

# 距離画像センサを用いたタグシステム

山田 渉<sup>†</sup> 真鍋 宏幸<sup>†</sup> 稲村 浩<sup>†</sup>

**概要.** 距離画像センサの普及が急速に進んでおり、いつでもどこでも手軽に距離画像センサの利用ができるようになるだろう。我々は、距離画像センサの計測原理が通常の RGB カメラと異なることに着目し、距離画像センサをリーダとする2つのタグシステムを提案してきた。1つは液晶と再帰性反射材を組み合わせたアクティブタグであり、小型かつ省電力でありながら通信可能な距離が長い。もう一方は再帰性反射材のみを利用したパッシブタグであり、動きに対するロバスト性が高い。本稿では、提案したタグシステムの実装および評価とその応用について述べる。

## 1 はじめに

センサと物体との距離を認識できる距離画像センサは、ビデオゲームに採用されて以降、急速に低価格化と普及が進んでいる。距離画像センサを用いることで、形状認識や環境推定、ジェスチャ認識を高精度化することが可能となる。また距離画像センサの中でも、Time-of-Flight 方式(以下、ToF 方式)は、高い距離分解能と小型化が期待できる上、RGB カメラと統合されたモジュールも既に開発されている。そして今後も距離画像センサの普及は進み、将来的にはスマートフォンをはじめとしたカメラを搭載したデバイスの多くで距離画像センサを利用できると考えられる。

ToF 方式の距離画像センサでは、赤外線のパルス光を照射して、受光するまでの時間を計測することで距離画像を生成する。それに対し、通常の RGB カメラでは、露出時間中における光の強度を積算することで RGB 画像を生成する。このように ToF 方式の距離画像センサと通常の RGB カメラとは原理が異なるため、その特性も大きく異なる。例えば、RGB カメラは受光のみなのに対して ToF 方式では赤外光の照射もする点や、ToF 方式では、RGB カメラに比べて極端に露出時間が小さい点などである。

著者らはこれらの特性を活用し、距離画像センサをリーダとする、小型かつ省電力でありながらも長距離で光通信が可能なアクティブタグ[1]と、運動に対するロバスト性が高いパッシブタグ[2]をそれぞれ提案している。本稿ではそれらの実装と評価、応用可能性について述べる。

## 2 アクティブタグの実装及び評価

提案したアクティブタグでは、図1のように再帰性反射材と高分子分散型液晶(Polymer Dispersed

Liquid Crystal, 以下 PDLC)から構成されている。PDLC とは、電圧を印加しないときは不透明であるが、電圧を印加することで平行透過率が 80%程度、つまり透明になる特徴を持った液晶である。提案手法は、PDLC の透明度を制御することで光通信をする。PDLC が不透明の場合は、距離画像センサから照射された赤外光は PDLC 内部で拡散し、再帰性反射材で反射される。再帰性反射材で反射された光は再度 PDLC 内部で拡散されるため、弱い反射光として距離画像センサに受光される。一方、電圧を印加し PDLC を透明にした場合には、距離画像センサから照射された赤外光は、入射、反射の際に PDLC 内でほとんど拡散されないため、強い反射光として距離画像センサに受光される。以上のように、アクティブタグでは、PDLC を利用して距離画像センサから照射された赤外光に強弱をつけて反射することで光通信を行い、タグの ID 等の情報を距離画像センサに送信する。

光通信を利用した他の手法として、カメラと LED を使ったタグが提案されている[3]。LED を使った手法では、LED を駆動させるために大きな電力が必要となるため、小型のタグを長時間駆動させることは難しい。また LED の指向性が読み取り可能角度を狭くする。それに対し、本アクティブタグは、PDLC と再帰性反射材を用いることで、省電力かつ長距離、広い角度での通信を可能にする。さらに距離画像センサの距離を測定する機能も損なわれないため、光通信と同時にタグまでの距離も同時に測定でき、3次元でのタグの位置認識が可能である。

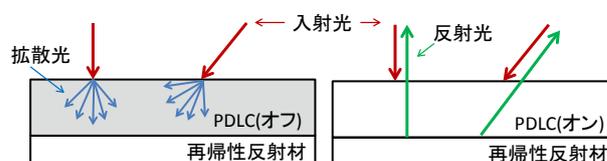


図1 PDLCを用いたアクティブタグの動作原理

Copyright is held by the author(s).

<sup>†</sup>株式会社NTTドコモ, NTT DOCOMO, INC.

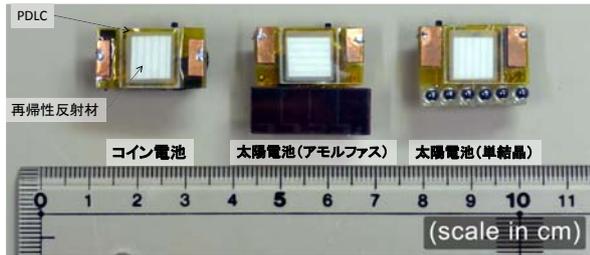


図 2 実装したアクティブタグ(3種類)

3種類のタグ(図2)を実装し、省電力性能の評価をした。動作電圧 3V で消費電流は平均  $0.7 \mu\text{A}$  であった。この結果から CR1025 のような小型なコイン電池でも理論上、約 8 年間動作可能である上、小型な太陽電池でも十分に駆動可能であった。

次に図2のコイン電池型のタグと SoftKinetic 社の距離画像センサ DS325 を用いて通信可能な距離の評価した。タグは 1cm 角と小型であるため、2メートルの距離で距離画像の約 1 ピクセルに相当する。しかし、提案手法では、再帰性反射材から強い反射光が射出されるため、8メートル離れている場合であっても点滅するタグが観測され、通信可能であることが分かった。また実験に用いたタグの通信速度は、PDLC の反応速度と距離画像センサのフレームレートから 2.4 bps ほどに留まっており、今後改善が必要である。

### 3 パッシブタグの実装及び評価

我々の提案したパッシブタグは、再帰性反射材を用いたビジュアルタグである。再帰性反射材と赤外線カメラを用いた研究が既にある[4]。リーダに距離画像センサを用いることが提案手法の特徴であり、露光時間が極端に短いために、運動に対するロバスト性が向上すると考えた。

評価実験で用いたタグは、図3のように 160 mm 角、幅 5 mm の再帰性反射材の枠内に、5 mm 角の再帰性反射材を 3 x 3 のグリッド上に配置し ID を表現したものである。そして、タグを 4 種類の速度で回転させ、50 cm の距離から RGB カメラと距離画像センサで撮影した。その結果を図3に示す。

図3のように各 RGB カメラでは、回転数の増加につれて、ぼけとローリングシャッター現象による歪みが強く生じた。一方、距離画像センサによる映像では、露出時間の短さから、ぼけ及び歪みは RGB カメラに比べて著しく小さい。

次に、DS325 を用いて 2400 回 (2 種の ID × 4 種の回転速度 × 300 フレーム)、ID 認識を実施した。その結果、回転数が 5 rps 以下の場合、99% 以上、15 rps の場合でも 80% 以上の正解率でタグの ID を認識可能なことが分かった。

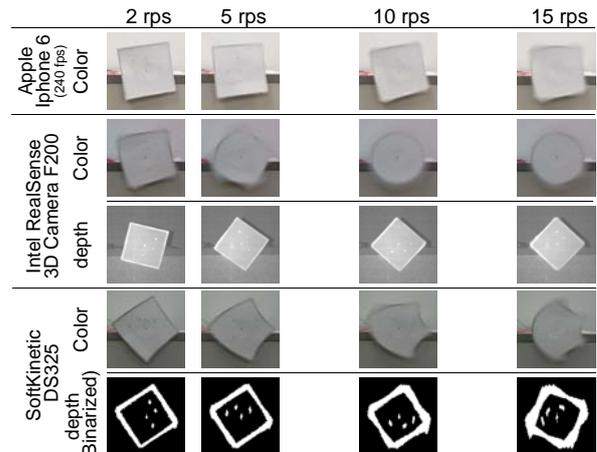


図 3 各 RGB カメラと距離画像センサの撮影画像

### 4 結論

本論文では、距離画像センサの特性に着目し、光通信を行うアクティブタグと、パッシブタグの 2 つのタグシステムを提案した。提案したタグのどちらも、距離画像センサで距離を測定しながら、情報の伝達が可能である。また提案したアクティブタグは通信速度や運動に対するロバスト性は低いものの、小型かつ省電力でありながらも長い距離で通信することが可能である。一方で提案したパッシブタグは原理上、通信可能距離と大きさはアクティブタグに及ばないものの、アクティブタグよりも高い通信速度や、既存の RGB カメラを用いたビジュアルタグを超えるロバスト性を有する。そのため歩行やジョギング等のアクティブタグに適さない状況をサポートできる。さらに提案したタグを組み合わせることで、より高精度かつ少数のタグで広範囲をサポート可能な屋内位置推定や物体認識が可能になると考えている。

### 参考文献

- [1] Manabe, H., Yamada, W., and Inamura, H. Tag system with low-powered tag and depth sensing camera. In *Proc. UIST '14* (2014), 373-382.
- [2] Yamada W., Manabe, H., and Inamura, H. Enhanced Motion Robustness from ToF-based Depth Sensing Camera, In *Adjunct Proc. UIST '15* (2015, to appear).
- [3] 松下伸行, 日原大輔, 後輝行, 吉村真一, 暦本純一. ID Cam: シーンと ID を同時に取得可能なスマートカメラ. 情報処理学会論文誌, 43(12), 3664-3674.
- [4] Nakazato, Y., Kanbara, M., and Yokoya, N. Localization of wearable users using invisible retro-reflective markers and an IR camera. In *Proc. VRST '08* (2008), 295-296.