

8. 光ファイバ信号伝送技術を使用した受動型監視方式の評価実験

電子航法開発部 ※古賀 禎 田嶋 裕久 小瀬木 滋

1. はじめに

一般に、建物などの電波障害物に囲まれた場所においては、マルチパスと呼ばれる反射波が発生するため、高精度の無線測位を行うことは難しい。空港内においても、ターミナルビルやハンガー付近などは、マルチパスが発生するため、測位困難となる。

当研究所では、これらの問題に対処するため、平成16年より「無線測位によるマルチパス誤差低減に関する研究」を開始した。本研究は、1030/1090MHz帯の信号を使用した測位システムにおけるマルチパスの低減手法の研究を中心に進め、将来的にはその他のシステムについても適用可能な手法の開発を目指している。

本研究において、マルチパスに環境下での高精度測位方式として、光ファイバ信号伝送技術を使用した受動型監視システム OCTPASS (Optically Connected PAssive Surveillance System)を考案した。同時に、本システムの測位精度を評価するため、仙台空港において1090MHz信号を利用した実験システムを構築し、その評価実験を実施した。

本稿では、第2節にてOCTPASSの特徴について述べる。第3節で実験システムの構成について紹介し、第4節で評価実験の結果を報告する。第5節にてまとめについて述べる。

2. OCTPASSの特徴

OCTPASSは従来のマルチラレーションと同様、監視領域の周囲に地上局を設置し、到達時間差(TDOA: Time Difference Of Arrival)から、その信号の送出位置を求める。

OCTPASSの最大の特徴は、地上局において受信したRF信号を、光ファイバ信号伝送技術を用いた装置(ROF: Radio On Fiber)にて主処理装置に伝送する点にある。ROF装置は、RF信号を光信号に変換し伝送する。これにより、同軸ケーブルと比べて長距離のRF信号伝送が可能となる。ROF装置を使用により、従来システムにはない3つの利点が生じる。

(1) 時刻同期が不要

TDOAは、各地上局における信号の到達時間(TOA: Time Of Arrival)を互いに減算することにより求める。従来システムでは、地上局毎にTOAを

求める。このため、各地上局は高精度な時計または外部時刻源を定期的に観測し、時刻の同期を取る必要があった。

一方、OCTPASSでは、TOA導出は主処理装置だけで行う。このため、地上局間の同期は必要がなく、同期に起因する時刻検出の劣化は発生しない。これにより、TOAが精度良く得られるため、測位精度が向上する。

(2) 測位確率の向上

マルチラレーション測位において、二次元位置を求めるためには、最低3つの地上局のTOAが必要となる。TOAが2つ以下となると測位ができない。

従来システムは、地上局毎に信号を検出し、TOAを求める。このため、マルチパス等で信号劣化し信号検出できない地上局が発生すると、測位できない。例えば、各地上局の信号検出確率 $Pr=0.95$ である場合、3地上局からなるシステムの測位確率は $Pr^3=0.857$ となる。4地上局のシステムの場合、測位確率は、 $Pr^4+4Pr^3(1-Pr)=0.986$ となる。空港面においては、信号検出確率は75-83%[1]と低下するため、測位確率が低下する。

一方、OCTPASSでは、主処理装置において、複数の地上局のRF信号を観測し、いずれか1つの地上局が信号を検出すると、同時に全ての地上局の信号を捕捉する。このため、ある地上局の受信信号がマルチパスで劣化し信号を検出できない場合でも、他地上局により信号検出できれば信号を捕捉しTOAを導出できる。上記の例を用いると、OCTPASSによる測位確率は、3地上局システムで $1-(1-Pr)^3=0.9998$ 、4地上局システムで $1-(1-Pr)^4=0.999993$ となる。本計算は目安であるが、高確率測位が期待できることがわかる。

(2) 地上局の小型化

地上局はフィルタ、アンプおよびROF送信装置などから構成され、時刻検出処理、メッセージ検出処理などの複雑な処理装置は含まない。このため、地上局を小型化できる。複雑な処理については、主局の主処理装置にて実施する。

以上のような利点がある一方、OCTPASSは、地上局間に光ファイバ敷設が必要となるという問題点がある。しかしながら、従来システムにおいても、地上局間通信の信頼性を確保するためには有線による通信が使用されており、長距離の有線伝送

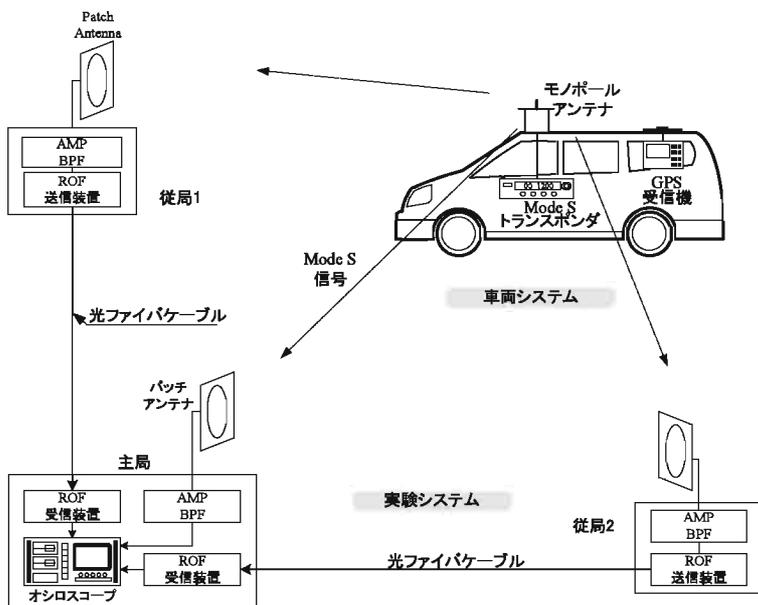


図1 実験システム

には、光ファイバが一般的に用いられることが多い。実際、フランクフルト空港におけるマルチラテレーション評価システムは、地上局間は光ファイバで接続されている。以上のことから、光ファイバ通信路の確保は大きな問題ではないと考えられる。

3. 実験システムおよびエリア

本システムの測位性能を評価するため、測位実験を仙台空港において実施した。本節では、実験に用いたシステムおよびエリアについて述べる。図1に実験システムの全体構成を示す。

3.1 実験システム

実験システムは、3つの地上局(主局、従局1、従局2)から構成される。主局は、アンテナ、プリアンプ、バンドパスフィルタ(BPF)、ROF受信装置、デジタルオシロスコープからなる。主局アンテナと主局の距離が近いので、主局ではROF伝送装置は使用しなかった。従局1および2は、アンテナ、プリアンプ、BPF、ROF送信装置からなる。

実験では、オシロスコープは入力信号を観測し、ある一定振幅以上の信号を検出すると、3局のRF信号を同時に捕捉する。捕捉データは実験終了後にオフラインにてTOAを算出し、測位位置を求める。

TOA検出方式として、Delay Attenuate and Compare法を適用した。DAC法は、[2]において1030MHz信号に適用され、マルチパスに強いことが明らかになった。1090MHz信号も類似した信号形式であることから、DACを適用した。

3.2 車両システム

測位目標となる航空機を模擬するため、モードSトランスポンダを搭載した車両システムを構築した。車両システムは、アンテナ、モードSトランスポンダ、GPS受信機から構成される。トランスポンダは、1秒に1回、1090MHzのスキッタを200W(最小電力)で送信する。送信アンテナは無指向性のグラウンドプレーン付きモノポールアンテナ(設置高2.2m)を使用した。GPS受信機は、2秒に1回車両の位置を測位する。実験後、基準GPS局データと合わせて、キネマティック処理し、車両の基準の位置を求めた。

3.3 実験エリア

マルチパス環境下における性能を評価するため、実験エリアとして仙台空港ターミナルビルの北側を選んだ。本エリアには、ターミナルビル、駐機中の航空機や搭乗車両などの障害物が存在し、マルチパスが多数観測されている。

主局はエプロン東側の場周道路の外側、従局1はB滑走路エンド北側、従局2はB5誘導路の北側に設置した。図2に地上局の配置を、表1に局地座標系による座標を示す。主局のアンテナは実験用車両の上(高さ約4.05m)に設置した。従局1および2のアンテナは測量用三脚(高さ1.9mおよび1.7m)に設置した。主局-従局の間の直線距離は、約530m(主-従1)および760m(主-従2)となる。光ファイバは、実験時に長さ650m(主-従1)および1300m(主-従2)のケーブルを仮設した。

空港内の位置による測位精度の違いを区別するため、実験に使用したエリアを3分割して解析した。図2に各エリアを示す。エリア1は滑走路および誘導路、エリア2はエプロン、エリア3はスポットとなる。ターミナルビルに近づくほど、マルチパスの影響が大きくなる傾向にある。

表1 アンテナ位置の座標 (単位:m)

	X	Y	Z	主局までの距離
主局	1059.3	263.1	4.05	--
従局1	1003.1	790.6	1.82	530.50
従局2	416.8	671.5	1.67	760.70

A滑走路の中心を原点とする局地座標



図2 実験エリア

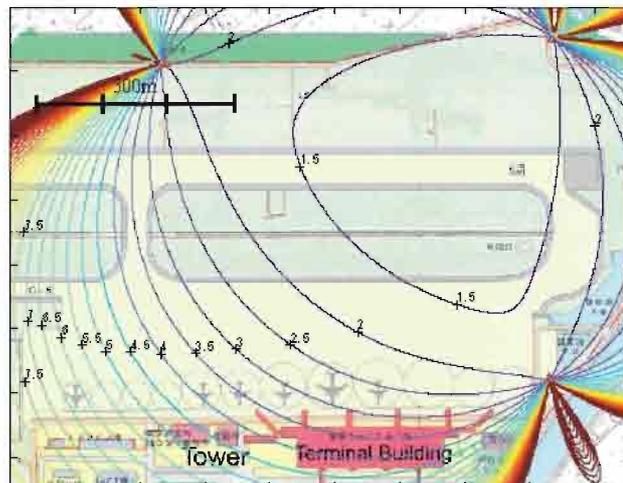


図3 HDOP

3.4 HDOP

地上局配置による測位精度の影響を見積もるため、HDOP (水平方向の幾何学的精度劣化指数)を計算した。図3に、HDOPを等高線で示す。同じTDOAでも、HDOPが大きい領域ほど測位精度が劣化する。実験エリアにおけるHDOPはB滑走路エンド付近が最も小さく、エプロンからスポットに近づくほどHDOPが劣化する。実験における走行経路中の最大HDOP値は、約7.5であった。通常、マルチラテレーションシステムでは、予めHDOPを計算し、測位の対象領域を決定する。例えば、FAAドラフト仕様書[3]では、HDOPが1.5以下の領域で測位精度6m(1σ)となるように規定している。本実験では、解析を簡略化するため、HDOPの大きい領域も含めている。

4. 実験結果

本節では、4.1で固定点、4.2で移動体(車両)の測位結果について述べる。

4.1 固定点の測位

光ファイバによる伝送遅延時間を求めるため、固定点の測位を行った。固定点としては、HDOPが小さく、かつ、マルチパスの影響が小さい点(図2のX点)を選んだ。測位結果を図4に示す。図中において赤の+印がK-GPSによる基準位置、青の点が本システムによる測位結果となる。XおよびY方向の2RMS誤差は、それぞれ0.48m、0.99mとなった。距離の2RMS誤差は、1.10mとなった。本システムは、最大1m程度の精度で測位可能である。

4.2 移動体の測位

続いて、移動体に対する測位を行った。図5に測位結果を示す。図において、青点が測位結果である。また、緑の線がK-GPSによる航跡である。図からわかるように、測位点はK-GPSとほぼ一致していることがわかる。エリア1およびエリア2においては、距離の2RMS誤差は5.58mおよび3.15mとなった。表2にK-GPSとの比較結果を示す。本結果は、EUROCAEの規定[4]を満たす。

一方、エリア3においては、2RMS誤差が23.98mとなり、測位精度が劣化していた。これは、スポット付近では、大きな航空機にターゲット車両が隠れてしまい、直接波が得られないためと考えられる。一方、エリア3においても障害物がなく主局のアンテナが直接波を受信できる主局付近における航跡(図5中灰色部分)は、精度よく測位できている。

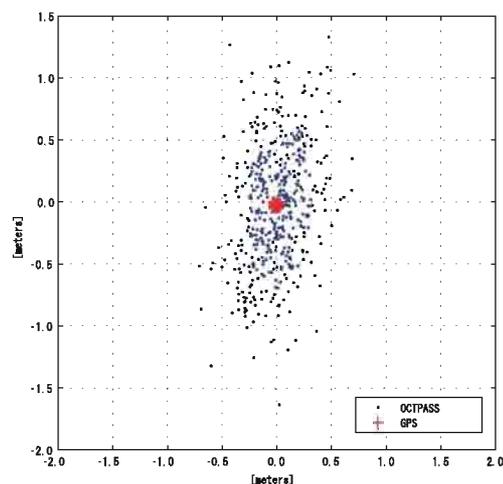


図4 固定点の測位結果

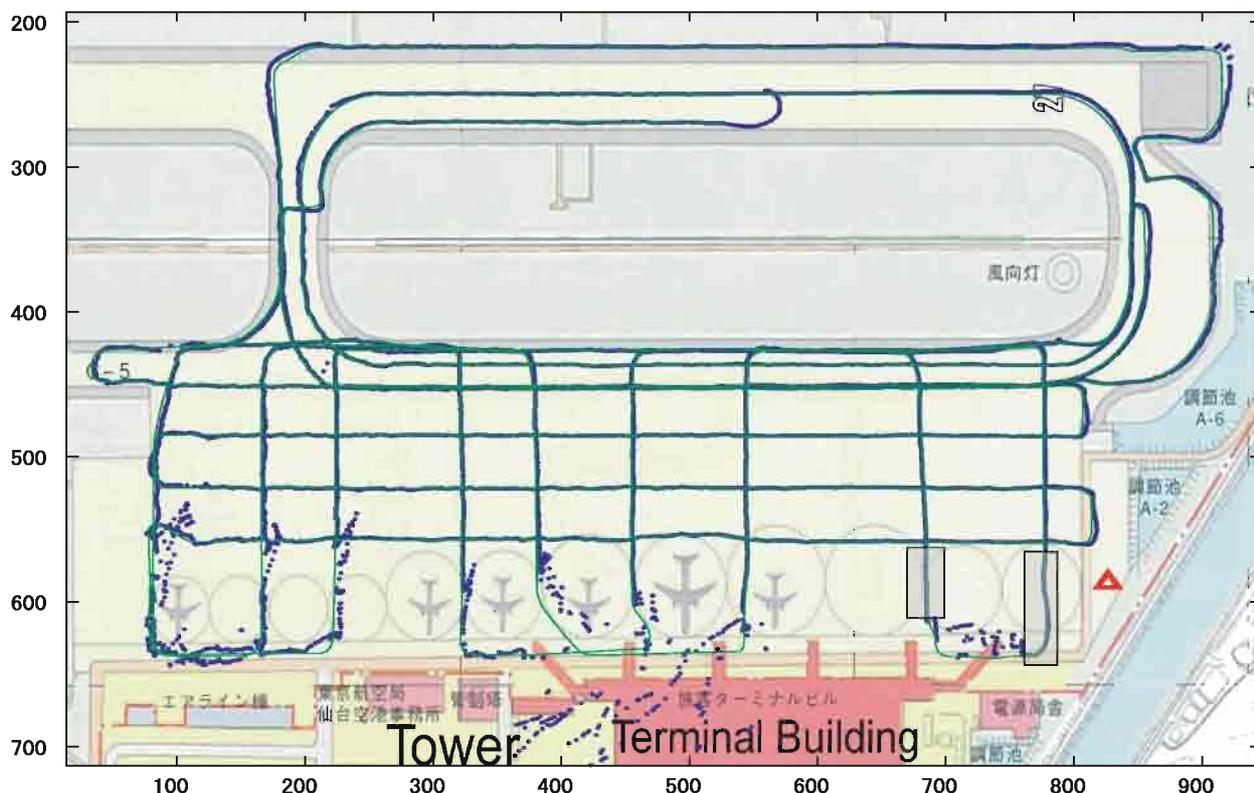


図5 測位結果

表3 K-GPS との比較結果

	測位時間	追尾出力数	測位確率 (%)	Errors(2RMS)		
				x	y	r
固定点	480	480	100.0	0.48m	0.99m	1.10m
エリア1 滑走路・誘導路	2527	2515	99.5	4.79m	2.86m	5.58m
エリア2 エプロン	6160	6144	99.7	2.81m	1.43m	3.15m
エリア3 スポット	492	490	99.5	11.12m	21.25m	23.98m

以上より、直接波が得られる位置にアンテナを設置すればエリア3においても精度よく測位できると考えられる。

5. まとめ

本報告では、光ファイバ伝送装置を使用した受動型監視システム(OCTPASS)の紹介および平成16年に仙台空港で行った評価実験の結果について述べた。実験の結果、以下のことが明らかになった。本システムは、(1)K-GPS と比較して最大1m程度の精度で測位できる。(2)滑走路・誘導路・エプロンには、5.58mの精度で測位できる。(3)スポットエリアにおいては測位精度が劣化していたが、アンテナが直接波を観測できる位置に設置することにより改善可能である。

今後は、アンテナ位置やシステムを改善し、実験を行う予定である。

謝辞

実験に御協力いただきました仙台空港事務所、当研究所の岩沼分室職員他、関係各位に感謝いたします。

参考文献

- [1]Rick Castaldo, et al., “Improved location/identification of aircraft/ground vehicles on airport movement areas – results of FAA trials”, ION, JAN 1996
- [2]古賀他, ”ACAS 受動型測位方式の測位実験”, ENRI 発表会講演概要, H16-6(Jun, 2004)
- [3]FAA, “National Airspace System(NAS) subsystem level specification for ASDE-X”, April 7, 2000, draft, ver1.0
- [4]EUROCAE, “The minimum operational Requirements for Mode S multilateration”, Nov. 2003, ED-117