

## ピーマン自動収穫のためのマニピュレータロボットの動作経路生成

## Motion path generation of manipulator for green pepper harvesting

システム工学群

機械・航空システム制御研究室 1200104 長崎 哲郎

## 1. 緒言

ハウス栽培における農業は狭い作業空間でかがんだ状態で作業するなど作業者の被る肉体的な負担が多い。また、農業就業人口は年々減少傾向にあり、併せてその高齢化が進んでいる<sup>(1)</sup>。その対策としてハウス栽培における農業の自動化が進められている。本研究では収穫作業の自動化を目的としており、その対象はピーマンとしている。今回の報告ではピーマン以外を傷つけないような収穫機構用マニピュレータの動作経路の生成方法について検討した。

## 2. マニピュレータ

摘み取り作業を行うマニピュレータとして ufactory 社製の xArm6 を使用する。図 1 にマニピュレータの写真と表 1 にその諸元を示す<sup>(2)</sup>。マニピュレータの先端(以降 TCP(Tool Center Point)とする)には摘み取り機構と深度カメラを搭載する。このマニピュレータは 6 自由度であり、このまま目標値に対して関節角を算出しようとするとは非常に困難であるため、今回は稼働させる関節を第 2, 3, 5 リンクに限定し平面上の 3 自由度リンクとして考える。

## 3. 提案する果実収穫のための経路生成

果実の位置情報取得から果実収穫までの流れを図 3 のフローチャートに示す。この動作を行うにあたり以下のことを補足する。i)マニピュレータはハウス内の畝の間を直線的に進む車体に搭載されている。ii)目標のピーマンとマニピュレータの根元の位置は車体進行方向に対して直角になる位置にある。iii)果実の位置情報は先行研究<sup>(3)</sup>により判明しているものとする。

まず、TCP をピーマン高さに合わせピーマンのほうを向ける。図 4(1) にピーマン測定時のモデルを示す。深度カメラを用いてピーマンと TCP の間に障害物がないかを判断する。判定の方法は測定したピーマンと TCP の距離が計算した距離より短ければ障害物があるとする。障害物とは収穫目標以外の果実、葉である。障害物を検知した場合、深度カメラの測定量から障害物までの距離、大きさを測定する。測定結果をもとに目標座標を決定し軌道を生成する。目標座標の決定、軌道の生成方法は次章で説明する。マニピュレータを生成した軌道で駆動させる。もう一度カメラがピーマンを観

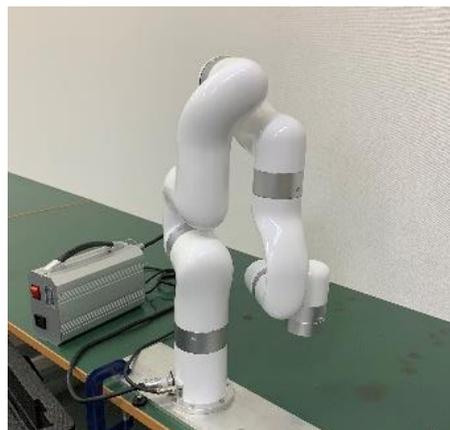


Fig.1:Manipulator of robot

Table 1 Manipulator specifications

xArm 6		
Joint movable range	1,4,6	$\pm 360^\circ$
	2	$\pm 125^\circ$
	3	$-230^\circ \sim 6^\circ$
	5	$-100^\circ \sim 180^\circ$
Effective range	X	$\pm 700\text{mm}$
	Y	$\pm 700\text{mm}$
	Z	$-400\text{mm} \sim 951.5\text{mm}$
	Roll/Yaw/Pitch	$\pm 180^\circ$
Maximum joint speed		$180^\circ/\text{s}$
payload		5kg
reach		700mm
Degrees of freedom		6
Repeat accuracy		$\pm 0.1\text{mm}$
Maximum speed of the end effector		1m/s
Weight (arm only)		12.2kg
Weight (controller only)		3.5kg

測できる TCP の角度を算出しマニピュレータを駆動させる。ピーマン -TCP 間に障害物がないかをカメラを用いて確認する。ピーマンを確認できなかった場合は同じ手順を繰り返す。ピーマンを確認出来た場合は収穫機構がピーマンまで直線的に進行するように経路生成する。生成した経路に沿ってマニピュレータを駆動させることでピーマンに接近することができる。

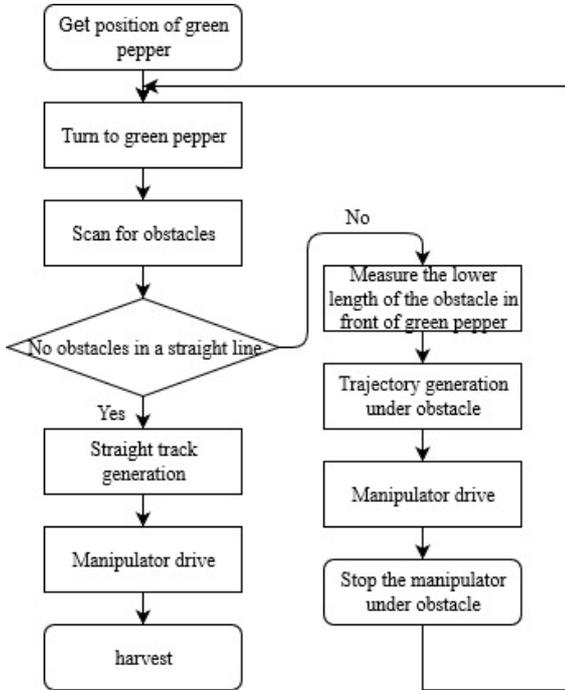
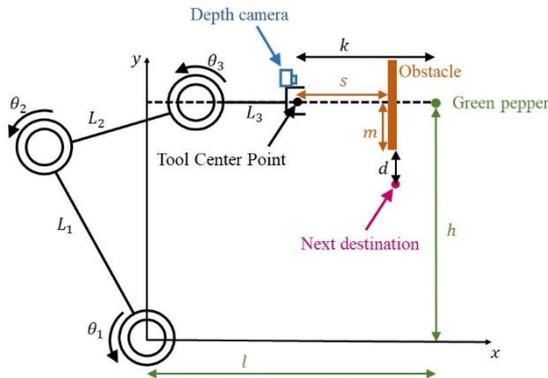
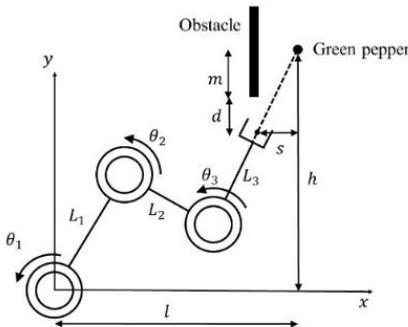


Fig.3:Flow chart



(1)



(2)

Fig.4: Manipulator model

#### 4. 目標追従方法

図 4(1) のマニピュレータのピーマン観測姿勢のモデルを用いて説明する。xy 平面で、ピーマンの座標を  $(h, l)$ , x 方向のピーマンと障害物の距離を  $s$ , ピーマンから障害物の下端までの高さを  $m$  とする。マニピュレータについては第  $i$  リンク長さを  $L_i$ , 第  $i$  関節の角度を  $\theta_i$  とする。マニピュレータの最大展開時の距離  $L$  が

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (1)$$

であるのでピーマンの座標については

$$L > \sqrt{h^2 + l^2} \quad (2)$$

を満たしているものとする。

まず目標地点を決定する。障害物の有無の判定にて障害物が確認できなかった場合はピーマンの座標をそのまま目標地点として使用する。目標の角度はこの時のカメラの角度をそのまま用いる。障害物が確認されたときは、障害物から  $d$  だけ下がった点を目標の座標として

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l - (k - s) \\ h - (m + d) \\ \text{atan}(x, y) \end{bmatrix} \quad (3)$$

で求める。  $d$  の値の選定基準についてはカメラの設置位置などにもかかわるため今後実験的に検討していく。

次に動作経路生成する。動作経路は現在の TCP 座標と目標地点を直線に結んだ線上を移動させる。このため 2 通りの手法を提案する。

ひとつは TCP の初期位置から目標までの直線を細かく区切りその点を次々移動させることで実現させる。初期の手先位置  $\mathbf{G} = [x \ y \ \theta]^T$  を関節角  $\mathbf{Q} = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T$  を用いて順運動学より導出する。最終的な目標座標を  $\mathbf{G}_o = [x_o \ y_o \ \theta_o]^T$  とするとその微小変位を

$$d\mathbf{G} = [dx \ dy \ dz] = \frac{1}{k} [x_o - x \ y_o - y \ \theta_o - \theta] \quad (4)$$

で算出する。  $k$  は分割回数である。現在の手先位置を

$\mathbf{G}_i = [x_i \ y_i \ \theta_i]^T$  とすると微小な目標座標を

$$\mathbf{g} = \mathbf{G}_i + d\mathbf{G} \quad (5)$$

として逆運動学より次の関節角を求めマニピュレータを駆動させる。  $k$  回繰り返すことで目標の座標へと到達する。逆運動学で導出する関節角は角変位の小さいものを採用する。

もうひとつ Newton-Raphson 法によるものである。  $\mathbf{G}$  を時間微分することによりヤコビ行列  $\mathbf{J}$  を求めることができる。これを用いて

$$\Delta\mathbf{Q} = \mathbf{Q}_{i+1} - \mathbf{Q}_i = \mathbf{J}^{-1}(\mathbf{G}_o - \mathbf{G}_i) \quad (6)$$

で関節変位の増分を求めることで目標軌道に沿った動作が可能となる。

## 5. マニピュレータを用いた動作実験

TCP がピーマンまでマニピュレータを用いて動作実験を行った。

方法は障害物をひとつ回避するように経路生成を行いピーマンまで TCP を到達させる。深度カメラを搭載していないので目標座標と障害物は事前に決めた値を用いる。①は(450,600), ②は(200,600), ③は(600,250)の座標位置で障害物はピーマンから100mm離れた位置の下に50mmの大きさである。また,  $d = 50\text{mm}$ ,  $k = 200\text{mm}$ で統一して経路生成を行った。図5にマニピュレータと目標のピーマンの位置を示す。

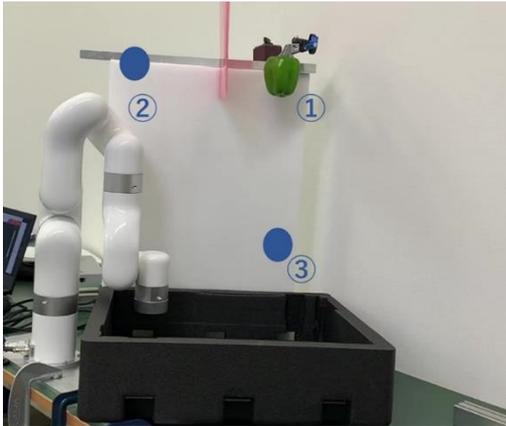


Fig5: Installation location of green pepper

結果は①のピーマンのみ到達できた。②は図4(1)の姿勢になる過程で, ③は図4(2)の姿勢になる過程でそれぞれがリンク同士の干渉を起こした。この課題は $d, k$ をピーマンの位置によって変更することや関節を事前に動かすことによって解決が可能であると考えられる。

## 5. 結言

本報告ではピーマンを収穫するための動作経路生成法について検討を行った。実際にマニピュレータを動作させピーマンに到達可能か検証を行った。

今後はマニピュレータの課題解決, 深度カメラを用いた測定と目標値の決定を行っていく。

## 参考文献

- (1) 農林水産省ホームページ: 農業労働に関する統計  
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>  
(参照日 2020年1月20日)
- (2) Ufactory: xArm  
<https://www.ufactory.cc/#/en/xarm>  
(参照日 2020年1月20日)
- (3) 多田敬佑, 岡宏一, 原田明德, ”ハウス内における赤外線カメラを利用したピーマンの検出”, 第62回自動制御連合講演会