

次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト
作業知能（社会・生活分野）の開発

機能仕様書
作業対象物認識モジュール群

V e r . 0 . 2 0

2 0 1 0 年 1 2 月 1 5 日

(独) 産業技術総合研究所

知能システム研究部門タスクビジョン研究グループ

目次

改版履歴	i
目次	ii
1. はじめに	1
1. 1. 本書の適用範囲	1
1. 2. 関連文書	1
1. 3. 本書を読むにあたって	1
2. 機能仕様	2
2. 1. 機能概要	2
2. 2. モジュール構成	2
2. 3. ターゲットハードウェア	3
3. RTC 仕様	4
3. 1. VVVCaptureComp (ステレオ画像取得 RTC)	4
3. 1. 1. 機能概要	4
3. 1. 2. 動作環境	4
3. 1. 3. ポート情報	4
3. 1. 4. 入出力データフォーマット	5
3. 1. 5. サービスポート I/F 仕様	6
3. 1. 6. 設定ファイル	6
3. 2. VVVRognitionComp (作業対象物認識 RTC)	8
3. 2. 1. 機能概要	8
3. 2. 2. 動作環境	8
3. 2. 3. ポート情報	8
3. 2. 4. 入出力データフォーマット	9
3. 2. 5. サービスポート I/F 仕様	10
3. 2. 6. 設定ファイル	10
3. 3. VVVOverlayComp (認識結果重畳表示 RTC)	12
3. 3. 1. 機能概要	12
3. 3. 2. 動作環境	12
3. 3. 3. ポート情報	12
3. 4. VVVDisplay2DComp (画像表示 RTC)	13
3. 4. 1. 機能概要	13
3. 4. 2. 動作環境	13
3. 4. 3. ポート情報	13
4. 特記事項	14

1. はじめに

1. 1. 本書の適用範囲

本書はロボット向けミドルウェア OpenRTM 上で、ステレオカメラを用いた作業物体の 3 次元位置・姿勢推定を行うモジュール群と関連する補助モジュール群について記述したものである。

1. 2. 関連文書

本書は以下の文書と関連がある。

表 1-1 関連文書

No.	文書名	備考
1	カメラキャリブレーション RTC 機能仕様書	
2	IIDC 1394-based Digital Camera Specification Version 1.31	TA Document 2003017

1. 3. 本書を読むにあたって

本書は RT ミドルウェア、RT コンポーネント(以下、RTC)に関する基本知識を備えた利用者を対象としている。RT ミドルウェア、RTC については下記を参照のこと。

OpenRTM-aist Official Website:

<http://www.is.aist.go.jp/rt/OpenRTM-aist/>

2. 機能仕様

2. 1. 機能概要

本 RTC 群は複数の IEEE1394 カメラで画像の取得を行いステレオ画像データを作成する画像取得モジュール、このデータを用いて対象物の 3 次元位置・姿勢を推定する認識モジュールの二つを核とし、動作確認など利便性向上のための画像表示モジュール・認識結果重畳モジュールを始めとする補助モジュール群からなる。

本モジュール群は外部との接続用に、認識を行う作業物体の ID を用いたトリガ入力のためのサービスポート及び、認識結果を共通形式¹で出力するデータポートが用意されている。

2. 2. モジュール構成

本知能モジュール群は以下のモジュールによって構成される (図 1)。

- 認識機能を提供するモジュール
 - ① ステレオ画像取得 RTC (VVCapture)
 - ② 作業対象物認識 RTC (VVVRecognition)
- 認識結果表示
 - ③ 認識結果重畳表示 RTC (VVVOverlay)
 - ④ 画像表示 RTC (VVVDisplay2D)

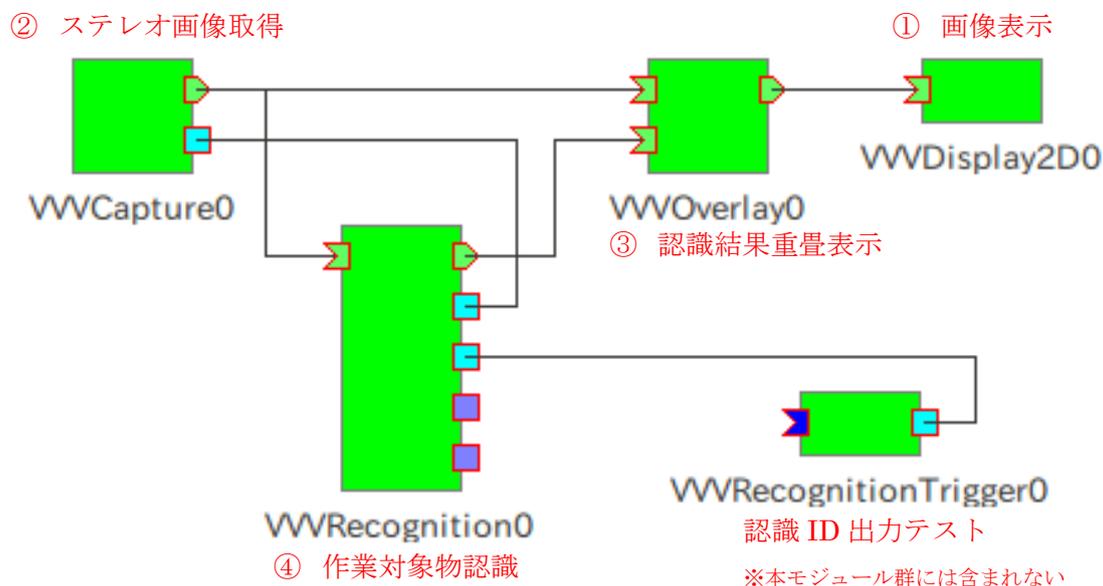


図 1 作業物体認識モジュール群

¹ CORBA::Double 型 20 個の要素を 1 チャンクとしたデータ

2. 3. ターゲットハードウェア

本モジュール群は IEEE1394 (IIDC-1.31 準拠) 規格のカメラを 2 台ないし 3 台用いたステレオカメラ構成が必要である。図 2 に 3 台のカメラを用いた場合の配置を示す。本文書ではこれらのカメラを順に左カメラ (1)・右カメラ (2)・検証用カメラ (3) と呼ぶ。各カメラの位置関係を厳密に定める必要は無いが、実際に認識を行う距離に対象物を置き、それが各カメラ画像上で中央付近に映るように配置を調整し固定するのが望ましい。カメラ 2 台の構成の場合は、検証用カメラを除いた左右カメラのみの配置となる。

カメラの配置が決定したら、カメラキャリブレーション RTC (詳細は当該文書を参照のこと) などを用いてキャリブレーションを行う。



図 2 ステレオカメラ構成

3. RTC 仕様

3. 1. VVVCaptureComp (ステレオ画像取得 RTC)

3. 1. 1. 機能概要

複数の IEEE1394 カメラでキャプチャした画像をまとめ、作業物体認識モジュールの入力となるステレオ画像データを作成・出力する。

3. 1. 2. 動作環境

本知能モジュールの動作環境は以下の通りである。

動作 OS	Ubuntu 10.04 LTS (x86)
開発言語	C, C++
コンパイラ	gcc-4.4.3
RT ミドルウェア / バージョン	OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE (C++)
依存パッケージ	libraw1394-1.3.0

3. 1. 3. ポート情報



図 3 ステレオ画像取得 RTC

A) データポート (InPort)

名称	型	データ長	説明
なし			

B) データポート (OutPort)

名称	型	データ長	説明
epbms	TimedEPBM	1	ステレオ画像データ (EPBM)

C) サービスポート (Provider)

サービス名	インターフェース名	説明
EPBMcmd	EPBMSource	撮像開始トリガ入力

D) サービスポート (Consumer)

なし。

3. 1. 4. 入出力データフォーマット

EPBM.idl:

```

typedef sequence<octet> EPBMData;
struct TimedEPBM {
    RTC::Time tm;
    RTC::Time timestamp;
    EPBMData data;
};

interface EPBMSource {
    void sendEPBM();
};

```

EPBMData は netpbm 形式²の画像データをカメラ台数分並べたバイトストリームであり、各画像のヘッダにコメントとしてキャリブレーションパラメータが埋め込まれている。

EPBM データ例 :

```

P5
# PinHoleParameterH11: 8.3e+02
# PinHoleParameterH12: 0.0e+00
:
# PinHoleParameterH34: 0.0e+00
640 480
255
(画像データ)
P5
#PinHoleParameterH11: 8.1e+02
:

```

キャリブレーションデータ

netpbm 形式画像データ

2 台目カメラデータの始まり

² Netpbm home page: <http://netpbm.sourceforge.net/>

3. 1. 5. サービスポート I/F 仕様

(1) EPBMsource

(a) void sendEPBM()

関数名	sendEPBM			
引数	名称	型	I/O	説明
		なし		
戻り値	値			説明
	なし			
説明	画像取得の指示(トリガ)を与える。取得した画像はデータポート epbms より出力される。			

3. 1. 6. 設定ファイル

ステレオカメラ画像取得 RTC は、標準で次の設定ファイルを参照する。

- /usr/local/VVV/etc/ieee1394/ieee1394board.*
- /usr/local/VVV/var/calib/ieee1394-0/* ※カメラキャリブレーション RTC 参照の事

ieee1394board.<キャプチャボード ID> (通常は 0)

設定ファイル例：

```
0 3
0x00b09d010071ff03 640x480-Y(mono) 30fps BRIGHTNESS 0 AUTO_EXPOSURE 1
SHARPNESS -1 GAMMA 1024 SHUTTER 430 GAIN 0 PAN -1 TILT -1
0x00b09d010071ff12 640x480-Y(mono) 30fps BRIGHTNESS 0 AUTO_EXPOSURE 1
SHARPNESS -1 GAMMA 1024 SHUTTER 430 GAIN 0 PAN -1 TILT -1
0x00b09d010071ff08 640x480-Y(mono) 30fps BRIGHTNESS 0 AUTO_EXPOSURE 1
SHARPNESS -1 GAMMA 1024 SHUTTER 430 GAIN 0 PAN -1 TILT -1
```

これらはそれぞれ、

delay (通常は 0) カメラ数 (2 または 3)

1394 カメラの GUID、画像サイズ・フォーマット、フレームレート、ブライトネス、露出、シャープネス、ガンマ、シャッター速度、ゲイン、パン、チルト

である。特に指定しない限り、各カメラはこのファイルに記述した順に左・右・検証用カメラとして割り当てられる。

GUID の確認：

GUID を調べたいカメラの IEEE1394 ケーブルを抜き差しした後、dmesg コマンドを入力することで以下のような出力が得られる。

```
          :  
[ 123.456789] ieee1394: Node changed: 0-00:1023 -> 0-01:1023  
[ 124.816326] ieee1394: Node added: ID:BUS[0-00:1023]  GUID[00b09d0100709e0c]  
          :
```

これが当該カメラの GUID である。

画像サイズ・フォーマット

使用できる値は以下の通り。

160x120-YUV(4:4:4)、320x240-YUV(4:2:2)、640x480-YUV(4:1:1)、640x480-YUV(4:2:2)、
640x480-RGB、640x480-Y(mono)、640x480-Y(mono16)、
800x600-YUV(4:2:2)、800x600-RGB、800x600-Y(mono)、800x600-Y(mono16)、
1024x768-YUV(4:2:2)、1024x768-RGB、1024x768-Y(mono)、1024x768-Y(mono16)、
1280x960-YUV(4:2:2)、1280x960-RGB、1280x960-Y(mono)、
1600x1200-YUV(4:2:2)、1600x1200-RGB、1600x1200-Y(mono)、
1280x960-Y(mono16)、1600x1200-Y(mono16)

但し、実際に有効な値はカメラの仕様に依存する。

フレームレート

使用できる値は以下の通り。

1.875fps、3.75fps、7.5fps、15fps、30fps、60fps

但し、実際に有効な値は画像サイズ・フォーマットの組み合わせに依存する。

ブライトネス・露出などのパラメータ

-1 は自動または無効を表すが、手動で値を設定する場合は各カメラのマニュアルに基づき、細心の注意を払って設定すること。

3. 2. VVVRecognitionComp (作業対象物認識 RTC)

3. 2. 1. 機能概要

ステレオ画像データを用いてエッジベースの3次元形状復元を行い、IDによって与えられた対象物体のエッジモデルと照合することで、その物体の3次元位置・姿勢を推定する。

3. 2. 2. 動作環境

本知能モジュールの動作環境は以下の通りである。

動作 OS	Ubuntu 10.04 LTS (x86)
開発言語	C, C++
コンパイラ	gcc-4.4.3
RT ミドルウェア / バージョン	OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE (C++)
依存パッケージ	freeglut-2.4.0

3. 2. 3. ポート情報

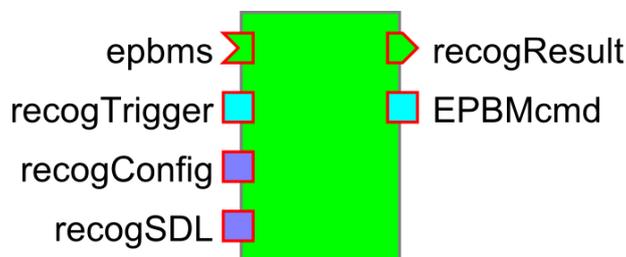


図 4 作業対象物認識 RTC

A) データポート (InPort)

名称	型	データ長	説明
epbms	TimedEPBM	1	ステレオ画像データ

B) データポート (OutPort)

名称	型	データ長	説明
recogResult	TimedDoubleSeq	20*n	認識結果 (共通形式)

C) サービスポート (Provider)

サービス名	インターフェース名	説明
recogTrigger	RecognitionService	認識トリガ入力
recogConfig		(未実装)
recogSDL		(未使用)

D) サービスポート (Consumer)

EPBMcmd: EPBMsource に接続し、認識時に画像撮影を行うためのトリガを出力する。

3. 2. 4. 入出力データフォーマット

認識結果出力共通形式 (要素数: $20 \times n$):

カメラ ID	物体 ID	認識候補 No	座標系 No
認識確度	エラーNo	予備 1	予備 2
r000	r001	r002	t0x
r010	r011	r012	t0y
r020	r021	r022	t0z
カメラ ID	...		

座標系 No: 0: カメラ座標系 1: ロボット座標系 2: 世界座標系

認識確度: 0-1

$R_n = (r_{nij})$, $\mathbf{t}_n = (t_{nx} \ t_{ny} \ t_{nz})^T$ はモデル座標系から認識座標系への座標変換行列とする。

$$(\text{認識座標系}) = R_n (\text{モデル座標系}) + \mathbf{t}_n$$

3. 2. 5. サービスポート I/F 仕様

(1) RecognitionService

(a) void setValue(in long ModelID)

関数名	setValue			
引数	名称	型	I/O	説明
		ModelID	Long	入力
戻り値	値			説明
	なし			
説明	ID によって指定した物体の 3 次元位置・姿勢を推定し recogResult データポートから共通形式で出力する。			

3. 2. 6. 設定ファイル

本モジュールは起動時にモジュールと同じディレクトリにある以下の設定ファイルを参照する。

- models.txt (モデル ID・モデルデータ設定ファイル)
- pebsterio.opt (エッジベース 3 次元形状復元調整用パラメータ)
- lcmmatch.opt (LCM モデルマッチング調整用パラメータ)
- stillcmmatch.opt (自由曲面 STL モデルマッチング調整用パラメータ)

models.txt はモデル番号、対応するデータファイル名を並べた以下のような内容である。

```
1 can.LCM
2 box.LCM
5 duck.stl80
:
```

ID は 1 番以降が設定でき、連続している必要は無い。続けて通常の LCM モデルならファイル名を、STL 由来のモデルなら上記のように stl と視点数を記述する。

*.opt ファイルの内容は以下のオプション文字列をスペースまたは改行で区切って並べたものである。

pebstereo.opt:

- Iepbm -Olc: 必須オプション
- W: カメラが 3 台の場合
- B: カメラが 2 台の場合
- RGB: カラーカメラの場合
- EAt #: エッジの閾値。小さいほど多くのエッジを検出する。デフォルト値は 150。
- CDN #: 検出可能なカメラからの最小距離(mm)。デフォルトは範囲を決めない。
- CDF #: 検出可能なカメラからの最大距離(mm)。デフォルトは範囲を決めない。

lcmmatch.opt:

- C: 必須オプション
- A #: 対応点間の 3 次元距離(mm²)。デフォルトは 25.0。
- b: 画像を用いた結果の検証を行う

stllcmmatch.opt:

lcmmatch.opt のオプションに加えて、以下が設定できる。

- v #: モデル作成時と計測時の観測方向の角度差。この値により候補を削減する。小さいほど計算量が少なくなるが、精度が落ちる。
デフォルトは全候補。
- re #: 画像に投影して結果を検証する候補数。デフォルトは 50。
- Re #: 投影して結果を検証するカメラ数。デフォルトは 1。
- f #: 三角パッチモデル上での最大トレース数。モデルの細かさに依存。
デフォルトは 1000。

3. 3. VVOverlayComp（認識結果重畳表示 RTC）

3. 3. 1. 機能概要

ステレオ画像データと認識結果データを用いて、推定された対象物体のモデルを 1 台目カメラ画像上に合成した確認用画像を出力する。

3. 3. 2. 動作環境

本知能モジュールの動作環境は以下の通りである。

動作 OS	Ubuntu 10.04 LTS (x86)
開発言語	C, C++
コンパイラ	gcc-4.4.3
RT ミドルウェア / バージョン	OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE (C++)
依存パッケージ	特になし

3. 3. 3. ポート情報

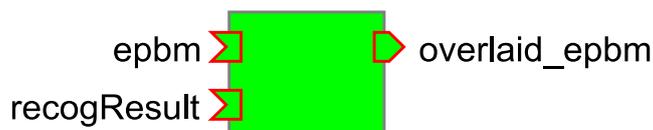


図 5 認識結果重畳表示 RTC

A) データポート (InPort)

名称	型	データ長	説明
epbm	TimedEPBM	1	ステレオ画像データ
recogResult	TimedDouble	20*n	共通認識結果データ

B) データポート (OutPort)

名称	型	データ長	説明
overlaid_epbm	TimedEPBM	1	認識結果重畳画像データ

C) サービスポート (Provider)

サービス名	インターフェース名	説明
なし		

D) サービスポート (Consumer)

なし。

3. 4. VVVDisplay2DComp (画像表示 RTC)

3. 4. 1. 機能概要

データポートより入力された画像データをディスプレイに表示する。

3. 4. 2. 動作環境

本知能モジュールの動作環境は以下の通りである。

動作 OS	Ubuntu 10.04 LTS (x86)
開発言語	C, C++
コンパイラ	gcc-4.4.3
RT ミドルウェア / バージョン	OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE (C++)
依存パッケージ	freeglut-2.4.0

3. 4. 3. ポート情報

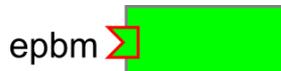


図 6 画像表示 RTC

A) データポート (InPort)

名称	型	データ長	説明
epbm	TimedEPBM	1	ステレオ画像データ

B) データポート (OutPort)

名称	型	データ長	説明
なし			

C) サービスポート (Provider)

サービス名	インターフェース名	説明
なし		

D) サービスポート (Consumer)

なし。

4. 特記事項

本モジュールをご利用される場合には、以下の記載事項・条件にご同意いただいたものとします。

- 本モジュールは独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」内実施者向けに評価を目的として提供するものであり、商用利用など他の目的で使用することを禁じます。
- ドキュメントに情報を掲載する際には万全を期していますが、それらの情報の正確性または利用者にとっての有用性等については一切保証いたしません。
- 利用者が本モジュールを利用することにより生じたいかなる損害についても一切責任を負いません。
- 本モジュールの変更、削除等は、原則として利用者への予告なしに行います。また、止むを得ない事由により公開を中断あるいは中止させていただくことがあります。
- 本モジュールの情報の変更、削除、公開の中断、中止により、利用者が生じたいかなる損害についても一切責任を負いません。

【連絡先】

独立行政法人 産業技術総合研究所
知能システム研究部門 タスクビジョン研究グループ
河井 良浩
email: irtsp-vvv@m.aist.go.jp