

BREVE HISTÓRICO E DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS EMBARCADOS

Prof.: Marcos Santana Farias

Introdução

Você pode observar que a tecnologia baseada em computadores se torna cada vez mais incorporada em produtos eletrônicos. É até difícil identificar produtos eletrônicos recentes que não tenham algum sistema computacional integrado para controlá-lo, que podemos chamar de sistema embarcado ou embutido. Como resultado, os sistemas embarcados são encontrados em todos os tipos de equipamentos eletrônicos e dispositivos atualmente. Desde pequenas quantidades de processamento, em itens como um temporizador eletrônico de uma cafeteira, a sistemas incorporados muito mais complexos, como consoles de jogos, televisores e até mesmo na automação de grandes fábricas e sistemas industriais, os sistemas embarcados se tornaram onipresentes.

Assim, os sistemas embarcados são amplamente difundidos no cenário tecnológico moderno. Um exemplo representativo de nossa vida diária, incorporando tais sistemas, são os telefones celulares ou smartphones. Os smartphones de última geração fornecem ao usuário um conjunto de funcionalidades altamente sofisticadas, incluindo funções de comunicação, streaming de vídeo, música e acesso à Internet, com uma qualidade de serviço muito satisfatória. Em parte, isso se tornou possível graças à melhoria significativa dos circuitos que compõem o sistema embarcado, com grande capacidade de integração de dispositivos.

Bom, você pode estar agora discordando da afirmação que um smartphone é um sistema embarcado. Com tantas funções, como não atribuir a ele uma classificação de computador, como você já deve ter ouvido várias vezes? Faz sentido classificar um smartphone na mesma categoria de uma máquina de lavar? Essa é uma boa discussão para desenvolvermos. As discordâncias, que neste caso podem deixar de existir daqui a algum tempo, são benéficas para o entendimento mais profundo sobre sistemas embarcados. Vamos voltar nesta discussão após verificarmos o histórico de desenvolvimento e os aspectos gerais sobre os sistemas embarcados.

Breve histórico dos sistemas embarcados

Um dos primeiros sistemas reconhecidamente embarcados foi o Computador de Orientação Apollo, o sistema digital instalado no Módulo de Comando Apollo e no Módulo Lunar, desenvolvido por Charles Stark Draper no Laboratório de Instrumentação do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) em 1961. No início do projeto, o Computador de Orientação Apollo foi considerado o item mais arriscado no projeto, pois empregava os circuitos integrados (CIs) monolíticos recentemente desenvolvidos para reduzir o tamanho e o peso. Desta forma, o primeiro computador a usar CIs ajudou os astronautas a coletar dados de voo em tempo real.



Temos aqui um primeiro termo que nos permite identificar um tipo muito comum de sistema embarcado: tempo real. Em um sistema de tempo real, a reação a um evento, ou o tempo de execução de uma tarefa, é determinístico e independente da carga do sistema. Ou seja, deve ocorrer dentro de um período de tempo especificado, sem atrasos. Não confundir com o jargão, comum no dia a dia, de se referir a tempo real como algo que ocorre enquanto as pessoas estão assistindo ou esperando, neste caso um intervalo considerado curto para a observação, mas não necessariamente dentro de um período determinado. Nem todos os sistemas embarcados são de tempo real, como veremos em uma classificação mais adiante, embora este seja predominante.

Continuando no histórico dos sistemas embarcados, um dos primeiros produzidos em massa foi o computador de orientação Autonetics D-17 para o míssil Minuteman em 1961. Em 1965, a Autonetics, agora parte da Boeing, desenvolveu o D-17B, o computador usado no sistema de orientação de mísseis Minuteman I. Este é amplamente reconhecido como o primeiro sistema embarcado produzido em massa. Em 1968, o primeiro sistema embarcado para um veículo foi lançado; o Volkswagen 1600 usava um microprocessador para controlar seu sistema de injeção eletrônica de combustível.

Desde essas primeiras aplicações na década de 1960, o preço dos sistemas embarcados caiu e houve um grande aumento no poder de processamento e na funcionalidade. O desenvolvimento dos sistemas embarcados passou a se confundir com o dispositivo mais utilizado nestes sistemas, o microcontrolador. O primeiro microcontrolador foi desenvolvido pela Texas Instruments em 1971, a série TMS1000, que se tornou comercialmente disponível em 1974, contendo um processador de 4 bits, integrando memória somente leitura (ROM) e memória de acesso aleatório (RAM). Nesta mesma época, um microprocessador, o Intel 4004, foi projetado para calculadoras e outros sistemas pequenos, mas ainda exigia memória externa e chips de suporte.

À medida que o custo dos microprocessadores e microcontroladores caiu, tornou-se viável substituir os dispendiosos controladores baseados em botões e componentes analógicos, como potenciômetros e capacitores variáveis, por botões lidos por um microprocessador, mesmo em produtos de consumo. No início da década de 1980, os projetos de microcontroladores se expandiram, com componentes do sistema de memória, entrada e saída sendo integrados no mesmo chip com o processador.

Os microcontroladores passam a encontrar aplicações em que um computador de uso geral seria muito caro. Um microcontrolador de custo comparativamente baixo poderia agora ser programado para cumprir a mesma função que muitos componentes separados. Embora, neste contexto, um sistema embarcado seja geralmente mais complexo do que uma solução tradicional, a maior parte da complexidade está contida no próprio microcontrolador. Poucos componentes adicionais são necessários e a maior parte do esforço de projeto passa para o software embarcado, também conhecido como firmware. O protótipo e o teste do firmware podem ser mais rápidos em comparação com o projeto e a construção de um novo circuito sem um processador embutido.



No final da década 80 surgiram os primeiros sistemas operacionais embarcados, como o VxWorks, lançado pela Wind River, seguido pelo Windows Embedded CE da Microsoft em 1996. No final da década de 1990, os primeiros produtos Linux embarcados começaram a ser desenvolvidos. Hoje, o Linux é usado em vários dispositivos embarcados, como os que se baseiam nos computadores de placa única e tamanho reduzido, incluindo os Raspberry Pi e o BeagleBone.

Definição de sistema embarcado

Com os vários sistemas baseados em processadores e sistemas computacionais que nos cercam, é útil definir o que é um sistema embarcado. Baseado no histórico de desenvolvimento dos sistemas embarcados, podemos apresentar as definições mais conhecidas.

Basicamente, o que vimos no histórico é que os sistemas embarcados são projetados para uma tarefa específica. Embora usem técnicas semelhantes às usadas nos computadores, eles não podem ser usados como um computador de uso geral, usando uma variedade de programas diferentes para tarefas diferentes. Desta forma, sua função pode ser focada no que eles precisam fazer e, portanto, se tornaram mais baratos e eficientes. Assim, uma definição conveniente para um sistema embarcado é:

“um sistema embarcado é qualquer sistema de computador contido em um produto que não seja descrito como um computador.”

Uma definição mais completa foi dada por Henzinger e Sifakis:

“um sistema embarcado é um sistema de computador para fins especiais que consiste em uma combinação de componentes de software e hardware sujeitos a restrições físicas. Essas restrições físicas vêm do ambiente do sistema e de sua plataforma de execução.”

Assim, um sistema embarcado está em interação com seu mundo externo, também conhecido como seu ambiente, que pode ser, por exemplo, um processo físico, alguns dispositivos técnicos em um sistema maior ou algum operador humano. Sua função consiste em abastecer seu ambiente conectado com serviços específicos, como a observação, a supervisão ou o controle de uma planta industrial, por exemplo. Essa função específica de um sistema embarcado, como já foi citado, o torna um sistema de computador para fins especiais, em contraste com os sistemas de computador para fins mais gerais, como computadores de mesa ou laptops.



A figura 1 apresenta uma configuração simplificada de um processo de controle implementado por um sistema embarcado. Observe o uso de sensores, para capturar dados do ambiente, e dos atuadores, que atuam em movimentos de motores, por exemplo, para estabelecer o controle. Dentro do controlador principal temos o firmware que gerencia as entradas e saídas de interface com o usuário, mostrador e botões, por exemplo. Como todo sistema computacional, o sincronismo é realizado por um circuito de relógio (clock).

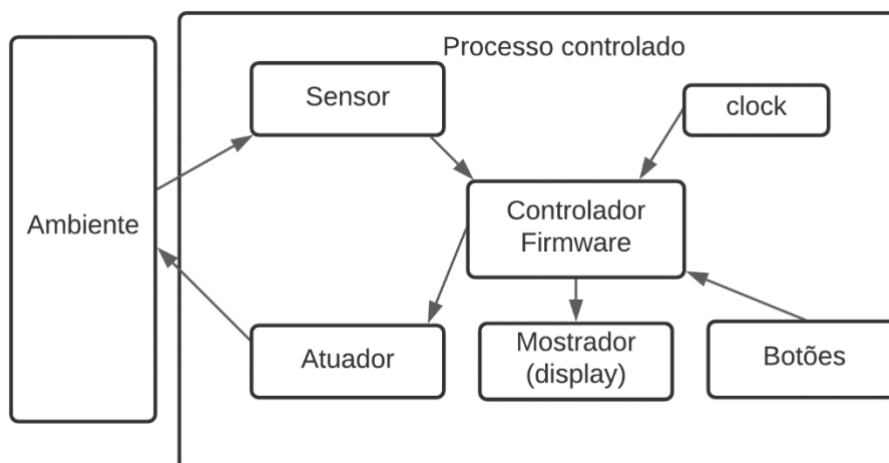


Fig. 1 - configuração simplificada de um sistema embarcado. (Fonte: o autor, 2021)

Os sistemas embarcados são usados basicamente para tarefas de monitoração e controle, obtendo a entrada de um hardware, como teclado, botões ou qualquer sensor, e fornecendo saídas através de motor, display ou qualquer outro tipo de atuação. Os sistemas embarcados, em maioria, são gerenciados por microcontroladores, como já foi citado, mas também por microprocessadores e processadores digitais de sinais (DSP), estes com firmwares embarcados. O programa carregado no microcontrolador, conhecido como firmware, pode ser escrito em linguagens de programação como a linguagem C, ou a linguagem assembly. Os sistemas embarcados podem usar poucos recursos de memória, por exemplo, além de usarem pouca energia. Eles também são pequenos em comparação com outros sistemas, e são um projetados para terem um baixo custo por unidade. Então, além de tudo é um sistema que precisa ser enxuto, ou seja, sem desperdício de recursos de nenhuma natureza.

Circuitos integrados de aplicação específica (ASIC) e matrizes de portas programáveis em campo (FPGA) podem gerenciar sistemas embarcados de alto desempenho sem software embarcado. FPGAs e ASICs são sistemas de processamento baseados em hardware digital, que é descrito e integrado no chip com ferramentas de software específicas dos fabricantes. FPGAs podem ser reprogramados, mas os ASICs não. Assim, não existe para os ASICs a possibilidade de alterar funcionalidade depois da fabricação. FPGAs e ASICs podem acionar componentes externos com grande quantidade de portas para manuseio de interfaces elétricas diversas.

No caso dos sistemas embarcados que integram software, para que o sistema cumpra sua função, cada parte deve fornecer ao projetista vantagens específicas: a parte do software

permite reprogramar a funcionalidade de um sistema para vários fins. Portanto, favorece a flexibilidade do projeto. A parte de hardware permite obter melhor desempenho de execução e aumenta significativamente a capacidade do sistema para satisfazer as restrições, por exemplo, de velocidade, gasto de energia e memória. A forma como a parte do software é programada também pode afetar o desempenho do sistema, o que restringe a programação de sistemas embarcados a poucas linguagens.

Em resumo, os sistemas embarcados são sistemas que se dedicam a realizar tarefas específicas e dedicadas. Isso inclui a maioria dos dispositivos que usamos hoje, que estão nas nossas casas e em todos os lugares que frequentamos. Estima-se que 98% dos processadores são feitos para sistemas embarcados. De forma geral, em sistemas embarcados, hardware e software são combinados para executar algumas tarefas. É o mesmo que o sistema de um computador, mas os computadores são usados para fins gerais e têm mais poder de processamento. Os sistemas embarcados têm menor poder de processamento em comparação a um computador pessoal e podem lidar com uma quantidade limitada de dados, também em comparação com os sistemas de computador.

• Smartphones

Voltamos a discussão inicial: smartphones são sistemas embarcados? Vamos dar mais uma definição de sistema embarcado. Um sistema embarcado é uma combinação de hardware e software de computador, e talvez sensores, atuadores e ou outras peças adicionais, projetadas para executar uma função dedicada. Os sistemas embarcados podem fazer parte de um sistema ou produto maior, como é o caso de um sistema de frenagem antibloqueio em um carro. Vamos verificar alguns itens existentes em um smartphone.

- Tela sensível ao toque
- Circuitos para comunicação com rede de voz
- Bluetooth
- Processador de áudio
- Circuitos para comunicação com rede sem fio (WiFi)
- Conectividade USB
- Sistema operacional
- Sensores (acelerômetro, giroscópio)
- Câmera integrada
- Memória de armazenamento
- Sensor de localização (GPS)
- Processador central

Podemos considerar que o processador central, junto com todo o hardware periférico sincronizado, usando um software embarcado, constitui um sistema embarcado. Desta forma, smartphones podem ser considerados como um sistema embarcado complexo e sofisticado.

Outra forma de ver pode considerar o smartphone como um sistema completo, um dispositivo de computação de uso geral que executa o sistema operacional no qual o usuário



trabalha. No entanto, os smartphones contêm vários sistemas embarcados, como o núcleo do modem e as soluções de chip único para WiFi, Bluetooth e GPS. Nesta forma de avaliar, um smartphone moderno não é um computador com poucos recursos, nem um sistema embarcado de última geração, mas um computador de uso geral completo. Eles são primeiro um computador móvel e depois um sistema de chamadas telefônicas.

O que temos é que a diferença entre o sistema embarcado e o sistema de uso geral está diminuindo hoje em dia. O smartphone pode estar na categoria de computador de uso geral porque podemos usar vários aplicativos. Podemos modificar, instalar e desinstalar os aplicativos. Por outro lado, o smartphone vem com sistema operacional pré-instalado e não podemos modificá-lo. Aqui, modificar significa que não podemos instalar outro sistema operacional como fazemos em um PC, como Linux e Windows. Além disso, não podemos atualizar a funcionalidade do smartphone além do permitido pelo fabricante. Portanto, essas condições estão de acordo com a definição do sistema embarcado.

Smartphones estão, realmente, na divisa entre os sistemas embarcados e os computadores de uso geral, mas a classificação como sistema embarcado é a mais aceita. Se você chegar a eles da perspectiva de um desenvolvedor de firmware, pode pensar neles apenas como sistemas embarcados de ponta. No entanto, se você está vindo do mundo da computação de uso geral, pode pensar neles como computadores com recursos limitados. Seja como for, o importante é ter os argumentos para defender o seu ponto de vista.

Referências

Gustavo Weber Denardin, Carlos Henrique Barriquello - **Sistemas Operacionais de Tempo Real e Sua Aplicação em Sistemas Embarcados**, Ed. Blucher, São Paulo, 2019, ISBN: 9788521213963

FLOYD, Thomas - **Sistemas Digitais: Fundamentos e Aplicações**, 9ª edição, Ed. Bookman – Porto Alegre, 2007, ISBN: 9788577801077

Henzinger T.A., Sifakis J. **The embedded systems design challenge**. In: Formal methods (FM'2006), LNCS volume 4085, Springer, Heidelberg, pp 1–15, 2006.

OLIVEIRA, André Schneider de; ANDRADE, Fernando Souza de - **Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática**, Ed. Erica – São Paulo, 2010, ISBN: 9788536520346

