

النظم المضمنة في الزمن الحقيقي

Real Time Embedded Systems



Dr.-Eng. Samer Sulaiman

2020-2021

مفردات المنهاج

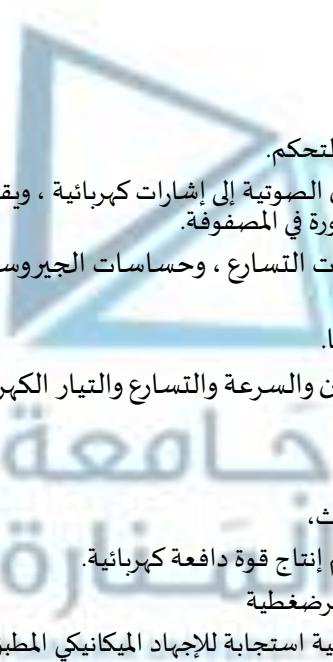
- أساسيات النظم المضمنة في الزمن الحقيقي

- عناصروتقنيات النظم المضمنة في الزمن الحقيقي

- تصميم النظم المضمنة في الزمن الحقيقي



المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي



- المكونات المادية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:
 - الحساسات والمشغلات:
 - الحساس هو جهاز إدخال للأنظمة المضمنة.
 - يعتبر محول طاقة حيث يحول الطاقة من شكل إلى آخر لغرض القياس أو التحكم.
 - مثال : يقوم حساس الموجات فوق الصوتية بتحويل الموجات فوق الصوتية إلى إشارات كهربائية ، ويقوم مقياس التسارع بتحويل التسارع إلى جهد كهربائي ، والكاميرا هي حساس يحول طاقة الفوتون إلى شحنة كهربائية تمثل تدفق الفوتون لكل عنصر من عناصر الصورة في المصفوفة.
 - تعتبر حساسات الإزاحة ، وحساسات الضغط ، وحساسات الرطوبة ، وحساسات التسارع ، وحساسات الجيروسكوبية ، وحساسات درجة الحرارة ، وحساسات الضوء من بين أكثر أنواع الحساسات استخداماً في الأنظمة المضمنة.
 - يجب أن يكون الحساس الجيد حساساً للخاصية المقاومة ، لكنه لا يتداخل معها.
 - يمكن تصميم الحساسات لكل كمية فизيائية وكيميائية تقريباً ، بما في ذلك الوزن والسرعة والتسارع والتيار الكهربائي والجهد ودرجات الحرارة والمركبات الكيميائية.
 - يتم استخدام العديد من التأثيرات الفيزيائية لبناء الحساسات.
 - أمثلة:
 - تستخدم حساسات السرعة المطبقة على عجلة السيارة تأثير الحث، عندما يتفاعل مجال مغناطيسي مع دائرة كهربائية، يتم إنتاج قوة دافعة كهربائية.
 - تم تصميم حساس الوسادة الهوائية للسيارة بناءً على التأثير الكهرباضططية
 - تستخدم خصائص بعض المواد التي تولد شحنة كهربائية استجابة للإجهاد الميكانيكي المطبق.
- أنواع الحساسات:
 - حساسات نشطة (فعالة) active sensors
 - يتطلب مصدراً خارجياً للطاقة ليعمل. ومن الأمثلة على ذلك الرادار ونظام تحديد الموضع والأشعة السينية.
 - حساسات غير فعالة passive sensors.
 - تكتشف ببساطة نوعاً من المدخلات من البيئة المادية وتستجيب لها. على سبيل المثال ، حساس سرعة العجلة هو مستشعر سلبي. يكتشف ويقيس دوران العجلة دون الحاجة إلى إرسال أي إشارة أو تطبيق أي طاقة على العجلة. محسّسات درجة الحرارة.

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

- المكونات المادية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

- الحساسات والمشغلات:

- يتميز أداء الحساس بشكل أساسي بالمعايير التالية:

- مجال قيم الظاهرة المقاسة
- دقة الظاهرة المقاسة
- تردد التحسس
- دقة القياس
- الحجم

- درجة حرارة التشغيل والظروف البيئية المحيطة

- عمر الخدمة بالساعات أو عدد دورات التشغيل

- تعتبر التكلفة أيضاً مصدر قلق في اختيار الحساسات

- المشغل هو محول طاقة يحول الطاقة الكهربائية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة

- مثال الحركة أو الحرارة أو الضوء أو الصوت لتحريك النظام أو التحكم فيه.

- يوفر القوة الدافعة لمجموعة متنوعة من المتطلبات الطبيعية التي من صنع الإنسان.

- مثال: وحدة التحكم الهيدروليكي ABS عبارة عن مشغل يعمل على خرج وحدة التحكم الإلكترونية لبناء ضغط الفرامل أو تثبيته أو تقليله.

- تشمل المشغلات التقليدية المكونات الهيدروليكيّة ، وضغط الهواء ، والملفات اللولبية. يتكون المحرك الهيدروليكي من أسطوانة أو محرك مائل يستخدم الطاقة

- الهيدروليكيّة لتسهيل التشغيل الميكانيكي. يقوم المحرك الهوائي بتحويل الطاقة المكونة من الفراغ أو الهواء المضغوط عند ضغط عالٍ إلى حركة خطية أو دوارة.

- الملف اللولي هو نوع من المشغل الكهرومغناطيسي الذي يحول إشارة كهربائية إلى مجال مغناطيسي وينتاج حركة خطية. تستخدم الملفات اللولبية في وحدة التحكم الهيدروليكيّة ABS لتحريك الصمامات..

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

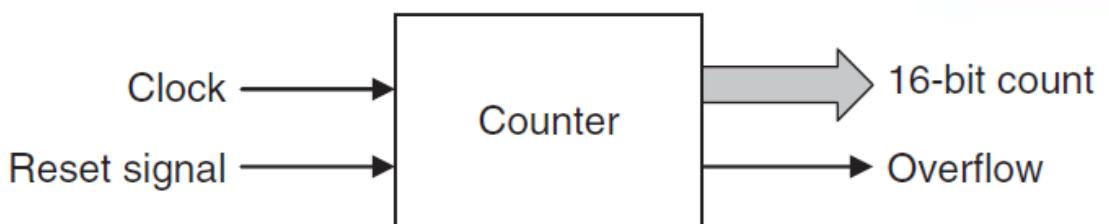
- المكونات المادية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:
 - الحساسات والمشغلات:
 - تعتمد بعض المشغلات المطورة حديثاً ، مثل الكهرباغطية وأجهزة الانقباض المغناطيسية، على مواد متغيرة الشكل.
 - يتم استخدامها بشكل متزايد في التطبيقات الجديدة.
 - مثال ، المشغلات الكهروإيجاهدية (الكهرباغطية) هي مشغلات سيراميك عالية السرعة عالية الدقة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى حركة خطية بدقة عالية. تُستخدم هذه المحركات في العديد من المجالات الحديثة ذات التقنية العالية مثل الفحص المجهرى ، والتكنولوجيا الحيوية ، وتكنولوجيا علم الفلك / الفضاء.
 - تميز المشغلات المختلفة بخصائص مختلفة.
 - أداء المحرك يتميز بشكل أساسى بالمعايير التالية:
 - أقصى قدر من القوة أو الميكانيكي الذي يمكن أن يمارسه على نظام في عملية دورية مستدامة
 - سرعة التشغيل
 - درجة حرارة التشغيل والظروف البيئية المحيطة
 - عمر الخدمة بالساعات أو عدد دورات التشغيل

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

• المكونات المادية لأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

• العدادات والموقتات:

- تعد وظائف التوقيت حيوية في الأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي
- الموقت هو نوع خاص من نبضات الساعات يستخدم لقياس الفترات الزمنية.
- يقوم العداد بحساب عدد الأحداث الخارجية التي تحدث على منفذ الحدث الخارجي الخاص به.
- عندما يكون الحدث عبارة عن نبضة ساعة ، يكون الموقت والعداد متماثلين
- في العديد من الحالات يتم استخدام هذين المصطلحين بالتبادل.
- المكون للموقت هو عداد ثنائي يعمل بشكل مستقل.
- يزداد العداد مع كل نبضة ساعة واردة.
- نظرًا لأنه يعمل بشكل مستقل، يمكنه حساب الدخل، والذي يمكن أن يكون نبضات ساعة ، أثناء قيام المعالج بتنفيذ البرنامج الرئيسي.
- إذا وصلت نبضات الإدخال بمعدل ثابت ، فإن عدد النبضات يقيس بدقة الفاصل الزمني.
- مثال ، إذا كان معدل نبضات الإدخال هو 1 ميجا هرتز وسجل العداد 1000 نبضة ، فإن الزمن المقاس هو 1000 ميكروثانية.
- عندما يصل العداد إلى حالة الـOverflow ، يتم تأكيد إشارة خرج.
- تؤدي إشارة الـOverflow إلى مقاطعة المعالج أو تعين بت يمكن للمعالج قراءته..



المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

• المكونات المادية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

- العدادات والمؤقتات:
 - يمكن أن تختلف نبضات الإدخال عن نبضات الساعة.
 - في هذه الحالة، يتم استخدام وحدة تقسيس مسبق لتوليد النبضات.
 - هذه الوحدة تعتبر دائرة مفسم ساعة قابلة للتغيير أعداداتها.
 - يأخذ التردد الأساسي لساعة ويقسمه على بعض القيمة قبل إدخاله على العداد.
 - باستخدام وحدة التقسيس المسبق ، يمكن السماح للعداد بالعد بالمعدل المطلوب.
 - مثال ، إذا قمنا باستخدام وحدة تقسيس مسبق لتقسيم 1 ميجا هرتز لتردد الساعة على 8 ، فسيكون المعدل الجديد للمؤقت $10^6 / 8 = 125$ كيلو هرتز ،
 - وبالتالي ، يمكن لمؤقت 16 بت تسجيل ما يصل إلى $65.535 \times 8 = 524.280$ ميكروثانية قبل أن يصل إلى الـ Overflow .

• مثال:

بفرض مؤقتاً مصمماً بوحدة تقسيس مسبقة. بمجال 3 بت، ويحتوي عداد تشغيل مستقل بمجال 16 بت.

يحسب المؤقت نبضات التوقيت من ساعة ذات تردد 8 ميجا هرتز.

لنفترض أن معالج يقرأ الإشارات كل 304D (نظام سداسي عشر).

المطلوب معرفة مقدار الوقت المستهلك منذ آخر إعادة تعيين إلى العداد المستقل.

أولاً ، نقوم بتحويل الرقم الست عشرى 304D إلى الرقم العشري المقابل ، والذي ينتج عنه 12365 .

نظرًا لأن وحدة التقسيس المسبقة مكونة من 3 بتات ، فإنه يقسم تردد الساعة على 2^3 .

وبالتالي ، فإن تردد الإشارات التي يتم تغذيتها في عداد التشغيل المستقل هو $10^6 / 2^3 = 125$ هرتز أو 1 ميجا هرتز ،

وبالتالي فإن الوقت المستهلك هو $12365 / 10^6 = 0.12365$ ثانية = 12365 ميكروثانية.

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

• المكونات البرمجية لأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

- نظم تشغيل الزمن الحقيقي:
- بعض المفاهيم الأساسية:
 - الإجراء process (ويسمى أيضاً المَهْمَة task) : برنامج قيد التنفيذ، وهو الوحدة المنطقية التي يجدولها نظام التشغيل.
 - الجدولة scheduling: عملية انتقاء الإجراء الذي سيقوم المعالج بتنفيذـه في لحظة محددة من بين كل الإجراءات الجاهزة للتنفيذ.
 - يُمثل كل إجراء في نظام التشغيل بنية معطيات record تحتوي على الأقل على حالة الإجراء الحالية (جاهز ready، مجمد blocked، في حالة تنفيذ executing، ...) ورقم تعريف للإجراء identity number، بعض الواصلات الأخرى (زمن التنفيذ الكلي، ...) ومجموعة المصادر (ملفات، أجهزة، ...) التي يحجزها هذا الإجراء.
 - النسب thread: إجراء خفيف lightweight يتشارك بالمصادر مع بعض النسب الأخرى.
 - يتتألف كل إجراء من عدة نسب (واحد على الأقل) تشاركه مصدره التي يحجزها.
 - يصعب عادة مشاركة المصادر بين عدة إجراءات، لكن المشاركة سهلة بين النسب المكونة لنفس الإجراء.
- يجب على نظام تشغيل الزمن الحقيقي أن يؤمن ثلاثة خدمات للإجراءات:
 - الجدولة scheduling
 - والتوزيع dispatching
 - والاتصال والتزامن بين الإجراءات intercommunication and synchronization

• نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

- نواة نظام التشغيل kernel هي الجزء الأصغر من نظام التشغيل الذي يؤمن المهام الثلاث السابقة.
- يحدد المجدول scheduler الإجراء الذي سينفذ في نظام تشغيل متعدد المهام multitasking.
- يقوم الموزع dispatcher بالعمليات التنظيمية الازمة لتنفيذ هذا الإجراء.
- تضمن خدمة الاتصال والتزامن أن الإجراءات تتعاون وتتوافق فيما بينها.

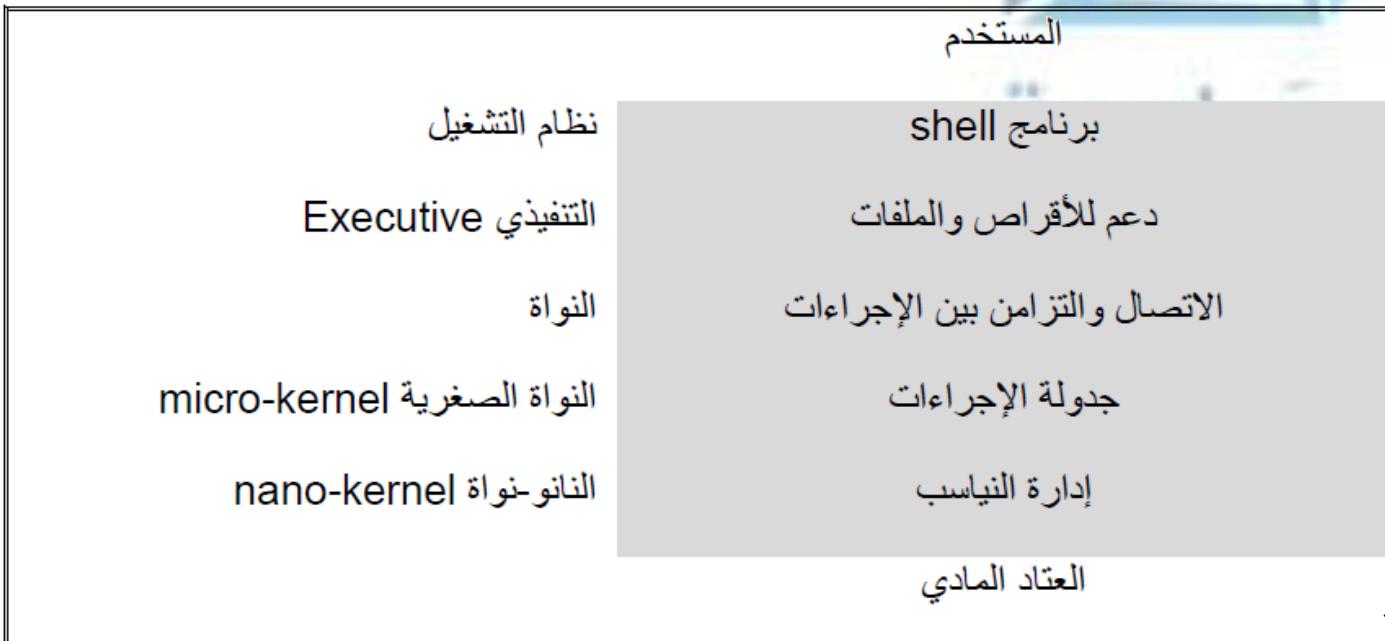
المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

- المكونات البرمجية لأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:
- نظم تشغيل الزمن الحقيقي:

- نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

- مثال:

- تؤمن النانو نواة مهمة إدارة النياسب فقط.
- تهتم النواة الصغرية بجدولة الإجراءات.
- تؤمن النواة عمليات التزامن والاتصال بين الإجراءات باستعمال طرق مختلفة.
- الجزء "التنفيذي" من نظام تشغيل الزمن الحقيقي هو نواة تتضمن عمليات إدارة كتل الذاكرة وأجهزة الدخل/خرج وغيرها من العمليات المعقدة.
- تمثل معظم أنظمة تشغيل الزمن الحقيقي التجارية فقط الجزء "التنفيذي" ولا تتضمن طبقات الأدنى.
- تؤمن طبقة نظام التشغيل الأعلى واجهات التخاطب مع المستخدم والأمن وإدارة الملفات وغيرها.
- مهما كانت بنية نظام التشغيل المستعمل، يبقى الهدف الأساسي منها هي تلبية متطلبات الزمن الحقيقي وتأمين بيئة عمل متعددة المهام متينة ومرنة.



المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

- المكونات البرمجية لأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

- نظم تشغيل الزمن الحقيقي:

- نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

- أشباه النوى pseudo-kernels

- يمكن الحصول على إمكانيات الزمن الحقيقي بحلول بسيطة دون الحاجة لدعم كبير من نظام التشغيل.

- هذه الحلول مفضلة إذا وجدنا أنها تكفي في تطبيق ما، لأن نظام التحكم الناتج أبسط وأسهل تحليلًا.

- أهم الطرق المستخدمة:

- حلقة الاستقصاء polling loop:

- عادة ما تُستعمل للاستجابة السريعة لجهاز واحد.

- تتتألف من حلقة غير منتهية تحوي تعليمات اختبار متكرر لعلم flag يدل على حدوث أو عدم حدوث حدث ما.

- تسمى عملية الفحص المتكررة هذه "استقصاء" polling

- تناسب هذه الطريقة حالة نظام مكون من معالج وحيد مخصص للتعامل مع دخل/خرج سريع.

- عادة ما تُستعمل هذه الطريقة كإجراء خلفي background task في النظم المقادمة بالمقاطعات، أو كإجراء دوري.

- تدور حلقة الاستقصاء في هذه الحالة عدداً قليلاً من المرات كي لا تستأثر بالمعالج ولتسمح لباقي الإجراءات بالتنفيذ،

- تقوم باقي الإجراءات بتنفيذ المعالجة التي لا علاقة لها بالحدث.

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

- المكونات البرمجية لأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

- نظم تشغيل الزمن الحقيقي:

- نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

- أشباه النوى pseudo-kernels

- أهم الطرق المستخدمة:

حلقة الاستقصاء المتزامنة Synchronized polling loop

مشابهة للطريقة السابقة، لكنها تضيف تأخيراً زمنياً بين لحظة الاستجابة للحدث ولحظة تصفير reset العلم

يُستفاد من هذه الخوارزمية للاستجابة للأحداث التي تتصرف بما يسمى "بارتداد المفتاح" switch bounce

تحدث هذه الظاهرة عندما يكون مسبب الحدث مفتاحاً ميكانيكياً أو كهربائياً،

لأنه من المستحيل صنع مفتاح يغير حالته لحظياً دون اهتزاز لتماساته.

مثال: بفرض لدينا مفتاح يملك السلوك الموضح بالشكل لحظة إغلاق تماساته.

يظهر جلياً من المخطط أن اهتزاز تماسات المفتاح سبب عدة الأحداث متتالية:

الأول منها حدث في اللحظة t_0 وهو صحيح

الأحداث التالية التي حدثت في اللحظات t_1 و t_2 هي خاطئة

عند إضافة تأخير زمني كافٍ (أكبر من الفرق الزمني بين t_0 و t_2)

قبل تصفير علام الحدث لن تسبب الأحداث الخاطئة استجابات من النظام لأنه يكون عندها في حالة انتظار انقضاء فترة التأخير الزمني.

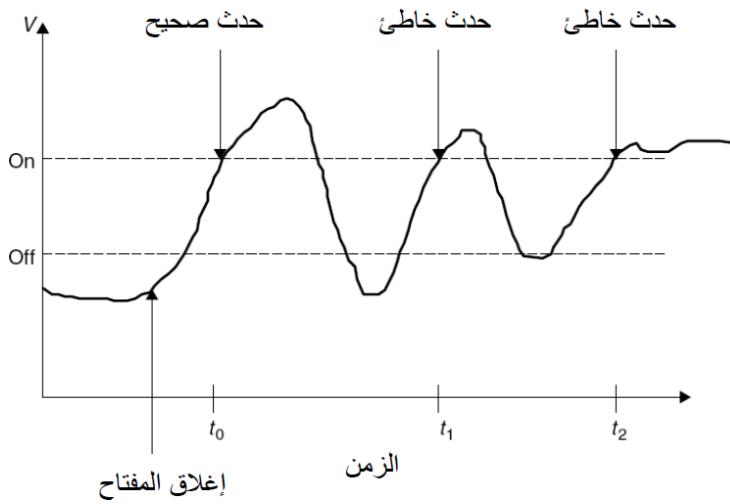
إذا فرضنا أن ارتداد المفتاح يزول بعد 20 ملي ثانية، فيجب استدعاء لخدمة من

نظام التشغيل تجمّد تنفيذ البرنامج لمدة 20 ملي ثانية

تتميز حلقات الاستقصاء بأهمها مناسبة جداً للاستجابة لأقنيات المعطيات السريعة،

خاصة عندما تحدث الأحداث بلحظات غير منتظمة ويكون المعالج مخصصاً لمعالجتها فقط.

لكرها غير كافية عندما يكون النظام معقداً، وهي تضيع الكثير من وقت المعالج وخصوصاً عندما تكون الأحداث قليلة الحووث.



المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

• المكونات البرمجية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:



• نظم تشغيل الزمن الحقيقي:

• نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

• أشباه النوى pseudo-kernels

• أهم الطرق المستخدمة:

• لتنفيذي الدوري :Cyclic Executive

• نظام "التنفيذي الدوري" هو نظام غير مقاد بالمقاطعات (أي لا يعتمد على المقاطعات في عمله)

• يعطي انطباعا بالتنفيذ المتوازي لعدة إجراءات قصيرة على معالج سريع.

• يتتألف من حلقة غير منتهية تستدعي الإجراءات على التتالي

• زمن المعالج موزع بالتساوي على جميع الإجراءات لأنه يدور عليهم بأسلوب "الشريط الدوار" round-robin

• يمكن بسهولة تعديل حلقة النظام لإعطاء إجراءات محددة أزمان تنفيذ أكبر (وبالتالي أولوية وسرعة استجابة أكبر)

• يتم ذلك عن طريق تنفيذ الإجرائية أكثر من مرة ضمن الحلقة

• هذه الطريقة مناسبة فقط لنظم الزمن الحقيقي البسيطة فقط بسبب صعوبة تقسيم النظام إلى إجراءات متقاربة الطول بالإضافة إلى أزمان التأخير التي يمكن أن تصبح طويلة في بعض الحالات.

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

- المكونات البرمجية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

- نظم تشغيل الزمن الحقيقي:

- نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

- أشباه النوى pseudo-kernels

- أهم الطرق المستخدمة:

- البرمجة المقادمة بالحالة State-driven coding

الفكرة في هذه الطريقة هي تقسيم الإجراء إلى عدة أقسام كل منها يقابل حالة state ما.
يُبرّج الإجراء باستخدام بتعليمات if-else متداخلة أو تعليمات switch/case أو أية طريقة أخرى
مثل: الإجراء الذي يحقق بروتوكول اتصال ما (مثل FTP أو POP3 ...) من ناحية المخدم

- إذا كنا في حالة انتظار لورود اتصال،

- عند وورد اتصال، يرسل رسالة للزيون تسأله عن اسم المستخدم وكلمة المرور ويصبح في حالة انتظار لاسم المستخدم وكلمة المرور.

- إذا كنا في حالة انتظار لاسم المستخدم وكلمة المرور،

- عند وورد للمخدم اسم مستخدم وكلمة مرور صحيحتان، يرسل للزيون رسالة ترحيب وتنقل لحالة انتظار لأوامر المستخدم.

- إذا كنا في حالة انتظار لاسم المستخدم وكلمة المرور،

- عند وورد للمخدم اسم مستخدم وكلمة مرور غير صحيحتين، يرسل للزيون رسالة تطلب منه إعادة المحاولة ويبقى في نفس حالة انتظار اسم المستخدم وكلمة المرور (مع زيادة عدد المحاولات الفاشلة)

- وهكذا. يمكن الاستمرار بهذا الشكل لتوصيف كامل إجراء المخدم باستخدام شروط وحالات.

تسمح هذه الطريقة بتجميد إجراء ما لفترة مؤقتة دون الإخلال بعمله (وذلك بتجمده بعد الانتهاء من تنفيذ تعليمية #الموافقة للحالة الحالية)

- يسهل هذا الأمر عملية تحقيق تعددية المهام

تناسب هذه الطريقة أسلوب "التنفيذي السوري" عندما تكون الإجراءات طويلة جدًا أو متفاوتة الأطوال

من ميزات هذه الطريقة أيضًا أنها مبنية على فكرة الآلات المتميزة Finite State Automata FSA

ليست كل الإجراءات مناسبة لهذه الطريقة، حيث توجد بعض الإجراءات لا تسمح طبيعتها بأن تقسم لحالات.

- يمكن أن يكون عدد الحالات كبير جداً مع وجود علاقات بينها، مما يعُد كثيراً عملية تحقيقها برمجياً

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

• المكونات البرمجية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

• نظم تشغيل الزمن الحقيقي:

• نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

• أشباه النوى pseudo-kernels

• أهم الطرق المستخدمة:

• الروتينات التعاونية Co-routines



• تسمى أيضاً "تعددية المهام التعاونية" cooperative multitasking

• تحتاج لبرمجة منضبطة وتطبيق مناسب لكي تعمل بنجاح.

• تتالف النواة التي تعمل بهذا الطريقة من إجراءين أو أكثر مكتوبين بأسلوب البرمجة المقاددة بالحالة

• بعد الانتهاء من تنفيذ الحالة الفعالة من الإجراء الفعال، يستدعي موزع dispatcher مركزي الذي يقوم باختيار الإجراء التالي الذي سيتم استدعاؤه.

• بعد الانتهاء من تنفيذ الحالة الفعالة من هذا الإجراء، يستدعي الموزع من جديد وهكذا.

• تتصل الإجراءات فيما بينها باستعمال المتغيرات العامة global variables

• آلية معلومات يحتاج الإجراء لحفظها عليها من انتقاء آخر (من قبل الموزع) يجب كذلك أن يخزن في متغيرات عامة

• يمكن تعديل هذا الطريقة لتعمل مع إجراء ذي حلقة استقصاء.

• بذلك يمكن للمعالج القيام بأعمال أخرى مفيدة (أي تنفيذ باقي الإجراءات) بدلاً من إضاعة وقته بانتظار حدوث الحدث

• يجب طبعاً في هذه الحالة أن تحول حلقة الاستقصاء إلى فحص للعلم ثم الانتقال للموزع.

• يُعتبر من أسهل خوارزميات الجدولية "العادلة" fair التي يمكن تحقيقها بسهولة.

• كذلك يمكن لعدة مبرمجين أن يتشاركون بكتابة الإجراءات وليس من الضروري معرفة عدد الإجراءات مسبقاً

• لا يمكن استعمال هذه الطريقة إلا مع الإجراءات التي يمكنها أن ترك المعالج بفواصل منتظمة والتي يمكن تقسيمها لأجزاء منتظمة.

• طريقة الاتصال الوحيدة المتاحة بين الإجراءات هي باستعمال المتغيرات العامة، وهو أمر غير مرغوب به عموماً