



智慧製造的基礎 - 智慧產品介紹

工業技術研究院機械所工業物聯網組副組長 / 黃俊弘

關鍵字：智慧產品、智慧製造、溝通功能、以互聯網為基礎的服務、簡單化、主動接近用戶

摘要

智慧產品現在已經是常見名詞，它可以為智慧製造搭建有利條件，而智慧製造可以為智慧產品擴大應用市場機會。在沒有智慧製造的中小型工廠中仍然可以生產智慧產品，這點對中小型製造業尤其重要。什麼是智慧產品呢？它是個多重意義的名詞，並沒有一個統一的或權威的定義。不過概念上，智慧產品 = 傳統產品 + 電子裝置 + 智慧功能 + 溝通功能 + 以互聯網為基礎的服務。它由三個核心元素實體組件、智慧組件和連接組件所組成。基本上智慧產品在於滿足兩個關鍵性應用需求：簡單化及開放化。所謂簡單化就是要讓產品的使用者相對地減少智力負擔，要盡可能促使使用者與產品之間越來越少的交互動作，並大大提高可用性。

一、前言

智慧製造在現在製造業中是一個大家耳熟能詳的名詞，即使智慧製造有好多種詮釋

或提議，對於智慧製造的未來性則少有人質疑，顯見智慧製造是一個相當有共識的趨勢。但在這共識中卻存在一個尚未收斂的議題：都使用習知製造設備及習知硬體模組，製造工廠有辦法進行智慧化轉化嗎？這議題可能在短、中期內都還不會有結論，因為目前有些標榜智慧化的生產線典範案例，它所採用的設備及硬體模組仍然全部是習知的，只是在系統布局及軟體上進行智慧化而已。不過，若將這議題作局部的調整：使用智慧化製造設備及智慧化硬體模組，製造程序是否更容易進行智慧化轉化？這樣的調整它的正向回應就少有人質疑。也就是「智慧化製造設備」及「智慧化硬體模組」這類「智慧產品」，事實上可以成為智慧製造的理想基礎。這說法的再延伸就是智慧產品與智慧製造應該可以相輔相成的，智慧產品可以為智慧製造搭建有利條件，而智慧製造可以為智慧產品擴大應用市場機會。

智慧產品有利於智慧製造的發展，相對地，在沒有智慧製造的工廠中卻仍然可以生



產智慧產品，這點對中小型製造業尤其重要。因為很多中小型製造業的生產模式在經濟因素考量下不願導入智慧製造，於是在這波智慧化浪潮中可能就邊緣化了。殊不知中小型製造業非常適合開發智慧產品，他可以在沒有智慧化的生產線上生產「智慧化製造設備」或「智慧化硬體模組」等智慧產品，大可在這波智慧化浪潮中追逐浪頭，尋求發展機會。

智慧產品或稱「智能產品」，英文為 Smart Product 或 Intelligent Product，偶而可以看到仔細地在作差異分析的文章，不過通說仍然認為是相同的。智慧產品並不是一個新的概念，在論文上出現至少已有 30 年，它的出現比工業 4.0 論述早很多年。而研發智慧產品的國家或地區相當分散，曾發表智慧產品相關研發成果的其中不乏知名人士或單位，譬如：競爭力大師，美國哈佛大學的波特教授 2014 年就曾在哈佛商業評論上發表有關智慧產品的長文；英國劍橋大學 Institute for Manufacturing 的 Duncan Mcfarlane 教授 2002 年起也陸續發表若干篇有關智慧產品的論文；再譬如，製造學大師，比利時魯汶大學的 Van Brussel 教授也參與發表過相關論文，其多次探討到智慧產品除了 Intelligent Agents 元素外，還要包括 Intelligent Beings，這一舉將智慧產品研發拓展至認知科學或哲學層級。

二、智慧產品的概念

智慧產品的源起與 IT 絕對相關，它是 IT 驅動的三次技術浪潮所激盪出的產物。從 1960、1970 年代開始，第一波浪潮下 IT 逐步地滲透到製造領域中的個人活動，從訂單處

理、會計計算到計算機輔助設計 CAD、計算機輔助製造 CAM。接著，互聯網興起，它廉價且具有無處不在的連接性，在 1980、1990 年代引發了第二波 IT 驅動的轉型。現在，在第三次浪潮中，IT 正逐漸成為產品本身不可或缺的一部分，譬如汽車，一輛普通的福特汽車約使用 25~30 顆 MCU（微處理器），而寶馬 7 系列更是使用多達 60~65 顆。產品本身連接嵌入式感測器、微處理器、軟體和產品，甚至與雲端運算結合，產品數據在其中感測、處理、分析和存儲。再配合運行所需的一些應用程式，這趨勢正推動產品功能和性能的顯著改進，很多新產品透過使用數據實現了許多改進。

智慧產品是個多重意義的名詞，並沒有一個統一的或權威的定義。要掌握智慧產品的概念，可以從理解傳統產品演化至智慧產品的過程中分辨出差異。演化過程包括：傳統產品、機電產品（Mechatronic Products）、智慧機電產品（Intelligent Mechatronic Products）、虛實整合系統（Cyber-Physical Systems）到智慧產品。

機電產品是由傳統機械產品整合電子裝置而成，譬如機械加工廠常見的數字顯示游標卡尺。過去四十幾年來在持續導入嵌入式微電腦及軟體下，機電產品的功能及性能明顯增進，事實上目前製造業的技術主流產品仍以機電產品為主；在 MEMS 感測器、嵌入式微電腦以及軟體加持下，機電產品持續往自主化、自我最佳化、即時互動等方向進化，進而進化到智慧機電產品，譬如主軸監測系統（The Spindle Monitoring System）；智慧機電產品再加上溝通及網路功能，就再



一步進化為虛實整合系統，譬如薄壁切削系統；虛實整合系統再整合以互聯網為基礎的服務，透過互聯網讓數據、人、服務與物彼此溝通，就形成智慧產品，譬如閉迴路產品生命週期管理系統 Closed-Loop PLM。可以簡單地歸納如下：

機電產品 = 傳統產品 + 電子裝置

智慧機電產品 = 機電產品 + 智慧功能 (Intelligence)

虛實整合系統 = 智慧機電產品 + 溝通功能 (Communication)

智慧產品 = 虛實整合系統 + 以互聯網為基礎的服務 (Internet-based Services)

與智慧產品有關的 IT 從 1960、1970 年代開始就激起一波波浪潮，這麼長時間以來，智慧產品為什麼現在就會發達？仔細評估，整個技術領域最近的一系列創新融合在一起，使智慧產品在技術和價格上趨於可行。其中包括：感測器和電池在性能、小型化和能效等方面的突破，促成產品結構高度緊湊、低成本的計算機處理能力和數據存儲能力，這使得放置計算機在產品中變得可行。再加上：廉價的连接埠和無處不在的低成本無線連線；可實現快速軟件開發的工具；大數據分析；一個新的 IPv6 互聯網註冊系統，為個別裝置開放了 340 萬億億個潛在的新互聯網地址，其支持更高安全性的協議。這些創新的融合非常可能促成智慧產品在短中期內蓬勃發展。

三、智慧產品的定義與組成

智慧產品並沒有一個統一的或權威的定義。所以將一組滾珠導螺桿加兩個溫度感測器及一套訊號處理系統，然後就標榜它為智慧滾珠導螺桿。這樣的作法誰也無法否定它。不過可以多參閱各方專家對智慧產品的定義，譬如：德國 Darmstadt 工大的 Mühlhäuser 教授的定義為「智慧產品是一個實體（有形物件、軟體或服務）在其生命週期中有組織地嵌入到不同的（智慧）環境中，藉由情境感知、語義自我描述、主動行為、多模式自然界面、AI 規劃和機器學習等方法，來改善 p2u (product-to-user) 和 p2p (product-to-product) 互動，以提升簡單性和開放性」。

再譬如，英國 Open 大學 KMi 實驗室的 Marta Sabou 下的定義為智慧產品是一種自主物件，為了在生命週期中能自組織地嵌入不同環境而設計，其可實現產品與人之間的自然互動。智慧產品能夠通過對環境的感測、輸入和輸出功能，主動地接近使用者，以達到自我、狀態和情境感知。相關的知識和功能可以在多個智慧產品間共享和擴散。

大致而言，智慧產品都由三類核心元素組成：實體組件、智慧組件和連接組件：

1. 實體組件是產品的機械和電氣部件。
2. 智慧組件的組成包括感測器、微處理器、數據存儲、控制、軟體，和一個嵌入式操作系統和強化的用戶界面。例如，在汽車中，智慧組件包括發動機控制單元、防鎖死煞車系統、雨水感應擋風玻璃和觸控顯示器等。



3. 連接組件由連接埠、天線和通訊協議組成，可實現與產品的有線或無線連接。連通性具有雙重目的，首先，它允許在產品與其操作環境、製造商、用戶以及其他產品之間交換訊息。其次，連接性允許產品的某些功能存在於實體裝置之外，如所謂的雲端運算。

四、智慧產品的應用與分類

智慧產品為什麼可以稱得上「智慧」？基本上智慧產品在於滿足兩個關鍵性應用需求，簡單化及開放化：

(一) 簡單化

所謂簡單化就是要讓產品的使用者相對地減少智力負擔，要盡可能促使使用者與產品之間越來越少的交互動作，並大大提高可用性。譬如由手動排檔到自動排檔，駕駛者就可以簡化很多感知、判斷與動作。另一個面向，智慧產品也可能讓使用者在不增加智力負擔的感覺下，讓產品的功能與性能提升。

(二) 開放化

隨著製造技術的演進，無論軟體、介面及產品組件的數量、複雜性和多樣性均逐步增加，以致零件供應商和產品製造商之間越來越呈現相互陌生的局面，這對製造業的跨公司橫向整合是不利的，智慧產品可以在零件供應商和產品製造商間扮演橋樑角色，提高橫向整合的開放度。

智慧產品在應用上的功能和能力包括監測、控制、最佳化及自主性：

(一) 監測

對使用者而言，智慧產品可通過感測器全面監控產品的狀況、操作和外部環境。對智慧產品的製造廠而言，監測可以跟蹤產品的操作特性和歷史，更好地了解產品的實際使用方式，這些數據對設計具有重要意義，可藉此評估是否過度設計；通過客戶類型的使用模式分析，進行市場區隔規劃；經由所收集數據，可更精確地派遣合適的技術人員使用正確的部件，從而提高首次修復率；監測數據還可以用於判斷產品操作上是否符合保證條件，甚至可以用於判斷是否有新的銷售機會，例如經由利用率的統計。

(二) 控制

智慧產品可通過遠端命令或算法進行控制，其內置於裝置中或駐留在雲端運算中。算法是掌控產品的規則，其對狀態或環境的特定變化產生響應，例如，「主軸負載持續維持高檔時，冷卻迴路相對提高冷卻效能」或「主軸切削振動量達到一定水平時，開始抑制單刃切除率的增加或啟動抑制顫振模式」。

(三) 最佳化

藉由智慧產品的豐富監測數據，以及對產品的控制能力，就可以進一步優化產品性能，其中許多方式以前是不可能的。產品狀態的實時監測數據讓使用者能夠優化製程，在即將發生故障時進行預防性維護作業，甚至遠程完成維修，從而減少了產品停機時間和派遣維修人員的需要。即使需要現場維修，也可以提前了解什麼故障因素、需要哪些零件以及如何修復，這些都可降低作業成本並提高首次修復率。



(四) 自主性

監測、控制和優化功能相結合，使智慧產品有機會實現以前無法達到的自主水準。最簡單的是智慧化操作，如 AGV 無人搬運車物流系統，可以自主地執行派工優化、路徑優化與執行。更複雜的產品能夠了解他們的環境，自我診斷他們自己的服務需求，並適應用戶的喜好。智慧產品的自主能力不僅可以減少操作員作業的需求，也可以改善危險環境中的安全性。

智慧產品是個多重意義的名詞，因此堪稱智慧產品的種類就非常多，智慧產品在分類 (Classification) 上可以用三個維度來區隔，包括：「智慧的水準」、「智慧的位置」及「智慧的聚集水準」等三軸向，依不同面向進行分類：

(一) 智慧的水準：可分三階

1. 信息處理 (Information handling) 智慧產品能夠通過感測器、RFID 和其他技術來管理自己的信息。
2. 問題通知 (Problem notification) 更智慧的產品是可以在出現問題時通知其使用者的產品。這樣的問題可能是例如它摔到了、溫度太高等。產品雖然無法控制自己的狀態，但可以在出現問題時進行報告。
3. 決策 (Decision making) 最智慧的產品是能夠管理自己狀態，並能對相關自己的事進行決策，無需任何外部干預。

(二) 智慧的位置：可分兩類

1. 透過網路的智慧 (Intelligence through network) 產品的智慧完全在實體產品之

外。該產品帶有一種可作為智慧接口的裝置，可能是有線的或無線的。

2. 智慧在實體物 (Intelligence at object) 所有的智慧，無論只是訊息處理還是先進的決策，都是在實體產品本身上進行。該實體物具有必要的計算能力、存儲容量和網絡連接力。

(三) 智慧的聚集水準：可分兩階

1. 智慧項目 (Intelligent item) 該產品僅管理關於其自身的信息、通知和決策。
2. 智慧容器 (Intelligent container) 智慧容器不僅管理關於自身的信息、通知和決定，還知道它所構成的組件。如果智慧容器被拆解或零件被移除、更換，則零件自己仍可以繼續作為智慧項目或容器。例如，高速主軸可以從綜合加工機中移除，翻修後然後在另一綜合加工機中重新使用，可能相伴著新的或翻修過的部件 (如刀庫、換刀臂等)。從供應鏈管理領域的另一個例子是智慧貨架，當特定產品缺貨時，可以發出通知。

五、智慧產品的特色

智慧產品由實體組件、智慧組件和連接組件三類核心元素組成，相較於傳統產品，就可能展現出不同的特色，譬如：

(一) 自主性

智慧產品需要能夠獨立運作而不依賴於上層控制系統。例如，在 AGV 無人搬運車物流系統中，無人搬運車不僅需要主動地回報物流實況，例如，從料架上未能取到貨品；在路徑上遇到障礙亦能自主地繞道而行。



(二) 狀況和情境感知

智慧產品能夠感測物理信息（例如，智慧綜合加工機可通過溫度感測器感知床身溫度）、讀取虛擬信息（例如，在目前操作條件下，綜合加工機床身的模擬溫度狀態），並且從該原始數據中推斷出更高級別的事件（例如，由床身實際溫度狀態與模擬溫度狀態的比較，判斷出目前的加工精度不易理想）。這些「更高級別的事件」通常用「狀況」一詞來表示。因情境或背景訊息的變化智慧產品相應地調整與其他產品的交互動作（例如，因判斷出目前的加工精度可能不盡理想，智慧綜合加工機回報 MES 系統，啟動線上量測系統），以及推斷新知識（例如，累積多次多機台的床身溫度異常記錄，就可建立該床身的狀況原因模式）。

(三) 自組織地嵌入智慧產品環境中

智慧產品能夠無障礙地嵌入現有的智慧產品環境中，並自動融入智慧產品環境。例如，就如同隨身碟插入筆記型電腦般，智慧綜合加工機可以快速地嵌入智慧工作單元（Smart Manufacturing Cell）中。

(四) 主動接近用戶

智慧產品的智慧要能讓產品的使用者相對地減少智力負擔，因此號稱是智慧化的產品若其智慧元素都是處在被動狀態，需要使用者進行操作才能發揮效果，則其智慧化將大打折扣。智慧產品感知狀況或情境，用於決定智慧產品何時應主動通知使用者，例如，提供額外訊息或協助他執行任務。實際上，當智慧產品檢測到異常情況時（例如，加工機感測到開機後機台溫昇速度異常），智慧產品可以透過多模式反應（例如，音響警示、操作畫面顯示、手機簡訊通知等）主動與使

用者互動。更進一步，智慧產品的主動積極性還應該擴展至與其他產品的相互作用（例如，當機台溫昇速度異常，機台開始採取降載操作時，與產線上前後機台的互動通知就可顯現智慧高低）。

(五) 在整個生命週期內提供支持

目前智慧產品的智慧是建構在數據之上，數據不只是當下的，收集的數據需要跨越整個生命週期，而這跨越可能是向前跨越，也可能是向後跨越，關鍵在於哪一個特定生命週期階段的數據對其行為具重要影響。以用在綜合加工機的主軸為例，綜合加工機的使用者在某些時間點可能就會想向後讀取主軸出廠前的測試數據，相對地，主軸的裝配人員可能就會想向前抓取相同規格機台的切削數據，以作為參數設定參考。

(六) 多模式互動

智慧產品理論上應提供自然、人性化、容錯的互動模式，但大多數產品僅具有有限的輸入和輸出資源。出於這個原因，智慧產品需要能夠利用環境中的不同輸入和輸出裝置，應付各種互動（例如，語音、指示）。智慧產品要能在網路中發現多模式界面服務，並可以根據需要使用它們。譬如一組智慧主軸，它必須透過聯網顯示器、麥克風、揚聲器或手機等，與綜合加工機的裝配人員或使用者互動。

(七) 支援程序知識

許多與智慧產品的互動必須基於特定流程，（例如，將一組智慧主軸裝上綜合加工機上）。智慧產品需要支持程序性知識，包括使用者如何參與不同步驟以及如何將隱藏式動作（例如，確認智慧主軸的中心線與綜



合加工機的各軸垂直度或平行度的動作)整合到過程中,並確認使用者何時完成了該步驟。當然,需要支持程序知識的不限於單個智慧產品,也可以由若干智慧產品組成動態程序。例如,熱縮刀把、刀柄熱縮機、刀具動平衡機、刀長量測儀與綜合加工機的組合,這組合可確保切削刀具固定至綜合加工機的精度,刀具在這組合中的動態程序可因智慧化程式的導引,讓使用者感覺容易得多。

(八) 分佈式知識儲存

智慧產品若只運用自身有限的歷史數據,它所能展現的智慧威力勢必有限。智慧產品訴求的是三維度的整合:垂直方向(公司內跨管理階層的)、水平方向(跨公司、貫穿價值鏈的)與生命週期(產品自身的)三維度整合。它的智慧、知識與數據經由整合可分佈儲存於三維度上,智慧產品所依賴的數據就不侷限於自身的數據。這使得剛剛進入智慧產品環境的智慧產品能夠從迄今為止收集的相同產品數據中受益。需要分佈式儲存知識的另一種情境是產品更新調機流程。例如,一個產品壞了由另一個產品替換,分佈式存儲數據及知識使得新產品可以利用舊產品的知識進行初始化,因此無需從頭開始學習所有內容。

六、智慧產品的優點、好處

相較於傳統產品,智慧產品的整體好處是打破原有產業邊界。智慧產品的競爭力基礎從個別的產品功能轉變為更周延的產品系統性能,其中製造商只是一個參與者。製造商現在必須提供一套連接設備和相關服務,以優化整體結果。

從競爭力的角度,智慧產品的淨效應為:進入門檻上升,再加上早期積累實績和分析產品使用數據帶來的先發優勢,促成觀望者或後進者墊高風險。智慧產品的使用可以帶來重要的好處包括:

- (一) 建立以產品驅動的生產方式(這表示,產品掌握計劃執行的主動權)
- (二) 改善產品的整個生命週期,包括設計、生產、分配、操作和報廢階段。
- (三) 提高產品質量和性能,經由「自我某某」方法的應用,如自我學習、自我診斷、自我適應和自我優化。
- (四) 透過大量數據,改進下一代產品。

七、智慧產品的競爭力分析

智慧產品這概念出現已經很久,但事實上目前製造業的技術主流產品仍以機電產品為主,很多公司的智慧產品仍只是公司形象用規格,並非主打規格。這中間透露了產品是否真正具競爭力。競爭力大師波特教授就曾依「五力分析模型」,對智慧產品的競爭力進行分析:

(一) 買家的議價能力

智慧產品極大地擴展了產品差異化的機會,使競爭力從單獨的價格轉移到其他面向。透過智慧產品的聯網溝通功能,智慧產品能讓製造廠與客戶建立更緊密關係,製造廠可以了解客戶如何實際使用產品,可以在區隔客戶、定製產品、設定價格以更好地捕捉價值、及擴展增值服務...等方面提高製造廠競爭力。另一方面,產品使用者一旦習於從分佈式數據庫中讀取豐富的產品資訊,買



家轉換到新供應商的成本增加。此外，由於智慧產品能讓製造廠與客戶建立緊密關係，因此能讓製造廠減少對分銷或服務合作夥伴的依賴，甚至將其解散，從而獲得更多利潤。所有這些都有助於減輕或降低買家的議價能力。但是，「製造廠透過產品的聯網功能以了解客戶如何使用產品」的構想，有時候卻會成為智慧產品在拓展上的障礙，因為產品的使用者不見得願意讓製造廠知道實際狀況。

(二) 競爭對手之間的競爭

智慧產品有可能改變競爭，為差異化和增值服務開闢了許多新途徑。這些產品還使製造廠能夠定製產品以針對特定區隔的市場，甚至定製產品以滿足個別客戶，藉以進一步加強差異化和實現價值。例如：自行車的踏板是一個單純的機械零件，在機械性能上提昇可以在使用壽命、踩踏順暢度等方面提高競爭力。但將自行車的踏板轉換為智慧型踏板後，競爭的面向就改變了，智慧型踏板標榜的是不同的功能以及新增加的服務。

(三) 新進入者的威脅

由傳統產品踏入「智慧-互聯化」的新進入者面臨著重大的新障礙，必須同時面對複雜產品衍生的高固定成本、嵌入式技術和多階層 IT 架構。相對的，目前在銷售智慧產品的企業持續地在收集和積累產品數據，同時利用它來改進產品和售後服務。這在取得關鍵的先發優勢時，進入壁壘也會增加。亦即智慧產品可以提高買家忠誠度和轉換成本，進一步提高新進入者進入門檻。例如：自行車的智慧型踏板，智慧型踏板可提供數據上傳手機、歷史數據記錄、車隊內即時分

享等新增服務，這些新增服務就連結著買家忠誠度。

(四) 替代品的威脅

與傳統替代產品相比，智慧產品可提供卓越性能、定製服務和客戶價值，從而降低替代威脅，並改善行業增長和盈利能力。然而，在許多行業中，智慧產品會遭遇新類型的替代威脅。例如：自行車的智慧型踏板可提供相較於傳統踏板新增的服務，但這些新增的服務卻面臨新興的「曲柄型功率計」的競爭威脅。

(五) 供應商的議價能力

智慧產品正在改變實體組件、連接組件與智慧組件的價值版圖與議價條件。有些論點認為：由於智慧和連接組件相對於實體組件提供更多價值，因此實體組件的議價能力下滑，甚至可以隨時由軟件替換。但是這樣的預測可能過於簡化價值版圖的分析，由於智慧化的實質目的非常多元。智慧產品常常訴求的是新增服務，而非價格競爭，甚至逆向走向精品要求。例如：自行車的智慧型踏板，它的實體組件在結構、精密度、外觀品質上的要求可能都會高於傳統踏板的，因為消費者對於智慧產品的高品質會有所期待。

八、智慧產品的風險

智慧產品在市場面及技術面仍然存在若干挑戰或風險，一些較大的戰略風險包括：

(一) 添加客戶不想支付的功能

僅僅因為現在可以達成某項智慧功能並不意味著客戶就會接受。由於使用成本和



複雜性，添加額外智慧功能只會增加成本，降低收益。

(二) 低估資訊安全和隱私風險

智慧產品為企業系統和數據傳輸打開了新開道器（Gateway）。這需要加強網絡安全、傳感器安全以及信息加密。

(三) 高估內部能力

向智慧產品的轉變往往需要整個價值鏈中的新技術、技能和流程（例如，大數據分析、系統工程和軟件應用程序開發）。關於應該在內部開發哪些能力？以及哪些應該由新合作夥伴開發的評估是至關重要的。

九、結論

智慧產品這概念在論文上出現至少已有30年，到現在仍非主流產品。這代表中間一定有些細節存在。因此在規畫投入智慧產品之前，有些策略問題尚需評估，譬如：轉向智慧產品會如何影響所處行業結構或行業界限？智慧產品如何影響價值鏈的配置？智慧產品需要選擇哪些新策略才能獲得競爭優勢？

在執行上，針對智慧產品的技術性問題亦須檢討，譬如：如何使用和管理它們生成的大量新數據？如何重新界定與協調原有業務合作夥伴的關係？如何確保分佈式數據和保留系統間的互操作性？如何整合適當機制，將可用數據轉換為知識以支持決策。◆

參考文獻

1. Michael E.P., and Heppelmann J.E. 2014. "How Smart, Connected Products Are Transforming Competition." Harvard Business Review 92(11) : 64-88.

2. Duncan M., Sanjay S., Jin L.C., Wong C.Y., and Kevin A. 2002. "The Intelligent Product in Manufacturing Control and Management." 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain, IFAC Proceedings 35(1) : 49-54.
3. Paul V., Bart S.G., Paul V., Jan V.B., Hadeli, and Hendrik V.B. 2009. "Intelligent products: Agere versus Essere." Computers in Industry 60(3) : 217-228.
4. Michael A. 2015. "Smart Products." CIRP Encyclopedia of Production Engineering.
5. Max M. 2007. "Smart Products: An Introduction" European Conference on Ambient Intelligence.
6. Marta S., Julia K., Andriy N., Andrew T., Xiaoming Z., and Enrico N. 2009. "Position Paper on Realizing Smart Products: Challenges for Semantic Web Technologies." Proceedings of Semantic Sensor Networks 522 : 135-147.
7. Paulo L., Nelson R., Jose B., Claudio T., and Arnaldo P., 2015. "Intelligent Products: the Grace Experience." Control Engineering Practice 42 : 95-105.