

Nuibot:ぬいぐるみ機構の駆動制御システムとビジュアルプログラミング環境

Nuibot: Motion Control System and Visual Programming Environment for String Driven Soft Mechanism

郭 子楽 (東工大) Binod DHAKAL(東工大) Haoyan Li (東工大)
西野朋加 (東工大) 三武裕玄 (東工大) ○長谷川晶一 (東工大)

GUO Zile, Tokyo Institute of Technology, zile.guo@haselab.net

Binod DAKAL, Tokyo Institute of Technology, binod.dhakal@haselab.net

LI Haoyan, Tokyo Institute of Technology, lihaoyan@haselab.net

Tomoka NISHINO, Tokyo Institute of Technology, nishino@haselab.net

Hironori MITAKE, Tokyo Institute of Technology, mitake@haselab.net

Shoichi HASEGAWA, Tokyo Institute of Technology, hase@haselab.net

繊維などの柔軟素材による可動部を糸やワイヤで引いて駆動する糸駆動柔軟機構は、柔軟なロボットや生活空間で使用する能動的に動く道具などへの応用が期待され、生活空間での活躍が期待される。しかし、その特性や用途は未知であり、プロトタイプを用いた試行錯誤による検証が必要になることが予想される。そこで、本研究では、ぬいぐるみ機構をはじめとした糸駆動柔軟機構の駆動制御と動作のプログラミングを、機構や制御の研究者・開発者ではなく、エンドユーザかユーザに近い制作者が手軽にできるようにするための、駆動制御システムとプログラミング環境「Nuibot」を提案する。本稿では、「Nuibot」の駆動制御システムとビジュアルプログラミング環境の概要、構成と設計を説明する。

Key Words: Soft Robot, Motion control, Programming environment



Fig.1 Stuffed Toy Robot Soft to Bone

1 はじめに

1.1 背景

綿と布からなるぬいぐるみ構造やテキスタイル、繊維素材、復元力を持つ柔軟素材を用いて柔軟な可動部を作り糸やワイヤで引いて駆動する糸駆動柔軟機構は、柔らかさや触感、見た目の印象、風合いから、柔軟なロボットや生活空間で使用する能動的に動く道具などへの応用が期待され、研究されている。例えば、我々は綿を包む布を糸で引くことで動く可動部が芯まで柔らかいぬいぐるみロボットを提案と繰り返し精度と柔らかさの印象への効果の評価 [1]、力制御による印象変化の評価 [2]、容量型近接センサによる抱擁の認識 [3] について研究してきた (図 1)。幸野ら [4] はテキスタイルに糸を縫い込んで引くことで駆動することを提案している。Bern ら [5] は、平面内の変形について、変形後のぬいぐるみの姿勢を元に駆動に必要な配糸を求める手法を提案している。Cornelia ら [6] はウレタンフォームを布で包み糸で駆動する柔軟ハンドとその制御法を提案している。これらは張力の伝達は合成繊維糸を用いており、Tanaka ら [7] は合成繊維糸の駆動特性を報告している。

変形する可動部の駆動には、糸を巻取り制御する必要がある

が、柔軟素材を変形させる必要があるため、荷重がない場合でも大きな張力が必要となる。また変形量に応じた巻取り量が必要となる。複数の糸を用いることで多自由度駆動が実現できるため、用途によっては多くのアクチュエータを用いることが望まれる。このため、ロボットや道具にアクチュエータを内蔵するには、アクチュエータの小型化が必要となる。

扱いが容易であり、減速機と組み合わせることで高トルク小型化することができるため、ギヤードモータがよく用いられる。しかし、上市されている RC サーボモータやホビーロボット用サーボモータは、多回転に対応しているものが少なく、また対応しているものも位置制御ができないものがほとんどであり、位置制御できるのは一部の大型で高価なものに限られる。また、多数のモータを使用する場合には、モータ一つに制御回路一つが付いていることも小型化を難しくしている。そのため、従来研究は、エンコーダ付きモータと独自の制御回路を用いたり [1, 5, 6]、速度制御のサーボモータを駆動時間でだまかに制御している [4]。

また、サーボモータを制御するためには、マイコン等が必要になる。これらを用いて所望の動きを作り出すためには、C 言語などによるプログラミングが必要となる。

1.2 目的

ぬいぐるみ機構を含む糸駆動柔軟機構には、様々な組み合わせが考えられ、生活空間での活躍が期待されるが、その特性や用途は未知であり、プロトタイプを用いた試行錯誤による検証が必要になることが予想される。こういった試行錯誤は、ロボットやソフトウェアといった道具の専門家ではなく、ユーザやその近くの人々や事業者などが行う方が、的を得た検証を効率よく行えると考えられる。一方、前述のように糸駆動柔軟機構を実現するためには、機構に加えて、モータ制御システムとソフトウェアが必要であり、RC サーボモータによるロボット制作と比べても難度が高い。

そこで、本研究では、ぬいぐるみ機構をはじめとした糸駆動柔軟機構の駆動制御と動作のプログラミングを、機構や制御の研究者・開発者ではなく、エンドユーザかユーザに近い制作者が手軽にできるようにするための、駆動制御システムとプログラミング環境「Nuibot」を提案する。また、エンドユーザに近い人々が手軽に利用できるようにするため、専門の知識や技能を必要とせず安価で入手しやすいシステムを目指す。また、エンドユーザが新

たなアプリケーションを探索できるようにするために、短期間の実用に耐えるプロトタイプの制作に必要な機能をもたせることを目指す。

2 提案システム

本節では、システムの構成と個別の要素を説明するとともに、その構成を選定した理由を説明する。

2.1 システム概要

エンドユーザに近い制作者が制作を行えるようにするため、子供や初学者向けのプログラミング環境であるタイルを並べるタイプのビジュアルプログラミング環境を用い、机と椅子がない環境でもタブレットやスマートフォンを用いてプログラミングできるようにする。このようなプログラミング環境は Web ブラウザ上で動作するものが多いので、Web ブラウザから制御マイコンボードにアクセスできることが望ましい。そこで、WiFi 機能を持つマイコン (SoC) を用いる。必要なモータの数や種類は用途に依存するためスケラブルな構成が望ましいので、複数の制御マイコン (SoC) をつなぎ拡張性を持ったせる。近は、集積回路の高密度化が進んだため、マイクロコントローラと駆動、計測、インタフェース回路を搭載した SoC が開発、使用されており、SoC を新規開発できない場合には一つのマイクロコントローラと周辺回路を組み合わせて必要な機能を実現するより SoC を組み合わせる方が小型・低コスト化が実現できる。

アクチュエータは変形させるための力が必要となるので、十分な張力と駆動長を持つ必要がある。そこで小型ギヤードモータに回転角センサを取り付けマイコンボードで位置制御を行う。図 2 にシステムの構成例を示す。

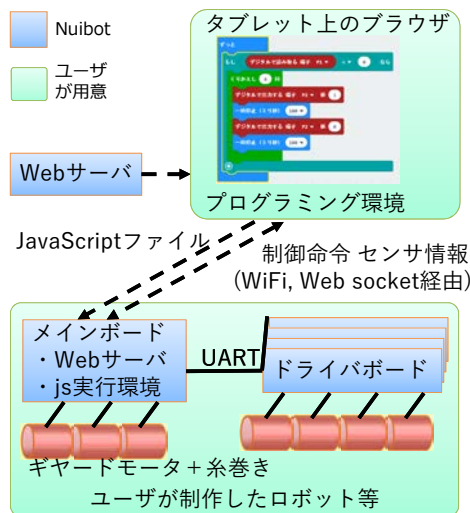


Fig.2 An example of system configuration

2.2 ビジュアルプログラミング環境

ビジュアルプログラミング環境は、子供や初学者がコンピュータとプログラミングの概念を学ぶ教材として注目されている。例えば、アラン・ケイの Squeak を発展させた Etoys の影響を受けたタイル型プログラミング環境 Scratch[8] が、子供向けのプログラミング教室などで広く使われている。これらのタイルの編集を行うためのソフトウェアとして、Web ブラウザ上で動く Blockly [9] が提供されており、最近では Scratch も利用している。また、情報教育用マイコンボード向けの開発環境として Makecode [10] が提供されており、英 BBC を中心創出した教育財団の micro:bit [11] や LEGO MINDSTORMS を含む教育用マイコンボードの開発環境となっている。Makecode もタイル編集部分には Blockly を使用している。

Makecode は、マイコンボード上で動作することを前提としていること、ソフトウェアの完成度が高く、移植しやすいこと、タイルプログラミングと Javascript テキストを切り替えることができ、従来のプログラミング手法で複雑なプログラムを記述できることなどから、本研究では、Makecode を移植・拡張して、提

案システムのビジュアルプログラミング環境とする。Makecode は性能の低いマイコンボード上でも生成したプログラムを動作させるため、ネイティブコードを生成する機能を持つが、移植の手間を減らすため、Javascript のコードをそのままロボット制御用のマイコン上で実行させる。

ところで、エンドユーザに近い制作が作る柔軟機構では、その順逆運動学のモデリングの手間を省略したい場合も多く、エンドエフェクタではなく、マニピュレータの関節角に相当する糸長を制御目標とする場合も多いと考えられる。そのような場合、実物で姿勢を確認しながら糸長を制御できると効率が良い。そこで、プログラミング環境を動作させるブラウザから制御マイコンに直接制御目標を伝えられるようにする。

2.3 制御マイコン

制御マイコンには、拡張性を持たせるため、WiFi 機能を持つメインボードとモータ駆動機能だけを持つドライバボードの 2 種類を用いた。

メインボード WiFi 機能を持ち、ロボット全体を制御するために十分に安価なマイコンモジュールとして、ESP32-WROOM-32 Module (Espressif Systems) を選定した。このボードは、520KB の SRAM と 240M で動作する 2 コア CPU を持つため、簡易 Web サーバ機能と Javascript エンジンを搭載して、タブレットや PC で Makecode を用いて編集したプログラムを受け取り、実行させるために十分だと考えた。メインボードのマイコンもモータ制御に必要な機能を持つので、3 つのモータを駆動できるようにした。また、マイコンモジュールは、容量式近接センサや D/A コンバータなどを持つので、それらを動作制御に利用できるようにする。図 3 にメインボードの写真を示す。

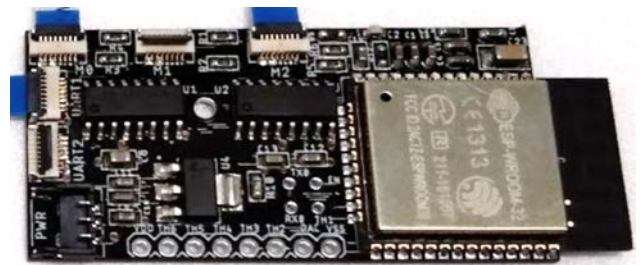


Fig.3 Main board (57mm×25mm×4.5mm)

ドライバボード ドライバボードは、メインボードと調歩同期式シリアル通信 (UART) により通信することで、制御目標を得てセンサ情報を返す。複数のドライバボードを並列に接続するため、UART の送信ピンには切断機能 (トライステート機能) を持つものを用い、メインボードに選択されたボードだけが送信することで送信の衝突を避ける。4 つのモータを駆動するため、モータドライバには電流計測機能を持ち、最大 10.8V、1.5A を 2 回路 PWM 制御可能な DRV8833 (Texas Instruments) を 2 つ用いた。図 4 にドライバボードの写真を示す。

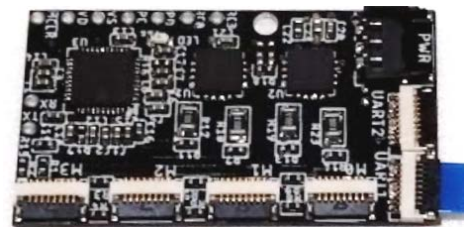


Fig.4 Driver board (35mm×20mm×2.8mm)

2.4 アクチュエータと角度センサ

アクチュエータには安価に必要なトルクが得られるギヤードモータを用いた。出力の調整には PWM 制御を用いた。角度センサには、回転部分に磁石を取り付け、磁気センサを用いて回転軸に直行する 2 軸の磁束密度を計測し、制御マイコンの A/D コンバータにより計数し、角度を求めた。抵抗式のポテンショメータ

では多回転を計測することが難しいこと、ロータリエンコーダではカウント機能が必要となるが安価なマイコンで多数のカウント機能を持つものがないことから、磁気センサ TLE5009 (Infineon Technologies) と A/D コンバータによる計測を選択した。磁石にはシート状のゴム磁石を利用できる。センサと磁石は非接触であるため、摩耗の心配がない。図 5 にギヤードモータとセンサを示す

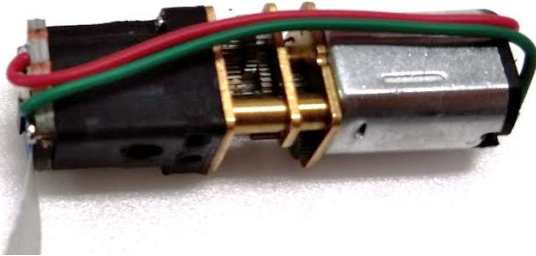


Fig.5 Geared motor with reel and magnetic angle sensor (43mm×12mm×11mm)

2.5 配線

モータとボード、メインボードとドライバボードの配線には、コネクタの小型化のため、0.5mm ピッチ 8 ピンのフレキシブルフラットケーブル (FFC) の B タイプ (導体露出面が逆側のもの) を用いた。電源コネクタには、低背小型で定格電流 4A の DF65-3P (ヒロセ電機) を用いた。

3 開発状況と予定

原稿執筆時点では、マイコンモジュールとそのソフトウェアが単体としては完成し、メインボードと 3 個のモータを用いて既成品のぬいぐるみやぬいぐるみ機構を駆動して、指定の動作を繰り返すことができている。

今後、Makecode を拡張してビジュアルプログラミング環境からプログラムをメインボードに送って動作させたり、ビジュアルプログラミング環境とメインボードを WiFi と Web socket を用いて直接つなぎ、姿勢や動きを試すことができる環境を用意したい。また、完成後はぬいぐるみロボット制作キット「Nuibot」として頒布したい。

4 結論と今後の課題

本稿では、ぬいぐるみ機構をはじめとした糸駆動柔軟機構の駆動制御システムとビジュアルプログラミング環境である「Nuibot」を提案しその概要と構成を説明した。今後、ビジュアルプログラミング環境を完成させ、頒布する予定だが、検証のためのプロトタイプ制作につながるツールキットとしての役割を果たせるかどうかを評価し、改良を続ける必要があると考えられる。そこで、ワークショップを開催するなどして、「Nuibot」を使用した制作を観察し、上でユーザからのフィードバックを集めたい。

参考文献

- [1] 高瀬, 三武, 山下, 石川, 椎名, 長谷川. 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 18(3):327-336, Sept. 2013.
- [2] Y. Li, N. Kleawsirikul, Y. Takase, H. Mitake, and S. Hasegawa. Intention expression of stuffed toy robot based on force control. In *Advances in Computer Entertainment Technology Conference*, Nov 2014.
- [3] N. Kleawsirikul, H. Mitake, and S. Hasegawa. Unsupervised embrace pose recognition method for stuffed-toy robot. *Advanced Robotics*, 32(24):1285-1301, 2018.
- [4] 幸野, 渡邊. Filum: 環境やユーザに即して糸の縫込み可能な布や柔軟物体に新たな動作や変形機能を与える糸と縫い方. 情報処理学会論文誌, 59(11):1995-2003, nov 2018.
- [5] J. M. Bern, K. Chang, and S. Coros. Interactive design of animated plushies. *ACM Trans. Graph.*, 36(4):80:1-80:11, July 2017.

- [6] C. Schlagenhauf, D. Bauer, K. Chang, J. P. King, D. Moro, S. Coros, and N. Pollard. Control of tendon-driven soft foam robot hands. pp. 1-7, 11 2018.
- [7] A. Takata, G. Endo, K. Suzumori, H. Nabae, Y. Mizutani, and Y. Suzuki. Modeling of synthetic fiber ropes and frequency response of long-distance cable-pulley system. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3):1743-1750, July 2018.
- [8] M. Resnick, J. Maloney, A. Monroy-Hernández, N. Rusk, E. Eastmond, K. Brennan, A. Millner, E. Rosenbaum, J. Silver, B. Silverman, and Y. Kafai. Scratch: Programming for all. *Commun. ACM*, 52(11):60-67, Nov. 2009.
- [9] Google blockly. <https://developers.google.com/blockly/> 2019.3.2 アクセス.
- [10] Microsoft makecode. <https://www.microsoft.com/ja-jp/makecode/> 2019.3.2 アクセス.
- [11] micro:bit. <https://microbit.org/> 2019.3.2 アクセス.