

平成 15 年 戦略的基盤技術力強化事業
研究開発成果報告概要

事業管理 法人名	株式会社 アイヴィス	代表者名	代表取締役 石和田 雄二	所在地	〒113-0033 東京都文京区本郷三丁目 6 番 6 号 Tel : 03-5800-0780
-------------	---------------	------	-----------------	-----	--

管理番号
15R-3

技術分野
技術区分

ロボット部品分野
危険作業代替分野

生活支援分野

技術開発課題

画像認識関連技術

1 . 認識・提示の高精度化技術 2 . 認識・提示の高速化技術

3 . カメラ等ハードウェアの小型・軽量化技術

テーマ名 「屋外作業ロボットの操縦・監視用画像伝送・認識技術に関する研究開発」

研究開発期間 平成 15 年 8 月 1 日 ~ 平成 16 年 2 月 5 日

1 . 委託事業実施の背景と委託事業の概要

屋外作業ロボットの制御分野においては、最近の自立歩行など自律制御技術の目覚ましい進展にもかかわらず、人間による操縦・監視は不可欠なものとされている。それは、実用性を考慮すると認識技術や自律制御技術がオペレーター操作に及ばず、ロボットの強力な出力を安全確実に制御するためには、いまだ人間による操縦や監視を必要とするからである。そして、最近ではオペレーターの安全、作業環境向上の観点から、危険地帯や厳しい作業環境での屋外作業において、遠隔操縦技術の導入が進みつつある。しかしながら、その屋外作業ロボットの遠隔操縦分野において、これまで遠隔操縦・監視に特化した画像伝送、認識技術の研究は、あまり行われてこなかった。その為、遠隔操縦に適した経済的な視覚システムは存在していないのが現状であり、次のような課題を抱えている。

- イ) ロボット搭載カメラ映像の伝送遅延
- ロ) 同時利用可能な映像伝送チャンネル数の制限
- ハ) 伝送映像の視野角の制限
- 二) 地形、障害物による無線伝送電波の寸断

本研究開発では、上記の課題を解決し、人間があたかもその場にいるような臨場感あふれる映像を獲得し、屋外操作ロボットの遠隔操縦をより安全に、より効率よく実施することを目的として、次世代の遠隔操縦・監視用画像伝送・認識技術を開発する。

2 . 委託事業全体の内容と目標

(1) 技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

技術の内容

本委託事業の研究開発内容は、大きく次の 3 つのテーマに分けることができる。

ロボット搭載のカメラシステムからの映像を、遅延なく、かつチャンネル数の制限無く利用できるようなための無線画像伝送技術開発として

イ) 独自のアルゴリズムによる超小型・多チャンネルデジタル無線画像伝送装置の開発

伝送映像の視野角の制限による課題を克服するため、伝送された画像を、臨場感あふれる映像として高速・高精度に表示する技術開発として

ロ) リアルタイムでマルチカメラの画像を合成し、超広角視野で表示する装置の開発

地形、障害物による無線伝送電波の途切れ問題を解決し、安定したロボット遠隔操縦を実現するための技術開発として

ハ) 2.4GHz モバイルリピーターの開発

である。

技術の新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

本項目以降は、上記 3 つのテーマごとに記載する。

イ) 独自のアルゴリズムによる超小型・多チャンネルデジタル無線画像伝送装置の開発

現状 2.4GHz 帯を利用した一般的な無線画像伝送技術は、MPEG や JPEG といった圧縮技術を利用したデジタル伝送方式が主である。この場合、伝送速度と画像解像度はトレードオフの関係にあり、きれいな画像を送ろうとすると、速度が遅くなり、高速で送ろうとすると、画像が荒くなる傾向がある。しかも、無線

伝送帯域の制限により、干渉無く遅れる画像のチャンネル数は3～4チャンネルが限界である。

本研究開発では、圧縮技術を使わない非圧縮デジタル伝送方式を採用することにより、高解像度画質でありながら、高速伝送を可能とする。また、変調多重化方式に、携帯電話でも採用されているCDMA技術を導入することにより、3～4チャンネルしか伝送できない映像チャンネルを一気に100チャンネルまで多チャンネル化する。

この技術は、ロボットの遠隔操縦用途のみならず、一般的なデジタル画像伝送技術分野全てに影響を及ぼす新技術であり、日本の無線画像伝送技術分野全体の技術基盤を強化するものである。

本技術を実現するために必要な非圧縮デジタル伝送技術と、CDMA実現のためのキーデバイスであるSAWコンポジットの特許は、どちらも本委託事業のコンソーシアムメンバーである、株式会社アイデンビデオテクノクスが有しており、研究開発後も長期に渡って技術的優位性を保持することが可能である。

ロ)リアルタイムでマルチカメラの画像を合成し、超広角視野で表示する装置の開発

複数カメラ画像を合成する技術は、いろいろな学術機関、企業で研究されているが、現在の技術は、その処理時間に問題がある。通常は、現状最高速なパソコンを利用したとしても、1秒間に数フレームの処理速度が限界であり、なめらかな動画像を表示するには至っていない。

特に遠隔操縦で映像装置を利用する場合は、その安全性、作業効率の問題から画像伝送遅延も含めて0.15秒以上の遅延は許されないのが現状である。そのため、本研究開発では1秒間に20フレーム以上の滑らかな動画像を、50ms以内で合成処理するために専用のハードウェア、独自のアルゴリズムを開発する。

その点において、本研究開発は、画像処理の高速化に大きな改善性を有するものである。また、本技術開発を担当するコンソーシアムメンバーの株式会社サイヴァースは、ステレオカメラによる画像合成認識技術分野において、米国カーネギーメロン大学の研究成果と独自の特許を有しており、開発後も十分優位性を確保できる技術を有している。

ハ)2.4GHzモバイルリピーターの開発

一般的に2.4GHz帯の電波を利用した無線通信においては、その電波の性質上見通しのある場所ではしか通信が出来ず、また電波法の出力制限により、せいぜい数百メートルまでしか電波が届かない。そのため現状の建設機械の遠隔操縦現場においては、その不便を解消するために、電波を中継する2.4GHzリピーターを設置したり、40GHz帯のミリ波を利用した簡易無線装置を利用したりしている。

しかし、これらの中継装置は一般に電源、設置工事を含めて高価であり、また無線局免許が必要なものもあり、決して使いやすいものではない。本研究開発の成果として、臨場感あふれる高性能な遠隔操縦環境が実現できたとしても、ちょっと岩場に隠れただけで制御できずにロボットが立ち往生してしまうようであると、実用面で利用できないものになってしまい、利用できる現場も非常に限定されてしまう。特に、災害発生時などの非常事態時には、中継装置の工事などをやってられない場合も多い。

この解決のため、大掛かりな設置工事を必要とせず、設定フリーで簡単に現場に設置できる中継装置を開発する。設置工事が不要で、動作環境の設定すらフリーということで、工期の大幅な短納期化、低コスト化を実現する改善性を有しており、この技術は屋外ロボットの遠隔操縦用途のみならず、屋外での無線伝送技術分野に広く貢献できる技術である。

本研究開発を担当するコマツでは、建設機械の遠隔操縦システムに研究開発成果であるモバイルリピーターを導入する予定であり、実際のユーザーとしての実務で得られるノウハウをフィードバックしながら、開発、改良してゆけるといって、技術優位性も十分保ってゆける見込みである。

(2)技術目標値

イ)独自のアルゴリズムによる超小型・多チャンネルデジタル無線画像伝送装置の開発

同時に利用できる無線チャンネル数を100チャンネル以上確保

無線画像伝送装置のサイズを50×90mm以下

伝送画像解像度が640×480ピクセル時に画像伝送遅延時間が50μs以下、フレームレート30fps

ロ)リアルタイムでマルチカメラの画像を合成し、超広角視野で表示する装置の開発

3台以上のカメラのNTSC信号を、合成遅延時間50ms以内で合成・出力、フレームレート30fps

ディスプレイ表示視野角 水平180°以上、垂直90°以上

複数のパノラマ映像による実時間でのステレオ画像処理、フレームレート10fps以上での距離画像出力(画像サイズ160×120画素時)

ハ) 2.4GHz モバイルリピーターの開発

マルチホップ機能(4ホップ以上)を有し、ダイナミックルーティングが可能なこと
特別な設定無しに、ネットワーク形成が可能なこと

3. 委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

イ) 独自のアルゴリズムによる超小型・多チャンネルデジタル無線画像伝送装置の開発

[課題]

同時に利用できる無線チャンネル数を100チャンネル以上確保

無線画像伝送装置のサイズを50×90mm以下

伝送画像解像度が640×480ピクセル時に画像伝送遅延時間が50μs以下、フレームレート30fps

[解決方法]

符号による多元接続(CDMA)を構成する際、特に受信部の高速符号相関器(SAWコンボルバモジュール)における単体デバイスの量産化、即ち微細加工設備の確保が課題として残っている。量産時のデバイス評価機器は、電子計測器の購入する事で解決、一方微細加工装置関連では、高額かつ設置場所が無い為、SAWデバイスを製作・販売を行っているメーカーを外注として活用し製作を依頼、OEM供給とする。当デバイス単体に関する研究・試作・評価等は、東北工業大学山之内和彦教授の研究室を活用する。

電子回路のチップ化、ASIC化により小型化する。

アナログ映像信号をデジタル量子化すると情報量が増えて一般に圧縮するが、独特のアルゴリズムを用いて非圧縮デジタル化を行う。これにより伝送遅延を防ぎ、伝送スピードを維持し、画質を劣化させない。

ロ) リアルタイムでマルチカメラの画像を合成し、超広角視野で表示する装置の開発

[課題]

リアルタイムでのマルチカメラ画像合成の実現

ステレオ処理の処理速度と距離画像の解像度160×120画素を実現

[解決方法]

専用ハードを開発し、画像合成を高速に行う

合成処理を専用ハード内で完結させ、PC等の他の装置に演算負担を掛けない

画像取り込み、マルチカメラ合成、画像出力を専用ハードで一括して行う

カメラ画像毎に複数の並列合成処理演算器を持つことにより高速同時処理を実現する

演算精度と高速処理のバランスが取れた適切なアルゴリズムを採用する

アルゴリズムはシミュレーションを通して検討開発する

[課題]

膨大な計算を要するステレオ処理の処理速度

[解決方法]

途中演算処理結果を再利用することにより、全体の演算処理量を削減する

精度の高い画像補正処理を行い、安定してステレオ処理が実現出来るようにする

ステレオ処理の基本演算(幾何補正、マッチング、距離探索)に対し並列処理化を行い、高速化を実現する

上記演算処理に最適なメモリデータ構造を開発し、設計実現する

ハ) 2.4GHz モバイルリピーターの開発

[課題]

マルチホップ通信環境下の情報伝達遅延の最小化

映像のようなストリーミングデータの、マルチホップ通信環境下における伝送遅延

動的ネットワーク形成における、個々の通信固体(ノード)の識別符号付与方法

[解決方法]

専用ハードを開発し、ルーティング処理と画像伝送処理を高速に行うようにする

ストリーミングデータ通信用の無線回路と、マルチホップルーティングコントロール用無線通信回路を別系統とする

ブロードキャスト通信を利用して隣接ノードを認識し、ノード固有の識別符号を自動設定するアルゴリズムを新規開発する

4. 当該年度における技術目標値の達成の状況と意義（実績）

イ) 独自のアルゴリズムによる超小型・多チャンネルデジタル無線画像伝送装置の開発

当該年度の技術目標値は、次の通りである。

伝送画像解像度 640 × 480 ピクセルを確保し、伝送遅延を 50 μs 以下、フレームレート 30 fps を実現する。

100チャンネルタイプの前段階として4～5チャンネルタイプの画像伝送装置を開発する。
CDMA化に必要なSAWコンボルバモジュールの開発

伝送画像解像度 640 × 480 ピクセルを確保し、伝送遅延を 50 μs 以下、フレームレート 30 fps を実現する。

- ・ 遅延を起こさせないという基本性能を確保するために他の画像伝送装置のようなMPEG、JPEGといったコーデックを使った圧縮・伸張は行わない。当該伝送装置に入力する信号は日米TV標準信号であるNTSCであるが、これを特異な標本化とAD変換後にQPSK方式の変調・復調を行う。今年度の試作機に於いては設計アルゴリズムに合致した性能、即ち、伝送遅延が 50 μs 以下(測定では 20 μs)、解像度 640 × 480 ピクセルでフレームレート 30 fps を実現した。これは従来の画像伝送装置では到達できなかった技術であり、その意義は大きい。

100チャンネルタイプの前段階として4～5チャンネルタイプの画像伝送装置を開発する。

- ・ 今年度開発における伝送方式は周波数分割多重化方式(FDMA)であり、側帯波を含む帯域幅を電波法に規定された26MHz以下に押さえ込み、かつ画像解像度を損なわない技術が求められる。これを実現するために特殊フィルタ(バンドパスフィルタとローパスフィルタ)の開発を行い、しかもAGC付高周波増幅のRF部小型化に成功した。
- ・ 送信・受信機ともに今期目標の寸法 60 × 95 mmを達成した。

CDMA化に必要なSAWコンボルバモジュールの開発

- ・ 次年度に開発するCDMA化と秘匿性に必須のデバイスであり、SAWコンボルバ自身と周辺回路を一体化したSAWコンボルバモジュールの開発を行った。現段階では変調信号の区間幅と時間幅の関係を規定するチップ長がエッチング技術の制約で充分でない。来期においては、これをドライエッチングにてチップ長改善を行い、より高速化する。

ロ) リアルタイムでマルチカメラの画像を合成し、超広角視野で表示する装置の開発

当該年度の技術目標値は、次の通りである。

高速合成に適したアルゴリズムの方式開発

広い視野を実現するハードウェアの基本構造の開発

ステレオ処理を実現するハードウェアの基本構造の開発

それぞれの技術目標値について、達成状況を下記に示す。

高速合成に適したアルゴリズムの方式開発

- ・ 高速合成に適したアルゴリズム方式を開発するという目標に対し、歪補正などの必要な合成処理を計算効率の良い方法で実現したアルゴリズムを開発し、PC上で演算処理した場合 10fps 程度の速度を達成している。
- ・ 通常の合成処理では画素毎の演算がかなりの計算負担になるところを、個別に簡略化手法を取り入れ、全体として合成品質に影響を与えることなく高速化を実現した意義は大きいと判断している。

広い視野を実現するハードウェアの基本構造の開発

- ・ 広い視野を実現するハードウェアの基本構造を開発するという目標に対し、8台のカメラ構成で水平 180°、垂直 90°の視野を実現したマルチカメラヘッドと、ハード処理の基本構成を模擬したPC上で動作するシミュレータを構築した。
- ・ リアルタイムにマルチカメラの画像を記録し、合成処理のシミュレーションができる環境を構築出来たことにより、野外撮影を行い実際の作業シーンでのマルチカメラ画像の合成処理評価が出来るようになり、この意義は大きい。

ステレオ処理を実現するハードウェアの基本構造の開発

- ・ ステレオ処理を実現するハードウェアの基本構造を開発するという目標に対し、マルチカメラで撮影した画像に対しステレオ処理を行うハード処理の基本構成を模擬したシミュレータを構築し、PC上で6fps程度の速度を達成した。
- ・ 野外撮影実験により、実際の作業現場での3次元形状計測を実施し、6fpsの性能を達成しただけでなく、3次元計測評価を行ったことの意義は大きい。

八) 2.4GHzモバイルリピーターの開発

当該年度の技術目標値は、次の通りである。

マルチホップアルゴリズムの開発

ノードIDの自動付与アルゴリズムの開発

最大ホップ数の決定(2ホップ以上)

それぞれの技術目標値について、達成状況を下記に示す。

マルチホップアルゴリズムの開発

学術的に存在する複数のアルゴリズムの評価、検討を行い、最もロボット遠隔操縦にふさわしいと思われるアルゴリズムを決定、ソフトウェアとして試作機に実装した。リアルタイムに画像伝送を行うために、画像伝送チャンネルを決定するアルゴリズムが追加が必要となり、そちらもソフトウェアとして開発をおこなった。

この開発は、上記項目3.八)の課題である、・マルチホップ通信環境下の情報伝達遅延の最小化、及び・動的ネットワーク形成における、個々の通信固体(ノード)の識別符号付与方法という2項目の課題を解決する上での前提となる基本的なソフトウェア開発であり、本研究開発においては必要不可欠な機能である。

開発したマルチホップアルゴリズムの動作検証を実施した結果、ノードの移動、電波到達状況などに対応したダイナミックな通信経路の決定、生成を確認し、実際にデータ通信が行われることを実証した。ただし、電波状況によっては経路の切り替えがかなり頻繁に行われることが認識され、経路変更のたびに、一時通信が途切れることがあった。

次年度では、構成されたマルチホップ経路の安定性向上のための通信パラメータ調整、及びソフトウェア開発を実施する予定である。

ノードIDの自動付与アルゴリズムの開発

無線LANの通信において必須となる、伝送ルート決定のための個々のノードアドレスを自動的に設定するソフトウェアを開発した。ノードアドレスを決定するために、もともとリピータハードウェアが固有に所有している無線ネットワークアダプタのMacアドレスを活用し、それよりノードアドレスを自動生成するアルゴリズムとした。ここで、MacアドレスとはOSIの7階層というデータリンク層レベルの物理的なアドレスであり、それをベースに上位ネットワーク層レベルのアドレスを決定する。

この開発は、上記項目3.八)の課題である・動的ネットワーク形成における、個々の通信固体(ノード)の識別符号付与方法の課題解決のための研究開発に相当する。

現在このノードアドレスは、標準化された規格ではなく、本開発リピータハードウェア独自のものである。今後は、アプリケーションも含めたレベルで、アドレス体系が適当かどうかを評価する予定である。

最大ホップ数の決定。(2ホップ以上)

映像のような大容量データを、無線で遅延無く送ることが前提であるため、リピータ装置も中継遅延が大きな問題となる。この課題を解決するため、画像を中継するハードウェアと経路制御するハードウェアを別回路として製作し、画像の伝送はそれ専用で実行できるようにした。

製作した試作装置により、画像伝送時の遅延時間を測定し、2ホップ以上の電波中継を実施しても、十分遠隔操縦に耐える遅延時間内で画像伝送が実現できることを確認した。今回開発したリピータ構成であれば、遅延時間は理論上100ホップ以上中継しても実用範囲内に収まる。

ただし、実用化レベルかどうかの判断は、中継による遅延時間だけでなく、中継後の画質についても評価する必要がある。ところが中継後の画質については、本試作装置では本研究開発での最終的なリピータと構成が異なるため、正確な評価は出来ておらず、次年度以降の評価となる。

この開発は、上記項目3.八)の課題の・映像のようなストリーミングデータの、マルチホップ通信環

境下における伝送遅延の課題解決に向けた研究開発の一環であり、本試作装置の構成であれば、中継遅延は十分に小さく出来ることが確認できた。

ただし、本試作装置はS A Wコンポルバが本年度は未完成だったこともあり、最終目標である CDMA 方式の伝送を行っていない。次年度以降では、CDMA 方式による 100 チャンネルの多重化画像信号の中継を実現することとなる。

5 . 事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

本技術開発成果はさまざまな市場で応用が考えられるが、まずはユーザー企業であるコマツがすぐに市場導入可能な、従来のラジコン建設機械をベースとした屋外作業ロボットの遠隔操縦用視覚システムとして事業化を実施する。コマツでは、遠隔操縦用視覚システムの販売にあたっては、日本国内だけでなく、米国、欧州、豪州、アジアなど世界市場で事業展開する予定であり、日本のロボット関連技術の国際競争力強化に大いに貢献できる見込みである。

建設機械の遠隔操縦は、無人化施工として国内では国土交通省直轄事業を中心に順調に実績が積み重ねられている。また、今年度においては、経済産業省と NEDO 技術開発機構の実施したアフガニスタン復興支援の対人地雷除去機・探査機開発プロジェクトにおいても遠隔操縦可能な対人地雷除去機をコマツが開発しており、屋外ロボット遠隔操縦の市場は応用範囲を広げている。

従い、本研究開発成果のニーズはより高まってきていると考えられ、早期の事業化が望まれる。