

# 家庭内物流支援ロボットシステムの構築 (第2報：i コンテナ情報支援部のシステム設計と コンテナ位置認識機能プロトタイプ的设计)

福井類, 大串和之, 森武俊, 佐藤知正 (東京大学)

## Construction of the Logistical Support Robot System in Living Space. (2nd Report: Prototype Design of Position Measurement Device for i-Container.)

Rui FUKUI, \*Kazuyuki Ohgushi, Taketoshi MORI, Tomomasa SATO(The Univ. of Tokyo)

**Abstract**—This paper discusses the system design of i-Container's informative support part and presents some functions which are required for the domestic logistical support robot system. In the next phase, as one of the i-Container's informative functions, a prototype system of position detection was implemented. The prototype system utilizes a camera and a display device with a dynamic image marker. The characteristic of the markers are hue (color representation) and rhythmic blinking. Through examinations with this prototype in disordered living space, the validity of the dynamic marker was confirmed.

**Key Words:** Intelligent Environment, Vision System, Position Measurement, Active Marker.

### 1. 研究の背景

ロボットの応用研究の重要な課題である『生活環境中におけるロボットによるさりげない(人と低干渉な)物理支援の実現』という要求に対して、我々は家庭内物流支援ロボットシステムを実現することによって応じるという提案し、システム設計について検討を行った。[1] そこで本稿では各サブシステムの実装の先行として、家庭内物流支援ロボットシステムのキー要素である「インテリジェントコンテナ」(Fig.1参照、以降iコンテナと呼称)の情報支援部のシステム設計として要求機能の整理を行い、それらを統括的に実装する方法について検討を行う。続いて、後半では情報支援部の機能の1つである、インテリジェントコンテナの位置推定補助機能についてiコンテナ位置認識システム(Position Recognizer for i-Container)と併せてプロトタイプ設計と実装について述べる。

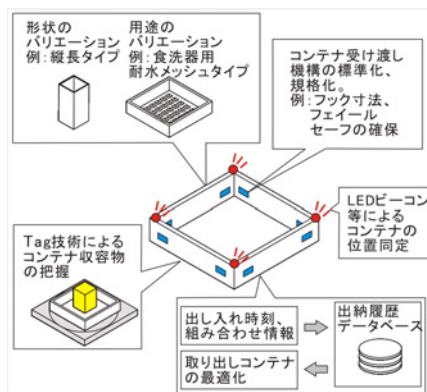


Fig.1 iコンテナのコンセプトスケッチ

### 2. iコンテナ情報支援部のシステム設計

本章では以下について検討を行う。

#### 1. iコンテナのインテリジェント性の定義(設計ポ

リシーの明示)

2. iコンテナの物理支援部と情報支援部の定義
3. iコンテナ情報支援部の要求仕様の明確化
4. iコンテナの情報支援部の必要機能の整理
5. 各機能の同一コンポーネントへの実装可否検討

#### 2.1 インテリジェント性の定義

一般的な「インテリジェント」性を示す要素というのは非常に多種多様であるが、ここでiコンテナにおいては主に以下の項目から表現されるとする。

- 人間・ロボット親和性  
人間・ロボット両者にとって扱いやすいものであること
- 多機能簡素性  
多くの機能をシンプルな構成で実現すること
- 機能美  
実用的なだけでなく、その機能の意義を表現可能なこと
- 汎用的拡張性  
標準化を確保した上で、将来の拡張にも対応できること

#### 2.2 iコンテナの物理支援部と情報支援部の定義

iコンテナにおいては人間とロボットシステムの接点となるべく、様々な機能が実装されるがここではこれらの機能を便宜上以下の2つとして整理する。

- 物理支援部  
モノを積載したり、運搬を担うロボットの把持をされるといった物理的にアクチュエーションと関連する機能群のこと。
- 情報支援部  
搭載物の内容認識、iコンテナ位置認識システム(PoRiC)の補助、人間へのサービス情報の提示といった、情報の処理・提示を行う機能群のこと。

#### 2.3 iコンテナ情報支援部の要求仕様の明確化

iコンテナ情報支援部の要求仕様を以下に示す。なお、下記要求仕様は本稿執筆時に規定したものであり、

今後の実装・実験を踏まえて改定していく予定である。

1. i コンテナは積載物にRFID等のタグが設置されている条件のもと、積載物の内容を認識可能とする。
2. i コンテナは積載物の重量を認識可能とする。
3. PoRiC(i コンテナ位置認識システム)は異なるi コンテナを識別可能とし、またその位置認識精度は $\pm 10[\text{mm}]$ を目標とし、この精度実現のためi コンテナは積極的にPoRiCの補助を行うものとする。
4. i コンテナは振動を感知することによって人間による運搬を認識できるものとする。
5. i コンテナは積載物認識結果、バッテリー情報、積載物重量等のシステム情報、積載物に関するサービス情報を、ユーザに提示出来るものとする。
6. i コンテナは電力消費を抑え、可能な限りメンテナンス不要とする。

#### 2.4 i コンテナ情報支援部の必要機能の整理

前節の要求仕様を考慮するとi コンテナに必要な機能は以下ようになる。

1. 積載物認識機能
2. 積載重量認識機能
3. コンテナ位置認識補助機能

PoRiC(i コンテナ位置認識システム)側では「コンテナ位置認識機能」となる。以降ではPoRiC側の機能とi コンテナ側の機能を組み合わせて「コンテナ位置認識(補助)機能」と記述する。

4. 運搬感知機能
5. ユーザ情報提示機能
6. 消費電力管理機能

#### 2.5 同一コンポーネントへの複数機能の実装可否検討

上記機能を実装するためには、様々な手段が考えられるがi コンテナのインテリジェント性の一つである「多機能簡索性」の実現検討としてTable1に各機能の同一コンポーネントでの実装可否について示す。検討

Table 1 i コンテナ各機能の同一コンポーネントによる実装可否の検討

機能1 \ 機能2	積載物認識機能	積載重量認識機能	i コンテナ位置認識補助機能	運搬感知機能	ユーザ情報提示機能	消費電力管理機能
積載物認識機能		○	×	×	×	×
積載重量認識機能	○		×	×	×	×
コンテナ位置認識補助機能	×	×		○	○	×
運搬感知機能	×	×	○		×	×
ユーザ情報提示機能	×	×	○	×		×
消費電力管理機能	×	×	×	×	×	

○: 同一コンポーネントでの実装可能性があるもの  
 ×: 同一コンポーネントでの実装が不可能なもの

の結果、以下のような拡張を考慮することにより同一

コンポーネントで複数の機能を実装することが可能であると言える。

- 積載物認識機能で取得される情報の中に重量情報を含め、積載重量認識へと拡張する。
- コンテナ位置認識機能を人間によるコンテナ運搬の認識へ拡張させる。
- ユーザ情報提示機能に用いる表示デバイスをコンテナの位置認識(補助)機能のマーカ表示装置として利用する。

上記拡張は性能保証という意味で必ずしも実装が適当でないものもある。そこで各実装のフェーズにおいて上記項目は別途詳細な検討が必要である。

### 3. コンテナ位置認識機能 プロトタイプの実装

前章ではi コンテナのシステム設計として各種機能の検討を行った。そこで本章ではi コンテナ及びPoRiC(i コンテナ位置認識システム)の機能の1つであるコンテナ位置認識機能のプロトタイプの実装について検討を行う。

#### 3.1 コンテナ位置認識機能の特徴

コンテナ位置認識機能における特徴は以下の3点である。

1. 認識機能のスケール幅が広い  
数[m]スケールの部屋の中からコンテナを見つけ出す大域的計測から始まり、最終的にはロボットの把持に必要な精度 $\pm 10[\text{mm}]$ の局所的計測まで網羅しなければならない。
2. 認識環境が煩雑である  
人間の生活環境は多種多様なものが設置されており、しかもそこにシステム側からみた秩序があるとは必ずしも言えない。また人間の生活環境は人間の営みによって時々刻々と変化を来たすので、その変化に柔軟に対応する必要がある。
3. 複数のコンテナの識別を行う  
対象物が単独の場合の「計測」と異なり、複数の対象の「識別」+「計測」が必要という意味で、その機能の幅は広い。

#### 3.2 位置認識機能の実装方法の検討

本節では位置認識機能の使用装置の選定を行い、続いてその使用装置に適したマーカの選定を行う。

##### 3.2.1 使用装置の選定

位置計測機能を実装する際に用いられる装置としては、一般に次のような方法がある。

- 画像計測法  
カメラ画像処理により計測する方法
- レーザ式計測法  
レーザ光を対象物体に照射し反射を読み取る方法
- 電波式計測法  
特定の電波を基準点より伝送し、その到達時間より計測する方法 [2]。

上記の方法に関して”スケール幅の広い認識機能の実現”に注視してTable2に示すトレード検討を実施した。

Table 2 認識装置の比較検討

方式	画像計測法	レーザ計測法	電波式計測法
特徴	画像を取得するカメラの種類が豊富であり、比較的安価に複数計測装置を用いたシステムを構築することが可能である。一方で、オクルージョンの問題あり。	非常に精度高く距離を計測できる一方でレーザを生活環境中で使用するのには問題がある。またオクルージョンの問題に関してはカメラと同様。	通常的生活環境ではオクルージョンの影響は小さい。使用する電波の周波数によっては金属や水分を含む障害物の影響を受けやすく、また反射による誤認識の可能性もある。
例	Vicon Motion Capture System	SICK製LMS	GPS
大域的計測	[○]: コンテナ側のマーカ表示方法を工夫することで発見は容易。	[×]: 計測の前提として反射光を読み取る領域の絞りこみが必要であり、実現不可能	[○]: 計測装置とコンテナの両方で電波を発信することで比較的簡単に計測が可能。
局所的計測	[○]カメラを搭載したロボットを接近させ、コンテナのマーカに形状的な特徴を持たせることによって実現可能。	[△]: コンテナの発見後にはその位置計測は高精度で行うことが可能。一方で非常に近い距離の場合計測が出来ない。	[×]: 把持に必要なmmオーダーの距離測定には電波の到達時間が非常に短く、非常に高性能なLSIが必要となる。
総合評価	○	×	×

○: 実現可能性が高い △: 限定的には実現可能 ×: 実現可能性が低い

検討の結果、スケール幅の広い認識が可能な画像計測法を採用し、装置としてカメラを用いることとした。

### 3.2.2 マーカの選定

カメラを用いた計測法において煩雑な環境における探索や認識対象の識別を行うためのマーカとして以下のような候補が考えられる。

- 2次元コード (タグ)  
マーカに幾何的な特徴を付与することで探索を可能とし、またタグにID情報を付与することで固体の識別を可能とする。
- 紫外LED + Beacon機能  
生活環境中で発生されることの少ない紫外の発光を用いることにより探索を可能とし、Beaconパターンにより識別を行う。
- 動的表示デバイス (LCD)  
色特徴・点滅パターン・幾何的特長を組み合わせることで探索と識別を可能とする。

上記候補の中で、2次元コードまたは紫外LEDには大域的計測において対象との距離が離れた場合画素が不足し、マーカの幾何的特長または波長の特徴が十分に生かせない可能性がある。また多機能簡素性を実現するためにユーザ情報提示機能を実装可能であるのは、動的表示デバイスのみであるため、本研究では動的表示デバイス (LCD) をマーカとして採用する。

### 3.3 動的表示デバイスを用いた位置認識のフロー

動的表示デバイスを用いた位置認識フローを Fig.2 に示す。本章の冒頭で述べたが、位置認識は大域的計測と局所的計測の二つのフェーズが存在するが、本稿では前者の大域的計測についてそのプロトタイプの実装の詳細を述べる。

### 3.4 大域的計測機能プロトタイプの実装

本節では大域的計測を実現するための動的表示デバイスの表示特徴について検討を示し、続いて本プロトタイプにおける実装の詳細を示す。

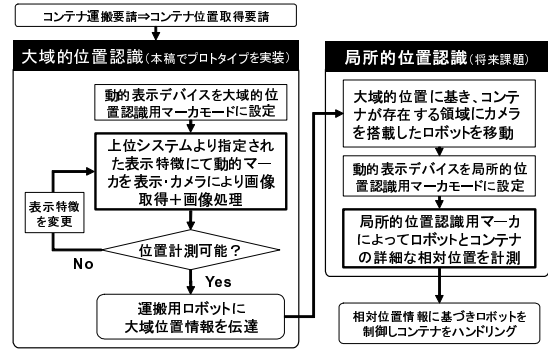


Fig.2 動的表示デバイスを用いたコンテナ位置認識のフロー図

### 3.4.1 動的表示デバイスにおける表示特徴の検討

動的表示デバイス上に表示させる画像列に対して、動的表示デバイスの特性を生かし静的画像特徴として色相情報、時系列特徴として周期性のある画像変化を用いることとした。以下にその詳細を述べる。

- 色相  
色相とは光の波長に基づく色味の違いを定量化した値であり、一般に取得画像をRGB空間からHSV空間へ射影することにより取得される。物体の持つ色に関する特徴量として広く用いられており [3]、物体の領域抽出には適していると考えられる。
- 周期性  
家庭環境では周期的に変化するものは少ないため表示デバイスに周期性を持った画像を表示することで表示領域の抽出を容易に行えると考えられる。

### 3.4.2 本システムにおける表示特徴及び取得した画像に対する処理の実装

- 表示する特徴 (色相, 周期性) の設定  
周期的画像として、表示デバイスの全画面に対して、2Hz周期で黒 (H値: 154, RGB=0,0,0) とピンク (H値: 80, RGB=255,200,200) を交互に表示させるものを用いた<sup>1</sup>。これは生活空間ではピンクで点滅をするものが少ないため簡易的に用いた設定であるが、今後必要に応じて調整を実施する予定である。また周期性に関しては一般的なカメラのサンプリングレート30Hzより、最高で10Hz程度まで周期を上げることが可能であると考えられるが、本件も今後の課題である。
- 画像処理 (色相及び周期性抽出) の実装  
まず取得画像をRGB空間からHSV空間へ変換した後、その画像列の各ピクセルのH値のFFTを行い各ピクセルの色相変化の周波数特性を求め、この色相変化の周波数特性のうち、動的表示デバイスで表示をしている周波数 (2[Hz]) に注目し、閾値設定を行うことによって対象領域を抽出する。なお画像処理には汎用画像処理ライブラリのOpenCVを用いる。

<sup>1</sup>本プロトタイプでは

## 4. 実験

本実験では上記で記述したシステム・画像表示条件を用いて、取得したカメラ画像から動的表示デバイスの領域を抽出する実験を行った。

### 4.1 実験装置の概要

本実験装置は以下より構成される。

- ホスト PC (OS:Windows XP Professional, CPU:Pentium 3.20GHz, メモリ:1GB)
- 動的表示デバイス (Apple 製 iPod:3.5 インチ QVGA LCD)
- カメラ (Apple 製 iSight:CCD 640 × 480)

1394 接続のカメラから CMU 1394 Camera Device ドライバを用いて取得したものの画像を PC に取り込んで処理を行った。また本試験装置はリピーターを介することで多数のカメラへの拡張も行うことが可能である。

### 4.2 実験結果

本節ではまず色相情報に周波数特徴を持たせることで、色相のみの特徴の場合よりロバストに対象を認識できることを示し、続いて周波数特徴を取得する対象として色相が適当であることを示すため、色相と明度の両者の周波数特徴を比較する。

#### 4.2.1 周期性特徴の有用性の確認実験結果

Fig.3 に色相のみで領域抽出を行った結果と、周期性情報を用いて抽出を行った結果を示す。実験結果より

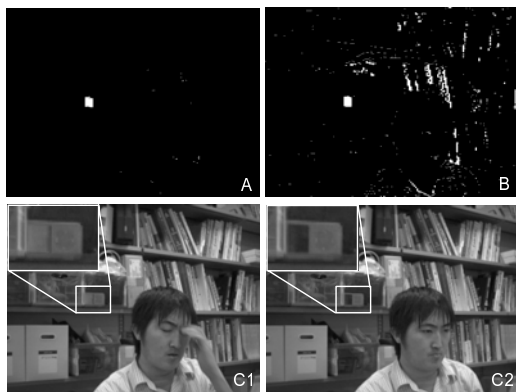


Fig.3 A:色相を周波数領域で閾値処理した場合。B:色相のみで領域抽出を行った場合。C:1[s] 間隔で表示画像の位相が反転している入力画像。

色相変化の周期性特徴を用いることにより、よりロバストに領域抽出を行えることを確認した。

#### 4.2.2 色相と明度の周波数特徴実験結果

本システムでは画像特徴として色相を採用したが、点滅するマークを用いる場合にはその点滅の ON-OFF を抽出するために明度を用いる方法がある。そこで本実験では色相、明度両者の周期性をそれぞれ用いて領域抽出を行った。実験結果を Fig.4 に示す。色相の結果は各点で周波数特性が均一に取得可能である一方で、明度の結果は周期性のピークが下がってしまうピクセルが存在することを示している。これは明度と比較して色相は動的表示デバイス上では均一な変化をするため

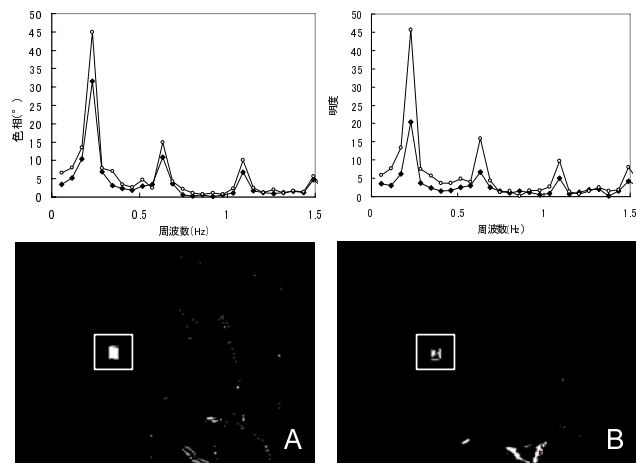


Fig.4 色相、明度による周波数特性の比較 (異なる 2 ピクセルの周波数特性を表示)。及びそれぞれの周波数で領域抽出を行った結果。

起こる現象であると考えられる。よって色相の周波数特徴を取得することにより明度と比較して、容易に対象領域の抽出を行うことが出来ることを確認した。

## 5. 結言

本論文は家庭内物流支援ロボットシステムの実現という大目標のもと、家庭内の物流においてロボットシステムと人間の接点となりうるインテリジェントコンテナに要求される情報支援機能について検討を行い、その機能の 1 つである位置認識機能のプロトタイプを実装した。プロトタイプを用いた実験の結果、動的表示デバイスによって色相及び周期性を特徴とするマークを用いることにより、生活環境といった煩雑な環境の中でもロバストにマーク発見が可能であることが分かった。

- [1] 福井ら: "家庭内物流支援ロボットシステムの構築 (第 1 報: 物流支援ロボットシステムのシステム全体設計)", 第 24 回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
- [2] 北須賀ら: "無線アドホックネットワークを用いた位置推定システム", 情報処理学会マルチメディア, 分散, 強調とモバイルシンポジウム論文集, pp.369-372, 2002
- [3] O. Ikeda: "Segmentation of Faces in Video Footage Using Controlled Weights on HSV Color", Lecture Notes in Computer Science, 2749, pp. 163-170, 2003.