

النظم المضمنة في الزمن الحقيقي

Real Time Embedded Systems

جامعة
المنارة
HARAMA UNIVERSITY

Dr.-Eng. Samer Sulaiman

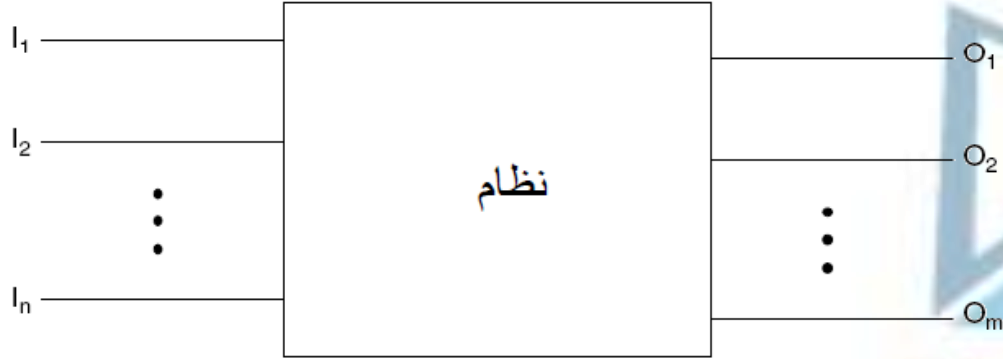
2020-2021

مفردات المنهاج

- أساسيات النظم المضمنة في الزمن الحقيقي
- عناصر وتقنيات النظم المضمنة في الزمن الحقيقي
- تصميم النظم المضمنة في الزمن الحقيقي



مفاهيم عامة



• مفهوم النظام System

• يمكن تعريف النظام على أنه تقابل بين مجموعة مداخل inputs ومخارج outputs

• يمكن نمذجة أي كينونة في الطبيعة على شكل نظام. عندما لا تكون التفاصيل الداخلية للنظام مهمة، يمكن التعبير عنه على شكل صندوق أسود له عدة مداخل وعدة مخارج

• مثال:

• النظم الحاسوبية computer systems:

- هي نظم مكونة من برمجيات software وعتاد مادي hardware
- العتاد المادي hardware: يتضمن جميع الأجهزة الإلكترونية والكهربائية والميكانيكية في الحاسب كالمعالج والذاكرة الرئيسية وأجهزة الدخل/خروج.
- البرمجيات software: مجموعة تعليمات ينفذها العتاد المادي (المعالج) لحل مسألة ما
- تقسم إلى نوعين:

• برمجيات النظام system software

- تغلف العتاد المادي وتؤمن للتطبيقات البرمجية واجهة تخاطب مجردة تمكنها من الوصول إلى خدمات العتاد المادي بسهولة.
- غالبا ما تجمع برمجيات النظام الأساسية في كتلة واحدة تسمى نظام التشغيل operating system
- التطبيقات البرمجية software applications
- مصممة لحل مشاكل محددة تهم المستخدم مثل حسابات الرواتب وإدارة المستودعات وتصفح الويب و الألعاب وغيرها

مفاهيم عامة

• مفهوم النظام System

• مثال:

• النظم الحاسوبية computer systems:

- المداخل في النظم الحاسوبية: أوعية المعلومات الرقمية الواردة من الأجهزة الحاسوبية والبرمجيات الأخرى. وهي تأتي غالبا من حساسات كالكاميرات والميكروفونات وغيرها من الأجهزة التي تولد معطيات رقمية أو تشابهية
- مخارج النظم الحاسوبية: على الأغلب إشارات رقمية وتحوّل إلى تشابهية لإرسالها إلى أجهزة الخرج المختلفة كالشاشات والسماعات وغيرها
- استجابة النظام:

• الزمن الفاصل بين لحظة ورود مداخل النظام ولحظة ظهور قيم الخرج على مخارجه

• نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:

- نظام يجب أن يحقق قيود صريحة (حدود محددة) على زمن الاستجابة
- يمكن أن يؤدي عدم احترام هذه القيود لنتائج خطيرة، أو حتى لفشل (failure) النظام بالكامل
- يمكن تعريف الفشل بأنه عدم تمكن النظام من أداء مهمته حسب المواصفات المحددة له
- النظام الفاشل failed system هو نظام لا يمكنه أن يحقق أحد أو بعض المتطلبات المذكورة في دفتر شروطه

مفاهيم عامة

- مفهوم النظام System
- نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:
 - يمكن تقسيم نظم الزمن الحقيقي إلى:
 - نظم استجابة لأحداث Reactive:
 - تستجيب لأحداث آتية من البيئة المحيطة بها، مثل نظم مراقبة الحريق التي تستجيب لارتفاع درجة الحرارة بتشغيل أجهزة الإنذار والإطفاء
 - نظم مضمّنة Embedded:
 - نظم تحكم توجد في أنظمة أخرى ليست حاسوبية بالضرورة.
 - مثال
 - يوجد في معظم السيارات الحديثة نظم حاسوبية مضمّنة تتحكم بحقن الوقود والكوابح وأكياس الهواء airbag وغيرها.
 - ضمن العديد من الأجهزة المنزلية الحديثة مثل أجهزة التلفاز والغسالات الآلية وأجهزة الستيريو.
 - ضمن النظم المعقدة كالطائرات وسفن الفضاء والآلات الصناعية
 - في الطائرات مثلاً ينطبق شرط الزمن الحقيقي: يجب معالجة المعطيات الآتية من مقياس التسارع بدور محدد يعتمد على مواصفات الطائرة (كل 10 ميلي ثانية على سبيل المثال).
 - إذا فشل النظام في ذلك، فسيحصل على معلومات خاطئة عن موقع وسرعة الطائرة، مما يمكن أن يؤدي إلى انحرافها عن مسارها في أحسن الأحوال، أو تحطمها في أسوأ الأحوال.
 - نظام حجز التذاكر في شركة طيران: يجب الاستجابة لطلبات الزبائن خلال زمن معقول من وجهة نظر الزبائن، وإلا اعتبر نظاماً غير عملي
 - بالنتيجة: ليس من الضروري أن يستجيب نظام الزمن الحقيقي خلال زمن قصير، بل يجب فقط أن يكون له قيود زمنية محددة (أجزاء من الثانية أو عدة ساعات) يستجيب خلالها

مفاهيم عامة

- مفهوم النظام System
- نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:
 - أنواع نظم الزمن الحقيقي:
 - نظام الزمن الحقيقي الرخو soft real-time system:
 - هو نظام تنقص أهمية الأعمال التي يؤديها إذا تعدى حدوده الزمنية، لكن لا تصبح عدية القيمة تماماً
 - مثال: أجهزة الصراف الآلي ATM:
 - تعدي النظام لحدوده الزمنية لا يؤدي لنتائج كارثية بل يؤدي فقط لأداء متناقص للنظام
 - نظام الزمن الحقيقي الصعب hard real-time system:
 - هو نظام يؤدي تعديه لحدوده الزمنية لنتائج كارثية وتوقف كامل للنظام، حتى ولو حدث ذلك مرة واحدة
 - مثال: نظام التحكم بأسلحة طائرة حيث يؤدي الضغط على زر لإطلاق صاروخ جو- جو
 - يمكن أن يؤدي عدم إطلاق الصاروخ ضمن الحد الزمني المحدد بعد الضغط على الزر إلى عدم إصابة الهدف وحدث نتائج كارثية
 - نظام الزمن الحقيقي القاسي firm real-time system:
 - هو نظام لا يؤدي تعديه لحدوده الزمنية لنتائج كارثية إذا حدث ذلك لعدد قليل من المرات. لكن إذا حصل ذلك لعدد أكبر من المرات، سيؤدي لنتائج كارثية وتعطل كامل للنظام
 - مثال: نظام التحكم المضمن بألة مؤتمتة لإزالة الأعشاب الضارة
 - تعدي النظام لحدود القيادة الزمنية يجعل الآلة تخرج عن السيطرة وتخرب المحاصيل المفيدة بدلاً من الأعشاب الضارة
 - ملاحظة: الحدود الفاصلة بين الأنواع الثلاث السابقة ليست قاطعة (حدية) تماماً
 - يمكن لنظام أن ينتقل من تصنيف لآخر في ظروف خاصة.
 - مثال: إذا تعدى جهاز الصراف الآلي حدوده الزمنية لعدد كبير من المرات، ← درجة عالية من عدم الرضا لدى الكثير من زبائن المصرف ← انخفاض أرباح المصرف لخسارته لزيائنه ← إفلاسه بالكامل في أسوأ الأحوال

مفاهيم عامة

- مفهوم النظام System
- نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:
 - تعتبر مناقشة ماهية الزمن من الاعتبارات الضرورية عند دراسة نظم الزمن الحقيقي لأن حدودها الزمنية deadlines هي عمليا لحظات على محور الزمن.
 - من أين تأتي الحدود الزمنية وما الذي يحدد قيمها؟
 - للإجابة عن هذا السؤال يجب أخذ الظواهر الفيزيائية التي يعتمد عليها نظام التحكم المدروس بعين الاعتبار.
 - مثال: نظم العرض (كالشاشات وأجهزة الإسقاط):
 - يجب تحديث الصورة 30 مرة في الثانية للحصول على صورة متحركة ذات جودة مقبولة لأن العين البشرية في هذه الحالة لا تحس بانقطاع الحركة بسبب دوام الانطباع الشبكي.
 - إذا لم يحقق جهاز العرض هذه السرعة، تصبح حركة الصورة مقطعة.
 - الظاهرة الفيزيائية التي يعتمد عليها النظام هنا هي العين البشرية.
 - مثال: نظم الملاحة المختلفة:
 - يجب حساب تسارع الجسم المدروس (طائرة، سيارة، صاروخ، ...) بمعدل يعتمد على السرعة القصوى للجسم.
 - معدل حساب تسارع السيارة أقل من معدل حساب سرعة الصاروخ لأن السرعة القصوى للسيارة أقل بكثير من السرعة القصوى للصاروخ.
 - الظاهرة الفيزيائية التي يعتمد عليها النظام هي الحركة والسرعة
 - عند دراسة وتصميم نظم الزمن الحقيقي يمكن في بعض الحالات وضع قيود زمنية تفرضها متطلبات تخمينية أو غير مهمة أصلا ، مما يجعل هذه القيود أسمى بكثير من الحاجة.
 - من الضروري قبل تصميم أي نظام زمن حقيقي دراسة القيود الزمنية التي تفرضها متطلبات النظام المهمة ومحاولة تخفيفها قدر الإمكان بما يناسب البيئة الفيزيائية التي يتحكم النظام بها

مفاهيم عامة

- مفهوم النظام System
- نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:
 - الأحداث events والحتمية deterministic:
 - يعتمد أي نظام برمجي software في تنفيذه للتعليمات على التنفيذ التسلسلي.
 - يحتوي المعالج الذي ينفذ البرامج على سجلاً خاصاً يسمى عادة "سجل عداد البرنامج Program Counter Register والذي يحتوي بدوره على عنوان التعليمات التي ينفذها المعالج حالياً
 - تجري زيادة قيمة هذا السجل بمقدار محدد للحصول على عنوان التعليمات التالية بعد الانتهاء من تنفيذ التعليمات الحالية.
 - يوجد بعض الحالات التي تغير هذا التنفيذ التسلسلي وتجعل المعالج يقفز لمكان آخر في البرنامج لتنفيذ التعليمات الموجودة فيه.
 - المثال التقليدي على مثل هذه الحالات هو تنفيذ تعليمة if-then-goto
 - من الأمثلة الأخرى على الحالات التي تغير من التدفق التسلسلي للتنفيذ: استدعاء التوابع في اللغات الإجرائية وإنشاء الأغراض objects واستدعاء طرائقها methods في اللغات الغرضية التوجه
 - يمكن تعريف الحدث على أنه: أي شيء يحدث ويؤدي لتغير عداد البرنامج بأسلوب غير تسلسلي (وهو ما نعتبره تغيراً في تدفق البرنامج)
 - تتكون نظم الزمن الحقيقي من عدد من الإجراءات Tasks or Jobs تعمل على التفرع وكل منها يؤدي عملاً محدداً.
 - يمكن تصنيف هذه الإجراءات إلى
 - دورية Periodic تحدث بفترات زمنية محددة ومتكررة
 - مثال: الإجراء الذي يقوم بالحفاظ على سرعة الطائرة في الجو هو إجراء دوري يقوم دورياً بقراءة سرعة الطائرة الحالية ويحسب الفرق بينها وبين السرعة المطلوب الحفاظ عليها ويرسل على أساسها أوامر التحكم لمحرك الطائرة
 - غير دورية aperiodic تحدث استجابة لحدث ما
 - متقطعة sporadic: تحدث بفترات زمنية متغيرة
 - مثال: نظام مراقبة الحريق فيؤدي ارتفاع درجة الحرارة لإقلاع إجراء إطفاء الحريق، فهو إذا إجراء غير دوري يعتمد على تغيرات درجات الحرارة

مفاهيم عامة

• مفهوم النظام System

• نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:

• الأحداث events والحتمية deterministic:

• لحظة الإطلاق Release time لإجراء: هي اللحظة التي يصبح فيها هذا الإجراء جاهزاً للتنفيذ (بشكل دوري أو غير دوري)

• تتعلق لحظة الإطلاق بمقاطعة interrupt ما.

• إما أن تكون ناتجة عن مؤقت دوري كما هو الحال في الإجراءات الدورية، أو أحداث محددة كارتفاع درجة الحرارة مثلاً في نظام مراقبة الحريق

• أنواع الأحداث:

• هناك نوعان من الأحداث:

• الأحداث المتزامنة synchronous

• تحدث في لحظات يمكن التنبؤ بها في تدفق تنفيذ البرنامج، مثل تعليمة القفز الشرطي

• رغم أن القفز المشروط لا يتحقق دائماً إلا أنه يمكن التنبؤ به

• الأحداث الغير متزامنة asynchronous

• تحدث في لحظات لا يمكن التنبؤ بها طوال فترة تنفيذ البرنامج وتسببها مصادر من خارج النظام

• مثال: المؤقت الذي يولد نبضات منتظمة (كل 5 ميلي ثانية على سبيل المثال) حدثاً غير متزامن.

• على الرغم من أنه يمثل حدثاً دورياً فإن اللحظات التي سيولد فيها مقاطعة لتدفق تنفيذ البرنامج تخضع لعوامل عديدة لا يمكن التنبؤ بها،

• من هذه العوامل: اللحظة التي بدأ فيها المؤقت بالعمل نسبةً لبداية تنفيذ البرنامج وزمن تأخير انتشار الإشارة في النظام الحاسوبي نفسه وغيرها من العوامل

	دورية periodic	غير دورية aperiodic	متقطعة sporadic
متزامنة synchronous	تعليمات برنامج في حلقة، إجراءات مجدولة باستعمال مؤقت داخلي	تعليمة قفز تقليدية، مجمع النفايات في اللغات الحديثة garbage collection	تعليمة قفز لمعالجة الاستثناءات (أخطاء زمن التنفيذ) exception or traps
غير متزامنة asynchronous	مقاطعات مولدة من مؤقت خارجي	مقاطعات منتظمة ولكن ليس لها دور ثابت	استثناءات مولدة خارجياً، أحداثاً عشوائية

مفاهيم عامة

- مفهوم النظام System
- نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:
 - الأحداث events والحتمية deterministic:
 - المهمة الأساسية لأي نظام، وخصوصاً في النظم المضمّنة، هي ابقاء النظام المتحكم به تحت سيطرة نظام التحكم باستمرار.
 - في بعض الحالات الخاصة يمكن أن يخرج فيها النظام المتحكم به عن السيطرة ← يجب على نظام التحكم أن يتوقع هذه الحالات ويتعامل معها ليعيد السيطرة على النظام.
 - وعليه فإن نظام التحكم في أي نظام زمن حقيقي يحافظ على السيطرة إذا كان من الممكن التنبؤ بالحالة التالية للنظام إذا أُعطينا حالته الحالية وقيم مداخله.
 - أي أن الهدف الأساسي للحصول على نظام تحكم صحيح هو توقع كل الظروف الممكنة وجعل النظام مستعداً للتصرف بشكل صحيح حين تحدث
 - النظام الحتمي deterministic: نقول عن نظام أنه حتمي إذا كان من الممكن معرفة حالته وقيم مخارجه التالية مهما كانت حالته وقيم مداخله الحالية
 - حتمية الأحداث event deterministic: يمكن معرفة حالة وقيم مخارج النظام التالية من أجل كل قيم ممكنة للمداخل التي تقدر trigger الأحداث.
 - ملاحظة: أي نظام حتمي هو حتمي الأحداث، لكن العكس ليس صحيحاً بالضرورة، وإن كان من الصعب أن يكون النظام حتمي الأحداث ولكنه غير حتمي
 - الحتمية الزمانية للنظام temporal deterministic: إذا كان النظام حتمياً وكان زمن الاستجابة لكل حالة ممكنة من حالاته معروفاً

مفاهيم عامة

- مفهوم النظام System
- نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:
 - انشغاليه المعالج CPU utilization (U):
 - يستعمل لقياس أداء نظم الزمن الحقيقي
 - يسمى ايضاً معامل تحميل المعالج الزمني time-loading factor
 - بالتعريف هي النسبة الزمنية التي لا يكون المعالج فيها في وضع الخمول
 - نقول عن نظام أنه مُحمَّلٌ تحميلاً زائداً إذا كانت قيمة الانشغالية U أكبر من 100%.
 - من غير المفضَّل أن تكون انشغاليه النظام عالية، لأن أي تغيير أو إضافة لمهام جديدة يمكن أن تؤدي للتحميل الزائد.
 - كذلك فإن النظم ذات الانشغالية المنخفضة ليست بالضرورة جيدة لأنها تدل على سوء التصميم الهندسي للنظام وأنه كان من الممكن تخفيض كلفة النظام باستعمال تجهيزات مادية أقل أداء وكلفة
 - تكون الانشغالية في النظم الحديثة حوالي 50%
 - يمكن لبعض النظم التي لا يُتوقَّع نموها أن تكون انشغاليها بحدود 80%.
 - تُعتبر القيمة الأمثلية للانشغالية في نظم الزمن الحقيقي ذات المهام الدورية والمستقلة هي 70%
 - يمكن حساب الانشغالية U بجمع معاملات انشغاليات الإجراءات الدورية وغير الدورية المشاركة في النظام
 - مثال: بفرض أن النظام يحتوي على $n \geq 1$ إجراء دوري، دور كل منها يساوي p_i وبالتالي يكون معدل تنفيذها $f_i = 1/p_i$
 - إذا علمنا أن زمن التنفيذ الاعظمي التقديري (في أسوأ الأحوال) للإجراء i هو e_i ، يمكن حساب معامل الانشغالية u_i كما يلي:
$$u_i = \frac{e_i}{p_i}$$

• بذلك تكون الانشغالية الكلية للنظام مساوية لـ:

$$U = \sum_{i=1}^n u_i = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{p_i}$$

مفاهيم عامة

• مفهوم النظام System

• نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:

• انشغاليه المعالج CPU utilization (U):

• عادة ما يكون الحد الزمني deadline للإجراء الدوري رقم i ونرمز له d_i محدوداً ببداية دوره التالي.
• القيمة المنطقية العظمى لـ d_i هي e_i .

• يمكن أن تكون عملية تحديد قيمة e_i قبل أو بعد تنفيذ البرنامج صعبة جداً أو مستحيلة في بعض الأحيان، عندها نقدر قيمتها تقديراً.

• في حال الإجراءات الغير دورية aperiodic والمتقطعة sporadic، نحسب u_i بدلالة الحالة الأسوأ لزمن تنفيذها والزمن الفاصل بين لحظات حدوثها.

• أمثلة على نظم الزمن الحقيقي

• إن نظم الزمن الحقيقي المضمّنة متنوعة جداً وتوجد حتى في الألعاب والأجهزة المنزلية

• مثال: نظام القياس العطالي في الطائرة

• ترسل تجهيزات خاصة نبضات مقياس التسارع على المحاور X و Y و Z إلى نظام التحكم كل 10 ميلي ثانية.

• يحسب النظام تسارع الطائرة على المحاور الثلاث، بالإضافة إلى قيم الانحراف المطلوبة الحالية للطائرة.

• يستقبل النظام ايضاً قيمة درجة الحرارة كل ثانية.

• الآن يجب عليه حساب شعاع السرعة اعتماداً على هذه المعطيات كل 40 ميلي ثانية وإظهارها للطيار

مفاهيم عامة

- مفهوم النظام System
- نظم الزمن الحقيقي Real-time Systems:
 - أمثلة على نظم الزمن الحقيقي
 - مثال: نظام حجز التذاكر لشركة طيران.
 - هنا يجب ألا يتجاوز زمن الانتظار الكلي لأي عملية حجز 15 ثانية حتى لا يؤدي ذلك إلى عدم رضا الزبائن.
 - يجب كذلك ألا يسمح النظام بالحجز الزائد عن عدد المقاعد المتوفرة.
 - يمكن لعدة وكلاء أن يحاولوا الوصول إلى قاعدة المعطيات في نفس الوقت لحجز نفس المقعد. لذلك يجب تزويد النظام بإمكانيات الاتصال والقفل اللازمة لذلك.
 - مثال: نظام تحكم بإشارات المرور على تقاطع طرق ترد إليه السيارات من أربعة اتجاهات (شمال، جنوب، شرق وغرب)
 - يتحكم النظام بإشارات السيارات والمشاة ويتلقى المعلومات من الوسط الخارجي عن طريق حساسات تحت الأرض لقياس معدل تدفق السيارات في كل اتجاه،
 - بالإضافة إلى ذلك يتضمن كاميرات المراقبة والأزرار التي يضغطها المشاة عند رغبتهم بقطع الشارع.
 - يجب على إشارات المرور أن تعمل بتزامن تام والاستجابة كذلك لأحداث غير متزامنة مثل الضغط على زر المشاة، وإلا حدثت حوادث مميتة