

# Scan Matching 自己位置推定手法

代表的なスキャンマッチングのアルゴリズム

## ICPアルゴリズム(Iterative Closest Point)

地図データ群とセンサデータ群の2つの点群間の最近傍点を対応点とし、対応関係にある点間の距離計が最短になる個所をマッチングポイントとする

1. 仮対応を与える
2. 近傍点の計算
3. 位置合わせのパラメータを計算
4. 誤差計算
5. 収束計算

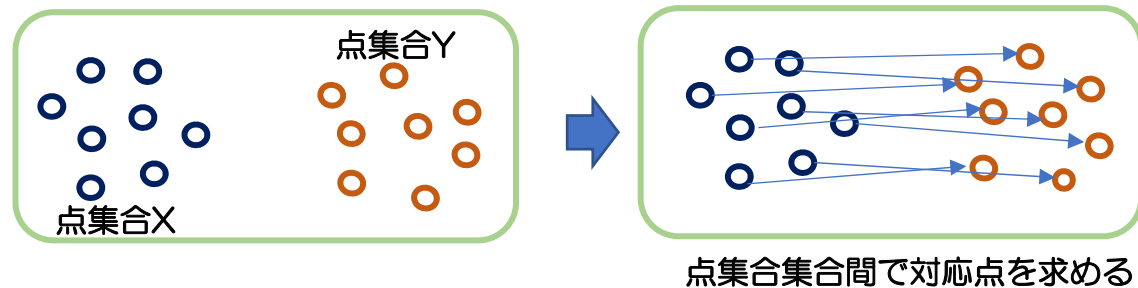


Fig. Iterative Closest Point

## NDTアルゴリズム(Normal Distribution Transform)

環境地図（探索空間）をボクセルごとに区切り正規分布を計算し3次元Lidarから得られた点群データとマッチングを行う手法

# Normal Distribution Transform (NDT) とは

- 2つの点群データをマッチングさせるアルゴリズム
- 探索空間内にある点群データを格子状（ボクセル）に分割し、各格子内の点群データから正規分布準備し、参照スキャンデータとし、センサデータとマッチングを行う手法

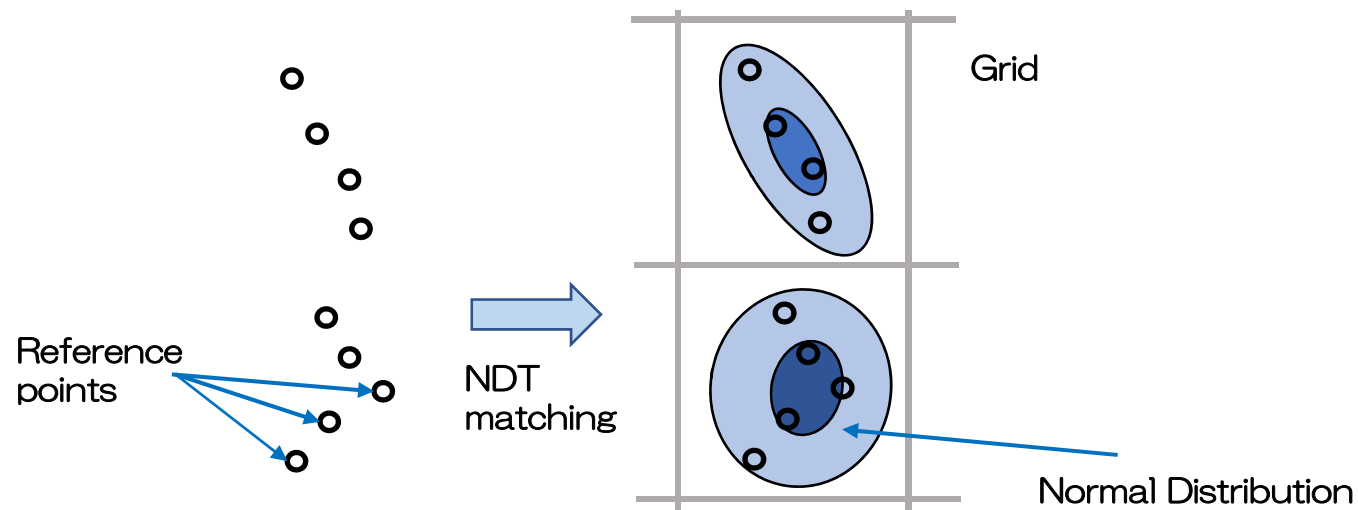


Fig. Normal Distribution Transform

Peter Biber and Wolfgang Straßer,  
"The Normal Distributions Transform: A New Approach to Laser Scan Matching"  
2003 IEEE International Conference on Intelligent robots and Systems, pp. 2743-2748.

# NDT Scan Matching 手法

## アルゴリズムの流れ

1. 探索空間を一定の大きさの格子状に分割
2. 各格子状内の平均と分散を算出
3. 入カスキャンの点群に対応する要素を求める
4. 評価値を計算
5. ニュートン法により入カスキャン点群の座標値を更新
6. 上記の工程が収束するまで繰り返す

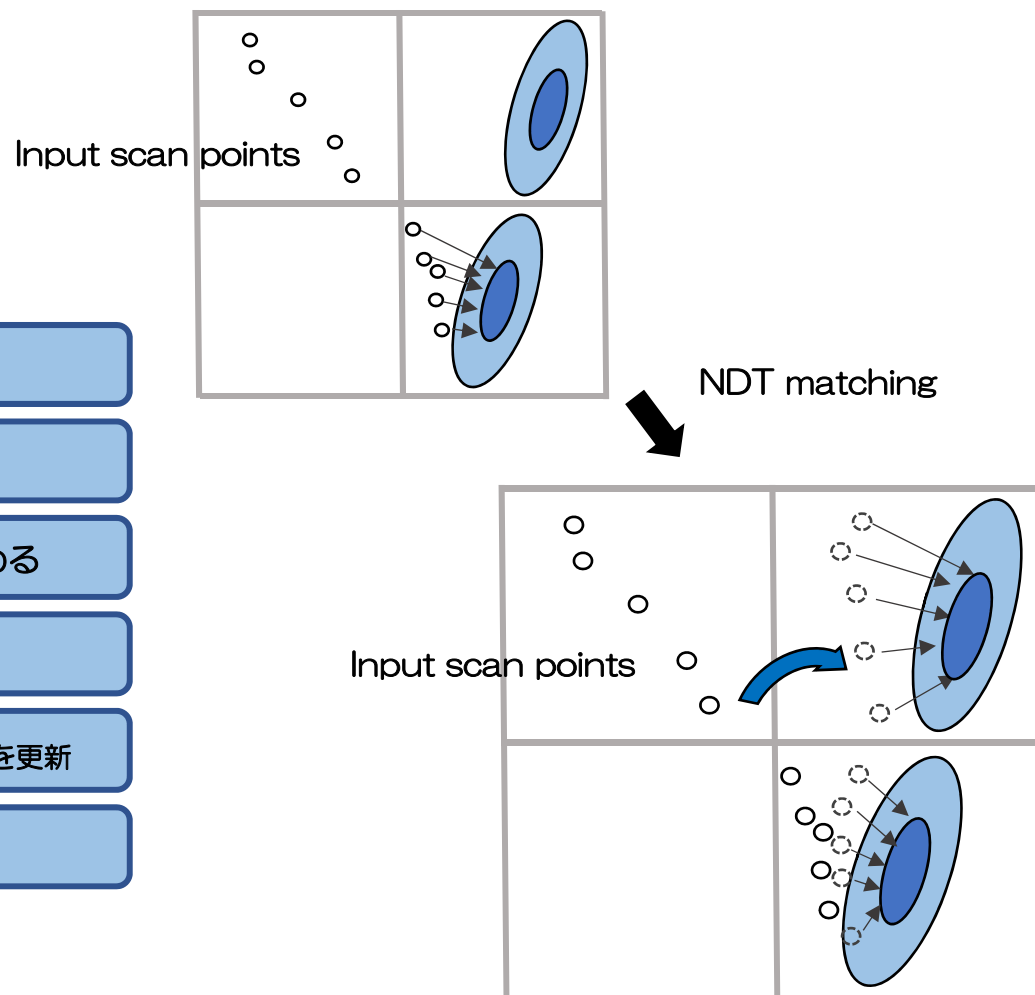


Fig. NDT scan matching

# NDT Scan Matching 手法

## 1. 探索空間を一定の大きさの格子状に分割

探索空間内にある点群データを一定の大きさの格子状に分割。

## 2. 各格子状内の平均と分散を算出

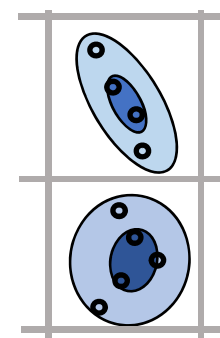
分割された各格子状内の点群データの平均と分散を算出

平均  $q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

共分散  $C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - qx) (y_i - qy)^T$

$n$  : 格子内に含まれる点の数

$X_{i=1, \dots, n} (x_i, y_i)$ : 格子内に含まれる点の位置



Normal Distribution

# NDT Scan Matching 手法

## 3. 入力スキャン点群に対応する要素を求める

パラメータ  $p$  によって参照点群座標系に入力スキャンの点群座標を変換.

$$T(p): \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix}$$

$p = (t_x, t_y, \theta)^T$ : 並進回転を表すパラメータ

$X = (x, y)$ : 入力点群

$X' = (x', y')$ : 参照点群座標系に変換された入力点群

## 4. 評価値を計算

評価関数  $score(p)$  を用いて点群データどうしがどの程度マッチングしているかを評価

$$score(p) = \sum_i \exp\left(\frac{-(X'_i - q_i)^t \Sigma_i^{-1} (X'_i - q_i)}{2}\right)$$

$q_i$ : 各格子状内の点群の平均座標

$\Sigma_i$ : 変換後の入力点群  $X'_i$  の共分散

$X_i$ : 入力点群中の点  $i$  の座標

$X'_i$ : 入力点群を参照点群の座標系に変換した後の入力点群中の点  $i$  の座標

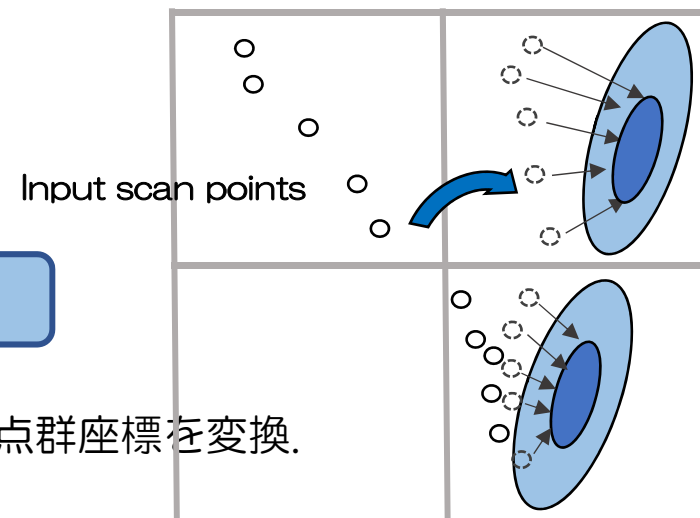


Fig. NDT scan matching

# NDT Scan Matching 手法

## 5. ニュートン法により，入カスキャン点群の座標変換値を更新

ニュートン法を用いて評価関数 $score(p)$ の最適化を行う。

$$p \leftarrow \Delta p + p \quad \text{現在の推定値に加算} \quad \Delta p: \text{変化分}$$

評価関数 $score(p)$ の最小化問題として以下の反復式を用いる。

$$H\Delta p = -g$$

$$g_i = \frac{\partial s}{\partial p_i} \quad \text{score}(P) \text{の勾配}$$

$$H_{ij} = \frac{\partial^2 s}{\partial p_i \partial p_j} \quad \text{score}(P) \text{のヘッセ行列}$$

## 6. 上記の工程3～5を収束するまで繰り返す