

人也看得懂的 QR 碼

朱宏國

為了吸引消費者掃描 QR 碼並提高產品的辨識度，市面上逐漸流行把各種不同視覺元素嵌入 QR 碼中，創作視覺化的 QR 碼。

QR 碼的發展

QR 碼是 quick response code（快速響應碼）的縮寫，是日本一家製造公司在 1994 年發明的一種二維編碼。起初這公司為了能即時監控生產線上的零件，採用傳統一維條碼做為零件自動化辨識的依據，結果遇到一些技術上的問題。例如，條碼長度會隨著 ID 長度變長而無法黏貼在小零件上，以及傳統一維條碼很容易受到工廠中的粉塵影響，使掃描器無法正確辨識。QR 碼便是為了克服這些技術難題而誕生的。

相較於傳統的一維條碼，QR 碼占據的影像面積較小，可儲存的資訊則更多。每個 QR 碼除了可以快速被機器辨識外，內建的容錯機制更允許影像在接近 30% 損毀的情況下，仍可確保原始資料能正確地被掃描軟體解讀。因此，QR 碼快速成為全球標準的二維條碼規格，成為連接數位世界與現實世界的便捷橋梁。

隨著智慧型手機的普及，民眾能輕易透過手機內建的照相鏡頭，搭配從 APP 商店下載的任意一款 QR 碼解碼軟體直接掃描



傳統一維條碼（左）比 QR 碼（右）需要更大的影像來儲存同量的資料。（圖片來源：www.nthu.edu.tw）

QR 碼，把隱藏的資訊解碼並傳送到手機，獲得更多額外的商品訊息，例如生產履歷或促銷活動等。如此便捷的溝通方式，使得 QR 碼大量運用於商品的廣告行銷。

然而，究竟有多少人會主動拿起手機掃描包裝上面的 QR 碼呢？相信大家心知肚明。QR 碼外觀看起來是由雜亂無章的黑白方塊所組成，除非有足夠的動機，否則通常消費者不會主動掃描 QR 碼。另一方面，QR 碼仍占有包裝表面上一定的面積，容易破壞產品原本精美的外觀設計，消費者也難以從外觀上區別不同 QR 碼所對應的活動訊息。換句話說，傳統的 QR 碼影像只能透過電腦解讀，在外觀上對於一般人並不具任何意

傳統的 QR 碼影像只能透過電腦解讀，在外觀上對於一般人不具任何意義。因此，其所提供的便利性並無法有效地帶來更多的商機。

義。因此，其所提供的便利性並無法有效地帶來更多的商機。

為了吸引消費者掃描 QR 碼並提高產品的辨識度，市面上逐漸流行各式各樣的 QR 碼創意行銷，把各種不同的視覺元素如商標、文字、圖像等嵌入，創作出視覺化 QR 碼。

常見的視覺化 QR 碼設計，主要藉由改變 QR 碼中黑白方塊的形狀、顏色等方式來嵌入影像，或利用其內建的容錯機制，讓影像直接覆蓋 QR 碼部分區域。而為了設計後的 QR 碼仍能被電腦正確解讀，現有技術僅能套用在較簡單的影像上，例如單色的商標，對於複雜的彩色影像，無法有效保留原本的影像特徵。

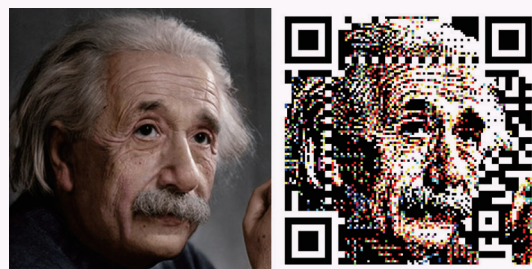
為了使 QR 碼所帶來的經濟效益最大化，本文將介紹一種嶄新的視覺化 QR 碼設計，能把任何彩色影像以半色調藝術風格的呈現方式自然融入 QR 碼影像。有別於現有的技術，半色調 QR 碼不但能完全保留傳統 QR 碼的優點，如快速讀取、容錯機制，在視覺外觀上更能忠實呈現原始影像的內容，因而更能吸引民眾的目光。

QR 碼的影像結構

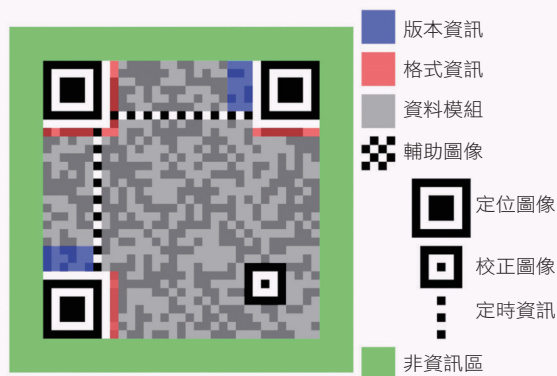
一般 QR 碼影像呈正方形，主要由黑白兩色方塊（又稱為模組）組成，區分為資料與非資料模組。非資料模組區域包含在 3 個角落，以及內部印有較小像「回」字的正方圖案。這些圖案又稱為定位與校正標記，幫助解碼軟體定位，讓使用者不



市面上常見的視覺化 QR 碼設計。現有技術僅能處理簡單的影像，對於複雜的彩色影像，只能有限度地呈現原本影像內的特徵，如圖右蒙娜麗莎的微笑。



以愛因斯坦影像設計的強烈半色調藝術風格的 QR 碼，這視覺化 QR 碼不但具備 QR 碼的可讀性，同時能忠實呈現原有的影像特徵。



QR 碼影像結構示意圖。目前常見的視覺化 QR 碼設計主要針對資料模組（灰色區域）做更動。

需精確對準 QR 碼以任何角度掃描，仍然可以正確讀取資料。此外，約有 5% 的模組用來記錄 QR 碼解碼時所需要的資訊，例如版本與格式。剩下的模組則是屬於資料模組，用來儲存使用者輸入的文字資訊，並提供修正錯誤的功能。

由於目前市面上解碼軟體的讀取能力很容易受到非資料模組影響，特別是定位用的圖案，因此一般的設計並不會更動非資料模組的外觀，改變的主要是資料模組所涵蓋的影像範圍。

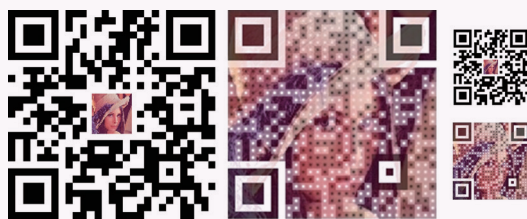
既然 QR 碼是一張平面影像，可以進一步透過影像邊緣黑白模組的數量來定義其解析度。最小張的 QR 碼，其版本號是 1，解析度是 21×21 模組，每提高一個版本，邊緣上的模組個數便會增加 4 個，最大張的 QR 碼是版本 40，解析度是 177×177 模組。由此可知，相較於一般動輒百萬像素的影像，QR 碼影像所能利用的空間很有限，增加了設計視覺化 QR 碼的難度。

視覺化 QR 碼技術

目前，市面上設計視覺化 QR 碼的技術主要分成以下兩種類型。

首先是基於 QR 碼容錯機制的影像嵌入技術。QR 碼容許影像中的資料模組在不同程度的損毀情況下，仍然保有原始資料的可讀性，共分為 4 個層級，包含 L、M、Q、H，容錯量分別是 7%、15%、25%、30%。這特性便可利用來設計視覺化 QR 碼，在容錯量容許範圍內，把影像直接覆蓋 QR 碼內部的資料模組，並藉由容錯機制復原遭破壞的資料模組。

這類技術最大的問題在於所產生的視覺化 QR 碼，視覺品質很容易受到編碼機制影



利用 QR 碼容錯機制（圖左）以及模組混色技術（圖中）所產生的視覺化 QR 碼影像。從右圖可以看到兩種技術產生的視覺化 QR 碼，無論近看或遠看都無法有效呈現原始銳利影像。

響，同一個版本的 QR 碼，可利用的容錯量會直接限制使用者能輸入的文字訊息長度。換句話說，如果要嵌入大張的影像，必須在生成 QR 碼影像時使用較高的容錯量參數，因而限制了原本 QR 碼能儲存的訊息量。

改善方法是透過短網址轉址功能來彌補，但這會進一步把訊息內容局限在網址資訊。另一方面，由於部分的容錯模組已用來修復被影像覆蓋的資料模組，使所產生的視覺化 QR 碼較一般 QR 碼容易受到外在環境因素的影響，因而增加 QR 碼無法讀取的風險。

其次是基於更動 QR 碼模組外觀的影像嵌入技術。為了跳脫 QR 碼內部編碼的框架，目前主流技術在設計自動化演算法，運用電腦圖學以及電腦視覺技術，把輸入影像的像素與 QR 碼模組結合，在不破壞原始 QR 碼可讀性的前提下，產生近似輸入影像的視覺化 QR 碼。目前的研究先驅是以色列一家新創公司所研發的混色技術，主要利用像素與模組間的混色，藉由保持模組中心區域的像素顏色（黑或白），來確保最終 QR 碼的可讀性。

混色的方式固然能完全利用全部的資料模組來嵌入影像，但這是為了確保可讀

性所做的讓步，仍無可避免地讓最終結果的視覺品質受到原始 QR 碼中分布雜亂無章的黑白模組所影響，大幅破壞了原始影像的內容。

現有技術的另外一個問題是，所產生的視覺化 QR 碼無法在遠距離觀看時呈現高品質銳利的影像，因而失去吸引消費者的先機。

半色調 QR 碼

有鑑於此，新的視覺化 QR 碼設計希望能把任意影像自然融入傳統 QR 碼中，且最後的外觀不會受到 QR 碼內部編碼機制與隨機分布的模組外觀所影響，並能保留原本 QR 碼的可讀性並忠實呈現原始影像的內容。

要設計出美觀且吸引目光的視覺化 QR 碼，關鍵在於如何找到一種合適的影像呈現方式，外觀跟 QR 碼類似，使得影像僅需小幅度的更動，便能自然融入 QR 碼中。

數位影像印刷有一種特殊的半色調印刷，目的在於透過紙張上黑色與白色點分布的疏密程度來呈現灰階影像，利用減墨來降低印刷成本。半色調影像的黑白點結構，恰好與 QR 碼由黑白模組所組成的外觀相似。另一方面，半色調影像所呈現的視覺效果，其影像銳利與清晰度會隨著觀看距離變遠而顯著提升，民眾遠遠便能清楚地看到影像的內容。因此，半色調影像非常適合做為設計視覺化 QR 碼的基本元素。

然而如同前面所提到的，QR 碼的解析度比一般影像低很多，如果把這 QR 碼的每一個模組視為一個影像的像素，則必須把影像縮小至跟 QR 碼一樣的解析度，導致破壞許多原始影像特徵。另外，QR 碼模組通常呈現隨機分布，半色調影像的黑點分布

則受到影像的灰階值影響，兩者間的差異使影像嵌入 QR 碼的難度增加。

針對 QR 碼解析度不足的問題，新的計算模型藉由把每一個 QR 碼模組在空間上分割成 3×3 個小格子（或稱為子模組）來提升解析度，每一個子模組可黑可白。如此，可以得到 2^9 種不同的排列組合，而把 QR 碼與半色調影像重疊在一起時，可以發現每一個模組內部的半色調影像結構必定屬於 512 種排列組合之一。

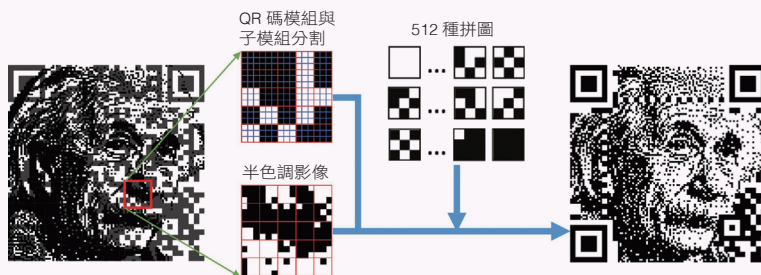
另一方面，為了降低 QR 碼模組的空間分布與半色調影像之間的關聯性，每一個模組中，只取位於中間的子模組做為儲存原本 QR 碼的資訊。換句話說，只需要用 10% 的影像空間來儲存 QR 碼資訊，剩餘的 90% 則可以用來呈現原始半色調影像。

根據上述的設定，把結合 QR 碼與半色調影像的問題視為一種拼圖的問題。也就是總共有 512 種拼圖，而每一個 QR 碼模組可以擺放一個拼圖，最終目的則是利用電腦與數值分析工具，拼湊出一張外觀與原始半色調影像相近，且保留原始 QR 碼可讀性的拼圖。

傳統半色調技術主要針對灰階影像處理，為了把半色調 QR 碼合成技術延伸到彩色影像。首先，把影像從 RGB 色彩模式轉換到印刷業使用的 CMYK 色彩模式，接著針對個別的單色通道合成半色調 QR 碼後再把結果合併，便能產生彩色風格的半色調 QR 碼。更有趣的是，除了生成靜態的半色調 QR 碼外，也能把動態影像嵌入 QR 碼中，產生全世界第 1 個會動的半色調 QR 碼。

隨著技術日新月異，視覺化 QR 碼將逐漸取代傳統 QR 碼，為 QR 碼注入吸引目

隨著技術日新月異，視覺化 QR 碼將逐漸取代傳統 QR 碼，為 QR 碼注入吸引目光的視覺元素。



合成半色調 QR 碼的示意圖



拿起手機掃描看看更多半色調 QR 碼的內容吧！



想看會動的 QR 碼嗎？拿起手機掃描就對了！

光的視覺元素。而半色調 QR 碼的設計重新定義了視覺化 QR 碼的品質標準，將引領未來更多新穎有趣的視覺化 QR 碼設計。請讀者不要再遲疑了，拿起您的手機，一起探索文中半色調 QR 碼所帶來的驚喜。或者掃描彩色愛因斯坦的 QR 碼來進入專案網頁，並透過網頁中線上或單機版半色調 QR 碼產生器，來創造您專屬的 QR 碼！

朱宏國
清華大學資訊工程學系