

COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE MÚLTIPLOS MICROCONTROLADORES

João Vitor Pavan¹, Guilherme Nielsen Dias², Amanda Rodrigues da Silva³, Gustavo Voltani von Atzingen⁴

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Aluno, IFSP Câmpus Piracicaba, joao.vitor@aluno.ifsp.edu.br.

² Graduando em Engenharia Elétrica, Aluno, IFSP Câmpus Piracicaba, nielsen.dias@aluno.ifsp.edu.br.

³ Graduanda em Engenharia Mecânica, Aluno, IFSP Câmpus Piracicaba, amanda.rodrigues@aluno.ifsp.edu.br.

⁴ Doutor em Engenharia de Alimentos, Docente, IFSP Câmpus Piracicaba, gustavo.von@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.03.03.04-9 Sistemas de Informação

RESUMO: Com a popularização da internet das coisas em conjunto da crescente acessibilidade da programação nos ambientes doméstico e industrial, tem crescido também o interesse em sistemas embarcados à base de microcontroladores de uso genérico, entretanto, para que um projeto usando essa tecnologia tenha sucesso, a escolha do controlador correto é de extrema importância, devendo analisar as características únicas do microcontrolador, bem como seu preço e sua performance perante aos numerosos modelos disponíveis. Portanto, este artigo tem como objetivo comparar diretamente 7 microcontroladores, nas três áreas de análises citadas anteriormente, de forma a gerar resultados que indiquem diretamente para quais operações e/ou orçamentos de projeto qual microcontrolador é de maior indicação. Com o estudo realizado foi possível observar que cada microcontrolador possui uma especificidade e que os experimentos realizados ajudam na hora da escolha no início de um projeto.

PALAVRAS-CHAVE: microcontroladores; performance; sistemas embarcados.

EFFICIENCY COMPARISON BETWEEN MULTIPLE MICROCONTROLLERS

ABSTRACT: With the rising popularity of the internet of things together with the increasing accessibility of programming within the domestic and industrial environments, there has also been an increase in interest on embedded systems based general use microcontrollers, however, for the success of a project using this technology, choosing the right controller is of utmost importance, analyzing the unique characteristics of the microcontroller, as well as its price and performance against the numerous available models. Therefore, this article has as an objective compare 7 microcontrollers in the three areas already cited, so results are created to indicate directly to what operations and/or project budgets which microcontroller is most recommended. With the results is possible to see that every microcontroller has it's own specificity and the experiments done in this study can help the choice in the beginning of the project

KEYWORDS: microcontrollers; performance; embedded systems.

INTRODUÇÃO

Com a evolução das características básicas de eficiência e confiabilidade dos sistemas embarcados, os microcontroladores são utilizados, atualmente, nas mais diversas áreas, como aviação (KHANAM et al., 2017), automobilística (CHAKRABORTY & CHATTOPADHYAY, 2020), industrial (PÉREZ, ROMERO & RAMÍREZ, 2016), doméstica (ANDREI, BELEA & NISTOR, 2019), entre outras. Outro fator fundamental para o aumento da popularidade dos microcontroladores é a velocidade acelerada de aumento de seu poder computacional, que também segue o ritmo previsto por Gordon Moore, duplicando a capacidade de processamento computacional a cada 18 meses e propiciando o surgimento de novas tecnologias conectáveis, embasando o desenvolvimento da Indústria 4.0, dispositivos móveis e a Internet das Coisas (FURTADO, 2017).

O desenvolvimento de um sistema embarcado começa na escolha do microcontrolador a ser usado, uma vez que este deve satisfazer as características técnicas do projeto estando dentro do

orçamento disponível. Os modelos disponíveis no mercado variam em características como quantidade de GPIOs disponível, propriedades elétricas dos IO's, quantidade/qualidade do conversor AD, conversor DA, conectividade, frequência de clock, RAM, memória interna e externa, UARTs e interrupções de Hardware e também em preço e a escolha do microcontrolador adequado é parte fundamental do sucesso do projeto. Tendo isso, tem-se por objetivo a comparação de 7 microcontroladores avaliando seus respectivos benefícios/custos.

MATERIAL E MÉTODOS

No intuito de realizar uma comparação objetiva, 7 microcontroladores amplamente utilizados em aplicações industriais, bem como em projetos Do-It-Yourself (DIY), foram escolhidos e a junção de suas características únicas, performances durante funcionamento e preços podem definir suas viabilidades quanto ao caráter funcional e orçamentário para projetos futuros de sistemas embarcados.

Microcontroladores escolhidos para testes:

- Espressif Systems - Três microcontroladores: ESP32-wroom, ESP32-wrover e ESP8266, muito utilizados para projetos DIY, com aplicações esparsas em ambiente industrial.
- STMicroelectronics - Três microcontroladores, STM32F103C8, STM32407ZGT6 e STM32407VGT6, principalmente utilizados para sistemas embarcados de cunho industrial.
- Microchip Technology - Um microcontrolador, ATmega328P, de utilização muito comum para projetos DIY, principalmente devido à sua utilização nas placas do Arduino Uno™.

Suas características únicas podem ser observadas na Tabela 1, através da qual, a partir do caráter do projeto em que o microprocessador é necessário, um, ou muitos desses podem ser imediatamente invalidados, visto que apresentam um número menor de GPIO's do que o exigido, por exemplo.

Tabela 1 - Comparação de características únicas para cada microcontrolador escolhido

Ponto de Comparação	STM32 407ZGT6	STM32 407VGT6	STM32 F103C8	ESP32 wroom	ESP32 wrover	ESP8266	ATmega 328P
Quantidade de GPIO's	114	82	37	32	30	17	23
Propriedade elétrica (IO)	5V 20mA	5V 20mA	3.3V 20mA	3.3V 12mA	3.3V 12mA	3.3V 12mA	5V 20mA
Conversor AD	24 canais (12-bits)	24 canais (12-bits)	16 canais (12-bits)	18 canais (12-bits)	18 canais (12-bits)	1 canal (10-bits)	1 canal (10-bits)
Conversor DA	2 canais (12-bits)	2 canais (12-bits)	-	2 canais (8-bits)	2 canais (8-bits)	-	-
Conectividade	-	-	-	WiFi (150Mbps) + Bluetooth v4.2	WiFi (150Mbps) + Bluetooth v4.2	WiFi (72.2Mbps)	-
Clock CPU	168MHz	168MHz	72MHz	240MHz	240MHz	80MHz	20MHz
RAM	192kB + 4kB SRAM	192kB + 4kB SRAM	20kB SRAM	520kB SRAM	520kB SRAM + 8MB SPI PSRAM	50kB	2kB SRAM
Memória para Programas	1MB	1MB	128kB	4MB, até 16MB com flash externa	4MB, até 16MB com flash externa	0, até 16MB com flash externa	32kB

UARTs	4 USARTs / 2 UARTs	4 USARTs / 2 UARTs	3 USARTs	3 UARTs	3 UARTs	2 UARTs	1 USART
Vetores de interrupção	114	114	16	32	32	32	2

Após a definição das características mínimas necessárias para o projeto e subsequente descarte de um ou vários dos microcontroladores, a próxima decisão normalmente se dá pelo caráter orçamentário, comparando os preços unitários de cada, e dessa forma notando quais microcontroladores possivelmente entram no orçamento.

Tabela 2 - Comparação de preço por unidade de cada microcontrolador escolhido

	STM32 407ZGT6	STM32 407VGT6	STM32 F103C8	ESP32 wroom	ESP32 wrover-B	ESP8266	ATmega 328P
Preço por unidade	\$12.53 ¹	\$10.72 ²	\$4.76 ³	\$2.50 ⁴	\$4.20 ⁵	\$1.60 ⁶	\$2.01 ⁷

Com uma lista de microcontroladores de características compatíveis com o projeto em questão, bem como de preço condizente com o orçamento, a escolha final normalmente tem foco no desempenho.

Os testes de performance foram, portanto, realizados praticamente através de uma série de operações baseadas em números primos, de pontos flutuantes, e velocidade de GPIO. Tais operações foram repetidas 100000 vezes cada, de forma a gerar uma média precisa de tempo singular para cada tipo.

Os valores de pontos flutuantes utilizados para esses testes são números fixos de 20 casas decimais, com as operações de soma, multiplicação e divisão aplicadas diretamente a eles, bem como uma operação de seno importada do ambiente de desenvolvimento.

Uma operação de ligar e subsequentemente desligar uma saída de GPIO também foi realizada, de forma a testar a velocidade de oscilação final dessas portas, bem como um teste baseado no crivo de Eratóstenes, para encontrar números primos nos primeiros 500 números inteiros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos testes, foi possível definir a Tabela 3, que apresenta os tempos unitários de cada uma das operações realizadas, quanto menor o tempo melhor, bem como a frequência dessa operação em Hz por real gasto com o microcontrolador, quanto maior a frequência melhor.

¹ Disponível em

<<https://www.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/STM32F407ZGT6?qs=Z8%252BeY1k3TIKo142SZNWnSQ=>>>. Acesso em 08 de setembro de 2020.

² Disponível em

<<https://www.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/STM32F407VGT6?qs=Z8%252BeY1k3TIKAEQqwbO%2FOzA=>>>. Acesso em 08 de setembro de 2020.

³ Disponível em

<<https://www.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/STM32F103C8T6?qs=bhCVus9SdFtq6kqxsU5%2FDA%3D%3D>>>. Acesso em 08 de setembro de 2020.

⁴ Disponível em

<<https://www.mouser.com/ProductDetail/Esspressif-Systems/ESP32-WROOM-32EM113EH3200PH3Q0?qs=vHuUswq2%252Bsx8Xcp7bzmaHA%3D%3D>>>. Acesso em 08 de setembro de 2020.

⁵ Disponível em

<<https://www.mouser.com/ProductDetail/Esspressif-Systems/ESP32-WROVER-BM213DH3264PH3Q0?qs=sGAEPiMZZMu3sxp5v1qruiGqP4jgT%2Fv9Os72rmNyaA%3D%3D>>>. Acesso em 08 de setembro de 2020.

⁶ Disponível em

<<https://www.mouser.com/ProductDetail/Esspressif-Systems/ESP8266EX?qs=chTDxNqvsnorwcu2ADV3g%3D%3D>>>. Acesso em 08 de setembro de 2020.

⁷ Disponível em

<<https://www.mouser.com/ProductDetail/Microchip-Technology-Atmel/ATMEGA328P-AU?qs=K8BHR703ZXiCmmgp6%2FGNmO%3D%3D>>>. Acesso em 08 de setembro de 2020.

Tabela 3 - Comparação de microcontroladores em tempo por operação para diferentes operações, em conjunto de seu custo em operações por segundo por real

Operação	STM32 407ZGT6	STM32 407VGT6	STM32 F103C8	ESP32 wroom	ESP32 wrover	ESP8266	ATmega 328P
f1 + f2	131ns/op. 609kHz/R\$	131ns/op. 712kHz/R\$	213ns/op. 986kHz/R\$	226ns/op. 1769kHz/R\$	226ns/op. 1053kHz/R\$	1069ns/op. 584kHz/R\$	12142ns/op. 40kHz/R\$
f1 * f2	142ns/op. 562kHz/R\$	142ns/op. 656kHz/R\$	271ns/op. 775kHz/R\$	226ns/op. 1769kHz/R\$	226ns/op. 1053kHz/R\$	1356ns/op. 457kHz/R\$	12136ns/op. 40kHz/R\$
f1 / f2	208ns/op. 383kHz/R\$	208ns/op. 448kHz/R\$	486ns/op. 432kHz/R\$	919ns/op. 435kHz/R\$	919ns/op. 259kHz/R\$	2431ns/op. 257kHz/R\$	12138ns/op. 40kHz/R\$
sin(f1)	1006ns/op. 79kHz/R\$	1006ns/op. 92kHz/R\$	4079ns/op. 51kHz/R\$	9243ns/op. 43kHz/R\$	9243ns/op. 25kHz/R\$	20395ns/op. 30kHz/R\$	12138ns/op. 40kHz/R\$
Crivo de E.	0,466ns/op. 171MHz/R\$	0,466ns/op. 200MHz/R\$	0,318ns/op. 660MHz/R\$	0,372ns/op. 1075MHz/R\$	0,374ns/op. 636MHz/R\$	0,318ns/op. 1965MHz/R\$	6,808ns/op. 73MHz/R\$
on/off GPIO	386ns/op. 206kHz/R\$	386ns/op. 241kHz/R\$	614ns/op. 342kHz/R\$	1078ns/op. 371kHz/R\$	1078ns/op. 220kHz/R\$	3070ns/op. 203kHz/R\$	3576ns/op. 139kHz/R\$

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos, apresentados na Tabela 3, é possível notar que há uma tendência para microcontroladores mais caros possuírem também uma performance melhor, entretanto, não consiste uma regra, visto principalmente o desempenho do ESP8266, o controlador mais barato da lista, com desempenho melhor que o ATmega na maioria das categorias.

É possível também inferir claramente que diferentes microcontroladores realizam diferentes tarefas com performances significativamente distintas, visto que embora as operações de pontos flutuantes da família 407 dos STM32 sejam mais rápidas que todo o resto dos controladores, sua operação com matrizes e números inteiros no crivo de Eratóstenes se apresentou melhor que apenas o ATmega, o controlador de menor clock da lista.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSP Piracicaba, bem como à Quickium Tecnologia pelo apoio que deram ao projeto.

REFERÊNCIAS

- Chakraborty M., Chattopadhyay A.K. **Microcontroller-Based Automotive Control System Employing Real-Time Health Monitoring of Drivers to Avoid Road Accidents**. In: Chakraborty M., Chakrabarti S., Balas V. (eds) *Proceedings of International Ethical Hacking Conference, 2019. eHaCON 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. vol 1065. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0361-0_12.
- ESPRESSIF SYSTEMS, *ESP32-WROOM-32 Datasheet*, ESP32-WROOM-32, Version 2.9 2020. [Online] Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf>. Acesso em 22 de outubro de 2020.
- ESPRESSIF SYSTEMS, *ESP32-WROVER Datasheet*, ESP32-WROVER, Version 2.2 2020. [Online] Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover_datasheet_en.pdf>. Acesso em 22 de outubro de 2020.
- ESPRESSIF SYSTEMS, *ESP8266 Technical Reference*, ESP8266, Version 1.6 2020. [Online] Disponível em:

<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf>.

Acesso em 22 de outubro de 2020.

FURTADO, J. **Indústria 4.0 : a quarta revolução industrial e os desafios para a indústria e para o desenvolvimento brasileiro**. [São Paulo], 2017.

KHANAM, Mosammat Samia et al. **Utilization of sonar technology and microcontroller towards reducing aviation hazards during ground handling of aircraft**. In: AIP Conference Proceedings.

AIP Publishing LLC, 2017. p. 020047. Disponível em

<<https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5018565>>. Acesso em 03 de setembro de 2020.

M. Andrei, R. Belea and N. Nistor. **"Optimization of a Domestic Microcontroller Application that Operates with Long Standby Time Intervals"**. *2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, Cluj-Napoca, Romania, 2019, pp. 291-294, doi: 10.1109/SIITME47687.2019.8990726.

M. E. Anaya Pérez, J. C. Tapia Romero and J. H. Pacheco Ramírez. 2016. **"System Design and Implementation to Control an Industrial Process through a Microcontroller and Lab VIEW"**.

2016 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE), Cuernavaca, 2016, pp. 90-95, doi: 10.1109/ICMEAE.2016.025.

MICROCHIP TECHNOLOGY, *8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash Datasheet*, ATmega328P, 7810D-AVR-01/2015. Disponível em:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf>. Acesso em 22 de outubro de 2020.

STMICROELECTRONICS, *Arm® Cortex®-M4 32b MCU+FPU, 210DMIPS, up to 1MB Flash/192+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera Datasheet*, STM32F405xx STM32F407xx, DS8626 Rev 9 August 2020. Disponível em:

<<https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf>>. Acesso em 22 de outubro de 2020.

STMICROELECTRONICS, *Medium-density performance line ARM®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. interfaces Datasheet*, STM32F103x8

STM32F103xB, DocID13587 Rev 17 August 2015. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>>. Acesso em 22 de outubro de 2020.