



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA



DEPURAÇÃO DE ERROS GROSSEIROS VIA CRUZAMENTO DE INFORMAÇÕES EM ARQUITETURAS DE ESTIMAÇÃO DE ESTADOS BASEADAS EM MÉTODOS DE FUSÃO

Grupo IX - GOP

Autores:

Antonio José Alves Simões Costa
Rodolfo Mussiato Gonçalves



SUMÁRIO

- Introdução
- Estimação de Estados em Sistemas de Potência
- Fusão de Dados com Múltiplos Sensores
- Processamento de Erros Grosseiros
- Resultados das Simulações
- Conclusões

INTRODUÇÃO (I)

Contextualização do Problema

- Estimação de Estados em Sistemas de Potência (EESP):
 - Grande importância para **Operação em Tempo Real**;
 - Tradicionalmente, processa informações coletadas por **sistemas SCADA**.
- Advento dos **Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS)**:
 - Integração das medidas fasoriais à ESSP;
 - Medidas fasoriais, assim como as convencionais, são susceptíveis a erros de medição.

INTRODUÇÃO (II)

Objetivos e Contribuições deste Informe Técnico

- Aprimorar o desempenho da estimativa de estados na presença de medidas convencionais (SCADA) e fasoriais (PMU):
 - Processamento de Erros Grosseiros (EGs) como foco principal.
- Explorar a **independência estatística** entre as duas classes de medidas.
- Apontar a **combinação mais efetiva de métodos** para o tratamento de EGs.
- **Validação** da abordagem proposta:
 - Análise das estimativas finais mediante índices de desempenho e métricas obtidas pós-processamento de EGs e fusão de estimativas.

Fontes de Dados para EESP

- **Medidas Convencionais:**
 - Oriundas do sistema SCADA;
 - Medidas assíncronas;
 - Taxa de atualização relativamente baixa.
- **Medidas Fasoriais Sincronizadas:**
 - Provenientes do SMFS;
 - Medidas sincronizadas;
 - Alta taxa de atualização;
 - Elevado nível de precisão.

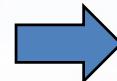
Metodologia de Solução Adotada

- Estimadores SCADA e PMU baseados no método dos **Mínimos Quadrados Ponderados**;
- Utilização de **Métodos de Fusão** para combinar estimativas individualmente obtidas a partir de medidas SCADA e medidas fasoriais → **Estimadores Híbridos**.

ESTIMADORES HÍBRIDOS MULTI-ESTÁGIOS

- Medidas convencionais e fasoriais processadas em estimadores distintos:

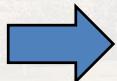
Estimador baseado
apenas em medidas
do sistema SCADA



- Preserva inteiramente a estrutura dos estimadores convencionais;
- Não é necessário modificar ou conhecer detalhes de implementação dos estimadores existentes.

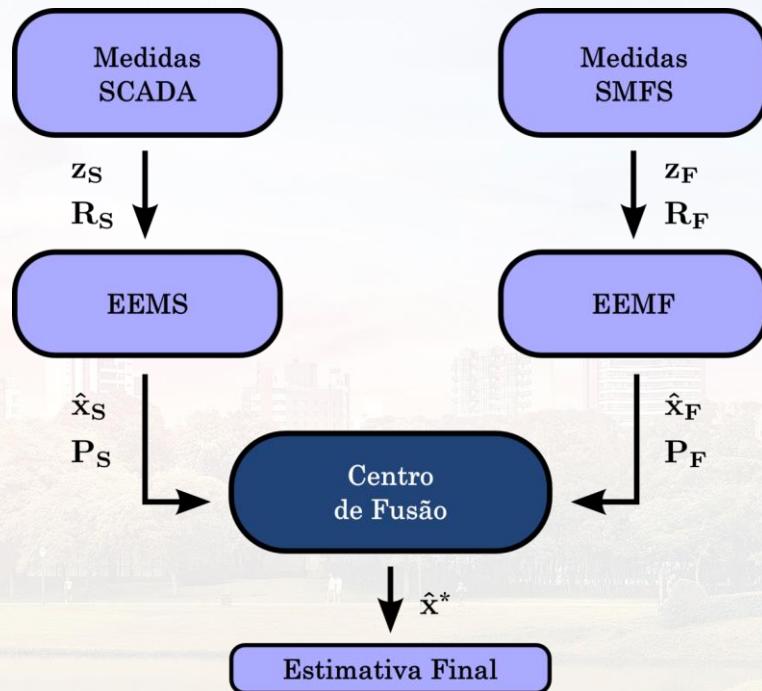


Estimador baseado
apenas em medidas
do SMFS



- Podem ser utilizados *estimadores lineares*;
- Requisito de *observabilidade* da rede com respeito às medidas fasoriais é relaxado.

FUSÃO ÓTIMA DE ESTIMATIVAS



PROCESSAMENTO DE ERROS GROSSEIROS

- É fundamental que o estimador seja capaz de **expurgar erros grosseiros (EGs)** presentes tanto em medidas convencionais quanto fasoriais;
- Processamento de EGs realizado como **etapa de pós-processamento** de cada estimador;
- **Resíduos de estimação:** diferenças entre valores medidos e estimados;
- **Métodos utilizados** para processamento de erros grosseiros:
 - Teste do **máximo resíduo normalizado**: $\max |r_i^N| > \lambda \Rightarrow$ presença de EG;
 - **Método- \hat{b}** ;
 - Identificação baseada em **testes de hipóteses**, ou **HTI** (processa EGs múltiplos).
- **Hipótese:** medidas SCADA e fasoriais são **estatisticamente independentes**.

- Métodos baseados no cruzamento de informações:
- Resíduos normalizados próprios:
 - Calculados para um dado estimador (SCADA ou PMU) a partir das próprias estimativas;
 - Denotados por r_{SS}^N e r_{FF}^N .
- Resíduos normalizados cruzados:
 - Calculados para um dado estimador (SCADA ou PMU) a partir das estimativas obtidas do outro estimador;
 - Denotados por r_{SF}^N e r_{FS}^N .
- Abordagem pode ser estendida para outros métodos (p. ex., método \hat{b})

PROCESSAMENTO DE EGs PARA ESTIMADORES BASEADOS NA FUSÃO DE ESTIMATIVAS (II)

Tabela de Diagnóstico para Presença de Erros Grosseiros

Limites Violados			Diagnóstico
SS	SF	FS	
Sim	Sim	Não	Erro grosseiro em medidas convencionais (área observável por PMUs)
Não	Sim	-	Erro grosseiro em medidas fasoriais
Sim	Sim	Sim	Erro grosseiro em medidas convencionais e fasoriais
Sim	Não	-	Erro grosseiro em medidas convencionais (área não-observ. por PMUs)
Não	Não	-	Nenhum erro grosseiro detectado/identificado

Estudos de Caso

Condições de Simulação

- Sistema-teste IEEE-118 barras:
 - Plenamente SCADA-observável;
 - Apenas parcialmente PMU-observável;
- Magnitude dos EGs simulados: entre 5 e 30 desvios-padrão;
- Níveis de exatidão adotados para simulação das medidas:

Classe	Quantidade Medida	Exatidão
SCADA	Módulo de tensão	1%
SCADA	Injeção nodal de potência ativa e reativa	3%
SCADA	Fluxo de potência ativa e reativa	3%
SMFS	Módulo de tensão e corrente	0,4%
SMFS	Ângulo de fase da tensão e corrente	0,3%

- São realizadas 100 simulações, e em cada uma delas são variados aleatoriamente:
 - Valor das medidas;
 - Quantidades contaminadas por EG;
 - Magnitude dos EGs.
- Casos simulados incluem:
 - Erros simples/múltiplos em medidas SCADA;
 - Erros simples/múltiplos em medidas fasoriais.
- Índices de desempenho:
 - $IEfic = \frac{\text{número de casos com identif. correta}}{\text{número total de casos}}$
 - Número de re-estimações necessárias;
 - Validação da estimação final, via métricas de qualidade das estimativas.

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

- Médias dos Índices de Desempenho na Detecção/Identificação

Índice	Método				
	r^N	\hat{b}	HTI	r_{cruz}^N (*)	\hat{b}_{cruz} (*)
<i>IEfic (%)</i>	84,75	91,75	95	100	100
<i>Número de Re-estimações</i>	4,11	4,32	1	1	1
<i>Tempo computacional (s)</i>	0,43	0,29	0,28	0,21	0,23

(*) Aplicável apenas à região PMU-observável

- Métricas de qualidade calculadas após fusão das estimativas convencionais e fasoriais indicam que os critérios de precisão são satisfeitos.

CONCLUSÕES

- A incorporação, mesmo que gradual, de unidades de medição fasorial a sistemas elétricos de potência pode trazer importantes benefícios à estimativa de estados, incluindo o processamento de erros grosseiros;
- A utilização do cruzamento de informações SCADA – PMU, combinado com métodos convencionais de eficácia já testada, possibilita avanços na qualidade do processamento de EGs para diversos cenários;
- Embora os melhores resultados sejam obtidos quando a rede elétrica é plenamente PMU-observável, há claras indicações de melhoria de desempenho mesmo nos casos de observabilidade parcial com relação às medidas fasoriais;
- Os resultados obtidos apontam que o melhor desempenho é obtido pela combinação dos métodos de cruzamento de informações (para as regiões PMU-observáveis) e HTI (para as subredes onde a penetração de PMUs não garanta a observabilidade).

Prof. Antonio Simões Costa

 (48) 3721-4987

 simoes.costa@ufsc.br