

iSAFE: 多權重連網式間歇性運算系統的更新轉送演算法

iSAFE: Enabling Evenness of Data Freshness in Multi-Weight Networked Intermittent System

指導教授：涂嘉恒博士

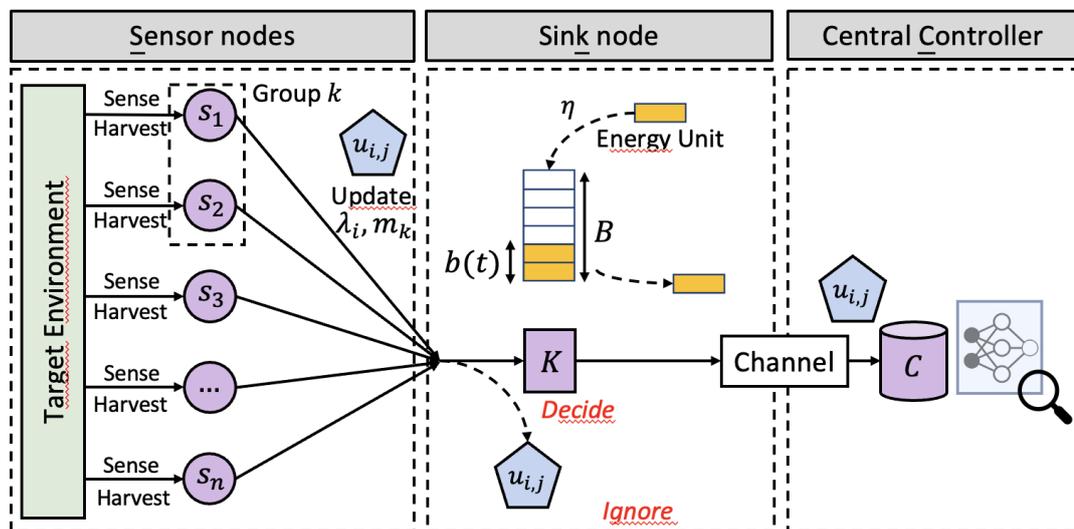
專題成員：陳禹丞

開發工具：rustc

測試環境：Ubuntu 22.04.5

一、簡介：

能量採集（Energy Harvesting）技術已成為聯網式感測器裝置的一種永續性且經濟有效的設計。這類設計適用於需要大範圍部署以即時追蹤狀態並對異常情況作出反應的應用領域。例如野火監測和火山監測。由於這些裝置由環境能量（例如太陽能、RF 和風能）供電，它們在有能量供應時間歇性地運作，被稱為聯網式間歇性運算系統（NIS）。



圖一：NIS 的系統架構

NIS 依賴匯聚節點（Sink Node）將所有感測器收集的即時資料中繼到遠端站點。由於資料傳輸的耗電量很高，在電量不足的前提下，如何把電力用在刀口上十分重要，防止因電量不足而導致的資料中繼中斷。然而，從應用角度來看，應盡可能頻繁地將狀態資料更新到中央控制器，以準確評估即時環境狀態，從而對潛在的緊急事件作出迅速反應。因此，針對這種系統，需要一種資料更新機制，藉以在即時狀態更新和適當的能量利用之間取得平衡。

前人的研究使中央控制器能夠從 NIS 中的感測器獲取最新資料，在現場部署許多感測器和一個匯聚節點，以將收集的資料轉運到中央控制器（用於評估環境狀態並在必要時作出反應）。特別是，陝西科技大學的開拓性研究引入了如何在 NIS 的匯聚節點轉送資料更新的新鮮度問題（每個匯聚節點連接一個數據感測器），並提出了匯聚節點上的資料轉送演算法（包括一個線上算法和一個離線啟發式算法），這些節點具有有限的能量。隨後的研究進一步支持 NIS 的資料轉送，其中每個匯聚節點連接多個感測器，感測器發送的狀態更新在每個匯聚節點進行緩衝。最近的一項工作提出了 NIS 中匯聚節點的離線最優算法，並通過提出無緩衝更新轉送算法進一步減少了匯聚節點對資料緩衝的需求。

然而，上述方法預設 NIS 中連接到匯聚節點的所有感測器具有相同的重要性。這意味著所有感測器的狀態更新具有相同的時效性要求，導致匯聚節點轉運大量類似的資料。這一假設限制了 NIS 的彈性和運用範圍，無法滿足現代監測應用的需求。在這些應用中，具有不同重要性資料類型需要不同的更新頻率。這種多樣性更好地反映了現實世界的環境狀態，考慮了例如不同地形、季節、天氣和目標等因素。例如，在森林火災監測的早期偵測中，溫度和濕度數據比一氧化碳和氣壓數據更具時間敏感性。因此，相比於後者，前者需要更頻繁的更新。

儘管已有多項研究在具有不同優先級的系統上研究數據新鮮度優化，但大多數僅考慮兩個優先級（高與低）。特別是，它們將最高優先級資料視為系統中的例外需要匯聚節點通過搶占當前操作或在當前操作完成後立即服務。質言之，它們不允許系統中存在不同重要性級別的資料，因此可能會從根本上影響監測準確性。此外，這些資料新鮮度研究並未考量 NIS 能量不足的窘境。

二、測試結果：

iSAFE 是專為 MW-NIS 中的匯聚節點設計，以優化資料新鮮度的均勻性，從而更新環境監測應用中的實時資料。我們的結果顯示，與理想情況相比，iSAFE 可以達到 94.47% 的均勻性，同時在資料新鮮度方面保持其有效性，優於先前的研究。此外，iSAFE 在不同資料來源的優先級配置下，即使在不穩定的環境中變化，也能提供極其穩定的均勻性。這是通過推導出的最優間隔 X_{opt} 來運行轉送決策以及兩階段轉送機制所實現。iSAFE 顯著提高了監測資料的新鮮度和均勻性，同時具備高能效和可擴展性，適用於現代監測應用。