УДК 621.394.4:615.472.05

А.Р. КОРСУНОВ, канд. техн. наук, УИПА (г. Харьков)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОСТРУКТУРЫ

При стисненні динамічного діапазону безперервного електромагнітного сигналу, що приймається, у радіоприйомних пристроях застосовується автоматична регуліровка радіоприймальних пристроїв (РПП). Застосування в РПП цифрових систем АРУ дозволяє за допомогою пристроя з коефіцієнтом передачі, що програмується та контролюється, організувати безпосередній відлік вимірювання напруженості електромагнітного сигналу на вході РПП.

In the receiver used expander of dynamic diapason continuous signal, which coming on exit. That is called as automatic operating of intensification (AOI). If employ in the receiver digital system AOI then can realize indicate of the value electromagnetic field tensoin the exite of the reciver.

Введение. Наиболее распространенным методом измерения напряженности элетромагнитного поля немодулированного сигнала является метод компарирования [1], т.е. сравнение принятого сигнала с опорным напряжением стандартного источника.

Постановка проблемы. Динамический диапазон измеряемых величин в существующих схемах измерения и регистрации ограничен нелинейностью трактов несущей и промежуточных частот радиоприемного устройства (РПУ) [2]. В связи с этим возможность автоматизировать процесс измерений ограничена требованиями перестройки коэффициента усиления РПУ в зависимости от уровня принимаемого сигнала.

Анализ литературы. Известно, что в РПУ при сжатии динамического диапазона принимаемого непрерывного сигнала [3] используется автоматическая регулировка усиления (АРУ), регулирующее напряжение (V_p), которой является функцией входного сигнала ($V_{\text{вх}}$) [4]. В чисто аналоговых системах АРУ напряжение V_p подается непосредственно на аналого-цифровой преобразователь микро-ЭВМ для регистрации и последующей обработки [5]. Коэффициент усиления (K) РПУ представляет собой нелинейную функцию от V_p, т.е. $K = K(V_p)$ [6], которую в целях упрощения примем линейной**.** При подобной аппроксимации зависимости $V_p = F_p(V_{\text{вх}})$ ошибка может достигать 5 дБ, а время отсчета в каждой точке составляет 0,01 с на одно усредненное значение [7].

Цель работы. Предлагается использовать V_p в качестве выходного сигнала в измерениях напряженности электромагнитного поля при контроле режимов облучения биообъектов.

Результаты исследований. Применение в РПУ цифровой системы АРУ [8, 9] позволяет с помощью устройства с программируемым коэффициентом передачи [10] организовать непосредственный отсчет измерения напряженности электромагнитного сигнала на входе РПУ

Устройство представляет из себя комплект, состоящий из двух электрически управляемых аттенюаторов (ЭУА) 1 и 2, собранных в едином корпусе, и электрической схемы управления, выполненной в виде кассеты с многоконтактным разъемом.

ЭУА 1 и 2 функционально разделены и имеют автономные цепи управления. Электрическая схема содержит дискретный функциональный преобразователь, линеаризующий нелинейную характеристику ЭУА, и обеспечивающий изменение коэффициента передачи с шагом 1дБ.

Управляется функциональный преобразователь либо цифровым кодом, при включении его в цепь цифровой АРУ или микроЭВМ, либо вручную с помощью переключателей.

Переменные резисторы позволяют перестраивать шаг дискретизации. Отсчет установленного коэффициента передачи производится по цифровому индикатору. При этом аттенюатор 1 используется для установки ослабления с шагом 1 дБ до 10 дБ. Крупные дискреты по 10 дБ устанавливаются посредством аттенюатора 2. На индикаторе отображается реальная информация об уровне введенного ослабления, а не входная команда управления, как в существующих системах. Динамический диапазон регулирования сигнала составляет 60 дБ.

Разработанное устройство программируемого регулятора коэффициента передачи с отсчетом вводимого ослабления значительно упрощает автоматический контроль чувствительности приемного тракта.

Известные методы для подобного контроля [11] требуют большого объема априорной информации в памяти микроЭВМ, например:

1. Коэффициент первичного преобразования измерителя мощности (термистора).
2. Коэффициент вторичного преобразования измерителя мощности (выходное напряжение).
3. Коэффициенты затухания управляемого аттенюатора.

Указанный объем информации удлиняет время контроля и вынуждает выводить его за рамки рабочего цикла системы.

Предложенное устройство совместно с генератором опорного сигнала позволяет подобный контроль проводить в коротких интервалах внутри рабочего режима РПУ по разработанному алгоритму (рис.), при котором в памяти микроЭВМ записано номинальное значение собственной мощности шумов на выходе ($P_{ш.вых.соб.}$), которое в нашем случае составляло 60...70 10^{-12} Вт. По алгоритму выполняются следующие операции:

1. Включить опорный генератор СВЧ с выходной мощностью $P_r = 60{\cdot}10^7$ Вт (калиброванный выход генератора ГЧ-143). Здесь учтено что переходное ослабление направленного ответвителя, через который подается опорный уровень мощности в тракт РПУ, составляет 20 дБ.

2. Установить на аттенюаторе ослабление $L_з$ равным начальному

$$L_з = L_н = 30 \text{ дБ}.$$

3. Измерить $P_ш$ выходное ($P_{ш.вых.изм.}$).

4. Если $P_{ш.вых.изм.} < P_{ш.вых.соб.}$, то уменьшить ослабление $L_з < L_н$ и перейти к п. 3.

5. Если $P_{ш.вых.изм.} > P_{ш.вых.соб.} P_ш$, то увеличить ослабление $L_з > L_н$ и перейти к п. 3.

6. Иначе вывести на устройство отображения показания индикатора цифрового аттенюатора.

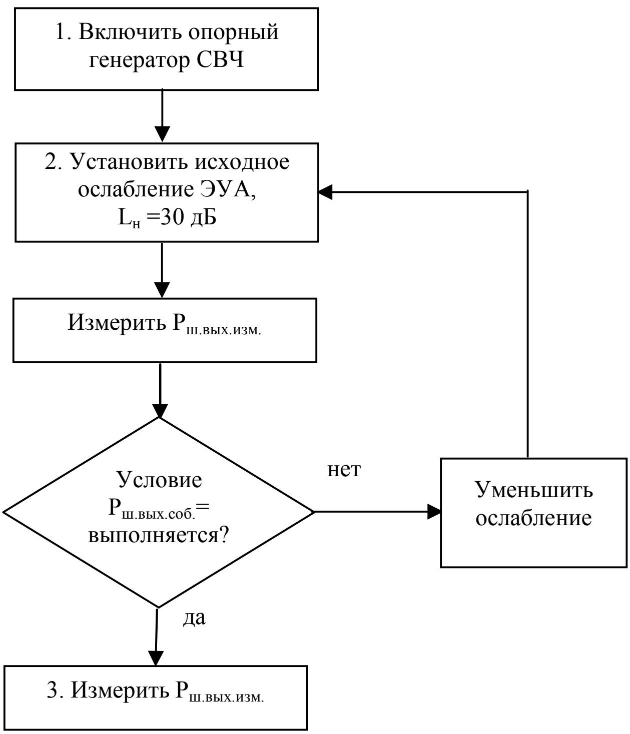

Рис.

Критерием частоты прерывания во времени для дискретного регулятора является заданная точность затухания переходного процесса во всех звеньях системы между двумя импульсами прерывателя.

Рассчитать время затухания переходных процессов до заданного уровня во всех звеньях дискретного регулятора задача весьма сложная и к тому же, в связи с нестабильностью элементов, расчётное время затухания не может быть строго детерминировано при всех режимах работы регулятора. В связи с указанным, автор разработал методику контроля полного насыщения токозадающих ключей ЭУА. Указанный режим ключа наступает при завершении переходных процессов в цепях регулятора. При этом полностью будет выполнено условие устойчивости, при котором в автоматической системе регулирования (АСУ) надёжно различается разность

$$\left| x - x_к \right| \le 0{,}5\eta,$$

где $x_к$ – компенсирующий сигнал, а η – зона нечувствительности АСУ.

Выводы. Проведенное исследование позволило разработать методические основы контроля нестабильности режимов облучения биообъектов, возникающих за счет погрешностей в телекоммуникационных системах, влияние индустриальных и температурных погрешностей, нестабильности источников электромагнитных сигналов. Экспериментальное исследование показало, что время измерения величины изменения напряженности поля на входе РПУ на 1 дБ составляет 0,5 – 1 мс, при точности 0,2 – 0,3 дБ.

Разработанный алгоритм измерения нестабильности позволяет реализовать систему автоматического принятия решения о продолжении облучения биообъекта в случае граничных значений в режиме электромагнитного воздействия близких к аварийному состоянию.

Список литературы: **1.** Радиосистемы передачи информации: Учеб. пособие для вузов / *В.А. Васин, В.В. Калмыков, Ю.Н. Себекин, А.И. Сенин, И.Б. Федоров* / Под ред. И.Б. Федорова и В.В. Калмыкова. – М.: Горячая линия, 2005. – 472 с. **2.** *Шахнович И.* Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2004. – 168 с. **3.** Основы построения систем и сетей передачи информации: Учебное пособие для вузов / *В.В. Ломовицкий, А.И. Михайлов, К.В. Шестак, В.М. Щекотихин* / Под ред. В.М. Щекотихина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 382 с. **4.** *Адрианов В.И., Соколов А.В.* Средства мобильной связи. – СПб.: BVH – Санкт-Петербург, 1998. – 256 с. **5.** *Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А.В.* Защита от утечки информации по техническим каналам: Учебное пособие. – М.: Гарячая линия – Телеком, 2005. – 416 с. **6.** *Акимов П.С., Сенин А. И., Соленов В.И.* Сигналы и их обработка в информационых системах: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1994. – 256 с. **7.** *Бриндли К.* Измерительные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 159 с. **8.** *Игнатов В.П.* Периодические дискретные каналы с оптимальными корреляционными свойствами. – М.: Радио и связь, 1992. – 640 с. **9.** *Маковеева Н.М., Шинаков Ю.С.* Системы связи с подвижными объектами. – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с. **10.** *Корсунов А.Р.* Программируемый и контролируемый аттенюатор 1…4 гГц // Приборы и техника эксперимента. – 2001. – №3. – С.121–124.

Поступила в редакцию 20.04.2007

УДК 519.832.3/833

И.В. КОЗИН, канд. физ.-мат. наук., ЗНУ (г. Запорожье),
С.А. ОСИПОВ, ЗНУ (г. Запорожье)

О МЕРЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ВЫБОРА В МОДЕЛЯХ МАТРИЧНЫХ ИГР

Розроблена методика визначення кількісної оцінки ступеню нестійкості вибору в матричній грі двох осіб з нулевою сумою. Запропоновано метод знаходження міри нестійкості на основі відомих методів умовної оптимізації. Запропонована комп’ютерна система, що дозволяє знайти оцінку нестійкості вибору на основі даних про виграші гравців на множені стратегій.

A new method of finding of quantitative estimation of choice instability in two agents matrix game with zero sum is introduced. A method of measure of instability defining on the basics of known conditional optimization methods is suggested. Also a computer system that allows estimating choice instability on basics of data of agents’ benefits on the set of strategies.

Постановка проблемы. Классические игровые модели, построенные на основе теории матричных игр [1, 2], начиная с простейшей модели матричной игры двух лиц с нулевой суммой, а также бескоалиционные матричные игры, игры с бесконечным числом стратегий и т.д. обладают рядом особенностей, которые можно определить как детерминированную неустойчивость оптимальных решений игроков. Другими словами, в этих моделях поведение игроков в общем случае достаточно трудно прогнозировать однозначно. Как правило, удается определить лишь вероятностное распределение для выбора стратегий игроков. Типичным примером такой неустойчивости является матричная игра двух лиц с нулевой суммой. При отсутствии седловой точки нет детерминированных стратегий игроков, которые являлись бы оптимальными для каждого из них. Оптимальное решение такой игры существует и может быть найдено лишь в смешанных стратегиях [3, 4]. В игровых моделях каждый игрок может выбирать свою стратегию автономно или обладая информацией о выборе стратегии другими игроками. Если выбор игрока не зависит от его знания выбора стратегий другими игроками, то выбор стратегии в игре будем называть устойчивым. Задача: для произвольной матричной игры определить меру устойчивости выбора, то есть насколько эта игра отличается от игры с устойчивым выбором.

В современных исследованиях проблематика в таком свете практически не освещена. Как правило, речь идет лишь о наличии либо отсутствии устойчивости [5, 6]. Рассматриваются некоторые виды устойчивости такие как μ- и ψ-устойчивости [2]. Мы же в случае отсутствия устойчивости предпринимаем попытку найти игру, в которой исследуемое решение было бы устойчиво, а также определить в определенном смысле расстояние до нее. Сходная идея [7] предложена для некоторых игр в развернутой форме, где внимание уделяется порядку ходов и той информации, которая при этом открывается игроку. Также рассматривается, так называемая, локальная устойчивость для равновесных по Нэшу решений [8].

Цель статьи – во-первых, для игровых моделей на основе матричной игры двух лиц с нулевой суммой получить количественную оценку устойчивости выбора игроков, во-вторых, показать, что задача такого рода сводится к решению задачи оптимизации, в-третьих, предложить алгоритм отыскания числовых оценок степени устойчивости выбора игроков в рассматриваемой игровой модели.

Неустойчивость выбора в матричной игре двух лиц. Исследование начнем с классической постановки для матричной игры двух игроков с нулевой суммой [1]. Стратегия игры описывается парой (i, j), где i – номер стратеги первого игрока, j – номер стратеги второго игрока. Выигрыш первого игрока при условии выбора совместной стратегии (i, j) равен числу a_{ij}. Соответственно, выигрыш второго игрока на той же паре стратегий равен $-a_{ij}$. Матрица выигрышей $A = (a_{ij})_{i,j=1}^{i=n,j=m}$ для первого игрока называется матрицей игры и полностью описывает условие игры. Матрицы выигрышей второго игрока отличается от матрицы A знаком. Выбор стратегии первого игрока осуществляется по правилу $\min\limits_{j} a_{ij} \to \max$.

Для второго игрока правило выбора имеет вид: $\max\limits_{j} a_{ij} \to \min$.

Если стратегия $j = j_0$ известна первому игроку, то он будет действовать по правилу $\min\limits_{j=j_0} a_{ij} \to \max$. Аналогично определяется и поведение второго игрока. Таким образом, выбор игроков не будет зависеть от предварительного знания о выборе другого игрока (будет устойчивым) лишь в случае, когда игра имеет седловую точку, то есть $\max\limits_{j} \min\limits_{j} a_{ij} = \min\limits_{j} \max\limits_{j} a_{ij}$.

Произвольная матричная игра может не иметь седловой точки. В этом случае естественным является вопрос, насколько эта игра далека от игры с устойчивым выбором. Будем рассматривать произвольную игру с матрицей $A = (a_{ij})_{i,j=1}^{i=n,j=m}$ как точку в линейном пространстве размерности *nm.* Для двух матричных игр с одинаковым набором стратегий игроков и с матрицами $A = (a_{ij})_{i,j=1}^{i=n,j=m}$ и $B = (b_{ij})_{i,j=1}^{i=n,j=m}$ введем расстояние ρ(A, B) как обычное эвклидово расстояние в линейном пространстве. То есть

$$\rho(A, B) = \left(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(a_{ij} - b_{ij}\right)^2 \right)^{1/2} .$$

Мерой неустойчивости выбора в игре с матрицей A будем считать расстояние от этой игры до ближайшей к ней игре с седловой точкой. Таким образом, мера неустойчивости выбора определяется формулой $\mu(A)=\rho(A,X^0)$, где $X^0=(x_{ij}^0)_{i,j=1}^{i=n,j=m}$ – оптимальное решение следующей задачи:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(a_{ij}-x_{ij})^2 \to \min \tag{1}$$

при ограничениях

$$\max_i \min_j x_{ij} = \min_j \max_i x_{ij} . \tag{2}$$

Учитывая строгую выпуклость целевой функции (1) и замкнутость множества, на котором ищется решение задачи оптимизации, приходим к выводу, что задача (1) – (2) имеет решение для любой матрицы A. Следовательно, определение меры неустойчивости выбора корректно для любой матричной игры с нулевой суммой. Следует обратить внимание, что для устойчивых ситуаций, то есть для игр с седловой точкой, мера неустойчивости обращается ноль.

Введем два понятия для произвольной матрицы игры $A=(a_{ij})_{i,j=1}^{i=n,j=m}$. Средним выигрышем будем называть величину $\overline{A}=\frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}a_{ij}$, дисперсией игры – величину $D(A)=\frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(a_{ij}-\overline{A})^2$.

Теорема 1. Для любой матричной игры с матрицей выигрыша A справедлива оценка меры неустойчивости:

$$\mu(A)\le\sqrt{nmD(A)} . \tag{3}$$

Доказательство. Выберем произвольные величины M и $\varepsilon>0$ и рассмотрим матричную игру $B=(b_{ij})_{i,j=1}^{i=n,j=m}$, где $b_{11}=M$, $b_{1j}=M+\varepsilon$, $j=2,3,...,m$, $b_{i1}=M-\varepsilon$, $i=2,3,...,n$. В этой игре имеется седловая точка, которая определяется парой (1, 1). Пусть X^0 – оптимальное решение задачи (1) – (2). Тогда $\mu(A)=\rho(A,X^0)\le\rho(A,B)$ для любой матрицы B заданного типа. Расстояние между матрицами A и B определяется формулой

$$\rho^2(A,B)=(a_{11}-M)^2+\sum_{j=2}^{m}(a_{1j}-M-\varepsilon)^2+\sum_{i=2}^{n}\sum_{j=1}^{m}(a_{ij}-M+\varepsilon)^2 . \tag{4}$$

Минимум этого расстояния достигается при значении

$$M = \frac{1}{nm}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a_{ij} + \varepsilon\left(1 - \frac{2m-1}{nm}\right) = \overline{A} + \varepsilon\left(1 - \frac{2m-1}{nm}\right).$$

Подставляя это значение в формулу (4) и переходя к пределу при $\varepsilon \to 0$, получаем неравенство (3). Конечно, оценка (3) для меры неустойчивости является достаточно грубой. Точное значение может быть получено путем решения оптимизационной задачи (1) – (2). Для отыскания приближенной оценки предложен алгоритм решения задачи условной оптимизации, основанный на методе Лагранжа и поиске по образцу [4].

Рассмотрим теперь ситуацию произвольной матричной игры двух игроков с матрицами выигрышей A_1 и A_2 для этих игроков соответственно. Устойчивыми в этой игре являются равновесия по Нэшу. Каждую такую матричную игру можно описать точкой в пространстве размерности $2nm$, координатами точки служат элементы матриц выигрышей. Мерой неустойчивости игры будем считать расстояние до ближайшей игры, в которой имеет место равновесие по Нэшу. Рассуждения, аналогичные предыдущим, приводят к следующему утверждению.

Теорема 2. Для любой биматричной игры с матрицами выигрышей A_1 и A_2 справедлива оценка меры неустойчивости $\mu(A_1, A_2) \le \sqrt{nmD(A_1) + nmD(A_2)}$.

Выводы. В результате проделанной работы была разработана методика определения количественной оценки степени неустойчивости выбора в матричной игре двух лиц с нулевой суммой. Предложен метод отыскания степени неустойчивости на основе известных методов условной оптимизации. Предложена компьютерная система, позволяющая найти оценку неустойчивости выбора на основе данных о выигрышах игроков на множестве стратегий. Дальнейшее развитие работы направлено на исследование устойчивости в играх с непрерывным множеством стратегий, а также в кооперативных играх и играх с числом игроков более чем 2.

Список литературы: 1. *Данилов В.И.* Лекции по теории игр. – М.: Российская экономическая школа, 2002. – 140 с. **2.** *Оуэн Г.* Теория игр, 2004. – 216 с. **3.** *Таха Х.* Введение в исследование операций. – Т. 2. – М.: Мир, 1985. – 496 с. **4.** *Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г.* Численные методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1990. – 232 с. **5.** *Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Семлина Е.А.* Теория игр. – М.: Книжный дом "Университет – Высшая школа", 1998. – 301 с. **6.** *Харшаньи Д, Зельтен Р.* Общая теория выбора равновесия в играх // Под ред. Зенкевича Н.А. – СПб.: Эконом. шк., 2001. – 406 с. **7.** *Петросян Л.А., Кузютин Д.В.* Игры в развёрнутой форме: оптимальность и устойчивость. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2001. – 292 с. **8.** *Мулен Э.* Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели. – М.: Мир, 1991. – 464 с.

Поступила в редакцию 20.04.2007