

光無線給電における差分吸収画像を用いた太陽電池位置・姿勢決定

浅葉 薫¹, 宮本 智之¹

¹東京工業大学 科学技術創成院 未来産業技術研究所
(〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259-R2)

Abstract: In Optical Wireless Power Transmission (OWPT), detection and positioning of photovoltaic device (PV) in real space is essential before power transmission. One of the candidates for robust detection of PV is differential absorption imaging which have been proposed by the authors. In this method, raw images are captured using absorbable and non-absorbable wavelength of PV. Then, PV is detected from differential image of them. In this report, its positioning in real two-dimensional plane was investigated by means of the differential imaging. Stereo imagery was utilized for the positioning, and attitude of the target was determined by means of consistency condition (integrity measure) convergence curve of the stereo imagery.

Key Words: 光無線給電, 差分吸収, ステレオ画像, 太陽電池

1. Introduction

ワイヤレス社会において光無線給電(Optical Wireless Power Transmission (OWPT))は小規模の装置から大規模システムまでのスケールに渡り重要な役割を果たすと期待されている。OWPT では光源から 光電変換素子(photovoltaic device (PV))に光を用いパワーを伝送するため回折によるビーム拡がり小さく長距離の伝送に優れている。OWPT において PV における照射した光パワーに対する給電効率を上げるためには太陽電池(PV) の位置、大きさと方位を光源位置から正確に検出しビームアラインメント、整形を行う必要があり、筆者らは背景光が変化するなどの環境下でも PV を光源側からロボストに検出できる方法として赤外差分吸収画像を用いた方式を提案している。PV は半導体であることから一般にバンドギャップを挟み吸収が波長に対して急峻に変化するため 2 波長の赤外線を使って検出できる。この性質を用いて PV を検出し、ステレオ画像とその整合性条件によりその位置および姿勢を決定した結果を報告する。

2. GaAs 太陽電池の差分吸収画像による検出と位置・姿勢決定

赤外差分吸収画像による PV の検出は Figure 1 に原理を示す他、詳細は文献[1]に説明されている。

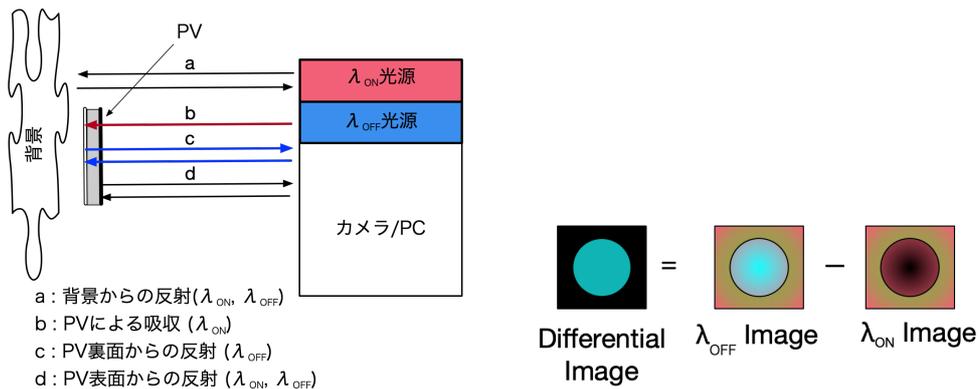


Figure 1 Principle of PV detection by means of differential absorption imaging

実際の薄型 GaAs 電池の検出を行い、ステレオ画像による位置と姿勢の決定を試みた。その際左右のイメージセンサが取得したイメージの整合性を担保する条件が定義できる(integrity measure)。この条件の収束に等価なイメージセンサの最小露光時間が存在し、加えてこの最小露光時間は目標の姿勢角に依存する。Integrity measure を満たす PV の中心座標推定値を用いて位置決定を行った。また最小露光時間の姿勢角依存性を用いて姿勢決定を行った。

差分吸収画像による方法では太陽電池裏面における非吸収波長の反射特性が重要な要素となる。拡散、非拡散に大別される反射特性につき、拡散のサンプルとして裏面をエッチングした GaAs 基板、非拡散のサンプル

ルとして薄膜 GaAs 太陽電池を使い、目標の中心座標(X,Y)、目標面積決定に関して目標角度に対する反射特性を測定した(Figure 2)。

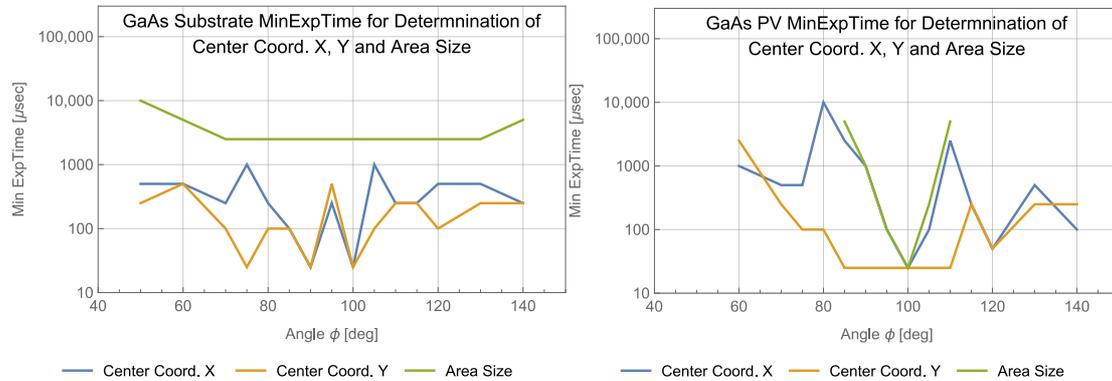


Figure 2 Reflection characteristics of GaAs substrate(Left) and GaAs PV(Right)

拡散反射特性から姿勢角に対してフラットに近い角度特性を持つ GaAs 基板では位置決定精度も姿勢角に対しフラットな特性を持つことが予想され、実験結果は予想を支持している。

一方、非拡散反射特性から鋭い角度特性を持つ PV に対して位置決定実験を行った。Figure 2 に示す実験構成で Position Set1,2,3 それぞれ 5ヶ所に置いた GaAs 基板、及び PV の位置座標を決定した。実験で用いた光学ベンチには 23(横)×31(縦)個のピッチ 25.4mm のねじ穴が開いている。これらを光学ベンチ上に定義する XY 座標系の格子点とし、X 座標は $-11 \leq X \leq 11$ 、Y 座標は $-3 \leq Y \leq 27$ の範囲を変化するものとした。カメラは XY 座標の原点(0,0)に設置され、X 軸上の+Y 方向に向けられている。また目標は回転台に取り付けられており、カメラの光軸に対して角度(attitude)調整ができる。回転台の角度 ϕ はカメラに正対する方向を 90° と定義する。Figure 3 に示すように目標は以下の位置に置かれている。

Position 1 Set= $(-8,27), (-4,27), (-2,27), (-1,27), (0,27), (1,27), (2,27), (4,27), (8,27)$

Position 2 Set= $(0,27), (0,26), (0,25), (0,23), (0,19)$

Position 3 Set= $(-6,9), (-4,11), (-2,13), (-1,14), (0,15), (1,16), (2,17), (4,19), (8,23)$

照明用光源には吸収波長 850 nm、非吸収波長 940 nm の LED を利用し、カメラは Si CMOS センサを用いた。取得した左右のイメージセンサ出力画像からそれぞれ差分吸収画像を生成し、2 値化を行い目標のイメージを抽出した。抽出したイメージから目標の中心座標を求めて距離情報を生成し、位置決定を行った。

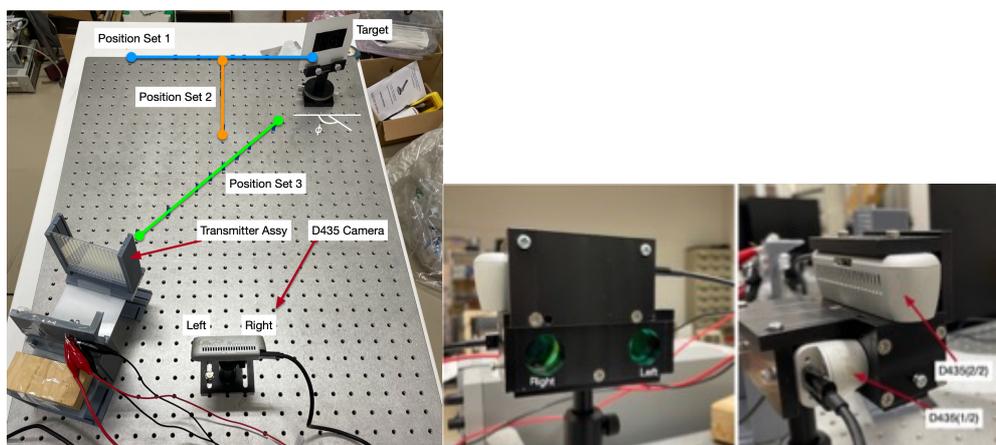
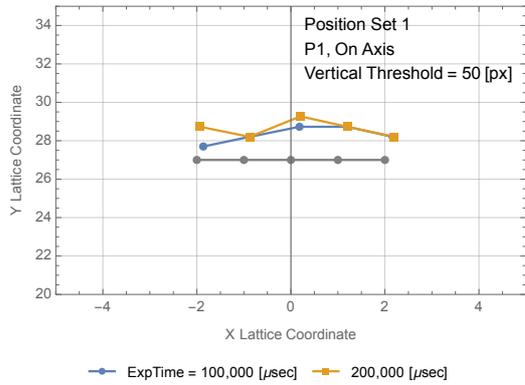
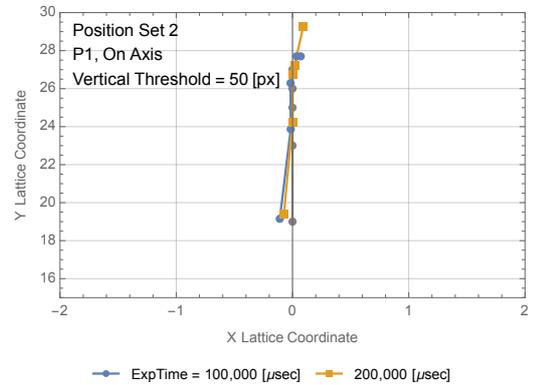


Figure 3 Layouts of the experiments and optics/cameras

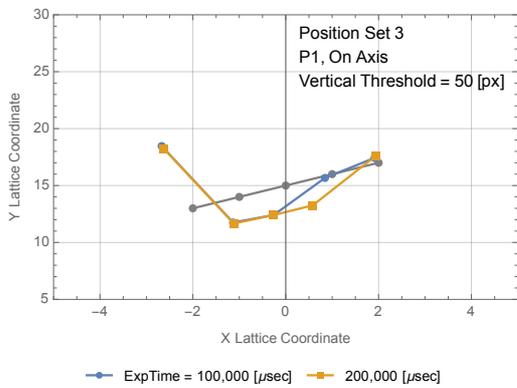
ステレオ画像による位置決定結果を Figure4 に示す。位置座標は 25.4mm を格子単位としている。但し Figure 4 の測定では PV の姿勢は照射 LED がカメラに正対するよう調整されている。



(a)



(b)



(c)

Figure 4 Position determination of GaAs photovoltaics

正対角での位置決定結果は GaAs 基板と大きく異なることはない。一方、目標を固定し姿勢角を変化させた時の目標の位置決定精度は姿勢角に依存する (Figure 5)。

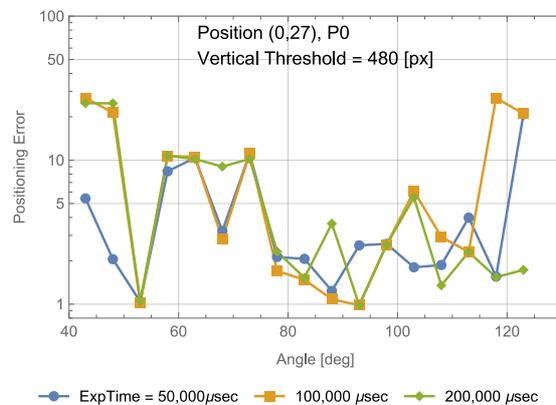


Figure 5 Positioning error of a fixed target for attitude angle

PV の中心がステレオ画像の左右のイメージセンサでそれぞれピクセル座標 $(\xi_L, \eta_L), (\xi_R, \eta_R)$ として観測されていたとすると、左右の画像が整合するためには以下の'integrity measure'

$$C1 : \xi_L - \xi_R > 0 \quad (1)$$

$$C2 : \eta_L - \eta_R = 0 \quad (2)$$

が成立しなくてはならない。この条件の成立は撮像するカメラの露光時間に依存し、条件が成立する最小の露光時間は PV の姿勢に依存する (Figure 6)。

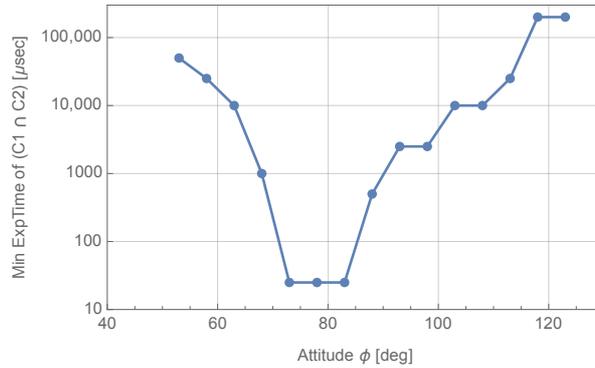


Figure 6 Minimum exposure time for integrity measure convergence

実験レイアウト内の 15 点について integrity measure を満足する最小露光時間を測定し Figure 6 の曲線から各点での PV の姿勢を推定したところ、概ね 10° 以下の誤差で推定できることがわかった。(Figure 7)

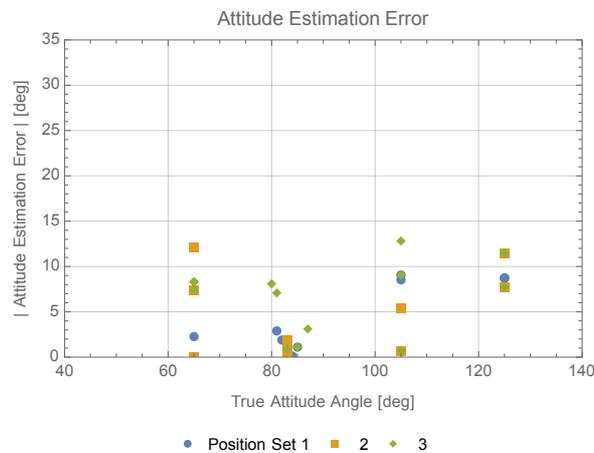


Figure 7 Attitude estimate results for Position set 1, 2, 3

謝辞

本研究の一部は、機械システム振興協会／光産業振興協会の令和 5 年度イノベーション戦略策定事業に基づく。

参考文献

- 1) K. Asaba, T. Miyamoto; Photonics 2023, 1010(5), 553