

1 十分遠方にある点音源からの音響信号を2本の無指向性マイクで観測し、その位相差から音源の方角を推定する。2次元問題とし、音源の数が1つであることは既知とする。2つのマイクの特性はよく揃っており、ノイズは音響信号とは無相関な白色雑音とする。マイク1および2のノイズ間にも相関は無い。

(1) 音源方位推定精度の理論限界はどのように与えられるか、 $\theta$  の関数として求めよ。観測信号は、実効値  $s$  [V]、周波数  $f$  の正弦波のバースト (時間  $T$  持続する信号,  $T \gg 1/f$ ) マイク間隔を  $d$  する。各マイクで観測されるノイズ密度を  $w$  [V/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ] とし、音速を  $c$  とする。また、信号の強度はノイズよりも十分大きいものと仮定してよい。

(2) 特に各パラメータが以下の値のときの上記計算値を示せ。

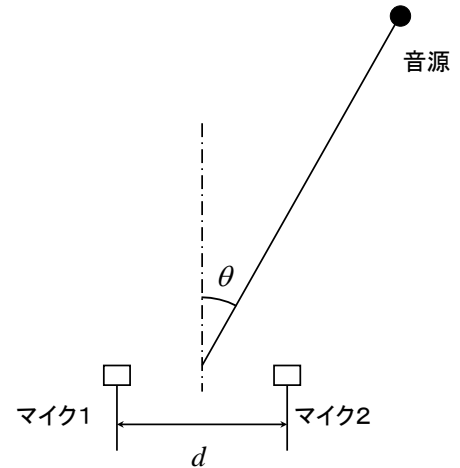
信号:  $s = 1$  V,  $f = 500$  Hz,  $T = 0.1$  s

ノイズ密度:  $w = 0.01$  V/ $\sqrt{\text{Hz}}$

音源の方位:  $\theta = 30^\circ$  付近

音速:  $c = 340$  m/s

マイク間隔:  $d = 10$  cm



2 球状の反射マーカを撮影したときの濃淡画像  $s(x-p, y-q)$  に雑音  $w(x, y)$  が加算されている。 $w^2(x, y)$  の期待値は  $a^2$  であり、画素間に相関はなくランダムな値であるとみなせる。 $s(x, y)$  は既知として、マーカを中心座標  $(p, q)$  の推定精度の限界を知りたい。

どうすればこの限界が評価できるか、説明せよ。

3 ある生物が体液中の2種類の化学成分濃度  $(x_1, x_2)$  [%] を自律的に変化・保持させることにより一種の記憶動作を行っているものとする。体内にはそれらの濃度に対して

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

のように  $(y_1, y_2, y_3)$  を出力する3種類のセンサがあり、感覚系の上位機構は  $(y_1, y_2, y_3)$  の各成分値を  $\pm 0.1$  の精度で検出できるものとする。

(1) ある正規直交行列  $R_1, R_2$  を用いて  $\begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = R_1 \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$  および  $\begin{pmatrix} r \\ s \\ t \end{pmatrix} = R_2 \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$  のように変数変換すると、

$$\begin{pmatrix} r \\ s \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \beta \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix}$$

が導かれる。 $R_1, R_2, \alpha, \beta$  を求めよ。

(2)  $(y_1, y_2, y_3)$  の各測定値の誤差の分散が全て等しく  $\sigma^2$  のとき、 $(r, s, t)$  の各成分の分散を求めよ。

(3) 上述の感覚系を、直接の測定値  $(y_1, y_2, y_3)$  から  $(x_1, x_2)$  を推定する計測システムとみなすとき、 $R_1, R_2, \alpha, \beta$  から何が分かるのか、簡潔に論述せよ。

(4) この記憶系が一回の動作で記録可能な情報は最大何ビットか? なお  $x_i$  は  $0 < x_i < 10$  なる範囲の値を自由にとることができるものとし、 $y_i$  の各成分に加算されるノイズ間に相関は無いものとする。