

AIOT 智慧安靜家園計畫

Smart and Quiet Home Project

(Acoustic Internet of Things)

1.1 何謂安靜家園

依循民國 113 年 5 月 22 日立法院第 11 屆第 1 會期社會福利及衛生環境委員會環境部業務概況書面報告有關「安靜家園」內容知，生活環境噪音來源眾多，涉及不同部會分工權責，需透過跨部會通力合作，才可有效改善噪音陳情案件。有關建立「安靜家園」(Smart and Quiet Home)後續規劃重點如下：

(一) 改善近鄰噪音：本部與內政部（警政署及國土管理署）跨部會合作，就各類近鄰噪音及從建材隔音管理源頭提出削減技術規範，以有效減少近鄰噪音陳情案件發生。

(二) 建置噪音污染地圖：運用數位治理建置噪音陳情地圖及噪音稽查網域聯防，有效嚇阻改善噪音案件。

(三) 精進科技執法效能：持續掌握地方政府推動車輛與營建噪音科技執法成果，檢討精進稽查作法。

(四) 研提安靜家園計畫報院：透過跨部會合作研提安靜家園計畫報院，爭取擴大噪音管制預算及整合各部會管制措施，以改善噪音擾寧情事。

一、安靜家園定義

安靜家園指的是一個提供寧靜居住環境的住宅區域或社區，其特徵包括以下幾個方面：

1. 低噪音家園：安靜家園應遠離高交通流量的道路、機場及工業區，以減少交通工具、飛機及機械所產生的噪音污染。
2. 自然環境：具備大量綠化帶、公園或自然景觀，藉由提升綠化覆蓋率，提供居民一個能夠放鬆及舒適的生活空間。
3. 居民素質：社區內的居民應具有高素質，遵守社區規範，彼此尊重，並減少人為噪音的製造。
4. 建築設計：在建築材料及設計方面，應注重隔音效果，從而有效減少室內外噪音的傳遞。
5. 完善的社區設施：應設有完善的生活設施，例如便利商店、健身房及兒童遊樂場等，但這些設施的運營不應對社區環境造成噪音污染。

總之，安靜家園旨在提供一個使居民能夠身心放鬆、安心居住的生活環境，其核心價值在於營造出一個遠離噪音干擾的寧靜居所。

二、安靜家園行動方案

目標：建構完整城市智慧監控系統，安靜家園的行動方案旨在創造一個寧靜舒適的居住環境，具體措施可包括以下幾個方面：

1. 噪音源控制：

- 交通管理：透過規劃低交通流量的道路網絡，並在住宅區周邊設置噪音屏障和綠化帶，以減少車輛噪音的傳播。
- 工業區規劃：將工業區與住宅區分隔開來，並制定嚴格的工業噪音排放標準，確保工業活動不對住宅區造成噪音影響。

2. 建築設計與施工：

- 隔音材料使用：在建築施工中使用高效的隔音材料，如雙層玻璃窗、隔音牆體等，以減少外部噪音進入室內。
- 合理布局：通過科學合理的建築布局設計，避免噪音源與居住區直接接觸，如將公共設施與住宅區適當分開。

3. 綠化與景觀設計：

- 綠化帶建設：在社區內外建立大量綠化帶和植被屏障，不僅能吸收噪音，還能改善空氣品質，提升居住環境的舒適度。
- 自然景觀設計：利用自然景觀設計，如水景和花園等，不僅美化環境，還能起到心理上的放鬆和減壓作用。

4. 社區管理與規範：

- 噪音控制規範：制定並嚴格執行社區噪音控制規範，限制高噪音活動的時間和範圍，確保居民生活的安寧。
- 居民教育：通過宣傳教育，提高居民的環境保護意識和社區責任感，倡導文明的生活方式，減少人為噪音的製造。

5. 科技與監測：

- 噪音監測系統：建立噪音監測系統，實時監測社區內外的噪音情形，並及時採取相應的應對措施。
- 智能管理：利用智能技術，如智能家居系統，實現對家居環境的自動調控，提升生活品質和舒適度。

這些行動方案旨在通過多方面的綜合措施，有效控制和減少噪音，創造一個和諧、寧靜的安靜家園，從而提升居民的生活品質。

三、安靜家園指標

安靜家園的指標旨在評估和衡量居住環境的寧靜程度，這些指標可分為幾個主要方面：

1. 噪音指標：

- 均能音量 (L_{eq})：該指標用於衡量特定時間段內噪音的平均能量水平，通常以 $dB(A)$ 為單位，反映了環境噪音的總體水平。
- 最大噪音量 (L_{max})：衡量特定時間內出現的最高噪音情形，主要用於評估瞬時噪音對環境的影響。
- 日夜均能音量 (L_{dn})：綜合考慮日間和夜間噪音情形的指標，對夜間噪音進行權重修正，以更準確地反映噪音對居民生活的影響。

2. 綠化指標：

- 綠地覆蓋率：社區內綠地面積與總面積的比率，通常以百分比表示，該指標反映了社區綠化程度和生態環境品質。
- 植物多樣性：綠化區域內植物種類的豐富度，植物多樣性有助於提高生態系統穩定性，並對噪音有一定的吸收作用。

3. 建築隔音性能指標：

- 隔音量 (R_w)：建築構件的隔音效果指標，通常以分貝 (dB) 表示，反映了建築材料和設計的隔音能力。
- 聲音穿透損失 (Sound Transmission Class, STC)：特定建築構件在傳遞聲音過程中的損失值，該指標越高，表示建築構件的隔音性能越好。

4. 社區管理指標：

- 居民滿意度調查：通過問卷調查或訪談方式收集居民對社區噪音控制、環境舒適度等方面的滿意度，以百分比或平均分數表示。
- 噪音投訴率：單位時間內接收到的噪音投訴次數，該指標反映了社區噪音問題的嚴重程度和管理效果。

5. 科技應用指標：

- 噪音監測覆蓋率：噪音監測設備在社區內的覆蓋比例，該指標反映了社區對噪音監控的重視程度和技術水平。

- 智能管理系統應用率：社區內使用智能管理系統的家庭比例，該指標反映了智能技術在社區管理和環境控制中的應用程度。

這些指標旨在全面、科學地評估和提升安靜家園的建設品質，從而為居民創造一個更加寧靜、舒適的生活環境。

四、安靜家園對人體的影響

安靜家園對人體的影響涉及多方面，包括生理、心理和社會層面。以下是其具體影響：

1. 生理健康：

- 降低噪音對聽力的損害：持續的高噪音環境會對人的聽力造成不可逆的損害。安靜家園可以減少噪音暴露，保護聽力健康。
- 促進心血管健康：長期暴露於噪音環境中，會增加高血壓、心臟病和中風的風險。安靜的生活環境有助於降低這些疾病的發病率。
- 改善睡眠品質：噪音干擾會導致睡眠困難和睡眠品質下降。安靜家園能夠提供良好的睡眠環境，有助於恢復體力和增強免疫力。

2. 心理健康：

- 減少壓力和焦慮：噪音污染會增加心理壓力和焦慮感，影響人的情緒穩定性。安靜的環境有助於放鬆心情，減少壓力源。
- 提升專注力和工作效率：安靜的環境能夠提供一個不受干擾的空間，有助於提高專注力，從而提升學習和工作的效率。
- 促進心理放鬆和幸福：綠化和自然環境能夠給人帶來視覺和心理上的愉悅感，提升整體幸福感。

3. 社會影響：

- 促進社區和諧：安靜的居住環境能夠減少因噪音引起的鄰里矛盾，促進社區成員之間的和諧相處。
- 增強社會凝聚力：良好的生活環境有助於提升居民對社區的認同感和歸屬感，增強社會凝聚力。

4. 認知和行為影響：

- 改善兒童的認知發展：噪音干擾會對兒童的學習和認知發展產生負面影響。安靜的環境有助於兒童集中注意力，提高學習效果。
- 減少行為問題：安靜的環境有助於降低因噪音引起的煩躁和攻擊性行為，促進行為健康。

總而言之，安靜家園通過提供低噪音、綠化和自然環境，對人體的生理、心理和社會層面均有積極的影響，能夠顯著提升居民的生活品質和健康水平。

1.2 噪音監測覆蓋率

一、覆蓋率定義

(一)以覆蓋面積來表示

計算安靜家園噪音監測覆蓋率需要結合噪音監測設備的分佈情況以及覆蓋範圍，以覆蓋面積來表示如下：

1.確定監測區域：

- 確定社區的總面積 A_{total} ，通常以平方公里 (km^2) 或平方米 (m^2) 表示。

2.安裝監測設備：

- 在社區內安裝噪音監測設備，確保這些設備能夠有效地覆蓋社區的各個主要區域。監測設備的安裝位置應考慮社區的交通要道、居民集中區以及可能的噪音源附近。

3.確定每個設備的覆蓋範圍：

- 每個噪音監測設備的有效監測範圍 A_i 應根據設備的技術參數和實際測試結果確定，通常以平方米 (m^2) 表示。

4.計算總覆蓋範圍：

- 將所有監測設備的覆蓋範圍進行總和，得到總的監測覆蓋範圍

$$A_{covered} = \sum_{i=1}^n A_i$$

其中， n 為監測設備的總數量。

5.計算覆蓋率：

- 將總覆蓋範圍 $A_{covered}$ 除以社區的總面積 A_{total} ，得到噪音監測覆蓋率 C ：

$$C = \frac{A_{covered}}{A_{total}} \times 100\%$$

示例計算： 假設某安靜家園的總面積 A_{total} 為 1,000,000 m^2 (即 1 km^2)，共安裝了 10 個噪音監測設備，每個設備的覆蓋範圍 A_i 均為 10,000 m^2 。

1. 總覆蓋範圍： $A_{covered} = 10 \times 10,000 = 100,000 \text{ m}^2$

2. 噪音監測覆蓋率： $C = \frac{100,000}{1,000,000} \times 100\% = 10\%$

因此，在這個示例中，該安靜家園的噪音監測覆蓋率為 10%。

這些計算步驟和公式可以幫助準確地評估社區內噪音監測系統的覆蓋情況，以便進一步改進和完善噪音管理措施。

(二) 以覆蓋人口密度來表示

計算安靜家園噪音監測覆蓋率需要結合噪音監測設備的分佈情況以及該地區的人口密度來表示如下：

1. 識別噪音監測設備分佈：首先，需確定社區內所有噪音監測設備的位置及其覆蓋範圍。這些設備包括固定監測站、移動監測裝置和臨時監測點等。
2. 人口密度數據收集：接著，需獲取該地區詳細的人口密度數據，通常可以從政府或相關統計機構獲取此類資料。
3. 區域劃分與分析：將社區劃分為若干個區域，並計算每個區域內的噪音監測設備覆蓋範圍。這些區域應根據人口密度和地理特徵合理劃分，確保能夠準確反映實際情況。
4. 計算覆蓋率：對每個區域，計算該區域內受到噪音監測設備覆蓋的人口數，並與該區域總人口數比較，得到每個區域的監測覆蓋率。然後，根據各區域的人口密度加權平均，計算整個社區的噪音監測覆蓋率。公式如下：

$$\text{覆蓋率} = \frac{[\sum(\text{區域內監測設備覆蓋人口數} \times \text{區域人口密度})]}{[\sum(\text{區域總人口數} \times \text{區域人口密度})]} \times 100\%$$

區域內監測設備覆蓋人口數：區域內監測設備覆蓋人口數是指在特定區域內，處於噪音監測設備有效覆蓋範圍內的人口數量。這一數字用於評估噪音監測系統對該區域內居民的覆蓋情況，反映了監測設備能夠實際監測到的受影響人口。區域內監測設備覆蓋人口數可定義如下：

- 監測設備有效覆蓋範圍：指噪音監測設備所能監測到的區域，通常由設備的技術參數（如靈敏度、測量範圍等）決定。這個範圍應考慮地形、建築物等環境因素的影響。

- 覆蓋人口數：在上述有效覆蓋範圍內居住或活動的人口數量。這些人口數據通常基於人口密度資料和地理信息系統（GIS）數據計算得出。

根據世界衛生組織（WHO）和歐洲環境署（EEA）的指導原則，這種結合噪音監測設備分佈和人口密度的方法能夠更準確地反映噪音監測的實際覆蓋情況，有助於制定更有效的噪音管理政策。

二、高程度和高技術的覆蓋率

在評估社區噪音監測覆蓋率時，高重視程度和高技術水平通常反映在較高的覆蓋率上。重視程度的社區噪音監測覆蓋率因地區和政策的不同而有所差異。根據世界衛生組織（WHO）的報告，在高度重視噪音污染的社區，理想的監測覆蓋率應達到 100%。

這意味著這些社區內的所有主要噪音源和受影響地區應該全部納入監測範圍內。然而，實際操作中，許多城市或地區的監測覆蓋率可能未達到這一理想標準。根據歐洲環境署（European Environment Agency, EEA）2014 年的報告，在一些主要城市中，噪音監測系統的覆蓋率約為 60%至 80%。

這些數據主要來自於歐盟成員國的城市，顯示出噪音監測覆蓋率在實踐中可能受到資金、技術和政策等多種因素的限制。（資料來源：（世界衛生組織（WHO）《環境噪音指南》（Environmental Noise Guidelines for the European Region），2018 年。歐洲環境署（EEA）《環境噪音報告》（Noise in Europe 2014），2014 年）。這些報告提供了關於社區噪音監測的重要數據和建議，是相關研究和政策制定的重要參考資料。具體而言：

1.高重視程度：

- 高重視程度的社區噪音監測覆蓋率建議達到 70%以上。這表明社區管理者對噪音污染問題高度關注，並投入了充足的資源來安裝和維護噪音監測設備。此覆蓋率能確保社區大部分區域的噪音情形得到有效監控。

2.高技術水平：

- 高技術水平的社區噪音監測覆蓋率應達到 90%以上。這不僅要求社區內廣泛分佈噪音監測設備 WASNs（wireless acoustic sensor networks, WASNs），還需要這些設備具有高靈敏度和高精度，能

夠實時監測和報告噪音數據。這樣的覆蓋率能確保即使是較小的噪音變化也能被即時捕捉，從而迅速採取相應的措施。

這兩個標準的達成需要以下條件：

1.充分的資金投入：高覆蓋率的實現需要大量的設備和技術支持，因此資金投入是關鍵。

2.先進的技術設備：高靈敏度和高精度的噪音監測設備是高技術水平的基礎，這些設備應具備長期穩定運行的能力 WASNs (wireless acoustic sensor networks, WASNs)。

3.科學的規劃與佈局：需要對社區進行詳細的規劃，確定噪音監測設備的最佳安裝位置，確保其覆蓋範圍最大化。

4.專業的運營與維護：需要專業團隊進行日常運營和維護，確保設備的正常運行和數據的準確性。

綜合以上條件，能夠達到 70%以上的噪音監測覆蓋率即可視為對噪音問題具有高度重視，而 90%以上的覆蓋率則反映了高技術水平和高效的管理體系。這樣的覆蓋率不僅能夠有效監控噪音問題，還能提升居民的生活質量，促進社區的永續發展。

三、安靜家園合理覆蓋率

合理的區域內監測設備數量該根據該區域的人口密度來決定。根據世界衛生組織（WHO）和歐洲環境署（EEA）的指導原則，高人口密度區域和噪音污染嚴重的區域應優先考慮，確保這些區域內的監測設備能夠覆蓋大部分甚至全部受影響的人口。

1. 高人口密度區域：在這些區域，噪音監測設備應該覆蓋至少 90%的居民，以確保能夠充分監測和管理噪音污染。
2. 中等人口密度區域：在中等人口密度區域，監測覆蓋率應達到 70%至 80%，確保大部分居民處於監測範圍內。
3. 低人口密度區域：在低人口密度區域，監測覆蓋率應達到 50%至 60%，針對主要噪音源附近的居民進行重點監測。

依據：這些覆蓋比例的依據主要包括以下幾個方面：

1. 健康影響研究：大量研究表明，噪音污染對人類健康有顯著影響，尤其是在高人口密度區域，噪音對居民的身心健康和生活質量影響更大。因此，這些區域需要更高的監測覆蓋率以便及時發現和控制噪音污染。

2. 國際指導原則：WHO 和 EEA 等國際機構的指導原則強調高風險區域(如高人口密度和噪音污染嚴重的區域)需要優先監測，確保能夠及時採取措施減少噪音影響。
3. 地方環保政策：許多國家和地區制定了針對噪音監測的具體政策和規範，要求在不同人口密度區域達到相應的監測覆蓋率。

資料來源：

1. 世界衛生組織(WHO):《環境噪音指南》(Environmental Noise Guidelines for the European Region), 2018 年。該指南提供了噪音污染對健康的影響以及監測和管理的建議。
2. 歐洲環境署(EEA):《環境噪音報告》(Noise in Europe 2014), 2014 年。該報告詳細描述了歐洲主要城市的噪音監測覆蓋情況及其影響，並提出了相關建議。
3. 地方政府和環保部門的政策文件：這些文件通常包括噪音監測規範和覆蓋率要求，根據當地實際情況制定具體的監測計劃。

這些資料和依據為制定合理的區域內噪音監測設備覆蓋比例提供了科學支持，確保能夠有效監測和管理噪音污染，保護居民健康和生活質量。

1.3 噪音監測設備種類

在構建安靜家園時，使用多種噪音監測設備以全面監測和管理社區內的噪音情形。以下是一些常見的噪音監測設備種類及其特點：

1. 固定式噪音監測站：
 - 特點：這類設備通常安裝在固定位置，能夠長期持續地監測環境噪音情形。
 - 用途：適用於監測主要交通幹道、工業區周邊及社區內重點區域的噪音。
 - 優點：能夠提供穩定、連續的數據，便於長期趨勢分析。
2. 移動式噪音監測設備：
 - 特點：這類設備安裝在車輛上或便攜式裝置內，能夠靈活調整位置，進行臨時性或特定區域的噪音測量。
 - 用途：適用於臨時活動、大型公共集會等場合的噪音監測。
 - 優點：靈活性高，可隨時調整監測位置，覆蓋範圍廣。

3. 個人噪音劑量計：

- 特點：小型、便攜式設備，可佩戴在個人身上，用於測量個人暴露於噪音中的劑量。
- 用途：適用於研究特定人群（如工人、學生）的噪音暴露情況。
- 優點：能夠提供個人噪音暴露數據，精確評估噪音對個體健康的影響。

4. 環境噪音監測系統：

- 特點：由多個噪音監測點組成，通過網絡連接形成一個整體監測系統，能夠實時監測和傳輸噪音數據。
- 用途：適用於需要全面、綜合噪音監測的社區或城市。
- 優點：數據實時傳輸、集中管理，便於綜合分析和快速響應。

5. 聲學照相機(麥克風陣列)：

- 特點：結合麥克風陣列和攝像技術，能夠定位和識別噪音源的位置和類型。
- 用途：適用於精確定位噪音源，特別是複雜環境中的噪音源識別。
- 優點：能夠直觀地顯示噪音源位置，便於精確控制和管理。

6. 智能噪音監測軟體平台：

- 特點：融合物聯網技術，具備數據自動上傳和遠程控制功能
WASNs (wireless acoustic sensor networks, WASNs) 方法。
- 用途：適用於需要智能化管理的現代社區。
- 優點：自動化程度高，能夠進行大數據分析和預警。

這些噪音監測設備各有特點和優勢，通過科學合理的組合和應用，可以全面、精確地監測社區內的噪音情況，為安靜家園的建設提供有力支持和保障。

許多國家使用固定式噪音監測站、移動式噪音監測設備和聲學照相機(麥克風陣列)來監測和管理噪音污染。

一、固定式噪音監測站

固定式噪音監測站通常被安裝在交通繁忙的城市區域和工業區，用於長期的噪音數據收集。這些監測站通常具有全天候運行能力，並能夠實時傳輸數據。國家如義大利、德國和英國都廣泛使用這些設備。例如，義大利在米蘭和羅馬的 DYNAMAP 項目中使用固定式噪音監測站來創建動態聲學地圖 (MDPI) (Soft dB)。國際上廣泛使用的固定式噪音監測站有以下幾個顯著例子：

1. 歐洲：歐洲多國，如英國、法國、德國和意大利，均設置了大量的固定式噪音監測站，用於監測城市和交通噪音。這些監測站通常具備全天候運行和實時數據傳輸的能力。
2. 美國：美國環保署在多個城市和機場周圍設置了固定式噪音監測站，以監測並減少噪音污染對居民的影響。
3. 澳大利亞：澳大利亞在其主要城市和機場也設有噪音監測站，以確保噪音情形符合國家標準，並減少噪音對社區的影響。

這些固定式噪音監測站主要功能包括實時監測噪音情形、數據存儲與傳輸，以及環境條件監測等。它們通常被設置在噪音污染嚴重的地區，如城市中心、交通幹道和機場周邊，以便及時掌握噪音情況並採取相應的減噪措施。

二、移動式噪音監測設備

移動式噪音監測設備具有靈活性，可以在不同地點快速部署，用於短期或臨時的噪音測量。這些設備常被使用於建設工地、音樂會和其他大型活動場地。美國、加拿大和日本等國家使用移動式噪音監測設備來進行環境噪音評估和控制 (Soft dB) (Larson Davis)。

三、聲學照相機(麥克風陣列)(麥克風陣列)

聲學照相機(麥克風陣列)使用多個麥克風陣列來定位和識別噪音源，並將噪音數據可視化。這些設備對於噪音源複雜的大型工業區或交通繁忙地區特別有用。歐洲一些國家，如德國和荷蘭，以及亞洲的日本和新加坡，都已經開始採用聲學照相機(麥克風陣列)來提升噪音管理的精確性和效率。為什麼需要麥克風陣列？其主要解決遠距離聲音辨識的問題，以保證真實場景下的聲音辨識率。用大眾普遍瞭解的例子就是以 Siri 為代表的智慧型手機，其為採用單顆麥克風。單顆麥克風可以在低噪音、無混響(迴響)、距離音源很近的情況下獲得符合語音辨識需求的聲音信號。但是，若音源距離麥克風距離較遠，並且真實環境存在大量的噪音、多徑反射和混響(迴響)，將導致拾取信號的品質下降，這會嚴重影響語音辨識率。而且，單顆麥克風接收的信號，是由多個音源和環境噪音疊加的，很難實現各個音源的分離。而無法實現音源定位和分離是很重要的問題，因為還有一類聲音的疊加並非噪音，但是在語音辨識中也要抑制，那就是人聲的干擾，採用單顆麥克風顯然不能同時辨識兩個以上的聲音。

為了解決單顆麥克風的這些侷限性，利用麥克風陣列辨識技術進行多音源處理的方法應時而生，其中最重要的問題就是該如何從收到的聲音訊號中，抽

取我們想要的訊號。麥克風陣列由一組按一定幾何結構（常用線形、環形）擺放的麥克風組成，對採集的不同空間方向的聲音進行空、時處理，使其具有噪音抑制、混響（迴響）去除、人聲干擾抑制、音源測向、音源跟蹤、陣列增益等功能，進而提高聲（語）音信號處理品質、提昇真實環境下多音源的辨識率。

麥克風陣列是一種電子監測設備，用於對複合性噪音源的發生行為進行採樣記錄。其主要由三部分構成：音源定位單元、圖像與影音採集單元及信號處理分析單元。麥克風陣列中的音源定位單元是系統的核心部分，一般由幾十個麥克風（聲音感應器）以特定形狀組成，同步採集音源聲音信號。圖像與影音採集單元對音源產生情況進行拍照與錄影。信號處理分析單元根據聲音信號分析音源音壓值並計算其位置，在聲學圖片和影片中標記音源定位位置，實現基於麥克風陣列和圖像與影音的聲音採集量測系統，以達到對複合性噪音源之記錄、識別及定位。

（一）噪音抑制：多音源辨識倒不需要完全去除噪音，相對來說系統中需要的技術則是噪音去除。這裡說的噪音一般指環境背景噪音，比如講話、空調噪音等，這類噪音通常不具有空間指向性，能量也不是特別大，不會掩蓋正常的聲音，只是影響了聲音的清晰度和可懂度。當聚焦方向恰好等同於音波來的方向時，校正後各聲音感應器音壓信號一致，波束形成幅值等於平面波幅值，形成“主瓣”，當聚焦方向不同於音波來的方向時，校正後各麥克風音壓信號的相位仍存在差異，疊加求和時幅值被衰減，形成“旁瓣”如圖 5.3-4 所示，從而有效辨識音源（音源定位，**Source Localization**）。所以麥克風陣列可以同時提取想要的音源並抑制不想要的噪音，有如空間濾波器一般，濾除雜訊。

（二）混響（迴響）消除（**Dereverberation**）：混響（**Reverberation**，迴響）在多音源辨識中是個蠻討厭的因素，混響（迴響）去除的效果很大程度影響了語音辨識的效果。我們知道，當音源停止發聲後，音波在房間內要經過多次反射和吸收，似乎若干個音波疊加混合持續一段時間，這種現象叫做混響（迴響）。混響（迴響）會嚴重影響多音源信號處理，比如互相關函數（**cross correlation function**）或者波束主瓣（**Beam main lobe**），降低音源測向（測定“來波方向”）及音源定位精度。一般我們聽音樂時，希望有些許混響（迴響）的效果，這是聽覺上的一種享受。適當的混響會使得聲音圓潤動聽、富有感染力。由於混響造成不同步的語音相互疊加，帶來了交疊掩蔽效應（**Phoneme Overlap Effect**），從而嚴重影響語音辨識效果，所以去混響是業界研究的熱點和難點。

(三)回音消除：嚴格來說，這裡不應該叫回音，應該叫「自噪音」。回音是混響（迴響）的延伸概念，這兩者的區別就是回音的時延更長。一般來說，超過100 毫秒時延的混響（迴響），人類能夠明顯區分出，似乎一個聲音同時出現了兩次，我們就叫做回音。

(四)波束形成（**Beamforming**）：波束形成是一般的聲音信號處理方法，這裡是指將一定幾何結構排列的麥克風陣列的各麥克風輸出聲音信號經過處理（例如加權、時延、求和等）形成空間指向性的方法。波束形成主要是抑制主瓣以外的聲音干擾，包括人聲、其他背景聲音。波束形成的方法（**Beamforming based approach**），就是透過多個麥克風對收集的聲音信號，進行加權相加，在目標音源（例如：高噪音車）的方向形成一個拾音波束，有效地增強並提取出要的音源，同時也衰減、壓抑或去除來自其他方向不想要音源（或反射音），有如空間濾波的效果。

(五)陣列增益（**Array gain**）：這個比較容易理解，增強（**Enhancement**）想要的音源，主要是解決拾音（聲音收集的過程）距離的問題，若聲音信號較小，聲音辨識同樣不能保證，通過陣列處理，給與收到的聲音信號不同的權重，可以適當加大聲音信號的能量。

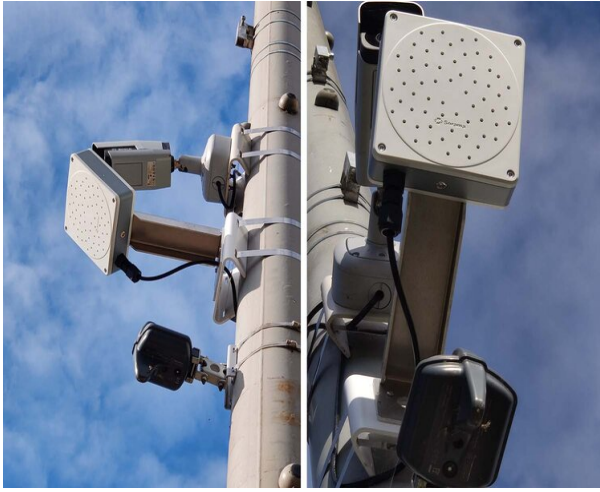
多音源辨識其實是不好處理的，我們知道多音源處理大多基於平穩的音源來假設，但是我們遇到的音源是隨時間而變化的，是典型的非平穩態過程。幸運的是噪音源辨識在一個較短時間內的特性相對穩定（語音分幀），因而可以將其看作是一個準穩態過程，也就是說音源具有短時平穩的特性，這才能用主流信號處理方法對其處理。另外一個趨勢就是麥克風陣列的小型化，麥克風陣列受制於半波長理論的限制，現在的設備面積還是較大，未來麥克風陣列可以做的更小是一趨勢。

還有另一個趨勢是麥克風陣列的低成本化，當前麥克風陣列成本都是比較高的，這影響了麥克風陣列的普及。低成本化不是簡單的更換晶片，而是整個結構的重新設計，包括晶片、演算法和雲端。未來新技術的應用，多麥克風陣列的成本下降趨勢應非常明顯。

這些監測技術的綜合使用，有助於提供精確的噪音數據，支持政府和相關機構制定有效的噪音管控政策，從而減少噪音污染對居民的影響。

1.4 噪音監測設備圖示(分功能性)

1. 固定式噪音監測站





2.移動式噪音監測站(車)



Ni Norsonic | **Tippkemper** norsonic

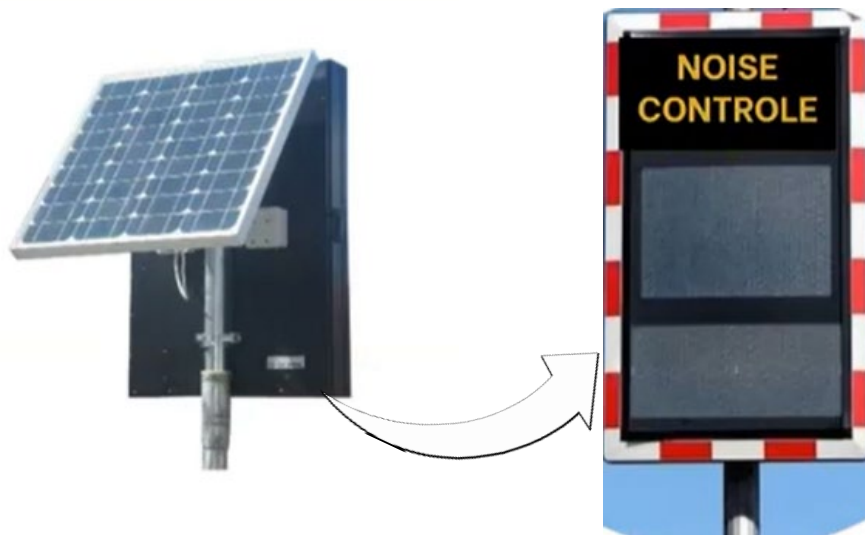
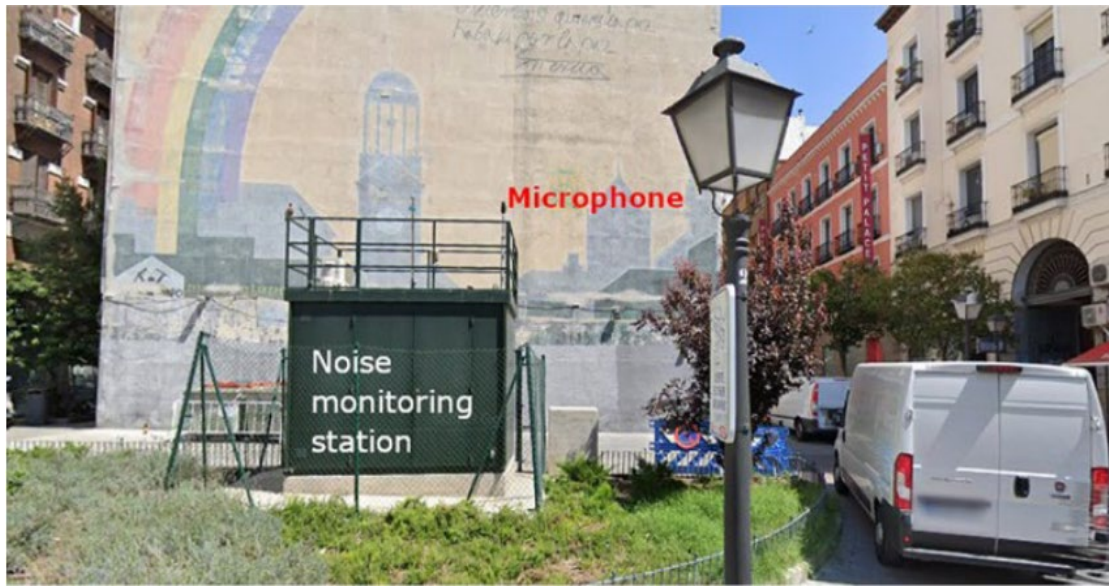
Lärm-Monitoring System Nor1550



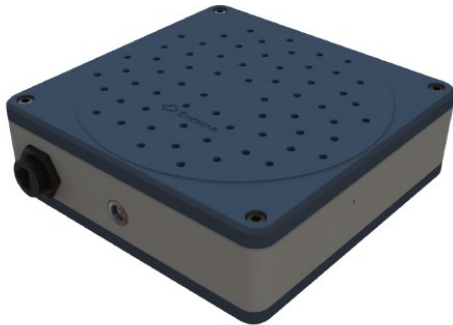
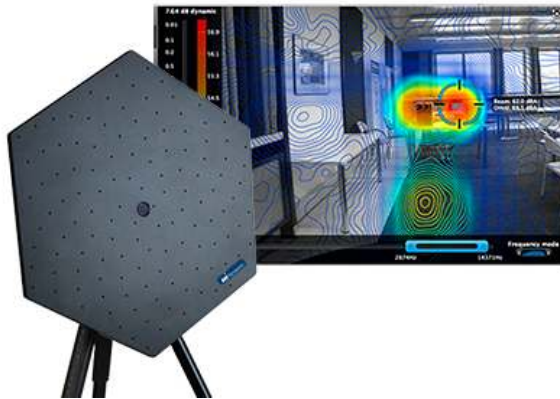
Topsonic Lärmmessstellen



3.環境噪音監測站



4.聲學照相機(麥克風陣列)





5. 智能噪音監測軟體平台





1.5 噪音監測設備數量與種類概估(分階段)

假設每台設備的覆蓋範圍均為 10,000 m²，1 km²共安裝了 10 個噪音監測設備。監測設備數量 = 總面積/10,000 m²)×合理覆蓋率。

初估監測設備數 AIOT 智慧安靜家園計畫監測設備數 286 台(站)，請詳「表 1.5-3 各縣市安靜家園計畫「初步編列」監測設備數列表」說明。

為使各環保局皆有便攜(手持)陣列式監測設備，環境噪音監測站及噪音監測站(車) 共計設備數 216 台(站)，又保有固定與移動式監測站，合計實際編列監測設備數 502 台(站)，請詳「表 1.5-4 各縣市安靜家園計畫 4 年「實際編列」噪音監測設備數量與種類列表」說明。

表 1.5-1 各縣市土地面積與人口列表

排名	行政區	面積 (km ²)	人口 (2024 年 5 月)
1	新北市	2,052.5667	4,043,236
2	臺中市	2,214.8968	2,851,309
3	高雄市	2,951.8524	2,735,308
4	臺北市	271.7997	2,507,673
5	桃園市	1,220.9540	2,324,804
6	臺南市	2,191.6531	1,859,687
7	彰化縣	1,074.3960	1,233,060
8	屏東縣	2,775.6003	792,383
9	雲林縣	1,290.8326	659,556
10	新竹縣	1,427.5369	591,334
11	苗栗縣	1,820.3149	533,744
12	嘉義縣	1,903.6367	482,055
13	南投縣	4,106.4360	475,203
14	新竹市	104.1526	457,040
15	宜蘭縣	2,143.6251	449,500
16	基隆市	132.7589	361,735
17	花蓮縣	4,628.5714	316,219
18	嘉義市	60.0256	263,150
19	臺東縣	3,515.2526	210,898
20	金門縣	151.6560	143,903
21	澎湖縣	126.8641	107,811
22	連江縣	28.8000	14,000

表 1.5-2 各縣市根據人口密度的排名列表

排序	行政區名	類別	人口密度(人口總數(人) / 土地面積 (km ²))	人口密度等級	區域內監測設備覆蓋人數建議設備覆蓋率%
1	臺北市	直轄市	9,226.18	高	90
2	新竹市	市	4,388.18	高	90
3	嘉義市		4,383.96	高	90
4	基隆市		2,724.75	高	90
5	新北市	直轄市	1,969.84	高	90
6	桃園市		1,904.09	高	90
7	臺中市		1,287.33	中	70
8	彰化縣	縣	1,147.68	中	70
9	金門縣		948.88	中	70
10	高雄市	直轄市	926.64	中	70
11	澎湖縣	縣	849.81	中	70
12	臺南市	直轄市	848.53	中	70
13	雲林縣	縣	510.95	低	50
14	連江縣		486.11	低	50
15	新竹縣		414.23	低	50
16	苗栗縣		293.22	低	50
17	屏東縣		285.48	低	50
18	嘉義縣		253.23	低	50
19	宜蘭縣		209.69	低	50
20	南投縣		115.72	低	50
21	花蓮縣		68.32	低	50
22	臺東縣		60.00	低	50

表 1.5-3 各縣市安靜家園計畫「初步編列」
4 年監測設備數列表

行政區名	土地面積 (km ²)	人口總數 (人)	人口/km ²	人口/1000 km ² ×10 台	監測設備數	監測設備數 (取整數)	區域內監測設備覆蓋人口數建議 設備覆蓋率
臺北市	271.7997	2,507,673	9,226	92.3	83.0	83	0.9
新竹市	104.1526	457,040	4,388	43.9	39.5	40	0.9
嘉義市	60.0256	263,150	4,384	43.8	39.5	40	0.9
基隆市	132.7589	361,735	2,725	27.2	24.5	25	0.9
新北市	2,052.57	4,043,236	1,970	19.7	17.7	18	0.9
桃園市	1,220.95	2,324,804	1,904	19.0	17.1	18	0.9
臺中市	2,214.90	2,851,309	1,287	12.9	9.0	9	0.7
彰化縣	1,074.40	1,233,060	1,148	11.5	8.0	8	0.7
金門縣	151.656	143,903	949	9.5	6.6	7	0.7
高雄市	2,951.85	2,735,308	927	9.3	6.5	7	0.7
澎湖縣	126.8641	107,811	850	8.5	5.9	6	0.7
臺南市	2,191.65	1,859,687	849	8.5	5.9	6	0.7
雲林縣	1,290.83	659,556	511	5.1	2.6	3	0.5
連江縣	28.8	14,000	486	4.9	2.4	3	0.5
新竹縣	1,427.54	591,334	414	4.1	2.1	3	0.5
苗栗縣	1,820.31	533,744	293	2.9	1.5	2	0.5
屏東縣	2,775.60	792,383	285	2.9	1.4	2	0.5
嘉義縣	1,903.64	482,055	253	2.5	1.3	2	0.5
宜蘭縣	2,143.63	449,500	210	2.1	1.0	1	0.5
南投縣	4,106.44	475,203	116	1.2	0.6	1	0.5
花蓮縣	4,628.57	316,219	68	0.7	0.3	1	0.5
臺東縣	3,515.25	210,898	60	0.6	0.3	1	0.5
合計	36194.1824	23,413,608				初步編 列 286	

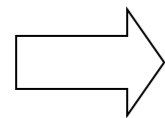
表 1.5-4 各縣市安靜家園計畫 4 年「實際編列」噪音監測設備數量
與種類列表

行政區名	初估監測設備數	增編監測設備數	實際編列監測設備數	便攜(手持)陣列式監測設備	環境噪音監測站+智能噪音監測軟體平台	噪音監測車+智能噪音監測軟體平台	固定與移動式監測站
臺北市	83	20	103	4	8	8	83
新竹市	40	6	46	2	2	2	40
嘉義市	40	6	46	2	2	2	40
基隆市	25	6	31	2	2	2	25
新北市	18	20	38	4	8	8	18
桃園市	18	20	38	4	8	8	18
臺中市	9	20	29	4	8	8	9
彰化縣	8	6	14	2	2	2	8
金門縣	7	6	13	2	2	2	7
高雄市	7	20	27	4	8	8	7
澎湖縣	6	6	12	2	2	2	6
臺南市	6	20	26	4	8	8	6
雲林縣	3	6	9	2	2	2	3
連江縣	3	6	9	2	2	2	3
新竹縣	3	6	9	2	2	2	3
苗栗縣	2	6	8	2	2	2	2
屏東縣	2	6	8	2	2	2	2
嘉義縣	2	6	8	2	2	2	2
宜蘭縣	1	6	7	2	2	2	1
南投縣	1	6	7	2	2	2	1
花蓮縣	1	6	7	2	2	2	1
臺東縣	1	6	7	2	2	2	1
	286	216	502	56	80	80	286

1.6 噪音監測設備 4 年經費概估

表 1.6-1 各縣市安靜家園計畫 4 年經費概估表

行政區名	初估監測設備數	增編監測設備數	實際編列監測設備數	便攜(手持)陣列式監測設備	環境噪音監測站&智能噪音監測軟體平台	噪音監測車&智能噪音監測軟體平台	固定與移動式監測站	便攜(手持)陣列式監測設備(120 萬/台)	環境噪音監測站+智能噪音監測軟體平台(160 萬/台)	噪音監測車+智能噪音監測軟體平台(250 萬/台)	固定與移動式監測站(142 萬/台)	4 年「實際編列」噪音監測設經費(新台幣：元)
臺北市	83	20	103	4	8	8	83	4,800,000	12,800,000	20,000,000	117,860,000	155,460,000
新竹市	40	6	46	2	2	2	40	2,400,000	3,200,000	5,000,000	56,800,000	67,400,000
嘉義市	40	6	46	2	2	2	40	2,400,000	3,200,000	5,000,000	56,800,000	67,400,000
基隆市	25	6	31	2	2	2	25	2,400,000	3,200,000	5,000,000	35,500,000	46,100,000
新北市	18	20	38	4	8	8	18	4,800,000	12,800,000	20,000,000	25,560,000	63,160,000
桃園市	18	20	38	4	8	8	18	4,800,000	12,800,000	20,000,000	25,560,000	63,160,000
臺中市	9	20	29	4	8	8	9	4,800,000	12,800,000	20,000,000	12,780,000	50,380,000
彰化縣	8	6	14	2	2	2	8	2,400,000	3,200,000	5,000,000	11,360,000	21,960,000
金門縣	7	6	13	2	2	2	7	2,400,000	3,200,000	5,000,000	9,940,000	20,540,000
高雄市	7	20	27	4	8	8	7	4,800,000	12,800,000	20,000,000	9,940,000	47,540,000
澎湖縣	6	6	12	2	2	2	6	2,400,000	3,200,000	5,000,000	8,520,000	19,120,000
臺南市	6	20	26	4	8	8	6	4,800,000	12,800,000	20,000,000	8,520,000	46,120,000
雲林縣	3	6	9	2	2	2	3	2,400,000	3,200,000	5,000,000	4,260,000	14,860,000
連江縣	3	6	9	2	2	2	3	2,400,000	3,200,000	5,000,000	4,260,000	14,860,000
新竹縣	3	6	9	2	2	2	3	2,400,000	3,200,000	5,000,000	4,260,000	14,860,000
苗栗縣	2	6	8	2	2	2	2	2,400,000	3,200,000	5,000,000	2,840,000	13,440,000
屏東縣	2	6	8	2	2	2	2	2,400,000	3,200,000	5,000,000	2,840,000	13,440,000
嘉義縣	2	6	8	2	2	2	2	2,400,000	3,200,000	5,000,000	2,840,000	13,440,000
宜蘭縣	1	6	7	2	2	2	1	2,400,000	3,200,000	5,000,000	1,420,000	12,020,000
南投縣	1	6	7	2	2	2	1	2,400,000	3,200,000	5,000,000	1,420,000	12,020,000
花蓮縣	1	6	7	2	2	2	1	2,400,000	3,200,000	5,000,000	1,420,000	12,020,000
臺東縣	1	6	7	2	2	2	1	2,400,000	3,200,000	5,000,000	1,420,000	12,020,000
合計	286	216	502	56	80	80	286	67,200,000	128,000,000	200,000,000	406,120,000	801,320,000 (取整數 800,000,000)



4 年經費概估新台幣 800,000,000 元，每年約新台幣 200,000,000 元。

表 1.6-2 戶外型稱麥克風陣(手持式)監測設備(120 萬/台)經費分析與商品規格說明表

儀器種類		SoundCam Ultra Sensor 德國	Nor848 挪威	Sorama 荷蘭	SoundCam Bionic-S-112 德國	Mikado 德國	SoundCam 德國	
麥克風陣列 Microphone Array	尺寸	15×15× 7.5	40 ×5	17 × 17 ×6.5	54×54×15	45 ×35 ×15	34× 34×9.5	
	重量	4 kg	2.4 kg	0.85 kg	3.4 kg	1.7 kg	3kg	
	感測器 Sensors	麥克風	72 digital MEMS	128 MEMS	64 digital MEMS	128 digital MEMS	96 MEMS Microphone	64 digital MEMS
		頻率範圍	最高 100kHz	15kHz	最高 20kHz	最高 24KHz	24 kHz	最高 60KHz
		音壓	Max. 120 dB	110dB	Max. 120 dB	Max. 120 dB	9 dB – 120 dB	Max. 120 dB
		解析度	24 bit	-	24 bit	24 bit	24 bit	24 bit
	內建 攝影機	種類	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital	Digital
		解析度	聲學 100fps 320x240 (50fps) or 640x480 (16fps)	1600x1200	720x1280 or 1920x1080 720p at 60fps	聲學 100fps 320x240 (50fps) or 640x480 (16fps)	1920 x 1080 (Full HD)	聲學 100fps 320x240 (50fps) or 640x480 (16fps)
	輸出	類別	聲學、熱像、時域、 頻譜、聲音	聲學、時域、頻譜	聲學、時域、頻譜	聲學、時域、頻譜、 聲音	聲學、時域、頻譜、 聲音 (可輸出 txt 檔)	聲學、熱像、時域、 頻譜、聲音
		Pictures	.png	Jpg, png	.jpg .png	.png	PNG, JPG, BMP	.png
Video		.webm AVI	MP4	mjpeg, MP4	.webm AVI	AVI	.webm AVI	
防塵防水	IP 等級	IP57	IP40	IP54	IP54	IP 20	IP54	
麥克風陣列 Microphone Array	校正	初始校正	原廠於出廠時進行空間定位校正	原廠於出廠時進行空間定位校正	原廠於出廠時進行空間定位校正	產品提供校正報告: 1. SPL dbA 2. Optical-Acoustic Alignment	原廠於出廠時進行空間定位校正	
		後續查驗 (執行階段)	可於無響室或無干擾環境進行空間定位查驗	可於無響室或無干擾環境進行空間定位查驗	可於無響室或無干擾環境進行空間定位查驗	可於無響室或無干擾環境進行空間定位查驗	可於無響室或無干擾環境進行空間定位查驗	可於無響室或無干擾環境進行空間定位查驗
聲學定位方式		波束成型法	波束成型法	波束成型法	波束成型法	波束成型法	波束成型法	
環境修正		分析軟體有此功能	可對系統與待測物之間距離與現場溫度條件做修正	無 需另外寫演算法	分析軟體有此功能	量測時可輸入環境溫度與量測物體距離	分析軟體有此功能	

表 1.6-2 便攜(手持)陣列式監測設備(120 萬/台)經費分析與商品規格表


設備	華新公司手持式陣列聲像儀規格
手持式陣列聲像儀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麥克風型式：MENS 麥克風，數量：64 顆 2. 防塵防水等級：IP54 3. 訊雜比：A 加權、1kHz、94dB 下，每通道 66 dB 以下 4. 靈敏度：-37 ±1 dB FS @ 1 kHz, 94 dB SPL 5. 動態範圍：最大 106dB (64 通道同時啟動時) 6. 聲學過載點：132.5 dB SPL @ 1kHz, <10% THD 7. 頻率響應：31.5 Hz - 20 kHz 中心頻率等效 Class 1 等級 8. 即時頻譜分析：29 Hz - 60 kHz 串流影像與錄音 9. 頻譜圖分析：0-10 秒+ / 29Hz - 27Hz 10. 波束成形：即時遠音場聲源定位與視覺化 500 Hz - 27 kHz 11. 檔案傳輸：USB C 型 12. 檔案格式：圖片(.png)、影片(.webM(含單通道聲音))、原始檔案(RAW (.sor 容器文件，包含 64 頻道、32 位元解析度、60 kHz 採樣率 PCM 音訊、純影像錄影檔和帶有聲音視覺化覆蓋的錄影檔。可以在電腦上播放，例如 VLC 媒體播放器，可用於在專用分析軟體中進行深度分析。) 13. 後處理分析(深度分析)：需使用原廠專用軟體(包含高階時域分析、高階頻譜(圖)分析、高階波束成型分析等，並可輸出.CSV、.wav、.png、.jpg、.mpeg、.mp4、.webm 格式檔案) 14. 顯示器顯示：7 吋液晶電容式觸控螢幕，解析度：720 * 1280 15. 內建攝影機：全彩 1280 * 960 16. 運算能力：極快的 NVidia GPU 和 CPU，可實現即時處理 17. 記憶體：內建 7GB，可選升級至內建 500 GB SSD。外部支援最高 2TB USB Type-C 硬碟 (USB 3.0 或更高版本) 18. 揚聲器連接方式：藍牙，用於使用連接主動聲源的裝置進行測量，例如白噪音/粉紅噪音 19. 電池：可插拔智慧型鋰離子電池 6900mAh 7.2V，附 LED 充電指示燈 (49.7 Wh) 20. 安裝固定方式：1/4 吋螺紋 21. 重量：2.32 公斤 (含電池)
配件	標配：手環、頸帶、防水攜行箱、智慧型電池*2、充電器、USB-C 線
軟體	專用後處理分析軟體
含稅新台幣總價(含稅)	
	

表 1.6-2 便攜(手持)陣列式監測設備(120 萬/台)經費分析與商品規格表
(續)

設備	利音公司手持式陣列聲像儀規格
手持式陣列聲像儀	1. 量測頻率範圍：400 Hz 至 10 kHz
	2. 量測位準範圍：35 dB 至 120 dB
	3. 最小量測距離：0.2 m
	4. 麥克風數量：30 個
	5. 結合照相機：1 個
	6. 框(Frame)速率：25 框/秒(高速模式)
	7. 錄音功能：手動，自動(聲音事件設定，預錄功能)，MP4
	8. 操作環境條件：最高-10°C至+40°C之間。相對濕度 90%
	9. 尺寸及重量：檢測陣列：360 mm(直徑)×11.6 mm(深)，約 1.6 kg
	10. 相容平板電腦型號：Surface Pro 6,7(Microsoft Windows 10 Pro 64 bit)



設備	艾爾錡科技(股)公司手持式陣列聲像儀規格
1. 超音波紅外線熱像手持式聲學相機	<ul style="list-style-type: none"> ■麥克風 176 個 digital MEMS 麥克風 ■100 fps 的聲學更新率 ■觸控面版,解析度 1280 x 800 px; 尺寸 7 inch / 15x 9.4 cm ■100 kHz 的頻率範圍 ■取樣率為 200 kHz，Real Time 即時顯示 ■整合紅外線熱影像 ■觀看:聲像圖,聲音,時頻圖,頻譜圖,熱像圖五重紀錄 ■智能模式降低背景噪音 ■環境噪音(聲景地圖) ■IP54 防護 ■內建 4 個 LED 燈輔助照明 ■8 個 可配置按鈕，帶著手套也可輕鬆控制 ■電池供電，連續使用 3 小時以上 ■應用軟體 Streaming Appincl. Noise Inspector
2. 電腦/筆電 (Option)	




表 1.6-3 環境噪音監測站設備(160 萬/台)經費分析與商品規格說明表

設備	規格	價格 (新台幣：元)
戶外型 Class 1 噪音分 析儀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 符合規範：CNS7129-1 型 1、IEC 61672 Class 1 及 IEC61260 Class 1，噪音計符合 CNMV 58-1、濾波器符合 CNMV 58-2。 2. 戶外型麥克風組：防水防塵能力 IP54 (具第三方單位測試報告)。 3. 電容式麥克風。 4. 動態範圍：至少 115dB。 5. 時間加權：Slow, Fast, Impulse, Peak 6. 頻率加權：A、B、C、Z、Peak(PK) 7. 頻率範圍：20~20kHz。 8. 顯示：彩色顯示螢幕，解析度：320*240、0.1dB 9. 噪音數據顯示：SPL、Leq、Lmax、Lmin、1/1 或 1/3 頻譜分析、氣象(風速、風向、雨量、壓力、溫度、濕度)、或其他使用者定義參數。 10. 噪音量測值儲存：同步測量所有聲音指標參數並儲存。 11. 可執行錄音功能。 12. 具 GPS 自動定位功能，並可顯示及儲存經緯度座標資料。 13. 量測週期設定： 自動：10 秒、1 分鐘、2 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、30 分鐘、1 小時、8 小時、24 小時。 手動：0.5 秒至 1000 小時。 14. 儲存空間：256GB SD 卡。 15. 可設定噪音事件及觸發方式。 16. 噪音計本體可與一台攝影機整合，可依事件觸發錄影，並將影像儲存與噪音計中。 17. 噪音計本體可與多參數氣象儀整合，並直接顯示氣象資料於噪音計中。 18. 時間：手動調整或 GPS 自動對時。 19. 輸出：乙太網路、USB、TTL、AC 20. 氣象傳輸介面：RS232 21. 電池：內建電池，可連續使用至少 20 小時。 22. WIFI 連結功能，可於近端連線控制 (具 NCC 認證) 	380,000 元
戶外型 陣列式 聲音感 應器 (或稱 麥克風 陣列)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麥克風型式：MENS 麥克風，數量：64 顆 2. 防塵防水等級：IP54 3. 訊雜比：A 加權、1kHz、94dB 下，每通道 64 dB 以下 4. 靈敏度：-26 ±1.5 dB FS @ 1 kHz, 94 dB SPL 5. 動態範圍：最大 106dB (64 通道同時啟動時) 6. 聲學過載點：120 dB SPL @ 1kHz, <10% THD 7. 頻率響應：31.5 Hz - 20 kHz 中心頻率等效 Class 1 等級 8. 即時頻譜分析：29 Hz - 60 kHz 串流影像與錄音 9. 頻譜圖分析：0-10 秒+ / 29Hz - 27Hz 10. 波束成形：即時遠音場聲源定位與視覺化 500 Hz - 27 kHz 11. 可安裝陣列專用防風罩 12. 具事件觸發及記錄功能(異常噪音事件偵測)。 13. 可與車牌辨識攝影機整合，並顯示辨識結果。 14. 數據傳輸：乙太網路(PoE 接口) 15. 檔案格式：圖片(.jpg .png)、影片(mjpeg, MP4)、純聲音(.WAV) 16. 後處理分析(深度分析)：需使用原廠專用軟體 17. 攝影機：內建攝影機，720P、60fps 18. 內建攝影機拍攝角度：65° ±3° 19. 解析度：影片 720x1280、圖片：1920x1080 20. 運算能力：極快的 NVidia GPU 和 CPU，可實現即時處理 21. 儲存：需整合外部儲存裝置 22. 尺寸：170 x 170 x 65 mm (L x W x D) 23. 電源：使用 PoE 供電 24. 控制：可使用內建網路伺服器介面基礎控制，或使用 API 自行開發控制介面 	480,000 元

設備	規格	價格 (新台幣：元)
	25. 具可多陣列整合功能，可將多陣列整合於地圖上並呈現噪音動態地圖(選配) 26. 安裝固定方式：背板：VESA 10(M5)通用規格，三腳架：UNC 1/4-20X5/8 母頭 27. 重量：0.85 公斤 28. 系統授權 1 年，後續需每年購買授權。	
氣象儀	1. 風速測量範圍 0- 60 m/s $\pm 3\%$ @ 10 m/s，解析度 0.1 m/s 2. 風向範圍 0- 360° $\pm 3^\circ$ @ 10 m/s，解析度 1° 3. 回應時間 0.25 秒 4. 輸出參數：平均值、最大值、最小值	100,000 元
不鏽鋼立柱	1. 含水泥基座 2. 可同時放置噪音計、氣象儀、聲學攝影機、氣象儀、攝影機	120,000
電源	1. 需能提供整個系統連續操作 24 小時以上。 2. 可使用外部電源供電及充電。	20,000
攝影機	1. 攝影像感測器 6 MP (3072x2048) 1/1.8" 逐行掃描 RGB CMOS 2. 鏡頭 固定光圈，定焦，1.6 毫米 3. 水平視野：185°，垂直視野：185° 4. 白天與黑夜 自動可拆卸紅外線截止濾光片 5. 最低限度照明彩色：0.16 lux at 50 IRE F2.0 6. 黑白：0.03 lux at 50 IRE F2.0 7. 紅外線照明功能 8. 快門時間 1/100 000 秒至 2 秒 9. 攝相機角度，人工調整 10. 旋轉角度 $\pm 180^\circ$	80,000
電腦	1. 需能整合並儲存陣列圖像與數據、噪音分析儀資料、攝影機資料、氣象儀數據。 2. 耐候型工業主機，1TB 硬碟及 8G 以上記憶體 3. 獨立顯示卡。 4. 可整合通訊設備，如使用網路或 4G 通訊設備。	50,000
軟體	1. UI 介面可整合陣列圖像與數據、噪音分析儀資料、攝影機資料、氣象儀數據。 2. 顯示陣列定位結果、噪音偵測結果、攝影機影像或圖像、氣象資料 3. 能選擇噪音事件時間區間之相關數據。 4. 能輸出噪音資料報表。	160,000
環境噪音監測站箱體	1. 不鏽鋼監測站保護箱。 2. 環境噪音監測站外飾板。	210,000
含稅新台幣總價(含稅)		1,600,000
		

表 1.6-4 噪音監測車設備(250 萬/台)經費分析與商品規格說明表

設備	華新公司規格	價格 (新台幣：元)
戶外型 Class 1 噪音分 析儀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 符合規範：CNS7129-1 型 1、IEC 61672 Class 1 及 IEC61260 Class 1，噪音計符合 CNMV 58-1、濾波器符合 CNMV 58-2。 2. 戶外型麥克風組：防水防塵能力 IP54 (具第三方單位測試報告)。 3. 電容式麥克風。 4. 動態範圍：至少 115dB。 5. 時間加權：Slow, Fast, Impulse, Peak 6. 頻率加權：A、B、C、Z、Peak(PK) 7. 頻率範圍：20~20kHz。 8. 顯示：彩色顯示螢幕，解析度：320*240、0.1dB 9. 噪音數據顯示：SPL、Leq、Lmax、Lmin、1/1 或 1/3 頻譜分析、氣象(風速、風向、雨量、壓力、溫度、濕度)、或其他使用者定義參數。 10. 噪音量測值儲存：同步測量所有聲音指標參數並儲存。 11. 可執行錄音功能。 12. 具 GPS 自動定位功能，並可顯示及儲存經緯度座標資料。 13. 量測週期設定： 自動：10 秒、1 分鐘、2 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、30 分鐘、1 小時、8 小時、24 小時。 手動：0.5 秒至 1000 小時。 14. 儲存空間：256GB SD 卡。 15. 可設定噪音事件及觸發方式。 16. 噪音計本體可與一台攝影機整合，可依事件觸發錄影，並將影像儲存與噪音計中。 17. 噪音計本體可與多參數氣象儀整合，並直接顯示氣象資料於噪音計中。 18. 時間：手動調整或 GPS 自動對時。 19. 輸出：乙太網路、USB、TTL、AC 20. 氣象傳輸介面：RS232 21. 電池：內建電池，可連續使用至少 20 小時。 22. WIFI 連結功能，可於近端連線控制 (具 NCC 認證) 	380,000 元
戶外型 陣列式 聲音感 應器(或 稱麥克 風陣列)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麥克風型式：MENS 麥克風，數量：64 顆 2. 防塵防水等級：IP54 3. 訊雜比：A 加權、1kHz、94dB 下，每通道 64 dB 以下 4. 靈敏度：-26 ±1.5 dB FS @ 1 kHz, 94 dB SPL 5. 動態範圍：最大 106dB (64 通道同時啟動時) 6. 聲學過載點：120 dB SPL @ 1kHz, <10% THD 7. 頻率響應：31.5 Hz - 20 kHz 中心頻率等效 Class 1 等級 8. 即時頻譜分析：29 Hz - 60 kHz 串流影像與錄音 9. 頻譜圖分析：0-10 秒+ / 29Hz - 27Hz 10. 波束成形：即時遠音場聲源定位與視覺化 500 Hz - 27 kHz 11. 可安裝陣列專用防風罩 12. 具事件觸發及記錄功能(異常噪音事件偵測)。 13. 可與車牌辨識攝影機整合，並顯示辨識結果。 14. 數據傳輸：乙太網路(PoE 接口) 15. 檔案格式：圖片(.jpg .png)、影片(mjpeg, MP4)、純聲音(.WAV) 16. 後處理分析(深度分析)：需使用原廠專用軟體 17. 攝影機：內建攝影機，720P、60fps 18. 內建攝影機拍攝角度：65° ±3° 19. 解析度：影片 720x1280、圖片：1920x1080 20. 運算能力：極快的 NVidia GPU 和 CPU，可實現即時處理 21. 儲存：需整合外部儲存裝置 22. 尺寸：170 x 170 x 65 mm (L x W x D) 23. 電源：使用 PoE 供電 24. 控制：可使用內建網路伺服器介面基礎控制，或使用 API 自行開發 	480,000 元

設備	華新公司規格	價格 (新台幣：元)
	控制介面 25. 具可多陣列整合功能，可將多陣列整合於地圖上並呈現噪音動態地圖(選配) 26. 安裝固定方式：背板：VESA 10(M5)通用規格，三腳架：UNC 1/4-20X5/8 母頭 27. 重量：0.85 公斤 28. 系統授權 1 年，後續需每年購買授權。	
氣象儀	1. 風速測量範圍 0- 60 m/s $\pm 3\%$ @ 10 m/s，解析度 0.1 m/s 2. 風向範圍 0- 360° $\pm 3^\circ$ @ 10 m/s，解析度 1° 3. 回應時間 0.25 秒 4. 輸出參數：平均值、最大值、最小值	100,000 元
不鏽鋼 支架	1. 可伸縮或折疊 2. 可同時放置噪音計、氣象儀、聲學攝影機、氣象儀、攝影機 3. 液壓支架	120,000
電源	1. 需能提供整個系統連續操作 24 小時以上。 2. 能使用車充或外部電源供電及充電。	20,000
攝影機	1. 攝影像感測器 6 MP (3072x2048) 1/1.8" 逐行掃描 RGB CMOS 2. 鏡頭 固定光圈，定焦，1.6 毫米 3. 水平視野：185°，垂直視野：185° 4. 白天與黑夜 自動可拆卸紅外線截止濾光片 5. 最低限度照明彩色：0.16 lux at 50 IRE F2.0 6. 黑白：0.03 lux at 50 IRE F2.0 7. 紅外線照明功能 8. 快門時間 1/100 000 秒至 2 秒 9. 攝相機角度，人工調整 10. 旋轉角度 $\pm 180^\circ$	80,000
電腦	5. 需能整合並儲存陣列圖像與數據、噪音分析儀資料、攝影機資料、氣象儀數據。 6. 耐候型工業主機，1TB 硬碟及 8G 以上記憶體 7. 獨立顯示卡。 8. 可整合通訊設備，如使用網路或 4G 通訊設備。 1. 需包含作業系統。	50,000
軟體	1. UI 介面可整合陣列圖像與數據、噪音分析儀資料、攝影機資料、氣象儀數據。 2. 顯示陣列定位結果、噪音偵測結果、攝影機影像或圖像、氣象資料 3. 能選擇噪音事件時間區間之相關數據。 4. 能輸出噪音資料報表。	160,000
監測車	1. 採購監測車、車輛造型、彩繪、電工 2. 能放置系統主機(如噪音分析儀、電腦等)、電源供應系統。 3. 能架設外部感測器及偵測器，如麥克風、氣象儀、攝影機等。	1,110,000
含稅新台幣總價(含稅)		2,500,000
		



設備	華新公司規格	價格 (新台幣：元)
----	--------	---------------



表 1.6-5 固定監測站設備(142 萬/台)經費分析與商品規格說明表

設備	華新公司規格	價格 (新台幣：元)
戶外型 Class 1 噪音分 析儀	<ol style="list-style-type: none"> 1. 符合規範：CNS7129-1 型 1、IEC 61672 Class 1 及 IEC61260 Class 1，噪音計符合 CNMV 58-1、濾波器符合 CNMV 58-2。 2. 戶外型麥克風組：防水防塵能力 IP54 (具第三方單位測試報告)。 3. 電容式麥克風。 4. 動態範圍：至少 115dB。 5. 時間加權：Slow, Fast, Impulse, Peak 6. 頻率加權：A、B、C、Z、Peak(PK) 7. 頻率範圍：20~20kHz。 8. 顯示：彩色顯示螢幕，解析度：320*240、0.1dB 9. 噪音數據顯示：SPL、Leq、Lmax、Lmin、1/1 或 1/3 頻譜分析、氣象(風速、風向、雨量、壓力、溫度、濕度)、或其他使用者定義參數。 10. 噪音量測值儲存：同步測量所有聲音指標參數並儲存。 11. 可執行錄音功能。 12. 具 GPS 自動定位功能，並可顯示及儲存經緯度座標資料。 13. 量測週期設定： 自動：10 秒、1 分鐘、2 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、30 分鐘、1 小時、8 小時、24 小時。 手動：0.5 秒至 1000 小時。 14. 儲存空間：256GB SD 卡。 15. 可設定噪音事件及觸發方式。 16. 噪音計本體可與一台攝影機整合，可依事件觸發錄影，並將影像儲存與噪音計中。 17. 噪音計本體可與多參數氣象儀整合，並直接顯示氣象資料於噪音計中。 18. 時間：手動調整或 GPS 自動對時。 19. 輸出：乙太網路、USB、TTL、AC 20. 氣象傳輸介面：RS232 21. 電池：內建電池，可連續使用至少 20 小時。 22. WIFI 連結功能，可於近端連線控制 (具 NCC 認證) 	380,000 元
戶外型 陣列式 聲音感 應器 (或稱 麥克風 陣列)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 麥克風型式：MENS 麥克風，數量：64 顆 2. 防塵防水等級：IP54 3. 訊雜比：A 加權、1kHz、94dB 下，每通道 64 dB 以下 4. 靈敏度：-26 ±1.5 dB FS @ 1 kHz, 94 dB SPL 5. 動態範圍：最大 106dB (64 通道同時啟動時) 6. 聲學過載點：120 dB SPL @ 1kHz, <10% THD 7. 頻率響應：31.5 Hz - 20 kHz 中心頻率等效 Class 1 等級 8. 即時頻譜分析：29 Hz - 60 kHz 串流影像與錄音 9. 頻譜圖分析：0-10 秒+ / 29Hz - 27Hz 10. 波束成形：即時遠音場聲源定位與視覺化 500 Hz - 27 kHz 11. 可安裝陣列專用防風罩 12. 具事件觸發及記錄功能(異常噪音事件偵測)。 13. 可與車牌辨識攝影機整合，並顯示辨識結果。 14. 數據傳輸：乙太網路(PoE 接口) 15. 檔案格式：圖片(.jpg .png)、影片(mjpeg, MP4)、純聲音(.WAV) 16. 後處理分析(深度分析)：需使用原廠專用軟體 17. 攝影機：內建攝影機，720P、60fps 18. 內建攝影機拍攝角度：65° ±3° 19. 解析度：影片 720x1280、圖片：1920x1080 20. 運算能力：極快的 NVidia GPU 和 CPU，可實現即時處理 21. 儲存：需整合外部儲存裝置 22. 尺寸：170 x 170 x 65 mm (L x W x D) 23. 電源：使用 PoE 供電 24. 控制：可使用內建網路伺服器介面基礎控制，或使用 API 自行開發控制介面 25. 具可多陣列整合功能，可將多陣列整合於地圖上並呈現噪音動態地圖 	380,000 元

設備	華新公司規格	價格 (新台幣：元)
	(選配) 26. 安裝固定方式：背板：VESA 10(M5)通用規格，三腳架：UNC 1/4-20X5/8 母頭 27. 重量：0.85 公斤 28. 系統授權 1 年，後續需每年購買授權。	
氣象儀	1. 風速測量範圍 0- 60 m/s ±3% @ 10 m/s，解析度 0.1 m/s 2. 風向範圍 0- 360° ±3° @ 10 m/s，解析度 1° 3. 回應時間 0.25 秒 4. 輸出參數：平均值、最大值、最小值	100,000 元
不鏽鋼立柱	1. 可同時放置噪音計、氣象儀、聲學攝影機、氣象儀、攝影機	80,000
電源	1. 需能提供整個系統連續操作 24 小時以上。 2. 能使用外部電源供電及充電。	20,000
攝影機	1. 攝影像感測器 6 MP (3072x2048) 1/1.8” 逐行掃描 RGB CMOS 2. 鏡頭 固定光圈，定焦，1.6 毫米 3. 水平視野：185°，垂直視野：185° 4. 白天與黑夜 自動可拆卸紅外線截止濾光片 5. 最低限度照明彩色：0.16 lux at 50 IRE F2.0 6. 黑白：0.03 lux at 50 IRE F2.0 7. 紅外線照明功能 8. 快門時間 1/100 000 秒至 2 秒 9. 攝相機角度，人工調整 10. 旋轉角度±180°	80,000
電腦	1. 需能整合並儲存陣列圖像與數據、噪音分析儀資料、攝影機資料、氣象儀數據。 2. 耐候型工業主機，1TB 硬碟及 8G 以上記憶體 3. 獨立顯示卡。 4. 可整合通訊設備，如使用網路或 4G 通訊設備。 5. 需包含作業系統。	30,000
軟體	1. UI 介面可整合陣列圖像與數據、噪音分析儀資料、攝影機資料、氣象儀數據。 2. 顯示陣列定位結果、噪音偵測結果、攝影機影像或圖像、氣象資料 3. 能選擇噪音事件時間區間之相關數據。 4. 能輸出噪音資料報表。	160,000
保護箱	1. 可折疊 2. 不鏽鋼保護箱	70,000
含稅新台幣總價(含稅)		1,420,000
		

設備	華新公司規格	價格 (新台幣：元)
	<p>戶外型陣列式聲音感應器(或稱麥克風陣列)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 麥克風 176 個 digital MEMS 麥克風 ■ 處理器 ARM A53 4x1.2 GHz with 1 GB RAM ■ 頻率範圍 10Hz - 100 kHz ■ 取樣率 200 kHz ■ 聲壓最大 120 dB ■ 解析度 24 bit ■ 距離設定 ■ 頻率過濾：影像、聲音 ■ dB 動態範圍調整 ■ 多種模式設定：關閉、自動、智慧降噪 ■ 逐圖查看聲學結果 ■ 保存並重新載入 ■ 重新或慢動作回放 ■ USB 資料存取 ■ 防水防塵等級 IP67 ■ 聲學圖片，光學圖片，FFT、頻譜圖、時頻圖 ■ Up to 100 acoustic fps, up to 50 optical fps ■ 長期測量（平均值和峰值保持） ■ 具自動記錄功能，可設定記錄間隔時間 10 秒~900 秒。 ■ Gateway 訊號處理與儲存。 ■ 具自動警報功能，可設定頻率範圍、分貝值、多個不同的位置範圍，監測在頻率範圍內且在設定位置內之警報分貝值可發出警報，警報發生時可自動儲存資料，儲存項目至少包含時間、分貝、位置座標、頻譜圖、影像畫面項目。 	<p>\$1,100,000</p>
	 <p>Microphones</p> <p>Camera</p> <p>USB and LAN</p> <p>M6 mounting thread</p>	

2.1 有關智慧城市

一、智慧城市定義

當今全世界 75 億人口中，有 55% 居住在城市地區。根據聯合國的估計，到了 2050 年，此一比例將達到 68%^[1]。隨著全球持續都市化，城市地區永續發展已成為綜合考量經濟、社會及環境等層面，確保城市居民生活品質的最重要議題^[1]。過去 10 年間，在資訊與通訊科技 (Information and Communication Technology, ICT) 革命的大傘下，城市地區的管理範式已經改變，形成所謂的智慧城市和智慧地區 (smart cities and smart regions) 的管理問題^[2]。雖然智慧城市如何定義，各界仍有不同看法 (參見^[3]及其中定義)，但一般認為，在某種程度上，只要採行 ICT 式方法及解決方案的都市，便被認定為智慧城市。

二、智慧城市行動方案

根據報導，2011 年，大約半數人口超過 10 萬的歐洲城市，均已實施或建議實施智慧城市相關行動方案，以利至少處理以下議題之一^[3]：智慧治理 (smart governance)、智慧市民 (smart people)、智慧生活 (smart living)、智慧行動力 (smart mobility)、智慧經濟 (smart economy) 和智慧環境 (smart environment) (包含污染防制與監控)^[3]。然而，值得注意的是，由於地方特殊性差異，儘管有類似個案之過往經驗及最佳實務可供參考^[5]，但任何城市轉型成為智慧城市，仍是一段漫長而複雜的過程^[4]。

三、噪音指標

城市人口不斷成長，促使運輸系統持續擴張，包括：公路、鐵路和航空^[6]。正因如此，運輸系統擴張，也導致環境污染的增加。此一情況使得城市居民不僅必須擔心空氣污染的負面影響 (如：二氧化碳或一氧化碳)，還得煩惱噪音污染的問題^[6]。舉例來說，根據美國環保署 (EPA) 的準則^[8]，大約 90% 的紐約市居民暴露於一般認為對人體有害的噪音量^[7]。此外，據估計，超過 40% 的歐洲居民暴露於超過白天噪音量標準的道路交通噪音 (road traffic noise, RTN)，超過 30% 的歐洲居民在夜間受到噪音影響^[9]。這些數值通常是在一段既定期間取得，計算成原始均能音量 (以 L_{eq} (dB) 表示) 或以感知 A 加權均能音量 (以 L_{Aeq} (dB(A)) 表示)。

四、噪音對人體的影響

噪音污染對城市居民之福祉和公衛的威脅日益嚴重。據估計，約 90% 的紐約市居民暴露於超過美國環保署 (EPA) 準則認定對人體有害的噪音量。此一噪

音暴露已證實對健康的影響包括：睡眠障礙、聽力受損、高血壓和心臟病。此外，已有研究顯示噪音對兒童學習有負面影響。噪音引發的認知障礙影響包括：記憶力衰退、閱讀能力下降和考試成績退步。降低紐約市的噪音污染絕對不能等閒視之。然而，由於許多噪音源均屬短暫性質，且有效監控與介入需要相當龐大的人力和時間，因此，在全市實施降噪計畫的困難度越來越高。

因為環境噪音對人體的影響不是無傷害的，世界衛生組織（WHO）的多項研究已得出結論^[9]，認為環境噪音除了對街坊鄰居造成困擾外，其所引起的有關噪音對人體影響的疾病，正在大幅縮短人們的健康餘命^[10]。例如：永久性失聰及耳鳴都與噪音暴露有關^[8, 11]。此外，也有研究指出，噪音可能導致不良妊娠結果。例如：一項針對航空噪音對早產影響的研究便如此認為^[12]。更具體地說，道路交通噪音（城市地區主要噪音源之一）便可能增加疲倦感和干擾睡眠模式^[13]。作者們還強調，在自己家中保有比較寧靜的空間，可能增加我們的生理及心理幸福感。最後，作者們請讀者參照^[14]，以瞭解歐洲地區的運輸噪音干擾情況，及其對歐洲人健康的影響。因此，在當前及未來智慧城市的諸多挑戰中，由於環境噪音對城市居民生活品質之負面影響，城市管理者必須針對環境噪音居民健康影響大幅增加的事實做出反應。

五、噪音暴露

從 1970 年代到 1990 年代，許多主管當局都對中型及大型城市的噪音污染問題做出反應。1981 年，美國環保署發表一篇具開創性的研究報告。這項研究專注於探討美國人的噪音暴露（考量不同的噪音源，例如：交通、飛機和施工），並提出多項有關全國受環境噪音影響之居民數的估算^[15]。研究報告指出，約 9,000 萬美國人民暴露於有害的戶外噪音（來自各種噪音源）。1996 年，歐盟委員會（EC）發表“未來噪音政策綠皮書”（Green Paper on Future Noise Policy）^[16]，首度針對噪音對人類和環境的影響進行探討。根據估計，在白天，約有 8,000 萬歐洲居民持續暴露於超過 65 dB(A)的噪音。此外，約有 1 億 7,000 萬歐洲居民受到 55 dB(A)至 65 dB(A)噪音的影響。最新的發展是，繼針對歐盟會員國做出一致且可比較的噪音評估結果後，歐盟（EU）批准了環境噪音指令（2002/49/EC）^[17]及後續的方法框架“歐洲共同噪音評估方法”（CNOSSOS-EU），來處理噪音污染的問題^[18]。2018 年底以前，歐盟所有會員國均必須達到這套方法的要求。環境噪音指令（END）包含以下主要議題：(1)確定噪音暴露；(2)提供市民最新的噪音相關資訊；(3)於必要處防止及降低環境噪音。具體而言，END 要求歐盟

會員國每 5 年針對大型聚落（居民超過 100,000 人）、主要道路（每年超過 300 萬車輛行駛）、主要鐵路（每年超過 30,000 趟次列車行駛）和主要機場（每年超過 50,000 次飛機起降）發布寧靜（或稱噪音）地圖及行動計畫^[17]。因此，城市噪音管理涉及許多不同領域，例如：規劃、繪製寧靜（或稱噪音）地圖、發展行動計畫、取締、管理市民投訴、降噪、和提高公眾意識及其他^[19]。例如：行動計畫可能促使道路主管當局最佳化降噪路面鋪設或於必要處安裝隔音牆，並於執行計畫後評估所達成之降低噪音暴露效果^[20]。

六、智慧城市噪音測量網路

傳統上，城市噪音測量主要是由專業人士執行。測量人員利用合格的音量測量裝置，在既定的一段時間內，記錄及分析均能音量 (L_{eq} (dB))^[21, 22]。然而，面臨應付當前在時間及空間上日益沉重的噪音測量需求時，這種方法卻很難持續擴充。此外，若採用這種方法，便無可避免地必須在預測模型中考慮過度簡化的假設，同時也將損失環境噪音的某些主要特性，例如：環境噪音之時間演進特性^[23]。然而，由於近年來的科技進步（主要歸因於物聯網(IoT)架構的發展），這些缺點均可藉由部署無線聲音感測網路（wireless acoustic sensor networks, WASNs）而予以解決^[24, 25]。此一發展之所以能夠實現，是因為 IoT 硬體變得更便宜和更小巧，以及通訊網路及聲音信號處理（主要用於辨識噪音源）的創新^[25, 27]。

在不同地點之迥異狀況下，一站式智慧城市噪音測量網路，長期精確測量環境噪音數據，是一項很困難的任務。有效監測城市噪音，需要從大量靜態地點蒐集精確的長期性聲學數據，包括：音壓（sound pressure level, SPL）測量值和原始聲音檔數據。文獻中有許多這類型感測網路的實例，這些網路在以下方面的差異很大：網路規模、精度、計算能力、價格點和部署期間。另一項必須討論的特點是這些感測網路所產生數據之可及性或開放性（accessibility or openness）。數據可及性高，有助於提升感測網路之效用和一般益處。

例如：WASNs 可以根據控制下的測量值，在城市地區許多地點自動產生動態寧靜（或稱噪音）地圖，因此，相較於每 5 年仰賴專家更新靜態寧靜（或稱噪音）地圖的傳統作法，寧靜（或稱噪音）地圖製作成本約可降低 50%^[28]。絕大多數已發展計畫之主要目標為測量及整合一段時間內，在寧靜（或稱噪音）地圖中計算得之 L_{Aeq} ，有時也提供其他測量值。這些測量值通常會被傳送至雲端的一個中央伺服器（參見圖 2.1-1）。自動聲音分類計畫之另一項常見的應用為

監視^[29]。瞭解城市音景（urban sound landscape）及其相對應的噪音識別，已成為近來熱門的研究主題。

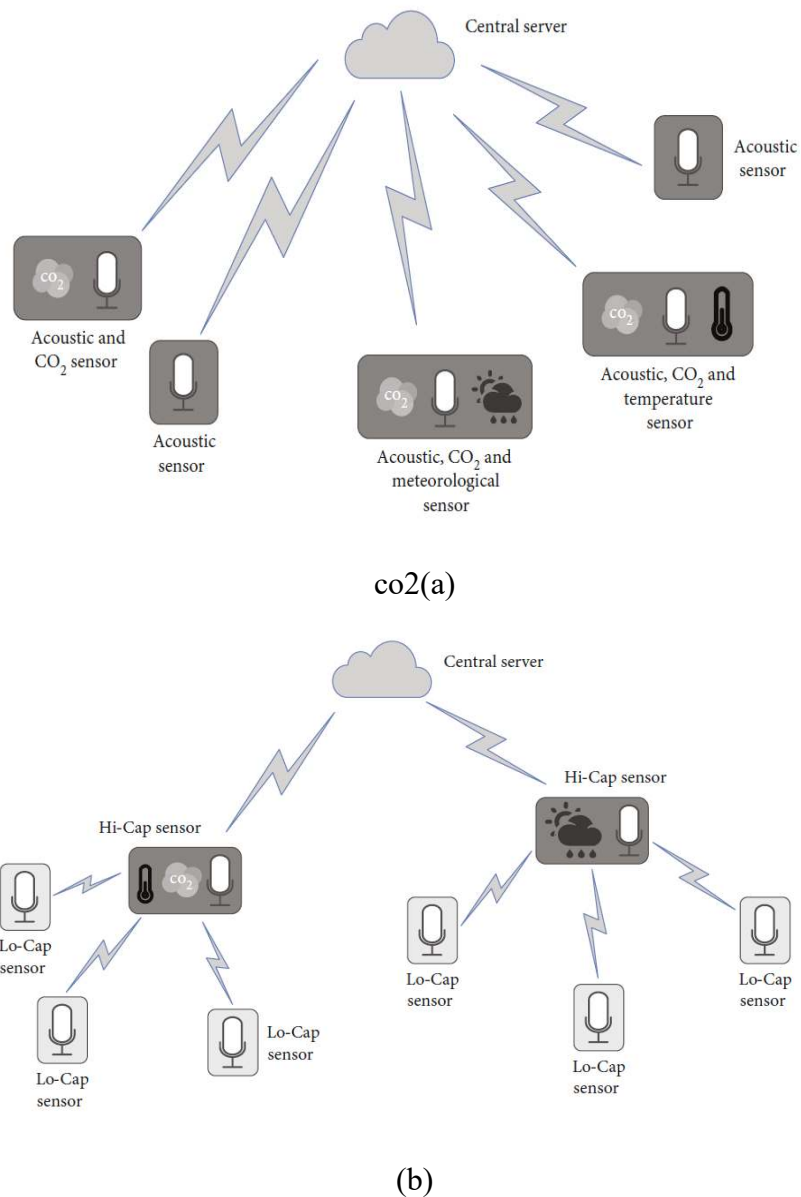


圖 2.1-1 不同的網路類型架構圖

(a)同質網路（採取任何種類的聲音感測器）；(b)混合網路 - 混用高能力（Hi-Cap）和低能力（Lo-Cap）節點。兩種網路均可將處理過的數據傳送至雲端的中央伺服器。Hi-Cap 節點可執行某些信號處理常規。

2.2 WASNs 式環境噪音監控方法

為監控環境噪音而發展的主要 WASNs (wireless acoustic sensor networks, WASNs) 式方法。這些計畫之組織架構根據所採用之感測器節點類型分為兩類。節點之構成已從商用裝置轉變為專設的聲音感測器。在兩種 WASNs 中，雲端是傳送所蒐集資訊的關鍵問題（只傳送 L_{Aeq} 資訊或同時傳送每個節點取得之額外資訊）。然而，所部署的兩種 WASNs 都不存在通訊瓶頸的問題^[30]，即使每個節點有多種感測器的情況亦然，因為所需要的通量非常小（例如：每秒僅幾個位元組）。

2.2.1 以商用聲音感測裝置為主的 WASNs

絕大多數第一類 WASNs (wireless acoustic sensor networks, WASNs) 均採用商用噪音計做為感測器節點。這些裝置均被連接至雲端的一個中央伺服器，以利蒐集各節點所提供的資訊（主要為 L_{Aeq} ）。接著，伺服器會產生寧靜（或稱噪音）地圖，為市民們提供噪音資訊。此領域的多項先鋒計畫，均遵循基本 WASNs 設計理念，也是這類應用的首批計畫。

Telos^[31]是文獻中有關無線聲音感測網路設計的早期經驗之一。該論文介紹一種由加州大學柏克萊分校研發的超低耗能無線感測模組，其設計目的為促進無線感測網路（WSN）領域之研究與實驗。加州大學是自動環境監測研究領域的先驅之一。超低耗能無線感測模組是一種專門設計，其主要目標為將耗電量減至最小、提高易用性和促進廣泛的軟硬體牢固性。這套模組具有廣泛的感測器介面（8 條類比信號線及 IO 通道），並藉由類比數位轉換器（ADC）提供 200 ks/s 的 sample 取樣能力。

在^[32]中，作者們證明了在各種環境監測應用中採用 WASNs 的可行性。該論文特別強調對城市地區環境噪音污染的監測^[33]。後來，同批作者繼續從事 WASNs 設計，並著重於從感測器節點到中央伺服器之數據傳輸問題。作者們將數據傳輸問題視為 WASNs 設計的技術瓶頸之一。^[34]探討了以自主方式適應數據報告率的問題。該論文採用一種為儘量壓制數據通訊而設計之預測模型，以利達到高度通訊節量^[35]。由於所採用的平臺具有睡眠模式，因此，能夠以超低耗電感測的方式，達到 40 kHz 的取樣頻率。

在^[36]中，作者們詳述一個 WASNs 部署情況。該 WASNs 之目標為測量西芬蘭省博滕區（Ostrobothnia）內產業及居家環境中的噪音。每個感測器節點都在其所在位置測量 L_{Aeq} ，所測得之數據則由主節點蒐集。主節點的作用就是將數

據蒐集到一個網路式資料庫。感測器節點建立在一個 ATmega128 + CC2420 平臺上。網路設計範圍覆蓋一個大學校園、一個工業園區或一個住宅街區。作者們也對取樣頻率做了描述，即每個感測器節點每 5 秒蒐集 72 個位元組。在^[37]中，作者們說明網路是如何依照樹狀拓樸設計出來的、如何做到全局同步以及如何支援數據通量。由於噪音測量與時間相關，無法及時停止，因此，數據通量支援有實施傳輸調度。

在^[38]中，作者們提出一個專為監測廈門市（中國）交通噪音而設計的環境計畫。作者們根據在廈門市 9 個綠地空間中 35 條道路上測得之交通噪音數據，建立測量點行為模型，以模擬廈門市其他 100 條道路的交通狀況。網路設計內容包括：噪音計、ZigBee 協定和 GPRS 通訊。這些裝置均被組裝及調整到可取得特定位置上不同類型交通噪音的數據（例如：快速道路、主要道路和次要道路）。這套系統之目標為根據測量道路類型，對交通噪音數據進行分析，並將之編輯成為數據集。

巴塞隆納（西班牙）部署一個環境噪音監控網路（NMN），目的在有效管理噪音源，並降低城市基礎建設對環境的影響^[39]。巴塞隆納 NMN 運作一段時間後，主管當局針對其優缺點進行了性能檢討，並據以判斷其未來可能面對之開放性挑戰^[40]。目前巴塞隆納 NMN 的主要目標為降低感測器成本和最小化人力作業，以利當局將重點放在噪音監控系統數據，並將努力集中於增值任務上。

城市地區聲環境測量網（RUMEUR）是一個由非營利性環保組織 BruitParif 在巴黎地區發展的混合式無線網路^[41]。這套 WASNs 的結構包括在重要地點（例如：機場）裝設高精度設備，但在其他僅以評估環境等效噪音為目標的地點，則安裝精度較低的測量設備。在實施供電限制的區域，也裝設精度較低的設備。作者們從裝設於感測網路中的噪音計取得 RUMEUR 計畫相關測量數據，幫助他們瞭解測定信號和擬定評估行動，以利降低環境噪音，並向市民及主管當局通報有關法蘭西島（Ile-de-France）音景的資訊^[42]。

以 FIWARE 平臺（<https://www.fiware.org/>）為基礎的 FI-Sonic 計畫，主要專注於持續性環境噪音監測和監視^[43]，其重點任務為開發各項必要技術，例如：運用智慧型音頻分析裝置擷取及處理噪音、更新寧靜（或稱噪音）地圖和辨識及定位聲音事件，範圍從噪音源定位到受噪音影響的居民等^[44]。

2.2.2 以客製化節點為基礎的 WASNs

為了滿足城市地區日益升高之自動噪音監測需求^[22]，不同國家已發展出多項依應用而專設的部署 WASNs 式計畫，其中有些計畫除了監測噪音污染，也能產生其他環境測量值。

為了簡化感測器節點之計算及耗能作業，並降低其雲端處理負擔，SensorNet 計畫部署一種客製化噪音計 (<http://www.sensornet.nl/english/>)^[45]。該計畫之主要目標為評估城市地區的環境噪音污染。作者們還詳述多項有關最適數據蒐集協定之質性考量因素及實驗結果，以證明無線感測網路之可行性。

比薩市（義大利）的 SENSEable 計畫是在智慧城市概念的基礎上，即時測量市內許多地點的噪音量^[46]，其主要目的為讓市民都能參與城市噪音管理。SENSEable 計畫根據以低成本數據取得達到戶外普遍噪音監測的原則，提出一套城市噪音監控系統^[47]。該系統在比薩市中心區許多民宅內安裝噪音感測器，為比薩市的聲學氣候提供一個良好的模型。然而，SENSEable 計畫的次要目標為找出公共策略地圖中未顯露之強烈人為因素（以 movida 表示）。

此外，MONZA 計畫 (<http://www.lifemonza.eu/>) 也遵循類似於 SENSEable 計畫的方法^[48]。這項由 LIFE 贊助的計畫，不久前在義大利蒙扎市（Monza）部署一個 WASNs，執行一套低成本感測系統^[49]，其具體目標為低排放城市區域架構介入前/後之噪音量比較。智慧型噪音監控系統係由裝設於策略性地點的 10 個低成本監測裝置構成。這些地點需要有噪音時間歷程（如：每秒數據），以及 20 Hz~20 kHz 頻率範圍內寬頻及 1/3 八音階頻帶中 70 dB 的聲動態範圍。整套系統在設計上可將每小時傳輸數據至中央伺服器的時間減至最短，讓伺服器端幾乎可以即時看到數據。

CENSE（城市聲環境特性）計畫之目標為提供在法國產生真實寧靜（或稱噪音）地圖的新方法^[50]。這套方法透過密集裝設低成本感測器的網路，以促成模擬及測量數據之相似度為基礎。除了細化物理指標外，CENSE 計畫的概念也包括聲環境特徵化。CENSE 納入之領域專家包括：環境聲學、數據處理、統計學、圖形資訊系統（GIS）、感測網路設計、信號處理和噪音感受。CENSE 計畫並建議透過開發能夠自動辨識噪音源的音景模型，來繪製感受寧靜（或稱噪音）地圖。

一站式環境污染檢測智慧網 IDEA（智慧型分散式環境評估），計畫測量比利時城市地區之噪音及空氣品質污染程度^[51]。IDEA 計畫是一個雲端式平臺，

其設計目的為利用一個提供資訊的網站平臺，建構一個環境感測網路。該計畫之目標為測量城市地區的噪音及空氣品質污染程度^[52]。所採用的數據僅源自 31 個三分之一八音階頻帶上之 6 個時間對比濾波器和 6 個空間對比濾波器，因而形成一個 768 維度特徵空間。MESSAGE（跨電網環境之機動環境感測系統）計畫也整合各種環境測量值^[53]。該計畫監測多項環境指標，包括：噪音、一氧化碳、二氧化氮、氣溫、濕度和交通占有率/流，提供英國的即時噪音數據，屬一站式環境污染檢測智慧網路。MESSAGE 計畫之個案分析在倫敦進行。

一站式環境污染檢測智慧網 UrbanSense 計畫，目標是即時監測加拿大的城市噪音及其他空氣污染數據。專為此一目的設計之可擴展基礎設施（包括：各種不同的戶外感測器、一個數據匯集系統和一套網路式數據管理及視覺化應用程式）可將事件導向之即時數據整合到單一平臺。感測器可監測多項污染物，例如：二氧化碳、一氧化碳和噪音（ L_{Aeq} ），其取樣率設定從每秒 2 個樣本到每 17 秒 1 個樣本不等。感測器也可監測多項天氣現象，包括：風速、風向、氣溫、相對濕度和降雨機率。

在^[7]中，一個稱為 SONYC（紐約之聲）的低成本靜態聲音感測網路被用來監測紐約市的城市聲環境。該計畫之目標為提供精確的紐約市聲環境數據，以監控該市的噪音污染情況。SONYC 計畫利用多項消費性硬體產品（例如：迷你 PC 裝置和 MEMS 麥克風），執行一個智慧型低成本靜態聲音感測網路，以 44.1 kHz 取樣頻率，運用 16-bit 音頻數據作業。聲音感測器節點可以長時間部署在城市中各個地點，以利蒐集及處理縱向城市聲學數據，並據以向主管當局提供有意義的資訊，以利他們修改政策和擬定行動計畫。

前文提過的 RUMEUR 計畫已經演進成為 Medusa 計畫^[55]，試圖解決 BruitParif 無法在任何既定時間處理噪音源的事實。Medusa 藉由一個由 4 個麥克風和 2 個光學系統構成的硬體系統，解決了這個問題。現在 Medusa 可以透過一個 360° 環境影像來顯示噪音量。噪音源定位的問題解決了，但此一解決方案引發的計算負荷非常高，是絕大多數低成本聲音感測器節點所無法辦到的。

最後，有些計畫將重點放在監控特定區域或基礎建設，例如：公路。在^[56]中，Burdwan 國道上的 5 個地點裝設了噪音計，用以監測和記錄均能音量（ L_{Aeq} ），並執行相應的統計分析。這些噪音計在一天中 3 個不同時段，分別測量多種噪音指標（如： L_{10} 、 L_{50} 、 L_{Aeq} 及其他）。測量結果搭配多項利用聽力

計、汞柱血壓計和聽診器測得之生理參數（如：聽覺受損、血壓及心跳）被加以分析。此外，整體分析還另外搭配主觀調查及人員訪談。

有些噪音監測計畫除了均能音量外，還考慮其他環境數據。De Coensel 等人在他們的智慧型噪音監測計畫中，執行一項結合聲學資訊與主觀感受調查的研究，以利探究聲音事件的類型與睡眠品質的關聯^[57]。這項計畫還採用一個聲辨識系統，提供有關偵測聲音的資訊，並建立感受調查與道路交通噪音事件之間的關係^[58]。然而，這種方法僅專注於辨識所關注的事件，而非寧靜（或稱噪音）地圖的產生過程。

在 DYNAMAP 計畫中，如何在成本與精度之間達到良好的權衡，也是 WASN 的核心設計概念^[59]。該計畫在義大利的兩個試點地區（分別在羅馬^[60]和米蘭^[61]）部署低成本 WASNs，以評估郊區和城區道路基礎建設分別帶來的噪音影響。DYNAMAP 計畫之目的為監測道路交通噪音，僅在可靠的 44.1 kHz 蒐集數據，以排除特定音頻事件，進而使得排除非道路交通噪音事件（即異常噪音事件）^[62, 63]成為寧靜（或稱噪音）地圖計算中的強制性要求^[60]。此外，DYNAMAP 計畫也評估每個異常噪音事件對最終 L_{Aeq} 的影響^[64]。據文獻回顧所知，DYNAMAP 是首個以監測真實環境中特定噪音污染源（道路交通噪音）為目標的計畫。道路交通噪音已被證實為城市地區的主要噪音污染源，其對市民健康的危害，至少不亞於空氣污染^[9, 65]。

2.3 聲音感測器節點：精度與計算能力

在本節中探討設計 WASNs（wireless acoustic sensor networks, WASNs）時必須考量的主要特性：節點的記憶及處理能力（參見圖 2.1-1）。如果感測器節點在設計上只為執行簡單任務（如：計算特定時段的 L_{Aeq} 並將之上傳至雲端），則只需要裝設基本的處理硬體。相反地，若需要執行頻譜分析或自動分類計算，這些演算法便無法利用低成本設備來完成了。感測器節點可依測量精度及計算能力分為三大類：(1)高精度聲音感測器（通常為噪音計，既昂貴又只能提供均能音量值）；(2)低成本聲學節點（利用硬體平臺提供高計算能力（Hi-Cap），在精度與價格間取得平衡點）；(3)低成本低計算能力（Lo-Cap）節點（通常設置於偏遠地點或僅需測量 L_{Aeq} 的地方）。也有些計畫採取(2)和(3)的組合設計一個完整網路，在比較重要的地方，部署高精度的訊號偵測演算法；而在較不重要的地點，則裝設僅計算 L_{Aeq} 的感測器節點。

2.3.1 高精度聲音感測器節點

裝設第一類感測器節點之目的是為達到高精度、高可靠度和低噪音基底。為達此一效果，大多數這類聲音感測器節點都是採用 Bruel & Kjaer [66]或 Larson Davis [67]的監測裝置（兩家公司的裝置均配備 IEC Class I 麥克風）。配備這類感測器之 WASNs 的主要部署目的是為執行城市聲環境之詳盡研究。

另有一個類似於 FI-Sonic 計畫的實例^[43]。該計畫之 WASNs 之感測器節點搭配的是 Ambisonic 麥克風和一個多頻道擷取卡（2 GB~128 GB），並配備一個網路介面（Wi-Fi/3G 數據機）和媒體伺服器。該 WASNs 還藉由主處理單元執行所有音頻分析^[44]。蒐集的資訊被用來製作準即時動態噪音及事件地圖和辨識預先訓練之特定音源，以遂行監視之目的。配備第一類感測器節點之 WASNs 的主要問題為部署需大量節點之大型網路的價格（其昂貴程度可能令人望而生畏）。同時，其裝置在執行信號處理演算法時也缺乏彈性，因此，僅能提供與測量均能音量相關的指數。

低成本高能力聲音感測器節點 – 第二類聲音感測器節點在設計上即是為了平衡精度與網路建置成本，其做法為最小化每個節點的價格，同時維持合理的測量精度。這類聲音感測器節點通常部署於相當大型的網路。除了價格和精度考量外，這種 WASNs 在設計上還可容許在每個網路節點上就地執行即時信號處理。

廈門市（中國）的計畫^[38]部署一個利用低成本商用噪音計構成的網路，運用 ZigBee 科技和 GPRS 通訊蒐集數據，其最終目標是蒐集廈門市數個區域的均能音量。此外，在廈門市的網路中也能看到安裝於 IDEA^[51]和 MESSAGE^[53]計畫之 WASNs 中的兩種應用。這些應用是以單板電腦為基礎，採用低成本聲卡和低計算能力。這類型感測器由於成本低廉，因此，可容許部署大型聲音感測網路。

前文提過的大多數環境噪音監測方法都是僅著重測量 L_{Aeq} 值，因此，節點僅需就此目的進行計算。一旦此應用在輸入聲信號處理中需要更高複雜性，網路節點的計算能力便應隨之提升。然而，有些第二類聲音感測器節點是專為發展特定計畫而設計的。在^[7]中，紐約市的城市聲環境是利用低成本靜態聲音感測網路來監控，裝置包括 MEMS（微機電系統）麥克風，以利用 Class II 裝備進行可靠的測量。目前這些感測裝置結合一臺四核心安卓迷你電腦，搭配 Wi-Fi 無線網路連接能力，用以評估聲信號及進行數據通訊。

其他方法則考慮同時採用 Hi-Cap 及 Lo-Cap 節點的混合網路。在^[68]所描述的 WASNs 中，先進節點的處理能力遠大於基礎節點，所搭配的是一臺採用 Intel Atom® 處理器及 Linux 作業系統的小型個人電腦。這些先進節點還可儲存及處理聲學數據，具有足夠的計算能力及彈性，可執行多項信號處理分析。

RUMEUR 混合網路^[41]同時配備用於測量次要地點之低精度設備和測量重要場所之高精度設備，例如：機場。由於這些重要場所的噪音環境很複雜，因此，測量重點在於取得詳盡的聲學資訊。混合網路中高能力部分之感測器節點採用 Class I 麥克風，其信號處理能力包括聲音事件偵測^[69]。從噪音計取得之測量數據，被用於評估降噪行動及向相關人士傳遞音景資訊^[42]。

最後，在成本與精度間做出適當的權衡取捨，也是 DYNAMAP 計畫的核心概念^[60]。DYNAMAP 計畫在兩個試點地區分別部署一個混合網路。搭配混合網路設計之感測器節點屬低成本設備，採用 Class II MEMS 麥克風。Hi-Cap 節點是以 ARM 架構中央處理器為基礎，其信號處理技術可即時分析及處理聲音信號，同時執行其他節點任務，如：數據通訊和 L_{Aeq} 評估^[70]。

2.3.2 低成本低能力聲音感測器節點

一個為測量環境噪音而設計 WASNs 的計畫^[36]，其中感測器節點裝設在 ATmega128 + CC2420 平臺上，協定堆疊是以 CiNet 為基礎，搭配一個全局同步方案。感測器節點也可執行 A 加權濾波（尤其是 ITU-R 468 加權）（http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.468-4-198607-I!!PDF-E.pdf）。作者們將此一設計與兩種標準噪音計（CESVA SC-20c 和 Pulsar24）做比較。他們的提案顯示，無論是短期或長期測量值，誤差均不超過 2 dB，因此，該網路可為主管當局提供即時數據^[37]。

如前所述，在^[68]中，作者們利用混合方法設計一個聲音感測網路。相較於前文提過的先進節點，該網路基礎節點的硬體平臺是一個低耗能 PC，其主要目標只為計算 L_{Aeq} 和定期傳送所蒐集的 L_{Aeq} 數據。

混合式 RUMEUR 計畫低精度測量設備^[69]之目標僅為運用相對應之 L_{Aeq} 測量值更新寧靜（或稱噪音）地圖^[42]。此部分混合網路所採用之感測器節點屬低成本裝置。這些節點透過 Class II 麥克風取得 L_{Aeq} 數據。採用 Class II 麥克風是有必要的，因為在介紹 RUMEUR 計畫時曾提到，在網路中採用 Class I 高精度噪音計仍受限於相對成本太高。

DYNAMAP 計畫做為一個混合聲音感測網路，也採用低成本和低能力感測器節點^[70]。這些感測器節點是靠太陽能板供電，因此，在郊區選擇感測器節點位置時比較具有彈性，進而可將其作業之聲學覆蓋範圍增至最大。這類型感測器的核心是一個低能力微控制器。這些感測器節點可以即時計算均能音量 (L_{Aeq})，並按秒將之傳送至中央伺服器。DYNAMAP 計畫可被視為較部署於比薩市 (義大利) 之 SENSEable 計畫所取得的初步結果略進一步^[46]。

2.4 環境聲音事件偵測

如前文所述，絕大多數 WASNs (wireless acoustic sensor networks, WASNs) 式環境噪音監測系統在設計上都是為了持續測量所部署地區的總體噪音量。然而，除了容許超出基礎 L_{Aeq} 計算之更詳細分析外，在聲環境中擷取有關音源之特定資訊，也是 WASNs 是否符合法律要求之關鍵問題。在本節中，我們將檢討近年來有關城市環境聲音事件偵測 (AED) 演算法的代表性論文。這些論文中，有些已開始研究即時作業模式，將單類新奇偵測與多類分類方法區分開來。AED 方法的基礎為一個兩階段過程：輸入音頻參數化 (亦稱特徵擷取) 和機器學習法。機器學習通常是運用特定噪音問題之代表性數據加以訓練，例如：採取監督式或半監督式方法。接著，我們將詳述已用於 WASNs 的初步 AED 提案。

2.4.1 在城市環境中偵測聲音事件

首先介紹為探討不同環境噪音相關應用而設計 AED 方法之代表性論文。在^[71]中，作者們介紹一種新穎的聲學監視 AED 方法，並評估其在一個模擬真實情境中的表現。這套系統之主要目標為發掘戶外公共安全背景環境中的異常音頻事件，如：尖叫、喊叫和爭辯。作者們利用不同的音頻指標將聲音數據參數化，例如：梅爾倒頻譜係數 (MFCC)、MPEG-7 低階描述符 (LLD)、聲調及 Teager 能量運算子和感受小波封包 (PWP)。這套方法是以概率分類器為基礎，同時考量高斯混合模型 (GMM) 和隱藏式馬可夫模型 (HMM)。這兩種模型僅以正常聲環境數據 (如：多數類別) 加以訓練，因此，遵循的是一元分類 (OCC) 方案。

Aurino 等人採取一種類似方法，利用支持向量機來辨識危險狀況^[72]。具體地說，這套系統經過訓練可辨識槍聲、玻璃破碎聲和尖叫聲等。其所遵循的是二階段分類方案：透過總體 OCCs 將短期音頻段落分類後，然後運用多數決原

則，按秒整合其輸出。在^[73]中，作者們利用多類 AED 方法，監控城市環境中的交通堵塞情況。此一方法也可偵測撞車事故。該系統是以一個兩階段 HMM 式分類方案為基礎，同時考量 MFCC、LLD 和 PWP，以利將輸入的聲學數據參數化。然而，值得注意的是，資料庫是合成產生的，其間考量特定信噪比（SNRs），並利用源自多個專業聲效集庫的抽樣。

在^[74]中，具有類似目標的 AED 方法，在設計上可透過低成本硬體平臺，偵測輪胎打滑和撞車事件，以遂行其監視目的。作者們完成一系列 SVM 式分類器訓練後，利用詞袋表示法來執行 AED。SVM 式分類器考量不同的特徵擷取技術，包括低階特徵，例如：音量、能量、過零率和 MFCCs 或巴克次頻帶。研究內容也包含分析分類器對不同麥克風距離之敏感性。然而，正如其他研究一樣，作者們混合即時聲學數據與兩類特定危險道路事件，建立一個合成音頻資料庫，因而使得最終結論很難隨著真實作業環境而擴充。在^[29]中，作者們未考慮典型的局部時空特徵，而是引進一個同時考慮局部及全局參數的多類 AED。論文建議將混合的專家模型視為一套機器學習法。該提案也經過利用模擬真實情況之 10-類 UrbanSound8k 數據集測試^[75]。在^[76]中，作者們介紹一套以非負矩陣分解（NMF）和短時快速傅立葉轉換（FFT）為基礎的 AED 方法，其目的為隔離道路交通噪音對城市聲混合測量值的貢獻度。此一研究不久前已被用於估計道路交通噪音量^[77]，並採取一個類似^[78]所述的方法，在一個合成資料庫中，展現良好的結果。

最後，作者們請讀者參照衍生自“聲音場景及事件之偵測與分類”（DCASE）挑戰的文獻。DCASE 是一項於每次呼叫時呈現不同挑戰的競賽^[27]（如 TUT 資料庫^[80]），包括：根據真實聲學數據偵測聲音事件^[79]。這些文獻中提出以深度神經網路為基礎的不同建議案（實例請參照^[81, 82]）。然而，這套機器學習法是以大量訓練標記數據為基礎。當需要處理真實數據時（尤其是需要建立異常噪音事件之代表性數據集時），這項要求可能變得非常複雜^[62]。

2.4.2 城市聲音感測網路之聲音事件偵測

接著介紹多項智慧城市 WASNs 初步執行 AED 方法的計畫。在^[43]中，AED 的部署是為辨識及定位高能力 FIWARE 式感測網路中（詳見第 2.2.1 節）各種不同危險狀況所產生的聲音事件（例如：槍聲、尖叫聲、喇叭聲和道路交通事故）。這套方法接著被用於一個由 3 個節點（包括：Ambisonic 麥克風）構成之概念驗證 WASNs 進行測試，AED 則在一個集中式媒體伺服器上運作^[44]。該

AED 是以二次判別分析及神經網路 (NN) 做為分類方法的基礎，並運用低階信號特徵和心理聲學參數，將輸入音頻參數化 (像標準 MFCCs 一樣)。

在^[78]中，作者們進行有關異常噪音事件偵測之初步研究，目的在訂製可靠的道路交通寧靜 (或稱噪音) 地圖。這項研究並在一個混合真實數據與音頻片段 (擷取自 Freesound) 的小型合成資料庫中進行測試。執行 AED 時，作者們考量兩種分類方法：k-近鄰演算法 (k-NN) 及費雪線性判別演算法 (FLD) 和兩項音頻參數化技術：MFCC 及珈瑪調倒頻譜係數 (GTCC)^[83]。由於二元 AED 分類器的出現，這套方法已於不久前更加精進。二元 AED 分類器係利用取自 DYNAMAP 計畫中的真實錄音數據加以訓練^[62]。所發展之異常噪音事件偵測器 (ANED) 是以一個二階分類過程為基礎，此過程又以 MFCC 參數化和高斯混合模型 (GMM) 為核心機器學習法。結果顯示，這套方法的表現優於僅以道路交通噪音為多數類別給予訓練的一元分類法 (OCC)。目前，ANED 在兩個 24 節點的 WASNs 上運作，分別設於羅馬 (郊區) 和米蘭 (城區) 的試點區域。

在^[84]中，作者們利用 AED 方法從背景噪音中分辨出目標聲音，並將測得的音量分配至當下不同的音源。AED 利用二元分類器，將目標聲音從背景噪音中區分出來 (例如：交通噪音、風聲、雨聲、雷聲和鳥叫聲)。此外，MFCCs 被用做特徵擷取技術，分類器則以 GMM 和 NN 為基礎，利用附帶的真實數據集給予訓練。然而，由於作者們選擇的測試場地是一個碎石場，且僅考量單一聲音感測器 (未部署網路)，因此，其建議案事實上並未在城市環境中測試過。

最後，^[85]介紹一個 23 節點 WASNs 的 AED 執行計畫，其目標為針對移動軍用車輛進行聲學分類。音頻輸入被運用 FFT 予以參數化，機器學習法則採用 NNs、GMMs 和 HMMs。這項研究特別注意直接影響此類型網路運作的幾個現象，例如：感測器故障、硬體老化或環境改變。就故障偵測能力和在感測器故障及環境噪音情況下分類移動車輛的能力而言，這些實驗驗證了建議案的可行性。然而，這些實驗僅考量 4 小時的數據，因此，很難據以做出長期結論。

雖然 WASNs 在某些智慧城市中已經初步實現，但要充分利用這種以物聯網 (IoT) 為基礎的方法，以動態、可靠及廣布的方式監控環境噪音，仍有很長的路要走。表 2.4-1 為國外執行 WASNs 計畫案例，多數均已驗證其在某些特定環境中之可行性。例如：在米蘭市第 9 區和羅馬市周邊 A-90 公路被指定為 DYNAMAP 計畫之試點地區，分別架設一個由 24 個節點構成的混合網路^[59]；或在巴塞隆納 NMN 中，112 個裝置被均衡地設置在市內各個地點^[40]。然而，仍有

一些試點計畫只裝設少量節點（如：4 個），且僅部署兩週^[86]。這些被視為長期測量的計畫，其實遠遠無法滿足在城市環境中全天候監控的要求。基於此，感測器之性能與計算能力，以及感測器故障、老化現象和環境改變等情況之察覺，都至關重要^[85]。

另一項在設計網路時須考量的元素是 WASNs 上所有節點均必須與雲端中央伺服器連接（在本文的討論中我們已將之視為一項商品要件），以利整合在每個節點上蒐集的數據，並於必要時顯示這些數據。網路設計必須將來自不同節點的數據可能產生之延遲現象納入考量。延遲時間因所執行之數據網路而異^[87]，例如：3G、4G 或 Wi-Fi 網路。整合數據時，必須將其延遲（雖然數量級小於取樣時間）納入考量。

表2.4-1 先進噪音監測WASNs計畫一覽表

年份	計畫名稱	L_{Aeq}	聲學信號處理	噪音計 (非特設)	低成本(特設) 高能力	低成本(特設) 低能力
2005	Telos	V	X	X	V	X
2007	Santini	V	X	X	V	X
2008	SensorNet	V	X	X	V	X
2010	Hakala	V	X	X	V	V
2011	Burdwan	V	X	V	X	X
2011	IDEA	V	X	X	X	V
2012	SENSEable	V	X	X	X	V
2013	Xiamen	V	X	V	X	X
2013	MESSAGE	V	X	X	X	V
2014	Smart sound monitoring	V	V	X	V	X
2015	Barcelona NMN	V	X	V	X	V
2015	RUMEUR	V	X	V	X	V
2015	FISONIC	V	V	V	V †	X
2016	CENSE	V	V	X	V	X
2016	UrbanSense	V	X	X	X	V
2016	DYNAMAP	V	V	X	V	V
2017	SONYC	V	X	X	V	X
2018	Medusa	V	V	X	V †	X
2018	MONZA	V	X	X	X	V

註：† 儘管作者們將此計畫歸類為低成本平臺，但其價格遠高於其他低成本平臺。

WASNs 曾考慮同時裝設高精度商用裝置及特設的低成本感測器。低成本感測器後來演進成為高能力低成本節點。這些節點可以執行某種信號處理演算法，因此，能夠以相對合理的成本，分析輸入的聲學數據。此一問題具有高度相關性，因為 WASNs 必須處理和解決完全監控城市中複雜聲環境時可能面臨之各

項開放性挑戰。這些挑戰應依環境噪音指令 (END) 加以考量，例如：鄰近機場的公路、劃入城市範圍內的港口和鄰近港口的火車站。此外，如果我們想要利用 WASNs 來達到 END 和 CNOSSOS-EU 的要求，WASNs 便必須能夠分辨這些特定噪音源。絕大多數 WASNs 式計畫都專注於測量監控聲環境之整體均能音量 (L_{Aeq})，並未分辨構成此噪音量的噪音源。在文獻中，我們看到某些朝向此一目標的開創性研究，例如：DYNAMAP 計畫之目標為僅監控道路交通噪音，因此，在設計上 WASNs 式系統便必須排除其他噪音源，以利道路交通噪音地圖之計算。混合式 WASNs 所採用的感測器節點可以運轉異常噪音事件偵測器 (ANED)，以便從 L_{Aeq} 計算中排除非交通噪音事件。此一方法開啟了除計算噪音量外，還可針對噪音源訂製寧靜 (或稱噪音) 地圖之可能性，如此，將可為主管當局提供擬訂特定噪音政策時之寶貴數據。例如：城市的主要問題之一是源自休閒及娛樂活動的噪音，如：夏季節慶活動或社區內新開幕的酒館。在地中海城市中，所謂“movida”的情況非常普遍。因此，這些城市必須探索 WASNs 式方法，以監控這類型噪音，並實施專為繪製可靠的噪音污染地圖及擬訂後續行動計畫而特別制定的策略。“movida”是僅次於道路交通噪音，城市居民的主要投訴噪音源之一^[40]。

最後，值得一提的是，當前有關噪音對居民健康之影響及其衍生立法之研究，通常根據的是靜態寧靜 (或稱噪音) 地圖測量值。這些研究的結果可能因廣布的永久性 WASNs 部署而大幅改善，因為當前絕大多數試行計畫都僅部署數天或數週^[86]。利用蒐集到的聲學資訊，可產生噪音煩擾地圖，不僅可提供有關客觀噪音量的資訊，也可提供有關噪音污染之主觀感受的訊息 (參見^[88]及其中的參考文獻)。基於此，值得一提的是，不久前啟動之“透過創新方法管理航空噪音” (ANIMA) 計畫 (<http://anima-project.eu/>)，致力於發掘及傳遞最佳實務，以降低機場周邊社區所承受之噪音煩擾 (涉及市民)。最後，同樣重要的是，儘管本文的範圍已經固定，但學界已有在噪音監控領域納入市民參與的上升趨勢。作者們請讀者參照^[26]，以閱讀完整的有關群眾源噪音測量之智慧型手機應用的探討。

針對文獻中相關之監測智慧城市環境噪音無線聲音感測網路之設計與部署方法知，傳統靜態寧靜 (或稱噪音) 地圖繪製，仰賴的是噪音測量值，早期如部署網路。2000 年代中期以來，消費者智慧型手機技術的出現，讓我們可以透過群眾外包方式，利用應用程式測量 SPL，例如：公民科學導向噪音地圖計畫

(noise mapping projects) [90~98]。這種方法經常被稱為參與式感知 (participatory sensing)。雖然這種方法從不同地點蒐集數據的能力，是其他方法所不能比擬的，但它也有其缺點。首先，它的時空覆蓋度不足，且其精度也因缺乏麥克風靈敏度 (與裝置型號及其狀態有關) 校準及驗證而令人存疑。在美國，智慧型手機使用者的人口滲透偏向具大學背景的高收入人士[99]。值得一提的是，在傾向於利用紐約市 311 公民投訴專線的人士中，作者也觀察到此一偏向。儘管調查數據顯示，曼哈頓、布魯克林和布朗克斯三區的噪音煩擾普遍性很類似，但來自中高收入曼哈頓區居民的投訴案件數仍不成比例地偏高[89]。所測得之均能音量 (L_{Aeq}) 被自動傳送至一個中央伺服器，因而取代了噪音測量中的專家角色。雖然這樣的方式提供較高精度結果，但其網路節點的成本很高，使得大規模部署變得過於昂貴。

後來，有些計畫採用特別設計的聲音感測器，其中多數致力於開發低成本感測器，以利噪音監測物聯網路 IoT 之廣布部署。在這類型網路中，我們可以同時看到低功能 (Lo-Cap) 和高功能 (Hi-Cap) 網路節點 (有時混用於混合網路)，提供動態即時 L_{Aeq} 測量值。

有些開創性計畫也採用聲音 (噪音) 事件偵測技術，以利從測量值中擷取額外資訊。在此背景下，值得一提的是，低成本高能力聲音感測器已開始被用於監測城市環境中的特定噪音源 (如：道路交通噪音或特定監視噪音事件)。此外，這些感測器經過特殊設計，便可能用於監控休閒及娛樂區域或重要地點，如：醫院、學校及其他地點。最後，根據 WHO 的統計，由於噪音污染是空氣污染之外，另一個健康問題的主要肇因，在不遠的將來，可靠且廣布的聲音感測器將可提供控制及降低環境噪音的寶貴資訊，其效用遠優於當前每 5 年更新一次靜態寧靜 (或稱噪音) 地圖的研究。

然而，我們仍應從事進一步研究，以改善聲音感測器在真實作業條件下的表現。尤其，若蒐集自網路的數據將被主管當局據以擬訂行動計畫或施以行政處分時，改善聲音感測器表現便更形重要。因此，值得注意的是，儘管聲音感測器將成為初期現實，但全世界仍只有很少數智慧城市部署聲音感測器計畫 (多數城市僅部署試行計畫)。因此，這項技術距離完全開發仍有很長的一段路要走。

2.5 噪音監測網路

Piper 等人於 2017 年提出的靜態噪音監測網路 (static noise monitoring network) ^[100]計畫，蒐集一個由 16 個低成本感測器節點構成的網路，在 6 個月部署期間所測得的數據。這些感測器採用專門設計的麥克風，可產生高品質聲學數據。該網路在一個建築工地蒐集 1 分鐘解析度噪音數據。討論感測網路之可用性或正常運作時間時，所採取的有利值為 67.6%~97.8%。停電和不良天氣狀況被認為可能影響正常運作時間，缺點為部署期間相對較短且規模有限。

然而，這種網路能夠推斷局部地點之噪音狀況，提供噪音感測網路長期部署效能狀況，有助於瞭解噪音模式。這項計畫還藉由線上儀表板，向相關單位發布數據。因此，更廣泛可及性 (accessibility) 成為其這項計畫的重要益處之一。

2.5.1 陣列物聯網 (AoT)

一、芝加哥

陣列物聯網 (AoT) 計畫 (Array of Things Project) ^[101]專注於利用靜態感測網路監測一系列環境參數，包括：芝加哥市的噪音量。這個網路目前部署 100 個感測器節點，其中大多數已運作超過半年。這項雄心勃勃的長期縱貫計畫之目標是在未來幾年內，部署幾百個節點。此一部署規模必可產生大量的城市噪音數據。然而，此計畫之噪音感測器的精度被認為偏低，因為麥克風是裝在感測器外殼內部，容易產生共鳴及濾波效應，且其每個感測器單元的成本高達 \$2,000 美元。幸好，由於該計畫與芝加哥市交通局 (DOT) 有戰略夥伴關係，因此，網路維護巡修工作均由 DOT 的工程人員負責，大幅降低網路整個生命週期的養護費用。這項計畫所產生的數據，可讓民眾在線上即時取得。此一特色對這種由研究機構主導的網路來說實屬難得。

能夠產生符合 I 類/型 IEC 61672 標準之精確 SPL 數據的感測網路^[23]，均為以下公司所供應之商用解決方案：Bruel and Kjaer (B&K)、Norsonic 和 01dB。例如：B&K 公司的噪音監測系統 (Noise Sentinel system) ^[103]可提供高精度 SPL 測量值、無線數據傳輸、單閾值式事件偵測/音頻錄音和一個私用入口網站 (可提供即時數據視覺化)。

網路部署通常需要幾個月，期間需要執行之特定工作從施工與挖掘到監測噪音量，再到即時反饋數據至利害關係者等。一個比較長期性的感測網路部署是在紐約都會區。除了監測航空噪音外，該網路也監控其部署是否遵從當地航

空噪音規範。此一部署（50種之1）已持續超過4年，其網路由37個高精度噪音感測器構成，持續監測SPL，所測得之即時數據被傳送至一個私用網路介面^[104]。根據服務等級協定（service level agreement, SLA），該感測網路之正常運作時間>95%。除了記錄SPL數據外，當飛越上空之飛機噪音超過既定閾值時，感測器也可記錄並傳輸飛機噪音的音頻片段，以利進行人工離線機型分類。這種狹隘集中式網路，可在一個相當大的範圍內，提供單純但高度精確的長期縱貫性噪音數據。

然而，每個感測器節點的年成本高達\$37,000美元，導致在紐約都會區部署該網路的年成本超過\$135萬美元。如此高的成本使得該網路的部署規模僅限於研究，且通常必須等到有大筆預算時才能部署（例如：本實例之個案）。此外，這些網路僅能產生SPL數據，且必須採取很耗成本的人工方法來標記音頻數據，以利識別違規來源。

二、西班牙

另一項採取商用環境監控測站的研究方案，是部署於西班牙馬略卡島（Mallorca）的SmartSensPort-Palma計畫^[105]。這個部署於馬略卡島通商航運區內由8個感測器節點構成的網路，其目的在於測量環境噪音污染，包括：以通用IEC 61672 class/type II精度標準，在8個月部署期間蒐集的噪音數據。該網路的感測器是由西班牙一家遠端遙測系統公司“Libelium”製造^[106]，每個零售價格至少\$1,800美元，因此，網路部署總成本為\$51,000美元。該網路之部署目的為發掘港口活動與環境噪音污染之間的關係。雖然研究結果未能發現兩者之間的關係，但研究結論指出，必須進行進一步研究（例如：裝設更多感測器和部署期間更長），才能建立環境噪音模式模型，進而產生可供利害關係者參考的實用數據。儘管該網路的數量級成本低於之前的B&K網路，但其每個感測器的成本仍相對偏高，因而限制了其部署規模。該網路還產生一個問題：8個感測器節點所測得之訊號主要為城市交通噪音，而非原先想要測量的港口活動噪音。Libelium感測器的低耗電運算核心，僅能容許基礎SPL測量，而無法做到在網路邊緣識別訊號之較先進訊號處理。另從該計畫之文件資料看來，這些數據開放取用並不明顯。

三、法國

Bruitparif建置一個名為Rumeur Network，擁有更廣建議應用程式的噪音監測網路^[107]。Bruitparif是法國環境部於2004年成立的一個非營利環保組織，其

宗旨為監測法國的環境噪音。該網路包含在固定地點設置的長期噪音監測站，進行縱貫性噪音（longitudinal noise）研究（部署許多年）。此外，該網路還有中期部署（數週至數年），用以評估噪音產生設施所造成的影響；以及短期部署行動感測器（數小時至數天），用以研究短期噪音事件。Bruitparif 與歐洲多所大學合作，以研究噪音對城市環境中各個角色的影響，包括：增強緩解策略的成果。該監測網路是由 50 個單價\$2,500 美元的感測器構成。這些長期部署的感測器具有多核運算能力，可在 IEC 61672 class/type I 精度標準下，蒐集高品質音頻和精確的聲學數據，包括：原始聲音檔數據。

該網路另外部署 350 個單價\$550 美元之成本較低部署時間也較短的裝置，在 IEC 61672 class/type II 精度標準下，傳輸單純的 SPL 測量值。該網路中較先進的噪音監測站具備高處理能力，除蒐集 SPL 數據外，當 SPL 超過閾值時，還提供一系列原始音頻紀錄。長期下來，此能力有助於更清楚瞭解當地的噪音環境。該網路之部署期間也長得令人印象深刻，其整套核心先進感測器的運作時間長達 6 年以上。儘管該計畫已從大片地理區域累積蒐集大量精確的長期縱貫性 SPL 數據，但有關這些數據背後之噪音產生源的背景仍然非常有限，因此，很難根據其城市噪音狀況，擬定完整的介入行動。該網路所蒐集的數據亦可藉由一個公開網路介面即時取得。

四、羅馬和米蘭

另一個類似於 Rumeur Network 的噪音監測網路是 DYNAMAP Life+ Project 計畫^[108]。該計畫在羅馬和米蘭市區各處部署了 93 個噪音感測器，部署期間為 7 個月，目的在幫助這兩個城市繪製精確的寧靜（或稱噪音）地圖。該網路與 Rumeur Network 一樣，都採取混合感測方法，同時採用高能力和低能力的感測器節點（high and low capability sensor nodes）。高能力節點除了單純的 SPL 測量值外，也可提供更先進的感測能力，例如：異常噪音事件偵測，有助於提高道路交通噪音 SPL 測量值的精確度。這些網路能以 30 秒間隔產生噪音數據，因此，據以繪製的寧靜（或稱噪音）地圖比傳統上僅根據預測之聲傳播模型繪製的噪音地點更為精確。然而，這套系統在混合式感測網路上採用的是現成的低成本麥克風，因此，其 SPL 數據的精確度不穩定。儘管這種混合式感測方法有其優點，例如：利用低能力節點進行廣泛的電池/太陽能供電部署，但其高能力與低能力節點測量值之間的一致性不明，而此點可能非常重要。

五、英國和比利時

其他類似的計畫還包括英國的 MESSAGE 計畫^[109]和比利時的 IDEA 計畫^[110]。MESSAGE 計畫部署 100 個低成本噪音感測器。由於這些感測器之運作係採取電池供電，因此，其動態範圍非常有限，且其噪音測量之時間變率也相對較低。雖然該網路的規模很大，但由於其部署時間較短（詳見 MESSAGE 計畫出版品），若其目的除了一般道路交通噪音估計，還需提供更複雜的噪音監控，其數據精確度便較為不可靠。IDEA 計畫雖採用較精確的感測器系統，但其部署時間不如其他研究。

整體而言，表 2.5-1 顯示前述各項研究的關鍵屬性：噪音數據品質、網路規模、研究期程、系統可負擔性和數據可及性。綜上所述，儘管所有過往的感測網路研究各有其優點，但沒有任何一個網路具備所有關鍵屬性：大規模網路、高精度、低成本、長期部署和數據可及性。

表2.5-1 現有感測網路文獻綜覽

計畫名稱	數據品質	規模	期程 Longevity	可負擔性 Affordability	可及性 Accessibility
Participatory sensing	低	大	短	高	低
Piper et al.	高	小	短	高	低
Array of Things	低	大	長	高	高
B&K/Norsonic/01dB	高	小	長	低	低
SmartSensPort-Palma	高	小	短	低	低
Rumeur	高	大	長	低	高
Dynamap Life+	低	大	短	高	高
MESSAGE project	低	大	短	高	低
IDEA project	高	大	短	高	高
SONYC	高	大	長	高	高

2.6 寧靜區（Quiet Areas）的定義及一般原則

在人類與動物的日常生活中，聲音占有一定的重要地位，常需要依靠聲音來維生或求生。例如：以耳「視」物的蝙蝠主動發出超音波來探測前方，透過反射回音分析內容決定飛行方位或捕捉食物；又如海中的海豚和鯨魚等鯨目動物，生活中需要通過聲音來互相溝通、定位巡航；而我們人類在日常生活中也需要藉由聲音溝通，也透過警示音來趨吉避凶。但自從工業革命後，大量機械、交通工具不斷出現並增加使用，導致聲音逐漸變成讓人不愉悅的噪音，甚而影響我們生理與心理的健康。

成功大學建築研究所賴榮平教授等由「綠色建築」的理念來檢視校園音環

境，於民國 89 年 12 月 8 日中華民國音響學會 89 年會員大會暨第 13 屆學術研討會中發表「都市校園綠色音環境影響因子之探討」一文，文中提及以校園而言，一個低噪音、不使用擴音系統、呈現愉悅感覺的音環境，就是“綠色的音環境”；或許我們可以反向思考，要創造出“綠色的音環境”，至少要降低甚或去除不必要的聲音，這樣情況下的音環境會較趨近理想中“綠色的音環境”。而同樣的觀念，假若引用到居家環境中，儘可能地降低甚或去除不必要的聲音，才能讓我們的居家環境更加寧適、愉悅，這就是“寧靜區”的理念。

如此說來，到底那些是屬於不必要的聲音呢？怎樣才能趨近理想中綠色的音環境，也就是“寧靜區”呢？首先，我們必須定義何謂“環境”噪音及“寧靜區”，以下分別就國際上對其之定義說明如下：

一、“環境”噪音^[111]

(一)世界衛生組織 (WHO) 對於“環境”噪音的定義：工作場所以外所有音源所發出的噪音；同時，為避免在歐洲的戶外居家環境遭受中度噪音干擾，也針對戶外居家環境在白天及傍晚期間提出建議指標值為 50 dB $L_{Aeq,16hour}$ 、夜晚期間的建議指標值為 40 dB $L_{night-outside}$ (WHO, 1999)。



(二)歐洲議會和歐盟理事會於 2002 年 6 月 25 日訂定【歐盟環境噪音指令】(Environmental Noise Directive, END) (以下簡稱 END)，其中對於“環境”噪音提出一個更具體的噪音定義；END 將“環境”噪音定義為：人類活動和產業活動所產生之非自願性或有利的戶外聲音，其中人類活動噪音包括：運輸工具、道路交通（每年車輛行駛超過 300 萬輛次的道路）、鐵路交通（每年列車行駛超過 30,000 趟次的鐵路）和空中交通（每年飛機起降超過 50,000 架次的機場）所產生的噪音。同時，END 要求在繪製噪音地圖（藉以確定環境噪音暴露狀況）和編製行動計畫（於必要時防止及降低環境噪音（尤其是暴露程度可能有害人體健康時）和保持良好環境噪音品質的作為）時，“環境”噪音的閾值為 55 dB L_{den} （白天、傍晚和夜間）和 50 dB L_{night} ，尤其是在建築密集區 (built-up areas)、市區公園、聚集區中的其他安靜區域 (other quiet areas in an agglomeration)、空曠鄉間安靜區域 (in quiet areas in open country) 和靠近學校、醫院及其他噪音敏感建築周邊區域。

二、“寧靜區”

（一）需求

“寧靜”的概念既複雜又主觀，其中涉及許多因素，包括：音壓位準（噪音量）、感官知覺、視覺互動、自願性與非自願性聲音之間的平衡、聲音對特定範圍之適宜性以及民眾的預期等。而對於“寧靜”（quiet）一詞，我們可能會不經意便導入一種假設：寧靜區是噪音非常低的區域，甚至趨近於“寂靜”（silence）。但事實上，在都市環境中，幾乎任何時候噪音量都不低於 45 dB L_{day} 或 40 dB L_{night}。據此，對於“寧靜”，首先要理解一件事，我們追求的並不是“寂靜”（silence），絕對的寂靜可能會嚇壞大多數人。

為什麼需要“寧靜”呢？對此，我們要知道一件事，在忙碌而吵雜的都市生活中，多數人都很重視並希望偶爾（或更常）能處於平靜的環境中，以尋求放鬆、休息或心靈的平靜。因此，我們要能提供民眾找到寧靜而放鬆的機會，而地點位置也許是在住家附近、或在家裡、或在郊區、或者在鄉間、或在被廣泛利用的休閒區域。

（二）背景^[111]

在各種噪音源的侵擾下，歐洲的噪音污染已成為日益嚴重的環境問題。自從世界衛生組織（WHO）和歐盟聯合研究中心（EC-JRC）於 2011 年發布的『環境噪音造成之疾病負擔報告』，提出歐洲人健康壽命年損失之的量化數據，環境噪音污染便成為主要公共健康問題。該報告指出，在西歐，單單道路交通所產生的噪音，每年便造成至少 100 萬健康壽命年損失。此外，WHO 並將噪音歸類為造成歐洲人健康不佳第二嚴重環境致因，僅次於環境空污（WHO, 2011）。此外，EEA 還估計，至少 8,000 位年齡在 8 歲~17 歲之間學童的閱讀能力，受到機場附近飛機作業所產生噪音的負面影響（EEA, 2014b）。而在自然界，許多物種都仰賴聲交流維持其重要的生命現象，例如：覓食或求偶。噪音污染可能干擾牠們的這些機能，因而對這些物種的豐富度、繁殖成功率、群體規模和分布造成負面影響。另有一個已知結果：人為噪音干擾直接影響某些物種的行為（Dutilleux, 2012）。顯見噪音污染所造成之負面影響，已反映在民眾的身心健康、野生動物的健康與分布以及在校學子學習能力等方面。

故對於“寧靜區”的訂定，END 主要用意是在定義一個優先避免、防止或降低因暴露環境噪音導致有害效應（包括：煩躁）的通用方法，也就是說“寧靜區”（城市或空曠鄉間）必須受到噪音保護。為此，END 承認防止或降低

可能有害人們健康（包括：煩躁和睡眠障礙）之環境噪音的必要性；同時，也強調保持良好環境噪音品質和保護寧靜區之必要性（主要在市區）。

（三）定義^[112]

寧靜區指的並非完全靜默的區域，而是不受人類活動所產生之非自願性或有聲戶外聲音（如：環境噪音）干擾的區域。在『寧靜區優良實務指導原則（Good practice guide on quiet areas）』中對於【寧靜區】的定義如下：

1.市區內寧靜區：指的是經主管機關劃定，其中任何噪音源之噪音量不超過特定 L_{den} 值或高於會員國所設定噪音量之其他噪音指標的區域。

2.空曠鄉間寧靜區指的是經主管機關劃定，不受交通、產業或娛樂活動干擾的區域。

3.安靜的外立面（quiet facade）是住宅的外立面，對於從特定來源發出的噪音， L_{den} 的值在地面上方 4m 且在正面 2m 處，低於立面的最高 L_{den} 值超過 20 分貝（dB）。

前兩個定義是可操作的，第一個目標是根據其物理特性定義“寧靜區”，而第二個目標則是針對其影響或干擾。安靜立面的定義實際上與市區內寧靜區的定義接壤：將多個安靜立面連接起來，自然結果就是一個寧靜區域（反之亦然）。

（四）行動計畫^[111]

關於行動計畫，END 規定，寧靜區行動計畫必須以保護寧靜區免於噪音增加為目標，而為達此目的，END 要求必須採取以下行動：

1.運用會員國常用的評估方法，透過繪製噪音地圖，確定環境噪音暴露狀況。

2.確實做到一般大眾均能取得有關環境噪音及其影響的資訊。

3.會員國須根據噪音地圖結果採取行動計畫，期必要時防止及降低環境噪音（尤其是暴露程度可能有害人體健康時）和保持良好環境噪音品質。

行動計畫可能包括：土地利用規劃、交通系統工程和噪音源規劃與管制。其中，市區之策略性噪音地圖須特別強調道路及鐵路交通、機場和產業（包括港口）所產生的噪音；而市區（agglomeration）指的是會員國所劃定人口超過 100,000 人和人口密度已達城市標準的區域；此外，繪製噪音地圖和行動規劃應每 5 年重做一次。在『未來噪音政策綠皮書』中（Green Paper on Future Noise Policy），明文要求保護寧靜區（EC, 1996）。綠皮書強調，藉由噪音地圖能讓人

們更容易辨識哪些地方暴露於高環境噪音；此外，噪音地圖也有助於確定必須採取降噪行動的區域，以及噪音暴露不容再增的寧靜區。

(五) 寧靜區的辨別^[113]

分析歐洲目前的做法，用於辨別寧靜區的途徑、方法和指標差異非常大，正如物理定義與效果導向定義或選擇標準的差異一樣（詳見表 2.6-1）。在 END 背景下，一般認為僅根據噪音量來定義寧靜區不是劃定或保護寧靜區的適當方法（EEA, 2014a）。關於市區內寧靜區、空曠鄉間寧靜區的選擇，彙整歐洲相關實務詳如 2.7 節所示。

表 2.6-1 寧靜區域（not-limitative set）的選擇準則^[113]

Type (類型)	Indicator (指標)	Range criteria Urban (dB) 範圍準則 市區內 (分貝)	Range criteria Open country (dB) 範圍準則 空曠鄉間 (分貝)
Acoustic indicators (聲學指標)	L _{eq,24h}	40	25~45
	L _{den}	50~55	—
	L ₅₀	—	35~45
	L ₉₀	—	30
	L ₉₅	30	—
	L _{day}	45~55	30~40
Functional (功能性)	Recreation (娛樂)	Moderate intensive activity (中等強度的活動)	Passive activity (被動活動)
	Nature protection (自然保護)	Moderate (中等)	Priority (優先)
	Health protection/restoration (健康保護/恢復)	Health protection (健康保護)	Restoration priority (恢復優先順序)
Distance (距離)	From motorway (從高速公路)	—	4 km~15 km
	From agglomeration (從市區)	—	1 km~4 km
Soundscape (音景)	Perceived acoustic quality/appreciation (感知的 聲音品質/欣賞度)	—	—
Size (尺寸)	—	100 m ² ~100,000 m ²	0.1 km ² ~100 km ²
Visual (視覺效果)	Areas with established values in official documents, e.g. land use plans or nature conservation plans (官方檔案中有既定價 值的區域，如：土地使用 計畫或自然保護計畫)	—	—

資料來源：Good practice guide on quiet areas, EEA Technical report No 4/2014, European Environment Agency, 2014，本工作團隊整理。

(六) 寧靜區的益處^[111]

1.健康益處

誠如“噪音”有害健康已屬公認，“無噪音”對於人類健康與福祉的正面影響也已眾所周知。EEA 研究顯示，民眾居住在寧靜區的負面健康影響，比暴露於市區內環境噪音區域的影響來得少；寧靜區不但有益居民的健康，亦可嘉惠其經常性訪客，例如：自然公園或自然保護區的遊客（EEA, 2014a）。有些關於寧靜區與市區及鄉間吵雜區的研究比較發現，生活品質隨著噪音量的降低而提升，鄉間寧靜區民眾的健康相關生活品質最高（Shepherd et al., 2013）。

同樣地，住在建築物寧靜面（如：噪音量低於 45 dB L_{Aeq,24hour}）的居民，其感受的煩躁度較低。此外，雖住在吵雜區但能輕鬆前往寧靜區的居民，他們的煩躁度也較低（Öhrström et al., 2006; Gidlof-Gunnarsson and Öhrström, 2007）。另一方面，相關研究也發現寧靜有助於恢復健康的益處，病人在自然環境（寧靜和自然聲）中恢復得比較快（Ulrich, 1984; Kaplan, 1995; Alvarsson et al., 2010）。

2.生物多樣性

從政策面來保護寧靜區（如：END），這為促進歐洲生物多樣性提供了關鍵機會。事實上，寧靜與生物多樣性之間的確存在著共生性互動關係。造訪自然區的遊客非常重視自然聲，自然聲可被視為低交通噪音干擾的指標（EEA, 2014a）。寧靜區對減緩生物多樣性流失很有幫助，歐洲生物多樣性流失的主要原因之一是棲地破壞及零碎化（EEA, 2015），此外野生動物被車撞死也是死亡原因之一；而寧靜區可能在不干擾音源的前提下提供自然廊道，進而貢獻於綠色基礎建設。因此，遵從 END 劃定和保護的寧靜區，可能為動物提供較安全的棲地。同時，在寧靜區內，對動物極為重要之聲交流遭受干擾的情況減少，也有助於野生動物的繁衍（Dutilleux, 2012）。

3.經濟益處

噪音污染造成了高財務負擔，反向思考，這就意味降低噪音污染的影響，可能帶來重大經濟利益，其做法包括：保護寧靜區。例如：在英國，據估計，英格蘭主要城市實施寧靜區保護，每年為英國經濟帶來高達 14 億英鎊的經濟效益（Defra, 2011）。寧靜區的益處也可能反映於房價上漲，據估計，區域內噪音量降低對房價的直接影響為每降低一分貝房價約上漲 0.5%（RIVM, 2007）。

2.7 寧靜區的指標、具體措施、規範和法令

在自然戶外環境中，人為噪音通常很低，經常讓人有種寧靜感（tranquility），而帶給人們寧靜感的因素包括：植被、低人為噪音和自然聲主宰等（Watts et al., 2013）。此外，寧靜概念還受到人造結構和建築物的影響，因為它們會干擾人們對自然景觀的視覺感受（Watts et al., 2015）。

如前所述，寧靜的概念除了涉及特定區域內的音壓位準（噪音量）外，還包括其他因素，例如：人體感知、視覺互動和人們造訪該區域時的預期心理，包括了自願與非自願聲音之間的平衡、區域之娛樂價值或聲音對該區域及其用途之適當性等（EEA, 2014a）。關於寧靜及其詮釋之主觀參考，廣見於相關文獻中，這些參考都與環境及社會文化因素有關，例如：低人口密度、低密集農業、環境品質和景觀品質（如：運輸基礎建設、具文化價值之景觀和自然景觀之非視覺干擾）。徵詢公眾意見的結果顯示，雖然每個人對於寧靜的主觀本質有所不同，然而其中仍存在一個常見的共同元素，就是與自然有關的寧靜，例如：綠色元素、水、動物及野生生物、偏遠、全景、天氣等（Rendel, 2005; Cordeau and Gourlot, 2006; Pheasant et al., 2006）。因此，景觀感知一直被視為辨別潛在寧靜區的重要因子；換言之，噪音源的距離和景觀自然度，都是必須納入考量的重要因素。

據此，保護既有“寧靜區”或開發“新寧靜空間”之必要條件之一，就是要瞭解區域內音景與視覺構成之間的理想關係（Pheasant et al., 2010），這種研究方式是瞭解聲影互動對寧靜感知影響的第一步。

2.7.1 空曠鄉間寧靜區^[111]

EEA 於 2016 年提出一份評估報告，針對歐洲可能不受人為噪音污染影響的區域進行了評估。該報告內容僅適用於城鎮外的鄉間地區，其係根據 EEA 會員國及合作國家於 2014 年 6 月 10 日前向 EEA 呈報的噪音地圖和相關數據，包括：各國遵從 END 要求提報的主要道路、鐵路和機場的噪音地圖及相關數據。其中針對主要機場噪音，僅包含相關機場之飛機起降活動噪音；飛越上空的航空噪音雖被認知為可能的重要噪音源，並未被納入該報告之分析。同時，該報告也運用了有關土地利用、產業用地和城市範圍的數據，並檢討了有關政策行動和國家層級管理實務的最新措施。報告評估結果透過寧靜適宜性指數（QSI）整合景觀及現況之多樣性，簡單易懂，適用於整個歐洲，可供會員國和地方政府複製，以利其管理鄉間環境中的潛在寧靜區。

一、寧靜適宜性指數 (Quietness Suitability Index, QSI)

EEA 指出，基於寧靜概念之多面特性，定義寧靜區可以根據測量得出的客觀標準（如：噪音量），但也可根據與感知有關的主觀因素。其中，寧靜適宜性指數 (QSI) 便依此概念（不僅根據噪音暴露）將寧靜定義為噪音限值（遵從 END 繪製之噪音地圖）與土地利用及土地覆蓋元素之綜合感知（EEA, 2014a）。寧靜適宜性指數 (QSI) 包含如下兩大元素，其方法圖解如圖 2.7.1-1 所示。

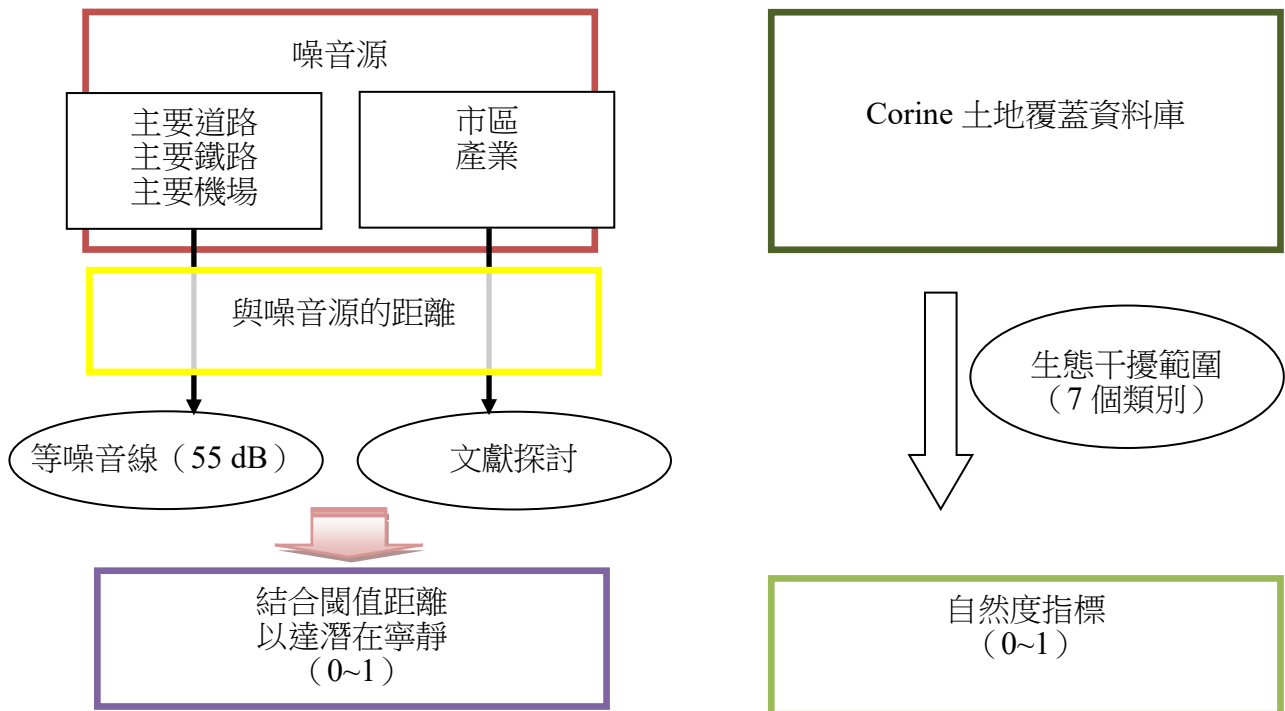


圖 2.7.1-1 QSI 方法論圖解^[111]

(一) 決定於噪音源距離的噪音干擾（客觀標準，量化數據）：距離閾值之決定係考量噪音地圖所呈現之噪音量（噪音暴露低於 55 dB L_{den} 的 END 區域）。

(二) 人們對寧靜之感知面向（主觀標準，量化數據）：此一面向與自然元素和景觀構型的重要性有關。此一面向被用於 QSI 格式，成為 Corine 土地覆蓋資料庫的一個新類別；Corine 土地覆蓋資料庫係根據生態干擾度指數建立的（Jalas, 1955; Blume and Sukopp, 1976）。

關於 QSI 值計算詳細方法^[111]，茲將重點摘錄說明如下：

(一) 彙整輸入數據

- 1.END：主要道路、主要鐵路和主要機場的噪音地圖。
- 2.END：主要道路、主要鐵路和主要機場的位置。
- 3.城市形態區 (Urban morphological zones, UMZ)：可以將城市形態區定義為“間隔小於 200m 的一組市區”，這些城市區域是從有助於城市組織和功

能的土地覆蓋類別中定義的。用於構建城市形態區數據集的 Corine 土地覆蓋類別包括核心類別：111-連續城市結構、112-不連續城市結構、121-工業或商業單位、141-綠色城市區域；如果擴大的核心類別：123（港口區域）、124（機場）和 142（體育和休閒設施）等是核心階層的鄰居或其中一個接觸核心階層的鄰居，也都將被考慮。122（公路和鐵路網絡）和 511（水道）與擴大的核心層相鄰時，減少 300m 的緩衝區。當森林和灌木叢（311、312、313、322、323、324）完全處於核心類之內時，也都將被考慮。

4.E-PRTR register：行業的位置和屬性。（歐洲污染物排放和轉移登記資料庫 European Pollutant Release and Transfer Register（E-PRTR）提供來自 27 個歐盟成員國、冰島、列支敦士登、挪威、塞爾維亞、瑞士和英國的關鍵環境數據，包含 9 個行業（能源、金屬的生產和加工、礦產行業、化學工業、廢物和廢水管理、紙和木生產加工、集約化畜牧生產和水產養殖、食品和飲料領域的動植物產品、其他活動）中 30,000 多個工業設施報告的年度數據，涵蓋歐洲範圍內 65 個經濟活動。E-PRTR 提供了 7 類（溫室氣體、其他氣體、重金屬、農藥類、氯化有機物、其他有機物質、無機物質）91 種污染物的數據，如果設施滿足以下條件，則必須根據 E-PRTR 報告數據：（1）該設施至少屬於 E-PRTR 法規附件 I 所列的 65 種 E-PRTR 經濟活動之一，並且至少超過 E-PRTR 容量閾值之一。（2）設施將超出法規第 5 條規定的特定閾值的廢物轉移到異地。（3）該設施釋放的污染物超過 E-PRTR 法規附件二中針對每種介質（空氣、水和土地）規定的特定閾值。（<https://prtr.eea.europa.eu/#/static?cont=about>）

5.CLC 土地覆蓋型態和土地利用資訊（解析度：100 m×100 m 網格）。

6.EuroRegionalMap：道路、鐵路和機場基礎設施。（歐洲地理空間數據 EuroRegionalMap 是一個泛歐洲數據資料庫，包含 1：250,000 比例尺的地形資訊，涵蓋 27 個歐盟成員國、4 個 EFTA 國家（列支敦士登、挪威、冰島、瑞士）、格魯吉亞、摩爾多瓦、北馬其頓、塞爾維亞、科索沃、烏克蘭和英國。（<https://eurogeographics.org/maps-for-europe/euroregionalmap/>）

（二）計算 L_{den} 55 dB 等音線到不同噪音源的閾值距離

1.主要道路及主要鐵路

（1）針對每種噪音傳輸源（主要道路和主要鐵路）計算了歐幾里德距離圖（Euclidean distance map）（像素大小=100 m）。

- (2) 將歐幾里德距離圖與每個音源的噪音地圖的套疊，計算有關每條等音線到噪音源距離的基本統計數據：最小距離和最大距離。
- (3) 計算不同國家、地區對於 L_{den} 55 dB 等音線的噪音源的平均距離和最大距離，如表 2.7.1-1 所示。
- (4) 計算 EEA 級別的最大距離和平均距離的平均值。
- (5) 超過 EEA 級別的最大距離的平均值被認為是合適的 (=1)；低於 EEA 級別平均距離的平均值被認為是不合適的 (=0)。
- (6) 結果：來自 L_{den} 55 dB 等音線圖的噪音源之間的距離（以 m 為單位）。

表 2.7.1-1 從 L_{den} 55 dB 等音線到噪音源（主要道路和主要鐵路）的閾值距離^[11]

單位：m

Country	Major road distances		Major rail distances	
	Maximum	Mean	Maximum	Mean
Switzerland	1,310	140	1,000	262
Germany	1,082	459	447	103
Spain	1,400	290	200	59
Ireland	1,005	386	632	59
Lithuania	1,393	269	876	115
Luxembourg	1,105	347	361	87
Malta	640	132	No major railways > 30 000 train passages	
Norway	728	107	707	254
Poland	1,487	171	539	107
Sweden	1,044	272	1,200	312
EEA mean	1,119	257	662	151

Source : ETC/SIA, UAB, 2013.

2. 機場

- (1) 提供主要機場噪音地圖的國家：
 - A. 用 L_{den} 55 dB 等音線做為遮罩：55 dB 以外的區域被認為是合適的 (=1)；而 55 dB 以上的區域被認為是不合適的 (=0)。
- (2) 未提供主要機場噪音地圖的國家：
 - A. 選擇與機場有關的 CLC 2006 類別 124。
 - B. 將 END 主要機場圖層和 CLC class 124 圖層的疊加，以區分 (END) 主要機場和所有機場。

C. 1500 m 緩衝區適用於被認為是主要機場的 CLC 124 類多邊形，900m 緩衝區則適用於其他 124 類 CLC 多邊形（所應用的距離摘自文獻：Votsi 等，2012）。

D.用緩衝區做為遮罩：緩衝區中的區域被認為是不適合的（=0）；緩衝區以外的區域是適合的（=1）。

3.工業區

- (1) 選擇標有工業、礦山、垃圾場和建築工地的 CLC 2006 類別。
- (2) 選擇 E-PRTR 點數據。
- (3) 從參考的 E-PRTR 地理數據庫和所選的 CLC 多邊形中計算出歐幾里德距離圖（像素大小= 100 m）。
- (4) 小於 500 m 的距離值被認為是不適合的（=0）；而大於 1,100 m 的距離值是適合的（=1）（應用文獻摘錄的距離：Votsi 等，2012）。

4.聚落

- (1) 選擇擁有超過 5 萬居民的 UMZ。
- (2) 由 UMZ 多邊形計算歐幾里得距離圖。
- (3) 低於 1,000 m 的距離值被認為是不適合的（= 0）；高於 1,500 m 的距離值被認為是適合的（=1）。

5.成果：建立出到每個噪音源平均距離和最大距離的圖層。

表 2.7.1-2 建立每個噪音源平均距離和最大距離的圖層^[111]

Noise source	Suitable values	Not suitable values
Major roads	> 1119	< 257
Major railways	> 662	< 151
Major airports	Area outside 55 dB L _{den} contours: > 1,500 m for major airports > 900 m for the rest of the airports	Areas inside 55 dB L _{den} contours: < 1,500 m for major airports < 900 m for the rest of the airports
Industrial sites	> 1,100m	< 500 m
Urban areas	> 1,500 m	< 1,000m

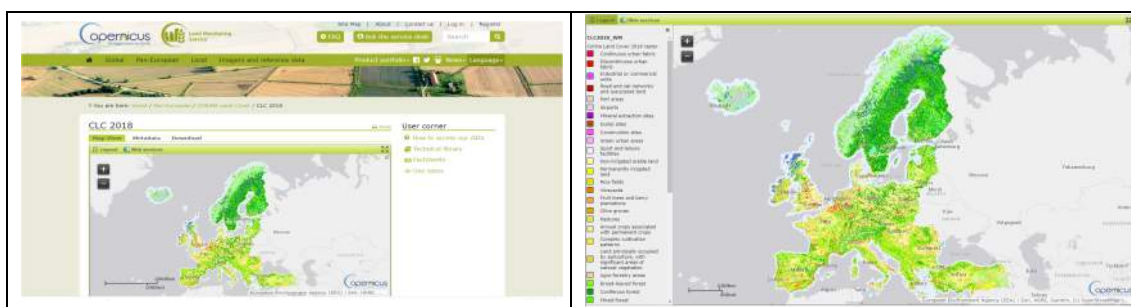
（三）用模糊方法計算最終潛在寧靜度等級

採用模糊方法（fuzzy approach）建立距離噪音源的合適距離圖層，並透過線性關係計算出寧靜度等級（0~1）的“成員”。模糊方法基於成為指定集合成員的可能性，將輸入數據重新分類為 0~1 的寧靜度等級，將那些絕對不是指定集合的成員分配為 0，而那些絕對是指定集合的成員分配為 1（安靜區域），

並根據線性方程將介於 0 到 1 之間的整個可能性範圍，分配給可能隸屬的某個級別（數字越大，可能性越大）。依序將已合併在一起 5 個圖層的寧靜度等級相乘，將獲得最終組合的潛在寧靜度等級。但由於寧靜度等級的範圍是 0 到 1，5 層中任何一層的值為 0 都會直接導致最終組合的潛在寧靜度等級為 0（儘管某些其他圖層在特定像素中可能具有合適的值）。

（四）將土地覆蓋型態（CLC）重新分類為 Hemeroby 尺度

土地覆蓋型態（Corine Land cover）資料庫是由歐盟環境局（EEA）匯集各國土地利用分析成果所建立（<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>），多數是根據衛星影像所製作，比例尺為 1：100,000，計有 3 個土地使用等級、44 種土地使用類型，以地圖產品的型式顯示（示意如圖 2.7.1-2），可用於歐洲大部分地區。



資料來源：<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>。

圖 2.7.1-2 土地覆蓋型態資料庫示意圖

自然景觀的覆蓋程度被用來做為寧靜主觀度在各種相關寧靜感知和區域研究的代表。Hemeroby 尺度（Jalas, 1955; Blume and Sukopp, 1976）解決了土地覆蓋的自然特徵，衡量了人類活動從潛在的自然條件改變了生態系統後土地的人工程度。Hemeroby 尺度（Hemeroby scale）使用 7 個等級（詳表 2.7.1-3）來評估因人類活動影響所引起的潛在自然植被偏離程度，其中最低值（ahemerob）對應於“自然”或不受干擾的景觀和棲息地（例如：沼澤）；最高值（metahemerob）則對應“人造”或完全擾動的景觀（例如：市區）。

表 2.7.1-3 Hemeroby 等級參考

Hemeroby value	Hemeroby level	Degree of naturalness	Example	Processes/Human impact
1	Ahemerobe	Natural	Bogs, tundra	No disturbance
2	Oligohemerobe	Close to natural	Forest with species typical for the site, semi-natural grasslands	Limited removal of wood, pastoralism, minor changes in matter circles, emissions

Hemeroby value	Hemeroby level	Degree of naturalness	Example	Processes/Human impact
				through air and water
3	Mesohemerobe	Semi-natural	Forest with species atypical for the site, extensive grasslands	Clearing and occasional ploughing, extensive grazing, rare and small doses of fertiliser
4a	β -euheromerobe	Relatively far from natural	Annual crops associated with permanent crops (extensive), agro-forestry	Use of fertilisers and biocides melioration, ditch drainage
4b			Intensive grassland, extensive arable land,	
5a	α -euheromerobe	Far from natural	Intensive arable land (short rotations), intensive vineyards	Deep plowing, planting, major changes in matter circle, drainage, heavy use of fertilizers and biocides
5b			Cereal monocultures, rice fields and irrigated crops (intensive)	
6	Polyheromerobe	Strange to natural	City green, golf courses, pits	Strong changes in biocenosis, covering of the biotope with external material
7	Metahemerobe	Artificial	Streets, buildings	Sealed surface, biocenosis destroyed

資料來源：https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Reference_scale_for_hemeroby_values.png&oldid=108028。

應用以下步驟將土地覆蓋型態（CLC）重新分類為 Hemeroby 尺度^[111]：

1.將土地覆蓋型態（CLC）重新分類為 Hemeroby 尺度。（Steinhardt et al. (1999), Zebisch et al. (2004) and Paracchini and Capitani (2011)）

Hemeroby	CLC class	Label 1	Label 2	Label 3
7	111	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric
7	112	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric
7	121	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Industrial or commercial units
7	122	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Road and rail networks and associated land
7	123	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Port areas
7	124	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Airports
6	131	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Mineral extraction sites
6	132	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Dump sites
6	133	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Construction sites
6	141	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural	Green urban areas

Hemeroby	CLC class	Label 1	Label 2	Label 3
			vegetated areas	
6	142	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Sport and leisure facilities
4	211	Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land
5	212	Agricultural areas	Arable land	Permanently irrigated land
5	213	Agricultural areas	Arable land	Rice fields
5	221	Agricultural areas	Permanent crops	Vineyards
5	222	Agricultural areas	Permanent crops	Fruit trees and berry plantations
4	223	Agricultural areas	Permanent crops	Olive groves
4	231	Agricultural areas	Pastures	Pastures
4	241	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Annual crops associated with permanent crops
4	242	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Complex cultivation patterns
4	243	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation
4	244	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Agro-forestry areas
3	311	Forest and semi-natural areas	Forests	Broad-leaved forest
3	312	Forest and semi-natural areas	Forests	Coniferous forest
3	313	Forest and semi-natural areas	Forests	Mixed forest
3	321	Forest and semi-natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands
2	322	Forest and semi-natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Moors and heathland
2	323	Forest and semi-natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Sclerophyllous vegetation
2	324	Forest and semi-natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Transitional woodland-shrub
2	331	Forest and semi-natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Beaches, dunes, sands
1	332	Forest and semi-natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Bare rocks
2	333	Forest and semi-natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Sparsely vegetated areas
5	334	Forest and semi-natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Burnt areas
1	335	Forest and semi-natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Glaciers and perpetual snow
2	411	Wetlands	Inland wetlands	Inland marshes
2	412	Wetlands	Inland wetlands	Peat bogs

Hemeroby	CLC class	Label 1	Label 2	Label 3
2	421	Wetlands	Maritime wetlands	Salt marshes
5	422	Wetlands	Maritime wetlands	Salines
1	423	Wetlands	Maritime wetlands	Intertidal flats
1	511	Water bodies	Inland waters	Water courses
1	512	Water bodies	Inland waters	Water bodies
1	521	Water bodies	Marine waters	Coastal lagoons
1	522	Water bodies	Marine waters	Estuaries
1	523	Water bodies	Marine waters	Sea and ocean

2.已將 Hemeroby 尺度使用 min-max 方法歸一化為 0 到 1 範圍，其中較高的分數表示較高的自然度，Re-scaling：

Index	Hemeroby	Re-scaling
Artificial	7	0
	6	0.17
	5	0.33
	4	0.50
	3	0.67
	2	0.83
Natural	1	1

3.成果（示意如圖 2.7.1-3）：土地覆蓋型態（左）根據 Hemeroby 尺度（右）重新分類，調整為 0 到 1 的值（從較低到較高的 Hemeroby 尺度：分別為紅色到深綠色）。

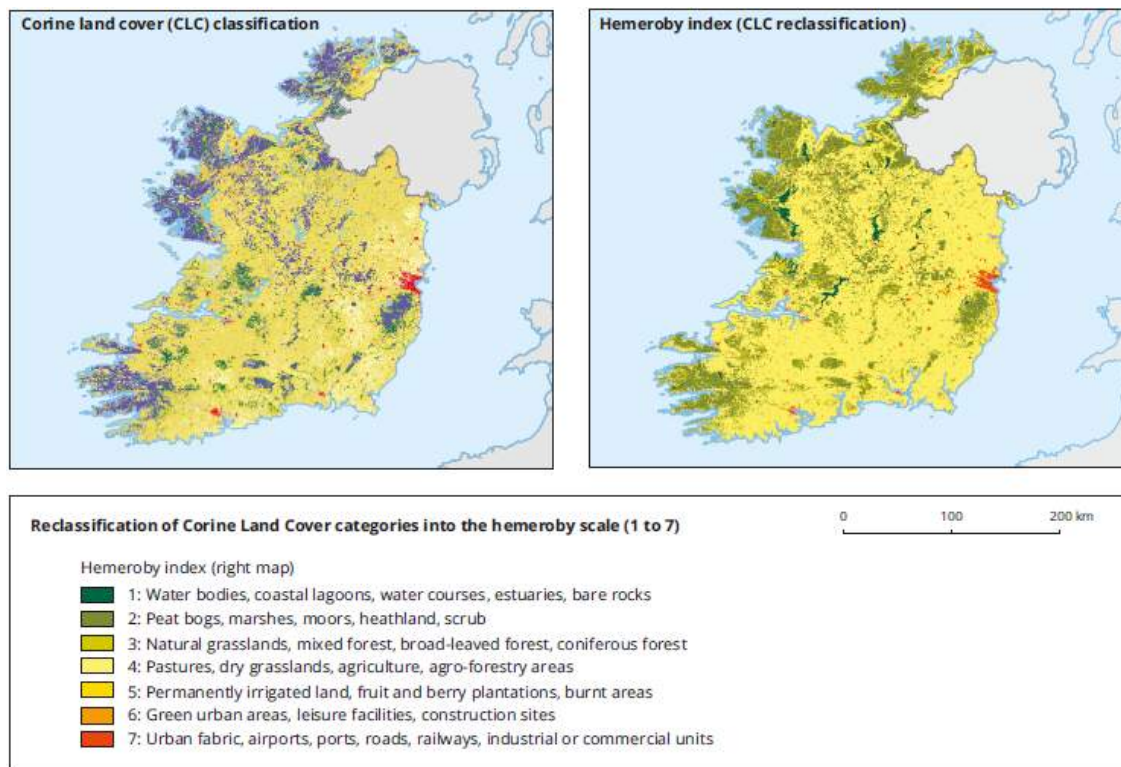


圖 2.7.1-3 將土地覆蓋型態重新分類為 Hemeroby 尺度結果示意圖

（五）QSI 的計算

將（三）所獲得最終組合的潛在寧靜度等級乘以（四）土地覆蓋型態（CLC）重新分類的 Hemeroby 尺度，即為 QSI 值。QSI 值的範圍是 0 至 1，其中 0 被視為吵雜區，而 1 則被視為空曠鄉間的潛在寧靜區，兩者之間的數值則涵蓋歐洲地區各種情況。0.5 以上便屬較高的 QSI，其涵蓋區域包括具有大面積天然植被的森林區或主要為農作所覆蓋的農地。計算所得指數提供若干設定寧靜閾值的彈性（指數為 0.75 或 0.63 的區域也可能被視為寧靜）。在歐洲應用 QSI 方法時，可確定潛在寧靜區的地點、景觀特徵及其分布之地域樣態是否明顯。

二、歐洲的寧靜區

歐洲 QSI 概況地圖（詳圖 2.7.1-4）顯示，歐洲北部是潛在寧靜區比例最高的地區（QSI = 1）；另一方面，最吵雜的區域（低 QSI）通常存在主要運輸基礎建設和高人口密度（主要城市 and 都會區）；不僅如此，再往南部的高 QSI 地區多半都在偏遠的地區，例如：阿爾卑斯山區或近地中海沿岸。

有鑑於歐洲的人為土地利用傾向，潛在寧靜程度最高的區域（QSI=1）僅占整個歐洲地區的 4%；潛在寧靜程度較低的區域（QSI < 0.5）所占比例則超過 33%。若考慮較寬鬆的寧靜適宜性閾值（如：QSI > 0.75），則可能免於噪音污染的土地占歐洲全區比例將增加到 18%；QSI 大於 0.75 的區域可被視為受該模型所採噪音源污染最小的地區。

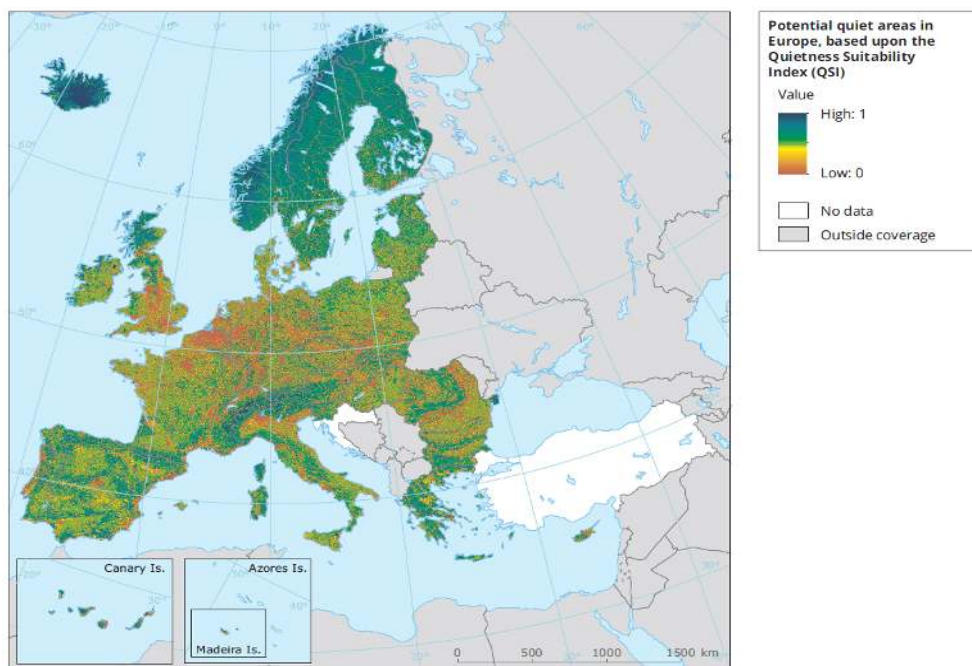


圖 2.7.1-4 根據寧靜適宜性指數（QSI）之歐洲潛在寧靜區分布^[111]

圖 2.7.1-5 為歐洲各國各級 QSI 之比例，此部分確認了觀察的空間樣式：芬蘭、愛爾蘭和瑞典的潛在寧靜區比例最高；瑞士的寧靜區比例也相當高，這點從該國的地貌便可明顯看出。另一方面，吵雜區占比最高的情況（QSI < 0.5）也很類似，都是人口密度較高的國家，例如：比利時、丹麥、盧森堡、馬爾他和荷蘭。然而，荷蘭的情況很特殊，該國的寧靜區占比約為全國面積 9%，高於歐洲的寧靜區比例；事實上，這正是荷蘭獨特之處—人口密集，但國內亦有受 Natura 2000 保護的內海。研究中，荷蘭的地貌特徵有被納入分析，例如：濕地和海岸區類別。另外，德國和捷克的潛在吵雜區（QSI < 0.5）占比也都超過 50%。一般而言，各國之間的差異乃是幾個相互關聯的因素所造成：國家大小、人口密度和運輸基礎建設。事實上，人口密集為歐洲寧靜區比例提供了有力說明：與 QSI = 1 呈負相關，與 QSI = 0 呈正相關。

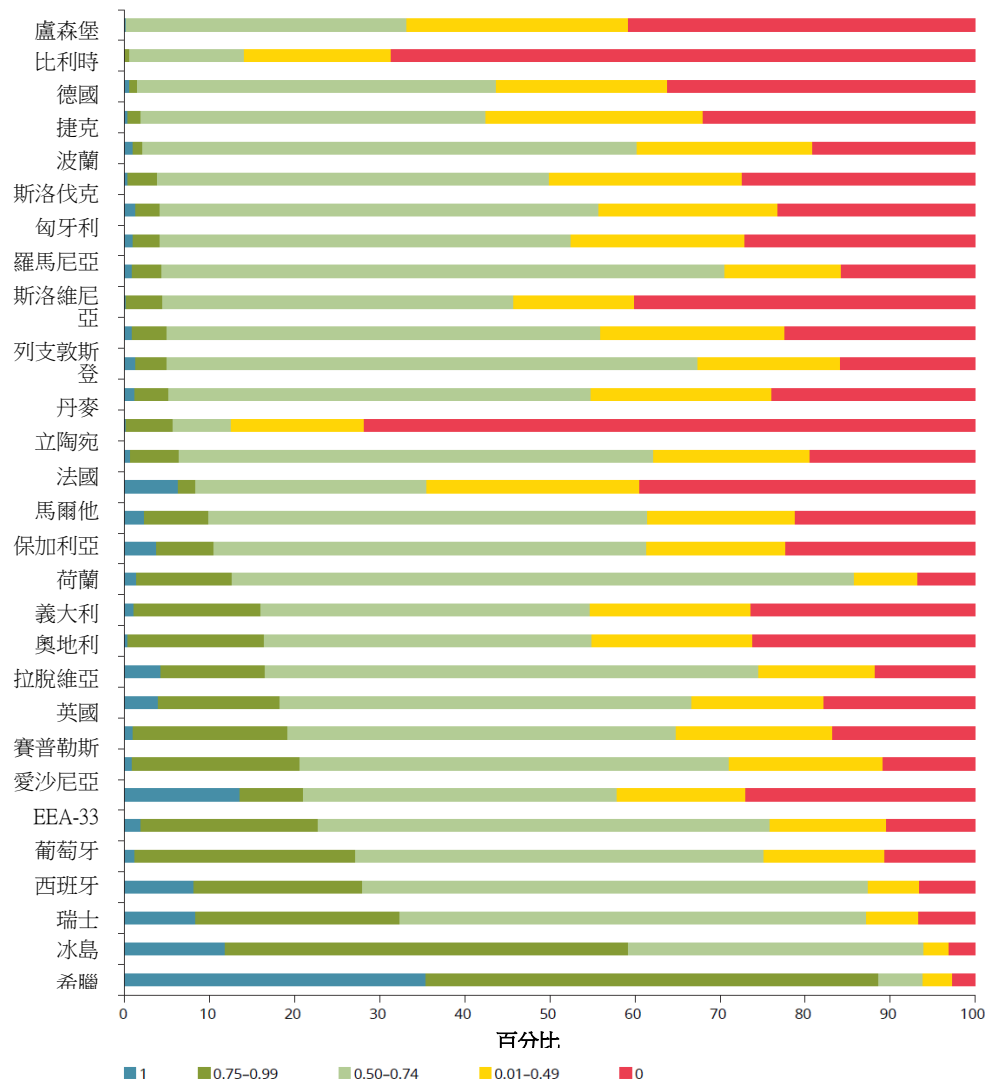


圖 2.7.1-5 歐洲各國各級 QSI 之比例^[111]

此外，構成各國不同景觀的還有其他因素，例如：海拔、坡度和與海的距離。這些因素加總起來，對於發掘歐洲同質區域很有用，也有助於確定景觀與土地利用相互交織的關係影響寧靜區樣貌的程度。在這層意義上，寧靜區主要存在於高山地區，例如：海拔介於 500 m~1,000 m 的高坡度區域和海拔 1,000 m 以上的所有區域（EEA, 2006）。此一現象符合民眾的預料，因為高山地區通常為最偏遠且最不易到達的區域；這也正說明某些國家潛在寧靜區比例較高的原因，例如：瑞士。另一方面，低海岸（海拔低於 50 m 的沿岸地區）和內陸（海岸帶以外海拔 0 m~200 m 之間的地區）是寧靜區比例最低的區域；這些平坦且容易抵達的區域人口密度較高，同時又有高度集中的交通運輸網跨越，因此，其中吵雜區比例較高（40 %~50 %）。海岸區也顯示有差異的區域樣貌，相較於其他沿海地區，地中海低海岸地區（海拔低於 50 m）的寧靜區比例最高，以下因素或許可以說明這些差異：

（一）區域的海之大小（海岸線長度）：雖然地中海沿岸的都市化程度很高，但它也是目前為止保護範圍較廣的地區，且擁有非常異質的地形。一般而言，地中海的低海岸一帶是保護區最集中的地區。

（二）工業發展程度：據觀察，在歐洲，大西洋和波羅的海沿岸的特徵為高度工業化發展（EEA, 2006）。

在高海岸地區（海拔高於 50 m），情況的對比度較低，因為這些地區的內陸土地利用和人類活動程度均較高。歐洲高海岸與低海岸之間差異的深度分析顯示，兩個地區的空間範圍非常不同。

在地中海地區，一個狹長的邊緣地帶被視為低海岸區；但在波羅的海地區，卻有相對較大的區域被歸類為低海岸區。地區之間的不同歸類，直接影響低海岸及高海岸區內受保護區域的比例，以及人口密集區和都市化區域的所在位置。在地中海地區，人口密集的都市化區域多半位於高海岸區，受保護區域則多半位於低海岸區。而在波羅的海地區，人口密集的區域則多半位於低海岸區，其中受保護區域的比例較低。此一現象從歐洲沿海地區寧靜區分布可明顯看出（詳見圖 2.7.1-6~圖 2.7.1-9）。

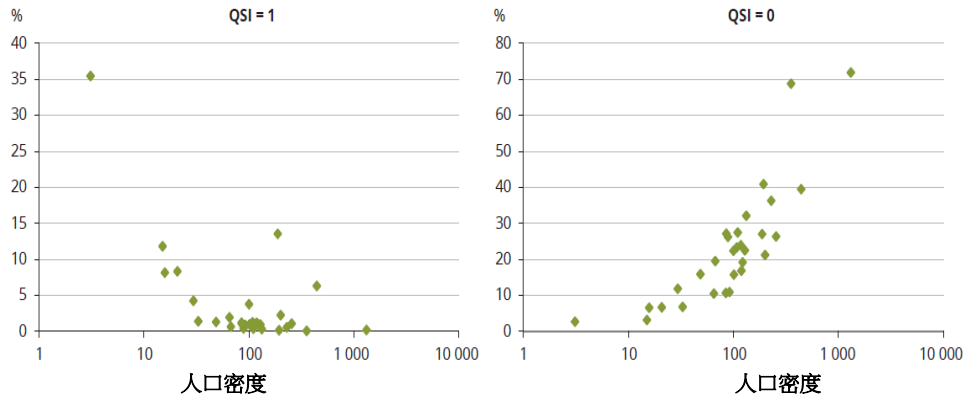
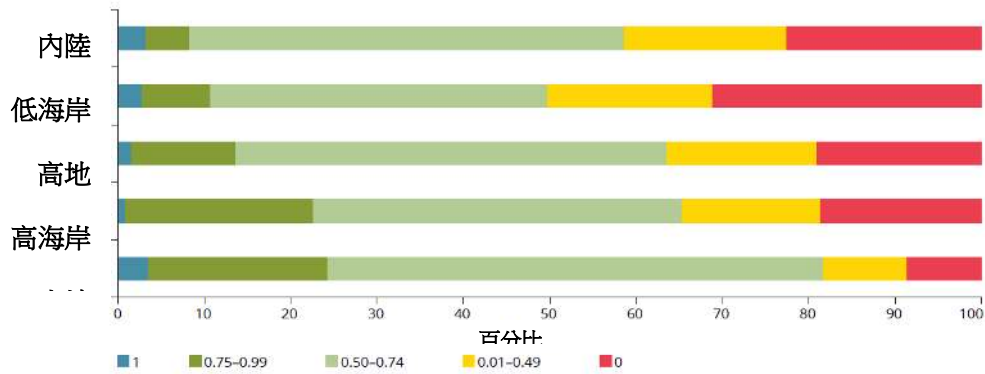
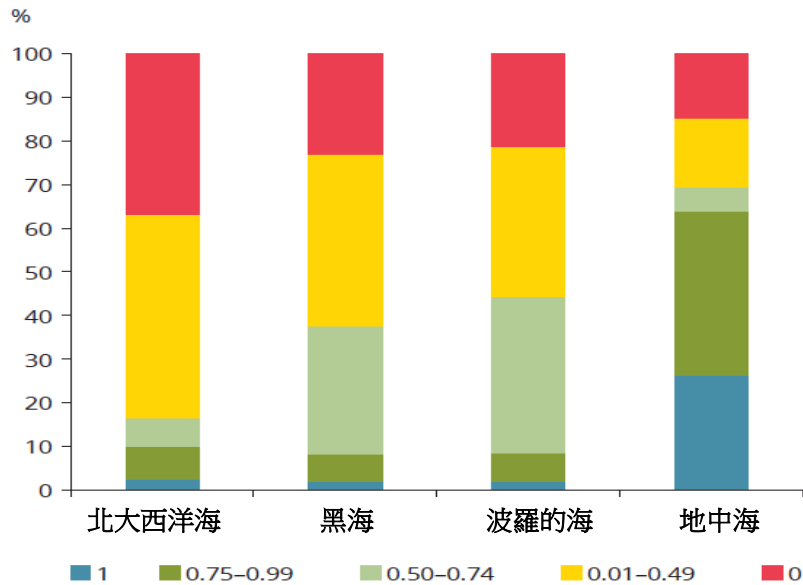


圖 2.7.1-6 各國人口密度與寧靜區占比的關係
(左圖：QSI = 1；右圖：QSI = 0) [111]



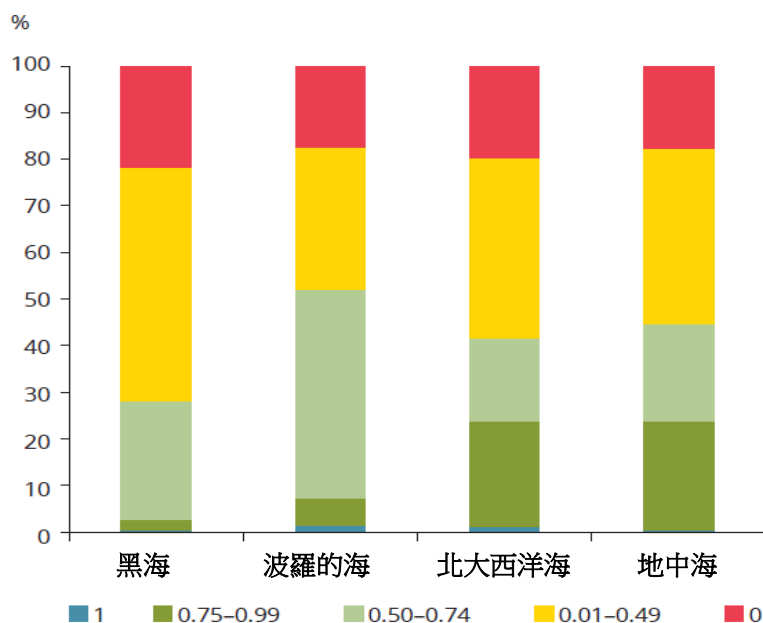
註：不含克羅埃西亞、冰島、挪威、和土耳其

圖 2.7.1-7 歐洲依海拔分解之 QSI [111]



註：不含克羅埃西亞、冰島、挪威和土耳其

圖 2.7.1-8 各沿海地區之低海岸 QSI 分布 [111]



註：不含克羅埃西亞、冰島、挪威和土耳其

圖 2.7.1-9 各沿海地區之高海岸 QSI 分布^[111]

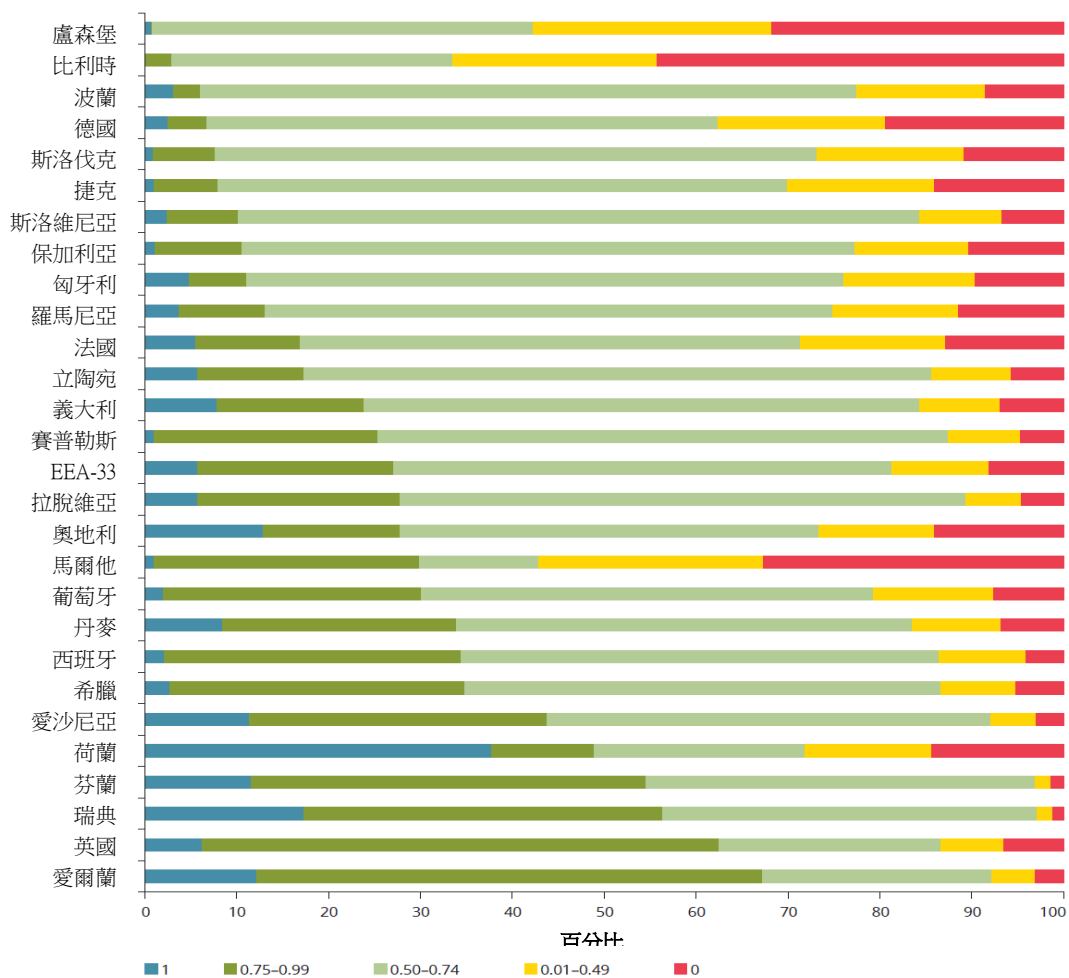
三、歐洲寧靜區之可及性

定義和劃定寧靜區的主要目的為改善居民的生活品質與福祉，以荷蘭為例：46%的人口認為其住家附近“不寧靜”，因此，一半的荷蘭人表示，他們每天或每週都會造訪寧靜區（van den Berg, 2008）。為了滿足此一需求，居民必須能夠前往寧靜區，因此，潛在寧靜區範圍分析還應納入可及性。如果寧靜區多半都分布在偏遠地區，它們被民眾利用的機會便很有限。然而，這也顯現出如何維持地區寧靜，又同時嘉惠廣泛民眾的兩難，面對這樣的情況應該妥善處理，並反映在行動計畫中，以降低噪音，進而保護寧靜區。

四、潛在寧靜保護區和綠色基礎建設

某些物種對於噪音污染干擾非常敏感，因此，在歐洲保護自然寧靜區非常重要。2020 年之前停止生物多樣性流失和生態系統退化服務，是歐盟生物多樣性策略的目標。涵蓋歐盟棲地指令（Habitats Directive）所保護區域的 Natura 2000 自然保護區網絡，旨在保護具高生物多樣性價值的區域，這些區域占 18% 以上歐洲土地面積（EC, 2015）。根據該報告分析顯示，Natura 2000 自然保護區網絡內的寧靜區占比高於全歐洲的寧靜區比例。圖 2.7.1-10 顯示，27% 的歐洲保護區是寧靜天堂，但也有近 20% 的保護區受到高環境噪音的負面影響。芬蘭、愛爾蘭、瑞典和英國的寧靜區占比最高（超過 50% 寧靜區均達到 QSI > 0.75）；另一方面，在比利時、盧森堡和馬爾他等小國家的寧靜區占比非常低，保護區中相

當大部分都是吵雜區。就土地規劃和資源效率而言，考量特定區域之潛在多功能性是非常重要的，例如：某個區域之特定範圍可能被用來提供多重服務，而非僅限於環境層面的服務。就此意義而言，值得一提的是，Natura 2000 範圍內的潛在寧靜區非常多，如此也能為規劃寧靜區提供額外準則。另外還觀察到的是，這些國家內大多數的潛在寧靜區都在 Natura 2000 範圍內；芬蘭和瑞典都有未受保護的大範圍森林區，因此，兩國在 Natura 2000 範圍內的寧靜區比例最低。



註：愛爾蘭、列支敦斯登、挪威和瑞士沒有 Natura 2000 範圍

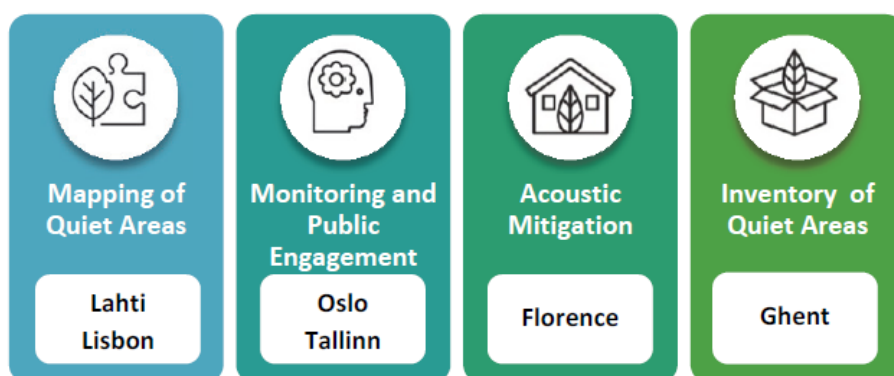
圖 2.7.1-10 歐洲各國 Natura 2000 範圍內之 QSI^[113]

2.7.2 市區內寧靜區^[112]

解決噪音污染和劃定寧靜區所面臨的主要挑戰密切相關，這些挑戰多半與城市地理環境和交通運輸有關。噪音污染和交通暴露被認為是城市遵從噪音指令（END 2002/49/EC）和落實寧靜區保護時，所面臨的最大挑戰之一（歐洲議會 2012）；車輛在街道上擁塞，可能對環境造成負面影響，並剝奪市民寶貴的空間。在舊城市中，這些現象更為明顯，因為舊城市是在高度工業化時期開發的，當時並未對噪音污染或環境永續性給予適當的重視。因此，舊城市中的建築物經常很密集，能夠讓人免於城市噪音的空曠空間非常有限。

市區的寧靜區包括：「公園、建築街區內範圍、庭園、未利用土地和保護區」。這些區域必須受到噪音保護。根據 END 2002/49/EC，這些區域必須由主管機關正式劃定、分類、和保護。

彙整 2019 年歐洲綠首都獎（EGCA）申請單位之有關寧靜區的優良做法實例及相關討論如下（圖 2.7.2-1）。



寧靜區測繪	監控與公眾參與	降噪	寧靜區清查
拉赫蒂 里斯本	奧斯陸 塔林	佛羅倫斯	根特

圖 2.7.2-1 2019 年歐洲綠首都獎（EGCA）申請單位之有關寧靜區的優良做法實例^[113]

一、芬蘭拉赫蒂（測繪）

拉赫蒂是個小型且有綠地的城市，但市中心區的建築非常密集。1868 年時，拉赫蒂只有 18 棟房屋，但鐵路線和運河的興建改變了一切。這些運輸路線的開發，促進了拉赫蒂的發展，城市人口呈指數成長，直至 1975 年前後才趨緩，之後拉赫蒂的成長便很有限，拉赫蒂當前的城市結構仍多半承襲自 1950 年代~1970 年代。

為了建立對拉赫蒂市及其結構的瞭解，當地政府於 2010 年根據「拉赫蒂整

體計畫”，在市區內劃定寧靜區（並於 2016 年大幅更新）。這些資訊為拉赫蒂的未來規劃與發展，提供了寶貴的資源，並突顯拉赫蒂在鄰近自然森林和湖泊的地方，擁有許多具高度娛樂價值的寧靜區。雖然最大的寧靜區都距離市中心很遠，但仍有些較小的寧靜區是從市中心可輕鬆抵達的。

除了劃定的寧靜區外，湖泊更是自然的寧靜區。在夏季，划著小船便可徜徉於湖泊之上。到了冬天，只要在安全前提下，亦可輕鬆在結冰的湖面上垂釣、滑雪和溜冰（圖 2.7.2-2）。



圖 2.7.2-2 芬蘭拉赫蒂市寧靜區地圖（左）；拉赫蒂的湖泊是天然寧靜區（右）^[113]

二、葡萄牙里斯本（測繪）

里斯本市的噪音行動計畫（Noise Action Plan）包含一系列優先措施，其目的在於透過降低環境噪音和寧靜區保護，維護市民的健康與福祉。里斯本的環境噪音測繪，搭配後續的分析與評估，確定兩種需要介入的噪音情況：環境噪音量超過規定值，因而需要補救的區域；當前的 L_{den} 值和 L_n 分別低於 55 dB(A) 和 45 dB(A)，因而應該維持和保護的潛在寧靜區。儘管由於其長久的城市設計歷史，里斯本市內相當大的範圍均存在著許多噪音源，但里斯本仍以平靜浪漫的廣場、小巷、花園和角落，以及形形色色引人靜思的空間而聞名。里斯本將重心放在減少主要道路的交通流量，目前為止已產生不錯的效果，為市中心區帶來一種平靜感。劃定寧靜區讓里斯本得以維持既有的環境、採取減噪措施和實施策略性噪音計畫，以確保隨著里斯本的持續繁榮與發展，該市仍能持續做好噪音管理（圖 2.7.2-3）。



圖 2.7.2-3 葡萄牙里斯本市寧靜區實例^[113]

三、挪威奧斯陸（監控與公眾參與）

奧斯陸市的森林以及奧斯陸峽灣內的諸多小島，提供廣大而連續的空曠寧靜區，可供娛樂性利用。多年來，這些森林一直受到禁止開發保護，市內 8 條主要水道的廣大寧靜區網絡，將森林和峽灣連接起來。

奧斯陸利用 Yardstick 公園調查，透過公眾參與，來監控公園內的活動。2012 年的調查結果顯示，應答者對噪音量的感受為“還算滿意”，應答者表現出對公園內噪音的關切度高於海灘噪音。在 2011 年的奧斯陸調查中，90%的應答者表示，散步和享受自然、靜謐及平靜，是他們造訪森林的主要原因。

有關噪音的資訊，都公告在市府的網站上，整理得很有條理，民眾可以輕鬆瀏覽。提報噪音投訴也很簡單，民眾的噪音投訴，由地方衛生主管機關負責處理；地方衛生主管接獲民眾投訴後，便會去與業主接觸，尋求解決或減降噪音問題的方法。有關噪音的統計資料，均同時以圖形和表格的型式呈現，民眾可以輕鬆在市府網站上閱覽。奧斯陸市府網站鼓勵民眾積極參與市府提出的噪音管理概念，此一鼓勵監控和公眾參與的做法，已促使市府 2015 年的總體計畫，納入對寧靜區進行法定噪音保護，並確定將寧靜區納入奧斯陸未來發展的優先考量事項（圖 2.7.2-4）。



圖 2.7.2-4 挪威奧斯陸市與寧靜區有關之資訊材料實例^[113]

四、愛沙尼亞塔林（監控與公眾參與）

塔林市的主要環境噪音來自於龐大的交通流量，由於城市擴張造成民眾通勤量大增，更令塔林市的環境噪音問題雪上加霜。塔林市政府在規劃新的噪音敏感計畫時，會監控其對環境噪音要求的合規度；同時，可能造成噪音干擾之新場所必須在規劃階段進行噪音調查，已經成為強制性規定。且查閱相關文獻，關於在街道上噪音監控部分，未見有特別考慮噪音計與設置桿面相隔距離與反射音。

塔林市民透過參加降噪行動計畫公聽會，以及市府為所有專案、計畫及環評案舉行之公開討論會，在會中提出建言，為解決該市噪音問題做出貢獻。塔林市的噪音地圖和降噪行動計畫，均提供於市府網站，有關噪音害處及如何防止過多噪音暴露的資訊，均透過公民意識運動傳達給市民，例如：以推動永續城市為目標之“環境友善機動月”。愛沙尼亞塔林在市中心區的自由廣場設立一個醒目的公共環境資訊螢幕，顯示市區的噪音地圖。為了回應市民的投訴，塔林市在問題區域實施多項噪音測量措施，並依據測量結果，採取解決噪音問題的行動或建議市民如何改善情況（圖 2.7.2-5）。



圖 2.7.2-5 愛沙尼亞塔林市區大街安裝的噪音監控點^[113]

五、義大利佛羅倫斯（降噪）

佛羅倫斯市將中小學均劃定為寧靜區，在兩項歐洲計畫 HUSH（同質性行動計畫之城市降噪策略協調）與 QUADMAP（行動計畫之寧靜區定義與管理）和地區基金的挹注下，暴露噪音污染的學校建築均已實施降噪措施。這些降噪措施之目的在於改善社區空間的環境品質，其結果便是找回許多可供教育遊戲、圓形劇場和戶外教學的空間。

在 LIFE+ funding 基金的挹注下，HUSH 計畫在佛羅倫斯 Don Minzoni 學校試行一項先導降噪計畫，所有老師、學生、家長和職員都參與了試行計畫的規劃和審核階段，因此，整個過程都歷經了參與式評估；此一模型後來被複製到其他 10 所學校，該公園亦可實施降噪干預。

先導行動被摘要記錄下來，提供各校參考，某些經過挑選的示範學校也實施了以下措施（圖 2.7.2-6）：

（一）抗噪牆：牆壁內側的建材採用類似黑板的材料，讓學童們可在牆上畫畫。抗噪牆對於學童在校安全也有改善，可謂一舉兩得。

（二）景觀美化：在校區內增種綠色植物。

（三）安全區域：專門用於戶外教學（但僅限學校周邊範圍內）。



圖 2.7.2-6 義大利佛羅倫斯市學校內的降噪阻隔措施^[113]

六、比利時根特（寧靜區清查）

根特市擁有相當多的公園和綠色區域（圖 2.7.2-7），總表面積達到 8.35 平方公里。71% 根特居民都住在綠色空間步行距離範圍內（300m），這些綠色空間擁有良好的聲環境，可為根特居民提供寧靜空間。此外，根特市還有一系列其他寧靜區，例如：泊岸、墓園和庭園。

根特市分別於 2016 年 9 月和 2017 年 5 月針對 9 個不同寧靜區所做的聲環境探索研究性顯示，這些寧靜區都有良好的聲氣候（acoustic climate）：L₉₅ 和 L₅₀ 分別為 30.9 dB(A)~44.4 dB(A) 和 35.1 dB(A)~47.4 dB(A)，這些探索性研究是根特市寧靜區全面清查的起點（2017~2018）。2017 年 6 月~10 月間，根特市民

和經常遊客均被鼓勵填寫一個有關寧靜區的線上問卷，並輔以現場訪問和 GIS 分析，寧靜區清查的結果將被用於擬訂維持及強化既有寧靜區和劃定新寧靜區的策略。

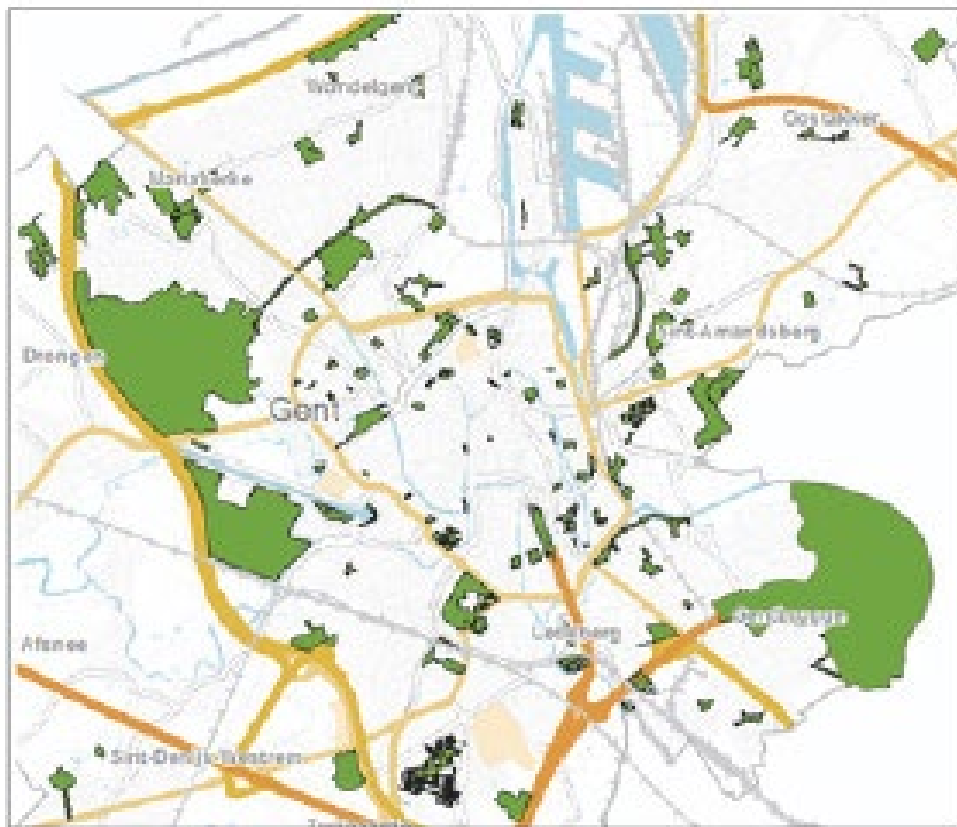


Figure 2.7-7 Map of Parks and Green Areas in Ghent, Source: City of Ghent, 2017.

圖 2.7-7 比利時根特市公園和綠區地圖
 劃定寧靜區已被證明有助於地方及全國地各類活動之舉辦，包括綠色基礎建設規劃、森林與公園之維護工作、新自然娛樂服務或路線之設計。此外，透過監控和公眾參與納入市民的角色，有助於提升市民對噪音相關挑戰的警覺和擬訂有益社區及環境的解決方案。

社區維護	保護社區免於惱人噪音和跨越交通的干擾。
安全移動	透過減少意外發生和降低其嚴重程度，改善所有用路人（尤其是行人和單車騎士）的道路安全。
健康與福祉	降低噪音可限制有害噪音污染暴露，有助於改善人們健康。
娛樂空間	創造及保留供娛樂使用的寧靜空間。

2.7.3 管理和政策^[111]

環境噪音指令（END）強調保持良好環境噪音品質之必要性：即保護寧靜區，為支持落實此一行動，寧靜區優良實務指南（GPG）提出有關寧靜區之辨識

與管理的建議 (EEA, 2014a)。對於寧靜區，到目前為止，研究的重心多半在於確定寧靜區定義需要考量哪些指標，以及管理和保護寧靜區時，可能採取的措施。某些研究也將重點放在分析周邊土地範圍，其主要工作便是探討潛在寧靜區之可及性。在某些情況下，可被視為適合在那些區域發展的活動類型，即為後續的另一種方法。從聲學的角度看來，這可能是定義保護寧靜區之實際意義的前瞻性步驟。

一項受歐洲議會委託評估 END 及立法對噪音源之效用的研究發現，END 對寧靜區的模糊定義，已導致 EEA 會員國落實 END 時的方法分歧和混淆 (EU, 2012)。EEA 的寧靜區優良實務指南 (GPG) 試圖為相關主管機關提供指導原則，其中許多內容都與市區的狀況有關，關於空曠鄉間有效政策的實例非常少，但仍有一些零星例外 (如：比利時)，這些國家的鄉村地區已被賦予寧靜品質標籤 (DLNE, 2016)。在英國，有許多劃定的城市寧靜區，而鄉村地區也被納入英國國家規劃政策架構 (NPPF)。該架構之目的是為確保地方主管機關在規劃政策和決策時，能夠確定並保護比較不受噪音干擾的寧靜區，並獎勵其娛樂及環境舒適價值 (DCLG, 2012)。

自從 EEA GPG 報告彙編數據後，後續可供國家層級措施利用的額外資訊便非常少，為了取得最新資訊，EEA 的歐洲空污與氣候變遷減緩中心 (ETCAPCCM) 於 2015 年初進行了一項調查，該調查被送至 Eionet 國家參考中心，提供 EEA 會員國及合作國家的噪音參考。約半數的國家透露 (26 國中的 14 國 (調查對象為 33 個 EEA 會員國，總計收到 26 國的回覆，其中 2 國回覆範圍僅指特定地區，而非全國範圍))，當時其國內未擬訂有關空曠鄉間寧靜區保護的計畫，這些國家還強調，其國內政界亦未提出相關行動方案或表現出任何興趣或意願。

然而，雖然未見官方行動，但有些國家的回覆具體指出，其國內已有若干以劃定及保護空曠鄉間寧靜區為目標的計畫，這些計畫目前的發展階段各不相同。那些回覆中還特別提及，EEA GPG 是他們採用的指導原則；也有會員國指出，其國內目前已開始進行全國 (或地區) 立法，目的為規範城市區以外的寧靜區，並界定主管機關劃定、保護及管理寧靜區的責任，表 2.7.3-1 說明此一情況的主要原因或障礙。

表 2.7.3-1 寧靜區保護之主要障礙^[11]

一般主題	實例
政策/立法	缺乏現行法規的支持。
	缺乏或很少處理噪音問題的能力（中央政府、部會、能力分配）：只有一般法規和建議事項。
預算/法律執行	缺乏經費。
	缺乏主管機關的重視和行動（只提及部會責任）。
	部會間能力分配：自願性活動與強制性活動。
	缺乏（規劃）準則。
研究	僅有之前的步驟 – 策略性噪音地圖或潛在寧靜區劃定均未完成。
與其他政策領域／經濟層面的衝突	缺乏劃定空曠鄉間寧靜區之定義與標準相關研究。
	與現行再生能源策略之潛在衝突：可能導致安裝於鄉間地區之風機數量增加，有些風機甚至可能設在寧靜區內。
為另一政策領域所涵蓋的主題	縣郡發展計畫中受保護寧靜區之整合：寧靜區劃定落實並受到保護後，是否可能阻礙未來發展？若私人土地受到寧靜區影響，是否給予地主補償？由誰補償？是否有補償必要？
為另一政策領域所涵蓋的主題	亟需保護的鄉間地區已依據其他法律給予保護（國家公園、自然保護區...等）：那些地區無需進一步噪音防護；無需保護其他地區。

另一方面，26 個國家中有 12 個國家回覆指出，在其國內，人們可能面臨空曠鄉間寧靜區保護行動的影響，那些國家實施的寧靜區劃定標準如下：

- 一、依據國家法律的規範（分析各國所提交之法律條文，可能發現各國之間的差異）。
- 二、依據物理測量的規範。
- 三、依據人員觀察的規範。

這些都是國家層級的空曠鄉間寧靜區保護標準，有些只屬建議性質，有些則是具法律約束力的義務。

各國負責劃定及保護空曠鄉間寧靜區之主管權限或行政單位不同，其差異從國家、地區到市政層級。有鑑於負責此一程序之管理單位和層級差異，以下問題的答案就顯得非常重要：

- 一、保護空曠鄉間寧靜區所採取的標準為何？
- 二、此一保護面臨哪些問題？

無論是保護寧靜區所採用的標準或所面臨的問題，各國均非常不同。表 2.7.3-2 和表 2.7.3-3 說明保護空曠鄉間寧靜區所採用的標準，以及各國在調查中所稱面臨的問題。

表 2.7.3-2 保護空曠鄉間寧靜區所採用標準^[11]

一般主題	實例
政策／立法	有關噪音管理的法律： <ul style="list-style-type: none"> • 專門規範寧靜區可容許活動的條文。 • 要求市政當局在寧靜區內實施噪音監控的法律。
	法律規定的噪音限值： <ul style="list-style-type: none"> • 市區以外的寧靜區：L_{day}, 40 dB(A)；L_{evening}, 35 dB(A)；L_{night}, 35 dB(A)。 • 藉由噪音限值管理受保護寧靜區內的活動。
	環境保護法（EPA）。
	行動計畫（END）。
部門協調	根據不同主管機關和規劃優先順序實施保護（例如：風機架設或機場附近之航道規劃）。
標籤化	品質標籤：特別關注區域之寧靜與平靜的承諾。

前面也提到考量時連結保護區（自然、文化、考古、建築）、景觀保育、生物多樣性和棲地保護等，但也有一個國家強調，這種連結是不正確的、沒有必要的，而這個觀點背後的主要原因在於受保護的“元素”。就噪音立法而言，受保護的元素是人類，而就生物多樣性和棲地保護而言，受保護的元素是大自然（動物、植物群、動物群、棲地等）。世衛組織（WHO）已訂定噪音量標準，以避免噪音影響人們健康，但歐洲尚未訂定保護生物多樣性免於噪音影響的限值。或許可以這麼說：保護棲地和野生動植物免於吵雜人類活動的影響，已藉由環境影響評估（EIA）的要求而達到目的，因此，無需在噪音立法與自然保護之間建立連結。

另外，在處理噪音立法與其他政策之間關係時，也建議需要考慮的其他綜效包括：大規模活動性、空氣品質、策略性環評、農業區內土壤消耗量和土地利用規劃等。最近一項針對德國擬定的第一個 1,000 END 行動計畫的評鑑顯示，在行動規劃的第一階段，只有 30%的城市已經或有意定義寧靜區；其他城市表示，噪音繪圖的 55 dB L_{den} 限制是定義寧靜區的困難之一。據稱，較低的強制性閾值有助於寧靜區管理，但聲學不是唯一的考量因素；約 90%已經劃定的寧靜區，在定義時都同時採用土地利用做為另一個考量因素，而最常被用來定義寧靜區的土地指標包括：居住區、綠色區、森林、水特性、曠野、保護區（含棲地指令）、自然地標和農地（Umweltbundesamt, 2015）。

表 2.7.3-3 保護空曠鄉間寧靜區所面臨問題^[11]

一般主題	實例
政策／立法	缺乏END明晰度：強化有關劃定、監控和保護寧靜區之國家政策有困難。
預算/法律執行	缺乏政界的支持。
	缺乏對劃定和保護寧靜區之附加價值的瞭解。
	噪音測量既耗時又昂貴。
	寧靜區之測量未納入年度噪音監控計畫。
研究	城市區內外寧靜區之間的落差。缺乏小城區（比市區還小）中寧靜區的定義。
	各層面相關問題：包括識別方法、參數、閾限、地域特徵、主管機關、代表、管理與保障方法以及如何維持寧靜區周邊運輸基礎建設的適當距離（以提升寧靜區可及性）。
與其他政策領域／經濟層面的衝突	因低噪音限值而缺乏與其他噪音活動之兼容性：建築施工、休閒活動。需要訪問市政專家（時間安排和實際問題）。

2.7.4 我國推行“寧靜區”之可行性

在討論我國推行“寧靜區”可行性前，先就我國現階段實施或推行之類似管制方式或策略重點整理說明如下：

一、噪音管制區

關於我國的噪音管制，引述行政院環境保護署「噪音管制紀實」之前言，一般而言，噪音是指不想要或使人覺得不愉快的聲音。這些聲音經由物體振動產生空氣壓力擾動，傳達到聽覺器與振動接受器而感知，它對人體不僅產生生理效應，亦有心理影響。由於心理因素因人而異，與日常生活息息相關，因此，主管機關必須依不同地區、場所、時段及音源種類，建立物理性聲音能量的客觀標準，做為管制的依據，而噪音管制目的之一，就是維持適合人類生存的環境音量，使國人不致於產生聽覺上與壓迫感等傷害與病變。自噪音管制法訂定以來，仍持續擴充噪音管制範圍，陸續訂定包括：噪音管制法施行細則、噪音管制標準、環境音量標準及噪音管制區劃定作業準則等 20 項相關子法，期望藉由擴大噪音管制範圍及項目，加強噪音管制，維護環境安寧。（行政院環境保護署環保署 30 週年專區首頁 > 空保處紀實，2020）

環境對於噪音的容許程度，與人民生活的型態與作息有著相當密切的關聯，因此，在建立前述客觀標準時（如：噪音管制標準、環境音量標準等），必須依據不同的人民生活型態與作息時間來給予不同的容許音量值，如此，方能達成維護環境安寧之目標，而噪音管制區劃定就是反映該管制區內人民生活型態，時段區分則是反映人民的作息時間。為此，噪音管制法中明訂直轄市及縣

(市)主管機關得視轄境內噪音狀況劃定公告各類噪音管制區，並應定期檢討，重新劃定公告之，以配合各項噪音標準做為管制的依據。依據【噪音管制區劃定作業準則】第 2 條，噪音管制區劃分為下列四類，依其土地使用現況、行政區域、地形地物、人口分布劃分之：

(一) 第一類噪音管制區：環境亟需安寧之地區。

(二) 第二類噪音管制區：供住宅使用為主且需要安寧之地區。

(三) 第三類噪音管制區：以住宅使用為主，但混合商業或工業等使用，且需維護其住宅安寧之地區。

(四) 第四類噪音管制區：供工業或交通使用為主，且需防止噪音影響附近住宅安寧之地區。

噪音管制區劃定結果用來做為地方環保局執行噪音各項管制標準稽查(如：工廠(場)、娛樂營業場所、營建工程、擴音設施、陸上運輸系統等)認定標準值的依據，以及各縣市環保局執行環境及交通音量標準監測結果所參照的音量標準，藉此維護各類噪音管制區內環境音量品質，因此，管制區劃定的適切與否將關係到民眾權益及環境品質的評估。

二、交通寧靜區 (Traffic calming)

引述交通安全入口網之何謂交通寧靜區？「交通寧靜」的概念發源於歐洲荷蘭，美國、澳洲、日本以及其他各國相繼引進。其設置的主要目的是對社區巷道進行交通管制措施，改變汽機車駕駛人的行為，降低車速、減少車流，提升當地居民生活品質與交通安全。(交通安全入口網首頁> 懶人包> 「交通寧靜區」，全民安全好放心，2020)

交通寧靜區 (Traffic calming) 是在人本交通的思考邏輯下，以社區巷道為主要考量對象的交通工程規劃概念。過去對於道路之規劃設計，大多是以一般道路的工程設計邏輯直接套用在巷道設計，並沒有針對巷道交通的特殊性進行考量；然巷道通常存在於居民生活處所周遭，除道路較為狹窄、行人流量較大外，且為年長者與幼童進出與駐留的空間，車輛駛入其中，容易與行人產生交通衝突，對附近居民的生活空間造成負面影響。相較於主要道路、次要道路這些以車輛通行為主要功能的設計邏輯，社區巷道交通的設計規劃應該對於交通安全與生活品質的提升應更加重視。(行政院經濟建設委員會，2007)

104 年 7 月內政部頒布【市區道路及附屬工程設計規範】，規範內容計分為 3 篇共 20 章，其中第 3 篇「道路附屬工程設計」的第 12 章即為交通寧靜區，規

範了設置原則、設計要點、設計方法、主要設施等；此外，營建署依據前述第 12 章交通寧靜區做為上位指導標準與規範依據，107 年 10 月發行「都市人本交通道路規劃設計手冊（第二版）」，共有 2 篇 9 章，其中第 2 篇空間規設篇的第 6 章即為交通寧靜區規劃設計，包含：交通寧靜區定義、建置考量因素、規劃設計準則、設計範例及參考圖等。交通寧靜區主要設置於住宅社區、商業購物區及學校周邊之服務道路，以人本交通為考量，採行寧靜式交通策略來劃設特定區域範圍，結合路網系統及交通工程設施。主要分成阻礙直線車行、刻意縮減車道，配合適當標誌與標線警示駕駛者等用路人，在不影響道路之基本緊急救護功能及垃圾車清運通行需求的情況下（如：緊急時可暫時移開或向地下隱藏），企圖改變汽機車駕駛人的駕駛行為，如：降低車速（30 km/h 以下）與減少穿越性交通量，以降低機動車輛對該區域的負面影響，達到改善範圍內道路使用環境的目的。我國目前主要優先於 6 個直轄市推廣交通寧靜區，選擇學校、醫院或大型社區擇一試辦，在交通寧靜區周邊廣設告示牌，標示區內速限 30 公里以下，汽機車在寧靜區內若超速 10 公里~60 公里，依法開罰 1,200 元~2,400 元；超速逾 60 公里，開罰 6,000 元~2 萬 4,000 元；此外，彙整國際間有關交通寧靜區規劃及發展如下^[46]：

（一）荷蘭：交通寧靜區的概念就是起始於 1970 年代荷蘭的 Delft 市，技師在小巷道中設置了跳動路面(road hump)，路面上 8 公分的高差立即引起反應。數年後，荷蘭其他城市的民眾覺得因為車輛機動受到了限制，故相信這些措施有利於提升生活品質，這個現象也因此引起交通界革命。荷蘭自 1976 年起陸續進行第 1 代、第 2 代、第 3 代交通寧靜區研究，在設計手冊中有關減少交通事故與增進道路安全性的標的包括：選擇好的路線連接地區性設施、減少交通量、減少噪音與振動、減少大型車輛使用、住宅區採較低速設計、主要道路提供適當視野、提供道路與路側清楚的視線等。手冊中並針對交通環境評估、適當交通寧靜方法的選擇及交通寧靜方法的描述與工程原則提供相關資訊，並且在 1984 年，荷蘭政府正式立法通過前述設計區最高速限為每小時 30 公里。

（二）加拿大：如同歐洲、美國與澳洲一般，加拿大的運輸專家也想將交通發展逐漸導向交通寧靜區的概念，以處理居住街道的交通問題。但由於缺乏相關資訊，致使交通運輸專業人士無法突破推動交通寧靜計畫的瓶頸，而為解決社區交通問題的壓力，超過 50 個加拿大自治市開始著手於大範圍的交通寧靜設施，但因為缺乏一套完善的制度與指引方針，故在使用及設計上具有相當大的

不連貫性。為此，加拿大的運輸學會(Transportation Association of Canada, TAC)與加拿大運輸工程研究所(The Canada Institute of Transportation Engineers, CITE)參與了專案研究計畫，發展鄰近地區交通寧靜指南(Guide to Neighborhood Traffic Calming)。在指南中提供交通寧靜計畫整體概念，包含了交通寧靜區的定義、目標等，也探討相關交通寧靜設施的法規與立法，同時描述地方與社區如何能夠有意義的參與交通寧靜計畫發展，並將交通寧靜設施分類，以表列方式呈現出各種措施設置的方式與效益，以及詳細描述各措施設置目的、功能、幾何特性等，並且將交通寧靜設施設置的時機、如何設置及保存等相關議題進行說明，其中還包含了設施的尺寸、材料、建造、技術、美化方針...等細部的設計資訊。

(三) 澳洲：1980 年代開始全面發展地方交通管理(Local Area Traffic Management, LATM)，主要著重於街道與其相關環境的總和效果，而非單獨考量一特殊地點；同時 LATM 必須考量交通、土地使用、相關之社區交通需求以及因設置交通寧靜區所帶來之交通量移轉與駕駛行為改變所產生的衝擊，因此，屬於一套綜合性交通規劃的方法。最初始交通管理計畫是藉由物理性設施以控制在社區巷道內車輛速率或交通量的手法，跟隨英國 1960 年晚期及 1970 年早期實施的環境交通管理模式，澳洲首先採用了某些改變社區向道路網本質的技術，例如：街道封閉、單行道等，以解決穿越性車流的問題。但自 1980 年代全面發展起，交通寧靜方法重點由街道封閉方式轉移至降低車速與改善道路景觀；到 1989 年，交通寧靜方法更從住宅區街道移轉至較高等級道路之交通問題改善。1988 年澳洲交通工程實務手冊(Guide to Traffic Engineering Practice)第 10 冊即為地方交通管理(LATM)，內容包含：道路分類的角色、LATM 的進行政程序、公眾參與方法等，其中基本的規劃程序包括：確認問題與產生之作用、改善現況之機會、發展被認同之目標與標的、發展被認同之計畫來達成。

(四) 日本：依據日本建設省 2000 年公布的整體交通安全措施，日本投資在新的 5 年道路改善計畫中，交通寧靜方法係為改善非幹道系統之重要交通安全措施，稱之為社區區劃計畫(Community Zoning Projects)。社區區劃計畫主要透過縣的公共安全委員會提供社區道路與行人—車輛混合道路，使行人具優先權，以達到減少住宅區穿越性交通、提昇安全之目的。其所使用之方法包括：

1.社區道路：在住宅區、購物區透過設置寬敞的人行道與鋸齒形道路，提供行人行走優先權，並使車輛降低車速與減少穿越性交通。

2.行人－車輛混合道路：在道路寬度不足，無法提供人行道之道路，利用設置跳動路面，提供行人行走優先權，並使車輛降低車速與減少穿越性交通。

3.道路設置減速臺（Tapering）或跳動路面。

4.有聲號誌（Sound-Type Traffic Signals）：利用有聲交通號誌提醒視覺障礙及一般行人綠燈亮起。

5.社區區劃速限標誌：利用社區區劃專用速限標誌限制行車速率。

從日本交通寧靜方法之規劃程序有 3 點值得重視，包括：以事故資料庫之交通安全問題為主體、重視居民意見反映與需求及評估目標達成效果之回饋修正制度等。從 1970 年交通寧靜區觀念引進日本後，於 1980 年日本即利用該法改善鄰里交通，而其鄰里巷道窄狹且混合車流嚴重，因此，採行的方法亦與歐洲有所不同。

1980 年在大阪社區巷道，於 10 公尺寬單行道設 3 公尺「chicanes」以減緩行車速率，並且將鋪面、街俱及路樹等一併重新設計，此為日本第一條人車共存道路。爾後，將其推展到日本各地，交通寧靜設施主要建構於兩種道路上，一為接近學校或公園等弱勢用路人的巷道；另一為社區內購物街或商業區。

三、“寧靜區”

摘錄本文前面所述，對於“寧靜區”的訂定，END 主要用意是在定義一個優先避免、防止或降低因暴露環境噪音導致有害效應（包括：煩躁）的通用方法，也就是說“寧靜區”（城市或空曠鄉間）必須受到噪音保護。寧靜區指的並非完全靜默的區域，而是不受人類活動所產生之非自願性或有聲戶外聲音（如：環境噪音）干擾的區域，在『寧靜區優良實務指導原則』中對於“寧靜區”的定義如下：

（一）市區內寧靜區：指的是經主管機關劃定，其中任何噪音源之噪音量不超過特定 L_{den} 值或高於會員國所設定噪音量之其他噪音指標的區域。

（二）空曠鄉間寧靜區指的是經主管機關劃定，不受交通、產業或娛樂活動干擾的區域。

綜整“寧靜區”、“噪音管制區”、“交通寧靜區”之分析比較如表 2.7.4-1，雖然彼此在設置目的與方式上有所不同，但若從保護、維護對象之涵

蓋範圍來說，其概念上的重疊性如下：

(一) “寧靜區”指的是不受人類活動所產生之非自願性或有聲戶外聲音（如：環境噪音）干擾的區域，需要維持和保護，其概念相當於我國劃定之“第一類噪音管制區”及“第二類噪音管制區”，符合亟需、需要安寧地區的概念。

(二)我國“交通寧靜區”主要設置於住宅社區、商業購物區及學校周邊之服務道路，若依其設置地點來看，於我國劃定之“各類噪音管制區”內均可設“交通寧靜區”。但依據都市人本交通規劃設計手冊 6.2.7 所述，其適用街道等級為主要及次要集散道路、服務性道路，街道幾何為雙向雙車道以下，故依其適用條件或可再縮小範圍，就相當於“第一類噪音管制區”及“第二類噪音管制區”內。

故從“寧靜區”、“噪音管制區”、“交通寧靜區”概念上的重疊性說明來看，透過目前我國各類噪音管制區劃定結果來推行“寧靜區”應該是可行的。在我國可以把“第一類噪音管制區”及“第二類噪音管制區”視為“寧靜區”範圍，特別是住宅密集區域，這類區域因周邊較無其他音源，居民對環境噪音的容忍度也相對較為敏感；再搭配我國正積極推行的“交通寧靜區”，針對第一類、第二類噪音管制區中的“住宅社區”及“學校周邊”，優先重點要求這些民眾、學子生活聚集區域之環境音量品質，做為我國“寧靜區”示範推行區域範圍。

表 2.7.4-1 寧靜區、噪音管制區、交通寧靜區分析比較表

項目	寧靜區	噪音管制區	交通寧靜區
目的	保護（protect）該範圍內噪音暴露，不容再增甚或必須降低噪音。	維護（keep）該範圍內環境音量品質在容忍的範圍內。	改善該範圍內道路使用環境。
策略方向	瞭解環境噪音暴露狀況，讓民眾更容易辨識哪些地方暴露於高環境噪音，意識到寧靜的重要性，進而主動參與劃定、管理、保護的責任。而主管機關的任務是讓主要噪音源（道路、鐵路線和產業活動等）遠離寧靜區，所有其他活動則由居民自己去規範管理，例如：寧靜區中	<ol style="list-style-type: none"> 1.落實反映該管制區內民眾生活作息型態。 2.維護現有環境安寧。 3.協助控制或改善噪音污染範圍。 4.兼顧民眾生活機能、土地使用現況及未來土地發展。 	採用寧靜式交通策略，結合路網系統規劃及道路交通工程措施，以減少穿越性交通及降低行車速率，降低機動車輛所帶來的負面影響。

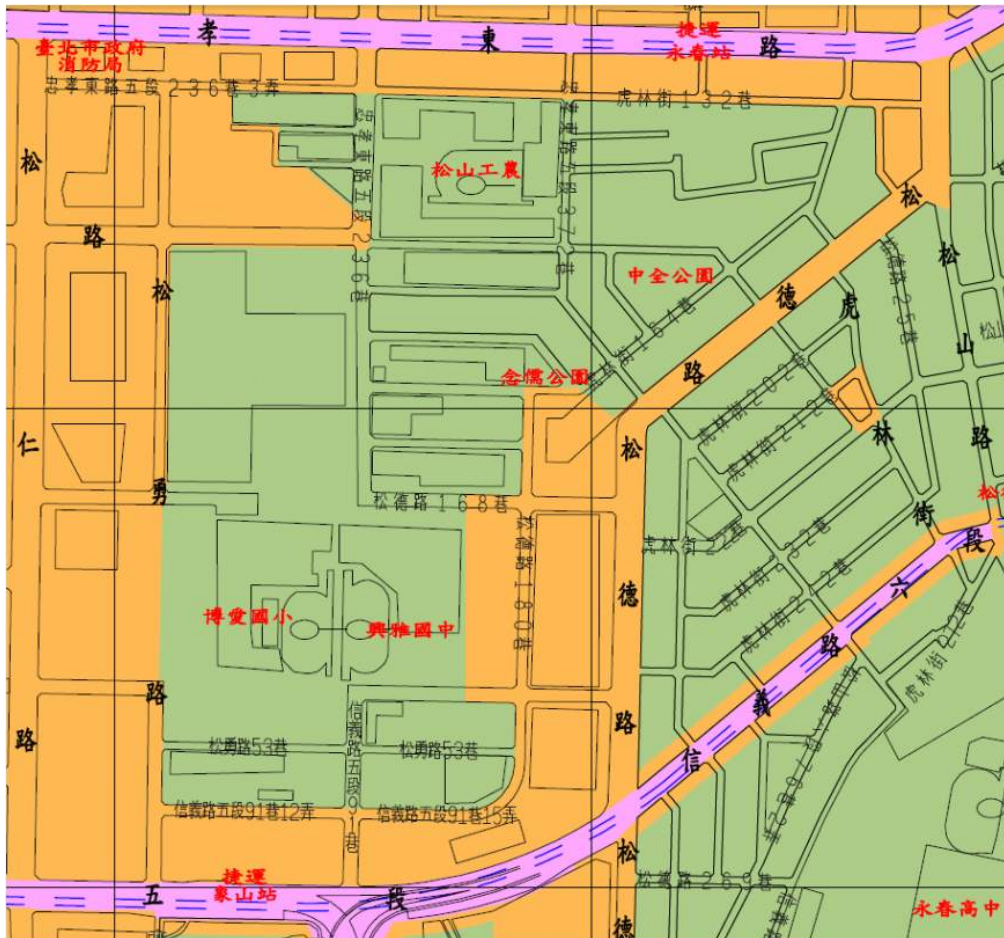
項目	寧靜區	噪音管制區	交通寧靜區
	仍可能偶爾舉辦足球賽或音樂會，只要聲音不是太過大聲，或者在事先指定的喧囂活動時段內舉行即可。		
方法	<ol style="list-style-type: none"> 繪製噪音地圖，確定環境噪音暴露狀況。 確實做到一般大眾均能取得有關環境噪音及其影響的資訊。 根據噪音地圖結果採取行動計畫，期必要時防止及降低環境噪音（尤其是暴露程度可能有害人體健康時），和保持良好環境噪音品質。 行動計畫可能包括：土地利用規劃、交通系統工程和噪音源規劃與管制。其中，市區策略性噪音地圖須特別強調道路及鐵路交通、機場和產業（包括：港口）所產生的噪音。 繪製噪音地圖和行動規劃應每5年重做一次。 	<ol style="list-style-type: none"> 參考都市計畫或區域計畫地區之土地使用計畫及使用情形予以粗分類。 再依噪音現況逐步調整劃定。 應每2年重新檢討劃定。 	<ol style="list-style-type: none"> 主要設施包括：流量管制設施及速率管制設施。 路網結構改變：調整行車動線，引導穿越性交通轉移。 路段降速措施及道路空間調整：利用路面高程、線型、寬度、材質、顏色等變化及道路停車空間規劃以警示並迫使駕駛者減速慢行。 路口整合設計：利用路口高程、線型、寬度、材質、顏色等變化及路口槽化處理，以提醒駕駛者注意並迫使其減速慢行。
分類	<ol style="list-style-type: none"> 市區內寧靜區：經主管機關劃定之範圍，例如：任何噪音暴露未超過規定L_{den}值，或高於會員國所訂定L_{den}值之其他噪音指標的範圍。 空曠鄉間寧靜區：經主管機關劃定之不受交通、工業或娛樂活動噪音干擾的範圍。 	<ol style="list-style-type: none"> 第一類噪音管制區：環境亟需安寧之地區。 第二類噪音管制區：供住宅使用為主且需要安寧之地區。 第三類噪音管制區：以住宅使用為主，但混合商業或工業等使用，且需維護其住宅安寧之地區。 第四類噪音管制區：供工業或交通使用為主，且需防止噪音影響附近住宅安寧之地區。 	主要設置於住宅社區、商業購物區及學校周邊之服務道路。
困境	1.目前歐盟各會員國	1.相關計畫劃定土地	1.民眾認知、社區參與

項目	寧靜區	噪音管制區	交通寧靜區
	用於辨別寧靜區的途徑、方法和指標差異非常大。 2.市區內寧靜區所面臨的最大挑戰是噪音污染和交通暴露。 3.策略性噪音地圖或潛在寧靜區劃定未全數完成。 4.缺乏現行法規的支持。 5.缺乏處理噪音問題的能力。 6.部會間缺乏協處能力分配。 7.與現行再生能源策略發生潛在衝突。 8.可能阻礙土地未來發展。 9.私人土地可能衍生補償問題。	使用內容以機能為主，未能周延地考慮到噪音對環境的衝擊，間接影響執行噪音管制成效。 2.土地使用現況與都市計畫或區域計畫不符，產生與噪音管制區類別相容性的問題。	配合從缺，或許不排斥新觀念與新做法，甚至也能接受，但『改變』習慣讓居民害怕。 2.衍生交通壅塞問題，進而出現人車爭道的危險現象。 3.超速取締執法困難，現階段只能規勸處理。 4.減速措施噪音問題。

資料來源：噪音管制區劃定作業準則（109年8月5日）；市區道路及附屬工程設計規範（104年7月），本計畫整理。

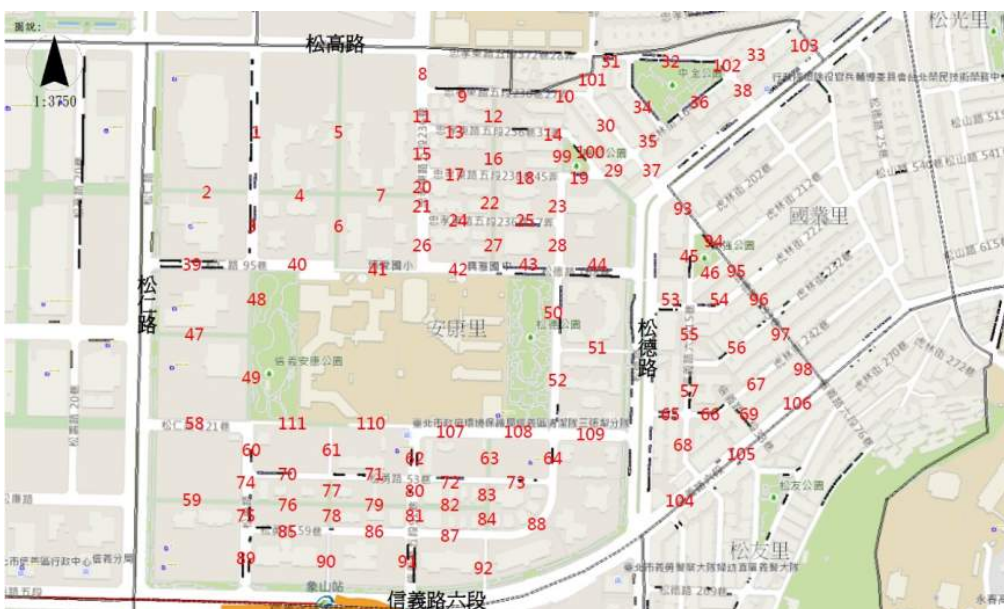
選擇較極端案例，以較複雜高都市化的臺北市信義區安康里為例，臺北市政府 108 年 10 月 24 日公告劃定結果如圖 2.7.4-1 所示，鄰里交通環境改善計畫如圖 2.7.4-2 所示。臺北市信義區安康里中“住宅社區”及“學校”屬“第二類噪音管制區”，區域內道路等級屬“服務道路”，因該區域內社區居住人口多且車輛進出頻繁，故臺北市政府於此設置“交通寧靜區”，期改變汽機車駕駛人的行為，降低車速、減少車流，提升當地居民生活品質與交通安全。

事實上，因該區域內為“住宅社區”及“學校”，較無其他噪音源，符合“寧靜區”的概念，而社區內居住人口多且車輛進出頻繁，在低背景音的情況下，當高噪車輛進入區域服務道路發出噪音後，將嚴重影響社區安寧，降低社區民眾、學子生活區域環境音量品質，必須做好“寧靜區”噪音管理，建議考量類似區域皆可做為我國“寧靜區”示範推行區域範圍。



註：綠色-第二類、橘色-第三類、粉紅色-第四類。

圖 2.7.4-1 臺北市信義區安康里各類噪音管制區公告圖



資料來源：<http://111.235.214.55/NeighborhoodTrafficImprove/Home/About?town=%E4%BF%A1%E7%BE%A9%E5%8D%80>。

圖 2.7.4-2 臺北市信義區安康里交通環境改善計畫示意圖



資料來源：<http://111.235.214.55/NeighborhoodTrafficImprove/home/video>。

圖 2.7.4-3 臺北市鄰里交通環境改善計畫成果示意圖

2.8 SDGs 永續發展目標指標

一、SDGs3-健康與福祉

自 112 年 6 月 1 日起執行靜桃計畫迄今，依據環境部噪音車檢舉網統計之噪音車陳情數，從 112 年 1 月起陳情數量逐月攀升到 112 年 5 月時最高 434 件/月；而靜桃計畫執行後(112 年 6 月至 113 年 6 月)，陳情案件平均為 328 件/月，與 112 年 5 月份相比下降 24.4%。另因人與人交談聲音量約 65 至 75 分貝，現場攔檢使用改裝管不合格車輛聲音平均落在 90 至 100 分貝，部分車輛更是高達 110 分貝以上，等同飛機起降之聲響(110 至 130 分貝)，機動車輛改裝排氣管噪音對人體身心影響甚大，造成工作效率降低和聽力損失。本府與相關單位於陳情熱點路段規劃寧靜示範區，投入噪音防制措施，降低環境音量，有效減少噪音污染造成對人體的身心影響，達成確保及促進各年齡層健康生活與福祉(SDGs3-健康與福祉)目標。

二、SDGs11-永續城鄉

靜桃計畫亦減少城市的負面環境影響，特別注重機動車輛改裝排氣管噪音稽查與取締，達成建構具包容、安全、韌性及永續特質的城市與鄉村(SDGs11-永續城鄉)目標-「靜鄰綠聲活」。

三、SDGs12-促進綠色經濟，確保永續消費及生產模式

靜桃計畫輔導汽機車商業合法經營，藉由改裝源頭查核輔導作業降低改裝

車噪音。並邀集 12 區機車公會代表及業者支持使用原廠或認證合格排氣管，並加強車輛噪音防制法令，宣導車主「選購使用原廠或認證之排氣管」，車行「提供車輛合法零件更換及維修服務」，排氣管製造廠商將排氣管產品送環境部檢驗，並取得認證(噪音檢驗合格證明)，實現自然資源的永續管理以及高效使用，減少不合格排氣管生產、減少廢棄物產出與供應鏈上的損失，降低對人類健康和環境的負面影響。

四、SDGs17-建立多元夥伴關係，協力促進永續願景

為解決改裝車衍生的擾寧與污染問題，桃園市啟動跨局處聯合執法，由環境保護局、警察局、經濟發展局組成聯合稽查取締小組，並結合交通監理單位，共同執行「靜桃計畫」。並邀集 12 區機車公會代表及業者支持使用原廠或認證合格排氣管。建議並促進中央修訂排氣管改裝源頭管理法規，改裝車必須辦理變更登記、取得認證，由交通部修訂相關管理條例及環境部訂定改裝車認證辦法。與交通局合作規劃寧靜示範區，有效減少噪音污染造成對人體的身心影響，加強社區關懷(里民合作)，透過多邊合作加強促進噪音車議題永續發展的夥伴關係，動員和分享知識、專業、科技與財務資源，支持實現永續發展目標。



- 1.於陳情熱點路段規劃寧靜示範區，投入噪音防制措施，平均減少超過3分貝以上。
 - 2.降低環境音量，有效減少噪音污染造成對人體的身心影響，達成確保及促進各年齡層健康生活與福祉目標。
- (SDGs3-健康與福祉)**



- 1.減少城市的負面環境影響。
 - 2.注重機動車輛改裝排氣管噪音稽查與取締。
 - 3.達成建構具包容、安全、韌性及永續特質的城市與鄉村目標。
- (SDGs11-永續城鄉)**



- 1.宣導車主「選購使用原廠或認證之排氣管」，車行「提供車輛合法零件更換及維修服務」，排氣管製造廠商將排氣管產品送環境部檢驗。
 - 2.實現自然資源的永續管理以及高效使用。
- (SDGs12-責任消費及生產)**



- 1.透過跨局處合作、爭取中央排氣管源頭管理修法，並邀集機車公會代表及業者支持使用原廠或認證合格排氣管，加強社區關懷(里民合作)。
 - 2.多邊合作加強促進噪音車議題永續發展的夥伴關係，實現永續發展目標。
- (SDGs17-多元夥伴關係)**

參考文獻

- [1] U. Nations, “World urbanization prospects: e2018revision,” *Cities*, vol. 47, pp. 95–106, 2018.
- [2] C. Morandi, A. Rolando, and S. Di Vita, *From Smart City to Smart Region: Digital Services for an Internet of Places*, Springer, 2016.
- [3] C. Manville, G. Cochrane, J. Cave et al., “Mapping smart cities in the EU,” *Official Journal of the European Communities*, vol. IP/A/ITRE/ST/2013-02, p. 196, 2014.
- [4] M. Bouskela, M. Casseb, S. Bassi, C. De Luca, and M. Facchina, e “Road toward Smart Cities: Migrating from Traditional City Management to the Smart City”, *Inter-American Development Bank*, 2016.
- [5] M. Angelidou, “Smart cities: a conjuncture of four forces,” *Cities*, vol. 47, pp. 95–106, 2015.
- [6] L. Goines and L. Hagler, “Noise pollution: a modern plague,” *Southern Medical Journal*, vol. 100, no. 3, pp. 287–294, 2007.
- [7] C. Mydlarz, J. Salamon, and J. P. Bello, “e implementation of low-cost urban acoustic monitoring devices,” *Applied Acoustics*, vol. 117, pp. 207–218, 2017.
- [8] M. S. Hammer, T. K. Swinburn, and R. L. Neitzel, “Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response,” *Environmental health perspectives*, vol. 122, no. 2, pp. 115–191, 2014.
- [9] World Health Organization and the Joint Research Centre of the European Commission, “Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization,” *Tech. Rep.*, WHO Regional Office for Europe, 2011.
- [10] R. Guski, D. Schreckenber, and R. Schuemer, “WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and annoyance,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 12, article 1539, 2017.
- [11] M. ‘Sliwi’nska-Kowalska and K. Zaborowski, “WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: asystematic review on environmental noise

- and permanent hearing loss and tinnitus,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 10, article 1139, 2017.
- [12] M. J. Nieuwenhuijsen, G. Ristovska, and P. Dadvand, “WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and adverse birth outcomes,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 10, article 1252, 2017.
- [13] E. Ohrström, A. Skögl, H. Svensson, and A. Gidlöf-Gunnarsson, “Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 295, no. 1, pp. 40–59, 2006.
- [14] A. L. Brown and I. van Kamp, “WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: a systematic review of transport noise interventions and their impacts on health,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 8, article 873, 2017.
- [15] M. Simpson and R. Bruce, *Noise in America: The Extent of the Noise Problem*, Office of Noise Abatement and Control, U.S. Environmental Protection Agency, EPA Report 550/9-81-101, Washington, DC, 1981.
- [16] E. Commission, “Future Noise Policy - European Commission Green Paper,” EU Laws and Publications, COM(96) 540 Final, 1996.
- [17] E. Union, “Directive 2002/49/EC of the European parliament and the council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise,” *Official Journal of the European Communities*, L 189/12, 2002.
- [18] S. Kephelopoulos, M. Paviotti, and F. Anfosso-L’ed’ee, “Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOEU),” Publications Office of the European Union, Report EUR 25379 EN, pp. 1–180, 2002.
- [19] D. Manvell, “Utilising the strengths of different sound sensor networks in smart city noise management,” in *Proceedings of EuroNoise 2015*, pp. 2303–2308, EAA-NAG-ABAV, Maastricht, Netherlands, June 2015.
- [20] E. Murphy and E. King, *Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health and Policy*, Elsevier, 2014.
- [21] A. Ripoll and A. Bäckman, “State of the art of noise mapping in Europe,” European Topic Centre Terrestrial Environment, Internal Report, 2005.

- [22] T. G. H. Basten and P. W. Wessels, "An overview of sensor networks for environmental noise monitoring," in Proceedings of the 21st International Congress on Sound and Vibration (ICSV21), pp. 1–8, IIAV, 2014.
- [23] R. Barham, M. Chan, and M. Cand, "Practical experience in noise mapping with a MEMS microphone based distributed noise measurement system," in Proceedings of Inter-Noise 2010, vol. 6, pp. 4725–4733, Institute of Noise Control Engineering, Lisbon, Portugal, June 2010.
- [24] A. Bertrand, "Applications and trends in wireless acoustic sensor networks: a signal processing perspective," in Proceedings of the 18th IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), pp. 1–6, IEEE, 2011.
- [25] A. Bertrand, S. Doclo, S. Gannot, N. Ono, and T. van Waterschoot, "Guest editorial: special issue on wireless acoustic sensor networks and ad hoc microphone arrays," *Signal Processing*, vol. 107, pp. 1–3, 2015.
- [26] F. Asdrubali and F. D'Alessandro, "Innovative Approaches for Noise Management in Smart Cities: a Review," *Current Pollution Reports*, vol. 4, no. 2, pp. 143–153, 2018.
- [27] A. Mesaros, T. Heittola, A. Diment et al., "DCASE 2017 challenge setup: tasks, datasets and baseline system," in Proceedings of the Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2017 Workshop (DCASE2017), of Tampere University of Technology, pp. 85–89, 16 November 2017, Munich, Germany.
- [28] P. Bellucci, L. Peruzzi, and G. Zambon, "LIFE DYNAMAP project: the case study of Rome," *Applied Acoustics*, vol. 117, pp. 193–206, 2017.
- [29] J. Ye, T. Kobayashi, and M. Murakawa, "Urban sound event classification based on local and global features aggregation," *Applied Acoustics*, vol. 117, Part B, pp. 246–256, 2017.
- [30] P. Rawat, K. D. Singh, H. Chaouchi, and J. M. Bonnin, "Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies," *The Journal of Supercomputing*, vol. 68, no. 1, pp. 1–48, 2014.
- [31] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler, "Telos: Enabling ultralow power wireless research," in Proceedings of the Fourth International Symposium on

- Information Processing in Sensor Networks (IPSN 2005), pp. 364–369, IEEE Press, 2005.
- [32] S. Santini and A. Vitaletti, “Wireless sensor networks for environmental noise monitoring,” in Proceedings of the 6th GI/ITG KuVS Fachgesprch ”Drahtlose Sensornetze”, pp. 98–101, 2007.
- [33] S. Santini, B. Ostermaier, and A. Vitaletti, “First experiences using wireless sensor networks for noise pollution monitoring,” in Proceedings of the 2008 Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN), pp. 61–65, ACM, Glasgow, Scotland, April 2008.
- [34] S. Santini, Adaptive Sensor Selection Algorithms for Wireless Sensor Networks [Ph.D. dissertation], ETH Zurich, 2009.
- [35] S. Santini, B. Ostermaier, and R. Adelman, “On the use of sensor nodes and mobile phones for the assessment of noise pollution levels in urban environments,” in Proceedings of the 2009 Sixth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS), pp. 1–8, IEEE, Pittsburgh, PA, USA, June 2009.
- [36] I. Hakala, I. Kivela, J. Ihalainen, J. Luomala, and C. Gao, “Design of low-cost noise measurement sensor network: sensor function design,” in Proceedings for the First International Conference on Sensor Device Technologies and Applications (SENSORDEVICES 2010), pp. 172–179, IEEE, 2010.
- [37] I. Kivela, C. Gao, J. Luomala, and I. Hakala, “Design of Noise Measurement Sensor Network: Networking and Communication Part,” in Proceedings of the Fifth International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2011), pp. 280–287, IARIA, 2011.
- [38] C. Wang, G. Chen, R. Dong, and H. Wang, “Traffic noise monitoring and simulation research in Xiamen City based on the environmental internet of things,” *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, vol. 20, no. 3, pp. 248–253, 2013.
- [39] J. Camps-Farrés, “Barcelona noise monitoring network,” in Proceedings of EuroNoise 2015, pp. 2315–2320, EAA-NAG-ABAV, 2015.

- [40] J. Camps-Farrés and J. Casado-Novas, “Issues and challenges to improve the Barcelona noise monitoring network,” in Proceedings of EuroNoise 2018, pp. 693–698, EAA-HELINA, 2018.
- [41] F. Mietlicki, C. Mietlicki, and M. Sineau, “An innovative approach for long-term environmental noise measurement: Rumeur network,” in Proceedings of EuroNoise 2015, pp. 2309–2314, EAA-NAG-ABAV, 2015.
- [42] C. Mietlicki, F. Mietlicki, C. Ribeiro, P. Gaudibert, and B. Vincent, “The HARMONICA Project, new tools to assess environmental noise and better inform the public,” in Proceedings of the Forum Acusticum 2014, pp. 1–9, Krakow, Poland, September 2014.
- [43] J. Paulo, P. Fazenda, T. Oliveira, C. Carvalho, and M. Felix, “Framework to monitor sound events in the city supported by the FIWARE platform,” in Proceedings of the 46th Congreso Español de Acústica (TecniAcústica 2015), pp. 21–23, SEA, 2015.
- [44] J. Paulo, P. Fazenda, T. Oliveira, and J. Casaleiro, “Continuous sound analysis in urban environments supported by FIWARE platform,” in Proceedings of EuroRegio 2016, pp. 1–10, EAA, 2016.
- [45] L. Filippini, S. Santini, and A. Vitaletti, “Data collection in wireless sensor networks for noise pollution monitoring,” in Proceedings of the 4th International Conference on Distributed Computing in Sensors Systems (DCOSS 2008), Springer, vol. 5067 pp. 492–497, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [46] L. Nencini, P. De Rosa, E. Ascari, B. Vinci, and N. Alexeeva, “SENSEable Pisa: a wireless sensor network for real-time noise mapping,” in Proceedings of EuroNoise 2012, pp. 10–13, CAS - EAA, 2012.
- [47] B. Vinci, A. Tonacci, C. Caudai, P. D. Rosa, L. Nencini, and L. Pratali, “The SENSEable Pisa project: citizen-participation in monitoring acoustic climate of Mediterranean city centres,” CLEAN—soil, Air, Water, vol. 45, article 1600137, 2017.
- [48] C. Bartalucci, F. Borchì, M. Carfagni et al., “The smart noise monitoring system implemented in the frame of the Life MONZA project,” in Proceedings of EuroNoise 2018, pp. 783–788, EAA - HELINA, 2018.

- [49] C. Bartalucci, F. Borchini, M. Carfagni, R. Furferi, and L. Governi, "Design of a prototype of a smart noise monitoring system," in Proceedings of the 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV24), pp. 1–8, IIAV, 2017.
- [50] "Cense - characterization of urban sound environments," <http://cense.ifsttar.fr/>.
- [51] D. Botteldooren, B. De Coensel, and D. Oldoni, "Sound monitoring networks new style," in Proceedings of Acoustics 2011, pp. 93:1–93:5, Australian Acoustical Society, 2011.
- [52] F. Domínguez, S. Dauwe, N. T. Cuong et al., "Towards an environmental measurement cloud: delivering pollution awareness to the public," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 10, no. 3, article 541360, 2014.
- [53] M. C. Bell and F. Galatioto, "Novel wireless pervasive sensor network to improve the understanding of noise in street canyons," Applied Acoustics, vol. 74, no. 1, pp. 169–180, 2013.
- [54] D. Rainham, "A wireless sensor network for urban environmental health monitoring: UrbanSense," vol. 34, 012028 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2016.
- [55] C. Mietlicki and C. Mietlicki, "Medusa: a new approach for noise management and control in urban environment," in Proceedings of EuroNoise 2018, pp. 727–730, EAA - HELINA, 2018.
- [56] S. Gupta and C. Ghatak, "Environmental noise assessment and its effect on human health in an urban area," International Journal of Environmental Sciences, vol. 1, pp. 1954–1964, 2011.
- [57] B. De Coensel and D. Botteldooren, "Smart sound monitoring for sound event detection and characterization," in Proceedings of the 43rd International Congress on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2014), pp. 1–10, Australian Acoustical Society, 2014.
- [58] A. Brown and B. D. Coensel, "A study of the performance of a generalized exceedance algorithm for detecting noise events caused by road traffic," Applied Acoustics, vol. 138, pp. 101–114, 2018.

- [59] X. Sevillano, J. C. Socor'ó, F. Al'ías et al., "DYNAMAP –development of low cost sensors networks for real time noise mapping," *Noise Mapping*, vol. 3, pp. 172–189, 2016.
- [60] P. Bellucci, L. Peruzzi, and F. R. Cruciani, "Implementing the DYNAMAP system in the suburban area of Rome," in *Proceedings of Inter-Noise 2016*, Institute of Noise Control Engineering, pp. 6396–6407, August 2016.
- [61] G. Zambon, R. Benocci, A. Bisceglie, H. E. Roman, and P. Bellucci, "The LIFE DYNAMAP Project: towards a procedure for dynamic noise mapping in urban areas," *Applied Acoustics*, vol. 124, pp. 52–60, 2017.
- [62] J. C. Socor'ó, F. Al'ías, and R. M. Alsina-Pag`es, "An anomalous noise events detector for dynamic road traffic noise mapping in real-life urban and suburban environments," *Sensors*, vol. 17, no. 10, article 2323, 2017.
- [63] R. M. Alsina-Pag`es, J. C. Socor'ó, and F. Orga, "Detection of anomalous noise events on low-capacity acoustic nodes for dynamic road traffic noise mapping within an hybrid WASN," *Sensors*, vol. 18, no. 4, article 1272, 2018.
- [64] F. Orga, F. Al'ías, and R. M. Alsina-Pag`es, "On the Impact of anomalous noise events on road traffic noise mapping in urban and suburban environments," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 1, article 13, 2017.
- [65] N. Mueller, D. Rojas-Rueda, X. Basaga~na et al., "Health impacts related to urban and transport planning: a burden of disease assessment," *Environment international*, vol. 107, pp. 243–257, 2017.
- [66] Brel & Kjaer, "Noise monitoring terminal type 3639," 2019.
<https://www.bksv.com/Products/EnvironmentManagementSolutions/UrbanEnvironmentManagement/NoiseInstrumentation/NoiseMonitoringTerminalFamily>.
- [67] Larson Davis, "Model 831-NMS permanent noise monitoring system," 2019.
<http://www.larsondavis.com/products/noisemonitoringsystems/permanentnoisemonitoringsystem>.
- [68] P. W. Wessels and T. G. Basten, "Design aspects of acoustic sensor networks for environmental noise monitoring," *Applied Acoustics*, vol. 110, pp. 227–234, 2016.

- [69] F. Mietlicki, C. Mietlicki, and M. Sineau, “An innovative approach for long-term environmental noise measurement: Rumeur network in the Paris region,” in Proceedings of EuroNoise 2015, pp. 2309–2314, EAA-NAG-ABAV, 2015.
- [70] L. Nencini, “DYNAMAP monitoring network hardware development,” in Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration (ICSV22), pp. 1–4, 2015.
- [71] S. Ntalampiras, I. Potamitis, and N. Fakotakis, “Probabilistic novelty detection for acoustic surveillance under real-world conditions,” IEEE Transactions on Multimedia, vol. 13, no. 4, IIAV, pp. 713–719, 2011.
- [72] F. Aurino, M. Folla, F. Gargiulo, V. Moscato, A. Picariello, and C. Sansone, “One-class SVM based approach for detecting anomalous audio events,” in Proceedings of 2014 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS), pp. 145–151, IEEE, 2014.
- [73] S. Ntalampiras, “Universal background modeling for acoustic surveillance of urban traffic,” Digital Signal Processing, vol. 31, pp. 69–78, 2014.
- [74] P. Foggia, N. Petkov, A. Saggese, N. Strisciuglio, and M. Vento, “Audio surveillance of roads: a system for detecting anomalous sounds,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 17, no. 1, pp. 279–288, 2016.
- [75] J. Salamon, C. Jacoby, and J. P. Bello, “A dataset and taxonomy for urban sound research,” in Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Multimedia, pp. 1041–1044, ACM, 2014.
- [76] J. R. Gloaguen, A. Can, M. Lagrange, and J. F. Petiot, “Estimating traffic noise levels using acoustic monitoring: a preliminary study,” in Proceedings of the Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2016 Workshop (DCASE 2016), pp. 40–44, Tampere University of Technology, Budapest, Hungary, September 2016.
- [77] J. R. Gloaguen, A. Can, M. Lagrange, and J. F. Petiot, “Road traffic sound level estimation from realistic urban sound mixtures by non-negative matrix factorization,” Applied Acoustics, vol. 143, pp. 229–238, 2019.

- [78] J. C. Socor'ó, G. Ribera, X. Sevellano, and F. Al'ias, "Development of an anomalous noise event detection algorithm for dynamic road traffic noise mapping," in Proceedings of the 22nd International Congress of Sound and Vibration (ICSV22), pp. 1–8, IIAV, 2015.
- [79] A. Mesaros, T. Heittola, and E. Benetos, "Detection and classification of acoustic scenes and events: outcome of the DCASE 2016 challenge," IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 26, no. 2, pp. 379–393, 2018.
- [80] A. Mesaros, T. Heittola, and T. Virtanen, "TUT Database for acoustic scene classification and sound event detection," in Proceedings of the 24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), pp. 1128–1132, IEEE, Budapest, Hungary, August - September 2016.
- [81] E. Cakir, G. Parascandolo, T. Heittola, H. Huttunen, and T. Virtanen, "Convolutional recurrent neural networks for polyphonic sound event detection," IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 25, no. 6, pp. 1291–1303, 2017.
- [82] Y. Nakajima, M. Sunohara, T. Naito, N. Sunago, T. Ohshima, and N. Ono, "DNN-based Environmental Sound Recognition with Real-recorded and Artificially-mixed Training Data," in Proceedings of Inter-Noise 2016, pp. 3164–3173, Institute of Noise Control Engineering, Hamburg, Germany, August 2016.
- [83] X. Valero and F. Al'ias, "Gammatone cepstral coefficients: biologically inspired features for non-speech audio classification," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 14, no. 6, pp. 1684–1689, 2012.
- [84] P. Maijala, Z. Shuyang, T. Heittola, and T. Virtanen, "Environmental noise monitoring using source classification in sensors," Applied Acoustics, vol. 129, pp. 258–267, 2018.
- [85] S. Ntalampiras, "Moving vehicle classification using wireless acoustic sensor networks," IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, vol. 2, no. 2, pp. 129–138, 2018.

- [86] C. Peckens, C. Porter, and T. Rink, “Wireless sensor networks for long-term monitoring of urban noise,” *Sensors*, vol. 18, no. 9, article 3161, 2018.
- [87] I. Grigorik, *High Performance Browser Networking: What every web developer should know about networking and web performance*, O’Reilly Media Inc., 2013.
- [88] J. Segura-Garcia, S. Felici-Castell, J. J. P’erez-Solano, M. Cobos, and J. M. Navarro, “Low-cost alternatives for urban noise nuisance monitoring using wireless sensor networks,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 836–844, 2015.
- [89] New York City Department of Health and Mental Hygiene. *Ambient Noise Disruption in New York City; Data brief 45*; New York City Department of Health and Mental Hygiene: New York, NY, USA, 2014.
- [90] Murphy, E.; King, E.A. Smartphone-based noise mapping: Integrating sound level meter app data into the strategic noise mapping process. *Sci. Total Environ.* 2016, 562, 852–859.
- [91] Kardous, C.A.; Shaw, P.B. Evaluation of smartphone sound measurement applications. *J. Acoust. Soc. Am.* 2014, 135, EL186–EL192.
- [92] Kuhn, J.; Vogt, P. Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone. *Phys. Teach.* 2013, 51, 118–119.
- [93] Roberts, B.; Kardous, C.; Neitzel, R. Improving the accuracy of smart devices to measure noise exposure. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2016, 13, 840–846.
- [94] Maisonneuve, N.; Stevens, M.; Ochab, B. Participatory noise pollution monitoring using mobile phones. *Inf. Polity* 2010, 15, 51–71.
- [95] Kanjo, E. NoiseSPY: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping. *Mob. Netw. Appl.* 2010, 15, 562–574.
- [96] Guillaume, G.; Can, A.; Petit, G.; Fortin, N.; Palominos, S.; Gauvreau, B.; Bocher, E.; Picaut, J. Noise mapping based on participative measurements. *Noise Mapp.* 2016, 3, 140–156.
- [97] Li, C.; Liu, Y.; Haklay, M. Participatory soundscape sensing. *Landsc. Urb. Plan.* 2018, 173, 64–69.

- [98] Picaut, J.; Fortin, N.; Bocher, E.; Petit, G.; Aumond, P.; Guillaume, G. An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones. *Build. Environ.* 2019, 148, 20–33.
- [99] Pew Research Center. Mobile Fact Sheet—February 5th 2018. Available online: <http://www.pewinternet.org/fact-sheet/mobile/> (accessed on 15 August 2018).
- [100] Piper, B.; Barham, R.; Sheridan, S.; Sotirakopoulos, K. Exploring the “big acoustic data” generated by an acoustic sensor network deployed at a crossrail construction site. In *Proceedings of the 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV)*, London, UK, 23–27 July 2017.
- [101] Catlett, C.E.; Beckman, P.H.; Sankaran, R.; Galvin, K.K. Array of things: A scientific research instrument in the public way: Platform design and early lessons learned. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering*, Pittsburgh, PA, USA, 18–21 April 2017; ACM: New York, NY, USA, 2017; pp. 26–33, doi:10.1145/3063386.3063771.
- [102] International Organization for Standardization. *Electroacoustics—Sound Level Meters—Part 1: Specifications (IEC 61672-1)*; Standard; IOS: Geneva, Switzerland, 2013.
- [103] EMS Bruel & Kjaer. *Environmental Noise and Vibration Monitoring—Sentinel*. 2019. Available online: <https://emsbk.com/sentinel> (accessed on 21 March 2019).
- [104] EMS Bruel & Kjaer. *Web Trak—B&K Web Portal for Air Traffic Noise Monitoring*. 2019. Available online: <http://webtrak5.bksv.com/panynj4> (accessed on 21 March 2019).
- [105] Port Authority of the Balearic Islands. *Activity at the Port of Palma Alone Does Not Explain the Levels of Noise and Particles in the Air (...)*. 2019. Available online: <http://www.portsdebalears.com/en/en/noticia/activity-port-palma-alone-does-not-explain-levels-noise-and-particles-air-according-study> (accessed on 21 March 2019).

- [106] Libelium. Libelium Remote Sensing. Available online: <http://www.libelium.com> (accessed on 21 March 2019).
- [107] Mietlicki, F.; Mietlicki, C.; Sineau, M. An innovative approach for long-term environmental noise measurement: RUMEUR network. In Proceedings of the 10th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering (EuroNoise), Maastricht, The Netherlands, 31 May–3 June 2015.
- [108] Alías, F.; Alsina-Pagès, R.; Carrié, J.C.; Orga, F. DYNAMAP: A low-cost wasn for real-time road traffic noise mapping. In Proceedings of the Techni Acustica, Cadiz, Spain, 24–26 October 2018.
- [109] Bell, M.C.; Galatioto, F. Novel wireless pervasive sensor network to improve the understanding of noise in street canyons. *Appl. Acoust.* 2013, 74, 169–180.
- [110] Botteldooren, D.; Van Renterghem, T.; Oldoni, D.; Samuel, D.; Dekoninck, L.; Thomas, P.; Wei, W.; Boes, M.; De Coensel, B.; De Baets, B.; et al. The internet of sound observatories. *Proc. Meet. Acoust.* 2013, 19, 040140.
- [111] European Environment Agency, 2016, Quiet areas in Europe, EEA Report No 14/2016.
- [112] European Commission, 2019, Quiet Areas - European Commission, https://webgate.ec.europa.eu/greencitytool/resources/docs/best_practices/GPFS_QuietAreas_A01.pdf (最後訪問日期：2020/4/16)
- [113] European Environment Agency, 2014, Good practice guide on quiet areas, EEA Technical report No 4/2014.