

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



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 بقياس 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 استخدامًا في الأنظمة المضمنة.
- يجب أن يكون الحساس الجيد حساسًا للخاصية المقاسة ، لكنه لا يتداخل معها.
- يمكن تصميم الحساسات لكل كمية فيزيائية وكيميائية تقريبًا ، 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 الكهرضغطية
 - تستخدم خصائص بعض المواد التي تولد شحنة كهربائية استجابة للإجهاد الميكانيكي المطبق.
- أنواع الحساسات:
 - حساسات نشطة (فعالة) active sensors
 - يتطلب مصدرًا خارجيًا للطاقة ليعمل. ومن الأمثلة على ذلك الرادار ونظام تحديد المواقع والأشعة السينية.
 - حساسات غير فعالة. passive sensors
 - تكتشف ببساطة نوعًا 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. مجسات 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 البيئة 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 الهيدروليكية ABS عبارة عن مشغل يعمل على خرج وحدة التحكم الإلكترونية لبناء ضغط الفرامل أو تثبيته أو تقليله.

- تشمل المشغلات التقليدية المكونات الهيدروليكية ، وضغط الهواء ، والملفات اللولبية. يتكون المحرك الهيدروليكي من أسطوانة أو محرك مائع يستخدم الطاقة الهيدروليكية لتسهيل التشغيل الميكانيكي. يقوم المحرك الهوائي بتحويل الطاقة المتكونة من الفراغ أو الهواء المضغوط عند ضغط عالٍ إلى حركة خطية أو دوارة. الملف اللولبي هو نوع من المشغل الكهرومغناطيسي الذي يحول إشارة كهربائية إلى مجال مغناطيسي وينتج حركة خطية. تستخدم الملفات اللولبية في وحدة التحكم الهيدروليكية ABS لتحريك الصمامات..

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

• المكونات المادية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

• الحساسات والمشغلات:

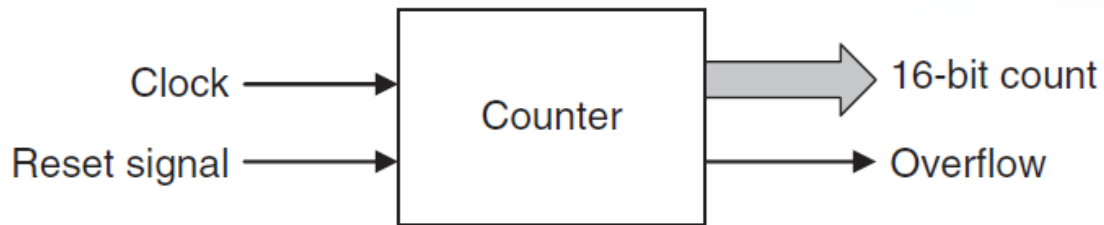
- تعتمد بعض المشغلات المطورة حديثاً ، مثل الكهروضغطية وأجهزة الانقباض المغناطيسية، على مواد متغيرة الشكل.
- يتم استخدامها بشكل متزايد في التطبيقات الجديدة.
- مثال ، المشغلات الكهروإجهادية (الكهروضغطية) هي مشغلات سيراميك عالية السرعة عالية الدقة تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى حركة خطية بدقة عالية. تُستخدم هذه المحركات في العديد من المجالات الحديثة ذات التقنية العالية مثل الفحص المجهرى ، والتكنولوجيا الحيوية ، وتكنولوجيا علم الفلك / الفضاء.
- تتميز المشغلات المختلفة بخصائص مختلفة.
- أداء المحرك يتميز بشكل أساسي 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 للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

• العدادات والمؤقتات:

- 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.
- المكوّن للمؤقت 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 ميغا هرتز وسجل العداد 1000 نبضة ، فإن الزمن المقاس هو 1000 ميكروثانية.
- عندما يصل العداد إلى حالة الـ Overflow ، يتم تأكيد إشارة خرج.
- تؤدي إشارة الـ Overflow إلى مقاطعة المعالج أو تعيين 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 تقييس مسبق لتوليد النبضات.

• هذه الوحدة تعتبر دائرة مقسم ساعة قابلة لتغيير اعداداتها.

• يأخذ التردد الأساسي للساعة ويقسمه على بعض القيمة قبل إدخاله على العداد.

• باستخدام وحدة التقييس المسبق، يمكن السماح للعداد بالعد بالمعدل المطلوب.

• مثال، إذا قمنا باستخدام وحدة تقييس مسبق لتقسيم 1 ميغا هرتز لتردد الساعة على 8، فسيكون المعدل الجديد للمؤقت $10^6/8 = 125$ كيلو هرتز،

• وبالتالي، يمكن لمؤقت 16 بت تسجيل ما يصل إلى $8 \times 65.535 = 524.280$ ميكروثانية قبل أن يصل إلى الـ Overflow.

• مثال:

• بفرض مؤقتًا مصممًا بوحدة تقييس مسبقة. بمجال 3 بت، ويحتوي عداد تشغيل مستقل بمجال 16 بت.

• يحسب المؤقت نبضات التوقيت من ساعة ذات تردد 8 ميغا هرتز.

• لنفترض أن لمعالج يقرأ الإشارات كل 304D (نظام سداسي عشري).

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

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

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

• وبالتالي، فإن تردد الإشارات التي يتم تغذيتها في عداد التشغيل المستقل هو $8 \times 10^6 / 2^3$ هرتز أو 1 ميغا هرتز،

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

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

• المكونات البرمجية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

- نظم تشغيل الزمن الحقيقي:
 - بعض المفاهيم الأساسية:
 - الإجراء process (ويسمى أيضا المهمة task): برنامج قيد التنفيذ، وهو الوحدة المنطقية التي ي جدولها نظام التشغيل.
 - الجدولة scheduling: عملية انتقاء الإجراء الذي سيقوم المعالج بتنفيذه في لحظة محددة من بين كل الإجراءات الجاهزة للتنفيذ.
 - يُمثّل كل إجراء في نظام التشغيل ببنية معطيات (record) تحتوي على الأقل على حالة الإجراء الحالية (جاهز ready، مجمّد blocked، في حالة تنفيذ executing، ...) ورقم تعريف للإجراء identity number، بعض الواصفات الأخرى (زمن التنفيذ الكلي، ...) ومجموعة المصادر (ملفات، أجهزة، ...) التي يحجزها هذا الإجراء.
 - النيسب thread: إجراء خفيف lightweight يتشارك بالمصادر مع بعض النياسب الأخرى.
 - يتألف كل إجراء من عدة نياسب (واحد على الأقل) تشاركه مصادره التي يحجزها.
 - يصعب عادة مشاركة المصادر بين عدة إجراءات، لكن المشاركة سهلة بين النياسب المكوّنة لنفس الإجراء.
 - يجب على نظام تشغيل الزمن الحقيقي أن يؤمّن 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 اللازمة لتنفيذ هذا الإجراء.
 - تضمن خدمة الاتصال والتزامن أن الإجراءات تتعاون وتتواصل فيما بينها.

المكونات الأساسية للنظم المضمنة في الزمن الحقيقي

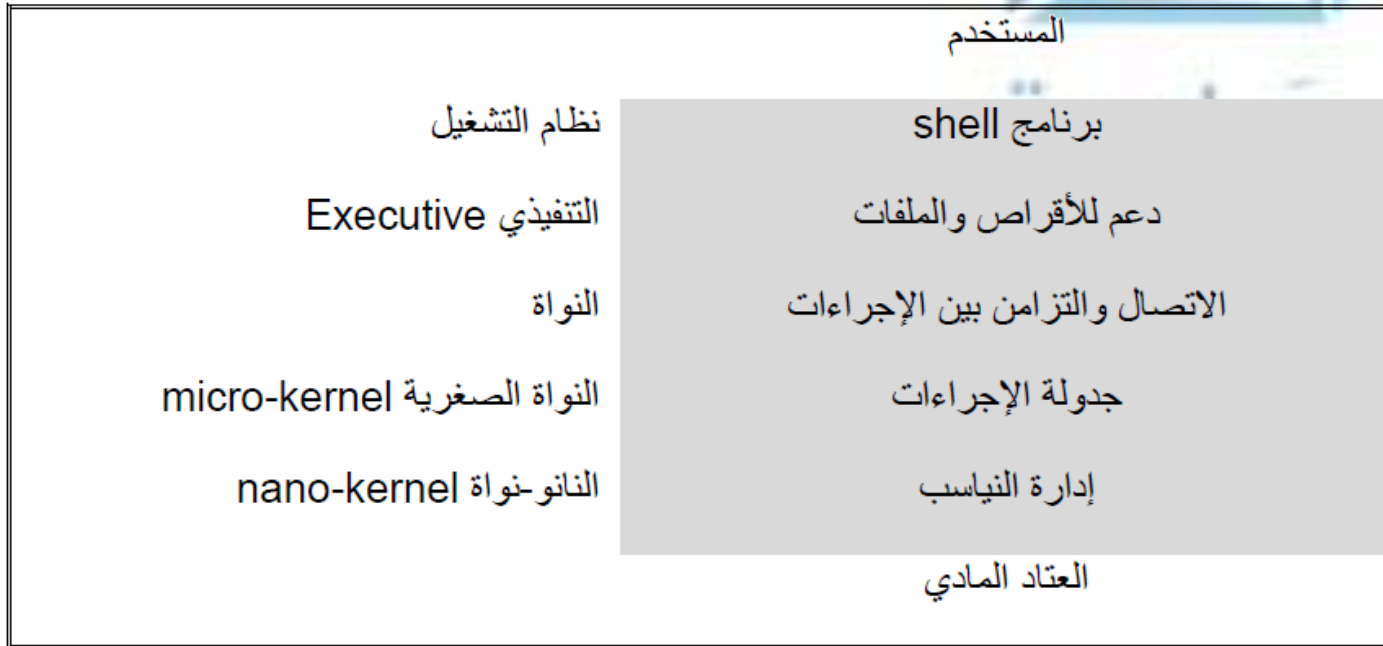
• المكونات البرمجية للأنظمة المضمنة في الزمن الحقيقي:

• نظم تشغيل الزمن الحقيقي:

• نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي:

• مثال:

- تؤمن النانو نواة مهمة إدارة النياسب فقط،
- تهتم النواة الصغيرة بجدولة الإجراءات.
- تؤمن النواة عمليات التزامن والاتصال بين الإجراءات باستعمال طرق مختلفة.
- الجزء "التنفيذي" Executive 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 لطبقات 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 للأنظمة 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 مفضّلة إذا وجدنا أنها تكفي في تطبيق ما، لأن نظام التحكم الناتج أبسط وأسهل تحليلاً.
- أهم الطرق المستخدمة:

• حلقة الاستقصاء polling loop:

- عادة ما تُستعمل للاستجابة السريعة لجهاز واحد.
- تتألف من حلقة غير منتهية تحوي تعليمة اختبار متكرر لعلم flag يدل على حدوث أو عدم حدوث حدث ما.
- تسمى عملية الفحص المتكررة هذه "استقصاء" polling
- تناسب هذه الطريقة حالة نظام مكوّن من معالج وحيد مخصص للتعامل مع دخل/خرج سريع.
- عادة ما تُستعمل هذه الطريقة كإجراء خلفي background task في النظم المقادة 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 للأنظمة 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 تتصف 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 تأخر زمني كافٍ (أكبر من الفرق الزمني بين t_2 و t_0)

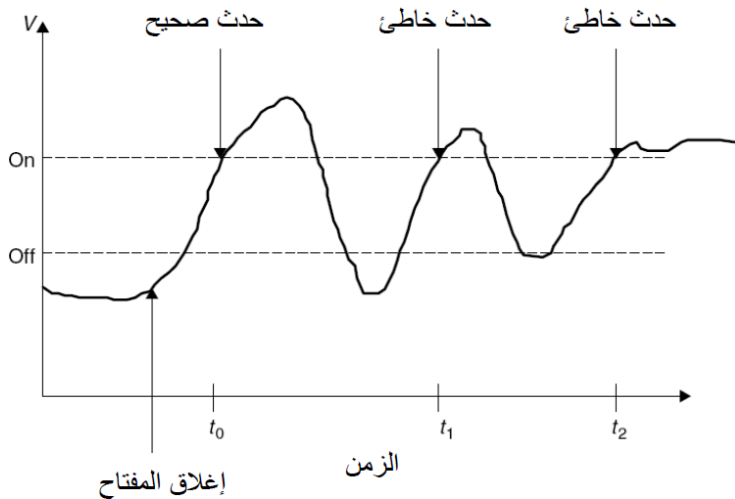
• قبل تصفير علم الحدث لن تسبب الأحداث الخاطئة استجابات من النظام لأنه يكون عندها في حالة انتظار انقضاء فترة التأخير الزمني.

• إذا فرضنا أن ارتداد المفتاح يزول بعد 20 ميلي ثانية، فيجب استدعاء لخدمة من نظام التشغيل تجمّد تنفيذ البرنامج لمدة 20 ميلي ثانية

• تتميز حلقات الاستقصاء بأنها مناسبة جداً للاستجابة لأقنية المعطيات السريعة،

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

• لكنها غير كافية عندما يكون النظام معقداً، وهي تضع الكثير من وقت المعالج وخصوصاً عندما تكون الأحداث قليلة الحدوث.



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 انطبعا بالتنفيذ المتوازي لعدة إجراءات قصيرة على معالج سريع.

• يتألف من حلقة غير منتهية تستدعي الإجراءات على التوالي

• 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 الإجراءات 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 المقادة بالحالة State-driven coding:

- الفكرة في هذه الطريقة هي تقسيم الإجراء إلى عدة أقسام كل منها يقابل حالة state ما.
- يُبرمج الإجراء باستعمال بتعليمات if-else متداخلة أو تعليمات switch/case أو أية طريقة أخرى
- مثال: 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 للزبون 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 للزبون رسالة ترحيب ومنتقل لحالة انتظار لأوامر المستخدم.
 - إذا كنا في حالة انتظار لاسم المستخدم وكلمة المرور،
 - عند وورد للمخدم اسم مستخدم وكلمة مرور غير صحيحتين، يرسل للزبون رسالة تطلب منه إعادة المحاولة ويبقى في نفس حالة انتظار اسم المستخدم وكلمة المرور (مع زيادة عداد المحاولات الفاشلة)
 - وهكذا. يمكن الاستمرار بهذا الشكل لتوصيف كامل إجراء المخدم باستعمال شروط وحالات.
 - تسمح هذه الطريقة بتجميد إجراء ما لفترة مؤقتة دون الإخلال بعمله (وذلك بتجميده بعد الانتهاء من تنفيذ تعليمة if الموافقة للحالة الحالية)
 - يسهل هذا الأمر عملية تحقيق تعددية المهام
 - تناسب هذه الطريقة أسلوب "التنفيذي الدوري" عندما تكون الإجراءات طويلة جداً أو متفاوتة الأطوال
 - من ميزات هذه الطريقة أيضاً أنها مبنية على فكرة الأوتومات المنتهي 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 يعقد 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 أيضا "تعددية المهام التعاونية" cooperative multitasking

• تحتاج لبرمجة منضبطة وتطبيق مناسب لكي تعمل بنجاح.

• تتألف النواة التي تعمل بهذا الطريقة من إجراءين أو أكثر مكتوبين بأسلوب البرمجة المقادة بالحالة

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

• بعد الانتهاء من تنفيذ الحالة الفعّالة من هذا الإجراء، يُستدعى الموزع من جديد وهكذا.

• تتصل الإجراءات فيما بينها باستعمال المتحولات العامة global variables

• أية معلومات يحتاج الإجراء للحفاظ عليها من انتقاء لآخر (من قِبَل الموزع) يجب كذلك أن يخزّن في متحولات 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 طبعا في هذه الحالة أن تتحول حلقة الاستقصاء إلى فحص للعلم ثم الانتقال للموزع.

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

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

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

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