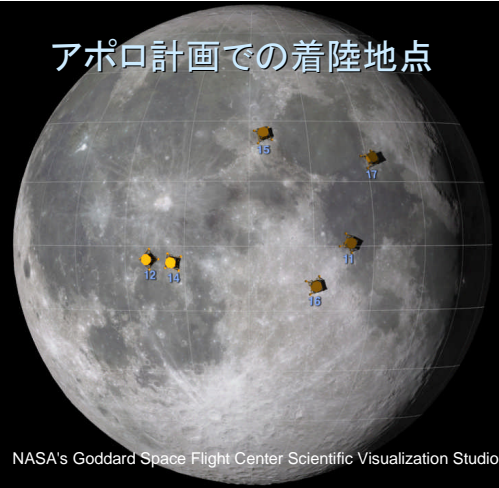


広域移動型有人宇宙探査のための 分散型生命維持システムの管理

宮嶋宏行 東京女学館大学

2010生態工学会年次大会
 沖縄県農業研究センター
 2010年5月14日(金) - 15日(土)

アポロ計画での着陸地点



NASA's Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio.

拠点から遠征

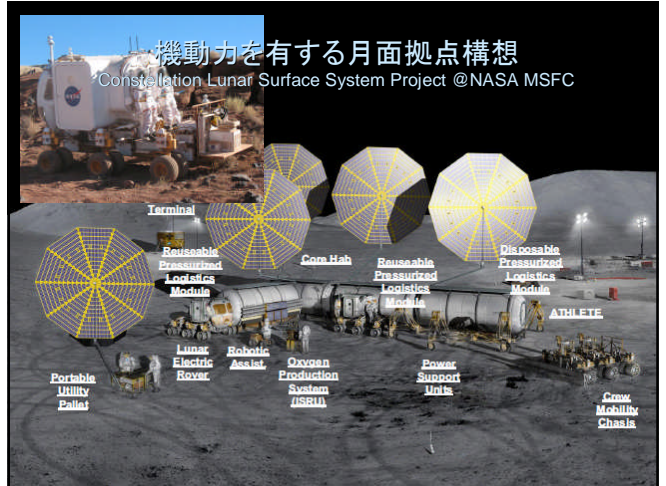
- アポロ計画の教訓では、月面での移動が有人探査の効率を向上させる要
- 将来の有人月面探査では、月面拠点を中心に、その周辺を数百キロ程度の広域にわたって無人や有人のローバーを利用して探査する。



生命維持システムや生命維持に必要な物資は一拠点で集中して運用されるわけではなく、ある範囲に分散して運用される。

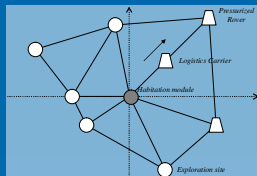
機動力を有する月面拠点構想

Constellation Lunar Surface System Project @NASA MSFC



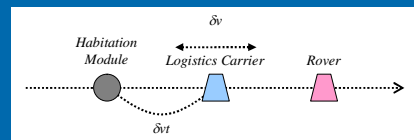
月面での広域移動型有人探査のためには

- どの物資を、どこで、どのくらい、どの物質の形で保持するのか？
- 月面全体では物資が満たされていないが、ある地点では物資が不足する可能性がある。
- ロジスティクスネットワークの構築と運用が重要になる。



- 本研究では、ロジスティクスネットワークの動的リソース配分を可能にする分散型運用管理アルゴリズムの開発を目的とする。
- 本発表では、ロジスティクスネットワークの物資運搬装置運用計画へのラグランジュ分解調整法(過去に開発)の適用について報告する。

ロジスティクスネットワークの定式化



位置モデル

$$d_i = \delta_i v_i t_i$$

$$\delta_i = \{-1, 0, 1\}$$

ラグランジュ分解調整法による 物資運搬装置運用の定式化

- 進行方向の切替コスト
- 移動距離
- 目標地点からの偏差
- 居住モジュールからの距離と必要物資充足率との積

$$\min \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^J [c_j (1 - |\delta_{j-1}|) |\delta_j| + c_j |\delta_j| + (d_{i,obj} - d_{ij}) / d_{i,obj} + h_i (B_{ij} d_{ij} / D_{i,max}) (x_{i,max} - x_{ij}) / x_{i,max}]$$

subject to

- $d_{i+1} = d_{ij} + \sum_{j=1}^J \delta_j v_{ijt} \quad \forall i, t$ 物資運搬装置の位置
- $d_{ij} \geq D_{Li} \quad \forall i, t$ 位置の下限
- $d_{ij} \leq D_{Ui} \quad \forall i, t$ 位置の上限
- $\sum_j \delta_j B_{ij} \leq 1 \quad \forall i, t$ 物資運搬装置の競合

緩和

$$\min \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^J [c_j (1 - |\delta_{j-1}|) |\delta_j| + c_j |\delta_j| + (d_{i,obj} - d_{ij}) / d_{i,obj} + h_i (B_{ij} d_{ij} / D_{i,max}) (x_{i,max} - x_{ij}) / x_{i,max}] + \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^J \lambda_{ij} (\sum_{j=1}^J \delta_j B_{ij} - 1)$$

subject to

- $d_{i+1} = d_{ij} + \sum_{j=1}^J \delta_j v_{ijt} \quad \forall i, t$
- $d_{ij} \geq D_{Li} \quad \forall i, t$
- $d_{ij} \leq D_{Ui} \quad \forall i, t$

分解

$$\min \lambda_{ij} = \sum_{i=1}^T [c_j (1 - |\delta_{j-1}|) |\delta_j| + c_j |\delta_j| + (d_{i,obj} - d_{ij}) / d_{i,obj} + h_i (B_{ij} d_{ij} / D_{i,max}) (x_{i,max} - x_{ij}) / x_{i,max}] + \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^J \lambda_{ij} \delta_j B_{ij}$$

subject to

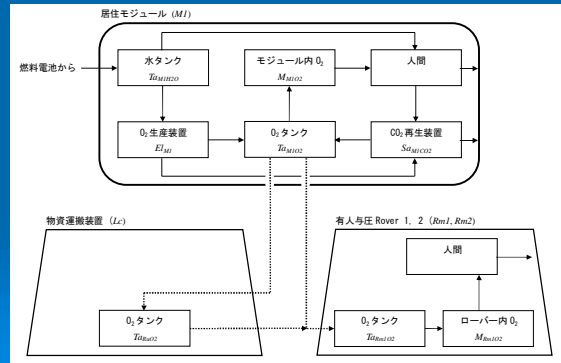
- $d_{i+1} = d_{ij} + \delta_j v_{ijt} \quad \forall i, t$
- $d_{ij} \geq D_{Li} \quad \forall i, t$
- $d_{ij} \leq D_{Ui} \quad \forall i, t$

ラグランジュ分解調整法の手順

- 問題を定式化(元の問題)
- 元の問題を部分問題に分解する(分解可能性)
- 部分問題の緩和問題を最適に解く(動的計画法を利用)
- 部分問題の最適解の情報を用いて元の問題の実行可能解を求める。

問題の規模に対して指数的に計算量が増加しない

月面拠点の酸素供給システム



酸素供給システムモデル

酸素タンク

$$Ta_{M1O2}(t+1) = Ta_{M1O2}(t) + pO_{2,fc}(t) + pO_{2,reg}(t) - rO_{2,M1}(t) - sw_1 - sw_2 - sw_3$$

$$Ta_{LcO2}(t+1) = Ta_{LcO2}(t) + sw_1 - sw_4 - sw_5$$

$$Ta_{Rm1O2}(t+1) = Ta_{Rm1O2}(t) - rO_{2,Rm1}(t) + sw_2 + sw_4$$

$$Ta_{Rm2O2}(t+1) = Ta_{Rm2O2}(t) - rO_{2,Rm2}(t) + sw_3 + sw_5$$

位置モデル

$$d_i = \delta_j v_{ijt}$$

$$\delta_i = \{-1, 0, 1\}$$

補給モデル

$$sw_j = \begin{cases} \text{if } (d_1 = 0) & sw_1 = Ta_{LcO2max} - Ta_{LcO2}(t) \\ \text{if } (d_2 = 0) & sw_2 = Ta_{Rm1O2max} - Ta_{Rm1O2}(t) \\ \text{if } (d_3 = 0) & sw_3 = Ta_{Rm2O2max} - Ta_{Rm2O2}(t) \\ \text{if } (d_1 = d_2) & sw_4 = Ta_{Rm1O2max} - Ta_{Rm1O2}(t) \\ \text{if } (d_1 = d_3) & sw_5 = Ta_{Rm2O2max} - Ta_{Rm2O2}(t) \end{cases}$$

2つの計算例

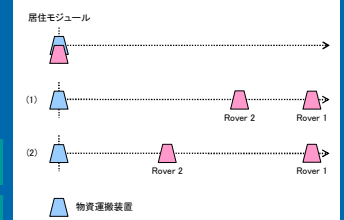
- Rover 1, 2が近距離で運用
- Rover 1, 2が遠距離で運用

Rover 1, 2の探索位置を初期値として与える

$$\text{Rover 1} = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0\}$$

$$\text{Rover 2} = \{0, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 5, 4, 3, 2, 1, 0, 0\}$$

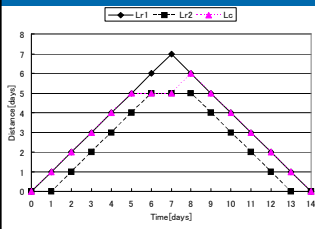
$$\text{Rover 2} = \{0, 0, 1, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 1, 0, 0\}$$



初期酸素量: 物資運搬装置: 28 CM-days
: Rover: 14 CM-days

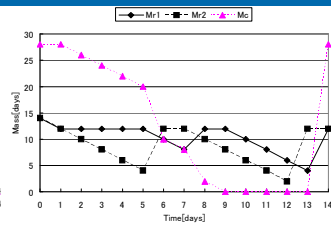
Rover 1, 2が近距離で運用

Rover 1, 2, 物資運搬装置の位置の変化



横軸: 時間[days]
縦軸: 距離[days]

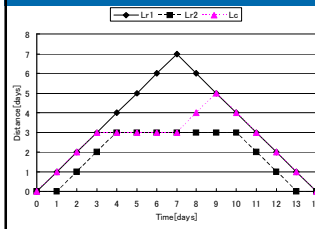
Rover 1, 2, 物資運搬装置の酸素量の変化



横軸: 時間[days]
縦軸: 酸素量[CM-days]

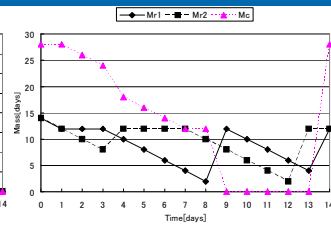
Rover 1, 2が遠距離で運用

Rover 1, 2, 物資運搬装置の位置の変化



横軸: 時間[days]
縦軸: 距離[days]

Rover 1, 2, 物資運搬装置の酸素量の変化



横軸: 時間[days]
縦軸: 酸素量[CM-days]

まとめ

- 月面での広域移動型有人探査に備えたロジスティクスネットワークについて提案し、そこで利用される物資運搬装置の運用を定式化し、ラグランジュ分解調整法を用いて運用計画を立案した。
- 本報告では、Rover2台、物資運搬装置1台の直線移動のみに限定した例題について運用計画が作成できることを確認した。
- 本手法は、Roverや物資運搬装置の移動を、直線移動からネットワーク型の移動に拡張した場合にも利用可能である。
- 今後、ネットワーク型への拡張と、運用台数を増やした場合について検討を行う。

本手法は、有人月面探査だけでなく、複数のサブシステムが広域で運用される火星探査、無人探査の資源配分問題にも応用可能