

OR Aplicada a la Planificación de Adquisiciones de Imágenes Satelitales

Eduardo Romero

2 Dic. 2013

¿Quién soy?

- Yo:
 - Lic. Ciencias Matemáticas (Universidad de Buenos Aires)
 - Docencia en UBA/Inst.Gulich
 - Ingeniería del Segmento Terreno y Aplicaciones en CONAE
- Marcelo Oglietti (mi director):
 - Dr. Cs. Computación (Universidad La Sapienza - Roma)
 - Docencia en UBA/Inst.Gulich
 - Ingeniería del Segmento Terreno y Aplicaciones en CONAE

- **Breve Introducción a Programación Lineal Entera Mixta (Mixed Integer Programming)**
- **Planificación de un Satélite de Órbita Baja**
 - Definición y Diseño
 - Modelado de los Recursos (con Mixed Integer Programming)
- **Planificación Clásica**
- **Planificación con Recursos (COLIN)**

Introd. a Programación Lineal Mixta

Programación Lineal - LP

Es un conjunto de técnicas para resolver el siguiente problema:

Dada una matriz $A \in \mathbb{R}^{n \times m}$ y dos vectores $\vec{c} \in \mathbb{R}^m$, $\vec{b} \in \mathbb{R}^n$, encontrar una asignación de valores *reales* al vector \vec{x} tal que se cumpla lo siguiente:

- $Ax \leq b$,
- Minimizar $\sum_i c_i x_i$. (i.e., si hay otra solución y que cumple $Ay \leq b$, entonces $\sum_i c_i x_i \leq \sum_i c_i y_i$)

Su interés radica en:

- Permite modelar muchos problemas (e.g., problema de la dieta).
- Es ampliamente estudiado y existen algoritmos muy rápidos para su resolución (Simplex).

Introd. a Programación Lineal Mixta

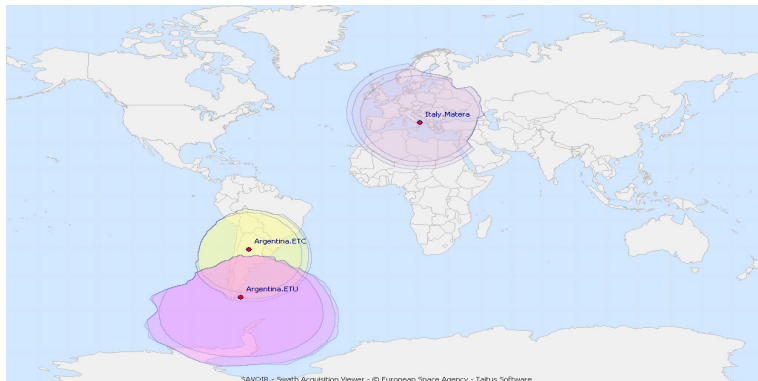
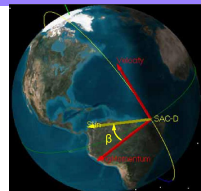
Programación Entera Mixta - *MIP*

- La formulación es idéntica a LP, pero se restringen algunas variables a *dominio entero y/o booleano*. Es decir, el dominio de la variable \vec{x} es $\mathbb{R}^k \times \mathbb{Z}^l \times \{0, 1\}^t$, con $m = k + l + t$.
- Esto agrega mucha complejidad (LP es P y MIP es NP-Hard).
- Las variables *binarias* se pueden usar para *representar decisiones*, la parte lógica del problema, por ejemplo:
 - $x_1 \leq x_2$ sirve para representar $p_1 \Rightarrow p_2$,
 - $1 \leq x_1 + x_2$ sirve para representar $p_1 \vee p_2$,
 - $x_1 = (1 - x_2)$ sirve para representar $p_1 = \neg p_2$.

Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Definición y Diseño

- Órbita baja y casi polar (contactos limitados).
- Almacenamiento de datos a bordo.
- El plan se define en tierra con anterioridad y se almacena a bordo.

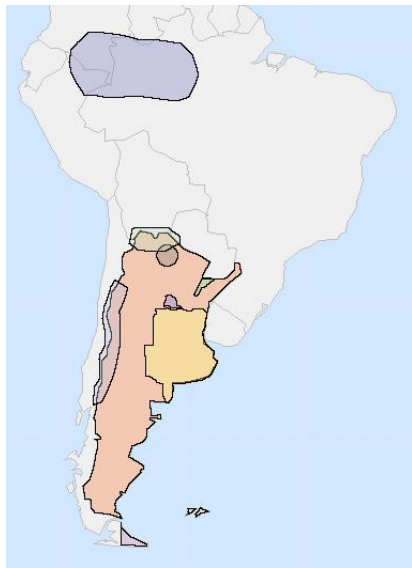


SAVOIR - Swath Acquisition Viewer - © European Space Agency - Taltus Software

Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Definición y Diseño

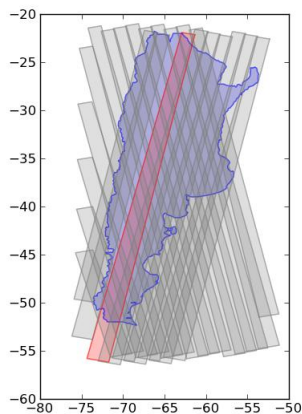
- Se reciben pedidos de imágenes de los usuarios (con un peso de prioridad asociado).
- Los pedidos especifican un área de interés con un modo de adquisición.
- Los pedidos pueden ser conflictivos entre sí (las áreas se pueden superponer, con modos de adquisición diferentes).



Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Definición y Diseño

- Sobre cada área se calculan los accesos.
- El problema consiste en decidir un plan de adquisiciones (y bajadas) de imágenes que:
 - Cumpla todas las restricciones de recursos.
 - Maximice el uso del satélite (suma de los pesos).

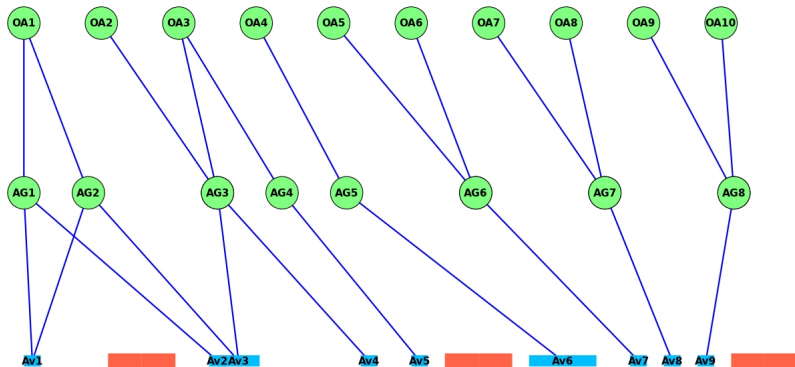


Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Definición y Descomposición del Problema

El problema se descompone en dos partes, siendo la primera:

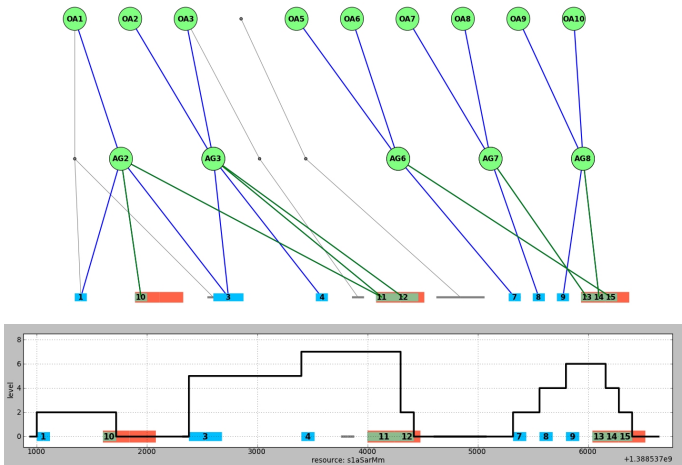
- Calcular coberturas (grupos de adquisiciones) a las zonas y especificar cómo se relacionan con los pedidos.



Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Definición y Descomposición del Problema

La solución debe satisfacer las restricciones de recursos:
almacenamiento a bordo, comandos, potencia, balance térmico.



Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Modelado de los Recursos (con Mixed Integer Programming)

- A cada actividad (cada adquisición y bajada) se le asocia una variable binaria de decisión x_i .
- Dado un recurso (k), y un instante de tiempo relevante (t_s), se asocian dos variables reales que representan el valor del recurso antes e inmediatamente después del instante de tiempo (rb_{kt_s} y ra_{kt_s} respectivamente).
- Los instantes de tiempo considerados son los start-time y end-time de cada actividad (denotados $st(x_i)$ y $et(x_i)$, respectivamente).

Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Modelado de los Recursos (con Mixed Integer Programming)

- Hay varios tipos de uso de recurso:
 - $use(x_i) = \text{start}$ si la actividad consume o genera el recurso al comienzo,
 - $use(x_i) = \text{end}$ si la actividad consume o genera el recurso al final, en este caso y el anterior, la función $usage(x_i)$ denota el consumo/generación puntual.
 - $use(x_i) = \text{during}$ si la actividad consume o genera el recurso durante su ejecución. En este caso, la función $rate(x_i)$ denota la tasa de consumo.
- Además, el uso del recurso puede ser fijo o proporcional a la duración de la actividad.

Planificación de un Satélite de Órbita Baja

Modelado de los Recursos (con Mixed Integer Programming)

La forma de modelar las restricciones es la siguiente:

$$\forall k, t_s : rb_{kt_{s+1}} = ra_{kt_s} + (t_{s+1} - t_s) \cdot \sum_{i:\mathbb{P}_1(i)} rate(i) \cdot x_i,$$

$$\forall k, t_s : ra_{kt_{s+1}} = rb_{kt_{s+1}} + \sum_{i:\mathbb{P}_2(i)} usage(i) \cdot x_i,$$

donde:

$$\mathbb{P}_1(i) := st(x_i) \leq t_s < et(x_i) \wedge use(x_i) = \text{during}$$

y

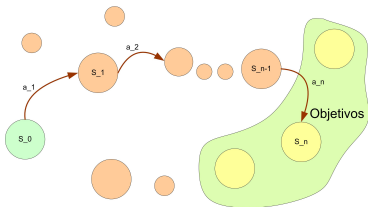
$$\mathbb{P}_2(i) := (st(x_i) = t_{s+1} \wedge use(x_i) = \text{start})$$

$$\vee (et(x_i) = t_{s+1} \wedge use(x_i) = \text{end}).$$

Planificación Clásica - Introducción

Representación básica como sistema de transición de estados

- Un problema de planificación viene dado por un *estado inicial*, un *conjunto de estados finales* deseados, y un conjunto de *acciones* que permiten transitar de un estado a otro.
- Una *solución* del problema de planificación es un plan, es decir, una sucesión de acciones que transforma el estado inicial en uno de los estados finales.



Planificación - Representación

Planning Domain Definition Language, (PDDL) - (Basada en STRIPS)

- Usa *predicados* para describir los estados.
- Se especifica cada *operador o acción* por medio de sus precondiciones y sus efectos, que son también predicados (con variables que deben ser instanciadas).
 - Las *precondiciones* deben ser verdaderas en el estado en el que la acción es aplicada.
 - Los *efectos* especifican qué predicados dejan de ser ciertos y cuáles pasan a ser ciertos en el estado resultado de aplicar la acción.
- Idea: Se basa en Situation Calculus, pero separando el modelado de los estados de las acciones que pueden actuar en ellos.
- Orientado a algoritmos de búsqueda (amplitud, escalada, A*, etc). La construcción de heurísticas es clave.

Planificación - Representación (PDDL)

Lenguaje de planificación usado para especificar dominios y problemas.

- Muchas extensiones: tiempo explícito, efectos condicionales, cuantificación en efectos, etc.
- Se usa en la competencia internacional de planificación automática.

Ejemplo de operador en PDDL:

```
(define (domain logistics-strips) ...  
(:action LOAD-TRUCK  
:parameters (?obj - object ?truck - vehicle ?loc -  
location)  
:precondition (and (at ?truck ?loc) (at ?obj ?loc))  
:effect (and (not (at ?obj ?loc)) (in ?obj ?truck)) ))
```


Planificación con Recursos (COLIN)

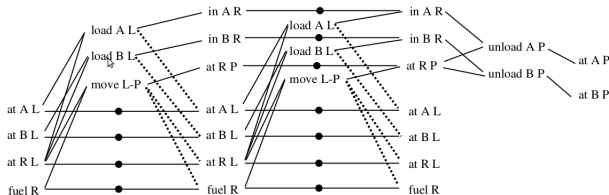
PDDL ofrece formas de expresar dominios temporales y con recursos.

```
(:durative-action takeMortgage
:parameters (?m - mortgage)
:duration (= ?duration (durationFor ?m))
:condition
(and (at start (saving))
(at start (>= (money) (depositFor ?m)))
(over all (<= (money) (maxSavings ?m))))
:effect
(and (at start (decrease (money) (depositFor ?m)))
(decrease (money) (* #t (interestRateFor ?m)))
(at end (boughtHouse))))
```

Planificación con Recursos (COLIN)

Para resolver estos problemas el enfoque más exitoso actualmente es el usado por COLIN [A.Coles et al, *COLIN: Planning with Continuous Linear Numeric Change*, JAIR 44 (2012) 1-96]:

- Se usan algoritmos de búsqueda informada (tipo escalada). La heurística es la misma que usa metric-FF. Se construye en base al *Planning Graph* de una versión relajada del problema (sin efectos negativos).



Planning Graph donde se ven los niveles de acciones y predicados intercalados.

(A. Blum and M. Furst, *Fast Planning Through Planning Graph Analysis*, Artificial Intelligence, 90:281–300 (1997)).

Planificación con Recursos (COLIN)

- En cada estado de la búsqueda se construye un modelo LP que contiene las relaciones temporales y de recursos, que se usa para podar la búsqueda y verificar consistencia. La representación de los recursos en el modelo LP es similar a la presentada en el modelo MIP anteriormente.
- Los instantes de tiempo corresponden al start time y end time de acciones, pero los tiempos son variables (a decidir) y se incluyen en el modelo.

