

自律産業用システムを支える 機械学習

工場をスマート、安全、効率的にする半導体の進歩



Matthieu Chevrier,
Systems & applications manager
Worldwide Industrial systems
Texas Instruments

Tobias Puetz,
Systems engineer
Worldwide Industrial Systems
Texas Instruments

自己完結する工場運営は、 製造運営管理者が理想とする夢のように見えるでしょう。 過ちから学び、継続的に改善する自動化システムに優るものはありません。

品質が新たなレベルに上昇し、ジャスト・イン・タイム生産が不変のものになったとしましょう。生産性、信頼性、効率性はかつて達成不可能であったレベルに達し、より大きな利益と成長につながります。

運営管理者の夢であったことが、驚くべきことに少なくともある程度、現実のものになろうとしています。学習を通じて自らの性能を向上させる機械は、革新的な半導体技術とインターネットを用いた人工知能（AI）により、高度な製造業の基礎になりつつあります。今日、産業用センサは、急増するデータをインターネットのクラウドに送信することにより、利用可能な情報を次のレベルに高めようとしています。収集された情報は、AI技術を活用して分析されます。分析結果に基づき、ロボットやプロセス制御システムなどの自動化されたツールに対して命令をフィードバックし、機能を絶え間なく改善することができます。

そのような工場全体での機械学習は、クラウド内の大規模なデータ・ストレージと計算能力に依存します。また、工場の作業現場や現地コントロール・センターにある多数のセンサおよび自動化システムでは、分散型のインテリジェンスや有線/無線通信も必要になります。クラウド・ベースのAIと工場のコントロール・センターが操業上の頭脳だとすれば、センサは目や耳に、ロボットや他の自動化システムは手足に相当します。

目や耳からのフィードバックと頭脳での賢い洞察に基づくトレーニングを通じて、手足はより正確に複雑な操作を行い、変化する条件に対して適切に対応できるようになります。



その結果、生産工程で機械のトレーニングや保守を行う作業業者や、機械と連携して働く作業業者について、品質、生産性、エネルギー効率、安全性が向上します。

機械学習は、張りめぐらされた分散型センシング、通信、制御インテリジェンスを用いた現代のファクトリ・オートメーションの重要な構成要素です。現代の製造業の著しい進歩は、(過去の大進歩である蒸気動力、組み立てライン、初期のオートメーションに続くものとして) インダストリ4.0と呼ばれています。多数の分野でのイノベーション、特にテキサス・インスツルメンツ (TI) により開発された基本的な半導体技術は、生産性、効率、精度、柔軟性、安全性において、インダストリ4.0とその成功を支える推進力となっています。

製造における機械学習の重要性

従来、製造で使用される複雑なツールは、反復作業を行うよう作製されていますが、それらの作業は、設計されたセンシングや制御インテリジェンスからのフィードバックに応じて多少変化します。システムのパラメータをプログラムし直せば、より大きな変更も可能です。例えば、ロボットは異なる一連の動作を行い、化学プロセス制御システムは別の種類のロットを製造できます。機械は、プロセスからサンプリングされたメトリックスを用いて検査や校正が行われます。

ツールが常に意図した通りに動作し、プロセスが誤動作しないことが理想です。しかし、製造条件が理想的であることはまれです。材料はロット毎に異なり、温度などの周囲条件は変化し、埃や汚れは堆積します。機械の内部でも、部品は過熱し可動部分は摩耗します。それらは後の生産工程に波及的な影響を与え、生産量の変動にもつながります。結果として、返品、材料の廃棄、生産ダウンタイム、「是正のための」保守、時間とエネルギーの浪費、利益の損失などが避けられなくなります。

幸いなことに、自動化システムでの新しい進歩により、今では機械が条件の変化から学習することで、これらの問題を最小限に抑え、無駄を削減することが可能です。最初のステップは、膨大な量のデータを収集することから始まります。コネクテッド・センサの数は爆発的に増加し、温度、圧力、近接度、方向、距離、化学成分、その他製造工程に影響を与える多くの要因に関する大量のデータをクラウドに提供します。多くの場合には、ビデオ・カメラを使用したパターン認識や動き検知によってセンサを補完します。センサとビデオを一緒に使用することにより、変化する複雑な環境内で生産工程に関する非常に正確な情報を提供することができ、これは現在開発されている、自動運転車による路上での利用と同様な技術です。

離れた場所にあるデータセンターに提供される大量の情報は、データ・マイニング、ニューラル・ネットワーク、その他AIで用いられる技術の原料になり、自動化システムの運営を改善します。ツールのパラメータ設定には、通常、数十～数百個の測定値からのサンプリングを用いていますが、将来の機械は数十億個もの分析結果を利用することになるでしょう。ロボットは、発熱やベアリングの摩耗などによる位置ずれをより正確に補正できるようになります。化学製品制御システムは、供給ロットのわずかな違いに対して、製造方法を最適化することができます。連動する複数のモーターは、負荷の変化に合わせて、より効率的に機能できます。あらゆるシステムは、予知保全と安全のために、周囲条件の変化に対してより正確に反応し、環境とシステム自身をより効果的に監視するようになります。

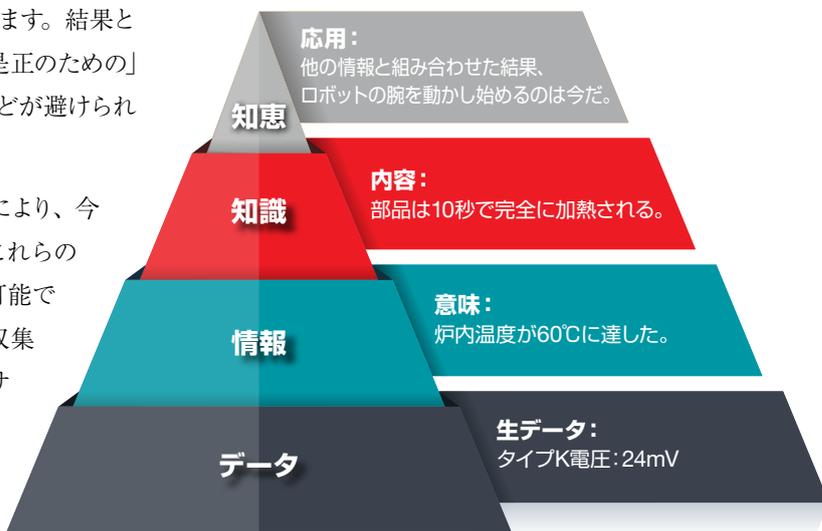


図1：自律制御機械の動作は、膨大な量のデータから下位の各レベルを通じて抽出された知恵に基づいて行われる。

工場の作業現場でのAI利用の実例の1つに、視覚パターン認識の連続的な強化があります。ニューラル・ネットワークを用いた深層学習アルゴリズムは、筆跡など大きく変化するパターンの認識でその能力を実証しました。このような技術は、他の認識アルゴリズムとともに、ビデオ・カメラの有用性を向上させるため確実に利用されるでしょう。



図2：AIの研究と応用の範囲は広く、自動化された製造システムなどの機械が自ら性能を改善し、新しい作業を学習できるようにする方法に特化したものもある。

現状では達成不可能なレベルにまで精度を継続的に向上させることに加え、AI技術は、今はまだ難しすぎて検出できないようなパターンに基づいてパラメータを定義できるようになると期待されています。例えば、一見して同一の運転を行う組立ラインが別のラインよりも生産高が少ないのはなぜか、といった問題にプロセスの専門家が当惑しているような場合でも、データ・マイニングによって予想外の変数の中に答えが示されるかも知れません。

産業用自動化システムの運転を改善するために、データを分析し、それを利用する可能性を制限するのは、ツール設計者やAI技術者の想像力だけです。多くの進歩は、AIと、そ

の案内役として初期の過ちを最小限に抑える人間のスペシャリストとの間の共同作業による問題解決に依存するでしょう。機械学習はまだ黎明期にあり、発明されていない技術もあります。次第に複雑な機械的、化学的、生物学的製造プロセスが稼働するにつれ、そのような手順は継続的改善のために必須となるでしょう。

学習するシステムの設計要件

機械学習を含む、高度な産業オートメーションは、広く普及したセンシング、分散型マシン・インテリジェンス、多彩な有線/無線通信などによって実現されています。使用されているさまざまなシステムには共通する機能もありますが、設計要件は大幅に異なっています。設計エンジニアは、そのような要件を満たすために、最先端の集積回路 (IC) 技術を使用する必要があります。

ICのイノベーションで重要な領域の1つが、センシングです。通常、センサは小型で、センシング素子、信号増幅、アナログ/デジタル変換 (ADC)、通信などを含んでいます。特にセンサが他の機能と一体化されている場合、マイコンを含むこともあります。センサは近づくことが困難な場所に設置されることも多く、そのような回路には、高い集積度、無線による通信、そしてバッテリー交換なしで長期間稼働できる超低消費電力動作が必須です。

センサとは対照的に、ビデオ・カメラは膨大な量のピクセル・データを出力します。そのデータには、さまざまな異なる種類のマイクロプロセッサ、デジタル信号プロセッサ (DSP)、ハードウェア・アクセラレータなどによる大がかりな処理が必要です。カメラ・システムでは送信量を抑えるために圧縮やオブジェクト認識などの技術を利用しますが、大きなデータ・ストリームとなるため、ビデオ通信は有線接続で行われるのが普通です。

ロボットや他の自動化システムは通常、自己完結したユニットであり、ローカル制御によって日常的な動作およびセーフティ・オーバーライドを処理します。離れた場所にあるインテリジェンスとの通信により、リプログラミングや工場の他の部分との連携が行われます。従来の産業用ロボットは、セーフティ・バリア内で稼動していましたが、次第に工場や倉庫内で作業者と連携して作業するような設計になってきています。そのようなケースでは、人間がいることを検知したときに何をすべきか、統合インテリジェンスがロボットに指示を出します。自動化システムがより多くの内部センサや外部センサに対して応答し、その動作が適応力を増すにつれて、プログラムとその基礎となるプロセッサは次第に複雑化しています。機械学習が加われば、この傾向はさらに強まります。

工場内では非常に多くの異なる種類の通信が行われ、IO-Linkなどの単純なインターフェイスから産業用リアルタイム・イーサネットまで幅広く対応する必要があります。無線の最前線ではメッシュ Bluetooth が急速に支持を集めていますが、工場の作業現場では独自のソリューションに加え WiFi や WHART など古くからの標準も引き続き浸透しています。広帯域、決定性、低消費電力といったおなじみの課題に加え、何キロメートルもの敷地を持つ工場から、騒音にあふれた小さな工場まで、極端に異なるさまざまな構成に対応できる堅牢なプロトコルも求められています。ネットワーク・セキュリティも重要であり、データ・ストリームの破損や外部からの不正な命令を防止するため、半導体ソリューションによって暗号化や他の安全対策に対応する必要があります。

製造装置の設計では安全性も念頭に置き、強化絶縁技術を用いて、スパイク電圧や過渡電圧からシステムの損傷や人身傷害を防止することが必要です。信号絶縁は、内部信号の品質を維持し、外部ラインへの不必要なフィードバックを防止します。将来、製造システムがスマート化し、適応力が増すにつれ、安全性とセキュリティに関する技術も次第に重要になります。

学習する機械のための TI のテクノロジー

TI は、自動化システムで求められる広範囲のテクノロジーを提供し、インダストリー 4.0 と機械学習の発展に大きく貢献しています。このようなテクノロジーには、センシング、シグナル・コンディショニング、制御、信号処理、通信、電源管理などが含まれます。TI の産業用製品は、過酷な環境での使用に対応しています。さらに、TI の詳細なシステム専門知識と最先端のプロセス技術により、産業界が現在および将来必要とする、テクノロジー・イノベーションが可能になります。

工場での自律型システム（大半は工場のコントロール・センターやクラウドでも重要な役割を担います）を実現するためには、以下のようなテクノロジーが不可欠です。

センサとシグナル・コンディショニング：TI のセンシング技術は、光、温度、圧力、近接度、動き、電流、電圧、液面、ガス濃度、液体流量、各種化学物質の存在など幅広い条件を検出します。TI は、静電容量、磁気、超音波、レーダー、LIDAR など、センシングのさまざまな実現技術の開発を続けています。最近では、短い波長を使ってサブミリの範囲で正確な距離が得られる TI ミリ波 (mmWave) センシングも加わりました。TI の mmWave は、プラスチック、石膏ボード、布などの物質を通過し、埃や飛沫などで見通しがきかない工場の条件にも影響されません。非常にコンパクトなセンサ・ソリューションでは、増幅回路、ADC、その他の機能が一体化されており、ビデオ・カメラのフル・アナログ・フロントエンドには、高速マルチチャネル ADC が内蔵されています。リモート・センサには、超低電力 MCU とトランシーバによってインテリジェンスとコネクティビティが与えられます。

制御と信号処理：産業用の組み込み設計を行う開発者は、複数の産業用ペリフェラルとインターフェイスに対応する柔軟な処理アーキテクチャに依存します。TI の Sitara™ プロセッサはこのようなニーズを満たし、高度な統合とスケーラビリティも提供します。ARM® Cortex® -A コアをベースに、ペリフェラル、接続性、高速リアルタイム応答を特徴とする TI のシングル/マルチコア組み込みプロセッサは、コード互換性があるスケーラブルなソフトウェア・プラットフォームを提供し、開発者はさまざまな自動化システムでソフトウェア IP を再利用することができます。

ビデオ：工業用途でのビデオ要件に対応するため、TIの専用プロセッサ・ポートフォリオには、標準的なビデオ・アルゴリズム用のハードウェア・アクセラレーションのほか、オブジェクト認識などのタスクで開発者を支援するビデオ・ソフトウェア・モジュールの大規模なライブラリが用意されています。ロボティクス用途では、TIの3Dタイム・オブ・フライト (ToF) テクノロジーにより、変調された赤外線光が一定のエリアに照射されます。反射信号の位相変化を測定し、センサ内のあらゆるピクセルに対して正確に距離を決定することができます。対象物や作成されたシーンの3D デプス・マップを用いることで、センシングは単なる近接度検出から次世代のマシン・ビジョンへの進化を実現します。

セキュアな通信：幅広い通信製品ポートフォリオには、CAN、産業用イーサネット、無線ネットワークなど、産業界の主要通信標準のためのセキュアなソリューションが含まれています。通信セキュリティに関するTIの技術は、製造業だけでなく、ビルディング・オートメーションや金融サービスなどの領域にも及ぶ長年の産業用開発対応に基づいています。特に金融サービスは、最も厳格なセキュリティが要求される商用アプリケーション分野として広く認知されています。

電源管理：高速スイッチング電源用の窒化ガリウム (GaN) は最新のアナログ製造プロセスであり、高電圧の産業用システムにおいて高電力密度を実現します。強化絶縁技術はモジュールおよびチップと完全に一体化しています。このような進歩は、スイッチング/リニア・レギュレータ、スイッチング・コントローラ、電力監視、その他の補助的な電源管理デバイスからなるTIの幅広い電源管理製品ポートフォリオを補完する役割を担っています。

徹底的なサポート：複雑なシステムを迅速なサイクルで開発しなければならない産業用機器の製造企業には、包括的なソリューションが必要です。TIは、評価モジュール (EVM)、開発キット、リファレンス・モジュールなど、すばやく効率的な設計を支援する各種ツールによって、製品をサポートします。

センシング素子、シグナル・コンディショニング、異種混在処理、有線/無線通信、電源管理、絶縁など、これらすべての機能が、現在の製造業で高度化を続ける自動化システムには必要です。TIは、製造システム、コントロール・センターおよびクラウド用に、これらの全領域で最新技術を開発しています。AIを使った機械学習が今後発展する中で、製造業における最も刺激的な開発テーマの1つである「工場をよりスマート、安全、効率的にするためにツールの動作を高度化する」という目的に向け、TIのイノベーションは主要な役割を担い続けていきます。

関連情報：

- [ファクトリ・オートメーション](#)用のTIソリューション
- ホワイトペーパー：[新たなレベルのファクトリ・オートメーションを実現するロボット](#)
- 関連リファレンス・デザイン：
 - [シングルチップの統合mmWaveセンサを用いた距離80m台のオブジェクト検出リファレンス・デザイン](#)
 - [IO-Linkを用いた超音波距離センサのリファレンス・デザイン](#)



TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。