

平成 17 年度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 (代表者氏名)	株式会社アイヴィス (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)		
技術分野	ロボット部 品分野	技術区分	危険作業代替分野 / 生活支援分野	研究開発課題	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 17 年 4 月 1 日 ~ 平成 18 年 1 月 31 日

1. 委託業務の概要

次のような課題を抱えている従来の屋外作業ロボットの遠隔操縦システムに技術的改革を行う。

- 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
- ニ) 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. 技術目標値

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

技術目標内容(項目)	目標値
無線伝送時の耐マルチパス性能向上	通常の画像に障害(ゴースト、瞬断、ノイズ)が出ないこと
多チャンネル、高画質を両立する為に高伝送ビットレートを(30~40Mbps)を確保する(最終目標値)	ビットレート 30~40Mbps
画像伝送における遅延 50~60ms を実現する。(最終目標値)	遅延 50~60ms
画像送受信機の低価格を実現(現行の約 1/20)する(最終目標値)	現行装置(約¥800万)の約 1/20
画像送受信機の大きさを A4 サイズに抑える(最終目標値)	A4 サイズ以下に抑える(300×210×30)
SAW コンボルバを使った画像送受信機の実用性	SAW コンボルバを使った画像送受信機(TS 及び ES)で実機搭載型での実用性を評価する。

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

技術目標内容（項目）	目標値
同時合成処理能力	同時に3台以上のカメラ画像を合成
合成処理速度及び遅延	1秒間に30フレーム、処理遅延50msec
表示視野	水平180°以上、垂直90°以上、バケット作業視野においては垂直方向最大150°の視野

八) 2.4GHz モバイルリピータの開発

技術目標内容（項目）	目標値
画像経路制御機能	マルチホップ機能（3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。
画像経路制御信号到達距離	経路制御範囲が300m以上なこと。
マルチモニタ	マルチモニタの開発

3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法

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

- ・ マルチパスの影響を低減するためにOFDM変調方式を導入する。OFDM方式を使う事でマルチパスの影響低減という効果のみでなく、周波数帯域の利用効率も上昇しチャンネル数の確保に有効である。256ポイントFFT(Fast Furrier Transform)を採用する。
- ・ 高伝送ビットレート確保のために64QAM多値変調方式を採用する。64QAM導入では高周波回路に高い精度(低歪、低雑音)が必要なため高精度な高周波シンセサイザ回路を構築する。また、伝送誤りを回避するために誤り訂正能力の高い符号化技術を導入する。また、回路複雑化を避けるため演算ビット数はじめ信号処理アルゴリズムを最適化する。これにより、遅延の少ない圧縮・伸張コーデックJPEG2000の採用に加えて、遅延の要因を可能な限り縮小する。
- ・ Low IFデジタル信号処理技術を採用し、放送機器としてのFPUがアナログ回路で実現していたため高コストであったIF帯も含めてデジタル回路化する事でコストダウンを行う。即ち、IF信号段階からデジタル信号処理変復調を行う。アナログ回路をデジタル化する事で小型化を実現する。
- ・ H16年度に SAW コンボルバモジュールを利用してブレッドボードで送受信機を製作したがノイズが多かった。本年度はインピーダンス整合等ノイズ対策を織り込むと共に、耐振動性を強化し、使用温度範囲の広い部品等を選定し耐環境性をアップした実機搭載型の送受信機(TS及びES)の設計・製作を行い実用性を評価する。

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

- ・ ビデオ信号のリアルタイム処理に関し、画素データを取り込みながら、合成処理に必要な画素データをメモリから読み出す動作を完全に独立に実行するためには、メモリがマルチポート構造を利用するか、複数のメモリバンクを切り替える構造を利用することで実現が可能となる。4台のカメラ画像用にそれぞれに専用メモリバンクを用意し、各メモリバンクは時間分割によるマルチポート化を行なうことにより、見かけ上同時書き込み、同時ランダム読み出しが可能となるハードウェア構成を実現することで、課題の解決を図る。
- ・ リアルタイム演算処理に関し、各画素の演算処理は、複数の座標変換演算、複数の画素値間の演算、更に画素と画素の間の補間演算などから構成される。画素データは絶え間なく到着するため、次の画素データが到着する前に現在の画素データの処理を完了しなければならない。画素の到着速度が36MHzで、全演算に必要な演算回数が20回の場合、720MHzのクロックスピードで演算を実行する必要がある。FPGA等を利用するハードウェアの場合、この速度を現実的に達成することは困難である。そこで以下のような高速化手法を適応する。4台のカメラ映像毎に座標演算器を並列に用意し、画素演算を実行する度に、必要な画素位置に関する座標情報を準備出来るようにする。次に画素値間の演算処理に必要な全ての演算器を並列に用意し、パイプライン処理が実行出来るようにする。これにより、画素到着毎に前の演算結果が出力出来るようになる。以上の手法を利用することにより、所定の時間内に毎回画素の合成処理を完了することが可能となる。
- ・ 水平視野用と垂直視野用の2系統のマルチカメラを利用することにより、各々の視野を確保する。各マルチカメラに対し、4台のカメラを割り振り、合計8台のカメラ構成でマルチカメラを構成す

る。各カメラは従来の交換式のレンズではなく、携帯電話等で利用されている超小型のレンズを利用する。これにより、各カメラのサイズならびにレンズの占有する面積、あるいは体積を最小限におさえることができる。8台のカメラを筐体に同時に実装しても、全体のサイズをコンパクトに保つことが可能。またレンズが小さいため、カメラ同士を接近して配置することが可能になるため、従来以上のパノラマ合成品質を達成することが可能となる。

ハ) 2.4GHz モバイルリピータの開発

- ・ 装置の修正・改良として新たに経路制御基板を開発し、その無線部に、従来までの無線 LAN に代わりシリアル無線モデムを採用する。このシリアル無線モデムの到達距離は、見通し約 300m であることから、経路制御範囲 300m 以上が達成可能となる。
- ・ 新規開発基板では、シリアル無線モデムを採用する為、伝送プロトコル部分のソフトは変更せざるを得ないが、経路制御のアルゴリズム自体は H16 年度のもので流用可能であるので、プログラムをシリアル無線モデムの特性に合わせて改造する。リピータの単体評価として、ベンチテストによるチューニングを実施した後、カメラ、画像処理、リピータの全装置を用いた遠隔操作システム全体の評価を実施する事により、マルチホップ機能(3ホップ以上)、ダイナミックルーティング機能を評価する。
- ・ 水平用画面、垂直用画面各々に、カメラ4個が必要と分かった。この計8個のカメラを実用性を考慮し車載可能なサイズに BOX に収め、耐震性・防水性・結露対策等を織り込み、かつ電子的なチルト、パン機能を持たせた多機能なカメラを設計、製作する。

4. 当該年度における技術目標値の達成状況と意義

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

一次変調としての OFDM、二次変調の 64QAM、誤り訂正回路、256FFT ポイントなどを、大規模 FPGA 内に全て組み込み、伝送レート 30Mbps を確保して完全動画が 30fps の速度で滑らかな映像伝送を実現した。最大 20 チャンネルを確保した。30Mbps の達成により、圧縮・伸張コーデックや AD/DA の変更などでハイビジョン信号の伝送が可能となる。

JPEG 2000 の採用で建機の遠隔操作で支障とならない低遅延 75ms (実測値) を実現した。

回路に使う電子部品の選択や、独自アルゴリズムによるデジタル回路の採用などで、量産においては販売価格 40 万円が可能である。

試作機 2 号機 (ES-2) で A5 サイズを実現した。

VGA 並で 30fps の画像伝送に必要なビットレートは、携帯電話等現在の実用されている多元接続方式で使われているビットレートに比較して遥かに高く、H15 年度から継続してきた拡散方式ではこのビットレートに対応した拡散方式を考案するまでには長期間必要であると判明したことから、SAW コンボルバを使った画像送受信機の開発は中止した。

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

水平方向 4 台、垂直方向 4 台の合計 8 台のカメラを使用してマルチカメラを実現した。各カメラは同じ仕様のカメラを使用し、SXGA 画像サイズ (1 3 0 万画素) の CMOS センサカメラを使用した。

合成処理は、専用の演算処理を FPGA 上で実現しリアルタイム処理を実現した。合成処理用のフレームメモリの使用を 1 回に抑えることにより、合成処理に伴う遅延を 5 0 m s 以内にすることが出来た。また通常カメラ台数と同数のフレームメモリが必要となるところ、2 個のフレームメモリで 4 台のカメラ画像の処理を実現することに成功した。

光学系は従来の交換可能なレンズ (C マウントレンズ) を使用せず、携帯電話などで使われている 1 0 0 万画素以上のカメラに対応した、小型で安価な特殊レンズを使用した。これにより、従来より高画質でレンズ歪の少ない画像が得られる一方でレンズの小型化を実現し、レンズ直径で 1/5、容積にして 1/250 の小型化を実現した。当該レンズは水平 5 0 °、垂直 4 0 ° 程度の視野になり、画角の選択肢が 1 種類に限定されるため、4 台のカメラを利用した場合の視野範囲は 1 6 0 ° × 5 0 ° となる。

今回開発したマルチカメラは当該レンズを使用したカメラを水平視野用として 4 台、垂直視野用として 4 台使用している。従って水平視野は 1 6 0 ° × 5 0 ° となり、垂直視野は 5 0 ° × 1 6 0 ° となる。

マルチカメラの合成画像は、ユーザの意図にしたがってテレビ画面に表示される必要があり、ユーザからのコマンド指示に従って柔軟に対応する必要がある。この種のユーザインターフェースは場合分けや手順、パラメータの組合せが複雑多岐にわたる場合があり、今回のシステムにおいても同様の状況が発生している。

この問題を解決するため、マルチカメラの合成のコア処理は FPGA で行い、ユーザインターフェースに近い部分は CPU 上で動作する C プログラムで実現した。これによりユーザからコマンドを受取、これを解釈し、必要なパラメータの設定、合成画像の表示の変更、画面の自動スクロールなど、さまざまな処理をサポート出来るようになった。また C プログラムにより実現しているため、将来の機能拡張、仕様変更にも柔軟に対応可能である。

八) 2.4GHz モバイルリピータの開発

- ・ シリアル無線モデムを使用した経路制御基板の開発、ハード変更等によるファームウェアの変更、カメラコマンド通信機能の追加、カメラ遠隔操作器の開発を実施した。
- ・ 屋外試験を実施し、経路制御範囲が 300m 以上ある事、ダイナミックルーティング可能、3 ホップを確認できた。耐環境試験にて、建機における仕様を満足出来ているかどうかの評価を実施した。
- ・ 外形寸法 : 280mmX164mmX318mm、重量 : 8.5Kg とし、主に回転時に周りとの干渉を見るための水平画面 (水平画角 : 1 5 0 °、垂直画角 : 5 0 度) と主に掘削等の作業を行うときに使う垂直画面 (水平画角 : 5 0 °、垂直画角 : 1 5 0 °) とが即座に切り替え可能としたマルチカメラを開発した。カメラ総数 8 個使用しているが、カメラの装着を工夫し寸法を小さくする工夫をした。また結露防止には多孔質ポリマーを使用した。さらに実用性の評価を環境テスト装置を用い実施した。
- ・ 屋内にて、各社開発品の組み合わせ基本性能確認を実施。
- ・ 屋外テスト場にて、ラジコン建機にカメラ・画像送信機を搭載、高所作業車にリピータを搭載、操作ハウスに受信機・遠隔カメラ操作器・プロジェクタ・ラジコン操作卓を設置し、システム全体の評価を実施し

た。

これらの成果により、製品化に向けての課題が洗い出せた。

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

・事業化の目標（売り上げ：単位 百万円）

分野	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度
屋外作業ロボット	200	1,050	2,000	3,000	3,000
上記以外	140	550	900	1,250	1,730

- ・近年の無線周波数2.4GHz帯が多用化により、相互干渉により通信距離の減少、画質の劣化などの現象が起きているので、電波干渉により強い回路の開発や他の周波数の使用が求められている。