Hough 変換による曲率の小さな円弧の抽出 I

5R－9

欧瓊[a)] 小野厚夫[a,b)] 馬渡博司[c)]
[a)]神戸大学大学院自然科学研究科 [b)]神戸大国際文化学部 [c)]高エネルギー物理学研究所

1 はじめに

画像に含まれている直線や曲線の抽出に Hough 変換が有効であることはよく知られているが、これまでに論文で扱われてきた円または円弧の大半は、その半径が画枠の大きさ程度かそれよりも小さいものである。それに対して素粒子反応や原子核反応で生じた粒子の軌跡の抽出では、直線か、または曲率の小さい（半径の大きい）円弧が抽出の主な対象になる。そこで、ここでは曲率の小さな円弧の Hough 変換について考察する。

用いる検出器にもよるが、通常粒子の軌跡の測定データは通過点の座標 $(x,\ y)$ と、その位置における接線の角度ψで与えられる。接線の勾配が直接測定できない場合には、近接する二点の座標から勾配が算出できるので、そのようなデータが採れるように検出器を配置しておけばよい。そこで、以下では離散した測定点の座標と、その点における接線の勾配の値が既知であるとして円弧の抽出を取り扱うことにする。ただし、一般に点座標は精度よく測定できるが、勾配の測定精度は悪いということを念頭に入れておく必要がある。

2 定点を通る円弧の抽出

前回の発表 [1] では、特例ともいえる定点を通る円弧群の抽出について考察した。衝突型の加速器実験では反応点が固定できるので、この特例が適用できる。この場合には、直線と極めて類似した関係式が導きだせるため、直線と同様の Hough 変換で処理できる。

[1]Recognition of Circular Arcs of Low-Curvature by Using Hough Transform, Qiong Ou[a)], Atsuo Ono[a,b)] and Hiroshi Mawatari[c)]
[a)] Graduate School of Science and Technology, Kobe University, Kobe 657
[b)] Faculty of Cross-Cultural Studies, Kobe University, Kobe 657
[c)] KEK, National Laboratory for High Energy Physics, Ibaraki 305

3 一般的な円弧の抽出

ここではもっと一般的な、任意の位置にある曲率の小さな円弧を対象にすることにする。

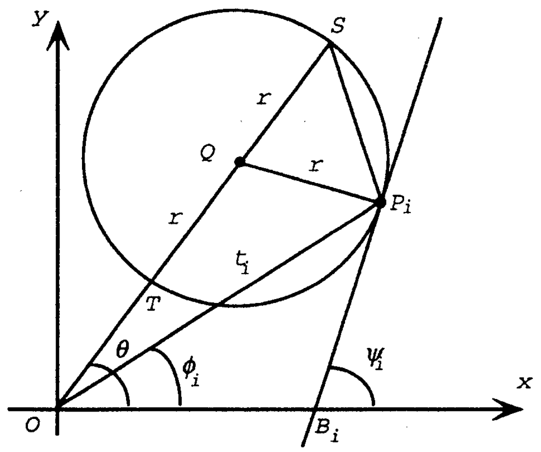

図 1:

図１で r, θ, ℓ の３個のパラメータで表される円を考える。ここで r は半径、ℓ, θは円の中心の距離と角度である。この円上に点 P_i をとり、その座標を極座標 $(t_i,\ \phi_i)$ またその点における円の接線の角度をψ_i で表せば、

$$\ell = t_i[\cos(\psi_i - \phi_i)sec(\theta - \psi_i)] \quad (1)$$
$$r = t_i[\sin(\psi_i - \phi_i) + cos(\psi_i - \phi_i)tan(\theta - \psi_i)] \quad (2)$$

抽出の対象としているのは、曲率の小さい、直線に近い円弧であるから、元になっている円の r と ℓ は当然画枠の長さよりも大きくなる。直線で r と ℓ は無限大になるので、それらの逆数をパラメータとして取り直せばよい。

いま曲率を $C = 1/2r$ とおき、半径の大きな円上の点の $(t_i,\ \phi_i,\ \psi_i)$ を求めて実際に $(C,\ \theta)$ 空間に投票してみると、解が最も期待される$\theta = \psi_i \pm \pi/2$ の近傍で

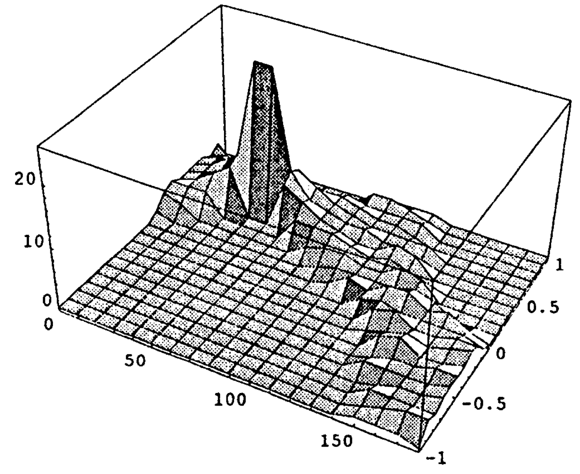

図 2:

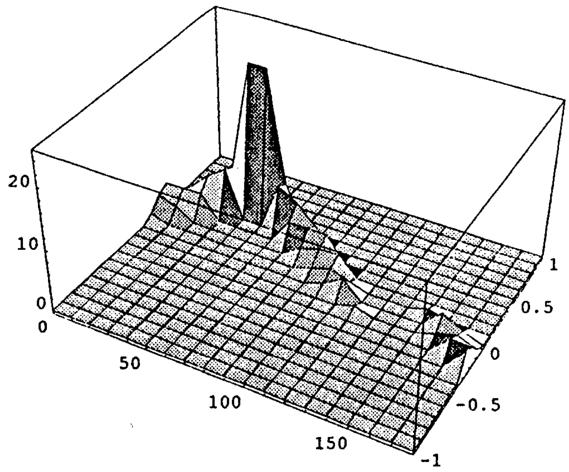

図 3:

C が急速に変化するため、極めて投票がやりずらいことに気づく。

4 パラメータ ρ の導入

ところで原点から円の中心を通る直線をひき、それが円と交わる点までの距離を$\rho_\pm$とすれば

$$\begin{aligned}\rho_\pm &= \ell \pm r \\ &= \pm t_i[sin(\psi_i - \phi_i) \\ &\quad +cos(\psi_i - \phi_i)tan((\theta - \psi_i \pm \pi/2)/2)] \quad (3)\end{aligned}$$

そこで、新しいパラメータとして、原点から円までの最短距離（インパクト・パラメータ）ρを考えてみる。ここでρは (3) 式で与えられる$\rho_\pm$ の絶対値の小さい方を採用すればよい。

画枠内の点を通る円に対するρの長さは、常に画枠内に収まっているので、(ρ, θ) 空間は有限の領域で扱える。また、$\theta = \psi_i \pm \pi/2$ 近傍でθに対するρの変化は比較的なだらかである。したがって、円弧の抽出では (ρ, θ) 空間の投票が有意義と思われる。

いま、画枠を $x = -1 \sim +1$, $y = -1 \sim +1$ の正方領域にとり、$r = 2.0$, $\ell = 2.5$, $\theta = \pi/4$ で与えられる円上の点で画枠内に収まる等間隔の 25 点について、(3) 式からθに対するρの値を求めて投票した結果を図 2 に示す。

ρの算出と同時に、(2) から r を求め、$r < 1$ のときは (ρ, θ) 空間の投票を棄権することにすれば、余分な情報を減らすことができる。こうした配慮をした投票結果を図 3 に示す。

5 まとめ

これまでの考察結果から、曲率の小さな円弧の抽出には、円にいたる最短距離ρが Hough 変換のパラメータとして極めて有効と思われる。今後さらにρの有効性について検討を進めたい。

なお、(ρ, θ) 空間では半径が異なっていても、接していて、θが同じ 2 つの円を分離することはできない。また、半径の小さな円を (ρ, θ) 空間に投票すると、$\rho_\pm$両方の値に投票が 2 分されるので、(ρ, θ) 空間の投票は半径の小さな円の抽出には不向きである。

参考文献

[1] 馬渡博司、欧瓊、小野厚夫「Hough 変換による衝突型粒子飛跡の抽出」情報処理学会平成 5 年度後期全国大会講演　5L-08.