

Allocation de fréquences dans un système de télécommunication satellitaire de type SDMA

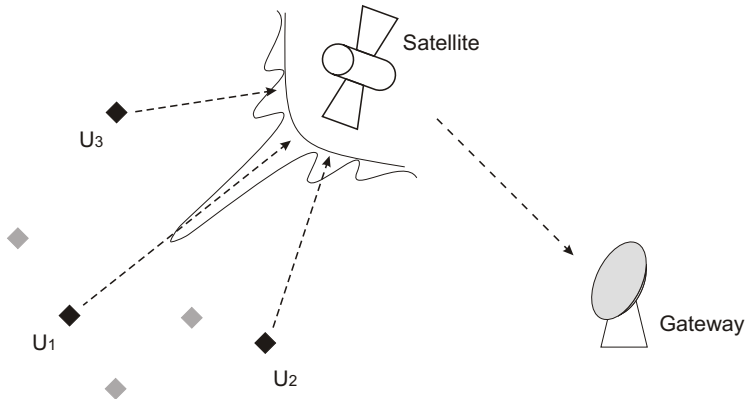
L. Houssin, C. Artigues, E. Corbel

LAAS-CNRS

11 février 2009

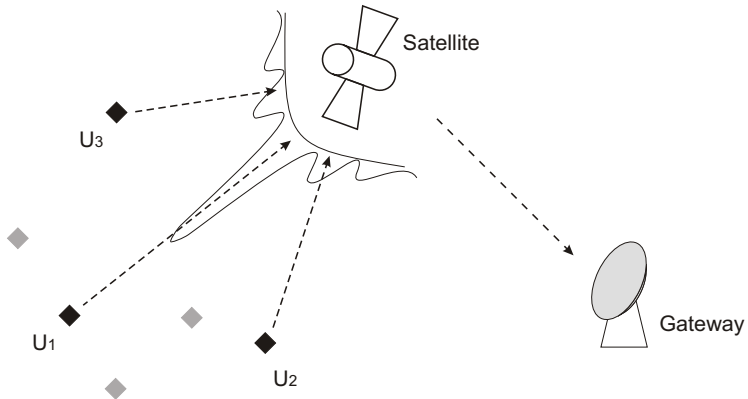
Contrat Thales Alenia Space, LAAS, IRIT

- 1 Présentation du problème
- 2 Description des scénarios
- 3 Modélisation du problème
- 4 Résultats expérimentaux
- 5 Perspectives



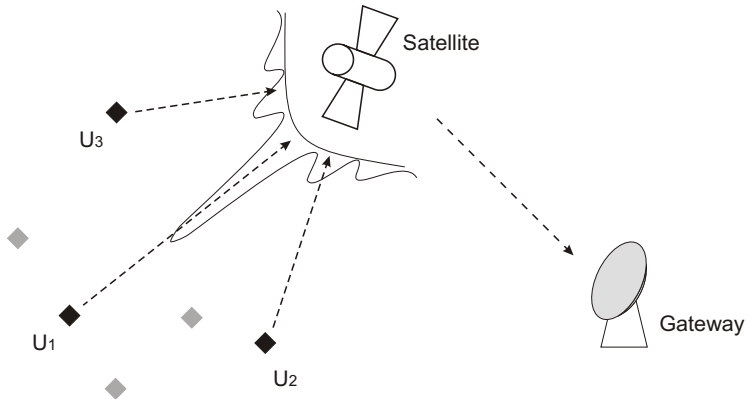
Système de référence

- une passerelle



Système de référence

- une passerelle
- un satellite



Système de référence

- une passerelle
- un satellite
- une zone de service

gain de l'antenne

$$G_{Sat}(u, v, u_0, v_0) = t_1 \times t_2 \times t_3 \quad (1)$$

gain de l'antenne

$$G_{Sat}(u, v, u_0, v_0) = t_1 \times t_2 \times t_3 \quad (1)$$

avec

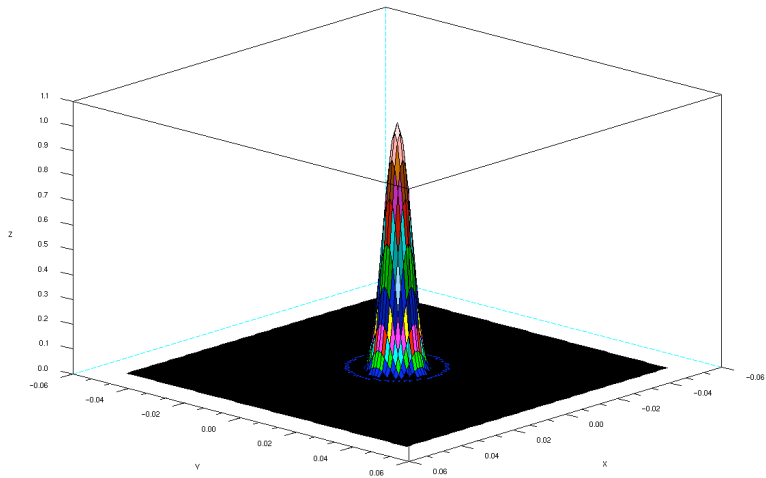
$$t_1 = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2,$$

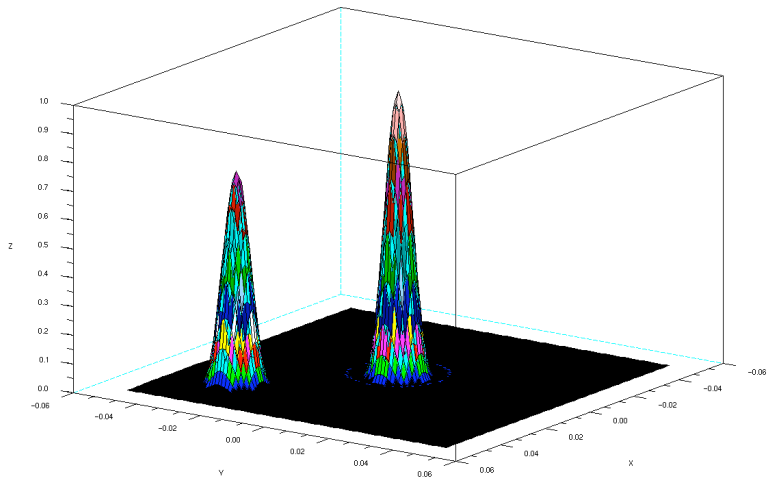
$$t_2 = \left(\frac{2J_1 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \sqrt{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2} \right)}{\frac{\pi D}{\lambda} \sqrt{(u - u_0)^2 + (v - v_0)^2}} \right)^2$$

et

$$t_3 = \left(\frac{2J_1 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{u^2 + v^2} \right)}{\frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{u^2 + v^2}} \right)^2.$$

terme 2 du gain





Critère d'acceptation d'un utilisateur

qualité du signal satisfaisante si

$$\frac{C}{N+I} \geq (C/N)_{RsModCod} \quad (2)$$

Bilan de liaison

Le bilan de liaison permet d'évaluer le rapport signal sur bruit plus interférences.

◀ Back

Bilan de liaison

Le bilan de liaison permet d'évaluer le rapport signal sur bruit plus interférences.

$$\left(\frac{C}{N+I}\right)^{-1} = \left(\frac{C}{N}\right)^{-1}_{Feeder} + \left(\frac{C}{I}\right)^{-1}_{Feeder} + \left(\frac{C}{IM}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)^{-1}_{User} + \left(\frac{C}{I}\right)^{-1}_{User} \quad (3)$$

◀ Back

Bilan de liaison

Le bilan de liaison permet d'évaluer le rapport signal sur bruit plus interférences.

$$\left(\frac{C}{N+I}\right)^{-1} = \left(\frac{C}{N}\right)^{-1}_{Feeder} + \left(\frac{C}{I}\right)^{-1}_{Feeder} + \left(\frac{C}{IM}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)^{-1}_{User} + \left(\frac{C}{I}\right)^{-1}_{User} \quad (3)$$

Les termes $\left(\frac{C}{N}\right)_{Feeder}$, $\left(\frac{C}{I}\right)_{Feeder}$ et $\left(\frac{C}{IM}\right)$ sont des données constantes du problème.

◀ Back

rapport signal sur bruit

Le rapport signal sur bruit est déterminé par :

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{User} = \left(\frac{EIRP_{Term}/R_S}{L_{AtmoUp}}\right) \times L_{FSLUp}^{-1} \times \left(\frac{G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User)}{T_A + T_{Rep}}\right) \frac{1}{k}$$

rapport signal sur bruit

Le rapport signal sur bruit est déterminé par :

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{User} = \left(\frac{EIRP_{Term}/R_S}{L_{AtmoUp}}\right) \times L_{FSLUp}^{-1} \times \left(\frac{G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User)}{T_A + T_{Rep}}\right) \frac{1}{k}$$

Seul le terme $G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User)$ peut varier.

Il est dépendant de la position géographique de l'utilisateur et du faisceau (cf. l'expression analytique du gain de l'antenne).

rapport signal sur interférences

Le rapport signal sur interférences est déterminé par :

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{User} = \frac{(EIRP_{Term}/R_S/(L_{AtmoUp} \cdot L_{FSLUp})) \cdot G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User)}{\sum_{j \in Interferes} (EIRP_{Term}/R_S/(L_{AtmoUp} \cdot L_{FSLUp})) \cdot G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User(j))}$$

◀ Conclusion

rapport signal sur interférences

Le rapport signal sur interférences est déterminé par :

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{User} = \frac{(EIRP_{Term}/R_S/(L_{AtmoUp} \cdot L_{FSLUp})) \cdot G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User)}{\sum_{j \in Interferes} (EIRP_{Term}/R_S/(L_{AtmoUp} \cdot L_{FSLUp})) \cdot G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User(j))}$$

Les termes $G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User)$ et $\sum_{j \in Interferes} G_{Sat}(User_Beam \rightarrow User(j))$ peuvent varier (cf. [figure](#)).

◀ Conclusion

Description des scénarios

Scenario 1

Allocation fixe des faisceaux.

Algorithme de coloration de graphe : DSAT.

4 fréquences sont nécessaires. (ce qui est fait actuellement).

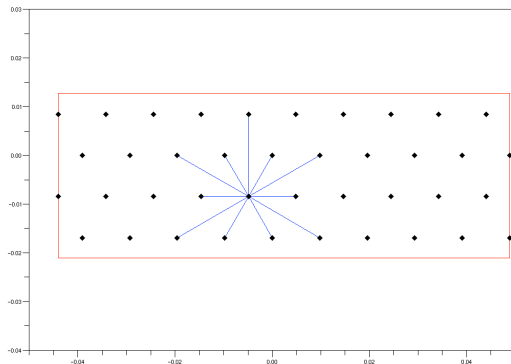
Description des scenarios

Scenario 1

Allocation fixe des faisceaux.

Algorithme de coloration de graphe : DSAT.

4 fréquences sont nécessaires. (ce qui est fait actuellement).



Description des scénarios

Scenario 1

Allocation fixe des faisceaux.

Algorithme de coloration de graphe : DSAT.

4 fréquences sont nécessaires. (ce qui est fait actuellement).

Scenario 2

Allocation fixe des faisceaux.

Allocation variable des fréquences.

8 fréquences disponibles.

Description des scénarios

Scenario 1

Allocation fixe des faisceaux.

Algorithme de coloration de graphe : DSAT.

4 fréquences sont nécessaires. (ce qui est fait actuellement).

Scenario 2

Allocation fixe des faisceaux.

Allocation variable des fréquences.

8 fréquences disponibles.

Scenario 3

Allocation variable des faisceaux.

Allocation variable des fréquences.

8 fréquences disponibles.

Modélisation du problème

Reformulation du bilan de liaison

Il est possible de reformuler de le bilan de liaison afin d'obtenir une forme linéaire. On obtient tout d'abord à partir de (3) .

$$A + B_i + \frac{1}{\sum_{j \in \text{Interferes}(i)} \frac{C_{G_i(j)}}{C_{G_i(i)}}} \geq D \quad (4)$$

pour un utilisateur i .

Modélisation du problème

Reformulation du bilan de liaison

Il est possible de reformuler de le bilan de liaison afin d'obtenir une forme linéaire. On obtient tout d'abord à partir de (3) .

$$A + B_i + \frac{1}{\sum_{j \in \text{Interferes}(i)} \frac{CG_i(j)}{CG_i(i)}} \geq D \quad (4)$$

pour un utilisateur i .

$$A = \left(\frac{C}{N}\right)_{Feeder}^{-1} + \left(\frac{C}{I}\right)_{Feeder}^{-1} + \left(\frac{C}{IM}\right)^{-1}$$

$$B_i = \left(\frac{C}{N}\right)_{User}^{-1} = \left(\frac{EIRP_{Term}/R_S}{L_{AtmoUp}}\right) \times L_{FSLUp}^{-1} \times \left(\frac{G_{Sat}(User_Beam(i) \rightarrow i)}{T_A + T_{Rep}}\right) \frac{1}{k}$$

$$D = (C/N)_{RsModCod}$$

$$\Leftrightarrow 1 \geq AD + DB_i + \frac{\sum_{j \in \text{Interferes}(i)} DCG_i(j)}{CG_i(i)}$$

$$\Leftrightarrow 1 \geq AD + DB_i + \frac{\sum_{j \in \text{Interferes}(i)} DCG_i(j)}{CG_i(i)}$$

$$\Leftrightarrow \sum_{j \in \text{Interferes}(i)} DCG_i(j) \leq CG_i(i)(1 - AD - B_i D)$$

On différencie maintenant les scénarios 2 et 3 puisque pour ces deux systèmes, les données sont différentes.

On différencie maintenant les scénarios 2 et 3 puisque pour ces deux systèmes, les données sont différentes.

scenario 3 : représentation cumulative

$$\sum_{j \in \text{Interferes}(i)} DCG_i(j) \leq CG_i(i)(1 - AD - B_i D)$$
$$\Leftrightarrow \sum_{j \in \text{Interferes}(i)} \delta_{ij} \leq \alpha_i \quad (5)$$

En considérant le système avec $NbUsers$, la dimension de α est $NbUsers \times 1$ et celle de δ est $NbUsers \times NbUsers$. L'élément δ_{ij} représente l'effet de l'utilisateur j sur l'utilisateur i s'ils ont la même porteuse.

scenario 3

L'allocation se fait pour un utilisateur. L'objectif est de maximiser le nombre d'utilisateurs auxquels on alloue de la fréquence.

scenario 2 : représentation cumulative

$$\sum_{j \in \text{Interferes}(i)} DCG_i(j) \leq CG_i(i)(1 - AD - B_i D)$$
$$\Leftrightarrow \sum_{j \in \text{Interferes}(i)} \gamma_{ij} \leq \beta_i \quad (6)$$

En considérant le système avec $NbUsers$, la dimension de β est $NbUsers \times 1$ et celle de γ est $NbUsers \times NbUsers$. L'élément γ_{ij} représente l'effet de l'utilisateur j sur l'utilisateur i si l'utilisateur j reçoit la fréquence utilisée par i .

scenario 2

L'allocation se fait également pour un utilisateur. Une contrainte supplémentaire intervient : un spot ne peut servir que 8 utilisateurs. L'objectif est de maximiser le nombre d'utilisateurs auxquels on alloue une fréquence.

Données du problème d'allocation de fréquences SDMA (*scenario 3*)

- n nombre d'utilisateurs
- $U = \{1, \dots, n\}$ ensemble des utilisateurs
- C nombre de couleurs (plages de fréquence)
- α_i seuil acceptable de perturbation pour un utilisateur i
- $\delta_{i,j}$ valeur de la perturbation de l'utilisateur j sur l'utilisateur i , si i et j ont la même couleur

Formulation du problème d'allocation de fréquences SDMA (*scenario 3*) comme un problème d'optimisation combinatoire

Associer une couleur $coul(i) \in \{0, 1, \dots, C\}$ à chaque utilisateur $i \in U$ (0 représentant un rejet)

- en vérifiant $\sum_{j \in U | j \neq i, coul(j) = coul(i) \neq 0} \delta_{i,j} \leq \alpha_i$ pour tout $i \in U$
- en minimisant le nombre d'utilisateurs rejetés.

Données du problème d'allocation de fréquences variable par faisceaux fixes (*scenario 2*)

- n nombre d'utilisateurs,
- $U = \{1, \dots, n\}$ ensemble des utilisateurs,
- C nombre de couleurs (plages de fréquences),
- m nombre de spots,
- $S = \{1, \dots, m\}$ ensemble des spots,
- U_s ensemble des utilisateurs associés au spot $s \in S$.
- β_i seuil acceptable de perturbation pour un utilisateur i ,
- $\gamma_{i,j}$ valeur de la perturbation d'un utilisateur j sur l'utilisateur i , si i et j ont la même couleur dans deux spots différents.

Formulation du problème d'allocation de fréquences variable par faisceaux fixes (*scenario 2*) comme un problème d'optimisation combinatoire

Associer une couleur $coul(i) \in \{0, 1, \dots, C\}$ à chaque utilisateur $i \in U$ (0 représentant un rejet)

- en vérifiant que les utilisateurs non rejetés appartenant au même faisceau ont des couleurs différentes
- en vérifiant
$$\sum_{\substack{j \in U \setminus \{i\} \\ c(j) \neq 0 \\ c(j) = c(i)}} \gamma_{i,j} \leq \beta_i$$
 pour tout $i \in U$
- en minimisant le nombre d'utilisateurs rejetés.

PLNE pour l'allocation de fréquence (*scenarii 2 et 3*)

Les variables de décision du problème sont notées $x_{i,c}$ pour $i \in \{1, \dots, n\}$ et $c \in \{1, \dots, C\}$ avec n , nombre d'utilisateurs du système et C nombre de couleurs disponibles. Ces variables de décision sont binaires ($x_{i,c} \in \{0, 1\}$) et sont définies de telle sorte que $x_{i,c} = 1$ si et seulement si la couleur c est allouée à l'utilisateur i .

PLNE pour l'allocation de fréquence de type SDMA (scenario 3)

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{c=1}^C x_{i,c} \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^C x_{i,c} \leq 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n \delta_{i,j} x_{j,c} \leq \alpha_i + M_i(1 - x_{i,c}) \quad i = 1, \dots, n \quad c = 1, \dots, C \quad (9)$$

$$x_{i,c} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n \quad c = 1, \dots, C \quad (10)$$

avec $M_i = \sum_{j=1}^n \delta_{i,j} - \alpha_i$

PLNE pour l'allocation de fréquence d'allocation de fréquences variable par faisceaux fixes (*scenario 2*)

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{c=1}^C x_{i,c} \quad (11)$$

$$\sum_{c=1}^C x_{i,c} \leq 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (12)$$

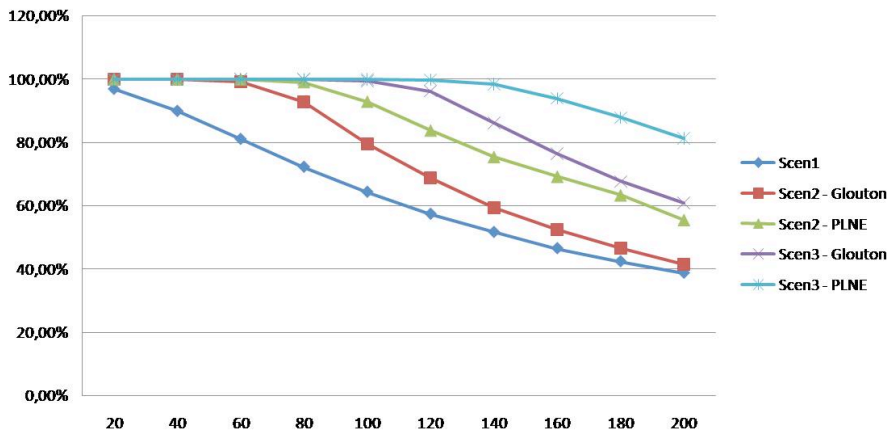
$$\sum_{i \in U_j} x_{i,c} \leq 1 \quad j = 1, \dots, m \quad c = 1, \dots, C \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{i,j} x_{j,c} \leq \beta_i + N_i(1 - x_{i,c}) \quad i = 1, \dots, n \quad c = 1, \dots, C \quad (14)$$

$$x_{i,c} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n \quad c = 1, \dots, C \quad (15)$$

avec $N_i = \sum_{j=1}^n \gamma_{i,j} - \beta_i$.

Résultats expérimentaux



pourcentage d'utilisateurs acceptés

- ▶ dépointage du faisceau

Perspectives

- ▶ dépointage du faisceau
- ▶ gestion de l'EIRP

Perspectives

- ▶ dépointage du faisceau
- ▶ gestion de l'EIRP
- ▶ contexte dynamique

Algorithme glouton pour l'allocation de fréquence de type SDMA (*scenario 3*)

Algorithme Glouton

Le principe d'un algorithme glouton est de prendre n décisions (concernant l'allocation des n utilisateurs) sans revenir en arrière. On a besoin d'une règle de sélection du prochain utilisateur à traiter puis d'une règle de sélection de la couleur à lui attribuer. On choisit de n'attribuer une couleur à un utilisateur que si cet affectation ne provoque le rejet d'aucun autre utilisateur.

Marge d'un utilisateur pour une couleur

La marge d'un utilisateur i pour une couleur c est l'écart (positif ou négatif) entre la valeur seuil α_i et la somme des perturbations $\delta_{i,j}$ pour tous les utilisateurs auxquels la couleur c est déjà attribuée à l'étape de décision courante.

Algorithme glouton pour l'allocation de fréquence de type SDMA (*scenario 3*)

Règle de sélection du prochain utilisateur à traiter

On choisit l'utilisateur qui a le moins de couleurs disponibles (i.e. de marge positive) et en cas d'égalité le moins de marge totale.

Règle de sélection de la couleur à lui attribuer

Si aucune couleur n'est disponible on rejette l'utilisateur. Sinon, on attribue à l'utilisateur la couleur c qui permet de laisser une marge positive (donc d'autoriser l'attribution de la même couleur) au plus grand nombre d'utilisateur, et, en cas d'égalité, de leur laisser la marge totale la plus grande.

Algorithme glouton pour l'allocation de fréquence variable par faisceaux fixes (*scenario 2*)

Variante du précédent.

Disponibilité des couleurs

La différence principale est qu'une couleur devient indisponible pour un utilisateur dès qu'un utilisateur du même spot se voit attribuer la couleur.

Calcul des marges

La marge d'un utilisateur pour une couleur c est calculée en fonction des spots perturbateurs (spot s tel qu'il existe un utilisateur de U_s ayant déjà la couleur c).