高性能画像処理による獣害対策･地図データ処理の高度化プロジェクト

プロジェクト代表者：理工学部・教授　泉 知論

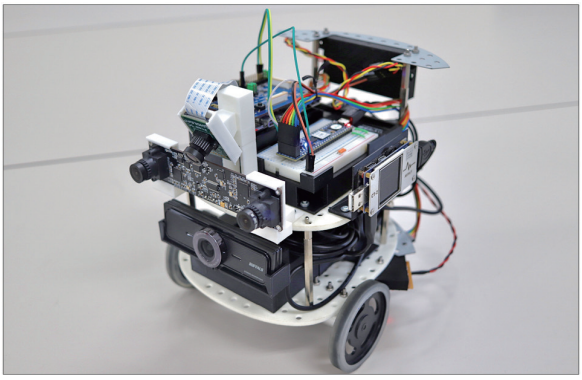
高性能画像処理による獣害対策・地図データ処理の高度化について、今年度は自律巡視車の地図処理の高度化について注力した。

【プロジェクトの背景と目的】

我々は、画像処理、機械学習、コンピューター、組込みシステムなどの技術を応用し、監視カメラの高度化について研究開発を進めている。これまで、不審者判定・発報、不審行動の判定、害獣の認識、痕跡の分析、顔画像による属性推定、顔画像の超解像、などについて研究開発を進めてきた。これらは、固定型の監視カメラを念頭に、人災・獣害の原因となる対象物を自動認識しようとするものである。一方で、固定型のカメラで複雑に入り組んだ広い範囲を監視しようとすると、多数のカメラを要し、死角もできてしまう。監視カメラにロボティクスの技術を応用し、自律移動して巡視するロボットカーが実現できれば、これらの問題に対応することができる。そこで、我々は自律巡視車のコンピューティングプラットフォームと既知詳細地図に基づく自律移動アルゴリズムについて研究とシステム開発を進める。

【成果概要】

独自の自律移動ロボットカーのプロトタイプを開発した。図にその写真を示す。現状では、外界の認識のために 4 つのカメラと車輪回転センサ、慣性センサなどを搭載し、差動二輪で移動する。組込みプロセッサとプログラマブルロジックを搭載した電子基板を搭載し、ロボットカー上での情報処理により自律移動する。電源としては大容量のリチウムイオン電池を搭載している。



図：自律巡視ロボットカーのプロトタイプ

このロボットカー上に地図作成照合と自律移動アルゴリズムを実装し、ミニチュアコースを試験走行させた。使用したミニチュアコースを図に示す。ミニチュアコースは一般的な道路の路面を模したもので、工事用の柵やコーンなどの障害物、信号機、歩行者を模した人形などを配置している。開発したプロトタイプは、未知の障害物を回避して交差点右左折を含む数周の巡回コースを走行することができた。しかし、現状では完走率は低く、また信号や人物の認識には至っていない。今後は、地図作成照合をよりロバストなものとし、指示した巡回路の完走

率をあげていくとともに、信号や表示の認識、人物の認識などに挑戦していく。

図：ミニチュアコース

想定される環境と制約条件

自動運転の適用対象は課せられる制約条件を考慮して次のように分類できる。

専用工場・倉庫等：ロボット向けに環境を整え管理することができる、ロボットにとって最も容易な環境。対象領域の詳細な地図を予め作成し保存しておくことができ、さらにロボットの外界認識の手助けとして、位置や対象物を示すマーカーやビーコンなどの補助装置を敷設することもできる。ロボットが移動しやすいように路面を整え、原則、不測の障害物はなく人間はロボットに併せて行動するよう指示される。

屋内・構内巡視：ロボット向けの環境ではないが、対象領域の詳細な地図を予め作成し保存しておくことができ、人間優先ではあるが補助装置を敷設することもできる。本来は人間向けの環境であるため、移動領域の状態、表示物、外界への操作は人間と同様に対応する必要がある。未知の障害物を想定しなければならず、夜間の寺社であれば原則人間不在を前提とすることもできるが、昼間の参拝客など不特定の人間が介在すると難度は非常に高い。

一般道路：人間の環境にロボットが対応しなければならない。カーナビのような大まかな地図は与えられるが、詳細な情報は未知でさらに時々刻々と変化する。補助設備は期待できず、不特定多数の障害物や人が介在し不測の事態が頻発する。

災害時支援、未踏地探査：全くの未知環境で外界を認識、状況を判断、行動を決定し、全く整備されていない領域を走破しなければならない。

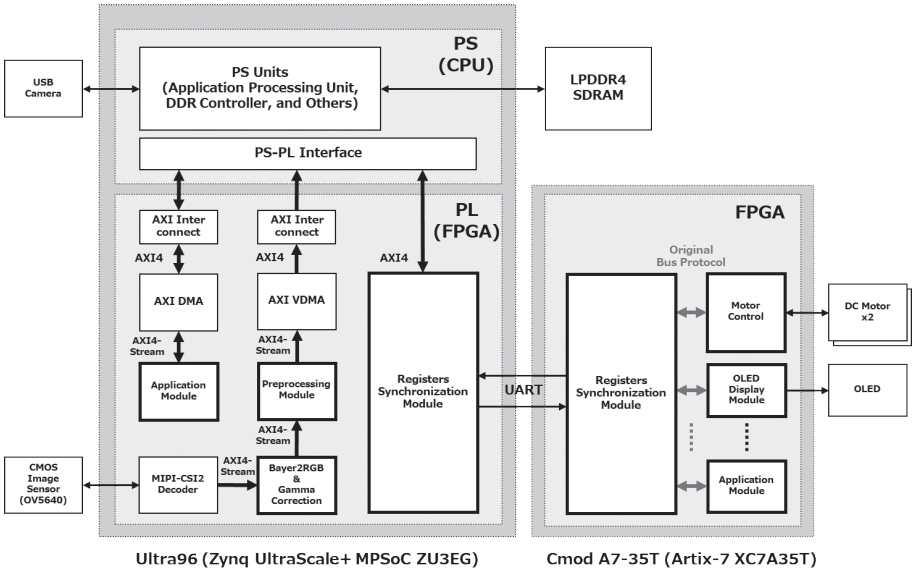
このなかで、歴史都市防災の監視カメラ目的としては、屋内・構内巡視のケースが環境として想定される。

コンピューティングプラットフォーム

情報処理システムを構築するにあたって、その礎となるコンピューティングプラットフォーム（計算環境）を選択する必要がある。まず、必要な情報処理を物理的にどこで行うのか、の判断を要する。ロボットそのもので処理する、またはロボットから無線通信でカメラやセンサの情報をサーバ計算機に送りそこで処理して結果をロボットに送り返す、あるいはさらにクラウドセンタに送ってそこで処理する、の選択肢が考えられる。情報処理をロボット外に送って処理をすることで、ロボット自身の計算機能・能力・バッテリ負担の削減をはかることができる。一方で、カメラやセンサの情報を送って素早く状況に対応するために、広帯域・低遅延の

無線通信が必要となる。これが逆に重量増加やバッテリ駆動時間減少の要因ともなりうる。また、無線通信は必ずしも安定確実なものではなく、一時的な遅延や切断が起こることを想定してシステムのグランドプランを設計しなければならない。そのため、最低限の自律移動能力はロボット車体上で実現する必要がある。一方で、既知詳細地図の作成、認識対象物の学習、およびシステムの設計は今期導入した高性能計算機上で事前にオフラインで行う。また高度な認識分類判断や大規模データベースとの照合はロボットカーから高性能計算機にデータを転送して実行することも計画している。

巡視領域がロボット向けに整備された環境でなければ、ロボットは人間と同様に主に視覚で外界を認識しなければならない。カメラ画像を用いた自律移動には基本的な画像処理に加えて、特徴点抽出、環境地図作成、既知地図との照合、自己位置推定、障害物認識、経路生成、経路追従などの処理が必要となる。これらは計算負荷が高く、一般的な組込みプロセッサでは数 fps（フレーム毎秒）程度の処理速度となってしまい、充分な移動速度を確保できない。そこで我々はプログラマブルロジック（再構成可能論理素子）を活用したコンピューティングプラットフォームを構築し、その上でソフトウェアモジュールとハードウェアアクセラレータを連携させたシステムを開発する。図に我々のプラットフォームを示す。



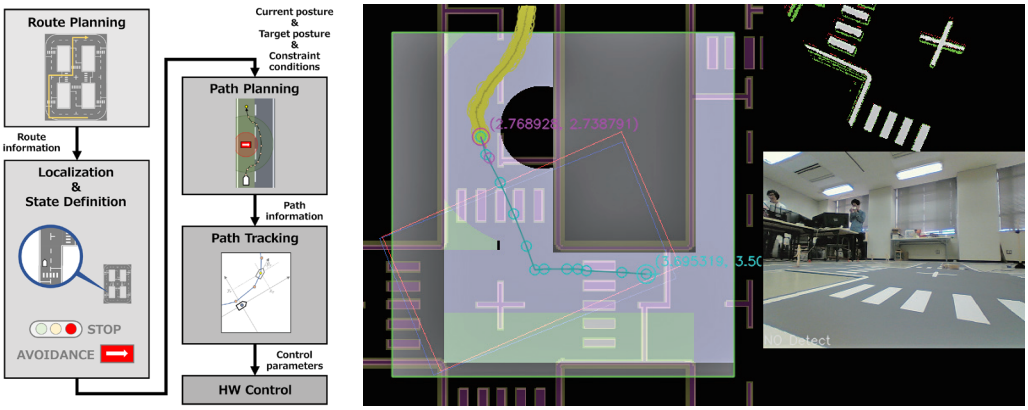
図：自律移動ロボットカーのコンピューティングプラットフォーム

主となる計算デバイスとして Xilinx 社の All Programmable SoC である Zynq を搭載した Avnet 社 Ultra96 を搭載する（図左）。Zynq は、Arm 組込みプロセッサとプログラマブルロジックが同一チップ上に搭載された LSI であり、ソフトウェアとハードウェアアクセラレータの密な連携を可能とする。この Arm 上で（図左上）Linux オペレーティングシステムを走らせて、汎用的な計算環境を確保する。プログラマブルロジック側（図左下）にはカメラを接続し、カメラの制御とフロントエンドの画像処理をロジック側で行うことにより、計算の高効率化をはかる。ほか、画像処理・認識処理の高負荷な部分をロジック側にオフロードすることもできる。さらに、モーター制御や各種センサ類との接続のため Xilinx 社の FPGA（Field-Programmable Gate Array）を搭載した Digilent 社の Cmod A7 を搭載する（図右）。Cmod A7 は比較的小容

量低性能だが、外部と接続可能なピンを多数装備しており、低速な制御系のモジュールを担当する。

地図作成照合と自律移動アルゴリズム

自律移動システムはその抽象的な階層に沿ってモジュール化している。自律移動の処理の流れ／モジュール構造を図に示す。左上から、まず与えられた巡回路に沿って中間目標点の系列を生成する順路計画（Route Planning)、外界の情報から環境地図を作成し既知地図と照合して位置を推定する自己位置推定（Localization)、外界の情報から障害物、信号標識、人間などの有無を判断し対応行動を決定する状態定義（State Definition)、障害物や人間を回避しつつ順路に沿った詳細経路を生成する経路計画（Path Planning)、生成された経路に沿って移動するよう車輪モーターを制御する経路追従（Path Tracking）の処理からなる。



図：自律移動の処理の階層・流れと実行の様子

今年度は、車輪回転から移動距離と方向を推定する車輪走行計とカメラ画像から特徴点を抽出して既知地図とのマッチングを行う画像走行計を粒子フィルタでセンサ統合した自己位置推定モジュールを開発した。さらに、サンプリング型の最適化経路生成手法である Informed-RRT* を用いた経路生成モジュールを開発した。経路追従は、素直なフィードバック制御である Pure Pursuit アルゴリズムを用いている。これら処理の様子を図右に示す。図は開発の際の評価調整用の画面であり、右下が入力されたカメラ画像、右上はカメラ画像を射影変換して特徴抽出したもの（緑）と既知詳細地図（白）とのマッチングの様子、左は発見した障害物から進入禁止領域を設定し経路を生成している様子である。