

C08 被災建物内探索用兄弟型レスキューロボットの開発

-アドホックネットワーク環境下における複数台遠隔操縦のためのソフトウェアデザイン-

Development of grouped rescue robot platforms for information collection in damaged buildings

-Design of software for remote operating of plural robots under ad-hoc network-

○正 亀川 哲志 (岡山大)

佐藤 徳孝 (電通大)

正 松野 文俊 (電通大)

藤田 祥 (東大)

島 慶一 (IIJ 技術研究所)

宇夫 陽次朗 (IIJ 技術研究所)

Tetsushi KAMEGAWA (Okayama Univ.), Noritaka SATO (UEC), Fumitoshi MATSUNO (UEC)

Sho FUJITA (Tokyo Univ.),

Keiichi SHIMA (IIJ),

Yojiro UO (IIJ)

Key Words: Mobile robot platform, Grouped robot, Rescue robot, Ad-hoc network

1. はじめに

近年のレスキューロボット開発の推進により、これまでに様々なレスキューロボットの研究・開発がなされてきている¹⁾。今後、レスキューロボットが実社会で運用可能なシステムとなるように、さらに改良をすすめていく必要がある。本研究では、特に「被災建造物内移動 RT システム」としてレスキューロボットを構築することを目指す²⁾。ここで、被災建築物とは自然災害あるいは人的災害により被害を受けた建築物であり、建物自体は完全に倒壊しきっていないが 2 次災害の危険性があるため、レスキュー隊員などが内部を調査するには非常な危険がともなう状態であるものとする。具体的には、地下鉄・地下街やビルなどの閉鎖空間を想定している。このような環境下において、人間の代わりに内部に進出して建造物の被災状況や要救助者の有無を調査するための RT システムの開発を目指す。

本研究では、実際に運用可能なシステムを構築するための指針として、下記の要求を満たすロボットの開発を目指している。

1. 複数のロボットが地下鉄 (含改札)、地下街、高層ビルなどの閉鎖空間 (階段、ドアを含む) において、障害物の回避・乗り越え・軽量物の排除を行いながら、迅速に歩く人間と同程度の平均速度で、半自律走行できる、移動体技術の開発。
2. 1 台の会議机に 15 分以内に設置可能な軽量簡易型のインタフェースで、オペレータが複数ロボットの周囲環境を認識でき、複数ロボットの同時遠隔操作 (移動行動司令) ができる、ヒューマンインタフェース技術の開発。
3. 建物内のロボット群から 700 m 以上離れたオペレータステーションに、遠隔操作映像を含むセンシング情報を遠隔操縦に必要十分な情報を適切に伝送できる、通信技術の開発。
4. 複数ロボットの走行経路をモニタリングし、複数の映像を含むセンシング情報を GIS (Geographic Information System) 上にマッピングできる測位技術と GIS 技術の開発。

我々はこれまでに被災建物内を調査・探索するための兄弟型レスキューロボットシステムを開発している³⁾。提

案システムでは、兄ロボットが移動ロボットのための無線通信インフラを構築し、その中で複数台の弟ロボットが探索活動を行うシナリオになっている。しかしながら、兄ロボットが構築するアドホックネットワークは通信の帯域等に制限があるため、これらを考慮したシステム構築やデータ転送を実装する必要がある。そこで本稿では、特に上述の 2 と 3 に関連するシステムとして、帯域の制限されたアドホックネットワーク環境下において、複数台の移動ロボットのデータを取り扱うための手法を提案し、そのシステムアーキテクチャについての詳細を述べる。

2. システムデザイン

2.1 システム構成

本研究においてシステム全体は、移動ロボットの筐体とそれに付随する機器 (カメラ・無線ルータなど) を含む「ロボット部」、アドホック無線ネットワークを構成するアクセスポイントからなる「ネットワーク部」、GIS や操作コンピュータを含む「オペレータ部」から構成される。ロボット部はさらにセンサ・アクチュエータの制御を行う「ロボットコントロール」 (以後 R と呼ぶ) とネットワークの制御を行う「ネットワークコントロール」 (以後 N と呼ぶ) とに分けられる。

R と N の連携処理としては大きく、1) ネットワーク部の状態を要約してロボットコントロールへ通知、2) ロボットコントロールの送信データを優先順位を考慮しながら配送、の 2 つが上げられる。

2.2 ロボットコントロールの振る舞い

ロボットコントロール R は、オペレータからの指示による「操縦モード」や「センサやネットワーク状況」などの外部からの通知を受けて「動作モード」と「通信パラメータ」を変更し、自分の振る舞いをロボット部、オペレータ部、ネットワーク部の変化へ適応させる。

「操縦モード」は、フルマニュアル (ジョイスティックで速度指令、目標位置逐次指令)、セミマニュアル (目標経路指定、目標方位指定) フルオート (左手法などによる自動巡回) があり、さらに特殊操作として、ロボットアームの操作、階段昇降がある。各モードのパラメータとして、クローラ目標速度やロボットの目標位置、または方位や経路がロボットへ与えられる。さらに、オペ

レータのフォーカスがそのロボットに当たっているのかといった状態や、オペレータの要求する画質やFPSの取りうる値を決めるプリセットなど複数のメトリックを総合した変数となる。

ロボットの「動作モード」は、Full spec（平坦でかつ障害がない状況）、Limited（障害物までの距離が近い、傾斜がある、ネットワーク状況に制限がある）、Stop（障害物接触、転倒寸前、通信断裂）、Uncontrol（スタック、転倒、電池切れ、故障）、に分別される。Full spec ではロボットはオペレータの指示の通りに動作する。Limited ではロボットの速度あるいは可動範囲（経路あるいはアーム角度）、ロボットの配信する動画の画質やFPSに制限が生じる。Stop ではロボットは移動や通信を停止する、あるいは直前の状態に戻すようにする。Uncontrol ではロボットは自発的に動作できない。

「通信パラメータ」は、動作モード内のプリセット内で定義される具体的な設定でありRのミクロな振る舞いを変える。主にオペレータによって明示的に変更される「動作モード」とは異なり、Nからの指示を元に自動的に（暗黙的に）定義域が変更される。オペレータはRへ希望値を要求することは出来るが、希望値が定義域をはみ出さないように実際のパラメータは決定される。

2.3 ロボット部から発信されるデータ

ロボット部から送信されるデータは大きく分けて、

- 即時送信
一定時間内に相手に到着することが期待されるもの（普通のパケット）
- 遅延送信
大きな時間が掛かってもいいので最終的に相手に届くもの

に分類される。またこれらとは別に、ロボットシステムの状態を知らせるための定期送信パケット（ハートビートパケット）が定義される。

2.3.1 即時送信

ロボットの操縦でリアルタイム性が要求される場合、ロボットの各センサー状態等を即時送信で送る。特に、オペレータからのフォーカスがあたっていて、操縦モードがフルマニュアルの場合がこれに相当する。

送信されるデータは、ロボットの内部パラメータ（ID、タイムスタンプ、IPアドレス）、ロボットに装備されているセンサのデータ（LRF、姿勢センサ、ポテンショメータやエンコーダ）、またカメラからの動画配信である。

動画配信はその他のデータと比べてデータサイズが特に大きいので、とりわけ注意が必要となる。提案システムのロボットには、最大で3台のカメラが搭載される。ある瞬間にロボット操縦に直接必要ではなくネットワーク状態が悪い場合には、そのうちの何台かが無効にされることがある。また、あるカメラから配信される動画の解像度やFPSといった品質は、動作モードと通信パラメータの両者の作用により自動調整される。

2.3.2 遅延送信

遅延送信では、データはネットワーク部に余裕があるときに送出され、アドホックネットワークを構成する無線機器を順次経由してオペレータ部に届く。想定されている遅延可能データは、位置情報付き静止画データ、ロボットコントロールとネットワークコントロールのログ、記録として利用するため実時間性が要求されない動画（操縦に必要な情報としてではなく、現場の状況を後で伝え

るためのものとして）、ログとして保存したLRFのデータ（上に同じく、あとで状況を確認するものとして）、などが挙げられる。

これらのデータの送信タイミングはロボットコントロールが決めるのではなく、ネットワークコントロールがネットワーク部の状況をモニタしながら決める。現在、以下のようなAPIが考えられている。

1. ロボットコントロールは遅延可能データを特定のディレクトリに次々に置いていく
2. ネットワークコントロールはネットワーク部の負荷が少ない場合に、FTPやSCPを使って1ホップ毎にデータをオペレータ部に向かって送る。1ホップ毎に送るのは、1ホップであれば各ノードがその利用状況をかなり正確に把握出来るためである。
3. ネットワークコントロールは無事送信が完了したデータをディレクトリから削っていく

2.3.3 ハートビートパケット

ハートビートパケットは、ロボットとオペレータ側のシステムの通信が確立していることを定期的に確認するために用いられる。ハートビートパケットには、必須の情報として、System ID (Robot 固有の識別子)、TimeStamp (Robot の内部クロックに基づいたローカルタイムスタンプ)、Seq# (送信されるたびにインクリメントされるカウンタ値) が含まれている。受信側はハートビートパケットの中身を見ることができ、さらにパケットの消失やパケット到着間隔といった情報を推測することができる。ハートビートパケットは、1[Hz] 程度の間隔で送信される。

また、数値であれば複数の項目をハートビートパケットに相乗りして送信することもできる。システムの状態を監視する用途として簡易かつ実装の信頼性が高いので利用を検討している。例えば、計算機システムの状態や、ロボットの状態を示すセンサデータをハートビートパケットに入れ込むことが考えられる。

3. おわりに

今後は、本稿で示した指針にしたがってシステムを実装する予定である。また、オペレータ部との連携も考慮して実装する必要がある。

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）による「21世紀ロボットチャレンジプログラム」の一環である「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」により実施されています。

参考文献

- 1) 国際レスキューシステム研究機構：“文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト、被害者救助等の災害対応戦略の最適化 レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発”，第五回国際シンポジウム論文集（2006）
- 2) NEDO 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト，<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p06023.html>
- 3) 亀川哲志，西改健太，鈴木慎二郎，大村誠司，堀切剛，佐藤徳孝，真野隼人，水本尚志，松野文俊：“被災建物内探索用兄弟型レスキューロボットの開発”，第8回（社）計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集，3H2-5，（2007）