

СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГОИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА РЕЧЕСЛУХОВОЙ СИСТЕМЫ

Введение. Постановка задачи.

Эволюционный процесс обмена информативными речевыми сигналами между homo sapiens академик И.П. Павлов относил к функциям второй сигнальной системы по критерию присутствия информации $I[O(t)]$ об объекте мышления $O(t)$ в сигнале акустического раздражителя $sv(t)$ рецепторов слуха, что является особым проявлением высшей нервной деятельности центральной нервной системы (ЦНС) человека. Интуитивно понятно, что акустическая реализация речевого процесса в базисе времени, т.е. форма сигнала $sv(t)$, полностью отображает его информационное свойство, однако, формализованной методологии, определяющей основные свойства (информативность и помехоустойчивость) и пространство их параметров в форме речевого сигнала, в открытой печати нами не обнаружено [1].

Целью исследований является разработка методологии анализа свойств сигналов речеслуховых систем, направленной на повышение параметра достоверности методов их обработки. *Объектом исследований* являются процессы энергоинформационного обмена биологических речеслуховых систем, и, соответственно, *предмет исследований* – пространство параметров сигналов, отображающих свойства информативности и помехоустойчивости в процессе энергоинформационного обмена речеслуховых систем.

Основная часть

Применяя методологию системного анализа [2], формализуем определение исследуемых энергетических E , информационных I и помехоустойчивых SN свойств сигнала $sv\{t, E, I, SN\}$ речеслуховой системы в виде обобщенной математической модели:

$$sv(t) = \{(E, \mathfrak{R}_i^E) | i \in Z_m, (I, \mathfrak{R}_j^I) | j \in Z_n, (SN, \mathfrak{R}_k^{SN}) | k \in Z_l, \} \quad (1)$$

где \mathfrak{R}^E , \mathfrak{R}^I , \mathfrak{R}^{SN} – пространства параметров соответствующих свойств. Биологические системы объекта исследований можно классифицировать по критерию уровня интеллекта процессов обработки информации и отнести их к четвертому уровню системности [2]. Этот уровень характеризуется пространственно-временной информационной взаимосвязью субъективных факторов речеслуховых систем человека и объективных факторов внешней среды канала передачи речевого сигнала (PC) $sv(t)$. Данный факт позволяет сделать вывод о *свойстве открытости*

пространственно-временных диссипативных речеслуховых систем объекта исследований.

Информационное, энергетическое и эволюционное взаимодействие открытых диссипативных речеслуховых систем диктора и аудитора целесообразно анализировать, беря в основу концепцию синергетики [3], которая, в рамках объекта исследований, позволяет сформулировать следующую гипотезу процесса энергоинформационного обмена в пространстве параметров (1) сигналов взаимодействия.

Диссипативные открытые информационные биологические речеслуховые системы диктора и аудитора в неравновесном состоянии, характеризуются дискретным процессом обмена информацией $I(t, \Delta t)$ и энергией $E(t, \Delta t)$ между подсистемами и между системой с ее окружением в среде функционирования. При этом внутри системы действует закон сохранения энергии, информации и энтропии.

$$E(t, \Delta t) = \text{const}, I(t, \Delta t) + H(t, \Delta t) = \text{const}, t \in [\Delta t]. \quad (2)$$

В результате обмена информацией $I(t, \Delta t)$ и энергией $E(t, \Delta t)$ между системами и внутри их проходят процессы упорядочения, организации и самоорганизации, для которых общим признаком является диссипация энергии $\Delta E(t, \Delta t)$, уменьшения энтропии $H(t, \Delta t)$, также эволюции систем.

Направленность процессов самоорганизации обусловлена внутренними системообразующими функциями и факторами систем разного уровня иерархии (подсистем) в их индивидуальном и коллективном проявлении, а также воздействиями со стороны среды, в которой функционирует система.

Изменение параметров свойств осуществляется в результате процесса бифуркации, который характеризуется сигналом $sb(t, \delta t)$, протяжённым во времени, но длящимся весьма малый его интервал δt , в течение которого происходят процессы диссипации энергии $\Delta E^b [sb(t, \delta t)]$ и изменения энтропии $\Delta H^b(t, \delta t)$ системы, а фаза $\varphi(t)$ сигнала $sv(t) = f(\omega_0 t, t)$ на частоте ω_0 после процесса бифуркации меняется на угол -2π , т.е. происходит удвоение частоты ω_0 :

$$\Delta E(t, \delta t) = f^E \{E^b [sb(t, \delta t)]\}, \Delta H(t, \delta t) = f^H \{H^b [sb(t, \delta t)]\}, \quad (3)$$

$$\omega_i(t + \delta t) = 2\omega_i(t), t \in [\delta t] \rightarrow 0$$

Управление процессом синтеза информационной последовательности сигналов бифуркаций $sb(t, \delta t)$ осуществляется в пространстве векторов управляющих параметров $\mathfrak{S}[\vec{\mathfrak{R}}(t, \delta t)]$, реализации свойств (1). Пространство параметров последних должно предоставлять возможность оценивать функцию эффективности энергетического и информационно-го обмена

$$q^{\vec{\mathfrak{R}}}(t, \delta t) = f\{\mathfrak{S}[\vec{\mathfrak{R}}^{E,I}(t, \delta t)]\}, t \in (\delta t). \quad (4)$$

Таким образом, объект исследований характеризуется дискретным во времени, синергетическим процессом самоорганизации. Временная дискретность процесса определяется информационным интервалом времени $\Delta tb = \Delta t = f[sb(t, \delta t, \Delta tb)]$, $t \in (\delta t) \in (\Delta tb)$ между двумя следующими друг за другом сигналами бифуркаций. Свойство синергетичности обеспечивается информационным управлением пространством параметров $\mathfrak{S}[\mathfrak{R}(t, \delta t, \Delta tb)]$, $t \in (\delta t) \in (\Delta tb)$ процесса синтеза дискретной последовательности сигналов бифуркаций.

В рамках объекта исследований функционируют биологические открытые системы (диктор и аудитор), поведенческие свойства которых целесообразно анализировать, беря за основу, дополнительно к методологии синергетики, методологию функционирования биологических функциональных систем [4], которая в границах объекта исследований предполагают следующую концепцию.

Системообразующим фактором психофизиологической речеслуховой системы является факт реализации полезного результата её работы – процесса синтеза и (или) анализа свойств РС (речеслуховой процесс). Системообразующей функцией – система функциональных зависимостей пространства энергоинформационных параметров речеслухового процесса и их характеристик, обеспечивающих реализацию системообразующего фактора.

Пространство параметров системообразующей функции речеслухового процесса (РП) и метод её реализации иницируются и формируются в ЦНС посредством синтеза векторов управляющих параметров $\mathfrak{R}(t, \delta t, \Delta tb)$ количеством степеней свободы $nk(t, \delta t, \Delta tb) = f[\mathfrak{R}(t, \delta t, \Delta tb)]$ физиологических технологических исполнительных органов.

Эффективность информационного изменения векторов управляющих параметров $\mathfrak{R}(t, \delta t, \Delta tb)$ реализации РП осуществляются под непрерывным контролем ЦНС пространства параметров сигнала обратной связи самоорганизации $sv^{OCC}(t, \delta t, \Delta tb)$. Функции эффективности (4) РП определяют объемом информации $I_{i-k}^{IHC}(t, \delta t, \Delta tb)$ накопленного опыта при его предыдущих, $i - k$ реализациях. Результаты контроля обладают императивными возможностями по реорганизации структуры векторов управляющих параметров степеней свободы физиологических исполнительных органов $\mathfrak{S}[\mathfrak{R}(t, \delta t, \Delta tb)] = f^{\mathfrak{S}}[I_{i-k}^{IHC}(t, \delta t, \Delta tb)]$.

На основании вышеизложенной концепции, предложим следующую гипотезу процесса функционирования речевой подсистемы.

Синергетический энергоинформационный психофизиологический процесс синтеза речевой подсистемой информации $I[sv_i(t)]$ акустического сигнала i -ой фонемы $sv_i(t)$ происходит по инициативе и под управлением ЦНС диктора, он состоит из двух, параллельных во времени, дополняющих друг друга, компонент: энергетической – диссипации и излучения энергии $\Delta E_i(t, \delta t, \Delta tb) = f^E[sv_i(t, \delta t, \Delta tb)]$, $t \in (\delta t) \in (\Delta tb)$ сигнала фонемы и информационной – снятия части энтропии $\Delta H_i(t, \delta t, \Delta tb) =$

$f^H[sv_i(t, \delta t, \Delta tb)]$, $t \in (\delta t) \in (\Delta tb)$ с источника информации – ЦНС аудитора.

В процессе ограничения степеней свободы $nk_i(t, \delta t_i, \Delta t b_i)$, исполнительные физиологические органы перестают совершать хаотические и начинают осуществлять информационные движения самоорганизации, формируя сигналы кинем [5]. Энергетические кинемы $sk_i^E(t, \delta t_i, \Delta t b_i)$ управляют энергетическим параметром избыточного давления воздуха поступающего из лёгких $\Delta P_i(t)$ и осредненной объёмной скоростью $v_i(t)$ его движения в зоне действия сигналов информационных кинем $sk_i^I(t, \delta t_i, \Delta t b_i)$. Последние управляют параметром процесса *турбулиизации* (числом Рейнольдса $Re_{i,j}(t) = f(\Delta x_j^H, v_{i,j})$) потока воздуха на j -м информационном участке Δx_j^H речевого тракта

$$\begin{aligned} \Delta P_i(t) &= f[sk_i^E(t), v_{i,j}(t) = f[\Delta P_i(t)], \\ Re_{i,j}(\Delta x_j^H, v_{i,j}, t) &= f[sk_{i,j}^H(\Delta x_j^H, t) \end{aligned} \quad (5)$$

Изменение значения управляющего параметра (5), воздействует на свойства ламинарного процесса протекания воздуха, который характеризуется максимальной неопределенностью, соответственно – максимальной энтропией $H_0(t, \Delta t)$. При увеличении числа Рейнольдса (в момент времени $\delta t_{i,j}$) участке Δx_j^H более критического значения $Re_{i,j}(\Delta x_j^H, v_{i,j}, t, \delta t_{i,j}) > Re^{cr} = f[v^{cr}(t) \cong const]$, $t \in (\delta t_{i,j})$ ламинарное движение воздуха теряет устойчивость и переходит в качественно другое – турбулентное. Свойства последнего характеризуют начало процесса энергоинформационной самоорганизации, который описывается двумя subprocessами: *энергетическим* – диссипации кинетической энергии ламинарного движения в энергию турбулентных вихрей $\Delta E_{i,j}[sb(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})]$ пространства параметров $\vec{\mathfrak{R}}^E$, и *информационным* – синтезом информационных сигналов бифуркаций $sb_{i,j}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})$ пространства параметров $\vec{\mathfrak{R}}^I$ (3).

Диссипация энергии турбулиизации характеризуется свойством дискретного переноса кинетической энергии ламинарного потока в энергию $E_{i,j}[sv_i(t, \delta t, \Delta t b_{i,j})]$ сигнала i -ой фонемы на j -м информационном участке Δx_j^H речевого тракта:

$$\begin{aligned} \Delta E_{i,j}[sb_{i,j}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})] &= f[m_{i,j}(t), v^{cr}(t)], \\ E_i[sv_i(t)] &= \sum_j \Delta E_{i,j}[sb_{i,j}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})], t \in (\delta t_{i,j}) \in (\Delta t b_{i,j}), \end{aligned} \quad (6)$$

где $m_{i,j}(t)$ – масса турбулизирующего воздуха на участке Δx_j^H речевого тракта. Анализ (6) позволяет рассматривать функцию дискретного изменения энергии $E_i[sv_i(t)]$ фонемы как *энергетическое свойство речевой подсистемы реализовать зависимость изменения пространства параметров энергии $E(\vec{\mathfrak{R}}_{i,j}^E)$ (1) сигнала i -ой фонемы $sv_i(t)$* на информационном участке Δx_j^H в течение информационного интервала времени $(\Delta t b_{i,j})$.

Информационный субпроцесс самоорганизации реализует функцию дискретного снятия удельной энтропии $\Delta H_{i,j}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})$ с ламинарно-го потока воздуха на участке Δx_j^I речевого тракта:

$$\begin{aligned} H_{0,j}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j}) - \Delta H_{i,j}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j}) &= f^I \{I_{i,j}[O_{i,j}(t)]\}, \\ I_i[sv_i(t)] &= - \sum_j \Delta H_{i,j}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j}), t \in (\delta t_{i,j}) \in (\Delta t b_{i,j}) \end{aligned} \quad (7)$$

Анализ (7) позволяет рассматривать функцию дискретного изменения информации $I_i[sv_i(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})]$ фонемы как информационное свойство речевой подсистемы реализовать зависимость изменения пространства параметров энтропии $H(\vec{\mathfrak{R}}_{i,j}^I)$ (1) сигнала i – ой фонемы $sv_i(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})$ на информационном участке Δx_j^I в течение интервала времени $(\Delta t b_{i,j})$. Длительность энергетического и информационного процессов ограничена интервалом времени $[T_a]$ информационной активности сигнала i ой фонемы.

Функция эффективности (4) информационного изменения векторов управляющих параметров $\vec{\mathfrak{R}}_{i,j}^{E,I}(t, \delta t_{i,j}, \Delta t b_{i,j})$ реализации РП осуществляются ЦНС методом анализа сигнала обратной связи самоорганизации $sv_i^{OCC}(t, \delta t_i, \Delta t b_i)$, этот сигнал принимается слуховой подсистемой по би-науральным каналам обратной связи самоорганизации – костным и акустическим.

На основании предыдущей концепции и анализа результатов экспериментальных исследований Г. Бекешы [6] предложена следующая гипотеза процесса функционирования слуховой подсистемы.

Синергетический энергоинформационный процесс психофизиологической самоорганизации слуховой подсистемы состоит из двух, параллельных во времени и дополняющих друг друга, субпроцессов. Энергетического – анализа энергии диссипации (6): эффективной $E_{eff}(t) = f^E[sv_i(t)], t \in [T_a]$ и удельной $\Delta E(t, \delta t, \Delta t b) = f^E[sb(t, \delta t, \Delta t b)], t \in (\delta t) \in (\Delta t b)$, и информационного – анализа удельной энтропии (7) информационных интервалов времени $\Delta t b$.

Энергетический процесс осуществляется, под управлением ЦНС, физиологическими органами среднего и внутреннего уха. Системообразующим фактором процесса адаптации коэффициента передачи среднего уха является факт стабилизации, осредненной на интервале времени Δt^{su} эффективной энергии фонемы $E_{eff}[sv(t)] = \text{const}, t \in (\Delta t^{su}) \in [T_a]$ по параметру эффективной энергии $E_{eff}[\xi(t)], t \in (\Delta t^{su}) \in [T_a]$ сигналов $\xi(t)$ помех среды, в которой функционирует система. Системообразующим фактором рецептора слуха – улитки внутреннего уха, является факт идентификации параметра удельной энергии $\Delta E_i(t, \delta t, \Delta t b) \cong \text{const}, i \in m$ диссипации сигнала бифуркации (3), дискретность идентификации параметра определяется количеством m внутренних волосковых клеток основной мембраны. Системообразующей функцией среднего уха будет процесс оценки эффективной энергии $E_{eff}(t), t \in (\Delta t^{su})$ сигнала фонемы на интервале времени Δt^{su} и адаптации коэффициента её передачи $k^{su}(t) = f^E\{E_{eff}[sv(t)], E_{eff}[\xi(t)]\}, t \in (\Delta t^{su}) \in [T_a]$ в улитку внутреннего

уха. Системообразующей функцией рецептора слуха улитки внутреннего уха будет процесс идентификации удельной энергии (6) диссипации сигнала бифуркации (3).

Информационный процесс анализа параметра интервала времени Δtb удельной энтропии (7) происходит в основной мембране улитки внутреннего уха под управлением ЦНС. Рецептором фазовой манипуляции $\Delta\varphi = -2\pi$ (3) служит базилярная мембрана, работающая в режиме стохастической синхронизации [7]. Системообразующим фактором информационного процесса будет факт полного снятия энтропии с информации $I_i[sv_{i-k}^{OCC}(t, \delta t_i, \Delta tb_i)]$ сигнала обратной связи самоорганизации (ото-акустической эмиссии) аллофона принимаемой фонемы (7), который синтезирует ЦНС на основании предыдущего $i - k$ - го успешного приема фонемы РС.

Для определения пространства параметров $\vec{\mathfrak{R}}^{SN}$ свойства помехоустойчивости (3) представим РС $sv(t)$ в терминах теории потенциальной помехоустойчивости [8]:

$$sv(t, \delta t, \Delta tb) = \sum_i \Delta E_i(t, \delta t_i) \cos[(\omega_i + n_i^{tr} \lambda \omega_i)t + \varphi_0],$$

$$\lambda = 1, t \in (\delta t) \in (\Delta tb)$$
(8)

где n^{tr} – коэффициент, учитывающий количество вторичных турбулентных вихрей. Для такого метода комбинированной дискретной амплитудно-частотной широтной манипуляции потенциальная помехоустойчивость будет определяться минимальной средней квадратической ошибкой приема δ_φ сигнала бифуркации (при $E_{eff}(t) = const, t \in \Delta t^{su}$):

$$\delta_\varphi^2 \geq \frac{12D^\xi}{(\Delta\Omega^2 \Delta tb^3 + 12\Delta tb \lambda^2)},$$
(9)

где D^ξ – второй центральный момент сигнала помехи $\xi(t)$ (“белый шум”), $\Delta\Omega$ – эффективная полоса частот РС. На данном этапе анализа не будем учитывать второстепенное влияние амплитудной низкочастотной модуляции на результирующую помехоустойчивость РС.

Таким образом, возвращаясь к выражению (1), можно утверждать, что основные свойства РС определяются в пространствах следующих параметров:

$$\Delta E(t, \delta t, \Delta tb) \in \vec{\mathfrak{R}}^E, \Delta H(t, \delta t, \Delta tb) \in \vec{\mathfrak{R}}^I, (\Delta\varphi, \Delta tb) \in \vec{\mathfrak{R}}^{SN}, t \in (\delta t) \in (\Delta tb).$$
(10)

– удельных энергии, энтропии и интервала времени Δtb .

Результаты экспериментальных исследований

Для доказательства гипотезы процесса функционирования речевой подсистемы была разработана, с учетом выражений (1–9), математическая модель обработки РС и поведены экспериментальные исследования пространства параметров свойств (1) реальных сигналов фонем.

Результаты исследований зависимости функций распределения плотности вероятности информационного интервала времени $w^H(\Delta tb) = f[sv(t, \delta t, \Delta tb)]$ (7) и энергии $w^E(\Delta E) = f[sv(t, \delta t, \Delta tb)]$ (6) сигнала $sv(t)$ фонемы “о” приведены на рис. 1.

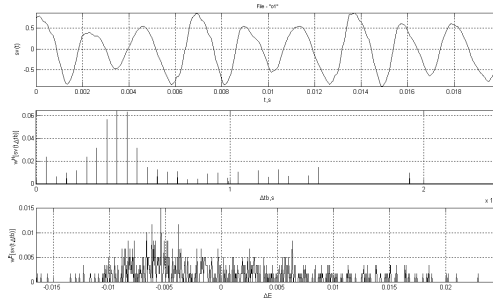


Рис. 1 – Функции распределения плотностей вероятности информационного интервала времени $w^H[sv(t, \Delta tb)]$ и энергии $w^E[sv(t, \Delta tb)]$ фонемы “о”.

Зависимость потенциальной помехоустойчивости $SN = f(\Delta tb)$ (9) метода дискретной частотной манипуляции (8) по отношению к методу амплитудной модуляции для $\Delta\Omega = 4.5$ кГц, приведена на рис. 2,

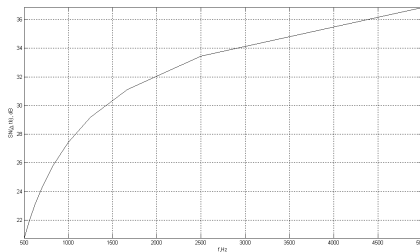


Рис. 2 – Зависимость потенциальной помехоустойчивости $SN = f(\Delta tb)$ метода модуляции сигналов бифуркаций.

она хорошо согласуется с ранее исследованными экспериментальными зависимостями спектральной плотности мощности РС и его помехоустойчивостью [9].

Выводы

Предложена и экспериментально подтверждена синергетическая концепция процесса (1–9) энергоинформационного обмена речеслуховой системы, которая позволяет определить основные свойства речеслухового

процесса (1) в пространствах (10) параметров: – удельных энергии, энтропии и интервала времени широтной манипуляции сигналов бифуркаций. Статистический анализ пространства каждого параметра можно определить как отдельную научно-техническую задачу.

Свойство речеслуховых систем обмениваться энергией (6) более относится к первой сигнальной системе и характеризует пространство параметров аутентификации биобъекта, данное направление исследований необходимо рассмотреть в последующих работах.

Литература

1. Журавлёв В.Н., Архипов А.Е. Анализ противоречий теорий речеобразования и слуха с позиции идентификации информационных параметров и характеристик речевых сигналов. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія 2(9), Вінниця. 2007, С. 180–185.
2. Згуровський М. З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. – К.: Видавнична група ВНУ, 2007. – 544 с.
3. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
4. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем // Избранные труды. – М.: Медицина, 1998. – 400 с.
5. Бодуэн де Куртене И.А. Введение в языковедение. – М.: УРСС. 2004. – 320 с.
6. Бекеша Г., Розенблит В.А. Механические свойства уха. В кн. Экспериментальная психология (том 2). – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 1035 с.
7. Шустер Г. Детерминированный хаос. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
8. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.: Радио и связь, 1998. – 152 с.
9. Вемян Г.В. Передача речи по сетям электросвязи. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.

Получено 16.11.2007