Vyrovnání metodou nejmenších čtverců

Lubomír Soukup

soukup@utia.cas.cz

26. 2. 2018

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření **Podmínková měření**

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$

$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\ell}$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\ell}$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\ell}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \boldsymbol{\lambda}$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}}_{} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\ell}}_{}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})}^{} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\overbrace{\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}}_{}}^{} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}_{}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}}_{} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}_{}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})}^{} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}^{}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}}_{\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}_{\overbrace{-\lambda}}$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\ell) = \mathbf{c}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}}_{} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}_{}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})}^{} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}^{}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\ell}) =: \mathbf{u}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+ \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\ell}) =: \mathbf{u}$$

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{v} \doteq \mathbf{u}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B} \cdot \underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\ell}) =: \mathbf{u}$$

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{v} \doteq \mathbf{u}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B} \cdot \underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\ell}) =: \mathbf{u}$$

$$\mathbf{B} \cdot \overbrace{\mathbf{v}} \doteq \mathbf{u}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \underbrace{\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\ell) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B} \cdot \underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}} = \underbrace{\mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\ell})} =: \mathbf{u}$$

$$\mathbf{B} \cdot \overbrace{\mathbf{v}} \doteq \mathbf{u}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B} \cdot \underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \underbrace{\mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\ell})} =: \mathbf{u}$$

$$\mathbf{B} \cdot \overbrace{\mathbf{v}} \doteq \overbrace{\mathbf{u}}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A}\cdot\mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A}\cdot\mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P}\cdot\mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h}\in\mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\ell) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B}\cdot \underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \underbrace{\mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\ell})} =: \mathbf{u}$$

$$\mathbf{B}\cdot \overbrace{\mathbf{v}} \doteq \overbrace{\mathbf{u}}$$

$$\alpha(\mathbf{v}) := \mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P}\cdot\mathbf{v}$$

Přehled vyrovnání zprostř. a podmínkových měření

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\boldsymbol{\lambda}}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^{T} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^{n}} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková měření

$$\mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathbf{c}$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathbf{c}$$

$$\mathbf{B} \cdot \underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} = \underbrace{\mathbf{c} - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})} =: \mathbf{u}$$

$$\mathbf{B} \cdot \overbrace{\mathbf{v}} \doteq \overbrace{\mathbf{u}}$$

$$\alpha(\mathbf{v}) := \mathbf{v}^{T} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}$$

$$\alpha(\hat{\mathbf{v}}) = \min_{\substack{\mathbf{v} \in \mathbb{R}^{m} \\ \mathbf{B} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{u}}} \alpha(\mathbf{v})$$

Řešení zprostředkujících a podmínkových měření

Zprostředkující měření **Podmínková měření**

Vyrovnané hodnoty:

$$\hat{\mathbf{h}} = \left(\mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{P}\cdot\lambda\,, \qquad \hat{\mathbf{v}} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{B}^T\left(\mathbf{B}\mathbf{P}^{-1}\mathbf{B}^T\right)^{-1}\mathbf{u}$$

Kovarianční matice:

$$\hat{\mathbf{C}}_{\mathbf{X}} = \left(\mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{A}\right)^{-1}\,, \qquad \hat{\mathbf{C}}_{\mathbf{L}} = \mathbf{P}^{-1} - \mathbf{P}^{-1}\mathbf{B}^T\left(\mathbf{B}\mathbf{P}^{-1}\mathbf{B}^T\right)^{-1}\mathbf{B}\mathbf{P}^{-1}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření **Podmínková s neznámými**

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

Podmínková s neznámými

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$

Podmínková s neznámými

$\mathcal{B}(\ell) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$

Podmínková s neznámými

$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\ell}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření	Podmínková s neznámými
$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$	$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\ell) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$
$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$	$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$
$\varepsilon_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}$	$\mathbf{B} \cdot \varepsilon_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})$
$\mathbf{v}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$	$\mathbf{w}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u}$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\ell) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\mathbf{B} \cdot \varepsilon_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})$$

$$\mathbf{w}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \boldsymbol{\lambda}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\mathbf{B} \cdot \varepsilon_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})$$

$$\mathbf{w}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \underbrace{\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \lambda$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\ell) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\mathbf{B} \cdot \varepsilon_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})$$

$$\mathbf{w}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \underbrace{\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \; \overbrace{-\boldsymbol{\lambda}}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})$$

$$\mathbf{w}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\boldsymbol{\lambda}}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})$$

$$\mathbf{w}(\mathbf{h}) := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \underbrace{\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \; \overbrace{-\lambda}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\ell) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})$$

$$\overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A}\cdot\mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A}\cdot\mathbf{h} \overbrace{-\lambda}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B}\cdot\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A}\cdot\mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})}$$

$$\overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})} := \mathbf{A}\cdot\mathbf{h} - \mathbf{u}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\boldsymbol{\lambda}}$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})}$$

$$\overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}}_{} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}}_{}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})}^{} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\boldsymbol{\lambda}}^{}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P}_{\mathbf{L}} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}}_{} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})}_{}$$

$$\overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})}^{} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}}^{}$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\boldsymbol{\lambda}}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P}_{\mathbf{L}} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})}$$

$$\overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}}$$

$$\alpha(\mathbf{h}) := (\mathbf{w}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P}_{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{w}(\mathbf{h})$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\ell = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\overbrace{\underbrace{\varepsilon_{\mathbf{L}}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \, \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \tilde{\ell}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \, \overbrace{-\lambda}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P_L} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\ell) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\ell} + \varepsilon_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ} + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B} \cdot \varepsilon_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \, \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^{\circ}) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})}$$

$$\overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \, \overbrace{-\mathbf{u}}$$

$$\alpha(\mathbf{h}) := (\mathbf{w}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{w}(\mathbf{h})$$

Vyrovnání podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření

$$\boldsymbol{\ell} = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}} = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+ \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \tilde{\boldsymbol{\ell}}}$$

$$\overbrace{\mathbf{v}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\boldsymbol{\lambda}}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{v}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P}_{\mathbf{L}} \cdot \mathbf{v}(\mathbf{h})$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \omega(\mathbf{h})$$

Podmínková s neznámými

$$\mathbf{t} = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) = \mathcal{A}(\mathbf{x})$$

$$\mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) = \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h})$$

$$\underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \doteq \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+ \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})}$$

$$\overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})} := \mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}}$$

$$\alpha(\mathbf{h}) := (\mathbf{w}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P}_{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{w}(\mathbf{h})$$

$$\alpha(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n} \alpha(\mathbf{h})$$

Řešení zprostředkujících měření a podmínkových měření s neznámými

Zprostředkující měření **Podmínková s neznámými**

Vyrovnané hodnoty:

$$\hat{\mathbf{h}} = \left(\mathbf{A}^T\mathbf{P_L}\mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{P_L}\cdot\lambda\,,\qquad \hat{\mathbf{h}} = \left(\mathbf{A}^T\mathbf{P_T}\mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{P_T}\cdot\mathbf{u}$$

$$\mathbf{P_L} := \mathbf{C_L}^{-1}\,,\qquad \mathbf{P_T} := \left(\mathbf{B}\cdot\mathbf{C_L}\cdot\mathbf{B}^T\right)^{-1}\,.$$

Kovarianční matice:

$$\hat{\mathbf{C}}_\mathbf{X} = \left(\mathbf{A}^T\mathbf{P_L}\mathbf{A}\right)^{-1}\,,\qquad \hat{\mathbf{C}}_\mathbf{X} = \left(\mathbf{A}^T\mathbf{P_T}\mathbf{A}\right)^{-1}$$

Porovnání řešení zprostředkujících měření a podmínkových měření s neznámými

Řešení podmínkových měření s neznámými

je vpodstatě **stejné** jako řešení zprostředkujících měření.

Rozdíl je pouze ve stanovení váhové matice ($\mathbf{P_L}$, $\mathbf{P_T}$).

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell})$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\ell) =: \mathbf{t}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{0}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}}) \doteq \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L} \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} + \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}}) \doteq \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L} \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u} =: \mathbf{w}(\mathbf{h}) \,, \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\vartheta}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L})$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})} \doteq \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{u} =: \mathbf{w}(\mathbf{h}) \; ,$$

$$\mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)$$

$$\mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\vartheta}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad\qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) \qquad\qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})} \doteq \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L} \qquad\qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}} =: \mathbf{w}(\mathbf{h}) \, , \qquad\qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\vartheta}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\ell) =: \mathbf{t} \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\ell} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\ell})} \doteq \underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}} \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}} =: \mathbf{w}(\mathbf{h}) \ , \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\vartheta}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+ \mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})} \doteq \underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}} \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}} =: \overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})}, \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\vartheta}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad\qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) \qquad\qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{h}\ \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})}\ \doteq\ \underbrace{\mathbf{B}\cdot\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \qquad\qquad \mathbf{G}\cdot\mathbf{h} \doteq \underbrace{\boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)}$$

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{h}\ \overbrace{-\mathbf{u}}\ =:\ \overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})}\ , \qquad\qquad \mathbf{G}\cdot\mathbf{h} \doteq \boldsymbol{\vartheta}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}})$$

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{h}\underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})} \doteq \underbrace{\mathbf{B}\cdot\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}}$$

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{h}\ \overbrace{-\mathbf{u}} =: \overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})}\ ,$$

$$\mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{G}\cdot\mathbf{h} \doteq \underbrace{\boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)}$$

$$\mathbf{G}\cdot\mathbf{h} \doteq \overbrace{\boldsymbol{\vartheta}}$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad\qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}) \qquad\qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{h}\underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})} \doteq \underbrace{\mathbf{B}\cdot\boldsymbol{\varepsilon}_\mathbf{L}} \qquad\qquad \mathbf{G}\cdot\mathbf{h} \doteq \underbrace{\boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)}$$

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{h}\;\overbrace{-\mathbf{u}} =: \overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})}\,, \qquad\qquad \mathbf{G}\cdot\mathbf{h} \doteq \overbrace{\boldsymbol{\vartheta}}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{w}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{w}(\mathbf{h})\,, \quad \mathbf{P_T} := \left(\mathbf{B}\cdot\mathbf{C_L}\cdot\mathbf{B}^T\right)^{-1}\,,$$

Vyrovnání zprostř. měření s podmínkami pro neznámé

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}) = \mathcal{B}(\boldsymbol{\ell}) =: \mathbf{t} \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}} + \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}) \qquad \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \boldsymbol{\theta}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \underbrace{+\mathcal{A}(\mathbf{x}^\circ) - \mathcal{B}(\tilde{\boldsymbol{\ell}})} \doteq \underbrace{\mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_{\mathbf{L}}} \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \underbrace{\boldsymbol{\theta} - \mathcal{G}(\mathbf{x}^\circ)}$$

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} \overbrace{-\mathbf{u}} =: \overbrace{\mathbf{w}(\mathbf{h})}\ , \qquad \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} \doteq \overbrace{\boldsymbol{\vartheta}}$$

$$\omega(\mathbf{h}) := (\mathbf{w}(\mathbf{h}))^T \cdot \mathbf{P}_{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{w}(\mathbf{h})\ , \quad \mathbf{P}_{\mathbf{T}} := \left(\mathbf{B} \cdot \mathbf{C}_{\mathbf{L}} \cdot \mathbf{B}^T\right)^{-1}\ ,$$

$$\omega(\hat{\mathbf{h}}) = \min_{\substack{\mathbf{h} \in \mathbb{R}^n \\ \mathbf{G} \cdot \mathbf{h} = \boldsymbol{\vartheta}}} \omega(\mathbf{h})$$

Vyrovnání volné geodetické sítě

Normální rovnice:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} & , & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & , & \mathbf{O} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{h} \\ \mathbf{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{u} \\ \boldsymbol{\vartheta} \end{bmatrix} ,$$

Vyrovnání volné geodetické sítě

Normální rovnice:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} & , & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & , & \mathbf{O} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{h} \\ \mathbf{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{u} \\ \vartheta \end{bmatrix} ,$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} & , & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & , & \mathbf{O} \end{bmatrix}^{-1} =: \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{1,1} & , & \mathbf{M}_{1,2} \\ \mathbf{M}_{2,1} & , & \mathbf{M}_{2,2} \end{bmatrix}$$

Vyrovnání volné geodetické sítě

Normální rovnice:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} & , & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & , & \mathbf{O} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{h} \\ \mathbf{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{u} \\ \boldsymbol{\vartheta} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} & , & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & , & \mathbf{O} \end{bmatrix}^{-1} =: \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{1,1} & , & \mathbf{M}_{1,2} \\ \mathbf{M}_{2,1} & , & \mathbf{M}_{2,2} \end{bmatrix}$$

Vyrovnané hodnoty:

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{M}_{1,1} \cdot \mathbf{A}^T \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{u} + \mathbf{M}_{1,2} \cdot \boldsymbol{\vartheta}$$

Vyrovnání volné geodetické sítě

Normální rovnice:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} & , & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & , & \mathbf{O} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{h} \\ \mathbf{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{u} \\ \vartheta \end{bmatrix} ,$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} & , & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & , & \mathbf{O} \end{bmatrix}^{-1} =: \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{1,1} & , & \mathbf{M}_{1,2} \\ \mathbf{M}_{2,1} & , & \mathbf{M}_{2,2} \end{bmatrix}$$

Vyrovnané hodnoty:

$$\hat{\mathbf{h}} = \mathbf{M}_{1,1} \cdot \mathbf{A}^T \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{u} + \mathbf{M}_{1,2} \cdot \vartheta$$

Kovarianční matice:

$$\hat{\mathbf{C}}_\mathbf{X} = \mathbf{M}_{1,1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{P_T} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{M}_{1,1}$$

Volba podmínek — varianta 3 přímky

Parametrická rovnice přímky:

$$\begin{aligned} [x_i, y_i]^T := \mathbf{x}_i &= \mathbf{p}_k + t_k\,[\cos(\varphi_k), \sin(\varphi_k)]^T \\ [-\sin(\varphi_k)\,,\cos(\varphi_k)]\cdot\mathbf{x}_i &= [-\sin(\varphi_k)\,,\cos(\varphi_k)]\cdot\mathbf{p}_k \\ [-\sin(\varphi_k)\,,\cos(\varphi_k)]\cdot\mathbf{h}_i &= 0\,, \qquad \mathbf{x}_i =: \mathbf{x}_i^\circ + \mathbf{h}_i\,,\ \mathbf{p}_k = \mathbf{x}_i^\circ \end{aligned}$$

Submatice podmínek:

$$\begin{bmatrix} -\sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sin(\varphi_2) & \cos(\varphi_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin(\varphi_3) & \cos(\varphi_3) \end{bmatrix}$$

Varianta 3 přímky — matice podmínek

$$\mathbf{G}_1 := \begin{bmatrix} -\sin(\varphi_1) & \cos(\varphi_1) \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{G}_2 := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\sin(\varphi_2) & \cos(\varphi_2) \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{G}_3 := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -\sin(\varphi_3) & \cos(\varphi_3) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{G} = \left[\mathbf{O}_{3,n_1}, \mathbf{G}_1, \mathbf{O}_{3,n_2}, \mathbf{G}_2, \mathbf{O}_{3,n_3}, \mathbf{G}_3, \mathbf{O}_{3,n_4}\right]$$

Volba podmínek — varianta Helmert

Podobnostní transformace s vyrovnáním:

$$
\begin{aligned}
\mathbf{x}_i^\circ + \mathbf{h}_i &= \mathbf{t} + \mathbf{R}\cdot\mathbf{x}_i^\circ\,, \quad i \in \{1,\ldots,n\}\,,\ \mathbf{R} := \begin{bmatrix} r_X, & -r_Y \\ r_Y, & r_X \end{bmatrix} \\
\mathbf{x}_i^\circ + \mathbf{h}_i &= \mathbf{F}_i \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{r} \end{bmatrix}\,, \quad \mathbf{F}_i := \begin{bmatrix} 1, & 0, & x_i^\circ, & -y_i^\circ \\ 0, & 1, & y_i^\circ, & x_i^\circ \end{bmatrix} \\
\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h} &= \mathbf{F} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{r} \end{bmatrix}\,, \quad \mathbf{F}^T := [\mathbf{F}_1^T,\ldots,\mathbf{F}_n^T]\,,\ |\mathbf{h}|^2 = \mathbf{h}^T\cdot\mathbf{h} \to \min \\
\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{t}} \\ \hat{\mathbf{r}} \end{bmatrix} &= (\mathbf{F}^T\cdot\mathbf{F})^{-1}\cdot\mathbf{F}^T\cdot\mathbf{x}^\circ
\end{aligned}
$$

Varianta Helmert — matice podmínek

Shodnostní transformace s vyrovnáním:

$$\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h} = \widehat{\widehat{\mathbf{F}}} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \widehat{\widehat{r}}_2 \end{bmatrix}, \quad \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T := \left[\widehat{\widehat{\mathbf{F}}}_1^T, \ldots, \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}_n^T\right]$$

$$\begin{bmatrix} \widehat{\widehat{r}}_1 \\ \widehat{\widehat{r}}_2 \end{bmatrix} := \widehat{\widehat{\mathbf{r}}} := \frac{\hat{\mathbf{r}}}{|\hat{\mathbf{r}}|}, \quad \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}_i := \begin{bmatrix} 1, & 0, & -\bar{y}^\circ - (y_i^\circ - \bar{y}^\circ)\,|\hat{\mathbf{r}}| \\ 0, & 1, & \bar{x}^\circ + (x_i^\circ - \bar{x}^\circ)\,|\hat{\mathbf{r}}| \end{bmatrix}$$

$$\bar{x}^\circ := \frac{\sum_{i=1}^n x_i^\circ}{n}, \quad \bar{y}^\circ := \frac{\sum_{i=1}^n y_i^\circ}{n}$$

$$\widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot (\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot \widehat{\widehat{\mathbf{F}}} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \widehat{\widehat{r}}_2 \end{bmatrix} = \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot \mathbf{x}^\circ \Rightarrow \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot \mathbf{h} = \mathbf{o} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow$$

Varianta Helmert — matice podmínek

Shodnostní transformace s vyrovnáním:

$$\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h} = \widehat{\widehat{\mathbf{F}}} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \widehat{\widehat{r}}_2 \end{bmatrix}, \quad \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T := \left[\widehat{\widehat{\mathbf{F}}}_1^T, \ldots, \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}_n^T\right]$$

$$\begin{bmatrix} \widehat{\widehat{r}}_1 \\ \widehat{\widehat{r}}_2 \end{bmatrix} := \widehat{\widehat{\mathbf{r}}} := \frac{\hat{\mathbf{r}}}{|\hat{\mathbf{r}}|}, \quad \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}_i := \begin{bmatrix} 1, & 0, & -\bar{y}^\circ - (y_i^\circ - \bar{y}^\circ)\,|\hat{\mathbf{r}}| \\ 0, & 1, & \bar{x}^\circ + (x_i^\circ - \bar{x}^\circ)\,|\hat{\mathbf{r}}| \end{bmatrix}$$

$$\bar{x}^\circ := \frac{\sum_{i=1}^n x_i^\circ}{n}, \quad \bar{y}^\circ := \frac{\sum_{i=1}^n y_i^\circ}{n}$$

$$\widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot (\mathbf{x}^\circ + \mathbf{h}) = \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot \widehat{\widehat{\mathbf{F}}} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \widehat{\widehat{r}}_2 \end{bmatrix} = \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot \mathbf{x}^\circ \Rightarrow \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T \cdot \mathbf{h} = \mathbf{o} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mathbf{G} = \widehat{\widehat{\mathbf{F}}}^T$$