

# Análise de Métodos de Comunicação para Envio de Dados de Unidades de Medição Fasorial Sincronizada

## RESUMO

Este trabalho envolve a análise dos métodos de comunicação para que uma unidade de medição fasorial sincronizada (PMU) enviasse dados a um concentrador. Após a análise, foi implementado um *software* que realizasse essa comunicação de forma bem-sucedida. A metodologia utilizada foi a pesquisa de métodos de comunicação já utilizados em PMUs existentes e que padrões são existentes atualmente. A partir de uma estrutura genérica de uma PMU e a normativa da IEEE que rege a transmissão de dados para dispositivos desta espécie, o *software* foi implementado em um microcontrolador que já era utilizado para o projeto principal onde este trabalho se encontra inserido. Como objetivo extra, também foi construída uma interface gráfica de usuário para a exibição de informações relevantes, visto que a plataforma de desenvolvimento permitia que isso fosse feito. Ambas as implementações foram bem-sucedidas, resultando em um protótipo funcional do dispositivo. Com isso, conclui-se que este trabalho contribuiu significativamente para o andamento do projeto o qual ele pertence.

**PALAVRAS-CHAVE:** Unidades de medição fasorial. Sincrofasores.

# Analysis of Communication Methods for Data Transfer of Synchronized Phasor Measurement Units

## ABSTRACT

This paper involves the analysis of communication methods for a synchronized phasor measurement unit (PMU) to transmit data to a concentrator. After the analysis, the software was implemented to perform this communication successfully. The utilized methodology involved the research for communication methods already used in existent PMUs and existing standards. From a generic PMU structure and an IEEE standard that defines how data transmissions for such devices occur; the software was implemented in a microcontroller which was already in use for the main project that this paper is inserted. As an extra objective, a graphical user interface was also built for the display of relevant information, since the development platform would allow for it to be done. The implementations were successful, which resulted in a working prototype of the device. As such, it is concluded the work has contributed significantly for the progress of the project in which it belongs.

**KEYWORDS:** Phasor measurement units. Syncrophasors.

**Leonardo Cícero Marciano**  
[lmarciano@alunos.utfpr.edu.br](mailto:lmarciano@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

**Gustavo Weber Denardin**  
[gustavo@utfpr.edu.br](mailto:gustavo@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

**Recebido:** 25 de out 2018.

**Aprovado:** 04 de out de 2018.

**Direito autorial:**

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.





## INTRODUÇÃO

Este resumo expandido tem como objetivo discorrer de forma sucinta como ocorreu o andamento do trabalho intitulado “Análise de Métodos de Comunicação para Envio de Dados de Unidades de Medição Fasorial Sincronizada”.

O projeto tem como finalidade a construção de uma unidade de medição fasorial sincronizada (PMU – *PhasorMeasuring Unit*) de baixo custo. O escopo deste trabalho envolveu a comunicação e envio desses dados para uma unidade concentradora e o desenvolvimento de uma interface gráfica de usuário para a exibição de dados, visto que o kit de desenvolvimento em que a PMU está sendo construída oferece condições para que isto fosse concebido.

## DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Uma PMU é um dispositivo responsável por coletar e prover dados de medição precisos de sinais elétricos provenientes de um sistema de um sistema de distribuição de eletricidade, com o intuito de determinar o estado atual do mesmo. São considerados um dos mais importantes dispositivos de medição para o futuro dos sistemas de potência (GUPTA, 2016).

O fasor em si é uma representação da magnitude e ângulo de fase de uma forma de onda senoidal, visualmente representado por coordenadas polares com um vetor girante em torno do ponto de origem. A partir disso, tem-se o termo sincrofasor, termo que une uma referência temporal única, obtida de um GPS, com um fasor, o que o sincroniza com o Tempo Universal Coordenado (UTC – *Universal Time Coordinated*) (GRANDO, 2016).

A estrutura genérica de uma PMU é composta por filtros *anti-aliasing*, módulos de conversão analógico/digital, receptor GPS, microprocessador e módulo de comunicação para envio de dados. A função do receptor GPS é a da sincronização das medidas, por meio de um pulso fornecido uma vez por segundo, além de receber o sinal dos satélites, denominado PPS, sigla popularmente adotada para pulso por segundo. Estes pulsos são utilizados para acionar os conversores analógico/digital, o qual amostra o sinal elétrico e então é processado por algoritmos para obter-se a estimativa do módulo, ângulo, frequência e magnitude (GRANDO, 2016).

Para padronizar a maneira que as medições são feitas e como a transmissão a transmissão dos dados em tempo real é realizada, atualmente existe a normativa IEEE C37.118.2-2011, que possui o intuito de simplificar a adoção em massa de sincrofasores e facilitar o uso de outros protocolos de comunicação para a transmissão destes dados (IEEE, 2011).

## MATERIAIS

No decorrer do plano de trabalho, foi utilizado a plataforma de microcontroladores STM32F7 da STMicroelectronics. São microcontroladores de 32 bits que integram uma grande quantidade de periféricos para o desenvolvimento de sistemas embarcados, como *timers*, conversores analógico/digital, comunicação serial, Ethernet para comunicação IP e controladores DMA (*DirectMemory Access*) para transferência de dados entre memórias. Em específico, dois kits de desenvolvimento foram utilizados: o STM32F746G-DISCOVERY e o STM32F769I-

DISCOVERY. Suas características incluem (STMICROELECTRONICS, 2015; STMICROELECTRONICS, 2016):

- Microcontroladores STM32F746NGH6, no caso do primeiro e STM32F769NIH6, no segundo, com 1 megabyte de memória Flash e 340 kilobytes de memória RAM (Random Access Memory) e 2 megabytes de memória Flash e 532 kilobytes de memória RAM, respectivamente;
- Tela TFT-LCD com sensibilidade ao toque capacitivo de 4,3 polegadas e resolução 480x272 pixels para o primeiro modelo e 4 polegadas com resolução 800x480 pixels para o segundo modelo;
- Três conversores ADC (Analogto Digital Converter) de 12 bits;
- Memória Flash Quad-SPI de 128 e 512 megabits, respectivamente;
- Memória SDRAM de 128 megabits;
- Interface Ethernet 10/100.

O ambiente de desenvolvimento utilizado para a escrita do código foi o *software* Eclipse, versão 4.5.2 de codinome Mars.2. A linguagem utilizada foi o C. Do fabricante, foram utilizados os *softwares* STM32CubeMX e o STM32CubeHAL. Para o desenvolvimento da interface gráfica de usuário (GUI – *GraphicalUser Interface*), foi utilizada a ferramenta *EmbeddedWizard* da TARA Systems, em sua versão *Evaluation*.

## MÉTODO

Para o tratamento do sinal de PPS, o receptor GPS gera apenas um pulso para realizar a estimação fasorial, porém são necessárias trinta estimações por segundo. Um dos *timers* do microcontrolador já era utilizado no projeto para a contagem de um período da onda senoidal para estimação, com os três ADCs, um para cada fasor, sendo disparados. Este *timer* é denominado TIM8.

A plataforma STM32F7, onde os dois *kits* se encontram, possui quinze *timers* e uma das características dos *timers* desta plataforma é a possibilidade de eles serem acionados por outro *timer* do sistema, sem a necessidade de intervenção explícita por *software*. É válido observar que não são todos os *timers* que oferecem suporte a isso (STMICROELECTRONICS, 2018).Então, escolheu-se um *timer* do sistema que suportasse essa operação, definindo seu período para que as estimações fossem então disparadas corretamente.

Também pode-se optar por realizar o acionamento externamente, utilizando um pino disponível no kit. Maneira pela qual o receptor GPS o aciona na primeira estimação. Após os ADCs terem amostrado o sinal, a fonte que aciona o TIM8 passa a ser outro *timer* ao invés do receptor GPS, visto que este só enviará outro pulso no intervalo de um segundo.

Na parte de comunicação, a estampa de tempo é denominada por uma informação presente no formato de mensagem da normativa IEEE C37.118.2-2011, o segundo secular, denominado SOC (*SecondofCentury*). Este valor é um número de 32 bits, que define uma contagem de segundos passados desde a meia noite de 1 de janeiro de 1970, denominada base de tempo UNIX (IEEE, 2011).

Toda vez que um sinal PPS é recebido, a nova estampa de tempo é extraída das informações vindas pelo módulo UART(*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) e atualizada para que as próximas estimações fasoriais tenham a estampa correta. Porém, seja por falta de sinal para recepção de GPS, erro no recebimento ou qualquer outro problema que pode inviabilizar o recebimento desta nova estampa, pode ocorrer que algumas estimações fasoriais tenham a estampa de tempo incorreta até o recebimento de uma nova estampa. Nestes casos, faz-se necessário que, uma vez recebida uma nova estampa de tempo, as estimações anteriores que deveriam ter recebido esta nova estampa de tempo tenham que ter as mesmas corrigidas.

O método proposto para realizar a correção envolve o armazenamento de toda a mensagem em uma estrutura de dados, para então realizar a correção quando conveniente. Foi escolhida uma estrutura de dados em fila para permitir que as mensagens sejam retiradas da estrutura, corrigidas e então enviadas na ordem correta, visto que numa fila, o primeiro elemento que entra, será o primeiro elemento a sair.

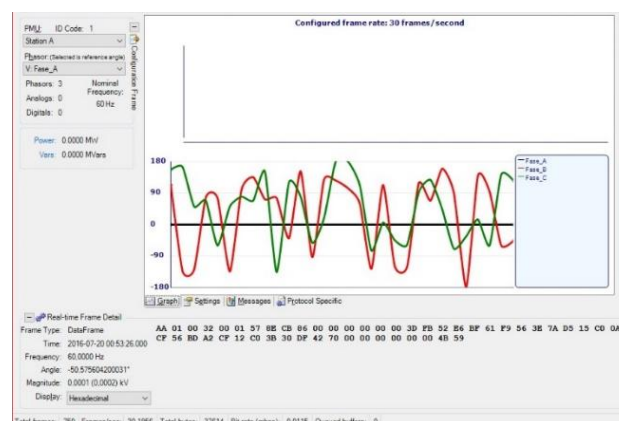
Ao realizar o envio pela conexão *Ethernet*, verifica-se se há elementos presentes na fila que precisam ser enviados, os quais já estão corrigidos, antes de enviar a mensagem atual. Caso haja, então a fila toda é percorrida, enviando-se as mensagens em ordem para o concentrador, só para então realizar o envio da mensagem atual. Caso a fila esteja vazia, somente a mensagem atual é enviada.

## RESULTADOS

Após realizadas as implementações de correção da estampa de tempo, testou-se a comunicação da PMU como um todo ao utilizar um computador como concentrador de dados para qual o equipamento enviará seus dados, visto que a conexão *Ethernet* é utilizada para realizar esta troca de dados.

O software escolhido para realizar os testes foi o *openPDC (Open Source Phasor Data Concentrator)*. Para o teste em si, apenas um dos fasores foi conectado ao ADC do microcontrolador, o que deixou os outros dois flutuando com valores aleatórios. Porém, como visto na captura de tela da Figura 1, a comunicação foi bem-sucedida, com o computador e a PMU conectados sob o mesmo roteador.

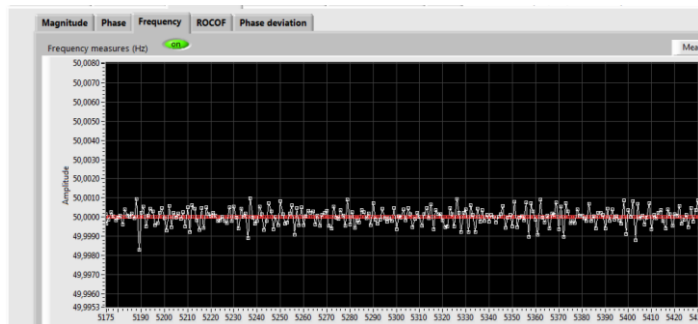
Figura 1. Teste de Comunicação.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para aferir os resultados da geração de pulsos que coordenam o processo de estimação fasorial, foi utilizado um osciloscópio para a checagem dos sinais gerados e um equipamento gerador de funções para simular os sinais vindos do receptor GPS. Também se tem a aferição da estimação de frequência, feita pelo *software Syncrophasors Test Platform*, que foi construído em plataforma LabVIEW. Pode-se observar uma precisão da ordem de  $10^{-3}$  Hz, como visto na Figura 2.

Figura 2. Teste em plataforma LabVIEW.



Fonte: Autoria própria (2018).

Parte da interface de usuário, a exibição das informações foram divididas em duas partes: da estimação fasorial em tempo real e da comunicação com a PMU. São cinco telas para a primeira parte e uma para segunda. O usuário interage com a tela por meio de toque e pode-se realizar transações pelas telas ou trocar configurações com este tipo de interação.

Figura 3. Capturas de tela da Interface de Usuário



Fonte: Autoria própria (2018).

## CONCLUSÃO

Nos resultados apresentados acima, é possível concluir que este plano de trabalho contribuiu significativamente para o andamento do projeto, inclusive indo





além do que estava proposto no plano de trabalho, com a criação da interface de usuário. Ao trabalhar com dois kits de desenvolvimento similares, deixou-se aberta a possibilidade de mudança de hardware para o futuro do projeto.

No fim do plano de trabalho, chegou-se a um protótipo funcional da PMU, sendo inclusive possível conectá-lo a um concentrador de dados, possível a parte de comunicação. A interface de usuário permite que as informações sejam visualizadas facilmente, sem a necessidade de estar depurando o código para aferir os valores, inclusive para a detecção de problemas na comunicação com a unidade concentradora.

## REFERÊNCIAS

GUPTA, A. et al. Phasor Measurement Unit. International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR), v. 6, n. 2, p. 221-224, 2016.

GRANDO, F.L. Arquitetura para o desenvolvimento de unidades de medição fasorial sincronizada no monitoramento a nível de distribuição. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

IEEE STANDARDS ASSOCIATION. IEEE Standard for Synchrophasor Data Transfer for Power Systems. IEEE Std C37.118.2-2011 (Revision of IEEE Std C37.118-2005). 2011.

STMICROELECTRONICS. Discovery kit with STM32F746NG MCU. 2015. Disponível em: <[https://www.st.com/resource/en/data\\_brief/32f746gdiscovery.pdf](https://www.st.com/resource/en/data_brief/32f746gdiscovery.pdf)>. Acesso em: 17 aug. 2018.

STMICROELECTRONICS. Discovery kit with STM32F769NI MCU. 2016. Disponível em: <[https://www.st.com/resource/en/data\\_brief/32f769nidiscovery.pdf](https://www.st.com/resource/en/data_brief/32f769nidiscovery.pdf)>. Acesso em: 17 aug. 2018.

STMICROELECTRONICS. STM32F75xxx and STM32F74xxx advanced Arm®-based 32-bit MCUs. 2018. Disponível em: <[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference\\_manual/c5/cf/ef/52/c0/f1/4b/fa/DM00124865.pdf/files/DM00124865.pdf/jcr:content/translations/en.DM00124865.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/c5/cf/ef/52/c0/f1/4b/fa/DM00124865.pdf/files/DM00124865.pdf/jcr:content/translations/en.DM00124865.pdf)>. Acesso em: 22 aug. 2018.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Fundação Araucária pelo fomento, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco pelo ambiente e ao Professor Dr. Gustavo Weber Denardin pela oportunidade e orientação. Todos fatores determinantes que permitiram concretizar este trabalho.