

validação de sistemas embebidos com testes *Hardware-in-the-Loop*

SAE - Sistemas de Automação e Energia, Lda

Com a evolução dos sistemas robóticos e a sua crescente integração em ambientes industriais, médicos, domésticos e até espaciais, a fiabilidade dos sistemas embebidos que os controlam tornou-se absolutamente crítica.



Sensores, atuadores, algoritmos de controlo, redes de comunicação e Inteligência Artificial precisam de funcionar de forma integrada, precisa e robusta. Num cenário em que a validação de comportamentos em situações reais pode ser dispendiosa ou mesmo perigosa, os testes do tipo *Hardware-in-the-Loop* (HIL) oferecem uma solução eficaz e segura para validar os componentes críticos de um sistema robótico ainda durante a fase de desenvolvimento.

A técnica HIL permite ligar fisicamente uma Unidade de Controlo Eletrónica (ECU) — que pode ser, por exemplo, o microcontrolador central de um *robot* móvel — a um ambiente de simulação que reproduz, com elevada fidelidade, o comportamento do mundo físico. Este ambiente, muitas vezes descrito como um gémeo digital, inclui modelos matemáticos dos sensores, dos atuadores e da dinâmica do sistema que a ECU irá controlar. Desta forma, é possível testar o *software* e o *hardware* de controlo em cenários virtuais, mas com comportamento próximo do real, de forma controlada, segura e repetível.

A aplicação desta técnica à robótica tem-se revelado particularmente útil nas fases de desenvolvimento e validação de sistemas autónomos, onde os algoritmos precisam de responder com precisão a estímulos complexos e variáveis. Por exemplo, é possível testar o sistema de navegação de um *robot* num cenário urbano simulado, com tráfego, obstáculos e condições ambientais diversas, sem necessidade de colocar o *robot* real em movimento. A ECU recebe os dados dos sensores simulados, processa-os e envia comandos aos atuadores virtuais, permitindo observar todo o ciclo de controlo como se estivesse no terreno.

Um sistema HIL típico em robótica inclui:

- A ECU real, que executa o *firmware* e os algoritmos de controlo;

- A plataforma de simulação em tempo real, que corre os modelos do *robot* e do ambiente;
- As *interfaces* que permitem a comunicação entre ambos.

Estas *interfaces* podem incluir conversores de sinal, barramentos digitais como CAN ou SPI, ou ainda protocolos Ethernet para integração com sistemas ROS (*Robot Operating System*). A precisão temporal da simulação é essencial para garantir que a ECU interage com o ambiente virtual da mesma forma que o faria no mundo físico.

Na robótica móvel, o HIL é usado para validar algoritmos de localização e mapeamento (SLAM), controlo de trajetória, deteção e evasão de obstáculos, entre outros. No caso de braços robóticos, permite testar algoritmos de controlo de força e posição, detetando problemas de estabilidade ou coordenação antes mesmo de o sistema ser ligado fisicamente. Em *robots* colaborativos (*cobots*), é possível simular a interação com operadores humanos, testando limites de força e reação a movimentos inesperados, assegurando que o sistema atua dentro dos critérios de segurança estabelecidos.

“A técnica HIL permite ligar fisicamente uma Unidade de Controlo Eletrónica (ECU) — que pode ser, por exemplo, o microcontrolador central de um *robot* móvel — a um ambiente de simulação que reproduz, com elevada fidelidade, o comportamento do mundo físico.



Além das vantagens técnicas, o HIL oferece benefícios económicos significativos. A possibilidade de realizar testes exaustivos sem desgaste de *hardware* físico reduz custos de manutenção e de substituição de componentes durante o desenvolvimento. A repetição de testes com precisão milimétrica permite comparar versões de

software, validar atualizações e realizar testes de regressão de forma contínua. Tudo isto acelera o ciclo de desenvolvimento e contribui para uma maior robustez e qualidade dos sistemas robóticos.

Outro aspeto particularmente relevante é a capacidade do HIL para testar sistemas com comportamento emergente ou distribuído. Em sistemas *multirrobot*, por exemplo, pode simular-se a interação entre vários agentes autónomos, cada um com a sua própria ECU, verificando a coordenação, a partilha de informação e a resposta a falhas de comunicação. Este tipo de validação é difícil — e por vezes impraticável — de realizar em ambiente físico, especialmente em larga escala, mas é facilmente alcançável com simulações HIL interligadas.

Apesar das suas inúmeras vantagens, a implementação de um sistema HIL em robótica exige conhecimento técnico especializado, tanto na modelação matemática dos sistemas como na integração entre *hardware* e *software*. Os modelos devem reproduzir não só a dinâmica do *robot*, mas também o comportamento dos sensores — como câmaras, LIDARs, acelerómetros ou GPS — incluindo os respetivos ruídos, atrasos e imprecisões. Só assim é possível garantir que os testes fornecem resultados fiáveis e transferíveis para o mundo real.

O investimento em plataformas de simulação em tempo real, com capacidade de resposta determinística e *interfaces* adequadas, pode ser significativo, sobretudo para laboratórios de investigação ou *startups*. No entanto, o retorno a médio prazo — em termos de redução de risco, deteção precoce de erros e aumento da robustez do sistema — justifica amplamente esse investimento.

Com o avanço da computação de alto desempenho, da IA e da simulação distribuída, o HIL está a evoluir rapidamente no contexto da robótica. As simulações estão a tornar-se cada vez mais realistas, incorporando ambientes 3D, físicas avançadas e até interações humanas complexas. Já é possível executar testes em nuvem, com ECUs remotas ligadas a gémeos digitais alojados em servidores de alto desempenho. Esta abordagem abre a porta a testes colaborativos e validação contínua em redes globais de desenvolvimento.

“
Apesar das suas inúmeras vantagens, a implementação de um sistema HIL em robótica exige conhecimento técnico especializado, tanto na modelação matemática dos sistemas como na integração entre *hardware* e *software*.

Em suma, o *Hardware-in-the-Loop* é uma ferramenta essencial para a robótica moderna. Ao permitir validar sistemas de controlo e algoritmos num ambiente realista, mas seguro e controlado, contribui decisivamente para o aumento da fiabilidade, segurança e eficiência dos sistemas autónomos. À medida que os *robots* se tornam mais complexos e interativos, a adoção de metodologias como o HIL será cada vez mais importante para garantir que estes sistemas se comportam corretamente, mesmo nas situações mais exigentes. A robótica do futuro será, certamente, cada vez mais testada — e validada — num mundo virtual, antes de entrar em ação no mundo real. ■

HDR-30-24 da Mean Well: alimentação estável e segura para ambientes industriais

SAE - Sistemas de Automação e Energia, Lda

Tel.: +351 224 956 496 · Fax: +351 224 956 496

comercial@novasae.com · www.novasae.com



HDR-30-24



A HDR-30-24 é uma fonte de alimentação com montagem em ca-
lha DIN, com saída estabilizada de
24 V DC e potência nominal de
30 W. Desenvolvida para aplica-
ções industriais, destaca-se pelo

seu formato ultracompacto com apenas 35 mm de largura, facilitando a sua aplicação. Opera numa ampla faixa de entrada AC de 85 a 264 V (120 a 370 VDC) oferecendo alta eficiência de conversão, atingindo 89%, o que reduz perdas térmicas e melhora o desempenho energético do sistema. O ajuste da tensão de saída permite uma variação entre 21,6 V e 29 V, garantindo flexibilidade para diferentes cargas e distâncias de distribuição.

A fonte HDR-30-24 da Mean Well conta ainda com arrefecimento por convecção natural que garante uma operação silenciosa e confiável em temperaturas ambientes de -30 °C a 70 °C. Conta com proteção contra sobrecarga, sobretensão e curto-circuito. Possui também tempo de *hold-up* de até 30 ms/230 VAC, o que assegura estabilidade da tensão de saída em situação de micro corte de energia. A fonte está em conformidade com os principais padrões de segurança e compatibilidade eletromagnética, como UL62368-1, EN61558, IEC62368-1, conformidade LPS (Limited Power Source) de acordo com IEC 60950-1.

Contacte a SAE e obtenha a melhor solução para o seu projeto.

SAE apresenta a gama de caixas BODY-CASE da OKW para IoT/IIoT

SAE - Sistemas de Automação e Energia, Lda
Tel.: +351 224 956 496 · Fax: +351 224 956 496
comercial@novasae.com · www.novasae.com



A caixa BODY-CASE da OKW é ideal para IoT/IIoT, automação, medição e controlo, registo/transmissão de dados, geolocalização, chamadas/notificações de emergência, tecnologia de se-

gurança, registo móvel de stock/vendas, comunicações digitais, eletrónica médica, desportiva e de bem-estar. A BODY-CASE da OKW estilo relógio de pulso encaixa-se numa bracelete padrão de 18 mm, podendo também ser usada com um cordão no pescoço ou com *clip* para cintura.

Esta gama de caixas da OKW é perfeita para dispositivos eletrónicos para variados usos pessoais porque são confortáveis e elegantes, mas também discretas. Sendo ergonómicas facilitam a operação da tecnologia *wireless*. Há uma variedade de modelos para acomodar ecrãs táteis, teclados membrana, botões e películas decorativas. Entre as secções superior e inferior há uma vedação suave ao toque para maior conforto. As caixas são montadas à prova de violação. No interior, a alimentação pode ser fornecida por uma pilha tipo botão montada diretamente na placa de circuito impresso ou por uma bateria com carregamento indutivo. As caixas estão disponíveis em três tamanhos padrão, de 50x41x14 mm a 62x56x18 mm. A caixa principal é moldada em ASA (UL 94 HB) estável aos raios UV em branco (RAL 9016) como padrão. A

vedação TPV é oferecida em duas cores: vermelho (RAL 2002) ou cinza. Os acessórios-padrão incluem estações de acoplamento, pulseira, ferramenta de barra de mola, *kit* de ilhós/*clip* de bolso, alça de transporte/cordão e porta-chaves.

A OKW pode fornecer a BODY-CASE totalmente personalizado. Os serviços incluem usinagem CNC, impressão, marcação a *laser*, películas decorativas e montagem de acessórios. Visite o *website* da SAE e descubra todos os exemplos de aplicação da BODY-CASE.

próximas gerações de engenheiros. A SAE conta com a sua visita no seu *stand* na FENGE 2025.

SAE marca presença na FENGE 2025

SAE - Sistemas de Automação e Energia, Lda
Tel.: +351 224 956 496 · Fax: +351 224 956 496
comercial@novasae.com · www.novasae.com



A SAE – Sistemas de Automação e de Energia anunciou que irá estar presente na FENGE 2025, que decorrerá entre os dias 20 e 22 de outubro no ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Com esta participação, a SAE pretende reforçar o compromisso em criar a ligação entre o meio académico e o tecido empresarial, promovendo a divulgação de soluções inovadoras no domínio da automação, através das suas marcas representadas.

A presença na FENGE constitui também uma oportunidade para identificar talentos emergentes, fomentar o *networking* com parceiros estratégicos e contribuir para a reflexão em torno dos desafios e tendências que marcam o futuro da engenharia em Portugal. A SAE encara esta participação com elevadas expectativas, convicta de que eventos desta natureza são fundamentais para o desenvolvimento tecnológico e para a preparação das

máxima segurança, robustez e compatibilidade internacional.

Para mais informações sobre este ou outros artigos, contacte a SAE - Sistemas de Automação e de Energia – o distribuidor oficial Relpol em Portugal.

Conheça a série GSR da Relpol: tomadas modulares para montagem em calha DIN

SAE - Sistemas de Automação e Energia, Lda
Tel.: +351 224 956 496 · Fax: +351 224 956 496
comercial@novasae.com · www.novasae.com



Com *design* compacto e fixação prática, as tomadas da série GSR são ideais para quadros elétricos de baixa tensão. Disponíveis nos principais padrões internacionais, a linha inclui o modelo GSR-01 com tomada tipo E, GSR-02 com tomada Schuko tipo F, GSR-03 com padrão britânico tipo G e GSR-04 com tomada universal italiana 2P+T+Schuko, garantindo versatilidade para aplicações universais.

Com tensão nominal de 250 V AC, corrente de até 16 A, temperatura de operação de -5 °C a +40 °C, suportam cabos até 16 mm², oferecendo desempenho constante e seguro mesmo nos ambientes mais exigentes. Esta gama de tomadas da Relpol tem proteção IP20 e certificações CE e RoHS, assegurando

