Reverberació

Autor:
Data de publicació: 15-04-2026

En acústica, la reverberació (habitualment abreujada com a reverberació) és una persistència del so després d'haver-lo produït. [1] Sovint es crea quan un so es reflecteix a les superfícies, causant múltiples reflexions que s'acumulen i després es desintegren a mesura que el so és absorbit per les superfícies dels objectes de l'espai, que poden incloure mobles, persones i aire. [2] Això és més evident quan la font sonora s'atura però les reflexions continuen, disminuint la seva amplitud, fins que s'arriba a zero.

Mostra breu de l'efecte de reverberació

Durada: 18 segons.0:18

Senyal net, seguit de diferents versions de reverberació (amb temps de decaïment cada cop més llargs).

Problemes per reproduir aquest fitxer? Consulta l'ajuda amb els mitjans.

Durada: 9 segons.0:09Reverb en una guitarra

En acústica, la reverberació (habitualment abreujada com a reverberació) és una persistència del so després d'haver-lo produït. [1] Sovint es crea quan un so es reflecteix a les superfícies, causant múltiples reflexions que s'acumulen i després es desintegren a mesura que el so és absorbit per les superfícies dels objectes de l'espai, que poden incloure mobles, persones i aire. [2] Això és més evident quan la font sonora s'atura però les reflexions continuen, disminuint la seva amplitud, fins que s'arriba a zero.

La reverberació depèn de la freqüència: la durada de la desintegració, o temps de reverberació, rep una consideració especial en el disseny arquitectònic d'espais que necessiten temps de reverberació específics per aconseguir un rendiment òptim per a l'activitat prevista. [3] En comparació amb un eco distint, que és detectable almenys 50 a 100 ms després del so anterior, la reverberació és l'aparició de reflexions que arriben en una seqüència inferior a aproximadament 50 ms. Amb el pas del temps, l'amplitud de les reflexions es redueix gradualment fins a nivells invisibles. La reverberació no es limita als espais interiors, ja que existeix en boscos i altres entorns exteriors on hi ha

reflexió.

La reverberació es produeix de manera natural quan una persona canta, parla o toca un instrument acústicament en una sala o espai d'actuació amb superfícies reflectores del so. [4] La reverberació s'aplica artificialment mitjançant efectes de reverberació, que simulen la reverberació emprant mitjans com cambres d'eco, vibracions enviades a través del metall i processament digital. [5]

Tot i que la reverberació pot donar naturalitat al so enregistrat afegint una sensació d'espai, també pot reduir la intel·ligibilitat de la parla, especialment quan també hi ha soroll. Les persones amb pèrdua auditiva, inclosos els usuaris d'audiòfons, sovint informen de dificultats per entendre la parla en situacions de ressonància i soroll. La reverberació també és una font important d'errors en el reconeixement automàtic de veu.

La desreverberació és el procés de reduir el nivell de reverberació en un so o senyal.

Continguts

Temps de reverberació

Nivell sonor en una cavitat reverberant excitada per un impuls, en funció del temps (diagrama molt simplificat)

El temps de reverberació és una mesura del temps necessari perquè el so "desaparegui" en una zona tancada després que la font del so hagi cessat.

Quan es tracta de mesurar amb precisió el temps de reverberació amb un mesurador, s'utilitza el terme T60 [6] (una abreviatura de temps de reverberació 60 dB). T60 proporciona una mesura objectiva del temps de reverberació. Es defineix com el temps que triga el nivell de pressió sonora a reduir-se en 60 dB, mesurat després que el senyal de prova generat s'acabi bruscament.

El temps de reverberació sovint s'expressa com un valor únic si es mesura com un senyal de banda ampla (20 Hz a 20 kHz). Tanmateix, com que depèn de la freqüència, es pot descriure amb més precisió en termes de bandes de freqüència (una octava, un terç d'octava, un 1/6 d'octava, etc.). Com que depèn de la freqüència, el temps de reverberació mesurat en bandes estretes variarà segons la banda de freqüència que es mesuri. Per precisió, és important saber quins rangs de freqüències es descriuen mitjançant una mesura del temps de reverberació.

A finals del segle XIX, Wallace Clement Sabine va iniciar experiments a la Universitat de Harvard per investigar l'impacte de l'absorció en el temps de reverberació. Utilitzant un cofre de vent portàtil i tubs d'orgue com a font de so, un cronòmetre i les seves orelles, mesurava el temps des de la interrupció de la font fins a la inaudibilitat (una diferència d'aproximadament 60 dB). Va trobar que el temps de reverberació és proporcional a les dimensions de l'habitació i inversament proporcional a la quantitat d'absorció present.

El temps òptim de reverberació per a un espai on es reprodueix música depèn del tipus de música que s'hagi de tocar a l'espai. Les sales utilitzades per a la parla normalment necessiten un temps de reverberació més curt perquè la parla es pugui entendre amb més claredat. Si el so reflectit d'una síl·laba encara s'escolta quan es pronuncia la següent, pot ser difícil entendre què s'ha dit. [7] "Cat", "cab" i "cap" poden sonar molt similars. Si, en canvi, el temps de reverberació és massa curt, l'equilibri tonal i la sonoritat poden patir-se. Els efectes de reverberació s'utilitzen sovint als estudis per afegir profunditat als sons. La reverberació canvia l'estructura espectral percebuda d'un so però no altera el to.

Els factors bàsics que afecten el temps de reverberació d'una habitació inclouen la mida i la forma de l'encunyament, així com els materials utilitzats en la construcció de l'habitació. Cada objecte col·locat dins del recinte també pot afectar aquest temps de reverberació, incloent-hi les persones i les seves pertinences.

Mesura

Determinació automàtica del valor de T20 - disparador de 5dB - mesura de 20dB - 10dB de l'alçada al nivell de soroll

Històricament, el temps de reverberació només es podia mesurar amb un registrador de nivells (un dispositiu de traçat que representa gràficament el nivell de soroll en funció del temps en una cinta de paper mòbil). Es produeix un soroll fort, i a mesura que el so s'esvaeix, la traça del registrador de nivell mostrarà una pendent clara. L'anàlisi d'aquesta pendent revela el temps de reverberació mesurat. Alguns sonòmetres digitals moderns poden fer aquesta anàlisi automàticament. [8]

Existeixen diversos mètodes per mesurar el temps de reverberació. Un impuls es pot mesurar creant un soroll prou fort (que ha de tenir un punt de tall definit). Fonts de soroll d'impuls, com un tret de pistola de fogueig o una explosió de globus, es poden utilitzar per mesurar la resposta a l'impuls d'una habitació.

Alternativament, es pot generar un senyal de soroll aleatori com soroll rosa o soroll blanc a través d'un altaveu i després apagar-se. Això es coneix com el mètode interromput, i el resultat mesurat s'anomena resposta interrompuda.

Un sistema de mesura de dos ports també es pot utilitzar per mesurar el soroll introduït en un espai i comparar-lo amb el que es mesura posteriorment a l'espai. Considera el so reproduït per un altaveu dins d'una habitació. Es pot fer una gravació del so a l'habitació i comparar-la amb el que s'ha enviat a l'altaveu. Els dos senyals es poden comparar matemàticament. Aquest sistema de mesura de dos ports utilitza una transformada de Fourier per derivar matemàticament la resposta a l'impuls de l'habitació. A partir de la resposta a l'impuls, es pot calcular el temps de reverberació. L'ús d'un sistema de dos ports permet mesurar el temps de reverberació amb senyals diferents dels impulsos forts. Es poden utilitzar música o gravacions d'altres sons. Això permet prendre mesures en una sala després que el públic sigui present.

Sota algunes restriccions, fins i tot fonts sonores senzilles com aplaudiments es poden utilitzar per mesurar la reverberació [9]

El temps de reverberació normalment s'expressa com un temps de desintegració i es mesura en segons. Pot haver-hi o no cap indicació de la banda de freqüència utilitzada en la mesura. El temps de desintegració és el temps que triga el senyal a disminuir 60 dB per sota del so original. Sovint és difícil injectar prou so a l'habitació per mesurar una decadència de 60 dB, especialment a freqüències més baixes. Si la desintegració és lineal, n'hi ha prou amb mesurar una caiguda de 20 dB i multiplicar el temps per 3, o una caiguda de 30 dB i multiplicar el temps per 2. Aquests són els anomenats mètodes de mesura T20 i T30.

La mesura del temps de reverberació RT60 està definida a l'estàndard ISO 3382-1 per a espais de rendiment, l'estàndard ISO 3382-2 per a habitacions ordinàries i l'ISO 3382-3 per a oficines de planta oberta, així com a l'estàndard ASTM E2235.

El concepte de temps de reverberació suposa implícitament que la taxa de decadència del so és exponencial, de manera que el nivell sonor disminueix regularment, a una velocitat de tants dB per segon. No és habitual en habitacions reals, depenent de la disposició de superfícies reflectants, dispersives i absorbents. A més, la mesura successiva del nivell sonor sovint dóna resultats molt diferents, ja que les diferències de fase en l'acumulació de so excitant es produeixen en ones sonores notablement diferents. El 1965, Manfred R. Schroeder va publicar "Un nou mètode per mesurar el temps de reverberació" al Journal of the Acoustical Society of America. Va proposar mesurar, no la potència del so, sinó l'energia, integrant-la. Això va permetre mostrar la variació en la taxa de desintegració i alliberar els acústics de la necessitat de fer una mitjana de moltes mesures.

Equació de

L'equació de reverberació de Sabine es va desenvolupar a finals dels anys 1890 de manera empírica. Va establir una relació entre el T60 d'una habitació, el seu volum i la seva absorció total (en sabins). Això es dóna per l'equació:

T60=24A ln?101c20VSa?0.1611sm?1VSa.
on c20 és la velocitat del so a l'habitació (a 20 °C), V és el volum de l'habitació a m3, S és l'àrea total de superfície de l'habitació a m2, a és el coeficient d'absorció mitjà de les superfícies de l'habitació, i el producte Sa és l'absorció total en sabins.

L'absorció total en sabins (i per tant el temps de reverberació) generalment canvia segons la freqüència (que es defineix

per les propietats acústiques de l'espai). L'equació no té en compte la forma de l'habitació ni les pèrdues pel so que viatja per l'aire (important en espais més grans). La majoria d'habitacions absorbeixen menys energia sonora en els rangs de freqüències més baixes, cosa que resulta en temps de reverberació més llargs a les freqüències més baixes.

Sabine va concloure que el temps de reverberació depèn de la reflectivitat del so des de diverses superfícies disponibles dins la sala. Si la reflexió és coherent, el temps de reverberació de la sala serà més llarg; El so trigarà més a apagar-se.

El temps de reverberació RT60 i el volum V de l'habitació tenen una gran influència en la distància crítica dc (equació condicional):

dc?0.057?VRT60
on la distància crítica dc es mesura en metres, volum V es mesura en m³, i el temps de reverberació RT60 es mesura en segons.

Equació d'Eyring

L'equació del temps de reverberació d'Eyring va ser proposada per Carl F. Eyring de Bell Labs el 1930. [10] Aquesta equació pretén estimar millor el temps de reverberació en habitacions petites amb quantitats relativament grans d'absorció sonora, identificades per Eyring com a habitacions "mortes". Aquestes sales solen tenir temps de reverberació més baixos que les habitacions més grans i més acústicament vives. L'equació d'Eyring és similar en forma a l'equació de Sabine, però inclou modificacions per escalar logarítmicament el terme d'absorció. Les unitats i variables dins l'equació són les mateixes que les definides per a l'equació de Sabine. El temps de reverberació d'Eyring es dóna per l'equació:

T60??0.161 VSA ln?(1?a).
L'equació d'Eyring es va desenvolupar a partir de principis fonamentals utilitzant un model de la reflexió sonora d'una font d'imatge, en contraposició a l'enfocament empíric de Sabine. Els resultats experimentals obtinguts per Sabine generalment coincideixen amb l'equació d'Eyring, ja que les dues fórmules esdevenen idèntiques per a habitacions molt vives, el tipus en què treballava Sabine. Tanmateix, l'equació d'Eyring esdevé més vàlida per a habitacions petites amb grans quantitats d'absorció. Com a resultat, l'equació d'Eyring sovint s'implementa per estimar el temps de reverberació en sales de control d'estudis de gravació o altres entorns d'escolta crítics amb grans quantitats d'absorció sonora. L'equació de Sabine tendeix a sobrepredir el temps de reverberació per a habitacions petites amb altes quantitats d'absorció. Per aquesta raó, els calculadors de temps de reverberació disponibles per a entorns d'estudis de gravació més petits, com els estudis domèstics, sovint utilitzen l'equació d'Eyring.

Coeficient d'absorció

El coeficient d'absorció d'un material és un nombre entre 0 i 1 que indica la proporció de so que és absorbida per la superfície en comparació amb la proporció que es reflecteix cap a l'habitació. Una finestra gran i completament oberta no oferiria cap reflexió, ja que qualsevol so que hi arribés sortiria directament i no es reflectiria cap so. Això tindria un coeficient d'absorció d'1. En canvi, un sostre de formigó pintat gruixut i llis seria l'equivalent acústic d'un mirall i tindria un coeficient d'absorció molt proper a zero.

En música

The Atlantic va descriure la reverberació com "probablement l'efecte sonor més antic i universal en la música", utilitzat en la música ja al segle X. [5]

El cant gregorià podria haver-se desenvolupat en resposta al llarg temps de reverberació de les catedrals, limitant el nombre de notes que es podien cantar abans de fondre's caòticament. [5]

La reverberació artificial s'aplica al so mitjançant efectes de reverberació. Aquests simulen la reverberació mitjançant mitjans com cambres d'eco, vibracions enviades a través del metall i processament digital. [5]

Vegeu

Dereverberació
Ressonància acústica
Desintegració exponencial
Sala de reverberació

Referències

Valente, Michael; Holly Hosford-Dunn; Ross J. Roeser (2008). Audiologia. Thieme. pp. 425–426. ISBN 978-1-58890-520-8.
Lloyd, Llewelyn Southworth (1970). Música i so. Ayer Publishing. pp. 169. ISBN 978-0-8369-5188-2.
Roth, Leland M. (2007). Entendre l'arquitectura. Westview Press. pp. 104–105. ISBN 978-0-8133-9045-1.
Davis, Gary (1987). El manual de reforç de so (2a ed.). Milwaukee, WI: Hal Leonard. p. 259. ISBN 9780881889000. Recuperat el 12 de febrer de 2016.
Weir, William (21-06-2012). "Com els humans van conquerir l'eco". L'Atlàntic. Consultat el 08-08-2021.
"Temps de reverberació". www.nti-audio.com.
"Aleshores, per què la reverberació afecta la intel·ligibilitat de la parla?" MC Squared System Design Group, Inc. Consultat el 04-12-2008.
"Temps de reverberació". www.nti-audio.com.
Papadakis, Nikolaos M.; Stavroulakis, Georgios E. (2020). "Aplaudiments per a mesures acústiques: aplicació òptima i limitacions". Acústica. 2 (2): 224–245. doi:10.3390/acoustics2020015.
Eyring, Carl F. (1930). "Temps de reverberació en habitacions "mortes"". La revista de la Societat Acústica d'Amèrica. 1 (2A): 217–241. Bibcode:1930ASAJ.... 1..217E. doi:10.1121/1.1915175.

Enllaços

Calculadora de temps de reverberació RT60 (fórmula Sabine)
Reverberació - Hiperfísica
Una base de dades de respostes d'impuls mesurades a l'habitació per generar efectes realistes de reverberació
Explicació i comparació de Spring Reverb Tanks
Cura i alimentació dels tancs de reverberació de ressort Arxivat el 20-12-2016 a la Wayback Machine