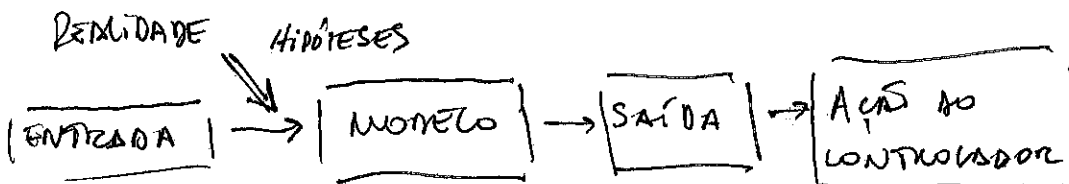


1. DISCORRA SOBRE OS FUNDAMENTOS CONCEITUAIS E OPERACIONAIS DE CONTROLADORES A SEREM APLICADOS EM SISTEMAS MECÂNICOS.

A PALAVRA CONTROLE PODE ASSUMIR DIVERSOS SIGNIFICADOS DEPENDENDO DO CONTEXTO EM QUE É EMPREGADA. DO PONTO DE VISTA DE ENGENHARIA, CONTROLE É ASSOCIADO A UMA ÁREA DO CONHECIMENTO QUE BUSCA COMPREENDER E MODELAR MATEMATICAMENTE SISTEMAS DE NATUREZA DINÂMICA PARA CONDUZÍ-LO PARA UM ESTADO/RESPOSTA DE INTERESSE. PODE-SE MENCIONAR SISTEMAS DE CONTROLE PARA DIVERSAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA MECÂNICA COMO: UM SISTEMA PARA CONTROLAR A POSIÇÃO E VELOCIDADE DE UM BRAÇO ROBÓTICO, A TEMPERATURA DE UMA SALA OU EQUIPAMENTO, ~~OU~~ A PRESSÃO OU QUANTIDADE DE FLUIDO EM UM RESERVATÓRIO. EM EXCÊNCIA, UM SISTEMA DE CONTROLE DEVE IDENTIFICAR O ESTADO/CONDIÇÃO/RESPOSTA DE UM SISTEMA OU COMPONENTE A SER CONTROLADO, E TOMAR AÇÕES PARA ALTERAR ESSE ESTADO PARA UMA CONDIÇÃO MAIS FAVORÁVEL PARA ALGUM OBJETIVO PRÉ DETERMINADO.

MUITOS SISTEMAS DE CONTROLE APLICADO A PROCESSOS MECÂNICOS POSSUEM A SEGUINTE RELAÇÃO PARA SEU FUNCIONAMENTO:



OS MODELOS PODEM SER DETERMINÍSTICOS, BASEADOS NA FENOMENOLOGIA DO PROCESSO OU COM VÍZ DE ALGATORIEDADE (NÃO DETERMINÍSTICOS)

UM SISTEMA DE CONTROLE TRADICIONAL É COMPOSTO DOS SEGUINTE ELEMENTOS:

- PLANTA (SISTEMA CONTROLADO): O SISTEMA EM SI QUE SE DESEJA CONTROLAR. PODE SER REPRESENTADO POR UM ÚNICO ELEMENTO OU UM CONJUNTO DE ELEMENTOS QUE COMPOEM O SISTEMA.
- VARIÁVEL DE CONTROLE: VARIÁVEL FÍSICA DO SISTEMA A SER OBSERVADA E CONTROLADA. PODE SER A POSIÇÃO, VELOCIDADE, VISCOSIDADE, MASSA ENTRE OUTROS.
- SENSORES: EQUIPAMENTOS CAPAZES DE AFERIR O ESTADO/CONDIÇÃO DO SISTEMA OU VARIÁVEL DE CONTROLE E INFORMAR QUANTITATIVAMENTE O COMPORTAMENTO OBSERVADO.
- CONTROLADOR: REPRESENTA O CÉREBRO DO SISTEMA DE CONTROLE. MUITAS VEZES É COMPOSTO DE ~~STRUTURAS~~ UM ALGORITMO PARA DECIDIR AS AÇÕES A SEREM TOMADAS PARA OBTEN O RESULTADO DESEJADO.
- ATUADOR: COM BASE NOS VALORES AFERIDOS PELOS SENSORES E NA DECISÃO TOMADA PELO CONTROLADOR, OS ATUADORES AGEM NA ~~PLANTA~~ PLANTA, EXECUTANDO FUNÇÕES, PARA ALTERAR A VARIÁVEL DE CONTROLE.
- ENTRADA DE REFERÊNCIA: É O ~~QUE~~ ESTÍMULO EXTERNO, FORNECIDO PARA A PLANTA, QUE FAZ COM QUE O SISTEMA SOFRE ALTERAÇÃO DO SEU ESTADO.
- REALIMENTAÇÃO (FEED BACK): UTILIZADO EM SISTEMAS DE CONTROLE MAIS COMPLEXOS (MALHA FECHADA), CARREGA A INFORMAÇÃO DO ESTADO DO SISTEMA APÓS A SAÍDA PARA ALTERAÇÃO NAS DECISÕES E AÇÕES TOMADAS PELO CONTROLADOR E ATUADOR.

INICIALMENTE, AS TÉCNICAS DESENVOLVIDAS PARA CONTROLE DE SISTEMAS MECÂNICOS, FOCAVAM EM SISTEMAS MENOS COMPLEXOS, CHAMADOS DE LINEAR E INVARIANTE NO TEMPO. O TERMO LINEAR NO RESPEITO À RESPOSTA DO SISTEMA ~~PODE~~ PODER SER REPRESENTADA PELO PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO LINEAR, OU SEJA, A SOMA É COMUTATIVA, E ^{RESPEITA} O PRINCÍPIO DA HOMOGENEIDADE, OU SEJA, ENTRADAS PROPORCIONAIS ENTRE SI PRODUZEM RESPOSTAS PROPORCIONAIS: $f(a+b) = f(a) + f(b)$ e $f(ha) = hf(a)$.

JÁ O TERMO INVARIANTE NO TEMPO ESTÁ ASSOCIADO AO SISTEMA/PLANTA NÃO VARIAR SEUS PARÂMETROS CONFORME SEU FUNCIONAMENTO OCORRE E O TEMPO PASSA. EXEMPLO DISSO SÃO SISTEMAS MASSA-MOLA-AMORTECEDOR, TROCADORES DE CALOR E VÁLVAS DE PRESSÃO ^{IDEAIS}. PARA ESTA CLASSE DE SISTEMAS, QUE PODEM SER EQUACIONADOS ATRAVÉS DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS ORDINÁRIAS (PODEM SER DE PRIMEIRA ORDEM OU 2ª ORDEM), COMUMMENTE É UTILIZADA A TRANSFORMADA DE LAPLACE (\mathcal{L}) PARA OBTER UMA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA E PROJETA O SISTEMA DE CONTROLE. A FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA É OBTIDA DIVIDINDO A TRANSFORMADA DE LAPLACE DA SAÍDA PELO TRANSFORMADA DE LAPLACE DA ENTRADA. A FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA NÃO CARREGA LONGO PROPRIEDADE FÍSICAS DO SISTEMA ELI SI, MAS REPRESENTA UMA BOA FORMA DE SE OBTER UMA RELAÇÃO ENTRE A SAÍDA E A ENTRADA DO SISTEMA.

FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA

TAMBÉM TRANSFORMA UMA EDO EM UMA EXPRESSÃO PURAMENTE ALGÉBRICA, QUE FACILITA NA OBTENÇÃO DOS RESULTADOS DIMINUINDO O COSTO OPERACIONAL PARA MUITOS CASOS. A TRANSFORMADA DE LAPLACE É DADA POR: $\mathcal{L}\{f(t)\} = F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-st} dt$. APÓS EFETUAR A TRANSFORMADA EM TODAS AS PARÇAS DA EDO, PODE-SE OBTER A SOLUÇÃO NO DOMÍNIO DE LAPLACE 'S'. ASSIM, É NECESSÁRIO RETORNAR PARA O DOMÍNIO FÍSICO (DO TEMPO) PARA OBTER A RESPOSTA REAL. ISSO PODE SER FEITO COM A TRANSFORMADA INVERSA DE LAPLACE DADA POR $\mathcal{L}^{-1}\{F(s)\} = f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{-\infty}^{\infty} F(s) e^{st} dt$.

COM ISSO, DENOMINOU-SE TÉCNICAS DE CONTROLE BASEADAS NA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA COMO CONTROLE CLÁSSICO. NO ENTANTO, MUITOS SISTEMAS NÃO PODEM SER BEM REPRESENTADOS POR FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA OU NÃO RESPEITAM OS PRINCÍPIOS DE SUPERPOSIÇÃO LINEAR E HOMOGENEIDADE DESCRITOS ANTERIORMENTE. A PARTIR DISSO, PARA SOLUÇÕES DE UMA CLASSE MAIOR DE PROBLEMAS (E MUITO COMPLEXOS) DESENVOLVERAM-SE O QUE É HOJE CONHECIDO COMO CONTROLE MODERNO QUE SÃO TÉCNICAS DE REPRESENTAÇÃO E SOLUÇÃO DOS SISTEMAS BASEADO NO ESPAÇO DE ESTADO.

A IDEIA CENTRAL É SEPARAR AS VARIÁVEIS DE INTERESSE EM UM VETOR DE ESTADO x E REARRUMAR AS EQUAÇÕES EM EDO'S COM VETORES E MATRIZES: SEJA: $\dot{x}_n(t) = f(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t)$ E $y_m(t) = f(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t)$

ORGANIZA-SE $\dot{x}(t) = [A]x(t) + [B]u(t)$ ONDE $x(t)$ É O VETOR DE ESTADO $u(t)$ É A ENTRADA $y(t) = [C]x(t) + [D]u(t)$ y É A SAÍDA

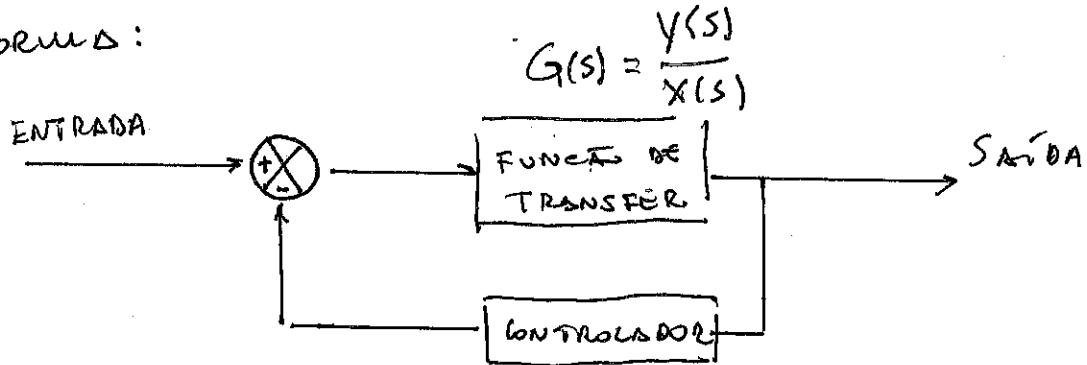
ESTA ABORDAGEM PERMITE A APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE DINÂMICA NÃO LINEAR E TEORIA DO CAOS COMO: ESPAÇO DE ESTADOS, SECTAS DE POINCARÉ, DIAGRAMAS DE BIFURCAÇÃO, BACIAS DE ATRAÇÃO ENTRE OUTROS PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA. DE CERTA FORMA, AMBAS AS ABORDAGENS SÃO UTILIZADAS PARA CONTROLE DE SISTEMAS DETERMINÍSTICOS. CONTUDO OUTRAS ABORDAGENS QUE LEVAM EM CONSIDERAÇÃO INCERTEZAS E ALEATORIEDADES PODEM SER UTILIZADAS COMO O ALGORITMO DE MONTE CARLO, ALGORITMOS GENÉTICOS, ALGORITMOS DE COLÔNIA DE FORMIGAS E OUTROS COMO REDES NEURAIS.

ALÉM DISSO, CONTROLE PODE SER CLASSIFICADO COMO PASSIVO OU ATIVO. NO CASO DE CONTROLE ATIVO, EXISTE UMA AÇÃO QUE É TOMADA ~~QUANDO~~ COM BASE NO ESTADO ATUAL DO SISTEMA, PODENDO VARIAR DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES. JÁ O CONTROLE PASSIVO, ESTE POSSUI SEMPRE A MESMA AÇÃO "PRE-PREPARADA" PARA SER TOMADA EM UMA CONDIÇÃO ESPECÍFICA. EM ~~CONTROLE ATIVO~~ ^{CONTROLE PASSIVO}, É POSSÍVEL PROJETAR UM SISTEMA DE CONTROLE DE MALHA ABERTA (SEM FEEDBACK) E MALHA FECHADA (COM FEEDBACK DE RETROALIMENTAÇÃO) ^{ATIVO}.

OS SISTEMAS DE CONTROLE MAIS COMUNS SÃO:

- CONTROLE PROPORCIONAL
- CONTROLE PROPORCIONAL - INTEGRAL
- CONTROLE PROPORCIONAL - DERIVATIVO
- CONTROLE PROPORCIONAL - INTEGRAL DERIVATIVO.

DE UMA FORMA GERAL, UM SISTEMA/PLANTA PARA SER CONTROLADA PODE SER REPRESENTADA POR UM DIAGRAMA DE BLOCOS DA SEGUINTES FORMAS:



O DIAGRAMA DE BLOCOS PODE SER INCREMENTADO CONFORME SUA COMPLEXIDADE ~~AUMENTAR~~ E O NÚMERO DE COMPONENTES AUMENTA. CONTUDO, EXISTEM TÉCNICAS PARA SIMPLIFICAÇÕES E REDUÇÕES. OUTRA VANTAGEM É QUE O DIAGRAMA DE BLOCOS FORNECE UMA VISÃO DOS SUBSISTEMAS E SUAS FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA QUE COMPÕEM O SISTEMA POR UM TODO.

CONTROLE TAMBÉM PODE SER REALIZADO PARA SISTEMAS CONTÍNUOS NO TEMPO E SISTEMAS DISCRETOS NO TEMPO. ESTES ÚLTIMOS RECEBEM FORTE ÊNFASE POIS ~~EM~~ TODO SINAL ~~DE~~ DIGITAL É UM SINAL DE TEMPO DISCRETO. CADA ABORDAGEM ~~DE~~ POSSUI SUAS PROPRIEDADES INTRÍNSICAS MAS TAMBÉM UMA SEMELHANÇA ENTRE SI.

2- EXPLÍCITE AS DIFERENÇAS, EM UM SISTEMA MECÂNICO, ~~DE~~
~~INTERFERÊNCIAS~~ PARA CONCEPÇÃO DE UM CONTROLADOR BASEADO EM MODELOS
FÍSICOS OU PURAMENTE EM DADOS. DESTAQUE VANTAGENS E DESVANTAGENS.

O OBJETIVO DE UM SISTEMA DE CONTROLE É AJUSTAR PARÂMETROS DE
UM SISTEMA MECÂNICO PARA ALCANÇAR UM COMPORTAMENTO DESEJADO.
PARA A CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE, É FUNDAMENTAL CONHECER
O COMPORTAMENTO DA PLANTA, SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E ASSIM,
PROJETAR O MECANISMO ADEQUADO PARA OBTENÇÃO DO RESULTADO ESPERADO.
ISTO É FEITO A PARTIR DE MODELOS; MODELOS SÃO REPRESENTAÇÕES DA
REALIDADE, COM BASE EM HIPÓTESES E SIMPLIFICAÇÕES. MODELOS TENTAM
REPRESENTAR / REPRODUZIR O COMPORTAMENTO DO SISTEMA MECÂNICO DE
MANEIRA A FORNECER PREVISÕES OU ESPERATIVAS DO COMPORTAMENTO
DO SISTEMA APÓS ALGUM ESTÍMULO (ENTRADA). MODELOS PODEM
SER ANALÍTICOS, FORNECENDO UMA RESPOSTA "EXATA", NUMÉRICOS
QUE FORNECEM UMA RESPOSTA "APROXIMADA" OU EXPERIMENTAIS,
ONDE UM PROTÓTIPO DO SISTEMA É CONSTRUÍDO PARA OBSERVAR SEU
COMPORTAMENTO EM MENOR OU SEMELHANTE ESCALA. DO
PUNTO DE VISTA PRÁTICO E FINANCEIRO, MODELOS EXPERIMENTAIS SÃO
EVITADOS EM ETAPAS INICIAIS DA CONCEPÇÃO DO CONTROLADOR.
MODELOS NUMÉRICOS E/OU ANALÍTICOS FORNECEM
RESPOSTAS DE FORMA MAIS RÁPIDA E MUITO CUSTOSA
NA MAIORIA DAS VEZES.

Portanto, modelos teóricos, como analíticos e numéricos, podem ter origem na fenomenologia envolvida no processo (baseado em leis da física) ou em uma base de dados que contém o histórico do sistema. O primeiro caso aborda controle de uma forma mais geral. Modelos baseados em leis da física partem de leis e princípios já estabelecidos e levam em consideração o comportamento físico-teórico do sistema. Basicamente, apoiam-se nos princípios de conservação de massa, energia, momento linear, momento angular e a 2ª lei da termodinâmica. Descrevem a relação de cada componente do sistema considerando leis físicas como: leis de Newton/Euler, lei de Ohm, lei de Bernoulli e outras. São capazes de abranger uma gama maior de sistemas pois, os sistemas que possuem componentes semelhantes, serão representados pelas mesmas leis e princípios apresentando resultados semelhantes. Outra vantagem deste tipo de modelos é a não necessidade de geração e armazenamento de dados com base no histórico da planta. Modelos baseados na física não exigem um custo financeiro inicial para compra de sensores que irão aferir o sistema e podem ser utilizados para previsões antes mesmo do sistema ser montado.

Já modelos guiados por uma base de dados procuram reconstruir a dinâmica do sistema sem conhecê-lo previamente. Esta reconstrução é feita com base na série temporal da resposta do sistema que pode conter variáveis observáveis e não observáveis. Para isso, são utilizadas ferramentas como a transformada discreta de Fourier (FFT) que fornece o comportamento do sistema no domínio da frequência, a transformada Z e a transformada de wavelet. Assim, é possível fazer uma reconstrução topológica do espaço de estado e prever o comportamento da planta em um instante futuro.

A grande vantagem desta abordagem quando comparada com modelos baseados na física é que leva em consideração propriedades particulares de cada sistema e é possível ~~obter~~ obtê-lo sem uma base matemática/física tão rigorosa. Esta abordagem pode considerar/detectar padrões que às vezes não são facilmente detectados ou modelados com base na física. Também exige a implementação de um algoritmo que irá interpretar os dados, estes podem ser: métodos dos mínimos quadrados, método do erro mínimo, técnicas locais e globais, expoente de Lyapunov e dimensão fractal.

Em resumo, as duas abordagens se completam, sendo amplamente utilizadas na indústria e nas pesquisas em busca de uma modelagem que represente cada vez melhor o sistema a ser controlado e seu comportamento a partir de determinados estímulos (input). Recentemente, com o desenvolvimento das técnicas de "Inteligência Artificial", "Machine Learning" e "Big Data Science", modelos de dados vem recebendo um forte enfoque, uma vez que agora as máquinas estão sendo capazes analisar os dados e identificar padrões em meio a uma quantidade muito grande de parâmetros e variáveis que o ser humano não é capaz de identificar/avaliar. A desvantagem é o alto custo financeiro e tecnológico que esta nova técnica exige. Isto promove a centralização da informação não permitindo a criação de novos modelos de forma livre-espontânea e criativa. Muitas das vezes, o algoritmo é capaz de gerar uma previsão mais precisa que um modelo baseado na física mas ainda não se sabe exatamente como a "IA" chegou a esse resultado. Isto ainda é um desafio.

Assim, modelos baseados na fenomenologia física do sistema ~~de~~ proporcionam ~~de~~ sistemas de controle ditos "caixa branca", pois sabe-se as equações que governam aquele comportamento. Já os modelos baseados em dados são chamados de "caixa preta" por não apresentarem exatamente uma equação com correlação física com o sistema de interesse. Ainda existem os modelos que misturam os princípios e técnicas das duas abordagens, sendo assim chamados de "caixa cinza".

3- DESCREVER OS COMPONENTES NO PROJETO DE UM SISTEMA PARA CONTROLE E MONITORAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS EM TEMPO REAL

OS COMPONENTES E ELEMENTOS CENTRAIS EM UM PROJETO DE SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAÇÃO EM TEMPO REAL CONSISTE DE TODOS ASPECTOS DE UM SISTEMA TRADICIONAL DE CONTROLE COM A ADIÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS PARA REALIZAR A COMUNICAÇÃO EM TEMPO REAL ENTRE A APLICAÇÃO DO SISTEMA E SUAS AJUSTADAS QUE PODE SER FEITA POR UM CONTROLADOR NÃO HUMANO (DIGITAL) OU ORGÂNICO (PESSOA). O TERMO "TEMPO REAL" DIZ RESPEITO AO INTERVALO DE TEMPO EM QUE O SINAL DE SAÍDA É PROCESSADO E ENTREGUE PARA O CONTROLADOR. A RESPOSTA DEVE SER COMPUTADA COM PRAZOS RIGOROSOS (TEMPO CURTO). EXEMPLOS DESTES SÃO SISTEMAS DE FREIO ABS, MOVIMENTAÇÕES E SISTEMAS DE CONTROLE SÍSMICO, DRONES E USINADORAS DO TIPO CNC. EM TODOS OS CASOS, TORNA-SE NECESSÁRIO SABER O ESTADO ATUAL DO SISTEMA POIS É FUNDAMENTAL A TOMADA DE DECISÃO PARA O PRÓXIMO ESTADO EM INTERVALOS DE TEMPO MUITO CURTOS.

Logo, é fundamental que exista um sistema robusto de comunicação entre a planta e o controlador, muitas vezes feito ~~de~~ de forma remota (internet/rádio). Também é necessário um processador (chip) de alto desempenho capaz de processar os sinais de informação de maneira rápida e eficiente e prover um resultado confiável. Pode utilizar lógicas de controle do tipo PID, Fuzzy, Adaptativos entre outros.

Como principais desafios, pode-se destacar a latência, tempo de resposta e atraso de tempo que ocorre entre o momento que a ação de controle é tomada até o sistema ~~estabilizado~~ começar a apresentar mudanças como consequência da ação e estabilizar na nova condição. Outros desafios são a presença de ruídos que dificultam a interpretação do sinal e exigem filtragem (mas uma ~~precisa~~ etapa do processamento que leva tempo), ~~complexa~~ complexa, custo e confiabilidade.

Assim, monitoramento em tempo real deve combinar algoritmos avançados, hardware robusto, comunicação rápida e conceitos da 4ª revolução industrial ou indústria 4.0

COMBINANDO AS PROPRIEDADES DA INDÚSTRIA 4.0 COM O MONITORAMENTO E CONTROLE EM TEMPO REAL, RECENTEMENTE, DESENVOLVEU-SE A TÉCNICA CONHECIDA COMO GÊMEOS DIGITAIS OU (DIGITAL TWINS).

ESTA TÉCNICA COMBINA A ALTA CAPACIDADE DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL COM A ALTA CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE DADOS EM SUPERCOMPUTADORES PARA CRIAR UM "GÊMEO" DIGITAL DA PLANTA ONDE É POSSÍVEL SIMULAR, COM BASE NO ESTADO ATUAL DA PLANTA, UMA MODIFICAÇÃO OU ALTERAÇÃO E AVALIAR SEU RESULTADO ANTES QUE A AÇÃO SEJA DE FATO TOMADA. POR EXEMPLO, É POSSÍVEL AQUISITAR O COMPORTAMENTO DE DIVERSOS PARÂMETROS DE UM SISTEMA, TRANSMITÍ-LO PARA UMA CENTRAL DE PROCESSAMENTO E REPRODUZIR VIRTUALMENTE O SISTEMA COM SUAS CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO EM TEMPO QUASE QUE INSTANTÂNEO. ISTO TEM SIDO UTILIZADO EM FÁBRICAS, PLATAFORMAS DE PETRÓLEO, SATÉLITES E AERONAVES AEROSPACIAIS, USINAS GERADORAS DE ENERGIA (ELÉTRICA) DENTRE OUTROS CAMPOS COM ALTO INVESTIMENTO FINANCEIRO E TECNOLÓGICO.