

3. 遠隔型タワーのための映像システムと支援機能の開発

監視通信領域 ※井上 諭, 角張 泰之, 米本 成人, 古賀 禎
航空交通管理領域 ブラウン マーク

1 はじめに

空港の管制塔では、航空機の離着陸及び空港内の交通を安全かつ円滑に保つための業務が行われている。この管制塔の業務は長らく、管制塔で業務にあたるオペレータの目視によって行われてきた。しかし近年、この管制塔の業務環境を、新たな技術とシステムによって置き換えるための研究開発が行われてきている [1]。この新しいタワーシステムはリモートタワーと呼ばれ、世界的にも実用化に向けて研究開発の取り組みが進められている。遠隔型のタワー業務システムであるリモートタワーは、空港側にはカメラや監視センサ、気象センサ等の機器が設置され、もう一方のオペレーションを行う運用センターは空港から離れた場所におかれ、制御室にシステムを集約し、空港とセンター間をネットワークで繋いで業務を実施するものである。システムでは業務を行うオペレータの視覚を補助する支援機能と合わせて現在のタワー業務と比較しても今までより安全かつ効率的な運用が可能な仕組みの実現を目指している。本研究では、リモートタワーの実用化に向けて、コンセプトモデル構築と必要な技術開発、また試験システムでの評価を実施してきた。本稿ではこのシステムの映像システムに関する部分について報告を行う。

2. システムの概要

リモートタワーのシステム構成を図1に示す。空港側には今までの管制塔に代わり、光学センサとしてパノラマ用の固定カメラ、双眼鏡に代わる PTZ (Pan-Tilt-Zoom) カメラ、そして航空機の位置を正確に把握することができる監視センサ、運航情報として必要となる気象センサ等のセンサ類と無線通信などオペレーションに必要な機器が設置される。これら機器から得られたデータはネットワークによって運用センターに伝送される。運用センターに設置された制御

室にはタワーと同様の視界をパノラマ映像として表示するためのディスプレイが用意され、空港側に設置されたカメラ等から得られる映像データがリアルタイムに伝送され表示される仕組みとなっている。また、空港周辺や空港内の航空機の位置は監視センサ情報を基に、航空機やトランスポンダを持った移動体の Mode-A/C、または Mode-S の情報に基づき、拡張現実 (Augmented Reality : AR) 型のラベルをパノラマディスプレイ上に表示できる機能を開発した。これらの拡張型の視覚支援機能はオペレータの業務負担の軽減や安全性の向上、さらに運航効率の向上にも寄与できる。



図1 リモートタワーシステムの構成概要

もう一つの技術的な特徴として、特定の視界領域を拡大するための PTZ カメラを備えている。今までは特定の場所を拡大してみたい場合には双眼鏡を用いていたが、本システムでは PTZ カメラがその代わりに機能として働く。この機能は映像情報や監視センサの情報と連動し、特定の目標を自動的に追尾する機能を組み合わせることが可能で、オペレータのワークロードを減らしながら、業務のパフォーマンスを上げることに寄与できると考えられ、オペレータは空港から離れた運用センターからでも今までより簡単に航空機を監視し、必要な情報提供や指示等の業務が可能になる。これらの業務支援機能の詳細については後述する。

3. 評価システム

本研究では仙台空港に隣接する岩沼分室にカメラ及び MLAT の監視センサ等のデータ取得用のセンサ機器類を設置し、ネットワークを介して調布の実験室に設置したタワーの制御室を繋いだシステムを構築した。このテストシステムで、開発した機能の評価を実施した。岩沼分室側のカメラ設備を図2に示す。



図2 空港設置のカメラ機器類

固定カメラは12台で構成され、これらの解像度は12台のうち、6台（滑走路側）が4K、6台がFullHDの構成となっている。図2の写真は12台の固定カメラすべてを1ユニットとして設置可能なハウジングに搭載したものである。1ユニット型ハウジングのメリットは、カメラの調整機構をハウジングユニット内に収めているため、強風時の振動を防ぐことができる点にある。ハウジング検討の評価では、画角調整機構が外に出ている個別型のカメラ用ハウジングの場合には構造上、調整機構やハウジング固定アーム等が強風による振動発生の原因となり易いことがわかった。機構や構造にもよるが、構造材の厚さの確保や架台に固定するなどの風による振動の対策は必要である。一体構造のハウジングケースではケース全体を架台で支える構造としたため、強風でもジャダーが発生することはない、カメラの安定した視界確保に効果がある。振動はオペレータの疲労にも影響すると考えられるため、これらの取り組みは重要であると考えている。またハウジングのもう一つの特徴としては、エアブロータイプのワイパーを採用している。ゴムブレードタイプのワイ

パーの場合、動作時にはガラス面を何度も往復するため、オペレータの視界を遮ることになり、業務の邪魔になる。ガラス面に雨が直接あたるような場合は、ブレードが拭いても次の瞬間にはすぐに雨による水滴がつくため効果的ではない。エアブロータイプはこれらの点において、視界を遮ることもなく、エアーが水滴を吹き飛ばすため水滴を付着しにくくするとともに、ついた場合にも風圧ですぐに飛ばすことができ、ブレードタイプと比較すると視界の確保に優れているものとなっている。PTZカメラは2台とも解像度はFull HDであるが、レンズやズーム倍率、また雲台性能は異なるものを使用している。1台は固定カメラと同様にタワー部分に設置され、もう1台はタワーからは離れた空港内の実験用シェルターに設置した。動作性能はEUROCAEのED-240A要件をクリアするとともに、航空機や車両等のターゲットの自動追尾や緊急時に使用するライトガン照射のための制御に対応できる制御性能を有している。監視センサは8チャンネルのセンサで構成されており、空港面内および空港の外側約20NMを1つのシステムでカバーできる覆域を有している。またはターゲットアップデートレートは1Hz以上の更新頻度で行われているため、レーダの情報と比べて映像データとの統合に適している。



図3 制御室側の評価システム
(ディスプレイ及び操作用HMI)

図3は運用側の制御室システムの概観で、パノラマ用ディスプレイと制御操作卓で構成される。360°の映像は処理システムにおいてステッチングされている。本研究ではそれぞれのカメラからの映像を効率的に使用するため、ディス

プレイ数をカメラの数と合わせた12台の構成としている。また、PTZカメラの映像はパノラマディスプレイ上と制御パネル内に表示できるようになっている。MLATからのデータはパノラマ画面のラベル付け機能やPTZカメラの制御およびその他の支援機能で使用される。

4. 映像システム

映像システムのカメラは、パノラマを構成する固定カメラとPTZカメラから構成されている。カメラからは30fpsで映像が出力され、光ファイバー回線を介して制御室に伝送される。映像はそれぞれのカメラから表示用映像を作るための計算機に送られ、12枚の映像を1枚のパノラマ映像となるようスケーリングとステッチングの処理がされシームレスになるよう出力される。映像は12台のディスプレイに360°のパノラマ映像となるよう表示される。しかし、システムではパノラマを1枚の映像として出力しているため、必ずしもカメラとディスプレイの枚数は合わせなくても良い。調布側の実験設備と岩沼分室の間は100Mbpsの専用の帯域保証型の光ファイバー回線を用いている。このシステムで岩沼分室に設置しているカメラから映像を約300km離れた調布側のディスプレイに映し出す遠隔環境の評価(遅延計測、ジッター計測)を実施した。配信される映像の技術基準は最新のEUROCAEのED-240Aの技術要件では1秒以内を満たすことが要求されるが、本実験では約0.6~0.7秒となっており、システムが国際的な技術要件を満たしていることを確認した。また、ジッターは30fpsのビデオ更新レートで、フレーム間が33msの等間隔でのデータ転送ができており、ジッターバッファの監視と併せて、システム要件を満たすことができている。PTZカメラに関しても性能を同様に評価し、ED-240Aの遅延要件を満たしていることが確認できた。構築したシステムでは、管制塔の視界環境と同様に360°の視界をリアルタイムで提供できる機能を有していることを確認した。

4. 1. 動体検知システムと矩形強調表示

リモートタワーのシステムではカメラを使っ

た映像情報を活用することで、オペレータの視覚を支援するための機能を提供できる。その仕組みの一つが、映像内の航空機や車両等の動体を検知する仕組みである。動体検知の基本的な仕組みは、映像中のフレーム間の差分を検出することで行う。ただし、画像フレームの差分だけをただ検出して表示するだけだと、ノイズなど余計な情報が表示されたり、逆に障害物や背景によって検知が不正確になったり、連続的な検知ができず誤表示や情報の欠損などが発生してしまう。このような事象はかえってオペレータの業務の邪魔になってしまうので回避するひとつがある。そこでいくつかの検出手法を組み合わせ、カルマンフィルタ等の予測処理やベクトルの移動量を計算し、フィルタリングなどのテクニックを組み込むことによってこれらの問題に対処する仕組みを処理に導入している。

図4及び表1は、評価実験結果の1例について示した結果で、仙台空港RWY27での検知率を評価したものになる。



図4 評価実験で用いた検出手法の適用ゾーン

今回の評価では誤検知や検知の欠落を減らすために、映像全体をスキャンする手法に加え、図4に示すようなゾーン毎にそれぞれのゾーンの状況にあった検出手法を導入している。例えば、手法2が適用されているゾーンは海側から着陸してくる航空機を検出する必要がある。ここでは対象となる航空機は非常に小さな点として見えるが、このような小さな物体を誤検知しないような仕組みを検討している。表1は検知評価結果の一例である。検知は視程や環境条件によっても変化するため、この結果が検知率を保証しているものではなく、ケーススタディでの結果であることも予め述べておく。表1の項目別のシチュエーションでは、検出率が90%を超えた高い部分もある一方で、ノイズの除去や判定をしにくいような場面があるところでは検

表1 シチュエーション別の検知結果の例

No	シチュエーション	開始時刻	終了時刻	評価対象時間	検知時間(合計)	検知率(%)	検知可能距離(NM)
1	海側からの着陸	15:59:12.930	16:01:26.386	0:02:13.456	0:02:01.889	91.33	5.903364425
2	山側への離陸	11:36:18.474	11:36:33.309	0:00:14.835	0:00:14.835	100	—
3	滑走路でのターン	13:57:07.698	13:58:08.119	0:01:00.421	0:00:38.663	63.99	—
4	エプロン	15:14:03.901	15:15:44.586	0:01:40.685	0:01:37.498	96.83	—
5	航空機交差	15:46:31.371	15:47:01.684	0:00:30.313	0:00:27.620	91.12	—
6	走行中の停止	16:20:03.877	16:20:17.703	0:00:13.826	0:00:10.929	79.05	—

出率が下がるところもあり、映像解析処理だけでは、検出率の向上が難しいところもある結果が得られている。検知結果が比較的良かった上空での検知では、例えば項目（No.）1では航空機をパノラマ映像上で約6NMの地点からとらえることができている。管制塔の管制圏（5NM）をカバーしている。一方で滑走路でも検知できなかった場面や誤検知が生じた部分の改善に向けて、今後は映像解析だけでなく、知識処理等の別手法と組み合わせることで検知精度の改善、向上を検討していく。

4. 2. ラベリングと PTZ カメラの自動追尾

監視センサの情報は、天候による視界不良など視程環境に関係なくターゲットの正確な位置を提供できる。これらの情報は可視光カメラの映像ではターゲットを視認することが難しい場合であっても、ディスプレイ上の航空機が存在している位置に表示ができる。



図5 動体検知のボックスと監視センサ（MLAT）情報に基づくラベル表示例

また、監視センサ情報は高度及び距離を計測できることからそれらの位置や空港からの距離などの情報や、実運用ではオンライン処理のデータと組み合わせることで、便名や行き先等の情報も映像中にラベルとして表示することができるようになる。評価システムでは実験用のMLATと映像システムを組み合わせるラベリン

グ表示機能を構築した（図5。）ラベル情報はオペレータの状況認識を補助し監視装置に目を移さなくても、正確に対象機を識別できるため、安全に関わる作業負荷を軽減に寄与可能であると考えている。また、PTZカメラのターゲット自動追尾にはMLATの位置情報と映像識別処理を組み合わせることで機能を実現している。監視を行いたい航空機がいた場合、対象となる航空機の位置情報をMLATから得ることで、その情報に基づいてPTZカメラを制御でき、たとえ遠方であっても航空機を自動的にカメラでとらえることが可能となる。ただし、MLATの更新頻度は1~2Hzなので、連続的にスムーズに追尾するための予測制御と、映像識別によるターゲットの捕捉によるカメラ制御を合わせて行っている。映像識別にはディープラーニングの手法を試験的に導入しており、航空機を映像内に捕えると常に映像の中心になるようにカメラが制御されるため、精度の高い追尾ができる。

5. まとめ

リモートタワーの研究においてきた映像系のシステムを中心に、開発したシステムの構成について紹介するとともに、現状の機能及び評価結果について報告した。リモートタワー、また支援機能をより強化したデジタルタワーのために必要な様々な技術の研究開発に取り組んでいるところであり、別の機会に今回紹介できていない技術についても報告したていきたい。さらに、今後もシステムの実用化に向けて、映像解析技術の向上や、監視センサ技術の高機能化等に取り組んでいく。

参考文献

- (1) SESAR Joint Undertaking, OSED for Remote Provision of ATS to Aerodromes, including Functional Specification, (2014)