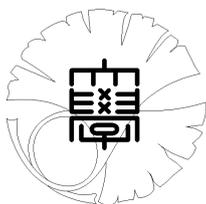


数理科学実践研究レター 2020-11 September 28, 2020

最急降下法を用いた自動操縦車の
車内レイアウトに関する考察

by

長谷川 隆祥



UNIVERSITY OF TOKYO
GRADUATE SCHOOL OF MATHEMATICAL SCIENCES
KOMABA, TOKYO, JAPAN

最急降下法を用いた自動操縦車の車内レイアウトに関する考察

長谷川 隆祥¹ (東京大学/宇宙科学研究所)

Takahiro Hasegawa (The university of Tokyo/ Institute of Space and Astronautical Science,
Japan Aerospace Extrapolation Agency)

概要

自動操縦車 (Robo Vehicle, RV) の実用化に伴い、RV のニーズに最も合致するレイアウトとはどのようなものかということが議論され始めている。本研究ではこのような議論に境界条件つき最適化問題を適用し、最急降下法を用いてレイアウトの検討を行った。ここでは、(i) 正方形、長方形キャビンに対する最適なレイアウトの比較、(ii) 乗客が追加された際の人の動きのシミュレーション、に関する検討について述べる。

1 はじめに

本研究では日産自動車株式会社との共同研究のもと、自動操縦車の車内レイアウトについて考察する。近年自動操縦車 (以下 RV) の実用化が急速に進められる中、RV を活用して観光や運送といった多様なニーズにどのように応えるかが議論されている (例えば、[1])。これに対して (1) 複数の用途に同一の RV で対応する、あるいは (2) 特定のニーズに特化した RV を最適に配車する、といったアプローチが考えられる。本研究では (1) のアプローチをとり、1 種類の車で多様なニーズを満たすことを考える。この場合、1 種類しかない RV について、車内の座席配置をどのようにするかが重要になる。この検討は現状、実際に人間が室内に設置された椅子に座った際の感想をモニターすることで評価をしている。しかし、このような作業は時間的・人的に多大なコストを要する。

最適なレイアウトを求めるという命題に対し、力学的なモデルを用いると言った試みは数多くなされてきている (例えば、[2])。本研究では現実空間で行われるレイアウトの評価実験に役立てるため、境界条件付き最適化問題を適用し、クーロンポテンシャルを模した評価関数を用いて最急降下法による机上検討の可能性を模索する。

2 最急降下法を用いたシミュレーション

あるレイアウト \mathbf{x} における評価関数 $f(\mathbf{x})$ を考える。ここで、レイアウト \mathbf{x} は N 個の座席に対して $2N$ 個の要素を持つベクトルであり、

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_{N-1}, x_N, y_1, y_2, \dots, y_{N-1}, y_N) \quad (1)$$

である。 x_i, y_i はそれぞれ座席 i の x, y 座標を表す。評価関数は座席間の距離に関係するものとして何通りか試した結果、

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j<i}^i \left(\frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} \right) \quad (2)$$

を採用した。これはクーロンポテンシャルと同様の形をしており、座席間距離の逆数に比例した斥力を与える。したがって、最適なレイアウトは $f(\mathbf{x})$ を最小化するような座席配置 \mathbf{x} である。

最適なレイアウトを求める手法として、本研究では最急降下法に着目した。これは初期条件から評価関数の勾配が最も大きい方向に探索していくことで、効率よく評価関数を最小 (最大) 化する解を求める手法である。レイアウト \mathbf{x} の更新は

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k - \eta \nabla f(\mathbf{x}^k) \quad (3)$$

$$\eta = r_{learn}/t^n \quad (4)$$

¹hasegawa.takahiro@ac.jaxa.jp

のように行う。ここで η はステップ幅、 r_{learn} は学習率、 t は時間ステップ、 n は定数であり、本検討では $n = 1/5$ とした。車内レイアウトを最適化するには境界条件付きの最適化問題を解くことになるが、本検討ではペナルティ法を用いた。これは、目的関数を

$$\tilde{f}(\mathbf{x}) = w_1 f(\mathbf{x}) + w_2 p(\mathbf{x}) \tag{5}$$

$$p(\mathbf{x}) = \max(x - X, 0) \tag{6}$$

などのように修正することで、レイアウトが境界条件を逸脱した際は評価関数にペナルティ $p(\mathbf{x})$ を課す方法である。ここで X は境界条件に関連した値であり、上記の例の場合、 $x \leq X$ なる条件が課されていることになる。ペナルティ $p(\mathbf{x})$ の与え方を変えることで、境界条件を設定することができる。

3 結果

3.1 正方形キャビン・長方形キャビン

まず、四角形 (正方形・長方形) のキャビンに 6 人乗車した場合、どのような配置が最適解として得られるかを計算した。四角形のキャビンは一辺 3m のもの考えた。長方形キャビンとしては、車長 4.2m、車幅 1.7m のものを想定した。これは日本国内で運転する場合の車長・車幅の限界とされている (高松, private communication)。また、キャビン内に配置する座席 (あるいは乗客) は半径 25cm の円と設定した。

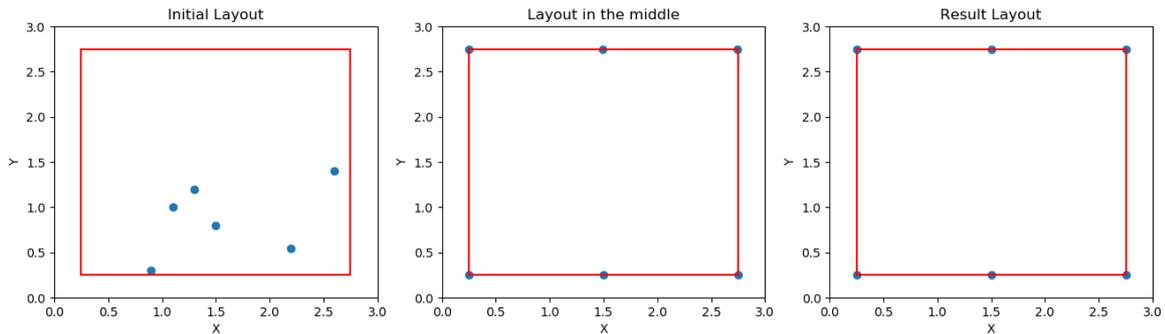


図 1: 正方形のキャビンに対するレイアウトの最適化の様子。赤線は円状の座席の中心が存在できる領域の境界を示す。

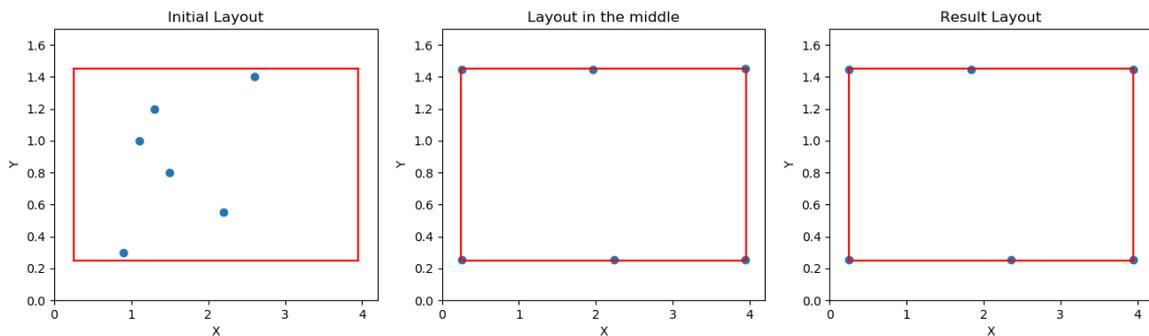


図 2: 長方形のキャビンに対するレイアウトの最適化の様子。赤線は円状の座席の中心が存在できる領域の境界を示す。

正方形キャビン、長方形キャビンに対するレイアウトの最適化の様子を図1、図2に示す。ここで赤線は、円状の座席の中心が存在できる領域の境界を示している。図1では四隅と上下の辺の真ん中に座席が配置されるという、対称性の良いレイアウトが得られた。一方、図2では四隅に加え、上下の辺に配置される座席が互いにずれて配置されるという結果が得られた。

3.2 人の乗車の再現

次に、本手法を応用して、元々キャビンに乗客がいる状況でさらに客が乗車したときに、人がどのような動きをするかをシミュレーションした。ここでは、まず3.1と同様な計算を5人の場合で行い、初期のレイアウトを求めた。この時、四隅と上辺(入り口がある側)に乗客が来るよう調整した。これに2人の乗客を追加し、再度計算を行った。以下で示す例において、2人の新たな乗客の初期位置は $(x, y) = (1.7, 1.54), (2.3, 1.55)$ とした。

この検討の初期条件では入り口側に3人、逆側に2人と人数の偏りがあるため、乗客が追加された時に逆側の壁に人が移動することでより良いレイアウトになると思われる。ここでは、キャビンの形状として3.1で考えた長方形キャビンと、このキャビンの一部区切り入り口側を狭くした台形様の六角形キャビンを考え、乗客の動きを比較した(図3。3.1で考えた座席は乗客の様に想定した。六角形キャビンにおいて除かれた左右の領域は、荷物置き場として活用することを想定している)。

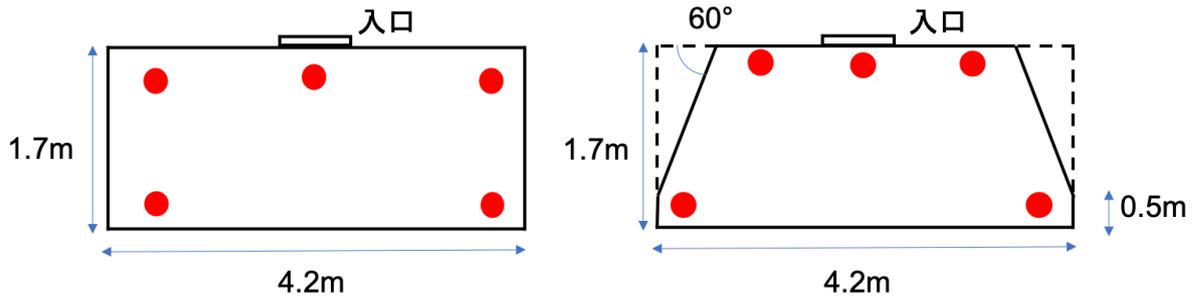


図3: 長方形キャビン、六角形キャビンの形状。赤丸は既に乗車している客を表す。

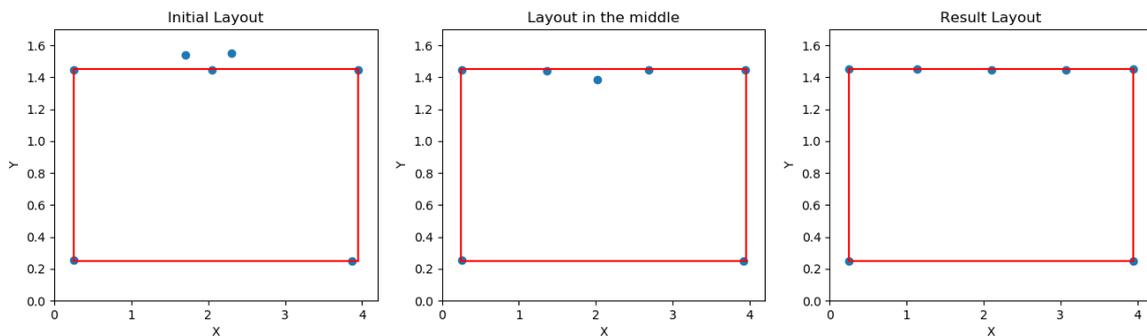


図4: 長方形キャビンにおける動的シミュレーションの様子。赤線は円状の座席の中心が存在できる領域の境界を示す。

長方形キャビンの結果を図4、六角形キャビンの結果を図5に示す。赤線は3.1と同様に円状の座席の中心が存在できる領域の境界を示している。長方形キャビンでは、2人の乗客が追加された際も入り口側にいた乗客は完全に押し出されず、上辺に5人が並ぶといった配置になっている。一方六角形のキャビンでは、乗客が追加されると1人が逆側の下辺に移動していることがわかる。これは上辺の

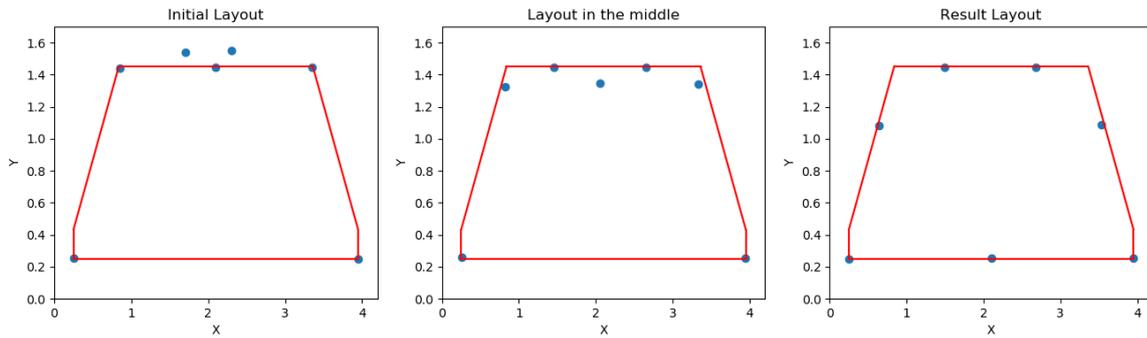


図 5: 六角形キャビンにおける動的シミュレーションの様子。赤線は円状の座席の中心が存在できる領域の境界を示す。

5人の距離が近いために1人を押し出す力が強いことが理由と考えられる。加えて、右上、左上の隅にいた乗客は六角形の斜辺に移動し、より安定な座席配置が達成されている。

4 終わりに

本研究では最急降下法を用いて、キャビンの形状に対して最適な座席配置を求めた。この検討から、四角形のような単純なキャビンに対しても非対称なレイアウトが最適解として得られることがわかった。また、上記の手法で求めた配置にさらに乗客を追加することで、擬似的に人の動きを再現した。これによって、キャビンの形状を台形様にするだけで、長方形の場合と比べて乗客を空いている逆の壁に動かし、より良いレイアウトを達成できることができたことがわかった。

今後の課題として、初期条件のサーベイが必要である。本検討では、「とある初期条件ではキャビンの形状を工夫することで乗客を動かせる」ことを示唆しているに過ぎず、これが一般的であることは初期条件をランダムに振ることで統計的に検証する必要がある。

さらに本検討を発展させるためには、目的関数をサーベイすることが有効である。本研究ではレイアウトを決める要因はクーロンポテンシャル様の斥力であるが、現実空間では姿勢の快適さ、乗り込みやすさ、パーソナルスペースの確保など、様々な要因がレイアウトを決めることになる。これらを目的関数に落とし込み、適切な重みをつけたのち本検討で用いた手法を適用することで、より複雑なニーズに対応するレイアウトを求められると期待する。

謝辞 まず、本研究で取り扱った興味深い課題を提供して下さった日産自動車株式会社の高松敦さま、効率班としての活動を主導して下さった間瀬崇史さまに深い感謝を示します。また、約一年の議論の中で多くの知見やアドバイスを与えて下さった原加代子さま(日産)、金井雅彦さま、鮑園園さま(東大数理)に謝意を表します。最後に、共に課題に取り組んだ FMSP コース生の柴田翔さま、竹内大智さま(東京大学)にもお礼を述べたいと思います。本研究は FMSP リーディング大学院の助成を受けております。

参考文献

- [1] Alonso-Mora et al., Proc Natl Acad Sci. 2017,114(3):462-467.
- [2] 大森, 吉本, 日本経営工学会論文誌, 2013,64:145-156.