

知的高速選別システムの独立駆動系による搬送系の実現

佐藤 公信, 竹田 史章, 香川 真也(高知工科大学 工学部 知能機械システム工学科)

Realization of Conveyance System for High Speed Intelligent Sorting System with Independent Driving System

Hironobu Satoh, Fumiaki Takeda and Masaya Kagawa

(Department of Intelligent Mechanical systems Engineering, Kochi University of Technology)

キーワード：いりこ, ニューラルネットワーク, 知的高速選別システム, 独立駆動系

1 はじめに

現在, いりこ(小型半乾燥魚)の製造における選別作業工程は, 最初に水揚げされ一度ゆでたいりこを大きさで分類するために機械で振るいにかける. 次に, 選別員の目視によって目的の魚種(マイワシ, ウルメイワシ, カタクチイワシ, キビナゴ, ホウタレ)以外の異物を取り出す. 最後に, 選別員により目視において色合いや模様また形状により魚種を判定し手で抓み上げることにより, いりこを物理的に分別している(図1参照). しかし, この選別工程は選別員に対して高い精度で魚種の判定を行う経験が必要である. 一方, 長時間立ったまま選別を行うため体力を要する仕事である. それゆえ, 高齢化社会において人員不足の問題が滞積している状況にある. 選別が不十分な場合には, 複数種類のいりこや商品外の異物が混入する. また, いりこに損傷がある場合は, その商品価値は著しく低下してしまう. このような, 選別員が経験と勘で実施しているいりこ選別作業を機械化したいという要望がある. いりこは同じ魚種間でも個体により魚体の大きさや形状(魚が曲がっている, 魚体が直線的であるなど)にばらつきがある. これを柔軟に認識し, 魚種を特定する製品は著者らが特許調査を行った上でも, 殆ど開発されていないのが現状である. そこで, 著者らは柔軟な認識が可能なニューラルネットワーク(NN)を用い, 魚種および異物を認識し選別を行うシステムの開発を目的とする.

本論文では, とくにシステムの搬送部についての新たに提案を行う. 図2(a)にビン状態(絡み合った複数魚類)を示し, 図2(b)に目的とする1匹の画像を示す. いりこはビン状態で選別システムに投入される. しかし, いりこを撮像部において撮影した画像に対して, NNにより魚種および

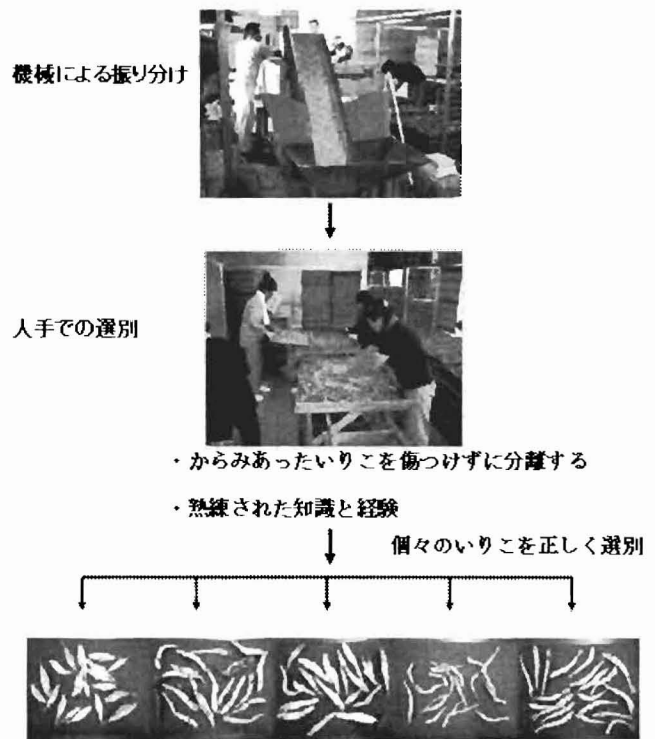
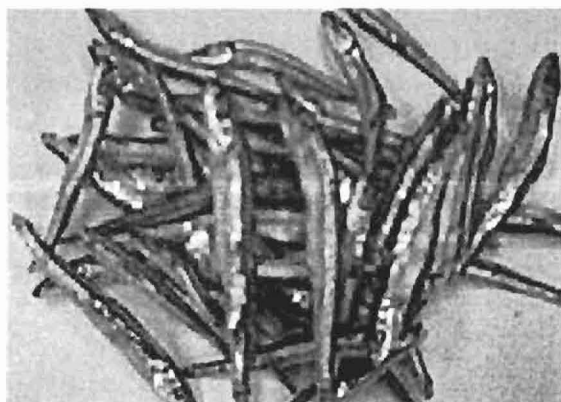
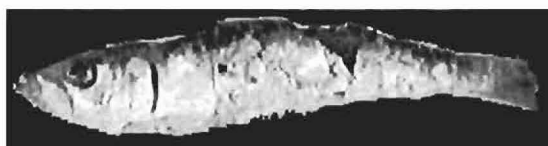


図1：手作業でのいりこ選別

異物の選別を行う. ビン状態は, 図2(a)に示すように単体のいりこが複数層にわたりランダムに堆積しているため, 下層のいりこを画像処理により図2(a)に示すように魚体の欠損無く抽出ことは困難である. また, 魚種に応じた特定のボックスに物理的に投入するために, ビン状態のいりこ群を1匹単位に分離して撮像部まで搬送する必要がある. それに加え, ビン状態のいりこ群から個々の魚を損傷することなく搬送可能である必要がある.



(a) ビン状態



(b)単体(1匹)目的画像

図2：いりこ

知的高速選別システムの開発において、搬送部は半乾き状態で柔らかいいりこを従来の人手に代わり、搬送を行いながら選別する上で、独立駆動のベルトコンベアユニットをセンサ駆動させ撮像段階で1匹に分離するシステムを提案する。次に、このベルトコンベアユニット6機からなる独立駆動系に対して、ビン状態のいりこを1匹ずつに分け撮像部まで搬送を行う搬送能力についての検証を行う。

2 提案の知的高速選別システムの装置および方法

選別員は目視により、いりこの特徴(色合いや模様、さらに、形状)から判断し手で掴み上げ、魚種ごとに分類することにより選別している。そこで、提案する知的高速選別システムは、いりこを撮像し、NNにより魚種を識別し選別を行う手法を用いる。

本章では、6つの独立したベルトコンベアユニットをセンサで制御することで、ビン状態のいりこを個々に分離可能な独立搬送系を提案する。

知的高速選別システムは主に搬送系、撮像部、選別部からなる。搬送系では、ビン状態のいりこ群を分離しながら搬送する。撮像部では、Universal Serial Bus (USB)カメラによりいりこの撮影を行う。選別部では、抽出アルゴリズムを用いて抽出処理を行う。抽出部における処理は実験筐体に実装しているパーソナルコンピュータ(PC)により行

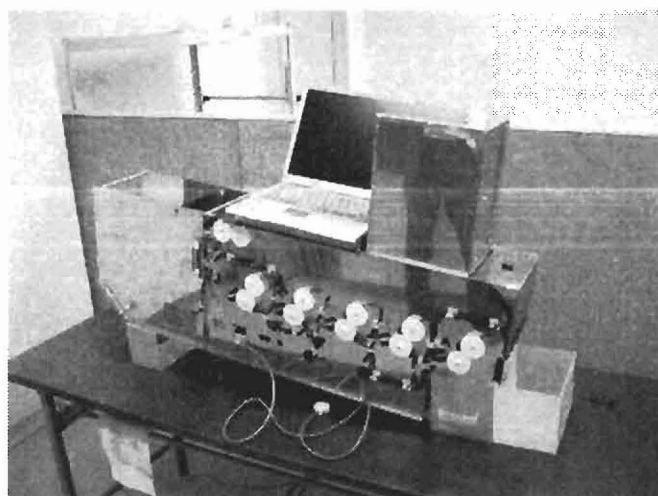


図3：選別システム筐体

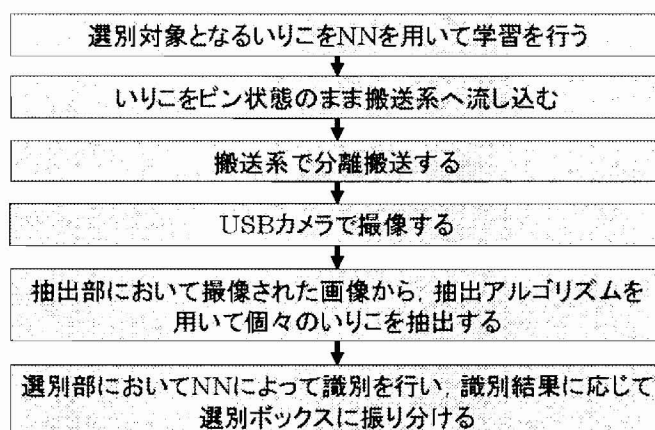


図4：システムフロー

う。その後、PC上でNNを用いていりこの種類を識別し選別を行う。知的高速選別システムの実験筐体の概観を図3に示す。提案するシステムの動作フローを図4に示す。

2-1 独立搬送系

独立駆動系を図5に示す。独立駆動系は6機のベルトコンベアユニットからなる。筐体の設計段階においていりこを分離できる確率を高くし、搬送部のコンパクト化を行う必要がある。それゆえ、最小構成の6機での構成が適切であると予備実験より判明した。また、各ベルトコンベアユニットの制御は1つのマイコンボード(H8CPU)で行われる。

図6に示すように、各ベルトコンベアユニットは、DCモータ、ギア、ベルト、2個の近赤外線センサによって構成されている。図7は独立駆動系の動作フローを示す。ベルトコンベアユニットC、D、Eで上記の作業を繰り返し行う。ベルトコンベアユニットB、C、DにおいてCを中心としての

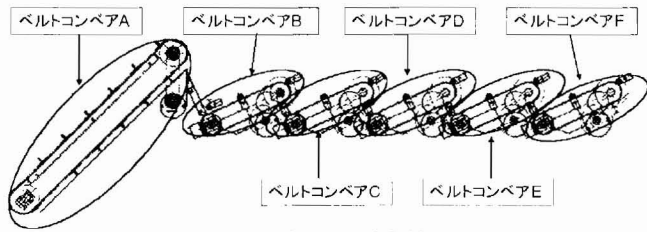


図5：独立駆動系全体図

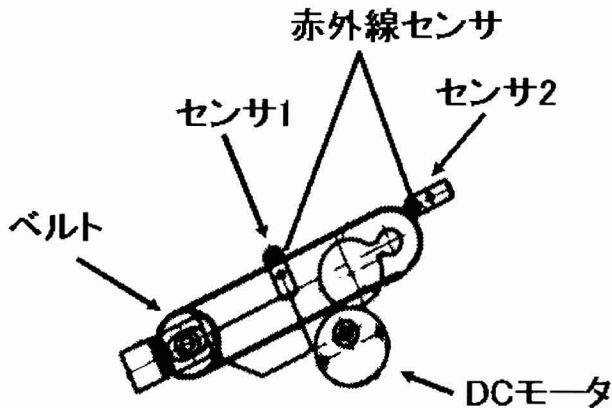


図6：独立駆動系詳細図

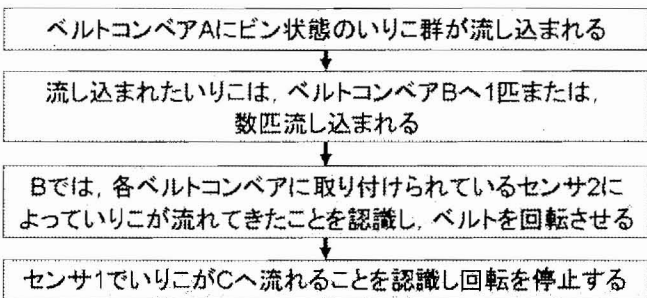


図7：独立駆動系の動作フロー

制御フローチャートを図8に示す。この制御フローはいわゆる各ベルトコンベアユニットの制御ルールである。このルールに従い各A~Fのベルトコンベアユニットを制御し、複数のいりこを搬送することにより、ピン状態のいりこ群を撮像部までに1匹ずつに分離可能であると考えられる。図9に独立駆動系を上部より撮影を行った写真を示す。

2-2 撮像部および選別部

NNを用いて選別するためには、いりこを抽出しラベリング処理を行う必要がある。撮影時には、いりこが回転することが確認されている。そこで、米選別において回転に対して有用な評価結果を示した米選別用抽出アルゴリズム[2]を応用し、いりこの抽出およびラベリング処理を行う。

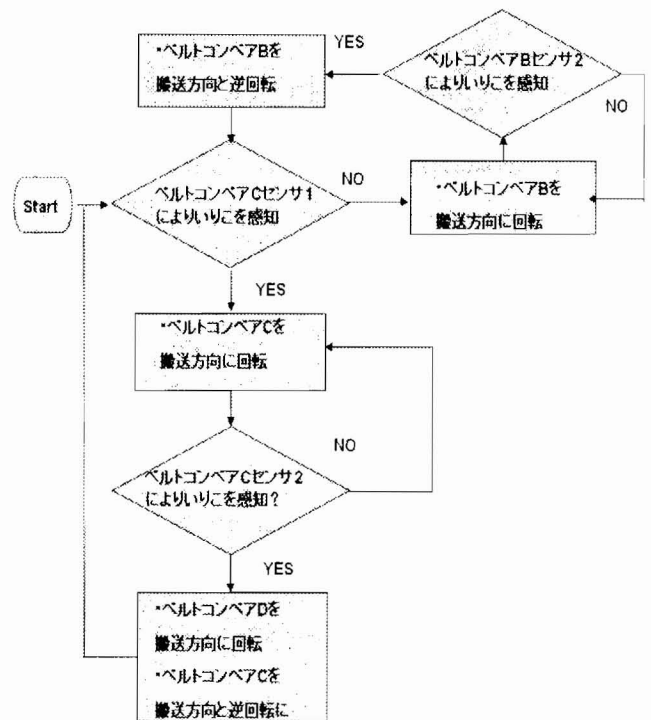


図8：制御フロー

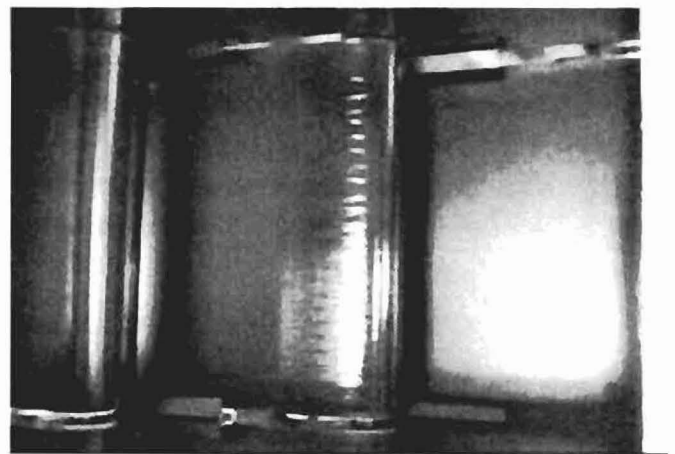


図9：実現した独立駆動系

抽出手順としては、まずカメラで撮像したいりこの画像を、閾値を用いて2値化する。

その後、重なり合ったいりこを個々に分離するため8-近傍収縮処理[3]を行い、処理したデータを用いてラベリング処理を行う。最後に、ラベル領域内の中心位置を求め、その情報よりいりこを抽出する。これまでの研究により、いりこが重なり合っていないならば100%抽出が可能であることが報告されている[2]。

選別には非線形識別が可能な最小構成の3層構造の階層

型のNNを使用する。柔軟な識別が可能なNNを使用することにより形状、大きさ、模様にはらつきのある自然物であるいりこを正確に選別することが実現可能と予想される。選別手順として、まず抽出部で抽出したいりこデータを擬似回転補正アルゴリズム(2次元画像情報を、閾値を用いて1次元ストリング情報にする手法[2])を用いて配列に格納する。そして、そのデータを元にスラブ値(NNに入力する値)を作成し、NNに入力する。最後に、NNからの出力を閾値を用いてチェックし、いりこを種類に対応した、選別ボックスに投入する。本手法により撮像および選別を行うため、独立搬送系において、いりこの分離搬送を行う必要がある。

2-3 テスト用木材チップといりこ

いりこは過度の搬送を行うと形が崩れてしまう。しかし、いりこの再現性を維持し分離搬送実験を行う必要がある。そこで、新たに木材チップを考案する。木材チップは切り口10.0mm×10.0mmで長さは45.0mm, 50.0mm, 60.0mmの3種類で誤差は長さ方向に±2mmである。これは、実際に選別対象となるいりここと同等の大きさである。大きさのばらつきを再現するため3カテゴリの木材チップを長さ方向の誤差±2mmで使用する。また、木材チップを実験に用いる理由としては、実験精度を高めるため500回程度の搬送実験を行う必要があり、過度の繰り返し搬送に耐え、質量がいりここと同等であるためである。

2-4 搬送過程の方法とその評価

分離搬送実験では、図10に示す5種類のいりこ(マイワシ、ウルメイワシ、カタクチイワシ、キビナゴ、ホウタレ)を使用する。

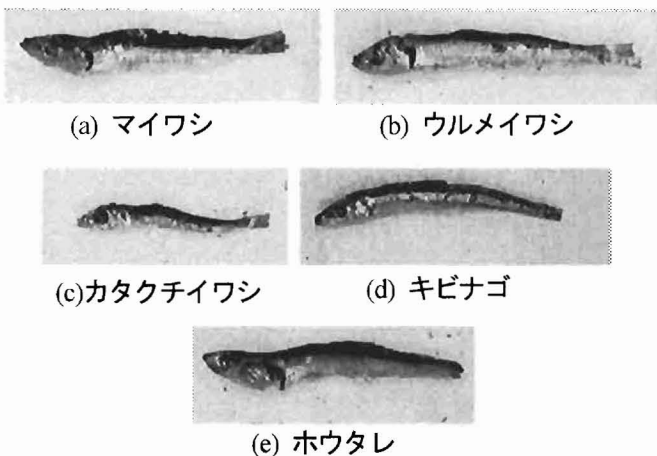
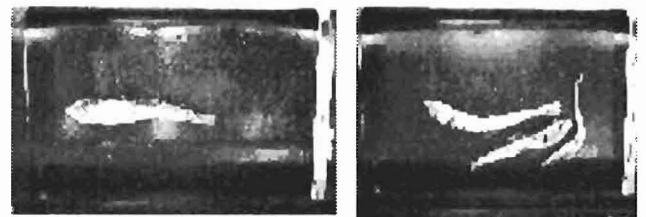


図10：選別対象

5種類のそれぞれのいりこをビン状態のまま個々の種類を搬送系へと流し込み、撮像部までに1匹に分離搬送する実験を実施し、その分離搬送能力を検証する。いりこが1匹以上流れてきた場合を1回とカウントする。また、分離搬送の成功および失敗の確認は、撮像部においてPCの表示内で目視により確認されたいりこが1匹であれば分離搬送成功(評価値A)とし、2匹以上であれば分離搬送失敗(評価値B)とする。図11に分離搬送成功および失敗例を示す。また、ロール回転(評価値C)(図12参照)および搬送面に水平な滑り(評価値D)の有無を確認する。これら二つの搬送現象を考慮する理由は、ロール回転あるいは滑りが発生すると対象がベルト内で停滞し、対象が撮像部まで搬送されないことに起因している。実験手順としては、独立搬送系で分離搬送を行い、撮像部においてUSBカメラにより撮像した画像をPCに表示し、目視により確認を行う。また、この分離搬送率は次の式(1)ので得られる。



(a) 分離搬送成功例 (b) 分離搬送失敗例

図11：実験判定例

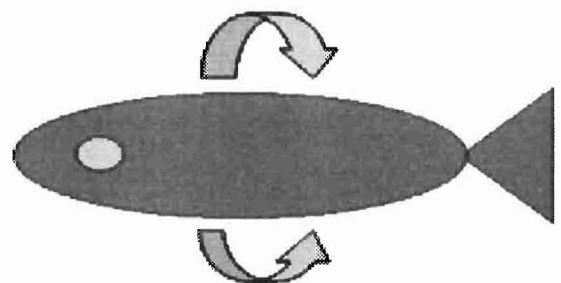


図12：ロール回転例

$$\frac{\text{評価母数} - \text{分離搬送失敗の数}}{\text{評価母数}} \times 100 \quad (1)$$

3 独立搬送系における分離搬送実験

本章では、独立搬送系を用い撮像部までピン状態のいりこの搬送を行った場合の分離搬送能力の確認実験を行う。まず、再現性を維持し分離搬送実験を行う。そこで、予備実験とし、いりこ質量および大きさが同等であり過度の繰り返し搬送実験にも耐えうることのできる木材チップを用い、ピン状態のいりこを再現することにより独立駆動系の分離搬送能力の確認を行う。次に、実際のいりこに対して独立駆動系の分離搬送能力の確認実験を行う。

3.1 木材チップを用いた分離搬送系実験

本節では、分離搬送実験の予備実験として木材チップ(図13参照)を用いての実験を行う。

実験手順としては、ピン状態の木材チップを搬送系(独立駆動系)へ流し込み、選別部までに分離搬送させる実験を実施する。実験条件としては、撮像部において木材チッ

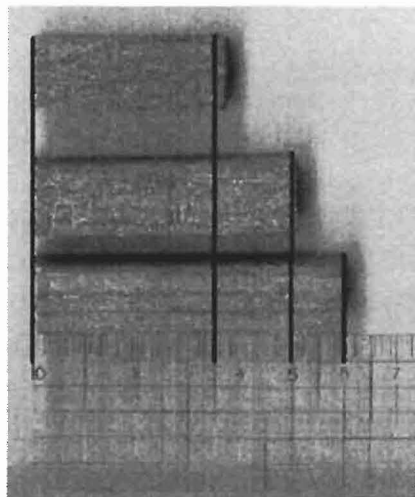


図13:木材チップ



図14:ピン状態の木材チップ

プを目視し、木材チップが1本以上流れてきた場合を1回とカウントし、500回繰り返す。また、分離搬送の成功および失敗の確認は、撮像部においてPCの表示内で目視により確認されたいりこが1本であれば分離搬送成功とし、2本以上であれば分離搬送失敗とする。図14に実験筐体に流し込んだピン状態の木材チップを示す。

本実験の結果として、木材チップは独立搬送系のベルト上で滑ることなく撮像部まで搬送することができた。また、分離搬送率は99.4%であった。実験結果より、独立搬送系の分離搬送能力は、木材チップを対象とした場合、有効であることが判明した。次に、いりこを対象とした場合において、その有効性を検証する。

3-2 いりこを用いた分離搬送実験

木材チップを用いた予備実験において99.4%(500-3/500×100)の分離搬送率を得られた。次に、選別対象とされる本来の5種類のいりこを用いそれぞれ50回搬送することにより、搬送系の分離搬送性能を検証する。

いりこの種類ごとに投入したいりこの数に対しての分離搬送およびロール回転、滑りが確認された数との割合を求めた実験結果を表1に示す。表1に示すように分離搬送率は58%から84%で、平均で71.6%の分離搬送率であった。しかし、5種類全てのいりこにおいて、ロール回転が起こることが確認された。一方、全てのいりこにおいて滑りの発生は確認されなかった。また、表1の各割合は次の式(2)の関係を満たす。

$$100\% = \text{分離搬送率} + \text{ロール回転率} + \text{滑り率} + \text{分離搬送失敗率} \quad (2)$$

表1: いりこを用いた実験結果

評価値 魚種	評価値 A	評価値 B	評価値 C	評価値 D
マイワシ	74%	6%	20%	0%
キビナゴ	84%	12%	4%	0%
ホウタレ	66%	16%	18%	0%
ウルメイワシ	76%	20%	4%	0%
カタクチイワシ	58%	22%	20%	0%
平均	71.6%	15.2%	13.2%	0.0%
理想値	100%	0%	0%	0%

実験結果より、5種類のいりこを71.6%の精度で分離搬送可能であることを確認した。この結果は、いりこの分離搬送に独立駆動系が有効であることを示している。しかしながら、5種類のいりこ全てにおいて平均で13.2%の確率でロール回転が確認された。これは、いりこ自体の形状が原因であると考えられる。ロール回転の発生は撮像部での撮像の際に、いりこの横方向からの撮像となり選別率の低下を招くおそれがあると考えられる。ただし、これまでの実験により実験筐体の搬送面の傾斜角度を変更することにより、ある程度ロール回転を抑制できることが判明している。よって、今後は対象であるいりこの分離搬送に適した筐体の角度の検討を行う必要がある。一方、2匹以上の異なった種類のいりこが撮像部に搬送された場合には、物理的にいりこの種類に対応する選別ボックスに振り分けることができないこととなる。そこで、選別部で2匹以上である場合は、一度抽出を行い魚種の特定を行う。その後、NNで選別を行いすべて同一の種類であれば、そのいりこを選別ボックスへ投入する。異種ならば、いりこは再度独立搬送系に流し込まれる。還流ボックスを新たに提案している。

4 まとめ

本論文では、知的高速いりこ選別システムの開発を目指し、いりこを損傷することなく1匹にして分離搬送を行うことが可能な独立搬送系を提案した。この独立搬送系は、6つの独立したベルトコンベアユニットをマイコンボードによって制御することにより実現した。実験筐体を製作し、独立搬送系の分離搬送能力を検証するために、木材チップを用いた予備実験を行った。実験結果としては、99.4%の分離搬送能力を確認することができた。次に、5種類のいりこ毎の分離搬送能力の有効性の確認を行った。その結果、5種類のいりこの平均分離搬送率は、71.6%であることが確認された。これにより、いりこの分離搬送に対しても独立駆動系がある程度有効であることが確認された。しかし、平均13.2%のロール回転が確認された。これは、撮像部においていりこ撮像の際に、いりこの横方向からの撮影を妨げる原因になると考えられ、選別率の低下を招くおそれがある。

参考文献

- [1]竹田史章, 西蔭紀洋, ``紙幣用ニューロテンプレートマッチング識別手法の開発'', 電気学会論文誌C Vol.121, pp196-206, 2001
- [2]竹田史章, 一柳賢子, 都築健生, 門田浩, 島内聡, ``ニューラルネットワークを用いた流下米選別システムの開発'', 高速信号処理応用技術学会 日刊工業新聞発行 電子技術 第44巻 第7号, pp10~17, 2002
- [3]安居院猛, 長尾智晴, ``C言語による画像処理入門'', 昭晃堂, pp47-50, 2000

著者紹介

佐藤 公信 (学生員)



1980.04.28 高知工科大学大学院工学基盤専攻博士前期課程(2004)工学修士. 日本ファジー学会 FAN インテリジェントシンポジウム(ベストプレゼンテーション賞)受賞. 現在 高知工科大学大学院 博士課程後期在学中

竹田 史章 (正員)



1958.04.27 生'94 徳島大大学院工学研究科博士後期課程修了.'84 豊田中央研究所.'86 グローリー工業㈱. 現在、高知工科大学教授. 工博. 現在、自己学習型知的貨幣識別手法の研究とその実システムへのインプリメンテーションの研究, 生体情報を用いた個人認証シ

ステムの研究とそのプロトタイプの開発, ニューラルネットワークを用いた画像認識による食事摂取状態のレベル分類システムの研究と開発, 紙幣の汚れ・劣化メカニズムの解析とモデリングおよびその判定システム構築の研究に従事. 日本機械学会関西支部賞(研究賞), 計測自動制御学会論文賞, 高度自動化技術振興財団 研究業績表彰(本賞), 新技術開発財団 市村学術賞(功績賞), システム制御情報学会産業技術賞受賞. 日本機械学会, 電気学会, 計測自動制御学会, IEEE, システム制御情報学会, 情報処理学会, 電子情報通信学会会員.

香川 真也 (学生員)



1984.02.29 生. 大阪府立箕面高等学校卒業 (2002) 現在 高知工科大学 知能機械システム工学科 在学中