自動荷物搬送システムにおける荷物受け渡しシステムの開発

室巻孝郎[1]・小畑智輝[2]・鈴中結子[3]・森田暁人[2]・多田幸生[4]

要旨：本稿では，倉庫内作業において荷物搬送を自動化するシステムの構成要素である荷物受け渡しシステムについて述べる．開発する荷物受け渡しシステムは，集積ボックスから取り出された荷物の位置と大きさを取得したのち搬送ロボットに荷物を送り出す役割を担う．荷物受け渡しシステムで使用する情報取得デバイスはRGBカメラと距離画像センサである．画像処理技術を利用して，荷物の位置や大きさの把握および搬送ロボットへ荷物を送り出すために用いるバー機構の制御を行う．荷物の一例として段ボール箱を使用した実験を行い，段ボールを認識すると自動でバー機構が移動して押し出すことができた．

キーワード：荷物搬送，画像処理，モーションキャプチャデバイス，Cannyエッジ検出器

１．はじめに

現在の日本産業において，さまざまな場面で産業用ロボットの導入による作業の自動化が進められている．たとえば，工場内の生産システムの自動化，建設工事における資材の搬送[1)]，農業の収穫作業[2)]などが挙げられる．一方で，ロボットによる自動化が進んでいない作業も有り，その一つが宅配業における荷物の仕分け・運搬作業である．荷物の大きさや形状がばらばらであること，荷物に記載された宛先情報を探し出して読みとる必要があるなど，自動化のために解決すべき技術的な課題は多い．このため，ほぼすべての仕分け作業が人の手により行われている．しかしながら，重量物の運搬を伴う作業であること，繰り返しの多い作業であることを考えると，自動化の実現による人間の負担軽減効果は大きいといえる．そこで本研究では運搬作業に限定して自動化するシステムを提案する．荷物を取り出して宛先を確認する作業は人の手で行うことになるが，その後の運搬作業が自動化されるので，身体への負担を大きく減らすことができる．

提案する自動荷物搬送システムは2つのシステムで構成される．1つは，所定の位置へ荷物の搬送を行う搬送ロボットであり，もう1つは荷物の大きさを測定したのち，搬送ロボットへ荷物の受け渡しを行うテーブル部である．テーブル部には，外部情報を取得するセンサデバイスとして，RGBカメラと距離画像センサを搭載した「Xtion PRO LIVE」を設置，利用することにする．カメラが固定された状態での撮影を行うことで多くの処理を容易に行うことが可能である．また，搬送ロボットが，自ら荷物を探索し把持を行う必要が無くなるので，搬送ロボットのシステム構成を簡素化することができる．

本稿では，荷物の受け渡しを行うテーブル部の開発を行い，段ボール箱を用いて大きさの計測および押し出しの実験を行ったので報告する．なお，本稿の内容については，第59回システム制御情報学会研究発表講演会で行った発表[3)]に加筆・修正を加えたものとなっている．

２．荷物搬送システム

２．１　仕分け・運搬作業の概要

自動化の対象とするのは，宅配業における営業所レベルでの仕分け・運搬作業である．この段階における作業の流れを以下に示す．

① 大きさや形の異なる多数の荷物が混在した集積BOXから荷物を取り出す．
② 荷物に貼り付けられた伝票から配送先を読みとる．
③ 荷物が配送される地域を担当する配送車へ荷物を運び，積み込む．

作業の様子をFig. 1に示す．1つの集積BOXから2～3台の配送車に荷物の運び込みを行う．この一連の作業は，現在人の手により行われている．なお，集積BOXと配送車の距離は2～10mであり，同時に複数の作業従事者が集積BOXと配送車の間を往復することが多い．

1 舞鶴工業高等専門学校 機械工学科 助教
2 神戸大学大学院 システム情報学研究科 博士課程前期課程 学生
3 神戸大学工学部 情報知能工学科 学生
4 神戸大学大学院 システム情報学研究科 教授

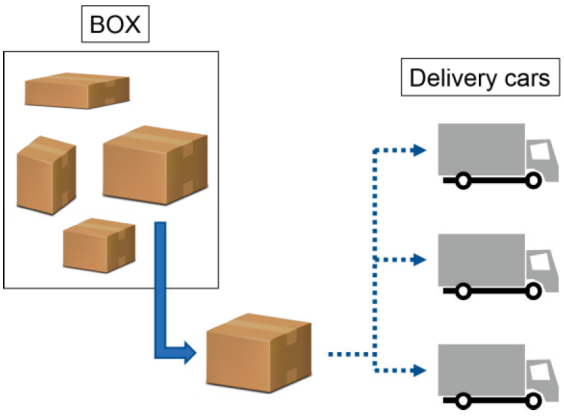


Fig. 1 Sorting and carrying work

２．２　荷物搬送システムの構成

前節で述べた仕分け・運搬作業の内，③の作業について自動化する荷物搬送システムをFig. 2に示す．このシステムは，荷物の位置や大きさを把握するテーブル部と荷物の運搬を行う搬送ロボットから構成されている．なお，図中の A，B，C は荷物の積み下ろしを行う場所を表わしている．このシステムにおける作業の流れは以下の通りである．

① 人の手で集積 BOX より荷物を取り出し，テーブル部のテーブルの上に置く．

② テーブル部で荷物を認識し，搬送ロボットへと受け渡す．

③ 所定の配送車の位置まで搬送ロボットが移動し，荷物の積み下ろしを行う．

テーブル部および搬送ロボットの役割と構成は以下の通りである．

(1) テーブル部：荷物の認識と受け渡しを行う
設置したカメラによりテーブル上の物体を認識し，位置と大きさを取得したのち押し出しバーにより荷物を押し出す．押し出しバーの駆動制御はマイコンを用いて行う．

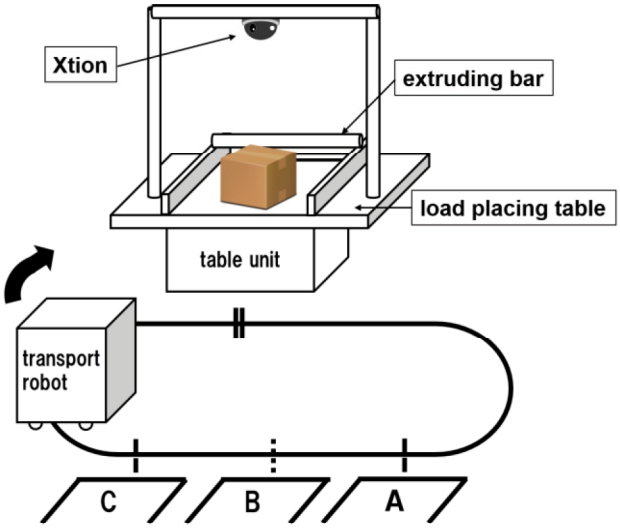


Fig. 2 Automatic carriage system

(2) 搬送ロボット：荷物の搬送を行う
地面に引かれたライン上を周回し，テーブル部から荷物を受け取ったのち所定の場所まで移動，荷物の積み下ろしを行う．荷物を積み下ろすと，再びテーブル部前へと移動する．

２．３　テーブル部の構成

テーブル部で荷物に関する情報を取得するデバイスとして，ASUS 社のモーションキャプチャデバイス「Xtion PRO LIVE」を用いる．「Xtion PRO LIVE」は RGB カメラと距離画像センサを搭載している．距離画像センサの距離測定方法は，近赤外線のパターンを照射し，模様の変化を CMOS カメラで読み取って距離を測定するものである．この距離画像センサを用いることで，ステレオによる距離画像作成の手間が省け，処理速度の向上に役立つ．「Xtion PRO LIVE」を Fig. 3 に示す．「Xtion PRO LIVE」はテーブルから 1.6m 上方に設置されており，真上から荷物の認識を行うようにしている．

押し出しバーの駆動制御には「Arduino UNO」を使用した．この「Arduino UNO」を Fig. 4 に示す．「Arduino UNO」により，モータの回転方向および回転速度の調整を行う．また，押し出しバーの外観を Fig. 5 に示す．塩ビパイプの両端にツカサ電工製 TG-30S ギヤドモータが取り付けられており，アルミフレームに接着されたフレキラックに沿ってパイプが前後する構造になっている．

なお，実際に荷物搬送システムで取り扱う物体として，荷物の中で特に数の多い段ボール箱に着目する．

Fig. 3 Xtion PRO LIVE

Fig. 4 Arduino UNO

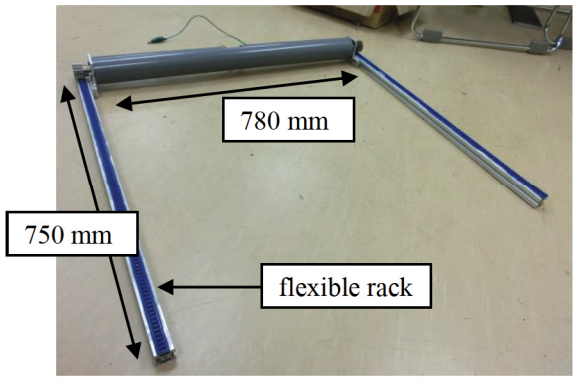


Fig. 5 Extruding bar

３．荷物の認識と押し出しに関するアルゴリズム

３．１　荷物と押し出しバーの認識

テーブル部に設置した「Xtion PRO LIVE」により荷物と押し出しバーの認識を行う．「Xtion PRO LIVE」の距離画像センサを用いることで，RGB 画像に加え，それに同期された距離画像を得ることができる．これらを利用することで単一のカメラから荷物の位置だけでなく，大きさを取得することが可能である．また，押し出しバーの認識には円形のマーカーを利用することにした．

３．２　荷物（段ボール箱）の認識

３．２．１　Canny エッジ検出器

Canny エッジ検出器（Canny Edge Detector）は 1986 年に J. Canny によって提案された手法で，グレースケール化された画像からエッジの抽出を行うものである [4]．Canny エッジ検出器は現在においても良いエッジ検出器として知られており，

- ノイズに強い
- 真のエッジ箇所を検出する
- 同一箇所から複数のエッジを検出しない

といった特徴を有している．

RGB 画像をグレースケール画像に変換した後，Canny エッジ検出器により，物体の輪郭線を抽出する．画面内に荷物が映っている場合は，荷物の輪郭線が含まれることになる．

３．２．２　Douglas-Peucker アルゴリズムを用いた輪郭線の直線近似

3.2.1 項で取得した各輪郭線に対して，Douglas-Peuker アルゴリズム [5]により直線近似を行う．この処理から得られる直線近似された輪郭線のうち，以下の条件を全て満たすものを長方形として認識し，本研究における荷物（段ボール箱）であると認識する．

- 輪郭点が 4 つで構成される
- 一定以上の面積を持つ（誤検出の防止）
- 辺同士が交差しない
- 各頂点の角度が 90 度±10 度以内である（台形や平行四辺形の除外）

３．３　荷物の大きさの取得

距離画像センサより取得した距離情報を利用し，画像上の二点間の距離を求める．Fig. 6 に示すように，画像上の一点に対してカメラからの距離を L，カメラの画角の半分を θ とすると，H はカメラから距離 L の位置にある平面の画像中心から端までの長さととらえられ，次の式で与えられる．

$$H = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \cdot L \tag{1}$$

「Xtion PRO LIVE」の仕様として距離情報(L)は mm 単位で取得するため，画像中心から端までの長さ(H)の単位も mm になる．

続いて Fig. 7 に示すように，カメラからの距離が L である一点を含む画像データを考える．仮に画像データの解像度を 320×240 ピクセルで撮影したとすると，H は 160 ピクセルであり，この点と画像中心の x 座標の差を w pixel，実世界での寸法を h mm とすると，式(2)が成り立つ．

$$160 : w = H : h \tag{2}$$

これを h について解くと，

$$h = \frac{w \cdot H}{160} \tag{3}$$

となり，式(3)より得られる h が画像の座標（ピクセル単位）を実世界の寸法（mm 単位）に変換した結果となる．同様の処理を同じ点の y 座標に対しても行い，二点の距離を求める場合は，三平方の定理を使用する．

以上の処理を 3.2 節で得られた長方形の隣り合う各頂点に対して行い，荷物（段ボール箱）の実寸値を計測した．

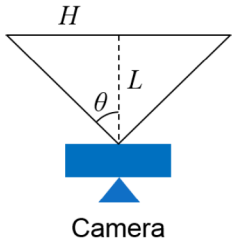


Fig. 6 Angle of view and distance

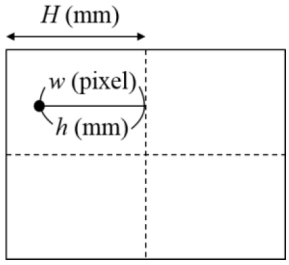


Fig. 7 Correspondence of pixels and length

３．４　マーカーの認識

荷物を押し出すためのバーが直線であることを利用し，RGB 画像から押し出しバーの両端に設置したマーカーの認識を行うことでバーの位置を取得する．今回マーカーには Fig. 8 に示す直径 20cm の円を使用し，Hough 変換 [6]により円の検出を行った．Hough 変換は 1962 年に P. V. C. Hough によって提案された手法であり，アルゴリズムがシンプルでかつノイズに強いことから円や直線の検出においてよく用いられている．

Fig. 8 Circle marker

３．５　搬送ロボットへの荷物受け渡し

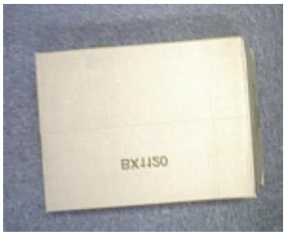
3.2 節，3.3 節および 3.4 節で述べた画像処理技術を使用し，テーブルの上に置かれた荷物（段ボール箱）を搬送ロボットへと自動的に受け渡す．以下に処理の流れを示す．

STEP1：撮影した画像中から荷物を認識する
テーブル部に設置したカメラから撮影を行う．Canny エッジ検出器，および Douglas-Peucker アルゴリズムによって荷物の有無を判断する．一連の画像処理の例を Fig. 9 に示す．荷物が見つからない場合には撮影をそのまま続行し，荷物を認識した場合 STEP2 へと移行する．

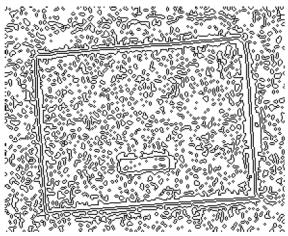
STEP2：荷物の大きさを取得する
カメラの画角，距離情報を利用して荷物の大きさを取得する（3.3 節）．

STEP3：バーにより荷物の押し出しを行う
モータを回転させる命令を Arduino へ送信し，押し出しバーを搬送ロボット方向へと移動させる．押し出しバーが荷物をテーブルから押し出すのに十分な位置まで移動したのち，STEP4 へと移行する．

STEP4：押し出しバーを初期位置にもどす
モータを逆方向に回転させ，押し出しバーを初期位置に移動させる．続けて荷物の受け渡しを行う場合，再び STEP1 へと移行する．



(a) Color image


(b) Edge image

(c) Result of recognition

Fig. 9 Recognition of a cardboard box

４．荷物押し出し実験

４．１　実験内容

3 章で述べた画像処理技術を使用し，テーブル上に置かれた段ボール箱を押し出す実験を行う．段ボール箱の認識と押し出しバーの認識について実験を行い，本研究で作成したシステムの性能を評価した．

(1)　段ボール箱認識実験
段ボール箱の認識を正確に行えるか，及び大きさの計測精度がどの程度であるか確認する．以下に示す(a)，(b)，(c)の 3 種類の段ボール箱を用いて評価を行う．カメラより動画の撮影を行い，荷物を発見した時点で撮影を停止，大きさの計測を行う．動画撮影開始後すぐに認識が行われない場合は，荷物の設置場所を変更し，10 秒以内に荷物を認識しない場合，もしくは誤検出を行った場合は認識失敗とした．

- (a)：縦 250mm，横 330mm，高さ 115mm
- (b)：縦 115mm，横 165mm，高さ 115mm
- (c)：縦 217mm，横 310mm，高さ 235mm

(2)　押し出しバー認識実験
荷物受け渡しのため，押し出しバーに関する一連の処理が問題なく行われるか検証する．確認する作業内容は以下の通りである．

1. 段ボール箱の有無を判定する．
2. 段ボール箱を認識すると押し出しバーが移動し，テーブルの外へと荷物を押し出す．
3. 荷物を押し出したのち，押し出しバーが初期位置へと移動する．

両実験共に以下の条件のもとで行った．

- 物体の位置・姿勢：任意とする．ただし，設置したカメラに段ボール箱の全体が映る範囲に限る．
- カメラの設置条件：テーブル中央の高さ 1.6m の位置に固定し，鉛直下向きに撮影を行う．
- 押し出しバーの設置条件：カメラの真下，両端のマーカーが常にカメラに映る位置とする．

実験で使用したカメラの解像度は，RGB 画像，距離画像ともに 640×480 ピクセルである．またプログラムの作成については画像処理のライブラリ集である OpenCV を使用し，距離画像センサを使用する際には OpenNI を用いた．

４．２　実験結果

(1)　段ボール箱認識実験
(a)～(c)の各段ボール箱に対して 5 回ずつ撮影を行い，プログラムから取得した物体の大きさ及び誤差を Table 1～3 に示す．段ボール箱(a)と(b)については，5 回中 5 回とも認識に成功したが，段ボール箱(c)については 5 回中 4 回認識に成功し，1 回認識失敗となった．計測誤差は 10%程度であり，横よりも縦の長さについて誤差が大きくなる傾向が見られた．

(2)　押し出しバー認識実験
段ボール箱(a)を設置した状態で押し出しバーの認識実験を 5 回行い，5 回とも段ボール箱の押し出しに成功した．押し出し実験の装置を Fig. 10 に示す．また，押し出し実験中の様子を Fig. 11～Fig. 13 に示す．各図の左側(a)はカメラから得られる画像，右側は認識された押し出しバーの位置を示した画像

を表わしている．押し出しバーの移動を正しく追跡していることがわかる．

Table 1 Measurement result (cardboard box(a))

	vertical		horizontal	
	size (mm)	error (%)	size (mm)	error (%)
1	227.1	-9.1	315.2	-4.5
2	233.5	-6.6	318.7	-3.4
3	233.6	-6.6	318.7	-3.4
4	231.9	-7.2	318.0	-3.6
5	230.1	-7.9	317.1	-3.9
Average	231.2	-7.5	317.5	-3.8
Actual size	250		330	

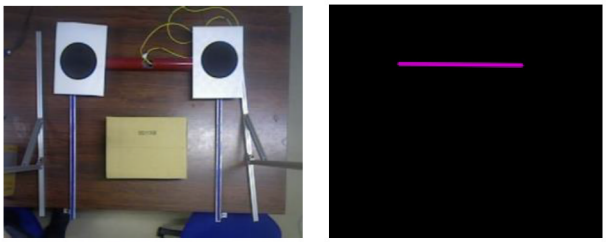
Table 2 Measurement result (cardboard box(b))

	vertical		horizontal	
	size (mm)	error (%)	size (mm)	error (%)
1	128.1	11.5	160.2	-3.0
2	130.2	13.7	145.7	-11.7
3	130.9	13.8	155.0	-6.0
4	120.1	4.4	151.7	-8.1
5	125.7	9.3	165.2	0.0
Average	126.8	10.2	155.6	-6.0
Actual size	115		165	

Table 3 Measurement result (cardboard box(c))

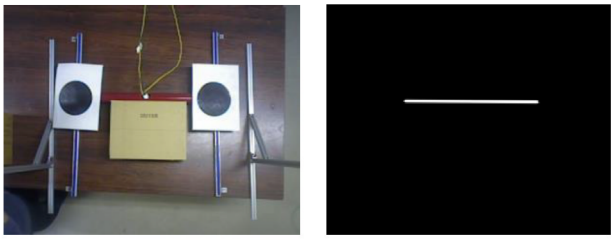
	vertical		horizontal	
	size (mm)	error (%)	size (mm)	error (%)
1	198.3	-8.6	292.3	-5.7
2	200.6	-7.5	292.3	-5.7
3	200.6	-7.5	292.4	-5.7
4	198.4	-8.5	279.5	-9.8
Average	199.5	-8.0	289.1	-6.7
Actual size	217		310	

Fig. 10 Developed table unit



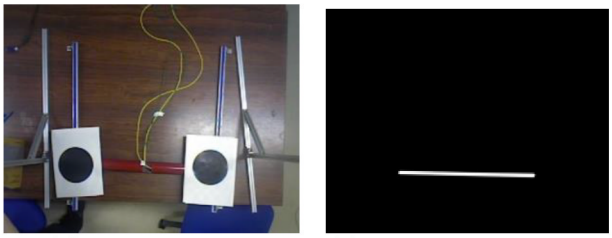
(a) Color image　　(b) Location of the extruding bar

Fig. 11 Immediately after the cardboard box is placed



(a) Color image　　(b) Location of the extruding bar

Fig. 12 The middle of the extrusion



(a) Color image　　(b) Location of the extruding bar

Fig. 13 Completion of pushing out

4．3　考察

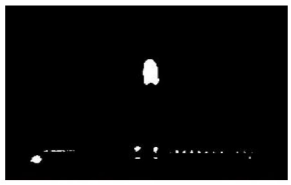
物体の認識について，段ボール箱の設置位置により，段ボール箱を認識しないことがあった．これは画像中に蛍光灯からの光が映り込むことにより，輪郭線がぼやけてしまったために発生した現象であると考えられる．また，高さの大きいダンボール箱の場合，段ボール箱自体の影が映ってしまい，同様に輪郭線がぼやけて，認識の精度が落ちてしまった．これについて，光の映り込まない位置にテーブル部を設置することや，輪郭線を使用しない物体認識手法の検討を行う必要がある．

次に段ボール箱の大きさ取得における誤差の原因としては，個々のカメラが持つ内部パラメータの考慮が行われていないことや，小さい段ボール箱（カメラからの距離が大きい物体）の誤差が大きかったことから，距離画像センサの誤差が挙げられる．また，横よりも縦の長さについて誤差が大きくなった

要因として，カメラの画角の影響が考えられる．これらの要因を考慮したアルゴリズムの構築や補正処理により精度の向上が見込まれるが，より高い精度での大きさ測定を行うには情報取得デバイスを追加することが望ましい．これについて，テーブルの下側にもカメラを設置し，下から大きさを測定することを検討している．

最後に，押し出しバーの認識について，今回行った実験においては何の問題も無かった．しかしながら，画像中にその他の丸いものが映ることでマーカーの誤検出が発生した場合，押し出しバーの位置を正しく認識できず予期しない動作をおこなってしまう可能性がある．また，マーカーが大きいため荷物を置くスペースが狭くなるという欠点があった．この対策として，マーカーに LED 照明の導入を検討している．形状を認識するわけではないので小型化できること，自ら発光しているので外部環境によるノイズの影響を受けにくいことが期待される．LED 照明を用いたマーカー認識実験の様子を Fig. 14 に示す．Fig. 14(c)に示すように認識された LED の輪郭が強調されている．

(a) Image of LED light



(b) Result of threshold

(c) Result of recognition

Fig. 14 Recognition of the LED marker

5．おわりに

本研究では，荷物の仕分け・運搬作業の自動化に向け，荷物受け渡しシステムの開発を行った．固定設置したカメラより得られる RGB 画像および距離画像を利用して段ボール箱の認識と大きさの計測を行った．同様に荷物を押し出すバーの認識も行い，段ボール箱を押し出したのち，初期位置に戻るという一連の処理を実現することができた．今回作成した荷物受け渡しシステムは，センサ機器がモーションキャプチャデバイスのみとなっており，持ち運びが容易であるため，倉庫内の任意の場所に設置することが可能となっている．続けて搬送ロボットの開発を行い，所定の位置への積み下ろし作業を行うことで，一連の運搬作業を自動化することができる．

本研究の発展として，段ボール箱以外の荷物の認識や，荷物に貼られている伝票から搬送先を読みとり，搬送ロボットに積み下ろし場所を伝えるなどといったことが考えられる．いずれも技術的に十分可能なことであるが，自ら荷物を探索し，把持，運搬するロボットではこういた処理は難しいことが多い．しかし今回開発したシステムではカメラと荷物の位置関係が限定的なものとなっているため，段ボール箱ではない荷物に対しても，大きさの計測を行うことや，荷物に貼られた伝票から情報を読みとることなどは比較的容易にできると考えられる．

謝辞：本研究は平成27年度舞鶴工業高等専門学校機械工学科奨励研究経費の補助を受けて行われた．関係各位に謝意を表する．

参考文献：

1) 大本絵利，土井暁，浜田耕史：フレキシブル水平搬送システムの開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014，1P1-K04, 2014.
2) Ruggiu, M. and Bertetto, AM. : A mechanical device for harvesting crocus sativus (saffron) flowers, Applied Engineering in Agriculture, 22, pp. 491-498, 2006.
3) 小畑智輝，多田幸生，室巻孝郎：画像処理技術を利用する荷物搬送システムの開発，第 59 回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI'15)，145-1，pp.1-6，2015.
4) Canny, J. F. : A computational approach to edge detection, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8, pp. 679–698，1986.
5) Douglas, D. and Peucker, T. : Algorithms for the reduction of the number of points required for represent a digitized line or its caricature, Canadian Cartographer, 10, pp. 112–122，1973.
6) Duda，R. O and Hart，P. E. : Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures, Communications of the Association for Computing Machinery, 15, pp. 11-15，1972.

(2015. 11. 30 受付)

DEVELOPMENT OF PARCEL TRANSFER SYSTEM IN AUTOMATIC CARRIAGE SYSTEM

Takao MUROMAKI, Tomoki KOBATA, Yuko SUZUNAKA, Akito MORITA and Yukio TADA

ABSTRACT： In this research, an autonomous parcel transfer system is developed. This system is a component unit of automatic carriage system. The position and size of parcel are obtained by the motion capture device with color image sensor and infrared sensor (Xtion PRO LIVE). The recognized parcel is transferred to a transport robot by the extrusion devise. The position of the extruding bar is controlled by the vision system. This paper describes the experimental results for a cardboard box. When the cardboard box is set on the extruding device, it is extruded to the transport robot automatically.

Key Words： *Parcel carriage, Image processing, Motion capture device, Canny edge detector*