Routage efficace en puissance dans les réseaux sans fils

Laboratoire des Signaux et Systèmes
Pierre Gerold, Florence Alberge, Pierre Duhamel
e-mail :pierre.gerold@lss.supelec.fr, alberge@lss.supelec.fr, pierre.duhamel@lss.supelec.fr

Router dans un réseau sans fil

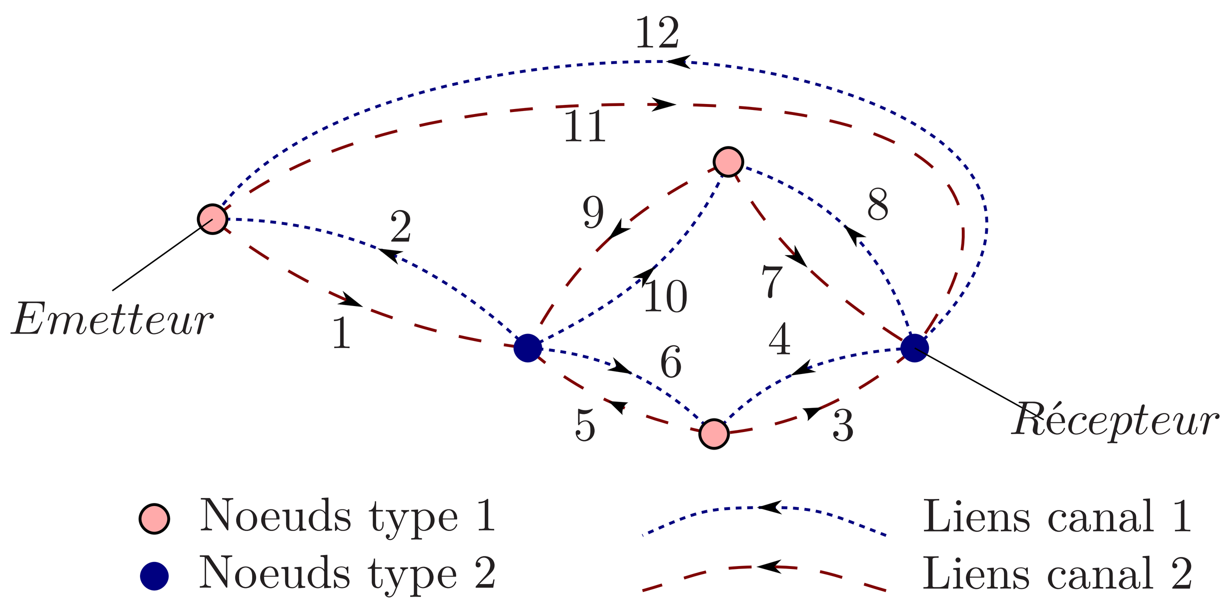
Objectifs

- Modéliser le routage et l'allocation de puissance dans un réseau sans fils
- Trouver la route qui permet d'acheminer un flot de données à travers le réseau en utilisant le moins de puissance possible.

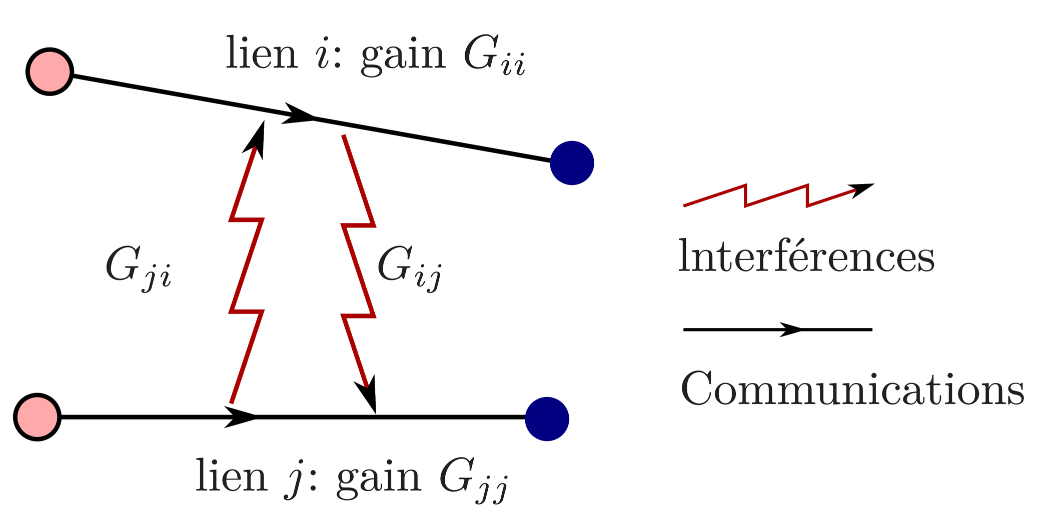
Hypothèses

- Utilisation de tous les liens disponibles via la division des flots entre plusieurs chemins.
- Prise en compte exacte de l'interférence généré par chaque commnunication.

Exemple de réseau: un graph pour les communications



Transmission CDMA asynchrones



Gain des liens et gains d'interférences

$$\begin{cases} \text{si } l = k \quad G_{ll} = \overbrace{K_c}^{\text{Gain de codage}} K_a \left(\frac{d_0}{d_{ll}}\right)^{\gamma} F_{ll} \\ \text{si } l \neq k \quad G_{kl} = \underbrace{K_a \left(\frac{d_0}{d_{kl}}\right)^{\gamma}}_{\text{Atténuation par propogation}} \underbrace{F_{kl}}_{\text{Terme aléatoire du canal}} \end{cases}$$

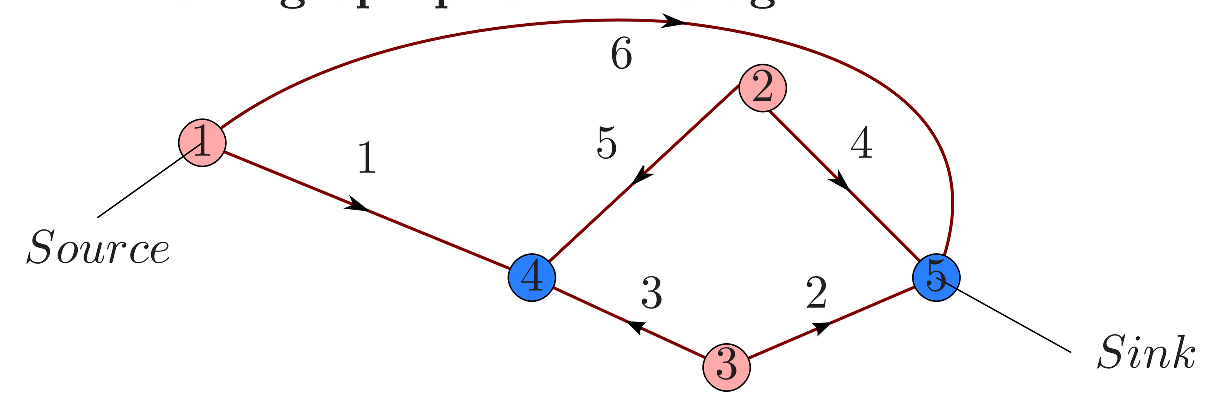
Capacité des liens

$$\gamma(r_l) = SINR_l = \frac{G_{ll}p_l}{n_l + \sum_{\substack{k=0 \\ k\neq l}}^{L} G_{kl}p_l}$$

$$\gamma : r \to e^r - 1$$

Proposer un routage

Un modèle graph pour le routage



Exprimer la conservation du débit

$$N \text{ noeuds} \left\{ \overbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}}^{\text{Les } L \text{ colonnes correspondent aux liens}} \right. \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.5 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\mathbf{M}.\mathbf{s} = \mathbf{q}}$$

$N-1$ équations de contraintes indépendantes

Générer tout les routages respectant la contrainte

$$\mathbf{r} = \omega(\mathbf{K}\ \underbrace{\mathbf{s}_{[\mathcal{C}|]}}_{L-N+1 \text{ variables de routages}} + \mathbf{b})$$

Le problème d'optimisation

Le vecteur de puissance correspondant à un routage

$$\begin{bmatrix} 1 & -\frac{G_{12}\,\gamma(r_1)}{G_{11}} & \cdots & -\frac{G_{1L}\,\gamma(r_1)}{G_{11}} \\ -\frac{G_{21}\,\gamma(r_2)}{G_{22}} & 1 & \cdots & -\frac{G_{2L}\,\gamma(r_2)}{G_{22}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{G_{L1}\,\gamma(r_L)}{G_{LL}} & -\frac{G_{L2}\,\gamma(r_L)}{G_{LL}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{n_1\,\gamma(r_1)}{G_{11}} \\ \frac{n_2\,\gamma(r_2)}{G_{22}} \\ \vdots \\ \frac{n_L\,\gamma(r_L)}{G_{LL}} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r}) = \operatorname{diag}\left(\gamma(r_1), \gamma(r_2), \ldots, \gamma(r_L)\right)$$

$$(\mathbf{I} - \boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r})\mathbf{H})\,.\,\mathbf{p} = \boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r})\mathbf{h}$$

Le vecteur de puissance $\mathbf{p}$ associé à un routage $\mathbf{r}$

$$\boxed{\mathbf{p} = (\mathbf{I} - \boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r}).\mathbf{H})^{-1}.\boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r}).\mathbf{h}}$$

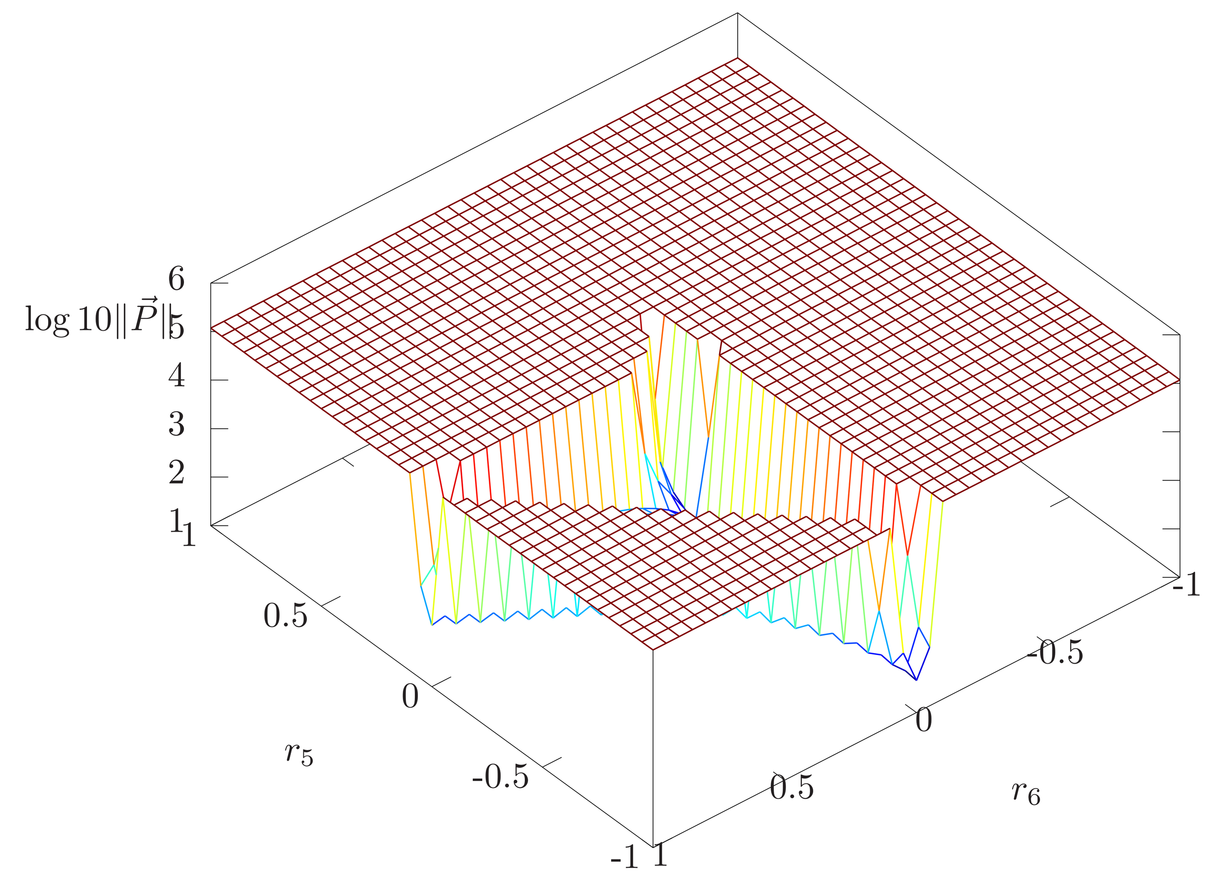
Le problème d'optimisation

$$\min_{\mathbf{r},\mathbf{s}} \quad \mathbf{w}^T.(\mathbf{I} - \boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r}).\mathbf{H})^{-1}.\boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r}).\mathbf{h}$$

sous la contrainte: $\mathbf{r} = \omega(\mathbf{K}\mathbf{s}_{[\mathcal{C}|]} + \mathbf{b})$

Ce problème n'est pas convexe

Critère à optimiser



Stratégies d'optimisations

Optimisations convexes itératives

Principe à l'iteration i considérer l'interférence fixe

SINR approché

$$\gamma(r_l) = \frac{G_{ll}p_l}{n_l + \sum_{\substack{k=0 \\ k\neq l}}^{L} G_{kl}p_l[i-1]}$$

Expression de la puissance

$$\mathbf{p}[i] = \boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r})\mathbf{H}\ \mathbf{p}[i-1] + \boldsymbol{\Gamma}(\mathbf{r})\mathbf{h}$$

Algorithme Résoudre le problème de minimisation avec l'expression approché de la puissance. $\mathbf{p}[i]$ est réglé à la valeur solution de l'optimisation. Passer à l'iteration $i+1$

Optimisations approchées successives convexes

Principe trouver une approximation convexe du critère, en excès, égale au critère réel en un point arbitraire.

Le critère approché

$$\hat{J}_{\mathbf{w}}(\mathbf{r}) = \mathbf{w}^T.\left(\mathbf{I} - \hat{\boldsymbol{\Gamma}}^{\hat{\mathbf{r}}}(\mathbf{r}).\mathbf{H}\right)^{-1}.\hat{\boldsymbol{\Gamma}}^{\hat{\mathbf{r}}}(\mathbf{r}).\mathbf{h}$$

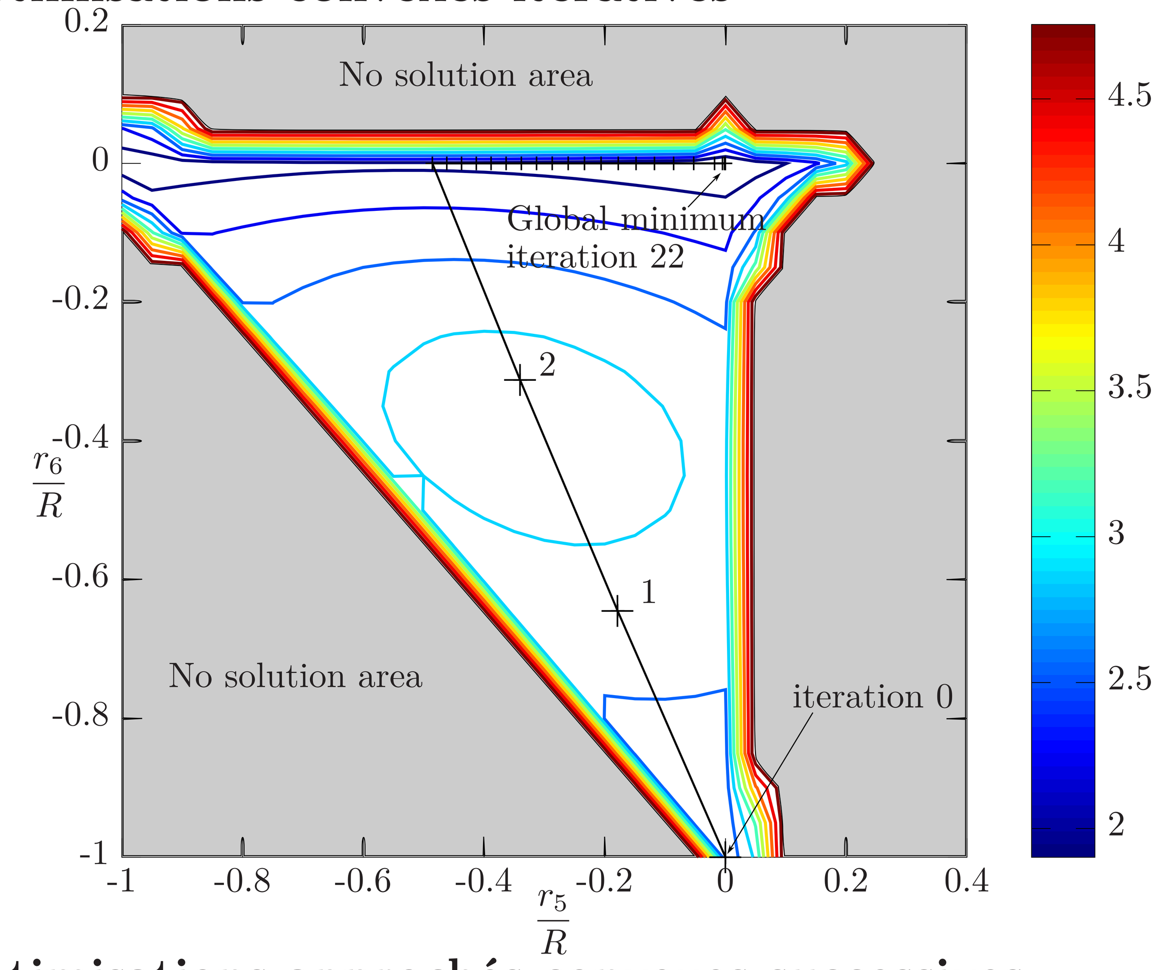
$$\hat{\boldsymbol{\Gamma}}^{\hat{\mathbf{r}}}(\mathbf{r}) = \operatorname{diag}\left(\hat{\gamma}^{\hat{r}_1}(r_1), \hat{\gamma}^{\hat{r}_2}(r_2), \ldots, \hat{\gamma}^{\hat{r}_L}(r_L)\right)$$

$$\hat{\gamma}^{r_0} = r \to (e^{r_0} - 1)\,.e^{\frac{r-r_0}{1-e^{-r_0}}}$$

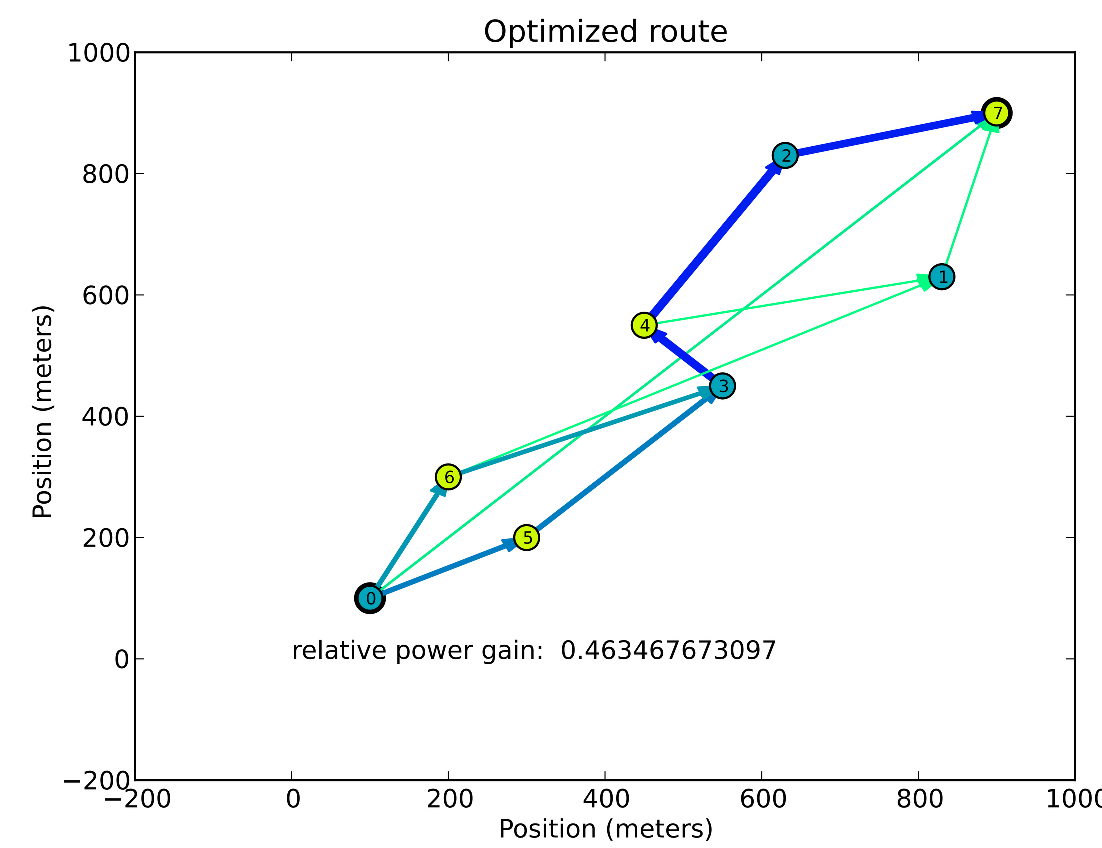
Algorithme Initialiser au hasard sur un routage. Résoudre le problème de minimisation pour le critère approché convexe. Le routage obtenu devient le nouveau point d'approximation. Recommencer jusqu'à la convergence.

Simulations

Optimisations convexes itératives



Optimisations approchés convexes successives



Réferences

[1] L.O. Chua. *Computer-aided analysis of electronic circuits*. Prentice-Hall Series in Electrical and Computer Engineering, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975.

[2] M. Johansson, L. Xiao, and S. Boyd. Simultaneous routing and power allocation in CDMA wireless data networks. In *IEEE International Conference on Communications*, volume 1, pages 51–55. IEEE, 2003.

[3] D. Julian O'Neill and S. Boyd. Seeking Foschini's genie: optimal rates and powers in wireless networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2004.

[4] J. Papandriopoulos and J.S. Evans. SCALE: a low-complexity distributed protocol for spectrum balancing in multiuser DSL networks. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 55(8):3711–3724, 2009.