



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL VICERECTORADO



“PROYECTOS DE INVESTIGACION”. PROY. No.

Área del Proyecto:	Ciencias Básicas <input type="checkbox"/>	Ciencias Aplicadas <input checked="" type="checkbox"/>
FACULTAD: Ingeniería de Sistemas		
DEPARTAMENTO: Informática y Ciencias de la Computación		
LINEA DE INVESTIGACIÓN:		
Ciencias de la Computación (CC), Programación Algorítmica y Sistemas Inteligentes (Modelos Computacionales – Simulación Numérica)		

1	Proyecto de Investigación Interno
Título: Simulación de la Propagación de la Onda Acústica en Recintos Cerrados.	
Resumen del Proyecto (máximo 200 palabras)	
<p>El presente proyecto de investigación pretende el desarrollo y perfeccionamiento de un conjunto de técnicas para la simulación de la Propagación de la Onda Acústica en Recintos Virtuales (POARV), la cual constituye un paso previo para producir Realidad Virtual Acústica (RVA). La <i>aurilización</i> es el resultado principal de un proceso de RVA. Esta consiste en sintetizar un sonido que sea capaz de estimular al oyente de tal forma que cause la sensación de inmersión acústica en un ambiente. En este Proyecto, tanto la simulación de la POARV (es decir, la técnica algorítmica híbrida para modelado de campo acústico), como los principales modelos secundarios (fuentes de sonido, receptores, geometría del recinto) serán implementados en un producto de software definiendo metodologías de ingeniería de software para optimizar el proceso. Finalmente, serán hechas diversas comparaciones y verificaciones que permitan demostrar que se alcanzaron niveles adecuados de precisión y disminución de complejidad computacional y por otro lado se presentará una evaluación del proceso de desarrollo efectuado.</p>	
Palabras clave (3-5): Realidad virtual acústica. Aurilización. Respuestas impulsivas biauriculares. Metodologías de desarrollo para software científico.	

2	Datos personales y académicos del Director del Proyecto	
Apellidos: Lucio Naranjo		Dirección particular: José Paredes Oe5-183 y Francisco Chira, Unión Nacional.
Nombres: José Francisco		
Lugar y fecha de Nacimiento: Quito, 01 de junio de 1979		Teléfono casa: (02)226-0864
Cargo actual en la EPN: Profesor Agregado		Teléfono celular: (09)9569-9935
Fecha nombramiento definitivo: 9 de septiembre de 2014		Teléfono oficina: (02)297-6300
Horas de dedicación al Proyecto: 200 horas semestrales		Ext. EPN: 4730
Correo electrónico: jose.lucio@epn.edu.ec		
Formación de pregrado y postgrado		
Títulos	Fecha	Institución / Universidad/País
Doutor en Modelagem Computacional (D.Sc.)	19 de mayo de 2014	Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
Mestre en Modelagem Computacional (M.Sc.)	30 de abril de 2010	Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)
Ingeniero en Sistemas y Computación	03 de junio de 2005	Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CONSEJO ACADÉMICO**

- 2 -

3 Datos personales y académicos del Docente Colaborador		
Apellidos: Iñiguez Jarrín Nombres: Carlos Efraín		Dirección particular: Montufar E4-45, Conocoto
Lugar y fecha de nacimiento: 15 de noviembre del 1979		Teléfono casa: (02)234-1132
Cargo actual en la EPN: Profesor auxiliar		Teléfono celular: (09)9565-6048
Fecha ingreso a la EPN: 8 de septiembre de 2014		Teléfono oficina: (02)297-6300
Horas de dedicación al proyecto: 100 horas semestrales		Ext. EPN: 1467 Correo electrónico: carlos.iniguez@epn.edu.ec
Formación de pregrado y postgrado		
Títulos	Fecha	Institución / Universidad
Ingeniero de Sistemas	1997-2005	Escuela Politécnica Nacional
Magíster en Ciencias de la Computación (M.Sc.)	2012-2013	Politécnica de Madrid

4 Objetivos, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación

- Objetivos

El objetivo general del Proyecto es producir una aplicación que permita modelar los principales elementos de la propagación de la onda acústica para simular computacionalmente determinados campos acústicos dentro de un ambiente virtual.

Para alcanzar lo anterior, se plantean tres objetivos específicos que son descritos a continuación:

1. Estudiar algoritmos de simulación de la propagación de la Onda Acústica en Recintos Virtuales (POARV), existentes en la literatura, y producir un código estandarizado, estructurado, de características híbridas, capaz de reducir la complejidad computacional, manteniendo niveles adecuados de precisión.
2. Desarrollar tres sub-modelos que permitan simular tres elementos fundamentales para este Proyecto: (1) los principales fenómenos de la propagación de la onda acústica en un ambiente (reflexión, absorción, difusión, atenuación, etc.), (2) la geometría del recinto (superficies de contorno con sus características acústicas) y (3) fuentes de sonido y receptores (o micrófonos). Para esto se cuenta con el apoyo del Laboratorio de Instrumentación en Dinámica, Acústica y Vibraciones (LIDAV) de la Universidad del Estado de Rio de Janeiro (UERJ) que cuenta con una amplia y reconocida experiencia en el desarrollo de este tipo de aplicaciones.
3. Implementar los algoritmos desarrollados en una nueva aplicación, usando técnicas actuales de desarrollo de software.
4. Obtener resultados de simulación y compararlos, en términos de complejidad computacional y precisión, con otras aplicaciones de la misma naturaleza.
5. Presentar la metodología de desarrollo como una alternativa para la generación de software científico.

- Hipótesis

Los métodos y modelos computacionales para simulación del campo acústico y realidad virtual acústica son susceptibles de perfeccionamiento en el sentido de reducción de su complejidad computacional aplicando estrategias algorítmicas y de inteligencia computacional.

- Resultados esperados

Se espera obtener los siguientes resultados del Proyecto:

1. Desarrollo de un ambiente 3D, usando herramientas gráficas computacionales para representación del ambiente virtual. Para esto, es necesario desarrollar un conjunto de clases para almacenar la información acústica de las superficies de contorno y que posean la capacidad de trabajar con asignación dinámica de memoria para lidiar con elementos variables.
2. Desarrollo de modelos para fuentes de sonido y para receptores básicos que permitirán discretizar la onda acústica en elementos que puedan ser procesados computacionalmente.
3. Desarrollo de un algoritmo de trazado de rayos mejorado para modelar las reflexiones especulares de los frentes de onda acústicos. En esta etapa la influencia de procesos de geometría computacional debe ser analizada (i.e. métodos para determinar las diversas interacciones entre elementos dinámicos y estáticos en un espacio 3D). El resultado deseado es obtener una técnica de búsqueda eficiente que permita determinar cuál de todas las superficies de contorno del ambiente virtual (representadas por elementos triangulares) va a recibir a un rayo acústico incidente de dirección arbitraria.
4. Integración de todos los modelos, algoritmos y rutinas en una aplicación eficiente, confiable, escalable, homogénea, orientada a objetos, usando una metodología de desarrollo que sirva como punto de partida para poder realizar nuevos proyectos de investigación relacionada con software científico.
5. Resultados con información comparativa entre las respuestas generadas por este Proyecto y aquellas obtenidas con el código computacional brasileño RAIOS.
6. Dos artículos para publicación en revistas indexadas, que serán generados a partir de la información anterior.

- Potenciales Usuarios

Entre los potenciales usuarios que pueden beneficiarse del desarrollo de esta línea de investigación se encuentran: (a) Estudiantes de instituciones educativas que se benefician de mejoras en la calidad acústica de salas de aula, en lo que se refiere a inteligibilidad de la palabra. (b) Empresas de construcción en obras que requieran validación acústica de planos arquitectónicos. (c) Industria de los video-juegos que trabajen con aplicaciones de realidad virtual, etc.

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CONSEJO ACADÉMICO**

- 4 -

5	<p>Relevancia de esta propuesta de investigación con los objetivos científicos del departamento y su línea de investigación.</p> <p>La presente propuesta de investigación explora un aspecto de las Ciencias de la Computación que, hasta el momento, no ha sido desarrollada con la debida profundidad en el DICC: los modelos computacionales y la simulación numérica.</p> <p>Los modelos computacionales son un área multidisciplinaria del conocimiento que trata de la aplicación de modelos matemáticos y técnicas de computación al análisis, comprensión y el estudio de fenómenos complejos en áreas tan amplias como las ingenierías, ciencias exactas, biológicas, humanas, económicas y ciencias ambientales [1].</p> <p>Delante de esto, es evidente que los modelos computacionales responden a cabalidad a las necesidades de talento humano requeridas por el país en el momento histórico que atraviesa. El desarrollo de modelos computacionales permite ofrecer soluciones con una reducida inversión (dado que el único insumo son computadores y talento humano) para diversos problemas asociados al cambio de matriz productiva, creación de conocimiento, entre muchísimos otros.</p>
----------	--

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CONSEJO ACADÉMICO**

- 5 -

6	Descripción del Proyecto, metodología, cronograma de trabajo y justificación del equipo requerido																																																																																																	
	<ul style="list-style-type: none"> - Descripción del Proyecto (Ver anexo 1) - Metodología y diseño de la investigación (Ver anexo 2) 																																																																																																	
	<p>Cronograma de trabajo anual</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Actividad</th> <th colspan="6">MESES</th> </tr> <tr> <th>1-2</th> <th>3-4</th> <th>5-6</th> <th>7-8</th> <th>9-10</th> <th>11-12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Levantamiento de información previa para el desarrollo de la aplicación.</td> <td align="center">X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Definición de metodología de desarrollo.</td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Actualización de IDE (Integrated Development Environment) hacia uno más reciente</td> <td></td> <td align="center">X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Actualización de código C hacia código C++</td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rediseño de todas las clases y algoritmos del programa.</td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Reprogramación de todas las rutinas como funciones miembros de las clases (programación orientada a objetos y eventos)</td> <td></td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Implementación del sistema de layers para mover los componentes y actualización de interfaz gráfica de usuarios para funcionar en ese sentido</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Optimización de método para importación de archivos DXFs (para ampliar la funcionalidad de importación)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Presentación de resultados por pares fuentes-receptor. Preparación de artículos científicos</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> </tr> <tr> <td>Pruebas de "debugging"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> </tr> <tr> <td>Manual técnico</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> </tr> <tr> <td>Manual de usuario</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> <td align="center">X</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> - Justificación del equipo requerido Para desarrollar el presente Proyecto de investigación se requiere de un equipo de desarrollo, el cual se encargaría de producir una aplicación, en la cual estén implementados todos los algoritmos optimizados para simulación de la propagación de la onda acústica. El equipo de desarrollo estaría conformado por tres personas: el director del Proyecto (responsable de aspectos de coordinación y fundamentación teórica y científica), un docente colaborador (experto en ingeniería de software, responsable de la metodología y dirección del proceso de desarrollo) y un asistente de investigación a tiempo completo (responsable de la programación y desarrollo de todos los productos de software). 	Actividad	MESES						1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	Levantamiento de información previa para el desarrollo de la aplicación.	X						Definición de metodología de desarrollo.	X	X					Actualización de IDE (Integrated Development Environment) hacia uno más reciente		X					Actualización de código C hacia código C++		X	X				Rediseño de todas las clases y algoritmos del programa.		X	X	X			Reprogramación de todas las rutinas como funciones miembros de las clases (programación orientada a objetos y eventos)			X	X			Implementación del sistema de layers para mover los componentes y actualización de interfaz gráfica de usuarios para funcionar en ese sentido				X	X		Optimización de método para importación de archivos DXFs (para ampliar la funcionalidad de importación)				X	X		Presentación de resultados por pares fuentes-receptor. Preparación de artículos científicos					X	X	Pruebas de "debugging"					X	X	Manual técnico				X	X	X	Manual de usuario				X	X	X
Actividad	MESES																																																																																																	
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12																																																																																												
Levantamiento de información previa para el desarrollo de la aplicación.	X																																																																																																	
Definición de metodología de desarrollo.	X	X																																																																																																
Actualización de IDE (Integrated Development Environment) hacia uno más reciente		X																																																																																																
Actualización de código C hacia código C++		X	X																																																																																															
Rediseño de todas las clases y algoritmos del programa.		X	X	X																																																																																														
Reprogramación de todas las rutinas como funciones miembros de las clases (programación orientada a objetos y eventos)			X	X																																																																																														
Implementación del sistema de layers para mover los componentes y actualización de interfaz gráfica de usuarios para funcionar en ese sentido				X	X																																																																																													
Optimización de método para importación de archivos DXFs (para ampliar la funcionalidad de importación)				X	X																																																																																													
Presentación de resultados por pares fuentes-receptor. Preparación de artículos científicos					X	X																																																																																												
Pruebas de "debugging"					X	X																																																																																												
Manual técnico				X	X	X																																																																																												
Manual de usuario				X	X	X																																																																																												
6	Fecha de inicio																																																																																																	
	Tan pronto se cuente con la aprobación de las autoridades pertinentes.																																																																																																	
7	Tiempo dedicación docentes, infraestructura, equipamientos y fondos adicionales.																																																																																																	
	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempos de dedicación semestral del Director de Proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores. Director del Proyecto: 200 horas por semestre. Profesor colaborador: 100 horas por semestre. Asistente de investigación: 40 horas por semana - Infraestructura y equipos disponibles para la ejecución del Proyecto Se requieren de 3 computadores con acceso a Internet asignados exclusivamente al desarrollo del Proyecto los cuales se entiende serán suministrados por el DICC. 																																																																																																	

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CONSEJO ACADÉMICO**

- 6 -

8	Presupuesto estimado para la ejecución del presente Proyecto	
	Se recomienda que los costos de los equipos, reactivos y materiales de laboratorio, <u>estén sustentados con proformas actuales</u>	
	Lista de ítems (por favor especifique)	Cantidad solicitada (US \$)
	1. Contratación de 1 asistente de investigación (programador)	
	Subtotal	5000,00
	TOTAL (hasta US\$ 5.000,00 más IVA)	5000,00
9	Firma del aplicante	Lugar y Fecha
	 Nombre: Dr. José Francisco Lucio Naranjo CC: 1707211742	Quito, 16 de enero de 2015
DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO		
Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento de Informática y Ciencias de la Computación, en Sesión del 19 de enero de 2015 mediante Resolución No. 1 y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.		
	 JEFE DEL DEPARTAMENTO Nombre: Ing. Bolívar Palán, M.Sc. CC: 1801097427	Quito, 19 de enero de 2015 (lugar y fecha)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

CONSEJO ACADÉMICO

- 8 -

Anexo 1: Descripción del Proyecto

El Proyecto se divide en las etapas descritas en el cronograma de actividades.

- Levantamiento de información previa para el desarrollo de la aplicación. Esta etapa se refiere al levantamiento bibliográfico sobre el asunto que será desarrollado en este Proyecto.
- Definición de metodología de desarrollo. En esta etapa escogerá una metodología de ingeniería de software que agilite y optimice todo el proceso de desarrollo.
- Actualización de IDE (Integrated Development Environment) hacia uno más reciente. En esta etapa se analizará cual es el IDE más conveniente para el desarrollo de la aplicación; se lo obtendrá para que todos los miembros del equipo puedan tener un mejor desempeño laboral y se facilite el desarrollo del código.
- Actualización de código C hacia código C++. En esta etapa, se realizará el análisis previo del código provisto, para ser actualizado.
- Rediseño de todas las clases y algoritmos del programa. Como su descripción lo indica, en esta etapa se estandarizará el código del programa y se lo hará más entendible para próximos usuarios.
- Reprogramación de todas las rutinas como funciones miembros de las clases (programación orientada a objetos y eventos). Con esta etapa se busca disminuir el tiempo de ejecución del programa y proveer de código genérico para realizar otros procesos.
- Implementación del sistema de capas para manipulación de componentes y actualización de interfaz gráfica de usuarios para funcionar en ese sentido haciéndolo más eficiente y amigable.
- Optimización de método para importación de archivos DXFs (para ampliar la funcionalidad de importación): para que aproveche un mayor número de características existentes en archivos DXFs .
- Presentación de resultados por pares fuentes-receptor. Con esta tarea se desea dotar al programa de mayor la emisión desde distintas fuentes hacia un receptor y captar su comportamiento.
- Pruebas de "debugging".
- Manual técnico
- Manual de usuario

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

CONSEJO ACADÉMICO

- 9 -

Anexo 2: Metodología y diseño de la investigación

En la década de 1960, el modelado computacional fue propuesto como una alternativa para hacer frente a problemas de acústica de salas [2]. A partir de entonces, el aumento gradual de la capacidad de memoria y procesamiento de los computadores, junto con la introducción de algoritmos híbridos, lograron convertir a los simuladores numéricos de acústica de salas en opciones más atractivas, precisas y baratas. La inter-comparación entre simuladores acústicos, llevada a cabo durante las pruebas conocidas como Round Robin (RR) [3,4,5,6] presentó pruebas de la razonable confiabilidad que algunas aplicaciones han alcanzado, así como de sus limitaciones.

Hay varios métodos para el modelado de la propagación de la onda acústica. Entre tales técnicas se encuentran el método de elementos finitos (FEM) y el método de Elementos de Contorno (BEM) [7,8]. Sin embargo, en lo que se refiere a recintos acústicos, propagación del sonido en un campo libre y aurilización, la gran mayoría de los simuladores se basan en los principios de la acústica geométrica [9], i.e. la representación del campo acústico por medio de rayos que almacenan el espectro de energía, tiempo y dirección de propagación de los frentes de onda. Una simulación exitosa requiere además del modelado de los principales fenómenos de propagación del sonido (reflexión, absorción, difusión, etc. atenuación), la representación de las superficies de contorno del medio ambiente considerado, así como modelos de fuentes de sonido y receptores (o micrófonos). Para ello, existen diferentes técnicas, entre las que se puede mencionar el método de trazado de rayos [10], el método de las imágenes virtuales [11], el método de trazado de conos o pirámides [12], el método de distribución de camino libre [13] y el método transición de energía [14,15]. Sin embargo, dado que estas técnicas tienden a favorecer el modelado de una cierta parte del fenómeno de propagación, para lograr una representación más realista del comportamiento acústico, se requiere la hibridación de dos o más de las técnicas antes mencionadas.

La naturaleza energética de los algoritmos utilizados, evidentemente, conduce a los simuladores a proporcionar resultados en la forma de respuestas impulsivas energéticas (RIEs). No obstante, a pesar de tal presentación, es posible determinar, entre otros resultados, la curva de decaimiento y el nivel presión sonora [16], así como una serie de parámetros de calidad acústica, tales como: T30 (tiempo de reverberación); EDT (tiempo de decaimiento temprano); D50 (definición a 50 ms); C80 (claridad a 80 ms); Ts (tiempo central); G (factor de ganancia); LF (fracción de energía lateral); LFC (coseno de la fracción de la energía lateral); LG (ganancia lateral) y STI (factor de soporte) [17, 18].

El código computacional RAIOS logró uno de los mejores resultados en el último Proyecto de inter-comparación internacional de software de simulación acústica de recintos, organizado por el instituto alemán de metrología PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) [19,20]. El mencionado código RAIOS utiliza un modelo híbrido para generar la respuesta impulsiva energética (RIE) de una habitación para un dado par fuente-receptor. Dicho modelo está compuesto por dos métodos: trazado de rayos modificado y transición de energía. El método de trazado de rayos modificado se utiliza para representar el sonido directo y las primeras reflexiones sobre las superficies, mientras que el método de transición de energía tiene como objetivo modelar la difusión del sonido en el medio ambiente, teniendo así una mayor influencia sobre la cola reverberante de la RIE. El output de la rutina de simulación de la propagación de la onda está conformado por un conjunto de rayos captados por el receptor considerado. Estos datos, además de permitir el cálculo de los parámetros de calidad acústica, antes mencionados, contienen la información de dirección de llegada, espectro energético por banda de octava y el tiempo de llegada de cada frente de onda incidente en el receptor. En una simulación de alta precisión, aproximadamente 10^5 frentes de onda consiguen alcanzar el receptor.

El Proyecto plantea la revisión de los principales algoritmos implementados en el programa RAIOS para realizar un análisis de su implementación y un levantamiento de su complejidad computacional. En seguida, se espera aplicar diversas técnicas algorítmicas (divide y vencerás, algoritmos voraces, recursive backtracking, programación dinámica, etc.) [21] para aumentar la eficiencia de los mismos.

En este estudio está previsto realizar una serie de pruebas para validar la precisión y reducción de la complejidad computacional de los nuevos algoritmos. Entre tales pruebas, se consideran realizar experimentos comparativos de eficiencia entre los algoritmos que se obtengan en este trabajo y los implementados en el código computacional RAIOS.

En resumen, se producirán nuevos y eficientes algoritmos para simulación acústica. En seguida, un recinto será simulado tanto en el programa que se genere en este estudio como en el código computacional RAIOS, para algunos pares de fuente-receptor. Con toda esta información se procederá a las comparaciones numéricas.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CONSEJO ACADÉMICO

- 10 -

Referencias Bibliográficas

- [1] Modelagem Computacional, tomado de http://pt.wikipedia.org/wiki/Modelagem_computacional el 10 de noviembre de 2014.
- [2] M.R. Schroeder, B.S. Atal and C. Bird. Digital computers in room acoustics. Proceedings of 4th International Congress on Acoustics, Copenhagen, 1962.
- [3] M. Vorländer. International Round Robin on room acoustical computer simulation. Proceedings of 5th International Congress on Acoustics, Trondheim, 1995.
- [4] I. Bork. A comparison for room simulation software: The 2nd Round Robin on room acoustical computer simulation. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 84, 943, 2000.
- [5] I. Bork. Report on the 3rd Round Robin on room acoustical computer simulation: Part I – Measurements. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 91(4), 740, 2005.
- [6] I. Bork. Report on the 3rd Round Robin on room acoustical computer simulation: Part II – Calculations. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 91(4), 750, 2005.
- [7] M. Aretz. Modelling of the mutual coupling of airborne sound with plate structures for room acoustics FEM simulations. Dissertação de Mestrado, RWTH Aachen University, Germany, 2007.
- [8] T. Sakuma and Y. Yassuda. Fast multipole boundary elements method for large-scale steady-state sound field analysis – Part I: Setup and validation. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 88, 513, 2002.
- [9] H. Kuttruff. Room Acoustics. 5th Edition, Spoon Press, London, 2009.
- [10] J.J. Embrechts. Randomly traced sound ray techniques. Acustica. Vol. 51, 285–295, 1982.
- [11] S. Dance and B. Shield. The complete image-source method for the prediction of sound distribution in non-diffuse enclosed spaces. Journal of Sound and Vibration, Vol. 201(4), 473–489, 1977.
- [12] Farina. RAMSETE – a new pyramid tracer for medium and large scale acoustic problems. Proceedings of Euro-Noise 95 Conference, Lyon, 1995.
- [13] M. Vorländer. Room acoustical simulation algorithm based on free path distribution. Journal of Sound and Vibration, Vol. 232, 129–137, 2000.
- [14] E. Kruzins and F.R. Fricke. The prediction of sound fields in non-diffuse spaces by a ‘random walk’ approach. Journal of Sound and Vibration, Vol. 4(81), 549–564, 1982.
- [15] D. Alarcão, J.L.B. Coelho and R.A. Tenenbaum. On modeling of room acoustics by a sound energy transition approach. Proceedings of EEA Symposium on Architectural Acoustics, Madrid, 2000.
- [16] M.R. Schroeder. New method for measuring reverberation time. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 37(6), 1187–1188, 1965.
- [17] L. Beranek. Concert and Opera Halls: How They Sound. 1st Edition, Acoustical Society of America, Woodbury, 1996.
- [18] ISO3382. Acoustics - measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. 1997.
- [19] R.A. Tenenbaum, T.S. Camilo, J.C.B. Torres and S.N.Y. Gerges. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics with auralization: Part 1 – Theoretical and numerical aspects. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 29, N. 2, 211–221, ISSN 1678-5878, 2007.
- [20] R.A. Tenenbaum, T.S. Camilo, J.C.B. Torres and L.T. Stutz. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 2 – Validation of the computational code RAIOS 3. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 29, N. 2, 222–231, ISSN 1678-5878, 2007.
- [21] Cormen, et.al. Introduction to Algorithms, third Edition; The MIT press 2009