Tolerância a falhas - FFT

...

Augusto Boranga
Jonathan Martins
Lucas Assis
Murilo Wolfart

Fast Fourier Transform

- Algoritmo que transforma sinais no domínio de espaço para o domínio frequência
- Frequentemente utilizado em processamento de imagens
- Apresenta redundâncias inerentes

Implementações

- Algoritmo de Cooley-Tukey em Python
- Algoritmo de Cooley-Tukey em C
- Algoritmo de Cooley-Tukey em C++
- Biblioteca FFTW
- Biblioteca FFTW utilizando 2 threads

Testes

- Todas as injeções foram realizadas sob um arquivo jpg de 1024x1024
- A imagem foi (equivocadamente) linearizada em um vetor unidimensional
- Um algoritmo para a transformada inversa foi implementado mas não utilizado devido ao equívoco anterior, que foi percebido tardiamente

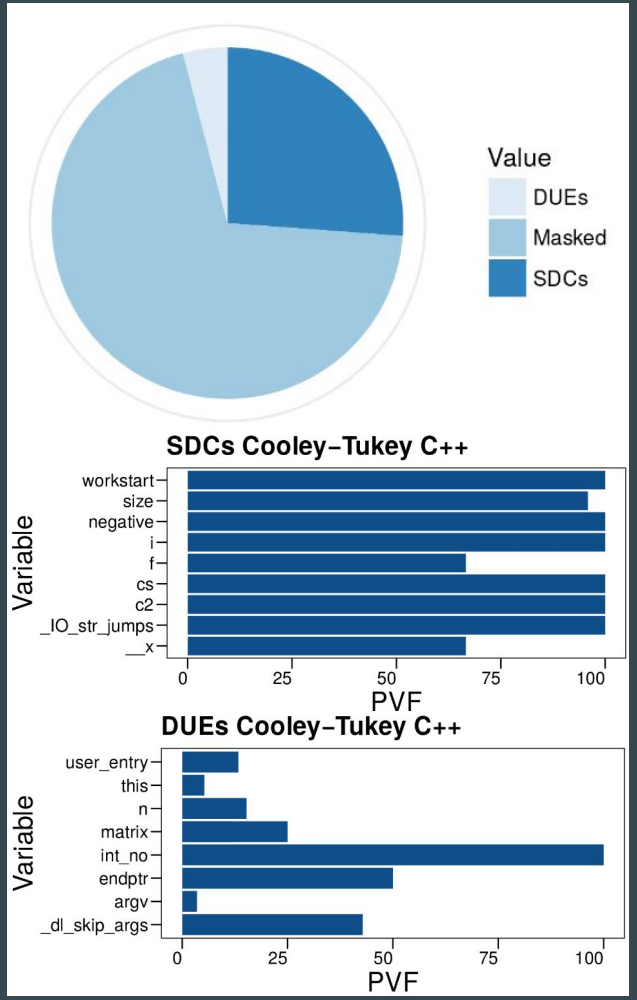
Vulnerabilidade

- Implementação em Python se mostrou extremamente vulnerável possivelmente graças à sua natureza interpretada
- Implementações utilizando a biblioteca FFTW se mostraram mais resilientes, possivelmente graças à verificações internas

Implementation	Injections	SDCs	DUEs	PVF.SDCs	PVF.DUEs
Cooley-Tukey C	3191	830	183	0.26	0.06
Cooley-Tukey CPP	3723	974	152	0.26	0.04
FFTW CPP	4907	1239	32	0.25	0.01
FFTW 2T CPP	3723	803	333	0.22	0.09
Cooley-Tukey Python	457	437	20	0.96	0.04

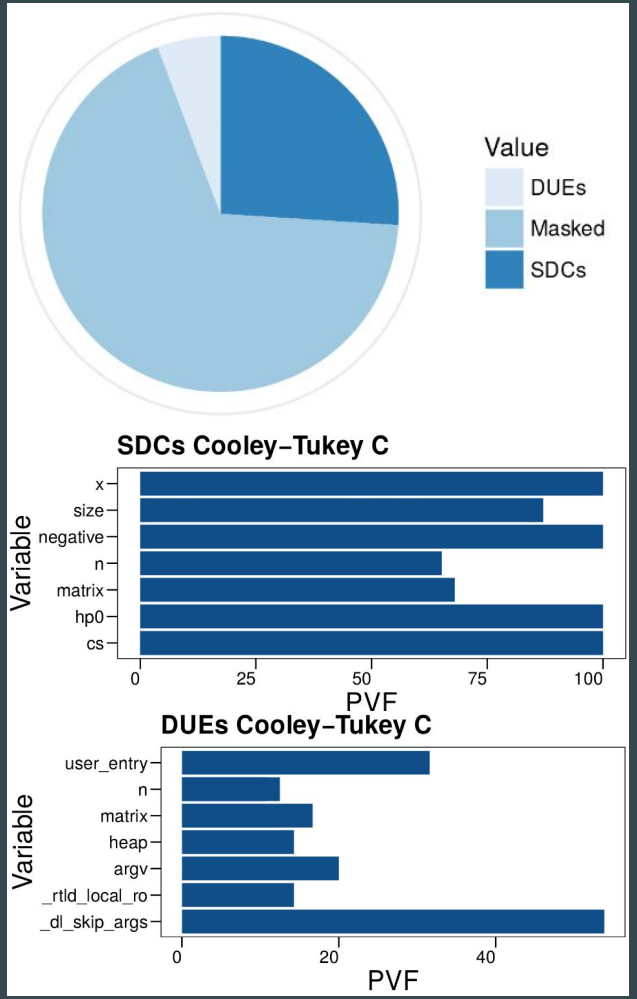
Cooley-Tukey C++

- Em SDCs, aparecem apenas duas variáveis pertencentes à aplicação
- Sendo variáveis de controle, a duplicação facilmente detecta a maioria das falhas sem grande prejuízo de tempo/memória
- Em DUEs, variáveis internas são incomparavelmente mais vulneráveis



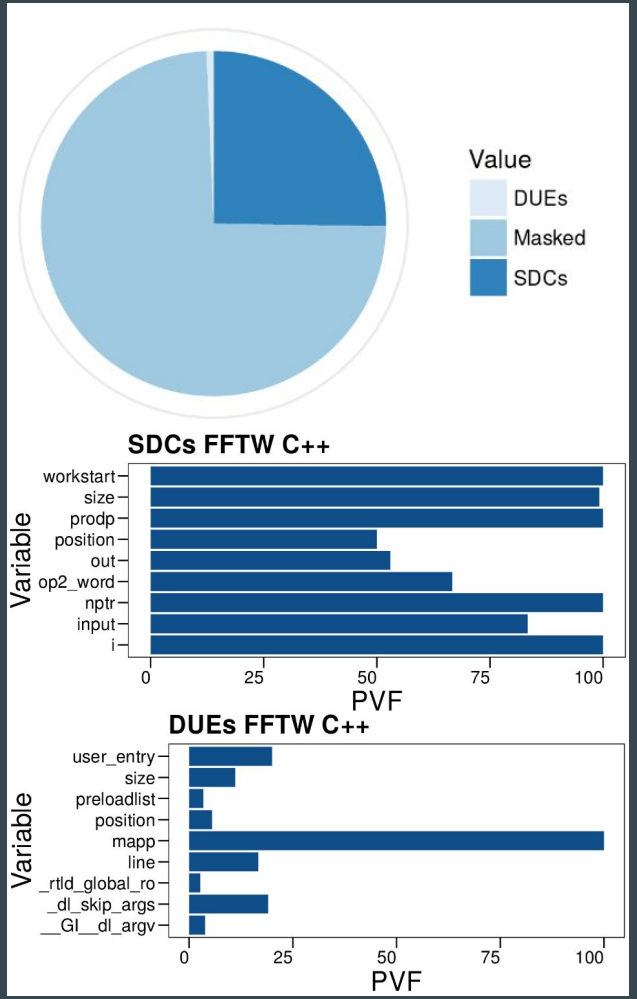
Cooley-Tukey C

- Em SDCs, além das variáveis de controle, passa a aparecer a matriz resultante, que precisa de técnicas mais elaboradas para ser protegida
- Em DUEs, variáveis internas continuam significativamente mais relevantes



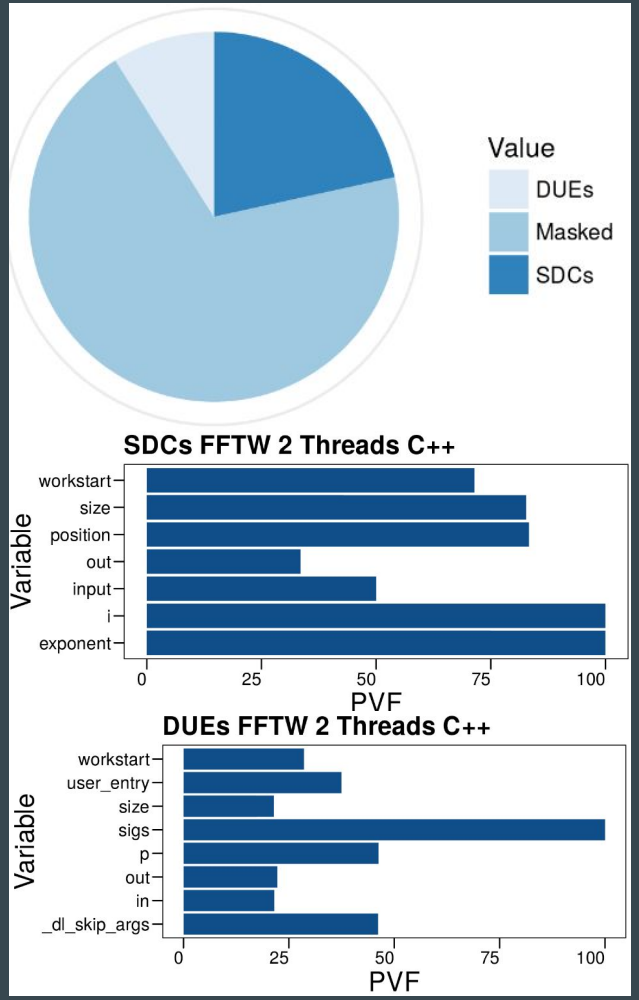
FFTW

- Em SDCs passam a aparecer o vetor original e o resultado final
- Pouquíssimos DUEs, possivelmente devido à verificações internas
- Novamente temos variáveis internas notavelmente mais vulneráveis em DUEs



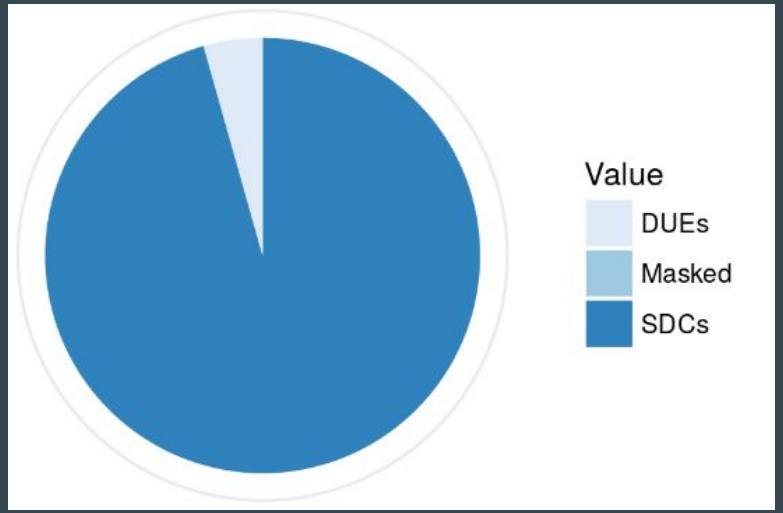
FFTW 2 Threads

- Novamente o vetor inicial e final aparecem como potencias causadores de SDCs
- Maior percentual de DUEs entre todos os testes, possivelmente indicando que injeções são mais nocivas à uma execução paralela
- Dominância novamente das variáveis de controle dentre as maiores causadoras de DUEs



Cooley-Tukey Python

- Nenhum mascaramento em mais de 500 injeções
- Todas variáveis afetadas fazem parte do interpretador Python
- Análise abandonada

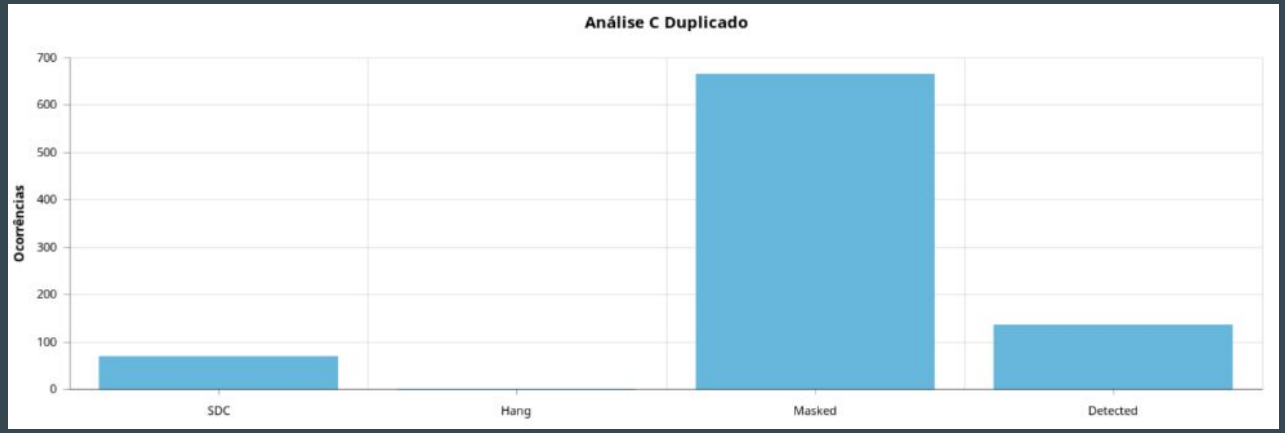


Duplicação do Código

- Realizada apenas para as implementações em C e C++
- Conta com um arquivo externo utilizado para sinalização de erros detectados internamente
- Compara com o resultado original apenas o primeiro resultado
- Não é capaz de correlacionar o resultado da injeção com a detecção interna do erro

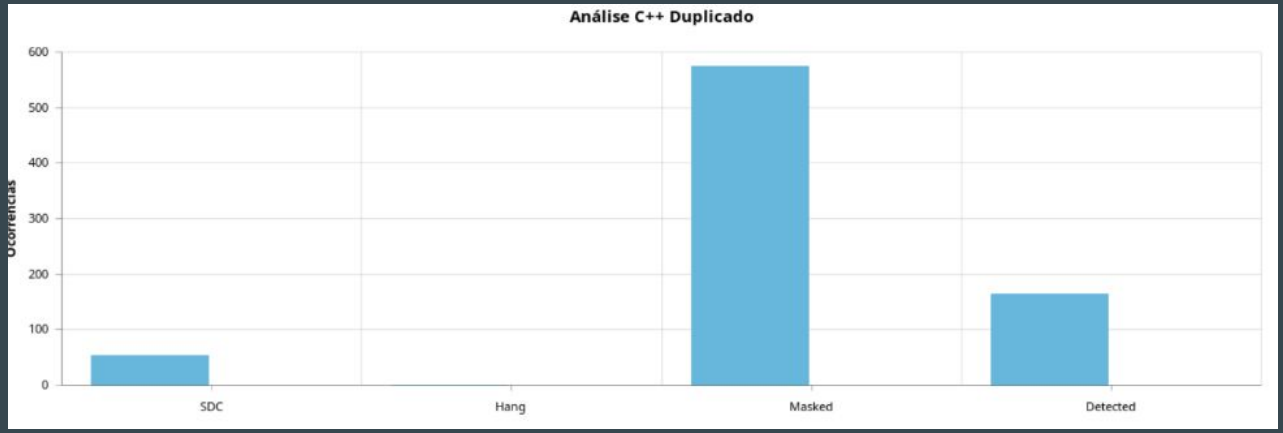
Duplicação do Código - C

- Foram detectados erros o suficiente para supor que todos os SDCs seriam detectados
- Alguns erros que não causaram SDCs foram detectados como errados, possivelmente por acontecerem na segunda execução



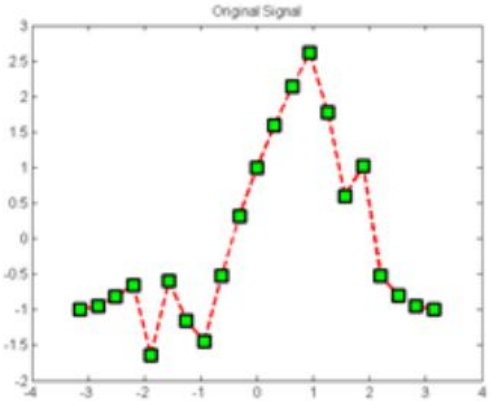
Duplicação do Código - C++

- Novamente, foram detectados erros o suficiente para supor que todos os SDCs seriam detectados
- Ainda mais erros não contabilizados pelo CAROL-FI foram contabilizados, reforçando sua possível ocorrência na segunda execução



Fast Fourier Transform - Redundância

- DFT(S)



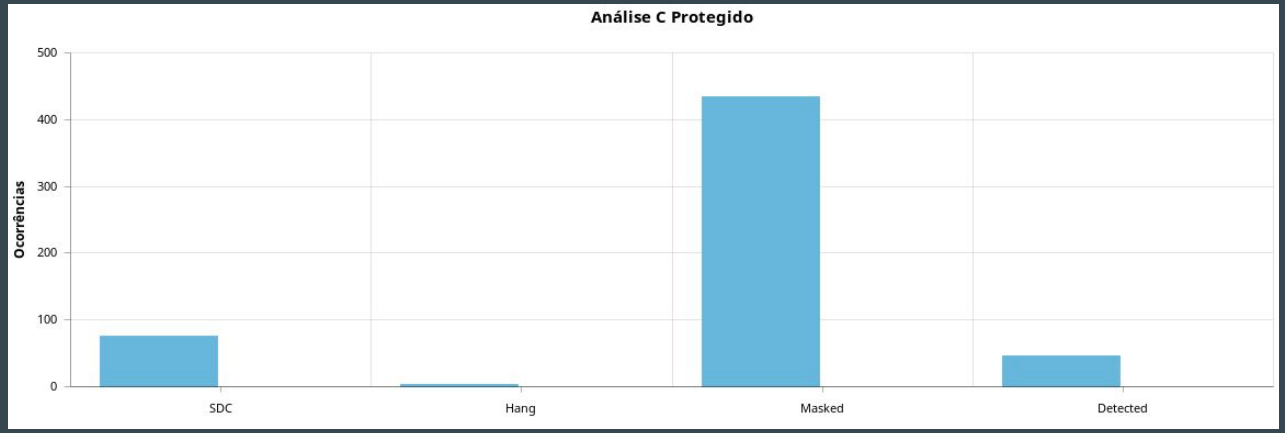
$$|F[u]| = |F[-u]| = \sqrt{R^2[u] + I^2[u]}$$

Same color indicates complex conjugates

	F(0)	F(1)	F(2)	F(3)	F(4)	F(5)	F(6)	F(7)	F(8)	F(9)	F(10	F(11	F(12	F(13	F(14	F(15	F(16	F(17	F(18	F(19	F(20
coefficients	-1.0	-12.3400 + 9.9710i	2.7292 - 7.5767i	-0.2374 + 0.8033i	0.1526 - 0.1012i	0.7064 - 0.7012i	-2.2328 + 1.8139i	-0.3511 + 0.2222i	2.5823 - 1.0021i	0.6344 - 0.1388i	-1.6437 + 0.1251i	-1.6437 - 0.1251i	0.6344 + 0.1388i	2.5823 + 1.0021i	-0.3511 - 0.2222i	-2.2328 - 1.8139i	0.7064 + 0.7012i	0.1526 + 0.1012i	-0.2374 - 0.8033i	2.7292 + 7.5767i	-12.3400 - 9.9710i

“Selective Hardening” - C

- Não foram detectados erros o suficiente para cobrir todos SDCs
- Tempo de execução diminuiu em 30% em comparação com a duplicação, mas os erros detectados internamente foram reduzidos drasticamente



Conclusão

- A duplicação, além de ter um overhead enorme, cobre possivelmente mais erros do que seria necessário
- Apesar da existência da redundância na FFT, é preciso explorá-la mais cuidadosamente para que seu uso se torne vantajoso
- Ainda existe a possibilidade de que outras propriedades da FFT sejam utilizadas para realizar um selective hardening efetivo, mas o grupo não conseguiu explorá-las nesse trabalho