LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional
Limeira–SP, 02 a 06 de setembro de 2019

LIMEIRA 2019
51º SBPO

ANÁLISE DO MODELO MATEMÁTICO REFERENTE AO SEQUENCIAMENTO PARA AQUISIÇÃO E *DOWNLOAD* DE DADOS POR UMA CONSTELAÇÃO DE SATÉLITES

Maria José Pinto
Instituto de Estudos Avançados (IEAv)
Trevo Cel Av José A. A. do Amarante, nº 1, Putim, CEP 12228-001, São José dos Campos, SP
maju@ieav.cta.br

Monica Maria De Marchi
Instituto de Estudos Avançados (IEAv)
Trevo Cel Av José A. A. do Amarante, nº 1, Putim, CEP 12228-001, São José dos Campos, SP
monica@ieav.cta.br

RESUMO

Neste artigo, abordamos o problema de sequenciamento para aquisição e *download* de dados por uma constelação de satélites e estações de solo associadas para monitorar diferentes locais (alvos) com diferentes prioridades em um determinado horizonte de planejamento. O modelo proposto anteriormente busca respeitar restrições referentes às janelas de visibilidade, à precedência entre aquisição e *download* e à capacidade de tempo de processamento dos satélites. O modelo também formula explicitamente os requisitos *revisit time* (tempo entre as aquisições sucessivas do mesmo alvo) e *due time* (último momento para que os dados coletados sejam descarregados para uma estação de solo). Entretanto, algumas adaptações podem ser necessárias neste modelo para permitir determinadas situações práticas. Neste trabalho, uma análise do modelo será apresentada e o modelo será aplicado em um exemplo ilustrativo para mostrar o resultado desta análise.

PALAVRAS CHAVE. Sequenciamento, Aquisição e *download*, Modelo matemático.

Outras Aplicações em PO (OA), PO em Defesa e Segurança Pública (D&SP), Logística e Transporte (L&T).

ABSTRACT

In this paper we address the scheduling problem of data collection and download for a constellation of satellites and associated ground stations to monitor different locations (targets) with different priorities for a given planning horizon. In previous work the proposed modelling focused on ensuring that target observations would take place within the available observation time-windows, enforcing precedence constraints between acquisition and download of data as well as the satellites processing time capacities. It also explicitly modeled the revisit time (the time between successive observations of the same target) and the due time (the latest possible moment that the collected imagery is available at the ground station). However some improvements should be handled in that model for a given practical application. The model will be analyzed and the result of this analysis will be demonstrated by considering an illustrative instance.

KEYWORDS. Scheduling. Acquisition and download. Mathematical model.

Other OR Applications, OR in Defence and Public Security. Logistic and Transport.

https://proceedings.science/p/106982?lang=pt-br

1. Introdução

O Brasil se encontra em estágio emergente em termos de gerenciamento e desenvolvimento de tecnologias de sistemas espaciais e tem buscado enfatizar, por meio do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), suas prioridades e interesse estratégico no domínio das tecnologias espaciais visando fortalecer a autonomia e a soberania do país. Além disso, o emprego de satélites para apoiar o processo de tomada de decisão em diversos cenários de atuação vem se consolidando como uma realidade e norteado as pesquisas aplicadas dentro deste contexto, dado o enorme potencial de expansão para novos papéis, tanto no âmbito da defesa como em aplicações no meio civil.

Dentro desse contexto, o presente trabalho busca contribuir com estas pesquisas para apoiar o processo de tomada de decisão referente ao planejamento de uma constelação de satélites para adquirir e fazer o *download* de dados (imagens) para as estações de solo, visando monitorar locais de interesse (alvos) com diferentes prioridades, dado um horizonte de planejamento.

De nosso conhecimento, são poucos os trabalhos que tratam os problemas de aquisição e *download* de forma integrada, ou seja, considerando tanto a aquisição das imagens quanto a transferência dos dados coletados para as estações de solo [Wang e Reinelt 2011], [Wang et al. 2011], [Kim e Chang 2015], [Cho et al. 2018]. Entretanto, uma solução não integrada pode não ser aplicável na prática para um horizonte de planejamento maior, quando determinados requisitos dos cenários precisam ser garantidos. Por exemplo, em um monitoramento num cenário de crise, a detecção precoce de uma situação emergencial é fundamental. Mas, para isto, pode ser desejável obter mais informações de um mesmo alvo durante o horizonte de planejamento para que seja possível identificar diferenças. Desta forma, o sequenciamento precisa respeitar um intervalo mínimo de tempo entre observações sucessivas de um mesmo alvo (RT - *revisit time*) ou o tempo limite para que as imagens coletadas estejam disponíveis na estação de solo (DT - *due time*) para que permitam a comparação desejada. Para atender estes requisitos, o *download* dos dados precisa ser também levado em consideração no planejamento.

O problema foi modelado matematicamente em [Pinto et al. 2018] onde, dados os diferentes valores (prioridades) de cada alvo, o objetivo consistiu em maximizar o valor dos dados coletados respeitando restrições referentes às janelas de visibilidade (oportunidades de contato entre o satélite e o alvo/estação de solo), à precedência entre aquisição e *download*, à capacidade de tempo de processamento e aos requisitos RT e DT. Entretanto, adaptações do modelo podem ser necessárias para permitir determinadas aplicações na prática. O modelo proposto em [Pinto et al. 2018] é apresentado na Seção 2 juntamente com uma análise do modelo. Na Seção 3, o modelo é aplicado em um exemplo ilustrativo e, na Seção 4, são apresentadas algumas considerações finais, juntamente com propostas de trabalhos futuros.

2. Análise do Modelo Matemático

O modelo matemático proposto em [Pinto et al. 2018] será revisado a seguir e, em seguida, será apresentada uma análise em relação à sua aplicação em determinadas situações práticas. O modelo considera:

H $\rightarrow$ Horizonte de planejamento

T $\rightarrow$ Conjunto de alvos

$p_i \geq 0$ $\rightarrow$ Prioridade do alvo i, $i = 1,...,T$

S $\rightarrow$ Conjunto de satélites heterogêneos da constelação

S_i $\rightarrow$ Conjunto de satélites que podem adquirir o alvo i

G $\rightarrow$ Conjunto de estações de solo

https://proceedings.science/p/106982?lang=pt-br

G_j → Conjunto de estações de solo que podem receber as informações coletadas pelo satélite j

A_{ij} → Conjunto contendo as janelas de visibilidade que o alvo i pode ser adquirido pelo satélite j

D_{jg} → Conjunto contendo as janelas de visibilidade que o dado adquirido pelo satélite j pode ser descarregado para a estação de solo g

$[a_t, \bar{a}_t]$ → Corresponde ao tempo inicial e final da t-ésima janela de visibilidade para aquisição $(a_t, \bar{a}_t \in \mathbb{N})$

$[b_d, \bar{b}_d]$ → Corresponde ao tempo inicial e final da d-ésima janela de visibilidade para *download* $(b_d, \bar{b}_d \in \mathbb{N})$

RT_i → *Revisit Time* do alvo i $(RT_i \geq 0)$. Observe que, para $RT_i > 0$, o alvo i poderá ser visitado, no máximo, AD_i vezes dentro do horizonte de planejamento H, onde: $AD_i = \left\lfloor \frac{H}{RT_i} \right\rfloor$, $AD_i \in \mathbb{N}$.

DT_i → *Due Time* para a k-ésima aquisição do alvo i $(DT_{ik} \geq 0)$

V_i → Volume de dados do alvo i (em Mbit)

AP_j → Tempo de processamento do satélite j para processar os dados referentes ao alvo i (em Mbit/seg)

DP_{jg} → Tempo de processamento do satélite j para descarregar os dados do satélite j para a estação de solo g (em Mbit/seg)

C_j → Capacidade de tempo de processamento do satélite j durante o horizonte de planejamento H

Assumindo que a aquisição e o *download* de dados dependem principalmente do tamanho do dado, o tempo de processamento para adquirir e descarregar os dados será, respectivamente: $M_{ij} = V_i / AP_j$ e $N_{ijg} = V_i / DP_{jg}$.

Considere ainda as seguintes variáveis de decisão:

$x_{ikjt} \in \{0,1\}$ → indica que a k-ésima aquisição do alvo i será obtida pelo satélite j na janela de visibilidade t ($i \in T$; $k=1,\ldots,AD_i$; $j \in S_i$; $t \in A_{ij}$)

$y_{ikjgd} \in \{0,1\}$ → indica que a k-ésima aquisição do alvo i adquirida pelo satélite j será descarregada para a estação de solo g na janela de visibilidade d ($i \in T$; $k=1,\ldots,AD_i$; $j \in S_i$; $g \in G_j$; $d \in D_{jg}$)

$AW_{ikj} \geq 0$ → indica o momento inicial da k-ésima aquisição do alvo i pelo satélite j ($i \in T$; $k=1,\ldots,AD_i$; $j \in S_i$)

$DW_{ikjg} \geq 0$ → indica o momento inicial que a k-ésima aquisição do alvo i adquirida pelo satélite j será descarregada para a estação de solo g ($i \in T$; $k=1,\ldots,AD_i$; $j \in S_i$; $g \in G_j$)

O problema de sequenciamento para tratar tanto a aquisição quanto o *download* de dados proposto por [Pinto et al. 2018] é então apresentado a seguir.

$$Max \sum_{i \in T} p_i \sum_{k=1}^{AD_i} \sum_{j \in S_i} \sum_{t \in A_{ij}} x_{ikjt} \tag{1}$$

s.t.:

$$\sum_{j \in S_i} \sum_{t \in A_{ij}} x_{ikjt} = \sum_{j \in S_i} \sum_{g \in G_j} \sum_{d \in D_{jg}} y_{ikjgd} \leq 1, \qquad i \in T, k = 1, \ldots, AD_i \tag{2}$$

https://proceedings.science/p/106982?lang=pt-br

$$\sum_{j\in S_i}\sum_{t\in A_{ij}} x_{i,k+1,j,t} \le \sum_{j\in S_i}\sum_{t\in A_{ij}} x_{ikjt}\,, \qquad i \in T, k = 1,\dots,AD_i - 1 \tag{3}$$

$$\sum_{t\in A_{ij}} a_t x_{ikjt} \le AW_{ikj} \le \sum_{t\in A_{ij}} (\bar{a}_t - M_{ij}) x_{ikjt}\,, \qquad i \in T, k = 1,\dots,AD_i, j \in S_i \tag{4}$$

$$\sum_{d\in D_{jg}} b_d\, y_{ikjgd} \le DW_{ikjg} \le \sum_{d\in D_{jg}} (\bar{b}_d - N_{ijg}) y_{ikjgd}, \qquad i \in T, k = 1,\dots,AD_i, j \in S_i, g \in G_j \tag{5}$$

$$\sum_{j\in S_i} AW_{i,k+1,j} \ge \sum_{j\in S_i} AW_{ikj} + RT_i \sum_{j\in S_i}\sum_{t\in A_{ij}} x_{ikjt}\,, \qquad i \in T, k = 1,\dots,AD_i - 1 \tag{6}$$

$$DW_{ikjg} + N_{ijg} \sum_{d\in D_{jg}} y_{ikjgd} \le DT_{ik} \qquad i \in T, k = 1,\dots,AD_i, j \in S_i, g \in G_j \tag{7}$$

$$AW_{ikj} + M_{ij} \sum_{t\in A_{ij}} x_{ikjt} \le \sum_{g\in G_j} DW_{ikjg}\,, \qquad i \in T, k = 1,\dots,AD_i, j \in S_i \tag{8}$$

$$\sum_{i\in T}\sum_{k=1}^{AD_i}\sum_{t\in A_{ij}} M_{ij} x_{ikjt} + \sum_{i\in T}\sum_{k=1}^{AD_i}\sum_{g\in G_j}\sum_{d\in D_{jg}} N_{ijg} y_{ikjgd} \le C_j, j \in S \tag{9}$$

O objetivo (1) consiste em maximizar a soma das prioridades dos alvos que tenham sido adquiridos e enviados para uma estação de solo. As restrições (2) garantem que a obtenção dos dados de um alvo é considerada completa quando estes dados são adquiridos e enviados a uma estação de solo. Além disso, estas restrições garantem que cada alvo será atendido no máximo uma vez (por um satélite e em uma janela de aquisição/*download*). As restrições (3) garantem que, se o alvo *i* é adquirido a *k*–ésima vez ($x_{ikjt}=1$), este alvo pode ser adquirido a (*k*+1)-vez ou não ($x_{i,k+1,j,t}=0$ or $x_{i,k+1,j,t}=1$), ou seja, a ordem das aquisições seguirão uma ordem cronológica (não permite, por exemplo, que a segunda aquisição ocorra e a primeira não). As restrições (4) e (5) garantem que o tempo total de aquisição/*download* respeite os respectivos limites das janelas de visibilidade. As restrições (6) garantem que o tempo de revisita entre as aquisições de cada alvo seja respeitado (*revisit time*). As restrições (7) garantem que os dados adquiridos do alvo serão transferidos para a estação de solo dentro do prazo solicitado (*due time*). Vale ressaltar que as restrições (6) e (7) não são normalmente consideradas nos modelos da literatura. Entretanto, estes requisitos operacionais do cenário precisam ser abordados para derivar um modelo que possa ser aplicado na prática. As restrições (8) impõem a precedência entre aquisição e *download*, ou seja, os dados de um alvo específico podem ser transferidos de um satélite para uma estação de solo somente se já tiverem sido adquiridos anteriormente por aquele satélite. As restrições (9) garantem que o tempo de processamento total do satélite não exceda sua capacidade dentro do horizonte de planejamento.

No modelo (1)-(9) assume-se que $a_t > 0$ e $b_d > 0$. Desta forma, $AW_{ikj} = DW_{ikjg} = 0$ significará que os dados do *k*-ésimo alvo não serão adquiridos e nem descarregados.

As janelas de visibilidade podem ser obtidas através de alguma ferramenta de modelagem de sistemas espaciais. Este tipo de ferramenta calcula, para determinados parâmetros

https://proceedings.science/p/106982?lang=pt-br

do satélite/sensor, a cobertura dos alvos em diferentes períodos de tempo dentro do horizonte de planejamento (para mais detalhes sobre os conceitos e modelos que definem esta cobertura, veja [Wertz 2009]). Basicamente, o modelo de cobertura usa os seguintes dados de entrada:

- Parâmetros do satélite/sensor: altitude; inclinação; resolução espacial, temporal e espectral, *swath width* (largura de faixa do sensor); campo de visão (FOV, do inglês, *Field of View*)
- Horizonte de planejamento
- Parâmetros do alvo: localização; tipo (ponto ou área)

As imagens coletadas por um determinado sensor é o resultado de uma combinação da área observada e as características do sensor em termos de suas resoluções espacial, temporal e espectral. A resolução espacial está relacionada com a capacidade de cada sensor em detectar os objetos da superfície terrestre (tamanho do pixel). Desta forma, quanto melhor a resolução espacial, menor o objeto distinguível pelo sensor. A resolução temporal especifica a frequência com que o satélite visita um local específico e a resolução espectral especifica o número de bandas espectrais (e sua posição no espectro) nas quais o sensor consegue medir a intensidade do sinal de retorno (reflectância).

Em geral, o campo de visão (FOV) e a altitude do sensor acima do solo determinam o tamanho da área imageada (largura da faixa - *swath width*). O FOV descreve o ângulo de abertura do sensor, conforme mostra a Figura 1.

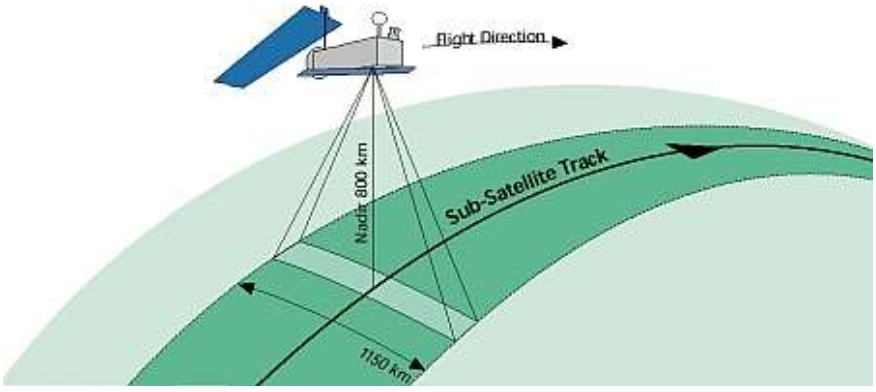


Figura 1. Ilustração do FOV e da largura de faixa do sensor (*swath width*).

As janelas de visibilidade geradas e os requisitos do cenário como, por exemplo, a resolução desejada, RT e DT, definirão a entrada para o modelo de otimização.

É importante ressaltar que os satélites possuem diferentes modos de aquisição (modos de imageamento) que podem resultar em resoluções diferentes. A Tabela 1 mostra alguns modos de aquisição e as respectivas resoluções para dois satélites que possuem sensores SAR (*Synthetic Aperture Radar*), TERRASAR-X e SENTINEL 1.

Tabela 1. Alguns modos de aquisição e resolução resultante para diferentes satélites.

RADARSAT 2		**SENTINEL 1**	
Modo de Aquisição	**Resolução (m)**	**Modo de Aquisição**	**Resolução (m)**
Extra Fine SLC Full Res	3.1	Stripmap	5
Wide SLC	13.5	Interferometric Wide swath	5
ScanSAR Wide	163	Extra Wide	20

De acordo com [Liang 2017], a troca de um modo de aquisição para outro não é automática e nenhum dado pode ser adquirido durante este intervalo de tempo. Desta forma, se existirem alvos próximos que possam ser adquiridos com modos de aquisição diferentes, um tempo de transição deverá ser levado em consideração. Para não gerar soluções infactíveis na prática, definindo aquisições consecutivas de alvos distintos e com modos de aquisição diferentes e que não considerem um tempo suficiente para a troca, não basta adaptar as restrições (4) pois, neste caso, seria garantido que o tempo de aquisição e o tempo de mudança de modo de aquisição respeitem os limites das janelas de visibilidade de cada aquisição, mas o que precisamos garantir é que o início da próxima aquisição ocorra somente após a mudança do modo de operação, caso esta mudança seja necessária. Neste caso, as restrições (10) precisam ser atendidas.

$$AW_{i,k,j} \geq AW_{r,n,j} + M_{ij} + TT_j, \quad i, r \in T_j^*; k = 1, \dots, AD_i, n = 1, \dots, AD_r, j \in S^* \tag{10}$$

onde:

- S^* → Conjunto dos satélites que possuem alguma janela de aquisição próxima ($S^* \in S$)
- T_j^* → Conjunto formado pelos pares de alvos (i, r) que possuem janelas de aquisição próximas ($T^* \in T$) e que podem ser utilizadas pelo satélite j para adquirir os alvos i e r, $i > r$ (considerando que as janelas para cada satélite estão ordenadas no tempo)
- TT_j → Corresponde ao tempo de transição necessário para que o satélite j mude de um modo de aquisição para outro

3. Exemplo Ilustrativo

Considere um horizonte de planejamento de 3 dias, três alvos (T1, T2 e T3), dois satélites (S1, S2) e uma estação de solo (ES), sendo 17 janelas de visibilidade geradas: 11 janelas para aquisição (A1 a A11) e 6 janelas para *download* (D1 a D6), conforme detalhado nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. A coluna "Em min" mostra o momento da observação (em minutos) dentro do horizonte de planejamento de 3 dias (que corresponde a um total de 4320 minutos)

Tabela 2. Janelas de visibilidade para aquisição de dados para cada satélite.

Satélite	Janela	Alvo	Início			Final			Duração (min)
			Dia	Horário	Em Min	Dia	Horário	Em min	
S1	A1	T2	1	16hs45min	1005	1	16hs49min	1009	4
	A2	T3	1	16hs48min	1009	1	16hs52min	1013	4
	A3	T1	2	6hs30min	1830	2	6hs34min	1834	4
	A4	T2	2	16hs55min	2455	2	17hs01min	2461	6
	A5	T1	3	6h58min	3298	3	7hs02min	3302	4
	A6	T3	3	16h55min	3895	3	17hs00min	3900	5
S2	A7	T1	1	10hs24min	624	1	10hs29min	629	5
	A8	T3	1	14h34min	874	1	14hs37min	877	3
	A9	T1	2	11hs16min	2116	2	11hs21min	2121	5
	A10	T1	3	11hs43min	3583	3	11hs48min	3588	5
	A11	T3	3	15hs00min	3780	3	15hs03min	3783	3

https://proceedings.science/p/106982?lang=pt-br

Tabela 3. Janelas de visibilidade para *download* de dados para a estação de solo.

Janela	Satélite	Início			Final			Duração (min)
		Dia	Horário	Em min	Dia	Horário	Em min	
D1	S1	1	23h57min	1437	2	0h02min	1442	5
D2		3	0h00min	2880	3	0h04min	2884	4
D3		3	23h57min	4317	3	24h00min	4320	3
D4	S2	2	1h37m	1537	2	1h41min	1541	4
D5		2	23h38min	2858	2	23h45min	2865	7
D6		3	23h46min	4306	3	23h50min	4310	4

As janelas de visibilidade também podem ser representadas em um histograma de cobertura para facilitar a interpretação e a análise, como mostra a Figura 2.

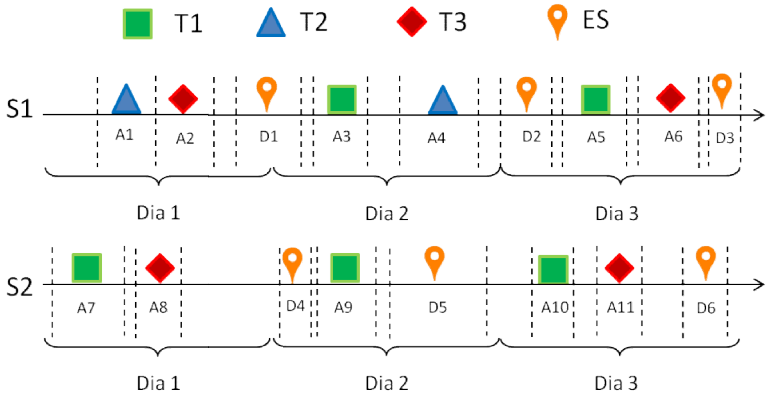


Figura 2: Histograma de cobertura para o exemplo ilustrativo.

Considere ainda as informações referentes a RT e DT da Tabela 4. No caso, o valor apresentado para RT na tabela indica de quanto em quanto tempo o alvo precisa ser visitado, por exemplo, de 1 em 1 dia (RT = 1) ou de 2 em 2 dias (RT = 2). Como definido na descrição das variáveis do modelo (1)-(10), o valor de RT definirá AD_i, $AD_i = \left\lceil \frac{H}{RT_i} \right\rceil$, conforme também apresentado na Tabela 4. No caso de DT, o valor na tabela indica o momento final (em minutos), dentro do horizonte de planejamento que os dados coletados do alvo precisam ser descarregados para a estação de solo. No caso dos alvos que precisam ser observados mais de uma vez durante o horizonte de planejamento, $AD_i > 1$, o valor de DT é definido para cada uma das observações.

Tabela 4. *Revisit time* e *due time* para cada alvo.

Alvo	RT	AD	DT
T1	1	3	Início do segundo dia (1600 min)
			Final do segundo dia (2880 min)
			Final do terceiro dia (4320 min)
T2	3	1	Final do segundo dia (2880 min)
T3	2	2	Início do segundo dia (1500 min)
			Final do terceiro dia (4320 min)

Por simplificação, definimos um tempo de 1 minuto para processar os dados dos alvos para ambos os satélites (somente o alvo T2 necessitará de 2 minutos para ser adquirido pelo satélite S1) e um tempo de 0,5 minutos para fazer o *download* dos dados, independente de qual satélite adquiriu o alvo. Também consideramos todas as prioridades iguais a 1 e um valor para a capacidade de processamento, para ambos os satélites, suficiente para adquirir todos os dados.

O modelo (1)-(9) foi implementado no AMPL e a solução obtida está apresentada na Tabela 5. A coluna "Satélite" indica qual o satélite irá adquirir os dados do alvo e, a quinta e sétima colunas, denominadas de "Início", indicam, respectivamente, quando exatamente a aquisição ou o *download* terão início dentro da respectiva janela de aquisição (quarta coluna).

Tabela 5. Solução do modelo (1)-(9) para o exemplo ilustrativo.

Alvo	**Observação**	**Satélite**	**Aquisição**		***Download***	
			Janela	**Início**	**Janela**	**Início**
T1	1	S2	A7	624	D4	1537
	2	S2	A9	2116	D5	2858
	3	S2	A10	3583	D6	4306
T2	1	S1	A1	1005	D1	1437
T3	1	S1	A2	1009	D1	1437
	2	S1	A6	3895	D3	4317

Observe que a solução definiu a obtenção dos dados de todos os alvos (valor da função objetivo (1) igual a 6) e que todas as aquisições e os *downloads* foram iniciados no começo das janelas de visibilidade. Ao considerarmos que os alvos T2 e T3 requerem modos de aquisição diferentes para serem adquiridos e definirmos um tempo de transição de 2 minutos para ambos os satélites fazerem a troca entre diferentes modos de aquisição ($TT_j = 2$), a mesma solução descrita na Tabela 5 é obtida ao incluirmos as restrições (10) ao modelo, ou seja, o tempo de transição neste caso não influencia na solução.

Entretanto, quando aumentamos o tempo de transição para 3 minutos ($TT_j = 3$), a janela A2 continua a ser utilizada pelo satélite S1 para a primeira aquisição do alvo T3 logo após a aquisição do alvo T2, mas a aquisição não inicia no começo da janela pois o alvo T2 precisará de 2 minutos para ser adquirido e, somente depois, o modo de aquisição seria modificado para o modo correto para coletar o alvo T3, o que consumiria 3 minutos. Desta forma, a aquisição do alvo T3 somente é iniciada no momento 1010 (1005+2+3). As demais aquisições são feitas nos tempos já mostrados na Tabela 5.

Ainda, se o tempo de transição for ainda maior (por exemplo, $TT_j = 4$) e o tempo para adquirir o alvo T3 for de 3 minutos, para o satélite S1, não seria possível utilizar a janela A2 para adquirir o alvo T3 pois sua aquisição poderia somente iniciar no tempo 1011 (1005+2+4). Somando o tempo de 3 minutos para adquirir o alvo T3, a aquisição somente seria finalizada no tempo 1014, que está acima do limite superior da janela A2. Neste caso, não seria possível obter os dados do alvo T2 pois a outra opção seria utilizar a janela A4, mas não haveria tempo hábil para descarregar os dados para uma estação de solo.

4. Considerações Finais

Um modelo matemático foi proposto anteriormente para gerar um sequenciamento eficiente para adquirir e descarregar dados de alvos diferentes com prioridades diferentes, levando em conta restrições operacionais como DT e RT. Mostramos que o modelo pode resultar em soluções infactíveis, caso o problema seja aplicado em determinadas situações práticas como

https://proceedings.science/p/106982?lang=pt-br

a descrita neste trabalho quando aquisições consecutivas de um mesmo satélite necessitarem de diferentes modos de aquisição.

O modelo foi aplicado em um exemplo ilustrativo para mostrar a necessidade de incluir o tempo de transição no modelo. O próximo passo do trabalho será incluir no modelo outras adaptações para tornar o modelo ainda mais representativo para diferentes situações práticas. Estas adaptações consistem da inclusão de outros tempos de transição ao modelo, necessários em algumas situações práticas que permitam, por exemplo, movimentos do sensor para aquisições consecutivas de alvos próximos ou para que uma mesma estação de solo receba dados de diferentes satélites ou, ainda, para que um mesmo satélite descarregue seus dados para diferentes estações de solo. Em seguida, pretende-se obter instâncias reais e com mais dados para verificar a complexidade do modelo e, caso seja necessário, desenvolver abordagens heurísticas para tratar o problema.

Nossa expectativa é que o sequenciamento obtido, além de gerar um planejamento para uma constelação de satélites existente, permita identificar áreas de vulnerabilidade e apoiar planejamentos futuros referentes a novas aquisições.

Referências

Cho, D-H, Kim, J-H, Choi, J-L e Ahn, J. (2018). Optmization-Based Scheduling Method fo r Agile Earth-Observing Satellite Constellation. *Journal of Aerospace Information Systems*, 15: 611-626.

Kim, H. e Chang, Y. K. (2015). Mission scheduling optimization of SAR satellite constellation for minimizing system response time. *Aerospace Science and Technology*, 40: 17-32.

Liang, S. Comprehensive Remote Sensing. Elsevier. 3134 páginas. 2017

Pinto, M. J., Barros, A. I., Noomen, R., van Gelder, P. H. A. J. M. e Lamballais Tessensohn, T. (2018). A New Model Proposal for Integrated Satellite Constellation Scheduling within a Planning Horizon given Operational Constraints. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems: ICORES*, p. 312-319. ISBN 978-989-758-285-1. DOI: 10.5220/0006655003120319.

Wang, P. e Reinelt, G. (2011). Solving the Earth Observing Satellite Constellation Scheduling Problem by Branch-and-Price. Operations Research Proceedings 2010. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 491-496.

Wang, P., Reinelt, G., Gao, P. e Tan, Y. (2011). A model, a heuristic and a decision support system to solve the scheduling problem of an earth observing satellite constellation. *Computers & Industrial Engineering*, 61: 322-335.

Wertz, J. R. (2009). Orbit & Constellation, Design & Management. Space Technology Library. Microcosm/Kluwer. 968 páginas.

https://proceedings.science/p/106982?lang=pt-br