



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)  
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0034275

(51)<sup>7</sup> H04S 7/00; H04R 3/04

(13) B

(21) 1-2018-02177

(22) 25/10/2016

(86) PCT/EP2016/075691 25/10/2016

(87) WO 2017/072118 04/05/2017

(30) 15191542.8 26/10/2015 EP

(45) 26/12/2022 417

(43) 27/08/2018 365A

(73) FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN  
FORSCHUNG E.V. (DE)

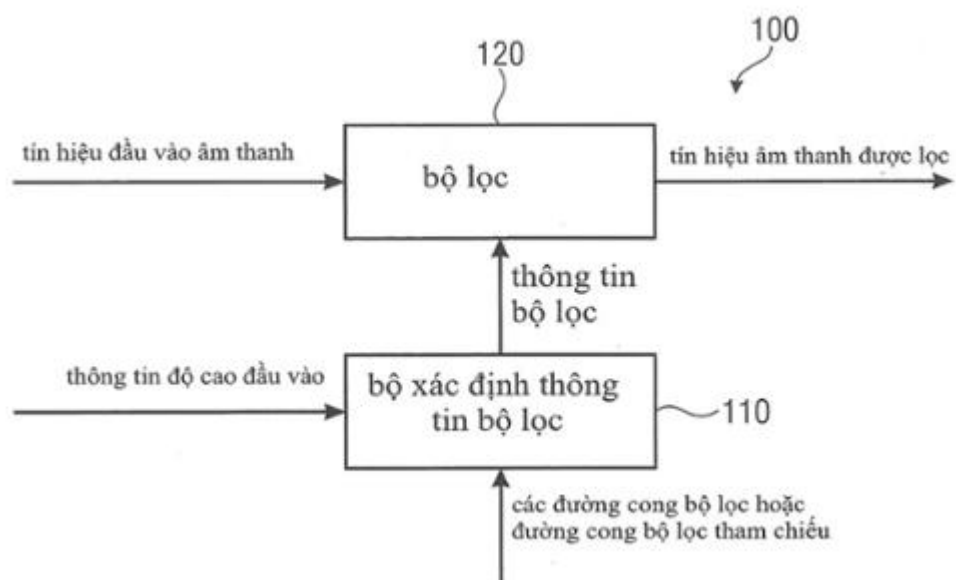
Hansastraße 27c, 80686 Muenchen, Germany

(72) KARAPETYAN, Aleksandr (DE); PLOGSTIES, Jan (DE); FLEISCHMANN, Felix  
(DE).

(74) CÔNG TY LUẬT TRÁCH NHIỆM HỮU HẠN AMBYS HÀ NỘI (AMBYS  
HANOI)

(54) THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP TẠO RA TÍN HIỆU ÂM THANH ĐƯỢC LỌC TỪ  
TÍN HIỆU ĐẦU VÀO ÂM THANH, THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP CUNG CẤP  
THÔNG TIN BIẾN ĐỔI HƯỚNG

(57) Sáng chế đề cập đến thiết bị và phương pháp tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh, thiết bị và phương pháp cung cấp thông tin biến đổi hướng. Thiết bị (100) để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh bao gồm bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào trong đó thông tin độ cao đầu vào phụ thuộc vào độ cao của nguồn âm thanh ảo. Hơn nữa, thiết bị (100) bao gồm bộ lọc (120) được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào thông tin bộ lọc. Bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng.



### **Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Sáng chế đề cập đến việc xử lý tín hiệu âm thanh, và cụ thể hơn, sáng chế đề cập đến thiết bị và phương pháp để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc thực hiện sự kết xuất nâng cao.

### **Tình trạng kỹ thuật của sáng chế**

Trong xử lý âm thanh, việc quét biên độ là một khía cạnh thường được sử dụng. Ví dụ, việc xem xét âm thanh lập thể, là kỹ thuật thông thường để định vị một cách chính thức nguồn âm thanh ảo ở giữa hai loa phát thanh. Để định vị nguồn âm thanh ảo được dời xa đến điểm lý tưởng, tương ứng với các âm thanh được phát lại với biên độ cao bởi loa phát thanh bên trái và được phát lại với biên độ thấp bởi loa phát thanh bên phải. Khía cạnh này có khả năng áp dụng tương đương cho âm thanh âm lập thể.

Hơn nữa, các khía cạnh tương tự để xoay chuyển các nguồn âm thanh ảo giữa các loa phát thanh trong mặt phẳng nằm ngang và các loa phát thanh được nâng cao. Tuy nhiên, các cách tiếp cận được áp dụng ở đây có thể không giống như được áp dụng cho âm thanh âm lập thể.

Do đó, sẽ được đánh giá cao nếu các khía cạnh về nâng cao hoặc hạ thấp các nguồn âm thanh ảo cho âm thanh âm lập thể được cung cấp.

Tương tự, sẽ được đánh giá cao nếu các khía cạnh về nâng cao hoặc hạ thấp các nguồn âm thanh ảo cho các loa phát thanh được cung cấp, nếu như tất cả các loa phát thanh được đặt trên cùng mặt phẳng, và nếu không có loa phát thanh nào được nâng lên hoặc hạ xuống về mặt vật lý so với các loa phát thanh khác.

## Tài liệu tham khảo

- [001] Rubak, P. and Johansen, L., "Artificial reverberation based on a pseudo-random impulse response 2", Proceedings of the 106<sup>th</sup> AES Convention, 4875, May 8-11, 1999
- [002] Kuttruff H. Room Acoustics, Fouth Edition, Spon Press, 2000
- [003] Jens Blauert, Räumliches Hören, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1974
- [004][https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akustik -  
Richtungsb%C3%A4nder.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akustik_-_Richtungsb%C3%A4nder.svg)
- [005] Litovsky et. al., Precedence effect, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 106, No. 4. Pt. 1. Oct 1999
- [006] V. Pullki, M. Karjalainen, Communication Acoustics, Wiley, 2015
- [007][http://www.sengpielaudio.com/PraktischeDatenZurStereo-  
Lokalisation.pdf](http://www.sengpielaudio.com/PraktischeDatenZurStereo-Lokalisation.pdf)
- [008] <http://www.sengpielaudio.com/Haas-Effekt.pdf>
- [009] G. Theile. On the Standardization of the Frequency Response of High Quality Studio Headphones. AES convention 77, 1985
- [010] F. Fleischmann, Messung, Vergleich and psychoakustische Evaluierung von Kopfhörer-Übertragungsmaßen, FAU Erlangen, Diplomarbeit, 2011
- [011] A Simple, Robust Measure of Reverberation Echo Density, J. Abel, P. Huang, AES 121st Convention, 2006 October 5-8
- [012] Perceptual Evaluation of Model- and Signal-Based Predictors of the Mixing Time in Binaural Room Impulse Responses, A. Lindau, L. Kosanke, S. Weinzierl, J. Audio Eng. Soc., Vol. 60, No. 11, 2012 November
- [013] Rubak, P. and Johansen, L., "Artificial reverberation based on a pseudo-random impulse response," in Proceedings of the 104th AES Convention, preprint 4875, Amsterdam, Netherlands, May 16 - 19, 1998.

[014] Rubak, P. and Johansen, L., "Artificial reverberation based on a pseudo-random impulse response II," in Proceedings of the 106th AES Convention, preprint 4875, Munich, Germany, May 8 - 11, 1999.

[015] Jot, J.-M., Cerveau, L., and Warusfel, O., "Analysis and synthesis of room reverberation based on a statistical time-frequency model," in Proceedings of the 103rd AES Convention, preprint 4629, New York, September 26 - 29, 1997.

[016] Stanley Smith Stevens: Psychoacoustics. John Wiley & Sons, 1975

[017] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/mlc-downloads/downloads/submissions/43856/versions/8/screenshot.jpg>

[018] Fourier Acoustics, Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography, Earl. G. Williams, Academic Press, 1999

[019] Richtungsdetektion mit dem Eigenmike Mikrofonarray, Messung und Analyse, M. Brandner, IEM, Kunst Uni Graz, 2013

[020] Bandwidth Extension for Microphone Arrays, B. Bernschütz, AES 8751, October 2012

[021] Zotter, F. (2009): *Analysis and Synthesis of Sound-Radiation with Spherical Arrays*. Dissertation, University of Music and Performing Arts Graz

[022] Sank J.R., Improved Real-Ear Test for Stereophones. J. Audio Eng Soc 28 (1980), Nr. 4, S.206-218

[023] Spikofski, G. Das Diffusfeldsonden-Übertragungsmass eines Studiokopfhörers. Rundfunktechnische Mitteilung Nr. 3, 1988

[024] Vision and Technique behind the New Studios and Listening Rooms of the Fraunhofer IIS Audio Laboratory, A. Silzle, AES 7672, May 2009

[025] <https://hps.oth-regensburg.de/~elektrogitarre/pdfs/kunstkopf.pdf>

[026] Localization with Binaural Recordings from Artificial and Human Heads, P. Minhaar, S. Olesen, F. Christensen, H. Moller, J Audio Eng. Soc, Vol 49, No 5, 2001 May

[027] <http://www.f07.fh-koeln.de/einrichtungen/nachrichtentechnik/>

forschung\_kooperationen/aktuelle\_projekte/asar/00534/index.html

[028] Entwurf und Aufbau eines variable sphärischen Mikrofonarrays für Forschungsanwendungen in Raumakustik und Virtual Audio. B. Bernschütz, C. Pörschmann, S. Spors, S. Weinzierl, DAGA 2010, Berlin

[029] Farina, A. Advances in Impulse Response Measurements by Sine Sweeps. AES Convention 122. Wien, Mai 2007

[030] Weinzierl, S. et. al. Generalized multiple sweep measurement. AES Convention 126, 7767. Munich, Mai 2009

[031] Weinzierl, S. Handbuch der Audiotechnik. Springer, 2008

[032] <https://web.archive.org/web/20160615231517/https://code.google.com/p/sofia-toolbox/wiki/WELCOME>

[033] E. C. Cherry. "Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears". J. Acoustical Soc. Am. vol. 25 pp. 975-979 (1953).

[034] [https://ccrma.stanford.edu/~jos/bbt/Equivalent\\_Rectangular\\_Bandwidth.html](https://ccrma.stanford.edu/~jos/bbt/Equivalent_Rectangular_Bandwidth.html)

[035] <http://de.mathworks.com/help/signal/ref/rceps.html>

### **Bản chất kỹ thuật của sáng chế**

Mục đích của sáng chế là đề xuất các khía cạnh được cải thiện để xử lý tín hiệu âm thanh.

Mục đích của sáng chế được giải quyết bởi thiết bị theo điểm 1, bởi thiết bị theo điểm 19, bởi phương pháp theo điểm 23, bởi phương pháp theo điểm 24, và bởi vật ghi có thể đọc được bằng máy tính chứa chương trình máy tính theo điểm 25.

Thiết bị tạo ra âm tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh được đề xuất. Thiết bị bao gồm bộ xác định thông tin bộ lọc được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, trong đó thông tin độ cao đầu vào phụ thuộc vào độ cao của nguồn âm thanh ảo. Hơn nữa, thiết bị bao gồm bộ lọc được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào thông tin bộ lọc. Bộ xác định thông tin bộ lọc được tạo cấu

hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, một đường cong bộ lọc được lựa chọn trong số nhiều đường cong bộ lọc, hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng.

Hơn nữa, thiết bị cung cấp thông tin biến đổi hướng được đề xuất. Thiết bị bao gồm nhiều loa phát thanh, trong đó từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh được tạo cấu hình để phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại, trong đó loa phát thanh thứ nhất thuộc nhiều loa phát thanh được đặt tại vị trí thứ nhất với độ cao thứ nhất, và trong đó loa phát thanh thứ hai thuộc nhiều loa phát thanh được đặt tại vị trí thứ hai mà khác với vị trí thứ nhất, với độ cao thứ hai, mà khác với độ cao thứ nhất. Hơn nữa, thiết bị bao gồm hai micrô, mà từng micrô trong số hai micrô được tạo cấu hình để ghi nhận tín hiệu âm thanh được ghi nhận bằng cách nhận các sóng âm từ từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh được phát ra bởi loa phát thanh đó khi phát lại tín hiệu âm thanh. Hơn nữa, thiết bị bao gồm bộ xác định đáp ứng xung của phòng âm lập thể được tạo cấu hình để xác định nhiều đáp ứng xung của phòng âm lập thể bằng cách xác định đáp ứng xung của phòng âm lập thể cho từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh mà phụ thuộc vào tín hiệu âm thanh được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu và phụ thuộc vào từng tín hiệu trong số các tín hiệu âm thanh được ghi mà được ghi bởi mỗi loa phát thanh thuộc hai loa phát thanh khi tín hiệu âm thanh được phát lại này được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu. Hơn nữa, thiết bị bao gồm bộ tạo đường cong bộ lọc được tạo cấu hình để tạo ra ít nhất một đường cong bộ lọc phụ thuộc vào hai trong số nhiều đáp ứng xung của phòng âm lập thể. Thông tin biến đổi hướng phụ thuộc vào ít nhất một đường cong bộ lọc.

Hơn nữa, phương pháp tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh được đề xuất. Phương pháp bao gồm các bước:

- Xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào trong đó thông tin độ cao đầu vào phụ thuộc vào độ cao của nguồn âm thanh ảo. Và:
- Lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào thông tin bộ lọc.

Việc xác định thông tin bộ lọc được thực hiện bằng cách sử dụng việc chọn lọc, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc. Hoặc, việc xác định thông tin bộ lọc được thực hiện bằng cách sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng.

Hơn nữa, phương pháp cung cấp thông tin biến đổi hướng được đề xuất. Phương pháp bao gồm các bước:

- Đối với từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh, việc phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại bởi loa phát thanh này và việc ghi các sóng âm được phát ra từ loa phát thanh đã nêu khi phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại này bởi hai micro để thu được tín hiệu âm thanh được ghi cho từng micro thuộc hai micro, trong đó loa phát thanh thứ nhất thuộc nhiều loa phát thanh được đặt tại vị trí thứ nhất với độ cao thứ nhất, và trong đó loa phát thanh thứ hai thuộc nhiều loa phát thanh được đặt tại vị trí thứ hai khác với vị trí thứ nhất, với độ cao thứ hai khác với độ cao thứ nhất.
- Xác định nhiều đáp ứng xung của phòng âm lập thể bằng cách xác định đáp ứng xung của phòng nghe bằng tai cho từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh phụ thuộc vào tín hiệu âm thanh được phát lại mà được phát lại bởi loa phát thanh đó và phụ thuộc vào từng tín hiệu trong số các tín hiệu âm thanh được ghi mà được ghi bởi từng micro trong số hai micro khi tín hiệu âm thanh được phát lại đã nêu được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu. Và
- Tạo ra ít nhất một đường cong bộ lọc phụ thuộc vào hai trong số nhiều đáp ứng xung của phòng âm lập thể. Thông tin biến đổi hướng phụ thuộc vào ít nhất một đường cong bộ lọc.

Hơn nữa, vật ghi đọc được bằng máy tính chứa chương trình máy tính được đề xuất, trong đó từng chương trình máy tính được tạo cấu hình để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở trên khi được thực hiện trên máy tính hoặc bộ xử lý tín hiệu.

### Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Sau đây, các phương án của sáng chế được mô tả chi tiết hơn với sự tham chiếu đến các hình vẽ, trong đó:

Fig.1a minh họa thiết bị tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh theo phương án của sáng chế,

Fig.1b minh họa thiết bị cung cấp thông tin biến đổi hướng theo phương án của sáng chế,

Fig.1c minh họa hệ thống theo phương án của sáng chế.

Fig.2 mô tả việc minh họa ba loại phản xạ,

Fig.3 minh họa phép biểu diễn hình học của các phản xạ và phép biểu diễn hình học thuộc phép biểu diễn theo thời gian của các phản xạ,

Fig.4 mô tả việc minh họa mặt phẳng theo chiều ngang và mặt phẳng theo chiều dọc cho các tác vụ định vị,

Fig.5 thể hiện việc nghe có tính định hướng trong mặt phẳng theo chiều dọc,

Fig.6 minh họa sự tạo thành các nguồn âm thanh ảo,

Fig.7 mô tả các đường cong của ngưỡng màn chắn cho tín hiệu âm thanh bằng hợp với các mức áp suất âm thanh khác nhau,

Fig.8 mô tả các đường cong của màn chắn theo thời gian cho hiệu ứng màn chắn về phía trước và về phía sau,

Fig.9 mô tả việc minh họa đơn giản của mô hình liên kết,

Fig.10 minh họa các đồ thị STFT và đồ thị theo thời gian của kênh cùng phía thuộc BRIR (đáp ứng xung của phòng âm lập thể).

Fig.11 minh họa việc ước lượng các điểm chuyển tiếp cho từng kênh thuộc BRIR,

Fig.12 minh họa giàn lọc Mel với năm bộ lọc băng thông hình tam giác, bộ lọc thông thấp và bộ lọc thông cao,

Fig.13 mô tả đáp ứng tần số và đáp ứng xung của giàn lọc Mel,

Fig.14 minh họa các đa thức Legendre lên đến bậc  $n=5$ ,

Fig.15 thể hiện các hàm điều hòa cầu lên đến bậc  $n=4$  và các chế độ tương ứng,

Fig.16 mô tả phép cầu phương Lebedev và phép cầu phương Gauss-Legendre trên mặt cầu,

Fig.17 minh họa phép nghịch đảo của  $b_n(kr)$ ,

Fig.18 mô tả hai cấu hình của phép đo, trong đó đầu đo hai tai cũng như dây micro hình cầu được đặt ở giữa tám loa phát thanh,

Fig.19 minh họa phòng trong thử nghiệm nghe,

Fig.20 minh họa đầu đo hai tai và hệ thống đo mảng micro,

Fig.21 thể hiện chuỗi tín hiệu được sử dụng cho các phép đo BRIR,

Fig.22 mô tả tổng quát về thuật toán trong phép phân tích trường âm thanh,

Fig.23 minh họa các vị trí khác nhau của các micro gần nhất trong từng tập hợp phép đo dẫn đến độ lệch,

Fig.24 mô tả giao diện người dùng dạng đồ họa tổ hợp bằng mắt các kết quả của phép phân tích trường âm thanh và các phép đo BRIR,

Fig.25 mô tả đầu ra của giao diện người dùng dạng đồ họa liên quan đến các phép đo âm lập thể và phép đo thuộc hình cầu,

Fig.26 thể hiện các giai đoạn theo thời gian khác nhau của phản xạ,

Fig.27 minh họa các phân bố phản xạ theo chiều ngang và theo chiều dọc với cấu hình thứ nhất,

Fig.28 minh họa các phân bố phản xạ theo chiều ngang và theo chiều dọc với cấu hình thứ hai,

Fig.29 thể hiện cặp BRIR được nâng cao,

Fig.30 thể hiện sự phân bố lũy tích trong không gian của tất cả các phản xạ ban đầu,

Fig.31 minh họa các BRIR không được biến đổi mà đã được kiểm tra ngược lại với các BRIR được biến đổi trong thử nghiệm nghe, trong khi bao gồm ba điều kiện,

Fig.32 minh họa cho mỗi kênh BRIR không được nâng cao mà được so sánh cảm quan với chính nó, còn bao gồm các đáp ứng ban đầu của BRIR được nâng cao,

Fig.33 minh họa các phản xạ ban đầu của BRIR không được nâng cao (mà được so sánh bằng cảm quan với chính nó, còn bao gồm các phản xạ ban đầu được nhuộm màu bởi các phản xạ ban đầu của mức độ kênh BRIR được nâng cao,

Fig.34 minh họa các đường bao phổ của các phản xạ ban đầu không được nâng cao, phản xạ ban đầu được nâng cao và phản xạ ban đầu được biến đổi,

Fig.35 mô tả các đường bao phổ của các phản có thể nghe thấy có các phản xạ ban đầu không được nâng cao, phản xạ ban đầu được nâng cao, và phản xạ ban đầu được biến đổi,

Fig.36 minh họa một phần đường cong hiệu chỉnh,

Fig.37 minh họa bốn phản xạ được lựa chọn đi đến người nghe từ các góc nâng cao hơn mà được khuếch đại,

Fig.38 mô tả việc minh họa của cả hai phản xạ trần cho nguồn âm thanh nhất định,

Fig.39 minh họa quy trình lọc cho từng kênh sử dụng giàn lọc Mel,

Fig.40 mô tả vectơ năng lượng cho nguồn âm thanh từ góc phương vị  $\alpha=225^\circ$ ,

Fig.41 mô tả các đường cong khuếch đại khác nhau được tạo ra bởi các số mũ khác nhau,

Fig.42 mô tả các số mũ khác nhau được áp dụng cho  $P_{R,i,225^\circ}(m)$  và cho  $P_{R,i}(m)$ ,

Fig.43 thể hiện các kênh cùng phía và ngược phía cho tiến trình lấy trung bình,

Fig.44 mô tả  $P_{R,IpCo}$  và  $P_{FrontBack}$ ,

Fig.45 mô tả hệ thống theo phương án cụ thể khác bao gồm thiết bị tạo ra âm thanh định hướng theo phương án khác và còn bao gồm thiết bị cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng theo phương án khác,

Fig.46 mô tả hệ thống theo phương án cụ thể khác bao gồm thiết bị để tạo ra âm thanh định hướng theo phương án nữa và còn bao gồm thiết bị để cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng theo phương án nữa,

Fig.47 mô tả hệ thống vẫn theo phương án cụ thể khác bao gồm thiết bị để tạo ra âm thanh định hướng vẫn theo phương án nữa và còn bao gồm thiết bị để cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng vẫn theo phương án khác,

Fig.48 mô tả hệ thống theo phương án cụ thể bao gồm thiết bị để tạo ra âm thanh định hướng theo phương án và còn bao gồm thiết bị để cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng theo phương án,

Fig.49 mô tả sự minh họa dưới dạng giản đồ thể hiện người nghe, hai loa phát thanh ở hai độ nâng khác nhau và nguồn âm thanh ảo,

Fig.50 minh họa các đường cong bộ lọc thu được từ việc sử dụng các giá trị khuếch đại khác nhau (các hệ số kéo căng) trên đường cong trung gian,

Fig.51 minh họa các đường cong của bộ lọc hiệu chỉnh cho góc phương vị  $= 0^\circ$ ,

Fig.52 minh họa các đường cong của bộ lọc hiệu chỉnh cho góc phương vị  $= 30^\circ$ ,

Fig.53 minh họa các đường cong của bộ lọc hiệu chỉnh cho góc phương vị  $= 45^\circ$ ,

Fig.54 minh họa các đường cong của bộ lọc hiệu chỉnh cho góc phương vị  $= 60^\circ$ , và

Fig.55 minh họa các đường cong của bộ lọc hiệu chỉnh cho góc phương vị  $= 90^\circ$ .

### **Mô tả chi tiết sáng chế**

Trước khi mô tả chi tiết sáng chế, một số khía cạnh của sáng chế được mô tả.

Trước tiên, các khía cạnh về âm học trong phòng được xem xét.

Fig.2 mô tả sự minh họa của ba loại phản xạ. Bề mặt phản xạ (bên trái) hầu như bảo toàn trạng thái âm học của âm thanh tới, và nhờ đó các bề mặt hấp thụ và khuếch tán làm biến đổi âm thanh mạnh mẽ hơn. Sự tổ hợp của các loại bề mặt khác nhau thường được tìm ra.

Có nhiều loại phản xạ trong phòng mà làm ảnh hưởng đến âm học trong phòng và ấn tượng âm thanh. Sóng âm được phản xạ bởi bề mặt phản xạ có thể gần như là âm thanh to và rõ như âm thanh gốc. Trong khi sự phản xạ từ bề mặt hấp thụ sẽ có cường độ nhỏ hơn và hầu như là âm thanh khó hiểu. So sánh với bề mặt phản xạ và bề mặt hấp thụ, trong đó sóng âm tới và sóng âm phản xạ có cùng góc, sóng được phản xạ trên bề mặt khuếch tán truyền từ đó vào mọi hướng. Ấn tượng về âm thanh bị làm xấu đi và không rõ ràng xảy ra. Thông thường tất cả kiểu trạng thái phản xạ có thể được tìm thấy và hỗn hợp của các âm thanh rõ ràng và không rõ ràng tạo thành ấn tượng âm thanh.

Trong thực tế, sóng âm truyền theo tất cả các hướng từ nguồn âm thanh, cụ thể, các tần số càng xa càng thấp được xem xét.

Fig.3 minh họa phép biểu diễn hình học của các phản xạ (bên trái) và phép biểu diễn hình học của phép biểu diễn theo thời gian của các phản xạ (bên phải). Âm thanh trực tiếp đến người nghe bằng đường đi trực tiếp và có khoảng cách ngắn nhất (xem Fig.3 (bên trái)). Tùy thuộc vào hình dạng của môi trường, nhiều phản xạ và các phản xạ được phản xạ kiểu khuếch tán sau đó sẽ đến người nghe từ các hướng khác nhau. Tùy thuộc vào bậc của từng phản xạ và độ dài đường đi của nó, sự phân bố phản xạ theo thời gian với mật độ tăng cao có thể được quan sát thấy.

Như có thể thấy trên Fig.3 (bên phải), khoảng thời gian với mật độ phản xạ thấp được xác định như giai đoạn phản xạ ban đầu. Ngược lại, phần với mật độ cao được gọi là trường vang lại. Có các nghiên cứu khác nhau liên quan đến điểm chuyển tiếp giữa các phản xạ ban đầu và buồng vang. Trong tài liệu tham khảo "Artificial reverberation based on a pseudo-random impulse response 2" của tác giả Rubak, P. and Johansen, L. Và tài liệu Room Acoustics của tác giả Kuttruff H., tốc độ phản xạ với bậc bằng 2000-4000 tiếng vang/giây được xác định như số đo cho sự chuyển tiếp. Ở đây, buồng vang ví dụ có thể được hiểu là "buồng vang theo thống kê".

Ngay sau đây, việc nghe âm lập thể được mô tả.

Trước tiên, tín hiệu định vị được xem xét.

Hệ thống thính giác của con người sử dụng cả hai tai để phân tích vị trí của nguồn âm thanh. Có sự phân biệt giữa sự định vị trên mặt phẳng theo chiều ngang và mặt phẳng theo chiều dọc.

Fig.4 mô tả sự minh họa của mặt phẳng theo chiều ngang và mặt phẳng theo chiều dọc cho các tác vụ định vị.

Trên mặt phẳng theo chiều ngang, tác giả phân biệt liệu âm thanh có đi đến từ bên trái và bên phải. Trong trường hợp này, cần hai tham số. Tham số thứ nhất là khác biệt thời gian âm nội tại (Interaural Time Difference - ITD). Khoảng cách được di chuyển bởi sóng âm từ nguồn âm thanh đến tai bên trái và bên phải sẽ khác nhau, khiến cho âm thanh đến tai cùng phía (tai gần nhất với nguồn) gần hơn so với tai ngược phía. Chênh lệch thời gian thu được là ITD. ITD là cực tiểu, ví dụ, bằng không, nếu nguồn ở đúng phía trước hoặc phía sau đầu của người nghe, và nó là cực đại nếu nó hoàn toàn ở phía bên trái hoặc phía bên phải.

Tham số thứ hai là chênh lệch mức độ âm nội tại (Interaural Level Difference-ILD). Khi các độ dài bước sóng của âm thanh là ngắn so với kích thước của đầu người, đầu người hoạt động như bóng âm, hoặc như vật cản, làm suy giảm mức độ áp suất âm thanh của sóng đến tai ngược phía.

Phép phân tích sự định vị là sự phụ thuộc tần số. Dưới 800Hz, khi độ dài bước sóng là dài so với kích thước của đầu người, việc phân tích được dựa trên ITD trong khi làm suy giảm các chênh lệch pha giữa cả hai tai. Trên 1600Hz, việc phân tích được dựa trên ILD và dựa trên sự nâng cao của các chênh lệch độ trễ của nhóm. Dưới, ví dụ 100 Hz, sự định vị có thể, ví dụ, là không khả thi. Trong khoảng tần số giữa hai giới hạn ở trên, có sự chồng chéo về các phương pháp phân tích.

Trên các hướng thẳng đứng của mặt phẳng theo chiều dọc được nâng cao, cũng như việc liệu âm thanh là ở phía trước hoặc ở phía sau người nghe. Hệ thống thính giác thu được thông tin từ hiệu ứng lọc của loa tai. Như đã được nghiên cứu bởi tác giả Blauert (xem tài liệu tham khảo Räumliches Hören), chỉ sự khuếch đại của các dải tần số nhất định là có giá trị cho việc định vị trên mặt phẳng theo chiều dọc, trong khi nghe nguồn âm thanh tự nhiên. Vì không có các ITD hoặc các ILD có thể nâng cao ở các tai, hệ thống thính giác có thể có được thông tin từ phổ của tín hiệu. Chẳng hạn

như, việc tăng dải tần số từ 7 đến 10kHz dẫn đến người nghe nhận biết được âm thanh từ phía trên (xem Fig.5).

Fig.5 thể hiện việc nghe có định hướng trong mặt phẳng theo chiều dọc. Việc định vị trên mặt phẳng theo chiều dọc có liên quan chặt chẽ đến việc khuếch đại các dải tần số nhất định của phổ tín hiệu (xem mục tham khảo theo đường dẫn [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akustik\\_-\\_Richtungsbaender.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akustik_-_Richtungsbaender.svg)).

Trong giới hạn về xử lý tín hiệu, các tín hiệu định vị đã đề cập đã được hiểu chung là các hàm chuyển tiếp liên quan đến đầu (head related transfer function - HRTF) trong miền tần số hoặc trong miền thời gian như các đáp ứng xung liên quan đến đầu (head related impulse response - HRIR). Tham chiếu đến âm học trong phòng, các HRIR có thể so sánh với các âm thanh trực tiếp đến từng tai của người nghe. Hơn nữa, các HRIR còn bao gồm các tương tác phức hợp của các sóng âm với vai và thân. Vì các phản xạ (khuếch tán) này đến các tai gần như đồng thời với âm thanh trực tiếp, có sự chồng chéo mạnh. Vì lý do này, chúng không được xem xét một cách riêng rẽ.

Các phản xạ cũng sẽ tương tác với tai ngoài, cũng như với vai và thân. Do đó, phụ thuộc vào hướng tới của phản xạ, phản xạ sẽ được lọc bởi các HRTF tương ứng trước khi được đánh giá bởi hệ thống thính giác. Các phép đo của các đáp ứng xung trong phòng với từng tai được xác định như các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể (binaural room impulse response - BRIR) và trong miền tần số như các hàm chuyển tiếp trong phòng âm lập thể (binaural room transfer functions - BRTF)

Ngay sau đây, các nguồn âm thanh ảo được xem xét. Trong thực tế, khi người nghe nghe âm thanh đến từ nguồn tự nhiên trong môi trường tự nhiên, người nghe so sánh âm học đã có với mẫu kích thích được lưu trữ trong đầu để định vị nguồn. Nếu các âm học tương tự như mẫu được lưu trữ, người nghe sẽ dễ dàng định vị được nguồn. Thực hiện việc sử dụng các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể, nó có thể tạo ra môi trường ảo bao quanh một cách tự nhiên trên khắp tai nghe.

Fig.6 minh họa việc tạo ra các nguồn âm thanh ảo. Âm thanh đã ghi nhận được lọc với các BRIR mà được đo trong môi trường khác và được phát lại trên khắp các tai nghe trong khi định vị trí âm thanh trong phòng ảo.

Như được minh họa trên Fig.6, loa phát thanh được sử dụng như nguồn âm thanh phát lại tín hiệu kích thích. Với từng vị trí mong muốn, loa phát thanh được đo bằng đầu đo hai tai, bao gồm các micrô trong từng tai để tạo ra các BRIR. Từng cặp BRIR có thể được xem như nguồn ảo, vì nó biểu diễn các đường đi của âm học (các âm thanh trực tiếp và các phản xạ) từ loa phát thanh đến từng tai (bên trong). Bằng cách lọc âm thanh với cặp BRIR, âm thanh sẽ xuất hiện âm vang tại cùng vị trí và cùng môi trường như loa phát thanh được đo. Điều mong muốn là không trộn lẫn âm học của phòng ghi với âm học được thu giữ trong các BRIR. Do đó âm thanh được ghi trong phòng (gần như) không phản tiếng.

Cách đơn giản nhất để nghe các tín hiệu âm thanh được kết xuất bằng hai tai để sử dụng các tai nghe, bởi vì từng tai nhận nội dung của tín hiệu âm thanh một cách riêng rẽ. Khi làm như vậy, hàm chuyển tiếp của các tai nghe phải được loại trừ. Việc này có thể được thực hiện bằng sự cân bằng trường khuếch tán, mà sẽ được giải thích ở dưới đây.

Trong phần tiếp theo, các nguyên tắc về tâm thính học được mô tả.

Trước tiên, hiệu ứng thứ bậc được xem xét.

Hiệu ứng thứ bậc là cơ chế định vị quan trọng cho việc nghe trong không gian. Điều này cho phép phát hiện hướng của nguồn trong các môi trường dội lại, trong khi triệt tiêu nhận biết của các phản xạ ban đầu. Nguyên tắc nêu rằng trong trường hợp mà âm thanh đến người nghe từ một hướng và cùng âm thanh đến thời gian trễ từ hướng khác, người nghe nhận biết được tín hiệu thứ hai từ hướng thứ nhất.

Litovsky và cộng sự (xem tài liệu tham khảo “Precedence effect”) đã tổng kết các nghiên cứu khác nhau về các hiệu ứng thứ bậc. Kết quả là có nhiều tham số tác động đến chất lượng của hiệu ứng này. Đầu tiên, sự chênh lệch thời gian giữa âm thanh thứ nhất và thứ hai là quan trọng. Các giá trị thời gian khác nhau (từ 5 đến 50 mili giây) đã được xác định từ các thiết lập dựa trên thực nghiệm khác nhau. Người

nghe phản ứng lại một cách khác nhau, không chỉ với loại âm thanh khác nhau, mà còn với các độ dài khác nhau của các âm thanh. Đối với các khoảng thời gian ngắn, âm thanh được nhận biết giữa hai nguồn. Điều này chủ yếu có thể áp dụng trên mặt phẳng nằm ngang và thường được biết đến như nguồn ảo (xem mục tham khảo theo đường dẫn <http://www.sengpielaudio.com/PraktischeDatenZurStereo-Lokalisation.pdf>). Đối với những khoảng thời gian dài, hai sự kiện thích giác riêng rẽ trong không gian được tạo ra và thường được nhận biết như tiếng vang [xem mục tham khảo theo đường dẫn <http://www.sengpielaudio.com/Haas-Effekt.pdf>]. Hơn nữa, điều quan trọng là âm thanh thứ hai to như thế nào. Càng to hơn thì càng có nhiều khả năng là nó sẽ có thể nghe thấy được (xem tài liệu tham khảo “Communication Acoustics” của tác giả V. Pullki, M. Karjalainen). Trong trường hợp này, nó được coi là sự khác biệt về âm sắc, hơn là sự kiện thích giác riêng biệt.

Do những thiết lập khác nhau, khó mà dựa trên các giá trị được nghiên cứu qua các cuộc thử nghiệm, vì các kịch bản được triển khai ít có liên quan đến các môi trường âm thanh trung thực (xem tài liệu tham khảo “Precedence effect “ của tác giả Litovsky và cộng sự). Tuy nhiên, rõ ràng là có hiệu ứng mà hỗ trợ mạnh mẽ cho việc nghe trong không gian.

Khía cạnh khác là màn chắn phổ mà mô tả hiệu ứng khi âm thanh làm cho việc nhận biết âm thanh khác với trạng thái phổ không tương tự khó hơn, trong khi cả hai phổ âm thanh không có sự chồng lấp. Nguyên tắc có thể được chứng minh bằng cách sử dụng nhiều âm băng hẹp với tần số trung tâm tại 1kHz làm âm thanh chắn. Phụ thuộc vào mức áp suất âm thanh  $L_{CB}$  nó tạo ra các đường cong biểu diễn sự che đậy tại các mức khác nhau với đường bao giống nhau. Âm thanh bất kỳ khác được đặt theo phổ theo một trong số các đường cong này sẽ bị triệt bởi âm thanh chắn tương ứng. Đối với âm thanh chắn băng rộng, các băng thông lớn hơn bị chắn.

Ngay sau đây, màn chắn theo thời gian được xem xét.

Sự kiện thích giác trong miền thời gian, như được minh họa bởi các đường gạch chéo trên Fig.8 tác động đến sự nhận biết về các âm thanh đến trước và đến sau. Do đó, bất kỳ âm thanh nào được đặt ở dưới đường cong biểu diễn sự che đậy hướng về phía trước và hướng về phía sau sẽ bị triệt tiêu. So sánh với màn chắn hướng về phía

trước, đường cong biểu diễn sự che đậy hướng về phía sau có độ dốc cao hơn và tác động đến khoảng thời gian ngắn hơn. Ảnh hưởng của cả hai đường cong được gây ra bằng cách làm tăng âm thanh chắn. Phụ thuộc vào độ dài của âm thanh chắn, màn chắn hướng về phía trước có thể che phủ khoảng bằng 200 mili giây (ms) (xem tài liệu tham khảo “Precedence effect “ của tác giả Litovsky và cộng sự)

Fig.7 mô tả các đường cong của ngưỡng màn chắn cho tín hiệu nhiều âm bằng hẹp (xem tài liệu tham khảo “Precedence effect “ của tác giả Litovsky và cộng sự) tại các mức áp suất âm thanh khác nhau  $L_{CB}$ .

Fig.8 minh họa các đường cong của màn chắn theo thời gian cho hiệu ứng màn chắn hướng về phía trước và hướng về phía sau. Các đường gạch chéo minh họa sự bắt đầu và kết thúc của âm thanh chắn (xem tài liệu tham khảo “Precedence effect” của tác giả Litovsky và cộng sự).

Mô hình liên kết được giải thích trong tài liệu của tác giả Theile (xem tài liệu tham khảo “On the Standardization of the Frequency Response of High Quality Studio Headphones”) mà mô tả những ảnh hưởng của tai bên ngoài được phân tích như thế nào trong hệ thống thính giác của con người.

Fig.9 mô tả sự minh họa được đơn giản hóa của mô hình liên kết (xem tài liệu tham khảo “Messung, Vergleich and psychoakustische Evaluierung von Kopfhörer-Übertragungsmaßen” của tác giả F. Fleischmann). Âm thanh được thu nhận bởi tai ban đầu được so sánh với mốc quy chiếu nội tại cố gắng để ấn định hướng (xem Fig.9). Nếu quy trình định vị thành công, hệ thống thính giác sau đó có thể bù cho các biến dạng phổ gây ra bởi loa tai. Nếu không tìm thấy mẫu tham chiếu thích hợp, những biến dạng được nhận biết như những thay đổi trong âm sắc.

Trong phần tiếp theo, các công cụ xử lý tín hiệu số được mô tả.

Trước tiên, việc ước lượng các điểm chuyển tiếp trong các BRIR được biểu diễn.

Các phản xạ ban đầu nằm giữa âm thanh trực tiếp và buồng vang. Để nghiên cứu ảnh hưởng của chúng đến đáp ứng xung của phòng âm lập thể, các điểm bắt đầu và điểm kết thúc của các phản xạ ban đầu phải được xác định trong miền thời gian.

Fig.10 minh họa biểu đồ theo thời gian (ở trên) và biểu đồ STFT (ở dưới) của kênh cùng phía của BRIR (góc phương vị  $45^\circ$ , góc ngẩng:  $55^\circ$ ). Đường nét đứt 1010 trong phép biến đổi giữa HRIR ở phía bên trái và các phản xạ ban đầu ở phía bên phải.

Điểm biến đổi giữa âm thanh trực tiếp và phản xạ thứ nhất, phản xạ mà không là một phần của HRIR, có thể được xác định từ đồ thị theo thời gian và biểu đồ STFT, như được thể hiện trên Fig.10. Do độ lớn khác biệt, phản xạ thứ nhất có thể được xác định bằng mắt thường. Do đó điểm biến đổi được thiết lập ở phía trước pha chuyển tiếp của phản xạ thứ nhất. Các giá trị được tính toán theo lý thuyết cho chênh lệch thời gian đến cho phản xạ thứ nhất tương ứng gần như đúng với các giá trị được thấy bằng mắt thường.

Việc xác định điểm biến đổi giữa các phản xạ ban đầu và buồng vang được thực hiện bởi phương pháp của tác giả Abel và Huang (xem tài liệu tham khảo “A Simple, Robust Measure of Reverberation Echo Density”). Cách tiếp cận này được giới thiệu bởi Lindau, Kosanke và Weinzierl trong (xem tài liệu tham khảo “Perceptual Evaluation of Model- and Signal-Based Predictors of the Mixing Time in Binaural Room Impulse Responses, A”), do đạt được các kết quả có ý nghĩa trong các nghiên cứu của các tác giả này.

Trong môi trường dội lại, mật độ tiếng vang có xu hướng tăng lên mạnh mẽ theo thời gian. Sau khoảng thời gian thích hợp, các tiếng vang sau đó có thể được xử lý theo thống kê (xem tài liệu tham khảo “Artificial reverberation based on a pseudo-random impulse response,” của tác giả Rubak, P. và Johansen, L., và tài liệu tham khảo “Artificial reverberation based on a pseudo-random impulse response II,” của tác giả Rubak, P. và Johansen, L.) và phần dội lại của đáp ứng xung sẽ không thể phân biệt được từ nhiễu âm Gaussian ngoại trừ màu sắc và mức độ (xem tài liệu tham khảo “Analysis and synthesis of room reverberation based on a statistical time-frequency model,” của tác giả Jot, J.-M., Cerveau, L., and Warusfel, O.).

Giả định rằng các biên độ áp suất âm thanh của buồng vang theo phân bố Gauss, nó có thể được sử dụng làm mốc quy chiếu. So sánh với các số liệu thống kê của đáp ứng xung và điểm chuyển tiếp được ước lượng cho điểm đó, khi các tín hiệu thống kê trong cửa sổ trượt tương tự như các tín hiệu thống kê của mốc quy chiếu.

Bước thứ nhất, sổ trượt được sử dụng để tính toán độ lệch chuẩn,  $\sigma$ , cho từng chỉ số thời gian (1).

$$\sigma = \left[ \frac{1}{2\delta + 1} \sum_{\tau=t-\delta}^{t+\delta} h^2(\tau) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

Số lượng các biên độ nằm ngoài độ lệch chuẩn đối với cửa sổ được xác định và được chuẩn hóa trong phương trình (2) mà được dự kiến cho phân bố Gauss.

$$\eta(t) = \frac{1/\text{erfc}(1/\sqrt{2})}{2\delta + 1} \sum_{\tau=t-\delta}^{t+\delta} 1\{|h(\tau)| > \sigma\}, \quad (2)$$

Ở đây  $h(t)$  là đáp ứng xung dội lại,  $2\delta + 1$  là độ dài của cửa sổ trượt và  $1\{.\}$  là hàm chỉ báo, quay lại phương trình một, khi đối số của nó là xác thực và nếu không thì bằng không. Phân số dự kiến của các mẫu nằm ngoài độ lệch chuẩn khỏi số trung bình đối với phân bố Gauss được đưa ra bởi phương trình  $\text{erfc}(1/\sqrt{2}) \doteq 0.3173$ . Với việc tăng thời gian và mật độ phản xạ,  $\eta(t)$  có xu hướng thống nhất. Tại chỉ số thời gian, điểm chuyển tiếp được xác định, vì đạt được sự khuếch tán hoàn thiện theo thống kê.

Phương pháp này được áp dụng một cách riêng rẽ cho từng kênh của BRIR. Với lý do này, hai điểm chuyển tiếp riêng rẽ sẽ được ước lượng (xem Fig.11). Để chắc chắn không thông tin quan trọng nào sẽ bị loại bỏ lại, điểm chuyển tiếp cao hơn (ví dụ sau đây) được chọn cố định trong các nghiên cứu tiếp theo.

Fig.11 minh họa việc ước lượng các điểm chuyển tiếp (các đường 1101, 1102) cho từng kênh của BRIR.

Ngay sau đây, giàn lọc Mel được mô tả.

Hệ thống thính giác của con người gần như bị giới hạn trong khoảng từ 16Hz đến 20kHz, tuy nhiên mối quan hệ giữa cao độ và tần số là không tuyến tính. Theo tác

giả Stanley Smith Stevens (xem tài liệu tham khảo “Psychoacoustics”), cao độ có thể được đo trong giàn lọc Mel được đưa ra bởi phương trình sau đây:

$$\text{Mel}(f) = m$$

$$m = 2595 \text{Mel} \log_{10} \left\{ \frac{f}{700 \text{Hz}} + 1 \right\}, \quad (3)$$

$$f = 700 \text{Hz} \left( (10^{\frac{m}{2595 \text{Mel}}} - 1) \right). \quad (4)$$

Hơn nữa, thông tin thính giác (ví dụ cao độ, âm lượng, hướng đến) được phân tích trong các băng tần số. Do đó, để sao lại độ phân giải của tần số không tuyến tính và việc xử lý theo băng, giàn lọc Mel có thể được sử dụng.

Fig.12 thể hiện việc sắp xếp khả thi các bộ lọc băng thông hình tam giác của giàn lọc Mel theo trục tần số. Các tần số trung tâm và còn các băng thông của bộ lọc được kiểm soát bởi phương trình 2.2. Thông thường, giàn lọc Mel có 24 bộ lọc. Cụ thể, Fig.12 minh họa giàn lọc Mel với năm bộ lọc băng thông hình tam giác 1210, bộ lọc thông thấp 1201 và bộ lọc thông cao 1202.

Đối với việc tổng hợp và phân tích chính xác, hai yêu cầu sau đây phải được đáp ứng. Đầu tiên, để đảm bảo tất cả các đặc tính toàn thông của giàn lọc, các bộ lọc thông cao và thông thấp bổ sung được thiết kế. Vì vậy việc bổ sung tất cả các bộ lọc  $H_i$  trong miền tần số

$$\sum_{i=1}^M H_i(e^{j\omega}) \stackrel{!}{=} 1$$

(M: (số lượng bộ lọc) sẽ dẫn đến đáp ứng tần số tuyến tính.

Yêu cầu thứ hai của giàn lọc được biểu diễn bởi đáp ứng pha tuyến tính. Thuộc tính này là quan trọng vì những biến đổi pha bổ sung được gây ra bởi việc lọc không tuyến tính phải được ngăn chặn. Trong trường hợp này, xung được chuyển dời được dự kiến như đáp ứng xung với

$$h(n) = \sum_{i=1}^N h_i(n) \stackrel{!}{=} \delta(n - \tau)$$

( $\tau$  độ trễ của giàn lọc). Hai yêu cầu được minh họa trên Fig.13.

Cụ thể, Fig.13 mô tả đáp ứng tần số (bên trái) và đáp ứng xung (bên phải) của giàn lọc Mel. Giàn lọc tương ứng với bộ lọc toàn thông FIR pha tuyến tính. Bậc của bộ lọc gồm 512 mẫu dẫn đến độ trễ bằng 256 mẫu.

Sau đây, hàm điều hòa cầu và phép biến đổi Fourier trong không gian được xem xét.

Âm thanh phân tán trong phòng dội lại tương tác với các đối tượng và các bề mặt trong môi trường để tạo ra các phản xạ. Bằng cách sử dụng dây micro hình cầu, có thể đo các phản xạ của chúng tại điểm cố định trong phòng và hiển thị hóa các hướng sóng đi đến.

Các phản xạ đến dây micro sẽ gây ra sự phân bố áp suất âm thanh trên khắp khối cầu micro. Không may là không thể đọc các hướng sóng đi đến qua trực quan đó. Do đó, cần phân tách phân bố áp suất âm thanh thành các phần tử của nó, các sóng phẳng.

Làm như vậy, trường âm thanh được biến đổi trước thành miền sóng hài hình cầu. Một cách hình tượng hóa, tổ hợp các hình dạng trong không gian (xem Fig.15 ở dưới) được tìm thấy, mà mô tả sự phân bố áp suất đã định trên khối cầu. Việc phân tách trường sóng, mà có thể so sánh với việc lọc trong không gian hoặc tạo ra chùm tín hiệu trong không gian, sau đó có thể được thực hiện trong miền đó để tập trung hình dạng đến các hướng sóng tới.

Trước hết, các đa thức Legendre được xem xét.

Để định rõ hàm điều hòa cầu ngang qua góc ngẩng  $\beta$ , tập hợp các hàm trực giao được yêu cầu. Các đa thức Legendre là trực giao trên khoảng  $[-1, 1]$ . Sáu đa thức đầu tiên được đưa ra trong phương trình (5):

$$\begin{aligned}
P_0(x) &= 1 \\
P_1(x) &= x \\
P_2(x) &= \frac{1}{2}(3x^2 - 1) \\
P_3(x) &= \frac{1}{2}(5x^3 - 3x) \\
P_4(x) &= \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3) \\
P_5(x) &= \frac{1}{8}(63x^5 - 70x^3 + 15x)
\end{aligned} \tag{5}$$

Các đồ thị tương ứng được thể hiện trên Fig.14, trong đó Fig.14 minh họa các đa thức Legendre lên đến bậc  $n=5$ .

Góc ngẩng được xác định giữa  $[0, \pi]$ . Do đó, tất cả các quan hệ trục giao phải được biến đổi thành khối cầu đơn vị. Vì phương trình (6) được công nhận, các đa thức Legendre  $L_n$  kết hợp  $(\cos\beta)$  có thể được sử dụng như sau:

$$\int_0^\pi f(\cos\beta) \sin\beta d\beta = \int_{-1}^1 f(x) dx \tag{6}$$

Ngay sau đây, các hàm điều hòa cầu được xem xét.

Xét hàm áp suất âm thanh  $P(r, \beta, \alpha, k)$  trong hệ tọa độ hình cầu, trong đó  $\beta$  và  $\alpha$  là góc ngẩng và góc phương vị,  $r$  là bán kính và  $k$  là số sóng ( $k=\omega/c$ ). Giả định rằng  $P(r, \beta, \alpha, k)$  là khả tích bình phương trên cả hai góc, nó có thể được biểu diễn trong miền hàm điều hòa cầu.

Như có thể thấy trong phương trình (7), các hàm điều hòa cầu chứa các đa thức Legendre kết hợp  $L_n^m$ , số hạng mũ  $e^{+jm\alpha}$  và số hạng chuẩn hóa. Các đa thức Legendre đáp ứng hình dạng theo góc ngẩng  $\beta$  và số hạng mũ đáp ứng hình dạng phương vị.

$$Y_n^m(\beta, \alpha) = \sqrt{\frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} L_n^m(\cos\beta) e^{+jm\alpha} \tag{7}$$

Fig.15 thể hiện hàm điều hòa cầu lên đến bậc  $n=4$  và các phương thức tương ứng, từ  $m$  đến  $-m$  (xem mục tham khảo theo đường dẫn <http://www.mathworks.com/matlabcentral/mlc-downloads/downloads/submissions/43856/versions/8/screenshot.jpg>). Từng bậc chứa  $2m+1$  phương thức. Các dấu của hàm điều hòa cầu hoặc là dương 1501 hoặc là âm 1502.

Các hàm điều hòa cầu là tập hợp trực giao và đầy đủ các hàm riêng thuộc thành phần góc của toán tử Laplace trên hình cầu, mà được sử dụng để mô tả phương trình sóng (xem tài liệu tham khảo “Fourier Acoustics, Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography” của tác giả Earl. G. Williams và tài liệu tham khảo “Richtungsdetektion mit dem Eigenmike Mikrofonarray, Messung und Analyse” của tác giả M. Brandner).

Ngay sau đây, phép biến đổi Fourier trong không gian được mô tả.

Phương trình (8) mô tả các hệ số Fourier trong không gian  $\tilde{P}_n^m(r, k)$  có thể được tính toán bằng cách sử dụng phép biến đổi Fourier trong không gian.

$$\tilde{P}_n^m(r, k) = SHT\{P(r, \beta, \alpha, k)\} = \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_{\beta=0}^{\pi} P(r, \beta, \alpha, k) Y_n^m(\beta, \alpha)^* \sin\beta \, d\beta \, d\alpha \quad (8)$$

Ở đây  $P(r, \beta, \alpha, k)$  là tần số và áp suất âm thanh (phức) phụ thuộc góc và  $Y_n^m(\beta, \alpha)^*$  là hàm điều hòa cầu liên hợp phức. Các hệ số phức bao gồm thông tin về sự định hướng và gán trọng số của từng hàm điều hòa cầu để mô tả áp suất âm thanh được phân tích trên khối cầu.

Phương trình để tổng hợp áp suất âm thanh trên khối cầu, trong khi các hệ số Fourier trong không gian được định trước, được thể hiện trong phương trình (9).

$$P(r, \beta, \alpha, k) = SHT^{-1}\{\tilde{P}_n^m(r, k)\} = \sum_{n=0}^{+\infty} \sum_{m=-n}^{+n} \tilde{P}_n^m(r, k) Y_n^m(\beta, \alpha) \quad (9)$$

Vì phép biến đổi là sự phụ thuộc của số sóng  $k=\omega/c$ , sự phân bố áp suất âm thanh được phân tích riêng rẽ cho từng tần số.

Trong phần tiếp theo, việc lấy mẫu theo hình cầu được mô tả.

Phổ số sóng của tần số rời rạc  $\tilde{F}_n^m$  là lý thuyết chỉ đúng cho vô số các điểm lấy mẫu, mà sẽ yêu cầu bề mặt hình cầu liên tục. Từ quan điểm thực tế, chỉ độ phân giải phổ hữu hạn là hợp lý để đạt được hiệu quả tính toán thiết thực và thời gian tính toán. Bị hạn chế với các điểm lấy mẫu rời rạc, lưới lấy mẫu thích hợp đã được chọn. Có những chiến lược khác nhau để lấy mẫu bề mặt hình cầu (xem tài liệu tham khảo “Analysis and Synthesis of Sound-Radiation with Spherical Arrays” của tác giả Zotter, F.). Một lưới thường được sử dụng là phép cầu phương Lebedev.

Fig.16 mô tả phép cầu phương Lebedev và phép cầu phương Gauss-Legendre trên khối cầu. Phép cầu phương Lebedev có 350 điểm lấy mẫu. Phép cầu phương Gauss-Legendre có  $18 \times 19 = 342$  điểm lấy mẫu.

So sánh với các lưới khác, có các vị trí lấy mẫu được phân bố đều nhau và đạt được bậc lấy mẫu cao hơn cho lượng điểm lấy mẫu nhất định. Ví dụ, phép cầu phương Lebedev chỉ cần 350 điểm lấy mẫu và phép cầu phương Gauss-Legendre cần 512 điểm lấy mẫu để đạt được bậc lấy mẫu  $N=15$ .

Ngay sau đây, việc khai triển sóng phẳng được mô tả.

Bởi vì việc khai triển này không thể biết được bằng mắt thường các hướng sóng đi đến từ phân bố áp suất âm thanh, việc khai triển sóng phẳng được yêu cầu. Việc này loại bỏ các thành phần sóng đi đến và đi ra kiểu tỏa tròn và làm giảm trường âm thanh đối với số hữu hạn các điểm lấy mẫu dạng hình cầu cho các xung Dirac đối với các hướng sóng tới.

Vì các hàm Bessel và Hankel hình cầu là các hàm riêng của thành phần đối trọng của toán tử Laplace, chúng mô tả sự lan truyền tỏa tròn của các sóng đi đến và đi ra.

Giả định rằng không có nguồn nào bên trong khối cầu và micro có mô hình cực cardioid được sử dụng, phương trình (10) có thể được sử dụng trong phương thức khai triển sóng phẳng (xem tài liệu tham khảo “Bandwidth Extension for Microphone Arrays” của tác giả B. Bernschütz, AES 8751, October 2012). Trong phương trình (10),  $j_n(kr)$  là hàm Bessel có loại thứ nhất.

$$b_n(kr) = 4\pi i^n \frac{1}{2} (j_n(kr) - i j_n'(kr)) \quad (10)$$

Phép khai triển được thực hiện bằng cách chia các hệ số Fourier trong không gian cho  $b_n(kr)$  trong phương trình tổng hợp (9), trong miền của các hàm điều hòa cầu.

$$P(r, \beta, \alpha, k) = SHT^{-1}\{\tilde{P}_n^m(r, k)\} = \sum_{n=0}^{+\infty} \sum_{m=-n}^{+n} \tilde{P}_n^m(r, k) Y_n^m(\beta, \alpha) \frac{1}{b_n(kr)} \quad (11)$$

Trong phần tiếp theo, các giới hạn phân tích được mô tả.

Fig.17 minh họa phép nghịch đảo của  $b_n(kr)$ . Phụ thuộc vào độ khuếch đại cao có bậc  $n$  khiến cho các giá trị  $kr$  nhỏ.

Như được thể hiện trên Fig.17, việc chia cho  $b_n(kr)$  khiến cho độ khuếch đại cao đối với các giá trị  $kr$  nhỏ phụ thuộc vào bậc  $n$ . Trong trường hợp này, các phép đo với các giá trị SNR nhỏ có thể dẫn đến những biến dạng. Để khắc phục các tạo tác ảo, điều này là hợp lý để giới hạn bậc của phép biến đổi Fourier trong không gian cho các giá trị  $kr$  nhỏ.

Điều ràng buộc thứ hai là việc tạo rằng trong không gian  $kr \ll N$ , trong đó  $N$  là bậc mẫu theo hình cầu cực đại. Điều ràng buộc này nêu rằng việc phân tích các tần số cao trong tổ hợp với các giá trị hướng tâm ngoại trừ bậc mẫu trong không gian cao. Việc này sẽ dẫn đến các tạo tác ảo. Chỉ quan tâm đến một bán kính phân tích, bán kính của đầu người, các nghiên cứu sẽ được tiến hành lên đến tần số giới hạn nhất định  $f_{Alias}$ .

$$f_{Alias} \ll \frac{Nc}{2\pi r} \quad (12)$$

Ngay sau đây, sự cân bằng trường khuếch tán được mô tả.

Vai, đầu và tai ngoài của con người hoặc các đầu người nhân tạo làm biến dạng phổ của các sóng âm va chạm.

Khi so sánh các hàm truyền từ người nói đến đầu người nhân tạo so với với các hàm truyền được ghi với micro tại cùng vị trí, những khác biệt về phổ có thể được quan sát thấy. Có các đỉnh và những độ nghiêng trong hàm truyền độ lớn của đầu nhân tạo. Một số các tín hiệu đó phụ thuộc trực tiếp, nhưng vẫn có các tín hiệu độc lập với hướng.

Việc đo tại đầu ống tai bị chặn, việc tăng lên đến xấp xỉ 10dB trong khoảng từ 2kHz đến 5kHz trong phổ của hàm truyền của đầu người trong phép đo có thể được

quan sát thấy (xem tài liệu tham khảo “Improved Real-Ear Test for Stereophones” của tác giả Sank J.R.). Khi phát lại các tín hiệu mà đã được tạo ra cho người nói trên các tai nghe, hàm truyền này từ người nói đến tai nghe bị đứt quãng. Để bù cho đường đi đứt quãng này, các tai nghe thường thể hiện sự cân bằng nội tại mà thể hiện cùng sự tăng áp trong vùng biểu diễn nằm trong khoảng từ 2 đến 5kHz (xem tài liệu tham khảo “Das Diffusfeldsonden-Übertragungsmass eines Studiokopfhörers” của tác giả Spikofski, G.), được gọi là "sự cân bằng trường khuếch tán".

Để nghe đúng các bản ghi âm lập thể trên các tai nghe được cân bằng trường khuếch tán, các BRIR đã được xử lý để loại bỏ đỉnh hiện có mà đã được chứa trong hàm truyền của tai nghe. Hàm này đã được chứa trong thiết bị được gọi là "vỏ não".

Các tín hiệu không phụ thuộc về phổ được loại bỏ để có thể phát lại bản ghi âm lập thể trên các tai nghe không được xử lý.

Ngay sau đây, các phép đo được xem xét.

Liên quan đến việc thiết lập phép đo, dây micrô hình cầu được sử dụng trong các nghiên cứu để làm sáng tỏ các phản xạ của đáp ứng xung trong phòng âm lập thể. Để tạo ra sự tương quan chính xác giữa BRIR và phân bố sóng phẳng, cả phép đo âm lập thể và phép đo theo hình cầu được thực hiện tại cùng vị trí. Hơn nữa, đường kính của phép đo theo hình cầu phải tương ứng với đường kính của đầu người trong phép đo âm lập thể. Điều này đảm bảo rằng các giá trị thời gian đến (time-of-arrival - TOA) cho cả hai hệ thống, ngăn ngừa độ lệch không mong muốn.

Trên Fig.18, hai cấu hình đo được mô tả. Đầu người trong phép đo âm lập thể cũng như dây micrô hình cầu được đặt ở giữa tám loa phát thanh. Trong từng trường hợp, bốn loa phát thanh được nâng cao và không được nâng cao được đo. Các loa phát thanh không được nâng cao dựa trên cùng mức như các tai của đầu người trong phép đo và điểm xuất phát của dây loa phát thanh. Các loa phát thanh được nâng cao có góc  $EL = 35^\circ$  so với mức không được nâng cao. Tám loa phát thanh, mỗi loa có góc phương vị  $AZ = 45^\circ$  so với mặt phẳng theo chiều dọc. Từ các thí nghiệm trước, đã được thể hiện là những biến đổi với những nuồn âm thanh được sắp xếp theo đường chéo gây ra những khác biệt lớn nhất về sự định vị và âm sắc.

Vì môi trường đo, phòng kiểm tra việc nghe có kích thước [W x H x D: 9,3 x ,2 x 7,5 m], là môi trường đo “Mozart”, tại Fraunhofer IIS đã được sử dụng. Phòng này được làm thích ứng với ITU-R BS.1116-3 liên quan đến mức tạp âm nền và còn liên quan đến thời gian âm vang, mà dẫn đến ấn tượng âm thanh sống động và tự nhiên hơn, phòng được trang bị các loa phát thanh đã được thiết lập bất chéo qua hai vòng kim loại (xem Fig.19), mà treo cái này trên cái kia. Nhờ độ cao có thể điều chỉnh của các vòng, các vị trí của loa phát thanh chính xác có thể được xác định. Từng vòng có bán kính bằng 3 mét và cả hai vòng được đặt trí ở giữa phòng.

Fig.19 minh họa phòng kiểm tra việc nghe “Mozart” tại Fraunhofer IIS, Erlangen. được tiêu chuẩn hóa đến ITU-R BS.1116-3 (xem tài liệu tham khảo “Vision and Technique behind the New Studios and Listening Rooms of the Fraunhofer IIS Audio Laboratory” của tác giả A. Silzle). Các loa lớn làm bằng gỗ trên Fig.19 không ở trong phòng trong suốt lúc đo.

Dây micrô và đầu người trong phép đo âm lập thể (ví dụ đầu nhân tạo hoặc hình nộm hai tai) được đặt một cách tùy ý trong "điểm lý tưởng" của thiết lập loa phát thanh. Kỹ thuật laser dựa trên khoảng cách mét được sử dụng để đảm bảo khoảng cách chính xác của từng hệ thống đo cho từng loa phát thanh của vòng phía dưới. Độ cao bằng 1,34m được chọn giữa điểm giữa của tai và nền đất.

Trong tài liệu tham khảo “Localization with Binaural Recordings from Artificial and Human Heads”, tác giả Minhaar và cộng sự đã so sánh các phép đo khác nhau giữa đầu người hai tai nhân tạo và con người bằng cách phân tích chất lượng của sự định vị.

Fig.20 minh họa đầu người trong phép đo âm lập thể. “Cortex Manikin MK1” (bên trái) (xem mục tham khảo theo đường dẫn <https://hps.oth-regensburg.de/~elektrogitarre/pdfs/kunstkopf.pdf>) và hệ thống đo của dây micrô “VariSphear” (bên phải) (xem mục tham khảo theo đường dẫn <http://www.f07.fh-koeln.de/einrichtungen/nachrichtentechnik/>). Để ngăn ngừa các phản xạ gây ra bởi chính hệ thống, các thành phần phần không liên quan đã được loại bỏ (ví dụ hệ thống laser màu vàng).

Hiển nhiên là các phép đo với đầu của người thật đôi khi có thể dẫn đến sự định vị tốt hơn. Mặc dù các kết quả tương tự đã được quan sát thấy tại lúc bắt đầu thử nghiệm này, đầu người nhân tạo trong phép đo được sử dụng do dễ dàng trong thao tác và trong việc tuân thủ các vị trí không đổi trong suốt quá trình đo.

Dãy micrô trong không gian “VariSphear” (xem tài liệu tham khảo “Entwurf und Aufbau eines variable sphärischen Mikrofonarrays für Forschungsanwendungen in Raumakustik und Virtual Audio” của tác giả B. Bernschütz và cộng sự), xem Fig. 20, là hệ thống giữ micrô có thể điều khiển được với động cơ trợ động bước theo phương thẳng đứng và theo phương nằm ngang. Hệ thống này cho phép di chuyển micrô đến bất kỳ vị trí nào trên khối cầu với bán kính thay đổi có độ phân giải góc bằng  $0,01^\circ$ . Hệ thống đo được trang bị phần mềm điều khiển riêng, mà dựa trên Matlab. Các tham số đo khác nhau có thể được thiết lập. Các tham số cơ bản được nêu ra dưới đây:

|                      |                                                                                    |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Lưới lấy mẫu:        | Phép cầu phương Lebedev                                                            |
| Số điểm lấy mẫu:     | 350 (bậc lấy mẫu $N=15$ , giới hạn tạo răng cưa $f_{\text{Alias}}=8190\text{Hz}$ ) |
| Bán kính khối cầu:   | 0,1m (tương ứng với giải phẫu người)                                               |
| Tần số lấy mẫu:      | 48000Hz.                                                                           |
| Tín hiệu kích thích: | Quét (tăng lên theo lôga)                                                          |

VariSphear có thể tự động đo các đáp ứng xung trong phòng cho tất cả các vị trí của lưới lấy mẫu và lưu chúng trong tập tin Matlab.

Trong phần sau đây, phép đo quét được xem xét.

Khi đo âm học trong phòng, phòng được coi như hệ thống bất biến về thời gian và tuyến tính trên quy mô lớn, và có thể được kích thích bởi các tác nhân kích thích được xác định trước để thu được hàm truyền phức hợp của nó hoặc đáp ứng xung của nó. Như tín hiệu kích thích, việc quét hàm sin thành ra thích hợp cho các phép đo âm học. Ưu điểm quan trọng nhất là tỉ số tín hiệu trên nhiễu âm cao mà có thể được phát sinh bằng cách làm tăng thời khoảng quét. Hơn nữa, sự phân bố năng lượng phổ của nó có thể được tạo hình như mong muốn, các chuỗi tín hiệu phi tuyến tính có thể được loại bỏ một cách đơn giản bằng cách tạo cửa sổ tín hiệu (xem tài liệu tham khảo “Generalized multiple sweep measurement” của tác giả Weinzierl, S. và cộng sự).

Tín hiệu kích thích được sử dụng trong nghiên cứu này là tín hiệu quét log. Tín hiệu này là hàm sin với biên độ không đổi và làm tăng theo hàm số mũ tần số theo thời gian. Về mặt toán học, tín hiệu kích thích có thể được biểu diễn bởi phương trình (13) (xem tài liệu tham khảo “Advances in Impulse Response Measurements by Sine Sweeps” của tác giả Farina, A.). Ở đây  $x$  là biên độ,  $t$  là thời gian,  $T$  là thời khoảng của tín hiệu quét,  $\omega_1$  là tần số bắt đầu và  $\omega_2$  là tần số kết thúc.

$$x(t) = \sin \left[ \frac{\omega_1 \cdot T}{\ln \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} \cdot \left( e^{\frac{t}{T} \cdot \ln \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} - 1 \right) \right] \quad (13)$$

Trong nghiên cứu này, cách tiếp cận của Weinzierl (xem tài liệu tham khảo “Handbuch der Audiotechnik” của tác giả Weinzierl, S.) để đo các đáp ứng xung trong phòng được sử dụng và được giải thích trong phần sau đây.

Các bước đo được minh họa trên Fig.21. Fig.21 thể hiện chuỗi tín hiệu được sử dụng cho các phép đo BRIR. Việc quét được sử dụng để kích thích các loa phát thanh và còn như mốc quy chiếu đối với việc tháo chấp trong miền phổ. Sau khi được chuyển đổi sang tín hiệu tương tự và được khuếch đại, tín hiệu quét được phát thông qua loa phát thanh. Cùng lúc đó tín hiệu quét được sử dụng như mốc quy chiếu và được kéo dài đến độ dài gấp đôi bằng cách đệm số không. Tín hiệu được phát bởi loa phát thanh được thu giữ bởi hai micrô gắn tai của đầu người trong phép đo, được khuếch đại, được chuyển đổi sang tín hiệu số và được đệm số không cũng như mốc quy chiếu.

Tại điểm này, cả hai tín hiệu được biến đổi sang miền tần số thông qua FFT và đầu ra của hệ thống được đo  $Y(e^{j\omega})$  chia cho phổ tham chiếu  $X(e^{j\omega})$ . Phép chia có thể so sánh với sự giải chấp trong miền thời gian, và dẫn đến hàm truyền phức  $H(e^{j\omega})$ , mà chính là BRIR. Bằng cách áp dụng FFT nghịch đảo cho hàm truyền, mà thu được đáp ứng xung trong phòng âm lập thể (binaural room impulse response -BRIR). Nửa thứ hai của BRIR bao gồm các phi tuyến tính có thể có xảy ra trong chuỗi tín hiệu. Chúng có thể được loại bỏ bằng cách tạo cửa sổ cho đáp ứng xung.

Trong phần tiếp theo, các phép đo từ đầu người trong phép đo âm lập thể và dây micrô hình cầu được kết hợp. Sau đó tiến trình phân loại các phản xạ của BRIR trong không gian sẽ được suy ra. Phải nhấn mạnh rằng các phép đo của dây micrô hình cầu chỉ là công cụ bổ sung và không phải là phần cốt yếu của nghiên cứu này. Do chi phí lớn, sự phát triển của phương pháp phát hiện tự động và phân loại trong không gian các phản xạ của BRIR không phải theo đuổi đến cùng. Thay vào đó phương pháp dựa trên việc so sánh bằng mắt thường được phát triển.

Với lý do này, giao diện người dùng đồ họa (graphical user interface - GUI) đã được tạo ra để hiển thị hóa cả hai phép biểu diễn của âm học trong phòng. GUI bao gồm sự kết xuất nhanh phụ thuộc thời gian của phân bố sóng phẳng và cả hai đáp ứng xung của BRIR tương ứng. Mốc trượt thể hiện sự kết nối theo thời gian giữa cả hai phép biểu diễn âm học trong phòng.

Ngay sau đây, việc phân tích trường âm thanh được mô tả.

Trong bước thứ nhất, việc phân tích trường âm thanh dựa trên tập hợp đáp ứng xung trong phòng hình cầu được thực hiện. Với mục đích này FH Köln đề xuất hộp công cụ “SOFiA” (xem mục tham khảo theo đường dẫn [https://web.archive.org/web/20160615231517/https://code.google.com/p/](https://web.archive.org/web/20160615231517/https://code.google.com/p/sofia-toolbox/wiki/WELCOME)

[sofia-toolbox/wiki/WELCOME](https://web.archive.org/web/20160615231517/https://code.google.com/p/sofia-toolbox/wiki/WELCOME)) mà phân tích dữ liệu dây micrô. Những hạn chế được đề cập ở trên sẽ được xem xét ở đây, do đó, chỉ các hàm Matlab nòng cốt của hộp công cụ có thể được sử dụng. Tuy nhiên, các hàm này cần được lấy tích phân thành thuật toán phân tích tùy chỉnh. Các hàm này được tập trung vào các phép tính toán học khác nhau như sau.

Liên quan đến F/D/T (biến đổi miền tần số), hàm này làm biến đổi dữ liệu dây trong miền thời gian thành dữ liệu miền tần số, sử dụng phép biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform - FFT) cho từng đáp ứng xung. Bởi vì dữ liệu phổ này là rời rạc, nên phổ được xác định trên thang đo tần số rời rạc. Dựa trên thang đo này và bán kính của các phép đo hình cầu, thang đo kr được tính toán. Đây là thang đo tuyến tính và sẽ được sử dụng xuyên suốt các phép tính dưới đây.

Liên quan đến S/T/C (lỗi biến đổi trong không gian), lỗi biến đổi trong không gian sử dụng các hệ số Fourier (phổ) phức để tính toán các hệ số Fourier trong không gian. Vì phép biến đổi này được thực hiện trên thang đo  $kr$ , phép biến đổi này phụ thuộc tần số. Vì lý do này, dữ liệu đã được biến đổi trước thành miền phổ.

Sau đây, M/F (các bộ lọc theo phương thức xuyên tâm) được xem xét.

Phụ thuộc vào cấu hình của khối cầu và loại micrô, M/F có thể tạo ra các bộ lọc theo phương thức xuyên tâm để thực hiện việc khai triển sóng phẳng. Nó sử dụng các hàm Bessel và Hankel để tính toán các hệ số bộ lọc của lọc xuyên tâm. Với cấu hình được sử dụng trong các phép đo này, các hệ số bộ lọc  $d_n(kr)$  là, ví dụ, sự nghịch đảo của phương trình (10).

$$d_n(kr) = \frac{1}{b_n(kr)} \quad (14)$$

Liên quan đến P/D/C (phép khai triển sóng phẳng), hàm này sử dụng các hệ số Fourier trong không gian để tính toán phép biến đổi Fourier trong không gian nghịch đảo. Trong bước này, các hệ số Fourier trong không gian được nhân bởi các bộ lọc theo phương thức xuyên tâm. Việc này dẫn đến việc phân bố trường âm thanh có hình cầu được phân tích sóng phẳng.

Fig.22 mô tả tổng quát thuật toán phân tích trường âm thanh. Các đường nét mảnh truyền thông tin hoặc các tham số và các đường nét đậm truyền dữ liệu. Các hàm 2201, 2202, 2203 và 2204 là các hàm lỗi của hộp công cụ SOFiA. Bốn hàm của hộp công cụ SOFiA được lấy tích phân vào thuật toán mà được giải thích dưới đây. Cấu trúc tương ứng được thể hiện trên Fig.22.

Sau đây, khía cạnh về cửa sổ trượt được xem xét. Quan tâm đến phép biểu diễn thời gian ngắn của trường sóng được phân ly, cửa sổ trượt được tạo ra để giới hạn đáp ứng xung cho các khoảng thời gian ngắn khi phân tích. Mặt khác, cửa sổ hình chữ nhật đủ dài để thu được các kết quả trực quan có ý nghĩa. Với ứng suất tính toán nhỏ, bậc của phép biến đổi Fourier trong phổ bị giới hạn đến  $N_{ff} = 128$ . Việc này dẫn đến việc phân tích phổ không chính xác cho những khoảng thời gian rất ngắn, do đó, việc phân tích trong không gian cũng không chính xác theo. Nói cách khác, cửa sổ phải ngắn nhất có thể để thu được nhiều hơn sự kết xuất nhanh trên đơn vị thời gian. Sử dụng

phép thử và sai số,  $L_{win} = 40$  mẫu (với 48kHz) đã được xác định như độ tài của số hợp lý. Không may là độ phân giải theo thời gian của 40 mẫu không đủ chính xác để phát hiện các phản xạ riêng rẽ.

Ảnh hưởng bởi phép biến đổi Fourier thời gian ngắn một chiều, sự chồng lấp giữa các khu vực có thời gian gần kề bị kéo theo. Cửa sổ với độ dài bằng  $L_{win} = 40$  mẫu được phân tích mỗi 10 mẫu. Bởi vậy sự chồng lấp bằng 75% đạt được. Kết quả là, độ phân giải theo thời gian cao hơn bốn lần là khả thi.

Fig.23 minh họa các vị trí khác nhau của các micrô gần nhất trong từng tập hợp phép đo dẫn đến độ lệch. Có thể thấy trên Fig.23, sự chồng lấp dẫn đến trạng thái làm nhẵn, tuy nhiên, việc này không làm ảnh hưởng thêm đến các thử nghiệm.

Độ khuếch đại cao sẽ bị ngăn chặn. Để ngăn chặn độ khuếch đại cao, ví dụ, gây ra bởi các bộ lọc theo phương thức xuyên tâm, bậc của phép biến đổi Fourier trong không gian sẽ bị giới hạn đến các giá trị  $kr$  nhỏ. Về điều này, hàm được thực hiện mà so sánh các độ khuếch đại của bộ lọc phụ thuộc vào giá trị  $kr$  định trước. Ngưỡng được thiết lập đến  $G_{threshold} = 10\text{dB}$ , do đó chỉ các đường cong bộ lọc mà khiến cho độ khuếch đại nhỏ hơn so với ngưỡng cho phép được sử dụng. Để đưa giới hạn này vào thực tiễn, bậc của phép biến đổi Fourier trong không gian đã được giới hạn đến  $N_{max}(kr)$ .

Để đảm bảo sự tuân thủ tiêu chuẩn tạo răng cưa để ngăn chặn việc tạo răng cưa, hàm khác được tính đến trong thuật toán. Hàm này tính toán giá trị  $kr$  được cho phép cực đại và tìm ra chỉ số tương ứng trong vector  $kr$ . Thông tin này sau đó được sử dụng để giới hạn việc phân tích (trong S/T/C and P/D/C) lên đến giá trị định trước.

Bước cuối cùng của việc phân tích trường âm thanh có thể, ví dụ, là việc bổ sung tất cả các kết quả phụ thuộc  $kr$ , vì các phép tính S/T/C và P/D/C đã được thực hiện riêng cho từng giá trị  $kr$ . Đối với việc hiển thị hóa trường sóng được phân tích, các giá trị tuyệt đối của dữ liệu đầu ra P/D/C được bổ sung.

Các kết quả của phép phân tích trường âm thanh, ví dụ, sau đó được sử dụng để hiệu chỉnh chúng với các đáp ứng xung âm lập thể. Cả hai được đánh dấu trong GUI theo hướng của nguồn âm thanh có thể đáp ứng (xem Fig.24).

Nhưng trước hết, một số điều đề phòng có thể, ví dụ được thực hiện.

Đối với việc điều chỉnh thời gian, cả hai phép đo được phân tích bởi hàm “Estimate TOA”, trong đó thời khoảng của âm thanh từ loa phát thanh đến micrô gần nhất được ước lượng. Trong thiết lập âm lập thể, micrô gần nhất luôn được đặt ở cùng phía. Do đó, kênh BRIR tương ứng được chọn để ước lượng TOA. Bằng cách sử dụng đáp ứng xung này, giá trị cực đại được xác định và giá trị ngưỡng, là 20 phần trăm giá trị cực đại được tạo ra. Vì âm thanh trực tiếp là theo thời gian với giai đoạn thứ nhất trong đáp ứng xung và còn bao gồm giá trị cực đại, TOA được xác định như đỉnh thứ nhất mà mở rộng ngưỡng. Trong thiết lập theo hình cầu, đáp ứng xung của micrô gần nhất được ước lượng bằng cách so sánh các giá trị cực đại của từng đáp ứng xung theo thời gian. Sau đó cùng tiến trình đối với việc ước lượng TOA được áp dụng cho đáp ứng xung với cực đại gần nhất.

Micrô gần nhất của thiết lập theo hình cầu là không ở cùng vị trí như micrô trong thiết lập âm lập thể (xem Fig.23). Tuy nhiên, khoảng cách giữa chúng sẽ luôn giống nhau, bởi vì chỉ những loa được sắp xếp theo đường chéo là được đo trong thử nghiệm này. Do đó, có chênh lệch khoảng 7,5cm hoặc 10 mẫu (tại 48kHz), mà tương ứng với độ lệch của một bước trong độ phân giải theo thời gian của phép phân tích trường âm thanh. Đưa độ lệch vào phép tính, phương pháp đơn giản này cho việc ước lượng TOA mang lại các kết quả tốt rõ rệt.

Việc sử dụng ước lượng TOA và ước lượng điểm chuyển tiếp, như được đề cập ở trên, phép phân tích trường âm thanh bị giới hạn theo thời gian cho các chỉ số thời gian của chúng. Thiết lập BRIR cũng được tạo cửa sổ ở trong giới hạn của chúng (xem Fig.24).

Fig.24 mô tả giao diện người dùng dạng đồ họa kết hợp trực quan các kết quả của phép phân tích trường âm thanh và các phép đo BRIR.

Fig.25 mô tả đầu ra của giao diện người dùng dạng đồ họa để hiệu chỉnh các phép đo hình cầu và âm lập thể. Đối với vị trí trượt hiện thời, phản xạ được phát hiện mà đi đến đầu người từ phía sau cao hơn một chút so với vị trí của các tai. Trong phép biểu diễn BRIR, phản xạ này được đánh dấu bởi cửa sổ trượt (các đường 2511, 2512, 2513, 2514).

Hai kênh của BRIR được dựng đồ thị trong phần phía dưới của GUI thể hiện các giá trị tuyệt đối. Để nhận ra các phản xạ tốt hơn, khoảng giá trị được giới hạn đến 0,16. Các đường 2511, 2512, 2513, 2514 biểu diễn 40 mẫu theo cửa sổ trượt mà đã được sử dụng trong phép phân tích trường âm thanh. Như đã được đề cập, việc kết nối theo thời gian giữa cả hai phép đo dựa trên sự ước lượng TOA. Vị trí của cửa sổ trượt được ước lượng chỉ trong các đồ thị BRIR.

Ảnh chụp tức thời của trường sóng được phân ly được thể hiện trong đồ thị bên trái phía trên. Ở đây, khối cầu được chiếu lên mặt phẳng hai chiều, bao gồm các độ lớn (theo thang đo tuyến tính hoặc thang đo dB) cho từng góc phương vị và góc ngẩng. Khung trượt kiểm soát thời gian quan sát cho những sự kết xuất nhanh và cũng chọn vị trí tương ứng của cửa sổ trượt trong các đồ thị BRIR.

Có thể nhìn thấy sự phân bố theo thời gian của trường sóng được phân ly cho cả hai góc trong một đồ thị. Do đó, phải tách thành phép biểu diễn theo chiều ngang và phép biểu diễn theo chiều dọc. Đối với việc phân bố theo chiều ngang, tổng dữ liệu cho tất cả các góc ngẩng đã được tính toán và được làm giảm cho một mặt phẳng. Đối với việc phân bố theo chiều dọc, tổng của dữ liệu cho tất cả các góc phương vị đã được tính toán. Cả hai đồ thị được giới hạn đến 2000 mẫu, để xem xét cụ thể hơn tại lúc bắt đầu. 120 mẫu đầu tiên của HRIR nằm ngoài khoảng và được rút ngắn trong phép biểu diễn trực quan.

Trong phần tiếp theo, tiến trình để phát hiện và phân loại các phản xạ trong BRIR được biểu diễn.

Do sự chồng lấp phản xạ mạnh mẽ trong miền thời gian, không thể hoàn toàn cắt riêng rẽ các phản xạ đơn lẻ. Thậm chí nếu các phản xạ bậc một không chồng lấp với nhau tại lúc bắt đầu, có thể có sự tán xạ đến các micrô cùng một lúc. Do đó chỉ các phần của các phản xạ mà có các đỉnh ưu thế trong BRIR và phép biểu diễn trường sóng được phân ly sẽ được xem xét trong các nghiên cứu.

Fig.26 thể hiện các trạng thái theo thời gian khác nhau của phản xạ nhất định mà đã được thu giữ trong cả hai phép đo. Có thể thấy trong hàng thứ hai, phản xạ chiếm ưu thế trong cửa sổ phân tích của phép phân tích trường âm thanh. Cùng trạng thái có thể được thấy trong BRIR. Trong ví dụ này, phản xạ trong cả hai kênh tạo ra

đỉnh với giá trị cao nhất trong môi trường trung gian. Để sử dụng phản xạ trong các thử nghiệm khác, các điểm thời gian bắt đầu và kết thúc được xác định.

Đối với việc này, cần thiết lập lại vài bước thời gian ngược lại để tìm điểm chuyển tiếp từ phản xạ hiện thời đến phản xạ có trước. Quy trình này được mô tả chi tiết trong dòng thứ nhất của Fig.26. Cửa sổ phân tích được đặt giữa hai phản xạ. Dựa trên việc đánh giá bằng mắt thường, điểm bắt đầu có thể được thiết lập cho thời điểm tại mẫu 910. Trong cả hai kênh có cực tiểu quỹ tích. Trong trường hợp đó, cùng giá trị có thể được chọn cho cả hai đáp ứng xung, bởi vì phản xạ xuất hiện từ phía sau. Việc này có nghĩa là hầu như không có ITD hoặc ILD trong the BRIR. Mặt khác, phụ thuộc vào góc phương vị ITD đã được bổ sung thêm. Quy trình tương tự được thực hiện cho điểm kết thúc.

Fig.26 minh họa các trạng thái theo thời gian khác nhau của phản xạ được biểu diễn trong trường sóng được phân ly và các đồ thị BRIR. Cột bên trái thể hiện điểm bắt đầu. Tại thời điểm đó, phản xạ khác mất đi. Trong cột ở giữa, phản xạ mong muốn chiếm ưu thế trong cửa sổ phân tích. Trong cột bên phải, phản xạ mong muốn sau đó trở nên yếu hơn và dần dần biến mất trong số các phản xạ và sự tán xạ.

Sau đây, ảnh hưởng của các phản xạ ban đầu được mô tả.

Ngay cả khi công việc này được tập trung để nghiên cứu ảnh hưởng của các phản xạ ban đầu về cảm nhận độ cao, cần hiểu biết về chế độ và vai trò của các phản xạ trong việc xử lý âm lập thể. Đặc biệt, các phản xạ là các phản xạ được biến đổi của âm thanh trực tiếp. Vì hiệu ứng màn chắn và hiệu ứng thứ bậc có thể xảy ra, dường như là hợp lý để cho rằng không phải tất cả các phản xạ sẽ nghe thấy được. Câu hỏi xuất hiện là, có phải tất cả các phản xạ là quan trọng để duy trì sự định vị và duy trì ấn tượng âm thanh tổng thể không? Các phản xạ nào có thể cần thiết cho việc cảm nhận độ cao? Làm thế nào để các phép kiểm tra thêm được thiết kế mà không phá hỏng ấn tượng âm thanh và duy trì được tính tự nhiên?

Công việc này không nhằm tìm ra nguyên tắc chung để mô tả làm thế nào để các phản xạ được triệt tiêu trong cảm nhận âm lập thể. Nó nhằm trả lời các câu hỏi đã được đề cập. Do đó, không có các phản xạ liên quan nào được xác định dựa trên sự

đánh giá thuộc thính giác, trong khi sử dụng các nguyên tắc của hiệu ứng màn chắn và hiệu ứng thứ bậc.

Ngay sau đây, việc phân phối trong không gian của các phản xạ được xem xét với sự tham chiếu đến môi trường nghe Mozart được biểu diễn ở trên.

Fig.27 minh họa sự phân bố phản xạ theo chiều ngang và chiều dọc trong môi trường Mozart với hướng của nguồn âm thanh có: độ phương vị  $45^\circ$ , độ ngẩng  $55^\circ$ . Trong phòng này, các phản xạ ban đầu có thể được phân tách thành ba khu vực. 1. [Mẫu 120-800] Các phản xạ đi đến từ hầu như cùng hướng như âm thanh trực tiếp. 2. [Mẫu 800-1490] Các phản xạ đi đến từ các hướng ngược nhau. 3. [Mẫu 1490-Điểm chuyển tiếp] Các phản xạ đi đến từ tất cả các hướng và có ít năng lượng.

Việc nâng cao các phân bố theo chiều ngang và theo chiều dọc của các phản xạ ban đầu cho các hướng âm thanh khác nhau, mẫu phân bố điển hình có thể được quan sát thấy. Sự phân bố trong không gian có thể được chia thành ba vùng. Khu vực thứ nhất bắt đầu ngay sau khi âm thanh trực tiếp tại mẫu 120 và kết thúc gần mẫu 600. Từ phép biểu diễn theo chiều ngang, có thể được thấy rằng các phản xạ đến điểm lý tưởng từ hầu như cùng hướng như nguồn âm thanh (xem Fig.27, bên trái). Đồ thị góc ngẩng (xem Fig.27, bên phải) thể hiện rằng trong dải này tất cả các sóng được phản xạ hoặc bởi nền đất hoặc bởi trần.

Trong khu vực thứ hai, các phản xạ đến từ nguồn đối nhau. Thời điểm này bắt đầu tại mẫu 800 và kết thúc tại mẫu 1490. Ở đây, các nguồn từ các hướng chính diện ( $45^\circ/315^\circ$ ) gây ra các phản xạ phân biệt quanh các góc phương vị bằng  $170^\circ/190^\circ$ . Điều này do cửa sổ lớn với bề mặt phản xạ mạnh ở phía sau. Trong đó, các nguồn từ các hướng phía sau ( $135^\circ/225^\circ$ ) gây ra các phản xạ phân biệt trong các góc đối diện ( $315^\circ/45^\circ$ ) bởi vì không có bề mặt phản xạ mạnh nào ở phía trước. Đối với việc phân bố độ cao, không có báo cáo rõ ràng nào được đưa ra.

Khu vực thứ ba bắt đầu tại mẫu 1490 và kết thúc tại điểm chuyển tiếp được ước lượng. Ở đây, ngoài một vài ngoại lệ, các phản xạ đến từ hầu hết tất cả các hướng và các độ cao. Hơn nữa, mức áp suất âm thanh được làm giảm mạnh mẽ.

Trong phần tiếp theo, việc làm giảm các phản xạ liên quan đến thính giác được xem xét.

Việc làm giảm này được thực hiện để làm giảm các phản xạ ban đầu đến các giá trị cơ bản trong một cặp BRIR (góc phương vị của nguồn:  $45^\circ$ , góc ngẩng  $55^\circ$ ). Các phản xạ đã được triệt tiêu được xác định và thiết lập đến không, và sau đó được so sánh với các BRIR không được biến đổi. Vì việc định vị được hiệu chỉnh mạnh mẽ cho các tín hiệu điều khiển phổ và do đó âm sắc của âm thanh không được phân biệt giữa sự định vị và ấn tượng âm thanh. Việc loại bỏ các phản xạ từ các BRIR sẽ không dẫn đến bất kỳ chênh lệch cảm quan nào.

Trong khi xác định các phản xạ được triệt tiêu, một số dấu hiệu đặc biệt được chú ý. So sánh với các thử nghiệm cổ điển, trong đó chỉ có hai âm thanh, nhiều phản xạ ảnh hưởng đến trạng thái của hiệu ứng màn chắn và hiệu ứng thứ bậc trong BRIR. Hơn nữa, có thể áp dụng các nguyên tắc trực tiếp cho các đáp ứng xung, như xung phản xạ sẽ khiến cho chất lượng và độ dài hiệu ứng khác nhau, phụ thuộc vào âm thanh mà nó lọc. Ngoài ra, khi so với các BRIR, các tín hiệu âm lập thể có thể tác động đến màn chắn, vì người nghe nhận hai phiên bản của màn chắn và âm thanh được che. Cả hai phiên bản khác với ITD, ILD và hợp phần phổ. Người nghe hoàn lại nhiều thông tin hơn trong trường hợp này. Ví dụ nổi bật là "hiệu ứng bữa tiệc cốc-tai" (xem tài liệu tham khảo "Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears" của tác giả E. C. Cherry), trong đó hệ thống thính giác có khả năng tập trung vào một người trong phòng đông đúc.

Fig.28 minh họa các phân bố phản xạ ngang và dọc trong môi trường "Mozart" với hướng của nguồn âm thanh: độ phương vị  $45^\circ$ , độ ngẩng  $55^\circ$ . Lần này, chỉ các phản xạ có thể nghe thấy được để lại trong các đồ thị.

Fig.29 thể hiện cặp BRIR nâng cao với hướng của nguồn âm thanh: độ phương vị  $45^\circ$ , độ ngẩng  $55^\circ$ . Các khu vực 2911, 2912, 2913, 2914, 2915; 2931, 2932, 2933, 2934, 2935 được thiết lập đến không trong các đáp ứng xung 2901, 2902, 2903, 2904, 2905; 2921, 2922, 2923, 2924, 2925.

Cách tiếp cận để xác định các phản xạ bị khử được thể hiện như sau. Trong khu vực thứ nhất của các phản xạ ban đầu, mọi phản xạ giữa mẫu 300 và 650 được thiết

lập đến không. Các phản xạ ở đây là các đáp ứng trong không gian của các phản xạ nền đất và trần thứ nhất (xem Fig.20). Giả định rằng, chúng không liên quan đến nhận thức trong BRIR, bởi vì thứ bậc có thể có của hiệu ứng màn chắn. Sự ưu thế của hai phản xạ thứ nhất cũng có thể được thấy trong các đồ thị BRIR (xem Fig.30). Việc này hỗ trợ cho giả định được đưa ra trước đó. Khoảng giữa mẫu 650 và 800 bao gồm các phản xạ tương đối yếu, tuy nhiên chúng dường như quan trọng. Cho rằng không có hiệu ứng triệt tiêu nào mở rộng cho đến đó, và mặc dù việc loại bỏ chúng chỉ gây ra những chênh lệch cảm quan nhỏ, chúng duy trì trong các BRIR.

Việc bắt đầu của khu vực thứ hai (800-900) dường như cũng không bị triệt tiêu. Các phản xạ ở đây, thể hiện các đỉnh cao trong các đồ thị BRIR và bắt nguồn từ các hướng đối diện. Phản xạ tại mẫu 910 là sự lặp lại trước của phản xạ mạnh hơn tại mẫu 1080, và do đó không liên quan về cảm quan. Khoảng giữa mẫu 900 và 1040 đã được loại bỏ. Từ mẫu 1040 cho đến 1250, có nhóm phản xạ vượt trội, mà không thể bị loại bỏ. So sánh với phần kết thúc của khu vực thứ nhất, phần kết thúc của khu vực thứ hai (từ 1250 đến 1490) về cảm quan ít có tính quyết định, nhưng vẫn quan trọng.

Ngoài hai ngoại lệ (1630 - 1680, 1960 – 2100) khu vực thứ ba hoàn chỉnh được thiết lập đến không. Đến điểm lý tưởng từ hầu hết tất cả các hướng, hợp phần của các phản xạ có vẻ là không có các tín hiệu định hướng.

Fig.30 minh họa việc bổ sung của tất cả "sự kết xuất nhanh" của phép phân tích trường âm thanh cho tất cả các phản xạ ban đầu (bên trái) và cho duy nhất các phản xạ ban đầu liên quan đến cảm quan (bên phải).

Cụ thể, Fig.30, ở bên trái thể hiện sự phân bố trong không gian lũy tích của tất cả các phản xạ ban đầu. Trong đồ thị này, các khu vực thứ nhất và thứ hai có thể dễ dàng được nhận ra. Đối với nguồn có góc phương vị  $45^\circ$ , nhóm phản xạ thứ nhất đi đến từ hướng nguồn và nhóm thứ hai đi đến từ góc bằng khoảng  $170^\circ$ . Việc phân bố này rõ ràng tạo ra các tín hiệu định vị âm thanh, mà dẫn đến ấn tượng âm thanh tự nhiên và sự định vị tốt, vì chúng có thể so sánh với các tín hiệu định vị âm thanh được lưu trữ trong hệ thống thính giác của con người.

Hơn nữa, Fig.30 thể hiện những sự phân bố trong không gian lũy tích trước khi (bên trái) và sau khi (bên phải) loại bỏ các phản xạ không liên quan, mà không có phản

xạ quan trọng nào được loại bỏ. Hơn nữa, giờ đây dễ dàng để biểu thị các phản xạ ưu thế cần đến sự định vị. Kiến thức này sẽ được sử dụng trong phần sau đây trong khi tìm kiếm các tín hiệu nhận biết độ cao.

Fig.31 minh họa các BRIR không được biến đổi mà đã được kiểm tra ngược lại với các BRIR được biến đổi trong thử nghiệm nghe, trong khi bao gồm nhiều hơn ba điều kiện. Điều kiện bổ sung thứ nhất để loại bỏ tất cả các phản xạ ban đầu, điều kiện thứ hai để bỏ đi chỉ các phản xạ mà đã được loại bỏ trước, và điều kiện thứ ba chỉ để loại bỏ khu vực thứ nhất và thứ hai của các phản xạ ban đầu (xem Fig.31).

Fig.31 minh họa cặp BRIR không được nâng cao (hàng 1, 2), cặp BRIR được nâng cao (hàng 3, 4) và cặp BRIR được biến đổi (hàng 5, 6). Trong trường hợp cuối cùng, các phản xạ ban đầu của các BRIR được nâng cao đã được chèn vào trong các BRIR không được nâng cao.

Khi nghe đến một điều kiện, âm thanh trực tiếp được nhận biết từ góc nâng cao ít. Hơn nữa, hai sự kiện riêng rẽ (âm thanh trực tiếp và buồng vang) đều có thể nghe thấy được. Việc kiểm tra nghe không chính thức xuất hiện để thể hiện các phản xạ ban đầu có thể có thuộc tính kết nối.

Trong phần sau đây, các khía cạnh được biểu diễn mà sáng chế dựa trên các khía cạnh này.

Trước kết, các tín hiệu đối với cảm nhận về độ cao được xem xét.

Dựa trên phần đã nói ở trên, ngay sau đây, xem xét là liệu các phản xạ ban đầu hỗ trợ việc cảm nhận về độ cao hay không? Và đường bao phổ của các phản xạ ban đầu có bao gồm các tín hiệu cho việc cảm nhận về độ cao không? Trong các thử nghiệm sau, việc đánh giá về thính giác được dựa trên phản hồi của một vài người nghe có chuyên môn.

Các phản xạ ban đầu hỗ trợ cảm nhận về độ cao. Việc này được chứng minh trong phép kiểm tra ban đầu mà phân tích, nếu có các chênh lệch khả thi giữa các phản xạ ban đầu của BRIR không được nâng cao và phản xạ ban đầu của BRIR được nâng cao, liên quan đến cảm nhận về độ cao. Đối với góc phương vị bằng  $45^\circ$ , hai cặp BRIR được chọn. Các phản xạ ban đầu của các BRIR được nâng cao được thực hiện để thay

thể các phản xạ ban đầu của các BRIR không được nâng cao (xem Fig.32). Được kỳ vọng là các BRIR không được nâng cao sau đó sẽ được nhận biết từ góc nhận cao hơn.

Fig.32 minh họa từng kênh, BRIR không được nâng cao (bên trái) được so sánh cảm quan với chính nó (bên phải), thời gian này bao gồm các phản xạ ban đầu của BRIR được nâng cao (khung ở phía bên phải thuộc Fig.32).

Thuật toán để ước lượng điểm chuyển tiếp giữa các phản xạ ban đầu và buồng vang được áp dụng riêng rẽ cho từng BRIR. Do đó, bốn giá trị khác nhau và bốn độ dài khác nhau đối với các khoảng phản xạ ban đầu được kỳ vọng. Để thay đổi các phản xạ ban đầu của các BRIR, cần độ dài giống nhau cho từng kênh. Trong trường hợp này, việc mở rộng vào trong khu vực của buồng vang được ưu tiên, đối với việc làm giảm bằng cách loại bỏ đầu mút của phần phản xạ ban đầu. So sánh với các phản xạ ban đầu, buồng vang không bao gồm bất kỳ thông tin định hướng nào và sẽ không làm biến đổi nhiều thử nghiệm, như được kỳ vọng trong trường hợp khác. Như có thể quan sát trên Fig.31 (các hàng 5 và 6), các phản xạ ban đầu trong kênh 1 bắt đầu với mẫu 120 và kết thúc với mẫu 2360. Trong kênh 2, chúng bắt đầu với mẫu 120 và kết thúc với mẫu 2533.

Mà nguồn âm thanh không được nâng cao thực ra được cảm nhận từ góc ngẩng cao hơn. Điều này có nghĩa là các phản xạ ban đầu không những hỗ trợ âm thanh trực tiếp mà đương nhiên được cảm nhận, mà còn có các thuộc tính phụ thuộc hướng có thể nghe được.

Đường bao phổ bao gồm thông tin về việc cảm nhận độ cao. Quan tâm đến cảm nhận về độ cao của nguồn âm thanh, thử nghiệm trước được lặp lại, chỉ sử dụng thông tin phổ. Vì việc định vị trên mặt phẳng theo chiều dọc, cụ thể, được kiểm soát bởi các tín hiệu điều khiển phổ (và ví dụ một cách bổ sung, bởi khoảng cách thời gian giữa âm thanh trực tiếp và buồng vang), mục đích để tìm ra rằng liệu những biến đổi trên miền phổ có đủ để đạt được cùng hiệu quả hay không. Thời gian này, các BRIR giống nhau và các điểm bắt đầu và kết thúc giống nhau biểu diễn các vùng phản xạ ban đầu đã được sử dụng.

Fig.33 minh họa các phản xạ ban đầu của BRIR không được nâng cao (bên trái) được so sánh cảm quan với chính nó (bên phải), thời gian này các phản xạ ban đầu

được có màu bởi các phản xạ ban đầu của BRIR được nâng cao theo kênh (khung ở phía bên phải thuộc Fig.33). Các phản xạ ban đầu của các BRIR được nâng cao được sử dụng như mốc quy chiếu để lọc các phản xạ ban đầu của các BRIR được nâng cao theo kênh.

Theo quy trình lọc đối với từng kênh:

- Phép biến đổi Fourier rời rạc được tính toán cho các phản xạ ban đầu của BRIR được nâng cao để thu được  $ER_{el,fft}$ . Phép biến đổi Fourier rời rạc được tính toán cho các phản xạ của BRIR không được nâng cao để thu được  $ER_{non-el,fft}$
- Các độ lớn của  $ER_{el,fft}$  cũng như  $ER_{non-el,fft}$  được làm nhẵn bởi cửa sổ hình chữ nhật, trượt khắp thang đo ERB (xem mục tham khảo theo đường dẫn [https://ccrma.stanford.edu/~jos/bbt/Equivalent\\_Rectangular\\_Bandwidth.html](https://ccrma.stanford.edu/~jos/bbt/Equivalent_Rectangular_Bandwidth.html)), mà dẫn đến sự xấp xỉ của các băng thông của các bộ lọc của thính giác của con người, để thu được  $ER_{el,fft,smooth}$  và  $ER_{non-el,fft,smooth}$ .
- Để tính toán bộ lọc hiệu chỉnh, trước tiên, đường cong tham chiếu được chia cho đường cong thực. Việc chia này dẫn đến đường cong hiệu chỉnh  $CC_{smooth} = ER_{el,fft,smooth} / ER_{non-el,fft,smooth}$ .
- Có thể tạo ra đáp ứng xung trong pha cực tiểu  $IR_{correction}$  ngoài  $CC_{smooth}$ , bằng cách tạo cửa sổ thích hợp trong miền phổ (xem mục tham khảo theo đường dẫn <http://de.mathworks.com/help/signal/ref/rceps.html>).
- $IR_{correction}$  được sử dụng sau đó để lọc các phản xạ ban đầu của BRIR không được nâng cao.

Việc làm nhẵn được thực hiện để thu được một đường cong hiệu chỉnh.

Đối với một kênh, thu được chênh lệch năng lượng bằng 4,3 phần trăm và đối với hai kênh giá trị bằng 3,0 phần trăm. Các chênh lệch nhỏ này có thể được thấy trên Fig.34 giữa các đường bao phổ 3411, 3412 và các đường bao phổ được gạch chéo 3401, 3402.

Fig.34 minh họa các đường bao phổ của các phản xạ ban đầu không được nâng cao 3421, 2422, các phản xạ ban đầu được nâng cao 3411, 2412 và các phản xạ ban đầu được biến đổi (gạch chéo) 3401, 3402 (hàng thứ nhất). Các đường cong hiệu chỉnh tương ứng được thể hiện trong hàng thứ hai.

Sự so sánh về thính giác của các BRIR không được nâng cao và BRIR được biến đổi phổ không thể hiện sự tăng lên của góc ngẩng. Và ngoài ra, các đường cong hiệu chỉnh chỉ có dải động bằng 6dB. Dường như không có phổ của tất cả các phản xạ ban đầu bao gồm thông tin về độ cao.

Từ điều đã biết ở trên, rằng không phải toàn bộ dải phản xạ ban đầu là có thể nghe thấy được, rằng các phản không nghe thấy được được chứa trong các biến đổi phổ của thử nghiệm sau cùng, làm sai lệch kết quả. Đặc biệt, phần thứ ba của dải phản xạ ban đầu nơi mà các phản xạ đến từ tất cả các hướng, có thể là nguyên nhân cho dải động của của các đường cong hiệu chỉnh. Do đó, thử nghiệm được lặp lại, thời gian này chỉ được tập trung về các phản xạ ban đầu có thể nghe thấy.

Các khu vực được chọn cho các phản xạ có thể nghe được được chỉ ra trong Bảng 1:

Bảng 1:

```
ER_1_0 = [brir_0(120:200,1); brir_0(580:720,1);
brir_0(820:1110,1); brir_0(1300:1680,1); brir_0(1860:2100,1)];
ER_2_0 = [brir_0(120:200,2); brir_0(580:720,2);
brir_0(820:1110,2); brir_0(1300:1680,2); brir_0(1860:2100,2)];
ER_1_35 = [brir_35(120:300,1); brir_35(630:900,1);
brir_35(1040:1490,1); brir_35(1630:1680,1); brir_35(1960:2100,1)];
ER_2_35 = [brir_35(120:300,2); brir_35(630:900,2);
brir_35(1040:1490,2); brir_35(1630:1680,2); brir_35(1960:2100,2)];
```

Bảng 1 mô tả các khu vực có thể nghe được của các phản xạ ban đầu thuộc các BRIR được nâng cao và không được nâng cao. Do sự chồng lấp dày đặc, ITD không được xem xét ở đây. Tukey-Window được sử dụng để tăng dần cường độ âm thanh và giảm dần cường độ âm thanh của các khu vực, trong khi thiết lập sự nghỉ đến không.

Fig.35 mô tả các đường bao phổ của các phần có thể nghe thấy được của các phản xạ ban đầu không được nâng cao 3521, 3522, các phản xạ ban đầu được nâng cao 3511, 3512 và các phản xạ ban đầu được biến đổi (được gạch chéo) 3501, 3502 (hàng thứ nhất). Các đường cong hiệu chỉnh tương ứng được thể hiện trong hàng thứ hai.

Trong phần tiếp theo, việc phân tích các đường bao phổ được tiến hành.

Như đã được đề cập, việc định vị trên mặt phẳng theo chiều dọc được kiểm soát bởi sự khuếch đại của các phạm vi tần số nhất định. Do đó, các tín hiệu điều khiển phổ có trách nhiệm nhận biết các nguồn từ các góc được nâng cao và các nghiên cứu trong công việc này vẫn tập trung vào việc tìm ra các tín hiệu mong muốn trong miền phổ.

Việc sử dụng các đường bao phổ của các phản xạ ban đầu thuộc các BRIR được nâng cao để làm biến đổi các BRIR không được nâng cao không làm tăng góc ngảng của nguồn âm thanh. So sánh các đường bao phổ của tất cả các phản xạ ban đầu với các đường bao phổ của các phản xạ đơn, có thể nói rằng các phản xạ đơn có nhiều tiến trình phổ động hơn trong vùng nghe thấy được (lên đến 20kHz). Ngược lại, phổ toàn phần thể hiện đường cong khá phẳng (xem Fig.36).

Fig.36 thể hiện sự so sánh của các đường bao phổ. Các đường bao phổ của tất cả các phản xạ ban đầu hoặc thậm chí tất cả các phản xạ ban đầu có thể nghe thấy thể hiện đường cong phẳng trong vùng nghe thấy (lên đến 20kHz). Ngược lại, phổ của các phản xạ đơn (dòng thứ hai) có tiến trình động nhiều hơn.

Cụ thể, Fig.36 thể hiện các đường cong hiệu chỉnh thu được. Mặc dù, thời gian này các dạng cũng như các dải động đã được thay đổi, về cảm quan không có sự thay đổi đáng kể liên quan đến góc ngảng. Trong khi, có ít nhất chênh lệch bằng 4,5dB trong đường bao phổ trên tai cùng phía (CH1), không có chênh lệch đáng kể nào giữa các đường bao trên tai ngược phía. Các giá trị này là tương đối nhỏ, xét rằng phạm vi mà chúng biến đổi nằm sau âm thanh trực tiếp chiếm ưu thế.

Có thể là, các phản xạ ban đầu vẫn có ảnh hưởng quan trọng dựa trên tính tự nhiên của vết âm thanh như nhóm, mà thực chất để đưa cảm nhận về độ cao trong khi nghe các nguồn âm thanh ảo. Tuy nhiên, bám sát theo lý do là các tín hiệu cho việc cảm nhận về độ cao được đặt trong phổ của các phản xạ đơn. Hiểu biết về sự phân bố

trong không gian của các phản xạ đạt được bởi các phép đo dây micro được sử dụng trong các thử nghiệm dưới đây.

Ngay sau đây, khía cạnh về khuếch đại các phản xạ ban đầu từ các góc ngẩng cao hơn được biểu diễn.

Xác định các phản xạ bao gồm các tín hiệu cho cảm nhận về độ cao bằng cách khuếch đại chúng. Qua trực giác, nếu có bất kỳ các phản xạ đơn nào bao gồm các tín hiệu này, sau đó chúng có thể đi đến người nghe từ các góc ngẩng cao hơn.

Trong thử nghiệm trước, đã cố gắng để chuyển năng lượng từ các phản xạ đi đến từ các góc ngẩng thấp hơn đến các phản xạ đi đến từ các góc ngẩng cao hơn. Không may là, chỉ có hai phản xạ từ các góc ngẩng thấp hơn, mà không nằm trong vùng không nghe thấy được. Trạng thái này được quan sát trong tất cả các hướng, vì các thuộc tính hình học cho các loa phát thanh được đo trong môi trường "Mozart" gần như giống hệt. Khi so sánh, không tránh được nếu các phản xạ từ các góc ngẩng cao hơn nằm bên trong các khu vực không nghe thấy được. Việc khuếch đại các phản xạ này sẽ khiến cho chúng vượt quá hiệu ứng triệt tiếng ồn và trở nên có thể cảm nhận được. Tuy nhiên, trong trường hợp này, bốn phản xạ có thể được phân tách từ đáp ứng xung, mà không có các vùng chồng lấp dày đặc để nối tiếp các phản xạ. Các giá trị tương ứng được đưa ra trong bảng TA2. Bởi vì lượng nhỏ các phản xạ được sử dụng trong thực nghiệm này, nên chỉ thu được các giá trị khuếch đại bằng 1,14 đối với kênh thứ nhất và bằng 1,33 đối với kênh thứ hai. Chúng không đủ để đem lại sự nâng cao trong cảm nhận về độ cao. Các cách tiếp cận khác nhau để chuyển một cách có hệ thống các năng lượng từ các phản khác đến bốn phản xạ với các góc ngẩng cao hơn dẫn đến các kết quả tương tự.

Vì lý do này, phép thử được thực hiện để tìm ra các giá trị khuếch đại thích hợp, dựa trên sự cộng hưởng được đánh giá về thính giác. Các giá trị khác nhau nằm trong khoảng từ 3 đến 15 được chọn để khuếch đại từng phản xạ trong số bốn phản xạ. Các phản xạ này được thể hiện trên Fig.37.

Fig.37 minh họa bốn phản xạ được chọn 3701, 3702, 3703, 3704; 3711, 3712, 3713, 3714 đi đến người nghe từ các góc ngẩng cao hơn mà được khuếch đại đến giá

trị bằng 3. Các phản xạ ở sau mẫu 1100 có sự chồng lấp dày đặc để gần kề các phản xạ và do đó không thể được phân tách từ các đáp ứng xung.

Chúng được khuếch đại và được biểu diễn bởi đường cong 3701, 3702, 3703, 3704, và bởi đường cong 3711, 3712, 3713, 3714. Trong khi so sánh các phản xạ được khuếch đại về mặt cảm quan, nó được thể hiện lên đến phản xạ thứ hai 3702; 3712 và phản xạ thứ ba 3703; 3713 khiến việc chuyển trong không gian trên mặt phẳng phương vị thay vì mặt phẳng giữa. Việc này dẫn đến ấn tượng âm thanh dội lại mạnh mẽ.

Việc khuếch đại của phản xạ tứ nhất 3701; 3711 và phản xạ thứ tư 3704; 3714 mang lại việc nâng cao của góc ngẩng được nhận biết. Trong khi so sánh chúng, sự khuếch đại của phản xạ tứ nhất 3701; 3711 dẫn đến có nhiều thay đổi về âm sắc hơn so với phản xạ thứ tư 3704; 3714. Hơn nữa, trong trường hợp phản xạ thứ tư 3704; 3714, nguồn nghe dày đặc hơn. Tuy nhiên, việc khuếch đại đồng thời chúng, một cách cảm quan dẫn đến kết quả tốt nhất. Mỗi liên hệ của cả hai giá trị khuếch đại là quan trọng. Có thể được quan sát thấy, là giá trị khuếch đại thứ tư cao hơn giá trị khuếch đại tứ nhất. Sau những cố gắng khác nhau, các giá trị khuếch đại bằng 4 và 15 được tìm ra và được xác nhận bởi người nghe có chuyên môn, vì có hiệu quả chấp nhận được lớn nhất và có tính tự nhiên. Cần lưu ý rằng độ lệch của các giá trị này chỉ gây ra những thay đổi nhỏ về tính hiệu quả. Do đó, chúng sẽ được sử dụng như các giá trị định hướng trong các thử nghiệm tiếp theo.

Dưới đây, các phương án của sáng chế được mô tả.

Cụ thể, các khía cạnh về việc nâng cao các nguồn âm thanh ảo được mô tả

Các kết quả ở trên đã được thể hiện rằng hai đáp ứng xuất hiện từ các góc ngẩng cao hơn mà thực ra bao gồm các tín hiệu, mà chịu trách nhiệm về ấn tượng độ cao. Được khuếch đại tại các vị trí ban đầu của chúng trong các BRIR, tín hiệu điều khiển theo thời gian không thay đổi. Để đảm bảo việc nâng cao độ cao được gây ra bởi phổ và không gây ra bởi các tín hiệu điều khiển theo thời gian, phổ được phân tách để tạo ra bộ lọc.

Bởi vì mức độ âm thanh cao của nó, âm thanh trực tiếp chi phối quy trình định vị. Các phản xạ ban đầu có tầm quan trọng phụ, và không được cảm nhận như sự kiện thính giác riêng lẻ. Bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng thứ bậc, chúng hỗ trợ cho âm thanh trực

tiếp. Do đó, ứng dụng bộ lọc được tạo ra cho âm thanh trực tiếp để biến đổi các HRTF là hợp lý.

Phép phân tích hình học của hai phản xạ cung cấp việc tìm ra rằng việc xem xét các vị trí của cả hai phản xạ trong các BRIR, và các góc ngẩng trong phép biểu diễn phân bố trong không gian, các phản xạ có thể được nhận diện như các phản xạ trần bậc một và bậc hai.

Fig.38 mô tả việc minh họa cả hai phản xạ trần cho nguồn âm thanh nhất định. Hình trên cùng (bên trái) và hình phía sau (bên phải) cho người nghe và các loa phát thanh.

Cụ thể, Fig.38 thể hiện ở hình trên cùng và hình phía sau trạng thái hình học. Các phản xạ bậc hai dĩ nhiên yếu hơn, và bởi vì được phản xạ hai lần, ít tương tự về âm học so với âm thanh trực tiếp như phản xạ bậc một. Tuy nhiên, phản xạ bậc hai này đi đến người nghe từ góc ngẩng cao hơn. Giá trị khuếch đại bằng 15, được xác định như được mô tả ở trên, cũng có thêm tầm quan trọng của nó.

Trong phần minh họa bên trái thuộc Fig.38, có thể quan sát thấy rằng cả hai phản xạ xuất hiện từ cùng hướng như âm thanh trực tiếp, trong khi có các góc ngẩng khác nhau (phần minh họa bên phải). Bởi vì tính đối xứng của việc thiết lập phép đo, trạng thái hình học được đưa ra cho từng loa phát thanh thuộc bốn loa phát thanh (chéo) được đo trên vòng được nâng cao. Có thể quan sát thấy rằng các vị trí của cả hai phản xạ trong các BRIR tương ứng luôn giống nhau. Do đó, không có các kết quả của phép phân tích trường âm thanh cho các loa phát thanh tại các góc phương vị  $\alpha \in \{0^\circ, 90^\circ, 180^\circ \text{ và } 270^\circ\}$ , chúng còn có thể được sử dụng trong các thử nghiệm sau đây.

Trong phần sau đây, sự biến đổi phổ của âm thanh trực tiếp theo các phương án được mô tả.

Đường cong mục tiêu của bộ lọc được tạo thành bằng việc kết hợp hai phản xạ trần. Ở đây, không có giá trị khuếch đại tuyệt đối (4 và 15) mà chỉ hệ phức của chúng được sử dụng. Do đó, phản xạ bậc một được khuếch đại đến một và phản xạ bậc hai được khuếch đại đến bốn. Cả hai phản xạ được hợp nhất liên tiếp với một tín hiệu trong miền thời gian. Đối với các biến đổi phổ của âm thanh trực tiếp, giàn lọc Mel

được sử dụng. Bậc của giàn lọc được thiết lập đến  $M = 24$  và độ dài bộ lọc được thiết lập đến  $N_{MFB} = 2048$ .

Fig.39 minh họa quy trình lọc cho từng kênh sử dụng giàn lọc Mel. Tín hiệu đầu vào  $x_{DS,i,\alpha}(n)$  được lọc với từng bộ lọc  $M$ . Các tín hiệu băng con  $M$  được nhân với vector năng lượng  $P_{R,i,\alpha}(m)$  và sau cùng được cộng thêm một tín hiệu  $y_{DS,i,\alpha}(n)$ .

Quy trình lọc được thể hiện trên Fig.39 được giải thích theo từng bước:

1. Âm thanh trực tiếp  $x_{DS,i,\alpha}(n)$  được lọc bởi giàn lọc Mel để thu được các tín hiệu băng con  $x_{DS,i,\alpha}(n,m)$ . Chỉ số  $i \in \{1,2\}$  cho biết các kênh, góc phương vị  $\alpha$  của nguồn âm thanh, vị trí mẫu  $n$  và băng con  $m \in [1,M]$ .
2. Tổ hợp các phản xạ  $x_{R,i,\alpha}(n)$  được lọc bởi giàn lọc Mel để thu được các tín hiệu của băng con  $M$   $x_{R,i,\alpha}(n,m)$  và năng lượng của từng tín hiệu băng con, được lưu trữ trong vector năng lượng  $P_{R,i,\alpha}(m)$ . Năng lượng được tính toán bởi phương trình

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)^2, \quad N: \text{Độ dài tín hiệu (15).}$$

3. Vector năng lượng  $P_{R,i,\alpha}(m)$ , mà hoàn toàn bao gồm đường cong mục tiêu của bộ lọc, được sử dụng để gán trọng số  $x_{DS,i,\alpha}(n,m)$  trong từng băng con.
4. Sau khi  $x_{DS,i,\alpha}(n,m)$  được nhân với  $P_{R,i,\alpha}(m)$  trong miền thời gian, các tín hiệu của băng con được gán trọng số được cộng với nhau để thu được tín hiệu được lọc hoàn chỉnh  $y_{DS,i,\alpha}(n)$ .

Sau khi lọc, ILD giữa các xung âm thanh trực tiếp bị thay đổi. ILD bây giờ được xác định thông qua việc tổ hợp cả hai phản xạ trong từng kênh. Do đó, các xung của âm thanh trực tiếp được biến đổi phải được hiệu chỉnh đến các giá trị thuộc mức ban đầu của chúng. Năng lượng của âm thanh trực tiếp được tính toán trước khi ( $P_{Before,i,\alpha}$ ) và sau khi ( $P_{After,i,\alpha}$ ) lọc và giá trị hiệu chỉnh.

$$G_{i,\alpha} = \sqrt{\frac{P_{Before,i,\alpha}}{P_{After,i,\alpha}}}$$

được tính toán theo kênh. Từng xung âm thanh trực tiếp sau đó được gán trọng số bởi giá trị hiệu chỉnh tương ứng để thu được mức ban đầu.

Fig.40 mô tả vectơ năng lượng  $P_{R,i,\alpha}(m)$  cho nguồn âm thanh từ góc phương vị  $\alpha=225^\circ$ . Ở đây, đường cong 4001 gây ra sự hiệu chỉnh tại tai cùng phía và đường cong 4011 gây ra sự hiệu chỉnh tại tai khác phía.

Việc hiệu chỉnh thuộc Fig.40 được thể hiện theo sự tăng lên của năng lượng tín hiệu bằng con trong tầm xa trung bình. Hình dạng của các vectơ hiệu chỉnh cùng phía và ngược phía và giống nhau. Sau thử nghiệm nghe không chính thức, người nghe đã thuật lại chênh lệch độ cao rõ ràng cho các BRIR không được biến đổi. Âm thanh nâng cao được cảm nhận có khoảng cách lớn hơn và âm lượng âm thanh nhỏ. Đối với vài góc phương vị, sự tăng lên trong buồng vang là có thể nghe thấy được, mà khiến cho việc định vị khó khăn hơn.

Trong phần dưới đây, việc tạo độ cao biến thiên theo các phương án được xem xét.

Fig.41 mô tả các đường cong khuếch đại khác nhau được gây ra bởi các số mũ khác nhau. Xem xét hàm số mũ  $x^{1/2}$ , các giá trị nhỏ hơn một sẽ được khuếch đại và các giá trị lớn hơn một sẽ được làm suy giảm (xem Fig.41). Khi thay đổi giá trị số mũ, các đường cong khuếch đại khác nhau thu được. Trong trường hợp 1, không có sự biến đổi nào được thực hiện.

Fig.42 mô tả các số mũ khác nhau được áp dụng cho  $P_{R,i,225^\circ}(m)$  (bên trái) và áp dụng cho  $P_{R,i}(m)$  (bên phải). Kết quả là đạt được các hình dạng khác nhau. Trong đồ thị bên trái, góc phương vị là  $\alpha=225^\circ$ . Ở đây CH1 đề cập đến kênh ngược phía và CH2 đề cập đến kênh cùng phía. Trong đồ thị bên phải, CH1 đề cập đến tai bên trái và CH2 đề cập đến tai bên phải, vì các đường cong được tính trung bình cho toàn bộ các góc.

Áp dụng cơ chế này cho  $P_{R,\alpha}$ , có thể đạt được sự nhấn mạnh đường cong khác nhau. Có thể thấy trên Fig.42, cường độ biến đổi phổ của âm thanh trực tiếp có thể được kiểm soát bởi giá trị số mũ để kiểm soát đường cong bộ lọc và do đó, nâng cao độ cao của nguồn âm thanh. Ngược lại, các số mũ âm dẫn đến trạng thái dừng bằng, bằng cách làm suy giảm các tín hiệu bằng con trong tầm xa trung bình. Các xung âm thanh trực tiếp được biến đổi sau đó được hiệu chỉnh lại đến các giá trị ở mức ban đầu của chúng.

Thử nghiệm nghe không chính thức đã được thực hiện và được đánh giá. Đã được tường thuật là việc làm tăng các số mũ khiến cho nguồn âm thanh dịch chuyển. Đối với các số mũ âm, nó di chuyển xuống. Cũng đã được tường trình là âm sắc thay đổi mạnh khi làm giảm âm thanh. Nó thay đổi thành âm sắc "không rõ ràng". Hơn nữa, có thể thấy rằng, giới hạn khoảng số mũ đến  $[-0.5, 1.5]$  là hợp lý. Các giá trị nhỏ hơn và lớn hơn gây ra những thay đổi về âm sắc mạnh mẽ, trong khi dẫn đến những chênh lệch độ cao nhỏ hơn.

Trong phần tiếp theo, việc xử lý độc lập về hướng theo các phương án được mô tả.

Đến giờ, quy trình đã được tiến hành riêng rẽ cho từng góc phương vị. Phụ thuộc vào hướng phương vị, từng nguồn âm thanh được biến đổi bởi các phản xạ có được của nó, như được thể hiện trên Fig.38. Đã biết rằng các phản xạ được bao hàm trong bước xử lý luôn xuất hiện tại cùng vị trí trong các BRIR, việc xử lý có thể được đơn giản hóa. So sánh  $P_{R,i,\alpha}(m)$  cho từng hướng, có thể quan sát thấy tất cả các đường cong xuất hiện để thể hiện trạng thái băng con. Do đó,  $P_{R,i,\alpha}(m)$  được làm giảm đến  $P_{R,i}(m)$  bằng cách lấy trung bình tất cả các góc phương vị.

Lưu ý rằng,  $P_{R,i}(m)$  vẫn phụ thuộc vào việc liệu việc xử lý được thực hiện ở tai cùng phía hay tai ngược phía. Quy trình lấy trung bình được thực hiện phụ thuộc vào trường hợp như được thể hiện trên Fig.43. Ở phía bên trái, tất cả các tín hiệu cùng phía được lấy trung bình, và ở bên phải, tất cả các tín hiệu ngược phía được lấy trung bình. Đối với các loa phát thanh có các góc phương vị  $\alpha=0^\circ$  và  $\alpha=180^\circ$ , có sự đối xứng trong cả hai kênh. Với lý do này, không phân biệt giữa tai cùng phía và ngược phía, sao cho cả hai tai được sử dụng trong từng trường hợp.

Fig.43 thể hiện các kênh cùng phía (bên trái) và khác phía (bên phải) cho quy trình lấy trung bình. Hai loa phát thanh ở phía trước và phía sau, đầu đo có các kênh đối xứng. Do đó đối với các góc này, không phân biệt giữa cùng phía và ngược phía.

Như có thể thấy trên Fig.42 (bên phải), sau quy trình lấy trung bình các chênh lệch giữa các kênh được làm giảm. Thử nghiệm nghe không chính thức thể hiện rằng việc lấy trung bình bổ sung cho cả hai kênh, để thu được duy nhất một đường cong

$P_R(m)$  trên từng số mũ, không gây ra các chênh lệch thính giác. Các đường cong được lấy trung bình được thể hiện trên Fig.44 (bên trái).

Trong phần sau đây, phép lấy vi phân phía trước-phía sau được xem xét.

Các tín hiệu phổ, mà thích hợp cho "phép lấy vi phân phía trước-phía sau", có trong âm thanh trực tiếp và trong đường cong của bộ lọc mục tiêu. Các tín hiệu định vị trong âm thanh trực tiếp được triệt tiêu bởi bộ lọc và các tín hiệu trong các tín hiệu mục tiêu được triệt tiêu bằng cách lấy trung bình  $P_{R,i,\alpha}(m)$  tất cả các góc phương vị. Do đó, các tín hiệu điều khiển này được nhấn mạnh lại để thu được "phép lấy vi phân phía trước-phía sau" mạnh hơn. Điều này có thể đạt được như sau:

1. Lấy trung bình  $P_{R,i,\alpha}(m)$  tất cả các kênh và tất cả  $\alpha \in [90^\circ, 270^\circ]$  để thu được  $P_{Back}(m)$ .
2. Lấy trung bình  $P_{R,i,\alpha}(m)$  tất cả các kênh và tất cả  $\alpha \in [270^\circ, 90^\circ]$  để thu được  $P_{Front}(m)$ .
3. Tính phương trình  $P_{FrontBack,max}(m) = P_{Front}(m)/P_{Back}(m)$  để thu được đường cong chênh lệch giữa các hướng phía trước và phía sau, như được thể hiện trên Fig.44 (bên phải). Để đạt được hiệu quả làm nhấn mạnh mẽ hơn,  $P_{R,i,\alpha}(m)$  đối với  $\alpha = 90^\circ$  và  $\alpha = 270^\circ$  được sử dụng hai lần. Chúng không bao gồm các thông tin về phía trước hoặc về phía sau, bởi vì được đặt trên mặt phẳng chính diện, và không làm biến dạng đường cong thu được. Theo giả thuyết, việc áp dụng đường cong này cho nguồn nâng cao với  $\alpha = 180^\circ$  sẽ dịch chuyển đến  $\alpha = 0^\circ$ .
4. Phụ thuộc vào hướng của nguồn, đường cong được gán trọng số theo số mũ đến nửa  $\cos P_{FrontBack}(m, \alpha) = P_{FrontBack,max}(m)^{0.5 + \cos(\alpha)}$ . Với  $\alpha = 0^\circ$ ,  $P_{FrontBack,max}(m)$  có nửa độ lớn cực đại của nó và với  $\alpha = 180^\circ$ , nửa độ lớn nghịch đảo của nó. Với các góc  $\alpha = 90^\circ$  và  $\alpha = 270^\circ$  nó bằng 1 vì cosin bằng không.
5.  $P_{FrontBack}(m, \alpha)$  được nhân với  $P_E(m)$  trong quy trình lọc.

Fig.44 mô tả  $P_{R,IpCo}$  (bên trái) và  $P_{FrontBack}$  (bên phải).

Với  $P_R(m)$  và  $P_{FrontBack}(m, \alpha)$ , có thể nâng cao cảm nhận về độ cao một cách liên tục của mọi nguồn âm thanh được đo trên vòng với góc ngẩng  $\beta=55^\circ$ . Phương pháp nâng cao này đã được áp dụng cho các nguồn được đo trên vòng không được nâng cao trong môi trường “Mozart”. Cũng trong trường hợp này, việc nâng cao độ cao có thể được nhận biết. Hơn nữa, thực nghiệm đã được thực hiện để nâng các nguồn không được nâng cao, trong khi sử dụng các phản xạ của riêng chúng. Không may là, phản xạ của trần bậc hai trong trường hợp đó được chồng lấp bởi các phản xạ khác. Tuy nhiên, khi sử dụng duy nhất phản xạ của trần bậc một, chênh lệch độ cao có thể nhận biết được.

Trong bước tiếp theo, phương pháp này được áp dụng cho các BRIR được đo với đầu người, trong khi sử dụng các phản xạ của các BRIR được đo với "vỏ não". Mặc dù các BRIR “vỏ não” đã nghe cao hơn, mà không có bất kỳ biến đổi nào, phương pháp này mang lại chênh lệch độ cao có thể nhận biết một cách rõ ràng.

Áp dụng  $P_R(m)$  và  $P_{FrontBack}(m, \alpha)$  cho các phản xạ được gây ra bởi các nguồn âm thanh trên vòng được nâng cao, phương pháp nâng cao độ cao này được nghiên cứu cảm quan trong phép kiểm tra việc nghe.

Trong phần tiếp theo, việc kết xuất hướng biến thiên được tham số hóa theo các phương án được mô tả.

Mục đích của hệ thống này là để hiệu chỉnh hướng được cảm nhận trong việc kết xuất âm lập thể bằng cách thực hiện việc kết xuất trên hướng cơ sở và hiệu chỉnh hướng với tập hợp các thuộc tính có được từ tập hợp các bộ lọc cơ sở.

Tín hiệu âm thanh và đầu vào của hướng người dùng được đưa đến khối kết xuất âm lập thể trực tuyến mà tạo ra việc kết xuất âm lập thể với nhận thức về hướng biến thiên.

Việc kết xuất âm lập thể trực tuyến theo các phương án, có thể, ví dụ, được thực hiện như sau:

Việc kết xuất âm lập thể của tín hiệu đầu vào được thực hiện bằng cách sử dụng các bộ lọc có hướng tham chiếu (kết xuất âm lập thể có độ cao tham chiếu).

Trong giai đoạn thứ nhất, việc kết xuất độ cao tham chiếu được thực hiện bằng cách sử dụng tập hợp (một hoặc nhiều) các đáp ứng xung của phòng âm lập thể (Binaural Room Impulse Responses - BRIRs) có các hướng khuếch tán.

Trong giai đoạn thứ hai, ví dụ trong bộ xử lý bộ lọc của bộ hiệu chỉnh hướng, bộ lọc bổ sung có thể, ví dụ, được sử dụng cho việc kết xuất mà làm thích ứng hướng được cảm nhận (theo hướng dương hoặc âm của góc phương vị và/hoặc góc ngẩng). Bộ lọc này có thể, ví dụ được tạo ra bằng cách tính toán các tham số của bộ lọc thực, ví dụ với đầu vào của hướng người dùng (biến thiên) (ví dụ với độ phương vị: từ  $0^\circ$  đến  $360^\circ$ , độ ngẩng từ  $-90^\circ$  đến  $+90^\circ$ ) và với tập hợp các hệ số bộ lọc hướng cơ sở.

Các bộ lọc ở giai đoạn thứ nhất và thứ hai còn có thể được tổ hợp (ví dụ bằng việc cộng hoặc nhân) để lưu các phức hợp tính toán.

Sáng chế dựa trên những phát hiện đã được biểu diễn trước đó.

Sau, các phương án của sáng chế được mô tả chi tiết.

Fig.1a minh họa thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh theo phương án.

Thiết bị 100 bao gồm bộ xác định thông tin bộ lọc 110 được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào trong đó thông tin độ cao đầu vào phụ thuộc vào độ cao của nguồn âm thanh ảo.

Hơn nữa, thiết bị 100 bao gồm bộ lọc 120 được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào thông tin bộ lọc.

Bộ xác định thông tin bộ lọc 110 được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc. Hoặc, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng.

Sáng chế không kể đến những điều khác được dựa trên việc phát hiện rằng việc nâng cao hoặc làm giảm (một cách thực sự) nguồn âm thanh ảo có thể đạt được bằng cách lọc thích hợp tín hiệu đầu vào âm thanh. Đường cong bộ lọc do đó có thể được

lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào và đường cong bộ lọc được lựa chọn đó sau đó có thể được sử dụng để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để nâng lên hoặc hạ xuống (một cách thực sự) nguồn âm thanh ảo. Hoặc, đường cong bộ lọc tham chiếu có thể được biến đổi phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào để nâng lên hoặc hạ xuống (một cách thực sự) nguồn âm thanh ảo.

Trong phương án, thông tin độ cao đầu vào có thể, ví dụ, biểu thị ít nhất một giá trị tọa độ của tọa độ thuộc hệ tọa độ, trong đó tọa độ biểu thị vị trí của nguồn âm thanh ảo.

Ví dụ, hệ tọa độ có thể, ví dụ là hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều, và thông tin độ cao đầu vào là tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều hoặc là giá trị tọa độ thuộc ba giá trị tọa độ của tọa độ thuộc tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều.

Ví dụ, tọa độ trong hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều có thể bao gồm giá trị  $x$ , giá trị  $y$  và giá trị  $z$ .  $(x, y, z)$ , e.g.,  $(x, y, z) = (5, 3, 4)$ . Tọa độ  $(5, 3, 4)$  sau đó có thể, ví dụ là thông tin độ cao đầu vào. Hoặc giá trị  $z$ ,  $z=4$  là một trong số các giá trị tọa độ của tọa độ  $(5, 3, 4)$  thuộc hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều, có thể, ví dụ, là thông tin độ cao đầu vào.

Hoặc, ví dụ, hệ tọa độ có thể, ví dụ là hệ tọa độ cực, và thông tin độ cao đầu vào có thể, ví dụ là góc ngẩng của tọa độ cực thuộc hệ tọa độ cực.

Ví dụ, tọa độ trong hệ tọa độ cực trong không gian ba chiều có thể, ví dụ bao gồm góc phương vị  $\phi$ , góc ngẩng  $\theta$ , và bán kính  $r$ ;  $(\phi, \theta, r)$ , e.g.,  $(\phi, \theta, r) = (40^\circ, 30^\circ, 5)$ . Góc ngẩng  $\theta = 30^\circ$  là góc ngẩng của tọa độ  $(40^\circ, 30^\circ, 5)$  thuộc hệ tọa độ cực.

Ví dụ, trong hệ tọa độ cực, thông tin độ cao có thể, ví dụ, biểu thị góc ngẩng của hệ tọa độ cực trong đó góc ngẩng biểu thị độ ngẩng giữa hướng mục tiêu và hướng tham chiếu hoặc giữa hướng mục tiêu và mặt phẳng tham chiếu.

Các khái niệm ở trên để nâng cao hoặc làm giảm (một cách thực sự) nguồn âm thanh ảo ví dụ có thể đặc biệt thích hợp cho âm thanh lập thể. Hơn nữa, các khái niệm ở trên còn có thể được sử dụng cho các thiết lập loa phát thanh. Ví dụ, nếu tất cả các thiết lập loa phát thanh được đặt trong cùng một mặt phẳng nằm ngang, và nếu không có

loa cao hoặc loa thấp, việc nâng cao thực sự hoặc hạ thấp thực sự nguồn âm thanh ảo trở thành có khả năng thực hiện.

Theo phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc. Thông tin độ cao đầu vào là góc ngẩng mà là góc ngẩng đầu vào, trong đó từng đường cong bộ lọc thuộc nhiều đường cong bộ lọc có góc ngẩng được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu, và bộ xác định thông tin bộ lọc được 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để lựa chọn như đường cong bộ lọc được lựa chọn đường cong bộ lọc từ nhiều đường cong bộ lọc với chênh lệch tuyệt đối nhỏ nhất giữa độ ngẩng đầu vào và góc ngẩng được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu trong số tất cả các đường cong bộ lọc.

Cách tiếp cận này nhận thấy rằng đường cong bộ lọc đặc biệt thích hợp được chọn. Ví dụ, nhiều đường cong bộ lọc có thể bao gồm các đường cong bộ lọc cho nhiều góc ngẩng, ví dụ, với các góc ngẩng  $0^\circ$ ,  $+3^\circ$ ,  $-3^\circ$ ,  $+6^\circ$ ,  $-6^\circ$ ,  $+9^\circ$ ,  $-9^\circ$ ,  $+12^\circ$ ,  $-12^\circ$ , v.v. Ví dụ nếu thông tin độ cao đầu vào chỉ rõ góc ngẩng bằng  $+4^\circ$ , sau đó đường cong bộ lọc cho độ ngẩng bằng  $+3^\circ$  sẽ được chọn, bởi vì trong số tất cả các đường cong bộ lọc, chênh lệch tuyệt đối giữa thông tin độ cao đầu vào bằng  $+4^\circ$  với góc ngẩng bằng  $+3^\circ$  được ấn định cho đường cong bộ lọc cụ thể mà là nhỏ nhất trong số tất cả các đường cong bộ lọc, cụ thể  $|(+4^\circ) - (+3^\circ)| = 1^\circ$ .

Theo phương án khác, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc. Thông tin độ cao đầu vào có thể, ví dụ, là giá trị tọa độ đã nêu thuộc ba giá trị tọa độ của tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều mà là giá trị tọa độ đầu vào, trong đó từng đường cong bộ lọc thuộc nhiều đường cong bộ lọc có giá trị tọa độ được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu và bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để lựa chọn làm đường cong bộ lọc được lựa chọn, đường cong bộ lọc từ nhiều đường cong bộ lọc với chênh lệch tuyệt đối nhỏ nhất giữa giá trị tọa độ đầu vào và giá trị tọa độ được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu trong số tất cả các đường cong bộ lọc.

Theo cách tiếp cận này, ví dụ, nhiều đường cong bộ lọc có thể bao gồm các đường cong bộ lọc cho nhiều giá trị, ví dụ, tọa độ  $z$  của tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều, ví dụ, với giá trị  $z$  bằng 0, +4, -4, +8, -8, +12°, -12, +16, -16, v.v. Ví dụ, nếu thông tin độ cao đầu vào chỉ rõ giá trị tọa độ  $z$  bằng +5 sau đó đường cong bộ lọc cho giá trị tọa độ  $z$  +4 sẽ được chọn, bởi vì trong số tất cả các đường cong bộ lọc, chênh lệch tuyệt đối giữa thông tin độ cao đầu vào bằng +5 và giá trị tọa độ  $z$  bằng +4 được ấn định sao cho đường cong bộ lọc cụ thể là nhỏ nhất trong số tất cả các đường cong bộ lọc, cụ thể  $|(+5) - (+4)| = 1$ .

Trong phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc có thể, ví dụ được tạo cấu hình để làm khuếch đại đường cong bộ lọc được lựa chọn đến giá trị khuếch đại đã định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý, hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc 110 được tạo cấu hình để làm giảm đường cong bộ lọc được lựa chọn đến giá trị làm giảm đã định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý. Bộ lọc 120 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được xử lý. Bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định giá trị khuếch đại được xác định hoặc giá trị suy giảm được xác định phụ thuộc vào chênh lệch giữa giá trị tọa độ đầu vào và giá trị tọa độ được ấn định cho đường cong bộ lọc được lựa chọn. Hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định giá trị khuếch đại được xác định hoặc giá trị suy giảm được xác định phụ thuộc vào chênh lệch giữa góc nghiêng và góc nghiêng được ấn định cho đường cong bộ lọc được lựa chọn.

Khi đường cong bộ lọc liên quan đến (được chỉ rõ đối với) thang đo lôga, giá trị khuếch đại hoặc giá trị suy giảm là hệ số khuếch đại hoặc hệ số suy giảm. Hệ số khuếch đại hoặc hệ số suy giảm sau đó được nhân với từng giá trị của đường cong bộ lọc được lựa chọn để thu được đường cong bộ lọc phổ được biến đổi.

Phương án này cho phép làm phù hợp đường cong bộ lọc được lựa chọn sau khi lựa chọn. Trong ví dụ thứ nhất ở trên mà liên quan đến các góc nghiêng, thông tin độ cao đầu vào bằng +4°, độ nghiêng không bằng đúng +3°, góc nghiêng được ấn định cho đường cong bộ lọc được lựa chọn. Tương tự, trong ví dụ thứ hai ở trên mà liên quan đến giá trị tọa độ, thông tin độ cao đầu vào bằng +5 đối với giá trị tọa độ  $z$  không bằng đúng

giá trị tọa độ  $z + 4$  được ấn định cho đường cong bộ lọc được lựa chọn. Do đó, trong cả hai ví dụ, việc làm thích hợp đường cong bộ lọc được lựa chọn thể hiện sự hữu ích.

Khi đường cong bộ lọc liên quan đến (được chỉ rõ đối với) thang đo tuyến tính, giá trị khuếch đại hoặc giá trị suy giảm là giá trị khuếch đại hàm số mũ hoặc giá trị suy giảm hàm số mũ. Giá trị khuếch đại hàm số mũ/giá trị suy giảm hàm số mũ sau đó được sử dụng làm số mũ của hàm số mũ. Kết quả của hàm số mũ, có giá trị khuếch đại theo số mũ hoặc giá trị suy giảm theo số mũ như số mũ, sau đó được nhân với từng giá trị của đường cong bộ lọc được lựa chọn để thu được đường cong bộ lọc phổ được biến đổi.

Theo phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng. Hơn nữa, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để khuếch đại đường cong bộ lọc tham chiếu đến giá trị khuếch đại được xác định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý, hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc 110 được tạo cấu hình để làm suy giảm đường cong bộ lọc tham chiếu đến giá trị suy giảm được xác định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý.

Trong phương án này, duy nhất một đường cong bộ lọc có đường cong bộ lọc tham chiếu. Bộ xác định thông tin bộ lọc 110 sau đó là thích ứng đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào.

Trong phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc làm đường cong bộ lọc được lựa chọn thứ nhất. Hơn nữa, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc thứ hai từ nhiều đường cong bộ lọc. Hơn nữa, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định đường cong bộ lọc được nội suy bằng cách nội suy giữa đường cong bộ lọc được lựa chọn thứ nhất và đường cong bộ lọc được lựa chọn thứ hai.

Trong phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sao cho bộ lọc 120 làm biến đổi phần phổ thứ nhất của tín hiệu đầu vào âm thanh, và sao cho bộ lọc 120 không làm biến đổi phần phổ thứ hai của tín hiệu đầu vào âm thanh.

Bằng cách làm biến đổi các phần phổ thứ nhất của tín hiệu đầu vào âm thanh, việc nâng cao hoặc hạ thấp nguồn âm thanh ảo được thực hiện. Tuy nhiên, các phần phổ khác của tín hiệu đầu vào âm thanh không được biến đổi để nâng lên hoặc hạ xuống nguồn âm thanh ảo.

Theo phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sao cho bộ lọc 120 khuếch đại phần phổ thứ nhất của tín hiệu đầu vào âm thanh đến giá trị khuếch đại thứ nhất, và sao cho bộ lọc 120 khuếch đại phần phổ thứ hai của tín hiệu đầu vào âm thanh đến giá trị khuếch đại thứ hai, trong đó giá trị khuếch đại thứ nhất khác với giá trị khuếch đại thứ hai.

Các phương án dựa trên việc tìm ra rằng việc nâng cao thực sự và hạ thấp thực sự nguồn âm thanh ảo đạt được bằng cách đặc biệt khuếch đại một số phần tần số, trong khi các phần tần số khác sẽ bị hạ thấp. Do đó, trong các phương án, việc lọc được tiến hành, sao cho việc tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh tương ứng với việc khuếch đại (hoặc làm suy giảm) tín hiệu đầu vào âm thanh với các giá trị khuếch đại khác nhau (các thừa số khuếch đại khác nhau).

Trong phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc, trong đó từng đường cong bộ lọc trong số nhiều đường cong bộ lọc có cực đại toàn cục và cực tiểu toàn cục nằm trong khoảng từ 700Hz đến 2000Hz. Hoặc, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng, trong đó bộ lọc tham chiếu có cực đại toàn cục hoặc cực tiểu toàn cục nằm trong khoảng từ 700Hz đến 2000Hz.

Các hình vẽ từ Fig.51 đến Fig.55 thể hiện nhiều đường cong bộ lọc khác nhau mà thích hợp để tạo ra hiệu quả nâng cao hoặc hạ thấp nguồn âm thanh ảo. Đã tìm ra

rằng để tạo ra hiệu quả nâng cao hoặc hạ thấp nguồn âm thanh ảo, một số tần số đặc biệt nằm trong khoảng từ 700Hz đến 2000Hz đặc biệt sẽ được khuếch đại hoặc đặc biệt sẽ được làm suy giảm để nâng cao hoặc hạ thấp nguồn âm thanh ảo.

Cụ thể, đường cong bộ lọc với các giá trị khuếch đại dương (lớn hơn 0) trên Fig.51 có cực đại toàn cục 5101, 5102, 5103, 5104 bằng khoảng 1000Hz, tức là nằm trong khoảng từ 700Hz đến 2000Hz.

Tương tự, các đường cong bộ lọc với các giá trị khuếch đại dương trên Fig.52, Fig.53, Fig.54 và Fig.55 có cực đại toàn cục 5201, 5202, 5203, 5204 và 5301, 5302, 5303, 5304 và 5401, 5402, 5403, 5404 và 5501, 5502, 5503, 5504 bằng khoảng 1000Hz, tức là nằm trong khoảng từ 700Hz đến 2000Hz.

Theo phương án, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào và còn phụ thuộc vào thông tin góc phương vị đầu vào. Hơn nữa, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào và phụ thuộc vào thông tin góc phương vị đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc. Hoặc, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng và phụ thuộc vào thông tin góc phương vị.

Các hình vẽ từ Fig.51 đến Fig.55 được đề cập ở trên được ấn định cho các giá trị phương vị khác nhau.

Cụ thể, Fig.51 minh họa các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh đối với góc phương vị  $= 0^\circ$ , Fig.52 minh họa các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh với góc phương vị  $= 30^\circ$ , Fig.53 minh họa các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh với góc phương vị  $= 45^\circ$ , Fig.54 minh họa các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh với góc phương vị  $= 60^\circ$ , và Fig.55 minh họa các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh với góc phương vị  $= 90^\circ$ .

Các đường cong bộ lọc tương ứng trong các hình vẽ từ Fig.51 đến Fig.55 hơi khác, với các đường cong bộ lọc được ấn định cho các giá trị phương vị khác nhau. Do

đó, trong một số phương án, thông tin phương vị đầu vào, ví dụ, góc phương vị phụ thuộc vào vị trí của nguồn âm thanh ảo, cũng có thể được đưa vào phép tính.

Trong phương án, bộ lọc 120 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh lập thể làm tín hiệu âm thanh được lọc có đúng hai kênh âm thanh phụ thuộc vào thông tin bộ lọc. Bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để nhận thông tin đầu vào trên hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào. Hơn nữa, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc bằng cách xác định hàm truyền liên quan đến đầu bị biến đổi bằng cách biến đổi hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được biến đổi.

Các khía cạnh được mô tả ở trên đặc biệt thích hợp cho âm thanh lập thể. Khi tiến hành việc kết xuất âm lập thể, hàm truyền liên quan đến đầu được áp dụng trên tín hiệu đầu vào âm thanh để tạo ra tín hiệu đầu ra âm thanh (ở đây là tín hiệu âm thanh được lọc) bao gồm đúng hai kênh âm thanh. Theo các phương án, hàm truyền liên quan đến đầu tự nó được biến đổi (ví dụ được lọc) trước khi hàm truyền liên quan đến đầu thu được được áp dụng cho tín hiệu đầu vào âm thanh.

Theo phương án, hàm truyền liên quan đến đầu có thể, ví dụ, được biểu diễn trong miền phổ. Đường cong bộ lọc được lựa chọn có thể, ví dụ, được biểu diễn trong miền phổ, hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi được biểu diễn trong miền phổ.

Bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ được tạo cấu hình

- để xác định hàm truyền liên quan đến đầu bằng cách cộng thêm các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi vào các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, hoặc
- để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách nhân các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, hoặc
- để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách trừ các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi cho các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, hoặc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào cho

các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi, hoặc

- để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào cho các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi cho các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào.

Trong phương án này, hàm truyền liên quan đến đầu được biểu diễn trong miền phổ và đường cong bộ lọc trong miền phổ được sử dụng để biến đổi hàm truyền liên quan đến đầu. Ví dụ, việc cộng hoặc trừ có thể, ví dụ, được sử dụng khi hàm truyền liên quan đến đầu và đường cong bộ lọc hướng theo thang đo lôga. Ví dụ, việc nhân hoặc chia có thể, ví dụ, được sử dụng khi hàm truyền liên quan đến đầu và đường cong bộ lọc hướng theo thang đo tuyến tính.

Trong phương án, hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào có thể, ví dụ, được biểu diễn trong miền thời gian. Đường cong bộ lọc được lựa chọn được biểu diễn trong miền thời gian, hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi được biểu diễn trong miền thời gian. Bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách tích chập đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi với hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào.

Trong phương án này, hàm truyền liên quan đến đầu được biểu diễn trong miền thời gian và hàm truyền liên quan đến đầu và đường cong bộ lọc được tích chập để thu được hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi.

Trong phương án khác, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách lọc đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi với cấu trúc bộ lọc không đệ quy. Ví dụ, việc lọc với bộ lọc FIR (bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn) có thể được tiến hành.

Trong phương án nữa, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách lọc đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi với cấu trúc bộ lọc đệ quy. Ví dụ, việc lọc với bộ lọc IIR (bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn) có thể được tiến hành.

Fig.1b minh họa thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng theo phương án.

Thiết bị 200 bao gồm nhiều loa phát thanh 211, 212, trong đó từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh 211, 212 được tạo cấu hình để phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại, trong đó loa phát thanh thứ nhất thuộc nhiều loa phát thanh 211, 212 được đặt tại vị trí thứ nhất với độ cao thứ nhất, và trong đó loa phát thanh thứ hai thuộc nhiều loa phát thanh 211, 212 được đặt tại vị trí thứ hai mà khác với vị trí thứ nhất, với độ cao thứ hai, mà khác với độ cao thứ nhất.

Hơn nữa, thiết bị 200 bao gồm hai micrô 221, 222, từng micrô thuộc hai micrô 221, 222, được tạo cấu hình để ghi tín hiệu âm thanh được ghi bằng cách nhận các sóng âm từ từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh 211, 212 được phát ra bởi loa phát thanh đã nêu khi phát lại tín hiệu âm thanh.

Hơn nữa, thiết bị 200 bao gồm bộ xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể 230 được tạo cấu hình để xác định nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể cho từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh 211, 212 phụ thuộc vào tín hiệu âm thanh được phát lại mà được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu và phụ thuộc vào từng tín hiệu âm thanh trong số các tín hiệu âm thanh được ghi mà được ghi bởi từng micrô thuộc hai micrô 221, 222 khi tín hiệu âm thanh được phát lại đã nêu được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu.

Việc xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể đã được biết đến trong tình trạng kỹ thuật. Ở đây, các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể được xác định cho loa phát thanh mà được đặt tại các vị trí mà có thể, ví dụ, bọc lỏ các độ ngả khác nhau, ví dụ các góc ngả khác nhau.

Hơn nữa, thiết bị 200 bao gồm bộ tạo đường cong bộ lọc 240 được tạo cấu hình để tạo ra ít nhất một đường cong bộ lọc phụ thuộc vào hai trong số nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể. Thông tin biến đổi hướng phụ thuộc vào ít nhất một đường cong bộ lọc.

Ví dụ, đáp ứng xung trong phòng âm lập thể (tham chiếu) đã được xác định cho loa phát thanh được đặt tại vị trí tham chiếu với độ ngả tham chiếu (ví dụ, độ ngả tham chiếu có thể, ví dụ, là  $0^\circ$ ). Sau đó đáp ứng xung trong phòng âm lập thể thứ hai có thể, ví dụ, được xem xét mà được xác định, ví dụ, cho loa phát thanh tại vị trí thứ hai với độ ngả thứ hai, ví dụ, độ ngả bằng  $-15^\circ$ .

Góc thứ nhất bằng  $0^\circ$  chỉ rõ rằng loa phát thanh thứ nhất được đặt với độ cao thứ nhất. Góc thứ hai bằng  $-15^\circ$  chỉ rõ rằng loa phát thanh thứ hai được đặt với độ cao thứ hai mà thấp hơn độ cao thứ nhất. Điều này được thể hiện trên Fig.49. Trên Fig.49, loa phát thanh thứ nhất 211 được đặt tại độ cao mà thấp hơn độ cao thứ hai chính là vị trí mà loa phát thanh thứ hai 212 được đặt.

Cả hai đáp ứng xung trong phòng âm lập thể có thể, ví dụ được biểu diễn trong miền phổ hoặc có thể, ví dụ, được truyền từ miền thời gian đến miền phổ. Để thu được các đường cong bộ lọc, đáp ứng xung trong phòng âm lập thể, là tín hiệu thứ hai trong miền phổ, có thể, ví dụ được trừ từ đáp ứng xung trong phòng âm lập thể, là tín hiệu thứ nhất trong miền phổ. Tín hiệu thu được là một trong số ít nhất một đường cong bộ lọc. Tín hiệu thu được, có thể được biểu diễn trong miền phổ, nhưng không được chuyển đổi thành miền thời gian để thu được đường cong bộ lọc cuối cùng.

Trong phương án, bộ tạo đường cong bộ lọc 240 được tạo cấu hình để thu được hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách tạo ra một hoặc nhiều đường cong trung gian phụ thuộc vào nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể, bằng cách khuếch đại từng đường cong trong số một hoặc nhiều đường trong trung gian đến từng giá trị suy giảm thuộc nhiều giá trị suy giảm khác nhau.

Do đó, việc tạo ra các đường cong bộ lọc bởi bộ tạo đường cong bộ lọc 240 được tiến hành trong cách tiếp cận hai bước. Trước hết, một hoặc nhiều đường cong trung gian được tạo ra. Sau đó, từng giá trị suy giảm trong số nhiều giá trị suy giảm được áp dụng cho một hoặc nhiều đường cong trung gian để thu được nhiều đường

cong bộ lọc khác nhau. Ví dụ, đối với Fig.51, các giá trị suy giảm khác nhau, cụ thể, các giá trị suy giảm  $-0.5$ ,  $0$ ,  $0.5$ ,  $1$ ,  $1.5$  và  $2$  đã được áp dụng cho đường cong trung gian. Trong thực tiễn, việc áp dụng giá trị suy giảm bằng  $0$  là không cần thiết vì việc áp dụng này luôn dẫn đến hàm không, và việc áp dụng giá trị suy giảm bằng  $1$  là không cần thiết, nó không làm biến đổi đường cong trung gian đã có.

Theo phương án, bộ tạo đường cong bộ lọc 240 được tạo cấu hình để xác định nhiều hàm truyền liên quan đến đầu từ nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách khai căn hàm truyền liên quan đến đầu từ từng đáp ứng xung thuộc các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể. Nhiều hàm liên quan đến đầu có thể, ví dụ được biểu diễn trong miền phổ. Giá trị độ cao có thể, ví dụ được ấn định cho từng hàm truyền trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu. Bộ tạo đường cong bộ lọc 240 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để tạo ra hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc. Bộ tạo đường cong bộ 240 được tạo cấu hình để tạo ra từng đường cong bộ lọc trong số hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu. Hơn nữa, bộ tạo đường cong bộ lọc 240 được tạo cấu hình để ấn định giá trị độ cao cho từng đường cong bộ lọc thuộc hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách trừ giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu. Hơn nữa, thông tin biến đổi hướng bao gồm từng đường cong bộ lọc thuộc hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc và giá trị độ cao được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu. Giá trị độ cao có thể, ví dụ, là góc ngẩng, ví dụ, góc ngẩng của tọa độ thuộc hệ tọa độ cực. Hoặc, giá trị độ cao có thể, ví dụ, là giá trị tọa độ của tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các.

Trong phương án này, nhiều đường cong bộ lọc được tạo ra. Phương án này có thể thích hợp để tương tác với thiết bị 100 thuộc Fig.1a mà lựa chọn đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc.

Trong phương án, bộ tạo đường cong bộ lọc 240 được tạo cấu hình để xác định nhiều hàm truyền liên quan đến đầu từ nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách khai căn hàm truyền liên quan đến đầu cho từng đáp ứng xung thuộc các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể. Nhiều hàm truyền liên quan đến đầu được biểu diễn trong miền phổ. Giá trị độ cao có thể, ví dụ được ấn định cho từng hàm truyền trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu. Bộ tạo đường cong bộ lọc 240 có thể, ví dụ được tạo cấu hình để tạo ra đúng một đường cong bộ lọc. Hơn nữa, bộ tạo đường cong bộ lọc 240 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để tạo ra đúng một đường cong bộ lọc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu. Bộ tạo đường cong bộ lọc 240 có thể, ví dụ, được tạo cấu hình để ấn định giá trị độ cao cho đúng một đường cong bộ lọc bằng cách trừ giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu. Thông tin biến đổi hướng có thể, ví dụ, bao gồm đúng một đường cong bộ lọc và giá trị độ cao được ấn định cho đúng một đường cong bộ lọc. Giá trị độ cao có thể, ví dụ là góc ngẩng, ví dụ góc ngẩng của tọa độ thuộc hệ tọa độ cực. Hoặc, giá trị độ cao có thể, ví dụ, là giá trị tọa độ của tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các.

Trong phương án này, chỉ đường cong đơn lẻ được tạo ra. Phương án này có thể thích hợp để tương tác với thiết bị 100 thuộc Fig.1a mà làm biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu.

Fig.1c minh họa hệ thống 300 theo phương án.

Hệ thống 300 bao gồm thiết bị 200 thuộc Fig,1b để cung cấp thông tin biến đổi hướng.

Hơn nữa, hệ thống 300 bao gồm thiết bị 100 thuộc Fig.1a. Trong phương án được minh họa bởi Fig.1c, bộ lọc 120 của thiết bị 100 thuộc Fig.1a được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh lập thể như tín hiệu âm thanh được lọc có đúng hai kênh âm thanh phụ thuộc vào thông tin bộ lọc.

Trong phương án thuộc Fig.1c, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 của thiết bị 100 thuộc Fig.1a được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc. Hoặc, trong phương án thuộc Fig.1c, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 của thiết bị 100 thuộc Fig.1a được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ nâng.

Trong phương án thuộc Fig.1c, thông tin biến đổi hướng được cung cấp bởi thiết bị 200 thuộc Fig.1b bao gồm nhiều đường cong bộ lọc hoặc đường cong bộ lọc tham chiếu.

Hơn nữa, trong phương án thuộc Fig.1c, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 của thiết bị 100 thuộc Fig.1a được tạo cấu hình để nhận thông tin đầu vào dựa trên hàm truyền liên quan đến đầu. Hơn nữa, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 của thiết bị 100 thuộc Fig.1a được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc bằng cách xác định hàm truyền liên quan đến đầu bằng cách biến đổi hàm truyền liên quan đến đầu phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được biến đổi.

Fig.45 mô tả hệ thống theo phương án cụ thể, trong đó hệ thống thuộc Fig.48 bao gồm thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh theo phương án và thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng theo phương án.

Cũng như vậy, trong các hình vẽ từ Fig.46 đến Fig.48, các hệ thống theo các phương án cụ thể được mô tả, trong đó từng hệ thống thuộc từng hình vẽ trong số các hình vẽ từ Fig.46 đến Fig.48 bao gồm thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh theo phương án và thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng theo phương án.

Trong từng hình vẽ thuộc các hình vẽ từ Fig.46 đến Fig.48, thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh theo phương án thuộc hình vẽ tương ứng mô tả phương án mà có thể được thực hiện mà không có thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng của hình vẽ đó. Giống như vậy, các hình vẽ từ Fig.45 đến Fig.48, thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng theo phương án

thuộc hình vẽ tương ứng mô tả phương án mà có thể được thực hiện mà không có thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh thuộc hình vẽ đó. Do đó, phần mô tả được cung cấp cho các hình vẽ từ Fig.45 đến Fig.48 không chỉ là phần mô tả cho hệ thống tương ứng, mà còn là phần mô tả cho thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh theo phương án mà được thực hiện không có thiết bị cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng, và cũng là phần mô tả cho thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng mà được thực hiện không có thiết bị tạo ra âm thanh định hướng.

Trước tiên, việc chuẩn bị bộ lọc âm lập thể trực tuyến theo phương án được mô tả.

Trên Fig.45, thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng theo phương án cụ thể được minh họa. Các loa phát thanh 211 và 212 thuộc Fig.1b và các micrô 221 và 222 không được thể hiện cho mục đích minh họa.

Tập hợp các BRIR (đáp ứng xung trong phòng âm lập thể) mà được xác định cho nhiều loa phát thanh khác nhau 211, 212 được đặt tại các vị trí khác nhau, được tạo ra bởi bộ xác định đáp ứng xung trong phòng lập thể. Ít nhất một vài loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh được đặt tại các vị trí khác nhau theo các độ ngả khác nhau (ví dụ các vị trí của các loa phát thanh này bọc lộ các góc ngả khác nhau). Các BRIR được xác định (có thể, ví dụ, được lưu trữ trong vật lưu trữ BRIR 251 (ví dụ bộ nhớ hoặc ví dụ, trong cơ sở dữ liệu).

Trên Fig.45, bộ tạo đường cong bộ lọc 240 bao gồm bộ phân tích tín hiệu điều khiển hướng 241 và bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242.

Từ tập hợp các BRIR tham chiếu, bộ phân tích tín hiệu điều khiển hướng 241 có thể, ví dụ, phân tách các tín hiệu điều khiển cho nhận thức định hướng, ví dụ trong phép phân tích tín hiệu điều khiển ngả. Bằng cách này, các hệ số của bộ lọc trên cơ sở độ ngả có thể, ví dụ được tạo ra. Các tín hiệu điều khiển quan trọng có thể, ví dụ là các thuộc tính phụ thuộc tần số, các thuộc tính phụ thuộc thời gian hoặc các thuộc tính phụ thuộc pha của các phần cụ thể thuộc tập hợp bộ lọc BRIR tham chiếu.

Việc khai căn có thể, ví dụ được thực hiện bằng cách sử dụng các công cụ giống như dây micrô hình cầu hoặc mô hình phòng dạng hình học để chỉ thu giữ các phần cụ thể của thiết lập bộ lọc BRIR tham chiếu giống như sự phản xạ của âm thanh từ tường hoặc trần.

Thiết bị 200 để cung cấp thông tin biến đổi hướng có thể bao gồm các công cụ giống như dây micrô hoặc mô hình phòng dạng hình học nhưng không bao gồm các công cụ như vậy.

Trong các phương án, trong đó các thiết bị để cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng không bao gồm các công cụ giống như dây micrô hình cầu hoặc mô hình phòng có dạng hình học, dữ liệu từ các công cụ này giống như dây micrô hình cầu có thể, ví dụ, được cung cấp như đầu vào cho thiết bị để cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng.

Thiết bị để cung cấp các hệ số của bộ lọc biến đổi hướng thuộc Fig.45 còn bao gồm bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242. Thông tin từ phép phân tích tín hiệu điều khiển hướng, ví dụ, được tiến hành bởi bộ phân tích tín hiệu điều khiển hướng, được sử dụng bởi bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242 để tạo ra một hoặc nhiều tín hiệu điều khiển trung gian. Bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242 sau đó tạo ra nhiều đường cong bộ lọc từ một hoặc nhiều đường cong trung gian, ví dụ, bằng cách kéo hoặc bằng cách nén đường cong trung gian. Các đường cong bộ lọc thu được, ví dụ, các hệ số của chúng sau đó có thể được lưu trữ trong bộ phận lưu trữ đường cong bộ lọc 252 (ví dụ trong bộ nhớ hoặc, ví dụ trong cơ sở dữ liệu).

Ví dụ, bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242 có thể, ví dụ tạo ra duy nhất một đường cong trung gian. Sau đó, đối với một số độ ngả (ví dụ, đối với các góc ngả  $-15^\circ$ ,  $-55^\circ$  và  $-90^\circ$ ) các đường cong bộ lọc có thể sau đó được tạo ra bởi bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242 phụ thuộc vào đường cong trung gian được tạo ra.

Bộ xác định đáp ứng xung 230 và bộ tạo đường cong bộ lọc 240 thuộc Fig.45 ngay sau đây được mô tả chi tiết với sự tham chiếu đến Fig.49 và Fig.50.

Fig.49 mô tả sự minh họa dưới dạng giản đồ thể hiện người nghe 491, hai loa phát thanh 211, 212 theo hai độ ngả khác nhau và nguồn âm thanh ảo 492.

Trên Fig.49, loa phát thanh thứ nhất 211 với độ ngả bằng  $0^\circ$  (loa phát thanh không được nâng lên) và loa phát thanh thứ hai 212 với độ ngả bằng  $-15^\circ$  (loa phát thanh được hạ thấp  $15^\circ$ ) được mô tả.

Loa phát thanh thứ nhất 211 phát ra tín hiệu thứ nhất được phát ra, ví dụ, bởi hai micrô 221, 222 thuộc Fig.1b (không được thể hiện trên Fig.49). Bộ xác định xung của phòng âm lập thể 230 (không được thể hiện trên Fig.49) xác định đáp ứng xung của phòng âm lập thể và độ ngả bằng  $0^\circ$  của loa phát thanh thứ nhất 211 được ấn định cho đáp ứng xung của phòng âm lập thể thứ nhất đó.

Sau đó, loa phát thanh thứ hai 212 phát ra tín hiệu thứ hai với việc được ghi lại lần nữa, ví dụ, bởi hai loa phát thanh 221, 222. Bộ xác định xung của phòng âm lập thể 230 xác định đáp ứng xung của phòng âm lập thể thứ hai và độ ngả bằng  $-15^\circ$  của loa phát thanh thứ hai 212 được ấn định cho đáp ứng xung của phòng âm lập thể thứ hai đó.

Bộ phân tích tín hiệu điều khiển hướng thuộc Fig.45 có thể, ví dụ bây giờ khai căn hàm truyền liên quan đến đầu từ từng đáp ứng xung trong số hai đáp ứng xung của phòng âm lập thể.

Sau đó, bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242 có thể, ví dụ, xác định chênh lệch phổ giữa hai hàm truyền liên quan đến đầu đã xác định.

Chênh lệch phổ có thể, ví dụ được xem xét như đường cong trung gian như được mô tả ở trên. Để xác định nhiều đường cong bộ lọc từ chênh lệch phổ đã xác định này, bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242 bây giờ có thể gán trọng số đường cong trung gian này với nhiều hệ số kéo khác nhau (còn được coi như các giá trị khuếch đại). Từng giá trị khuếch đại mà được áp dụng tạo ra đường cong bộ lọc mới và được kết hợp với góc ngả mới.

Nếu hệ số kéo trở nên lớn hơn, việc biến đổi/hiệu chỉnh đường cong trung gian, ví dụ, độ ngả của đường cong trung gian (mà là  $-15^\circ$ ) còn giảm xuống (ví dụ đến  $-30^\circ$ , độ ngả mới  $< -15^\circ$ ).

Ví dụ, nếu hệ số kéo âm được áp dụng, sự biến đổi/hiệu chỉnh của đường cong trung gian, ví dụ độ ngả của đường cong trung gian (mà đã là  $-15^\circ$ ) tăng lên (độ ngả lên đến và trở thành lớn hơn  $-15^\circ$ ; độ ngả mới  $> -15^\circ$ ).

Fig.50 minh họa đường cong bộ lọc thu được từ việc áp dụng các giá trị khuếch đại (các hệ số kéo) trên đường cong trung gian theo phương án.

Quay lại Fig.45, là thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc bao gồm bộ xác định thông tin bộ lọc 110 và bộ lọc 120. Trên Fig.45, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 bao gồm bộ lựa chọn bộ lọc biến đổi hướng 111 và bộ xử lý thông tin bộ lọc biến đổi hướng 115. Bộ xử lý bộ lọc thông tin biến đổi hướng 115 có thể, ví dụ, áp dụng đường cong bộ lọc được lựa chọn tại lúc bắt đầu theo thời gian của đáp ứng xung của phòng âm lập thể.

Bộ lựa chọn bộ lọc biến đổi hướng 111 lựa chọn một trong số nhiều đường cong bộ lọc được cung cấp bởi thiết bị 200 làm đường cong bộ lọc được lựa chọn. Cụ thể, bộ lựa chọn bộ lọc biến đổi hướng 111 thuộc Fig.45 lựa chọn đường cong bộ lọc được lựa chọn (còn được coi là đường cong hiệu chỉnh) phụ thuộc vào đầu vào hướng, mà cụ thể phụ thuộc vào thông tin độ nâng.

Đường cong bộ lọc được lựa chọn có thể, ví dụ, được chọn từ bộ lưu trữ đường cong bộ lọc 252 (còn được coi như bộ phận chứa các hệ số của bộ lọc hướng). Trong bộ lưu trữ đường cong bộ lọc 252, đường cong bộ lọc có thể, ví dụ, được lưu trữ bằng cách lưu trữ các hệ số lọc của nó hoặc bằng cách lưu trữ các giá trị phổ của nó.

Sau đó, bộ xử lý thông tin bộ lọc biến đổi hướng 115 áp dụng các hệ số bộ lọc hoặc các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn trên hàm truyền liên quan đến đầu để thu được hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi. Hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi sau đó được sử dụng bởi bộ lọc 120 của thiết bị 100 thuộc Fig.45 để kết xuất âm lập thể.

Hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào có thể, ví dụ, còn được xác định bởi thiết bị 200.

Bộ lọc 120 thuộc Fig.45 có thể, ví dụ, thực hiện việc kết xuất âm lập thể dựa trên việc tồn tại các phép đo BRIR (và ví dụ có thể được xử lý trước).

Liên quan đến thiết bị 200, phương án thuộc Fig.46 khác với phương án thuộc Fig.45 trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc 240 bao gồm bộ tạo bộ lọc cơ sở biến đổi hướng 243 thay vì bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng 242.

Bộ tạo bộ lọc cơ sở biến đổi hướng 243 được tạo cấu hình để tạo ra chỉ một đường cong bộ lọc từ các đáp ứng xung của buồng âm lập thể như đường cong bộ lọc tham chiếu (còn được coi là đường cong bộ lọc hiệu chỉnh cơ sở).

Liên quan đến thiết bị 100, phương án thuộc Fig.46 khác với phương án thuộc Fig.45, trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc bao gồm bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng I 112. Bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng I 112 được tạo cấu hình để làm biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu từ thiết bị 200, ví dụ, bằng cách kéo hoặc bằng cách nén đường cong bộ lọc tham chiếu (phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào).

Fig.47, thiết bị 200 tương ứng với thiết bị 200 thuộc Fig.45. Thiết bị 200 tạo ra nhiều đường cong bộ lọc.

Thiết bị 100 thuộc Fig.47 khác với thiết bị 100 thuộc Fig.45, trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc 110 của thiết bị 100 thuộc Fig.47 bao gồm bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng II 113 thay vì bộ lựa chọn bộ lọc biến đổi hướng 111.

Bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng II 113 lựa chọn một trong số nhiều đường cong bộ lọc được cung cấp bởi thiết bị 200 làm đường cong bộ lọc được lựa chọn. Trong thực tiễn, bộ lựa chọn bộ lọc biến đổi hướng 111 thuộc Fig. 45 lựa chọn đường cong bộ lọc được lựa chọn (còn được coi là đường cong hiệu chỉnh) phụ thuộc vào đầu vào của hướng, cụ thể phụ thuộc vào thông tin độ nâng. Sau khi lựa chọn đường cong bộ lọc được lựa chọn, bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng II 113 làm biến đổi đường cong bộ lọc được lựa chọn, bằng cách kéo dài hoặc nén đường cong bộ lọc tham chiếu (phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào).

Trong phương án thay thế, bộ tạo bộ lọc biến đổi hướng II 113 nội suy giữa hai đường cong bộ lọc trong số nhiều đường cong bộ lọc được cung cấp bởi thiết bị 200, ví dụ, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, và tạo ra đường cong bộ lọc được nội suy từ hai đường cong bộ lọc này.

Fig.48 minh họa thiết bị 100 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc theo phương án khác nhau.

Trong phương án thuộc Fig.48, bộ xác định thông tin bộ lọc 110 có thể, ví dụ, được thực hiện như phương án thuộc Fig.45 hoặc trong phương án thuộc Fig.46 hoặc như trong phương án thuộc Fig.47.

Trong phương án thuộc Fig.48, bộ lọc 120 bao gồm bộ kết xuất âm lập thể 121 mà tiến hành việc kết xuất âm lập thể để thu được tín hiệu âm thanh âm lập thể trung gian bao gồm hai kênh âm thanh trung gian.

Hơn nữa, bộ lọc 122 bao gồm bộ xử lý bộ lọc của bộ hiệu chỉnh hướng 122 được tạo cấu hình để lọc hai kênh âm thanh trung gian của tín hiệu âm thanh âm lập thể trung gian phụ thuộc vào thông tin bộ lọc được cung cấp bởi bộ xác định thông tin bộ lọc 110.

Do đó, trong phương án thuộc Fig.48, trước tiên việc kết xuất âm lập thể được tiến hành. Việc thích ứng độ cao ảo được tiến hành sau đó bởi bộ xử lý bộ lọc của bộ hiệu chỉnh hướng 122.

Mặc dù một số khía cạnh đã được mô tả trong phạm vi của thiết bị, rõ ràng rằng các khía cạnh này cũng thể hiện sự mô tả của phương pháp tương ứng, trong đó khối hoặc thiết bị tương ứng với bước phương pháp hoặc dấu hiệu của bước phương pháp. Tương tự, các khía cạnh được mô tả trong phạm vi của bước phương pháp cũng biểu diễn sự mô tả của khối hoặc mục hoặc dấu hiệu tương ứng của thiết bị tương ứng. Một số hoặc tất cả các bước phương pháp có thể được thực hiện bởi (hoặc sử dụng) thiết bị phần cứng, như ví dụ, bộ vi xử lý, máy tính có thể lập trình hoặc mạch điện tử. Trong một số phương án, một số hoặc nhiều bước phương pháp quan trọng nhất có thể được thực hiện bằng các thiết bị như vậy.

Tùy thuộc vào các yêu cầu thực hiện nhất định, các phương án của sáng chế có thể được thực hiện trong phần cứng hoặc trong phần mềm hoặc ít nhất một phần trong phần cứng hoặc ít nhất một phần trong phần mềm. Phương án có thể được thực hiện sử dụng phương tiện lưu trữ số, ví dụ, đĩa mềm, DVD, Blu-Ray, CD, ROM, PROM, EPROM, EEPROM hoặc bộ nhớ FLASH, có các tín hiệu điều khiển có thể đọc được

bằng điện được lưu trữ trên đó, mà kết hợp (hoặc có thể kết hợp) với hệ thống máy tính khả trình sao cho phương pháp tương ứng được thực hiện. Do đó, phương tiện lưu trữ dạng số là vật ghi có thể đọc được bằng máy tính.

Một số phương án theo sáng chế bao gồm vật mang dữ liệu có các tín hiệu điều khiển có thể đọc được bằng điện tử, mà có khả năng kết hợp với hệ thống máy tính có thể lập trình, sao cho một trong số các phương pháp được mô tả ở đây được thực hiện.

Nói chung, các phương án của sáng chế có thể được thực hiện như sản phẩm chương trình máy tính với mã chương trình, mã chương trình có nhiệm vụ để thực hiện một trong số các phương pháp khi sản phẩm chương trình máy tính chạy trên máy tính. Mã chương trình có thể ví dụ được lưu trữ trên vật mang có thể đọc được bằng máy.

Các phương án khác bao gồm chương trình máy tính để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở đây, được lưu trữ trên vật mang có thể đọc được bằng máy.

Nói cách khác, phương án của phương pháp theo sáng chế là chương trình máy tính có mã chương trình để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở đây, khi chương trình máy tính chạy trên máy tính.

Do đó, phương án khác của các phương pháp theo sáng chế là vật mang dữ liệu (hoặc phương tiện lưu trữ số, hoặc vật ghi có thể đọc được bằng máy tính) chứa chương trình máy tính được ghi lại trên đó để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở đây. Vật mang dữ liệu, vật ghi lưu trữ dạng số hoặc vật ghi được ghi lại thường là hữu hình và/hoặc không tạm thời.

Phương án khác của các phương pháp theo sáng chế là, dòng dữ liệu hoặc chuỗi tín hiệu thể hiện chương trình máy tính để thực hiện một trong các phương pháp đã được mô tả ở đây. Ví dụ, có thể tạo cấu hình dòng dữ liệu hoặc chuỗi tín hiệu để được truyền thông qua sự kết nối truyền thông dữ liệu, ví dụ thông qua Internet.

Phương án khác gồm có phương tiện xử lý, ví dụ máy tính, hoặc thiết bị logic lập trình được, được tạo cấu hình hoặc được làm thích ứng để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở đây.

Phương án khác bao gồm máy tính có chương trình máy tính được cài đặt trên máy tính để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở đây.

Phương án khác theo sáng chế gồm có thiết bị hoặc hệ thống được tạo cấu hình để truyền tải (ví dụ, bằng điện tử hoặc quang học) chương trình máy tính để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở đây đến bộ nhận. Bộ nhận có thể là, ví dụ, máy tính, thiết bị di động, thiết bị nhớ hoặc tương tự. Thiết bị hoặc hệ thống có thể, ví dụ, bao gồm máy chủ tệp tin để truyền tải chương trình máy tính đến bộ nhận.

Theo một số phương án, thiết bị logic lập trình được (ví dụ, mảng cổng lập trình được dạng trường) có thể được sử dụng để thực hiện một số hoặc tất cả các chức năng của các phương pháp được mô tả ở đây. Trong một số phương án, mảng cổng lập trình được dạng trường có thể kết hợp với bộ vi xử lý để thực hiện một trong số các phương pháp được mô tả ở đây. Thông thường, các phương pháp tốt hơn là được thực hiện bởi thiết bị phần cứng bất kỳ.

Thiết bị được mô tả ở đây có thể được thực hiện sử dụng thiết bị phần cứng, hoặc sử dụng máy tính, hoặc sử dụng tổ hợp của thiết bị phần cứng và máy tính.

Các phương pháp được mô tả ở đây có thể được thực hiện sử dụng thiết bị phần cứng, hoặc sử dụng máy tính, hoặc sử dụng kết hợp thiết bị phần cứng và máy tính.

Các phương án được mô tả bên trên chỉ mang tính minh họa cho các nguyên lý của sáng chế. Cần hiểu rằng các cải biên và biến đổi của các phương án và các chi tiết được mô tả ở đây sẽ là rõ ràng đối với người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật tương ứng. Do đó, mục đích của sáng chế là chỉ giới hạn bởi phạm vi của các điểm yêu cầu bảo hộ sắp đưa ra dưới đây và không bị giới hạn bởi các chi tiết cụ thể được biểu diễn bằng bản mô tả và giải thích của các phương án ở đây.

## YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thiết bị (100) tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh, trong đó thiết bị (100) bao gồm:

bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, trong đó thông tin độ cao đầu vào phụ thuộc vào độ cao của nguồn âm thanh ảo (492), và

bộ lọc (120) được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào thông tin bộ lọc,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc; hoặc trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào;

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sao cho bộ lọc (120) khuếch đại phần phổ thứ nhất của tín hiệu đầu vào âm thanh đến giá trị khuếch đại thứ nhất, và sao cho bộ lọc (120) không làm biến đổi phần phổ thứ hai của tín hiệu đầu vào âm thanh; hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sao cho bộ lọc (120) khuếch đại phần phổ thứ nhất của tín hiệu đầu vào âm thanh đến giá trị khuếch đại thứ nhất, và sao cho bộ lọc (120) khuếch đại phần phổ thứ hai của tín hiệu đầu vào âm thanh đến giá trị khuếch đại thứ hai, trong đó giá trị khuếch đại thứ nhất khác với giá trị khuếch đại thứ hai.

2. Thiết bị (100) theo điểm 1, trong đó thông tin độ cao đầu vào biểu thị ít nhất một giá trị tọa độ của tọa độ thuộc hệ tọa độ, trong đó tọa độ biểu thị vị trí của nguồn âm thanh ảo.

3. Thiết bị (100) theo điểm 2,

trong đó hệ tọa độ là hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều, và thông tin độ cao đầu vào là tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều hoặc là giá

trị tọa độ thuộc ba giá trị tọa độ của tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều, hoặc

trong đó hệ tọa độ là hệ tọa độ cực, và thông tin độ cao đầu vào là góc nghiêng của tọa độ cực thuộc hệ tọa độ cực.

4. Thiết bị (100) theo điểm 3,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc, và

trong đó thông tin độ cao đầu vào là giá trị tọa độ đã nêu thuộc ba giá trị tọa độ của tọa độ thuộc hệ tọa độ Đề-các trong không gian ba chiều là giá trị tọa độ đầu vào, trong đó từng đường cong bộ lọc thuộc nhiều đường cong bộ lọc có giá trị tọa độ được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu, và bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để lựa chọn đường cong bộ lọc từ nhiều đường cong bộ lọc làm đường cong bộ lọc được lựa chọn với chênh lệch tuyệt đối nhỏ nhất giữa giá trị tọa độ đầu vào với giá trị tọa độ được ấn định đường cong bộ lọc đã nêu trong số tất cả các đường cong bộ lọc, hoặc

trong đó thông tin độ cao đầu vào là góc nghiêng mà là góc nghiêng đầu vào, trong đó từng đường cong bộ lọc thuộc nhiều đường cong bộ lọc có góc nghiêng được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu, và bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để lựa chọn đường cong bộ lọc từ nhiều đường cong bộ lọc làm đường cong bộ lọc được lựa chọn với chênh lệch tuyệt đối nhỏ nhất giữa góc nghiêng đầu vào và góc nghiêng được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu trong số tất cả các đường cong bộ lọc.

5. Thiết bị (100) theo điểm 4,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để khuếch đại đường cong bộ lọc được lựa chọn đến giá trị khuếch đại được xác định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý, hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để làm suy giảm đường cong bộ lọc được lựa chọn đến giá trị suy giảm được xác định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý,

trong đó bộ phận lọc (120) được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được xử lý, và

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định giá trị khuếch đại được xác định hoặc giá trị suy giảm được xác định phụ thuộc vào chênh lệch giữa giá trị tọa độ đầu vào và giá trị tọa độ được ấn định cho đường cong bộ lọc được lựa chọn, hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định giá trị khuếch đại được xác định hoặc giá trị suy giảm được xác định phụ thuộc vào chênh lệch giữa góc ngảng đầu vào và góc ngảng được ấn định cho đường cong bộ lọc được lựa chọn.

6. Thiết bị (100) theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, và

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để khuếch đại đường cong bộ lọc tham chiếu đến giá trị khuếch đại được xác định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý, hoặc bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để làm suy giảm đường cong bộ lọc tham chiếu đến giá trị suy giảm được xác định để thu được đường cong bộ lọc được xử lý.

7. Thiết bị (100) theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc làm đường cong bộ lọc được lựa chọn thứ nhất,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn thứ hai từ nhiều đường cong bộ lọc, và

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định đường cong bộ lọc được nội suy bằng cách nội suy giữa đường cong bộ lọc được lựa chọn thứ nhất và đường cong bộ lọc được lựa chọn thứ hai.

8. Thiết bị (100) theo điểm bất kỳ trong số các điểm trên,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc, trong đó từng đường cong bộ lọc trong số nhiều đường cong bộ lọc có cực đại toàn cục hoặc cực tiểu toàn cục nằm trong khoảng từ 700Hz đến 2000Hz, hoặc

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, trong đó đường cong bộ lọc tham chiếu có cực đại toàn cục hoặc cực tiểu toàn cục nằm trong khoảng từ 700Hz đến 2000Hz.

9. Thiết bị (100) theo điểm bất kỳ trong số các điểm trên,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào và còn phụ thuộc vào thông tin phương vị đầu vào, và

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào và phụ thuộc vào thông tin phương vị đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc, hoặc

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào và phụ thuộc vào thông tin phương vị.

10. Thiết bị (100) theo điểm bất kỳ trong số các điểm trên,

trong đó bộ lọc (120) được tạo cấu hình để lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh lập thể làm tín hiệu âm thanh được lọc có đúng hai kênh âm thanh phụ thuộc vào thông tin bộ lọc,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để nhận thông tin đầu vào dựa vào hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, và

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc bằng cách xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách biến đổi hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc phụ thuộc vào đường cong bộ lọc được biến đổi.

11. Thiết bị (100) theo điểm 10,

trong đó hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào được biểu diễn trong miền phổ,

trong đó đường cong bộ lọc được lựa chọn được biểu diễn trong miền phổ, hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi được biểu diễn trong miền phổ, và

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách cộng các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi vào các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, hoặc

bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách nhân các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi với các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, hoặc

bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách trừ các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi cho các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, hoặc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào cho các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi, hoặc

bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào cho các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc của đường cong bộ lọc được biến đổi cho các giá trị phổ của hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào.

12. Thiết bị (100) theo điểm 10,

trong đó hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào được biểu diễn trong miền thời gian,

trong đó đường cong bộ lọc được lựa chọn được biểu diễn trong miền thời gian, hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi được biểu diễn trong miền thời gian, và

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách tích chập đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi với hàm truyền liên quan đến đầu của đầu vào, hoặc

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách lọc đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi với cấu trúc bộ lọc không đệ quy, hoặc

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) được tạo cấu hình để xác định hàm truyền liên quan đến đầu được biến đổi bằng cách lọc đường cong bộ lọc được lựa chọn hoặc đường cong bộ lọc được biến đổi với cấu trúc bộ lọc đệ quy.

13. Hệ thống (300) tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh và cung cấp thông tin biến đổi hướng, hệ thống bao gồm:

thiết bị (100) theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 10 đến 12 để tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh, và

thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng, trong đó thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng bao gồm:

nhiều loa phát thanh (211, 212), trong đó từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh (211, 212) được tạo cấu hình để phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại, trong đó loa phát thanh thứ nhất thuộc nhiều loa phát thanh (211, 212) được đặt tại vị trí thứ nhất với độ cao thứ nhất, và trong đó loa phát thanh thứ hai thuộc nhiều loa phát thanh (211, 212) được đặt tại vị trí thứ hai mà khác với vị trí thứ nhất với độ cao thứ hai, mà khác với độ cao thứ nhất,

hai micrô (221, 222), từng micrô trong số hai micrô (221, 222) được tạo cấu hình để ghi tín hiệu âm thanh được ghi bằng cách nhận các sóng âm từ từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh (211, 212) được phát ra bởi loa phát thanh đã nêu khi phát lại tín hiệu âm thanh,

bộ xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể (230) được tạo cấu hình để xác định nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể cho từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh (211, 212) phụ thuộc vào tín hiệu âm thanh được phát lại mà được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu và phụ thuộc vào từng tín hiệu trong số các tín hiệu âm thanh được ghi mà được ghi bởi từng micrô trong số hai micrô (221, 222) khi tín hiệu âm thanh được phát lại đã nêu được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu, và

bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để tạo ra ít nhất một đường cong bộ lọc phụ thuộc vào hai trong số nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể,

trong đó thông tin biến đổi hướng phụ thuộc vào ít nhất một đường cong bộ lọc,

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) của thiết bị (100) theo một trong số các điểm từ 10 đến 12 được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc, hoặc

trong đó bộ xác định thông tin bộ lọc (110) của thiết bị (100) theo một trong số các điểm từ 10 đến 12 được tạo cấu hình để xác định thông tin bộ lọc sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào,

trong đó thông tin biến đổi hướng được cung cấp bởi thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng bao gồm nhiều đường cong bộ lọc hoặc đường cong bộ lọc tham chiếu.

14. Hệ thống (300) theo điểm 13,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để thu được hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách tạo ra một hoặc nhiều đường cong trung gian phụ thuộc vào nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể, bằng cách khuếch đại từng đường cong trong số một hoặc nhiều đường cong trung gian theo từng giá trị trong số nhiều giá trị suy giảm khác nhau.

15. Hệ thống (300) theo điểm 13,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để xác định nhiều hàm truyền liên quan đến đầu từ nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách khai căn hàm truyền liên quan đến đầu từ từng đáp ứng xung trong số các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể,

trong đó nhiều hàm truyền liên quan đến đầu được biểu diễn trong miền phổ,

trong đó giá trị độ cao được ấn định cho từng hàm truyền thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để tạo ra hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để tạo ra từng đường cong bộ lọc thuộc hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất

thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để ấn định giá trị độ cao cho từng đường cong bộ lọc trong số hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách trừ giá trị độ cao mà được ấn định cho hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ hai thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, và

trong đó thông tin biến đổi hướng bao gồm từng đường cong bộ lọc trong số hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc và giá trị độ cao được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu.

#### 16. Hệ thống (300) theo điểm 13,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để xác định nhiều hàm truyền liên quan đến đầu từ nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách khai căn hàm truyền liên quan đến đầu từ từng đáp ứng xung thuộc các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể,

trong đó nhiều hàm truyền liên quan đến đầu được biểu diễn trong miền phổ,

trong đó giá trị độ cao được ấn định cho từng hàm truyền trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để tạo ra đúng một đường cong bộ lọc,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để tạo ra đúng một đường cong bộ lọc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) của thiết bị (200) để cung cấp thông tin biến đổi hướng được tạo cấu hình để ấn định giá trị độ cao cho đúng một đường cong bộ lọc bằng cách trừ giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ nhất trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, và

trong đó thông tin biến đổi hướng bao gồm đúng một đường cong bộ lọc và giá trị độ cao được ấn định cho đúng một đường cong bộ lọc.

17. Thiết bị (200) cung cấp thông tin biến đổi hướng, trong đó thiết bị (200) bao gồm:

nhiều loa phát thanh (211, 212), trong đó từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh (211, 212) được tạo cấu hình để phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại, trong đó loa phát thanh thứ nhất trong số nhiều loa phát thanh (211, 212) được đặt tại vị trí thứ nhất với độ cao thứ nhất, và trong đó loa phát thanh thứ hai trong số nhiều loa phát thanh (211, 212) được đặt tại vị trí thứ hai khác với vị trí thứ nhất, với độ cao thứ hai khác với độ cao thứ nhất,

hai micrô (221, 222), từng micrô trong số hai micrô (221, 222) được tạo cấu hình để ghi tín hiệu âm thanh được ghi bằng cách nhận các sóng âm từ từng loa phát thanh thuộc nhiều loa phát thanh (211, 212) được phát ra bởi loa phát thanh đã nêu khi phát lại tín hiệu âm thanh,

bộ xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể (230) được tạo cấu hình để xác định nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể cho từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh (211, 212) phụ thuộc vào tín hiệu âm thanh được phát lại mà được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu và phụ thuộc vào từng tín hiệu âm thanh trong số các tín hiệu âm thanh được ghi mà được ghi bởi từng micrô thuộc hai micrô (221, 222) khi tín hiệu âm thanh được phát lại đã nêu được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu, và

bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để tạo ra ít nhất một đường cong bộ lọc phụ thuộc vào hai trong số nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể,

trong đó thông tin biến đổi hướng phụ thuộc vào ít nhất một đường cong bộ lọc,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để thu được hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách tạo ra một hoặc nhiều đường cong trung gian phụ thuộc vào nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể, bằng cách khuếch đại từng đường cong trong số một hoặc nhiều đường cong trung gian theo từng giá trị suy giảm thuộc nhiều giá trị suy giảm khác nhau.

18. Thiết bị (200) theo điểm 17,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để xác định nhiều hàm truyền liên quan đến đầu từ nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách khai căn hàm truyền liên quan đến đầu từ từng đáp ứng xung trong số các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể,

trong đó nhiều hàm truyền liên quan đến đầu được biểu diễn trong miền phổ,

trong đó giá trị độ cao được ấn định cho từng hàm truyền trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để tạo ra hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để tạo ra từng đường cong bộ lọc trong số hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình ấn định giá trị độ cao cho từng đường cong bộ lọc trong số hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách trừ giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, và

trong đó thông tin biến đổi hướng bao gồm từng đường cong bộ lọc trong số hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc và giá trị độ cao được ấn định cho đường cong bộ lọc đã nêu.

19. Thiết bị (200) theo điểm 17,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để xác định nhiều hàm truyền liên quan đến đầu từ nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách khai căn hàm truyền liên quan đến đầu từ từng đáp ứng xung trong số các đáp ứng xung trong phòng âm lập thể,

trong đó nhiều hàm truyền liên quan đến đầu được biểu diễn trong miền phổ,

trong đó giá trị độ cao được ấn định cho từng hàm truyền thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để tạo ra đúng một đường cong bộ lọc,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để tạo ra đúng một đường cong bộ lọc bằng cách trừ các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, hoặc bằng cách chia các giá trị phổ của hàm truyền thứ nhất trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho các giá trị phổ của hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu,

trong đó bộ tạo đường cong bộ lọc (240) được tạo cấu hình để ấn định giá trị độ cao cho đúng một đường cong bộ lọc bằng cách trừ giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ nhất thuộc nhiều hàm truyền liên quan đến đầu cho giá trị độ cao được ấn định cho hàm truyền thứ hai trong số nhiều hàm truyền liên quan đến đầu, và

trong đó thông tin biến đổi hướng bao gồm đúng một đường cong bộ lọc và giá trị độ cao được ấn định cho đúng một đường cong bộ lọc.

20. Phương pháp tạo ra tín hiệu âm thanh được lọc từ tín hiệu đầu vào âm thanh, trong đó phương pháp bao gồm các bước:

xác định thông tin bộ lọc phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào trong đó thông tin độ cao đầu vào phụ thuộc vào độ cao của nguồn âm thanh ảo (492), và

lọc tín hiệu đầu vào âm thanh để thu được tín hiệu âm thanh được lọc phụ thuộc vào thông tin bộ lọc,

trong đó việc xác định thông tin bộ lọc được tiến hành bằng cách sử dụng việc lựa chọn, phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào, đường cong bộ lọc được lựa chọn từ nhiều đường cong bộ lọc, hoặc

trong đó việc xác định thông tin bộ lọc được tiến hành bằng cách sử dụng việc xác định đường cong bộ lọc được biến đổi bằng cách biến đổi đường cong bộ lọc tham chiếu phụ thuộc vào thông tin độ cao đầu vào;

trong đó việc xác định thông tin bộ lọc được tiến hành sao cho phần phổ thứ nhất của tín hiệu đầu vào âm thanh được biến đổi, và sao cho phần phổ thứ hai của tín hiệu đầu vào âm thanh không bị biến đổi; hoặc xác định thông tin bộ lọc được tiến hành sao cho phần phổ thứ nhất của tín hiệu đầu vào âm thanh được khuếch đại bằng giá trị khuếch đại thứ nhất, và sao cho phần phổ thứ hai của tín hiệu đầu vào âm thanh được khuếch đại bởi giá trị khuếch đại thứ hai, trong đó giá trị khuếch đại thứ nhất khác với giá trị khuếch đại thứ hai.

21. Phương pháp cung cấp thông tin biến đổi hướng, trong đó phương pháp bao gồm các bước:

đổi với từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh, phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu và ghi các sóng âm được phát ra từ loa phát thanh đã nêu khi phát lại tín hiệu âm thanh được phát lại đã nêu bởi hai loa phát thanh để thu được tín hiệu âm thanh được ghi cho từng micrô trong số hai micrô, trong đó loa phát thanh thứ nhất trong số nhiều loa phát thanh được đặt tại vị trí thứ nhất với độ cao thứ nhất, và trong đó loa phát thanh thứ hai được đặt tại vị trí thứ hai khác với vị trí thứ nhất với độ cao thứ hai khác với độ cao thứ nhất,

xác định nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể bằng cách xác định đáp ứng xung trong phòng âm lập thể cho từng loa phát thanh trong số nhiều loa phát thanh phụ thuộc vào tín hiệu âm thanh được phát lại được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu

và phụ thuộc vào từng tín hiệu âm thanh trong số các tín hiệu âm thanh được ghi mà được ghi bởi từng micrô trong số hai micrô khi tín hiệu âm thanh được phát lại đã nêu được phát lại bởi loa phát thanh đã nêu, và

tạo ra ít nhất một đường cong bộ lọc phụ thuộc vào hai trong số nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể,

trong đó thông tin biến đổi hướng phụ thuộc vào ít nhất một đường cong bộ lọc,

trong đó phương pháp bao gồm bước thu hai hoặc nhiều hơn hai đường cong bộ lọc bằng cách tạo ra một hoặc nhiều đường cong trung gian tùy thuộc vào nhiều đáp ứng xung trong phòng âm lập thể, bằng cách khuếch đại từng đường cong trong số một hoặc nhiều đường cong trung gian bởi từng giá trị trong số nhiều giá trị suy giảm khác nhau.

22. Vật ghi đọc được bằng máy tính chứa chương trình máy tính để thực hiện phương pháp theo điểm 20, khi chạy trên máy tính hoặc bộ xử lý tín hiệu.

23. Vật ghi đọc được bằng máy tính chứa chương trình máy tính để thực hiện phương pháp theo điểm 21, khi chạy trên máy tính hoặc bộ xử lý tín hiệu.

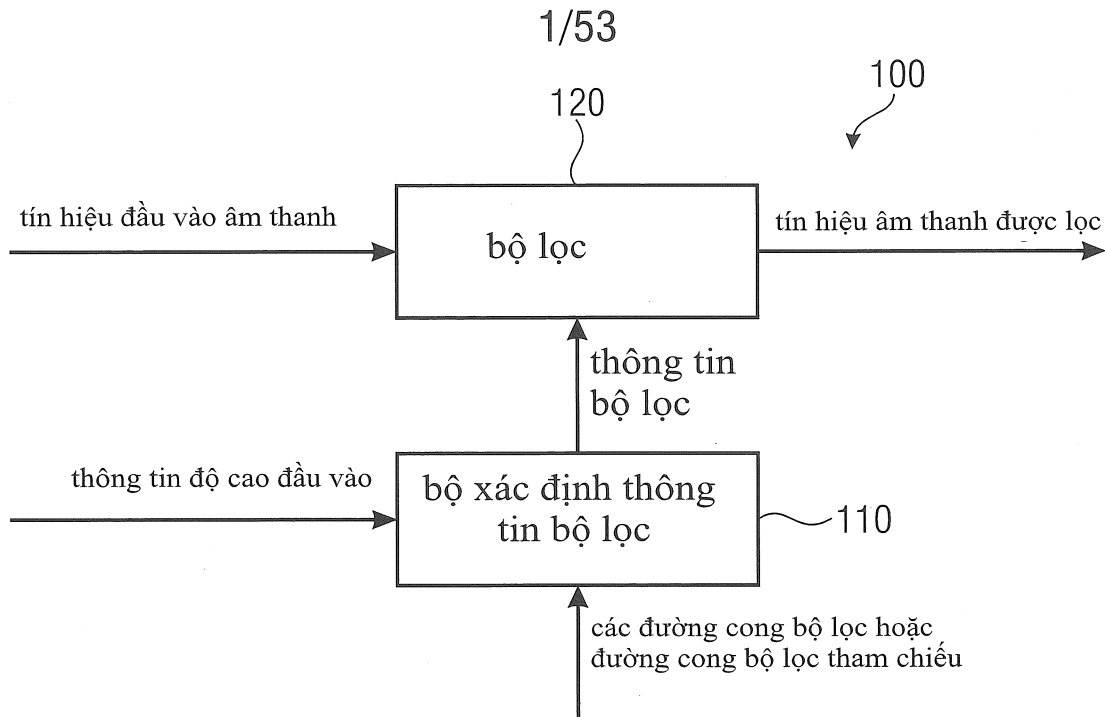


Fig. 1a

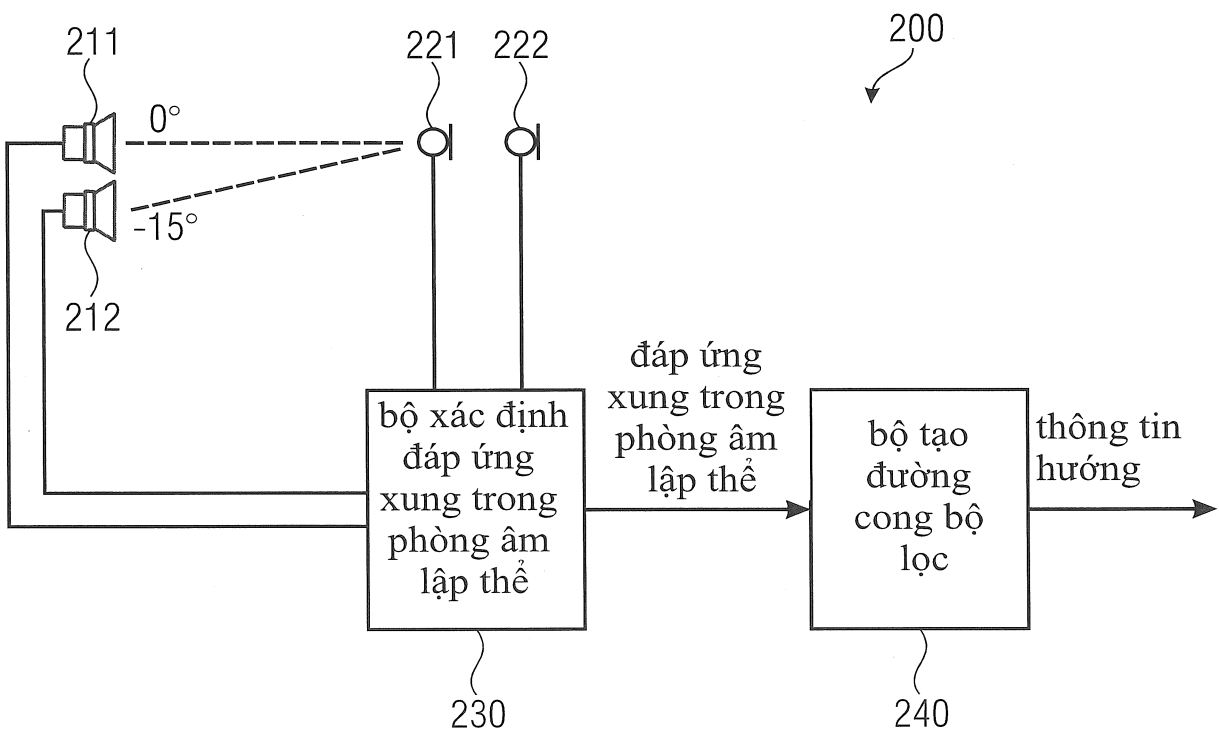


Fig. 1b

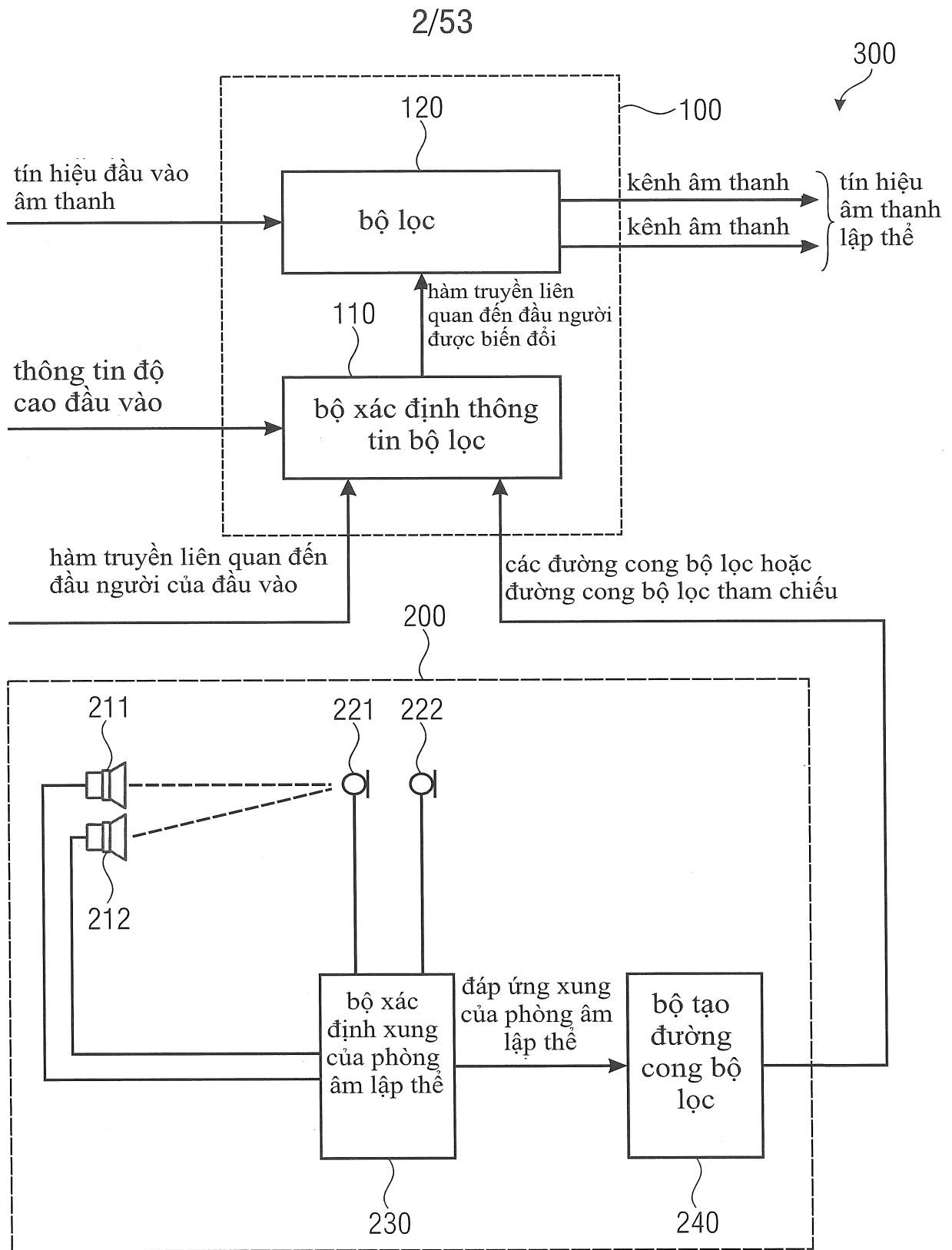
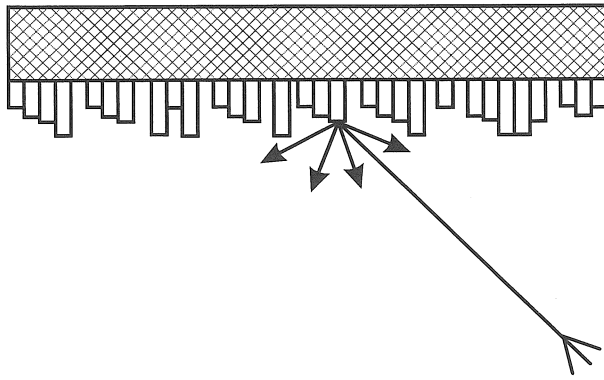
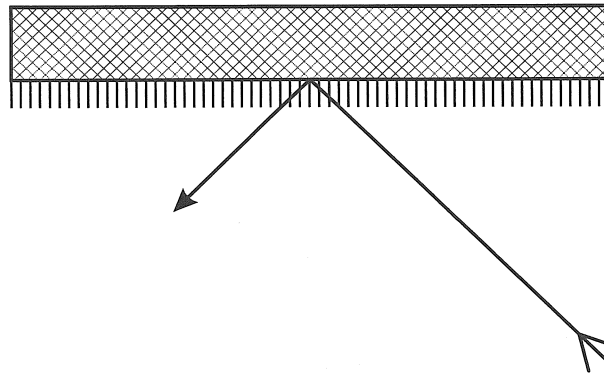


Fig. 1c

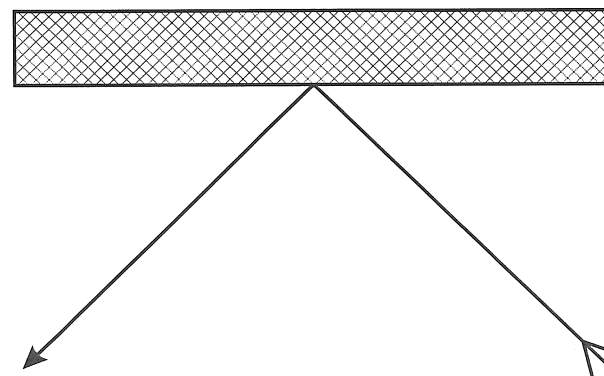
3/53



bề mặt khuếch tán âm  
(tấm cách âm)



bề mặt hấp phụ âm  
(thảm)



bề mặt phản xạ âm  
(gỗ)

Fig. 2

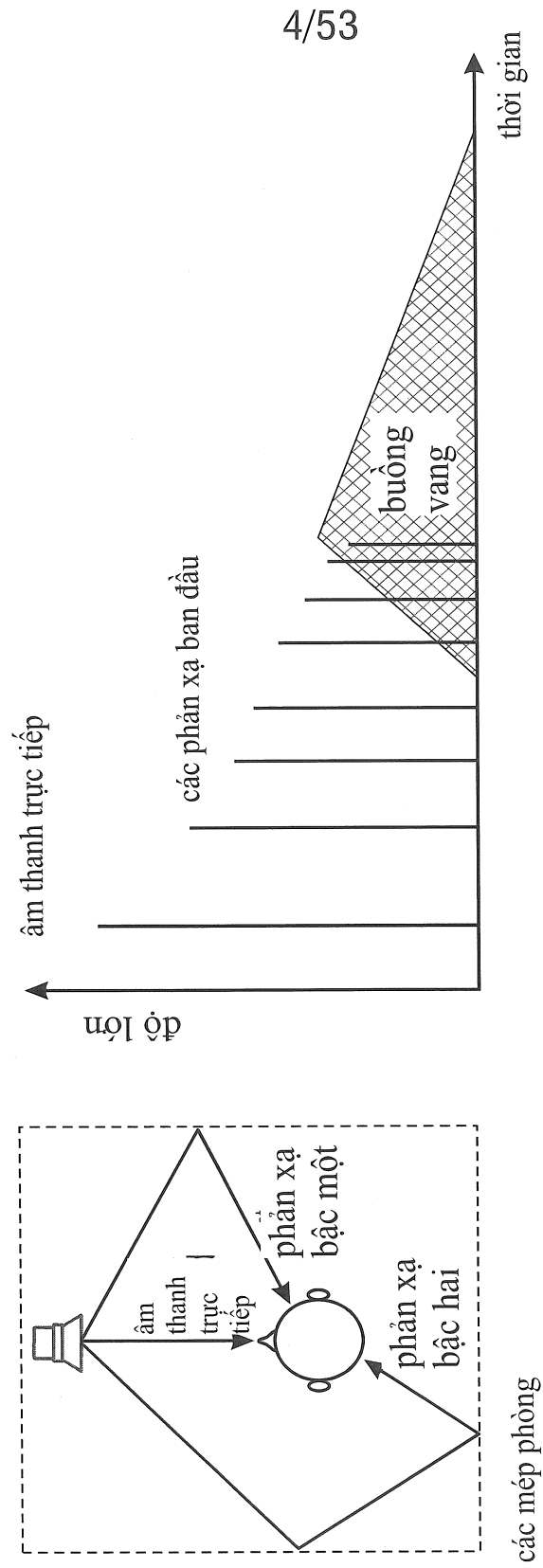


Fig. 3

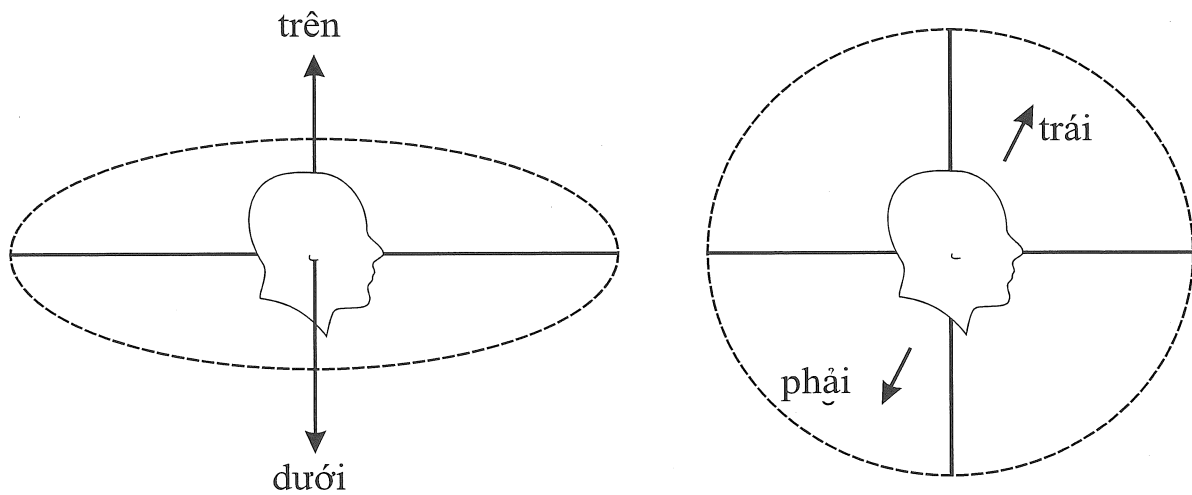


Fig. 4

các bảng xác định hướng

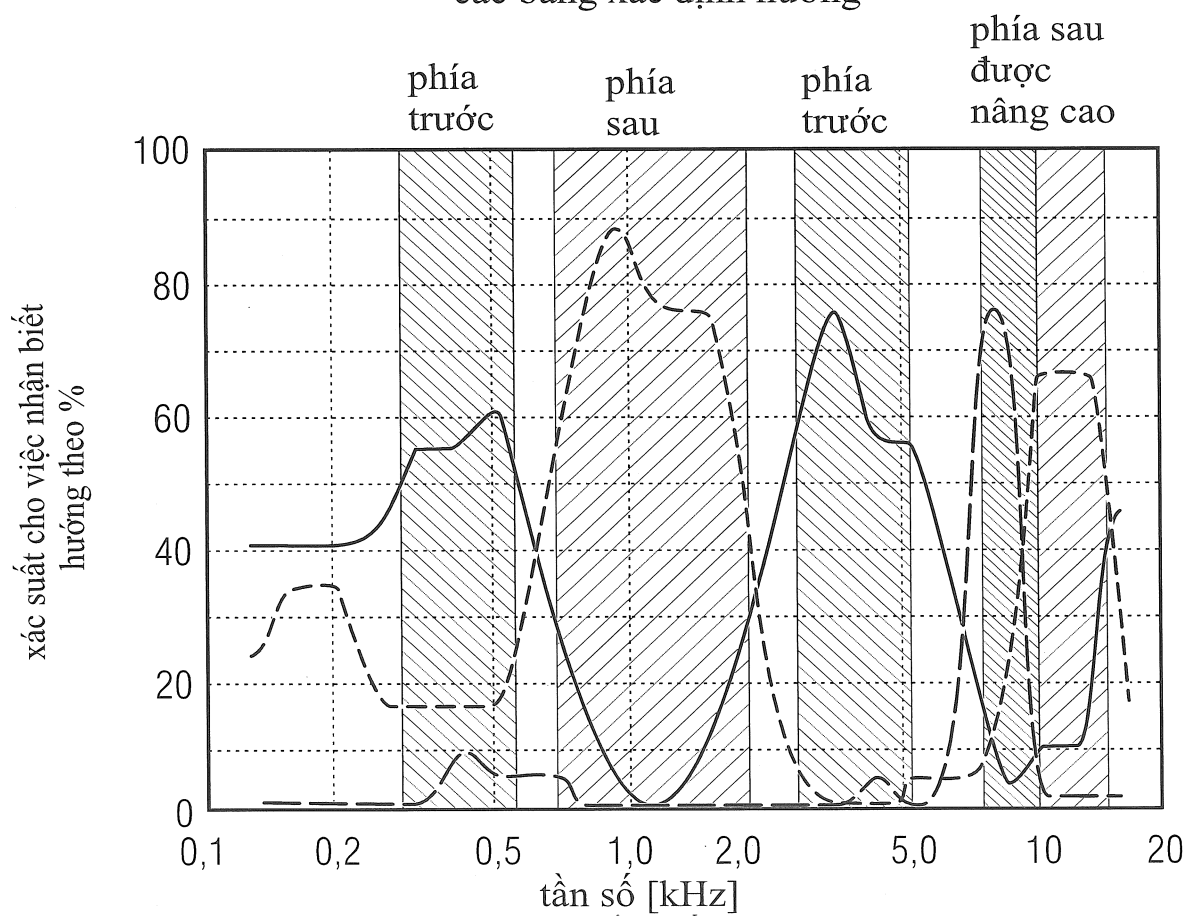


Fig. 5

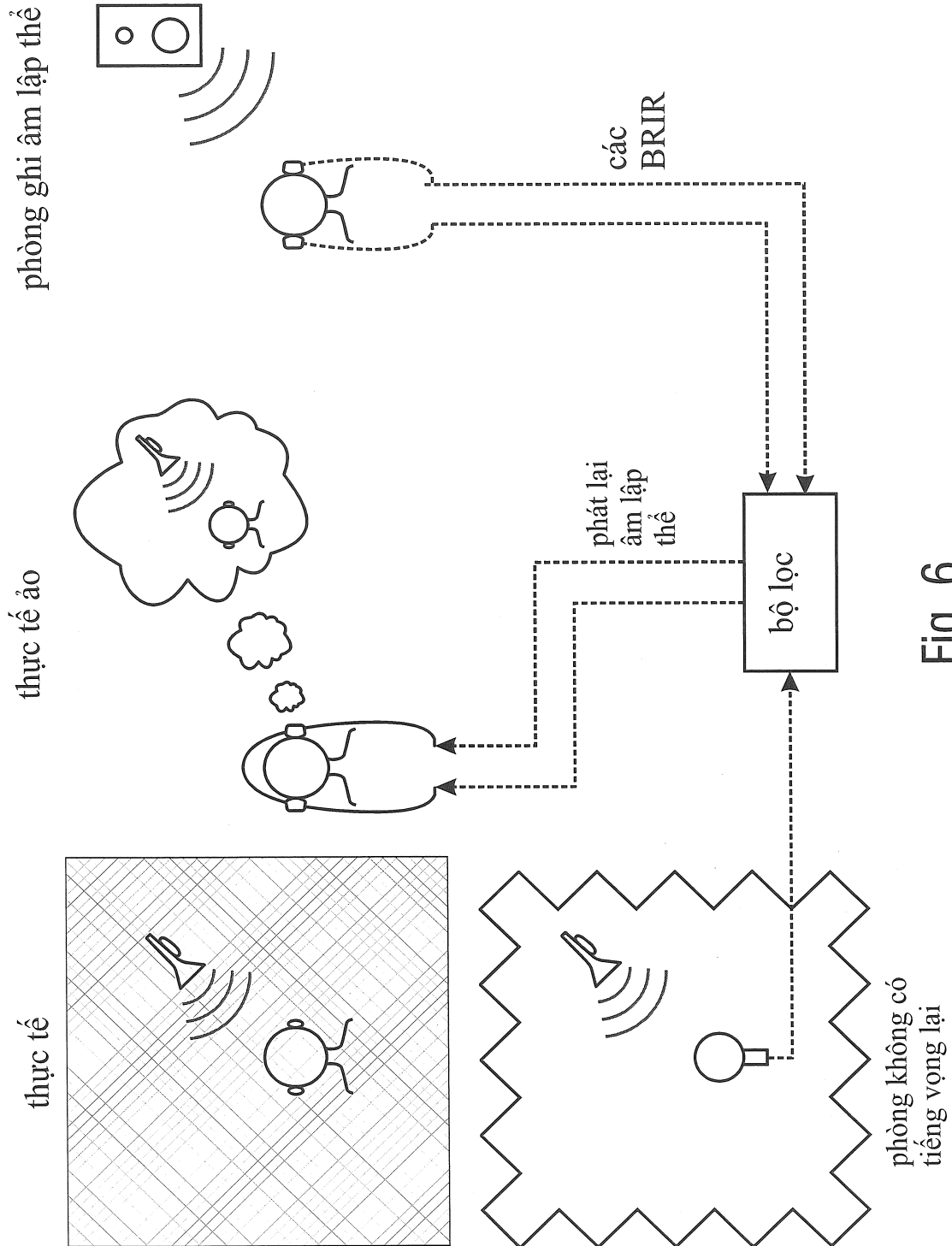


Fig. 6

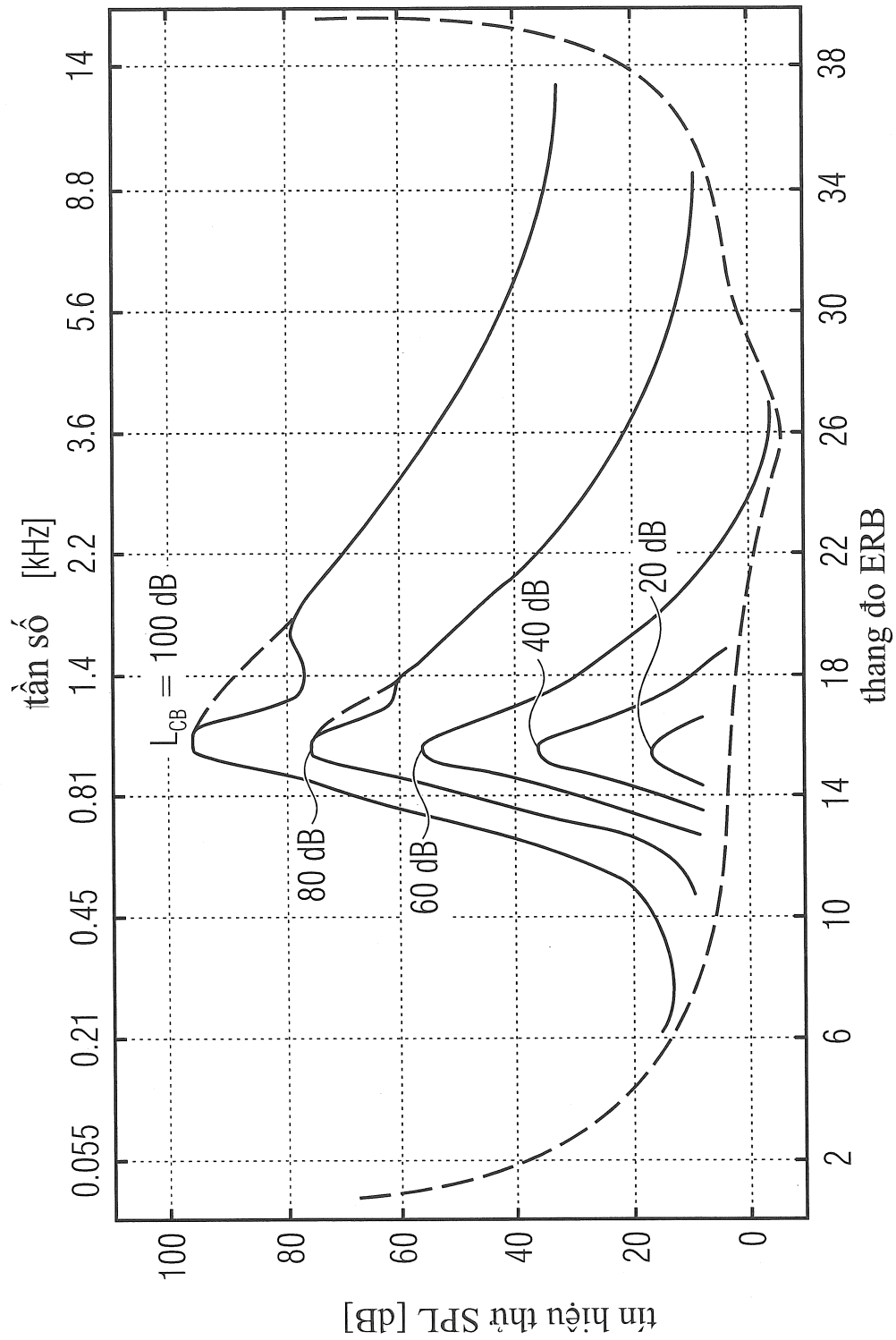


Fig. 7

8/53

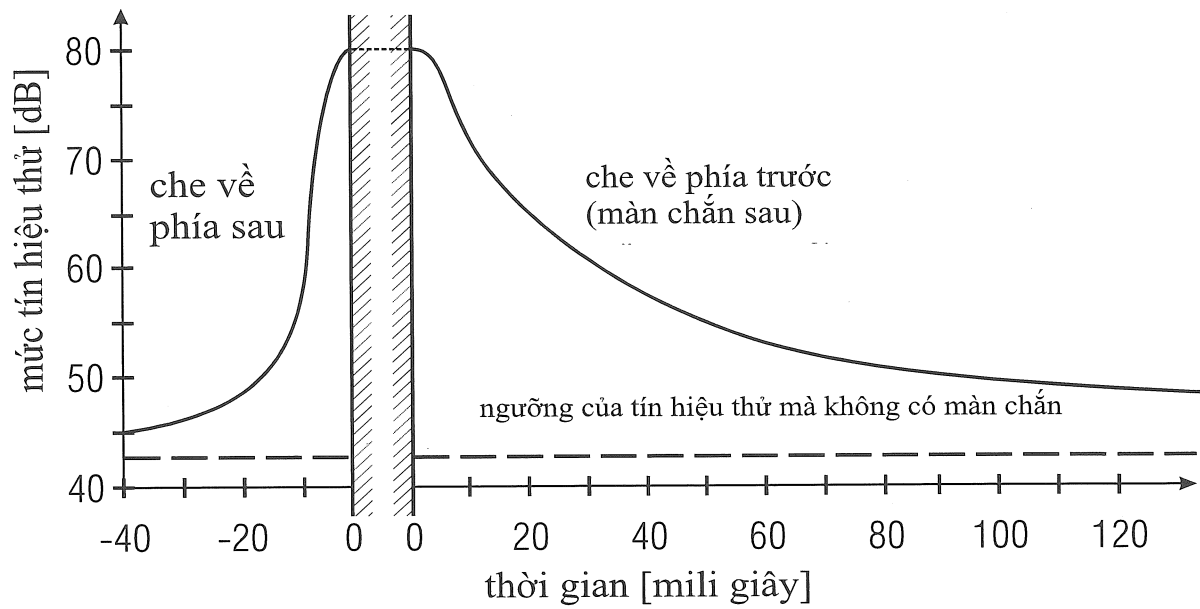


Fig. 8

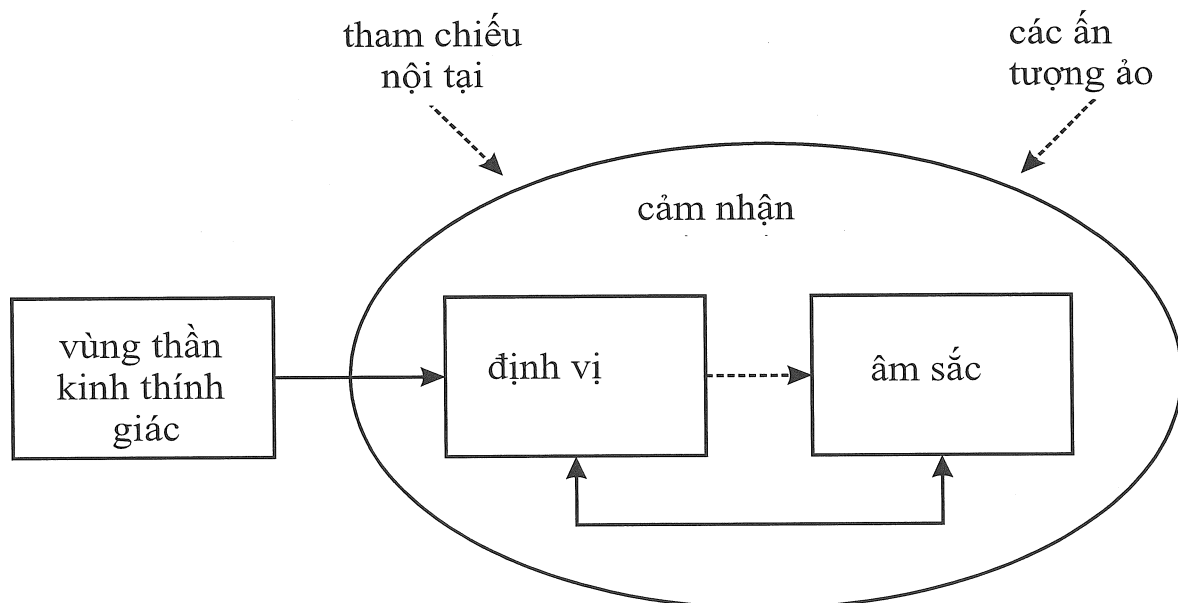


Fig. 9

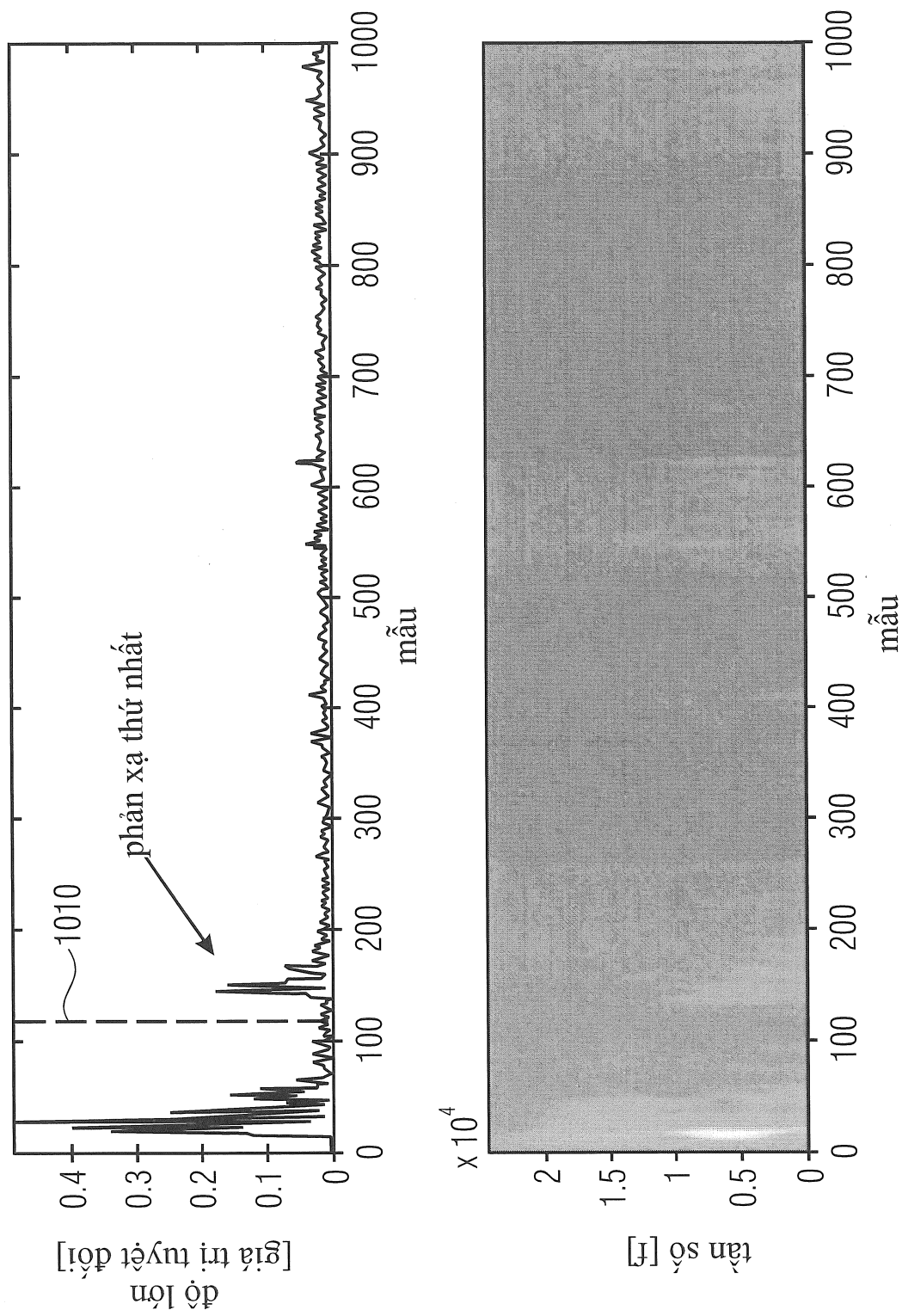


Fig. 10

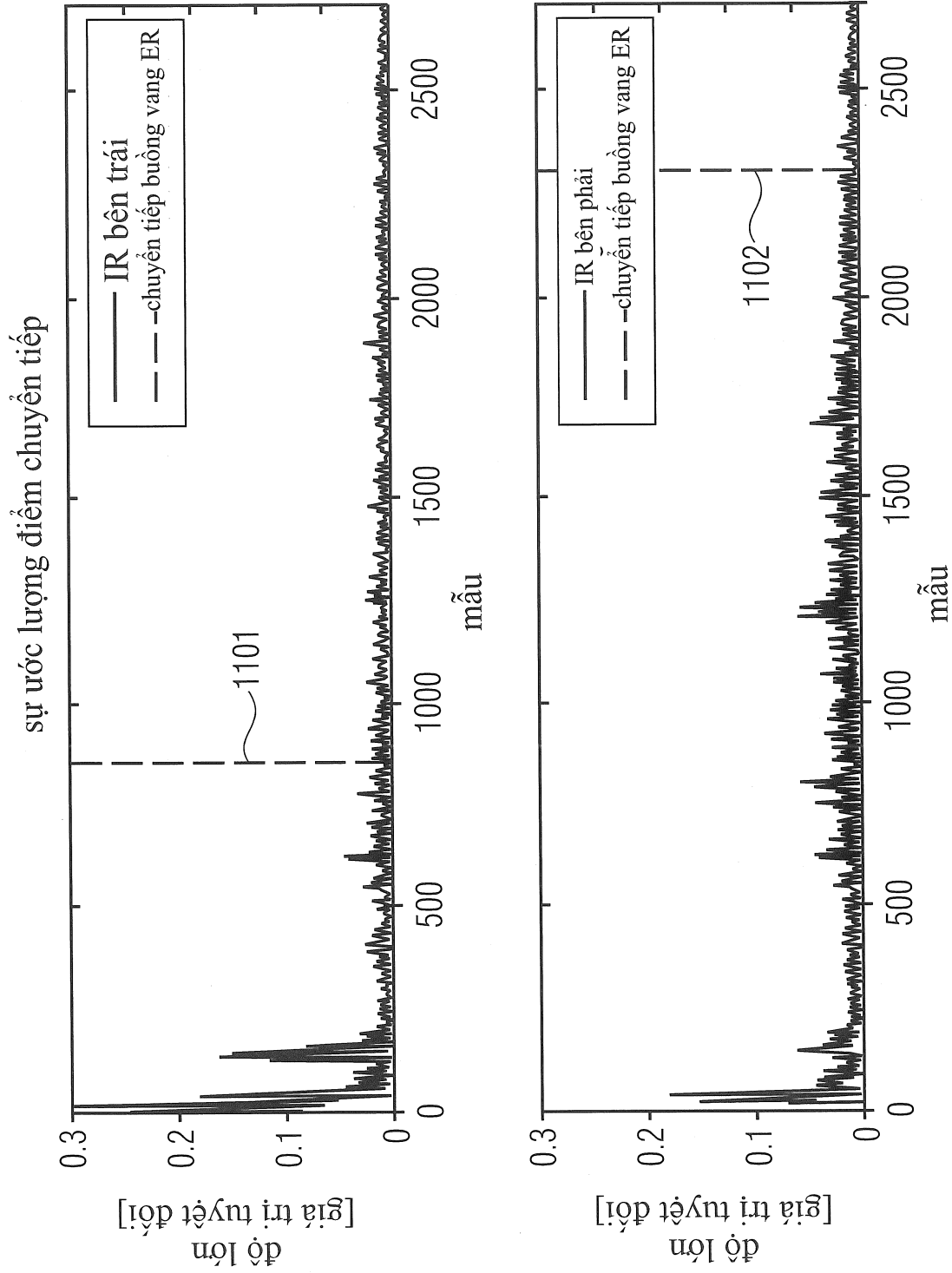


Fig. 11

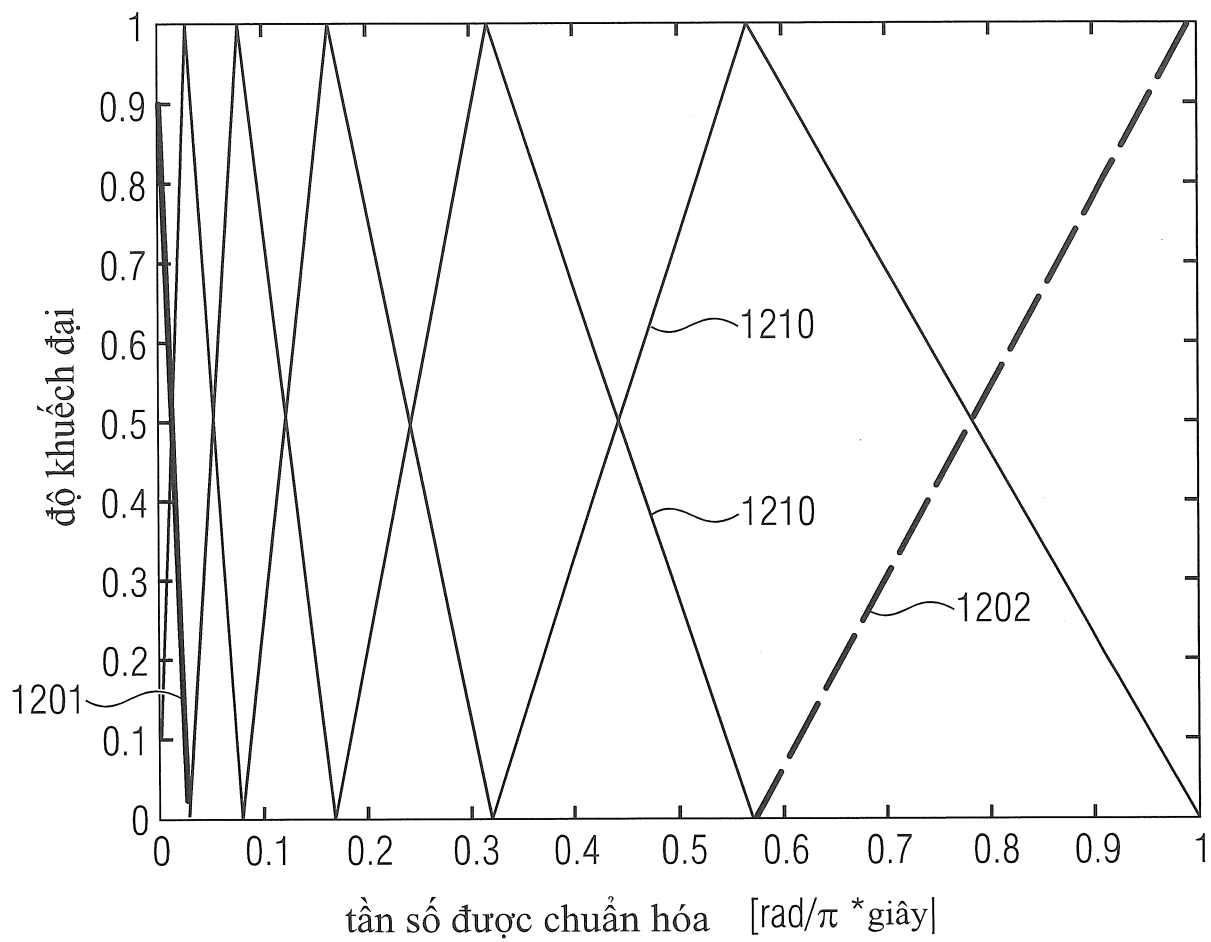


Fig. 12

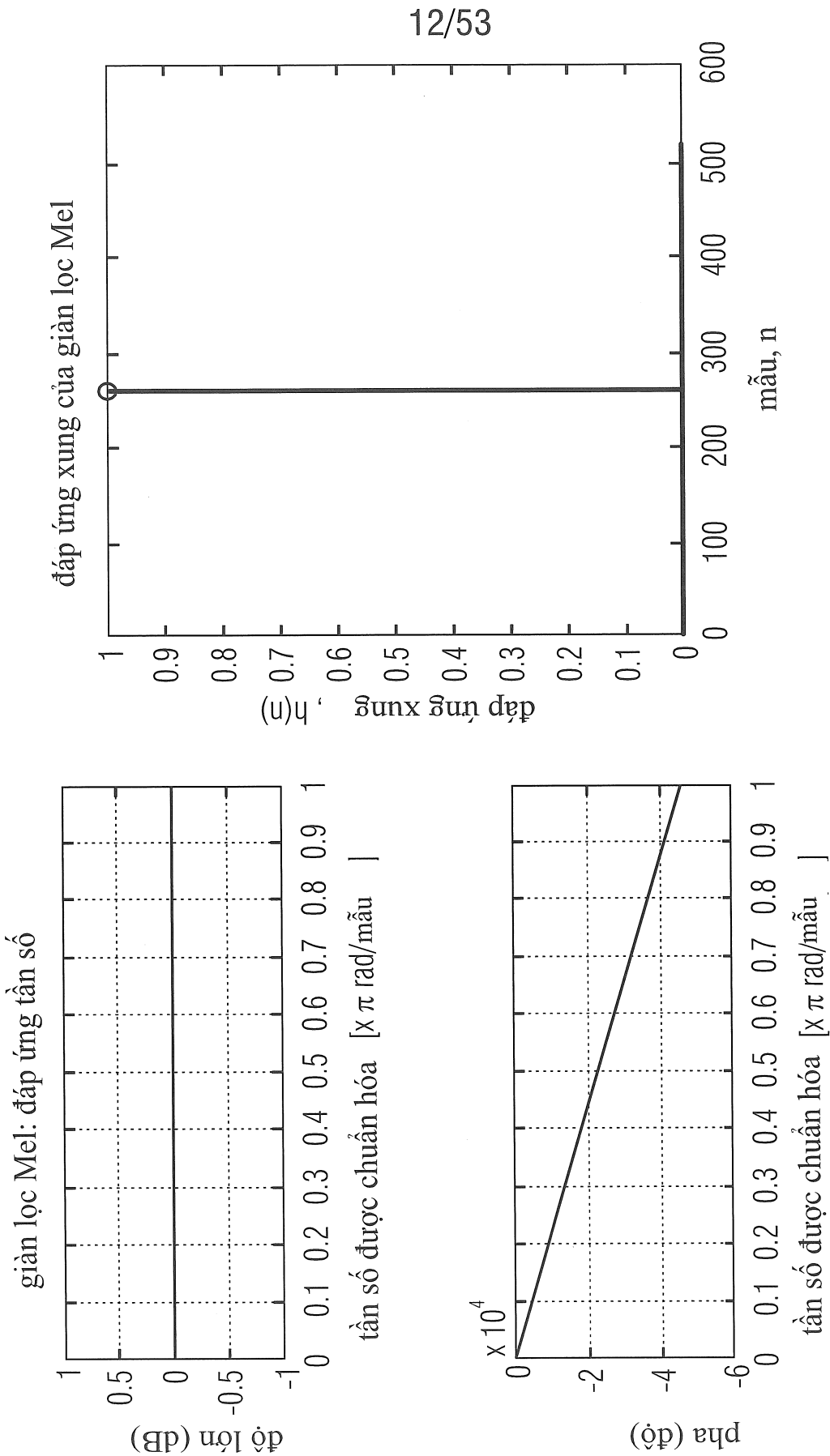


Fig. 13

Đa thức Legendre

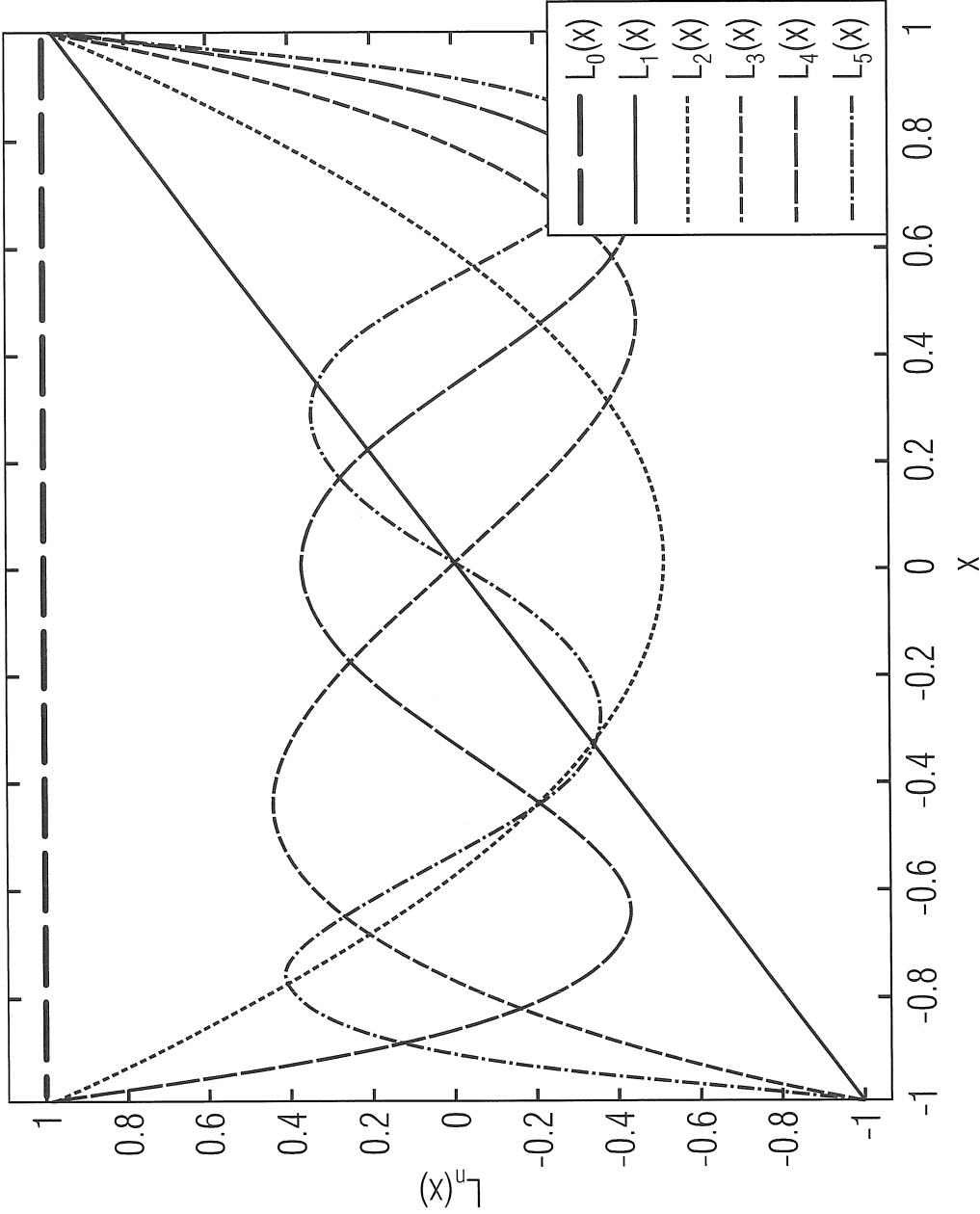


Fig. 14

14/53

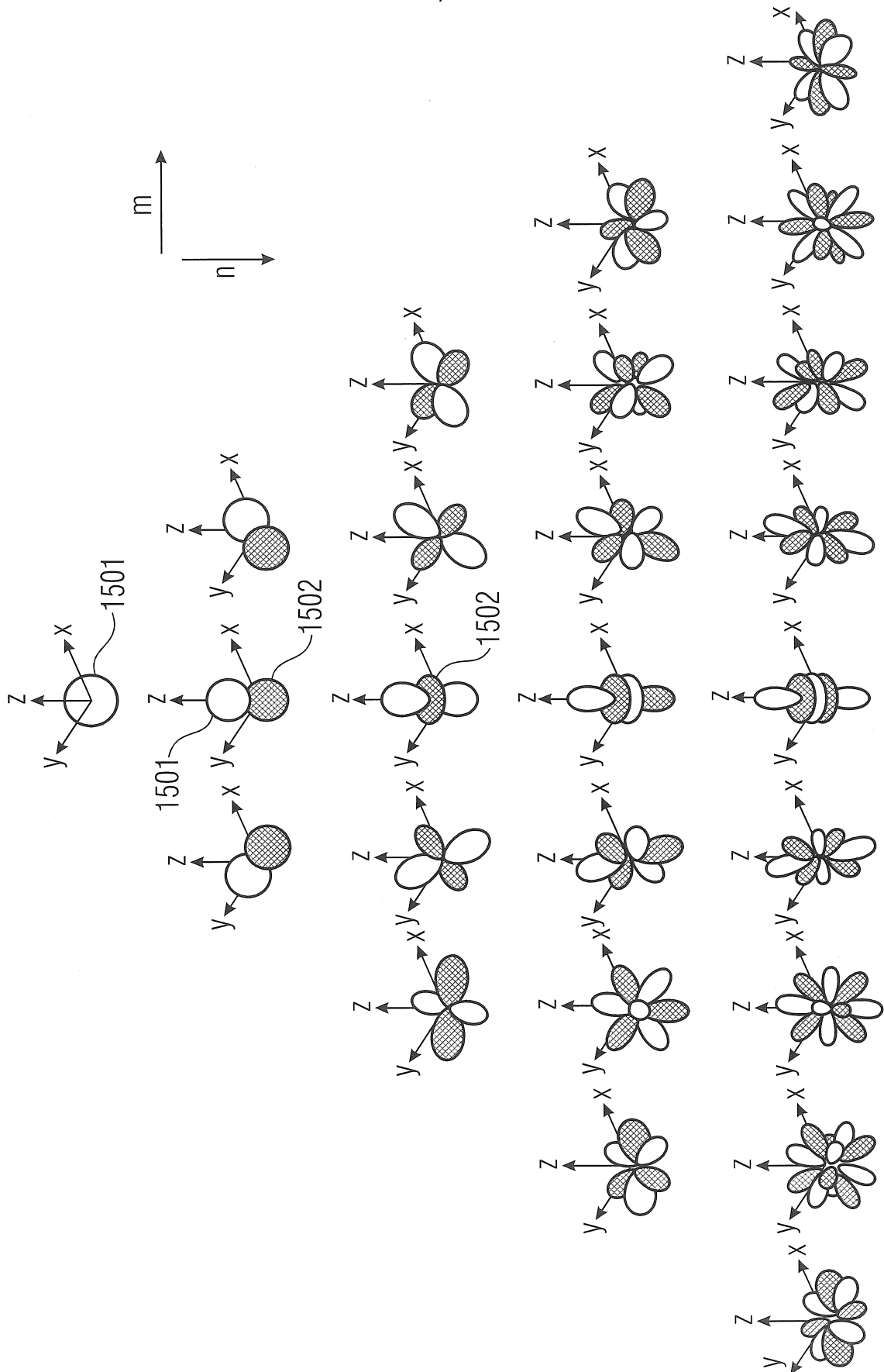


Fig. 15

15/53

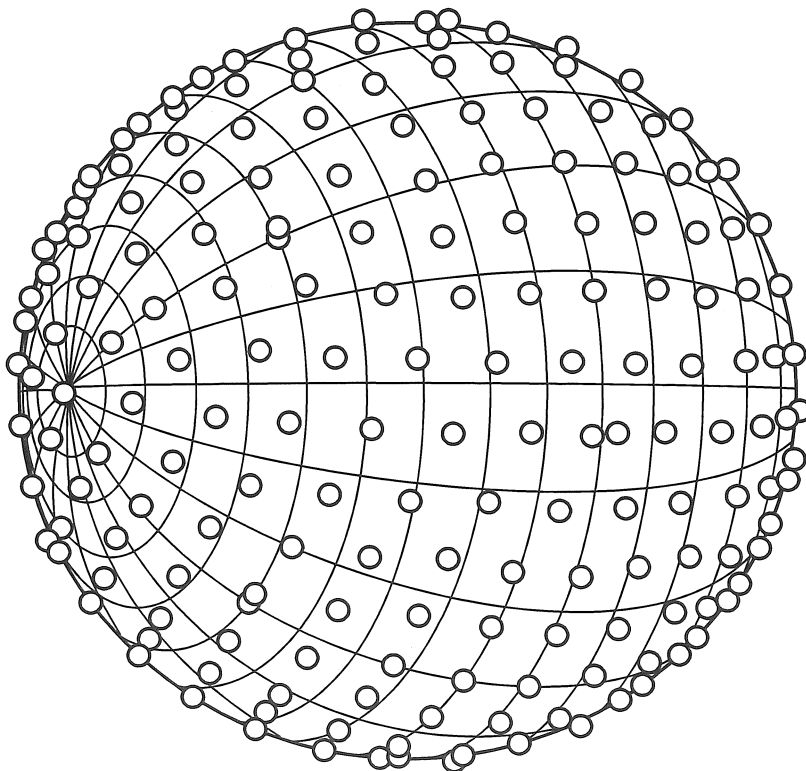
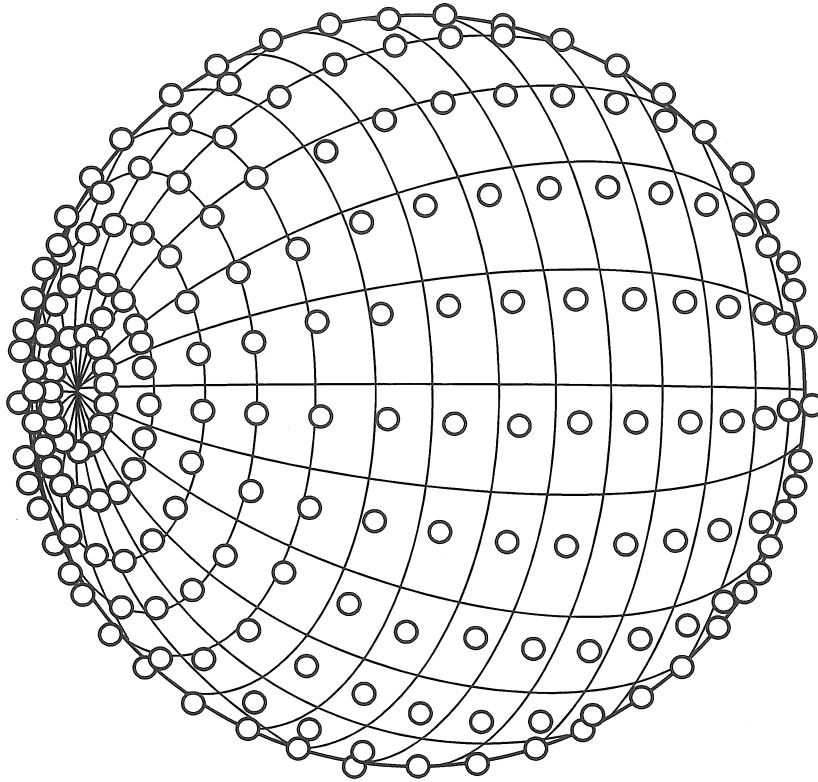


Fig. 16

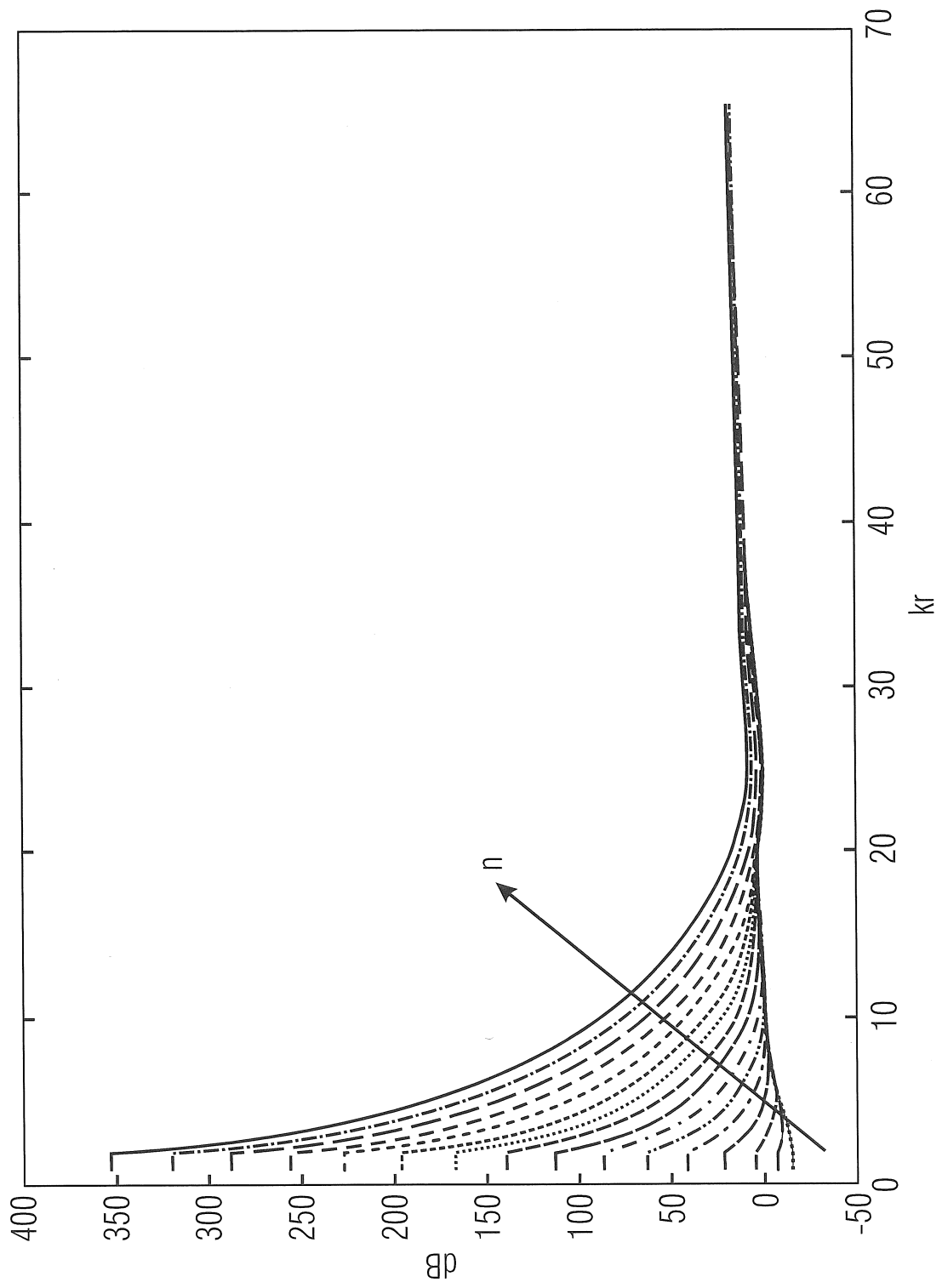


Fig. 17

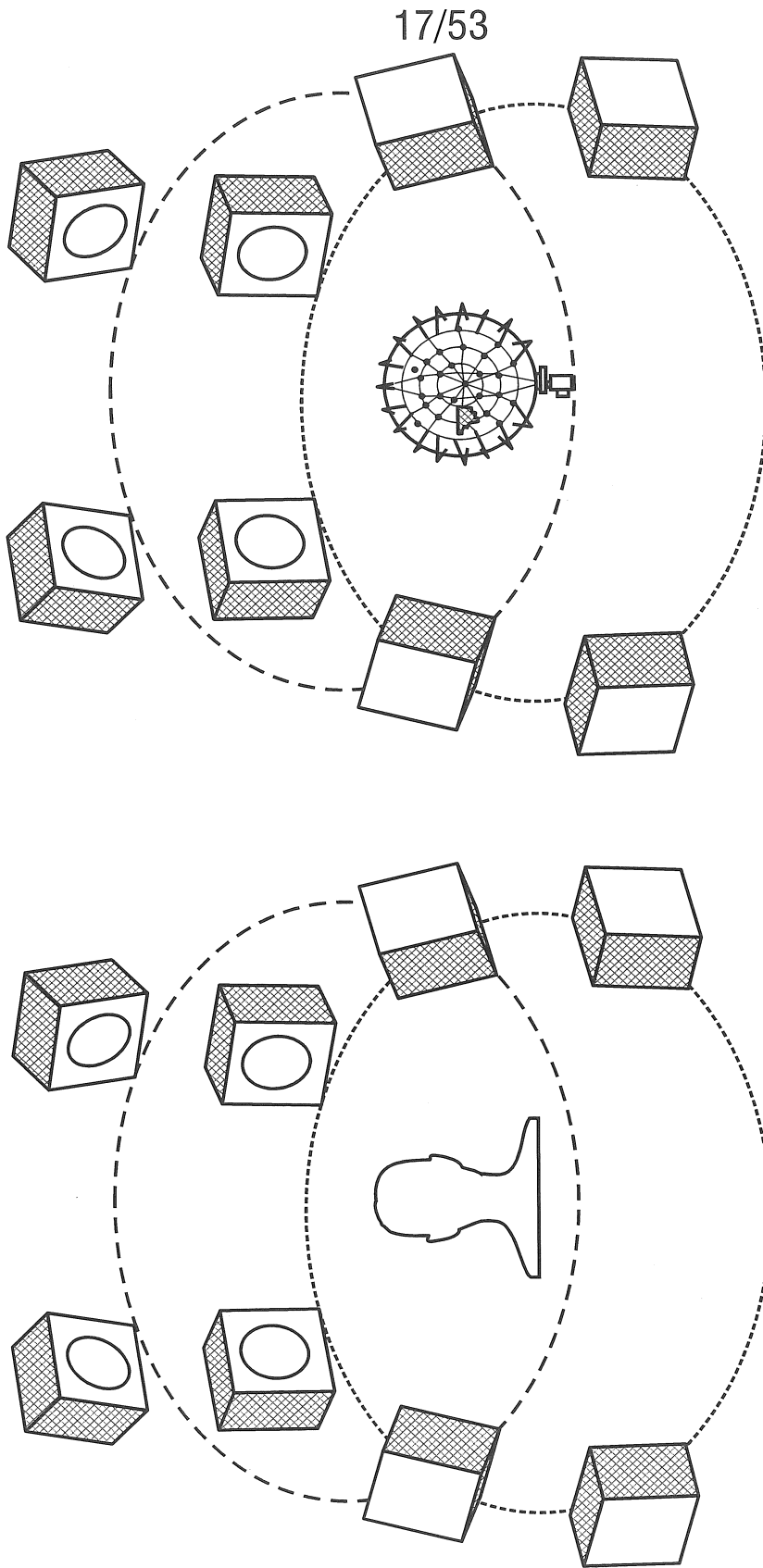


Fig. 18

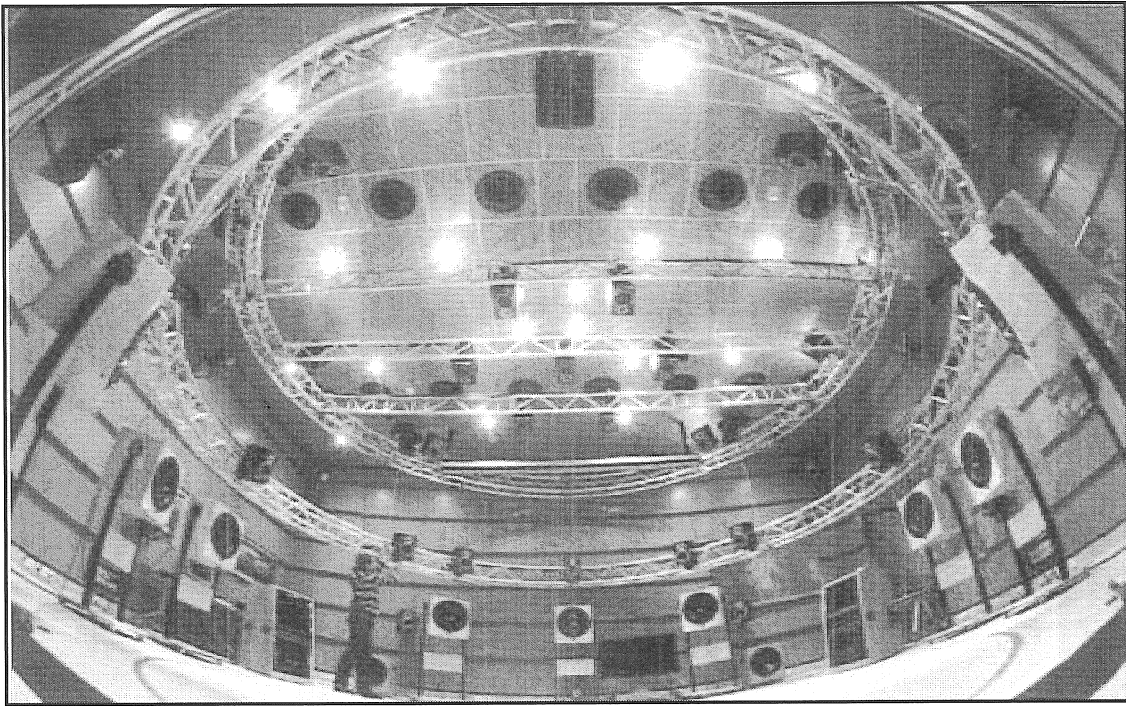


Fig. 19

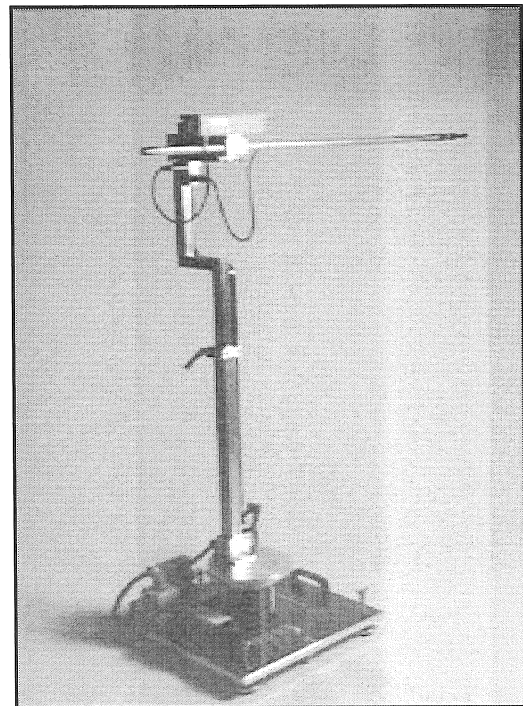
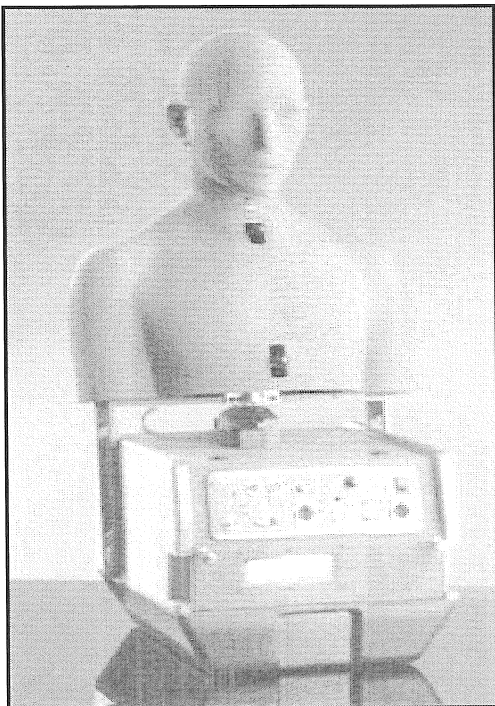


Fig. 20

19/53

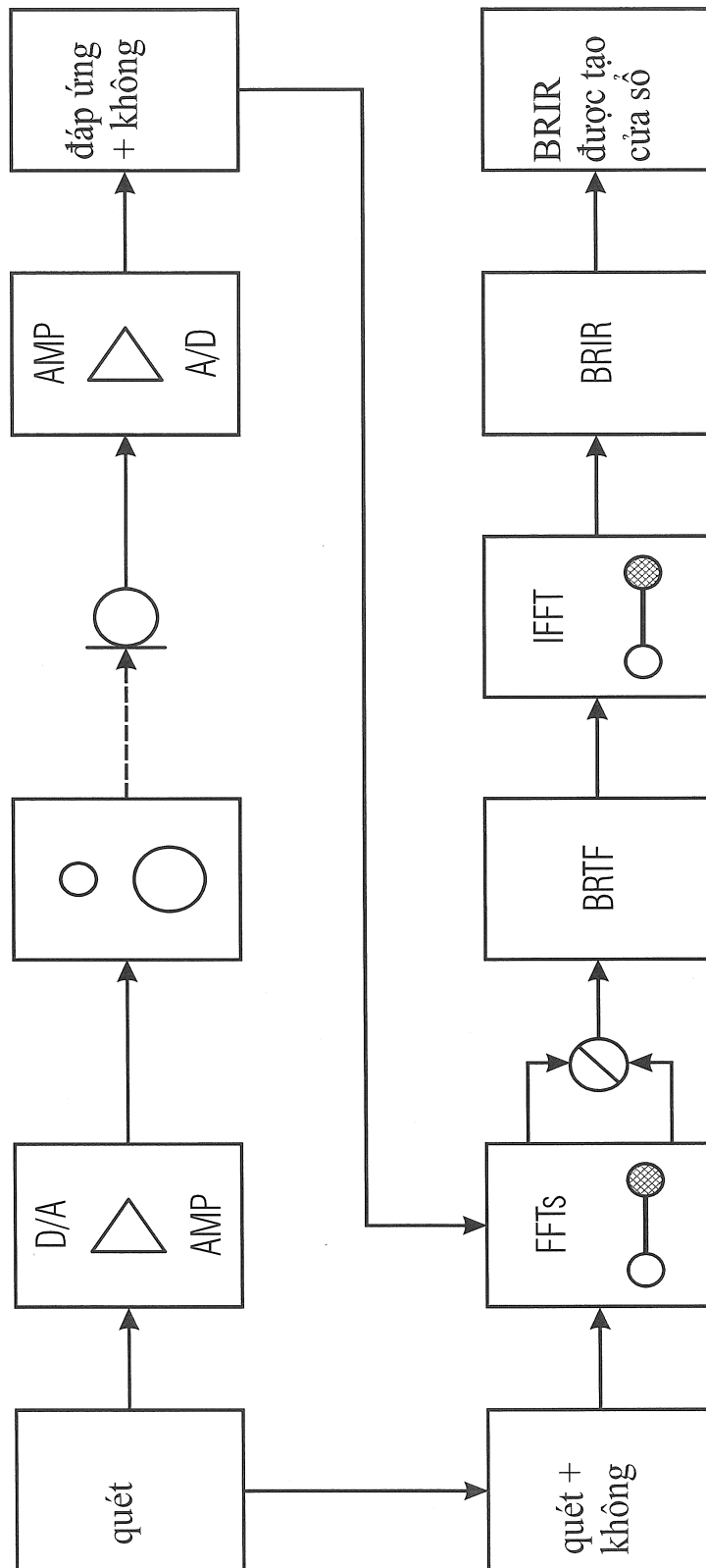


Fig. 21

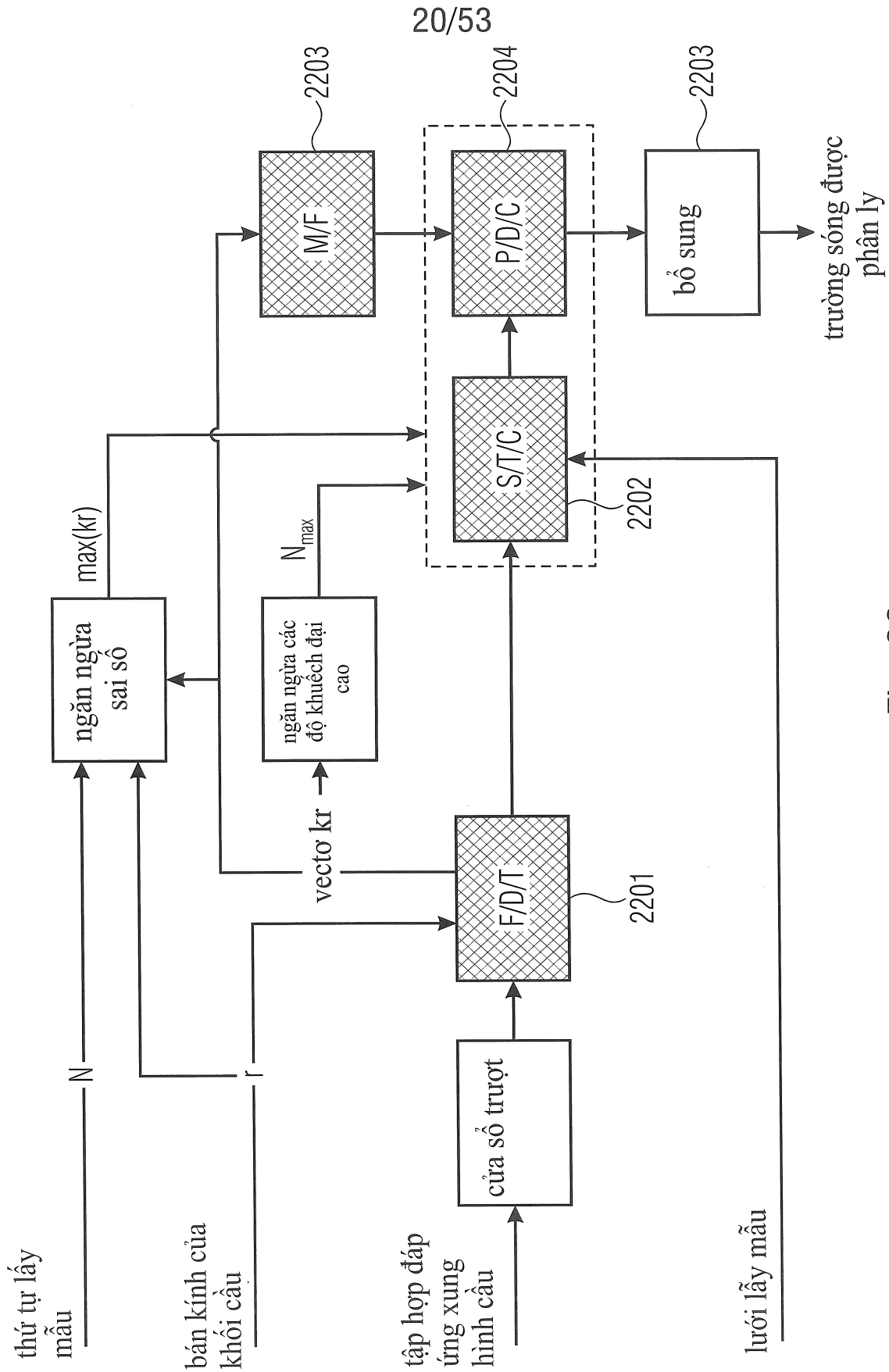


Fig. 22

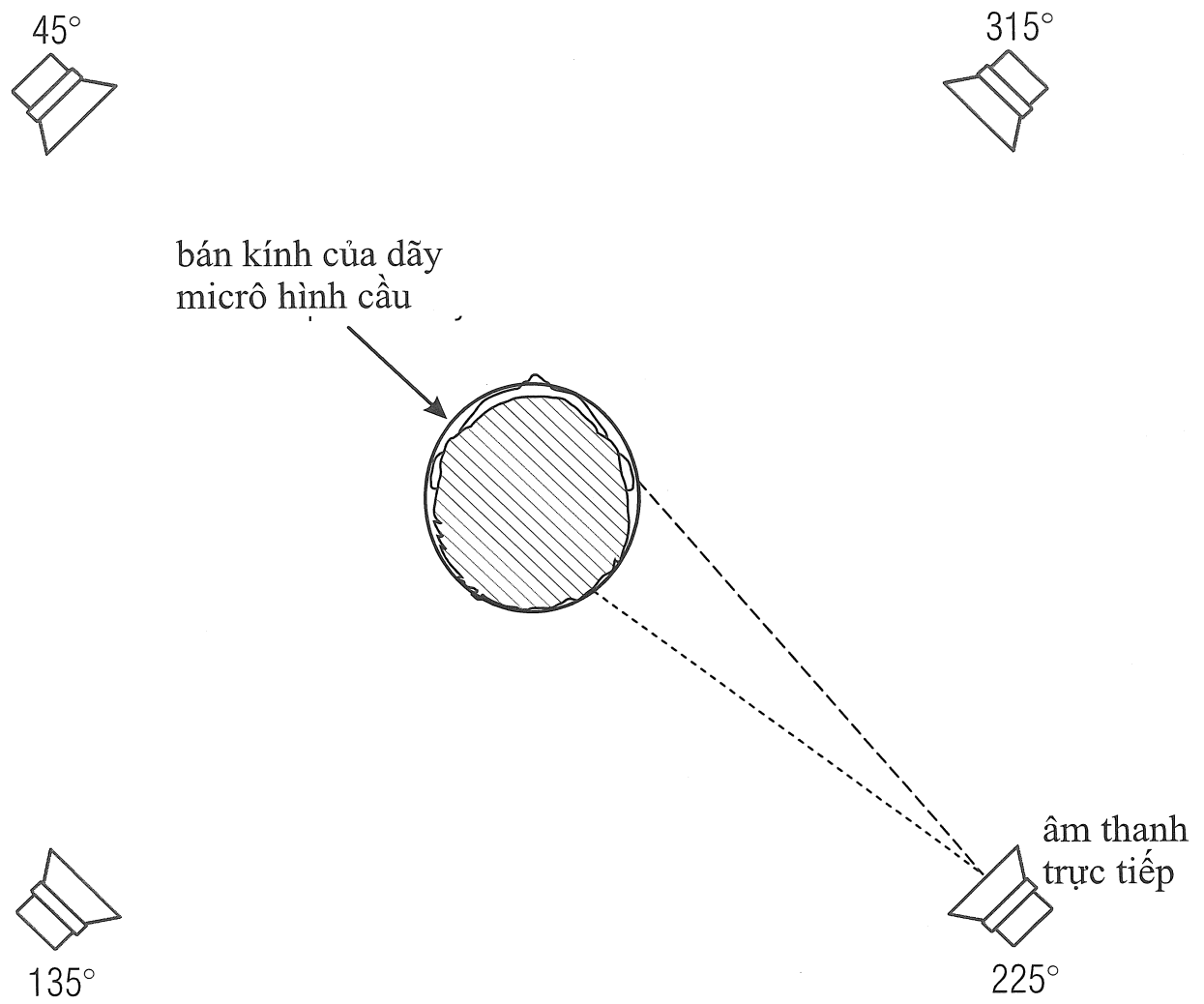


Fig. 23

22/53

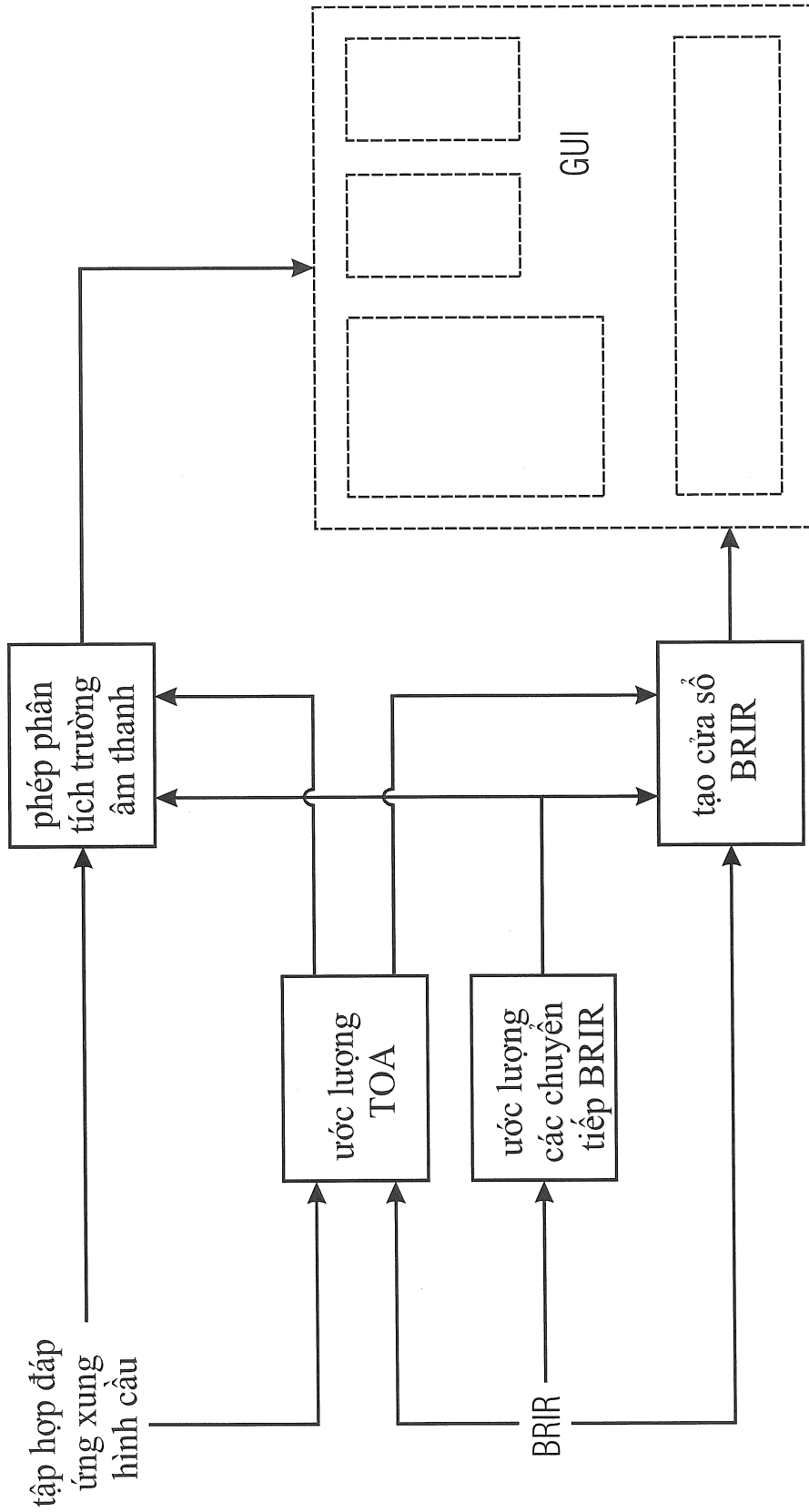


Fig. 24

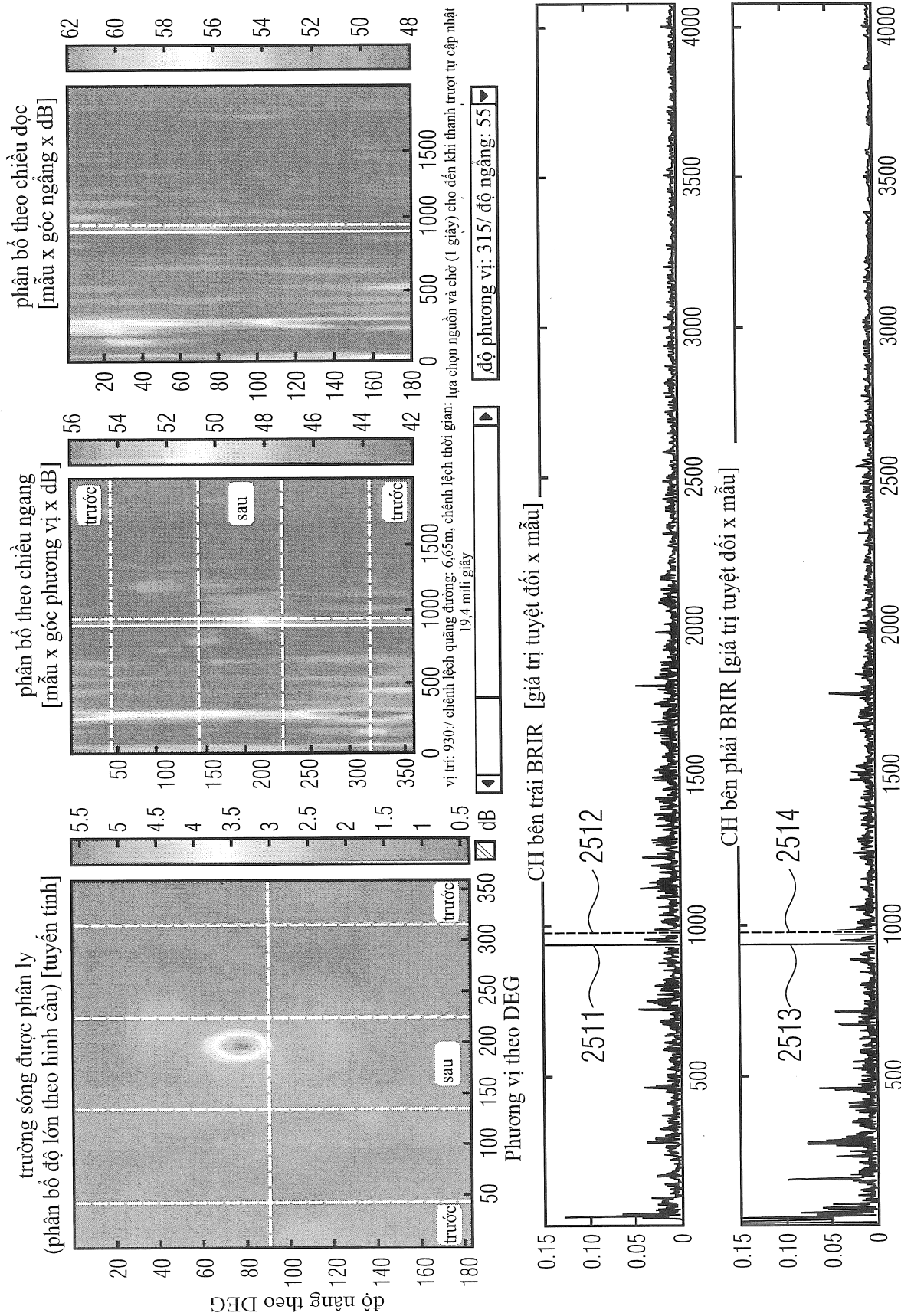


Fig. 25

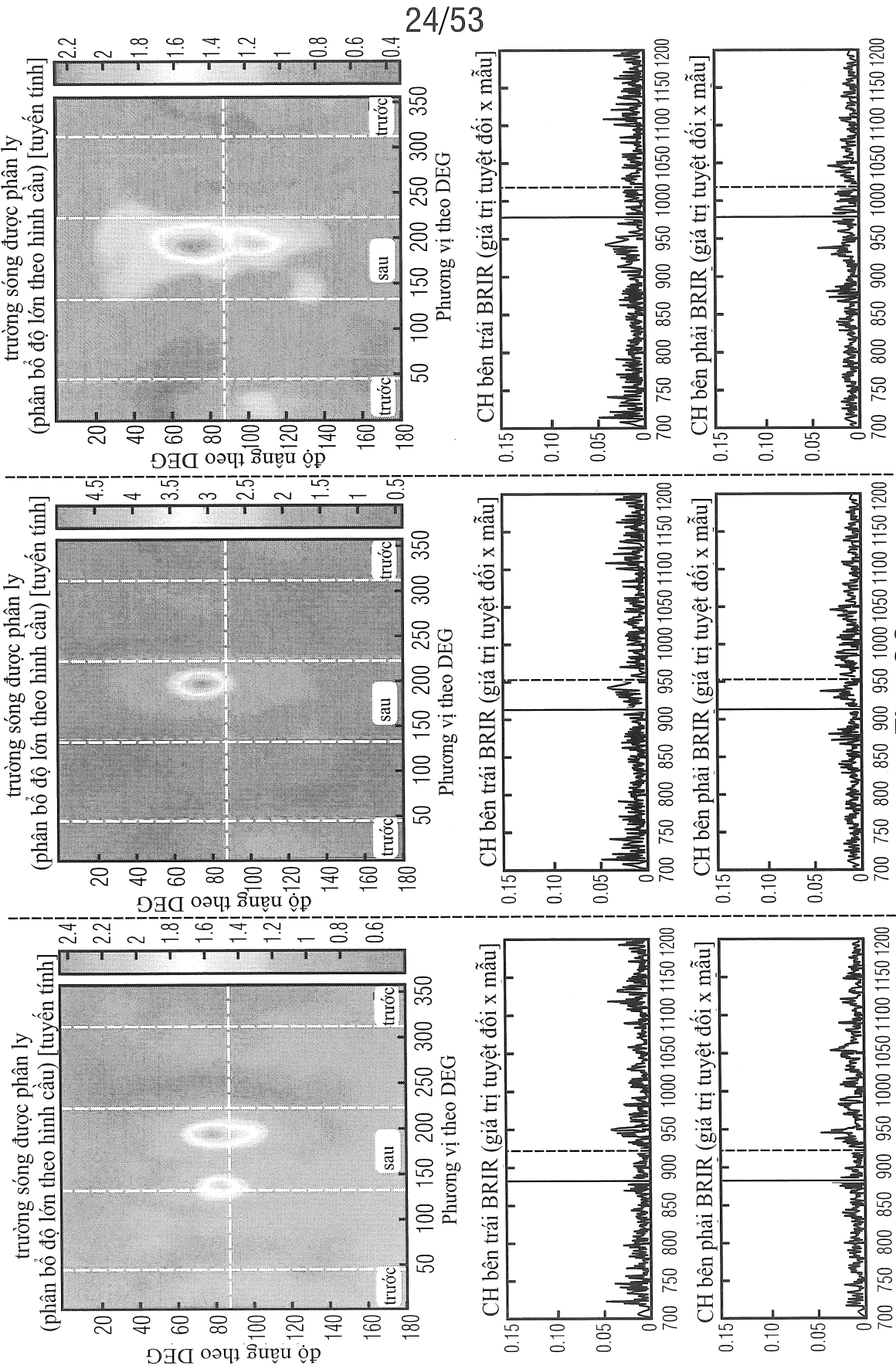


Fig. 26

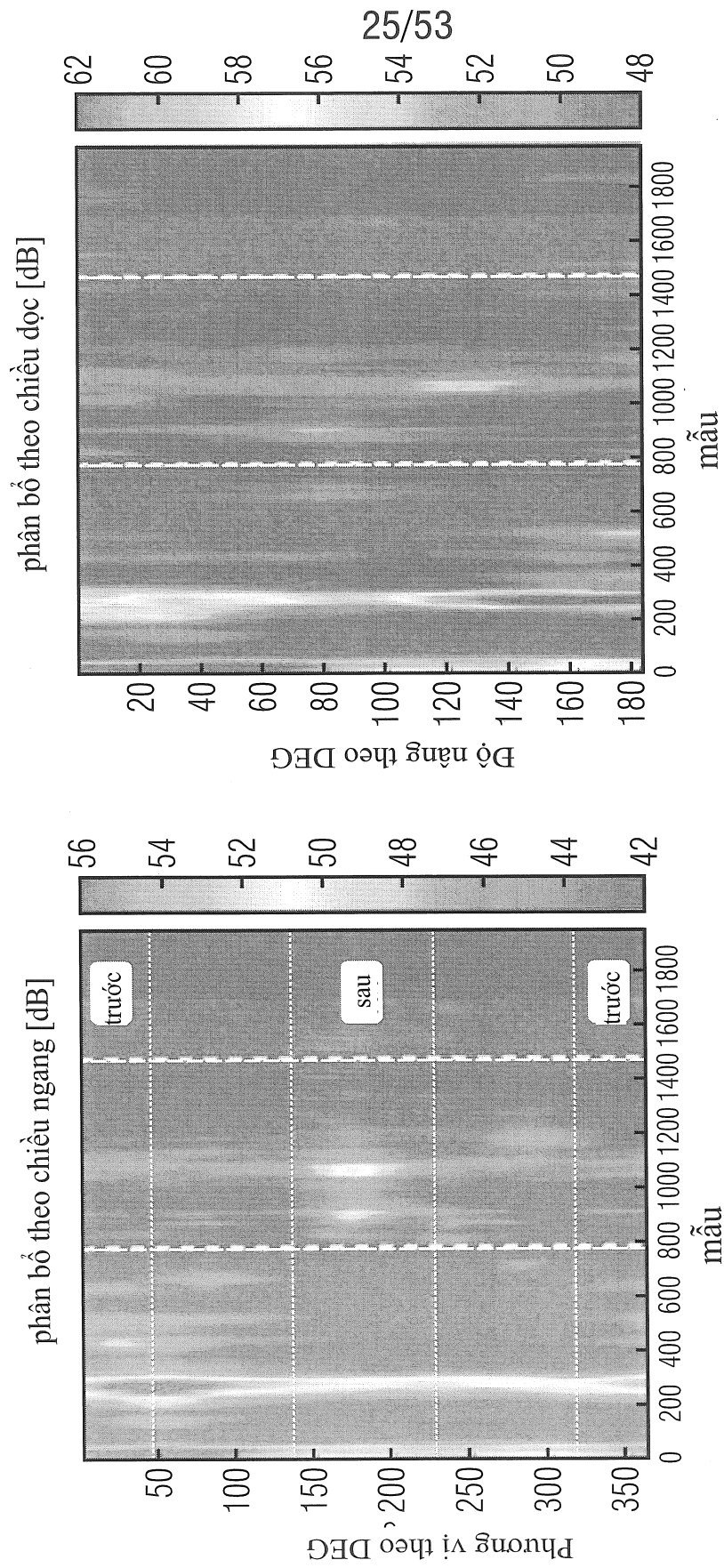


Fig. 27

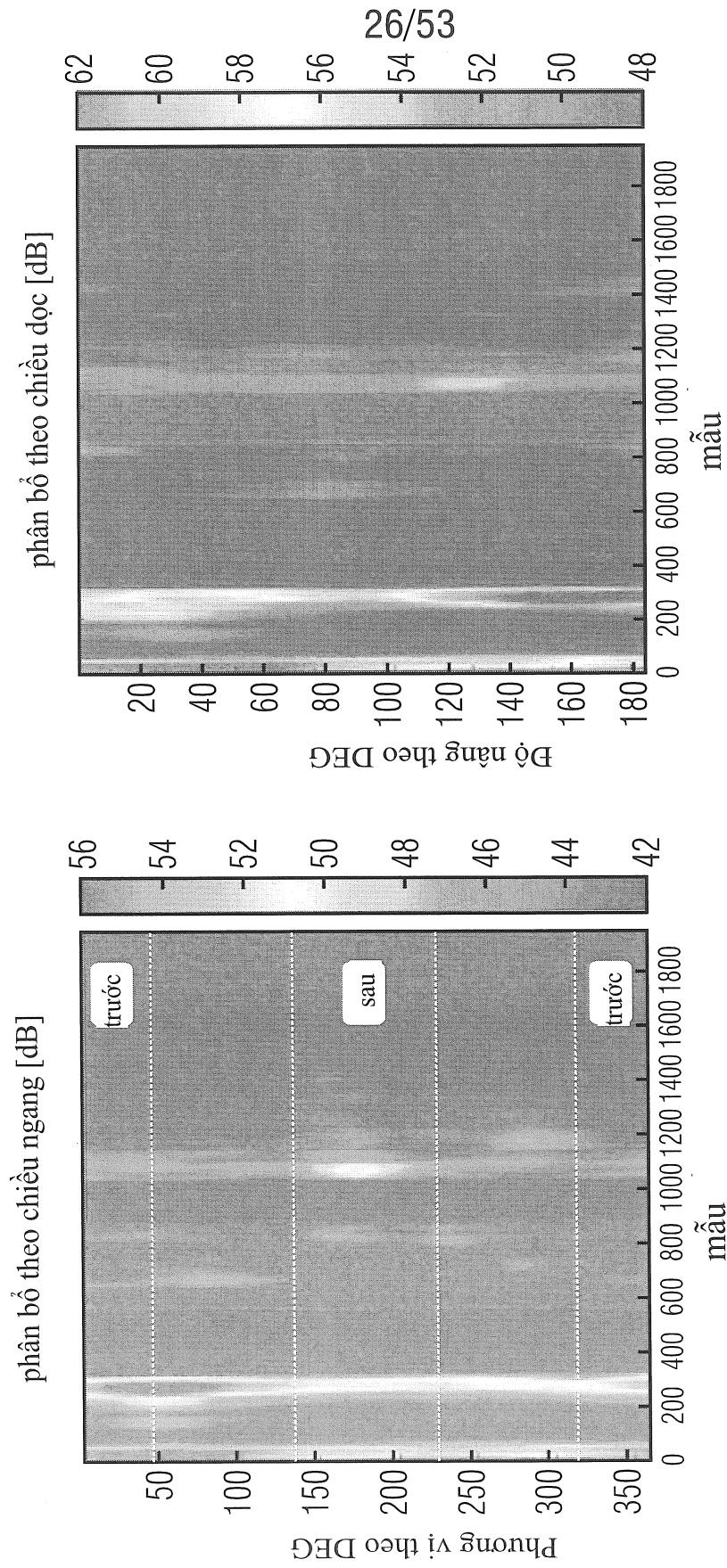


Fig. 28

27/53

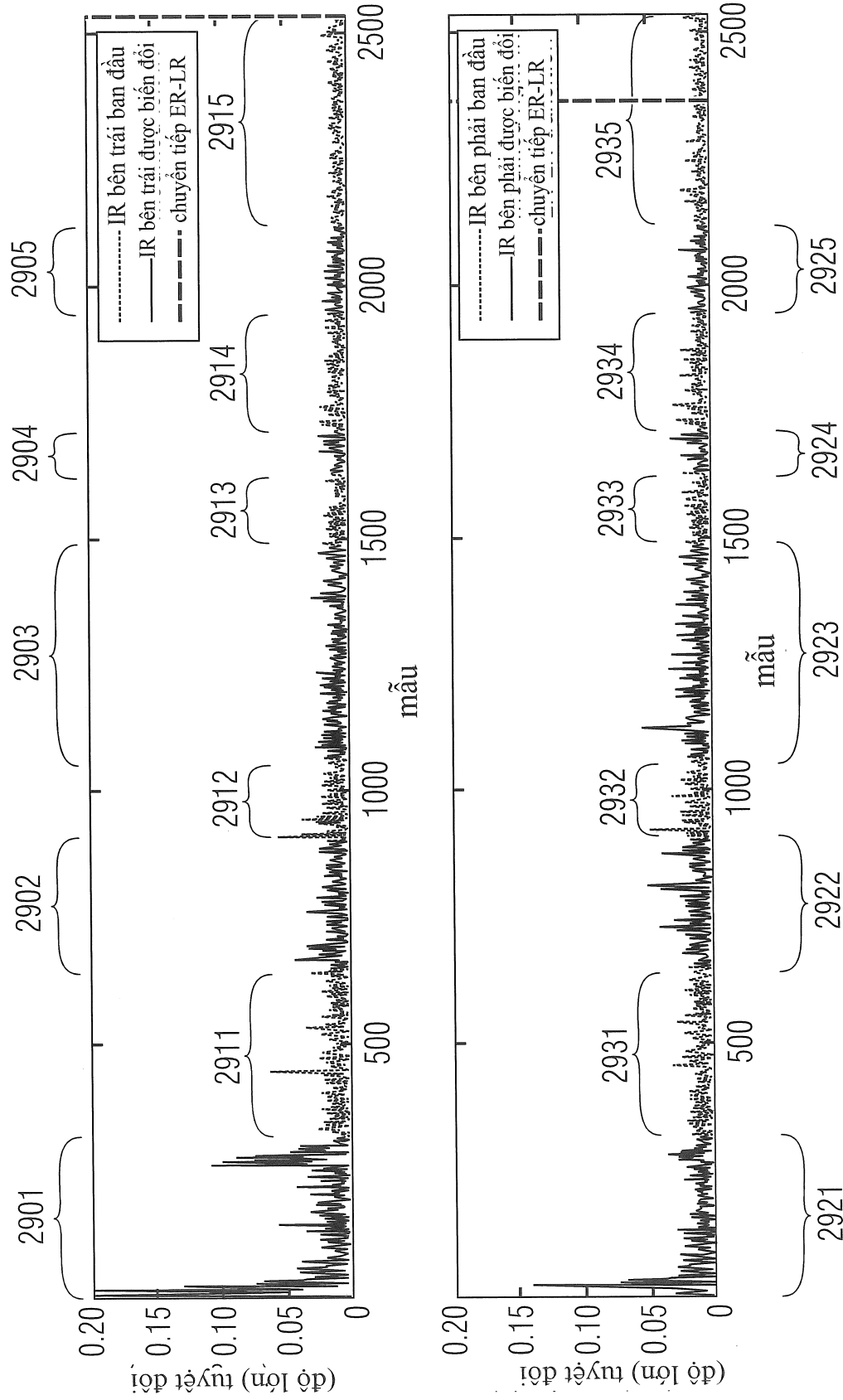


Fig. 29

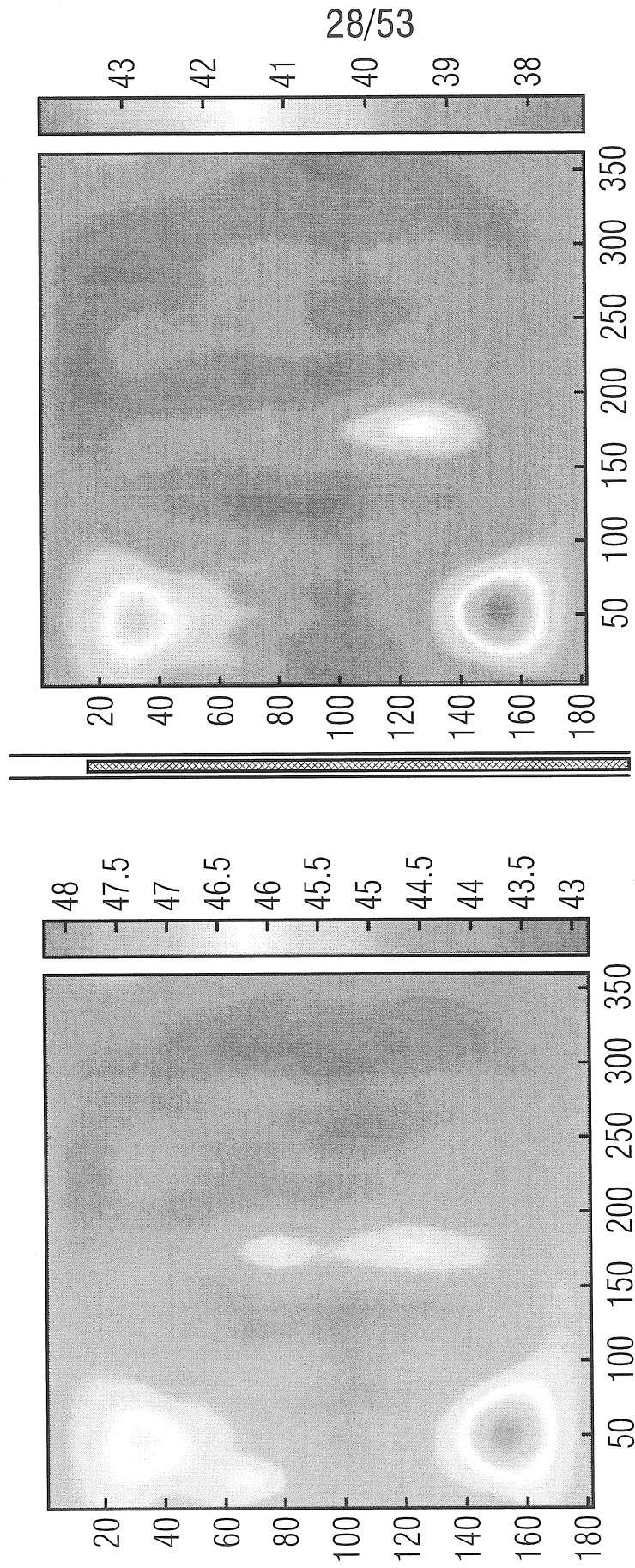


Fig. 30

29/53

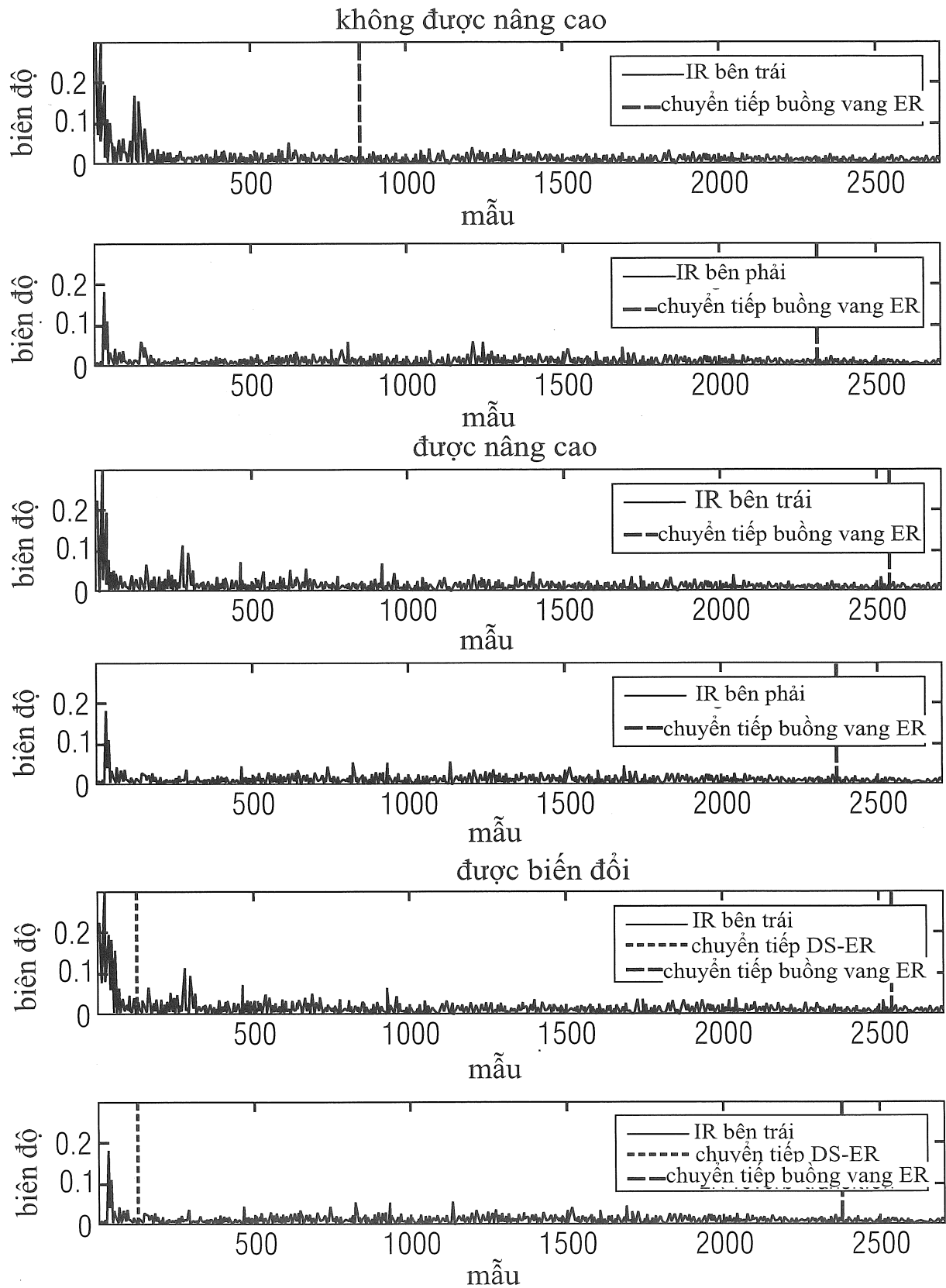


Fig. 31

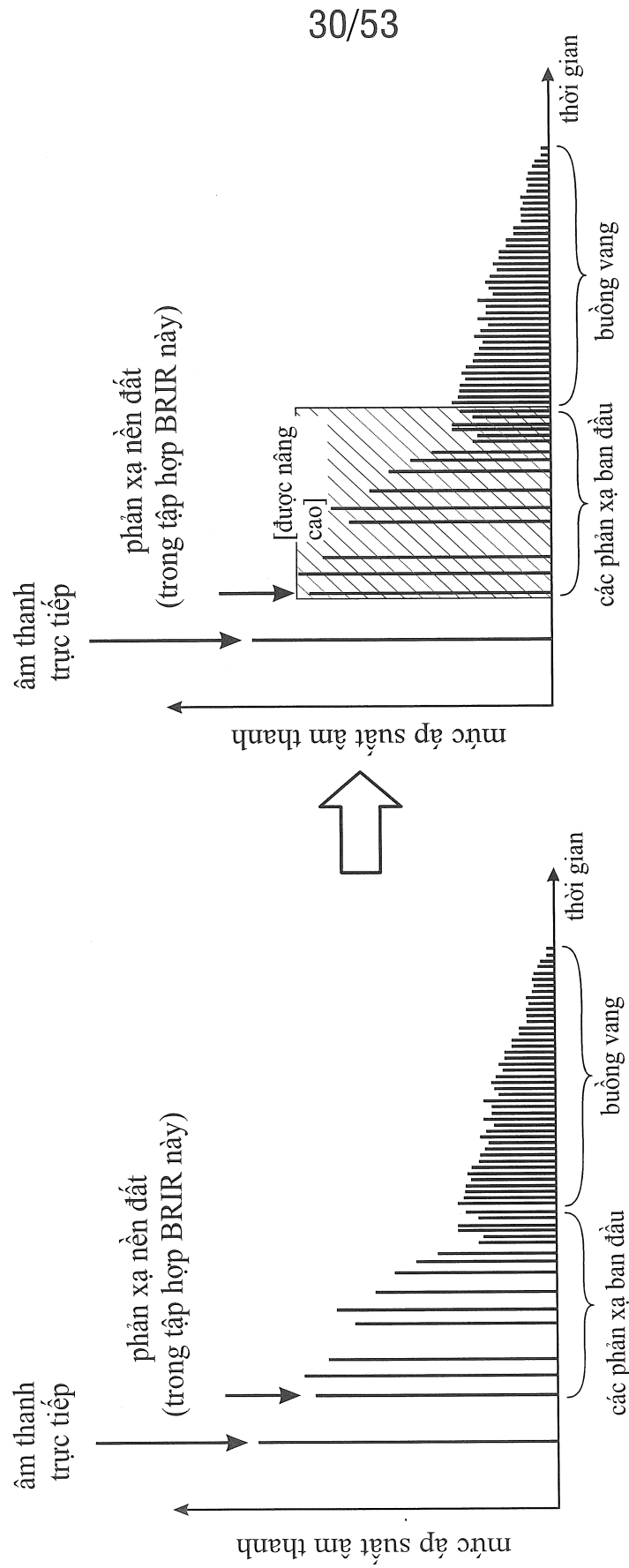


Fig. 32

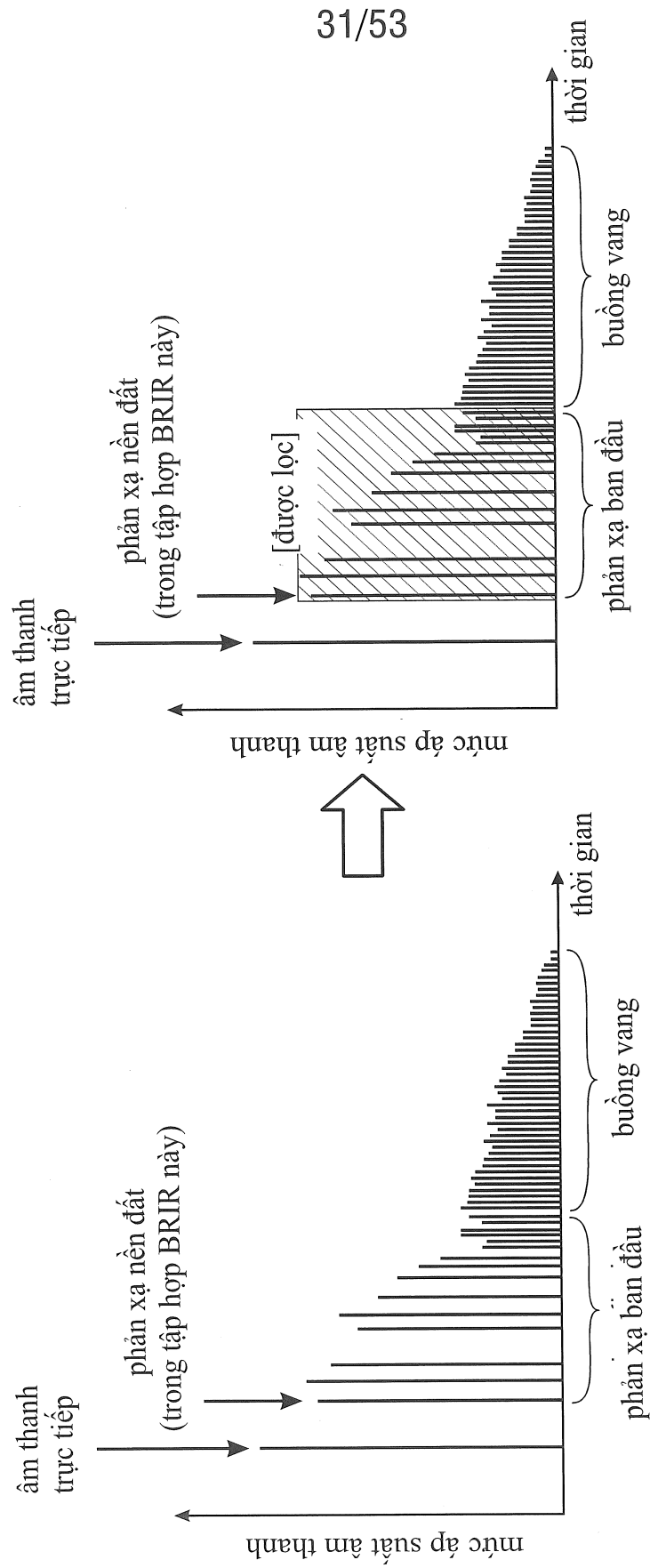


Fig. 33

32/53

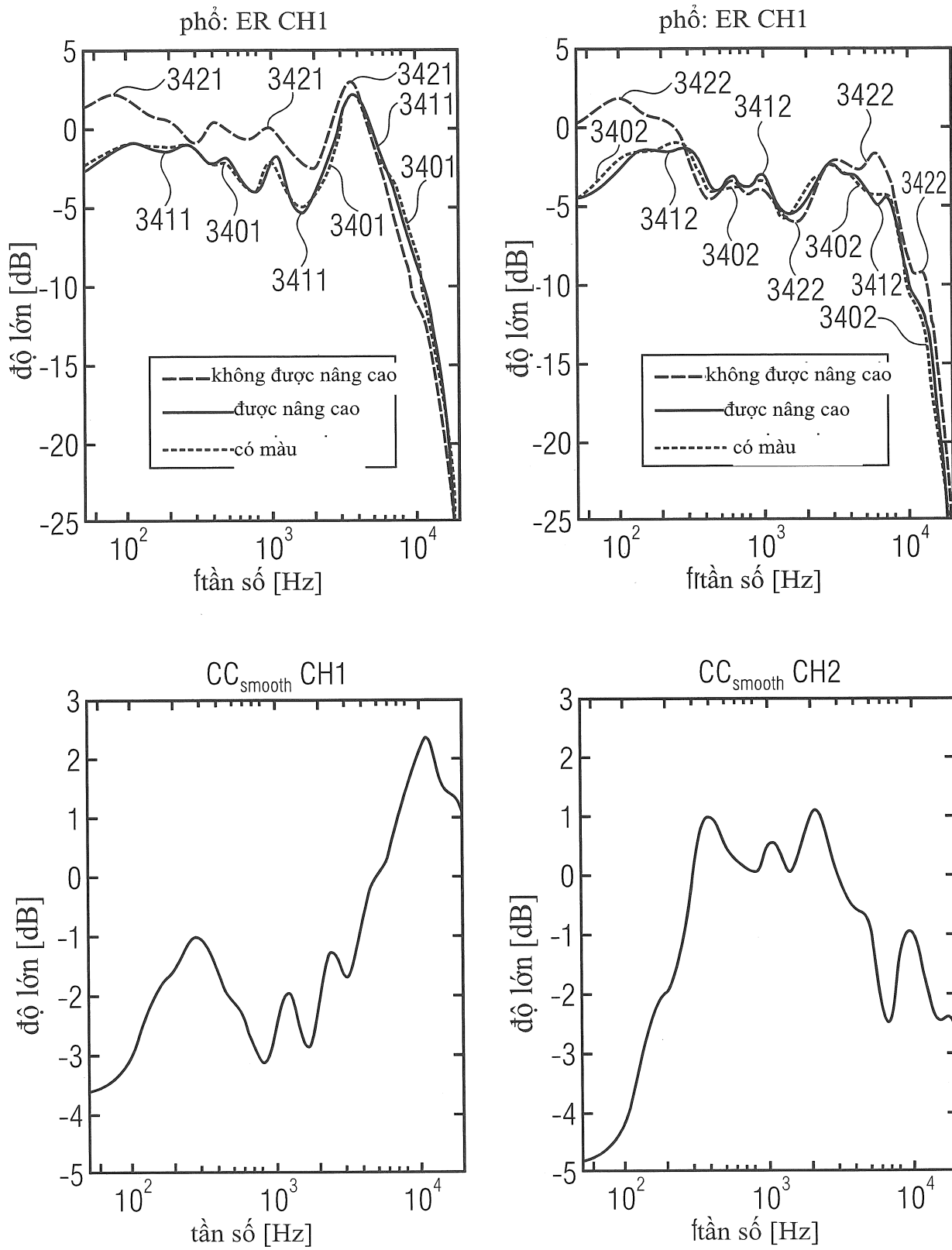


Fig. 34

33/53

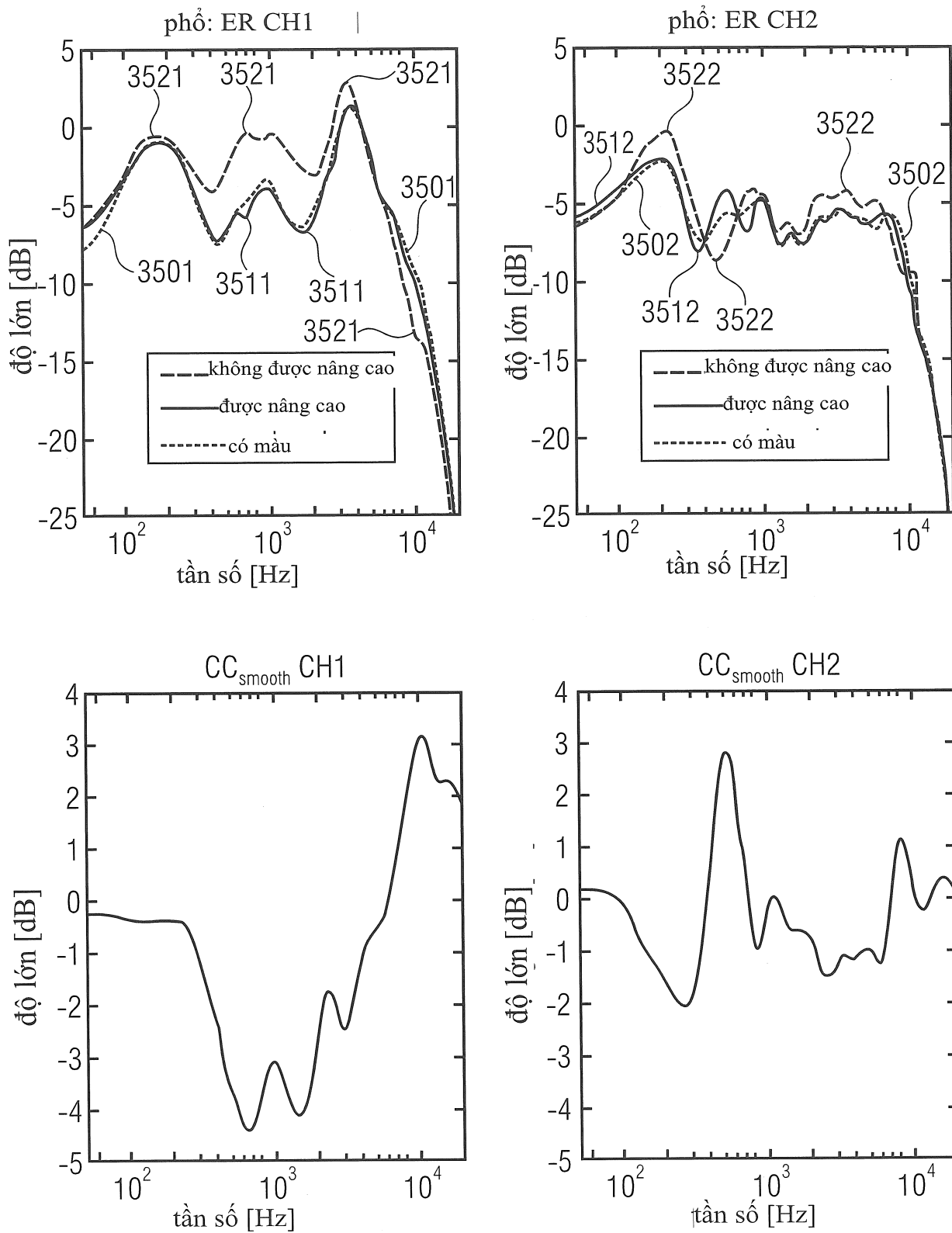
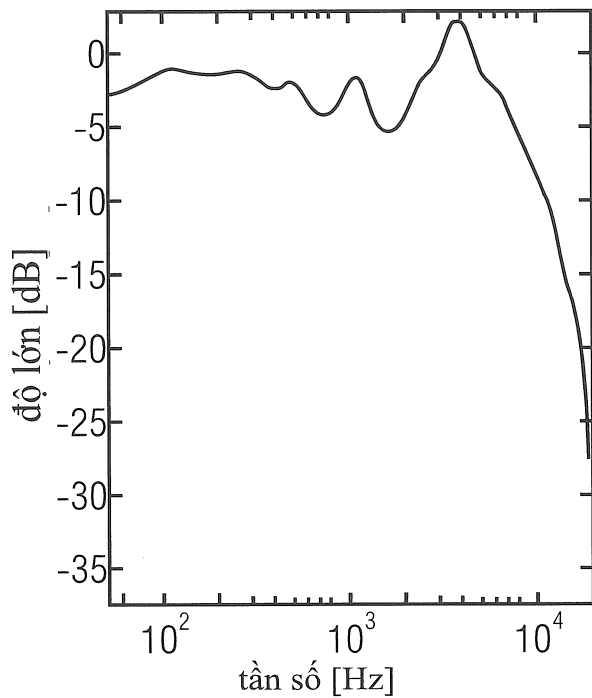


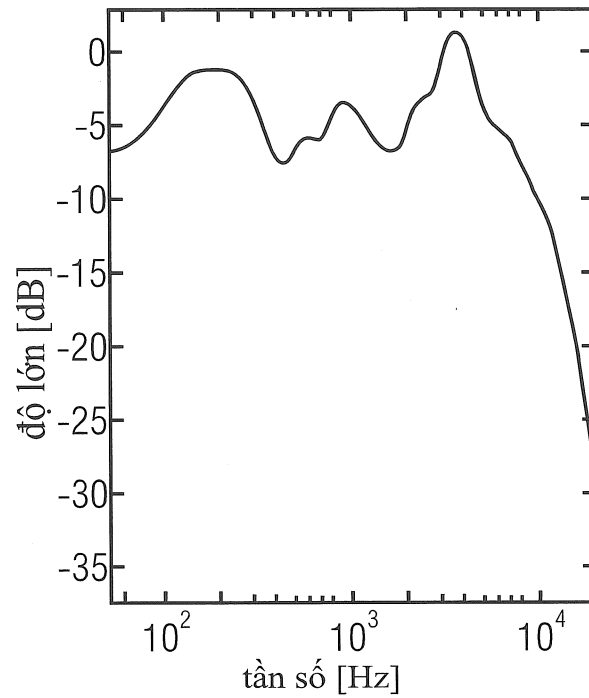
Fig. 35

34/53

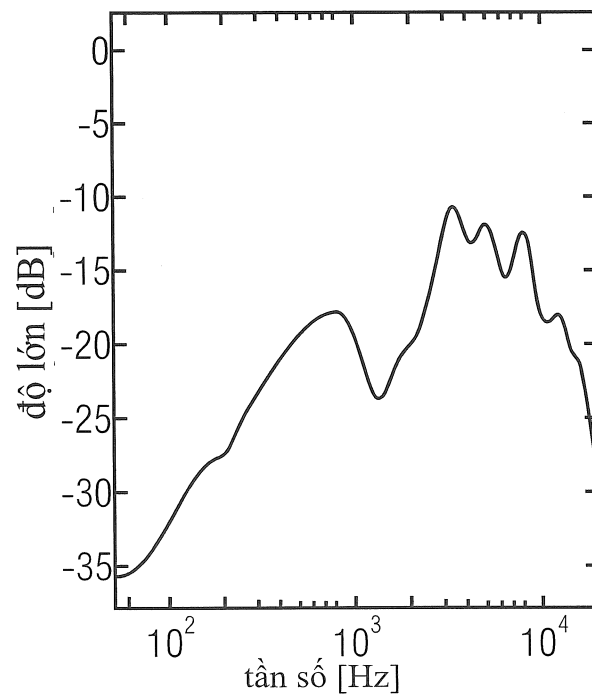
đường bao phổ:  
tất cả các phản xạ ban đầu



đường bao phổ:  
chỉ các phản xạ nghe thấy được



đường bao phổ: phản xạ  
trần thứ nhất



đường bao phổ: phản xạ  
mặt đất thứ nhất

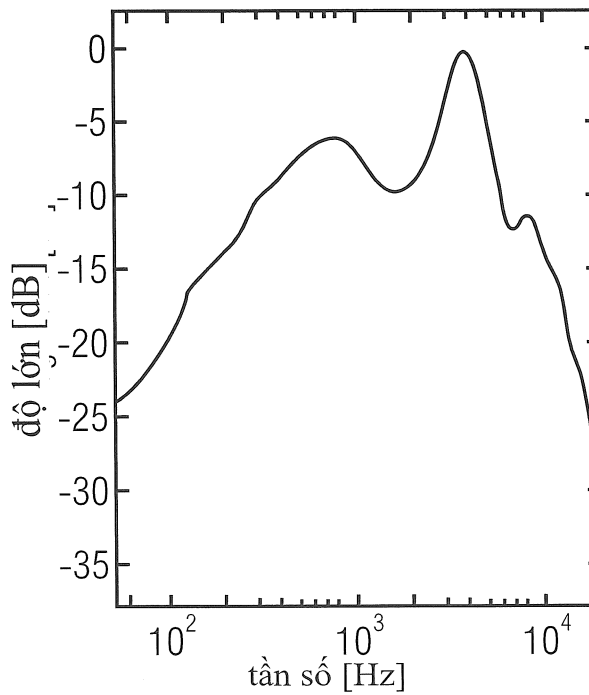


Fig. 36

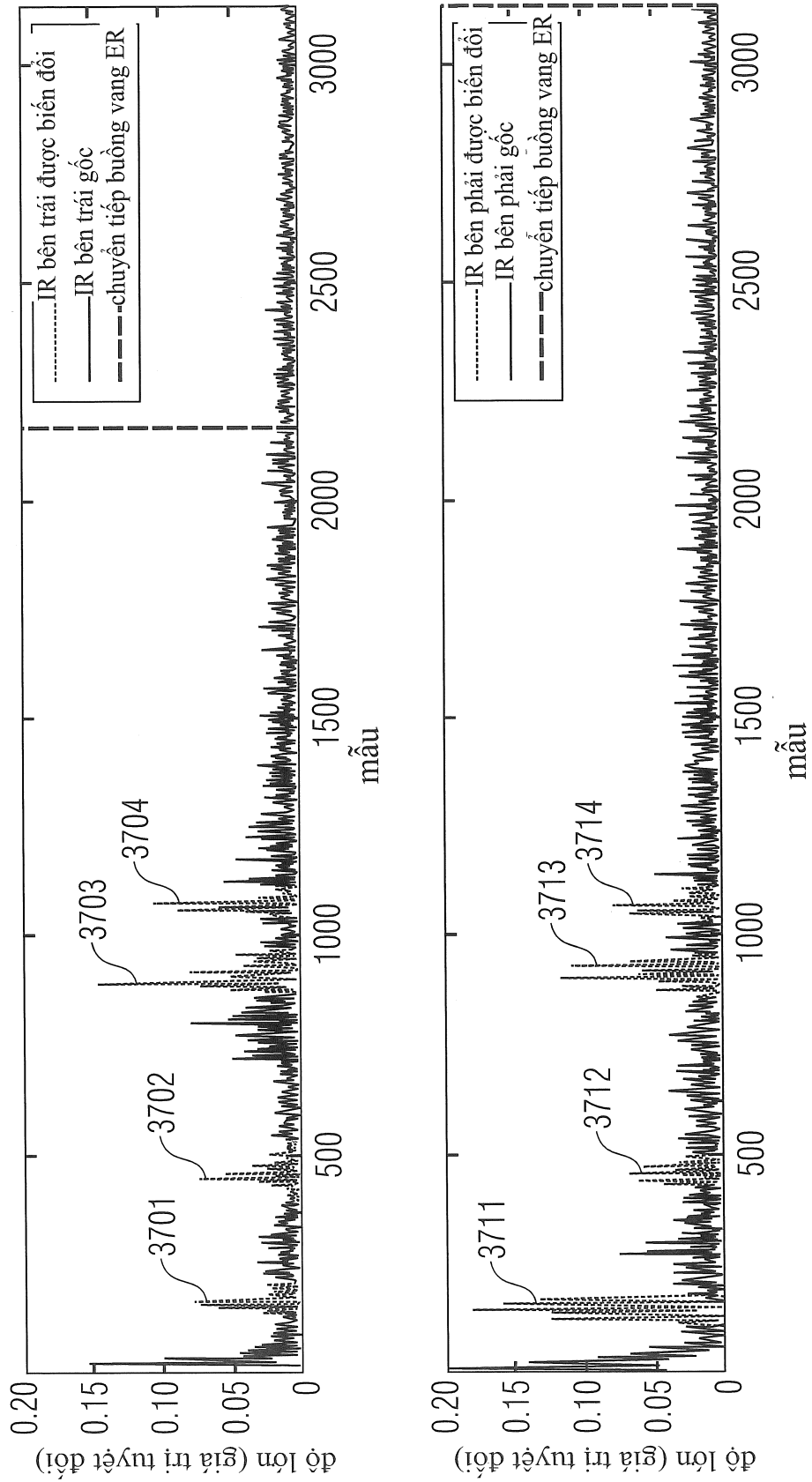


Fig. 37

36/53

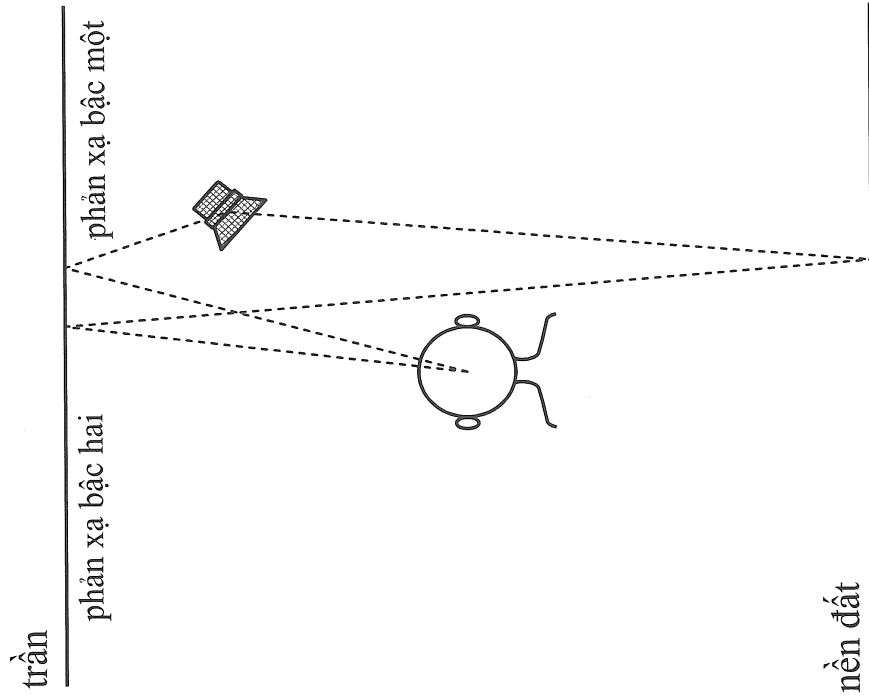
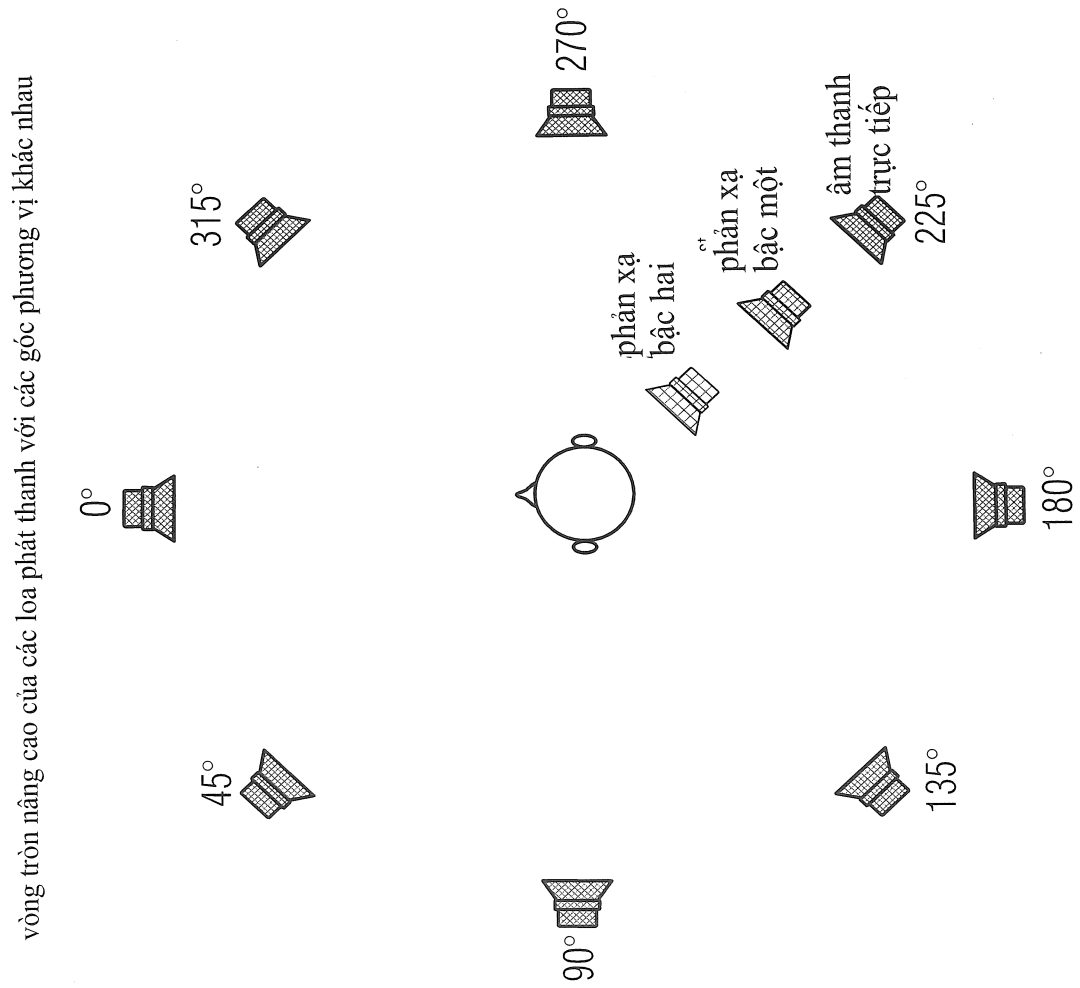


Fig. 38

37/53

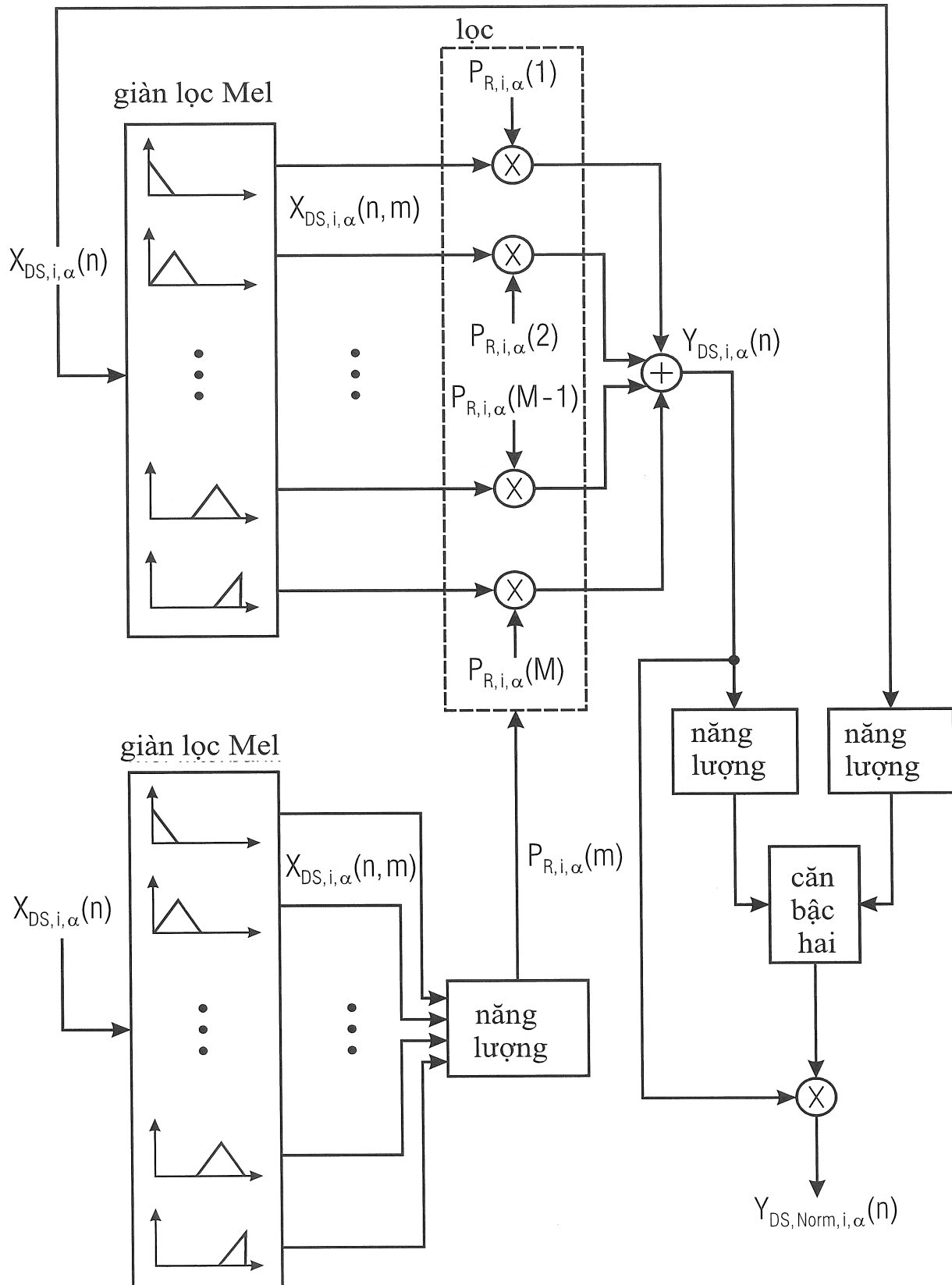


Fig. 39

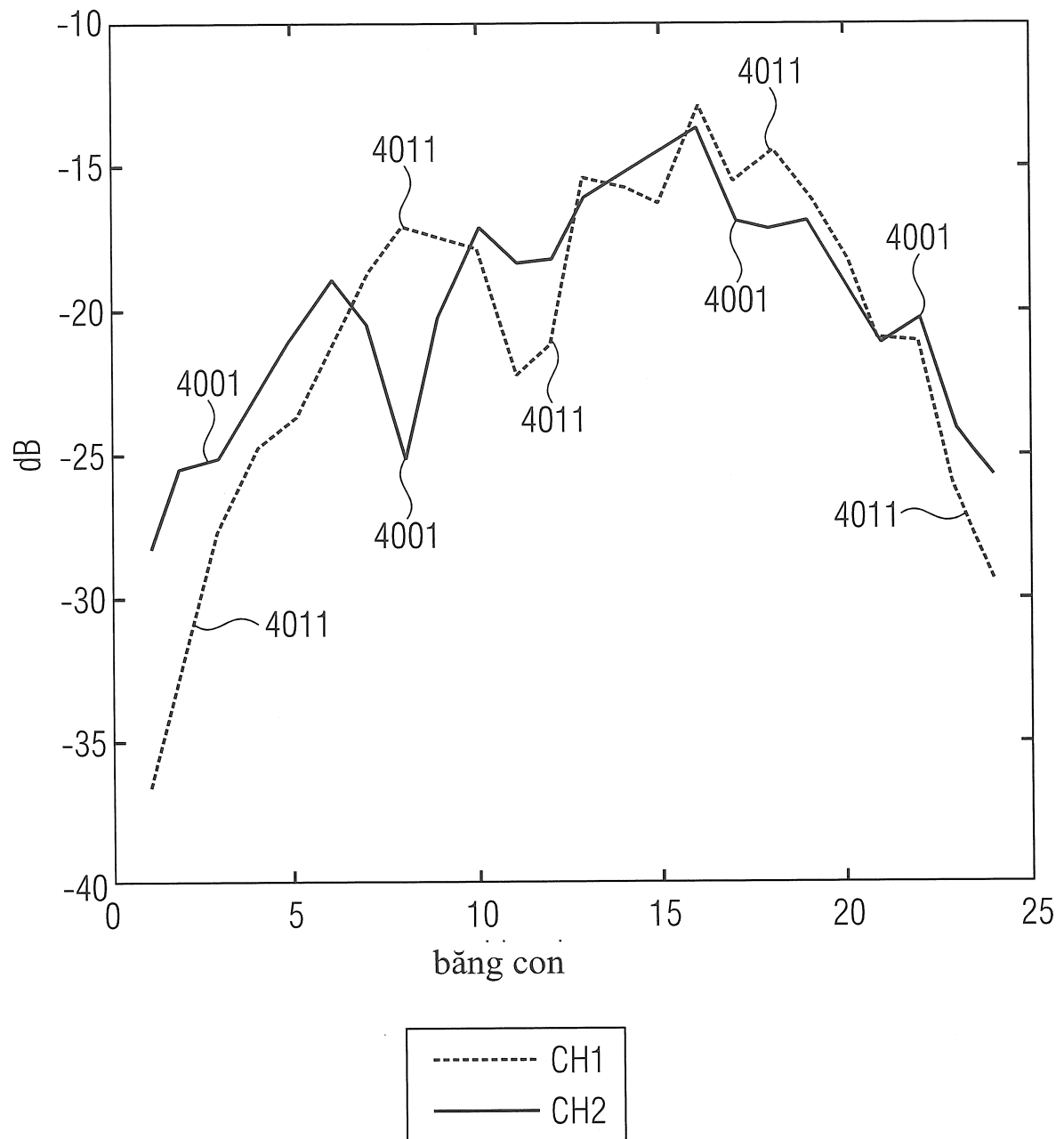


Fig. 40

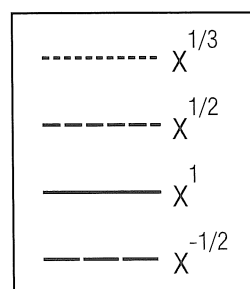
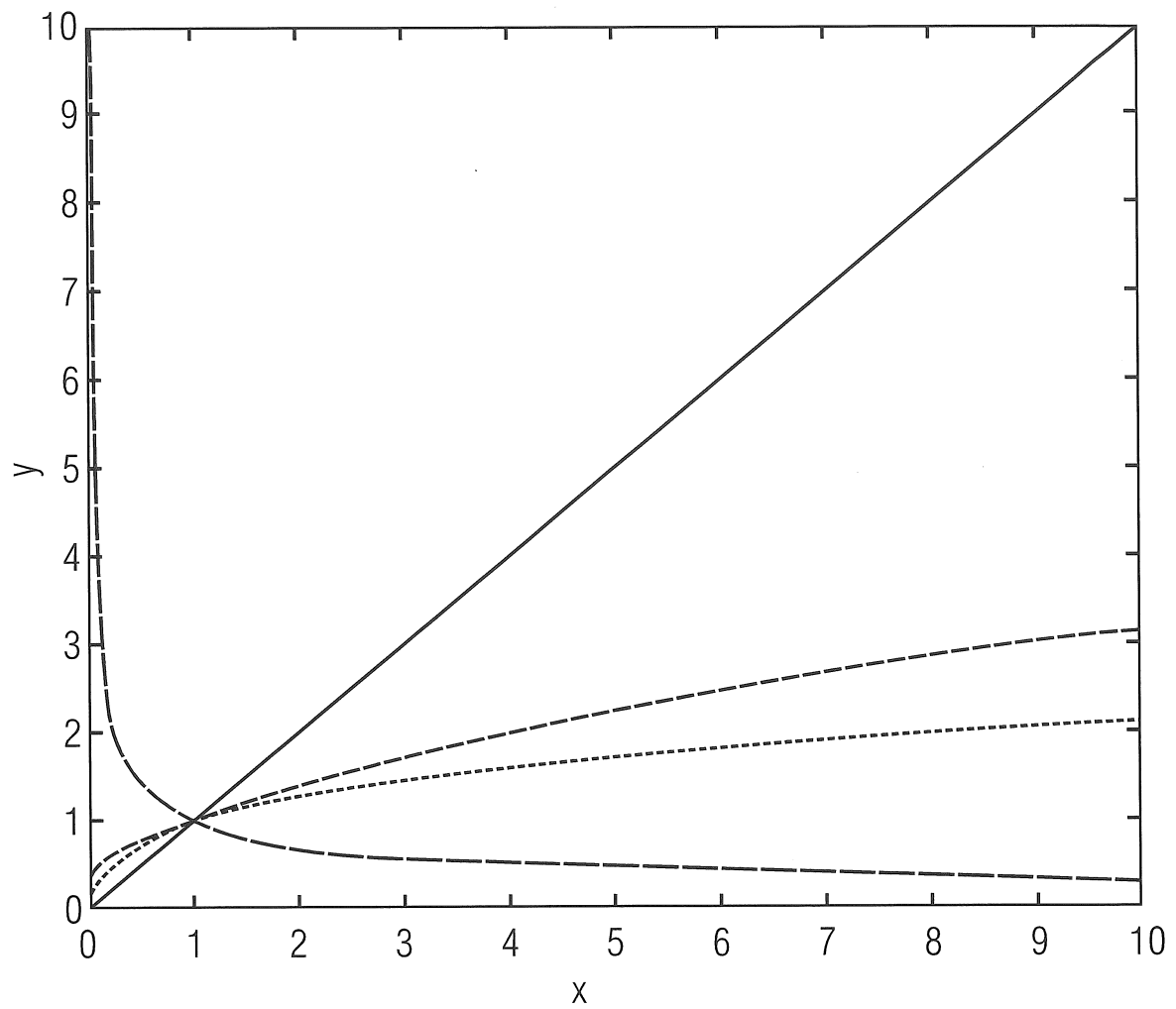
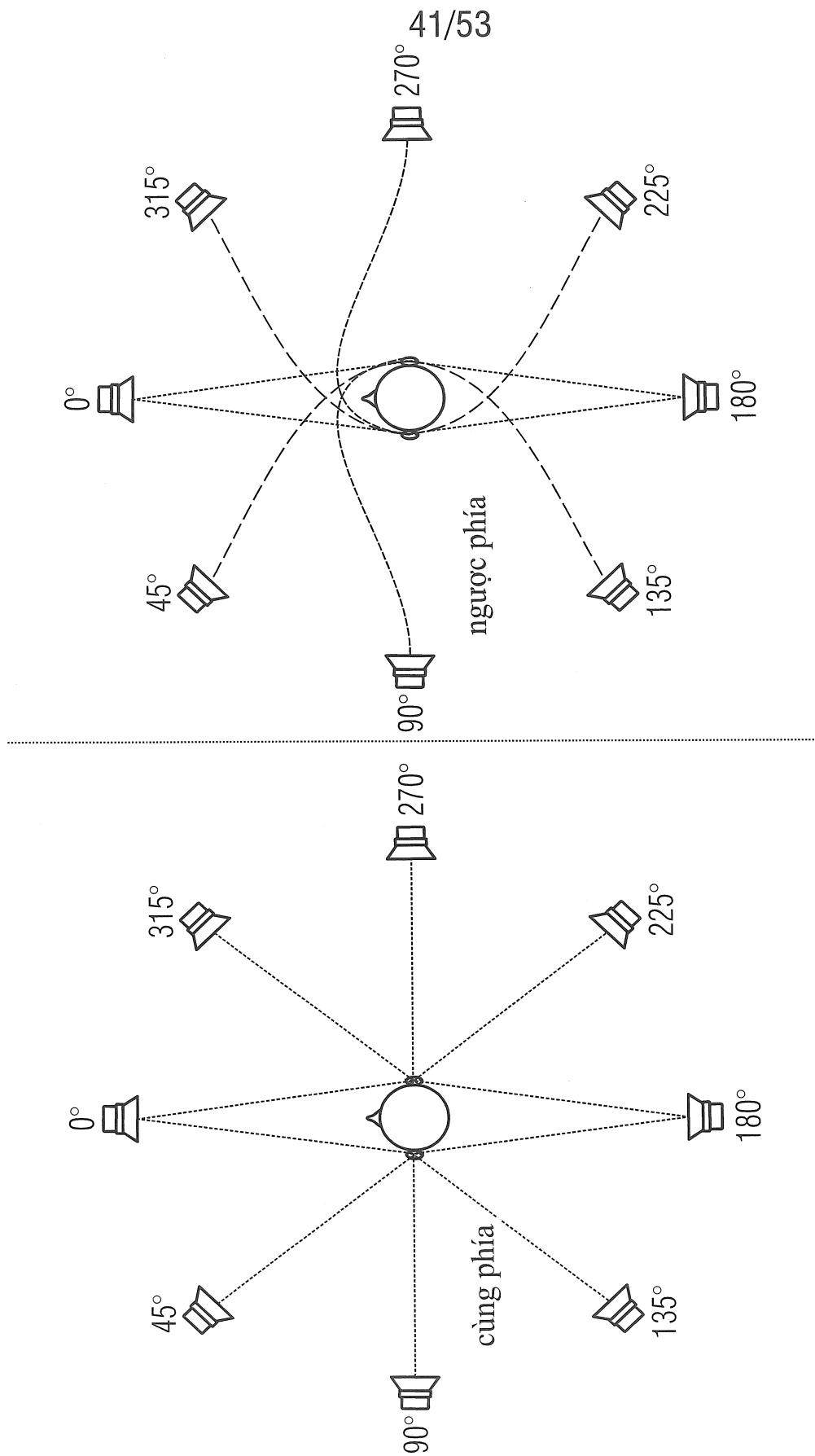


Fig. 41





42/53

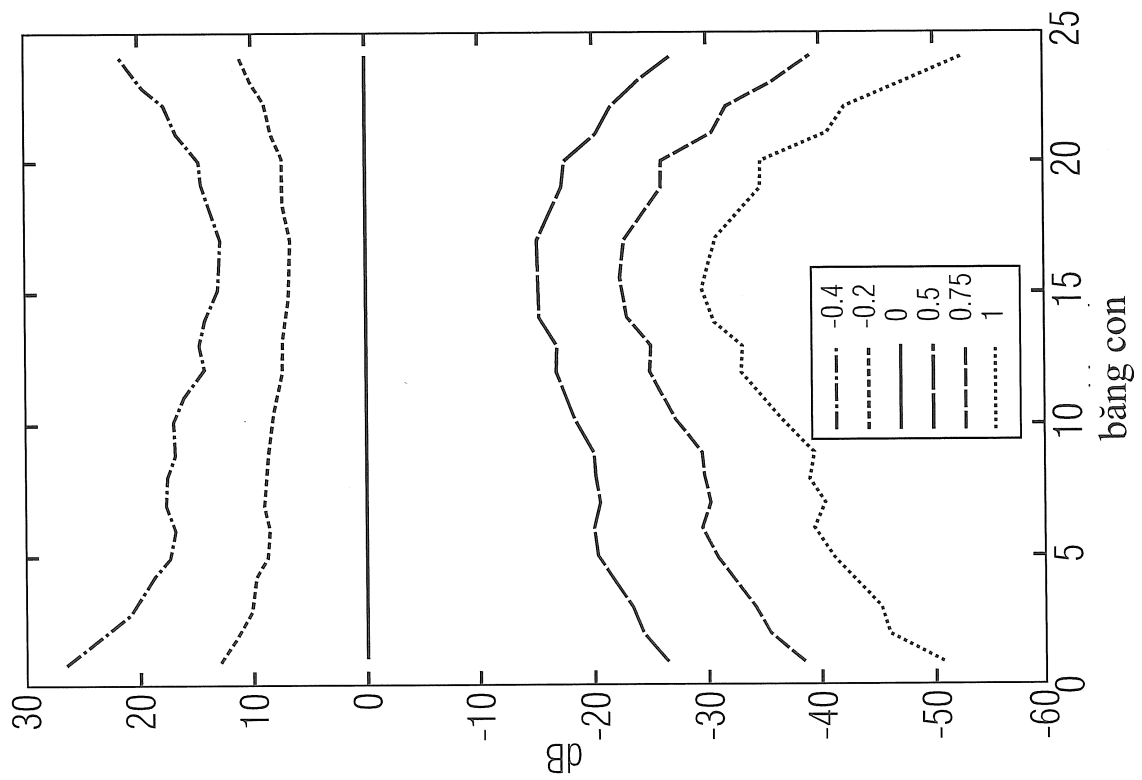
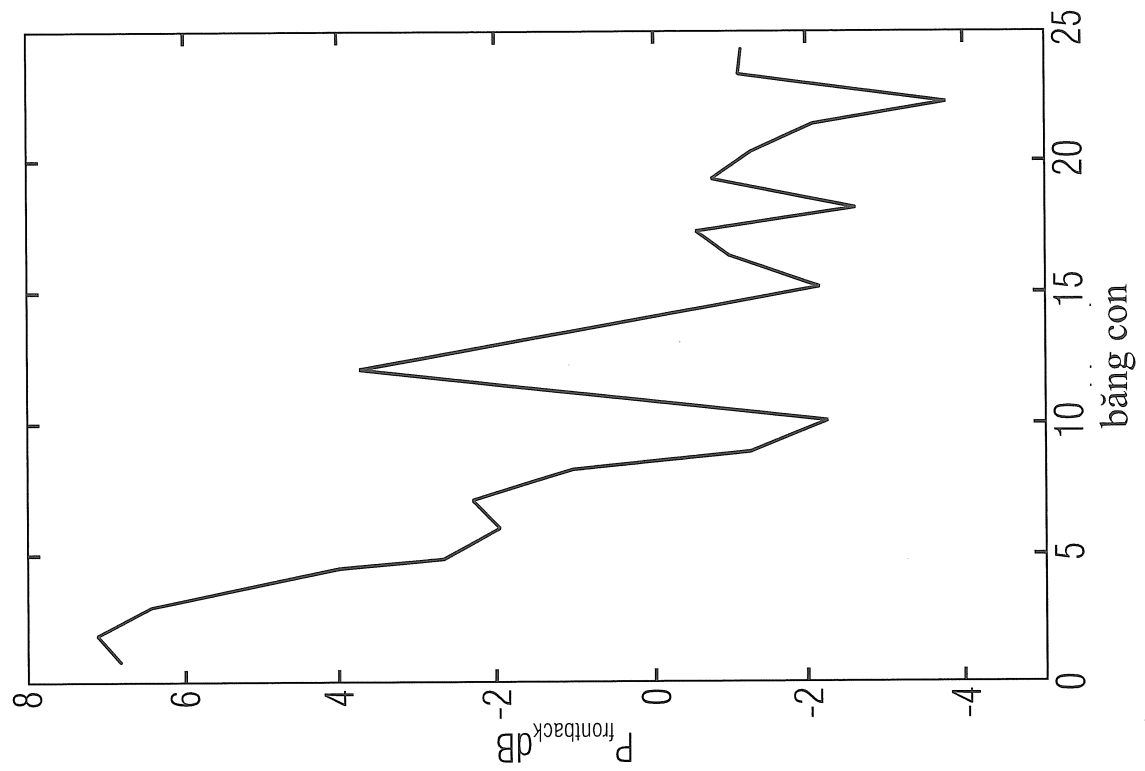


Fig. 44

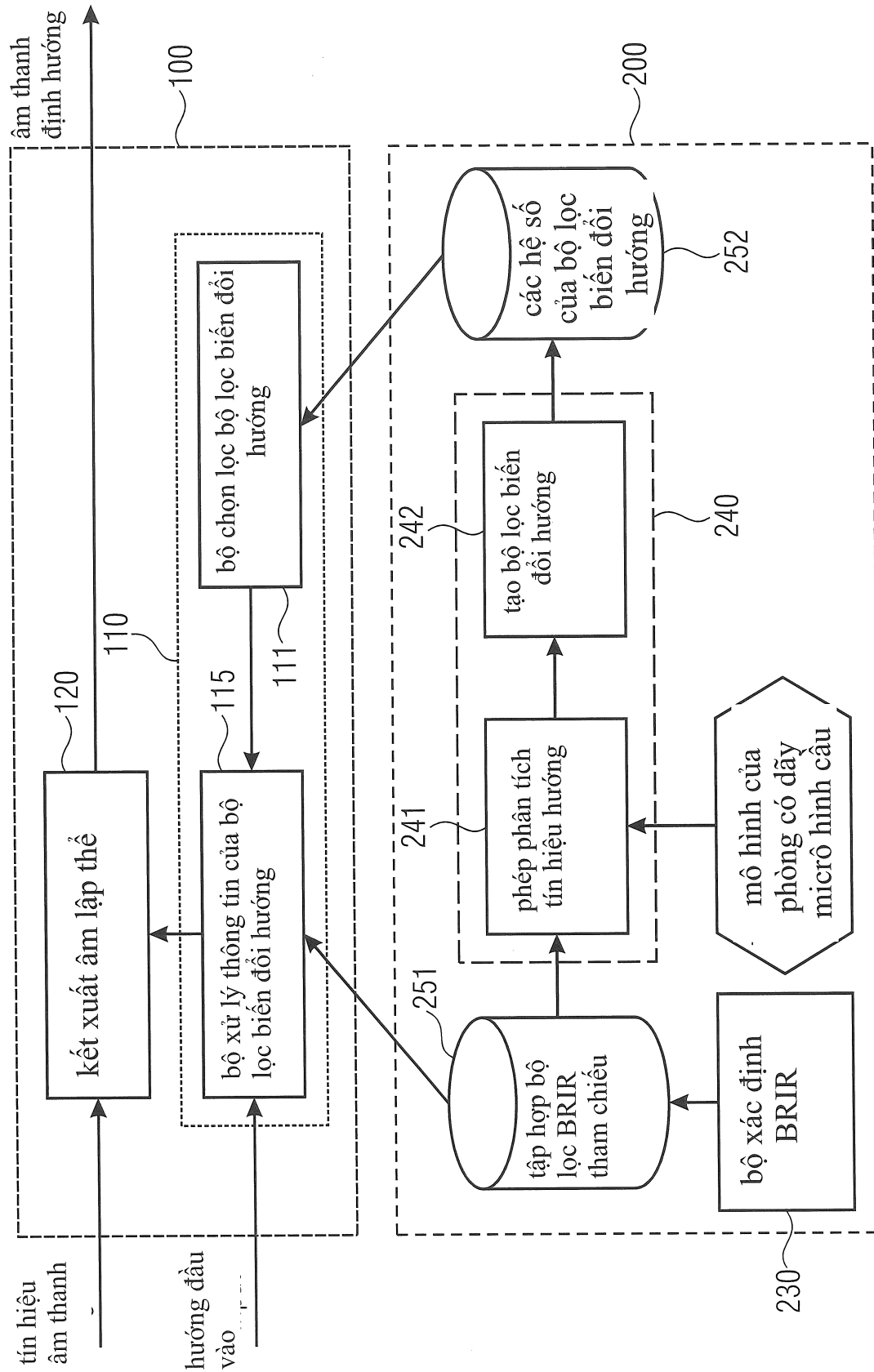


Fig. 45

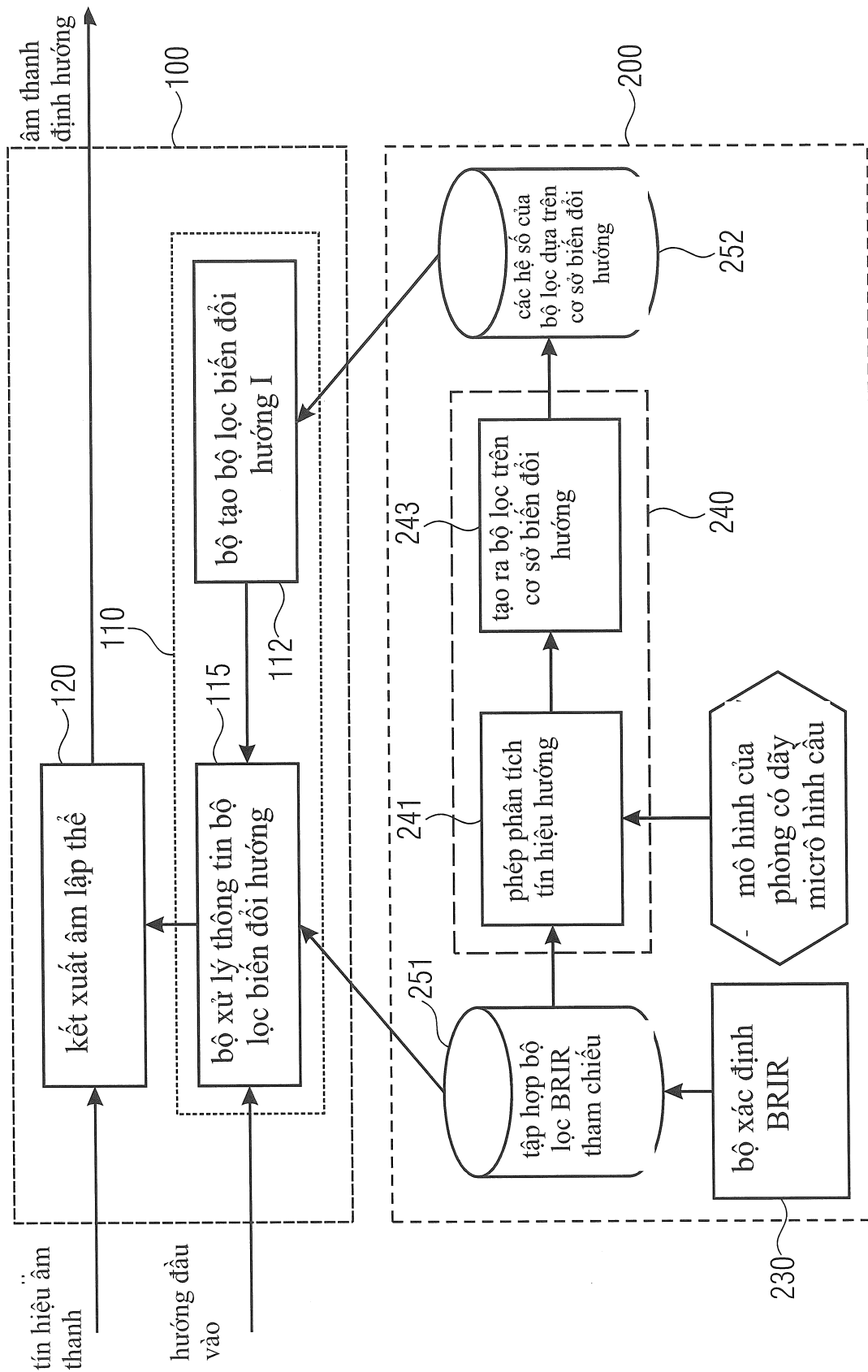


Fig. 46

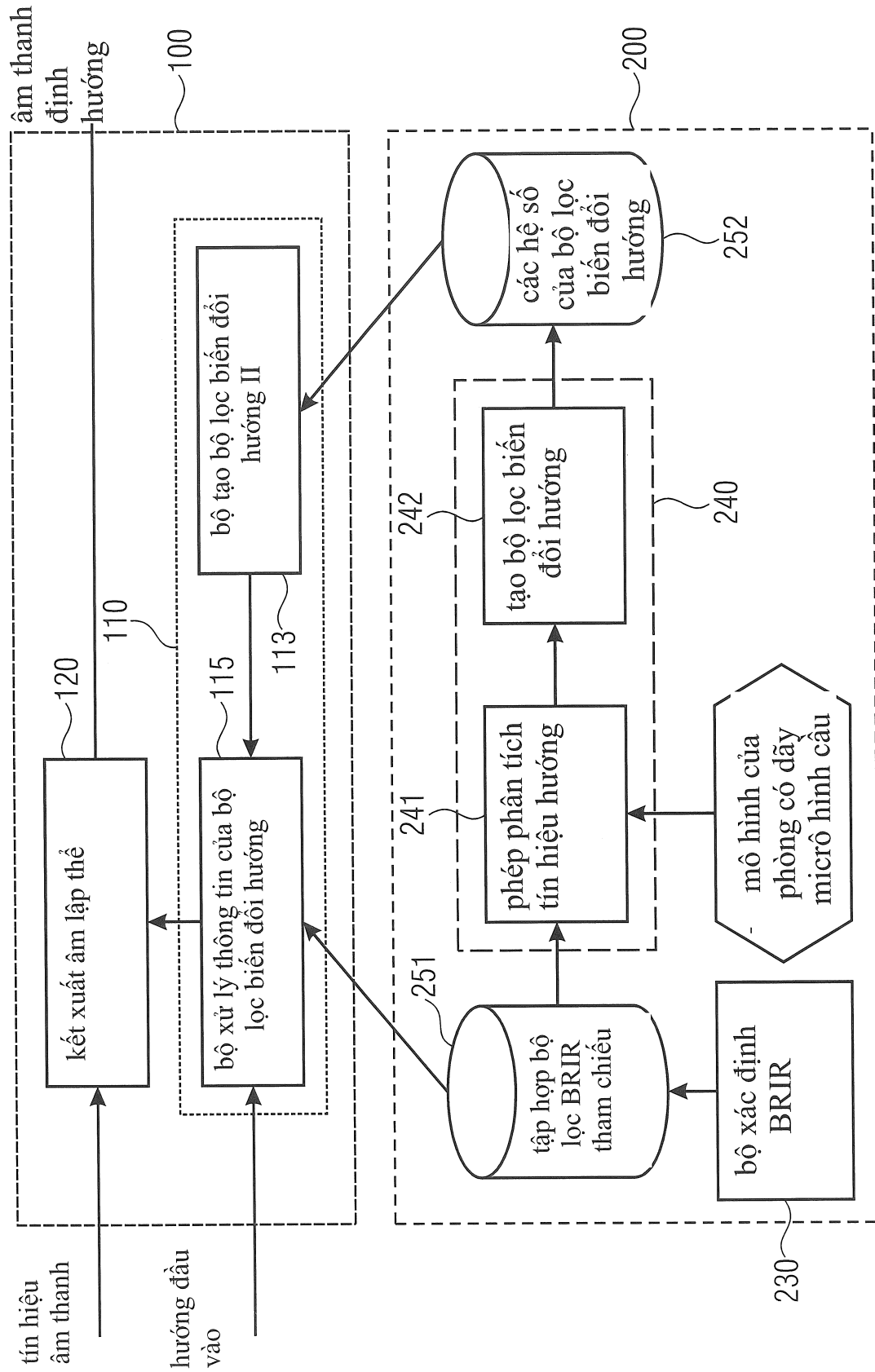


Fig. 47

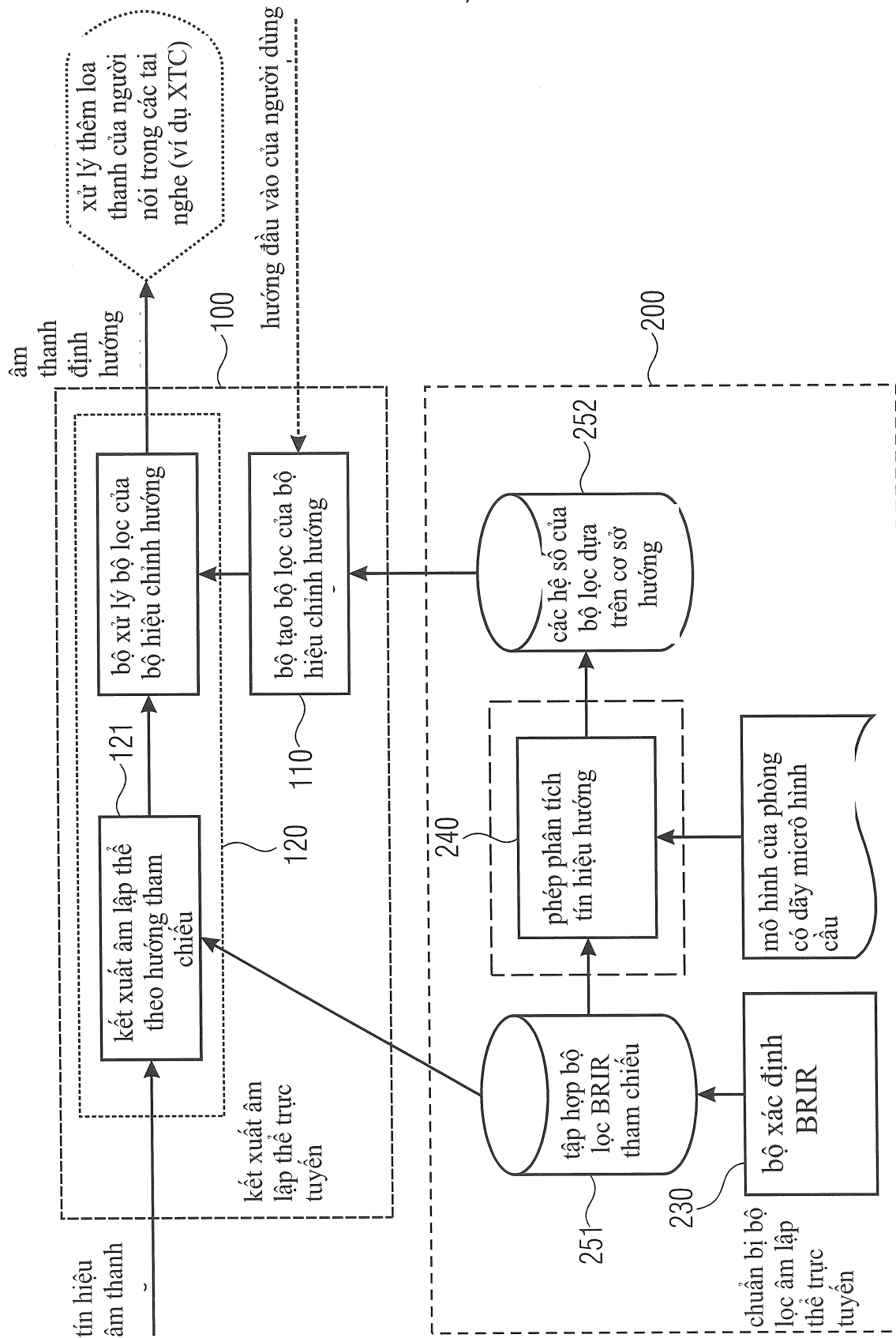


Fig. 48

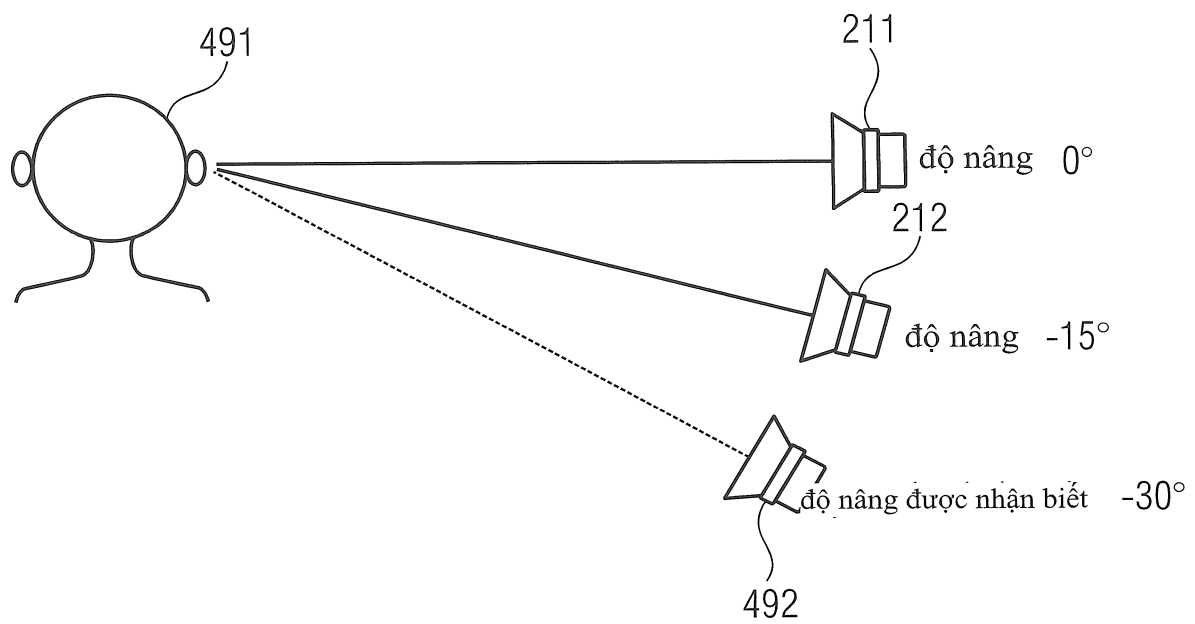


Fig. 49

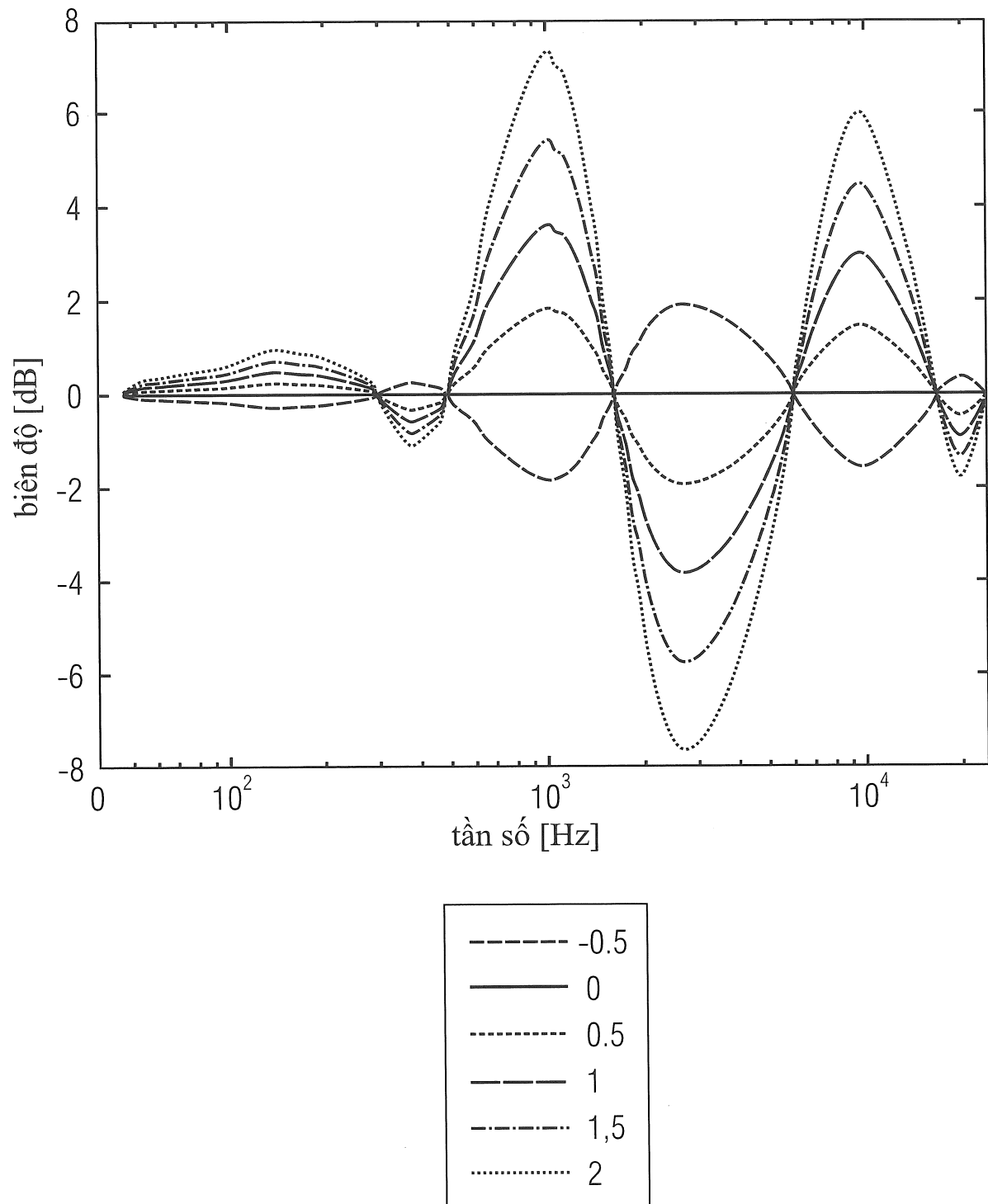


Fig. 50

các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh đối với phương vị = 0, CH2

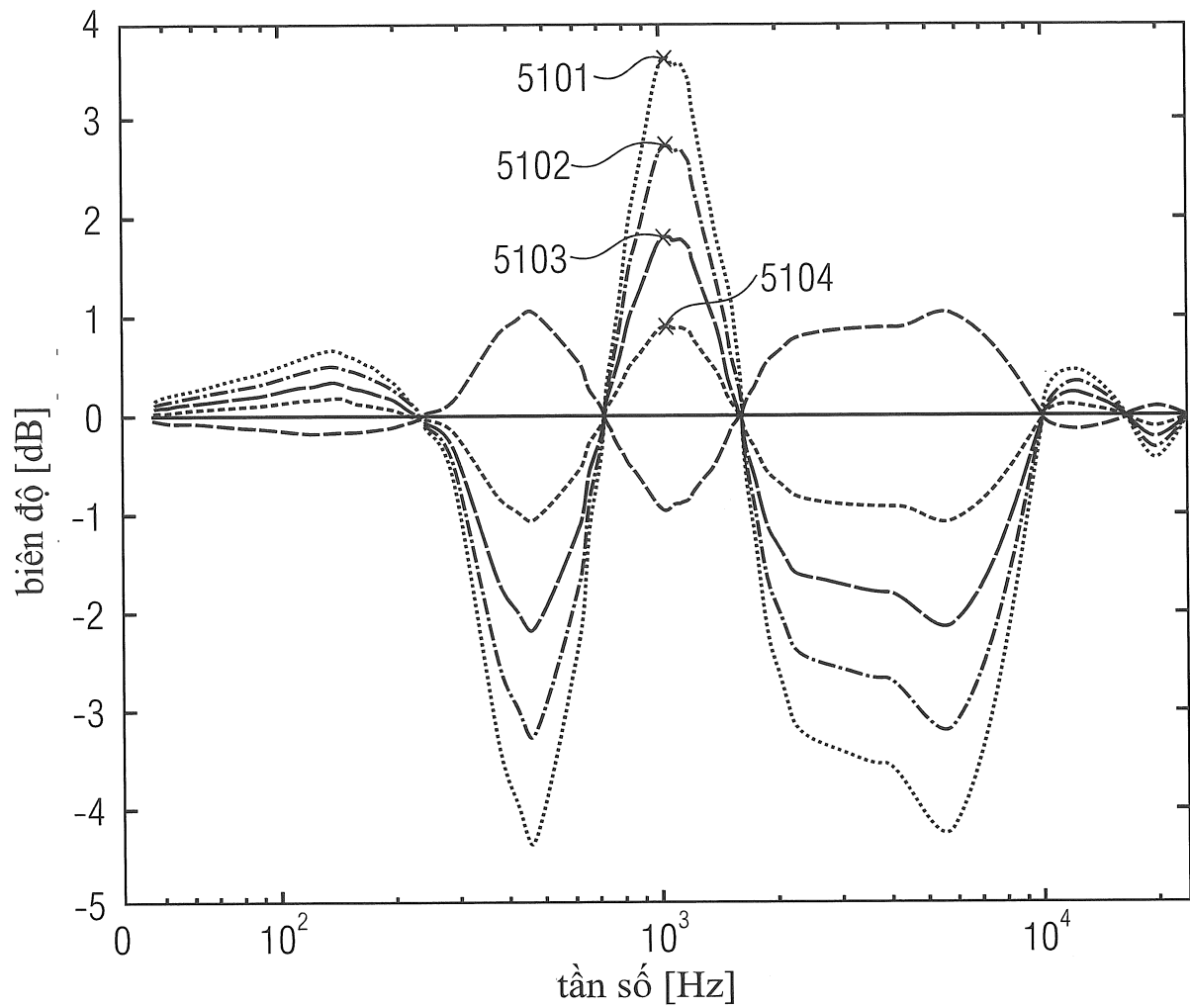


Fig. 51

50/53

các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh đối với phương vị = 30, CH2

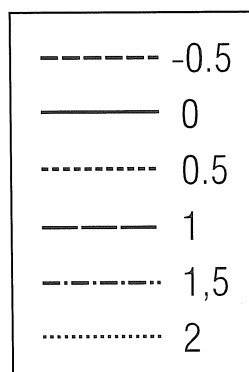
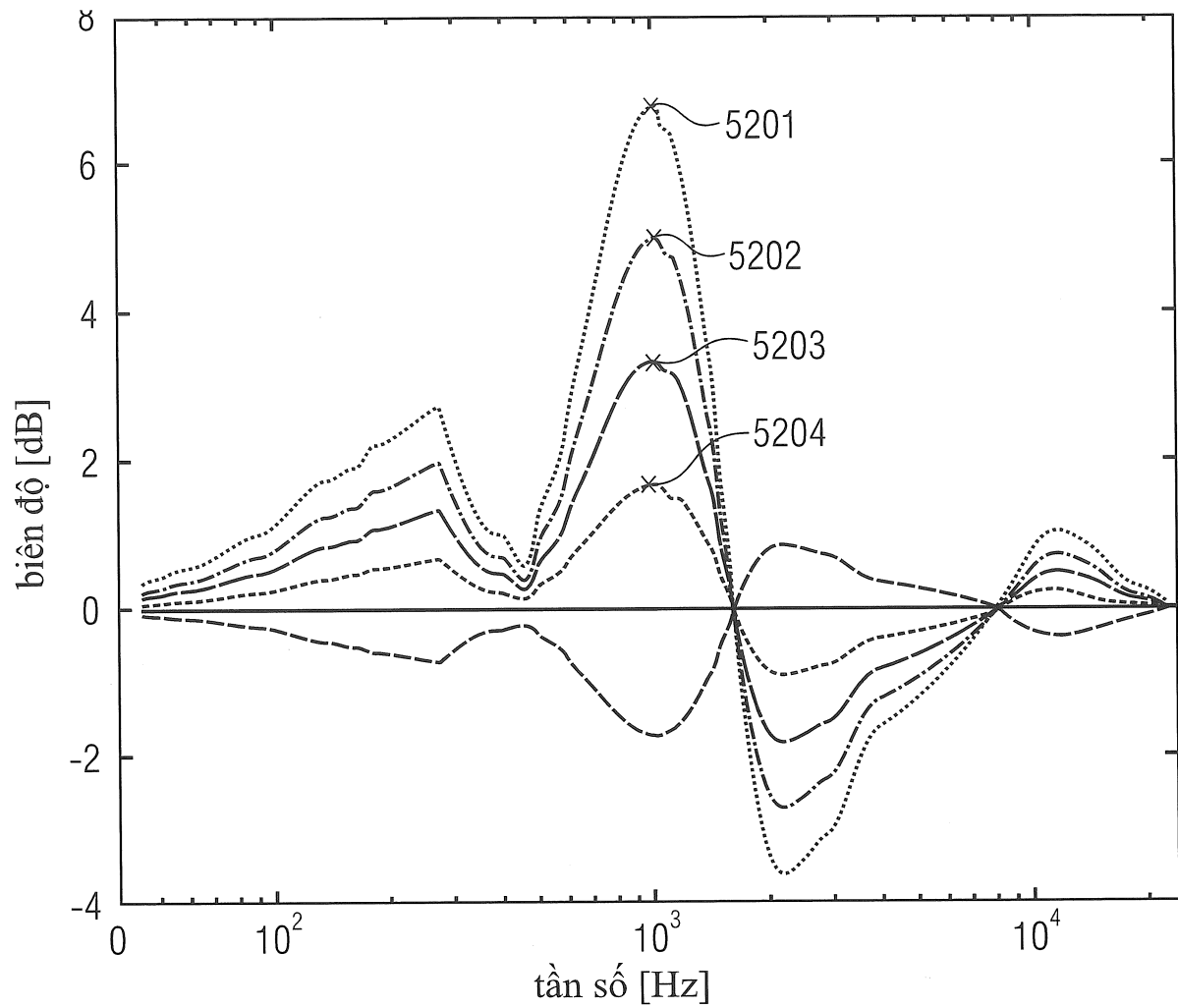


Fig. 52

51/53

các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh đối với phương vị = 45, CH2

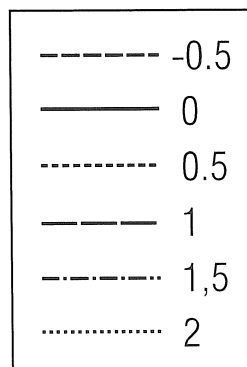
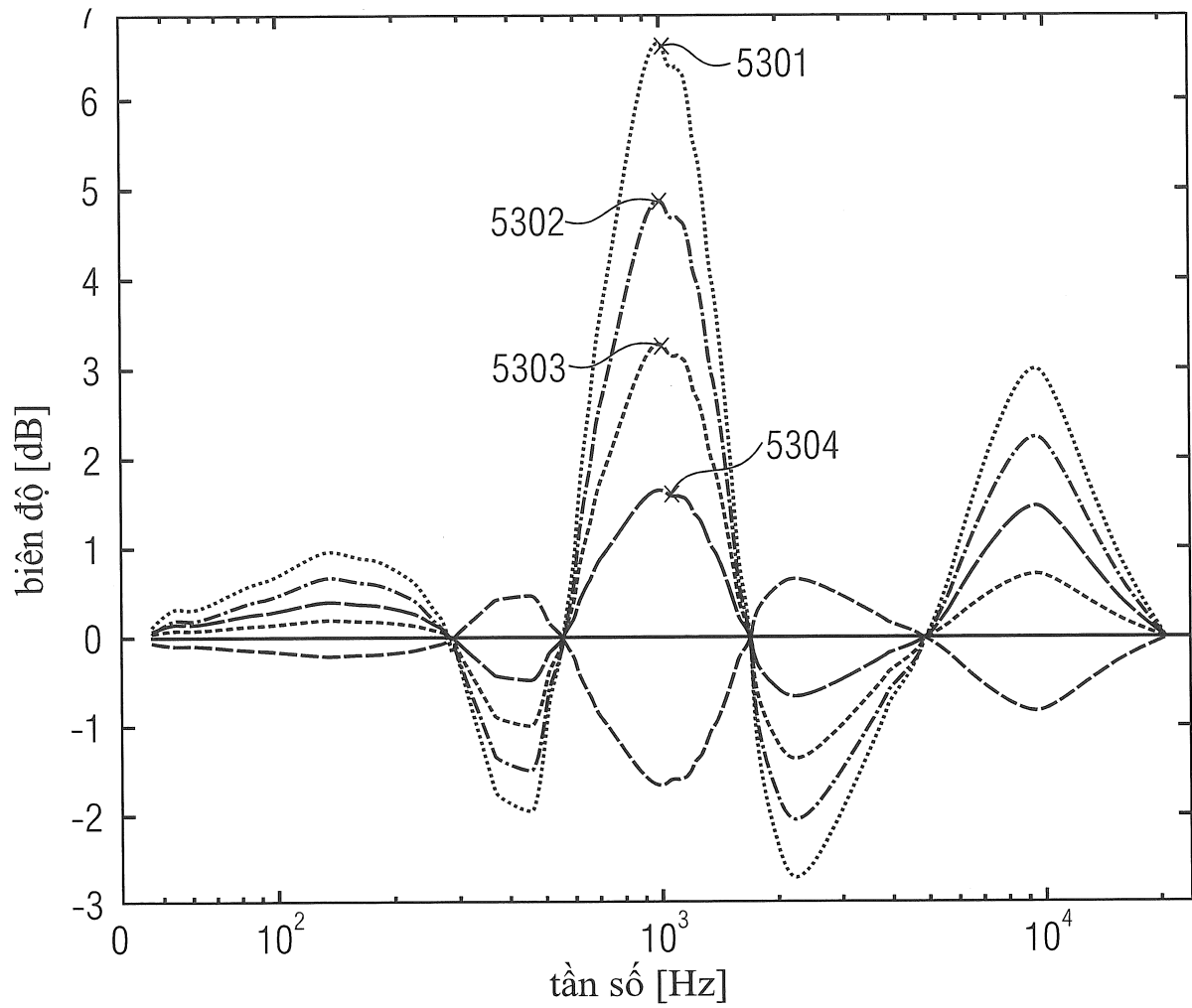


Fig. 53

các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh đối với phương vị = 60, CH2

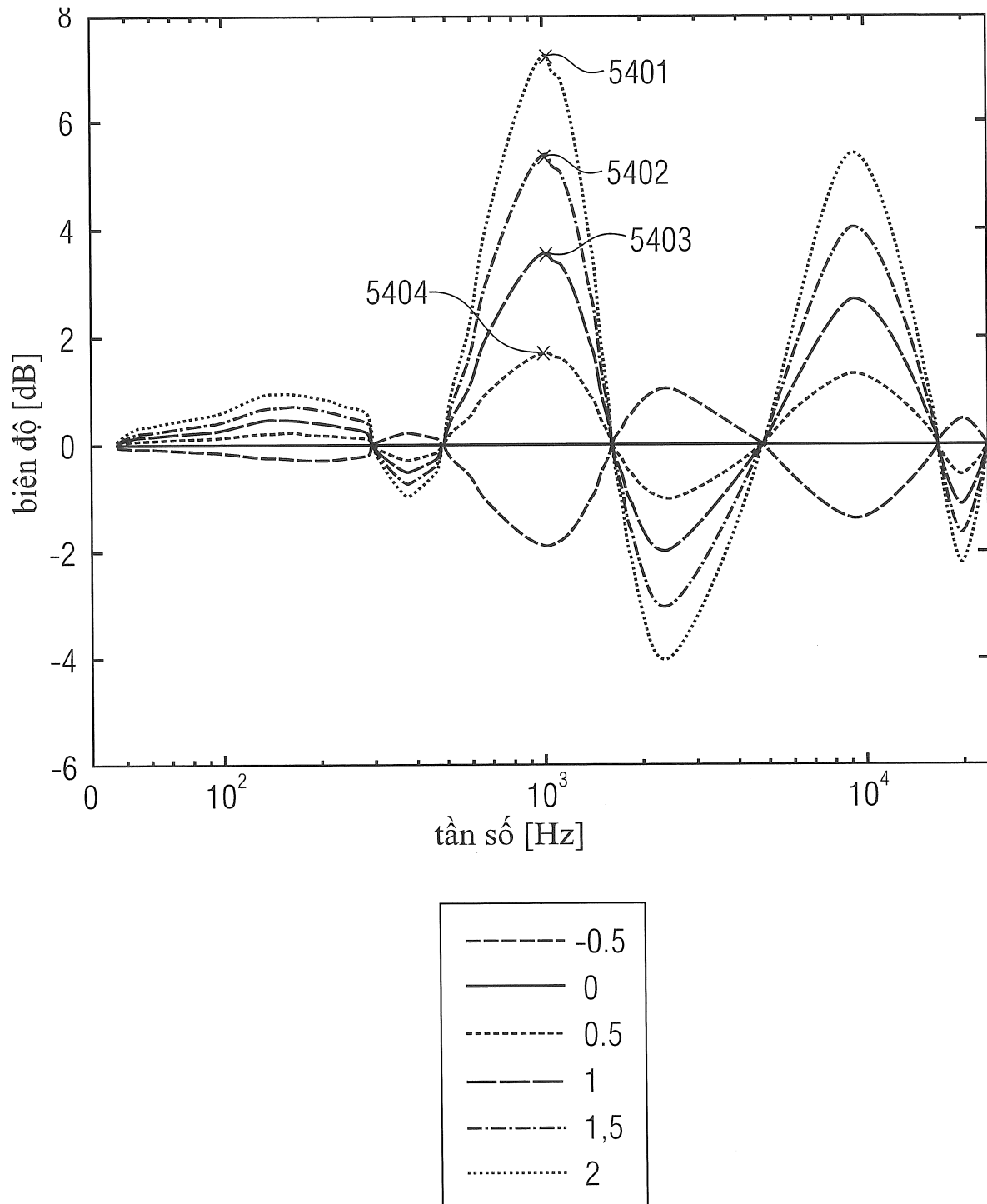


Fig. 54

53/53

các đường cong bộ lọc hiệu chỉnh đối với phương vị = 90, CH2

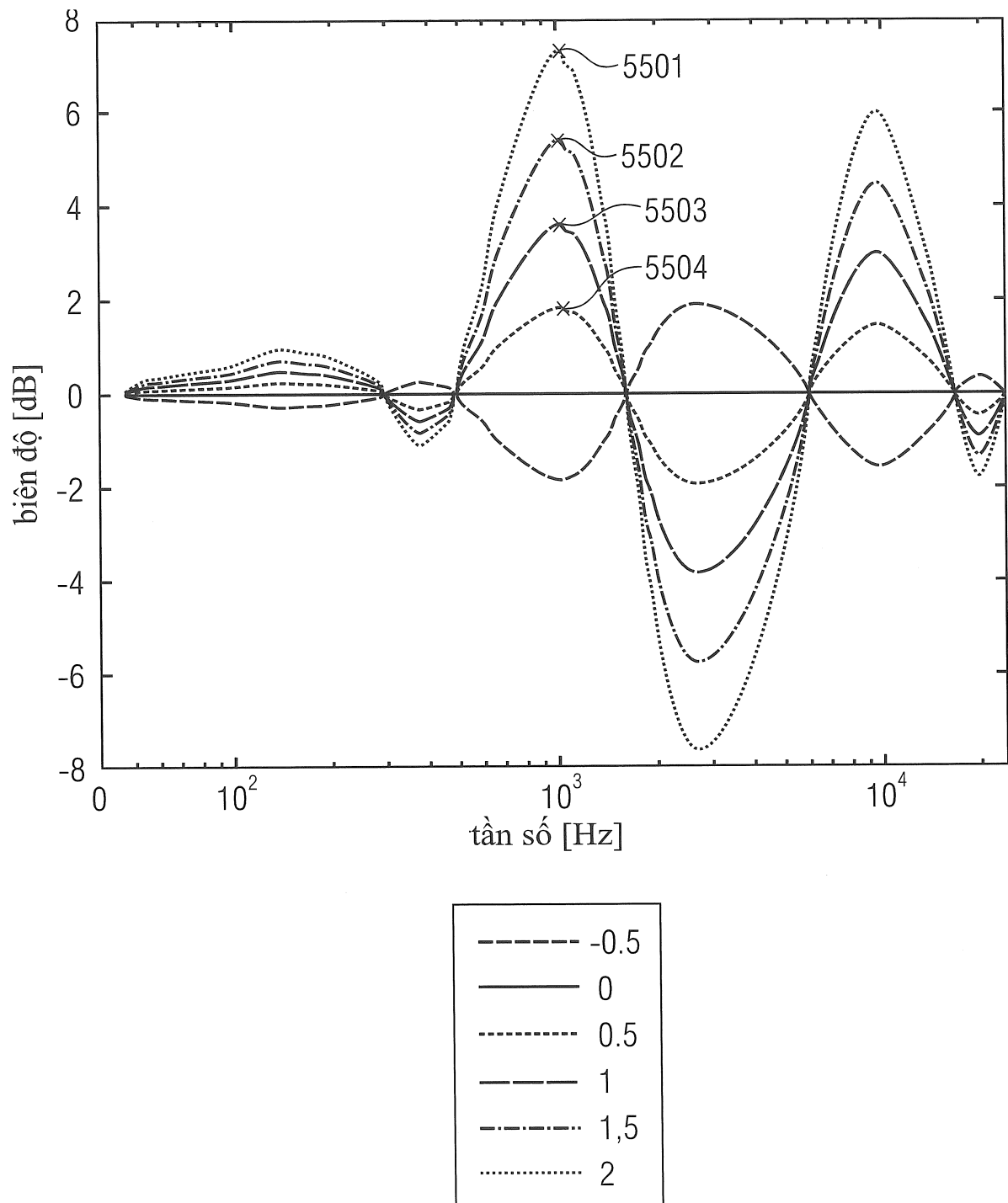


Fig. 55