Técnicas de Sincronismo Temporal em Sistemas OFDM

Organização do trabalho

O trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

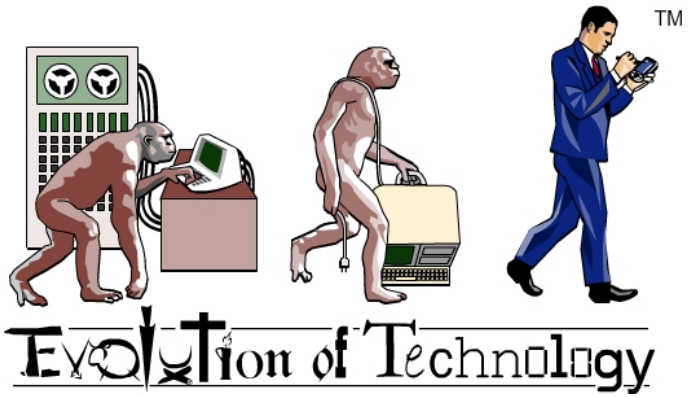
1. **Introdução**
2. **Sistemas OFDM**
3. **Revisão bibliográfica**
4. **Técnica proposta**
5. **Resultados de simulações**
6. **Implementação em FPGA**
7. **Conclusão**

Introdução

Temos vivido uma grande evolução técnológica. E acompanhando este crescimento, os sistemas de comunicação tem se desenvolvido consideravelmente nas últimas décadas.

Em geral, os sistemas de comunicação são divididos em diversas partes, uma destas partes é denominada sincronização, que será discutida no presente trabalho.

Um estudo técnico é realizado a partir de diversas referências encontradas na literatura.



[1]

Introdução

Imagine a busca pelo quadro inicial de uma história numa sala circular de um museu. Seria possível encontrar o quadro incial desta história?

“Assim como um círculo, que por qualquer ponto que você comece, não acharia um início e um fim, do mesmo modo, os visitantes desta exposição nunca encontrarão o início e o fim desta história e compete a cada um deles determinar não somente a história desta exposição, bem como, a história de suas vidas”



[2]

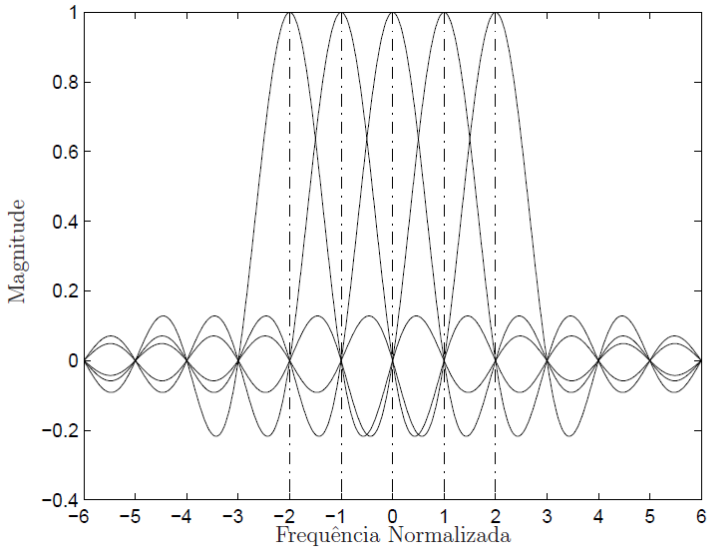
Em poucas palavras, sincronização temporal é estimar o quadro inicial da história.

Sistemas OFDM

Antes de falar de sincronização temporal em detalhes, será discutido algumas características do sistema de modulação OFDM.

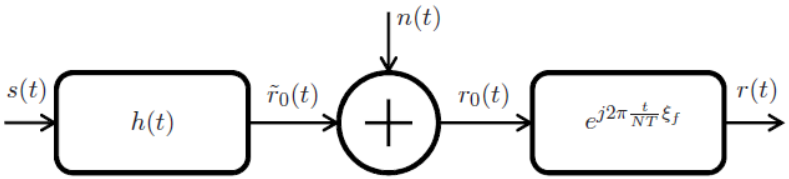
Basicamente o sistema OFDM se caracteriza pelo uso de subportadoras de frequência ortogonais para o envio da mensagem.

E no que tange à sincronização temporal, as principais particularidades são encontradas no receptor.

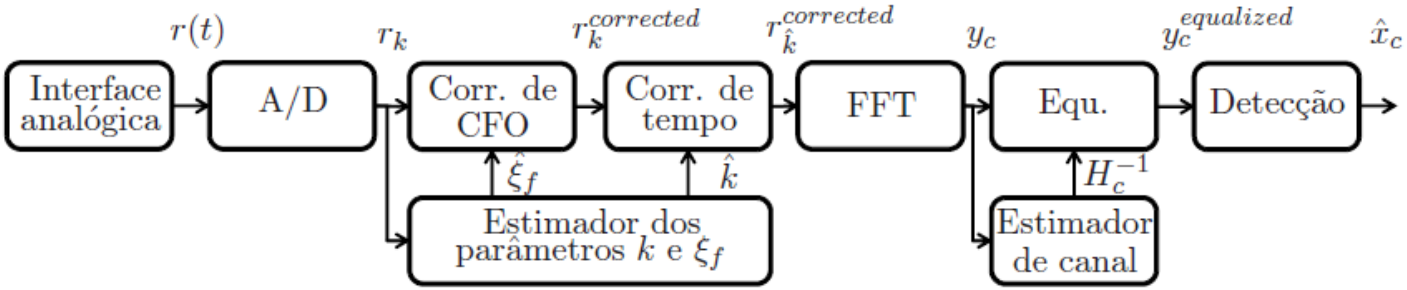


Sistemas OFDM

Principais características do meio de comunicação e do receptor:



O sinal enviado pelo transmissor é convoluído com a resposta ao impulso do canal, em seguida é adicionado ruído branco gaussiano e por fim lhe é submetido um desvio de frquência de portadora.



NO receptor, no contexto de sincronização, se destacam os blocos de Corr. De CFO, Corr. de tempo e o Estimador dos parâmetros de sincronização, que é exaustivamente discutido no trabalho.

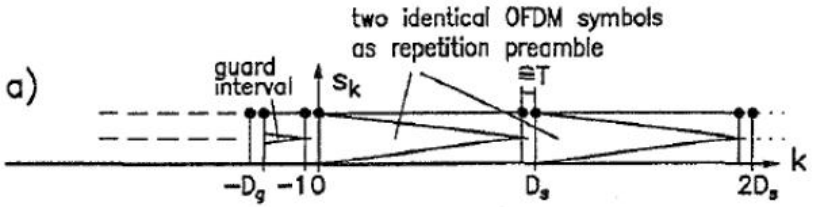
Revisão bibliográfica

Apresentação do problema:

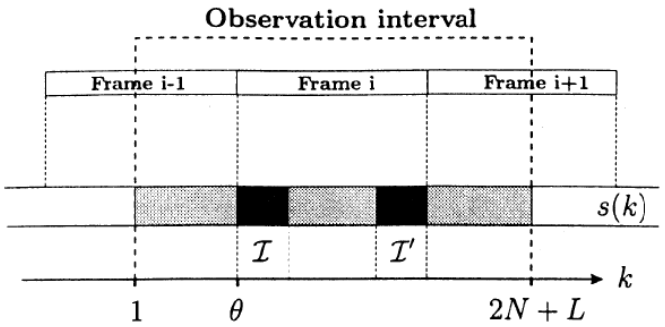
- **Como neutralizar ou combater os efeitos causados pelo canal no ato da demodulação da mensagem?**

Métodologias de sincronização temporal abordas neste trabalho:

Através do preâmbulo



Através do P.C.



Revisão bibliográfica

Através do preâmbulo

$$\mathbf{r}_k \triangleq (r_k,\ldots,r_{k+N_s-1})^T.$$

$$\tilde{\mathbf{r}}_k \triangleq (\tilde{r}_k,\ldots,\tilde{r}_{k+N_s-1})^T$$

$$\mathbf{n}_k \triangleq (n_k,\ldots,n_{k+N_s-1})^T$$

$$\mathbf{R}_{k,\xi_f} \triangleq \left\{(k',\xi_f') \mid \tilde{\mathbf{r}}_{k'+N_s} = \tilde{\mathbf{r}}_{k'} e^{+j2\pi\frac{N_s}{N}\xi_f}\right\}.$$

$$\begin{aligned} d_{\tilde{k},\tilde{\xi_f}} &\triangleq \mathbf{r}_{\tilde{k}+N_s} - \mathbf{r}_{\tilde{k}} e^{+j2\pi\frac{N_s}{N}\xi_f} \\ &= \underbrace{\tilde{\mathbf{r}}_{\tilde{k}+N_s} - \tilde{\mathbf{r}}_{\tilde{k}} e^{+j2\pi\frac{N_s}{N}\xi_f}}_{=0\forall(k',\xi_f')\in\mathbf{R}_{k,\xi_f}} + \mathbf{n}_{k+N_s} - \mathbf{n}_k e^{+j2\pi\frac{N_s}{N}\xi_f}. \end{aligned}$$

$$(\hat{k},\hat{\xi}_f) = \arg\min_{(\tilde{k},\tilde{\xi_f})} \left\| \boldsymbol{d}_{\tilde{k},\tilde{\xi_f}} \right\|^2.$$

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} \left\{ \left\|\mathbf{r}_{\tilde{k}+N_s}\right\|^2 + \left\|\mathbf{r}_{\tilde{k}}\right\|^2 - 2\Re\left[e^{-j2\pi\frac{N_s}{N}\widetilde{\xi_f}} \mathbf{r}_{\tilde{k}}^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{\tilde{k}+N_s}\right]\right\}.$$

$$\hat{\xi}_f = \frac{N}{2\pi N_s} \arg\left(\mathbf{r}_{\tilde{k}}^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{\tilde{k}+N_s}\right).$$

Através do P.C.

$$\mathbf{r}_k \triangleq (r_k,\ldots,r_{k+N_g-1})^T.$$

$$\tilde{\mathbf{r}}_k \triangleq (\tilde{r}_k,\ldots,\tilde{r}_{k+N_g-1})^T$$

$$\mathbf{n}_k \triangleq (n_k,\ldots,n_{k+N_g-1})^T.$$

$$\delta(k-\theta),$$

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} \left\{ \left\|\mathbf{r}_{\tilde{k}+N}\right\|^2 + \left\|\mathbf{r}_{\tilde{k}}\right\|^2 - 2\Re\left[e^{-j2\pi\widetilde{\xi_f}} \mathbf{r}_{\tilde{k}}^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{\tilde{k}+N}\right]\right\}.$$

$$\hat{\xi}_f = \frac{1}{2\pi} \arg\left(\mathbf{r}_{\tilde{k}}^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{\tilde{k}+N}\right).$$

Revisão bibliográfica

Técnicas encontradas na literatura:

MMSE:

Através do preâmbulo

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} M_{\tilde{k}},$$

$$M_{\tilde{k}} \triangleq P_{\tilde{k}+N_s} + P_{\tilde{k}} - 2\left|S_{\tilde{k}}\right|,$$

$$P_k \triangleq \left\|\mathbf{r}_k\right\|^2,$$

$$S_k \triangleq \mathbf{r}_k^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{k+N_s},$$

Através do P.C.

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} M_{\tilde{k}},$$

$$M_{\tilde{k}} \triangleq P_{\tilde{k}+N} + P_{\tilde{k}} - 2\left|S_{\tilde{k}}\right|,$$

$$P_k \triangleq \left\|\mathbf{r}_k\right\|^2,$$

$$S_k \triangleq \mathbf{r}_k^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{k+N},$$

Revisão bibliográfica

Técnicas encontradas na literatura:

MC:

Através do preâmbulo

$$\hat{k} = \arg\max_{\tilde{k}} |S_{\tilde{k}}| \,,$$

$$S_k \stackrel{\Delta}{=} \mathbf{r}_k^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{k+N_s},$$

Através do P.C.

$$\hat{k} = \arg\max_{\tilde{k}} |S_{\tilde{k}}| \,,$$

$$S_k \stackrel{\Delta}{=} \mathbf{r}_k^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{k+N},$$

Revisão bibliográfica

Técnicas encontradas na literatura:

ML:

Através do preâmbulo

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} N_{\tilde{k}},$$

$$N_{\tilde{k}} = \rho(P_{\tilde{k}} + P_{\tilde{k}+N_s}) - 2\left|S_{\tilde{k}}\right|,$$

$$\rho \triangleq \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}.$$

$$P_k \triangleq \left\|\mathbf{r}_k\right\|^2,$$

$$S_k \triangleq \mathbf{r}_k^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{k+N_s},$$

Através do P.C.

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} N_{\tilde{k}},$$

$$N_{\tilde{k}} = \rho(P_{\tilde{k}} + P_{\tilde{k}+N}) - 2\left|S_{\tilde{k}}\right|,$$

$$\rho \triangleq \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_n^2}.$$

$$P_k \triangleq \left\|\mathbf{r}_k\right\|^2,$$

$$S_k \triangleq \mathbf{r}_k^{\mathrm{H}} \mathbf{r}_{k+N},$$

Técnica proposta

A técnica proposta é contextualizada num contexto restrito em que:

$$r_k \in \mathbb{R}.$$

$$\Delta f_{co} = 0$$

$$\xi_f = 0,$$

MMAE:

Através do preâmbulo

$$\hat{k} = \arg\min_{(\tilde{k})} \|\boldsymbol{d}_{\tilde{k}}\|,$$

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} D_{\tilde{k}},$$

$$D_{\tilde{k}} \triangleq \left\|\mathbf{r}_{\tilde{k}} - \mathbf{r}_{\tilde{k}+N_s}\right\|.$$

Através do P.C.

$$\hat{k} = \arg\min_{(\tilde{k})} \|\boldsymbol{d}_{\tilde{k}}\|,$$

$$\hat{k} = \arg\min_{\tilde{k}} D_{\tilde{k}},$$

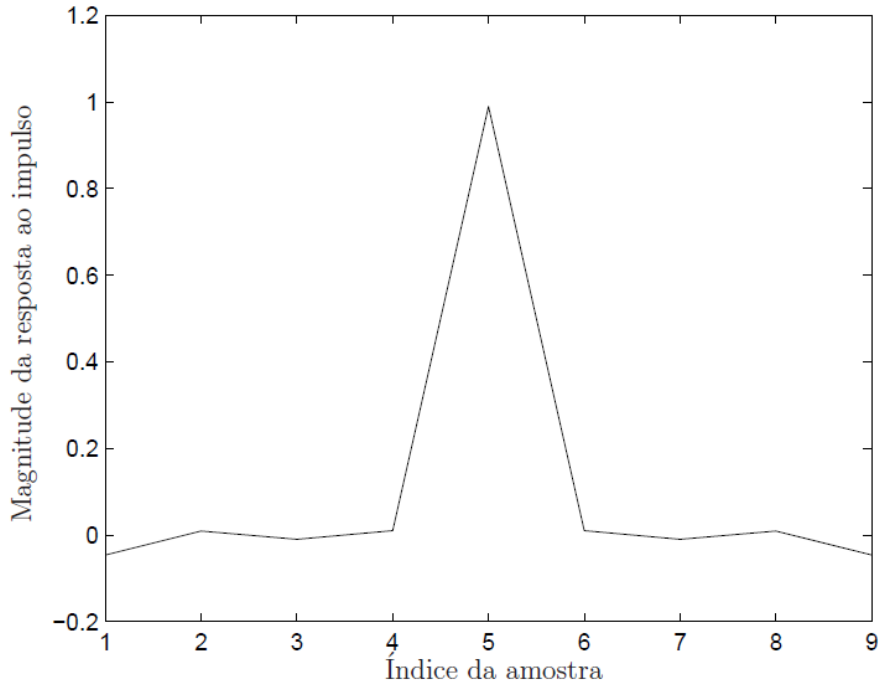
$$D_{\tilde{k}} \triangleq \left\|\mathbf{r}_{\tilde{k}} - \mathbf{r}_{\tilde{k}+N}\right\|.$$

Resultados de simulações

Contexto de trabalho:

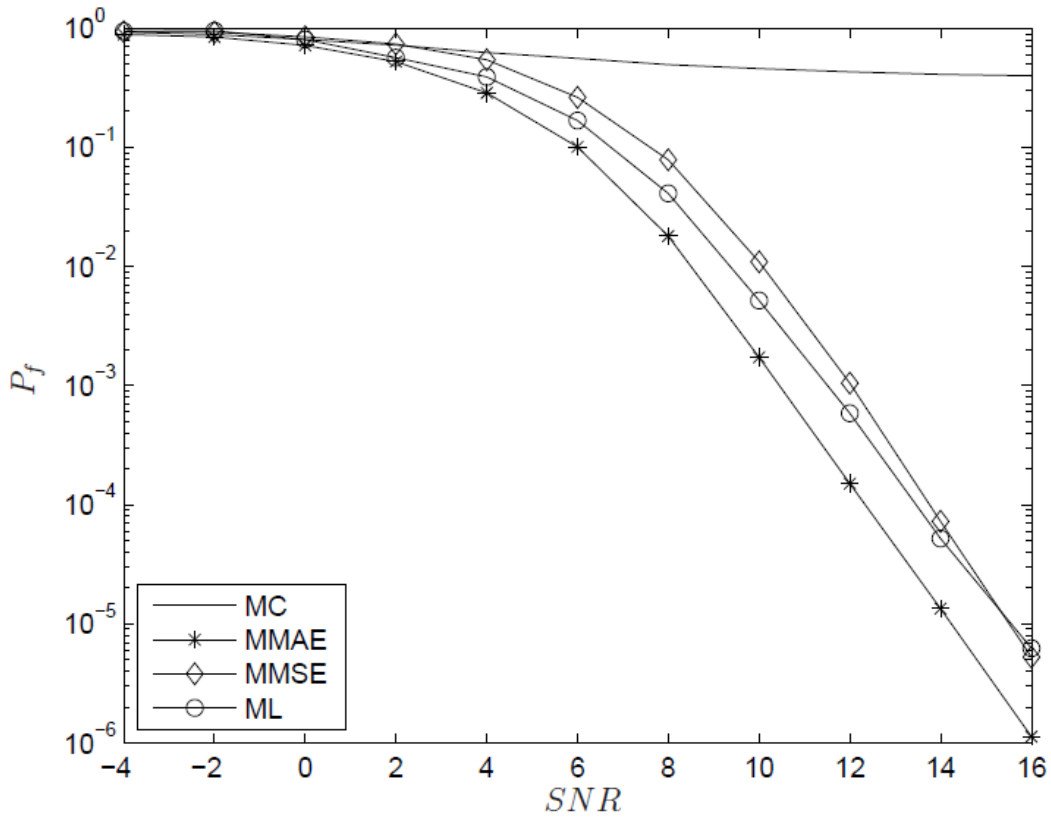
HS-OFDM

$N = 256$ $N_g = 8$ 4-QAM $L_h = 9,$ $2\pi\frac{k}{N}\xi_f \rightarrow \xi_f = 0$, $\xi_f \neq 0$



Resultados de simulações

Resultados: $\xi_f = 0$

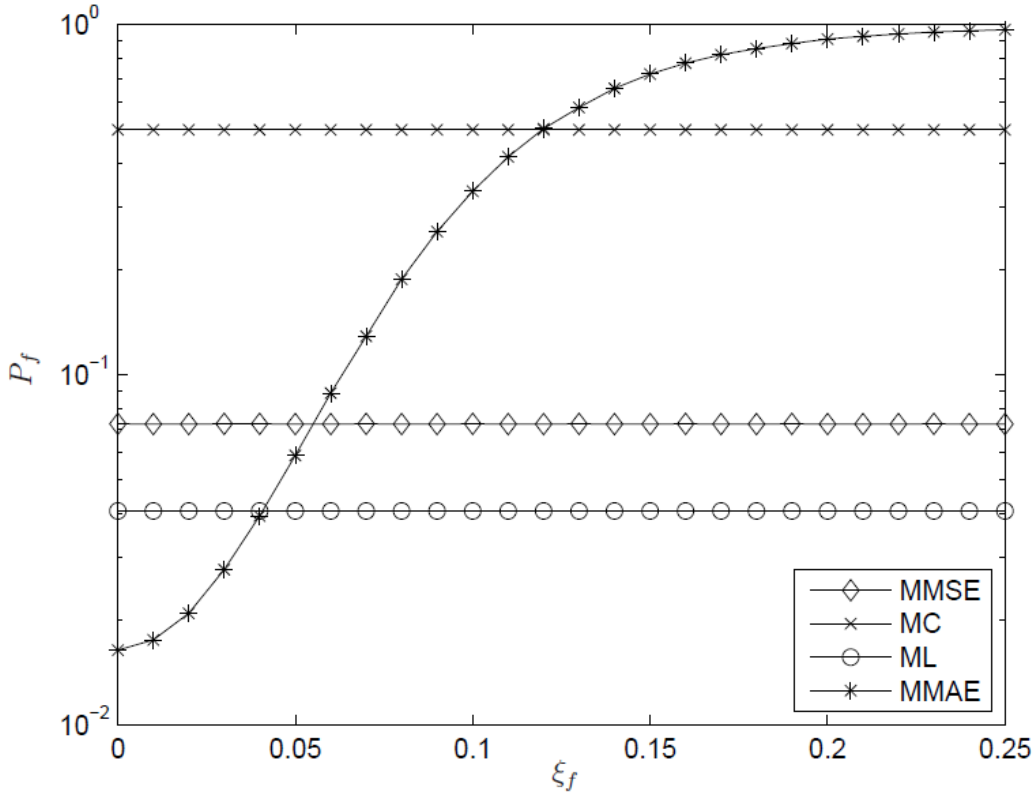


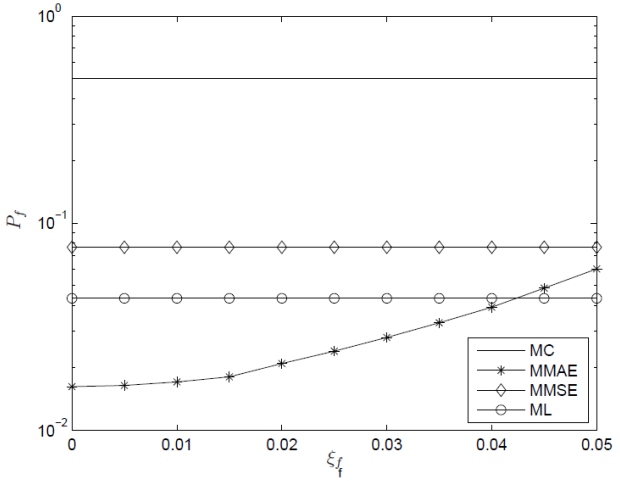
$$P_f = Pr\left\{\left|\hat{k} - E\left\{\hat{k}\right\}\right| > m\right\}$$

$$m = 4$$

Resultados de simulações

Resultados: $\xi_f \neq 0$





$$P_f = Pr\left\{\left|\hat{k} - E\left\{\hat{k}\right\}\right| > m\right\}$$

$$m = 4$$

Implementação em FPGA

As técnicas discutidas neste trabalho foram implementadas em linguagem de hardware e sintetizadas para dispositivos Altera.

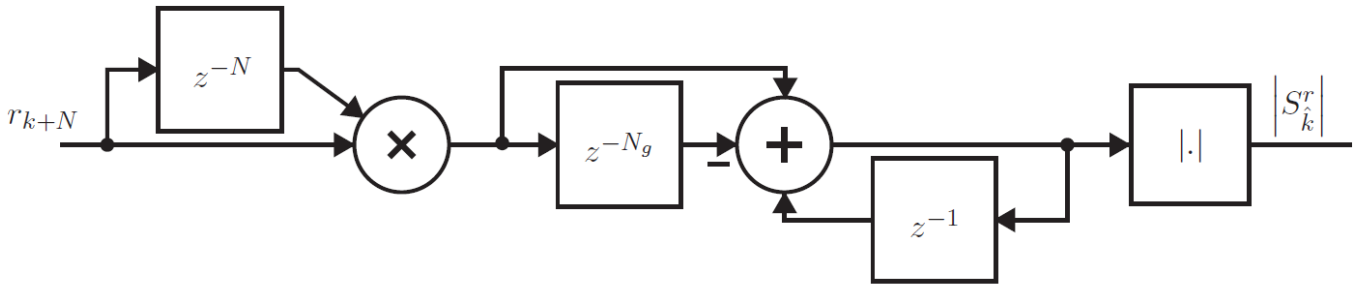
Todas as implementações fizeram uso de um importante recurso chamado recursividade.

Que consiste basicamente numa atualização sistemática do resultado de saída, em função do resultado anterior e realizando a adição de resultados novos e a subtração de resultados antigos.

Implementação em FPGA

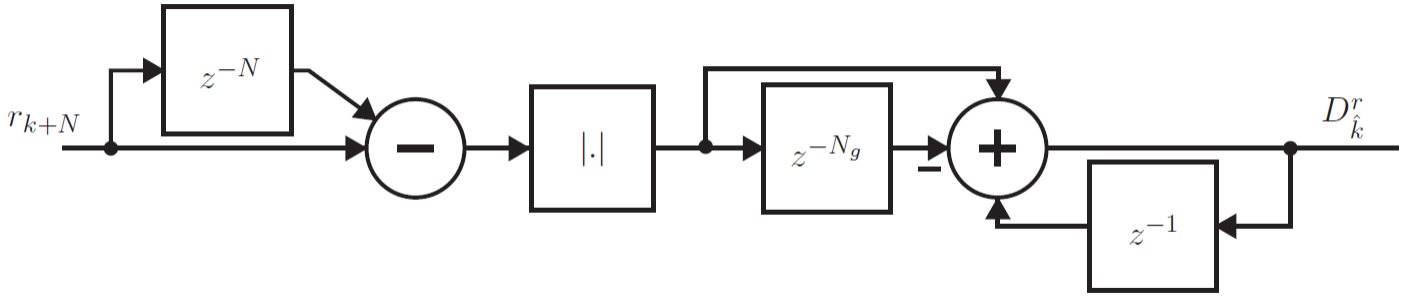
Recursividade para MC:

$$|S_k^r| = \left| S_{k-1}^r + r_k^H r_{k+N} - r_{k-N_g}^H r_{k+N-N_g} \right| .$$



Recursividade para MMAE:

$$D_k^r = D_{k-1}^r + |r_k - r_{k+N}| - \left| r_{k-N_g} - r_{k+N-N_g} \right| .$$



Implementação em FPGA

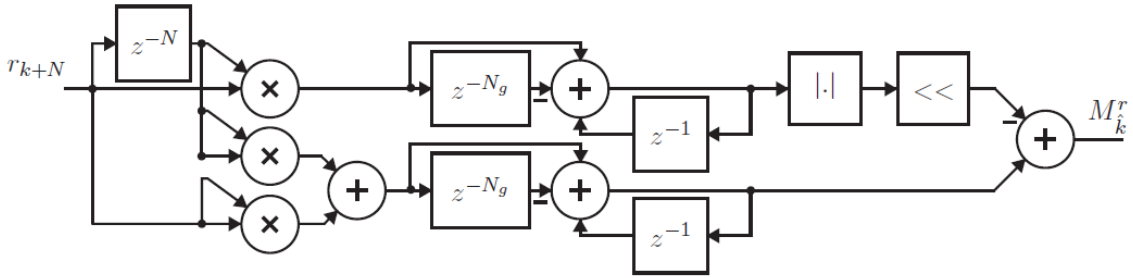
Recursividade para MMSE:

$$M_k^r = O_k^r - 2\left|S_k^r\right|,$$

$$O_k^r = O_{k-1}^r + Q_k^r - Q_{k-N_g}^r,$$

$$Q_k^r = P_k^r + P_{k+N}^r,$$

$$P_k^r = r_k^H r_k.$$

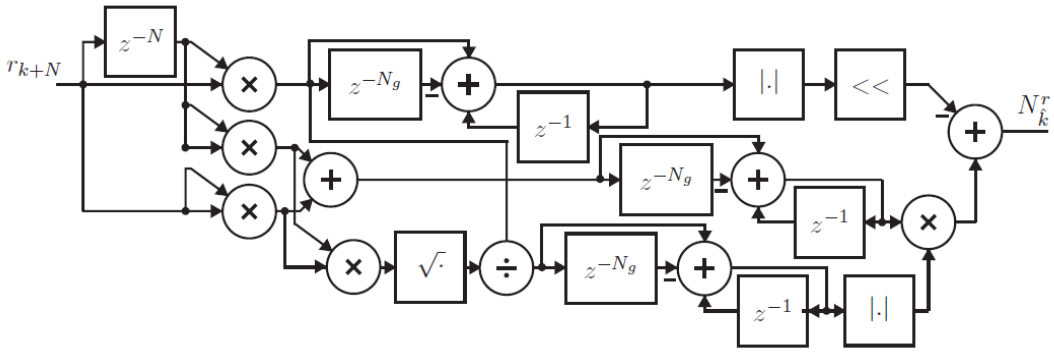


Recursividade para ML:

$$N_k^r = \left|\rho_k^r\right| O_k^r - 2\left|S_k^r\right|,$$

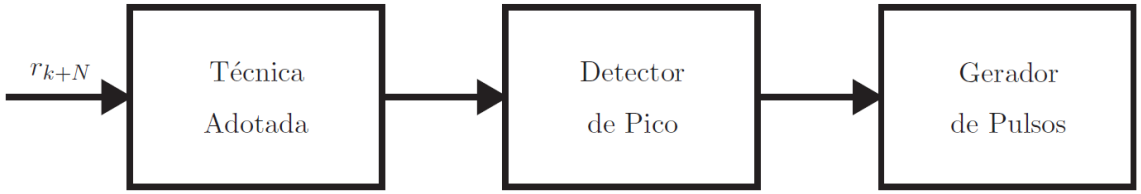
$$\left|\rho_k^r\right| = \left|\rho_{k-1}^r + R_k^r - R_{k-N_g}^r\right|,$$

$$R_k^r = \frac{r_k^H r_{k-N}}{\sqrt{P_k^r P_{k+N}^r}}.$$

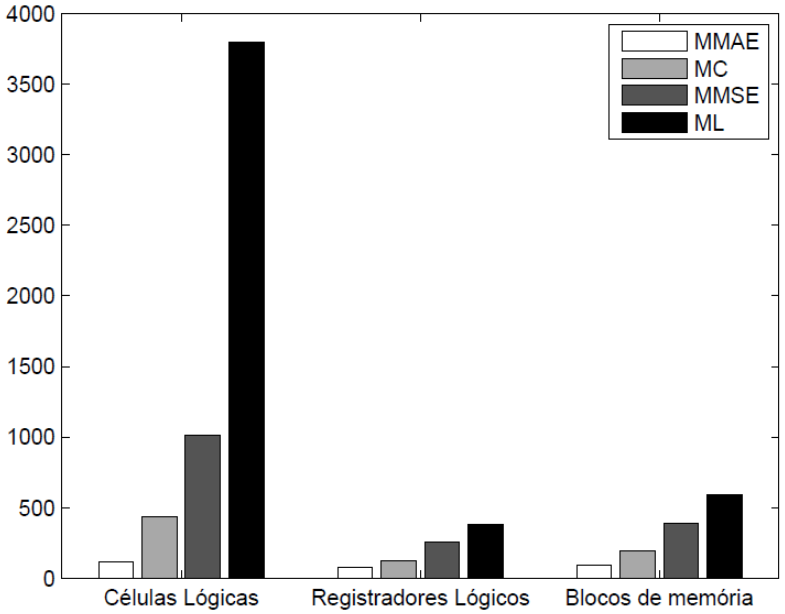


Implementação em FPGA

Sistema como um todo:

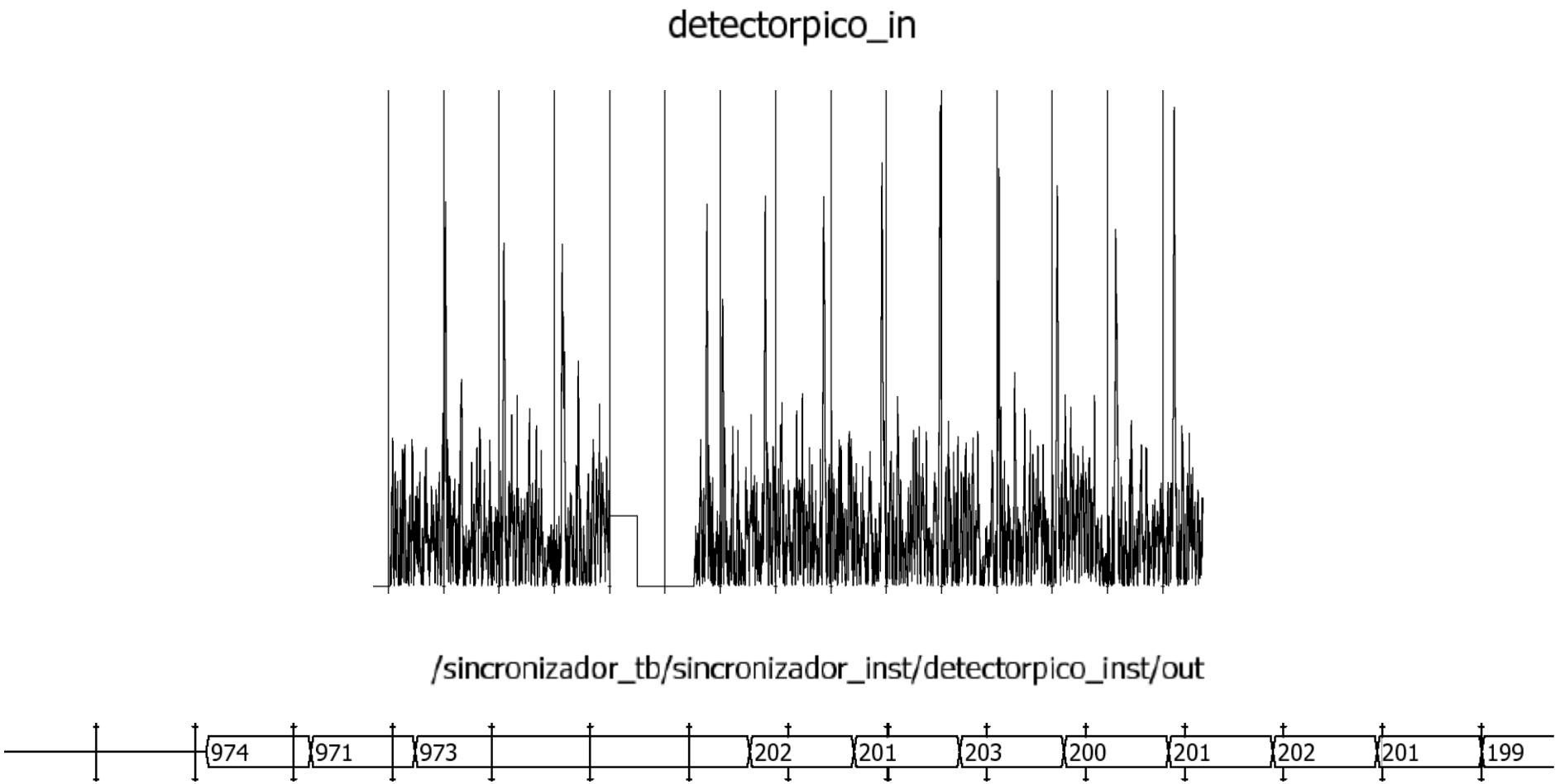


Complexidade em FPGA



Implementação em FPGA

Verificação:



Conclusão

- **Este trabalho abordou métodologias de sincronização que não possuem conhecimento detalhado sobre o sinal de referência adotado para sincronização, embora, conheça algumas propriedades estatísticas referente ao mesmo.**
- **Foi realizado uma comparação entre as técnicas estudadas, quanto ao desempenho, bem como, no ponto de vista de complexidade de implementação em FPGA.**
- **Neste sentido, o trabalho propiciou o desenvolvimento de alguns conceitos, que certamente serão importantes no decorrer da carreira.**
- **Como trabalhos futuros, pode-se destacar, a investigação destas mesmas técnicas em contextos de menor restrição e desenvolvimentos de novas soluções para o problema estudado.**

Apêndice - Referências das ilustrações

[1]: http://www.evolutionoftechnology.com/

[2]: http://skvots.net/museum-visit-uk.html

Informações do trabalho

Trabalho Final de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para a obtenção da graduação em Engenharia Elétrica.

Título: TÉCNICAS DE SINCRONISMO TEMPORAL EM SISTEMAS OFDM
Aluno: Marcos Vinícius Silva Oliveira
Orientador: Augusto Santiago Cerqueira

Banca examinadora:

Augusto Santiago Cerqueira, D. Sc.
Moisés Vidal Ribeiro, D. Sc.
Fabrício Pablo Virgínio de Campos, M. Sc.

Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Engenharia
Curso de Engenharia Elétrica