

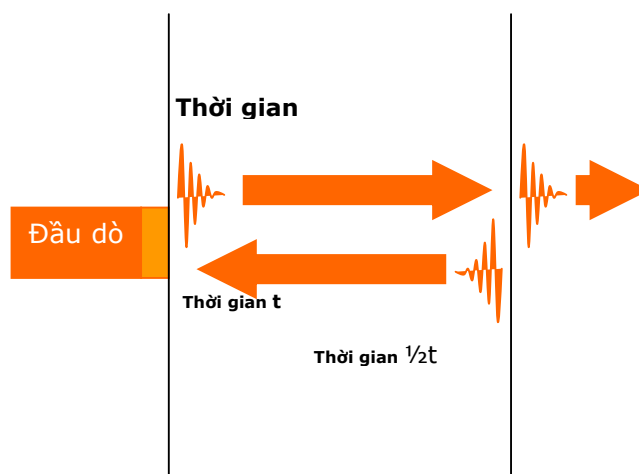
Chương 9:

HIỆN TƯỢNG CROSSTALK

Hiện tượng đọc chéo (crosstalk) là hiện tượng cảm biến siêu âm này ghi nhận tín hiệu phát ra hoặc phản xạ từ cảm biến siêu âm khác. Điều này có thể xảy ra với bất kỳ cảm biến siêu âm nào, và hiện tượng này gây nên một sai số nhiều lớn nhất trong tất cả các hiện tượng gây ra sai số cho cảm biến siêu âm. [Borenstein95]

Phần này sẽ trình bày sơ lược về các hiện tượng sai số của siêu âm và phương pháp EERUF để xử lý hiện tượng đọc chéo của cảm biến siêu âm Polaroid 6500 (**Phụ lục C: Cảm biến Polaroid 6500**)

9.1. Nguyên lý TOF



Hình 9.1: Nguyên lý TOF

Nguyên lý TOF (time of flight) là nguyên lý đo khoảng cách bằng thời gian truyền của sóng. Phương pháp này được đặc biệt ứng dụng với các thiết bị sử dụng sóng siêu âm do vận tốc di chuyển của sóng trong không khí và trong các vật liệu khác tương đối chậm, và người ta có thể đo được khoảng cách với sai số nhỏ (khoảng 343m/s trong không khí). [Thuan03]

Phương pháp này không được dùng trong các thiết bị thu nhận sóng điện từ, vì vận tốc sóng điện từ rất cao bằng với vận tốc ánh sáng (300.000 km/s).

Khoảng cách từ thiết bị phát đến chướng ngại vật được tính bằng vận tốc của sóng trong môi trường tương ứng nhân với một nửa thời gian truyền của sóng (xem hình 9.1).

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (9.1)$$

Trong đó, d là khoảng cách cần đo, v là vận tốc sóng siêu âm trong môi trường truyền sóng, t là thời gian từ lúc sóng được phát đi đến lúc sóng được ghi nhận lại.

Phương pháp này có một nhược điểm là khi sóng được phát ra, ta không quản lý được các sóng tán xạ và phản xạ, chỉ biết rằng đa số năng lượng sóng phản xạ tập trung vào tia phản xạ theo nguyên lý góc tới bằng góc phản xạ. Mặt khác, ngoại trừ các thiết bị siêu âm chuyên dụng, các cảm biến siêu âm thông thường có góc mở lớn, sẽ dẫn đến nhiều sai số mà chúng ta sẽ đề cập trong phần này.

9.2. Các sai số nhiều phổ biến với cảm biến siêu âm

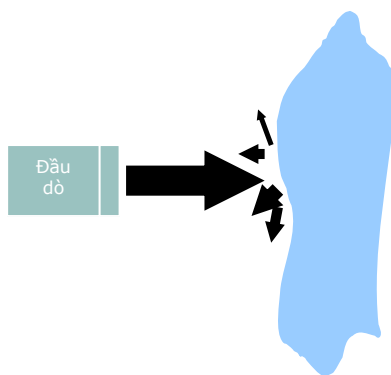
9.2.1. Sai số lặp

Sai số lặp là sai số luôn xảy ra với tất cả các thiết bị đo lường nào, trong đó có cả cảm biến siêu âm. Cảm biến siêu âm Polaroid 6500 được nhà sản xuất cung cấp sai số lặp là 3% so với khoảng cách trả về của cảm biến. Trong giải thuật của chương trình mô phỏng CabSim, chúng ta sẽ dùng thông số này cho việc tính toán.

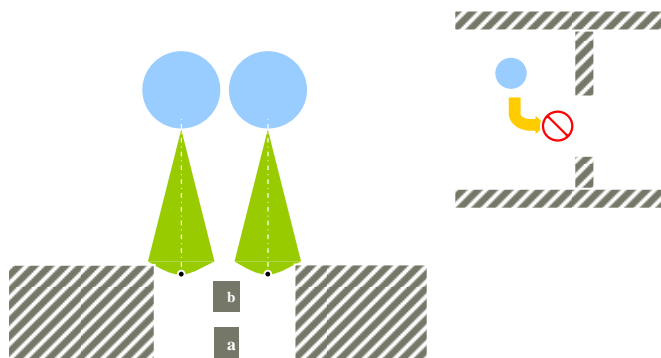
9.2.2. Hiện tượng forecasting

Hiện tượng Forecasting là hiện tượng phản xạ góc sai lệch của cảm biến. Do nguyên lý TOF, để có khoảng cách đúng, cảm biến siêu âm phải hướng vuông góc với bề mặt chướng ngại vật cần đo. Tuy nhiên, các chướng ngại vật không bao giờ là phẳng, mịn, nên tia phản xạ có thể không tương ứng với góc tới. Các chùm tia phản xạ này có năng lượng phản xạ thấp hơn. Tuy vậy, ở một khoảng cách nào đó, cảm biến siêu âm vẫn có thể ghi nhận được những tín hiệu phản xạ này. Kết quả, thông số đọc về của cảm biến siêu âm bị lệch do góc mở của cảm biến siêu âm lớn. [Thuan03],[Murphy00]

Hình ảnh về hiện tượng Forecasting như sau:



Hình 9.2: Sự phản xạ của sóng siêu âm trên bề mặt vật liệu



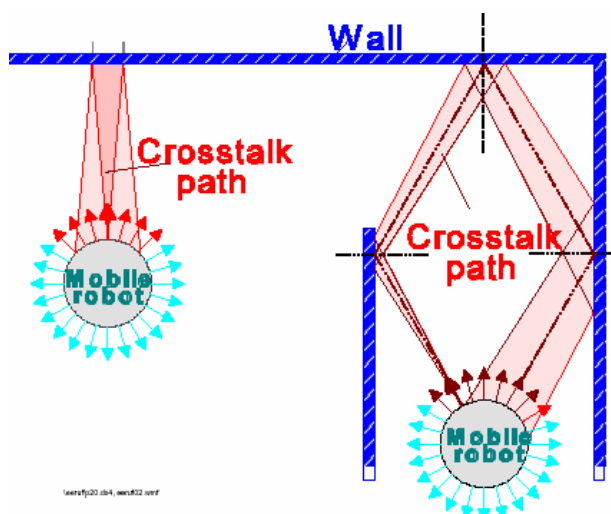
Hình 9.3: Hiện tượng Forecasting

Ngoài ra, vì góc mở rộng, nên không chỉ sai về nhận dạng vị trí chướng ngại vật, mà khoảng cách ghi nhận cũng bị sai lệch. Tuy vậy, sai số này không đáng kể như sai số do hiện tượng đọc chéo gây ra. Vì sai số này là sai số có thể quản lý được, trong khi đó, sai số do hiện tượng đọc chéo không thể quản lý được. Sau đây chúng ta sẽ tìm hiểu về hiện tượng đọc chéo và phương pháp xử lý hiện tượng đọc chéo.

9.2.3. Hiện tượng crosstalk

Hiện tượng đọc chéo (crosstalk) là hiện tượng mà cảm biến siêu âm này ghi nhận tín hiệu phản xạ hoặc trực tiếp từ cảm biến siêu âm khác, hoặc sau quá trình sóng siêu âm truyền đi và phản xạ qua các bề mặt quay lại cảm biến một cách không mong muốn.

Hình sau đây mô tả hiện tượng đọc chéo của cảm biến siêu âm.



Hình 9.4: Hiện tượng đọc chéo

9.3. Phân loại hiện tượng đọc chéo

Hiện tượng đọc chéo có thể phân loại thành hai loại chính:

Loại 1 là hiện tượng nhiều robot hoạt động trong cùng một môi trường, và cảm biến siêu âm này ghi nhận tín hiệu của cảm biến siêu âm kia một cách trực tiếp hoặc gián tiếp, hoặc do sóng siêu âm di chuyển trong không gian sau một thời gian ngẫu nhiên nào đó quay trở lại cảm biến.

Loại 2 là hiện tượng cảm biến siêu âm này ghi nhận tín hiệu của cảm biến siêu âm kia trên cùng robot sau quá trình phản xạ.

Cần phải phân biệt hai quá trình đọc chéo này, bởi vì ta thấy rằng, đối với hiện tượng đọc chéo loại một, rõ ràng, sóng siêu âm sai lệch là ngẫu nhiên, không dự đoán được. Tuy nhiên, vì tính ngẫu nhiên này, việc xử lý nhiễu (tín hiệu sai từ cảm biến khác) trở nên dễ dàng hơn. Trong khi đó, tín hiệu sai khi hai cảm biến gắn trên cùng robot, và gặp một chướng ngại vật có khả năng gây ra hiện tượng đọc chéo, thì dường như các kết quả ghi nhận sẽ khiến cho cảm biến nhận không thể nào phân biệt được đâu là nhiễu, đâu là tín hiệu của bản thân nó phát ra.

Thuật toán EERUF cho phép xử lý cả hai loại của hiện tượng đọc chéo.

Ý tưởng cơ bản của thuật toán này nằm ở chỗ, xem các tín hiệu ghi nhận được là nhiễu, và sử dụng những quy định phát và thu để loại bỏ được các nhiễu không hợp lý.

9.4. Xử lý hiện tượng đọc chéo của siêu âm

9.4.1. Thuật ngữ

Đường đọc chéo (crosstalk path): một đường nối giữa hai cảm biến xảy ra hiện tượng đọc chéo và đi từ cảm biến phát đến cảm biến thu tín hiệu nhiễu đó.

Đường trống (critical path): đường đi của sóng siêu âm không tạo ra hiện tượng crosstalk, nghĩa là đường đi đúng của sóng siêu âm

Cảm biến phát: để đơn giản trong việc giải thích, trong phần này, cảm biến phát được hiểu là cảm biến phát ra sóng siêu âm và gây nên hiện tượng đọc chéo.

Cảm biến thu: tương tự, là cảm biến nhận được tín hiệu không mong muốn khi xảy ra hiện tượng đọc chéo. Khi có nhiều cảm biến trong cùng một môi trường có thể có nhiều đường đọc chéo, và nhiều cảm biến thu hoặc cảm biến phát. Nếu chỉ xét các đường đọc chéo từ một cảm biến thì có thể có nhiều đường đọc chéo từ cảm biến đó, đi đến nhiều cảm biến thu khác.

9.4.2. Các ký hiệu được sử dụng

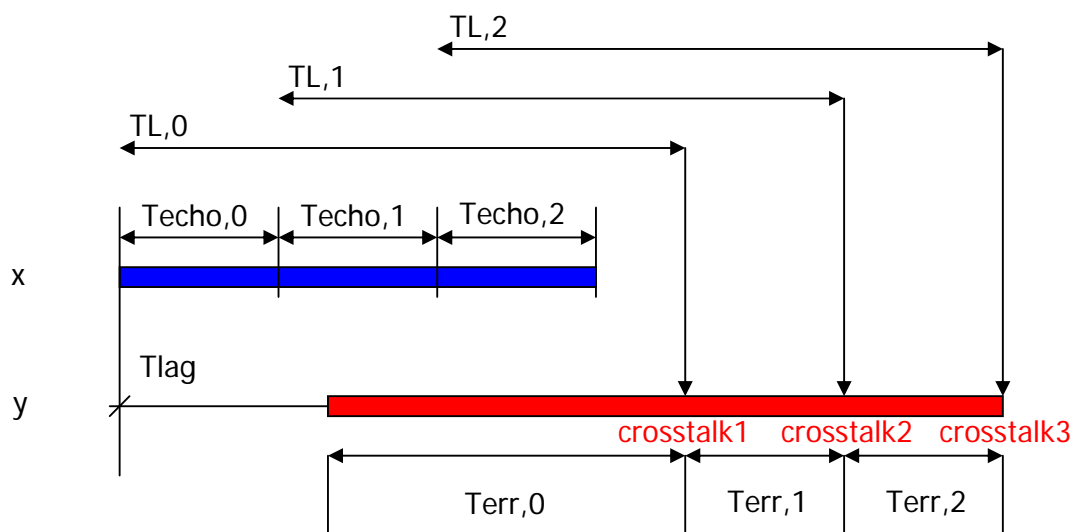
Bảng 9.1: Các ký hiệu trong thuật toán xử lý hiện tượng đọc chéo

Ký hiệu	Ý nghĩa	Ghi chú
a, b	Chỉ số của thời gian trễ $T_{wait,a}, T_{wait,b}$	
n,m	Chỉ số của sự kiện xảy ra đường đọc chéo	
t_0	Thời điểm đầu trong các biểu đồ	
t_{ct}	Thời điểm xảy ra hiện tượng crosstalk	
x	cảm biến phát	
y	cảm biến thu	
L	chiều dài đường đọc chéo	
T_δ	thời gian sai lệch lớn nhất của các sai số lặp	Sai số lặp
T_{echo}	Thời gian từ lúc cảm biến phát, đến lúc nó nhận được tín hiệu	Không cần biết có phải do nó phát ra hay không
T_{err}	Sai số do hiện tượng đọc chéo	
T_{fire}	Thời gian tính từ lúc ta chuẩn bị phát đến lúc sóng siêu âm được phát đi	
T_{idle}	Thời gian kể từ lúc cảm biến thu nhận được sóng siêu âm đến khi có thể bắt đầu phát lần tiếp theo	
$T_{i,nom}$	Thời gian giữa những lần phát của các cảm biến trong một nhóm	
$T_{i,min}$	Khoảng thời gian ngắn nhất giữa những lần phát của các cảm biến trong cùng một nhóm	
T_{lag}	Khoảng thời gian kể từ khi cảm biến đầu tiên phát đến lúc một cảm biến nào đó bắt đầu phát	
T_p	Chu kỳ lặp của quá trình thu phát nhiều cảm biến	
T_{wait}	Khoảng thời gian chờ trước khi phát một cảm biến cho đến khi cảm biến đó được ra lệnh phát	
T_{wind}	Là khoảng thời gian cảm biến ở chế độ chờ đến khi nhận được tín hiệu phản xạ	
$T_{L,n}$	Khoảng thời gian sóng di chuyển nhưng không xảy ra crosstalk	

9.4.3. Phân tích xử lý hiện tượng crosstalk

Mục tiêu của việc xử lý hiện tượng đọc chéo là nhằm nâng cao tốc độ đọc cảm biến và biết được khi nào một đường đọc chéo xảy ra. Ngoại trừ mục tiêu biết được khi nào có đường đọc chéo xảy ra, ta có thể phát một cảm biến và chờ đọc cảm biến đó, và đợi một thời gian để năng lượng sóng âm yếu dần và không thể gây ảnh hưởng lên các cảm biến khác. Tuy vậy, phương thức này làm cho thời gian đọc cảm biến tăng lên rất cao, vì mỗi lần đọc sẽ phải chờ ít nhất 200ms (đối với cảm biến Polaroid 6500 – xem Phụ lục C: Cảm biến siêu âm Polaroid 6500). Thêm vào đó, khi có các tác động nhiễu loạn 1 như phần trên đã trình bày, chúng ta không thể biết được khả năng xảy ra nhiễu. Nếu dùng một cảm biến để đọc nhiều lần, thì thời gian dành cho một cảm biến có thể lên đến 1 giây.

Rõ ràng, mục tiêu đọc nhanh là cần thiết khi xử lý hiện tượng đọc chéo này. Cụ thể hơn, cần làm giảm thời gian T_p trong bảng 9.1.



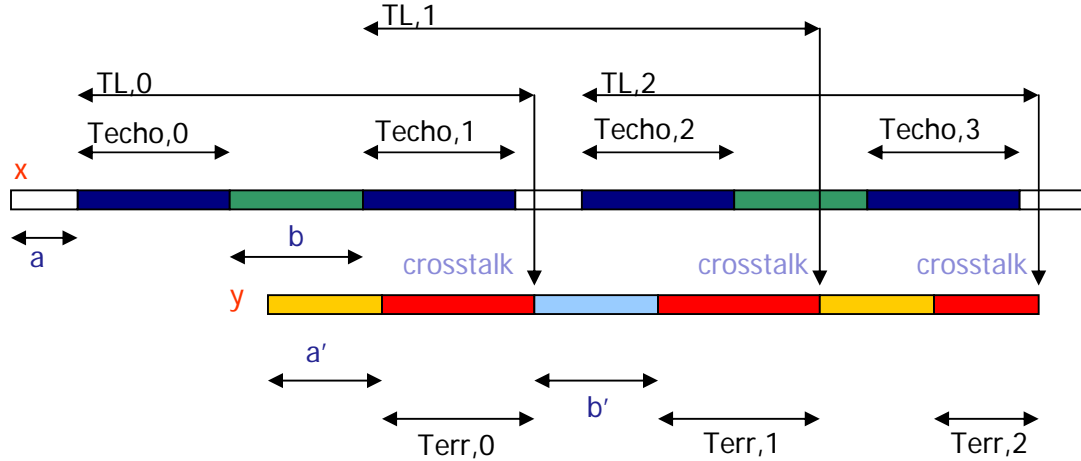
Hình 9.5: Đặt lịch thời gian phát sóng

Trong hiện tượng đọc chéo loại 1, nếu cho rằng các đường đọc chéo có thể hình thành một cách ngẫu nhiên và không thể xác định trước, ta thấy rằng hoàn toàn có thể dùng phương pháp lặp, đọc nhiều lần để nhận ra được tín hiệu lần đầu ghi nhận được là tín hiệu nhiễu. Như vậy, việc đọc cảm biến nhiều lần cho phép ta loại bỏ các đường đọc chéo ngẫu nhiên. Tuy vậy, với loại 2, không có sự phân biệt giữa đường đọc chéo lần thứ hai và lần thứ ba, như hình 5. Kết quả, chúng ta sẽ ghi nhận một kết quả sai.

Borenstein chỉ ra phương pháp đọc như hình 6, đảm bảo cho kết quả đọc tốt và phát hiện đường đọc chéo khi nó xuất hiện. Trong đó, thay vì dùng những khoảng thời gian giống nhau để chờ giữa các lần đọc, chúng ta thay đổi các giá trị thời gian chờ này sau mỗi chu kỳ đọc. Như vậy, nếu kết quả các

lần đọc liên tiếp của cảm biến thu là khác nhau và lệch nhiều hơn sai số lặp cho phép thì chắc chắn có ít nhất một đường đọc chéo xảy ra.

Đây là phương pháp lập luận đơn giản. Phần sau sẽ trình bày chứng minh cụ thể cho phương pháp này. Vấn đề mấu chốt của phương pháp là làm thế nào để ta có thể lựa chọn được các khoảng thời gian chờ khác nhau khi có rất nhiều cảm biến (khoảng 24 cảm biến) được đặt trên robot? Phần chứng minh thuật toán sẽ giúp chúng ta lựa chọn các khoảng thời gian chờ này một cách hợp lý nhất.



Hình 9.6: Phương pháp xử lý hiện tượng đọc chéo

9.4.4. Chứng minh

Nếu cho rằng cảm biến sẽ phát lại ngay sau khi nó nhận được sóng phản xạ, chúng ta có thể tính thời gian xảy ra hiện tượng crosstalk như sau:

Đối với x,

$$t_{ct}(n) = (n-1)T_{echo} + T_{L,n} \quad (9.2)$$

Đối với y,

$$t_{ct}(n) = T_{lag} + \sum_{m=0}^{n-1} T_{err}(m) \quad (9.3)$$

Khi xảy ra hiện tượng crosstalk, ta tính được thời gian lần đầu cảm biến sẽ ghi nhận là $T_{err,0}$:

$$T_{err,0} = T_{L,0} - T_{lag} \quad (9.4)$$

Viết lại công thức (9.3) ta có,

$$t_{ct}(n) = T_{L,0} + \sum_{m=1}^{n-1} T_{err}(m) \quad (9.5)$$

Tại thời điểm xảy ra hiện tượng đọc chéo, phương trình (9.5) bằng phương trình (9.2). Ta có,

$$(n-1)T_{echo} + T_{L,n} = T_{L,0} + \sum_{m=1}^{n-1} T_{err}(m) \quad (9.6)$$

Và chúng ta thấy rằng, nếu sai số của mỗi lần đọc là T_δ , thì ta sẽ có

$$(n-1)(T_{echo} \pm T_\delta) = \sum_{m=1}^{n-1} T_{err}(m) \quad (9.7)$$

Phương trình (9.7) đúng với mọi m, khi và chỉ khi

$$T_{echo} \pm T_\delta = T_{err} \quad (9.8)$$

Điều này có nghĩa là, thời gian thu nhận tín hiệu của cảm biến siêu âm đúng ngay từ lần phát thu đầu tiên, và các lần thu phát sau gần đúng bằng lần thu phát trước. Như vậy, chúng ta biết chắc không có hiện tượng đọc chéo xảy ra. Còn nếu không, thì ta phải khẳng định được rằng có hiện tượng đọc chéo. Theo như cách trình bày trên **hình 9.6**, vấn đề bây giờ là đi tìm a và b đối với mỗi cảm biến.

Theo như trình bày ở **hình 9.6**, nếu chúng ta đặt lần lượt thời gian chờ sau mỗi lần phát thay đổi, thì chúng ta sẽ có:

$$T_{err,0} = T_{x,wait,a} + T_{L,0} - T_{y,wait,a} - T_{lag} \quad (9.10)$$

$$T_{err,n} = T_{x,wait,b} - T_{y,wait,b} + T_{echo,n} \quad (\text{với } n \text{ lẻ}) \quad (9.11)$$

$$T_{err,n} = T_{x,wait,a} - T_{y,wait,a} + T_{echo,n} \quad (\text{với } n \text{ chẵn}) \quad (9.12)$$

Khi xảy ra hiện tượng đọc chéo, rõ ràng ta có

$$|T_{err,n+1} - T_{err,n}| > T_\delta \quad (9.13)$$

$$\left| |T_{x,wait,a} - T_{y,wait,a}| - |T_{x,wait,b} - T_{y,wait,b}| \right| - |T_{echo,n+1} - T_{echo,n}| > T_\delta \quad (9.14)$$

Suy ra,

$$\left| |T_{x,wait,a} - T_{y,wait,a}| - |T_{x,wait,b} - T_{y,wait,b}| \right| > 2T_\delta \quad (9.15)$$

Như vậy, căn cứ vào biểu thức này, nếu ta chọn được a và b cho cả x và y thỏa công thức (9.15)

Trong đó, T_δ được xem là 3% khoảng cách đo lớn nhất. Ở đây, cho việc làm thí nghiệm, chúng ta sẽ giới hạn khoảng cách đo và chu kỳ đo là 65535 micro giây. Các thí nghiệm ở phần sau sẽ trình bày rõ phương pháp đo.

9.5. Thí nghiệm với hai cảm biến siêu âm

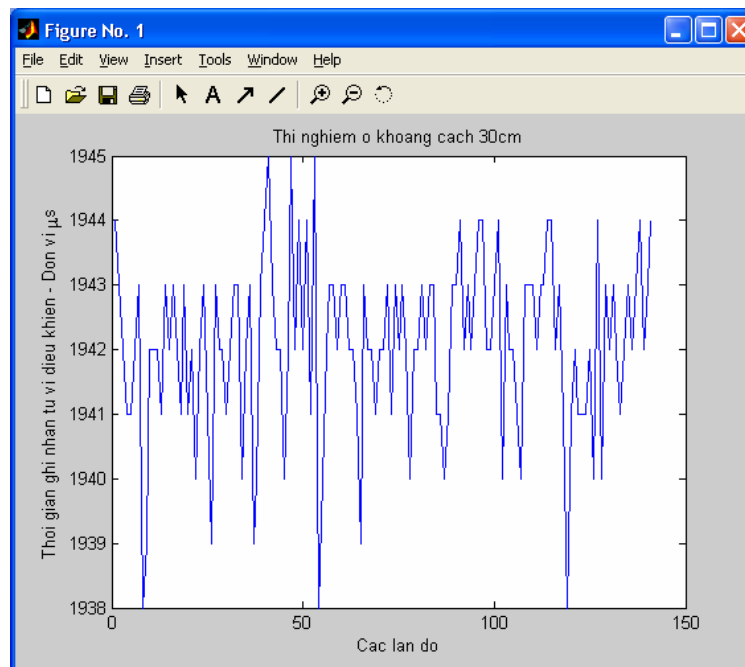
Thí nghiệm được tiến hành theo hai giai đoạn. Giai đoạn 1 là xác định lại các thông số đúng khi đo khoảng cách với cảm biến siêu âm. Giai đoạn 2, thí nghiệm với hiện tượng crosstalk.

9.5.1. Xác định các thông số cho cảm biến

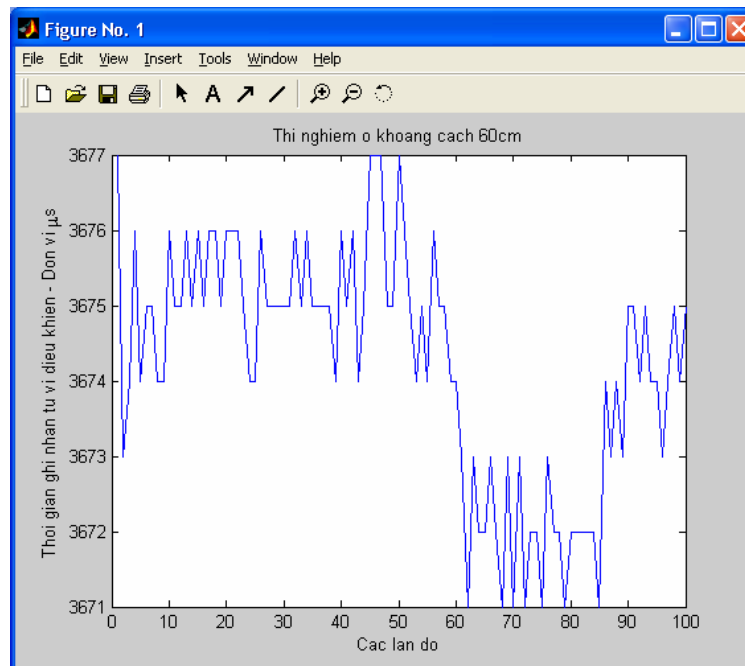
Phương pháp thực nghiệm ở đây là xác định một khoảng cách chính xác, để xem kết quả trả về của cảm biến (tính theo đơn vị thời gian, microgiây). Dùng chương trình fit data để xác định các thông số offset (do trễ thời gian khi lập trình vi điều khiển bằng CCS C), xác định vận tốc sóng siêu âm truyền trong môi trường thí nghiệm.

$$time = \frac{2s}{v} + \text{offset} \quad (9.16)$$

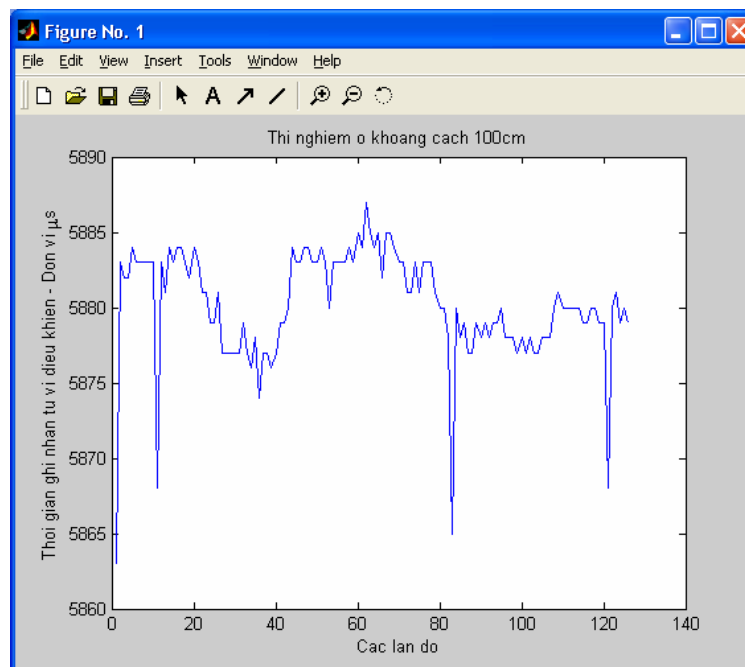
Trong đó, time là thời gian ghi nhận được từ vi điều khiển với đơn vị microgiây, s là khoảng cách cố định cho trước. Hình dưới đây là các kết quả đo được:



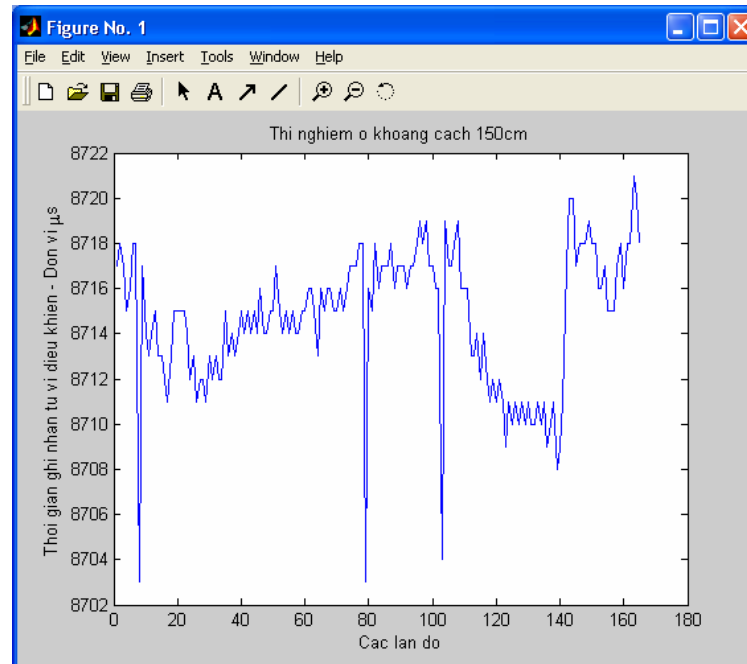
Hình 9.7a: Thí nghiệm ở khoảng cách 30 cm



Hình 9.7b: Thí nghiệm ở khoảng cách 60 cm



Hình 9.7c: Thí nghiệm ở khoảng cách 100 cm



Hình 9.7d: Thí nghiệm ở khoảng cách 150 cm

Microsoft Excel - Book1

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

VietkeyO2.1 Adobe PDF

Arial 10 B U

D31 =AVERAGE(D1:D30)

	A	B	C	D	E
25	1941	3676	5879	8712	
26	1939	3675	5881	8713	
27	1943	3675	5877	8711	
28	1942	3675	5877	8712	
29	1941	3675	5877	8712	
30	1942	3675	5877	8711	
31	1941.667	3675.133	5880.567	8713.9	
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					

Sheet1 Sheet2 Sheet3

Ready

Hình 9.8: Dùng Excel để tìm các giá trị trung bình

Sau đó, chúng ta tìm các giá trị trung bình của 30 giá trị đầu đo được. Theo nguyên tắc lấy mẫu thống kê thì với số lượng tập nguồn là vô hạn, thì chỉ lấy 30 mẫu, và chúng ta chọn 30 giá trị đầu của các lần thí nghiệm. (hình 9.8)



Hình 9.9: Tìm vận tốc sóng siêu âm

Với các giá trị trung bình tìm được, dùng chương trình RJS để tìm đường hồi quy tuyến tính tốt nhất.

Chúng ta có, kết quả sau (hình 9.9)

$$time = 28.1445 \bullet 2s + 268.24 \quad (9.17)$$

Suy ra,

$$v = \frac{1}{28.1445} [cm / \mu s] \quad (9.18)$$

$$v = 0.0355 [cm / \mu s] \quad (9.19)$$

Và chúng ta có offset là 269 micro giây.

Trong thí nghiệm này, chúng ta nhận thấy rằng, giá trị vận tốc sóng siêu âm có lệch so với một số tham khảo khác. Điều này có thể lý giải rằng khi đặt cảm biến, vị trí của cảm biến so với chướng ngại vật không tuyệt đối chính xác. Ngoài ra, do hạn chế về không gian thí nghiệm, số lượng mẫu chỉ có 4,

nên không phản ánh tốt kết quả. Để có kết quả tốt hơn, cần lấy khoảng 30 mẫu. Vì cảm biến siêu âm Polaroid 6500 có tầm đo là 10m, do đó, các khoảng cách lấy mẫu được đề nghị là: 30cm, 60cm, 90cm...750cm...990cm. Lưu ý rằng khi đo ở khoảng cách gần, kỹ thuật đọc cảm biến siêu âm sẽ khác với khi đo ở khoảng cách xa. (xem **Phụ lục C: Cảm biến siêu âm Polaroid 6500**)

9.5.2. Thí nghiệm với hiện tượng crosstalk

Thí nghiệm với hai cảm biến siêu âm đặt cạnh nhau, khoảng cách đo 150 cm, cảm biến 1 phát trước, sau đó chờ 10ms, cảm biến 2 phát sau, chúng ta thu được kết quả như **bảng 9.2** dưới đây (xem **Phụ lục D: Mã nguồn**)

Bảng 9.2: Dữ liệu trả về máy tính qua RS232

range_1 = 8726		range_2 = 6295		range_1 = 8727		range_2 = 6294	
range_1 = 8728		range_2 = 6284		range_1 = 8724		range_2 = 6291	
range_1 = 8723		range_2 = 6289					

Kết quả đo này phản ánh rõ hiện tượng đọc chéo đã xảy ra, và cho kết quả không tốt. Tuy nhiên, nếu hiện tượng này xảy ra và quan sát được bằng các giá trị trả về như thế này, và trong một điều kiện đã biết trước, thì chúng ta dễ dàng phân biệt. Tuy nhiên, khi không biết trước điều kiện thí nghiệm, thì một robot sẽ không thể phân biệt được điều này.

Thuật toán xử lý đọc chéo ở đây sẽ giúp robot phân biệt được đâu là hiện tượng crosstalk, đâu là giá trị trả về tốt. Trong phần thí nghiệm, khi xảy ra hiện tượng đọc chéo, vi điều khiển sẽ cho kêu một tiếng bip để phân biệt. (xem **Phụ lục D: Mã nguồn**)

Dưới đây là một số cần thiết cho thí nghiệm:

Qua các thí nghiệm ở **hình 9.7**, ta thấy sai lệch lớn nhất là khoảng 50us. Tuy vậy, chúng ta sẽ chọn sai lệch lớn nhất là 100us ($T_{\delta} = 100\mu s$). Chúng ta sẽ chọn chu kỳ phát cho hai cảm biến là 65535us, tương ứng với độ lớn của timer1 để thuận tiện cho việc thí nghiệm. Ngoài ra, để thực hiện các lệnh in lên máy tính và xuất tín hiệu báo hiệu, chúng ta sẽ chọn các thời gian chờ của hai cảm biến sao cho hai cảm biến đều phát trong khoảng nửa chu kỳ đầu. Chúng tôi chọn thời gian chờ phát như sau:

$$T_{xwait,a} = 24ms$$

$$T_{xwait,b} = 18ms$$

$$T_{ywait,a} = 24ms$$

$$T_{ywait,b} = 12ms$$

Thời gian chờ của cảm biến thứ hai so với cảm biến thứ nhất là

$$T_{lag} = 25ms$$

Khi đó có thể tính dễ dàng ra các thời điểm phát của mỗi cảm biến (xem **Phụ lục D: Mã nguồn**)

Với cách chọn này, chúng ta sẽ đảm bảo công thức (9.15), và vì vậy, nếu sai lệch thông số đo về lớn hơn giá trị định trước là 100us thì chúng ta có thể kết luận hiện tượng đọc chéo đã xảy ra. Tuy nhiên, trong thí nghiệm này, chúng ta chỉ có 2 cảm biến siêu âm, nên độ lớn của các hằng số thời gian chờ phát là tương đối dễ lựa chọn. Nếu có nhiều cảm biến hơn, cần phải có các thí nghiệm và sự sắp xếp tốt hơn.

9.6. Kết luận

Phần này đã trình bày hai thí nghiệm rất cần thiết khi làm việc với cảm biến siêu âm. Các kết quả chưa được tốt do điều kiện thí nghiệm không đảm bảo các thông số đo. Tuy nhiên, các thí nghiệm này đã cho ra các kết quả phản ánh được những yêu cầu đặt ra.

Phương pháp này chỉ được tính toán với các đặc tính thời gian của cảm biến siêu âm Polaroid 6500. Tuy nhiên, dựa vào ý tưởng của phương pháp, có thể sử dụng cho các loại cảm biến siêu âm khác như SRFxx, Mars...

Phương pháp này tuy có thể nhận biết được các trường hợp sai do hiện tượng đọc chéo, nhưng do bản chất của hiện tượng đọc chéo, nên không thể sửa lỗi được (không thể tìm lại được kết quả chính xác). Muốn sửa lỗi để nhận rõ ảnh, cần dùng các phương pháp do giáo sư Roman Kuc đề nghị [Kuc90], [Kuc01], [Kuc03] và khả năng đọc nhiều sóng phản xạ của Polaroid 6500 [Acroname]. Tuy nhiên, trong luận văn này chưa đề cập đến các biện pháp xử lý đó.