1. Introdução

O objetivo desta introdução é de apresentar uma breve leitura histórica da evolução tecnológica em que se baseia a área da automação industrial atual. Para tanto será necessário primeiro introduzir, a título de revisão, alguns conceitos básicos que serão utilizados no decorrer deste texto.

1.1. Sistemas

Tradicionalmente, o trabalho de investigação de cientistas e engenheiros se volta para o estudo de fenômenos naturais que podem ser modelados por leis naturais, tais como a lei da gravidade, leis da mecânica e da eletricidade clássicas, leis da química e da física. Nestes estudos, costumam-se encontrar quantidades ou medidas de deslocamento, temperatura, acelerações, cargas elétricas entre outras. Em todas estas medidas, o conceito do tempo está associado a uma grandeza contínua, ou seja, medidas podem ser tomadas em quaisquer valores reais de tempo, uma vez que este "evolui" contínua e constantemente em nosso ambiente.

Portanto, todo um conjunto de técnicas e ferramentas matemáticas foi desenvolvido para modelar, analisar e controlar tais fenômenos ou parâmetros naturais, baseadas principalmente em equações diferenciais ordinárias e parciais.

Entretanto, no cenário científico atual cada vez mais dependente de computadores de sistemas computadorizados, pode-se notar que muitas das quantidades que utilizamos em engenharia não são mais contínuas, elas são "discretas", ou seja, possuem valores inteiros. Por exemplo, pode-se citar a quantidade de peças em uma linha de montagem ou a quantidade de alarmes ativos em uma fábrica. Nota-se também que o início de muitos processos depende de eventos instantâneos, tais como o pressionar de um botão ou o ativar de um sensor. De fato, muitas das tecnologias em uso são orientadas a eventos, tais como as redes de comunicação, os programas de computadores ou unidades em fábricas.

Diante de tal observação, pode-se definir um sistema como:

"Uma combinação de componentes que atuam conjuntamente para realizarem uma tarefa impossível a cada uma de suas partes individualmente" (Dicionário de termos técnicos do IEEE).

Esta definição na está associada somente a objetos físicos ou a leis naturais, pode descrever, todavia, mecanismos econômicos bem como comportamento humano ou de populações.

1.2. Modelos

Para a análise quantitativa de um sistema, importante para o projeto de sistemas de automação, é necessário a atribuição de valores bem definidos à características de desempenho deste sistema. Tal atribuição de valores resulta em um modelo.

No processo de modelagem, é necessário, portanto, a definição ou identificação de variáveis mensuráveis, por exemplo, tensão elétrica em um dado circuito ou velocidade de certa peça.

As variáveis mensuráveis podem ser de entrada, a estas é possível manipular em um período temporal, geralmente se atribui a notação de $u_1(t)... u_n(t)$ com $t_0 \leq t \leq t_f$.

Também as variáveis podem ser de saída, são as que se pode medir frente a uma variação das variáveis de entrada em dado período de tempo. Utiliza-se neste caso a notação $y_1(t)... y_n(t)$ com $t_0 \leq t \leq t_f$.

Para finalizar a modelagem, é razoável assumir que exista uma relação matemática ou física entre as variáveis de entrada e as de saída. Matematicamente podemos representar tal relação pelo seguinte equacionamento:

$$y_1(t)=g_1(u_1(t)... u_n(t)) \qquad (1.1)$$

.

.

.

$$y_n(t)=g_n (u_1(t)... u_n(t))$$

Esta é a forma mais simples de se modelar. Podemos considerar que um sistema é “algo real”, enquanto que um modelo é uma “abstração” que geralmente somente se aproxima do comportamento real do sistema.

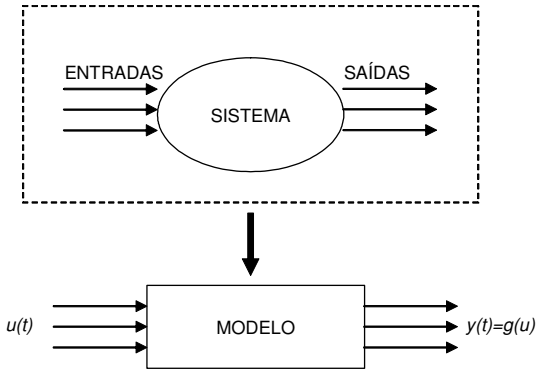
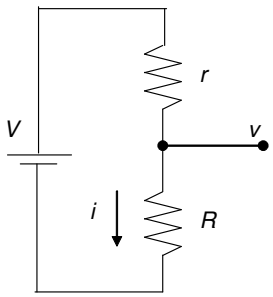


Figura 1.1. Modelagem

Conclui-se que quanto maior a proximidade entre os comportamentos do sistema e do modelo, melhor é considerado o modelo. Quando o modelo é adequado a determinada análise, é comum utilizar o termo modelo como sinônimo de sistema.

Exemplo 1.1 (Sistema divisor de tensão)



O circuito divisor de tensão apresentado na figura 1.2 apresenta cinco variáveis: a tensão de alimentação *V*, a corrente elétrica *i*, as resistências *r* e *R* e a tensão em *R*.

Figura 1.2. Sistema elétrico simples

O modelo mais simples que se pode construir é baseado na teoria de circuitos elétricos:

$$v = V\frac{R}{R+r} \qquad (1.2)$$

$$v = iR$$

Assumindo-se que se pode ajustar *V,* com interesse na regulagem da tensão de saída *v*, podemos obter o seguinte modelo:

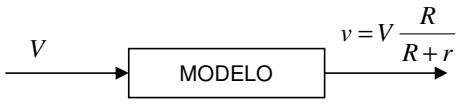


Figura 1.3. Modelo 1 para o sistema

Caso a tensão de alimentação seja fixa, e o ajuste se dê pela resistência *r*, então o modelo seria:

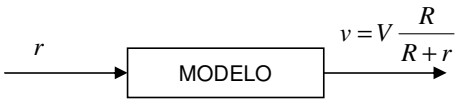


Figura 1.4. Modelo 2 para o sistema

Finalmente, poderíamos ter o modelo a seguir caso ambos *V* e *r* sejam ajustáveis e haja interesse na regulagem da corrente *i*:

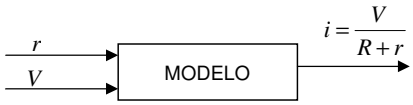


Figura 1.5. Modelo 3 para o sistema

Exemplo 1.2 (Sistema massa-mola)

O sistema massa-mola apresentado na figura 6 sofre uma excitação no instante *t=0*, quando a massa é movimentada desde a posição de repouso até $u(0) = u_0 > 0$ e então solta. O deslocamento da massa em qualquer instante de tempo t>0 é denominado y(t). Das leis da mecânica, sabe-se que o movimento da massa é definido por uma oscilação harmônica descrita pela seguinte equação diferencial de segunda ordem:

$$m\ddot{y} = -ky \qquad (1.3)$$

Com condições iniciais de $y(0) = 0$ e $\dot{y}(0) = 0$. Se o interesse é controlar o deslocamento inicial u(0) e observar a posição da massa no tempo, pode-se propor o modelo apresentado na figura 6 com a seguinte variável de entrada *u(t)*:

u(t) = u_0 , *t=0*

0 , caso contrário

A saída y(t) é a solução da equação diferencial (1.3), com *k* e *m* constantes.

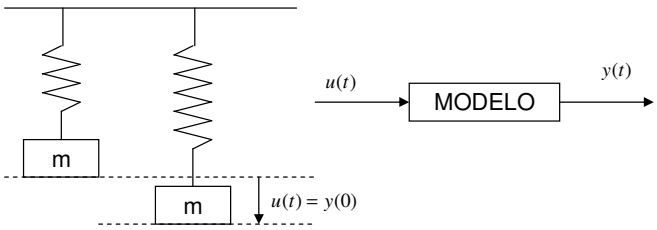


Figura 1.6. Sistema massa-mola e seu modelo

Na prática, o estudo desta classe de sistemas é realizado não no domínio temporal de *t*, recorre-se a transformações matemáticas que levam a uma mudança de domínio que facilite a análise. É o caso da mudança de domínio para o domínio da freqüência ou para o domínio de Laplace.

Sistemas Estáticos e Dinâmicos

Define-se um sistema estático quando as saídas y(t) são independentes dos valores passados das entradas *u(δ)*, *δ<t* para qualquer *t*. Em um sistema dinâmico, por outro lado, as saídas geralmente dependem dos valores passados das entradas. Portanto determinar as saídas em um sistema estático não requer "memória" dos instantes passados das entradas, o que não acontece em sistemas dinâmicos.

Matematicamente, as relações entre entrada(s)-saída(s) em sistemas estáticos são expressas por equações algébricas, ao passo que em sistemas dinâmicos, por equações diferenciais.

Pergunta: O sistema do exemplo 1.1 é estático ou dinâmico? E o sistema no exemplo 1.2?

Sistemas Dinâmicos Variantes e Invariantes no Tempo

Quando se expressa a relação entre entradas e saídas de um sistema pela equação $y=g(u)$, e considera-se que esta relação é válida para todos os instantes de tempo, então o sistema é invariante no tempo ou estacionário.

Porém, em alguns sistemas reais tal relação pode mudar com o tempo como, por exemplo, acontece em sistemas sujeitos a vazamentos (em amortecedores), envelhecimento (em estruturas) ou oxidação (em circuitos elétricos). Neste caso, o mais adequado é considerar que $y=g(u,t)$, e denominar tais sistemas de variantes no tempo.

Estado de um Sistema

Pode-se dizer simplificadamente que o estado de um sistema em dado instante deve descrever seu comportamento de maneira mensurável naquele instante de tempo.

Uma definição mais adequada é apresentada a seguir.

"O estado de um sistema no instante t_0 é o conjunto de informações necessário em t_0 para que as saídas $y(t)$, para todo $t>t_0$, possam ser definidas por este conjunto de informações e por $u(t)$, $t\geq t_0$."

Assim como as entradas $u_n(t)$ e as saídas $y_n(t)$, o estado é geralmente representado por variáveis denotadas por $x_n(t)$. Estas variáveis são denominadas variáveis de estado.

Existe toda uma teoria de modelagem de sistemas baseada em estados, denominada modelagem por espaço de estados. Tal teoria consiste na determinação de relações matemáticas entre $u_n(t)$, $y_n(t)$ e $x_n(t)$. Referimo-nos a estas relações matemáticas por "dinâmica" de um sistema.

Assim como na modelagem, existem também controladores e teorias de controle desenvolvidas com base no espaço de estados.

Sistemas Lineares e Não-Lineares

A natureza das equações g_n em (1.1) define a linearidade de um sistema. Uma função é dita linear se e somente se:

$$g(a_1u_1 + a_2u_2) = a_1g(u_1) + a_2g(u_2) \qquad (1.4)$$

Ou seja, se vale o princípio da superposição de duas respostas frente à superposição de dois estímulos.

Sistemas Contínuos e Discretos

Em sistemas contínuos, o espaço de estados X é contínuo e consiste de valores reais (ou complexos). Normalmente utilizam-se equações diferenciais e técnicas associadas para a análise.

Em sistemas discretos, o espaço de estados X é um conjunto discreto. As variáveis de estado, neste caso só podem "evoluir" ou "transitar" em pontos discretos no tempo, de um valor a outro.

Naturalmente existem sistemas híbridos, onde algumas variáveis apresentam comportamento contínuo ao passo que outras, discreto.

O comportamento dinâmico de um sistema discreto em geral é de simples entendimento quando o mecanismo de transições de estado é baseado em regras lógicas como esta "se alguma situação específica acontecer e o estado atual for x, então o próximo estado será x^+". Entretanto o formalismo matemático para expressar e resolver tais equações de estado pode ser tão ou mais complexo de que o baseado em equações diferenciais utilizadas em modelos contínuos.

Exemplo 1.2 (Armazém)

Considere o armazém de produtos acabados em uma fábrica. Sempre que um produto é fabricado, é armazenado ali. Um caminhão é carregado periodicamente com certo número de produtos, considera-se, portanto, como "saídas" do armazém.

Deseja-se avaliar o inventário deste armazém, ou seja, o número de produtos estocados em dado instante de tempo. Assim, define-se $x(t)$ como o número de produtos no instante t e uma saída para o modelo $y(t) = x(t)$.

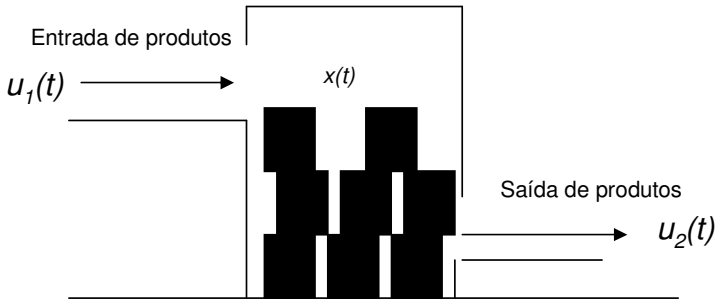


Figura 1.7. Armazém

Como os produtos são discretos, o espaço de estados deve ser de inteiros não negativos {0,1,2...}.

Supõem-se as estradas como duas funções no tempo:

$u_1(t) = 1$ se um produto é armazenado em t
0 caso contrário

$u_2(t) = 1$ se um caminhão é carregado em t
0 caso contrário

Assumem-se (a) um armazém suficientemente grande para armazenar qualquer número de produtos, (b) o carregamento do caminhão instantâneo, (c) que o caminhão só pode retirar um produto por vez, e (d) que o carregamento do caminhão e o armazenamento de um produto nunca ocorrem ao mesmo tempo.

Pode-se representar a evolução deste sistema pelo "caminho" que o estado percorre no tempo, denotando-se por t^+ como o instante de tempo "após" t.

$x(t+) = x(t) + 1$ se $(u_1(t) = 1,\ u_2(t) = 0)$
$x(t) - 1$ se $(u_1(t) = 0,\ u_2(t) = 1,\ x(t) > 0)$
$x(t)$ em outros casos

Graficamente pode-se representar o caminho do estado $x(t)$ por:

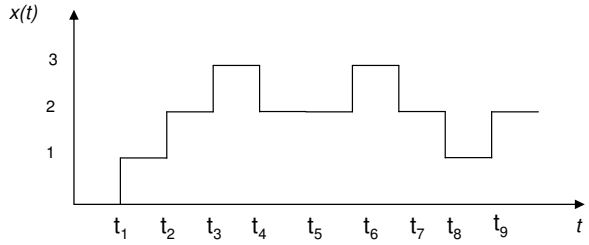


Figura 1.8. Caminho do estado *x(t)*

Sistemas Determinísticos e Estocásticos

Define-se um sistema estocástico como um sistema onde pelo menos uma de suas variáveis de saída possua comportamento randômico ou aleatório. Caso contrário o sistema é considerado determinístico. Tomemos como exemplo o sistema elétrico simples descrito (exemplo 1.1): a tensão *V* pode estar sujeita a um ruído aleatório que não pode ter sua amplitude considerada com certeza absoluta. É possível, entretanto, que o projetista adote um modelo probabilístico realista para representar o ruído e o incorpore ao sistema em questão. A mesma argumentação é válida para o exemplo 1.2, caso o sistema massa-mola estivesse sujeito à ação do vento em uma instalação aberta.

Problemas práticos como falhas em máquinas e equipamentos, ausências inesperadas de trabalhadores ou atrasos em entregas de peças bem como condições ambientais extremas podem afetar a operação e a modelagem de sistemas reais de forma que somente mecanismos e técnicas probabilísticas possam ser adequadamente considerados.

Em geral, o estado de um sistema dinâmico estocástico é definido como um processo aleatório e seu comportamento podem ser descrito apenas probabilisticamente. A abordagem matemática para tais casos, portanto, é baseada em técnicas de probabilidades e estatísticas.

1.3. Conceito de Controle

Uma pergunta que se pode fazer, em relação a um sistema é “O que acontece com a saída do sistema quando se aplica certa entrada?”. Entretanto, os sistemas não são considerados na pratica como isolados ou autônomos. De fato, conforme descrito

na definição de um sistema, existe a idéia de realização de determinada tarefa ou função.

Para que um sistema realize sua função, é necessário que ele seja controlado, pela seleção das entradas apropriadas com o objetivo de se obter as saídas ou o comportamento desejado.

Como exemplo, tomemos o ato de dirigir um carro. Podemos controlar sua direção, velocidade e aceleração através dos pedais do acelerador, freio e embreagem e através do volante e da alavanca de cambio. O comportamento desejado em tal situação é que o carro permaneça na estrada a uma velocidade razoável.

Desta forma, as entradas do sistema são vistas como sinais de controle. O comportamento desejado é relacionado (nos casos escalares) com um sinal de referência *r(t)*.

Portanto, dado certo comportamento desejado *r(t)* a um sistema, nossa tarefa como "controladores" é de selecionar *u(t)* apropriado para ser aplicado como entrada ao sistema de forma a levar as saídas de tal sistema para a condição desejada. Esta relação entre *r(t)* e *u(t)* durante um espaço de tempo é denominada "lei de controle" ou simplesmente "controle":

$$u(t) = \gamma(r(t), t) \qquad (1.5)$$

1.4. Conceito de Realimentação

A idéia de realimentação é intuitiva e simples: usar quaisquer informações disponíveis sobre o comportamento do sistema, *x(t)*, para ajustar continuamente suas entradas. Nosso comportamento é fundamentalmente realimentado: o volume de nossa voz se ajusta ao ambiente, a temperatura de nossa casa é ajustada pela abertura das janelas, a velocidade do nosso carro pela observação do velocímetro, dentre outros exemplos. Matematicamente, podemos adotar a seguinte relação para a realimentação:

$$u(t) = \gamma(r(t), x(t), t) \qquad (1.6)$$

Sistemas de Malha Aberta e de Malha Fechada

Um sistema com uma lei de controle expressa por uma relação como na equação (1.5) é chamado de sistema de malha aberta, ao passo que quando adota uma lei de controle baseada na equação (1.6), tal sistema é chamado de malha fechada. É importante notar que as saídas *y(t)* de um sistema fazem parte do conjunto de estados *x(t)* deste sistema.

Em sistemas de controle de malha aberta, as entradas permanecem fixas a despeito do efeito (bom ou ruim)que elas provocam nas saídas do sistema. Em sistemas de controle de malha fechada, por outro lado, as entradas dependem do efeito que elas provocam nas saídas do sistema.

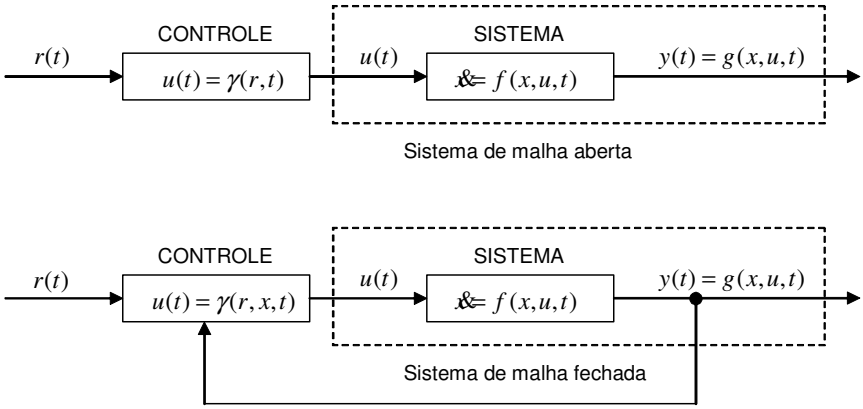


Figura 1.9. Sistemas de Malha Aberta e Fechada

1.5. Sistemas de Tempo Discreto

Assumiu-se até agora que o tempo é uma variável contínua, esta hipótese corresponde certamente à noção natural de tempo. Entretanto, em uma série de sistemas de automação e de computação as operações matemáticas são realizadas por equipamentos eletrônicos micro-processados. Em tais dispositivos, as operações matemáticas e computacionais acontecem seqüencialmente em certa freqüência fixa de trabalho, geralmente definida por um elemento oscilador como um cristal. Define-se então um “clock” para tal dispositivo.

Este tipo de operação baseado em operações não contínuas no tempo é denominado de “tempo discreto”. A importância do estudo de sistemas de tempo discreto é crescente devido ao avanço dos hardwares digitais e da computação. Técnicas de projeto e de controle em tempo discreto em geral oferecem muita flexibilidade e velocidade associadas a um baixo custo de implantação. Alguns

sistemas são inerentemente de tempo discreto, tais como os baseados em dados periódicos como aos indicadores da economia, por exemplo.

Nesta classe de sistema, a linha do tempo é considerada como uma seqüência de intervalos definidos por uma seqüência de pontos t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6,....t_n. Assume-se que o intervalo entre pontos sucessivos é regular. Tal intervalo é conhecido como *período de amostragem* e o instante de amostragem é denominado *k*.

Sistemas de tempo contínuo, quando controlados ou instrumentados por equipamentos de tempo discreto apresentam sinais de respostas e de entradas "amostrados", onde o domínio temporal é convertido de *t* para *k*, resultando em uma mudança, por exemplo, de *x(t)* para *x(k)*.

A figura a 1.10 representa um sinal x(t) e uma de suas possíveis formas após uma amostragem digital, semelhante a uma "escada". Sempre quando um sinal é amostrado, parte da informação contida neste é perdida, ou seja, toda a amostragem implica em perdas.

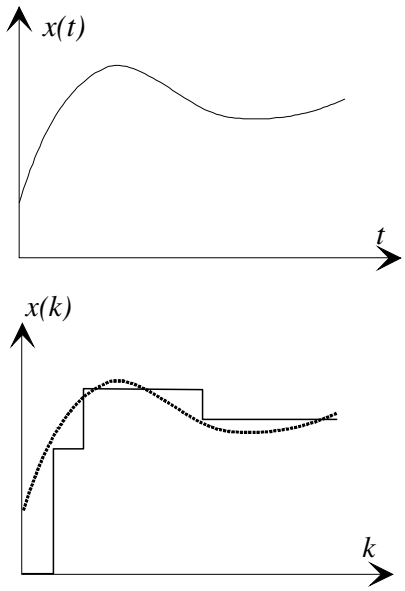


Figura 1.10. Sinal *x(t)* o correspondente *x(k)*

Em situações reais, quando o período de amostragem praticado pelo sistema de controle é significantemente menor do que os tempos de resposta ou de que a dinâmica característica do sistema controlado, ou seja, os "degraus" da "escada" são muito pequenos, então a perda de informações no processo de amostragem é desprezível. Nestes casos, é possível utilizar-se da teoria de controle clássica para o projeto e a análise de sistemas de controle de tempo discreto.

Por questões de simplificação matemática, em geral o projeto de controladores de tempo discreto e a análise de tais sistemas é conduzida em um domínio que não o do tempo discreto *k*, porém no de outra variável matemática denominada "*z*".

1.6. Sistemas a Eventos Discretos

Quando o especo de estados de um sistema é naturalmente descrito por um conjunto discreto como {0,1,2,...} e as transições entre estados são observadas em instante discretos de tempo, associam-se estas transições de estados a "eventos" e tais sistemas são então denominados sistemas a eventos discretos.

Conceito de Evento

Conceito de entendimento intuitivo, um evento deve ser conceituado como de ocorrência instantânea e que causa a transição, ou transições de um ou mais valores de estado(s) a outro(s). Pode ser associado a uma ação deliberada (o operador pressionou o botão de parada de emergência), a uma ocorrência espontânea (um sensor falhou) ou ao resultado de uma conjunção de condições atendidas em certo instante (nível no tanque de resfriamento muito alto).

A representação de um evento é dada por *e*, enquanto que um conjunto discreto de eventos é denotado por *E*.

Exemplo 1.3 (Armazém)

No armazém do exemplo 1.2, nota-se que dois eventos afetam o estado do sistema: "armazenamento de um produto" e "carregamento de um caminhão". Pode-se neste caso definir-se:

$E=\{P,C\}$

Onde *P* denota o armazenamento do produto e *C* o carregamento de um caminhão.

Sistemas Orientados a Evento e Orientados a Tempo

Em sistemas orientados a tempo, as mudanças de estado são deflagradas com o passar do tempo. Esta característica é fundamental em sistemas de tempo discreto: o "*clock*" é o que faz um estado evoluir. A cada período de amostragem, espera-se que os estados mudem, pois as variáveis de estado contínuas modificam-se continuamente com o passar do tempo.

Neste caso, a variável temporal (t ou k) é independente e é argumento das funções de entrada, de estado e de saída do sistema.

Em sistemas a eventos discretos, as mudanças de estados ocorrem apenas em pontos específicos do tempo, através de transições instantâneas. Cada transição é, portanto, associada a um evento.

O mecanismo em que as transições se baseiam pode ser de dois tipos:

1. Em todo período de amostragem (ou *clock tick*), ao menos um evento e ocorre dentro de E. Se nenhum evento é "disparado", então pode-se considerar um "evento nulo" como membro de E, que tem a propriedade de não causar nenhuma mudança de estado.
2. Em vários instantes de tempo (não necessariamente coincidentes com os "*clock ticks*"), alguns eventos ocorrem.

No tipo 1, as transições de estado são sincronizadas com o *clock*. O *clock* individualmente é responsável por qualquer transição de estado.

No tipo 2, cada evento $e \in E$ define um processo distinto em que é determinado o instante em que e é disparado.

A distinção entre sistemas baseados nos mecanismos 1 e 2 é feita pelos termos "orientado a tempo" e "orientado a evento" respectivamente.

Conforme mencionado, sistemas contínuos têm natureza orientada a tempo. Entretanto, em sistemas a eventos discretos isto depende se as transições são sincronizadas a um *clock* ou se são de natureza assíncrona.

Uma associação a sistemas orientados a evento pode ser com o sistema de interrupções em um computador. Enquanto muitas funções em um computador são sincronizadas pelo *clock*, algumas são de natureza assíncrona como, por exemplo, as requisições e ações do usuário.

Propriedades Características de Sistemas a Eventos Discretos

Para que se aplique em sistemas discretos todo o ferramental da teoria de controle clássica ou do controle digital, fundamentadas no equacionamento de

modelos por equações diferenciais ou por equações diferença, estes devem satisfazer as propriedades de serem sistemas de estados contínuos e baseados em transições de estados orientadas a tempo.

Com a primeira propriedade, os sistemas são considerados contínuos, seus estados variam constantemente e podem assumir valores reais. Grandezas físicas como temperatura, pressão, vazão são típicas desta categoria de sistemas.

A segunda propriedade implica que os estados mudam com a mudança do tempo (t se for contínua ou k se for discreta), que é uma variável independente na modelagem destes sistemas.

Em contraste aos sistemas dinâmicos contínuos, os sistemas a eventos discretos (SED) satisfazem duas propriedades:

1. O espaço de estados é um conjunto discreto
2. As transições de estados são orientadas a evento

Um exemplo de sistema a eventos discretos pode ser o estado de uma máquina: pode ser selecionado como {LIGADA,DESLIGADA} ou {OCUPADA,OCIOSA,EM MANUTENÇÃO}.

Do ponto de vista da modelagem, uma vez que as transições são disparadas por eventos de natureza assíncrona, e supondo-se possível identificar o conjunto de eventos tal que cada elemento causa uma transição de estado, então a variável tempo não mais serve para conduzir a “evolução” ou “operação” do sistema. O tempo, portanto, não é mais uma variável independente apropriada.

É importante notar que, assim como um sistema dinâmico de variáveis contínuas (SVC), um SED pode ser modelado em tempo discreto ou contínuo. Se por exemplo um evento possa acontecer em qualquer valor real de tempo, então se obtêm um modelo de SED em tempo contínuo.

Abstração de Sistemas a Eventos Discretos

Distinguem-se três níveis de abstração de sistemas a eventos discretos.

Quando o objetivo da análise de um SED é determinar o comportamento lógico do sistema, como a determinação da ordem de eventos ou a verificação da possibilidade de ocorrência de um estado, então a temporização não é importante.

Neste caso se utilizam linguagens de modelos ou lógicas para a representação do sistema.

Quando o objetivo da análise é determinar, por exemplo, em que instante o sistema pode atingir determinado estado, ou se determinada seqüência de eventos

pode ser atingida dentro de um prazo, então se deve utilizar linguagens de modelagem temporal para descrever o sistema.

Por fim, quando o sistema é sujeito a comportamentos, estados ou eventos de natureza estocástica ou probabilística, então se deve buscar linguagens estocásticas de modelagem temporal para descrever o sistema.

Uma série de linguagens para a modelagem, análise, simulação ou otimização são disponíveis na literatura, cada qual com suas particularidades e objetivos, bem como metodologias para a análise e para o projeto de controladores.

1.7. A Automação de Sistemas Industriais

O interesse das indústrias por automação e controle começou a cerca de 100 anos, com a chegada do século XX. No início a necessidade apontou para a indicação de algumas variáveis físicas envolvidas no processo de fabricação. Na década de 1920, já se utilizavam registradores mecânicos gráficos de variáveis em papel, tais instrumentos permitiam o registro histórico de dadas variáveis ao longo de turnos de produção. Na década de 1930 os primeiros controladores realimentados de tecnologia pneumática passaram a operar em plantas industriais e já na década de 1940, a teoria de controle clássico é consolidada. Desta década surge o controlador PID, ainda hoje o controlador mais utilizado em malhas de controle dinâmico no setor industrial. A década de 1960 marca o início das arquiteturas distribuídas de controle, onde o elemento controlador separa-se fisicamente do sensor e ambos passam a ser instalados em posições diferentes. A comunicação entre eles se estabelece a principio através de sinais modulados em pressão em linhas de ar comprimido.

A década de 1960 marca a introdução da microeletrônica em sistemas de automação, e a introdução da transmissão de sinais modulados em correntes elétricas. Separam-se a partir daí dispositivos com funções de transmissor, indicador, registrador e controlador.

No final da década de 1960, os primeiros sistemas distribuídos analógicos são instalados em campo. Nestes sistemas, distintas funções de controle e de registro já eram executadas por placas eletrônicas independentes conectadas umas às outras em *racks* interligados. É desta época que surgem os primeiros robôs industriais e os controladores lógicos programáveis com sua lógica “ladder”, em substituição aos controles configurados por hardware em painéis de relés eletromecânicos.

A década de 1970 marca a revolução na automação industrial trazida pela introdução dos microcontroladores. Esta inovação digital abriu espaço para uma enorme gama de possibilidades de evolução nos sistemas automáticos de controle industrial. Já na década de 1980 os sistemas de automação de grande porte passam a ser interligados por meio de redes digitais de comunicação e os instrumentos de campo (sensores, atuadores, drivers) passam a receber uma grande capacidade de processamento e são considerados, desta forma, inteligentes. Na década de 1990, a disseminação das redes de computadores e da internet bem como a uniformidade dos computadores pessoais e dos sistemas operacionais mudam o cenário da integração industrial, através dos softwares de gestão empresarial.

Com a disseminação da computação por todos os setores econômicos e sociais, a proximidade atual nas empresas dos sistemas de automação com as redes corporativas já é realidade a pelo menos uma década. O cenário atual da automação aponta para avanços tecnológicos na área de transmissão de dados sem fio e pelo uso intenso de algoritmos de controle inteligentes embarcados em instrumentos, desde os mais simples aos mais sofisticados. A complexidade dos sistemas de automação atuais é tão grande que em aplicações industriais modernas, tanto para fins de controle como de monitoramento de unidades, linhas ou de fábricas completas, doravante denominadas genericamente “plantas”, deve-se compreender o sistema de automação como um sistema de controle hierárquico de múltiplas camadas. Composto por uma série de equipamentos e dispositivos, um sistema de automação é sempre projetado para atender requisitos de qualidade, produtividade e segurança no controle da planta (sistema dinâmico controlado).

Em tais camadas existem controladores e sistemas controlados tanto de natureza contínua (SVC), como orientados a eventos (SED). Nas camadas mais baixas, são encontradas malhas fechadas de controle contínuo, sincronismos de motores, acionamento de equipamentos e operação de válvulas e registros, movimentação de esteiras, acionamento e sincronismo de robôs, monitoramento e operação de reatores entre outros sistemas industriais complexos.

Em camadas mais altas, as funções de automação são relacionadas à partida de equipamentos ou linhas, paradas de emergência, atendimento a uma ordem de produção, mudança de modo de operação de unidades, reconfiguração de unidades de produção entre outros.

Uma representação abstrata desta hierarquia é apresentada na figura 1.11. Deve-se notar que controladores e sistemas em camadas inferiores (controladores contínuos) são em geral abstraídos para o projeto e na operação de camadas superiores (controle supervisório). As abstrações acorrem nas interfaces entre

camadas. Por exemplo, sinais de saída das malhas fechadas de controle contínuo são enviados para o controle supervisório como eventos, enquanto que comandos provindos do controle supervisório, também na forma de eventos, são traduzidos na interface para sinais de entrada apropriados aos atuadores ou sinais de referência para controladores. Desta forma, o projeto e a interpretação de sistemas de automação reais são subdivididos em etapas e em camadas de operação cooperativa.

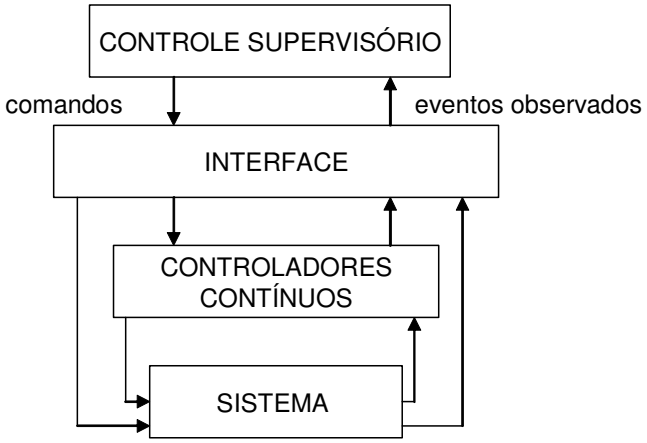


Figura 1.11. Arquitetura de sistemas de automação