

補助事業番号 28-136
補助事業名 平成28年度 非線形同期による自転車の群自律管制の研究 補助事業
補助事業者名 東京海洋大学 学術研究院 准教授 田原淳一郎

1 研究の概要

自転車に代用される移動体の自動運転は現在盛んに研究されている。しかし、その自動制御手法は画像処理や高価なレーザー測位システムを使うなど大型である。このような手法では小型移動体において利用は難しい。そこで移動体を昆虫の群れと考える。この群れを制御する手法を群自律管制として応用する考えに至った。その際、ホタルが非線形同期による発光によりパーソナルスペースを作っていることに注目した。そこで非線形同期をベースとした光同期装置とオムニホイールを用いた移動ロボットを作成し、非線形同期信号を用いて群れを制御する事を可能とした。

2 研究の目的と背景

本研究では、ホタルの非線形同期を用いて、小型移動体である自転車を群れとして制御する事により新たな管制手法を創発する。非線形同期はVan der Pol方程式が有名であるが今回はホタル発光をモデルとしたためパルスを使った非線形同期のLIFモデルを使用した。これによりパルス光信号の特性を生かした非線形同期発光モデル(ホタル同期システム)を用いる事により、安価で効率的な群制御ユニットを開発する事が目的である。本装置を使い、小型移動台車を誘導制御が可能である事を示す。これにより非線形同期を使った群自律管制を可能にする事が本研究の目的である。

3 研究内容

目標達成のために以下3つの研究を行った。(1) 非線形同期手法の開発, (2) 実験加工装置の導入, (3) 自転車群制御モジュールの開発に関する研究

なお, 研究の状況等は

URL (<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jtahar0/posts/product.html>)

に記載している。

(1) 非線形同期手法の開発 (<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jtahar0/posts/product.html>)

本事業は、LEDの可視光により、非線形同期(図3.1)を発生することにより、自転車の自律管制を目的としている。具体的には、LEDのライトの信号を信号源として限られた情報の中から同期を発見することにより他の自転車を認知し、安全に誘導する

ことを目的とした研究である。

まず、RGBの混合色である白色LEDよりも単色光である青色LEDを用いた方が初期の実験に適すと考え、青色LEDによるマイコンを利用した切り替え型の非線形同期回路を作成した。3個の同期タイミングを制御することが可能になった。今後は自転車のライトの白色へ展開する。また、非線形同期の切り替え時に群れの判定をすれば良いこと等が調査の結果、発見できた。本件の同期発生部分をまとめ、2016年度海洋理工学会秋期大会にて「非線形引き込みをベースとしたSWARM用通信装置の開発」の口頭発表等を行った。

次に、安定した機器間の情報伝達においてLED光の受信感度を調整するAuto Threshold Control(ATC)(図3.2)を導入し効果があることが理解できた。ATCを導入するこのより最大0.6mで同期が可能となった(表3.1)。このATCを使い移動台車の位置関係を検出するアルゴリズムの試験を行ってきたが良い成果を得ることが出来なかった。

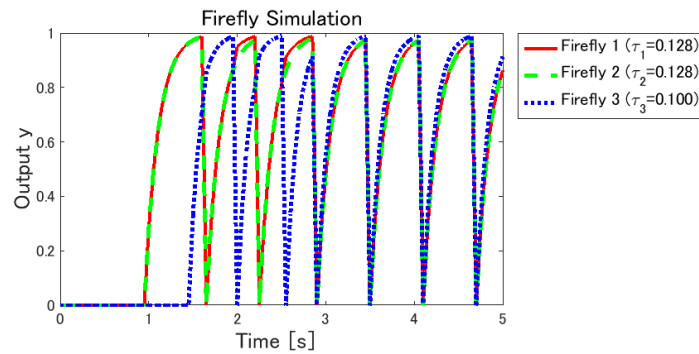


図3.1 非線形同期の出力電圧 y の同期

$$y_k = a_0 x_k + b_0 y_{k-1} + m \epsilon$$

$$a_0 = \frac{\frac{\Delta t}{\tau}}{(1 + \frac{\Delta t}{\tau})}, \quad b_0 = \frac{1}{(1 + \frac{\Delta t}{\tau})}$$

表3.1 ATC実装後の通信成功率

(ATC実装後 $\tau_1 = \tau_2 = 0.128$ の場合の結果)

2台間の距離 [mm]	空气中 通信成功率[%]	水中 通信成功率[%]
190	100.0	99.9
390	85.9	97.2
590	70.9	88.7
790	0.3	79.9

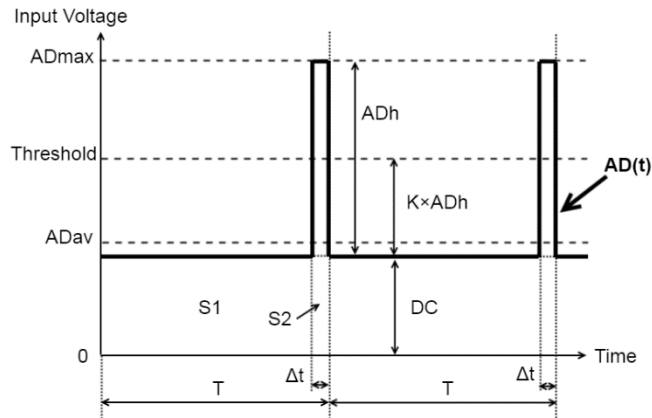


図3.2 青色受光センサのAD値とThreshold

$$Threshold = DC + K \cdot AD_h \quad (0 < K < 1)$$

$$AD_h = (AD_{av} - DC) \frac{T}{\Delta t}$$

$$Threshold = K \frac{T}{\Delta t} AD_{av} - \left(K \frac{T}{\Delta t} - 1 \right) DC$$

(2) 実験加工装置の導入

非線形同期システムを構築するには、基板加工機・レーザーカッターを用いて電子回路や移動台車のボディを作成する必要がある。そこで、LED同期装置を開発する際に必要となる、基板加工機とレーザーカッターを導入した。電子回路の作成にはLPKF社のProtoMat S63の購入。レーザーカッターはOH-LaserのHAJIMEを購入した。導入後、プリント基板作成のスピードが向上し、マイクロプロセッサを使ったLED同期回路の作成時間が、ユニバーサル基板利用時に比べ約1/5となった。レーザーカッターについては、実験時の治具の作成において正確な加工が即座に出来る。移動台車による実験に用いるロボット作成が可能となり、今後のFabLabやオフィス内工場での導入が期待される。

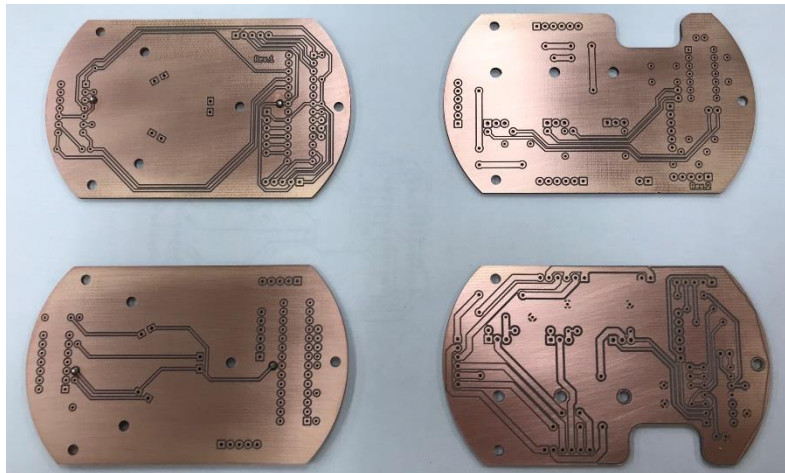


図3.3 基板加工機で製作したLED同期回路基板

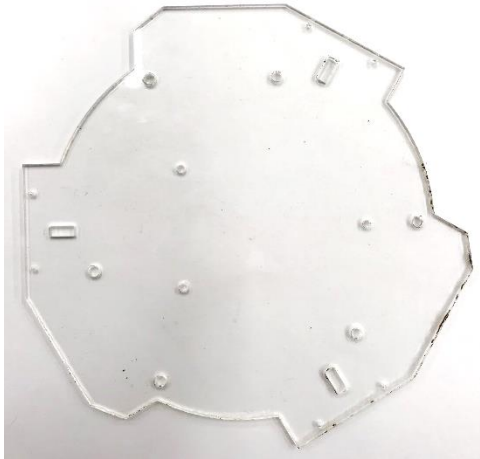


図3.4 レーザーカッターで製作した移動台車のアクリル製ボディ

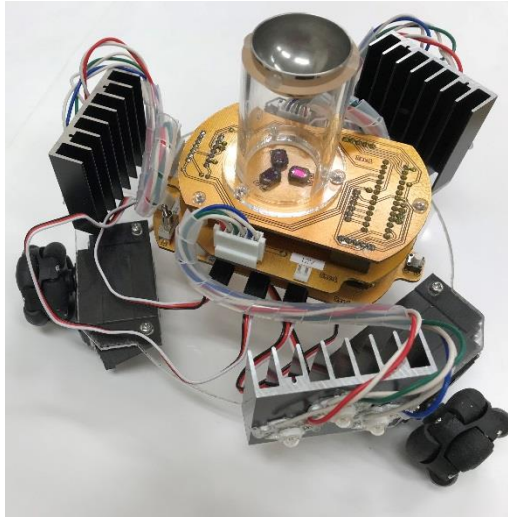


図3.5 LED同期回路を搭載した3輪の移動台車ロボット

①基板加工機の導入

URL (<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jtahar0/posts/activity7.html>)

②レーザーカッターの導入

URL (<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jtahar0/posts/activity8.html>)

(3) 自転車群制御モジュールの開発に関する研究

同期システムとロボットの移動方法について調査を行った。自転車の移動特性である1) 停止出来ない、2) バック出来ない等の条件を鑑み小型のロボットのアルゴリズムを考察した。1つのロボットには8つの光同期システムが必要であろうとの見解に達したが、本モジュールは小型で安価であるため問題はないと判断した。そこで、移動体のパーソナル空間認知システムのシミュレーションを開始した。始めに、移動体が移動しない状況で同期確認を行う為に、移動体をメッシュ上に配置し、同期が可

能か否かシミュレーションを行った。シミュレーションは成功したため、現在上述の自転車の条件1)2)を模したシミュレーションを行った。しかし、自転車で実現出来ない後進の動作を入れた場合上手く動作する事が出来なかった。

そこで、自転車ではなく3輪のオムニホイールを使った移動体モデルとした。また同期信号も3色(赤、青、緑)のLEDを用いてそれぞれのRGB光パルスの同期周期を3輪それぞれのモータ速度とした。その結果、RGBの各色で非線形同期が発生し移動体の群制御が可能である事がシミュレーションより明らかになった。また、実際に移動ロボットを作成し試験したところ実際に同期が発生し、移動体が誘導された。よって本移動体を複数配置し試験することにより今後の課題となる。さらには、自転車での応用を目指す。

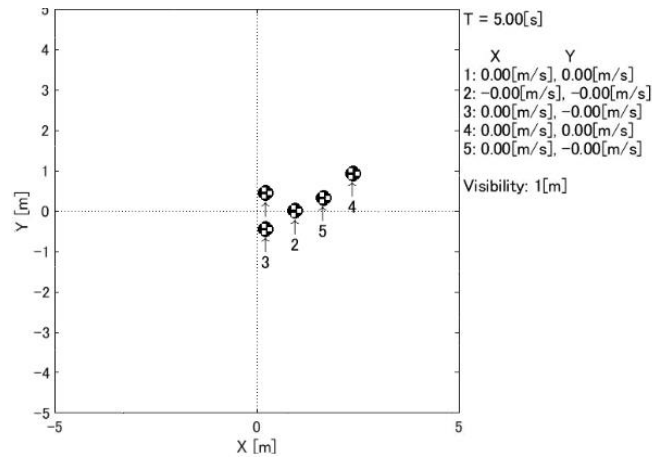


図3.6 3輪移動体モデルの群制御シミュレーション

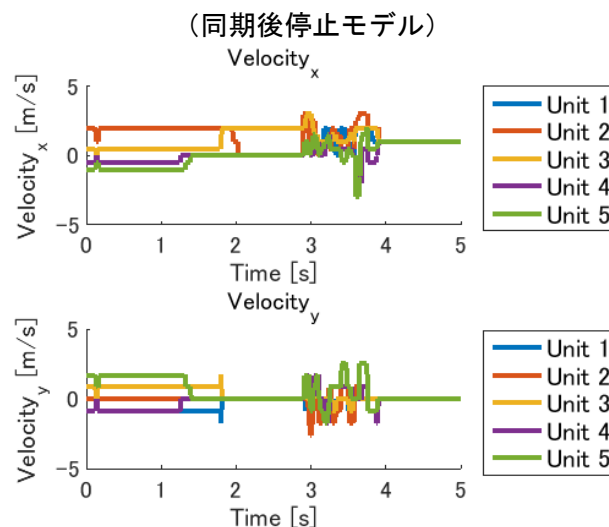


図3.7 3輪移動体モデルの速度シミュレーション

(同期後停止モデル)

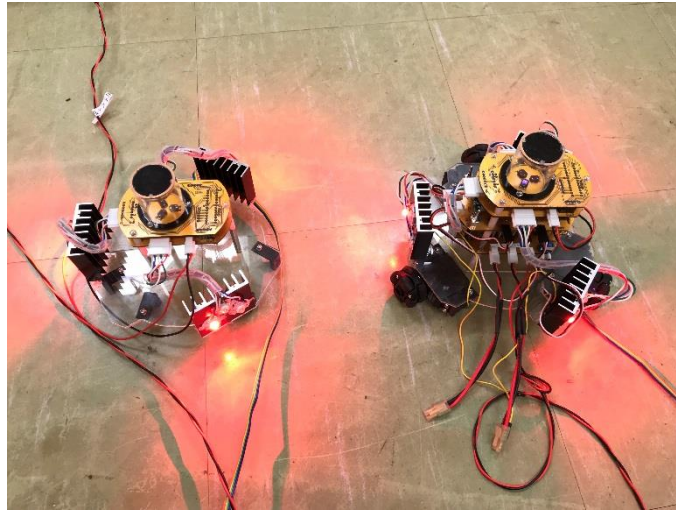


図3.8 3輪移動体ロボット試験の様子

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

自動運転に代表される無人移動体は今後ますます社会ニーズが高まって行くと考えられる。そのような中、次に要求されるのはこれらの無人移動体を群として移動させる群自律であえると考えられる。現在はこれらを実現する為には高価なレーザー測器や高速カメラ・画像処理コンピュータ・中央管制装置が必要である。

しかし今回提案したホタルの非線形同期を使った群管制手法は、LEDとフォトダイオードと言ったきわめて単純な装置と非線形同期というきわめて単純な数学モデルから構築されるが強力な同期性能を持つ手法を組み合わせたものであり、これまでにない新たな手法として期待出来る。

特に将来、魚・鳥・アリといった生物のような群れでの移動をするビークル(ドローン、AUV、ASV)が人・物の輸送や環境調査へ応用されることが期待される。

また自転車への応用は移動特性とのマッチングが現状良くないがこれを回避する手法の確立を目指している。本手法を用いることにより安全な移動体として自転車の進歩に期待したい。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

1995年から高専の教員、海洋研究開発機構において移動体(ロボット・AUV・ROV)の制御を行ってきた。また、2010年度から非線形同期に関する研究を行っている。非線形同期を工学的に応用する事例は少なく、数学理論が先行している状況である。その中でホタルの非線形同期発光が個体のパーソナルスペースの確保問題を移動体に置き換えて考えれば群(移動ロボット)の自律管制が可能になることが確認できたことは大きな成果であった。また、プリント基板加工機やレーザーカッターの導入は次世代の試作の良き経験となった。

本研究は、申請者の研究テーマである「移動体の制御」と「非線形同期」の両者が結びつい

た物と言える。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【国内口頭発表】

- 1) 田原淳一郎、伊藤大智、非線形引き込みをベースとしたSWARM用通信装置の開発、平成28年度海洋理工学会秋季大会、pp. 85~86、2016
- 2) 田原淳一郎、伊藤大智、章ふえいふえい、小池雅和、非線形引き込みを使った海中可視光通信装置の開発、第49回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集、pp. 99~100、2017
- 3) 伊藤大智、田原淳一郎、非線形引き込みを使った水中SWARM用可視光通信装置の開発、平成29年度海洋理工学会春季大会、pp. 57~60、2017、ベストプレゼンテーション賞受賞
- 4) 田原淳一郎、伊藤大智、中村圭、非線形同期を使ったSWARMの群移動制御の研究、第50回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集、pp. 33~34、2018

【国際会議口頭発表】

- 1) Taichi Ito, Junichiro Tahara, Masakazu Koike, Feifei Zhang, Development of the Visible Light Communication Device for Swarm Using Nonlinear Synchronizing, Proc. of the 22nd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 22nd 2017), pp. 109-113, 2017, Young Author Award受賞
- 2) Taichi Ito, Junichiro Tahara, Masakazu Koike, Feifei Zhang, Automatic threshold control for visible light underwater communication device using nonlinear synchronization, Proc. of the 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 23rd 2018), pp. 410-415, 2018
- 3) Taichi ITO, Junichiro TAHARA, Masakazu Koike, Feifei ZHANG, Communication Device - Visible Light Nonlinear Sync -, Proc. of the 2017 China-Japan-Korea Graduates Academic Forum, pp. 171-177, 2017

【原著論文】

- 1) Taichi Ito, Junichiro Tahara, Masakazu Koike, Feifei Zhang, Development of the Visible Light Communication Device for Swarm Using Nonlinear Synchronization, Artificial Life and Robotics (2018) 23:60-66

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの

該当無し

(2)(1) 以外で当事業において作成したもの

国内学会発表論文	4件
国際発表論文	3件
論文	1件
総数	8件（上述6のもの）

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京海洋大学 学術研究院

（トウキョウカイヨウダイガク ガクジュツケンキュイン）

住 所： 〒135-8533

東京都 江東区越中島 2-1-6

申 請 者： 准教授 田原 淳一郎（タハラ ジュンイチロウ）

担 当 部 署： 海洋電子機械工学部門（カイヨウデンシキカイコウガクブモン）

E - m a i l : jtahar0@kaiyodai.ac.jp

U R L : <http://www2.kaiyodai.ac.jp/~jtahar0/>