

EVS 実験における景観と 3D-CG の HUD 融合

衛星技術部
電子航法開発部
管制システム部

住谷 泰人
小瀬木 滋
白川 昌之

1. はじめに

EVS (Enhanced Vision System:エンハンスド・ビジョン・システム)や SVS(Synthesized Vision System:シンセサイズド・ビジョン・システム)は、パイロットの視覚を援助するシステムの一つである。これらのシステムは、様々なセンサからの取得映像や CG(Computer Graphics:コンピュータ・グラフィックス)を用いて自機の航法情報を表示する他、それらの表示と自機周囲の景観を融合した画像を、パイロットに提供できる^[1]。このため、視程が悪い場合には、パイロットの負担を軽減し、周囲の状況把握に役立つ等、安全性の向上や就航率の改善が期待されている。

当研究所では、これらのシステムに着目し、平成 9 年度から平成 14 年度まで、主にこのシステムのセンサ情報の取得方法や画像表示方法について研究してきた。

位置や姿勢データに基づき作成した 3D 画像を、景観画像に融合する際には、周囲の表示対象物を、自機から見て正確な位置関係で表示する必要がある。このため、自機の位置や姿勢データ等の航法情報やその取得時刻を正確に求める目的で、当研究所で構築した実験用 EVS には DGPS(Differential GPS)やジャイロを使用した。実験用 EVS の精度の評価は、自動車に搭載して走行実験した^{[2],[3]}他、当研究所の実験用航空機に搭載した飛行実験でも検討してきた^{[4][5][6][7]}。また、飛行実験の取得画像に基づく 3D 画像との融合シミュレーションでは、特に旋回時の画像で、正確な姿勢データを必要とする。このため、昨年度は高精度なジャイロによる姿勢変化の地上基礎実験も追加実施した^[8]。

本稿では、実験用 EVS を航空機に搭載した飛行実験と、その取得データを用いた HUD(Head Up Display:ヘッド・アップ・ディスプレイ)による融合シミュレーション結果と、シミュレーションによるパイロット評価結果を報告する。

2. 実験概要

2.1. 飛行実験

2002(平成 14)年 5 月に、図 1 に示す実験用 EVS データ取得部を当研究所の実験用航空機 (Beechcraft 社製 B99 Airliner)に搭載して飛行実験した。これにより、上空から可視光線と赤外線センサを用いて航空機周囲の景観を撮影し、各々ビデオ録画する。また、同時に撮影時の位置、姿勢データを取得することで、オフライン処理による融合シミュレーションが実現できる。センサは、実際の運用環境に即し、現用機材で前方画像を最大限取得できるよう、機体右後部のカメラ穴に、前方、底面下方 25 度の角度に設置した。

ジャイロによる姿勢データの更新レートは、約 70Hz とし、位置データの更新レートは 1Hz とした。位置データは、海上保安庁のビーコン局からの補正情報を用いた DGPS により取得した。また、GPS の測地系は、従来と同様東京測地系に設定した。

2.2. 融合シミュレーションの方法

実験用 EVS 画像融合部は、オフライン処理により画像融合が実現できる簡易シミュレータである。これは、飛行実験で測定した位置、姿勢からセンサの視線を求め、国土地理院刊行の



図 1 実験用 EVS データ取得部ブロック図

電子地図^[9]を視野内の景観の 3D 画像に変換しながら、実験中に撮影したビデオ映像と同期融合した画像を表示できる。シミュレータは、コンピュータディスプレイ上で 3D 画像とビデオ映像を融合表示する方法と、プロジェクタから投影したビデオ映像を、HUD を通して見ることにより融合する方法の 2 通り準備した。前者は、ビデオ映像をコンピュータ上に描画する画像処理時間の影響で、3D 画像の更新レートが、最大毎秒 2 枚程度であったが、景観とは、別に観測者に提供できる。後者を図 2 に示す。これは、HUD 上に毎秒 10 フレーム以上の表示ができ、観測者は滑らかな動画の状態に融合画像を認識できる。しかし、融合部のパイロット役(観測者)の位置設定を正しく行わないと、融合すべき各画像が一致しない欠点がある。

オフライン処理の融合時には、取得映像や飛行位置、姿勢データの時刻同期が必要である。このため、飛行実験時のデータ取得状況をデジタルビデオカメラで撮影した。デジタルビデオカメラは毎秒 30 フレームであるため、撮影時の同期の誤差は 1/30 秒である。本シミュレーションでは、この誤差に加え、オフライン処理の画像再生時の機械誤差とコンピュータのクロック誤差等が含まれている。

融合シミュレーションに用いた 3D 画像は、自機から見たときに背景となる景観との位置関係が正確に表示され、かつ景観と 3D 画像のどちらの映像も適切に見えるよう、グリッド(メッシュ)状の画像で作成した。これにより、グリッ

ドの線間から景観の画像が見える。3D 画像の隣り合った交点の間隔は、電子地図の標本値に基づくため、最小で 50m である。この間隔は、コンピュータ負荷に応じ最小間隔の整数倍で調整できるように、システム構築した。本シミュレーションでは、全て 100m の間隔に設定した。

2.3. 測定データの平滑化

低高度の山間部等では、海上保安庁の補正情報が取得できない場合があることが、以前の飛行実験で明らかになっている^[5]。このような GPS 単独測位の状況や、衛星の位置関係により精度が低くなる状況では測定値の誤差が大きく、その結果表示精度が低下することがある。また、位置と姿勢データの取得レートが異なる環境で、同期させた補間値を求める必要もある。このため、これまでに様々な方法で平滑化操作を試みてきた^[10]。ここでは、過去、高速道路における地上実験^[2]で利用し、今回のパイロット評価実験にも使用したスプライン関数による平滑化補間法について述べる。

スプライン関数による平滑化補間法は、3 次の Schoenberg の平滑化法を用いた自然スプライン関数による平滑化補間処理である。これは、(1)式を最小にするような(2)式のスプライン関数 $s(t)$ を満足する係数を推定するため、このときの区間(a, b)における緯度、経度、高度の平滑化補間値は、各々任意の時刻 t の関数となる。また、求められた補間値は必ずしも測定データ上を通らず、速度変動の少ない滑らかな曲線を描くことができる。



図 2 HUD を用いた実験用 EVS 画像融合部(融合シミュレータ)ブロック図

$$I = g \int_a^b (s^{(2)}(t))^2 dt + \sum_{i=1}^n v_i (s(t_i) - x_i)^2 \quad (1)$$

$$s(t) = s_0 + s_0^{(1)}(t - t_1) + \sum_{i=1}^n c_i (t - t_i)_+^3 \quad (2)$$

g : 曲線の滑らかさと測定値との近接度との重み係数

x_i : 測定値

s_0 : 時刻 $t = t_1$ での $s(t)$ [初期値]

$s_0^{(1)}$: 時刻 $t = t_1$ での微係数 [初期変化率]

c_i : スプライン係数

$()_+$: 切断べき級数

2.4. 融合シミュレーション結果

薄霧の景観についての、静止画の融合例を図3に示す。これは、飛行実験で取得した赤外線センサ画像のコントラストを調整した背景画像に、前節の補間法で求めた位置と姿勢データの補間値に基づく3D画像を融合した画像である。このときの可視光線センサ画像は、一面灰色の状態で山岳等をほとんど認識できなかった。このときの山岳と自機の距離は、地図上の山岳の位置とDGPSによる自機の位置から計算すると、約6.4kmと推定された。



図3 融合シミュレーションの一例(静止画)

3. パイロットによる評価実験

3.1. 実験方法

図3の融合画像や飛行実験で取得した可視光線センサで認識可能な他の画像をもとに、図2のシミュレータを利用して、可視光線センサ画像と赤外線センサ画像の2通りの融合動画像を作成した。パイロットによる評価実験は、この動画を用いて、総数3名で行った。

実験方法は、自由記載部分を含む主に選択式の調査票を用意し、各シミュレーション後に、調査票に記述し、提出してもらう方法である。この調査票で、1秒当りの画像枚数や、3D画像の輝度や表示色、表示した融合画像についての感想を調査した。最低限滑らかに見える動画を調べるため、1秒当りの画像枚数を15、12、8、4フレームの4通りで実施した。15フレームは、現シミュレータで実現可能な最高描画レートである。輝度や表示色は背景色に対して提供する3D画像の見易さを調査する目的である。輝度は4段階に変化させ、3D画像の表示色は、赤、緑、青、橙、白、灰の6色で調査した。なお、使用した図2のシミュレータでは、プロジェクタを用いて投影する背景画像(ビデオ映像)の輝度制御は難しいため、3D画像のみを変更できるように、HUDの輝度で調整した。また、輝度や表示色はパイロットが、最も見やすいと回答した描画レートで調査した。

3.2. 実験結果

調査票の主な選択肢の回答結果を表1に示す。各パイロットで回答結果が若干異なるが、センサの違いに関わらず、見やすい画像レートは毎

秒12フレームであった。3D画像の表示色の変化については、可視光線センサは橙や赤色、モノクロ表示の赤外線センサは、緑や橙色が見やすい画像であった。可視光線センサの場合は、背景が山岳付近の画像であり、RGBのうちB(青)が強い画像のために、補色の橙や赤色が見やすい3D画像と判断されたものと考えられる^[11]。

輝度は、背景と前面のバランスを変化できる機能がなければ問題ないとの意見を得た。その他に、融合する画像間の不一致、起伏の表示の不明瞭さ、姿勢指示計器とグリッド状の融合画像を統合する可能性、航空灯火の色の意味を考慮した3D表示法、プロジェクタによる簡易シミュレータの限界等についても意見があった。

4. おわりに

実験用EVSを構築し、航空機に搭載して飛行実験を行い、海上保安庁のビーコン局からの補正情報を利用したDGPSの位置データと共に、ジャイロを利用して航空機の姿勢データを取得した。また同時に、可視光線センサと赤外線センサを用いて自機周囲の景観を各々ビデオ取得した。これらのデータに基づき、HUDを用いた簡易型の融合シミュレータで融合動画像を作成した。この動画に対し、複数のパイロットによる評価実験を試みた。

評価の結果、12フレーム以上の更新レートであれば見やすい画像が提供できることがわかった。また、提供する3D画像の表示色や輝度の他、シミュレーションについての様々な意見が得られた。これらの結果は、EVSやSVSに関する航空機搭載基準を検討するための基礎資料

表1 パイロット評価結果

		質問項目	パイロット A	パイロット B	パイロット C
可視光線センサ	描画レ-ト	見やすさ(数字は1秒間の画像枚数)	12 15 8 4	12 8 15 4	15 12 8 4
		一致度	部分的に一致	一致していない	部分的に一致
		疲労度	疲れやすい	疲れにくい	疲れにくい
	輝度	見やすさ	高 低 最高 最低	高 最高 低 最低	高 最高 低 最低
		一致度	部分的に一致	部分的に一致	その他
		疲労度	疲れにくい	疲れにくい	好みの輝度ならば疲れにくい
	表示色	見やすさ	橙 緑 赤 青 白 灰	赤 橙 緑 白 青 灰	橙 赤 緑 青 灰 白
		一致度	一致	その他	部分的に一致
		疲労度	疲れにくい	疲れにくい	疲れにくい
赤外線センサ	描画レ-ト	見やすさ(数字は1秒間の画像枚数)	12 15 8 4	12 8 15 4	15 12 8 4
		一致度	一致	一致していない	部分的に一致
		疲労度	疲れにくい	疲れにくい	疲れにくい
	輝度	見やすさ	低 高 最高 最低	高 最高 低 最低	高 最高 低 最低
		一致度	部分的に一致	部分的に一致	部分的に一致
		疲労度	疲れにくい	疲れにくい	疲れにくい
	表示色	見やすさ	橙 緑 赤 青 白 灰	橙 緑 白 赤 青 灰	緑 橙 赤 白 青 灰
		一致度	一致	一致	部分的に一致
		疲労度	疲れにくい	疲れにくい	回答無し

として活用できるものとする。今後、機材の改善により、さらなる改良が予想されるこれらのシステムは、衝突防止にも寄与するものとして期待されており、衝突防止に関する研究の一つとして今後とも継続調査していく予定である。

[参考文献] [1] Sweet B.T, Tiana C.: "Image processing and fusion for landing guidance", SPIE proceedings Vol.2736, Enhanced and Synthetic Vision 1996, SPIE
 [2] 住谷他: "EVS 画像融合のための地上実験の解析", 第 32 回電子航法研究所発表会, 2000.6
 [3] 住谷他: "実験用 EVS を用いた地上予備実験の解析", 2000 年信学ソ大会, 2000.10
 [4] 住谷他: "GPS データに基づく 3次元画像と景観の照合実験", 信学技報 SANE, 2001.4
 [5] 住谷他: "GPS に基づく自機周囲の地形と景観の照合", 第 1 回電子航法研究所発表会, 2001.6
 [6] 住谷他: "GPS とジャイロに基づく 3次元画像

と景観の融合", 2002 年信学総合大会, 2002.3
 [7] 白川他: "赤外線センサ画像と可視光線センサ画像の融合", 2002 年信学総合大会, 2002.3
 [8] 住谷他: " ジャイロを使用した EVS 画像融合の基礎実験", 第 2 回電子航法研究所発表会, 2002.6
 [9] 国土地理院, 数値地図 50m メッシュ(標高)日本, (財)日本地図センター, 1997.7
 [10] 住谷他: "GPS 位置情報と姿勢情報に基づく 3D 画像と景観の照合", 信学技報 SANE, 2002.10
 [11] 住谷他: "3D 画像と景観の融合における画像色の一検討", 2003 年信学総合大会, 2003.3

[謝辞] 本研究の実施に際し、ご協力頂いた関係各位に感謝申し上げます。特に飛行実験にご協力頂いた電子航法開発部センシング研究グループ、並びにパイロットによる評価実験にもご協力頂いた共立航空撮影株式会社の関係各位に感謝申し上げます。