Estimador de Estado WLS Não Linear - Desacoplado

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - EESC - USP
Prof.: João Bosco A. London Junior
E-mail: jbalj@sc.usp.br

Algoritmo do Estimador de Estado MQP (versão acoplada)

Passo 1: Fazer $v = 0$ e escolher uma solução inicial $x^{v}=x^{0}$ (*flat start*);

Passo 2: Calcular as matrizes $H(x)$ e $G(x)$, no ponto $x=x^{v}$;

Passo 3: Obter a correção nas variáveis de estado, através da equação normal, e atualizá-las:

$$\begin{cases} \Delta x^{v} = G(x^{v})^{-1} \cdot H(x^{v})^{t} \cdot W \cdot [z - h(x^{v})] \\ x^{v+1} = x^{v} + \Delta x^{v} \end{cases}$$

Passo 4: Testar a convergência: se max $|\Delta x^{v}| \leq \varepsilon$, ou $J(x^{v})-J(x^{v-1}) \leq \varepsilon$, o processo convergiu e $\hat{x} = x^{v+1}$. Caso contrário, faça $v = v+1$ e volte ao passo 2.

Algoritmo do Estimador de Estado MQP (versão acoplada)

✓ Para o estudo da convergência as tensões iniciais em cada barra são fixadas com módulos unitários e ângulos nulos (*flat start*) e a tolerância é especificada em radianos para os ângulos e em p.u. para as magnitudes

Estimador de Estado MQP Métodos Desacoplados

- Baseiam-se no desacoplamento Pθ - QV, conhecido como desacoplamento do modelo, e dividem uma iteração do algoritmo acoplado em duas meias iterações
  - Desacoplamento do modelo refere-se ao fato de as sensibilidades ∂P/∂θ e ∂Q/∂V serem mais acentuadas que as sensibilidades ∂P/ ∂V e ∂Q/∂θ

Estimador de Estado MQP
Métodos Desacoplados

- Divide uma iteração do algoritmo acoplado em duas meias iterações
  - Através desse desacoplamento, o modelo de medição pode ser expresso como:

$$z = h(x) + w \Longrightarrow \begin{bmatrix} z_p \\ z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_p(x) \\ h_q(x) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_p \\ w_q \end{bmatrix}$$

  - onde os índices "*p*" e "*q*" indicam, respectivamente, modelo Pθ (ou modelo ativo) e QV (ou modelo reativo)

Estimador de Estado MQP
Métodos Desacoplados

- Lembrando de que, no modelo Pθ, as variáveis de estado a serem estimadas são os ângulos de fase das tensões nodais e no modelo QV tais variáveis são as magnitudes das tensões nodais, tendo em vista ainda que, no modelo Pθ o conjunto de medidas é formado apenas pelas medidas de potência ativa, e no modelo QV pelas medidas de potência reativa e de magnitude de tensão, obtém-se:

$$H(x) = \frac{\partial h(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial h_p(x)}{\partial \theta} & \dfrac{\partial h_p(x)}{\partial V} \\ \dfrac{\partial h_q(x)}{\partial \theta} & \dfrac{\partial h_q(x)}{\partial V} \end{bmatrix} \stackrel{\Delta}{=} \begin{bmatrix} H_{P\theta} & H_{PV} \\ H_{Q\theta} & H_{QV} \end{bmatrix}$$

Estimador de Estado MQP
Métodos Desacoplados

- Lembrando de que, no modelo Pθ, as variáveis de estado a serem estimadas são os ângulos de fase das tensões nodais e no modelo QV tais variáveis são as magnitudes das tensões nodais, tendo em vista ainda que, no modelo Pθ o conjunto de medidas é formado apenas pelas medidas de potência ativa, e no modelo QV pelas medidas de potência reativa e de magnitude de tensão, obtém-se:

$$H(x) = \frac{\partial h(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial h_p(x)}{\partial \theta} & \cancel{\dfrac{\partial h_p(x)}{\partial V}} \\ \cancel{\dfrac{\partial h_q(x)}{\partial \theta}} & \dfrac{\partial h_q(x)}{\partial V} \end{bmatrix} \stackrel{\Delta}{=} \begin{bmatrix} H_{P\theta} & \cancel{H_{PV}} \\ \cancel{H_{Q\theta}} & H_{QV} \end{bmatrix}$$

Estimador de Estado MQP
Métodos Desacoplados

- Lembrando de que, no modelo Pθ, as variáveis de estado a serem estimadas são os ângulos de fase das tensões nodais e no modelo QV tais variáveis são as magnitudes das tensões nodais, tendo em vista ainda que, no modelo Pθ o conjunto de medidas é formado apenas pelas medidas de potência ativa, e no modelo QV pelas medidas de potência reativa e de magnitude de tensão, obtém-se:

$$H(x) = \frac{\partial h(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial h_p(x)}{\partial \theta} & 0 \\ 0 & \dfrac{\partial h_q(x)}{\partial V} \end{bmatrix} \stackrel{\Delta}{=} \begin{bmatrix} H_{P\theta} & 0 \\ 0 & H_{QV} \end{bmatrix}$$

Estimador de Estado MQP
Métodos Desacoplados

- Temos ainda:

$$W = \begin{bmatrix} W_P & 0 \\ 0 & W_Q \end{bmatrix} \qquad G(x) = \begin{bmatrix} G_{P\theta} & G_{PV} \\ G_{Q\theta} & G_{Q\theta} \end{bmatrix}$$

Estimador de Estado MQP
Métodos Desacoplados

- Com estas aproximações, as iterações para este algoritmo são executadas da seguinte maneira:
  - Meia iteração: cálculo do incremento (acoplamento ativo):

$$\begin{cases} \Delta\theta^{v} = \left[G_{P\theta}\right]^{-1} \cdot H_{P\theta}^{T} \cdot W_P \cdot [z_P - h(\theta^{v}, V^{v})] \\ \theta^{v+1} = \theta^{v} + \Delta\theta^{v} \end{cases}$$

  - Meia iteração: cálculo do incremento (acoplamento reativo):

$$\begin{cases} \Delta V^{v} = \left[G_{QV}\right]^{-1} \cdot H_{QV}^{T} \cdot W_Q \cdot [z_Q - h(\theta^{v+1}, V^{v})] \\ V^{v+1} = V^{v} + \Delta V^{v} \end{cases}$$

Estimador de Estado MQP
Métodos Desacoplados

- Com estas aproximações, as iterações para este algoritmo são executadas da seguinte maneira:
  - Meia iteração: cálculo do incremento (acoplamento ativo):

$$\begin{cases} \Delta\theta^{v} = \left[G_{P\theta}\right]^{-1} \cdot H_{P\theta}^{T} \cdot W_P \cdot [z_P - h(\theta^{v}, V^{v})] \\ \theta^{v+1} = \theta^{v} + \Delta\theta^{v} \end{cases}$$

  - Meia iteração: cálculo do incremento (acoplamento reativo):

$$\begin{cases} \Delta V^{v} = \left[G_{QV}\right]^{-1} \cdot H_{QV}^{T} \cdot W_Q \cdot [z_Q - h(\theta^{v+1}, V^{v})] \\ V^{v+1} = V^{v} + \Delta V^{v} \end{cases}$$

Método Desacoplado Rápido
(versão b/x)

- As particularidades do algoritmo desacoplado rápido, versão b-x, são as seguintes (Monticelli; Garcia, 1990):
  - as matrizes Jacobianas são calculadas apenas para o *flat-start* (*V = 1 p.u.* e *θ = 0 rad.* para todas as barras do sistema) e mantidas constantes ao longo do processo iterativo
  - as submatrizes H_{PV} e $H_{Q\theta}$ são desprezadas
  - as resistências das linhas de transmissão são desprezadas no cálculo da submatriz H_{QV}

Método Desacoplado Rápido (versão b/x)

- Monticelli, A; Garcia, A. V. (1990). Fast decoupled state estimators. IEEE Transactions on Power Systems, VOL. 5, N°2, pp. 556-564, maio

Estimador de Estado WLS Não Linear - Desacoplado

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - EESC - USP
Prof.: João Bosco A. London Junior
E-mail: jbalj@sc.usp.br

14