



聰明省力向前走 先進轉向系統發展趨勢介紹

財團法人車輛研究測試中心 葉智榮

一、前言

在車輛設計時，會希望在駕駛者鬆開方向盤後，車輛能夠自動回到直行的狀態，讓駕駛者可以很容易維持車輛的方向，但這也代表駕駛者在轉動方向盤時，必須克服這個自動回正力量，這個力量主要的來源是車輛的重量施加於懸吊機構而產生，因此車輛愈大愈重，回正力量就愈大。雖然如此，一般開車的經驗，並不覺得轉動方向盤需要花費太多力氣，有些車輛甚至只要用單手就可以輕鬆轉動方向盤，此回正力量並不是減小或消失，這是因為現今車輛的方向盤幾乎都有動力輔助，來幫忙駕駛者抵抗回正力量，在台灣市場給了它相當貼切的名字－「動力方向盤」。

但是方向盤上看起來沒裝什麼特別的裝置，為什麼會有動力呢？除了動力輔助外，轉向系統還有什麼智慧科技可以提升駕駛者的操控便利和安全呢？本文將先從轉向系統的構造說起，介紹各種動力輔助裝置如何加諸於轉向系統，最後再介紹其他提升操控安全便利性的相關應用，藉由了解現有技術，進一步思考轉向系統未來發展趨勢。

二、轉向系統技術

本章以乘用車轉向系統為例，說明各種動力輔助裝置的作動方式，並介紹其他提升安全便利性的相關應用，這也是先進轉向系統的發展史。

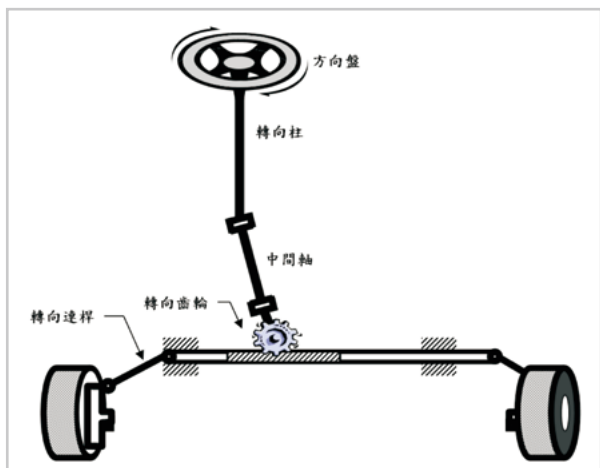
(一) 乘用車轉向系統

乘用車轉向系統主要是由三組機構元件所組成，如圖1所示，第一組機構為方向盤(steering wheel)、轉向柱(steering column)和中間軸(intermediate shaft)，功能是將駕駛者的轉向動作傳遞到第二組機構－轉向齒輪(steering gear)，也就是常見於車輛規格表的齒條小齒輪(rack and pinion)或蝸桿扇形齒輪(worm and sector)，轉向齒輪的功能是將方向盤的旋轉運動轉變成橫向直線運動，進而推動第三組機構－轉向連桿組(steering linkage)，帶動前輪作左右轉向的動作。

乘用車的轉向齒輪最常見的是齒條與小齒輪，其實這種型式早在一百年前汽車萌芽階段就已經發展出來，由於近代材料科學的發展，大大地提高齒條與小齒輪的安全可靠度與加工精度，這種轉向機構的簡單實用性再次受到重視。與蝸桿扇形齒輪式或其他類型的轉向齒輪比較，具有構造簡單、傳動效率高的優點，在車輛行駛時可以使偏轉車輪更容易回正，增強駕駛者的路感。



專 題 報 導



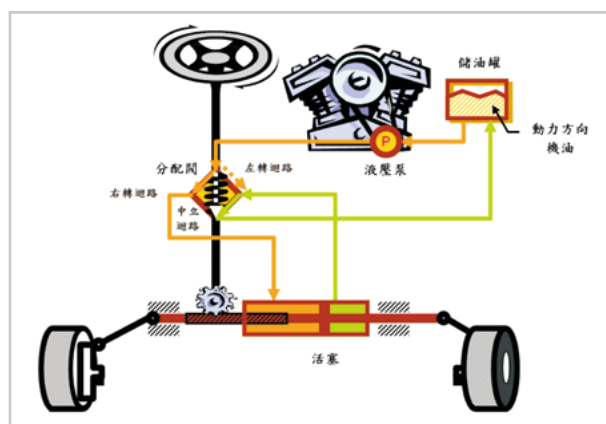
▲ 圖1. 乘用車轉向系統

轉向系統除了方向盤和車輪外，其他機構都不容易看見，動力輔助和其他主動安全裝置就是加在這些機構上，有的幫忙推齒條，有的則是協助轉方向盤。根據動力輔助來源的不同大致可分為：液壓輔助轉向(Hydraulic Power Steering, HPS)系統、電動液壓輔助轉向(Electro-Hydraulic Power Steering, EHPS)系統與電動輔助轉向(Electric Power Steering, EPS)系統，進階的轉向系統包括了主動轉向(Active Steering, AS)系統和線控轉向(Steer By Wire, SBW)系統，各系統組成架構與作動原理分述如後各節。

(二) 液壓輔助轉向系統 (HPS)

液壓輔助轉向(HPS)系統為目前大多數車輛所採用的系統，所使用的動力輔助來源為液壓，一般由液壓泵、動力方向機油、油管、液壓分配閥、V型傳動皮帶、儲油罐等零件構成，如圖2所示。引擎透過傳動皮帶帶動液壓泵，建立整個管路的壓力。齒條和其殼體成為液壓缸，活塞連接著齒條，分割殼體成為兩腔室；當車輛直線行駛時，液壓油

從中立迴路直接流回儲油罐，沒有流經活塞兩側，因此不會推動齒條；當駕駛者轉動方向盤時，轉動的力量會帶動液壓分配閥，使得液壓油透過變化的通道進入液壓缸的其中一側，進而推動活塞，也就是對齒條產生推力，這樣就多了一個力量來推動車輪，減輕了駕駛者操縱轉向的力量。

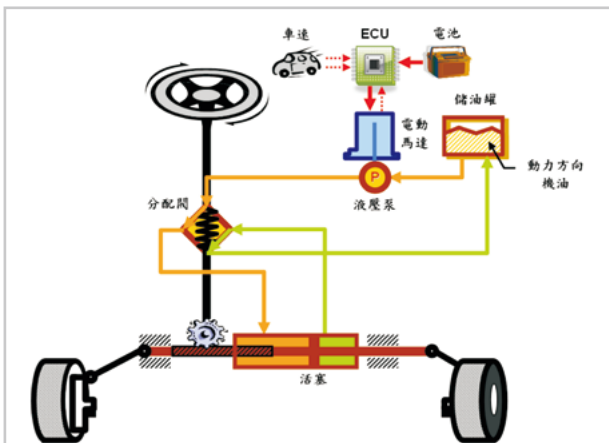


▲ 圖2. 液壓輔助轉向(HPS)系統

HPS系統具有靈敏度高、能夠吸收來自不平路面的衝擊力、可靠度高等優點，在現代車輛上得到十分廣泛的應用。但HPS系統的缺點也不少，如：
1. 使用引擎的動力，因此只在引擎運轉的範圍內才能提供輔助轉向力；
2. 車輛在直行時，不需要輔助轉向，HPS系統仍處於工作狀態，消耗引擎動力；
3. 液壓泵產生壓力很大，比較容易傷害轉向機構且容易發生洩漏等；此外，輔助轉向力與液壓分配閥的開度有關，也就是由駕駛者轉動方向盤的力量所決定，可變化的彈性較小，不易滿足所有行駛條件的需求，妥協的結果，常讓人感覺高速行駛時太輕或低速行駛時太重。

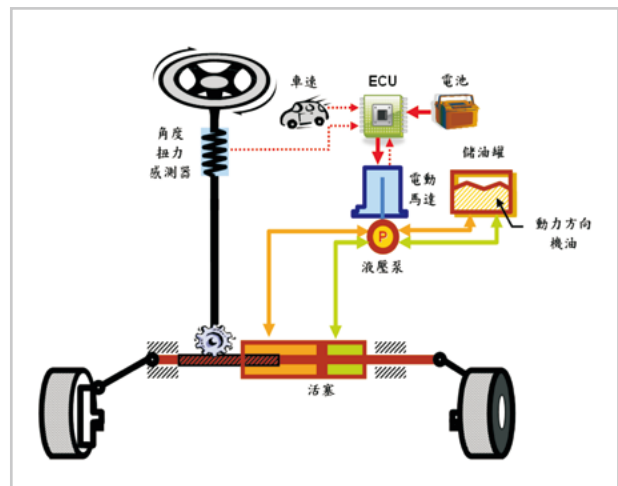
(三) 電動液壓輔助轉向系統 (EHPS)

電動液壓輔助轉向(EHPS)系統則彌補了HPS系統輔助轉向力不可隨車速調整的缺點，EHPS系統是架構在液壓輔助轉向(HPS)系統的基礎上，以電動泵浦取代引擎動力來源，如圖3所示，電子控制單元(Electronic Control Unit, ECU)可以根據車速、轉向速度等訊號，計算EHPS系統需提供之輔助力，控制電動泵浦，使液壓或流量隨行駛狀況改變，使得齒條輔助出力成為連續可調，滿足高低車速不同輔助轉向力的需求，但是仍舊有HPS系統在安裝、密封、能源消耗與噪音等固有缺點。



▲ 圖3. 電動泵浦式液壓輔助轉向(EHPS)系統

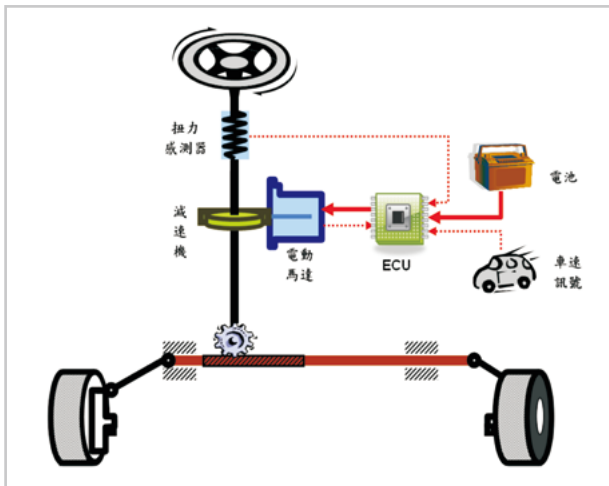
目前還有另一種電動液壓轉向(Electro-Hydraulic Steering, EHS)系統正在發展，如圖4所示，與EHPS系統比較，在小齒輪端少了液壓分配閥，由扭力感測器所取代，液壓泵則可雙向輸出，ECU接收扭力感測器的訊號來決定液壓流動的方向，提供駕駛者相對應的輔助力。由於是純電動控制，可以達到主動的功能，且構造與HPS系統相類似，可以維持原有HPS系統的轉向感覺。



▲ 圖4. 電動液壓轉向(EHS)系統

(四) 電動輔助轉向系統(EPS)

另一種動力來源則是單純採用電動馬達，經由減速機傳遞動力到轉向機構上，此類系統稱為電動輔助轉向(EPS)系統，駕駛者的轉向動作透過裝置在轉向柱的扭力感測器，傳送電子訊號給電子控制單元(ECU)，ECU再輸出命令電流驅動馬達，來協助轉動轉向柱或是推動齒條，如圖5所示。EPS系統在輔助動力的控制是電子式，因此比機械式的HPS系統更具彈性；方向盤所需動力輔助的大小、反應速度依駕駛狀況不同而有差異，像是低速時需要很大的輔助轉向動力，高速時方向盤如果過輕，駕駛者反而會覺得車輛不容易控制而發生危險，ECU可接收車速訊號，隨著車速調整輔助轉向力的大小，帶給駕駛者更舒適的轉向感覺。若需符合不同市場需求，僅需調整控制參數或程式，不需修改機構。



▲ 圖5. 電動輔助轉向(EPS)系統

EPS系統解決傳統HPS系統不少缺點，像是不必擔心漏油，也不必定期檢查更換動力方向機油。EPS系統沒有複雜的管路和元件，省掉了液壓泵、儲油罐、油壓管路，更為擁擠的引擎室節省不少空間及重量。除此之外，EPS系統最重要的優點是省油，HPS系統的液壓泵需要產生的壓力非常大，高達130~150個大氣壓力，需要耗費引擎的動力來驅動，由於是藉由皮帶來驅動，所以引擎起動後，液壓泵就跟著開始工作，其實在駕駛過程中需要轉向動力輔助的時間比例很小，畢竟大部分時間都是直線開車，但是不管需不需要動力輔助，液壓泵始終都在消耗引擎的動力。EPS系統則僅在需要時電動馬達才開始工作，引擎不再需要時時刻刻供給液壓泵動力，可節省95%的能量，據估計每一百公里可省下0.3公升的燃料，雖然不多，但對於日益飆漲的油價，還是需要滴滴計較的。

EPS系統對於安全也有幫助，一般HPS系統在引擎熄火時，立刻就會失去動力輔助，瞬間感覺需

要相當大的力量抓住方向盤，回正力量也可能大到像是方向盤在拉扯著駕駛者的手，若當時正在山區彎道行駛，可能會發生立即的危險。但是EPS系統縱使在引擎熄火時，只要電瓶電壓尚在安全的範圍內，仍可提供轉向輔助，這也是現今混合動力車皆採用EPS系統的主因。

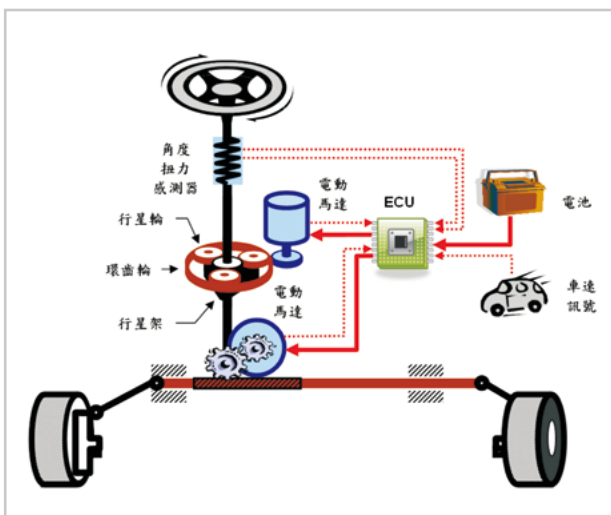
EPS系統可依馬達所處的位置大致分為三種型式：

1. CEPS(Column Electric Power Steering)：動力輔助模組（馬達）位於轉向柱上，整個系統是安置在駕駛艙內。
2. PEPS(Pinion Electric Power Steering)：馬達輔助力是提供給轉向齒輪的小齒輪部分，PEPS系統是安置在引擎室或是車艙外。
3. REPS(Rack Electric Power Steering)：動力輔助模組可安置在齒條週遭任一個地方，且輔助力是直接提供給齒條，因此位置是在引擎室或是車艙外。

(五) 主動轉向系統 (AS)

路面狀況會經由車輪、轉向系統和方向盤傳遞至駕駛者的手上，一般稱為路感(steering feel)，是駕駛者與車外環境溝通最直接的管道，傳遞路徑上各元件都會對路感造成影響，例如轉向系統機構間摩擦和動力輔助裝置摩擦。駕駛者另一種轉向感覺是操控車輛的靈敏性，一般稱為轉向反應(steering response)則是由轉向比(overall steering ratio)所決定，轉向比是指方向盤角度與前輪轉角的比例，齒條小齒輪間嚙合關係就主導轉向比，為了使車輛達到高速行駛具安全性（轉向比相對較大），中低速行駛

具操控性、靈敏性和輕便性的目標（轉向比相對較小），過去在車輛開發上可藉由複雜的懸吊設計來試圖改變轉向比，但現今亦可從轉向系統著手輕易地達成上述目標，轉向比不再被動地由機構所決定，而是主動地隨車速產生多種變化，也因此稱為主動轉向(Active Steering, AS)系統，更精確地來說是主動前輪轉向(Active Front Steering, AFS)系統。

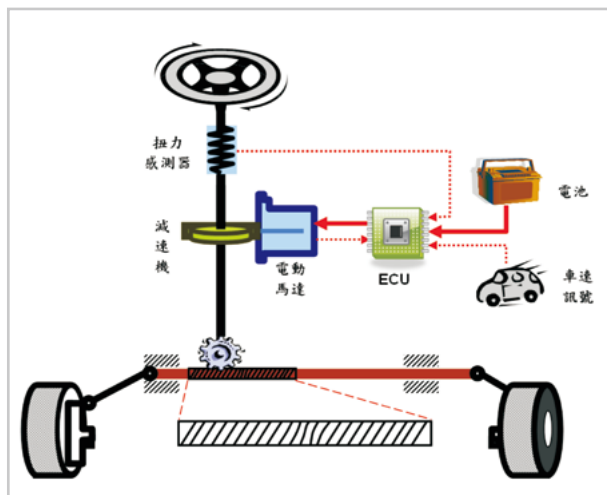


▲ 圖6. 主動轉向(AS)系統加上PEPS輔助

達到可變轉向比的方式，最常見的是以一組行星齒輪機構與轉向系統結合來達成，如圖6所示，行星齒輪組由太陽輪、行星輪、行星架和環齒輪所組成，環齒輪由電動馬達控制其轉速，太陽輪則由駕駛者所控制，此兩自由度合成為行星輪的一個自由度，由行星架輸出至轉向系統的小齒輪端。環齒輪的轉速不同，就會影響行星架輸出的結果，也就改變了轉向比，達到角度疊加(angle overlay)的效果，當然動力輔助還是不可少的，減輕駕駛者出力還是需要HPS或EPS系統。

然而，這樣的方法增添了轉向系統開發的複雜

度與成本，另一種較為單純的實現方式是將齒條的齒距進行修改，如圖7所示。此設計使得轉向比在靠近方向盤中點位置時為一般正常值，隨角度增加而下降，最後保持在一個定值，這樣的方法也可以有效的改善各種車速下的操控靈敏性，而且方向盤 Lock to Lock的總圈數也較一般減少25%，特別有利於常在擁擠市區開車的駕駛者。在這個複雜與電控化的年代，這個系統希望以機械的方式追求高速穩定和低速敏捷之間的平衡點，避免電控轉向系統可能的不連續感和人造感。

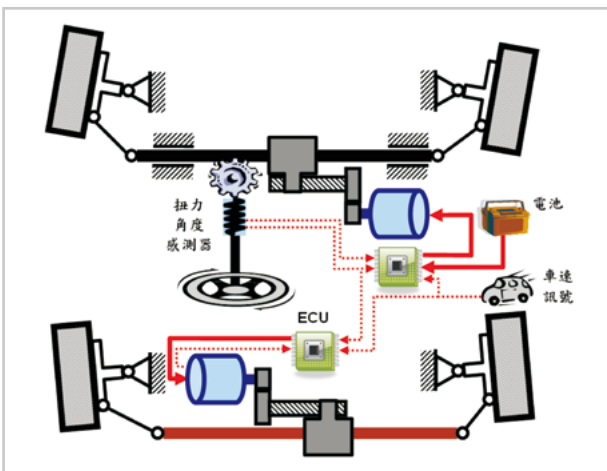


▲ 圖7. 可變齒比轉向與CEPS系統

要達到低速敏捷和高速穩定，除了隨車速改變轉向比外，還有一種方法，就是讓後輪也可以轉向，稱為四輪轉向(four wheel steering, 4WS)系統，在低速時後輪與前輪反方向轉向，可以有效減小車輛的轉彎半徑，在高速時後輪與前輪同方向轉向，使車輛在變換車道更為穩定，對於後座乘客來說，因車輛後軸側滑減小會感覺更舒適，駕駛者也可以盡情享受操控樂趣。近年由於EPS系統與車身網路



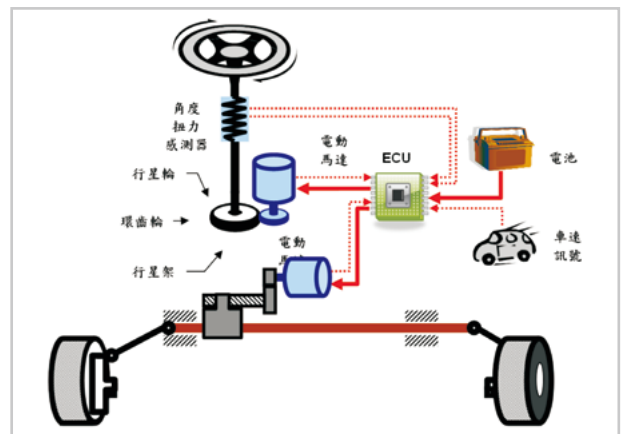
的成功，相似的概念運用到後輪，如圖8所示，車身網路使得許多訊號得以分享，從前只能靠機械傳遞方向盤角度訊息，現在上網接收即可。由於後輪與前輪沒有實體連接，因此又稱主動後輪轉向 (Active Rear Steering, ARS)系統。



▲ 圖8. 四輪轉向(4WS)系統加上REPS輔助

(六) 線控轉向系統(SBW)

前述系統幾乎都有機構件和方向盤連接，或多或少受到許多機構件先天上的限制，使得轉向性能有無法突破的極限，但是線控轉向(Steer By Wire, SBW)系統，如圖9所示，可以擺脫這些限制，這是因為方向盤與轉向輪之間已經沒有機構件連接，能夠達到最佳化的控制，所有的轉向感覺都可以由軟體來控制。SBW系統包括一方向盤模組、轉向齒輪致動模組、ECU和電池。SBW系統最大的好處是在組裝，轉向柱再也不需要穿過防火牆，方向盤也可以像電動玩具般的那樣小，或是由搖桿來操縱。左駕和右駕都可以很輕易調整，甚至只要把方向盤接上插座就可以符合當地的規定。



▲ 圖9. 線控轉向(SBW)系統

三、市場趨勢

近年來由於電子技術的迅速發展，使得電控系統的穩定度和成本被大家所接受，也帶動先進轉向系統的成長，但先進轉向系統在不同區域有不一樣發展趨勢，概括來看，持續成長的是電動輔助轉向 (EPS)系統。

日本市場在全球轉向市場中發展最為先進快速，大多數的新車型都已搭載EPS系統，主要是因為節省燃料，以及和其他系統的整合潛力。歐洲市場僅次於日本市場之後，對於EPS系統也有高接受度。在北美市場，影響車輛系統研發方向的重要因素為最新整廠加權平均油耗標準(CAFE)，以及越來越多消費者偏好於省油小車。為了回應這些需求，各車廠相繼推出小車，並將大型車減重，這些都增加EPS系統的應用率。雖然初期北美市場較不接受EPS，系統路感不佳為專業駕駛者普遍的評價，但其實一般消費者不易察覺。另一個快速發展的市場則是大陸市場，除了更嚴格的排污法規，EPS系統僅需改變控制器軟體，即可因應不同車型需求，有



NEWS

AUTOMOTIVE RESEARCH & TESTING

<http://www.artc.org.tw>

效降低開發成本。至於電動液壓輔助轉向(EHPS)系統則一直有特定應用對象，例如高轉向負載和貨卡車等，因為這些車輛若採用EPS系統會需要高電流(12V)；另外，有一些強調操控性能要求的車輛也採用EHPS系統，主要原因是可維持與HPS系統相似的路感。

EPS系統除了動力輔助功能外，由於它的扭力疊加(torque overlay)特性，有了更多整合控制的應用。在提升操控安全方面，當車輛橫擺運動開始不穩定時，轉向介入可以有效地改善，現今的方法是由動態穩定(ESC)系統控制單輪獨立煞車，對於車輛重心就產生一力矩，來影響車輛轉向行為。轉向介入所需的時間可較建立煞車液壓的時間快三倍，ESC系統控制EPS系統可以引導駕駛者在合適的時機，轉動方向盤至較正確的方向，使車身動態朝向穩定的響應行為。或是EPS系統與AS系統整合，直接控制車輛。

在提升行車便利與安全性方面，EPS系統可進一步搭配其他感測器與演算法，相關應用如(1)自動停車輔助系統(Automatic Parking Guidance System, APGS)，設定停車位置後並進行路徑規劃，控制EPS系統，自動轉動方向盤，直至停妥目標停車位置。(2)車道維持系統(Lane Keeping Support, LKS)，利用裝在車前方攝影鏡頭，辨識車道線，計算出車輛偏移量，當駕駛者不當偏離車道線時，系統會給予警示並控制EPS系統介入轉向，輔助駕駛者保持於車道內行駛，減輕長期駕駛的工作負荷，提高行車的安全性。

在一般行駛條件外，整合電控化系統後，轉向就可能不是駕駛者自己能決定，多了電腦的幫忙，

更高階的控制，使車輛更傾向於主動安全，而且提升駕駛舒適度。然而，當主動轉向系統作為選配系統時，它的花費很容易嚇跑人；同時，雖然線控系統已是飛機的標準配備，但在短時間內SBW系統無法提供給車輛駕駛者安全穩定的信心，因此對於實現SBW系統應用於乘用車的預測總是在十年後；但以現今蓬勃發展的電動車輛，很可能會採用輪內馬達，左右輪速差就能達到轉向的效果，也是一種SBW系統，也許會加速SBW系統的實現。

四、結論

機電整合之先進轉向系統已是未來發展趨勢，系統的安全穩定是最重要的性能，這也是讓消費者接受的關鍵因素，其次才是舒適、便利和危險預防等性能的提升，以乘用車市場來說，可以隨心所欲的操控車輛是駕駛者最需要的，因此轉向系統提供動力輔助是基本配備，而電動輔助轉向(EPS)系統無疑是未來的主流。更先進的轉向系統則是要考量市場需求，例如：一般小車在操作上就相當靈活，沒有必要搭載主動轉向(AS)系統，但是對於大車或是強調操控的車輛就特別適合；或者經常需要長途駕駛的用車人而言，可以防範疲勞駕駛的車道維持(LKS)系統就顯得非常重要；而在擁擠的都市裡，自動停車輔助(APGS)系統，對於停車需要花比較多時間的駕駛者，可說幫了個大忙。簡單來說，目前許多集合智慧與電控的系統在技術上已臻成熟，若能契合消費者的需求，就能真正發揮它們的功能。