

マーズ・パーサヴィアランス・ローバーのケーススタディ

PYTHON イメージセンサで

マーズ・パーサヴィアランスの EDL に視覚を装備

要約

アプリケーション	場所	契約機関／お客様	展開方法	使用した オンセミ製品
大気圏突入・降下・ 着陸 (EDL) 用 カメラシステム	マーズ (火星)	NASA FLIR® Systems	マーズ 2020 ミッション パーサヴィアランス・ ローバー	5x PYTHON 1300 1x PYTHON 5000

概要

「恐怖の 7 分間」。マーズ・パーサヴィアランス・ミッションで最も困難なフェーズは、突入、降下、着陸(EDL)です。この短くて強烈な 7 分間に、探査機は時速 12,500 マイルで火星の大気圏に突入し、安全にゼロまで減速して火星表面に着陸するのです。パーサヴィアランスがこのフェーズを自律的に完遂し、その成功の知らせが無線で地球に届くまで 11 分 22 秒かかります。

マーズ・パーサヴィアランス・スローバーには、エンジニアリング、EDL、サイエンスカメラの各システムに使用される合計 23 台のカメラが搭載されています。EDLCAM システムは、EDL の各イベントを、これまでのミッションよりも詳細にキャプチャすることを目的としていました。このカメラシステムは、機体が火星の大気圏を通り抜けて表面まで降下する間、フルカラー映像を撮影しました。降下中にキャプチャされた画像は、パーサヴィアランスのミッションプランナーがローバーの最初の走行地点を選択するのに役立ちます。EDLCAM システムは、合計 7 台のカメラで構成されています。パラシュートアップルックカメラ(PUC)、降下ステージダウルックカメラ(DDC)、ローバーアップルックカメラ(RUC)、ローバーダウンルックカメラ(RDC)、そして LCAM です。LCAM は、地形照合航法(Terrain Relative Navigation)に必要な重要な画像をランダービジョンシステム(LVS)に提供することに特化しています。この航法によって、搭載コンピュータが画像を解析して地図と比較し、降下中のローバーの位置に対してパーサヴィアランスが最も安全な着陸地点を自律的に選択できるようになりました。また、EDL のパラシュート降下フェーズでは、パラシュートの展開を監視しました。

課題

マーズ 2020 ミッションの EDLCAM および LCAM システムにとっての重要な課題は、映像撮影システムを使って EDL および LVS システムの性能に関する知識を深め、EDL の主要イベント (パラシュートの展開、スカイクレーンの展開、ローバーの着陸、ランダーのロケット噴射のダイナミクスなど) をキャプチャし、画像キャプチャを使って自律的な地形照合航法に役立てることでした。ソリューションを選択するプロセスには、コストとシステムインテグレーションの容易さを重視して、商用オフザシェルフ(COTS)ハードウェアの認定が含まれていました。

EDLCAM カメラ



図1. パーサヴィアランスが火星に降下する際に、パラシュート・アップルック・カメラA ([Parachute Up-Look Camera A.](#)) で撮影された画像

画像出典: NASA and JPL-Caltech

EDLCAM システムの重要な要件は、EDL 中に航行システムに干渉しないことでした。カメラシステムの設計は、マーズ・サイエンス・ラボラトリ(MSL)のキュリオシティローバーから継承された航行用ハードウェアシステムやソフトウェアシステムに変更を強いるものであってはなりませんでした。カメラシステムの最小フレームレートの要件は、パラシュートの画像をキャプチャするために、毎秒 30 フレーム(fps)でした。3 台の PUC カメラがパラシュート展開前に 75fps のフレームレートで画像キャプチャを開始し、30 秒後にフレームレートを 30fps に落とし、約 98 秒後のバックシェルの分離まで継続することになりました。各 PUC は約 5,190 枚、システム全体では 15,750 枚の画像を撮影する予定でした。RDC カメラシステムは、ヒートシールドの分離の直前に画像キャプチャを開始し、火星の表面に着陸するまで継続することになりました。RDC が 30fps で約 260 秒間にキャプチャした画像は、合計約 7,800 枚になりました。RUC カメラシステムは、ローバーが降下ステージから分離する直前に画像キャプチャを開始し、ローバーが火星表面に着陸するまで継続することになりました。RUC が 30fps で約 140 秒間にキャプチャした画像は、合計約 4,200 枚になりました。

LCAM カメラ

LCAM カメラの要件には、 $90^\circ \times 90^\circ$ の視野、 1024×1024 ピクセルのアレイ解像度、およびグローバルシャッタのセンサが含まれています。また、このカメラシステムソリューションには、カメラ画像の撮影開始トリガから最終ピクセルの画像出力までのフレーム遅延が 100 ミリ秒未満であること、フレームレートが最大 2Hz であること、火星の環境の照明条件下において約 1 ミリ秒の露光時間で信号対ノイズ比が 80:1 を超えていることも必要でした。

ソリューション



図 2 : CMOS イメージセンサの PYTHON ファミリ

パーサヴィアランス・ミッションチームは、EDL カメラシステムに FLIR Systems の Chameleon®3 ファミリのカメラを選択しました。PUC、RUC、RDC、LCAM の各カメラシステム用に選択されたソリューションには、オンセミの PYTHON ファミリの CMOS イメージセンサが搭載されています。EDL のエンジニアが FLIR の PYTHON を使用したカメラを選択した理由は、グローバルシャッタ動作、小型の光学フォーマット、汎用性、読み出し速度（フルフレームレート、およびより小さな対象領域の読み出し速度を 2 次関数的に向上）です。Chameleon3 カメラ製品ファミリの中では、PYTHON を使用したカメラが最高のフレームレートを達成しました。グローバルシャッタモードで相関二重サンプリング(CDS)に対応することにより、1 枠台のノイズ性能までノイズが低下し、ダイナミックレンジが拡大するため、高コントラストの状況でも画像のディテールが維持できます。PUC、RUC、RDC の各カメラシステムには、PYTHON 1300 イメージセンサが採用されています。

LCAM には、モノクロームの PYTHON 5000 グローバルシャッタ CMOS イメージセンサが採用されています。このイメージセンサは、4.8 μ m ピクセルによる 2592 x 2048 ピクセルのピクセル・アレイと 8 ビットまたは 10 ビットのデジタル化機能を備えており、フレームレートは最大 100fps です。パーサヴィアランス向けの LCAM システム・ソリューションが選択されたのは、NASA ゴダード宇宙飛行センタ(GSFC)の Restore-L ミッションでのビジョンセンサシステム(VSS)、および米国海軍調査研究所(NPL)の静止衛星ロボットサービス(RSGS)ミッションでの P50 カメラとして、いずれも PYTHON 5000 イメージセンサを採用し導入が成功したことによります。

成果

パーサヴィアランス・ローバーの次世代イメージングシステムにより、火星表面への着陸のカラー映像を初めて撮影したことで、マーズ 2020 ミッションの運用能力が向上しました。突入、降下、着陸という重要なイベントの EDLCAM の映像によって、このミッションシステムの性能を実証することに成功したのです。これは、今後の EDL システムの設計の指示に役立つことでしょう。また、ランダービジョンシステムの LCAM が地形照合航行に役立つ火星表面の画像キャプチャに成功したことにより、将来の火星へのミッションでは、さらに目的を絞った着陸能力を促進することでしょう。これらのカメラシステムによってキャプチャされた 1,300 を超える画像や映像は、マーズ 2020 ミッションのパーサヴィアランス・ローバーのウェブサイトでご覧いただけます。