

Định lượng hiệu suất dàn micrô siêu âm

Không chỉ là việc đếm số lượng micrô

Patrick W.A. Wijnings, MSc
Ứng viên Tiến sĩ Kỹ thuật Điện

Giới thiệu

Trong hàng thập kỷ qua, công nghệ—từ hiệu suất máy tính [1] đến số lượng pixel trong một máy ảnh số [2]—đã có sự phát triển ấn tượng. Đây là hệ quả của định luật Moore [3], quan sát và dự đoán rằng số lượng tranzito bên trong mạch tích hợp theo thời gian sẽ tăng theo hàm mũ. Xu hướng tương tự cũng được quan sát thấy trong dàn micrô siêu âm: nhờ sự phát triển của mạch tích hợp, micrôphone kỹ thuật số dựa trên công nghệ hệ thống cơ điện siêu nhỏ (MEMS) [4] đã nổi lên thành phiên bản thay thế nhỏ gọn, kinh tế cho micrô điện dung analog để áp dụng vào dàn cảm biến microphone

Điều này cho phép các dàn micrô ngày nay có từ 32 đến 128 micrô hay thậm chí là nhiều hơn: dàn micrô lớn nhất thế giới, theo Sách Guinness thế giới [5] có số lượng micrô ấn tượng là 4096 micrô. Tuy nhiên, điều quan trọng không nằm ở số lượng cảm biến: tương tự như Megahertz đối với bộ xử lý hoặc megapixel đối với nhiếp ảnh, có thể xây dựng thiết bị với số lượng micrô lớn cho dàn micrô siêu âm: trái ngược với điều mọi người tin tưởng, số lượng micrô không nói lên toàn bộ câu chuyện của hiệu suất âm thanh. Cụ thể là vị trí của các micrô cũng là yếu tố quan trọng không kém do các định luật vật lý mà cuối cùng sẽ hạn chế hiệu suất dàn micrô có thể đạt được.

Tài liệu nghiên cứu chuyên sâu cung cấp thông tin tổng quan về ảnh hưởng của số lượng và vị trí của micrô lên hiệu suất dàn micrô và cung cấp những công cụ cơ bản để định lượng điều đó.

Giảm nhiễu trung bình

Mỗi micrô chắc chắn sẽ tạo ra một số nhiễu trong các phép đo âm thanh của chúng: do dung sai sản xuất, độ nhạy thay đổi một chút từ micrô này đến micrô kia [6] và các linh kiện điện tử của micrô cũng tự tạo ra tiếng ồn. Khi âm thanh (yên tĩnh) bị chặn bởi loại nhiễu này thì không thể phát hiện nguồn âm thanh tương ứng. Vì âm thanh suy giảm khi đi xa khỏi nguồn, điều này cũng có thể giới hạn phạm vi phát hiện của dàn micrô siêu âm. May mắn là một hiện tượng nổi tiếng trong xử lý tín hiệu là việc lấy trung bình các phép đo của nhiều micrô có xu hướng giảm nhiễu:

$$\text{Giảm nhiễu (ở dB)} = 20 \log_{10}(\sqrt{\text{Số lượng micrô}})$$

Công thức này nghĩa là mỗi lần số lượng micrô được tăng gấp đôi, nhiều sẽ giảm 3 dB, rất khó để tai người nhận ra trong các tình huống bình thường [7]. Do đó, mặc dù dàn micrô siêu âm đơn giản nhất sẽ vượt trội hơn nhiều một micrô (ví dụ: một dàn có 64 micrô giảm 18 dB nhiều), nhưng lợi nhuận sẽ giảm khi số lượng micrô tăng thêm (ví dụ: khác biệt giữa các dàn gồm 128 và 64 micrô chỉ là 3 dB). Ngoài ra, ở một thời điểm nào đó, tiếng ồn phổ biến ở tất cả micrô (ví dụ: từ bộ cấp điện) sẽ bắt đầu chiếm ưu thế vì không thể giảm tiếng ồn thông qua việc lấy trung bình. Cuối cùng, nhiều micrô hơn yêu cầu xử lý dữ liệu nhiều hơn, làm mất tuổi thọ pin và tính di động hoặc yêu cầu thỏa hiệp về tốc độ khung hiển thị hoặc độ phân giải.

Tóm lại, mặc dù tăng số lượng micrô sẽ giảm tiếng ồn nhưng vào thời điểm nào đó, lợi nhuận sẽ giảm và không vượt qua những mặt hạn chế. Với công nghệ ngày nay, chúng tôi tin rằng tối ưu là khoảng 64 micrô.

Tạo tia và truyền sóng

Chỉ lấy trung bình các phép đo micrô không cho phép hiển thị âm thanh ở dạng hình ảnh được chiếu lên ảnh máy chụp. Thay vào đó, một thuật toán tạo tia [8] phải được sử dụng. Tạo tia kết hợp các tín hiệu của tất cả micrô trong dàn sao cho đóng góp từ các nguồn tại góc cụ thể gặp phải nhiễu xây dựng trong khi những góc khác gặp nhiễu phá hủy.

Vật lý cơ bản cho phép tạo tia được thiết lập bởi phương trình sóng. [9] Đặc biệt, âm thanh truyền trong không khí với tốc độ cố định:

$$\text{Tốc độ âm thanh} = 343 \text{ m/giây.}$$

Điều này nghĩa là âm thanh không chỉ có tần số mà còn có chiều dài bước sóng:

$$\text{Chiều dài bước sóng (ở m)} = \frac{\text{Tốc độ âm thanh (ở m/giây)}}{\text{Tần số (ở Hz)}}$$

Trong khi một giá trị đồng bằng thời gian thì chiều dài bước sóng là chiều dài vật lý của sóng âm thanh theo hướng truyền.

Tạo tia khai thác thực tế là các micrô khác nhau trong một dàn micrô siêu âm đo các điểm khác nhau của sóng này. Vì vậy, tỷ lệ thích hợp giữa khoảng cách giữa các micrô của dàn và chiều dài bước sóng là yếu tố quan trọng để có hiệu suất âm thanh tốt. Ở tần số thấp, chiều dài bước sóng sẽ lớn (ví dụ: 3,4m ở 100 Hz) và dàn micrô sẽ hưởng lợi từ khoảng cách lớn giữa các micrô. Ở tần số siêu âm và cao, chiều dài bước sóng sẽ nhỏ (ví dụ: 17 mm ở 20 kHz) và dàn micrô sẽ hưởng lợi từ khoảng cách nhỏ giữa các micrô.

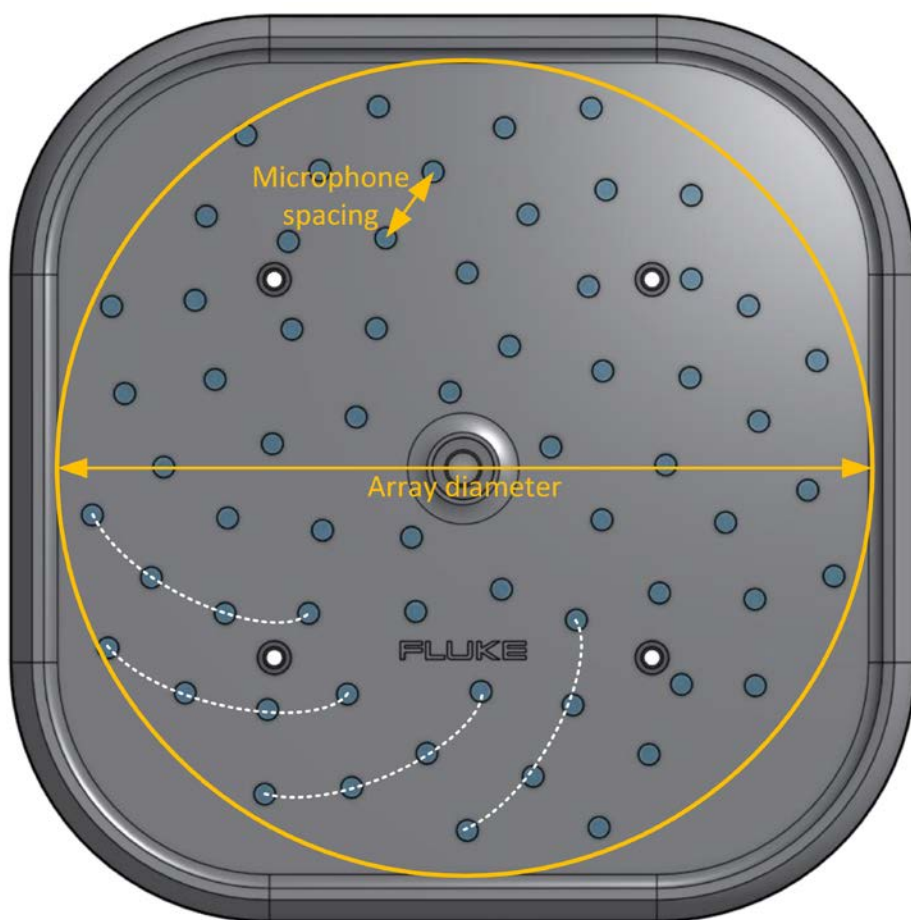
Đường kính dàn micrô xác định độ phân giải tần số thấp

Khoảng cách liên micrô lớn nhất tương ứng với hai micrô ở các mép đối diện của dàn micrô siêu âm. Do đó, đường kính của dàn (Hình 1) liên quan đến độ phân giải ở tần số thấp: khi dàn quá nhỏ, các nguồn âm thanh riêng biệt sẽ bị mờ cùng nhau trong ảnh âm thanh được chiếu. Điều tương tự cũng xảy ra trong ngành thiên văn học, trong đó kính viễn vọng có đường kính lớn (hay khẩu độ) có thể phân tích các chi tiết nhỏ.

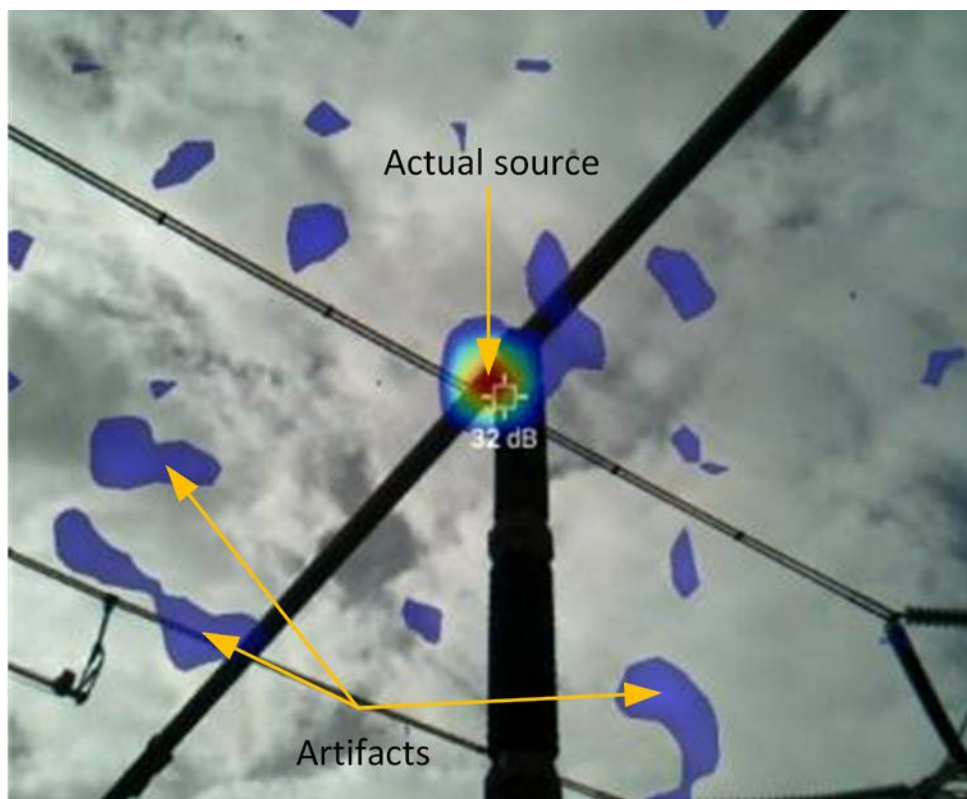
Tiêu chuẩn Rayleigh định lượng ảnh hưởng này bằng cách tính xấp xỉ góc nhỏ nhất giữa hai nguồn âm thanh mà ở dưới giá trị này chúng sẽ bị mờ cùng nhau:

$$\text{Góc (ở độ)} = 69,88 \times \frac{\text{Chiều dài bước sóng (ở m)}}{\text{Đường kính dàn (ở m)}}$$

Tất nhiên là việc tăng đường kính dàn cũng giảm đáng kể tính di động. May mắn là nhiều nguồn âm thanh chẳng hạn như rò rỉ khí và phóng điện chủ yếu phát ra âm thanh ở tần số cao. Đối với những ứng dụng này, một dàn micrô siêu âm gọn nhẹ không ảnh hưởng nhiều đến hiệu suất.



Hình 1: Đường kính dàn micrô và khoảng cách giữa micrô là hai tham số quan trọng của một dàn micrô siêu âm. Dàn micrô lớn có độ phân giải tốt hơn ở tần số thấp và các dàn có micrô gần hơn cải thiện hiện tượng méo gấp ở tần số cao. Hiệu suất ở tần số cao có thể được cải thiện hơn nữa bằng cách đặt micrô theo hình xoắn ốc (được biểu thị bằng các đường đứt nét màu trắng).



Hình 2: Ví dụ xáo ảnh trong ảnh âm thanh được chiếu.

Khoảng cách giữa micrô xác định nhiễu ảnh tần số cao

Khoảng cách liên micrô nhỏ nhất tương ứng với hai micrô cạnh nhau (Hình 1). Do đó, khoảng cách giữa micrô liên quan đến hiệu suất ở tần số cao: khi khoảng cách quá lớn, sóng âm không thể được phân tích đồng nhất, dẫn đến tình trạng méo gấp (hay búp bên mạnh - strong side-lobes). Tình trạng này biểu hiện dưới dạng nhiễu ảnh hay nguồn “ảo” (ghost source) (không thực sự hiện diện) trong ảnh âm thanh được chiếu (Hình 2). Điều tương tự cũng xuất hiện trong ngành nhiếp ảnh, trong đó mẫu Moiré có thể xảy ra nếu pixel của ảnh quá lớn. Nếu micrô được đặt trên lưới thông thường, tần số mà nếu vượt sẽ gây méo gấp được định lượng bằng tiêu chuẩn Nyquist:

$$\text{Tần số méo gấp (Hz)} = 0,5 \times \frac{\text{Tốc độ âm thanh (m/giây)}}{\text{Khoảng cách giữa micrô (m)}}$$

Để giảm khoảng cách giữa micrô, phải giảm đường kính dàn (ảnh hưởng đến độ phân giải tần số thấp) hoặc tăng số lượng micrô (ảnh hưởng đến tuổi thọ pin); cả hai cách đều có ảnh hưởng không mong muốn.

May mắn là có một giải pháp tốt hơn: Có thể vượt qua tiêu chuẩn Nyquist bằng cách phá vỡ tính cân đối của lưới micrô. Trong xử lý tín hiệu, hiện tượng này gọi là lấy mẫu một vài (hay lấy mẫu nén), vì lưới không đều có thể được dựng bằng các điểm lấy mẫu (hay loại bỏ những điểm khác) từ lưới đều tinh vi hơn nhiều. Tất nhiên, ở một số tần số, thậm chí là lấy mẫu một vài cũng sẽ đứt gãy nhưng khi được thực hiện chính xác, tần số này có thể được đẩy đi rất xa vào phạm vi siêu âm.

Có nhiều cách để chọn lưới không đều thích hợp.[10] Một giải pháp thú vị lấy cảm hứng từ tự nhiên: Xoắn ốc Fermat mô tả sự phân bố của hạt trong nhụy hoa hướng dương. “Xoắn ốc hóa hướng dương” này phân bố micrô hiệu quả và gần như đều nhau trên bề mặt dàn, nhưng theo cách mà khoảng cách giữa các cặp micrô có chút khác biệt (Hình 1). Điều này cho phép dàn micrô hoa hướng dương giảm tình trạng méo gấp nhiễu ảnh so với dàn micrô đều có cùng số lượng micrô, hoặc ngược lại cung cấp cùng hiệu suất âm thanh với ít micrô hơn và nhờ đó kéo dài tuổi thọ pin.

Kết luận

Chúng tôi đã cung cấp thông tin tổng quan về những điểm cần cân nhắc liên quan đến số lượng và vị trí của micrô lên hiệu suất dàn micrô và cung cấp những công cụ cơ bản để định lượng điều đó. Dàn micrô hoa hướng dương gọn nhẹ với khoảng 64 micrô chẳng hạn như Fluke ii900 cung cấp sự cân bằng xuất sắc giữa hiệu suất âm thanh—đặc biệt là đối với các nguồn do rò rỉ khí hoặc phóng điện—và những điểm cân nhắc về khả năng sử dụng chẳng hạn như tuổi thọ pin và tính di động.

Tham khảo

- [1] Karl Rupp, “48 Years of Microprocessor Trend Data,” <https://github.com/karlrupp/microprocessor-trend-data> [Đã truy cập: 7 tháng 8 năm 2020], Tháng 8 năm 2020.
- [2] Nathan Myhrvold, “Moore’s Law Corollary: Pixel Power,” The New York Times, Tháng 6 năm 2006.
- [3] Gordon E. Moore, “Cramming more components onto integrated circuits,” Electronics, vol. 38, no. 8, Tháng 4 năm 1965.
- [4] Siti Aisyah Zawawi, Azrul Azlan Hamzah, Burhanuddin Yeop Majlis, and Faisal Mohd-Yasin, “A Review of MEMS Capacitive Microphones,” Micromachines, vol. 11, no. 5, pp. 484, Tháng 5 năm 2020, Số: 5 Nhà xuất bản: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- [5] Guinness World Records, “Largest microphone array,” <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/largest-microphone-array/> [Đã truy cập: 18 tháng 9 năm 2020].
- [6] Patrick W.A. Wijnings, Sander Stuijk, Rick Scholte, and Henk Corporaal, “Characterization of MEMS Microphone Sensitivity and Phase Distributions with Applications in Array Processing,” 2020, đang đánh giá.
- [7] ABD Engineering and Design, “How Much is a Decibel? Sound Perception Vs. Reality,” <https://www.abdengineering.com/blog/perception-vs-reality/> [Đã truy cập: 8 tháng 11 năm 2020].
- [8] B. D. van Veen and K. M. Buckley, “Beamforming: a versatile approach to spatial filtering,” IEEE ASSP Magazine, vol. 5, no. 2, pp. 4–24, Tháng 4 năm 1988.
- [9] Hans Bodén, Ulf Carlsson, Ragnar Glav, Hans-Peter Wallin, and Mats Åbom, Sound and Vibration, Marcus Wallenberg Laboratory, KTH, Stockholm, Sweden, 2007.
- [10] Zebb Prime and Con Doolan, “A comparison of popular beamforming arrays,” in Proceedings of Acoustics 2013 Victor Harbor, Victor Harbor, South Australia, 2013, Australian Acoustical Society.

Fluke. *Giữ cho thế giới của bạn.
không ngừng vận động.*

Fluke Corporation
P.O. Box 9090
Everett, WA USA 98206
Web: www.fluke.com

Representative office of Fluke South East Asia Pte Ltd
C/O Danaher Vietnam
Green Power Tower, 11th Floor Unit 2
35 Ton Duc Thang Street, District 1
Ho Chi Minh City
Vietnam
Tel: +84-8-2220-5371 (ext 103)
Email: info.asean@fluke.com
www.fluke.com/vn

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-5853
In Europe/M-East/Africa
+31 (0)40 267 5100
In Canada (905) 890-7600
From other countries +1 (425) 446-5500

©2021 Fluke Corporation. Specifications subject to change without notice. 05/2021 210512-vi

Modification of this document is not permitted without written permission from Fluke Corporation.