saving Planets: ديناميكا الطيران والتحكم · تصميم المركبات الفضائية

المصادر: NASA Science: NASA to change how it points Hubble Space Telescope (https://science.nasa.gov/missions/hubble/nasa-to-change-how-it-points-hubble-space-telescope/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.
- NASA Science: NASA to change how it points Hubble Space Telescope (https://science.nasa.gov/missions/hubble/nasa-to-change-how-it-points-hubble-space-telescope/): مقال NASA عن جيروسكوبات هابل.

أنهيت هذه الوحدة

تحليل السلامة: FMEA وأشجار الأعطال

المخاطر، وتحليل أنماط الأعطال وآثارها، وأرقام أولوية المخاطر، وأشجار الأعطال ببوابات AND وOR، والتصميم الحرج للسلامة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- نفّذ FMEA بسيطًا.
- احسب رقم أولوية المخاطر.
- قيّم بوابات AND وOR.
- اختر إجراءات التخفيف.

المفاهيم الأساسية

- يعمل FMEA من الأسفل إلى الأعلى: لكل جزء، اذكر كيف يمكن أن يتعطل، والأثر، وكيف سيُكتشف.
- رقم أولوية المخاطر يضرب درجات الشدة والحدوث والاكتشاف (كل منها 10–1، مقياس مرجعي).
- تعمل شجرة الأعطال من الأعلى إلى الأسفل انطلاقًا من حدث غير مرغوب؛ بوابات OR تزيد المخاطر، وبوابات AND (التكرار الاحتياطي) تقلصها.
- للاحتمالات الصغيرة المستقلة، بوابة OR تساوي المجموع تقريبًا وبوابة AND تساوي الحاصل.
- دروس الحوادث تشكّل الممارسة؛ وتذكر NASA أن دليلها استفاد من Columbia Accident Investigation Board وتقارير أخرى.

المعادلات الأساسية

$$RPN = S \times O \times D$$

```
RPN=S× O× D
```

رقم أولوية المخاطر

$$P_{OR} = 1 - \prod (1 - p_i)$$

```
P_OR=1-(1-p_i)
```

بوابة OR

$$P_{AND} = \prod p_i$$

```
P_AND= p_i
```

بوابة AND

$$P_{OR} \approx \sum p_i$$

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 عطل مستشعر بدرجات S = 8، O = 4، D = 5. ما RPN؟

1. 5 × 4 × 8.

الإجابة: 160.

مثال 4.2 أي من عطلين ($p = 10^{-3}$ و2×10^{-3}) يسبب فقد البيانات. الاحتمال؟

1. $1 - (0.999)(0.998)$.

الإجابة: 2.998×10^{-3}.

مثال 4.3 الفقد يتطلب العطلين معًا (تصميم احتياطي).

1. $2 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$.

الإجابة: 2×10^{-6}.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. تحسين الاكتشاف يخفض D إلى 2. RPN الجديد؟

64.

2. تقريب الأحداث النادرة لبوابة OR؟

3×10^{-3}.

3. أي بوابة ينشئها التكرار الاحتياطي؟

AND.

4. من الأعلى إلى الأسفل أم العكس: شجرة الأعطال؟

من الأعلى إلى الأسفل.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: RPN احتمال.

في الحقيقة: بل درجة ترتيب.

خرافة: بوابات OR تضرب.

في الحقيقة: بوابات AND هي التي تضرب.

خرافة: الأجزاء الاحتياطية تتعطل باستقلال.

في الحقيقة: الأسباب المشتركة قد تعطل كليهما.

بطاقات تعليمية

FMEA

تحليل أنماط الأعطال وآثارها.

RPN

الشدة × الحدوث × الاكتشاف.

شجرة الأعطال

منطق العطل من الأعلى إلى الأسفل.

بوابة OR

أي مدخل يسبب الحدث.

بوابة AND

كل المدخلات مطلوبة.

سبب مشترك

حدث واحد يعطل عدة أجزاء.

اختبار ذاتي

1. RPN...

160

17

40

320

5 × 4 × 8 .160.

2. بوابة OR...

≈ 3 × 10^{-3}

2×10^{-6}

10^{-3}

0.5

$1 - \prod(1 - p) \approx 3 \times 10^{-3}$.

3. بوابة AND...

2×10^{-6}

3×10^{-3}

10^{-3}

2×10^{-3}

2×10^{-6}. الحاصل.

4. يعمل FMEA...

من الأسفل إلى الأعلى

من الأعلى إلى الأسفل

جانبيًا

عشوائيًا

من الأسفل إلى الأعلى. جزءًا جزءًا.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن الدروس التي وثّقها Columbia Accident Investigation Board وNASA Integrated Action Team وغيرهما، إضافة إلى حوادث العمليات الأرضية ورحلات الفضاء التجارية، شكّلت دليلها لهندسة النظم.

أدوات السلامة نفسها تحمي الأقمار الصناعية التي تتعقب حرائق الغابات والعواصف والجليد البحري. الاحتمالات في هذه الوحدة قيم نموذجية.

على Saving Planets: الحلول · رصد الأرض

المصادر: NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل NASA المجاني، القسم 6.
- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.

أنهيت هذه الوحدة

إلكترونيات الطيران الرقمية وحافلات البيانات

البيانات الثنائية، والتحويل التناظري الرقمي، والتكميم، وحافلات البيانات التسلسلية (MIL-STD-1553، ARINC 429)، وتوقيت الرسائل، وحجم البيانات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب دقة ADC وSNR.
- احسب زمن إرسال رسالة.
- قارن أنواع الحافلات.
- قدّر حجم البيانات.

المفاهيم الأساسية

- المحول ذو N بت يقسم مدى دخله إلى 2^N مستوى؛ والخطوة الواحدة هي البت الأقل أهمية.
- SNR التكميم المثالية نحو 6.02N + 1.76 dB.
- ARINC 429 حافلة بمرسل واحد ومستقبلات عديدة بسرعة 100 kbit/s في الوضع السريع (قيمة مرجعية)؛ وMIL-STD-1553 حافلة أمر/استجابة بسرعة 1 Mbit/s (قيمة مرجعية).
- زمن الرسالة هو عدد البتات مقسومًا على معدل البت؛ ويضاف إليه الحمل الإضافي والفواصل.
- الدقة الإشعاعية الأعلى (بتات أكثر) تُظهر فروقًا أدق لكنها تنتج بيانات أكثر.

المعادلات الأساسية

$$\Delta V = \frac{V_{FS}}{2^N}$$

```
Δ V=_FS2^N
```

خطوة ADC

$$SNR \approx 6.02N + 1.76 \text{ dB}$$

SNR التكميم

$$t = \frac{bits}{R_b}$$

```
t=(bits)/(R_b)
```

زمن الإرسال

$$L = 2^N$$

L=2^N

عدد المستويات

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 ADC بدقة 12 بت يغطي 10 V. حجم الخطوة؟

1. 10/4096.

الإجابة: 2.44 mV.

مثال 5.2 SNR المثالية له؟

1. 1.76 + 12 × 6.02.

الإجابة: 74.0 dB.

مثال 5.3 كم تستغرق كلمة ARINC 429 من 32 بت عند 100 kbit/s؟

1. 32/100,000.

الإجابة: 0.32 ms.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. دقة Landsat 9 الإشعاعية 14 بت. عدد المستويات؟

   16,384.

2. SNR لـ 8 بتات؟

   49.9 dB.

3. الكلمة نفسها من 32 بت على حافلة 1 Mbit/s؟

   0.032 ms.

4. الخطوة لـ 16 بت على 10 V؟

   0.153 mV.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: مزيد من البتات يعني تلقائيًا دقة أعلى.

في الحقيقة: الضوضاء والمعايرة تحدّانها أيضًا.

خرافة: معدل البت يساوي معدل البيانات المفيدة.

في الحقيقة: الحمل الإضافي يأخذ حصة.

خرافة: حافلة واحدة تناسب الجميع.

في الحقيقة: اختر حسب التوقيت والسلامة والتكلفة.

بطاقات تعليمية

ADC

محول تناظري رقمي.

LSB

خطوة البت الأقل أهمية.

ARINC 429

حافلة إلكترونيات طيران أحادية الاتجاه.

MIL-STD-1553

حافلة أمر/استجابة.

التكميم

التقريب إلى مستويات.

معدل البت

بتات في الثانية.

اختبار ذاتي

1. خطوة 12 بت على 10 V...

2.44 mV

24.4 mV

0.244 mV

10 mV

2.44 mV. 10/4096.

2. SNR لـ 12 بت...

74.0 dB

72 dB

49.9 dB

98 dB

.74.0 dB. 6.02N + 1.76

3. زمن كلمة ARINC...

0.32 ms

3.2 ms

32 ms

0.032 ms

.0.32 ms. $32/10^5$

4. مستويات 14 بت...

16,384

4096

65,536

14

.16,384. 2^{14}

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تذكر NASA أن لـ Landsat 9 دقة إشعاعية 14 بت و11 نطاقًا طيفيًا وأكثر من 700 مشهد يوميًا، كل منها 185 km في 180 km.

الخطوات الإشعاعية الدقيقة تتيح للعلماء رؤية تغيرات طفيفة في جودة المياه وصحة الغطاء النباتي، على حساب بيانات أكثر يتعين على إلكترونيات الطيران تخزينها وإرسالها.

على Saving Planets: رصد الأرض · الدوائر الكهربائية

المصادر: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.
- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.

أنهيت هذه الوحدة

مستشعرات الملاحة: وحدات القياس بالقصور الذاتي وGNSS والكاميرات والليدار

الجيروسكوبات ومقاييس التسارع، وانجراف الملاحة بالقصور الذاتي، وقياس المسافة بالملاحة الساتلية، ومستشعرات الرؤية والليدار للاستقلالية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب الانجراف الناتج عن انحياز مقياس التسارع.
- اربط خطأ التوقيت بخطأ المسافة.
- قارن نقاط قوة المستشعرات.
- اشرح لماذا تُدمج المستشعرات.

المفاهيم الأساسية

- تقيس وحدة القياس بالقصور الذاتي (IMU) معدلات الدوران (الجيروسكوبات) والقوة النوعية (مقاييس التسارع).
- التكامل مرتين يحوّل انحيازًا صغيرًا في مقياس التسارع إلى خطأ موقع ينمو مع t^2.
- تقيس الملاحة الساتلية المسافة من زمن انتقال الإشارة؛ و1 µs من خطأ الساعة يعادل نحو 300 m من المسافة.
- تقيس الكاميرات والليدار المحيط مباشرة، فتعطي معلومات موقع ومخاطر لا تنجرف.
- لا يكفي مستشعر واحد: وحدات IMU سريعة لكنها تنجرف؛ والمستشعرات الخارجية أبطأ لكن أخطاءها محدودة.

المعادلات الأساسية

$$e = \tfrac{1}{2} b t^2$$

```
e=12bt^2
```

خطأ الموقع من انحياز مقياس التسارع

$$\rho = c\,\Delta t$$

```
ρ=c Δ t
```

المسافة من زمن الانتقال

$$\theta_e = \omega_b t$$

```
θ_e=ω_bt
```

خطأ الاتجاه من انحياز الجيروسكوب

$$b = 10^{-3} g$$

b=10^-3g

انحياز نموذجي قدره 1 ملّي-g

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 انحياز مقياس تسارع قدره 1 ملّي-g (9.807 × 10⁻³ m/s²) يبقى دون تصحيح لمدة 60 s. خطأ الموقع؟

1. ½ × 9.807 × 10⁻³ × 60².

الإجابة: 17.7 m.

مثال 6.2 بعد 600 s؟

1. ½ × 9.807 × 10⁻³ × 600².

الإجابة: 1765 m، أسوأ بـ 100 مرة لزمن أطول بـ 10 مرات.

مثال 6.3 ساعة مستقبل منحرفة بمقدار 1 µs. خطأ المسافة؟

1. 299,792,458 × 10⁻⁶.

الإجابة: 300 m.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. الخطأ بعد 10 s بالانحياز نفسه؟

   0.49 m.

2. انحياز جيروسكوب 0.01°/h لمدة 10 h؟

   0.1° في الاتجاه.

3. لماذا يحتاج Dragonfly إلى ليدار على تيتان؟

   لقياس ارتفاع التضاريس وميلها ورصد المخاطر.

4. خطأ الساعة المقابل لـ 3 m من المسافة؟

   10 ns.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: وحدات IMU لا تحتاج تصحيحًا أبدًا.
في الحقيقة: أخطاؤها تنمو مع الزمن.

خرافة: GNSS يعمل في كل مكان.
في الحقيقة: لا يعمل داخل المباني ولا تحت الماء ولا على تيتان.

خرافة: الانجراف ينمو خطيًا.
في الحقيقة: انجراف الانحياز ينمو مع t^2.

بطاقات تعليمية

IMU

الجيروسكوبات ومقاييس التسارع.

الملاحة التقديرية

الملاحة بالتكامل.

GNSS

الملاحة الساتلية.

الليدار

قياس المسافة بالليزر.

الانحياز

إزاحة ثابتة في المستشعر.

المسافة الزائفة

مسافة تتضمن خطأ الساعة.

اختبار ذاتي

1. الخطأ عند 60 s...

17.7 m

0.59 m

1765 m

35 m

17.7 m. ½bt².

2. الخطأ عند 600 s...

1765 m

177 m

17.7 km

600 m

100× 1765 m.

3. خطأ ساعة 1 µs...

300 m

3 m

30 km

0.3 m

Δt c .300 m

4. المستشعر الذي ينجرف...

IMU

ليدار

مطابقة الخريطة بالكاميرا

GNSS

التكامل. IMU.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن اختبار «الطيران الأول» الأخير لـ Dragonfly شغّل برمجيات الطيران وإلكترونيات طيران مماثلة لنسخة الطيران ببيانات محاكاة من كاميرات الملاحة ووحدات القياس بالقصور الذاتي والليدار.

يقيس الليدار ارتفاع التضاريس وميلها ويحدد المخاطر، ما يتيح للطائرة المروحية اختيار موقع هبوط آمن على تيتان، حيث يُتوقع وصولها في 2034.

على Saving Planets: ديناميكا الطيران والتحكم · رصد الأرض

المصادر: NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/): مقال NASA عن Dragonfly.
- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.

أنهيت هذه الوحدة

دمج المستشعرات ومرشح كالمان

دمج القياسات المشوشة، والترجيح بمقلوب التباين، ومرشح كالمان العددي ودورة التنبؤ والتحديث.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ادمج قياسين حسب التباين.
- احسب كسب كالمان.
- نفّذ خطوة تنبؤ وتحديث واحدة.
- اشرح لماذا يتفوق الدمج على كل مستشعر منفردًا.

المفاهيم الأساسية

- أفضل طريقة لدمج تقديرين مستقلين هي ترجيح كل منهما بمقلوب تباينه.
- التباين المدمج أصغر من كلا تبايني الدخل.
- يتنبأ مرشح كالمان بالحالة إلى الأمام، ثم يصححها بقياس باستخدام الكسب K.
- K = P/(P + R): ثق بالقياس أكثر حين يكون التنبؤ غير مؤكد (P كبير) والمستشعر جيدًا (R صغير).
- تدمج نظم الملاحة تنبؤات IMU السريعة مع تحديثات أبطأ من الكاميرا أو الليدار أو GNSS.

المعادلات الأساسية

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

التباين المدمج

$$K = \frac{P}{P + R}$$

K=(P)/(P+R)

كسب كالمان العددي

$$\hat{x}^+ = \hat{x}^- + K(z - \hat{x}^-)$$

x^+= x^-+K(z- x^-)

التحديث

$$P^+ = (1 - K)P$$

P^+=(1-K)P

التباين المحدَّث

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 يُدمج مستشعران $\sigma = 4$ m و3 m. ما σ المدمجة؟

1. $\sigma^2 = 16 \times 9/25 = 5.76$.
2. $\sigma = \sqrt{5.76}$.

الإجابة: 2.4 m.

مثال 7.2 تباين التنبؤ $P = 16$ m²، والقياس $R = 9$ m². الكسب؟

1. $16/25$.

الإجابة: 0.64.

مثال 7.3 التنبؤ 100 m، والقياس 105 m. التحديث والتباين الجديد؟

1. $x = 100 + 0.64 \times 5 = 103.2$ m.
2. $P = 0.36 \times 16$.

الإجابة: 103.2 m بتباين 5.76 m².

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ادمج مستشعرين متماثلين $\sigma = 2$ m.

   $\sigma = 1.41$ m.

2. الكسب إذا كان $R = 0$؟

   1: ثق بالقياس كليًا.

3. الكسب إذا كان R ضخمًا؟

   قرب 0: احتفظ بالتنبؤ.

4. ما الذي يزيد P بين التحديثات؟

   ضوضاء العملية في التنبؤ.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: خذ متوسط المستشعرات بالتساوي.

في الحقيقة: رجّح بمقلوب التباين.

خرافة: الدمج لا يمكن أن يتفوق على أفضل مستشعر.

في الحقيقة: بل يتفوق على كليهما.

خرافة: مرشحات كالمان تزيل كل خطأ.

في الحقيقة: بل تقلل التباين إلى أدنى حد في ظل افتراضات.

بطاقات تعليمية

دمج المستشعرات

الجمع بين القياسات.

كسب كالمان

الوزن المعطى للقياس.

التغاير

عدم يقين التقدير.

التنبؤ

انتشار الحالة إلى الأمام.

التحديث

التصحيح بقياس.

الابتكار

القياس ناقص التنبؤ.

اختبار ذاتي

1. σ المدمجة...

2.4 m

3.5 m

1 m

5 m

.2.4 m. √5.76

2. كسب كالمان...

0.64

0.36

1.78

0.5

.0.64. P/(P + R)

3. التقدير المحدَّث...

103.2 m

105 m

100 m

102.5 m

.103.2 m. 100 + 0.64 × 5

4. التباين الجديد...

5.76 m²

16 m²

9 m²

25 m²

.5.76 m². (1 − K)P

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تفيد NASA بأن فريق Dragonfly أضاف المستشعرات والقدرات خطوة بخطوة، منتهيًا بالليدار، القطعة الأخيرة اللازمة لمحاكاة كاملة لما ستواجهه الطائرة المروحية على تيتان.

صوّر محاكي كاميرا كل مشهد محاكى لتيتان بأزمنة تعريض تقارب 20 إلى 70 ميلي ثانية، وهي الأزمنة التي ستستخدمها الكاميرات، كي ترى برمجيات الدمج توقيتًا واقعيًا. التباينات في هذه الوحدة قيم نموذجية.

على Saving Planets: ديناميكا الطيران والتحكم · تصميم المركبات الفضائية

المصادر: NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.
- NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/): مقال NASA عن Dragonfly.

أنهيت هذه الوحدة

الاتصالات والمراقبة: ADS-B

أجهزة راديو الطائرات، والمدى في خط البصر، وفقد المسار في الفضاء الحر، وADS-B Out وIn، وكيف تدعم المراقبة مراقبة الحركة الجوية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب مدى الأفق الراديوي.
- احسب فقد المسار في الفضاء الحر.
- اشرح ADS-B Out وIn.
- ضع أرقام حركة FAA في سياقها.

المفاهيم الأساسية

- تنتشر VHF والترددات الأعلى في خط البصر، لذا يعتمد المدى على ارتفاع الهوائيات.
- يزداد فقد المسار في الفضاء الحر مع المسافة والتردد، 20 log₁₀(4πd/λ).
- مع ADS-B Out تبث الطائرة موقعها المستمد من الأقمار الصناعية؛ ويتيح ADS-B In للطائرات الأخرى وللمحطات الأرضية استقباله.
- تصف FAA نظام ADS-B في الزمن الحقيقي بأنه طريقة المراقبة المفضلة لمراقبة الحركة الجوية في National Airspace System.
- في الولايات المتحدة يجب أن تحمل الطائرات ADS-B Out للطيران في المجال الجوي المحدد في 14 CFR 91.225.

المعادلات الأساسية

$$d \approx 4.12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ km}$$

الأفق الراديوي (h بالمتر)

$$L = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda}$$

```
L=20_10(4π d)/()
```

فقد المسار في الفضاء الحر

$$\lambda = c / f$$

الطول الموجي

$$\bar{n} = N / 24$$

```
n=N/24
```

متوسط الرحلات في الساعة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 طائرة على ارتفاع 10000 m وهوائي أرضي على 10 m. الأفق الراديوي؟

1. $4.12(100 + 3.162)$.

الإجابة: 425 km.

مثال 8.2 فقد المسار عند 1090 MHz على مسافة 200 km.

1. $\lambda = 0.2750$ m.
2. $20\log_{10}(4\pi \times 2 \times 10^5/0.2750)$.

الإجابة: 139.2 dB.

مثال 8.3 تخدم FAA أكثر من 44000 رحلة يوميًا. المتوسط في الساعة؟

1. $44{,}000/24$.

الإجابة: نحو 1833.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ضاعف المسافة: ما فقد المسار الإضافي؟

   6.02 dB.

2. الطول الموجي عند 1090 MHz؟

   0.275 m.

3. الركاب لكل رحلة من 3 ملايين و44000؟

   نحو 68.

4. ماذا يتطلب ADS-B Out على متن الطائرة؟

   جهاز إرسال يبث الموقع.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: مدى الراديو غير محدود.

في الحقيقة: خط البصر يحده.

خرافة: ADS-B يستخدم الرادار.

في الحقيقة: الطائرات تبث موقعها بنفسها.

خرافة: فقد المسار خطي مع المسافة.

في الحقيقة: بل ينمو مثل $20 \log_{10} d$.

بطاقات تعليمية

ADS-B

المراقبة التابعة التلقائية بالبث.

ADS-B Out

يبث موقعه بنفسه.

ADS-B In

يستقبل الحركة الجوية والطقس.

فقد المسار

فقد انتشار الإشارة.

الأفق الراديوي

حد خط البصر.

NAS

النظام الوطني للمجال الجوي في الولايات المتحدة.

اختبار ذاتي

1. الأفق الراديوي...

425 km

42.5 km

4250 km

100 km

103.2 × 4.12 ≈ 425 km.

2. فقد المسار...

139.2 dB

119 dB

160 dB

13.9 dB

.139.2 dB. 20 $\log_{10}(4\pi d/\lambda)$

3. الرحلات في الساعة...

≈ 1833

≈ 440

≈ 44,000

≈ 183

.≈ 1833. 44,000/24

4. وظيفة ADS-B Out...

بث الموقع

تشويش الرادار

تتبع الطقس فقط

إهباط الطائرة

بث الموقع. FAA.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول FAA إن ADS-B يحسّن السلامة والكفاءة في الجو وعلى المدارج، ويخفض التكاليف، ويقلل الآثار الضارة بالبيئة.

تخدم Air Traffic Organization التابعة لـ FAA أكثر من 44000 رحلة وأكثر من 3 ملايين مسافر جوي يوميًا عبر أكثر من 29 مليون ميل مربع من المجال الجوي (أرقام FY24)، لذا تتراكم مكاسب الكفاءة الصغيرة.

على Saving Planets: أداء الطائرات · الحلول

المصادر: · FAA: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) (https://www.faa.gov/air_traffic/technology/adsb)
FAA: Air Traffic By The Numbers (https://www.faa.gov/air_traffic/by_the_numbers)

مصادر تعلّم مجانية

- FAA: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) (https://www.faa.gov/air_traffic/technology/adsb): نظرة عامة من FAA.
- FAA: Air Traffic By The Numbers (https://www.faa.gov/air_traffic/by_the_numbers): حقائق من FAA.

أنهيت هذه الوحدة

برمجيات الطيران في الزمن الحقيقي

المهام والدورات والمهل، ونسبة استخدام المعالج، والجدولة أحادية المعدل، ومعدلات الإطارات، ومؤقتات المراقبة، والحماية من الأعطال.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب نسبة استخدام المعالج.
- طبّق حد الجدولة أحادية المعدل.
- اربط معدل الإطارات بالدورة.
- صِف الحماية من الأعطال.

المفاهيم الأساسية

- تشغّل برمجيات الطيران مهامًا دورية يجب أن تنتهي قبل مهلها، لا أن تكون سريعة في المتوسط فحسب.
- نسبة الاستخدام هي مجموع زمن تشغيل كل مهمة مقسومًا على دورتها.
- تعطي الجدولة أحادية المعدل أولوية أعلى للدورات الأقصر؛ وهي مضمونة حين U ≤ n(2^(1/n) − 1).
- مؤقتات المراقبة تعيد تشغيل معالج توقف عن الاستجابة؛ والحماية من الأعطال تضع المركبة الفضائية في الوضع الآمن.
- الاستقلالية مهمة حين تكون المساعدة الأرضية بعيدة؛ وتقول NASA إن Dragonfly يجب أن تطير دون مساعدة آنية من الأرض.

المعادلات الأساسية

$$U = \sum \frac{C_i}{T_i}$$

```
U=(C_i)/(T_i)
```

نسبة الاستخدام

$$U \leq n(2^{1/n} - 1)$$

حد الجدولة أحادية المعدل

$$f = 1/T$$

```
f=1/T
```

معدل الإطارات

$$\text{slack} = 1 - U$$

```
slack=1-U
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 تستغرق المهام 2 و3 و5 ms بدورات 10 و20 و50 ms. نسبة الاستخدام؟

1. 0.1 + 0.15 + 0.2.

الإجابة: 0.45.

مثال 9.2 حد الجدولة أحادية المعدل لثلاث مهام؟

1. 3(2^(1/3) − 1).

الإجابة: 0.780، لذا فإن 0.45 قابلة للجدولة بضمان.

مثال 9.3 تستغرق أزمنة تعريض كاميرات Dragonfly نحو 20 إلى 70 ms. معدلات الإطارات المقابلة؟

1. 1/0.07 و1/0.02.

الإجابة: نحو 14.3 إلى 50 Hz.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. الحد عند n = 2؟

   0.828.

2. الحد عند n = 4؟

   0.757.

3. الفسحة عند U = 0.45؟

   0.55.

4. لماذا الوضع الآمن؟

   للحفاظ على استقرار المركبة وانتظار المساعدة أو الإصلاح.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: السرعة في المتوسط تكفي.
في الحقيقة: كل مهلة مهمة.

خرافة: $U \le 1$ تعني دائمًا قابلية الجدولة في RMS.
في الحقيقة: الحد وحده يضمن ذلك.

خرافة: الوضع الآمن يعني الفشل.
في الحقيقة: بل يحمي المهمة.

بطاقات تعليمية

المهلة

آخر زمن للانتهاء.

نسبة الاستخدام

جزء المعالج المستخدم.

أحادية المعدل

دورة أقصر، أولوية أعلى.

مؤقت المراقبة

مؤقت إعادة الضبط.

النمط الآمن

تهيئة حمائية.

الاستقلالية

التصرف دون مساعدة أرضية.

اختبار ذاتي

1. نسبة الاستخدام...

0.45

0.10

1.0

0.78

.0.45. Sum C/T

2. حد RM عند n = 3...

0.780

0.693

0.828

1

.0.780. n(2^(1/n) − 1)

3. إطار 70 ms...

14.3 Hz

70 Hz

7 Hz

50 Hz

.14.3 Hz. 1/0.07

4. مؤقت المراقبة...

يعيد تشغيل معالج متوقف

يعد البتات

يقيس الجيروسكوبات

يبرد الصناديق

يعيد تشغيل معالج متوقف. مؤقت.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تفيد NASA بأن هابل دخل الوضع الآمن عدة مرات حين أعطى جيروسكوب قراءات خاطئة، فعُلّق العمل العلمي بينما انتظر التلسكوب التعليمات؛ وأبقته الحماية من الأعطال آمنًا.

تقول NASA إن مهندسي Dragonfly سيُدخلون أعطالًا عمدًا في الاختبارات كي تستجيب الطائرة المروحية باستقلالية، لأن كل ما تفعله على تيتان يجب أن يحدث دون مساعدة آنية من الأرض.

على Saving Planets: مقدمة في البرمجة · ديناميكا الطيران والتحكم

المصادر: NASA Science: NASA to change how it points Hubble Space Telescope (https://science.nasa.gov/missions/hubble/nasa-to-change-how-it-points-hubble-space-telescope/) · NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.
- NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/): مقال NASA عن Dragonfly.

أنهيت هذه الوحدة

التكامل والتحقق والتشغيل

التكامل التدريجي، وطرق التحقق، واختبار العتاد ضمن الحلقة، وحقن الأعطال، والتشغيل الأولي، وإطالة العمر.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- سمِّ طرق التحقق الأربع.
- خطّط لتكامل تدريجي.
- اشرح اختبار العتاد ضمن الحلقة.
- اربط العمليات بعمر المهمة.

المفاهيم الأساسية

- يُتحقق من المتطلبات بالاختبار أو التحليل أو الفحص أو العرض.
- يسير التكامل خطوة بخطوة كي يمكن رد أي مشكلة إلى آخر ما أضيف.
- تشغّل منصات العتاد ضمن الحلقة والمنصات المماثلة للطيران برمجيات الطيران الحقيقية مقابل مستشعرات محاكاة.
- تثبت اختبارات حقن الأعطال أن النظام يستجيب بشكل صحيح حين يتعطل شيء ما.
- العمليات الجيدة وقطع الغيار والمواد المستهلكة قد تطيل المهمة كثيرًا بعد عمرها التصميمي.

المعادلات الأساسية

$$t_{arr} = t_{launch} + t_{cruise}$$

```
t_arr=t_launch+t_cruise
```

سنة الوصول

$$L_{ext} = \frac{L_{actual}}{L_{design}}$$

```
L_ext=_actualL_design
```

نسبة إطالة العمر

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

```
A=(MTBF)/(MTBF+MTTR)
```

الإتاحة

$$V = \{T, A, I, D\}$$

```
V=,A,I,D\
```

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 10.1 تقول NASA إن Dragonfly ستُطلق في موعد لا يسبق 2028 في رحلة مدتها ست سنوات. أبكر وصول؟

1. 6 + 2028.

الإجابة: 2034، كما تذكر NASA.

مثال 10.2 تدوم مستهلكات Landsat 9 مدة 10 سنوات على الأقل مقابل عمر تصميمي 5 سنوات. نسبة الإطالة؟

1. 10/5.

الإجابة: 2.

مثال 10.3 ستقضي Dragonfly ثلاث سنوات في الطيران على تيتان. أبكر نهاية للمهمة؟

1. 3 + 2034.

الإجابة: 2037 (محسوب).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. سمِّ طرق التحقق الأربع.

   الاختبار، التحليل، الفحص، العرض.

2. لماذا التكامل التدريجي؟

   لرد المشكلات إلى آخر تغيير.

3. أُطلق هابل في 1990؛ في أي عام كانت ذكراه الـ 34؟

   2024.

4. ما حقن الأعطال؟

   إحداث أعطال عمدًا أثناء الاختبار.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: اختبر كل شيء في النهاية.

في الحقيقة: ادمج واختبر على مراحل.

خرافة: التحليل أضعف من الاختبار.

في الحقيقة: كل طريقة تناسب متطلبات مختلفة.

خرافة: العمر التصميمي هو النهاية.

في الحقيقة: المهمات كثيرًا ما تستمر أطول.

بطاقات تعليمية

التحقق بالاختبار

قِسه.

التحليل

أثبته بالحساب.

الفحص

انظر إليه.

العرض

أظهر أنه يعمل.

HIL

العتاد ضمن الحلقة.

التشغيل الأولي

الفحص بعد الإطلاق.

اختبار ذاتي

1. وصول Dragonfly…

2034

2028

2030

2040

6 + 2028 .2034.

2. نسبة Landsat 9…

2

0.5

5

10

.2. 10/5

3. عدد الطرق...

4

2

3

6

.T, A, I, D .4

4. منصة اختبار ببرمجيات حقيقية...

العتاد ضمن الحلقة

FMEA

مخطط N^2

دراسة مفاضلة

العتاد ضمن الحلقة. HIL.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تقول NASA إن فريق Dragonfly بنى قدرات الطيران تدريجيًا، من تدوير دوّار واحد إلى طيران أول محاكى كامل، ويخطط لتكرار ذلك على نظام الطيران الفعلي.

تذكر NASA أن المعايرة على متن Landsat 9 وتكراره الاحتياطي يبقيان بياناته دقيقة وموثوقة طوال عمر المهمة، ما يمدد أطول سجل لرصد الأرض.

على Saving Planets: رصد الأرض · تصميم المركبات الفضائية

المصادر: NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/) · NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

مصادر تعلّم مجانية

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل NASA المجاني، القسم 5.
- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.

أنهيت هذه الوحدة

مجموعات المسائل

هذه التمارين داخل كل وحدة. حلّها على الورق أولًا، ثم افتح الإجابة.

1. دورة حياة هندسة النظم والمتطلبات
   4 مسائل
2. المعمارية والواجهات والتكامل
   4 مسائل
3. الموثوقية والتكرار الاحتياطي
   4 مسائل
4. تحليل السلامة: FMEA وأشجار الأعطال
   4 مسائل
5. إلكترونيات الطيران الرقمية وحافلات البيانات
   4 مسائل
6. مستشعرات الملاحة: وحدات القياس بالقصور الذاتي وGNSS والكاميرات والليدار
   4 مسائل
7. دمج المستشعرات ومرشح كالمان
   4 مسائل
8. الاتصالات والمراقبة: ADS-B
   4 مسائل
9. برمجيات الطيران في الزمن الحقيقي
   4 مسائل
10. التكامل والتحقق والتشغيل
    4 مسائل

المختبر (Avionics and systems lab)

المختبر هو الجزء العملي من المقرر. وهو هنا مجاني وللتدريب فقط، دون ساعات معتمدة.

يُجرى كل مختبر في محاكاة مجانية أو جدول بيانات، فلا توجد مخاطر كهربائية. لا تفتح أو تعدّل إلكترونيات طائرة أو طائرة مسيّرة أو مركبة حقيقية لهذا المقرر. خذ فترات راحة من الشاشة، واجلس بوضعية سليمة، وأبعد الكابلات عن الممرات.

مرجع السلامة: OSHA: Walking-working surfaces (slip, trip and fall hazards) (https://www.osha.gov/walking-working-surfaces)

المختبر A: نمو الواجهات ومخطط N²

الأسبوع 2

الهدف: ابنِ مخطط N² لمجموعة إلكترونيات طيران صغيرة وانظر كيف تنمو الواجهات المحتملة مع عدد الصناديق.

$$I = n(n-1)/2$$

I=n(n-1)/2

الواجهات المحتملة

الإجراء

1. اذكر الصناديق: حاسوب الطيران، وIMU، ومستقبل GNSS، والراديو، والشاشة، ووحدة القدرة، وبيانات الهواء، والطيار الآلي.
2. ارسم شبكة 8 × 8 والصناديق على القطر، وعلّم الأزواج التي تتبادل البيانات.
3. احسب n(n − 1)/2 عند n = 4 و8 و12.
4. عدّ الخلايا المعلّمة وقارنها بالحد الأقصى.

جدول البيانات

الصناديق n	الواجهات المحتملة
4	6
8	28
12	66

قيم محسوبة.

مثال حسابي

1. 8 × 7/2 = 28.
2. 12 × 11/2 = 66.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

الصلة بالكوكب: NASA: تحديث دليلها يتضمن هندسة النظم القائمة على النماذج. NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

- [ ] أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)

المختبر B: موثوقية الوحدات المفردة والمزدوجة والثلاثية

الأسبوع 4

الهدف: قارن في جدول بيانات وحدة منفردة وزوجًا متوازيًا وتصويت 2 من 3 مع مرور الزمن.

$$R_{2/3} = 3R^2 - 2R^3$$

R_2/3=3R^2-2R^3

التصويت اثنان من ثلاثة

الإجراء

1. أدخل $\lambda = 10^{-5}$ لكل ساعة.
2. احسب $R = e^{(-\lambda t)}$ عند $t = 1000$ و10000 و50000 h.
3. احسب الزوج المتوازي وتصويت 2 من 3.
4. أوجد متى ينخفض 2 من 3 دون الوحدة المنفردة ($R = 0.5$).

جدول البيانات

t (h)	منفردة	مزدوجة	2 من 3
1000	0.990	0.9999	0.9997
10,000	0.905	0.991	0.975
50,000	0.607	0.845	0.657

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. $R(50{,}000) = e^{(-0.5)} = 0.607$.
2. 2 من 3 $= 3(0.607)^2 - 2(0.607)^3 = 3$.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

الصلة بالكوكب: NASA: يستطيع هابل إجراء أرصاد علمية بجيروسكوب واحد عامل فقط. NASA Science: NASA to change how it points Hubble Space Telescope (https://science.nasa.gov/missions/hubble/nasa-to-change-how-it-

points-hubble-space-telescope/)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر C: الدوائر الاحتياطية

الأسبوع 5

الهدف: استخدم PhET Circuit Construction Kit: DC لمقارنة مصابيح على التوالي وعلى التوازي عند تعطل أحدها.

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

```
R_p=(R_1R_2)/(R_1+R_2)
```

المقاومة على التوازي

الإجراء

1. ركّب مصباحين Ω 10 على التوالي مع بطارية V 12، ثم اقطع سلكًا.
2. أعد تركيبهما على التوازي واقطع فرعًا.
3. قِس التيار قبل كل عطل وبعده.
4. اربط النتيجة بموثوقية التوالي والتوازي.

جدول البيانات

الدائرة	المقاومة (Ω)	التيار عند V 12 (A)
توازٍ، كلاهما سليم	5	2.4
توازٍ، أحدهما معطل	10	1.2
توالٍ، كلاهما سليم	20	0.6

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. 10 × 10/20 = 5 Ω.
2. 12/5 = 2.4 A.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- يعمل في متصفح الويب.

PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc)

الصلة بالكوكب: NASA: التكرار الاحتياطي على متن Landsat 9 يبقي بياناته موثوقة. NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

- [ ] أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)

المختبر D: دقة ADC وحجم البيانات

الأسبوع 7

الهدف: احسب حجم الخطوة وSNR لعدة دقات للمحول.

$$\Delta V = V_{FS}/2^N$$

```
Δ V=V_FS/2^N
```

خطوة ADC

الإجراء

1. أدخل مدى كاملًا قدره 10 V.
2. احسب الخطوة وSNR لـ 8 و12 و16 بت.
3. احسب زمن كلمة 32 بت عند 100 kbit/s وعند 1 Mbit/s.
4. ناقش لماذا يستخدم Landsat 9 دقة 14 بت.

جدول البيانات

البتات	الخطوة (mV)	SNR (dB)
8	39.06	49.9
12	2.441	74.0
16	0.1526	98.1

قيم محسوبة.

مثال حسابي

1. 10/256 = 39.06 mV.
2. 6.02 × 16 + 1.76 = 98.1 dB.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

الصلة بالكوكب: NASA: لـ Landsat 9 دقة إشعاعية 14 بت. NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

- [ ] أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)

المختبر E: الانجراف بالقصور الذاتي ودمج المستشعرات

الأسبوع 9

الهدف: نمذج انجراف الموقع الناتج عن انحياز مقياس التسارع، ثم ادمج مستشعري موقع.

$$e = \tfrac{1}{2} b t^2$$

e=12bt^2

انجراف الانحياز

الإجراء

1. أدخل $b = 9.807 \times 10^{-3}$ m/s² (1 ملّي-g).
2. احسب الخطأ عند 10 و60 و600 s.
3. ادمج مستشعرين $\sigma = 4$ m و3 m واحسب كسب كالمان عند $P = 16$، $R = 9$.
4. أضف ضوضاء بعمود أرقام عشوائية وراقب المرشح.

جدول البيانات

t (s)	الخطأ (m)
10	0.49
60	17.65
600	1765

قيم نموذجية محسوبة.

مثال حسابي

1. $\tfrac{1}{2} \times 9.807 \times 10^{-3} \times 100 = 0.49$ m.
2. σ المدمجة $= \sqrt{5.76} = 2.4$ m.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/)

الصلة بالكوكب: NASA: استخدم اختبار Dragonfly بيانات محاكاة للكاميرا وIMU والليدار. NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر F: قابلية الجدولة أحادية المعدل

الأسبوع 12

الهدف: احسب حدود الاستخدام واختبر مجموعات المهام في جدول بيانات.

$$U \le n(2^{1/n} - 1)$$

حد الجدولة أحادية المعدل

الإجراء

1. احسب الحد من n = 1 إلى 4.
2. أدخل مجموعة مهام الوحدة 9 واحسب U.
3. أضف مهمة حتى تتجاوز U الحد.
4. ناقش ما العمل حين لا يتحقق الحد.

جدول البيانات

n	الحد
1	1.000
2	0.828
3	0.780
4	0.757

قيم محسوبة.

مثال حسابي

1. 2(√2 − 1) = 0.828.
2. 4(2^(1/4) − 1) = 0.757.

السلامة

- حاسوب فقط.

بديل منزلي أو افتراضي

- أي برنامج جداول بيانات يفي بالغرض.

MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/es/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/)

الصلة بالكوكب: NASA: يجب أن تطير Dragonfly باستقلالية، دون مساعدة آنية من الأرض. NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

مجموعات تدريب للامتحان

وقّت نفسك: نحو 10 دقائق لكل مسألة. ثم قارن بالحلول الكاملة.

مجموعة تمارين منتصف الفصل (الوحدات 5–1)

1. الواجهات المحتملة لـ 10 صناديق؟

   .1 9/2 × 10.

الإجابة: 45.

2. زوج متوازٍ، $\lambda = 2 \times 10^{-5}$ /h على مدى 5000 h؟

   .1 R = e^(−0.1) = 0.905.
   .2 $1 - 0.095^2$.

الإجابة: 0.991.

3. RPN عند S = 6، O = 3، D = 7؟

   .1 7 × 3 × 6.

الإجابة: 126.

4. خطوة ADC بدقة 10 بت على 5 V؟

   .1 5/1024.

الإجابة: 4.88 mV.

5. SNR المثالية لـ 10 بت؟

   .1 1.76 + 10 × 6.02.

الإجابة: 62.0 dB.

مجموعة التدريب النهائية (الوحدات 10–1)

1. الانجراف بعد 30 s بانحياز 2 ملّي-g؟

   .1 900 × 0.01961 × ½.

الإجابة: 8.83 m.

2. ادمج مستشعرين σ = 5 m.

.σ² = 12.5 .1

الإجابة: 3.54 m.

3. كسب كالمان عند P = 4، R = 1؟

.4/5 .1

الإجابة: 0.8.

4. الأفق الراديوي من 1000 m إلى هوائي على 10 m؟

.4.12(31.62 + 3.162) .1

الإجابة: 143.3 km.

5. نسبة الاستخدام للمهام 1/5 و2/10 و3/30 ms؟

.0.2 + 0.2 + 0.1 .1

الإجابة: 0.5.

6. الإتاحة، MTBF قدره 500 h، وMTTR قدره 5 h؟

.500/505 .1

الإجابة: 0.990.

ورقة الصيغ

$$\text{Margin} = (C - N)/N,\ m_{alloc} = m_{est}(1 + M)$$

$$I = n(n-1)/2,\ U_{bus} = B/B_{max}$$

$$R = e^{-\lambda t},\ R_p = 1 - \prod(1 - R_i),\ R_{2/3} = 3R^2 - 2R$$

$$RPN = SOD,\ P_{OR} = 1 - \prod(1 - p_i),\ P_{AND} = \prod$$

$$\Delta V = V_{FS}/2^N,\ SNR = 6.02N + 1.76$$

$$e = \tfrac{1}{2}bt^2,\ \rho = c\Delta t$$

$$\sigma^2 = \sigma_1^2\sigma_2^2/(\sigma_1^2 + \sigma_2^2),\ K = P/(P + R)$$

$$d = 4.12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),\ L = 20\log_{10}(4\pi d/\lambda)$$

$$U = \sum C_i/T_i \le n(2^{1/n} - 1)$$

$$A = MTBF/(MTBF + MTTR)$$

الثوابت

الثابت	القيمة
سرعة الضوء	c = 299792458 m/s (قيمة دقيقة)
الجاذبية المعيارية	g = 9.80665 m/s²
تردد ADS-B (قيمة مرجعية)	1090 MHz
ARINC 429 السريع (قيمة مرجعية)	100 kbit/s
MIL-STD-1553 (قيمة مرجعية)	1 Mbit/s
الساعات في السنة	8760 h

المصدر: NIST: CODATA value, speed of light in vacuum (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c)

نصوص ومحاكاة مجانية

استخدم هذه النصوص والمحاضرات والمحاكاة المجانية إلى جانب المقرر.

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): دليل مجاني من ناسا.
- MIT OpenCourseWare 16.842 Fundamentals of Systems Engineering (Fall 2015) (https://ocw.mit.edu/courses/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2015/): محاضرات MIT مجانية.
- FAA: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) (https://www.faa.gov/air_traffic/technology/adsb): نظرة عامة من FAA.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): الدوائر والتكرار الاحتياطي.
- NASA Science: Dragonfly completes first simulated flight (Oct. 23, 2026) (https://science.nasa.gov/blogs/dragonfly/2026/10/23/nasas-dragonfly-completes-first-simulated-flight/): مقال عن اختبار إلكترونيات الطيران.
- NASA Science: NASA to change how it points Hubble Space Telescope (https://science.nasa.gov/missions/hubble/nasa-to-change-how-it-points-hubble-space-telescope/): التكرار الاحتياطي عمليًا.

مسرد المصطلحات

ADS-B
المراقبة التابعة التلقائية بالبث.

ARINC 429
حافلة بيانات إلكترونيات طيران أحادية الاتجاه.

الإتاحة
جزء الزمن الذي يعمل فيه النظام.

FMEA
تحليل أنماط الأعطال وآثارها.

شجرة الأعطال
منطق الأعطال من الأعلى إلى الأسفل.

العتاد ضمن الحلقة
برمجيات وعتاد حقيقيان مع مدخلات محاكاة.

IMU
وحدة القياس بالقصور الذاتي.

وثيقة ضبط الواجهة
اتفاق على واجهة.

مرشح كالمان
مقدّر تكراري أمثل.

الليدار
قياس المسافة بالليزر.

MBSE
هندسة النظم القائمة على النماذج.

MIL-STD-1553
حافلة بيانات أمر/استجابة.

MTBF
متوسط الزمن بين الأعطال.

مخطط N²
مصفوفة الواجهات.

الجدولة أحادية المعدل
الدورة الأقصر تحصل على الأولوية الأعلى.

التكرار الاحتياطي
وحدات إضافية للاحتياط.

المتطلب
عبارة قابلة للتحقق عن حاجة.

النمط الآمن
تهيئة حمائية للمركبة الفضائية.

نموذج V
فكّك ثم ادمج وتحقق.

مؤقت المراقبة
يعيد تشغيل معالج متوقف.

معايير التقييم الذاتي

لا تُمنح درجة ولا ساعات معتمدة. استخدم هذا لتقيّم بصدق أين أنت في كل وحدة.

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يربط كل قرار تصميمي بمتطلب، ويفحص الواجهات وحالات العطل، ويحافظ على اتساق الوحدات والاحتمالات، ويشرح المفاضلات بكلمات بسيطة.
3 · متمكن	يحل مجموعات التمارين والاختبارات بأخطاء طفيفة ويتحقق من الوحدات.
2 · قيد التطور	يتبع الأمثلة المحلولة لكنه يخلط بين موثوقية التوالي والتوازي أو بين بوابتي OR وAND.
1 · مبتدئ	يحسب دون متطلب أو مخطط كتلي؛ ويحتاج إلى مراجعة الوحدة.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	20%
المختبرات	25%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	25%
مجموعة التدريب النهائية	30%

استهدف المستوى 3 أو أعلى في كل وحدة قبل الانتقال إلى الدورة التالية.

دورات ذات صلة

- انتقال الحرارة AERO 440
- مشروع التخرج (طائرة أو CubeSat) AERO 490
- الدفع AERO 410
- كل الدورات