

Teledyne e2v の 16 コア LX2160-Space プロセッサによる、 宇宙空間での AI 画像並列処理

2023 年 10 月



概要

宇宙船内でデータ処理を行うには通常、高速なデータ処理を行うことができる高いコンピューティング能力が必要となります。これらのアプリケーションの例としては、地球観測のための画像処理、自動着陸、デブリ回避のための船内での意思決定などが挙げられます。これらの用途ではデータを分析して意思決定を行うために、従来のコンピューティング手法だけでなく、人工知能に頼るケースも増えています。AI の実践に求められる高い処理能力と特殊性ゆえに、最速のプロセッサを使用するだけでなくニューラルネットワークによるリソースの最適化をすることも重要となります。純粋なコンピューティング性能に加えてもう一つ必要なのは、複数の機能を管理し、場合によっては複数のユーザーにサービスを提供するために、複数のタスク（つまりニューラルネットワーク）を並行して運用する能力です。これは、マルチコアプロセッサによって異なるコアにタスクを分割することと、リソース（CPU 使用量なメモリなど）を効率よく共有できる柔軟な形でソフトウェアを実装することの両方によって実現されます。

Klepsydra はスイスの企業で、宇宙、航空、スマートモビリティ、IoT 産業のアプリケーションに対応する自律型組み込みシステム向け高性能エッジデータ処理ソフトウェアの開発に注力しています。Klepsydra は、利用可能なオンボードコンピュータで必要なコンピューティングと人工知能・機械学習のタスクを実行できる高性能 SW フレームワークを提供します。

Teledyne e2v は、宇宙でのエッジコンピューティングを支援するためにプロセッサ、メモリ、処理モジュールなどの宇宙対応デジタルコンポーネントを提供しています。LX2160-Space は、16 コアの ARM® Cortex®-A72 を搭載した最新世代の耐放射線プロセッサで、200,000 DMIPs/280 GFLOPs の画期的なコンピューティング能力と、PCIe Gen3.0 や最大 100 Gb のイーサネットなどの多数の高速インターフェースを備え、他のサブシステムとインターフェース接続できます。これらの特徴から、LX2160-Space は、飛行中に複数の AI タスクを実行し、宇宙船の「頭脳」の役割を果たす理想的な候補といえます。

このホワイトペーパーでは、Teledyne e2v LX2160-Space プロセッサで動作する Klepsydra ソフトウェアを使用した AI 画像並列処理の実装について説明します。まず、一般的な AIaaS（サービス形式の AI）アプローチを紹介し、次に、ニューラルネットワークの詳細を含めケーススタディに使用されるシナリオについて説明します。最後に、主なパフォーマンス結果を提示します。

Teledyne e2v の 16 コア LX2160-Space プロセッサによる、 宇宙空間での AI 画像並列処理

2023 年 10 月



II. AIaaS (サービス形式の AI) アプローチ

LX2160-Space と Klepsydra フレームワークの組み合わせは、サービス形式の人工衛星 (Satellite-as-a-Service) の枠組みに適したアプリケーション例となります。AIaaS を利用されるお客様は、人工衛星に人工知能を実装し、共有サービスアプローチと組み合わせるといった斬新なコンセプトの恩恵を簡単に受けることができます。AIaaS は宇宙空間で人工知能を導入する新しい方法といえます。AIaaS は宇宙インフラも宇宙空間内 AI 機能もすべて備えているため、お客様が独自の宇宙インフラを構築、所有、保守、アップグレードする必要はなく、宇宙空間内 AI 機能を実装するための特別なソフトウェアの開発スキルも必要ありません。提案している AIaaS はお客様が機械学習モデルを提供しそれを実行するだけでよい点が大きな特徴です。

このコンセプトにより複数の独立した AI アルゴリズムがプロセッサで並列に実行され、複数のお客様が AI モデルを実行するために宇宙空間内のこの共通リソースを使用できるようになります。人工衛星に搭載される AIaaS は、Klepsydra のソフトウェアフレームワークを独特の形で活用しています。お客様が人工知能・機械学習モデルの提供に集中できる一方で、実行エンジンは人工衛星搭載サービスとして利用できます。このおかげで、ソフトウェアフレームワークがすでにコンパイルされてコンピュータにインストールされているため、お客様はソフトウェアフレームワークを操作する必要がありません。お客様に必要なのは、技術要件に沿った機械学習モデルを提供することだけです。提供された機械学習モデルは、宇宙コンピュータにアップロードされて割り当てられた時間実行されます。使いやすだけでなく、Klepsydra のソフトウェアフレームワークの演算性能を時間と費用をかけずに活用できます。

Klepsydra のソフトウェアフレームワークと Teledyne e2v のマルチコアプロセッサを活用した AIaaS では、人工衛星における AI モデルの極めて効率的なパフォーマンスが保証されます。Klepsydra フレームワークにより宇宙空間で AI を実行するために利用可能な演算能力が向上します。Klepsydra の AIaaS ソリューションは優れた処理性能を備えているため、お客様は宇宙空間で AI を存分に実行できます。まとめると、AIaaS は、以下のメリットをもたらします。

- 既存の宇宙ハードウェアを効率的に利用できる
- 宇宙空間で新しいアプリケーションを容易に検証できる
- 新しいアプリケーションで迅速に処理を繰り返しながら、早めに失敗するアプローチを見つけることができる
- 大規模な投資を行わずに新しいサービスを提供できる
- 人工知能・機械学習を活用したビジネスモデルと科学調査への参入障壁をさらに下げることができる
- 共有リソースに基づく新しいビジネスモデルを活用できる

III. ケーススタディのシナリオ

以下のケーススタディでは、実際に考案されているコンセプトを紹介します。強力な LX2160-Space プロセッサで 3 つの独立した AI アルゴリズムが並列実行されます。このケーススタディの例として選ばれた AI の使用例については、後ほど説明します。

Teledyne e2v の 16 コア LX2160-Space プロセッサによる、 宇宙空間での AI 画像並列処理

2023 年 10 月



a. 画像センサーによるジオローカライゼーション

地球観測衛星におけるジオローカライゼーションは、人工衛星に搭載されたセンサーから送られるデータを使用して、地球上の目標の正確な位置を測定するプロセスです。地図作成、自然災害の監視、気候変動の追跡、防衛作戦の支援など、さまざまな用途に採用されています。ジオローカライゼーションの精度は、使用するセンサー、画像の解像度、処理アルゴリズムによって異なります。この例では、KAMnet のディープニューラルネットワーク(DNN)が AI ベースのジオローカライゼーションを実行するために使用されています。KAMnet は、画像を入力データとして使用するジオローカライゼーション用に設計された DNN です。

画像の 2 次元空間からジオローカライゼーションの 3 次元空間への非線形変換を学習することにより、画像の地理的位置を正確に測定できます。実行例を図 1 に示します。ここでは、実際の位置と推定位置の差を比較しています。

実際の実装では、ニューラルネットワークが 1000 km² のエリアから 224 × 224 のグレースケール画像を取り込み、画像の中心の緯度と経度の推定値を提示します。使用ネットワークは、段階的回帰を用いた畳み込みニューラルネットワーク(CNN)です。このネットワークは、以下の構成の 7 つの層で構成されます。

- ReLU 活性化機能を持つ 2 個の畳み込み層
- 2 個の Maxpool 層
- 3 個の Gemm 層

このタスクのために、LX2160-Space の 4 つのコアが推論実行に割り当てられ、さらに 2 つのコアが結果を表示するためのマップレンダリングに使用されています。ZMQ 通信により、ネットワークからマップレンダリングエンジンにデータが転送されます。



図 1: イメージセンサーを利用したジオローカライゼーションの例

b. 画像内雲検出

雲検出は、衛星画像内の雲を識別してマスキングするために実施される地球観測の重要プロセスです。雲が地表の視界を遮りデータの正確な解釈や分析が困難になったり、「無駄な」画像をダウンロードすることで帯域幅を浪費したりする場合があるためにこれを行います。このケーススタディで使用されている雲検出 AI アルゴリズムは、バルセロナ・スーパーコンピューティングセンターと ESA によって開発されました。このアルゴリズムは、セグメンテーションを行って、Cloud95 と呼ばれるオープンソースのデータセットの雲を検出します。U-Net はセグメンテーションタスクの標準的なアプローチとなっており、雲検出タスクにも有効であることが証明されています。ただし、船内処理に U-Net を使うには、パラメータが膨大になり計算コストが高くなるなどの制約があります。最終的な実装では、計算の複雑さやメモリーフットプリントと予測精度のちょうどよいバランスが考慮されました。図 2 は、実装された雲検出の例を示しており、雲に覆われた範囲のグレースケールマップが作成されています。

Teledyne e2v の 16 コア LX2160-Space プロセッサによる、
宇宙空間での AI 画像並列処理

2023 年 10 月

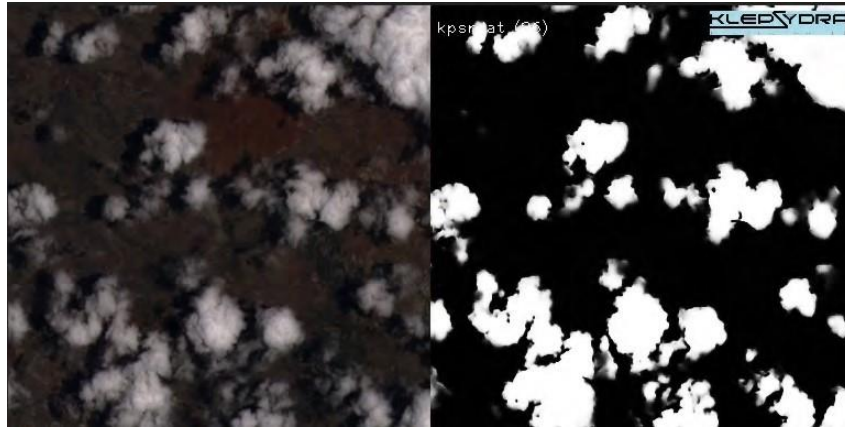


図 2: 雲検出の例

DNN は、 384×384 の 4 チャンネル画像 (赤、緑、青、近赤外) を入力として取り込みます。各チャンネル (「カラー」) はディスク上に別々に保存されているため、ネットワークに送り込む前に 4 つの全画像を 1 つに統合する最初の事前処理ステップがあります。その後、ネットワークが 384×384 のグレースケール画像マスクを生成します。白が雲に覆われた領域、黒が雲のない領域となります。テストデータセットは、Landsat 8 の情景画像と、雲検出のために手動で抽出されたピクセルレベルのラウンドツールから作成されました。これらの情景の画像全体が、複数の 384×384 パッチに切り取られました。ネットワークは、LX2160-Space の 4 コアに以下の 31 個のメイン層を実装した UNet アーキテクチャを採用しています。

- 正規化線形ユニット (ReLU) 活性化機能を持つ 18 個の畳み込み層
- 4 個の転置畳み込み層
- 4 個の Maxpool 層、4 個の Gemm 層、1 個の Sigmoid 層

c. コロナガス噴出の検出

コロナガス噴出 (CME) は、太陽のコロナから太陽圏に顕著な量のプラズマとそれに伴う磁場が放出される現象をいいます。宇宙状況把握 (SSA) の文脈では、太陽フレアやコロナガス噴出 (CME) などの宇宙天気事象を宇宙船内で検出することで、エンドユーザーに重要な情報が届くまでのシステム待ち時間を短縮できます。ESA は、宇宙天気用途向けに、ANN (人工ニューラルネットワーク) を利用したコロナガス噴出検出と、放射線除去用の光学的結像器における放射線によるビット反転の検出のための 2 つの機械学習アプリケーションを開発、最適化しました。このケーススタディでは、図 3 に示すとおり、発生確率を推定するコロナガス噴出検出アプリケーションが実装されています。

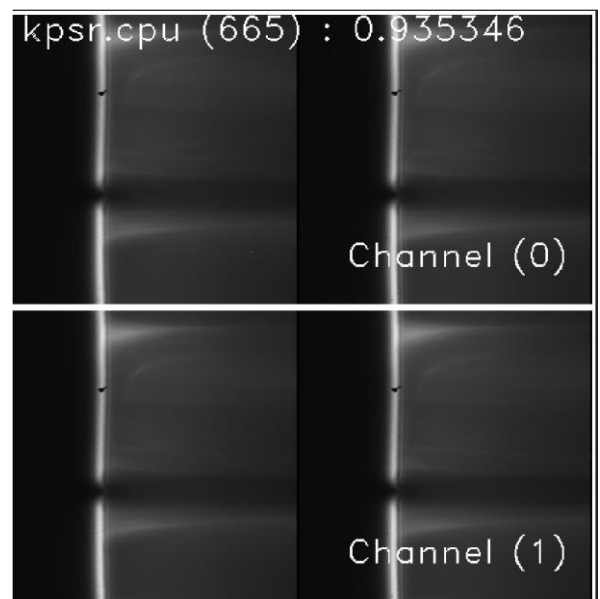


図 3: コロナガス噴出検出の例

Teledyne e2v の 16 コア LX2160-Space プロセッサによる、
宇宙空間での AI 画像並列処理

2023 年 10 月

コロナガス噴出検出機能は、LX2160-Space の残りの 4 つのコアに実装されています。512×1024 の 2 つのグレースケール画像を入力として取り込み、コロナガス噴出発生率の確率を提示します。データは HDF5 形式で保存され、事前処理では、画像に変換する前の HDF5 ファイルの解析が行われます。ニューラルネットワークは CNN ベースの逐次分類ネットワークで、以下の 6 層で構成されます。

- 4 個の畳み込み層
- 1 個の Gemm 層、1 個の Sigmoid 層

IV.実装と性能

実際の対象での性能を検証するため、提案シナリオが LX2160-Space を搭載した開発ボードに実装されました。LX2160-Space は、周波数 2 GHz で動作し、処理速度 2666 MT/s の 16 GB の DDR4 が搭載されたものが使用されました。Klepsydra ソフトウェアが読み込まれて実行されました。表 1 にテストケース、割り当てられたリソース、得られた性能の概要を示します。

表 1: LX2160-Space 使用時の Klepsydra ソフトウェアによる AI アルゴリズム性能のまとめ

	ジオローカライゼーション	雲検出	コロナガス噴出検出
ニューラルネットワークの種類	CNN ベースの段階的回帰ネットワーク - 以下の 7 層で構成 <ul style="list-style-type: none"> • 2 個の畳み込み層 • 2 個の Maxpool 層 • 3 個の Gemm 層 	UNet アーキテクチャ - 以下の 31 層で構成 <ul style="list-style-type: none"> • 18 個の畳み込み層 • 4 個の転置畳み込み層 • 4 個の Maxpool 層、4 個の Gemm 層、1 個の Sigmoid 層 	CNN ベースの徳治分類ネットワーク - 以下の 6 層で構成 <ul style="list-style-type: none"> • 4 個の畳み込み層 • 1 個の Gemm 層 • 1 個の Sigmoid 層
ネットワークのサイズ	117 MB	17 MB	370 kB
入力	224 × 224 グレースケール画像	384 × 384 RGB + 近赤外画像	512 × 1024 2 チャンネルグレースケール画像
出力	緯度と経度の推定値	384 × 384 のグレースケールの雲範囲画像	コロナガス噴出の確率
割り当てられたリソース	ネットワーク用 4 コア マップレンダリングエンジン用 2 コア	ネットワーク用 4 コア	ネットワーク用 4 コア
処理速度	2 Hz (画像処理時間 500 ミリ秒)	0.5 Hz (画像処理時間 2 秒)	12.5 Hz (画像処理時間 80 ミリ秒)

Klepsydra のソフトウェアフレームワークと Teledyne e2v の LX2160-Space プロセッサを併用することで、宇宙空間で同時 AI 画像処理を行えます。最初の 2 つの DNN (ジオローカライゼーションと雲検出) の複雑さにより処理の負荷がかなり高くなることを考慮すると、性能は非常に良好です。予想どおり、コロナガス噴出検出は、その処理負荷が小さいため、より迅速に実行されます。

Teledyne e2v の 16 コア LX2160-Space プロセッサによる、 宇宙空間での AI 画像並列処理



2023 年 10 月

V. まとめ

このホワイトペーパーでは、Klepsydra のフレームワークと Teledyne e2v の宇宙用マルチコアプロセッサを組み合わせた、サービス形式の AI (AIaaS) のコンセプトを紹介しました。複数の用途を対象として、LX2160-Space プロセッサで AI 処理を並列実行するケーススタディが実施されました。このケーススタディでは、Klepsydra の AI ソフトウェアと Teledyne e2v のプロセッサが持つ、複数の AI アルゴリズムを同時に実行できる卓越した能力を実証しました。地球観測用途のための高性能画像処理のケースに焦点を当てましたが、このアプローチは、他の用途にも転用可能です。

このシステムは、サービス形式の人工衛星 (Satellite as a Service) の枠組みに対応しており、同じ画像センサーデータから性質の異なる情報を求める多様なユーザー間での人工衛星搭載処理リソースの共有利用を促進するものです。



詳細については、以下宛てにご連絡ください。

Thomas Porchez
アプリケーションサポート担当
データ処理ソリューション部門
thomas.porchez@teledyne.com



詳細については、以下宛てにご連絡ください。

Thomas Guillemain
マーケティング・事業開発担当
データ処理ソリューション部門
thomas.guillemain@teledyne.com



詳細については、以下宛てにご連絡ください。

Pablo Ghigino 博士
CEO 兼創設者
pablo.ghigino@klepsydra.com

