

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Гусев Михаил Николаевич

Пахомов Михаил Олегович

Рожнов Виктор Сергеевич

LG Electronics Inc., Санкт-Петербург

mikhail.gusev@lge.com

POSITIONING OF VIRTUAL SOURCES

M. Gusev
M. Pahomov
V. Rozhnov

Summary. In this paper describes the formation of virtual sound sources with a given direction to the source. Virtual sources are formed using a sound system consisting of 5 speakers. The placement of the speakers is determined by the sounded space and can differ from the classical "trapezoid" arrangement. A positioning algorithm is provided preservation of the volume of the source when it rotates around of the listener. The results of an expert assessment of the accuracy of sound source positioning are presented, which confirm the effectiveness of the algorithm developed by the authors.

Keywords: spatial audio, virtual sound source, alarm formation

Аннотация. В статье рассматривается формирование виртуальных источников звука с заданным направлением на источник. Виртуальные источники формируются с помощью звуковой системы, состоящей из 5 динамиков. Расстановка динамиков определяется озвучиваемым пространством и может отличаться от классической схемы расстановки «трапеция». Предлагается алгоритм позиционирования, обеспечивающий сохранение громкости источника при вращении его относительно слушателя. Приводятся результаты экспертной оценки точности позиционирования источника звука, подтверждающие эффективность разработанного авторами алгоритма.

Ключевые слова: пространственный звук, виртуальный источник звука, формирование сигналов тревоги.

В середине XX века качество звучания монофонических систем перестало удовлетворять слушателей. Это привело к созданию и распространению многоканальных систем звуковоспроизведения. Первые многоканальные системы были стереофоническими - двухканальными. Сегодня стерео является одним из основных форматов звуковоспроизведения.

Уже сейчас многие компании предлагают переходить на использование многоканальных форматов звуковоспроизведения, утверждая, что стерео – отживший формат, т.к. с его помощью получить реальную трехмерную картину практически невозможно [1]. Это обусловлено тем, что стереофонические системы создают эффект пространственного звучания за счет синтеза виртуальных источников звука, расположенных между двумя динамиками (рисунок 1). Звуковая панорама, создаваемая стереофонической системой, получается плоской. Кроме того, она ограничена углом между направлениями на динамики.

Использование многоканальных форматов воспроизведения звука позволяет максимально приблизиться к передаче естественного звукового окружения.

Одним из основных многоканальных форматов является формат 5.1 – он поддерживается основными разработчиками и производителями, а также является частью

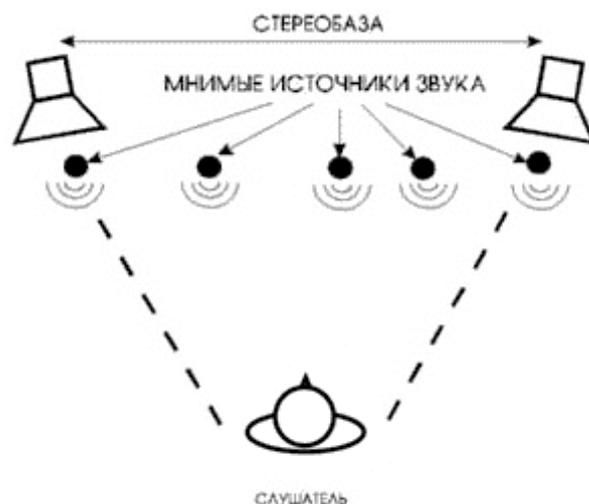


Рис. 1. Формирование виртуальных источников звука стереофонической системой

спецификаций наиболее перспективных технологий. Сочетание цифр «5.1» указывает на количество звуковых каналов и означает, что используется пять каналов с полным частотным диапазоном (левый передний, центральный, правый передний, левый задний и правый задний), а также один низкочастотный канал (с диапазоном от 3 до 120 Гц), подключаемый к сабвуферу.

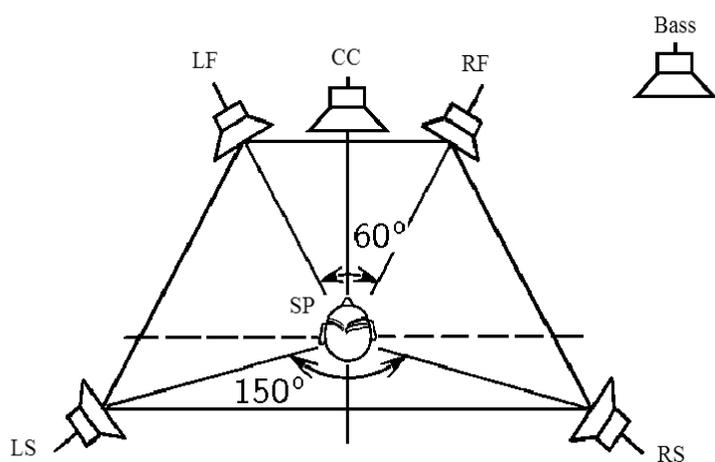


Рис. 2. Схема расстановки динамиков «трапеция»

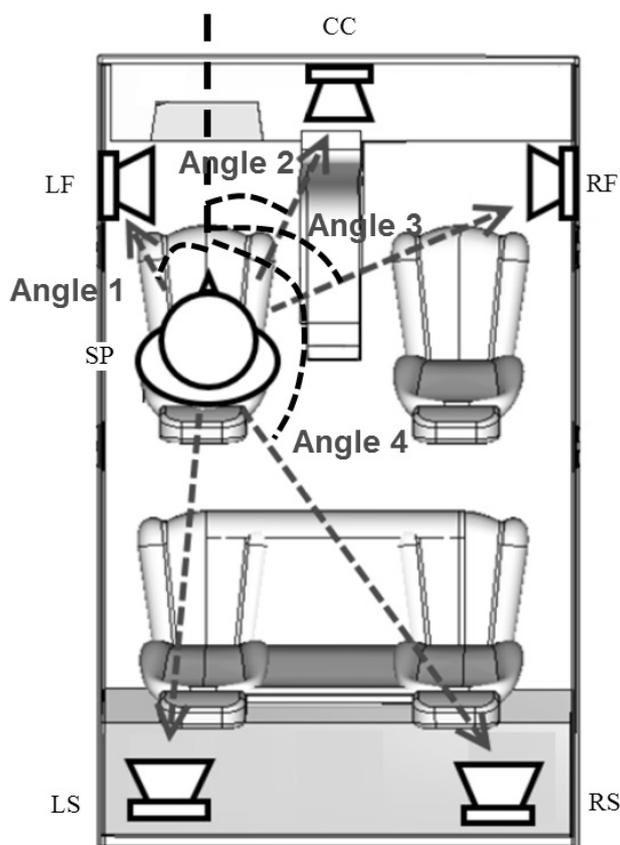


Рис. 3. Пример расположения динамиков в салоне автомобиля

Цель работы

В данной работе мы рассматриваем генерацию сигналов тревоги в системе 5.1, воспроизводимых пользователю с направления на потенциальный источник опасности для привлечения к нему внимания. При этом

расстановка динамиков может отличаться от стандартной расстановки в соответствии со схемой «трапеция» [2] (рис. 2) и определяться конструктивными особенностями озвучиваемого помещения (например, салона автомобиля, рис. 3). Кроме того, в генерации сигнала тревоги не используется низкочастотный канал.

Таблица 1.

Имя точки	Расстояние, м	Угол, град	Громкость, дБ
	Имя значение		
Передний левый динамик (Front left, LF)	lfDistance	lfAngle	lfVolume
Передний правый динамик (Front right, RF)	rfDistance	rfAngle	rfVolume
Центральный динамик (Center, CC)	ccDistance	ccAngle	ccVolume
Задний левый динамик (Rear left, LS)	lsDistance	lsAngle	lsVolume
Задний правый динамик (Rear right, RS)	rsDistance	rsAngle	rsVolume
Точка прослушивания (Human, SP)	spDistance	spAngle	

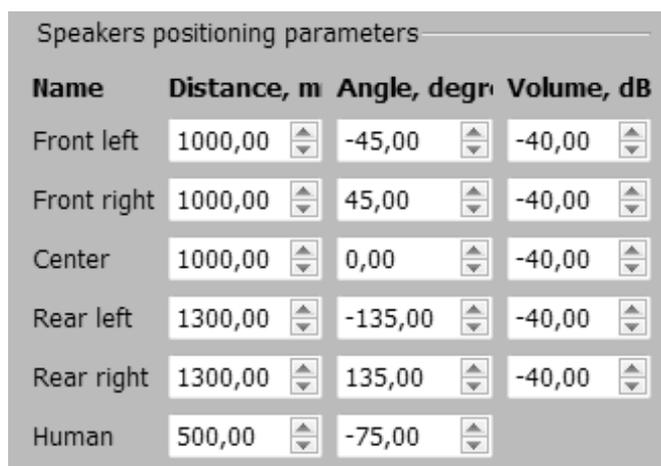
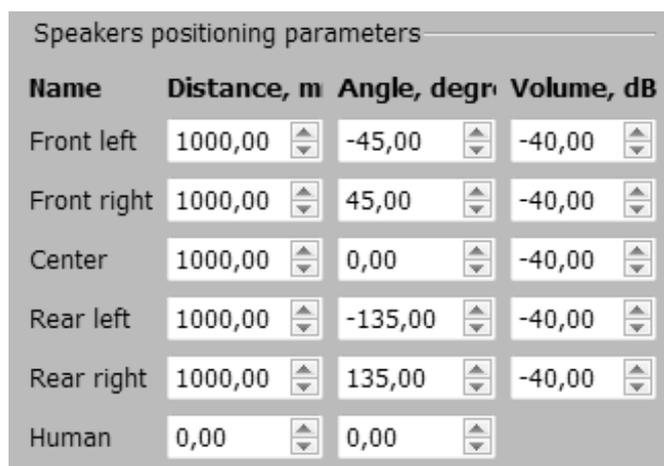


Рис. 4. Пример задания настроек расположения динамиков и слушателя

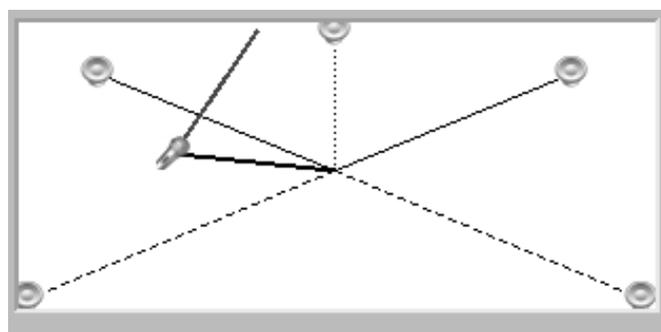
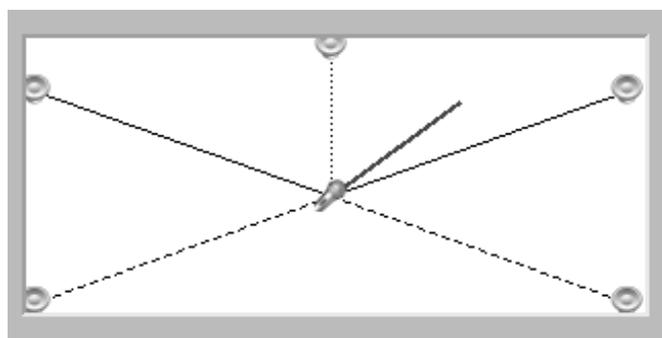


Рис. 5. Пример графического отображения схемы расположения

Исходные данные

Положения и громкость динамиков, а также положение слушателя задается таблицей 1:

Пример ввода настроек в разработанном программном обеспечении (ПО) представлен на рис. 4.

Также, в ПО предусмотрено графическое отображение заданной схемы расположения динамиков, слушате-

ля и направления на формируемый виртуальный источник звука (рис.5).

Пересчет угла, задаваемого в управляющей программе, в угол поворота виртуального источника, выполняется по формуле:

$$anglew = \frac{\pi * (angle + 90)}{360}$$

Для пересчета углов, задающих положение динамиков, используется формула:

$$anglePos(angle) = \begin{cases} \frac{2 * \pi * (90 - angle)}{360} & angle > 0 \\ \frac{\pi * (|angle| + 90)}{360} & angle \leq 0 \end{cases}$$

Координаты точек расположения динамиков определяются по формулам:

$$\begin{cases} x_{rf} = rfDistance * \cos(anglePos(rfAngle)) \\ y_{rf} = rfDistance * \sin(anglePos(rfAngle)) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{lf} = lfDistance * \cos(anglePos(lfAngle)) \\ y_{lf} = lfDistance * \sin(anglePos(lfAngle)) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{cc} = ccDistance * \cos(anglePos(ccAngle)) \\ y_{cc} = ccDistance * \sin(anglePos(ccAngle)) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{rs} = rsDistance * \cos(anglePos(rsAngle)) \\ y_{rs} = rsDistance * \sin(anglePos(rsAngle)) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{ls} = lsDistance * \cos(anglePos(lsAngle)) \\ y_{ls} = lsDistance * \sin(anglePos(lsAngle)) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_{sp} = spDistance * \cos(anglePos(spAngle)) \\ y_{sp} = spDistance * \sin(anglePos(spAngle)) \end{cases}$$

Расстояние до точки прослушивания и углы поворота спикеров относительно точки прослушивания пересчитываются по формулам:

$$\begin{cases} a_{rf} = x_{rf} - x_{sp} \\ b_{rf} = y_{rf} - y_{sp} \\ ofs_{rf} = \sqrt{a_{rf}^2 + b_{rf}^2} \\ rfAngle = \frac{180 * \operatorname{atan}\left(\frac{a_{rf}}{b_{rf}}\right)}{\pi} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{rs} = x_{rs} - x_{sp} \\ b_{rs} = y_{sp} - y_{rs} \\ ofs_{rs} = \sqrt{a_{rs}^2 + b_{rs}^2} \\ rsAngle = 90 + \frac{180 * \operatorname{atan}\left(\frac{a_{rs}}{b_{rs}}\right)}{\pi} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{cc} = x_{cc} - x_{sp} \\ b_{cc} = y_{cc} - y_{sp} \\ ofs_{cc} = \sqrt{a_{cc}^2 + b_{cc}^2} \\ ccAngle = \frac{180 * \operatorname{atan}\left(\frac{a_{rf}}{b_{rf}}\right)}{\pi} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{lf} = x_{sp} - x_{lf} \\ b_{lf} = y_{lf} - y_{sp} \\ ofs_{lf} = \sqrt{a_{lf}^2 + b_{lf}^2} \\ lfAngle = -\frac{180 * \operatorname{atan}\left(\frac{a_{rf}}{b_{rf}}\right)}{\pi} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{ls} = x_{sp} - x_{ls} \\ b_{ls} = y_{sp} - y_{ls} \\ ofs_{ls} = \sqrt{a_{lf}^2 + b_{lf}^2} \\ lsAngle = -90 - \frac{180 * \operatorname{atan}\left(\frac{a_{rf}}{b_{rf}}\right)}{\pi} \end{cases}$$

Обеспечение равной громкости

Для обеспечения равной громкости виртуального источника звука при вращении его относительно точки прослушивания необходимо обеспечить коррекцию амплитуды сигнала, формируемого динамики в соответствии с их удаленностью от точки прослушивания и разницей амплитуд сигналов, формируемых динамиками в равных условиях воспроизведения. Амплитуды сигналов, формируемых динамиками, определяются в результате калибровочных измерений, выполняемых следующим образом:

измерительный микрофон устанавливается на расстоянии одного метра от динамика на оси, соединяющей динамик и точкой прослушивания;

воспроизводится розовый шум в диапазоне частот от 100 Гц до 8кГц [3];

уровни воспроизведения и записи фиксируются;

выполняются замеры для всех динамиков;

уровень громкости определяется как средняя RMS амплитуда.

Для учета удаленности динамиков от точки прослушивания определяется расстояние от точки прослушивания до наиболее удаленного динамика:

$$ofs_{max} = \max(ofs_{rf}, ofs_{lf}, ofs_{cc}, ofs_{rs}, ofs_{ls}).$$

После этого корректирующие коэффициенты на амплитуду формируемого сигнала, определяемые различиями удаленности динамиков от точки прослушивания, вычисляются как:

Таблица 2

Сектора	Левый	Правый
Передний	$\alpha = \frac{\alpha - lfAngle}{ccAngle - lfAngle}$ $lfCoef = \cos(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{lf}$ $ccCoef = \sin(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{cc}$ $lsCoef = 0; rfCoef = 0; rsCoef = 0$	$\alpha = \frac{\alpha - ccAngle}{rfAngle - ccAngle}$ $ccCoef = \cos(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{cc}$ $rfCoef = \sin(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{rf}$ $lsCoef = 0; lfCoef = 0; rsCoef = 0$
Боковой	$\alpha = \frac{\alpha - lsAngle}{lfAngle - lsAngle}$ $lsCoef = \cos(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{ls}$ $lfCoef = \sin(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{lf}$ $ccCoef = 0; rfCoef = 0; rsCoef = 0$	$\alpha = \frac{\alpha - rfAngle}{rsAngle - rfAngle}$ $rfCoef = \cos(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{rf}$ $rsCoef = \sin(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{rs}$ $lsCoef = 0; lfCoef = 0; ccCoef = 0$
Задний	$\alpha = \frac{\alpha - lsAngle}{-360 + rsAngle - lsAngle}$ $rsCoef = \sin(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{rs}$ $lsCoef = \cos(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{ls}$ $lfCoef = 0; ccCoef = 0; rfCoef = 0$	$\alpha = \frac{\alpha - rsAngle}{360 - lsAngle - rsAngle}$ $rsCoef = \cos(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{rs}$ $lsCoef = \sin(0.5 * \alpha * \pi) * vol_{ls}$ $lfCoef = 0; ccCoef = 0; rfCoef = 0$

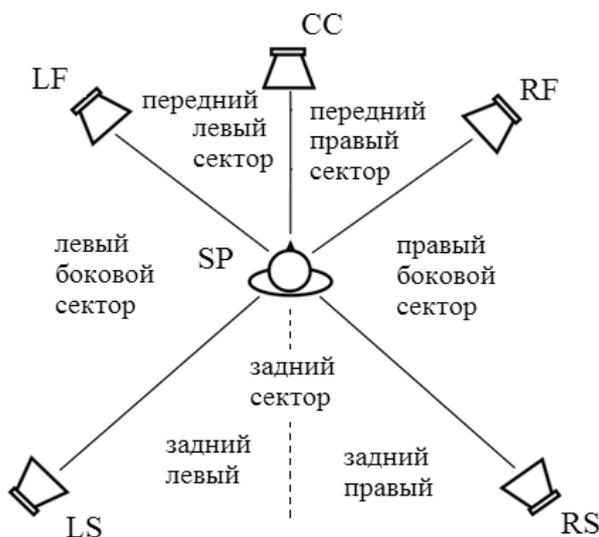


Рис. 6. Разбивка на сектора

$$vol_{rf} = \sqrt{\frac{ofs_{rf}}{ofs_{max}}}, \quad vol_{lf} = \sqrt{\frac{ofs_{lf}}{ofs_{max}}}, \quad vol_{cc} = \sqrt{\frac{ofs_{cc}}{ofs_{max}}},$$

$$vol_{rs} = \sqrt{\frac{ofs_{rs}}{ofs_{max}}}, \quad vol_{ls} = \sqrt{\frac{ofs_{ls}}{ofs_{max}}}$$

Для учета различий амплитуд сигналов, формируемых динамиками, измеренные в результате калибровочных измерений значения громкости динамиков (RMS) пересчитываются в значения амплитуд:

$$rfAmp = 10^{\frac{rfVolume}{20}}, lfAmp = 10^{\frac{lfVolume}{20}},$$

$$ccAmp = 10^{\frac{ccVolume}{20}}, rsAmp = 10^{\frac{rsVolume}{20}},$$

$$lsAmp = 10^{\frac{lsVolume}{20}}.$$

После чего находится минимальное значение амплитуды:

$$amp_{min} = \min(rfAmp, lfAmp, ccAmp, rsAmp, lsAmp)$$

В корректирующие коэффициенты амплитуд вносятся поправки, учитывающие различия громкости динамиков:

$$vol_{rf} = vol_{rf} * \sqrt{\frac{amp_{min}}{rfAmp}}, vol_{lf} = vol_{lf} * \sqrt{\frac{amp_{min}}{lfAmp}},$$

$$vol_{cc} = vol_{cc} * \sqrt{\frac{amp_{min}}{ccAmp}}, vol_{rs} = vol_{rs} * \sqrt{\frac{amp_{min}}{rsAmp}},$$

$$vol_{ls} = vol_{ls} * \sqrt{\frac{amp_{min}}{lsAmp}}.$$

Полученные значения корректирующих коэффициентов нормируются на значение максимального коэффициента.

Формирование виртуального источника звука

Виртуальный источник формируется звуком, воспроизводимым двумя динамиками, выбираемыми исходя из того, в какой сектор (рис. 6) попадает виртуальный источник звука. Разбивка на сектора определяется расположением динамиков и выбором точки прослушивания. На рисунке представлена схема разбивки на сектора.

Дополнительно задний сектор разбивается на два подсектора (рис. 6). Это связано с тем, что положение источника в левой полуплоскости задается отрицательным значением угла поворота, а в правой – положительным. В результате, при пересечении виртуальным

источником осевой линии за точкой прослушивания происходит разрыв в значениях угла поворота, который и учитывается разделением заднего сектора на подсектора.

Поворот виртуального источника звука выполняется за счет обеспечения соответствующей разницы уровней сигналов пары динамиков. Формулы для коэффициентов усиления сигналов, соответствующих динамикам, определяются сектором (таблица 2).

Таким образом, в один момент времени звучит не более двух динамиков. А если направление на виртуальный источник звука совпадает с направлением на реальный динамик, то звучит только один динамик.

Аудиторские испытания

Испытания проводились в специально оборудованном помещении с привлечением пяти экспертов по звуку. Звук позиционируемого виртуального источника формировался из монофонических записей двух сигналов: женского голоса и многотонального сигнала. Для каждого сигнала тестирование проводилось отдельно.

Тестирование показало, что на обоих тестовых сигналах направление на источник определяется с точностью до 15 градусов и уровень громкости источника при его вращении сохраняется.

Результаты проведенных испытаний позволяют говорить о возможности применения предложенного метода в системах формирования объемного звучания.

Благодарности

Авторы выражают благодарность заслуженному деятелю науки РФ, доктору технических наук, профессору кафедры радиосвязи и вещания СПбГУТ, Ковалгину Юрию Алексеевичу за ценные советы при планировании и проведении исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иллюстрированный самоучитель по Sonar / «Железо» для SONAR, http://fdstar.com/download/sonar_online/chapter%201/1.htm
2. Ковалгин Ю. А., Вологдин Э. И., Аудиотехника. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013
3. Кузнецов Роман, Методика измерений громкости активных колонок, IXBT.com, <https://www.ixbt.com/multimedia/spl.shtml>

© Гусев Михаил Николаевич, Пахомов Михаил Олегович,
Рожнов Виктор Сергеевич (mikhail.gusev@lge.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»