

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧИ

В.К. Железняк, К.Я. Раханов

Полоцкий государственный университет, научно-исследовательская
опытно-экспериментальная лаборатория технической защиты информации
211440, ул. Блохина 29, г. Новополоцк, Республика Беларусь
телефон(ы): + 375(214) 53-53-56; факс(ы): + 375(214) 53-42-63; e-mail: vlad@psu.by
web: www.psu.by

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований метода обработки ЛЧМ-сигнала для оценки защищенности речи. Предлагается метод, расширяющий возможности существующих автоматизированных систем контроля. Эффект достигается за счет применения более сложных процедур обработки сигналов и помех в системе контроля, которые используют технику совместного частотно-временного анализа сигнала.

Ключевые слова: оценка мощности сигнала и шума, разборчивость речи, преобразование Вигнера, синхронное накопление.

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Широкое внедрение передачи и обработки семантической информации обуславливает актуальность ее защиты. Передача, обработка речевой информации в аналоговой форме весьма актуальна, так как она является первичной.

Защита речевой информации и видео информации в аналоговой форме основана на энергетическом методе, т.е. формируются шумовые (либо шумоподобные) маскирующие сигналы. Оценка защищенности таких сигналов основана на использовании, как правило, шумовых сигналов и гармонических измерительных сигналов в автоматизированных системах.

Шумовые сигналы не позволяют выявлять каналы утечки информации при обнаружении слабых сигналов в шумах высокого уровня. И в связи с этим ряд каналов утечки информации не приемлют использования шумовых сигналов для оценки защищенности выделенного помещения.

Гармонические сигналы обладают преимуществом по сравнению с шумовым сигналом. Технология применения таких сигналов обуславливает применение специальных мер для снижения воздействий на измерительный сигнал и тем самым повышает точность измерений.

Использование гармонического измерительного сигнала на средних частотах полос равной разборчивости либо на средних частотах третьоктавных полос, и хуже того на средних частотах октавных полос, допускает значитель-

ные погрешности в каналах утечки с явно выраженными неравномерностями АЧХ в измеряемом диапазоне частот.

К факторам, которые влияют на увеличение погрешности оценки защищенности, следует отнести, в первую очередь, реверберационные помехи, резонансы, резонансные явления замкнутых пространств выделенных помещений, неравномерности АЧХ, обусловленные локальными пространствами, неравномерности затуханий, наличие искусственных акустических и виброакустических помех.

По нашему мнению, устранение ряда отмеченных недостатков возможно при использовании в качестве измерительных сложных сигналов. Использование сложных сигналов, таких как сигналы линейной частотной модуляции (далее ЛЧМ-сигналы), код Баркера в гидролокации, радиолокации, акустической локации широко применяется, однако, таким сигналам присущи недостатки.

Среди этих сигналов преимуществами обладает ЛЧМ-сигнал, позволяющий учитывать неравномерности АЧХ. При правильном выборе скорости изменения частоты, возможно, исключить и другие недостатки, однако, частотно-модулированным сигналам присущ недостаток, обусловленный пороговым эффектом.

Цель работы: исследование ЛЧМ-сигнала в качестве измерительного, минимизировать пороговый эффект для обнаружения слабых сигналов в шумах высокого уровня.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Применение ЛЧМ-сигналов позволит расширить возможность оценки защищенности речи, так будет контролироваться вся полоса частот октавы (третьоктавы, полосы равноартикуляционной разборчивости), а не только отдельная точка на оси частот.

Техническое преимущество в использовании ЛЧМ-сигналов состоит в том, есть возможность распределить энергию заданной длительностью по полосе частот и тем самым снизить требования к импульсной мощности источника.

Учитывая, что данный метод предназначен для использования в автоматизированных системах контроля

каналов утечки речевой информации, таких как СИА К6-6 [1], необходимо решать также задачу сингеза эффективных в вычислительном плане соответствующих алгоритмов цифровой обработки сигналов.

Цель обработки – определение степени затухания измерительных сигналов при прохождении преград и вычисление по результатам измерений, характеризующих взаимодействие тестовых сигналов с препятствиями в выделенных объектах.

Недостатком измерительных ЛЧМ-сигналов является наличие так называемого порогового эффекта. То есть при снижении отношения сигнал-шум до определенного значения (порога) наблюдается резкое снижение «видимости» сигнала (не возможность выделения сигнала в шумах).

3 МЕТОДИКА РЕШЕНИЙ

В [2] для решения задачи оценивания параметров сигналов сложной частотно-временной структурой предлагается использовать технику совместных частотно-временных описаний сигналов. Среди множества форм частотно-временных описаний предпочтение отдается функции плотности распределения сигнальной энергии Вигнера:

$$P_w(f, t) = \int Z_o^*(t - \tau/2) Z_o(t + \tau/2) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau \quad (1)$$

где $Z_n(t) = Z(t) + j\bar{Z}(t)$ – есть аналитический сигнал, $\bar{Z}(t)$ – преобразование Гильберта действительного сигнала $Z(t)$, * – знак комплексного сопряжения.

Использование метода синхронного накопления позволит снизить пороговый эффект при выделении сигнала из шума.

Измерительный, представляющий последовательность ЛЧМ-сигнала будет выступать последовательность одинаковых ЛЧМ-последовательностей общей длительностью T_n :

$$T_n = CT, \quad (2)$$

где C – количество ЛЧМ-последовательностей, T – длительность одной ЛЧМ-последовательности.

После проведения измерений полученную смесь длительностью T_n представим, как один импульс длительностью T (применим метод синхронного накопления). Получим данное преобразование в дискретном виде:

$$Sc_n = \frac{1}{C} \sum_{i=0}^{C-1} S_{n+iN} \quad (3)$$

где $n \in 0 \dots N-1$, Sc_n – накопленный сигнал, C – количество накоплений, N – количество точек дискретизации одного периода ЛЧМ-сигнала, S – смесь ЛЧМ-сигнала и шума.

4 ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксперимент выполнялся с использованием классического для теории и практики локации моделью ЛЧМ-сигнала [3].

$$S(t) = A \sin(2\pi(f_0 + \mu \cdot t^2)) \quad (4)$$

где A – амплитуда сигнала, f_0 – начальная частота ЛЧМ-сигнала, μ – скорость изменения мгновенной частоты.

Остановимся на примере анализа сигнала для первой полосы равноартикуляционной разборчивости, у которого мгновенная частота меняется в пределах от 100–420 Гц [1]. Длительность сигнала $T=1$ с. Так как верхняя частота в общей контролируемой полосе частот составляет 420 Гц, то будем полагать, что верхняя частота полосы анализа (полосы частот, в которой производится обработка сигнала) $f_{\max} = 512$ Гц. Согласно теореме Котельникова, частота дискретизации $f_d = 2f_{\max} = 1024$ Гц. Интервал дискретизации $\Delta t = \frac{1}{2f_{\max}} = \frac{1}{1024} \approx 976,6$ мкс.

Следовательно, на интервале времени в одну секунду общее количество отсчетов сигнала будет равно $N=T/\Delta t=1024$.

В этом случае для моделирования сигнала на ЭВМ представим (4) в дискретном виде:

$$S(n) = \sin(2\pi \cdot \frac{n}{1024} (100 + 320 \cdot \frac{n}{1024 - 2})) \quad (5)$$

где $n \in 0 \dots 1024$.

На рисунке 1 и 2 представлены фрагмент полученного ЛЧМ-сигнала и его спектр.

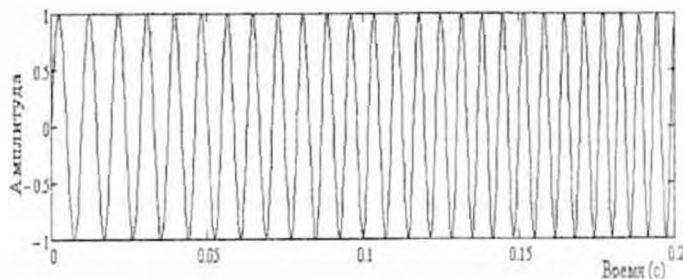


Рис. 1. Фрагмент сигнала линейной частоты модуляции

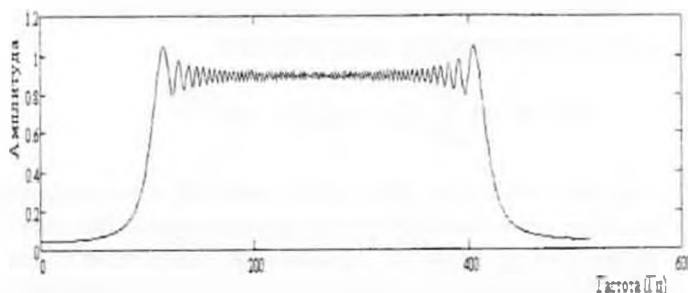


Рис. 2. Спектр фрагмента ЛЧМ-сигнала

Количество накоплений ЛЧМ-импульсов S установим 10, получим следующее представление измерительного сигнала:

$$S(n) = \sin\left(2\pi \cdot \frac{n \cdot \text{ranc}(n/1024)}{1024} \left(100 + 320 \frac{n \cdot \text{ranc}(n/1024)}{1024 \cdot 2}\right)\right) \quad (6)$$

где $n \in 0 \dots 1024$.

ranc – выделение целой части от деления.

Теперь рассмотрим модель шума $\eta(t)$. Считаем, что шум подчинен нормальному закону распределения. Математическое ожидание шума равно нулю, а среднеквадратичное отклонение мгновенных значений шумового процесса σ меняется от условий эксперимента. Генерируется 10240 мгновенных значений шума. В таком случае шум будет действовать в полосе частот 512 Гц.

После создания модели сигнала и шума перейдем к рассмотрению алгоритма синхронного накопления. Для этого воспользуемся формулой (3).

На рисунке 3 и 4 изображены смесь измерительного сигнала и шума до накопления и после накопления соответственно.

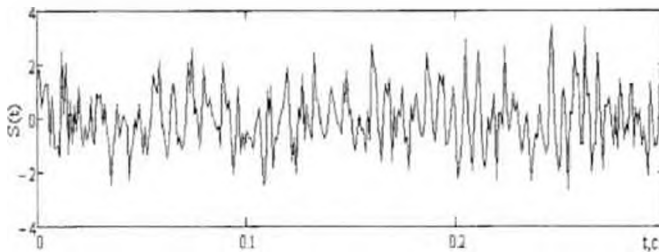


Рис. 3. Фрагмент смеси ЛЧМ-сигнала и шума до накопления

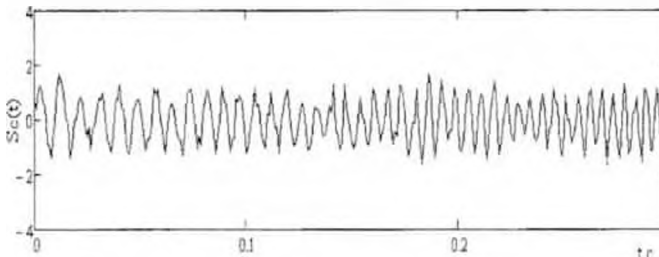


Рис. 4. Фрагмент смеси после накопления

Для этого представим дискретную форму распределения Вигнера и определим процедуру преобразования действительного сигнала в сигнал аналитический.

Дискретная форма записи распределения Вигнера может быть представлена выражением [5]:

$$P_w(k, n) = 2 \sum_{m=-N+1}^{N-1} Z_a^*(n-m) Z_a(n+m) e^{-\frac{2\pi i k m}{M}} \quad (7)$$

где $M > 2N-1$, $k \in -N+1 \dots N-1$. Заметим, что процедура перехода от аналоговой формы распределения Вигнера к дискретной не является тривиальной. Подробное описание этой процедуры приведено в [4]. Из выше указанной формулы следует, что для обработки аналогового сигнала он должен быть предварительно продискретизирован с

тактовой частотой более чем вдвое превышающей частоту дискретизации Котельникова.

Процедура вычисления аналитического сигнала заключается в следующем [5, 6].

1. Вычисляется быстрое преобразование Фурье действительного сигнала $Z(n)$;
2. Спектр для отрицательных значений частот обнуляется. Спектр для положительных значений частот умножается на два.
3. Осуществляется обратное быстрое преобразование Фурье. В результате имеем массив комплексных значений процесса, реальная и мнимая части которого связаны между собой преобразованием Гильберта.

На рисунке 5 представлены частотные срезы распределения Вигнера для различных моментов времени (0мс, 500мс и 1000мс).

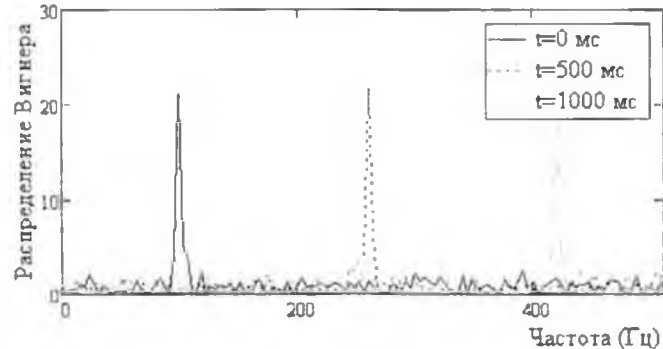


Рис. 5. Распределение Вигнера ЛЧМ-сигнала: частотные срезы распределения Вигнера в момент времени $t = 0, 500, 1000$ мс.

Разборчивость речи оценивается по методике, изложенной в [1]. Измерение в разные промежутки времени мощности сигнала и шума при весьма малых значениях мощности сигнала в шуме обуславливает методическую погрешность. Измерение в одном промежутке времени (сигнал + шум) и шума исключает методическую погрешность. Предложенные обработки позволяют выделить слабый сигнал из шума.

На рисунке 6 отображено распределение Вигнера ЛЧМ-сигнала в шумах, на чем можно проследить изменение интенсивности сигнала на диапазоне частот в зависимости от времени.

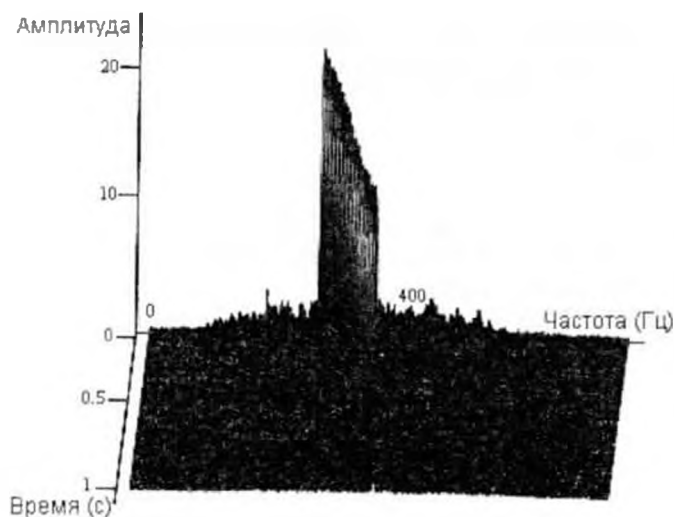


Рис. 6 Распределение Вигнера ЛЧМ-сигнала в шумах

На рисунке 7 отображено распределение Вигнера ЛЧМ-сигнала в шумах в горизонтальной проекции (частота-время).

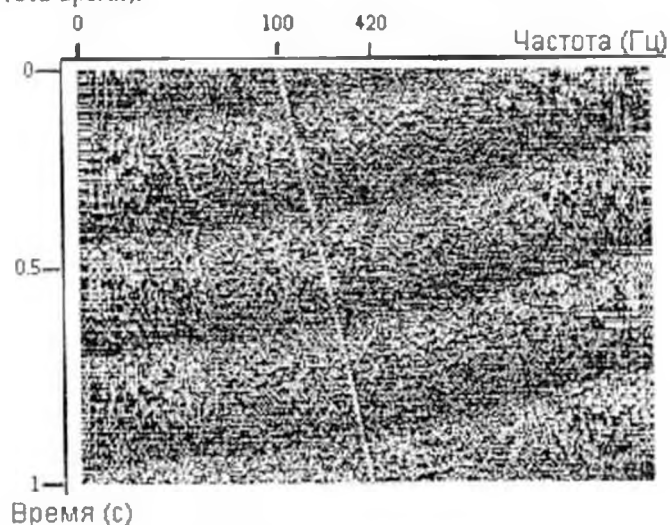


Рис. 7 Распределение Вигнера ЛЧМ сигнала в шумах

5 ВЫВОДЫ

Предлагаемый алгоритм анализа сигналов системы обнаружения слабого сигнала в шумах высокого уровня существенно расширяют его возможности.

Использование преобразование Вигнера позволяет, во-первых, совместить по времени этапы оценивания мощностей сигнала и шума, а во вторых, производить измерения не в отдельных точках исследуемой полосы частот, а в заранее выбранных полосах октав (третьоктав, полос равноартикуляционной разборчивости).

Применения синхронного накопления позволяет значительно снизить пороговый эффект для ЛЧМ-сигнала.

Дополнительный выигрыш при обработке сигналов в шумах позволит получить использование согласованного фильтра для речевого сигнала.

Метод позволяет обнаруживать сигнал в шумах при ОСШ более чем минус 23 дБ, тем самым повышает точность оценки защищенности речи, по отношению к другим методам.

Предложенный алгоритм реализуется программно-аппаратными средствами на базе комплекса ТРАП-М. Расчеты показали, что по сравнению с другими методами, время обработки не увеличилось и является приемлемым.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Железняк В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учебное пособие. ГУАП.-СПб.,2006.-188с.
- [2] Алексеев А.А., Кириллов А.Б. Технический анализ сигналов и распознавание радиоизлучений. СПб.:ВАС, 1998.-368с.
- [3] Claasen T.A.C.M. and Mecklenbrauker W.F.G, The Wigner Distribution - A Tool for Time-Frequency Signal Analysis, part 1, 2, 3 // Phillips Journal of Research, vol. 35, pp. 217-250, 276-300, 372-389, 1980.
- [4] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника». -2-е изд., перераб. и доп.-М.: Высш. шк., 1988 - 448с.
- [5] Денисенко А.Н. Сигналы. Теоретическая радиотехника. Справочное пособие.-М: Горячая линия Телеком, 2005. -704с.
- [6] Трахтман А.М. Введение в общую спектральную теорию сигналов. М. Изд-во «Советское радио», 1972. - 352с.