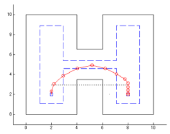
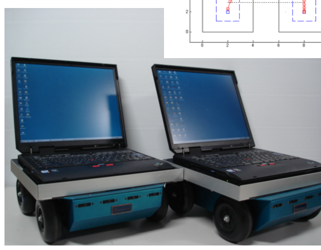
混合整数計画によるセンシングを考慮した軌道生成に関する研究

FL06-31-1
西崎　潤平

発表の流れ

・はじめに
・混合整数計画による軌道生成
・センシングを考慮した軌道生成
・シミュレーション
・実験
・まとめ



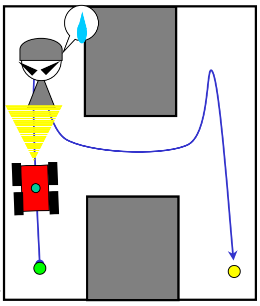


はじめに

ビークルの自動化によって活躍が期待される分野

・監視, 点検
・探索
・災害救助

その他, 建設・土木作業, 交通, 福祉など



ビークルの経路計画

混合整数計画による軌道生成

[1]J. How et al., ECC2001

・混合整数計画による軌道生成.
・障害物回避などの拘束条件を満たす最適な経路を設計できる.

！探索,点検,救助といった場面では適した軌道とはいえないのでは？

周囲をセンシングするという状況を考慮した軌道生成

混合整数計画問題

線形計画問題基本形(LP)

目的関数　$\min : C^T x$

拘束条件　$Ax \le b$

混合整数線形計画問題基本形(MILP)

目的関数　$\min C^T x + D^T z$

拘束条件　$Ax + Bz \le b$

$z : \text{integer}$

基本的な目的関数と拘束

・障害物を回避しながら目的地まで到達する.
・入力を抑えながらすばやく到達する.

目的関数

$$\min_{u_k} \sum_{k=1}^{N-1} (q^T w_k + r^T v_k)$$

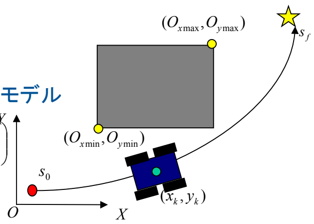
拘束条件

$$\left\{\begin{array}{l} s_{k+1} = As_k + Bu_k \\ s_{\min} \le s_k \le s_{\max} \\ u_{\min} \le u_k \le u_{\max} \\ -w_k \le s_f - s_k \le w_k \\ -v_k \le u_k \le v_k \\ s_N = s_f \\ x_k \le o_{x\min} + Mt_{k,1} \\ -x_k \le -o_{x\max} + Mt_{k,2} \\ y_k \le o_{y\min} + Mt_{k,3} \\ -y_k \le -o_{y\max} + Mt_{k,4} \\ \sum_{p=1}^{4} t_{k,p} \le 3 \end{array}\right.$$

$, s_k = \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix}$

モデル

障害物回避



$\forall k \in [1,\ldots,N], t_{k,p} \in \{0,1\},\ M$:大きな数

センシングを考慮した軌道生成（1）

問題設定:

一度にセンシングできる範囲が限られている状況でなるべくフィールド上の広い範囲をセンシングして目的位置に到達する.

センシングできる領域を大きくしたいが領域を直接計算して評価することはできない.

$$E_x = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} x_k$$
$$E_y = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} y_k$$

各ステップでの位置のばらつきを最大化する.

→各ステップでの位置のばらつきが大きければ領域も広くなるのでは.

$$V_x = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} | E_x - x_k |^2$$
$$V_y = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} | E_y - y_k |^2$$

→しかし, 分散も直接できないので, 平均との差の1ノルムを評価する.

$$\sum_{k=1}^{N} | E_x - x_k |$$
$$\sum_{k=1}^{N} | E_y - y_k |$$

これを目的関数に入れる

センシングを考慮した軌道生成(2)

目的関数

$$\min \sum_{k=1}^{N} -o_x{}^T \varepsilon_{x,k} - o_y{}^T \varepsilon_{y,k}$$

拘束条件

$$\begin{cases} \varepsilon_{x,k} \le E_x - x_k + Mt'_{x,k,1} \\ \varepsilon_{x,k} \le -E_x + x_k + Mt'_{x,k,2} \\ t'_{x,k,1} + t'_{x,k,2} = 1 \quad , t'_{x,k,1}, t'_{x,k,2} \in \{0,1\} \\ \varepsilon_{y,k} \le E_y - y_k + Mt'_{y,k,1} \\ \varepsilon_{y,k} \le -E_y + y_k + Mt'_{y,k,2} \\ t'_{y,k,1} + t'_{y,k,2} = 1 \quad , t'_{y,k,1}, t'_{y,k,2} \in \{0,1\} \end{cases}$$

$\varepsilon_{x,k} \varepsilon_{y,k}$:スラック変数

M :大きな数

$\sum_{k=1}^{N} | E_x - x_k |$

$\sum_{k=1}^{N} | E_y - y_k |$

を最大化する拘束

平均に対する拘束

目的関数

$$\min \; l_x{}^T \sigma_x + l_y{}^T \sigma_y$$

拘束条件

$$\sum_{k=1}^{N} x_k - N \cdot E_x = 0$$

$$\sum_{k=1}^{N} y_k - N \cdot E_y = 0$$

E_x, E_y を求めるための拘束.

$$E_x - \hat{E}_x \le \sigma_x$$

$$-E_x + \hat{E}_x \le \sigma_x$$

$$E_y - \hat{E}_y \le \sigma_y$$

$$-E_y + \hat{E}_y \le \sigma_y$$

E_x, E_y を $\hat{E}_x, \hat{E}_y$ に近づけるための拘束.

今回はフィールドの図形中心に設定している

定式化(1)

目的関数 これまで挙げたモデル, 障害物回避, 平均・分散の拘束を総合すると・・・

$$\min_{u_k} \sum_{k=1}^{N-1} (q^T w_k + r^T v_k - o_x{}^T \varepsilon_{x,k} - o_y{}^T \varepsilon_{y,k} + l_x{}^T \sigma_x + l_y{}^T \sigma_y) - (o_x{}^T \varepsilon_{x,N} + o_y{}^T \varepsilon_{y,N})$$

拘束条件1

$$\begin{cases} s_{k+1} = As_k + Bu_k \\ s_{\min} \le s_k \le s_{\max} \\ u_{\min} \le u_k \le u_{\max} \quad , s_k = \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} \\ -w_k \le s_f - s_k \le w_k \\ -v_k \le u_k \le v_k \\ s_N = s_f \\ x_k \le o_{x\min} + Mt_{k,1} \\ -x_k \le -o_{x\max} + Mt_{k,2} \\ y_k \le o_{y\min} + Mt_{k,3} \quad \forall k \in [1,\dots,N], t_{k,p} \in \{0,1\} \\ -y_k \le -o_{y\max} + Mt_{k,4} \\ \sum_{p=1}^{4} t_{k,p} \le 3 \end{cases}$$

$t_{k,1}, t_{k,2}, t_{k,3}, t_{k,4}$:0-1スラック変数

M :大きな数

定式化(2)

拘束条件2

$$\begin{cases} \varepsilon_{x,k} \le E_x - x_k + Mt'_{x,k,1} \\ \varepsilon_{x,k} \le -E_x + x_k + Mt'_{x,k,2} \\ t'_{x,k,1} + t'_{x,k,2} = 1 \quad , t'_{x,k,1}, t'_{x,k,2} \in \{0,1\} \\ \varepsilon_{y,k} \le E_y - y_k + Mt'_{y,k,1} \\ \varepsilon_{y,k} \le -E_y + y_k + Mt'_{y,k,2} \\ t'_{y,k,1} + t'_{y,k,2} = 1 \quad , t'_{y,k,1}, t'_{y,k,2} \in \{0,1\} \\ E_x - \hat{E}_x \le \sigma_x \\ -E_x + \hat{E}_x \le \sigma_x \\ E_y - \hat{E}_y \le \sigma_y \\ -E_y + \hat{E}_y \le \sigma_y \end{cases}$$

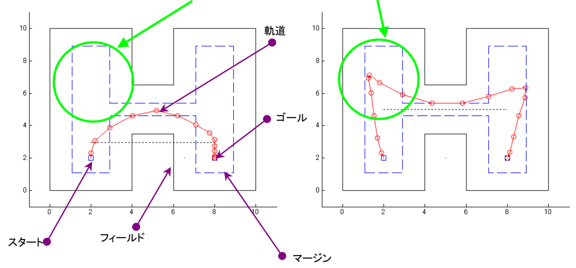
$t'_{k,1}, t'_{k,2}, t'_{k,3}, t'_{k,4}$:0-1スラック変数

M :大きな数

シミュレーション

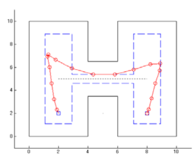
従来の軌道生成 提案した軌道生成

提案した手法では
より広い範囲をセンシングできている

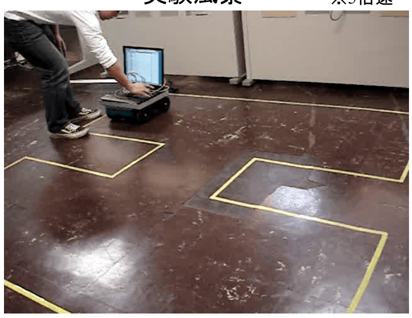


Fumaによる実験

フィールドと計画した軌道



実験風景 ※5倍速



Fuma

おわりに

まとめ
・状態の平均・分散を目的関数に加えることでセンシングに適した軌道生成ができた.
・Fumaを計画した軌道におおよそ沿って走行させることができた.

今後の予定と課題

軌道生成について
・フィールドの形を変えての検討
・MPTtoolboxとの比較検討
・複数台での軌道生成

実験について
・精度の改善.
・動作ごとの待ち時間の改善.
・フィールドを壁で作り, 問題設定に沿った条件での実験.

参考文献

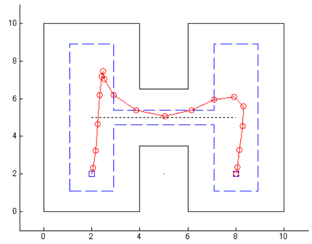
[1] T. Schouwenaars, B. D. Moor, E. Feron, J. How, “Mixed Integer Programming for Multi-Vechicle Path Planning,” ECC2001.
[2] D. Bertsimas, J. N. Tsitsiklis, “Introduction to Linear Optimization,” Athena Scientific.
[3]津村俊弘, “ビークルオートメーションの現状と将来展望,” システムと制御, vol. 29, No. 3, pp. 135-141, 1985.
[4]A. Richards, J. How, “Mixed-integer Programming for Control,” ACC2005.

付録

シミュレーション2

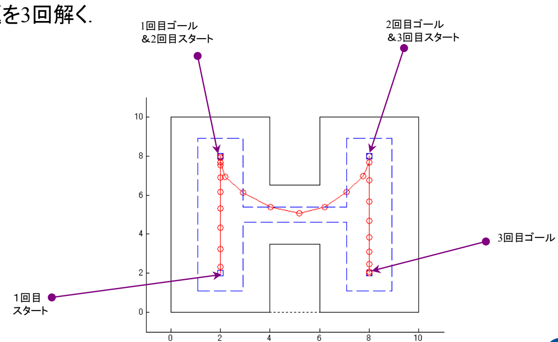
モデルと障害物回避の拘束に加え・・・
平均にのみ拘束をかけ, 分散に対する拘束を除いた場合

$$\min \ l_x^T \sigma_x + l_y^T \sigma_y$$
$$\sum_{k=1}^{N} x_k - N \cdot E_x = 0$$
$$\sum_{k=1}^{N} y_k - N \cdot E_y = 0$$
$$E_x - \hat{E}_x \le \sigma_x$$
$$-E_x + \hat{E}_x \le \sigma_x$$
$$E_y - \hat{E}_y \le \sigma_y$$
$$-E_y + \hat{E}_y \le \sigma_y$$



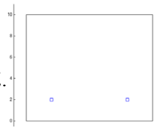
シミュレーション3

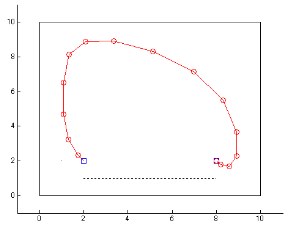
平均・分散に関する拘束は除き, フィールドの形に沿って軌道生成問題を3回解く.

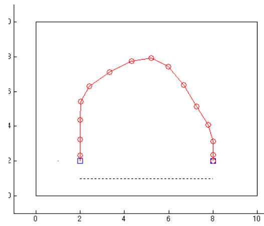


シミュレーション4

障害物はなく, 四角形のフィールドの場合
平均・分散に関する拘束を考えた軌道生成.







線形計画法の例(The diet problem)

問題: n種類の食べ物(food)とm種類の栄養素(Nutrient)の表がある. 必要な栄養を摂りながら食べる量を最小にするには？

	Food1 (c_1)	Food2 (c_2)	Food3 (c_3)	food4 (c_4)
Nutrient1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
Nutrient2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
Nutrient3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}

必要な量 (b_1, b_2, b_3)　　各食べ物の重み (c_1, c_2, c_3, c_4)

目的関数 $\min_x c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4$

拘束条件
$$\begin{cases} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & \geq & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & \geq & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & \geq & b_3 \end{cases}$$

量を抑えながら
必要な栄養を摂る組み合わせ.

線形計画法の例(The diet problem)つづき

まとめると・・・

目的関数 $\min \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$

拘束条件 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$

目的関数 $\min C^T x$

拘束条件 $Ax \geq b$

$$\left(A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{bmatrix} \right)$$