

# 自律型 SLAM を用いた小型 UAV による照度分布測定システム

滝野 天嶺

## 1 はじめに

近年、航空分野において小型無人航空機 (小型 UAV)、特にクアッドローター (Quadrotor) は垂直離着陸、ホバリングや超低速飛行が可能な点から注目されている機種のひとつである。一方、ロボットの知能化、コンピュータビジョンの分野において、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) も近年盛んな研究テーマの一つである<sup>?)</sup>。SLAM とは、カメラを用いて自己位置と周囲環境を示す地図の推定を同時に行うことを言う。なお、SLAM の本質的な意味合いはループが閉じていることである。言い換えれば、SLAM を行うと一度来た場所を同じ座標として認識することができるため、矛盾がないように地図を描くことができる。SLAM を行うロボットとしては、iRobot 社のルンバ、LG エレクトロニクス社製掃除機の HOM-BOT、および Neato 社製の XV11 が知られている。現在では、その機動性から UAV の SLAM への適用が注目を浴びている。UAV による SLAM は、安定性や自己位置推定の精度の問題はあるが、飛行しているために障害物や段差に強く、より詳細な地図を得られることが期待される。

他方、近年、オフィスなどの執務空間において快適性や知的生産性を向上させる環境に関する研究が盛んに行われている<sup>?)</sup>。なかでも光環境にその大きな要因があり、照度分布を正確に求めることで光環境を改善することを目指し、照度分布の計測に関する研究が行われている<sup>?)</sup>。本研究では環境センシングの一種として、上記の SLAM を用いた小型 UAV による新たな照度分布の計測方法について考察する。照度分布の計測における代表的な手法には、多数の照度センサを用いた計測手法<sup>?)</sup>や計算機シミュレーションによって求める手法<sup>?)</sup>などがある。多数の照度センサによる多点計測手法では、季節や天候により変化する外光の影響や、短時間で変化する直射日光の影響を計測できるため有用性の高い照度値を求めることができる。ただし、計測空間全体に照度センサを配置する必要があるため、計測環境の構築が容易でない。また、計算機シミュレーションでの計測では、照明器具毎に異なる劣化や汚れを考慮するためには様々なパラメータが必要となり、正確な照度分布を得ることは容易でない。

さらに、UAV による SLAM の中でも特に、人間による操作を必要とせず自ら意思決定を行う自律型 SLAM を実現することは、将来的に、空間移動型の照度センサを用いた知的照明環境を実現する上での研究開発においても重要であると考えられる。

## 2 自律型 SLAM を用いた照度分布計測システム

提案システムには、ワイヤレス照度センサ、データを受信するワイヤレス照度センサ用親機、親機で受信したデータを蓄積する PC、および照度分布計測領域を移動する UAV を用いる。UAV には Parrot 社製のラジコンヘリコプター (以下、AR.Drone) を使用する。本研究で用いるラジコンヘリコプターの仕様を Table1 に示す。

Table1 ラジコンヘリコプターの仕様

| 項目    | 性能                   |
|-------|----------------------|
| 機器名   | AR.Drone2.0          |
| 機体サイズ | 515 × 520 × 115 mm   |
| 飛行時間  | 12 分                 |
| 飛行速度  | 秒速 5 m               |
| 内蔵カメラ | HD カメラ 720p*30fps 搭載 |

本研究の測定環境はオフィスを想定している。そのため、照明器具の間隔とサンプリング定理から、50 cm 間隔で照度データが観測される場合に限り照度分布計測が可能であるとする。これは参考文献<sup>?)</sup>を参考されたい。よって、UAV の移動領域を 50 cm グリッド領域に分割する。そして、領域内に存在するグリッド内を少なくとも 1 回は被覆する移動アルゴリズムを UAV は持っているものとする。取得した照度データには位置情報が含まれていない。そこで本研究では、取得した照度データの位置を把握するため、UAV に内蔵された HD カメラを用いる。カメラを用いた位置推定については次節で述べる。

## 3 自己位置推定および環境地図作成

### 3.1 PTAM による自己位置推定および環境地図作成

本研究では自己位置推定および環境地図作成を PTAM (Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces) によって実現する。PTAM とはマーカーなどの目印不要の AR の手法なので初めて映す場所でも実行できる。また、最初の場所から少し移動してもトラッキングし続けることができるため常にマップを更新でき、マップの更新とトラッキングを別スレッドに分けて処理をしている机上などの狭い作業空間を想定している他の手法と比べても高速、正確かつ安定している。

PTAM では、AR.Drone に内蔵されているカメラによりエッジを特徴量として高次元ベクトルで表現し、それを元に 3 次元空間上に環境地図を作成する。同時に自己



Fig.1 SLAM のフローチャート

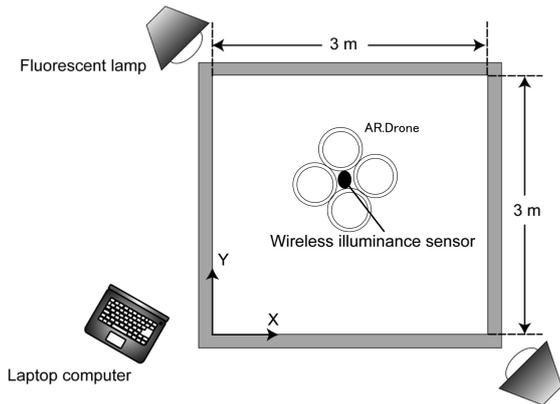


Fig.2 実験環境

位置推定を行うが、まずカメラ画像からはフレームごとの姿勢変化を元に粗い姿勢推定  $E$  を得る。次に  $E$  を補正する並進回転変換を対数写像を用いて得られる 6 次元ベクトルで  $\exp()$  と表す。なお環境地図中の特徴点は、これらの合成変換  $\exp()E$  とカメラ投影モデルを用いてカメラの 2 次元画像中へ投影される。そしてこの補正值を変化させた時に、カメラ画像中の特徴点と、投影された環境中の特徴点の誤差の総和が最も小さくなるような  $\mu$  を求める。こうして得られた合成変換  $E' = \exp(\mu)E$  がトラッキングの出力であり、そのフレームでの位置情報として利用する。この環境地図作成および自己位置推定を以下の Fig.1 に示す SLAM のフローチャートに従って繰り返し行う。

#### 4 照度測定

提案手法の有用性を検証するため、本手法を用いて照度分布計測実験を行う。計測領域は 3 m × 3 m で、飛行時間が最大 12 分であることから計測時間を 10 分とし、照度差をつけるために蛍光灯を 2 つ用いて検証を行う。実験環境を Fig.2 に示す。

本研究で用いる AR.Drone は以下の項目 1~5 の動作を行う。最初の 90 秒は項目 1~3 の動作をし、以降は項目 4, 5 を繰り返す。なお、AR.Drone の初期位置は測定領域の中心とする。

1. 初期位置から回転半径 500 mm になるようにアルキメデスの螺旋を描き移動する
2. 60 秒後、その位置から壁に接触するまで直進する
3. 30 秒間、壁に沿って移動する
4. 直進する
5. 壁に接触した場合、0~359 度の間でランダムに回転を行う

項目 1~5 を基にシミュレータを作成する。第 2 章で前述したように、50 cm グリッドを全て満たせば照度分布計測が可能であるため、全体のグリッド数に対して照度データが含まれていないグリッド (未取得領域) と時間の関係を求める。各点 100 回程度試行を行い、その割合の平均値をプロットして照度分布図を作成する。

#### 5 まとめ

本稿では照度分布計測手法の新たな方法として、自律型 SLAM を用いた計測手法を提案した。今後は本稿の通り自律型 SLAM の移動アルゴリズムを検討し、測定領域と被覆率の関係から照度分布を作成した上で、シミュレーターを用いてラジコンヘリコプターの最適な動きの推定および定式化、最適な飛行時間の検討、および知的照明への応用を行う。