



Asociación Civil para la Investigación,
Promoción y Desarrollo de los
Sistemas Electrónicos Embebidos

Seminario de Electrónica Sistemas Embebidos



Laboratorio de
Sistemas Embebidos

Diagrama de Estado – Introd.



Ing. Juan Manuel Cruz (juanmanuel.cruz@hasar.com)

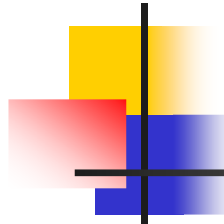
Gerente de Ingeniería de Cia. Hasar SAIC



Profesor Asociado Ordinario - Técnicas Digitales II TN-FRBA

Profesor Adjunto Interino - Sistemas Embebidos FIUBA

Buenos Aires, 22 de Marzo de 2017



Temario

- Introducción
- Estado del arte
- Problemática general
- Diagrama de Estado
- Paso a Paso
- Un ejemplo de aplicación



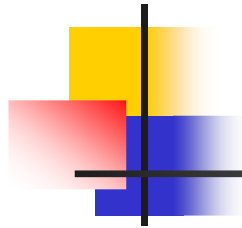
Introducción

- Cada vez es más frecuente el uso de **modelos** para describir el software de los **sistemas embebidos**. Los modelos no están pensados para visualizar código sino para representar un sistema con un nivel de **abstracción** superior al de los lenguajes de programación
- En cierta forma, la migración de una **metodología de programación** basada en lenguaje C hacia el desarrollo de software **basado en modelos**, supone un **incremento** en nivel de **abstracción** y en **productividad** similar al producido al cambiar desde lenguaje **ensamblador** hacia **lenguaje C**
- Los **modelos** ayudan a **comprender** el sistema a diseñar y favorecen el **intercambio de ideas** entre los miembros del equipo de diseño y sus clientes, además, gracias a la existencia de programas informáticos específicos



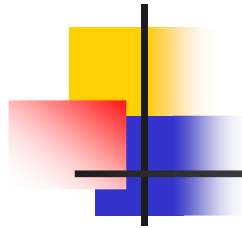
Introducción

- Los modelos permiten **simular** el funcionamiento de un sistema desde las primeras etapas del diseño y generar automáticamente el **código** fuente y la **documentación** del proyecto, **manteniendo** en todo momento el **sincronismo** entre **modelo**, **código** y **documentación**
- Sin embargo, en nuestro entorno, la **práctica** del uso de modelos para el desarrollo de software **no está muy extendida**, por ello el objetivo de este trabajo es proporcionar un **ejemplo práctico** a nuestros alumnos y colegas, **que impulse el despegue de esta metodología de programación**
- Fuente: Desarrollo de Software Basado en Modelos para Sistemas Embebidos - Mariano Barrón Ruiz



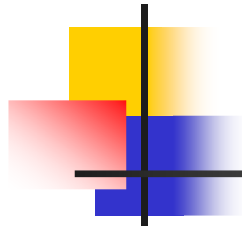
Estado del arte

- Un **modelo** es una **representación simplificada** de un **sistema** que contempla las propiedades importantes del mismo desde un determinado punto de vista. El **uso de modelos** es una **actividad arraigada** en técnicos e ingenieros y probablemente tan antigua como la propia ingeniería. Los modelos de mayor utilidad se caracterizan por ser:
 - **Abstractos.** Enfatizan los aspectos importantes del sistema y eliminan los aspectos irrelevantes
 - **Comprensibles.** Expresados en forma fácilmente perceptible por los observadores
 - **Precisos.** Representan fielmente el sistema modelado
 - **Predictivos.** Pueden utilizarse para responder cuestiones sobre el sistema modelado
 - **Económicos.** Mucho más baratos de construir y estudiar que el propio sistema



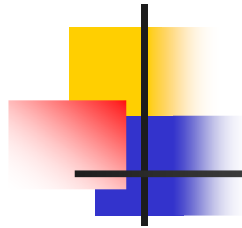
Estado del arte

- Los modelos empleados para crear software para sistemas embebidos, además de servir para lograr un **conocimiento** más profundo del **problema**, también se utilizan como elemento de **entrada** para la **generación de código**. La mayoría de los enfoques actuales en el desarrollo de software basado en modelos coinciden en:
 - Utilizar una **representación gráfica** del sistema a desarrollar
 - Describir el sistema con un cierto grado de **abstracción**
 - Generar **código** ejecutable **partiendo del propio modelo**
- Las **máquinas de estados finitos** constituyen una **herramienta gráfica** utilizada tradicionalmente para **modelar** el **comportamiento** de sistemas electrónicos e informáticos. Una máquina de estado es un **modelo computacional**, basado en la teoría de autómatas, que se utiliza para **describir sistemas** cuyo comportamiento depende de los **eventos actuales** y de los **eventos que ocurrieron en el pasado**



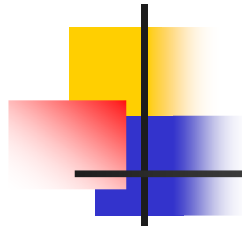
Estado del arte

- En cada instante de tiempo la máquina se encuentra en un **estado**, y dependiendo de las **entradas**, actuales y pasadas, que provienen del **ambiente**, la máquina **cambia o no cambia** de estado, pudiendo **realizar acciones** que a su vez **influyen en el ambiente**
- Las máquinas de estados tradicionales son una excelente herramienta para el tratamiento de problemas sencillos o de mediana dificultad, pero su utilidad disminuye cuando se abordan sistemas más complejos
- A mediados de la década de 1980, **David Harel** - propuso una amplia extensión al formalismo convencional de las máquinas y diagramas de estados a la que denominó **statecharts**
- El término, según palabras de su autor, fue elegido por ser una combinación no utilizada de las palabras "flow" o "**state**" con "diagram" o "**chart**"



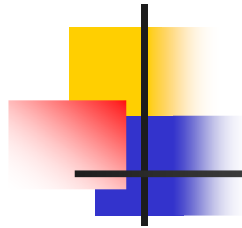
Estado del arte

- El objetivo principal de éste formalismo gráfico era **modelizar** o describir **sistemas reactivos complejos**
- El término **reactivo** se aplica a objetos que **responden** dinámicamente a los **eventos** de interés que reciben, y cuyo **comportamiento** lo define el orden de **llegada** de esos **eventos**
- Constituyen ejemplos de sistemas reactivos: los cajeros automáticos, los sistemas de reservas de vuelos, los sistemas embebidos en aviones y automóviles, los sistemas de telecomunicaciones, los sistemas de control, etc.
- Los **diagramas de estado (statecharts)** extienden las **máquinas de estados finitos** convencionales con tres elementos principales: **jerarquía, concurrencia y comunicación**



Estado del arte

- El uso de **jerarquías** favorece el tratamiento de los sistemas con **diferentes niveles de detalle**; la **conurrencia**, también llamada ortogonalidad o **paralelismo**, posibilita la existencia de **tareas independientes** o **con escasa relación entre ellas**, y la **comunicación** permite que **varias tareas reaccionen ante un mismo evento** o **envíen mensajes hacia otras tareas**
- El uso de los statecharts de Harel se ha extendido considerablemente tras convertirse en uno de los diagramas integrados en el **UML** (Unified Modeling Language) para describir el **comportamiento de sistemas** o **de modelos abstractos**
- En **UML** los **diagramas gráficos** son **vistas** o **representaciones parciales** del modelo de un objeto, contemplan **tres vistas** distintas del modelo: la vista de sus **necesidades funcionales**, la vista de su **estructura** y la vista de su **comportamiento**



Estado del arte

- La versión **2.0 de UML** contempla el uso de hasta **13 tipos de diagramas** que enfatizan diversos aspectos de la **estructura**, el **comportamiento** y la **interacción** entre las partes de un sistema
- UML facilita: la **comunicación** (desarrollador-cliente-mantenedor) y la **definición** de **requerimientos**, **estructura** y **funcionamiento** del sistema. Es útil para: **visualizar-especificar-construir-documentar** el sistema, encarar el **diseño independientemente de plataforma/proceso**. Ayuda al reuso y al mantenimiento
- Tantos diagramas son motivo de crítica y reproche a los responsables del UML por no haber realizado una labor de síntesis de sus muchos años de experiencia, y haber fusionado conceptos y notaciones no del todo compatibles, produciendo un monstruo sobrecargado de elementos que se solapan y confunden a los usuarios



Estado del arte

Activity	11	Procedural and parallel behavior	In UML 1
Class	3, 5	Class, features, and relationships	In UML 1
Communication	12	Interaction between objects; emphasis on links	UML 1 collaboration diagram
Component	14	Structure and connections of components	In UML 1
Composite structure	13	Runtime decomposition of a class	New to UML 2
Deployment	8	Deployment of artifacts to nodes	In UML 1
Interaction overview	16	Mix of sequence and activity diagram	New to UML 2
Object	6	Example configurations of instances	Unofficially in UML 1
Package	7	Compile-time hierarchic structure	Unofficially in UML 1
Sequence	4	Interaction between objects; emphasis on sequence	In UML 1
State machine	10	How events change an object over its life	In UML 1
Timing	17	Interaction between objects; emphasis on timing	New to UML 2
Use case	9	How users interact with a system	In UML 1



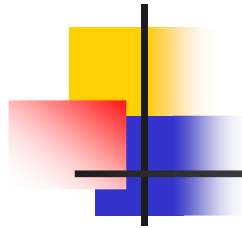
Problemática general

- Optamos por los diagramas de estado “**statecharts**” de Harel por ser un método valioso para **representar procesos secuenciales**
- Aunque es posible modelar sistemas reactivos sin la ayuda de **herramientas CASE**, tal como propone el autor Miro Samek, lo cierto es que **estas herramientas facilitan el trabajo** al aportar sus cómodos **editores gráficos**; la posibilidad de disponer rápidamente de un **modelo claro y ejecutable** que permita la **simulación** temprana del comportamiento del sistema; la **verificación funcional** del modelo; la **generación automática de código** C, C++, o código en otros lenguajes de alto nivel; la **generación automática de documentación**; el **seguimiento** del grado de **cumplimiento** de las **especificaciones**; etc. Son numerosas las herramientas libres o comerciales disponibles, existiendo incluso herramientas de código abierto como UML **StateWizard**



Problemática general

- Una herramienta comercial adaptable al diseño de sistemas embebidos es **Yakindu Statechart Tools (STC)**; sencilla de aprender brinda un entorno de modelado que permite **especificar** y **desarrollar** sistemas **reactivos** (gobernados por evento, del tipo **máquinas de estado**).
- Nos permite **editar, validar** y **simular** modelos de **máquinas de estado** y posteriormente **generar código C, C++** o Java, lo que **incrementa** notablemente la **productividad** de los programadores, y por consecuencia **mejora la calidad del software** generado
- Por todo lo anterior y la disponibilidad de una versión libre (**Academic Edition**, IDE Eclipse o **plugin p/Eclipse**) hemos elegido **Yakindu Statechart Tools (SCT)** como herramienta para el desarrollo de software basado en modelos para sistemas embebidos. La versión académica con limitaciones respecto a la versión pero es **suficiente** para su **uso académico**



Problemática general

- Los **statecharts** ayudan a construir **modelos** gráficos que **describen** con precisión el **comportamiento** de los sistemas
- Los modelos creados **no guardan relación con el lenguaje de programación** utilizado en el desarrollo de la aplicación, sin embargo, si mantienen una **relación** muy estrecha con el **funcionamiento** deseado del sistema: ésta relación, unida a la representación gráfica del modelo, facilita la comunicación y el intercambio de ideas entre los clientes y el equipo de desarrollo del sistema, independientemente del tipo de formación que posean
- Un **modelo** permite **simular** y **visualizar** la **aplicación** desde las primeras etapas del diseño **sin necesidad** de construir un **prototipo** hardware, lo cual **facilita la eliminación de errores** desde el principio



Problemática general

- Los **programadores deben de cambiar** la forma tradicional en la que abordan la tarea de desarrollo de software; deben trasladar su forma de pensar **al dominio de la aplicación** y **liberarse** de las exigencias impuestas por el **lenguaje de programación** utilizado
- Si la herramienta de modelado dispone de **generadores** automáticos de **código** y de **documentación** los beneficios son aún mayores, ya que los **cambios** que se realizan en el **modelo** se trasladan automáticamente al **código** generado y a la **documentación** creada, por lo que la propia herramienta se encarga de mantener el **sincronismo** entre el **modelo**, el **código** y la **documentación**
- El hecho de disponer de **documentación actualizada** es un aspecto de enorme importancia ya que **facilita** el **mantenimiento** de las **aplicaciones**

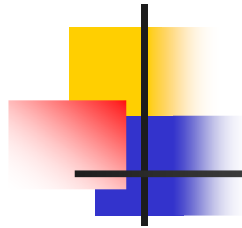


Diagrama de Estado

- Los **diagramas de estado** muestran el **conjunto de estados** por los cuales pasa un objeto durante su vida en una aplicación **en respuesta a eventos** (por ejemplo, mensajes recibidos, tiempo rebasado o errores), junto con sus **respuestas** y **acciones**. También ilustran qué **eventos** pueden cambiar el **estado** de los objetos de la clase.
- Normalmente contienen: **estados** y **transiciones**. Como los estados y las transiciones incluyen, a su vez, **eventos**, **acciones** y **actividades**, vamos a ver primero sus definiciones.
- Al igual que otros diagramas, en los **diagramas de estado** pueden aparecer **notas** explicativas y restricciones.



Eventos

- Un **evento** es una ocurrencia que puede causar la **transición** de un **estado** a otro de un objeto. Esta ocurrencia puede ser una:
 - **EventoCambio: Condición** que toma el valor de verdadero (normalmente descrita como una **expresión booleana**)
 - **EventoSeñal: Recepción** de una **señal** explícita de un objeto a otro
 - **EventoLlamada: Recepción** de una **llamada** a una **operación**
 - **EventoTiempo: Paso** de cierto **período de tiempo**, después de entrar al estado actual, o de cierta hora y fecha concretas
- El **nombre** de un evento tiene **alcance** dentro del paquete en el cual está definido y puede ser usado en los diagramas de estado por las clases que tienen **visibilidad** dentro del paquete. Un evento no es local a la clase donde está declarado



Acciones & Actividades

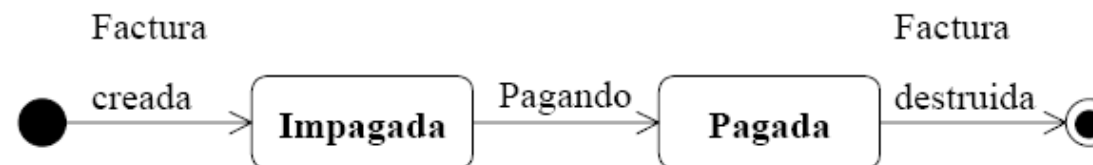
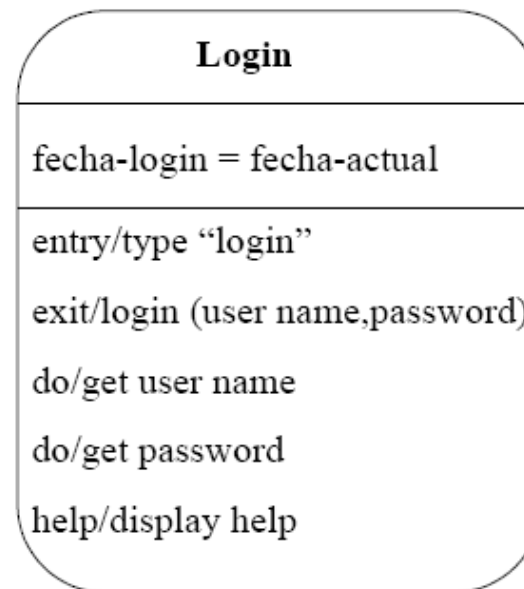
- Una **acción** es una **operación atómica**, que **no interrumpible** por un **evento** y que se ejecuta hasta su finalización. Una acción puede ser:
 - Una llamada a una **operación** (al objeto al cual pertenece el diagrama de estado o también a otro objeto visible)
 - La **creación** o la **destrucción** de otro objeto
 - El envío de una **señal** a un objeto
- Cuando un objeto está en un **estado**, generalmente está **esperando** a que suceda algún **evento**. Sin embargo, a veces, queremos modelar una **actividad** que se está **ejecutando**. Es decir, mientras un objeto está en un estado, dicho objeto **realiza un trabajo** que continuará hasta que sea **interrumpido** por un **evento**
- Por lo tanto, una **acción** contrasta con una **actividad**, ya que ésta última puede ser **interrumpida por otros eventos**



Estados

- Un **estado** identifica una **condición** o una **situación** en la vida de un objeto durante la cual **satisface** alguna **condición**, **ejecuta** alguna **actividad** o **espera** que suceda algún **evento**. Un objeto permanece en un estado durante un **tiempo finito** (no instantáneo)
 - Un estado se representa gráficamente por medio de un **rectángulo** con los **bordes redondeados** y con **tres divisiones internas**. Los tres compartimentos alojan el **nombre** del estado, el valor característico de los **atributos** del objeto en ese estado y las **acciones** que se realizan en ese estado, respectivamente. **En muchos diagramas se omiten los dos compartimentos inferiores**
 - En el primer ejemplo viene representado el estado **Login** junto con sus tres divisiones. Asimismo, los diagramas de estado tienen un punto de comienzo, el **estado inicial**, que se dibuja mediante un círculo sólido relleno, y un (o varios) punto de finalización, el **estado final**, que se dibuja por medio de un círculo conteniendo otro más pequeño y relleno (es como un ojo de toro). Dichos estados, inicial y final, aparecen marcados en el segundo ejemplo

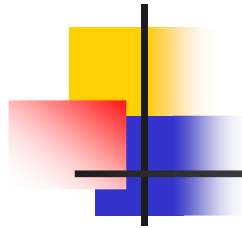
Estados





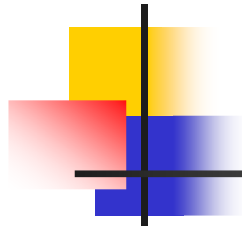
Estados

- **Compartimento del nombre** (cada estado debe tener un nombre): En el primer ejemplo tenemos el nombre de estado: **Login**, mientras que en el segundo ejemplo hay dos nombres de estado: **Impagada** y **Pagada**
- **Compartimento de la lista de variables:** El segundo compartimento es el compartimento de las variables de estado, donde los atributos (variables) pueden ser listados y asignados. Los atributos son aquellos de la clase visualizados por el diagrama de estado. En el primer ejemplo tenemos la variable de estado: **fecha-login**, a la cual se le ha asignado el valor de la fecha del día
- **Compartimento de la lista de acciones:** El tercer compartimento es el compartimento de las transiciones internas, donde se listan las actividades o las acciones internas ejecutadas en respuesta a los eventos recibidos mientras el objeto está en un estado, sin cambiar de estado. La sintaxis formal dentro de este compartimento es:
 - **nombre-evento** `'(lista-argumentos)'` `'[guard-condition]'` `'/'` **expresión-acción**
`'^'` **cláusula-envío**



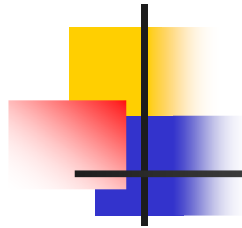
Estados

- Las siguientes acciones especiales tienen el mismo formato, pero representan palabras reservadas que no se pueden utilizar para nombres de eventos:
 - **entry** '/' **expresión-acción**
 - **exit** '/' **expresión-acción**
- Las acciones **entry** y **exit** no tienen argumentos, pues están implícitos en ellas. Cuando se entra al estado o se sale del estado, se ejecuta la acción atómica especificada en **expresión-acción**
- La siguiente palabra clave representa la llamada de una **actividad**:
 - **do** '/' **expresión-acción**
- La transición especial **do** nos sirve para **especificar** una **actividad** que se ejecuta mientras se está en un estado, por ejemplo, enviando un mensaje, esperando o calculando. Dicha actividad es la que aparece en expresión-acción



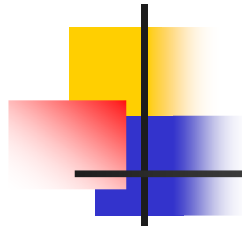
Estados & Transiciones Simples

- Por último, las transiciones internas, que son esencialmente interrupciones, se especifican teniendo en cuenta la sintaxis formal. Por ejemplo:
 - **help / display help**
- La transición interna **help** representa un evento que no causa ningún cambio de estado, pues sólo muestra, en cualquier momento, una ayuda al usuario que viene expresada en **display help**
- En el primer ejemplo aparecen todos los tipos de eventos especificados anteriormente, junto con las **acciones** y **actividades** que se realizan al **entrar, salir** o **estar** en el estado **Login**
- Una **transición simple** es una relación entre dos estados que indica que un objeto en el primer estado puede entrar al segundo estado y ejecutar ciertas operaciones, cuando un evento ocurre y si ciertas condiciones son satisfechas
- Una **transición simple** se representa gráficamente como una **línea continua** dirigida desde el estado origen (**source**) hasta el estado destino (**target**)



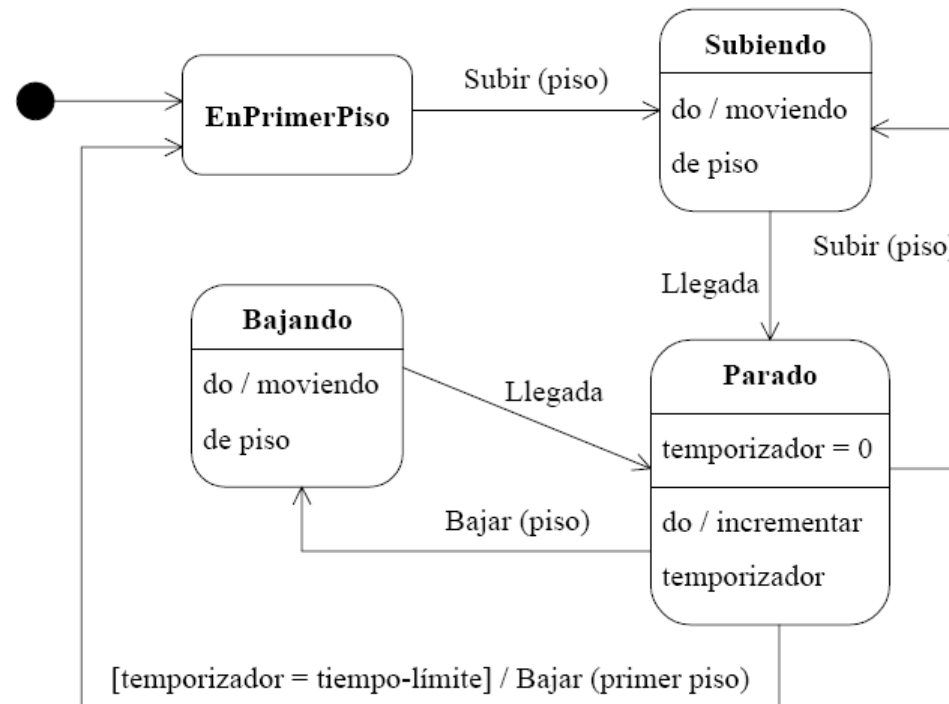
Transiciones Simples

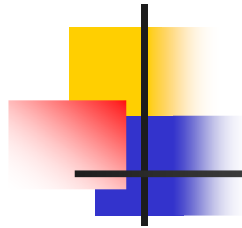
- Puede venir acompañada por un texto con el siguiente formato:
 - **nombre-evento** `'(lista-argumentos)'` `'[guard-condition]'` `/'` **expresión-acción** `^'` **cláusula-envío**
 - **nombre-evento** y **lista-argumentos** describen el evento que da lugar a la transición y forman lo que se denomina **event-signature**
 - **guard-condition** es una condición (expresión booleana) adicional al evento y necesaria para que la transición ocurra
 - Si la **guard-condition** se combina con una **event-signature**, entonces para que la transición se dispare tienen que suceder dos cosas: **debe ocurrir el evento y la condición booleana debe ser verdadera**
 - **expresión-acción** es una expresión procedimental que se ejecuta cuando se dispara la transición
 - Es posible tener una o varias expresión-acción en una transición de estado, las cuales se delimitan con el carácter `/'`
 - **cláusula-envío** es una acción adicional que se ejecuta con el cambio de estado, por ejemplo, el envío de eventos a otros paquetes o clases
 - Este tipo especial de acción tiene una sintaxis explícita para enviar un mensaje durante la transición entre dos estados. La sintaxis consiste de una expresión de destino y de un nombre de evento, separados por un punto



Transiciones Simples

- En la Figura siguiente tenemos un diagrama de estado para un ascensor, donde se combinan los estados con las transiciones simples





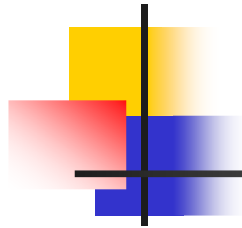
Transiciones Simples

- El ascensor empieza estando en el **primer piso**. Puede **subir** o **bajar**
- Si el ascensor está **parado** en un piso, ocurre un evento de tiempo rebasado después de un período de tiempo y el ascensor baja al primer piso
- Este diagrama de estado no tiene un punto de finalización (estado final)
- El evento de la transición entre los estados **EnPrimerPiso** y **Subiendo** tiene un argumento, **piso** (el tipo de este parámetro ha sido suprimido). Lo mismo sucede con los eventos de las transiciones entre **Parado** y **Subiendo** y entre **Parado** y **Bajando**
- El estado **Parado** (Idle state) asigna el valor **cero** al atributo **temporizador**, luego lo incrementa continuamente hasta que ocurra el evento **Bajar** (piso) o el evento **Subir** (piso) o hasta que la **guard-condition** [temporizador = tiempo-límite] se convierta en **verdadera**



Transiciones Simples

- La transición de estado entre **Parado** y **EnPrimerPiso** tiene una **guard-condition** y una **expresión-acción**. Cuando el atributo **temporizador** es equivalente a la constante **tiempo-límite**, se ejecuta la acción **Bajar (primerpiso)** y el estado del ascensor cambia de **Parado** a **EnPrimerPiso**. Esta transición de estado
 - **[temporizador = tiempo-límite] / Bajar (primerpiso)**
- se puede convertir en una **cláusula-envío** tal como:
 - **[temporizador = tiempo-límite] ^ Self.Bajar (primerpiso)**
 - donde la expresión destino es, en este caso, el propio objeto que se evalúa a sí mismo, y el nombre del evento es **Bajar (primerpiso)**, evento significativo al objeto contenido en la expresión destino



Estados Avanzados

- Las **características** de los **estados** y de las **transiciones**, vistas en los apartados anteriores, resuelven un gran número de problemas a la hora de modelar un diagrama de estado. Sin embargo, hay otra característica de las máquinas de estado de UML, los **subestados**, que nos ayudan a **simplificar** el **modelado** de aquellos **comportamientos complejos**
- Un **estado simple** es aquel que **no tiene estructura**. Un **estado que tiene subestados**, es decir, **estados anidados**, se denomina **estado compuesto**. Un **estado compuesto** puede contener bien **subestados secuenciales** (disjuntos) o bien **subestados concurrentes** (ortogonales)
- **Subestados secuenciales**: Consideremos el problema de modelar el comportamiento de un **Cajero Automático** (CA). Hay tres estado básicos en los que podría estar este sistema: **Idle** (esperando la interacción del usuario), **Activo** (gestionando una transacción del cliente) y **Mantenimiento** (teniendo que actualizar el efectivo almacenado)



Estados Avanzados: Subestados Secuenciales

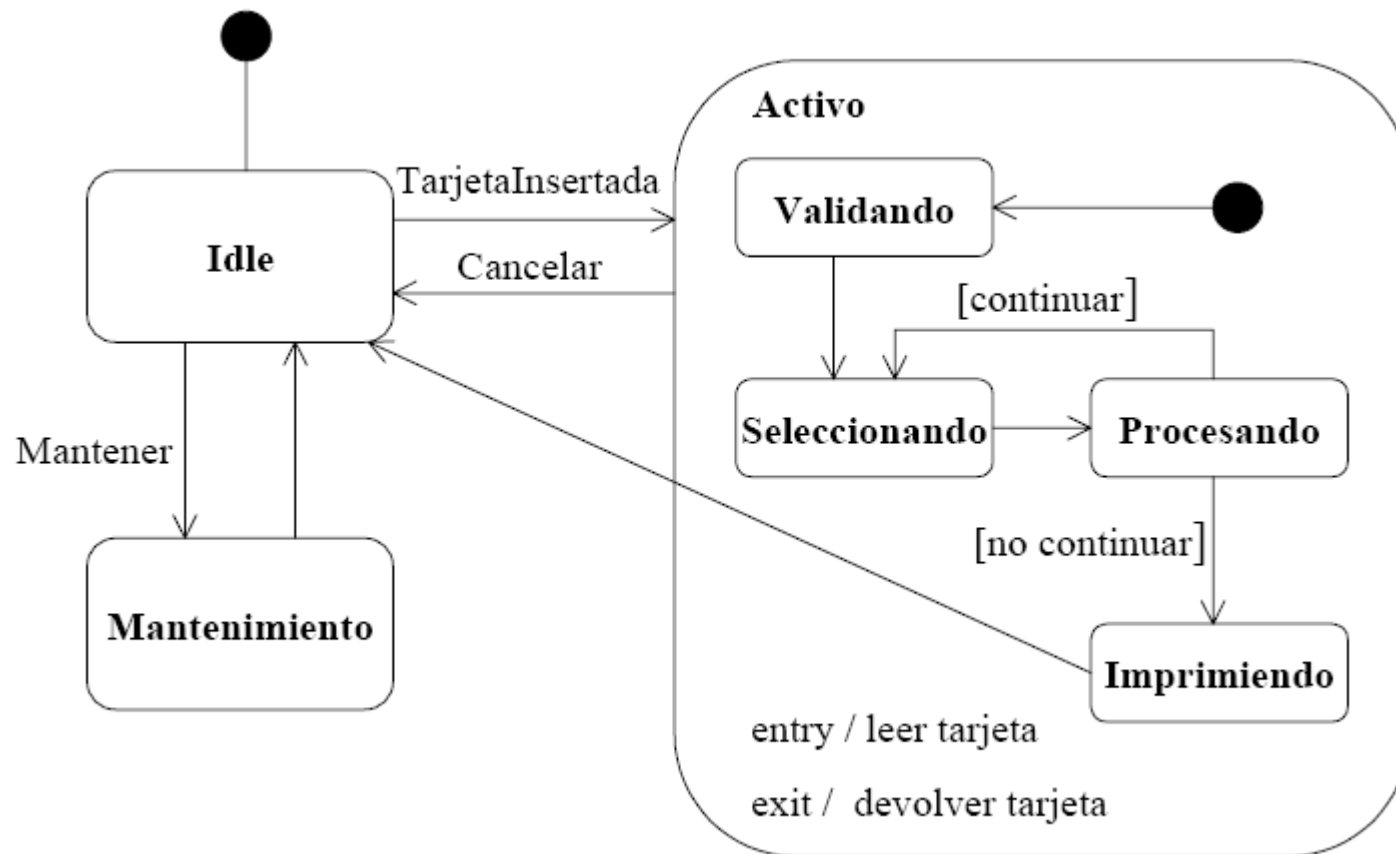
- Mientras está en **Activo**, el comportamiento de **CA** sigue un camino sencillo: **validar** al **cliente**, **seleccionar** una **transacción**, **procesarla** e **imprimir** un **recibo**. Después de la impresión, el CA vuelve al estado **Idle**. Podríamos representar estos estados de comportamiento como los estados **Validando**, **Seleccionando**, **Procesando** e **Imprimiendo**. Incluso sería deseable permitir al cliente seleccionar y procesar múltiples transacciones después de Validando la cuenta bancaria y antes de Imprimiendo un recibo final
- El problema que se nos plantea aquí es que, **en cualquier etapa** de este comportamiento, el cliente podría decidir **cancelar** la transacción, volviendo el CA al estado **Idle**. Usando las máquinas de estado simples, podríamos conseguir dicho efecto, pero es bastante engorroso. Como el usuario podría cancelar la transacción en cualquier punto, tendríamos que incluir una transacción de forma correcta desde cada estado de la secuencia Activo. Esto es complicado porque es fácil olvidar incluir estas transacciones en todos los lugares apropiados



Estados Avanzados: Subestados Secuenciales

- Utilizando los **subestados secuenciales**, se puede resolver de una forma más sencilla este problema, tal como muestra la Figura siguiente. Aquí, el estado **Activo** tiene una subestructura, conteniendo los **subestados Validando, Seleccionando, Procesando e Imprimiendo**
- El estado del CA cambia de **Idle** a **Activo** cuando el cliente introduce una **tarjeta** de crédito en el cajero
- Al entrar al estado **Activo**, se ejecuta la acción de entrada **entry: leer tarjeta**, que viene especificada dentro de dicho estado. Empezando con el estado inicial de la subestructura, el control pasa al estado **Validando**, después al estado **Seleccionando** y luego al estado **Procesando**. Después de **Procesando**, el control puede regresar a **Seleccionando** (si el usuario ha seleccionado otra transacción) o puede ir a **Imprimiendo**. Después de **Imprimiendo**, hay una transición de vuelta, sin evento ni condiciones de disparo (**trigger**), al estado **Idle**. Hay que fijarse que el estado **Activo** tiene una acción de salida, **exit**, la cual **devuelve la tarjeta** de crédito al cliente

Estados Avanzados: Subestados Secuenciales





Estados Avanzados: Subestados Secuenciales

- La transición del estado **Activo** al estado **Idle** ha sido disparada por el evento **Cancelar**. En cualquier **subestado** de **Activo**, el cliente podría cancelar la transacción y que el CA volviese al estado **Idle** (pero sólo después de devolver la tarjeta de crédito al cliente, ya que la acción **exit** es enviada al dejar el estado Activo, y no importa qué causó una transición fuera de este estado).
 - Sin subestados, necesitaríamos una transición disparada por **Cancelar** en cada estado de la subestructura
- Los **subestados** tales como **Validando** y **Procesando** se llaman **subestados secuenciales** o **disjuntos**. Dado un conjunto de subestados disjuntos encerrados en un **estado compuesto**, se dice que el objeto está en el estado compuesto y en uno sólo de sus subestados a la vez. Por lo tanto, los subestados secuenciales dividen el espacio del estado compuesto en estados disjuntos

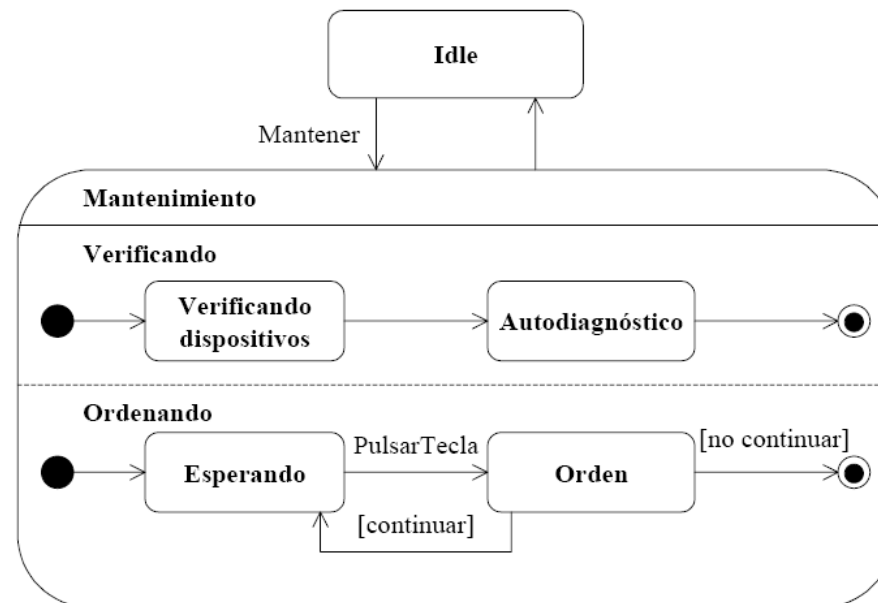


Estados Avanzados: Subestados Secuenciales

- Desde fuera de un estado compuesto, una transición puede tener como meta el estado compuesto o como meta un subestado
 - Si su objetivo es el **estado compuesto**, la **máquina de estado anidada** (o lo que es lo mismo, el diagrama de estado con subestados) tiene que incluir un **estado inicial**, al cual pasa el control después de entrar al estado compuesto y después de ejecutar la acción **entry** (si la hay)
 - Si su objetivo es un **subestado del estado compuesto**, el control pasa a dicho subestado, después de ejecutar la acción **entry** (si la hay) del **estado compuesto** y luego la acción **entry** (si la hay) del **subestado**
- Una transición al salir de un estado compuesto puede tener como su origen el estado compuesto o un subestado del mismo. En ambos casos, el control primero deja el estado anidado (y su acción **exit**, si la hay, es ejecutada), luego deja el estado compuesto (y su acción **exit**, si la hay, es ejecutada). Una transición cuyo origen es el estado compuesto esencialmente interrumpe la actividad de la máquina de estado anidada
 - **Una máquina de estado secuencial anidada puede tener un estado inicial y un estado final**

Estados Avanzados: Subestados Concurrentes

- Los **subestados secuenciales** son el tipo más común de máquina de estado anidada. Sin embargo, en ciertas situaciones de modelado tenemos que especificar **subestados concurrentes**. Estos subestados nos permiten especificar dos o más **máquinas de estado** que se ejecutan en **paralelo**
 - La Figura siguiente nos muestra una expansión del estado **Mantenimiento**, que aparece en la Figura anterior





Estados Avanzados: Subestados Concurrentes

- El estado de **Mantenimiento** está descompuesto en dos subestados concurrentes, **Verificando** y **Ordenando**, que se encuentran anidados en dicho estado pero separados por una **línea discontinua**. Cada uno de estos subestados concurrentes a su vez está descompuesto en subestados secuenciales
 - Cuando el control pasa del estado **Parado** al estado **Mantenimiento**, el control se **bifurca** en **dos flujos concurrentes** y el objeto implicado estará en el estado **Verificando** y también en el estado **Ordenando**. Mientras se encuentre en el estado **Ordenando**, el objeto estará bien Esperando o bien en el estado **Orden**
 - La **ejecución** de estos dos subestados concurrentes continúa en **paralelo**. Luego cada máquina de estado anidada alcanza su final. Si un subestado concurrente alcanza su final antes que el otro, el control en dicho estado espera a su estado final. Cuando ambas máquinas de estado anidadas alcanzan sus estados finales, el control de los dos subestados concurrentes **se juntan** de nuevo en un **único flujo**.
 - Una máquina de estado concurrente anidada no tiene un estado inicial y un estado final. Sin embargo, los subestados secuenciales que componen un estado concurrente pueden tener dichos estados



Diagrama de Estado: Paso a Paso

- Partir de las especificaciones del sistema
 - Primer paso Identificar los **eventos** y las **acciones**
 - Segundo paso Identificar los **estados**
 - Tercer paso Agrupar por **jerarquías**
 - Cuarto paso Agrupar por **concurrency**
 - Quinto paso Añadir las **transiciones**
 - Sexto paso Añadir las **sincronizaciones**
- Elegida una herramienta de software: Editar, Verificar y Validar (Simular) el diagrama de estado
- Culminar con la generación del código (opción posible dependiendo de la herramienta de software)



Convención de Identificadores

- A fin de no confundir los elementos del diagrama de estado es útil adoptar una convención para identificarlos, por ejemplo:

■ Tipografía	Elemento	Prefijo
■ CAMELcASE:	State	
■ xCamelCase:	Event	(x → e)
	Action Function	(x → a)
	Signal	(x → s)
	Internal Variable	(x → v)
■ xCAMELcASE:	Constant	(x → c)



Diagrama de Estado: Codificación en C

- Múltiples if => Switch => Punteros a función
- Tabla de Estado
- Patrones de diseño de Estado orientados a objetos
- Otras técnicas que combinan a las anteriores (frameworks)
 - "Practical Statecharts in C/C++" by Miro Samek,
<http://www.quantum-leaps.com>
 - "Rhapsody in C++" by ILogix (a code generator solution)
<http://www.ilogix.com/sublevel.aspx?id=53>
 - "State Machine Design in C++" by David Lafreniere,
<http://www.ddj.com/184401236?pgno=1>
 - Boost Software C++ Libraries <http://www.boost.org>
 - **Reactive System Framework™** by Leandro Francucci
<http://sourceforge.net/projects/rkh-reactivesys/>

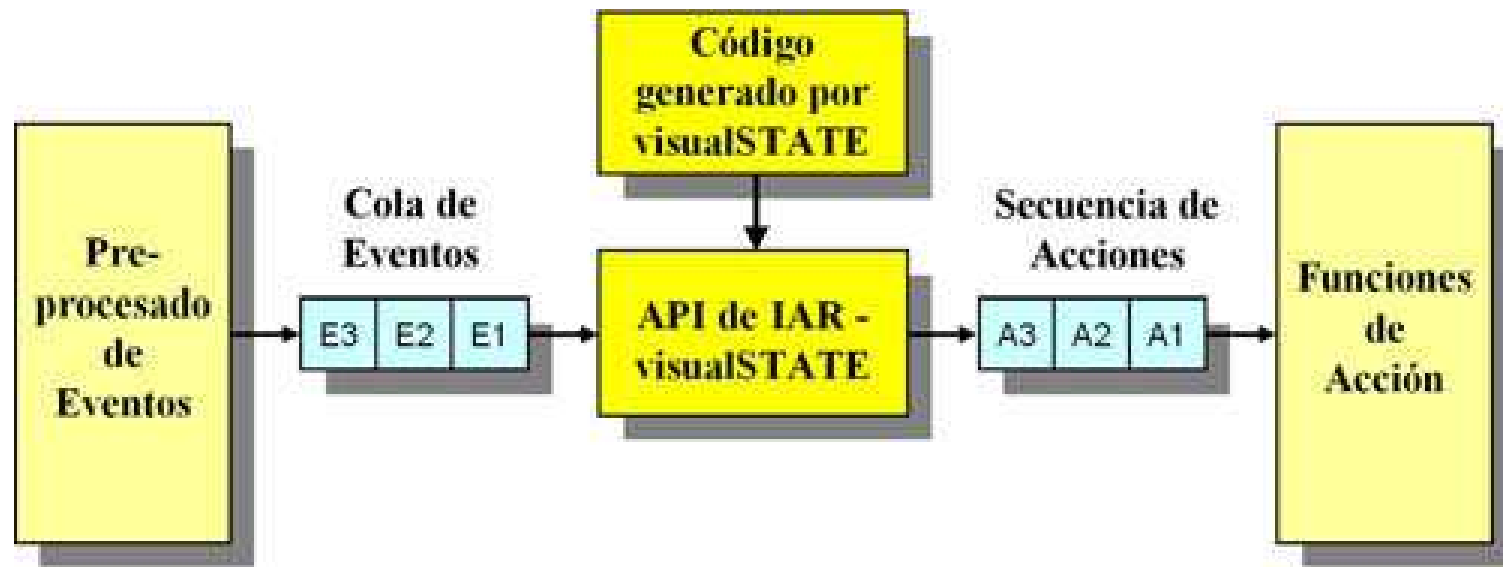


Herramienta y Generación de Código

- Antes de 2017 en las prácticas usábamos: **IAR visualSTATE®** (versión de evaluación limitada a **30 estados sin vencimiento**), se descarga previo registro de:
 - **V7.5:** <http://supp.iar.com/Download/SW/?item=VS-EVAL>
 - Entorno gráfico para diseño que permite **editar, verificar, validar (simular!!!!)**, **documentar** la implementación de **sistemas embebidos** mediante **diagramas de estado o statecharts** (básicos pero útiles)
 - Para la generación del código tenemos dos opciones:
 - Utilizar el **IAR Embedded Workbench** (versión de evaluación de 30 días y kickstar) para el micro deseado, lo que resulta en:
 - Código generado por el usuario
 - Código generado automáticamente por visualSTATE
 - La API (Application Programming Interface) de IAR visualSTATE
 - **Adaptar código generado** con IAR **VisualSTATE** al **IDE/micro** que uso (**LPCXpresso**)
- Desde 2017 usaremos el plugin p/Eclipse de **Yakindu Statechart Tools (STC)**
 - **Adaptaremos el código generado** con **STC** al **IDE/micro** que uso (**LPCXpresso**)

Herramienta y Generación de Código

- En ambos casos el diseñador debe escribir manualmente el siguiente código:
 - Código para inicializar el **hardware**
 - Código para procesar los dispositivos de **salida** (funciones de acción)
 - Código para procesar las **entradas** (generar los eventos y manejar la cola de eventos)
 - La función **main**





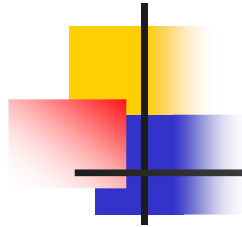
Aplicación: Panel de Control

- Genere el modelo de un panel de Control un Generador de Señales, de acuerdo con las siguiente especificación:
 - Rango de **tensión** de salida: 0 a 10V.
 - **Frecuencia** de salida configurable entre 20 Hz y 20 kHz
 - **Forma de señal** triangular, cuadrada y senoidal.
 - Selección manual de la tensión de salida, frecuencia y forma de onda.
- Para implementar el panel de control del generador de señales podemos suponer que contamos con algunos pulsadores, a saber:
 - Pulsador **Forma** (**selecciona** la **forma** de señal)
 - Pulsador **Frecuencia/Tension** (**selecciona** la **magnitud** a incr./decr.)
 - Pulsador **Up** (**incrementa** la magnitud)
 - Pulsador **Down** (**decrementa** la magnitud)



1° Paso: Identificar eventos y acciones

- Con esos pulsadores se pueden generar los siguientes **eventos**:
 - **eForma, eMagn, eUp, eDown**
- A fin de poder disparar las siguientes **acciones**:
 - **aSetForma, aSetMagn, aIncFrec, aDecFrec, aIncTens, aDecTens**
 - Funciones que reciben las siguientes **constantes**:
 - **cTRIANG, cCUADR, cSENOID, cFREC, cTENS**



2° a 4° Paso: Identificar agrupar estados

- El modelo podría tener los siguientes **estados**:
 - **TRIANGULAR, CUADRADA, SENOIDAL, FRECUENCIA, TENSION**
- Y podría agruparse en un estado compuesto por dos diagramas concurrentes, uno para seleccionar **Forma** y otro **Magnitud**
 - **Forma** agrupa a: **TRIANGULAR, CUADRADA, SENOIDAL**
 - es excitado por: **eForma**
 - Ejecuta a: **aSetForma (cTRIANG // cCUADR // cSENOID)**
 - **Magnitud** agrupa a: **FRECUENCIA, TENSION**
 - es excitado por: **eMagn, eUp, eDown**
 - Ejecuta a: **aSetMagn (cFREC // cTENS),
aIncFrec, aDecFrec, aIncTens, aDecTens**



5° y 6° paso: Añadir transiciones y sincroniz.

■ ?



Otros

- Escalera mecánica unidireccional/bidireccional
- Túnel vehicular
- Cinta transportadora
- Puerta corrediza / Portón levadizo
- Limpiaparabrisas
- Control de acceso sin/con cupo
- Ascensor de N plantas
- Generadores (señales)/Detectores de Secuencia (seguimiento)
- Máquinas expendedoras/empaquetadores/etc.
- Maquinaria o procesos industriales
- Protocolos de comunicaciones
- ...



Referencias

- **Introducción al UML** - Mari Carmen Otero Vidal
- **El Lenguaje Unificado de Modelado**, G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson, 2ª Edición, Addison-Wesley, 2006
- **El Proceso Unificado de Desarrollo de Software**, G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson, 1ª Edición, Addison-Wesley, 2000
- **UML y Patrones: Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado**, C. Larman, Prentice-Hall, 2003
- <http://www.uml.org/>
- [Ingeniería de Software I, DC - FCEyN – UBA](#)
- **Introducción al uso de los Statecharts para el diseño de Sistemas Embebidos, Desarrollo de Software Basado en Modelos para Sistemas Embebidos y Curso de Programación de Sistemas Embebidos con Statecharts**, Mariano Barrón Ruiz
- **Técnicas Digitales II – R4052 – Maquina de Estado y ME Práctica de Laboratorio**, Juan Manuel Cruz