

平行リンクを用いたマルチコプター用枝打ちアームの開発

○林 弘朗(立命館大学) 平井慎一(立命館大学)

1. 緒言

1.1 研究背景

近年ではマルチコプターと言われる複数のロータを持ち飛行するドローンが登場している。マルチコプターは飛行することで高所に容易に到達でき、高所での作業に適している。このことから人が高所で行う作業のリスクを軽減できることが期待される。また、分野に応じてマルチコプターに様々な機器を搭載することでその分野に応じた問題を解決することが可能である。本研究では林業の枝打ちに着目し、マルチコプターに取り付け可能な枝打ちアームの開発を目的としている。枝打ちには高所で作業が行われるため、マルチコプターに搭載可能な枝打ちアームを開発することで、人の落下事故などのリスクを軽減できることが可能である。

1.2 研究目的

本研究では、マルチコプターの下部に取り付け、枝の根本に接近することが可能な枝打ちアームを試作する。マルチコプターの上部に枝打ちアームを取り付けた場合を図1に示す。枝打ちは木材の材質を保つため、枝の根本を切断することが重要である。図1に示すとおり、マルチコプターの上部に取り付けられたアームが枝の根本を切断する場合、マルチコプターより幹側を切断する必要がある。よって切断した枝と共にマルチコプターが落下してしまう問題点が挙げられる。これを解決するため、マルチコプターの下部に取り付け、上部に取り付けたハンドが枝を把持した後、他の枝へ接近し切断するアームを開発すればこの問題を解決できる。マルチコプターの下部に取り付けた場合を図2に示す。

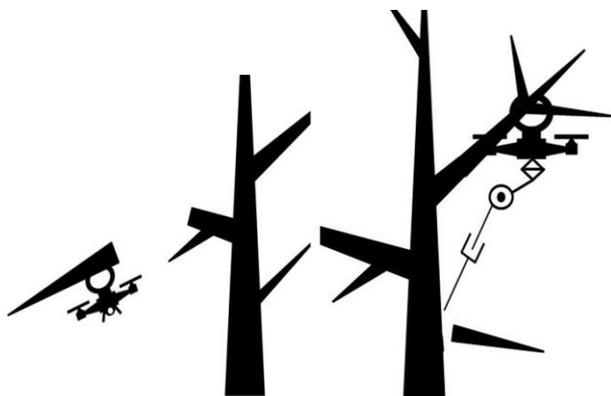


図1 上部切断

図2 下部アーム切断

2. 枝打ちアーム

2.1 アーム構造

本研究で試作するマルチコプター用枝打ちアームの全体図を図3に示し、作成した枝打ちアームの重量や長さを表1に示す。試作する枝打ちアームはアームの方向を決定する回転機構、他の枝へ接近する平行リンクを用いた接近機構、実際に枝を切断するための切断機構を有する。回転機構にサーボモータを2個、平行リンクアームにサーボモータ1個を用いる。マルチコプターは飛行する特性上、アクチュエータをドローンから離れた位置に設置することは理想的ではない。よって本アームに使用するアクチュエータはマルチコプターに近い位置に配置している。またドローンは飛行するため操縦者の視点とは異なる。よって作業環境の向上を目的としてアクションカメラをアームに取り付ける。

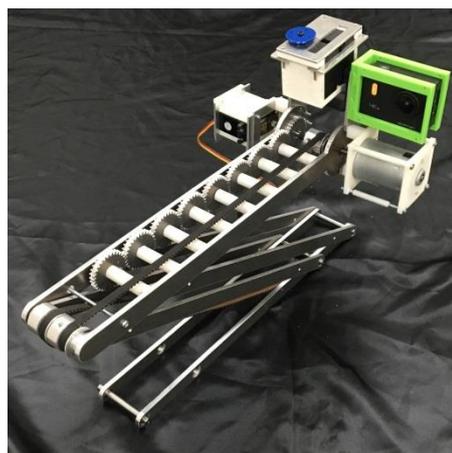


図3 枝打ちアーム全体図

表1 枝打ちアームの重量および寸法

| 重量 | 1472.5[g] |
|----|-----------|
| 高さ | 203.8[mm] |
| 幅 | 196[mm] |
| 全長 | 342.5[mm] |

2.2.1 平行リンクアーム駆動原理

平行リンクアームは4つのリンクを有し、各リンクが平行四辺形を形作っている。図4に示すように隣り合うリンクの長さを l_1 、 l_2 で表す。これらのリンクの成す角を θ とし、図に示す角 θ を変化させ平行リンクアームを駆動させる。この駆動原理を図4に示す。

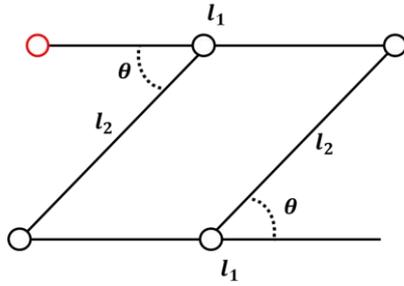


図4 平行リンクアーム駆動原理

2.2.2 手先直線運動のための角度補正

角度 θ のみを変化させる場合、手先位置の軌道が円を描く。よって目標枝へ接近する際他の枝と枝打ちアームが干渉し目標へ接近できない問題が挙げられる。マルチコプターの垂直方向とアームの成す角を φ とし、平行リンクアームが駆動する際 φ を同時に制御し手先を円軌道から直線軌道に補正する。これによりアームが目標枝以外の枝と干渉することを防ぐ。平行リンクアームの手先が描く軌跡はドローンから $2l_1$ の位置を中心とし半径を l_2 とした円に等しい。このアームを等価アームとし、平行リンクアームと等価アームの関係を図5に示す。図より

$$l_2^2 = (2l_1)^2 + l_3^2 - 2(2l_1)l_3 \cos \varphi$$

$$l_3^2 = (2l_1)^2 + l_1^2 - 2(2l_1)l_1 \cos \theta$$

と表される。よって

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{3l_1^2 + l_3^2}{4l_1l_3} \right)$$

である。したがって、手先が直線軌道を描く φ の補正は

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{2 - \cos \theta}{\sqrt{5 - 4 \cos \theta}} \right) \quad (1)$$

となる。またマルチコプターの姿勢安定を目的とし手先を等速で動くように制御する。そのため、手先が等速度 v で動くための条件を求める。時間0における手先の初期位置を c とすると、時間 t における手先の位置は $vt + c$ で与えられる。したがって

$$vt + c = \sqrt{5l_1^2 - 4l_1^2 \cos \theta(t)}$$

が得られる。これより

$$\theta(t) = \cos^{-1} \left\{ \frac{5}{4} - \frac{(vt + c)^2}{4l_1^2} \right\} \quad (2)$$

を得る。

2.3 動作手順

機体上部のハンドにより枝を把持し、機体が安定を保持した状態であると仮定する。その後機体下部に存在する枝へ接近し、枝を切断する。このときの作業手順を図6(a)~(d)に示す。

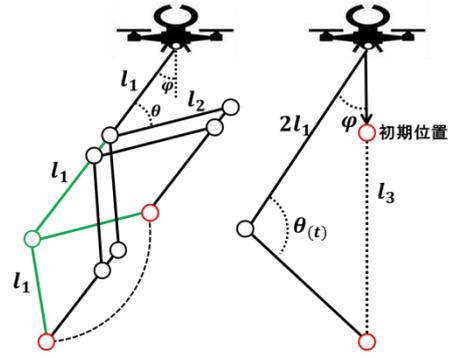


図5 角度 φ 、 $\theta(t)$ の導出

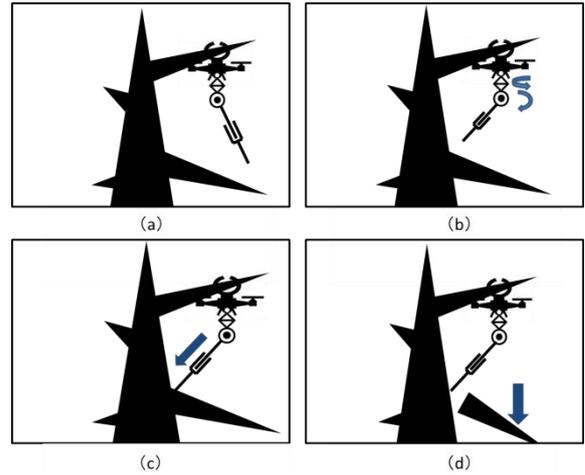


図6 作業手順

- 機体上部のハンドが枝を把持する。
- 回転機構を用い、アームの方向設定を行う。
- 平行リンクアームを用い目標の枝へ接近する。
- 目標の枝を切断する。

3. アーム使用

3.1 ハードウェア

3.1.1 回転機構

アームの回転機構についてここで記す。回転機構はサーボモータを2つ使用し、それぞれ機体に対して垂直な軸と水平な軸に回転する。サーボモータを2つ使用することで2次元駆動を可能としている。使用するサーボモータのスペックを表2に示す。

表2 サーボモータスペック

| | |
|------|---------------|
| 必要電圧 | 7.4[V] |
| 回転速度 | 0.16[rad/sec] |
| トルク | 17[kg] |
| 重量 | 66[g] |

3.1.2 接近機構

アームの接近機構についてここで記す。アームからの視界が操縦者に伝わるようにアクションカメラを取り付ける。接近機構は平行リンクアームを用

リンク角 θ を変化させ目標の枝へ接近する。リンク角 θ を変化させるサーボモータの動力はギアを用い伝達させる。使用するサーボモータは回転機構で用いたサーボモータと同じである。

3.1.3 切断機構

アームの切断機構についてここで記す。切断を行うマニピュレータは木材切断用として一般的に用いられる丸鋸は切断範囲が狭く、目標の枝への本アームの位置決めが困難であると判断したためソーチェーンを採用する。実際に木材を切断するために用いられ、バッテリー駆動のアクチュエータにモータを用いるものも存在するため、実現性も高いと判断した。モータをマルチコプターに近い位置に配置していることから手先までの動力を伝達させるため、タイミングベルトとプーリを用いる。使用するモータのスペックを表3に示す。

表3 切断機構モータスペック

| | |
|------|-----------|
| 駆動電圧 | 12[V] |
| 回転速度 | 3600[rpm] |

3.2 ソフトウェア

本アームのアクチュエータを制御するマイコンとして Arduino UNO を使用する。本アームのアクチュエータに必要とされる最大電圧は 12V である。Arduino の供給電圧が 5.5V であるので、足りない電圧は外部電源を使用し供給する。

4. 実験

4.1 実験目的

製作した本アームの動作確認実験を行う。サーボモータを用いたアームの方向決定、作成した平行リンクアームがギアを介して正常に接近動作を行うかの可否を確認し評価する。

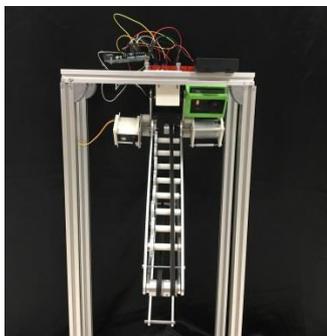


図7 実験環境

4.2 実験環境

アルミ板に本アームを設置し実験を行う。今回使用するマイコンの供給電力は 5.5V であるが 3.2 節で示した通り足りない電圧は外部電源を用い供給

する。実験環境を図7に示す。

4.3 実験結果

アームの方向を決定する回転機構の動作確認実験に関しては、マルチコプターの垂直方向の軸を中心に回転する動作は問題なく行うことができた。しかし、マルチコプターの水平方向の軸を中心にアームを上下に回転させる動作に関してはモータのトルク不足により、正常の動作ができなかった。接近動作に関しても同様に正常な動作ができなかった。この原因としてはモータのトルク不足、ギアを複数介しているためバックラッシュにより入力値と回転にずれが生じてしまうことが考えられる。今回作成した枝打ちアームの重量は 1472.5g となっており、マルチコプターに搭載するアームとしては軽量とは言えない。モータのトルク不足からモータを大きくする必要があるため、アームのさらなる軽量化は必須である。

5. 結言

本研究ではマルチコプターの下部に取り付け、枝の根本に接近することが可能な枝打ちアームを試作した。本アームの方向決定を行う回転機構に関してマルチコプターの水平方向の軸を中心としたアームを上下に回転させる動作に関して正常な動作ができなかった。同様に接近動作に関しても正常な動作ができなかった。この2点の原因としてモータのトルク不足が挙げられる。モータのトルクを上げるためには必然的にモータが大型化してしまう。今回試作したアームの重量はマルチコプターに搭載するアームとしては軽量とは言いがたいため、よりトルクの大きいモータを搭載するためにも、アームの軽量化は必須である。接近動作に関してはギアのバックラッシュの問題、ギアを複数用いている為アームが重くなる問題より、ギアからタイミングベルトに変更することでアームの軽量化を図ることができバックラッシュの問題も解決できると考える。

今後はアームの軽量化、ギアからタイミングベルトへの変更、切断機構を試作し実験を行っていく。試作のつど実験、評価を行い本アームの有用性を証明していく。

参考文献

- [1] 吉田隆, 飛躍するドローン, (2016)
- [2] 津村利光, 大西清, JIS にもとづく機械設計製
図便覧, (2001)
- [3] 寺田将晶, 平井慎一, ロックメカニズムを有
するマルチコプター用ハンドによる線状物体
の把持, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会,
(2014)