УДК 004.056

В.А. Трушин, А.В. Иванов

Возможности снижения интегрального уровня помехи в средствах активной защиты речевой информации (состояние и перспективы)

Рассматриваются основные подходы к снижению интегрального уровня шума от средств активной защиты речевой информации. Приведены результаты выбора оптимального спектра шумовой помехи. Описаны возможные подходы по применению метода автоматического регулирования уровня помехи, который, помимо снижения уровня паразитного шума, может предотвратить утечку информации за счет возникновения эффекта форсирования речи. Сформированы первоначальные правила формирования помех с коммутацией частотных полос, эффективность данного метода подтверждена экспериментально. Исследованы подходы к формированию речевой помехи из слогов, слов, связных текстов. Получены результаты по влиянию речевого материала и голосов дикторов на эффективность речевой помехи.

Ключевые слова: защита речевой информации, паразитный шум, спектр помехи, коммутация частотных полос, речевая помеха.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-38-42

Для защиты речевой информации от утечки по техническим каналам широко применяются активные средства защиты – генераторы акустического и виброакустического шума. В настоящее время такие генераторы построены, в основном, с использованием в качестве задающего белого шума с нормальным законом распределения вероятности значений. При этом огибающая этого шума в частотной области может соответствовать белому, розовому, речеподобному и др. Естественно, что встает вопрос о выборе оптимальной помехи, т.е. такой, которая при обеспечении требуемого показателя защищенности (в общем случае это коэффициент словесной разборчивости речи W) давала бы минимальное значение интегрального уровня помехи, т.е. обеспечивающее минимальный дискомфорт при проведении переговоров. При этом применяемые в средствах защиты помехи можно условно разделить на две большие группы: шумовые и речеподобные.

В настоящее время известны следующие подходы к решению задачи снижения интегрального уровня шума.

Шумовая помеха с оптимальной спектральной огибающей

Проведенные исследования, в частности [1–3], показали (рис. 1), что шумоподобные помехи с различными огибающими спектра имеют серьезные отличия по их эффективности, т.е. для обеспечения одного и того же значения W требуют разные уровни интегрального отношения сигнал/шум. При этом наиболее эффективной из рассмотренных (белый, розовый, коричневый, речеподобный) является шумовая речеподобная помеха, т.е. имеющие огибающую, подобную спектру речи.

В работе [4] говорится о возможности создания оптимизированной по спектру шумовой помехи, зависящей от требуемого значения W (рис. 2).

Однако в работах [5–7] показано, что оптимальной является формантоподобная помеха, т.е. имеющая огибающую, соответствующую спектру формант (рис. 3).

Рис. 1. Зависимость словесной разборчивости W от интегрального отношения сигнал / шум q :
1 – белый шум; 2 – розовый шум; 3 – шум со спадом спектральной плотности 6 дБ на октаву в сторону высоких частот; 4 – шумовая речеподобная помеха

Рис. 2. Распределение мощности помеховых сигналов по семи октавным полосам:
1 – $P_W = 0,1$; 2 – $P_W = 0,2$; 3 – $P_W = 0,4$

Автоматическое регулирование уровня помехи

Принцип данного подхода заключается в регулировании интегрального уровня помехи (его увеличении или уменьшении) в зависимости от интегрального уровня речи в защищаемом помещении. Для этого необходим канал обратной связи, определяющий интегральный уровень речи в данный момент времени, который может быть реализован раз-

личными способами, например: установкой микрофона в месте расположения вибродатчика (возможно, в нескольких местах для раздельного регулирования уровня шума в контрольных точках), измерением интегрального уровня «сигнал плюс помеха» и «помеха» с последующим нахождением уровня сигнала или в моменты специального кратковременного отключения помехи, установкой микрофона обратной связи вблизи источника речевой информации и др. При этом согласно распределению вероятностей уровней речи [8] вероятность того, что уровень речи будет меньше ее среднего интегрального значения, составляет 0,8 [8].

Данный подход реализуется в генераторах «Заслон-2М», «Кедр» и др.

Рис. 3. Зависимость словесной разборчивости W от интегрального отношения сигнал/шум q :

РП – речеподобная помеха; ФП – формантоподобная помеха; БШ – белый шум; РШ – розовый шум; ОПМ – оптимальная помеха по методике

Формирование речеподобной помехи из речевых сигналов

В отличие от шумовой помехи, имеющей огибающую спектра, соответствующую спектру речи, реальная речеподобная помеха имеет «тонкую» структуру речевого сигнала и во временной области.

Имеющиеся на рынке активных средств защиты речевой информации генераторы речеподобных помех, такие как «Барон», «Шаман», «Бубен», «Druid» и др., используют различные алгоритмы формирования речеподобной (РП) помехи. Так, в «Бароне» она формируется от 3 внешних радиостанций с использованием дополнительного фонемного клонера из голосов говорящих. В «Факире» применяется выбор фрагментов сигнала по псевдослучайной последовательности. В генераторе «Druid» используется реверберационная помеха из голосов участников переговоров. Такие различающиеся РП-помехи не позволяют унифицировать (нормировать) алгоритм создания РП-помехи. К сожалению, разработчики этих генераторов не раскрывают алгоритмы формирования РП-помехи, ограничиваясь общими фразами. Вместе с тем появились попытки создания единого подхода на основе существующих баз элементов речи с последующей случайной выборкой этих элементов с озвучиванием на звукосинтезаторе. Так, в работе [13] рассмотрен алгоритм формирования РП-помехи из случайной последовательности звуков

русской речи, реализованной на основе специально разработанного программного обеспечения и с использованием артикуляционных таблиц [14]. Получены весьма впечатляющие результаты (таблица).

Результаты оценки словесной разборчивости методом артикуляционных испытаний

Номер аудитора	Отношение сигнал/шум q , дБ					
	-5	0	5	10	15	20
1	5	0	45	65	70	75
2	0	0	10	40	65	80
3	0	0	0	0	40	55
4	0	0	0	20	45	60
5	0	0	0	15	55	70
$W_{\text{сред}}$	1	0	11	28	55	70

О возможности снижения интегрального уровня помехи за счет коммутации частотных полос

Наряду с вышеизложенными подходами, возможным вариантом снижения уровня паразитного шума является коммутация частотных полос, в которых в отдельный момент времени на участников переговоров воздействует не широкополосная помеха, а шум в нескольких частотных полосах, коммутируемых по определенному алгоритму и с заданной скоростью.

Для того чтобы определиться с правилами формирования подобных помех, были решены следующие задачи:

- выбор разбиения частотного диапазона;
- выбор количества полос (суммарной ширины частотного диапазона), в которых в отдельный момент времени присутствует маскирующая помеха;
- выбор времени переключения частотных полос.

При выборе разбиения частотного диапазона сразу был исключен вариант разбиения на октавные / третьоктавные полосы. Причина в том, что при данных подходах ширина полосы различная и присутствуют широкие полосы, что приводит к невозможности равномерно во времени распределить мощность помехи. Например, при октавном разбиении включение 7-й полосы (5600–11200 Гц) приводит к существенному скачку в мощности излучаемого сигнала (на слух подобное чередование будет происходить со щелчками, которые только усиливают раздражающее воздействие на участников переговоров), так как данная полоса фактически перекрывает половину всего речевого диапазона, при этом ее вклад в разборчивость речи ниже, чем у области средних частот, следовательно, данный подход явно неэффективен.

Было принято решение разбивать весь диапазон на полосы равной ширины. За основу взяли минимальную ширину равноартикуляционных полос, равную 150 Гц. В результате весь диапазон разделяется на 40 полос.

Экспериментально была определена наиболее эффективная ширина суммарного частотного диапазона (количества частотных полос), в котором в от-

дельный момент времени присутствует помеха. Необходимо было найти «золотую середину», потому как очевидно, что чем шире данный диапазон, тем ниже будет уровень разборчивости речи, но выше будет и уровень паразитного шума, действующий на участников переговоров. Было определено, что оптимальным является значение 2850 Гц (19 полос по 150 Гц).

Что касается алгоритма коммутации данных частотных полос, то первоначально был проработан подход, основывающийся на весовых коэффициентах (вкладах частотных полос в суммарную разборчивость).

Таким образом, график встречаемости каждой из полос выглядит следующим образом (рис. 4):

Рис. 4. Встречаемость каждой полосы в шум с распределением по весовым коэффициентам

На следующем этапе проводилось экспериментальное обоснование выбора времени переключения частотных полос. Исходя из того, что длительность звуков русской речи различна и находится в пределах от 20 до 260 мс, были выбраны следующие варианты времени чередования частотных полос: 100, 50, 10 и 1 мс. Наилучший результат показал вариант с чередованием диапазонов частотных полос через 10 и 1 мс. «Выигрыш» в интегральном уровне, действующем в отдельный момент времени, по сравнению с широкополосной помехой (белым шумом) составил 3,3 дБ.

Основываясь на известных положениях психоакустики [9–12], указывающих, что наибольший маскирующий эффект вносят низкочастотные сигналы, был исследован вариант встречаемости частотных полос с преобладанием низкочастотной области (рис. 5).

Результаты подтвердили эти положения, и «выигрыш» по сравнению с широкополосной помехой составил 5,1 дБ. Данный факт также ставит под сомнение корректность применения формантного распределения (весовых коэффициентов) при оценке защищенности речевой информации.

На заключительном этапе был произведен анализ влияния огибающей спектра помехи: был поставлен эксперимент с формантоподобной помехой вместо белого шума. В результате получилось добиться дополнительного выигрыша в 1 дБ.

Рис. 5. Встречаемость каждой полосы в шум с преобладанием низкочастотной области

Таким образом, были определены правила формирования помех с коммутацией частотных полос, позволившие снизить уровень шума на 6 дБ.

О возможности создания унифицированного подхода к реализации речеподобной помехи

Авторами были проведены исследования возможности создания «унифицированных» подходов реализации РП-помехи на базе слоговых и словесных таблиц из [14], а также на основе связных текстов из произведений русских классиков.

Основные параметры эксперимента:

- алгоритм случайной выборки RNGCryptoServiceProvider на языке C#;
- программный звукогенератор Vocalizer;
- программа обработки звуковых файлов Adobe Audition 3.0;

- число «дикторов» – 3 + один живой голос;
- число аудиторов – 4.

Основные выводы эксперимента:

- спектры РП-помехи, полученной из таблиц слогов и слов, практически не различаются;
- ближе всего к спектру реальной русской речи – РП-помеха типа «речевой хор» из трех голосов (2 мужских, 1 женский);
- наилучшими маскирующими свойствами обладает РП-помеха «речевой хор», причем из голосов участников переговоров.

На рис. 6 приведен пример результатов артикуляционных испытаний. Очевидно, что данные результаты предварительные; требуется увеличение количества аудиторов и корректная обработка результатов в соответствии с [15]. Вместе с тем полученные результаты показывают перспективность создания средств активной защиты речевой инфор-

мации на основе РП-помех, реализованных с использованием слогов, слов связанных текстов.

Рис. 6 Зависимости разборчивости речи от отношения сигнал / шум «речевого хора» из слогов, слов и связанных текстов

Заключение

В работе рассмотрены основные подходы к снижению интегрального уровня помехи в средствах активной защиты речевой информации при сохранении требуемого показателя защищенности.

В вопросе выбора спектра шумовой помехи приведены основные результаты, показывающие, что оптимальной является формантоподобная помеха.

Отмечен вариант применения автоматической регулировки уровня помехи, зависящего напрямую от уровня защищаемого сигнала либо применяемого только в случае превышения уровнем речи установленных средних значений (эффект форсирования речи).

Предложено применение коммутации частотных полос шумовой помехи. Экспериментально подтверждено, что суммарный диапазон частот, который подвергается зашумлению в отдельный момент времени, составляет 2850 Гц. Время чередования частотных полос должно составлять 1–10 мс. Рассмотренные варианты алгоритмов коммутации частотных полос показали лучшую эффективность в случае помехи с преобладанием в низкочастотной области. В результате удалось снизить уровень шумовой помехи на 6 дБ.

Проведены некоторые результаты предварительных исследований в области формирования речеподобной помехи из слоговых и словесных таблиц, а также связанных текстов. Установлено, что РП-помеха типа «речевой хор» обладает наилучшей эффективностью. Отмечены целесообразность и перспективность продолжения исследований.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность д.т.н., профессору Авдееву Владимиру Борисовичу за полезную дискуссию по возможности создания

генераторов РП-помех с «унифицированным» алгоритмом функционирования, что послужило стимулом к проведению данных исследований.

Литература

1. Хорев А.А. Оценка эффективности систем виброакустической маскировки / А.А. Хорев, Ю.К. Макаров // Вопросы защиты информации. – 2001. – № 1. – С. 21–28.
2. Хорев А.А. Контроль защищенности речевой информации от её утечки по техническим каналам // Специальная техника. – 2014. – № 4. – С. 45–53.
3. Дидковский В.С. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / В.С. Дидковский, М.Л. Дидковский, А.Н. Продеус. – Киев: Имекс-ЛТД, 2008. – 420 с.
4. Григорьев С.В. Оптимизированная по спектру шумовая помеха / С.В. Григорьев, С.А. Колычев // Защита информации: Инсайд. – 2003. – № 4. – С. 52–57.
5. Трушин В.А. К вопросу об оценке разборчивости речи // Проблемы информационной безопасности государства, общества, личности: матер. Девятой Всерос. науч.-техн. конф. – Томск: ТУСУР, 2007. – С. 115–119.
6. Иванов А.В. О модели речевого сигнала при оценке защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам / А.В. Иванов, В.А. Трушин // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 2 (32). – С. 87–90.
7. Иванов А.В. Реализация оптимальной помехи при защите речевой информации от утечки по акустическим и виброакустическим каналам / А.В. Иванов, И.Л. Рева, В.А. Трушин // Науч. вестник НГТУ. – 2011. – № 4. – С. 151–154.
8. Иванов А.В. О выборе модели тестового сигнала при оценке защищенности речевой информации от утечки по техническим каналам / А.В. Иванов, В.А. Трушин, В.Е. Хищенко // Труды СПИИРАН. – 2015. – Вып. №3 (90). – С. 122–133.
9. Алдошина И.А. Музыкальная акустика: учебник / И.А. Алдошина, Р. Притц. – СПб.: Композитор, 2006. – 720 с.
10. Fastl H. Psychoacoustics. Facts and Models / H. Fastl, E. Zwicker. – Springer-Verlag, 2007. – 471 p.
11. Howard D.M. Acoustics and Psychoacoustics / D.M. Howard, J. Angus. – Taylor & Francis, 2009. – 488 p.
12. Everest F.A. Master Handbook of Acoustics. – NJ, USA: Mc Graw Hill, 2001. – 616 p.
13. Хорев А.А. Способ и алгоритм формирования речеподобной помехи / А.А. Хорев, Н.В. Царев // Вестник ВГУ. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. – 2017. – №1. – С. 57–67.
14. ГОСТ 16600–72. Межгосударственный стандарт. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений. – М.: Стандарт-Информ, 2007. – 74 с.
15. ГОСТ Р50840–95. Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости, узнаваемости. – М., 1995. – 230 с.

Трушин Виктор Александрович

Канд. техн. наук, доцент каф. защиты информации Новосибирского государственного технического университета (НГТУ)

Карла Маркса пр-т., д. 20, г. Новосибирск, Россия, 630073
Тел.: +7 (383-3) 46-08-53

Эл. почта: rastr89@mail.ru

Иванов Андрей Валерьевич

Канд. техн. наук, и.о. зав. каф. защиты информации НГТУ
 Карла Маркса пр-т., д. 20, г. Новосибирск, Россия, 630073
 ORCID 0000-0003-2002-8572
 Тел.: +7 (383-3) 46-08-53
 Эл. почта: andrej.ivanov@corp.nstu.ru

Trushin V.A., Ivanov A.V.

Possibilities and outlooks of integral noise level decrease in voice information active protection means

In the paper, the approaches to integral noise level decrease in voice information active protection means are reviewed. Results of the optimal noise spectrum choice are given. Some approaches to use of automated noise level adjustment method, which helps to decrease parasitic noise level and to prevent information leakage because of speech forcing effect, are described. Simple rules of generation of frequency bands switching noise are developed; efficiency of the method is experimentally proved. Approaches to generation of speech noise from syllables, words, and connected texts are investigated. Results of influence of speech on speech noise efficiency are obtained.

Keywords: voice information protection, parasitic noise, noise spectrum, frequency bands switching, speech noise.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-38-42

References

1. Khorev A.A., Makarov Yu.K. Estimation of the effectiveness of vibro-bush camouflage systems. *Questions of information protection*, 2001, no. 1, pp. 21–28 (In Russ.).
2. Khorev A.A. Control over the protection of voice information from its leakage through technical channels. *Special equipment*, 2014, no. 4, pp. 45–53 (In Russ.).
3. Grigoryev S.V., Kolychev S.A. Spectrum-optimized noise interference. *Protection of the information: Inside*, 2003, No. 4, pp. 52–57. (In Russ.).
4. Didkovskiy V.S. Didkovskiy M.L., Prodeus A.N. *Akusticheskaja jekspertiza kanalov rechevoj kommunikacii. Monografija* [Acoustic speech communication channel expertise. Monograph]. Kiev, Imeks-LTD publ., 2008. 420 p. (In Russ.).
5. Grigoryev SV, Kolychev SA Spectrum-optimized noise interference. *Protection of information: Inside*, 2003, no. 4, pp. 52–57. (In Russ.).
6. Trushin V.A. To the question of assessing the intelligibility of speech. *Problems of Information Security of the State, Society, Person*. Materials of the Ninth All-Russian Scientific

and Technical Conference. Tomsk, TUSUR publ., 2007, pp. 115–119 (In Russ.).

7. Ivanov A.V., Reva I.L., Trushin V.A. Implementation optimum speech interference protection of information against leakage of acoustic and vibroacoustic channels. *Scientific Bulletin NSTU*, 2011, no. 4, pp. 151–154 (In Russ.).

8. Ivanov A.V., Trushin V.A., Khitsenko V.E. On the choice of the test signal model in assessing the protection of voice information from leakage through technical channels. *Proceedings of SPIIRAS*, 2015, No. 3 (90), pp. 122–133 (In Russ.).

9. Aldoshina I.A., Pritz R. *Musical acoustics*. Textbook. St. Petersburg. Composer, 2006. 720 p. (In Russ.).

10. Fastl H., Zwicker. E. *Psychoacoustics. Facts and Models*. Springer-Verlag, 2007. 471 p.

11. Howard D.M., Angus J. *Acoustics and Psychoacoustics*. Taylor & Francis, 2009. 488 p.

12. Everest F.A. *Master Handbook of Acoustics*. NJ, USA, Mc Graw Hill, 2001. 616 p.

13. Khorev A.A., Tsarev N.V. Method and algorithm of formation of re-chep-like interference. *Vestnik VSU, series: system analysis and information technologies*, 2017, no.1, pp. 57–67 (In Russ.).

14. GOST 16600–72. *Interstate standard. The transmission of speech through the radiotelephone communications. Requirements for intelligibility of speech and methods of articulatory measurements*. M.: Standard Inform, 2007, 74 p. (In Russ.).

15. GOST P50840–95 *Transmission of speech through communication paths. Methods for assessing quality, intelligibility, recognizability*. M., 1995, 230 p. (In Russ.).

Victor A. Trushin

Ph. D., assistant professor of the Information Security Department of Novosibirsk State Technical University (NSTU)
 K. Marksa pr., 20, st. Novosibirsk, Russia, 630073
 Phone: +7 (383-3) 46-08-53
 Email: rastr89@mail.ru

Andrey V. Ivanov

Ph. D., head of the Information Security Department of Novosibirsk State Technical University (NSTU)
 K. Marksa pr., 20, st. Novosibirsk, Russia, 630073
 ORCID 0000-0003-2002-8572
 Phone: +7 (383-3) 46-08-53
 Email: andrej.ivanov@corp.nstu.ru