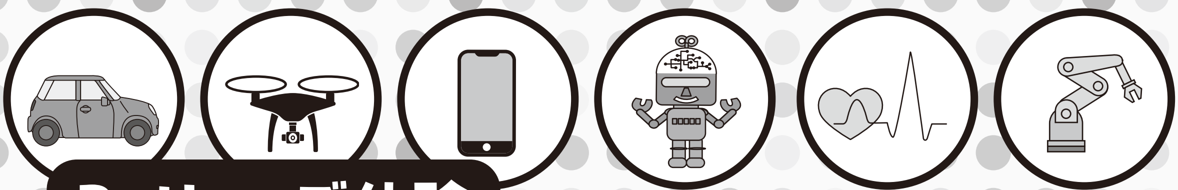

Pythonで体験 カルマン・フィルタ入門

ダウンロード・データあります

第7回 自動運転などの非線形問題への適用…拡張カルマン・フィルタ

廣川 類

カルマン・フィルタは，移動体のダイナミクスや動きの不確定性，センサ誤差の確率モデルを考慮して，最適な推定を行う強力なセンシング技術です．前回までは，線形なダイナミクスを有するシステムの状態量を推定する問題について説明してきました．今回は非線形な問題の場合について説明します．

非線形な場合…自動運転車や宇宙船の位置や速度を求めたい！

非線形な問題というと，一般に，自動運転が有名です．自動運転では，前方の物体までの角度や距離をレーダや光学カメラなどのセンサにより観測しますが，これらに関する観測方程式は状態量に対して，非線形な特性を有しています．

こうした問題は，カルマン・フィルタの適用の初期(1960年代)，NASAのアポロ計画(月への有人宇宙飛行計画)に適用された時点から認識されていていました．アポロ計画では，地球-月間の往復軌道において軌道を精密に推定する必要がありました．この推定にカルマン・フィルタを使うにあたって，基準となる星までの方向を六分儀で計測して観測量としましたが，状態量(宇宙船の位置や速度)との関係が非線形であったため，非線形問題に対応したカルマン・フィルタとして，拡張カルマン・フィルタ(EKF)が開発されました[(2)]．

拡張カルマン・フィルタの式

非線形なモデルには，複数の非線形性が考えられます．それは状態方程式が非線形な場合と，観測方程式が非線形な場合，もしくは両方とも非線形な場合です．一般に非線形なモデルにおける運動モデルと観測モデルは，次のように表されます．

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{w}_x \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\boldsymbol{z} = \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{w}_z \quad \cdots\cdots(2)$$

状態量ベクトルを$\boldsymbol{x}$($\dot{\boldsymbol{x}}$は$\boldsymbol{x}$の1階時間微分を表す)，観測ベクトルを$\boldsymbol{z}$として，それぞれに含まれるノイズを$\boldsymbol{w}_x$，$\boldsymbol{w}_z$とします．$\boldsymbol{f}(x)$は，サンプル間の非線形なダイナミクスを表す関数，$\boldsymbol{h}(x)$は状態量と観測量の非線形な関係を表す関数です．

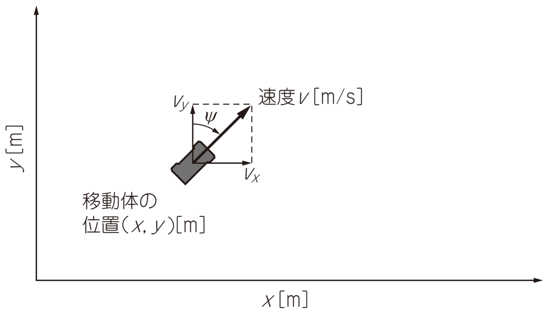

図1　2次元の移動体モデル

前回まで扱ってきたモデルでは，式(1)の運動モデルにおける$\boldsymbol{f}(x)$の部分は，$\boldsymbol{F}$を状態量とその時間変化率の関係を表す行列として，$\boldsymbol{Fx}$のように線形モデルで表されていました．式(2)の観測モデルについても，$\boldsymbol{h}(x)$の部分は，$\boldsymbol{H}$を状態量と観測量の線形な関係を表す行列として，$\boldsymbol{Hx}$のように線形モデルで表されていました．

拡張カルマン・フィルタ(EKF)においては，ある点x_0の近傍でテイラー級数の1次近似による線形化を行って，線形モデルに置き換えます．この際，上記の非線形関数$\boldsymbol{f}(x)$，および，$\boldsymbol{h}(x)$の$\boldsymbol{x}$に関する偏微分を計算します．

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}_0) + \left.\frac{\partial \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x})}{\partial \boldsymbol{x}}\right|_{\boldsymbol{x}_0} (\boldsymbol{x} - \boldsymbol{x}_0) + \boldsymbol{w}_x \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\boldsymbol{z} = \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}_0) + \left.\frac{\partial \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x})}{\partial \boldsymbol{x}}\right|_{\boldsymbol{x}_0} (\boldsymbol{x} - \boldsymbol{x}_0) + \boldsymbol{w}_z \quad \cdots\cdots(4)$$

偏微分計算の部分を次のように行列$\boldsymbol{F}$，$\boldsymbol{H}$で置き換えます．

$$\boldsymbol{F} = \left.\frac{\partial \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x})}{\partial \boldsymbol{x}}\right|_{\boldsymbol{x}_0} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\boldsymbol{H} = \left.\frac{\partial \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x})}{\partial \boldsymbol{x}}\right|_{\boldsymbol{x}_0} \quad \cdots\cdots(6)$$