

Technical Article

透過支援邊緣 AI 的 MCU，最佳化即時控制系統中的系統故障偵測功能



Michael Wang 和 Zhen Yu

目前關於人工智慧 (AI) 和神經網路的討論主要集中在生成式應用 (生成影像、文字和影片)，很容易就忽略了 AI 將徹底改變工業和基礎設施應用中的電子產品的實際範例。

不過，儘管用於馬達驅動、太陽能 (如 图 1 中所示) 和電池管理應用的即時控制系統中的 AI 無法獲得與新大型語言模型同等級的關注度，但使用邊緣 AI 進行故障偵測仍會顯著影響系統效率、安全性和生產力。



图 1. 太陽能面板陣列

在本文中，我將討論整合式微控制器 (MCU) 如何強化高電壓即時控制系統中的故障偵測。這些 MCU 使用整合式神經網路處理單元 (NPU) 來執行卷積神經網路 (CNN) 模型，有助於在監控系統故障時減少延遲和功耗。將邊緣 AI 功能整合至管理即時控制的相同 MCU，可協助您將系統設計最佳化，同時提高整體性能。

馬達軸承和太陽能電弧故障

若要維持馬達驅動和太陽能系統的可靠運作，需要快速且可預測的系統故障偵測，以協助減少誤報，同時也需監控馬達軸承異常和實際故障。支援邊緣 AI 的 MCU 可監控兩種類型的故障：

- 當馬達軸承出現異常狀況或劣化時，就會發生馬達軸承故障。偵測這些故障對於防止意外故障、減少停機時間和降低維護成本十分重要。
- 太陽能電弧故障是指當電流流經非預期路徑 (如空氣) 時發生的電弧放電。太陽能電弧故障通常是由太陽能系統中出現絕緣崩潰、連接鬆動或其他故障所引起。放電會產生強烈的熱量，導致火災或損壞電氣系統。監控與偵測太陽能電弧故障有助於預防危險事件的發生，並確保太陽能系統的安全性與可靠性。

如果沒有響應式監控，系統可能會因實際故障或誤報而出現非計劃性停機或系統故障，進而影響運轉效率和操作員安全。例如，太陽能逆變器中的誤報可能會導致系統停機並需要進行檢查，進而影響生產力。錯失即時電弧的偵測也可能增加火災或系統損壞的風險。

一些馬達軸承故障監測方法除了 MCU 之外，還會採用多種裝置進行即時控制，透過振動分析、溫度監測和聲音測量進行監測。這種離散式方法接著會根據資料，使用規則式偵測來監控潛在故障，這需要人工判讀，並可能錯失早期故障，或無法準確偵測故障類型。

同樣地，電弧故障偵測的傳統方法是分析頻域中的電流訊號，然後套用閾值式規則來偵測電弧故障訊號。但這兩種方法都需要大量的系統專業知識，而且在適應性和靈敏度方面也受到限制，進而限制了偵測的準確度。此外，除了用於馬達控制的專用即時控制 MCU 外，在系統中加入用於故障監控的分離式裝置，也會增加系統的複雜性。

整合式邊緣 AI 故障偵測功能可在本機透過即時 MCU (例如 [TMS320F28P550SJ](#)) 執行 CNN 模型，這可能有助於提高故障偵測率，進而協助避免誤報，同時提供更佳的預測性維護。透過邊緣 AI，這些系統可以學習並適應其環境，以便最佳化即時控制，提高整體系統可靠性、安全性和效率，同時減少停機時間，請參閱 [圖 2](#)。

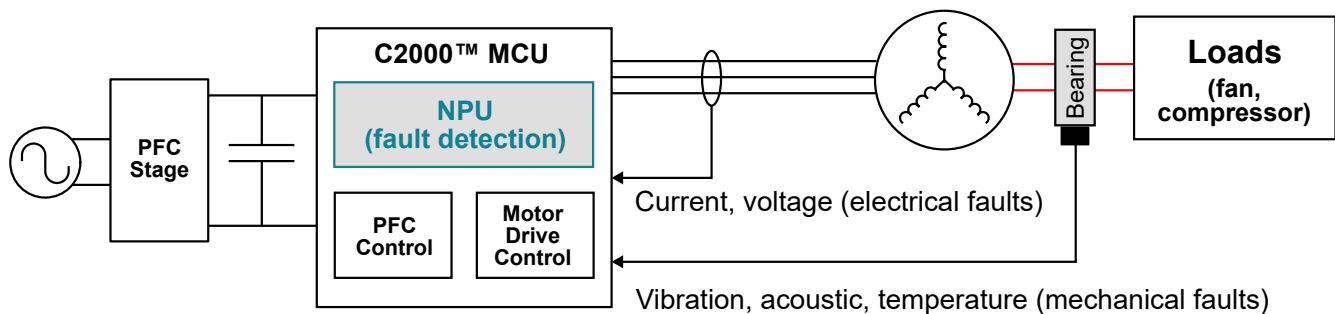


圖 2. 即時控制系統中啟用邊緣 AI 故障監控解決方案

CNN 模型如何強化即時控制系統中的故障監控與偵測

適用於馬達軸承和電弧故障偵測的 CNN 模型可從振動訊號等原始感測器資料中學習複雜的模式，然後偵測指示軸承故障的微妙變化。

CNN 模型在用於故障偵測和預測性維護的感測器資料分析方面有出色的表現，因為此模型可以從原始或預先處理的感測器資料中進行自主學習，例如馬達振動訊號、太陽能 DC 電流或電池電壓和電流。無需人工干預即可直接擷取有意義的特點，以進行穩固且準確的偵測。同時，還可以利用代表可變工作條件和不同硬體變化的感測器資料，以及快速傅立葉轉換 (FFT) 等不同預處理演算法，來提高模型的適應性、雜訊抗擾性和可靠性，同時減少總偵測或推理延遲。

由於 CNN 可有效處理大量資料，並能在不同操作條件下穩定執行，因此在工業環境中對即時監控和預測性維護等作業而言非常實用。若在這些環境中妥善利用 CNN 模型，便可更早且更有效地偵測馬達軸承故障，進而提升設備可靠性與運作效率。

對於馬達驅動，CNN 可以根據振動或電流訊號識別故障模式，例如軸承磨損或轉子不平衡。在太陽能系統中，CNN 可偵測 DC 電流波形的異常，以進行電弧故障偵測。在電池管理應用中，CNN 模型可以分析電池充電曲線壽命、電池健康狀況監控和電池充電狀態評估。其適應性可確保在動態條件下準確偵測故障，同時即時處理則能最佳化效率。

結論

在馬達驅動與太陽能系統等應用中，即時故障偵測可確保操作安全與長期可靠性。預先準確識別故障或預測故障的能力，可大幅提升系統可靠性，避免造成代價高昂的停機時間，並改善整體性能。邊緣 AI 提供了一種革命性的方法，透過在本機即時處理資料，同時減少延遲並改善回應能力，大幅提升了故障偵測的精密度。

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated