

Kinectにより遠隔操作を行う全方位台車の製作

東 正登*

電子情報技術科の総合制作として、Kinectにより遠隔操作を行う全方位台車を製作した。本稿では、テーマ設定の目的と、製作物の概要、およびその成果について報告する。本テーマでは、台車の向きを変えずに全方位（前後左右斜め）への移動を実現するため、台車の車輪に、全方位移動機構を有するメカナムホイールを用いて全方位台車を製作した。また、台車の遠隔操作用コントローラとして、Kinectから得られる深度情報や骨格情報をもとに、タッチパネル感覚のタッチ動作と、ジェスチャーにより操作を行う2種類の操作用インターフェースを開発した。本制作物は、平成27年度総合制作実習成果物表彰において特別賞を受賞した。

Keywords : 全方位移動, Kinect, NUI, メカナムホイール, PWM制御.

1. はじめに

全方位移動機構を有するメカナムホイール[1]を用いた4輪駆動車は、それぞれの車輪を独立に制御することで、車体の向きを変えずに全方位（前後左右斜め）へ移動することが可能となり、限られた狭いスペースの中での搬送作業を効率的に行うことができる。主に工場や倉庫でのフォークリフトや無人搬送車、病院や住居等での車椅子等に利用されている。本テーマでは、メカナムホイールを用いて全方位台車を製作し遠隔操作を行うことと、遠隔操作用のコントローラとして、人間の自然な動きで操作を可能とするNUI（Natural User Interface）を開発することを目標としている。本製作で使用した、Microsoft社のモーションセンサデバイス「Kinect」[2]は、コントローラなどの入力デバイスを使用せずに直感的に操作できるNUIを可能とし、医療や商業、教育などの幅広い産業で活用されている。NUIは、近年、注目されている技術であり、人間の五感の一部を操作に用いるという大きな特徴を有する。本製作では、メカナムホイールを用いた全方位台車と、Kinectを用いたNUIに着目し、電子情報技術科の2年間で習得するハードウェア、ソフトウェア、通信の技術を総合的に活用することを目的とした。

2. 製作物の概要

2.1 システムの構成 図1に本製作のシステム概要図を示す。台車の操作用インターフェースとして、2種類のNUIを開発した。Kinectから得られる深度情報や骨格情報は、C#アプリケーション内で、操作者の動作に対応した移動信号に変換される。そして移動信号は、Bluetooth USBアダプタを介して台車制御基板へ送信される。送信された信号は、台車制御基板に搭載されたBluetooth通信モジュールで受信され、制御用マイコン（PIC16F1829）へシリアル信号として入力される。入力された移動信号を元に、PIC16F1829から各モータドライバ（cytron社製MD10C）へPWM信号を送り、メカナムホイールが接続されたDCモータの回転速度と回転方向を制御する。さらにPIC16F1829は、台車

に配置された距離センサで障害物との距離を検知し、設定した距離区分に応じて警告、緊急停止の処理を行う。また、台車の移動方向と警告、緊急停止の状態を、PIC16F1829からC#アプリケーションへ送信し、遠隔操作される台車の状態を操作者へ通知する。PIC16F88マイコンを用いたバッテリーチェッカ基板は、4つのモータ駆動用バッテリーの電圧をそれぞれA/D変換し、測定値とオリジナルシンボルを、電池残量としてLCDに表示している。

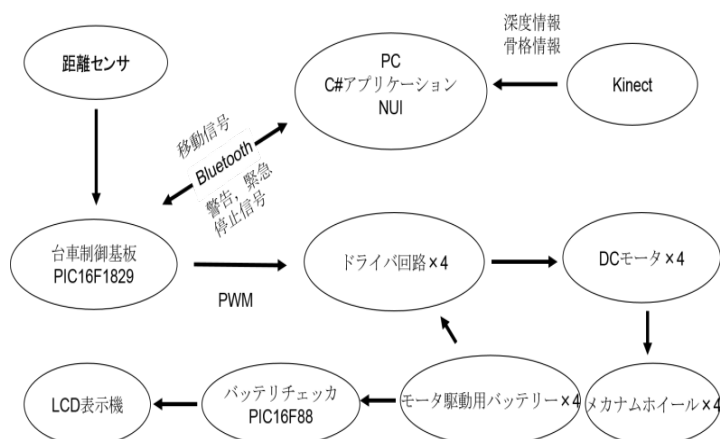


図1 システム概要

2.2 メカナムホイールについて メカナムホイールには、車輪の表面に45度に傾けた樽（バレル）が付いており、従来のタイヤの動きに加えて、表面につけられた樽が回転することにより、車軸に対して45度の方向への移動を可能としている。この特性を利用して、4つのモータの回転方向と回転速度を制御することにより全方位へ移動することが可能となる。図2に、メカナムホイール（Nexusrobot社製）の外観を示す。メカナムホイールには、右ホイールと左ホイールの2種類があり、右用と左用を併用し4輪駆動で利用する。

図3に台車に取り付けたメカナムホイールとDCモータの外観を示す。メカナムホイール用6mmハブでモ

* 電子情報技術科

ータのシャフトとホイールを連結している。モータはタミヤの 540K75 を使用した。連結した DC モータは、タミヤギヤードモータ用マウントを用いて台車のベース板に取り付けられている。

2.3 全方位台車の外観 図 4 に製作した全方位台車の外観を示す。一般的な手押し台車（幅 390 mm, 長さ 600 mm）の車輪を取外し、メカナムホイールと DC モータを取付けたベース板を台車の荷台下方に固定している。台車の荷台とベース板との空間に、台車制御用基板やドライバ回路基板、バッテリーチェッカ基板、モータ駆動用バッテリーを配置している。また、ベース板の側面 4 方向に距離センサを、台車後方にスイッチ操作部と LCD 表示機を取付けている。図 5 にスイッチ操作部と LCD 表示部の外観を示す。アクリル板を加工して製作を行い、スイッチ操作部は、左から緊急停止スイッチ、制御回路基板電源スイッチ、駆動用電源スイッチ、バッテリーチェッカ基板電源スイッチの順に配置している。



図 2 メカナムホイール



図 3 メカナムホイールと DC モータの取付け外観



図 4 製作した全方位台車



図 5 スイッチ操作部と LCD 表示部の外観

2.4 台車制御基板 台車制御基板の回路図を図 6 に、製作した基板を図 7 に示す。PIC16F1829 の電源は 9V の角電池から 3 端子レギュレータ L7805CV を介して 5V を供給している。PIC16F1829 の RA0, RA1, RA4, RA5 は、CN1~CN4 の 1 番ピンを介して、各モータドライバの方向制御ピン (DIR) へ接続される。同様に、CCP1, CCP2, CCP3, CCP4 は、CN1~CN4 の 2 番ピンを介して、PWM 入力ピン (PWM) へ接続される。また、AN4, AN5, AN6, AN9 には、台車の前後左右に取り付けてある 4 つの障害物検知用距離センサからの出力がそれぞれ接続される。TX, RX は、Bluetooth 通信モジュール (RunningElectronics 社製, SBDBT5V) に接続される。本製作で使用した SBDBT5V は、USB コネクタが付いており、市販の Bluetooth USB アダプタを接続することで、Bluetooth 通信モジュールとして使用することができる。基板は、Zuken CR-8000 により配線設計を行い、基板加工機 (MITS AutoLab) で製作した。

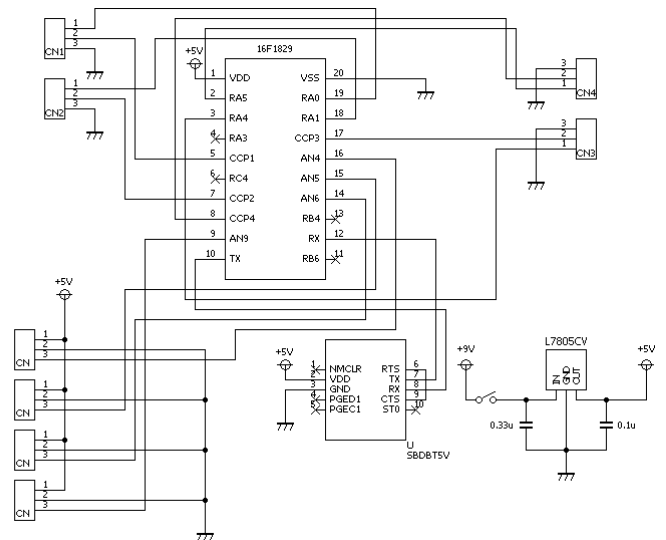


図 6 制御回路図

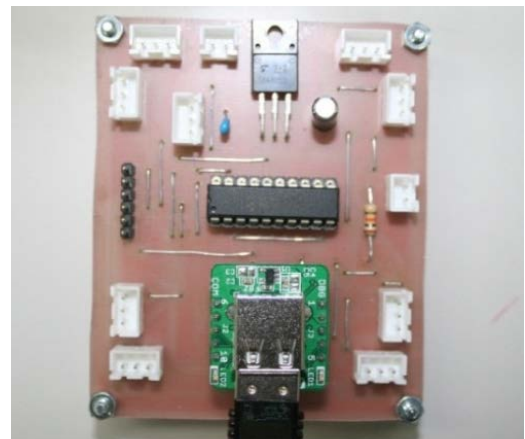


図 7 制御回路基板

2.5 バッテリチェッカ基板 製作したバッテリーチェッカは、台車の駆動用電池電圧を測定し、電圧値を LCD に表示する。測定には、PIC16F88 の A/D 変換ポートを使用した。バッテリーチェッカ基板の回路図を図 8 に、製作した基板を図 9 に示す。台車の各車輪の駆動用電

池の電圧はCN1~CN4を介してPIC16F88のAD変換ポートAN0~AN3へ入力される。LCDの制御端子はRA6, RA7へ、データ端子はRB4~RB7へ接続されている。PIC16F88の電源は角電池からの9Vを3端子レギュレータL7805CVで5Vとして供給している。

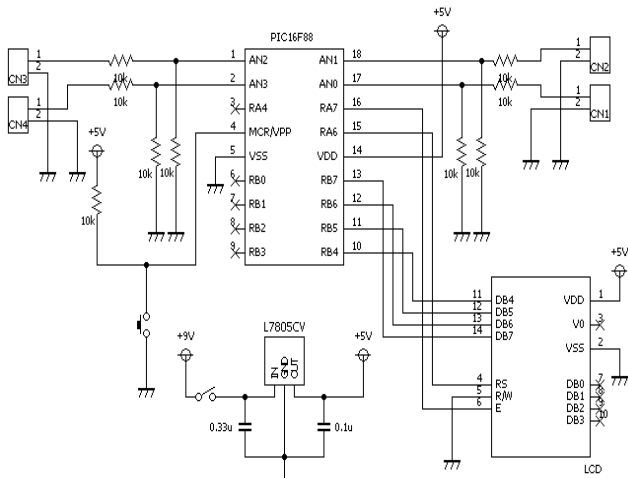


図8 バッテリチェッカ回路図



図9 バッテリチェッカ基板

2.6 NUIの構成 Kinectには、RGBカメラ、深度センサ、マイクアレイが搭載されており、操作者の骨格の動き、音声、位置を認識することができる。Kinectを用いて開発したソフトウェアの構成を図10に示す。Kinectのセンサによって音や物体等を検知した情報は、RGB画像情報、深度情報、音声情報として、NUIライブラリを経由してC#によるアプリケーションから利用できる。本開発では、タッチ動作またはジェスチャーに伴うRGB画像情報と深度情報を利用して、手の位置、または腕の姿勢を検出し、検出データに対応した移動方向と速さの情報を割り出している。そして、割り出した移動方向と速さの情報をBluetoothモジュールを介して台車へ送信する。また、台車から、距離センサ情報、移動方向情報、速さ情報を受信し、操作者に台車の状態を文字やイラストで通知する。タッチ動作によるNUIのハードウェアは、Kinect、PC、プロジェクタ、アルミフレーム、鏡から構成されている。図11にタッチ動作によるインターフェースの外観を示す。組み立てたアルミフレーム上面に、プロジェクタと、床面に向けたKinectを配置し、プロジェクタ映像を鏡で反射させてアルミフレームの床面に投影する。そして、その投影面上の手の位置をKinectで検知する。ま

た、ジェスチャーによるNUIは、KinectとPC、モニターで構成されている。操作者のジェスチャーを操作者正面に設置したKinectにより検出する。図12にNUIの操作イメージを示す。

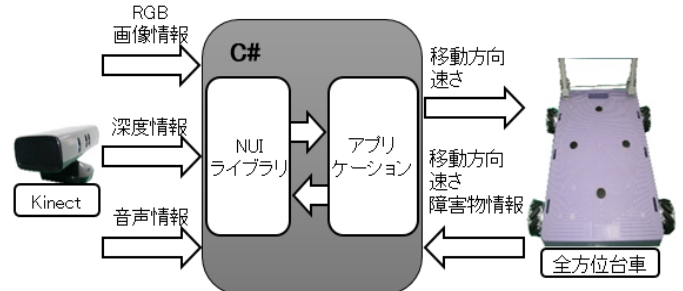


図10 ソフトウェアの構成



図11 インターフェースの外観



左:ジェスチャーによるNUI 右:タッチ動作によるNUI

図12 NUIの操作イメージ

3. 制御方法

3.1 全方向移動の実現 図13に、ホイールが回転した際の進行方向を示す。ホイールが回転したとき、ホイールには、ローラの回転軸に対して垂直方向への推進力は生じない。したがってホイールはローラの回転軸に対して水平方向に推進力を受けて進む。4輪のホイールそれぞれの回転方向と回転速度を制御することで、車体の向きを変えることなく全方位の移動が可能となる。図14にホイールの回転方向と台車の移動方向を示す。

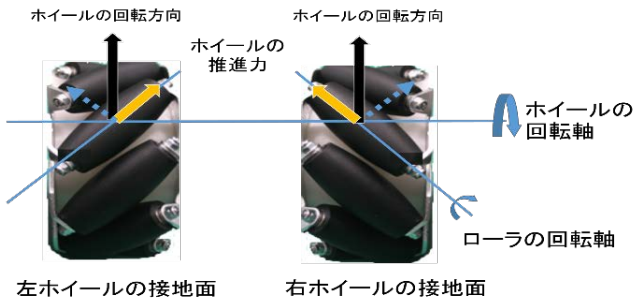


図 13 ホイールの進行方向

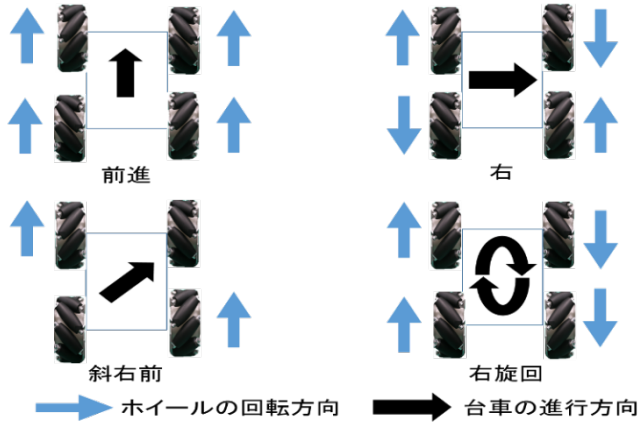


図 14 ホイールの回転方向と台車の進行方向

3.2 PWM による移動制御 台車は、図 15 に示す 8 方向とそれぞれ 3 段階の速度、これに右旋回、左旋回、停止を加えた計 27 種の移動信号を受信して各モータを PWM で制御する。停止信号を受信した場合は前の移動状態からデューティ比を徐々に落として停止させることで積載物の落下を防止する。

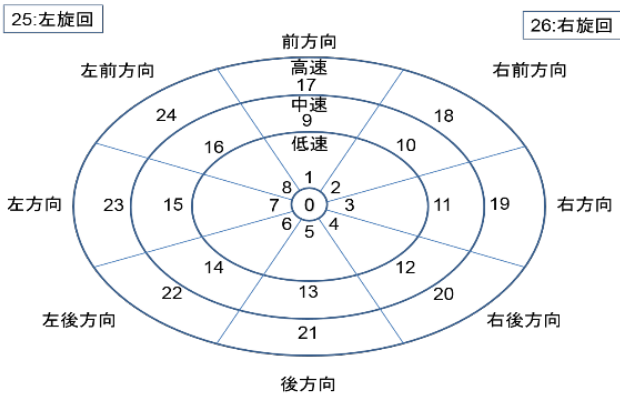


図 15 方向と速度の信号

3.3 障害物検知の制御 障害物の検知にはシャープ社製の測距モジュール GP2Y0A21YK を 4 つ使用し、前後左右 4 方向の障害物を検知する。4ch の A/D 変換を行い、その電圧値による警告、緊急停止の信号を操作インターフェース画面へ送信し、操作者へ通知する。設定した警告、緊急停止の反応区分を図 16 に示す。緊急停止状態で新たに移動信号を受信した場合は、反応したセンサの方向以外の移動と旋回のみを許可し、障害物のある方向への操作を無効とする。

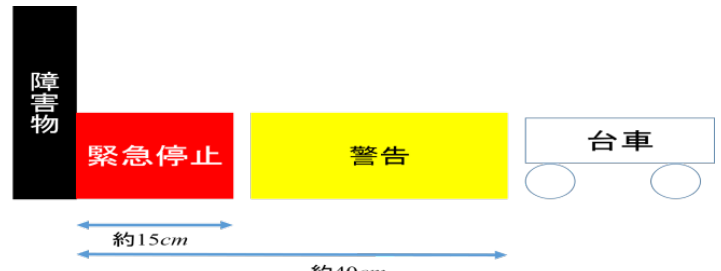


図 16 センサの反応区分

3.4 バッテリチェッカ用 LCD 制御 PIC16F88 と LCD を用いて、DC モータ駆動用バッテリーの残量を計測する。PIC16F88 に 4 つのモータ駆動用バッテリーを接続し、A/D 変換することでバッテリー残量を計測する。使用したバッテリーの公称電圧は 7.2V であるため、抵抗により分圧して PIC に入力している。測定値は、数値を LCD に表示するだけでなく、バッテリー残量を示すシンボルを、数値と同時に表示することでバッテリーの減り具合を 6 段階で確認できるようにした。図 17 にバッテリーチェッカ用の LCD 表示画面を示す。



図 17 LCD 表示例

4. NUI の仕様

4.1 開発環境 プログラムの作成は、Kinect のアプリ開発をサポートする Kinect for Windows SDKv1.8 と visual C# 2010 Express を利用し、WPF (Windows Presentation Foundation) によって開発した。

4.2 タッチ動作による NUI の仕様 タッチ動作による NUI は、プロジェクタ映像が投影される床面の座標に対応させたタッチスクリーン画面として構成している。プロジェクタから映し出されたタッチスクリーン画面を操作者がタッチすることで、操作者の手の位置の座標を Kinect により取得し、台車の移動方向と速度を操作する。タッチの認識範囲は、投影面からの最長距離と最短距離を設定し、その範囲内とする。図 18 に認識範囲の概要図を示す。タッチ判定は認識範囲内のみを処理対象とし、Kinect から投影面までの深度データと、タッチした手によって変化するリアルタイムの深度データの差を比較して距離変化を検出する。認識範囲内で生じた深度データの変化を利用してタッチ判定や手の位置判定を行う。

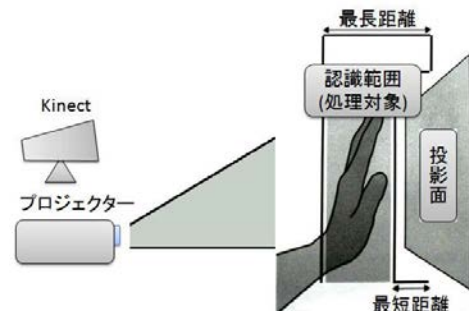


図 18 タッチ認識範囲

移動方向と速度は、投影面を区別して、分けられた領域に移動方向と速度の状態をそれぞれ割り振り、各領域とタッチした位置の座標を比較し操作される。図 15 に従って、移動方向は、前、右前、右、右後、後、左後、左、左前の 8 方向とし、速度は、低速、中速、高速の 3 段階とする。

図 19 にタッチスクリーン画面を示す。タッチスクリーン画面が表示された床面を、タッチパネル操作感覚でタッチすることで Kinect が検出する深度情報に変化が生じ、その深度情報の変化を、タッチ動作として認識する。タッチスクリーン画面の各領域には、イベントが設定されており、タッチ操作により、各領域に設定されたイベントが発生する。図 19 の①~⑥が、設定したイベント領域を示している。各イベントの概要を以下に示す。

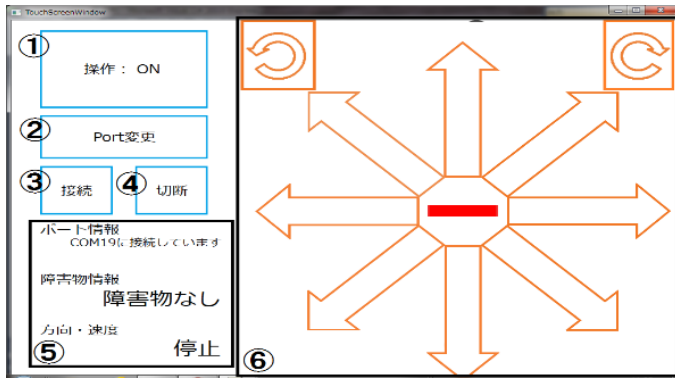


図 19 タッチスクリーン画面

- ① タッチスクリーン画面の操作を ON/OFF する。
- ② ポートを変更することができる。ポート変更時は、⑤の画面が切り替わり、接続可能なポート一覧を表示する。⑥にポート No.1~24 を表示し、その番号をタッチすることでポートが変更され、接続可能状態となる。
- ③ ポートを接続し、台車との通信を開始する。
- ④ ポートを切断し、台車との通信を終了する。
- ⑤ ポート変更時は接続可能なポート一覧を表示し、ポート接続時はポートの状態(変更, 接続, 切断)、台車の移動方向、速さ、障害物情報を表示する。
- ⑥ ポート変更時の接続ポート変更や、台車の移動方向、速さを操作できる。移動方向は、前、右前、右、右後、後、左後、左、左前の 8 方向に加えて左旋回、右旋回とする。速さは、高速、中速、低速の 3 段階とする。タッチしない場合は停止する。また、台車から受信した動作情報や警告・緊急停止信号がイラストで表示される。

4.3 ジェスチャーによる NUI の仕様 ジェスチャーの認識には、Kinect の骨格追跡機能を用いる。Kinect の骨格追跡機能は、深度情報をもとに人体の各関節の位置を特定し、骨格情報として骨格の位置を X, Y, Z の座標値で表すことができる機能である。図 20 に Kinect 本体に対する X, Y, Z 軸方向、また、図 21 に取得可能な 20 箇所の関節等の位置[3]を示す。Kinect の骨格追跡機能を用いて、関節ごとに 3 次元の座標を取得することができるため、各関節の座標の差を見る

ことで、関節同士の 3 次元の位置関係を認識することができる。本開発では、右手と右肩、左手と左肘の座標の差から姿勢を特定し、台車の速度と移動方向を操作する。

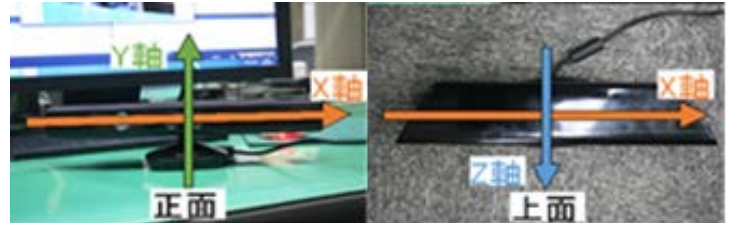


図 20 Kinect 本体に対する XYZ 軸

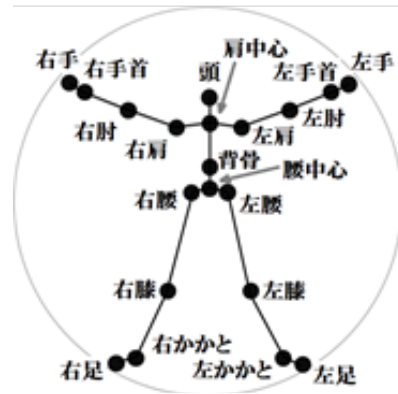


図 21 取得可能な 20 箇所の関節等の位置

姿勢の認識は、図 21 に示す右手と右肩、左手と左肘の関節の位置座標を用いて行う。ここでは、右手と右肩から特定した姿勢を「右腕」の姿勢、左手と左肘から特定した姿勢を「左前腕」の姿勢とする。例えば、図 22 に示すように、右手の位置座標と右肩の位置座標を (x_1, y_1) , (x_2, y_2) とすると、右腕の姿勢は、 x_1 , x_2 , y_1 , y_2 を用いて、右腕の XY 平面上での角度として得ることができる。右肩と右手の X 座標の差を $x_{12} = x_1 - x_2$ とし、Y 座標の差を $y_{12} = y_1 - y_2$ とすると、三平方の定理より右腕の骨格の長さ L は、 $L = \sqrt{x_{12}^2 + y_{12}^2}$ で表される。よって、右腕の XY 平面上での角度は、

$$\theta = \sin^{-1} \frac{y_{12}}{L} \quad (1)$$

で求められる。同様に、XZ 平面上や YZ 平面上での角度についても求めることができる。

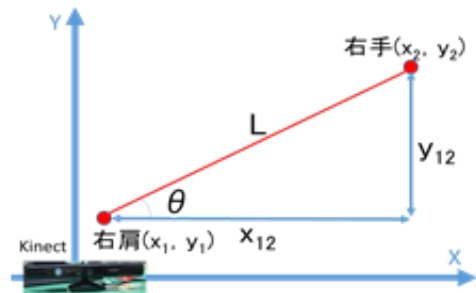


図 22 右腕の XY 平面上での角度

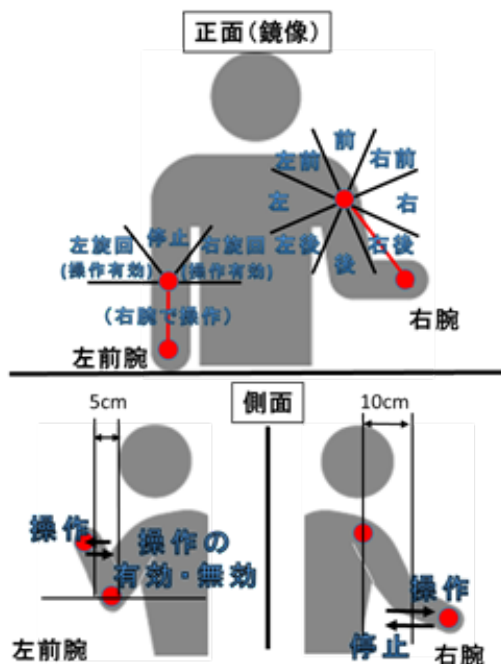


図 23 ジェスチャーの概要図 (鏡像)

図 23 にジェスチャーの概要図を示す。右腕と左前腕の姿勢により、速さ、移動方向、旋回に対応する信号を台車に送信する。速さは、右手と右肩の XY 平面上での距離を利用し、座標差が大きい程、速度が速く、停止を含めた 4 段階とする。移動方向は、右手と右肩の XY 平面上での角度を利用する。XY 平面を、肩を中心に 8 方向に分割し、Y 軸方向を台車の前後方向に、X 軸方向を台車の左右方向に対応させた。また、左手の Y 座標が左肘の Y 座標より高いとき、例えば、左手を上げたときに、右腕での操作が無効となり、台車へ旋回に対応する信号を送信する。左旋回は、左前腕を左に傾け、右旋回は左前腕を右に傾ける。さらに、右手と右肩の Z 軸方向の距離が 10cm 以内のとき、例えば、右手を真下に下ろしたときや、右手を手前に引いたときに台車へ停止信号を送信している。同様に左手と左肘の Z 軸方向の距離が 5cm のときも停止信号を送信する。自然な動作によるジェスチャーでの操作をめざして 31 種類の姿勢を設定した。図 24 に実行画面を示す。図中①～⑥の表示項目の概要を以下に示す。

- ① 通信ポートの選択と、接続または切断を行う。
- ② 台車から受信した動作情報の速さと移動方向を表示する。
- ③ ②で表示している動作情報や警告・緊急停止信号を、イラストを使って表示する。
- ④ Kinect により取得した、RGB 画像と骨格情報を表示する。
- ⑤ 台車から受信した警告・緊急停止信号を表示する。

5. 動作検証

タッチ動作による操作とジェスチャーによる操作の 2 種類の NUI により、動作確認を行った。デューティ比 40%、30%、20% の PWM 制御による 3 段階の速さの高低、前後左右斜めの全方位への移動を確認した。また緊急停止機能や、障害物検知機能、バッテリーチェック機能が正常に動作していることを確認した。タッ

チ動作により、台車にデータを送信してから、台車からの動作情報信号を受信するまでの時間を応答時間として測定した結果、応答時間は平均 0.1s であった。また、遠隔操作が可能な通信距離は、見通しの良い場所で約 35m であった。

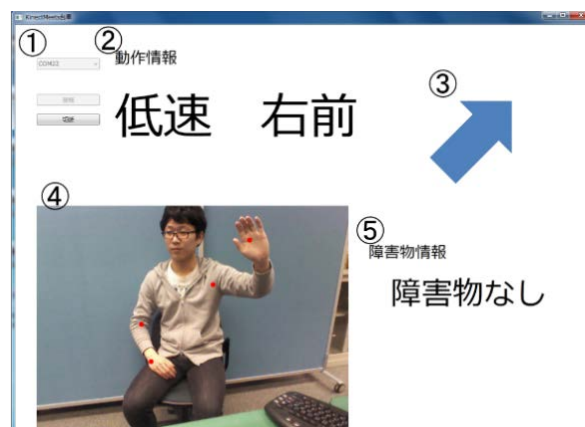


図 24 実行画面

6. まとめ

全方位移動機構を有するメカナムホイールを用いて、全方位移動台車を製作し、Kinect を用いた遠隔操作作用 NUI により遠隔操作を行うことができた。遠隔操作作用コントローラとして、タッチ動作による操作とジェスチャーによる操作の 2 種類の NUI を開発した。また、全方位へ移動する台車と障害物の距離を検知し、警告表示機能や緊急停止処理を実装することで、走行中の安全性に配慮した。また、駆動用電池の電池残量を表示するバッテリーチェック機能を実装した。総合制作実習として製作した本製作物は、1 つのテーマのもとに、全方位移動台車の製作と遠隔操作作用 NUI の開発という 2 つの大きな課題を設定したことで、学生の取り組むべき内容の幅を広げることができた。また、手押しの台車を全方位移動車とし、近年注目されている NUI を題材としたことで、学生全員が興味を持って取り組むことができ、円滑なコミュニケーションのもと、完成のイメージを共有しながら全員が積極的に取り組むことができた。電子情報技術科の授業の集大成として、カリキュラムの 3 つの柱であるハードウェア (台車の制御基板製作)、ソフトウェア (遠隔操作作用 NUI のプログラミング、台車制御プログラミング)、通信技術 (Bluetooth 無線通信による台車と NUI の双方向通信) を実践的に活用し、学生の理解を深めることができた。本製作物は、平成 27 年度総合制作実習成果物表彰において特別賞を受賞した。本テーマを熱心に取り組んでくれた学生に感謝します。

文献

- [1] http://www.vstone.co.jp/products/nexusrobot/download/nexus_14094.pdf
- [2] <https://developer.microsoft.com/ja-jp/windows/kinect>
- [3] Kinect ソフトウェア開発講座 p.110

(2016 年 06 月 09 日提出)