

Таким образом, как видно из приведенных расчетов, замена реальных контактных слоев эквивалентными плоскопараллельными может привести к появлению дополнительных погрешностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколинский А. Г., Сухаревский Ю. М. Магнито-ультразвуковые линии задержки. М., «Советское радио», 1966.
2. Шукин В. А., Яковлев Л. А. Влияние контактирующих слоев на точность измерения скорости звука в твердых телах. Акуст. ж., 1963, 9, 3, 390—392.
3. Крылов В. И. Приближенные вычисления интегралов. М., «Наука», 1967.
4. Хусу А. П., Вайтенберг Ю. Р., Пальмов В. А. Шероховатость поверхностей, теоретико-вероятностный подход. М., «Наука», 1975.

Таганрогский радиотехнический институт
им. В. Д. Калмыкова

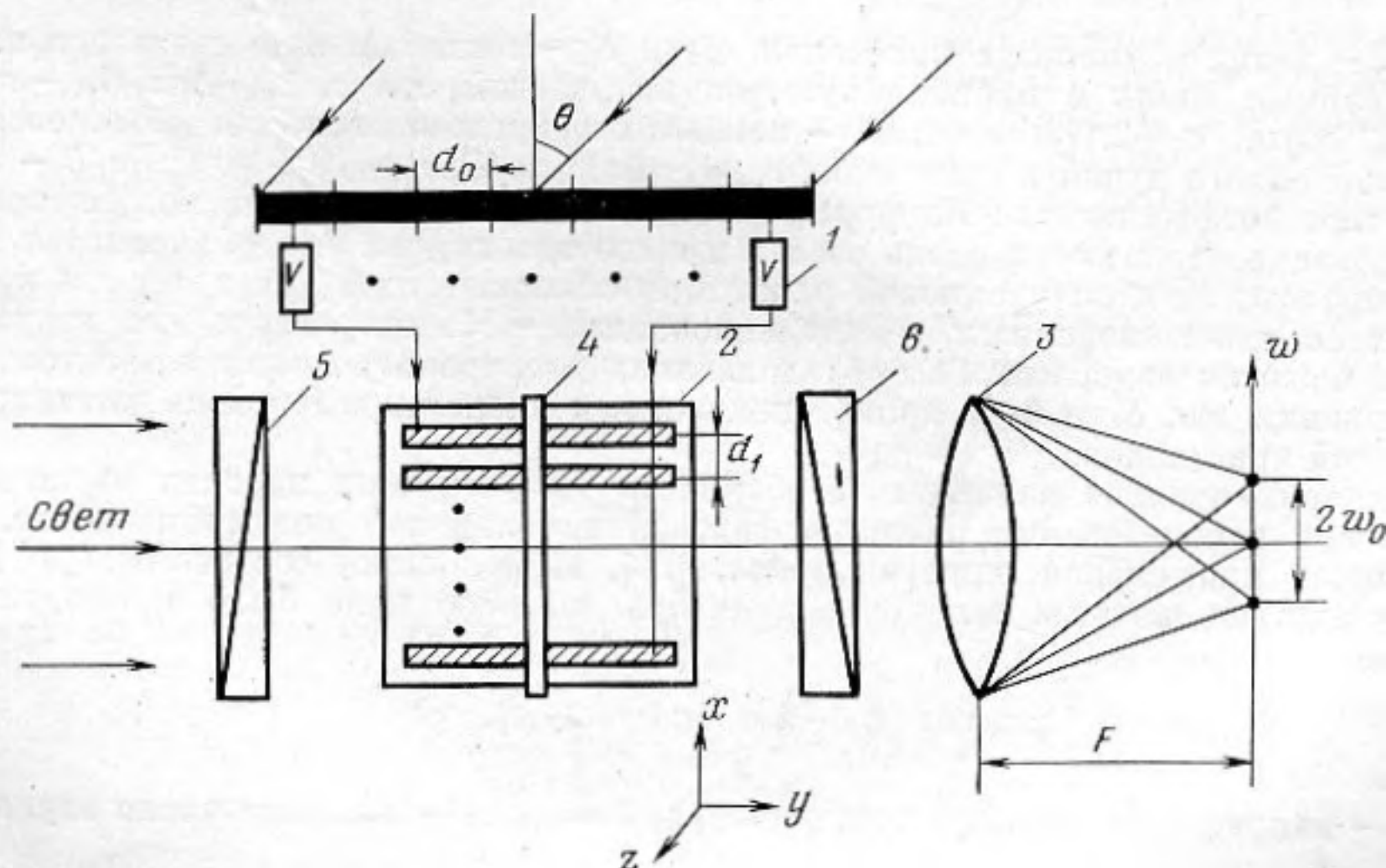
Поступила
10 апреля 1978 г.
После исправления
18 сентября 1978 г.

УДК 534.6

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

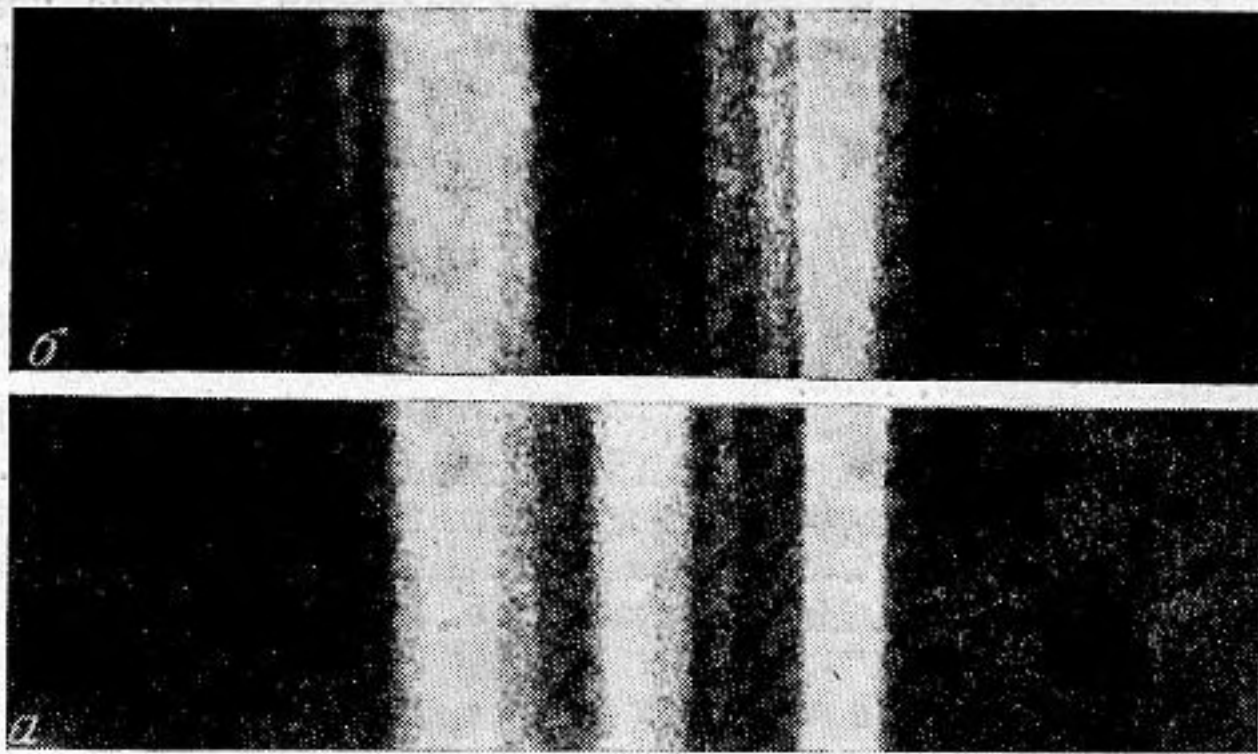
Б. И. Мельтреггер, Е. И. Хейфец

Недавно в работах [1, 2] были теоретически описаны методы голографической визуализации звуковых полей, позволяющие без использования опорной волны получать их восстановленные изображения в реальном масштабе времени. Сущность этих методов можно пояснить на примере схемы (фиг. 1), приведенной в работе [1]. Звуковое поле регистрируется решеткой приемников. Под действием напряжений,



Фиг. 1. Схема образования изображения: 1 — усилитель, 2 — дифракционный модулятор света, 3 — линза, 4 — полуволновая пластинка, 5 и 6 — поляризаторы

подаваемых с приемников через усилители 1 на многоканальный дифракционный модулятор света 2, модулируется прошедшее через него световое поле, образуя оптическую голограмму звукового поля. Восстановленное с этой голограммы изображение наблюдается в задней фокальной плоскости линзы 3. Ниже экспериментально показана возможность осуществления описанного голографического процесса с помощью модулятора света из электрооптического кристалла танталата лития (LiTaO_3).



Фиг. 2. Восстановленное изображение при фазовой (а) и балансной (б) модуляции ($\theta=40^\circ$)

Применявшийся модулятор был выполнен из двух идентичных кристаллов 90-градусного среза, оптические оси которых антипараллельны, а оптическая ось полуволновой пластинки 4, расположенной между ними, повернута на 45° относительно оси z . На одну поверхность кристаллов в направлении распространения света (вдоль y) нанесены 32 полосковых электрода, а на противоположную — сплошной электрод. При поперечном электрооптическом эффекте и освещении модулятора волной $E_{вх} = (E_z \mathbf{a} + E_x \mathbf{b}) \exp(i\omega_1 t)$ на выходе второго кристалла возникает световое поле

$$(1) \quad E_{вых} = (E_x e^{i\delta_1} \mathbf{a} + E_z e^{i\delta_2} \mathbf{b}) e^{i\omega_1 t},$$

где

$$\delta_1 = 1/2(\Gamma_- - \Gamma_\sim), \quad \delta_2 = 1/2(\Gamma_- + \Gamma_\sim),$$

$$\Gamma_- = \frac{2\pi l}{\lambda_1} (n_0 + n_e), \quad \Gamma_\sim = \frac{\pi}{\lambda_1} u \frac{l}{d} (r_{33} n_e^3 - r_{13} n_0^3),$$

$l/2$ и d — длина и толщина кристалла, E_z и E_x — составляющие светового поля, поляризованные вдоль и перпендикулярно оптической оси z , $\omega_1 = 2\pi c_1/\lambda_1$ — круговая частота света, $n_0 = 2,178$, $n_e = 2,180$ — показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле, $r_{13} = 7 \cdot 10^{-10}$ см/В, $r_{33} = 30,3 \cdot 10^{-10}$ см/В — электрооптические коэффициенты. Из формулы (1) видно, что на выходе модулятора волны E_z и E_x распространяются вдоль осей x и z соответственно. Это объясняется тем, что после прохождения полуволновой пластинки обыкновенный луч в первом кристалле становится необыкновенным, а необыкновенный — обыкновенным для второго кристалла. Фазовая задержка Γ_\sim , обусловленная электрооптическим эффектом, входит в выражения для δ_1 и δ_2 с противоположными знаками вследствие антипараллельности осей кристаллов.

Экспериментально изучались особенности визуализации плоских звуковых волн в воде при использовании режимов фазовой и балансной модуляции света. В первом случае применялся один поляризатор 5, выделяющий составляющую E_z (или E_x), вследствие чего на выходе модулятора световое поле было промодулировано по фазе

$$(2) \quad E_{вых} = \exp[i\mu u_0 \cos(\omega_0 t - k_0 x \sin \theta) + i\omega_1 t],$$

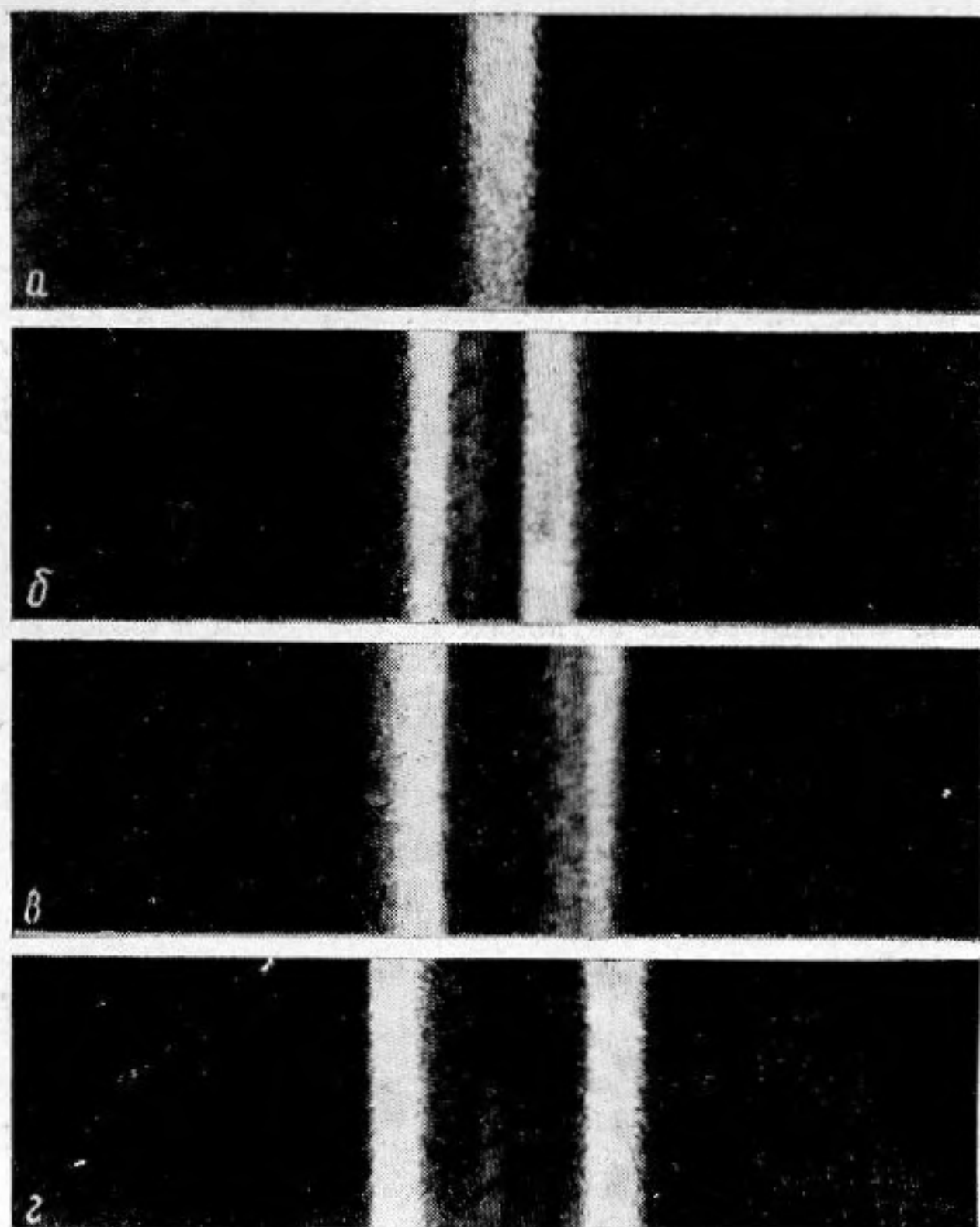
где u_0 — напряжение на входах модулятора, $k_0 = \omega_0/c_0$ — волновое число звука в воде,

$\mu = \frac{\pi}{2\lambda_1} \frac{l}{d} (r_{33} n_e^3 - r_{13} n_0^3)$ — индекс модуляции. Во втором случае поляризатор 5

выделял световую волну, поляризованную под углом 45° к оси z , а поляризатор 6 был скрещен с ним. Это приводило к возникновению балансной модуляции светового поля,

$$(3) \quad E_{вых} = \sin[\mu u_0 \cos(\omega_0 t - k_0 x \sin \theta)] \exp(i\omega_1 t).$$

С помощью линзы 3 осуществлялось преобразование Фурье над световыми полями, определяемыми выражениями (2) и (3), и в ее задней фокальной плоскости производилось фотографирование и фотоэлектрическая регистрация восстановленных изображений.



Фиг. 3. Восстановленное изображение при различных углах θ ($a - 0^\circ$, $б - 20^\circ$, $в - 40^\circ$, $г - 60^\circ$)

На фиг. 2, a , $б$ приведены фотографии изображений, снятые при угле падения звука $\theta = 40^\circ$. Видно, что в режиме фазовой модуляции (a) наряду с центральной светлой полосой, являющейся дифракционным спектром нулевого порядка, по бокам от нее возникают две светлые полосы, соответствующие спектрам \pm первого порядка. Те же светлые полосы наблюдаются и при балансной модуляции ($б$), однако при этом отсутствует спектр нулевого порядка.

Для анализа восстановленных изображений можно воспользоваться следующим выражением, описывающим распределение интенсивности света в фокальной плоскости:

$$I(w) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} J_{2m+1}^2(v) R_{2m+1}^2(w),$$

где верхние индексы соответствуют фазовой, а нижние — балансной модуляции света,

$$R_p(w) = \frac{\sin \frac{N}{2} \frac{F}{k_1 d_1} \left(w + pF \frac{k_0 d_0}{k_1 d_1} \sin \theta \right)}{N \sin \frac{1}{2} \frac{F}{k_1 d_1} \left(w + pF \frac{k_0 d_0}{k_1 d_1} \sin \theta \right)},$$

$v = \mu u_0$, N — число приемников, $J_m(v)$ — функция Бесселя. Из данного выражения следует, что при фазовой модуляции члены $J_{-1}^2(v) R_{-1}^2(w)$ и $J_1^2(v) R_0^2(w)$ характеризуют сопряженные восстановленные изображения (спектры первого порядка), расположенные симметрично относительно спектра нулевого порядка с интенсивностью $J_0^2(v) R_0^2(w)$ на расстояниях

$$(4) \quad w_0 = \pm F \frac{k_0 d_0}{k_1 d_1} \sin \theta.$$

Остальные члены описывают спектры высших порядков, возникающие из-за нелинейности процесса модуляции. При балансной модуляции в дифракционной картине отсутствуют спектры четных порядков, в том числе и спектр нулевого порядка. Устранение этого спектра позволяет визуализировать звуковые волны, приходящие по нормали к решетке приемников. На фиг. 3 приведены фотографии дифракционных картин, снятые в режиме балансной модуляции при углах падения $\theta=0, 20, 40, 60$. Видно образование одной светлой полосы при нормальном падении (а) и двух симметричных полос, смещения которых от центра дифракционной картины увеличивается с возрастанием угла падения (б, в, г). Величины этих смещений, найденные путем фотоэлектрических измерений, практически точно совпадают с рассчитанными теоретически по формуле (4).

Авторы благодарят В. М. Панкратова и Н. Н. Фомичева за предоставленный им модулятор света.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шендеров Е. Л. Формирование звуковых изображений в фазовой голографической системе. В кн.: Радио- и акустическая голография. Л., «Наука», 1976, 119.
2. Свет В. Д. Методы акустической голографии. ЦНИИ «Румб», 1976.

Поступила
21 февраля 1978 г.

УДК 534.782

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕГМЕНТОВ РАВНЫХ АРТИКУЛЯЦИЙ ПО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ

А. С. Рылов

Передача данных в слуховую оперативную память осуществляется специальным механизмом выделения моментов резких изменений в сигнале [1, 2], обусловленных перестройкой органов артикуляции. В соответствии с этим подход к проблеме сегментации может быть сведен к определению некоторого критерия сходства между текущими функциями площади сечений речевого тракта. Таким критерием может быть коэффициент корреляции [3]

$$(1) \quad r_i = \frac{\sum_{m=1}^M (s_m - M_s)(s'_m - M_{s'})}{\sqrt{\sum_{m=1}^M (s_m - M_s)^2 \sum_{m=1}^M (s'_m - M_{s'})^2}}$$

где M_s и $M_{s'}$ — математические ожидания векторов s и s' (ФПС) в t и $t+1$ кадрах анализа речевого сигнала, а s_m и s'_m — координаты векторов s и s' (площади сечений), для определения которых речевой тракт от связок до губ представляется отрезками труб длиной l . При этом предполагается:

1) вся труба жесткая и потери звуковой волны вследствие вязкости и температурных изменений несущественны;

2) поперечный размер каждого сечения мал по сравнению с длиной волны (волна плоская);

3) диаметры сечений s_m и s_{m+1} отличаются незначительно.

Тогда для определения s_m можно воспользоваться известной формулой [4]

$$s_m = (1 + \mu_m) s_{m+1} / (1 - \mu_m),$$

где μ_m — коэффициенты отражения на границе двух сечений. Кроме того, известно [5], что процессы фильтрации в обратном регрессивном фильтре и в трубе, описанной выше, при некоторых дополнительных условиях аналогичны, и можно положить

$$\mu_m = k_{m-1},$$

где k_m — коэффициенты частичной корреляции в обратном регрессивном фильтре [6]. Таким образом, векторы s и s' определяются непосредственно из речевого сигнала и подставляются в формулу (1) для получения сегментирующих функций.