Método preditor-corretor (de Mehrotra). 1

$$Ax - b = 0 \ , \quad A^t y + z - c = 0 \ , \quad XZe = \mu e$$

- primal dual afim escala: direção de Newton na otimalidade verdadeira ($\mu = 0$)
- seguidor de caminhos: Newton na otimalidade perturbada ($\mu > 0$), com $\mu^k \to 0^+$.
  - ↳ segue trajetória central ($x_i z_i \approx \mu, \forall i$)
  - ↳ + estável.

Ideia do método preditor-corretor:

1) calcule a direção afim escala (direção preditora — $\mu = 0$);

2) corrija a direção afim escala somando à ela uma direção corretora obtida com $\mu > 0$, mas considerando os resíduos que seriam obtidos após o passo afim escala.

Direção preditora (afim escala) $\hat{d}$:

$$A\hat{d}_x^k = r_p^k \,,\quad A^t\hat{d}_y^k + \hat{d}_z^k = r_d^k \,,\quad Z_k\hat{d}_x^k + X_k\hat{d}_z^k = \hat{r}_c^k$$

onde $\hat{r}_c^k = -X_k Z_k e$.

Sendo otimistas, vamos supor que os iterandos do método afim escala sejam interiores com passos $\hat{\alpha}_p^k = \hat{\alpha}_d^k = 1$ (passo de Newton "puro").

<u>Pergunta</u>: quais os resíduos no novo ponto?

- $$r_p^{k+1} = b - A\hat{x}^{k+1} = b - A(\hat{x}^k + \hat{d}_x^k)$$
$$= (b - A\hat{x}^k) - A\hat{d}_x^k = (b - A\hat{x}^k) - \hat{r}_p^k = 0$$

- $$\hat{r}_d^{k+1} = A^t\hat{y}^{k+1} + z^{k+1} - c = A^t(\hat{y}^k + \hat{d}_y^k) + \hat{z}^k + \hat{d}_z^k - c$$
$$= \underbrace{(A^t\hat{y}^k + \hat{z}^k - c)}_{-r_d^k} + \underbrace{(A^t\hat{d}_y^k + \hat{d}_z^k)}_{r_d^k} = 0$$

- $$\hat{r}_{c_i}^{k+1} = -(\hat{x}_i^k + \hat{d}_{x_i}^k)(\hat{z}_i^k + \hat{d}_{z_i}^k) = \cancel{-\hat{x}_i^k\hat{z}_i^k} - \hat{d}_{x_i}^k\hat{d}_{z_i}^k$$
$$\cancel{-(\hat{z}_i^k\hat{d}_{x_i}^k + \hat{x}_i^k\hat{d}_{z_i}^k)} = -\hat{d}_{x_i}^k\hat{d}_{z_i}^k .$$

Matricialmente, escrevemos

$$\hat{r}_c^{k+1} = -\hat{D}_k^x \hat{D}_k^z e \,, \quad \text{onde } \hat{D}_k^x = \operatorname{diag}(\hat{d}_x^k)$$

e $\hat{D}_k^z = \operatorname{diag}(\hat{d}_z^k)$.

<u>Direção corretora</u> $\tilde{d}^k$: otimalidade perturbada com os resíduos afim escala com passo 1:

$$A\tilde{d}_x^k = 0 \,, \quad A^t\tilde{d}_y^k + \tilde{d}_z^k = 0 \,, \quad Z_k d_x + X_k d_z = \tilde{r}_c^k \,,$$

onde $\tilde{r}_c^k = \hat{r}_c^k + \mu^k e = -\hat{D}_k^x \hat{D}_k^z e + \mu^k e$.

Direção preditora-corretora: $\boxed{d^k = \hat{d}^k + \tilde{d}^k}$

A direção d^k é calculada somando os sistemas relativos à $\hat{d}$ e $\tilde{d}$:

$$\begin{cases} A\, d_x^k = r_p^k \\ A^t d_y^k + d_z^k = r_d^k \\ Z_k d_x^k + X_k d_z^k = r_s^k \end{cases}$$

onde $r_s^k = \hat{r}_c^k + \tilde{r}_c^k = -X_k Z_k e - \hat{D}_k^x \hat{D}_k^z + \mu^k e$.

- Devemos resolver 2 sistemas, um para $\hat{d}$ e outro para d.

Fazendo as contas, recaímos no mesmo sistema com matriz AD_kA^t...

- os tamanhos de passo devem ser calculados para cada direção: $\hat{\alpha}_p$, $\hat{\alpha}_d$ e α_p, α_d de modo a manter interioridade do passo afim escala e do passo composto.

8

- calculada a direção afim escala $\hat{d}^k$, devemos calcular o parâmetro de centralidade μ^k para a direção composta.

Da mesma forma que fizemos no método seguidor de caminhos, fazemos

$$\mu^k = \sigma^k \frac{\rho^k}{n},$$

onde $\rho^k = (x^k)^t z^k$. Mas agora, a direção corretora usa os resíduos no ponto $(x^k + \hat{d}_x^k, y^k + \hat{d}_y^k, z^k + \hat{d}_z^k)$.

Agregamos a informação após o passo afim escala em σ^k, tomando

$$\sigma^k = \left(\frac{\hat{\mu}^k}{\mu^k}\right)^p ,$$

onde $\hat{\mu}^k = (x^k + \hat{\alpha}_p^k \hat{d}_x^k)^t (z^k + \hat{\alpha}_d^k \hat{d}_z^k)$ e $p = 2$ ou 3. Veja que usamos os passos $\hat{\alpha}_p^k$ e $\hat{\alpha}_d^k$ para garantir $\hat{\mu}^k > 0$.

- Inicialização e parada são os mesmos dos métodos afim escala e seguidor de caminhos.

Método preditor-corretor

Dado (x^0, y^0, z^0) com $x^0 > 0$ e $z^0 > 0$
(não necessariamente primal ou dual viável)

para $k = 0, \dots, maxit$

$$r_p^k = b - Ax^k, \quad r_d^k = c - A^t y^k - z^k, \quad r_c^k = -X_k Z_k e$$

$$D_k = Z_k^{-1} X_k$$

direção preditora

$$\hat{d}_y^k = (AD_kA^t)^{-1}\left[r_p^k + AD_k(r_d^k - X_k^{-1} r_c^k)\right]$$

$$\hat{d}_x^k = D_k(A^t \hat{d}_y^k - r_d^k + X_k^{-1} r_c^k)$$

$$\hat{d}_z^k = X_k^{-1}(r_c^k - Z_k \hat{d}_x^k)$$

$$\hat{\alpha}_p^k = \min\left\{1, \tau \min_i \left\{ -x_i^k / \hat{d}_{x_i}^k \,;\, \hat{d}_{x_i}^k < 0 \right\}\right\}$$

$$\hat{\alpha}_d^k = \min\left\{1, \tau \min_i \left\{ -z_i^k / \hat{d}_{z_i}^k \,;\, \hat{d}_{z_i}^k < 0 \right\}\right\}$$

$$\hat{\gamma}^k = (x^k + \hat{\alpha}_p^k \hat{d}_x^k)^t (z^k + \hat{\alpha}_d^k \hat{d}_z^k)$$

$$\gamma^k = (x^k)^t z^k$$

$$\mu^k = \left(\frac{\hat{\gamma}^k}{\gamma}\right)^p \frac{\gamma^k}{n}$$

$$r_s^k = r_c^k - \hat{D}_k^x \hat{D}_k^z e + \mu^k e.$$

direção composta (pred. + corretora)

$$\begin{cases} d_y^k = (AD_kA^t)^{-1}\left[r_p^k + AD_k\left(r_d^k - X_k^{-1} r_s^k\right)\right] \\ d_x^k = D_k\left(A^t d_y^k - r_d^k - X_k^{-1} r_s^k\right) \\ d_z^k = X_k^{-1}\left(r_s^k - Z_k d_x^k\right) \end{cases}$$

$$\alpha_p^k = \min\left\{1, \tau \min_i \left\{ -\frac{x_i^k}{d_{x_i}^k} \,;\, d_{x_i}^k < 0 \right\}\right\}$$

$$\alpha_d^k = \min\left\{1, \tau \min_i \left\{ -\frac{z_i^k}{d_{z_i}^k} \,;\, d_{z_i}^k < 0 \right\}\right\}$$

$$x^{k+1} = x^k + \alpha_p^k d_x^k \,,\quad y^{k+1} = y^k + \alpha_d^k d_y^k \,,\quad z^{k+1} = z^k + \alpha_d^k d_z^k$$

até "convergir".

Comentários finais:

1) A iteração deste método é mais cara, pois devemos resolver 2 sistemas: um para $\hat{d}^k$ e outro para d^k. No entanto, note que ambos têm mesma matriz AD_kA^t. Logo, realizamos apenas uma única fatoração Cholesky.

2) Este método costuma fazer menos iterações que os outros, o que compensa o custo.

3) Este método é polinomial e possui convergência quadrática se considerarmos a resolução dos dois sistemas uma única iteração.

4) Este método é a base das implementações modernas e eficientes (CPLEX etc)

5) As implementações mais eficientes possuem

(i) AMD em AA^t (fizemos)

(ii) pré-processamento (eliminação de restrições e variáveis redundantes)

(iii) pré-condicionadores para resolução dos sistemas com matriz ADA^t.

(iv) Tratamento de colunas densas em A (fatoração de ADA^t refinada)

(iv) <u>múltiplas correções</u>: $\hat{d} + \tilde{d}^1 + \cdots + \tilde{d}^7$.