

Kỹ thuật điều khiển điện tử trong máy siêu âm đen trắng xách tay

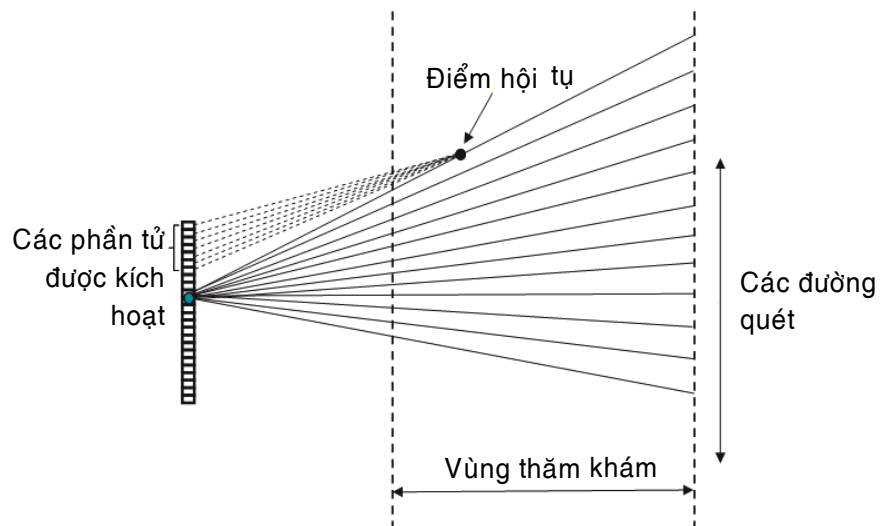
PHÙNG VĂN HÀ, NGUYỄN MINH KHẢI

Công ty Cổ phần Công nghệ AMEC

Đối với ảnh siêu âm, chất lượng hình ảnh được quyết định trước hết bởi công suất của chùm tia siêu âm, độ nhạy của đầu dò, sau đó đến các kỹ thuật xử lý tín hiệu số. Tuy nhiên, do các quy định về mức độ an toàn đối với cơ thể con người, công suất chùm tia không thể được tăng lên một cách tùy ý thông qua biên độ sóng âm, vì vậy một kỹ thuật phổ biến được sử dụng hiện nay là điều khiển hội tụ số cho chùm tia phát và chùm tia nhận (các phản hồi sóng âm - echoes) kết hợp với đầu dò nhiều phần tử (phổ biến từ 128 đến 256 phần tử) để tăng cường biên độ tín hiệu nhận, từ đó qua các kỹ thuật xử lý tín hiệu số để tăng cường chất lượng ảnh. Các kỹ thuật này đã được ứng dụng thành công trong máy siêu âm đen trắng xách tay được thiết kế, chế tạo bởi Công ty Cổ phần Công nghệ AMEC.

Mở đầu

Về mặt nguyên lý như minh họa trong hình 1, các hệ thống ảnh siêu âm hội tụ các sóng âm dọc theo một đường quét cho trước để các sóng âm được xếp chồng đồng pha với nhau tại điểm hội tụ mong muốn. Khi các sóng siêu âm truyền về phía điểm hội tụ, chúng bị phản xạ bởi đối tượng bất kỳ gặp phải trên đường truyền sóng. Khi tất cả các sóng phản xạ đã được thu nhận bởi các phần tử (transducers) của đầu dò, các sóng siêu âm mới sẽ được truyền về phía điểm hội tụ mới trên đường quét cho trước. Khi tất cả các sóng siêu âm dọc theo một đường quét được thu nhận, hệ thống sẽ lặp lại quá trình trên đối với một đường quét mới đến khi tất cả các đường quét của vùng thăm khám mong muốn được thu nhận. Sau đó, toàn bộ dữ liệu này được xử lý để tạo thành một ảnh siêu âm.



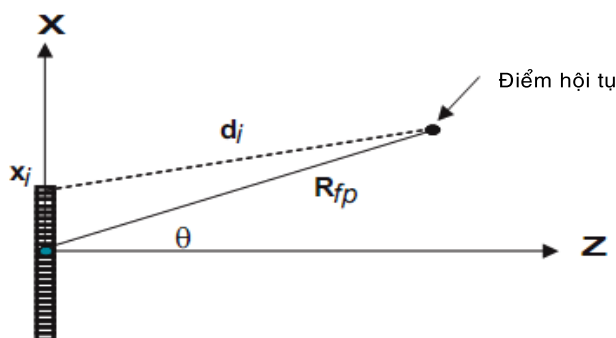
Hình 1: các yếu tố cho điều khiển tạo ảnh siêu âm

Kỹ thuật điều khiển điện tử cho điều khiển hướng và độ hội tụ của búp sóng siêu âm

Để hội tụ các sóng siêu âm tới một điểm hội tụ xác định, một tập các phần tử đầu dò được cấp

năng lượng với một tập các xung trễ so với nhau về thời gian để tạo ra một tập các sóng siêu âm truyền qua vùng thăm khám. Quá trình này sử dụng nhiều sóng siêu âm để lái (steering) và hội tụ (focusing) một búp sóng âm và

thường được biết đến dưới thuật ngữ “beamforming”. Sau khi các phần tử đầu dò tạo ra được các sóng âm, chúng sẽ trở thành các bộ cảm biến (sensors) để thu nhận các sóng phản xạ được tạo ra khi các sóng siêu âm truyền đi gặp phải các thay đổi về mật độ mô trong vùng thăm khám. Bằng cách trễ thời gian thích hợp giữa các xung cấp tới mỗi phần tử đầu dò, các sóng âm truyền đi từ các phần tử sẽ tới cùng một thời điểm (đồng pha) tại điểm hội tụ mong muốn với các độ sâu được tính toán trước dọc theo các đường quét. Biên độ của các sóng phản xạ định dạng thông tin cơ sở cho ảnh siêu âm tại vị trí hội tụ này. Kỹ thuật phát hiện đường bao được sử dụng để phát hiện các đỉnh (peak) của tín hiệu nhận và sau đó kỹ thuật nén phi tuyến (log compression) được sử dụng để giảm phạm vi động, tăng hiệu quả hiển thị ảnh. Khi tất cả các biên độ của tất cả các điểm hội tụ được xác định, chúng sẽ được hiển thị lên màn hình thông qua một kỹ thuật gọi là chuyển đổi quét (scan conversion). Các phần tiếp theo sẽ tập trung vào việc mô tả kỹ thuật tính toán độ trễ để điều khiển hướng và độ hội tụ của các búp sóng siêu âm.



Hình 2: mô tả hình học cho điều khiển búp sóng siêu âm

Giả sử mỗi phần tử áp điện của đầu dò được điều khiển với cùng dạng sóng xung, $p(t)$. Thời gian truyền sóng t_i của phần tử

áp điện thứ i tới điểm hội tụ có thể được biểu diễn như sau:

$$t_i = \frac{\sqrt{R_{ip}^2 + x_i^2 - 2x_i R_{ip} \sin(\theta)}}{c} \quad (1)$$

Với x_i là tọa độ trục x của phần tử áp điện thứ i ; R_{ip} là khoảng cách theo tâm từ gốc tới điểm hội tụ; θ là góc giữa điểm hội tụ và trục z; và c là vận tốc âm thanh trong môi trường cơ thể. Nói chung, có nhiều điểm hội tụ có cùng góc θ (cùng đường quét) được phân tích làm cho R_{ip} là một hàm theo thời gian.

Để đảm bảo các sóng siêu âm từ mỗi phần tử áp điện tới điểm hội tụ tại cùng một thời điểm, sóng xung tới mỗi phần tử áp điện phải được trễ một lượng thời gian như trong công thức [1]. Từ công thức [1], thời gian truyền sóng cực đại đối với mỗi điểm hội tụ cho trước (R_{ip} , θ) sẽ được tính như sau:

$$t_{max} = \frac{\sqrt{R_{ip}^2 + x_{max}^2 + 2x_{max} R_{ip} \sin(\theta)}}{c} \quad (2)$$

Giá trị t_{max} này được sử dụng như tham chiếu để tính các giá trị trễ đảm bảo thời gian bắt đầu

$$p_i(t) = p(t - \tau_i) \quad (3)$$

trong đó $\tau_i = t_{max} - t_i$

Khi các sóng siêu âm tới điểm hội tụ, một số sóng âm sẽ bị phản xạ ngược về phía các phần tử áp điện. Hiện tượng này cũng có thể coi điểm hội tụ phát ra sóng siêu âm và các phần tử áp điện của đầu dò sẽ ghi lại các sóng siêu âm đó. Và như thế, thời gian truyền sóng từ điểm hội tụ quay lại phần tử áp điện thứ i cũng sẽ được tính theo công thức [1]. Tín hiệu nhận được, $r(t)$, sau khi được căn chỉnh đồng pha về thời gian được biểu diễn như sau:

$$r(t) = \sum_{i=1}^N A_{ri} \sum_{j=1}^N A_{tj} p(t - \tau_{ri} - \tau_{tj}) \quad (4)$$

trong đó, A_{ri} là hệ số hiệu chỉnh đối với mỗi tín hiệu nhận; A_{tj} là hệ số hiệu chỉnh đối với mỗi tín hiệu truyền; τ_{ri} là thời gian trễ đối với tín hiệu nhận; và τ_{tj} là thời gian trễ đối với mỗi tín hiệu truyền. Các hệ số hiệu chỉnh dùng để định hình búp sóng truyền và bù trọng số đối với tín hiệu nhận. Các búp sóng phụ có thể được giảm đáng kể bằng cách thay đổi thích hợp các hệ số này.

Quá trình “beamforming” có thể được chia thành 2 thành phần chính: lái tia (steering) và hội tụ (focusing). Lái tia được thực hiện bằng cách điều chỉnh góc θ hay điều khiển hướng của búp sóng, và hội tụ được thực hiện tại các khoảng thời gian khác nhau dọc theo một đường quét cho trước. Một sự thực hiện hiệu quả sẽ có ΔR_{ip} lớn nhất có thể để nhiều điểm ảnh có thể đạt được với cùng một tuần tự xung đơn tới các phần tử áp điện. Tuy nhiên, công thức [1] không thể được phân chia riêng rẽ thành 2 thành phần: một chỉ phụ thuộc vào R_{ip} và một chỉ phụ



Các mẫu máy siêu âm đen trắng xách tay do AMEC chế tạo

thuộc vào θ . Vì vậy, một giải pháp phổ biến là xấp xỉ công thức [1] với một biểu diễn chuỗi Taylor như sau:

$$t_i \approx \frac{R_{fp} - \sin(\theta) x_i + \frac{\cos^2(\theta)}{2R_{fp}} x_i^2}{c} \quad (5)$$

Công thức xấp xỉ bậc hai [5] được đưa ra dựa trên tối thiểu lỗi trung bình bình phương đối với giá trị R_{fp} dưới các điều kiện được xem xét ở phần mô tả trên. Các lỗi lớn nhất (peak) nhỏ hơn 1/8 bước sóng. Trong công thức [5], số hạng tuyến tính, $-\frac{\sin(\theta)}{c} x_i$,

được xem như thành phần lái tia bởi nó chỉ phụ thuộc vào góc θ và không đổi đối với toàn bộ điểm hội tụ dọc theo một đường quét. Số hạng bậc hai, $\frac{\cos^2(\theta)}{2cR_{fp}} x_i^2$,

được xem như thành phần hội tụ động bởi nó phụ thuộc vào điểm hội tụ và được sử dụng để điều chỉnh điểm hội tụ của dữ liệu nhận được từ các phần tử áp điện. Cũng có thể thấy rằng, $x_i = i\Delta x$, với i là số kênh và Δx là khoảng cách giữa các phần tử áp điện. Vì vậy, số hạng tuyến tính và số hạng bậc hai của công thức [5] có

thể được biểu diễn theo số kênh cho dễ thực hiện trên phần mềm tính toán và điều khiển. Trước khi được lập trình trên phần cứng, các tính toán trên được thực hiện trên MATLAB và mô phỏng để kiểm tra kết quả.

Kết luận

Trong thực tế triển khai phát triển phần mềm siêu âm của các hãng trên thế giới, có 2 xu hướng điều khiển cho kỹ thuật “beamforming”: (1) xu hướng tính toán trước các độ trễ đối với mỗi phạm vi thăm khám (bài thăm khám) cụ thể, đối với mỗi loại đầu dò cụ thể; và (2) xu hướng tính toán các độ trễ tức thời (online) tại thời điểm thực hiện thăm khám. Mỗi phương án có các ưu/nhược điểm riêng, việc chọn phương án tính toán sẽ phụ thuộc vào tốc độ xử lý phần cứng, hiệu quả trong giải thuật phần mềm.

Trong quá trình thực hiện dự án sản xuất thử nghiệm cấp nhà nước về thiết kế, chế tạo và sản xuất máy siêu âm đen trắng xách tay (giai đoạn 2012-2014), Công ty Cổ phần Công nghệ AMEC đã lựa chọn phương pháp (1) để

giảm công suất tiêu thụ cho thiết bị và đây cũng là phương pháp được chọn lựa thực hiện trên các máy siêu âm của các hãng nổi tiếng như GE, Aloka... Hiện nay, dự án vẫn đang trong quá trình triển khai nhằm thực hiện các mục tiêu: 1. Hoàn thiện quy trình công nghệ sản xuất máy siêu âm đen trắng có Doppler xung; 2. Xây dựng quy trình kiểm tra và bảo đảm chất lượng theo tiêu chuẩn của Bộ Y tế; 3. Đánh giá và hoàn thiện quy trình sản xuất; 4. Sản xuất 3 máy siêu âm đen trắng xách tay để hiệu chỉnh kiểm tra và sản xuất lô đầu tiên 37 chiếc để kiểm định và thử nghiệm lâm sàng. Sau khi dự án kết thúc, AMEC sẽ tiến tới mục tiêu sản xuất hàng loạt và cung cấp máy siêu âm đen trắng xách tay chủ yếu cho các cơ sở y tế tuyến huyện, xã trong cả nước, đáp ứng nhu cầu thực tiễn và tiết kiệm chi phí nhập khẩu loại thiết bị này ■