

**ВЛИЯНИЕ РЕВЕРБЕРАЦИИ НА ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОБЪЕКТОВ ЗВУКОВОЙ СЦЕНЫ**

Кольцова А.С., Цой Е.В.

*Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, 65029, Украина,
ГП “Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения”
ул. Бунина, 31, Одесса, 65025, Украина*

**THE INFLUENCE OF REVERBERATION ON THE SPATIAL CHARACTERISTICS
OF SOUND STAGE OBJECTS**

Koltsova A.S., Tsoy E.V.

*O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications
Kovalska st., 1, Odessa, 65029, Ukraine
SE “Ukrainian Research Institute of Radio and TV”
Bunin st., 31, Odessa, 65026, Ukraine*

Аннотация. Анализируется взаимосвязь пространственных характеристик звуковой сцены, используемых при субъективном оценивании материала программ звукового вещания, и объективных характеристик реверберационного процесса в закрытых помещениях.

Abstract. The relationship of the spatial characteristics of sound stage, which are used for subjective assessment of sound broadcasting programme material with the objective characteristics of reverberation process in closed environments is analyzed.

Введение

Субъективная экспертиза является обязательной процедурой оценки для всех звеньев звукозаписывающих и звуковоспроизводящих устройств, а также трактов звукового вещания [1]. Её результаты служат главным критерием оценки работы аппаратуры, обеспечивающей передачу и воспроизведение звуковой информации как музыкального, так и речевого характера.

При проведении экспертиз тестовые программы должны включать такие фрагменты как музыкальные произведения в исполнении симфонического оркестра, рояля, скрипки, виолончели, сольного пения с инструментальным сопровождением, джазового оркестра [1]. Как видим, перечисленные фрагменты соответствуют звуковому материалу типовой аудиопрограммы, которому присуще звучание нескольких источников с различным пространственным расположением. Кроме того, своё влияние оказывают имеющиеся отражённые звуковые волны от поверхностей помещения (студии или концертного зала), а также внесённые искусственные звуковые эффекты.

Технику звуковоспроизведения также следует принимать во внимание. Как известно, в настоящее время происходит активное развитие систем многоканального звуковоспроизведения, которые позволяют достичь эффект «объёмного звука» и ощущение у слушателя присутствия при звуковом событии. Следовательно, решается задача как можно более точного воспроизведения направления на источник звука, а также создания у слушателя ощущения того, насколько удалён от него источник звука, и каковы размеры источника.

В процессе оценивания подобного «сложного» аудиоматериала эксперты используют понятие звуковой сцены для обозначения пространственного восприятия слушателем воспроизводимого звукового сигнала [2, 3].

При оценивании описанного выше материала типовой аудиопрограммы, звуковая сцена становится весьма сложной, и её довольно трудно описать. Суждения о признаках, характери-

зующих звуковую сцену, таких как, например, ширина источника звука, становятся неоднозначными (имеется ли в виду ширина всей сцены или отдельных источников в её составе).

В связи с этим определение и описание пространственных характеристик как звуковой сцены в целом, так и её отдельных объектов стало актуальной задачей. Не менее важной является и задача определения степени зависимости таких характеристик от объективных характеристик звуковых сигналов и акустических свойств студийных помещений и помещений прослушивания.

Классификация пространственных характеристик объектов звуковой сцены

Значительный интерес вызывает подход к определению пространственных характеристик, соответствующий принципу «привязки к звуковой сцене» (scene – basic principle) [2]. Этот принцип предполагает, что объекты воспроизводимой звуковой сцены группируются согласно их функциям на нескольких соответствующих уровнях.

Пояснить этот принцип можно с помощью примера, показанного на рис. 1 [2]. Здесь несколько отдельных источников (это могут быть, например, разные музыкальные инструменты) расположено в ограниченном пространстве. Как правило, при записи звука происходит их панорамирование, или, иными словами, они располагаются в определённых точках сцены, создавая стереофонический образ. Источники, которые формируют такой образ, могут быть сгруппированы слушателем в единый объект сцены, который можно классифицировать как “ансамбль”. Макро-объект сцены, названный “ансамблем”, может быть воспринят как имеющий собственные пространственные характеристики, такие как пространственное расположение, ширина, глубина и расстояние до слушателя [2].

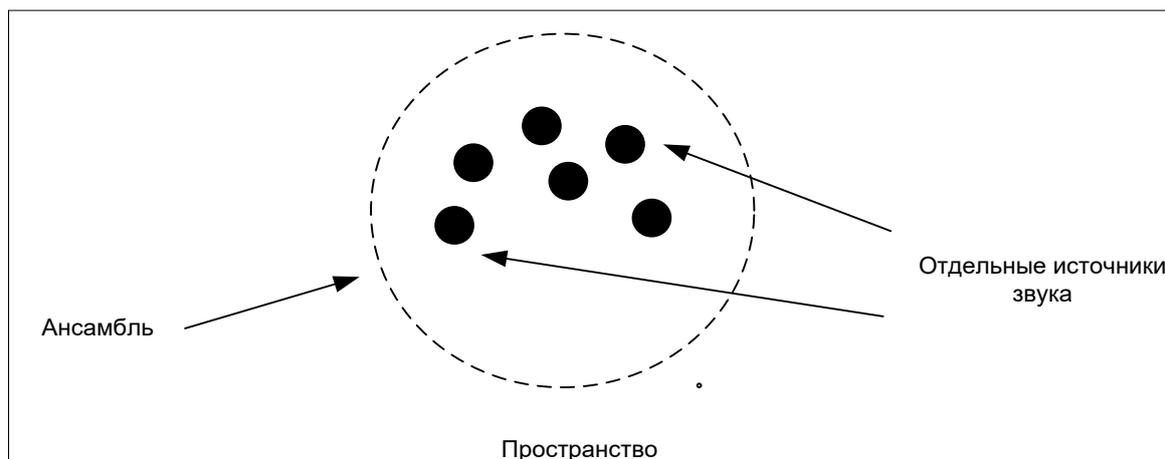


Рисунок 1 – Объекты звуковой сцены

Кроме того, отдельные источники в составе ансамбля могут восприниматься как имеющие свои собственные расположение, ширину, и, возможно, глубину.

Таким образом, предлагается разделить пространственные характеристики звуковой сцены на микро- и макрохарактеристики: микрохарактеристики используются для описания свойств отдельных источников звука в составе сцены, а макрохарактеристики – для описания сцены в целом или группы источников в ней [2]. Восприятие звуковой сцены в целом складывается из восприятия окружающего звукового пространства (как правило, сформированного совокупностью ранних отражений и реверберационного фона), в котором располагаются группы источников, содержащие, в свою очередь, отдельные источники.

Причина, по которой предложен такой подход разделения на макро- и микрохарактеристики звуковой сцены, состоит в том, чтобы устранить ряд трудностей при оценке звучания, которые наблюдались в процессе проведения субъективных экспертиз. Эти трудности возникают из-за использования сложного исходного звукового материала при недостаточно исчерпывающем определении субъективных характеристик звучания и объектов сцены, к которым

относятся эти характеристики. Если слушатели должны четко идентифицировать и оценивать характеристики звучания, то нужна ясность в их определении. Такая ясность также поможет установить более точные соотношения между объективными физическими характеристиками звукового поля и субъективными, используемыми для описания восприятия.

При оценивании качества звучания, удобно разделить субъективные пространственные характеристики звуковой сцены на такие, которые связаны с восприятием размеров источников звука, а также окружающего звукового пространства (ширина, глубина), и характеристики, связанные с ощущением окружения слушателя воспроизводимым звуком.

Так, группа характеристик, которые описывают восприятие размеров объектов сцены, может быть классифицирована в соответствии с табл. 1 и рис. 2 [2]:

Таблица 1 – Классификация пространственных характеристик, описывающих восприятие размеров объектов звуковой сцены

Характеристика	Определение
Микроуровень	
Ширина отдельного источника	Воспринимаемая поперечная протяженность отдельного источника звука в составе сцены
Расстояние до отдельного источника	Дистанция между слушателем и воспринимаемым местоположением источника звука
Глубина отдельного источника	Воспринимаемый размер “фронт-тыл” отдельного источника звука в составе сцены
Макроуровень	
Ширина ансамбля	Общая ширина некоторой группы источников звука (или всех источников в составе сцены)
Расстояние до ансамбля	Дистанция между слушателем и воспринимаемой средней точкой ансамбля
Глубина ансамбля	Воспринимаемый продольный размер “фронт-тыл” группы источников звука
Ширина пространства	Воспринимаемая ширина звукового пространства, в котором расположены отдельные источники
Глубина пространства	Воспринимаемая глубина звукового пространства, в котором размещены источники
Ширина сцены	Воспринимаемая общая или полная ширина всей звуковой сцены
Глубина сцены	Ощущение перспективы в воспроизводимой звуковой сцене

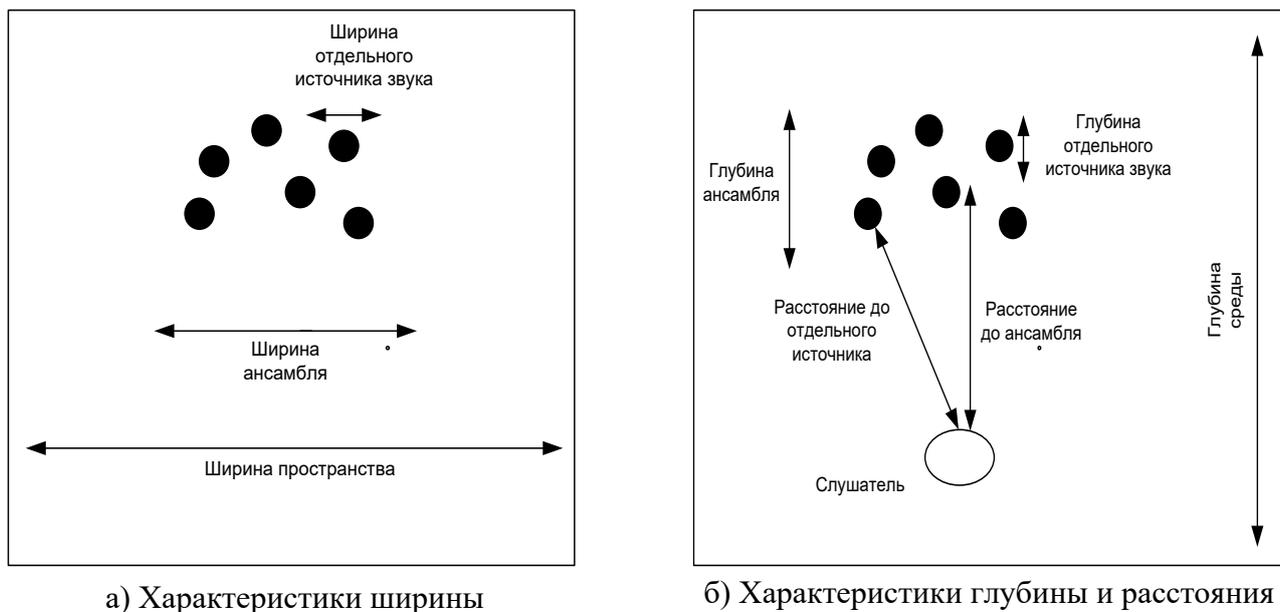


Рисунок 2 – Характеристики, описывающие восприятие размеров объектов звуковой сцены

Говоря о субъективной оценке звучания с использованием указанных в табл. 1 характеристик, важно отметить, что не все они воспринимаются слушателем одинаково отчётливо, т.е. оценить некоторые из них для слушателя более затруднительно по сравнению с остальными. Так, например, кажущаяся ширина объектов сцены воспринимается более ощутимо, чем глубина. Это ведёт к так называемому эффекту «маскирования восприятия», состоящем в том, что у сильнее ощущаемых характеристик есть тенденция доминировать в общем суждении о качестве звучания; при этом вклад слабее ощущаемых характеристик практически отсутствует.

Отдельного внимания заслуживает ситуация, когда слушатели не могут оценить ширину источника или группы источников в воспроизводимой звуковой сцене в связи с тем, что они воспринимаются слушателями настолько широкими или расплывчатыми, что описываются ими как «охватывающие», «окружающие» либо «обёртывающие» [3]. Иными словами, в некоторых ситуациях характеристика, называемая шириной отдельного источника (табл. 1), переходит в другую, называемую обёртыванием (LEV – listener envelopment) или окружением [2, 3].

Описание характеристик, связанных с ощущением окружения слушателя звуком, приведено в табл. 2.

Как показали исследования [2], эффект присутствия и окружение звучанием, относящиеся к некоторому замкнутому пространству, не обязательно являются одним и тем же, несмотря на значительное сходство. Первая характеристика является предпосылкой для появления второй: если слушатель ощущает себя находящимся внутри пространства, то он сможет дать оценку его ширине и глубине и в большей или меньшей степени ощущать обёртывание реверберирующим звуком.

Связь объективных характеристик реверберационного процесса и пространственных характеристик объектов звуковой сцены

Задачу установления взаимосвязи объективных параметров, характеризующих акустические свойства различных помещений, и субъективных, используемых для оценки качества звучания музыки и речи в этих помещениях, на сегодняшний день нельзя считать окончательно решённой [3, 4].

Таблица 2 – Определение характеристик окружения слушателя воспроизводимым звуком

Характеристика	Определение
Окружение слушателя звучанием отдельного источника	Ощущение охвата звучанием одного источника
Окружение слушателя звучанием ансамбля источников	Ощущение охвата звучанием группы источников
Окружение слушателя пространственным звучанием	Ощущение охвата реверберирующим или фоновым звуком
Эффект присутствия	Ощущение присутствия в (ограниченном) пространстве

Как известно из исследований акустики концертных залов, впечатление, возникающее у слушателя, определяется характером реверберационного процесса в помещении. К основным объективным параметрам реверберационного процесса относятся [3 – 5]:

- время стандартной реверберации T_r ;
- энергия раннего звука, представляющего собой совокупность прямого звука и отражённых звуковых волн, поступивших в течение первых 80 мс после поступления прямого звука;
- энергия реверберирующего звука, определяемая как общая звуковая энергия отражённых звуковых волн, которые достигают слушателя после 80 мс;
- акустическое отношение – отношение плотности энергии отраженных звуковых волн к плотности энергии прямого звука.

Рассматривая пространственные характеристики объектов звуковой сцены нельзя исключать влияние такой характеристики как коэффициент внутрислуховой кросс-корреляции, который определяется как коэффициент корреляции сигналов, поступающих к двум ушам. Коэффициент характеризует степень отличия указанных звуковых сигналов как по времени их поступления, так и по амплитуде. Этот параметр также рассматривают в контексте влияния реверберационного процесса на пространственные характеристики звучания, он определяет местоположение и протяжённость слуховых объектов [6].

Результаты многочисленных субъективных экспертиз [3 – 7] показали, что существует связь между некоторыми пространственными характеристиками объектов звуковой сцены и характеристиками реверберационного процесса. На основании анализа полученных результатов можно судить о степени влияния реверберации на некоторые субъективные пространственные характеристики звучания в закрытых помещениях.

Результаты анализа взаимосвязи параметров реверберационного процесса и пространственных характеристик звучания, используемых при субъективном оценивании звучания, можно представить в виде табл. 3.

В целом можно отметить, что характеристики, используемые для субъективной оценки качества передачи звукового пространства, подвержены влиянию реверберационного процесса в разной степени. В табл. 3 указаны пространственные характеристики, которые в наибольшей степени зависимы от характера реверберационного процесса.

Таблица 3 – Взаимосвязь пространственных характеристик объектов звуковой сцены и характеристик реверберационного процесса

Характеристики	
Субъективные	Объективные
Микроуровень	
Ширина отдельного источника и его локализация	Уровень и разность времени поступления прямого и первых отражённых от боковых стен помещения звуков. Коэффициент внутрислуховой кросс-корреляции
Макроуровень	
Ширина звукового пространства	Время реверберации T_p ; Структура первых отражений и время их запаздывания относительно прямого звука и друг друга. Коэффициент внутрислуховой кросс-корреляции
Глубина пространства	Время реверберации T_p ; Структура первых отражений и время их запаздывания относительно прямого звука и друг друга. Величина акустического отношения
Окружение слушателя пространственным звуком	Время реверберации T_p ; Энергия позднего реверберирующего звука, приходящего из разных направлений

Заключение

Определение субъективных характеристик звучания заслуживает значительного внимания, поскольку в процессе экспертиз слушатели должны дать однозначные оценки звуковому материалу на основе своих впечатлений. Поэтому задача организаторов субъективно-статистических экспертиз по оцениванию качества звукового материала вещательных программ – предложить исчерпывающий список характеристик, которые составляют общее суждение о качестве звука.

Отдельной задачей является установление взаимосвязи между объективными параметрами, которые характеризуют звуковой сигнал или акустические свойства помещения, в котором этот сигнал воспроизводится, и субъективной оценкой звучания, что позволит обеспечить звукоинженерам своего рода “обратную связь”, позволяющую регулировать качество звучания при изменении характеристик сигналов или методов их записи и обработки. Интерес прежде всего представляет исследование степени влияния на пространственные характеристики звуковой сцены и ее объектов показателей реверберационного процесса в помещениях, предназначенных для исполнения и прослушивания звукового материала.

В рамках данной работы проведён анализ влияния показателей реверберационного процесса на ряд характеристик, которые используются для описания воспроизведения звукового пространства. Анализировались как пространственные макрохарактеристики звуковой сцены (используемые для описания сцены в целом или группы объектов в ней), так и микрохарактеристики (используемых для описания отдельных источников звука в составе сцены). Для каждой из характеристик определялось, какие из основных показателей реверберационного про-

цесса оказывают наибольшее влияние на оценку данной характеристики слушателем. Отличительным является тот факт, что традиционная акустическая характеристика закрытых помещений – время стандартной реверберации T_p на разных частотах не является в данном контексте исчерпывающей, поскольку оказывает свое влияние преимущественно на макроуровне (табл. 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алдошина И.А. Акустическая метрология. Часть 7. Организация субъективных экспертиз акустической аппаратуры. / И.А. Алдошина // "Install Pro", № 1. – 2003. – С. 62–66.
2. Rumsey F. Spatial quality evaluation for reproduced sound: terminology, meaning and a scene-based paradigm / Francis Rumsey // Journal Audio Engineering Society, vol. 50, No 9. – September 2002. – С. 655–664.
3. Алдошина И.А. Субъективные критерии оценки акустики помещений / И.А. Алдошина // Звуко-режиссёр, № 10. – 2000.
4. Акустика: Справочник / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров; Под ред. М.А. Сапожкова – М.: Радио и связь, 1989 – 336 с.
5. Ефимов А.П. Три взгляда на акустику помещений / А.П. Ефимов. – М.: МТУСИ, 1995. – 45 с.
6. Блауэрт Й. Пространственный слух: Пер. с нем. / Йенс Блауэрт. – М.: Энергия, 1979. – 224 с.
7. Ковалгин Ю. А. Акустические основы стереофонии / Ю. А. Ковалгин, А. В. Борисенко, Г. С. Гензель. – М.: Связь, 1978. – 337 с.

REFERENCES

1. Aldoshina I.A. Akusticheskaya metrologiya. Chast 7. Organizatsiya sub'ektivnyih ekspertiz akusticheskoy apparatury. / I.A. Aldoshina // "Install Pro", # 1. – 2003. – S. 62–66.
2. Rumsey F. Spatial quality evaluation for reproduced sound: terminology, meaning and a scene-based paradigm / Francis Rumsey // Journal Audio Engineering Society, vol. 50, No 9. – September 2002. – S. 655–664.
3. Aldoshina I.A. Sub'ektivnyie kriterii otsenki akustiki pomescheniy / I.A. Aldoshina // Zvu-korezhissYor, # 10. – 2000.
4. Akustika: Spravochnik / A.P. Efimov, A.V. Nikonov, M.A. Sapozhkov, V.I. Shorov; Pod red. M.A. Sapozhkova – M.: Radio i svyaz, 1989 – 336 s.
5. Efimov A.P. Tri vzglyada na akustiku pomescheniy / A.P. Efimov. – M.: MTUSI, 1995. – 45 s.
6. Blauert Y. Prostranstvennyiy sluh: Per. s nem. / Yens Blauert. – M.: Energiya, 1979. – 224 s.
7. Kovalgin Yu. A. Akusticheskie osnovy stereofonii / Yu. A. Kovalgin, A. V. Borisenko, G. S. Genzel. – M.: Svyaz, 1978. – 337 s.