УДК 681.3.08+519.2

Быстродействующие алгоритмы локализации случайных точечно-импульсных объектов

А.Л. Резник[1], А.В. Тузиков[2], А.В. Торгов[1], А.А. Соловьев[1], В.А. Ковалев[2]

[1]ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск; [2]ОИПИ НАНБ, г. Минск

Введение. Исследования по оптимальному поиску случайных импульсных объектов актуальны для многих научно-технических дисциплин. Необходимость в их проведении возникает при проектировании различных электронно-оптических преобразователей и детекторов; в задачах подавления импульсных помех на зашумленных и слабоконтрастных изображениях; в технической диагностике при поиске неисправностей, проявляющихся в форме перемежающихся отказов; в задачах обнаружения радиоактивных источников с помощью систем, состоящих из одного или нескольких сенсоров, в радиофизике и радиоастрономии при поиске источников гравитационных волн, и других приложениях [1-3].

Алгоритмы одноэтапного поиска. Под импульсно-точечным источником ниже будет пониматься объект пренебрежимо малых угловых размеров (математическая точка), имеющий случайное расположение на оси x с априорной плотностью распределения $f(x)$ и излучающий бесконечно короткие импульсы с пуассоновской интенсивностью λ. Таким образом, временн*ы*е интервалы между импульсами являются случайной величиной t с показательной плотностью распределения $h(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$. Требуется за минимальное (в статистическом плане) время отыскать источник с точностью ε.

Вводя в рассмотрение бинарную функцию $u(x,t)$, описывающую окно обзора в момент времени t, получаем соотношение для среднего времени от начала поиска до регистрации первого импульса:

$$\langle \tau \rangle = \lambda \int_0^\infty dt \int_0^\infty dx \left[t f(x) u(x,t) \exp(-\lambda \int_0^t u(x,\xi) d\xi) \right].$$

В одношаговых алгоритмах *периодического* поиска относительная нагрузка $\varphi(x)$ на точку x (то есть относительное время ее пребывания в окне обзора) остается постоянной в течение всего времени поиска. При таком подходе задача состоит в том, чтобы найти функцию $\varphi(x)$, которая минимизирует среднее время поиска

$$\langle\tau\rangle = \frac{1}{\lambda}\int\frac{f(x)}{\varphi(x)}dx \tag{1}$$

при соблюдении условий

$$\int\varphi(x)dx = \varepsilon; \quad 0 \le \varphi(x) \le 1. \tag{2}$$

Оптимизация выражения (1) при ограничениях (2) относится к задачам нелинейного программирования [4]. Дифференцируя по φ и используя метод неопределенных множителей Лагранжа [5], получим решение

$$\varphi(x) = \varepsilon\sqrt{f(x)}\Big/\int\sqrt{f(x)}dx$$

В общем случае построение оптимального (не обязательно периодического) алгоритма одноэтапного поиска связано с нахождением такой функции $\varphi(x,t)$ – относительной нагрузки на точку x в момент времени t, которая минимизирует среднее время локализации

$$\langle\tau\rangle = \int dt\int dx f(x)\exp(-\lambda\int_0^t\varphi(x,\xi)d\xi) \tag{3}$$

Для решения этой оптимизационной задачи введем вместо функции «мгновенного» поискового усилия $\varphi(x,t)$ интегральную переменную

$$\alpha(x,t) = \int_0^t\varphi(x,\xi)d\xi, \tag{4}$$

соответствующую суммарному времени пребывания точки x в окне обзора за весь период от начала поиска до момента времени t. Вновь применяя метод неопределенных множителей Лагранжа, получим:

$$\alpha(x,t) = \begin{cases} 0, & \frac{1}{\lambda}\ln\frac{\lambda f(x)}{\mu(t)} < 0; \\ \frac{1}{\lambda}\ln\frac{\lambda f(x)}{\mu(t)}, & 0 \le \frac{1}{\lambda}\ln\frac{\lambda f(x)}{\mu(t)} \le t; \\ t, & t < \frac{1}{\lambda}\ln\frac{\lambda f(x)}{\mu(t)}. \end{cases}$$

Теперь в качестве общего решения задачи (3) может быть выбрана любая бинарная функция $\varphi(x,t)$, удовлетворяющая соотношению (4).

Многоэтапные алгоритмы поиска. При высоких требованиях к точности локализации одноэтапные алгоритмы далеки от оптимальных. Для среднего времени m-этапной процедуры локализации справедливо соотношение

$$\langle\tau\rangle = \sum_{k=1}^{m} \lambda^k \int_0^\infty dx f(x) \int \ldots \int t_k \times$$

$$\times \left\{ \prod_{l=1}^{k} \left[dt_l u_l(x, \sum_{s=1}^{l} t_s, t_1, \ldots, t_{l-1}) \exp(-\lambda \int\limits_{\sum_{s=1}^{l-1} t_s}^{\sum_{s=1}^{l} t_s} u_l(x, \xi, t_1, \ldots t_{l-1}) d\xi) \right] \right\}. \quad (5)$$

Найти экстремали, доставляющие минимум среднему времени локализации (5), в общем случае (когда плотность вероятностей $f(x)$ произвольна) не всегда возможно. Поэтому нами была разработана универсальная процедура, ориентированная на поиск источника в том случае, когда не имеется никакой априорной информации об интенсивности источника. Ввиду ограниченности объема настоящего сообщения ниже приводится только результирующая таблица 1 для равномерно распределенного источника, а все необходимые аналитические выкладки и численные расчеты опущены. Более подробную информацию об этом можно найти в работах [6-7].

Таблица 1 – Среднее время оптимального поиска случайного равномерно распределенного импульсного источника

Требуемая точность локализации ω	Оптимальное время локализации $\tau(\omega)$
$\left(\frac{M}{M+1}\right)^{M(M+1)} \le \omega \le \left(\frac{M-1}{M}\right)^{M(M-1)}$	$M \times (\omega)^{-\frac{1}{M}}$

Заключение. В результате проведенных исследований получен функционально полный набор оптимальных по быстродействию алгоритмов локализации случайно распределенного импульсно-точечного источника для систем с одним приемным устройством.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№ 19-01-128 и 18-51-00001) и Минобрнауки (проект № AAA-A17-117052410034-6).

Библиографический список

1. Barnes J.H., Hieftje G.M. Recent Advances in Detector-Array Technology for Mass Spectrometry // Int. J. Mass Spectrom. – 2004. – V. 238. – P. 33– 46.

2. Gnedenko B. V., Belyayev Yu. K., Solovyev A. D., Mathematical Methods of Reliability Theory – Nauka, Moscow, 1965. – Academic, New York, 1969. – 518 p.

3. Zhu X., Wen L., Hobbs G. and oth. Detection and localization of single-source gravitational waves with pulsar timing arrays // M.N. of the Royal

Astronomical Society, – Oxford Academic Press, – V. 449, – №2, 2015. – P. 1650–1663.

4. Bellman R.E., Glicksberg I.L., Gross O.A. Some aspects of the mathematical theory of control processes. – Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1958. – 263 p.

5. D. Bertsekas Constrained optimization and Lagrange multiplier methods. –New York: Academic Press. 1982.

6. Reznik A.L., Solov'ev A.A., Torgov A.V. The algorithms of optimum localization of random pulsed-point source under the condition of its uniform distribution on a search interval // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2018. – Vol.28, – No. 2, – P. 354-361.

7. Reznik A.L., Tuzikov A.V., Solov'ev A.A., Torgov A.V. Time-Optimal algorithms of searching for pulsed-point sources for systems with several detectors. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, –2017. – Vol. 53, – Issue 3, – P. 203-209.

УДК 004.9

Разработка и оценка эффективности автоматизированной информационной системы управления государственными закупками высшего учебного заведения

В.М. Свиридов, Ю.Г. Алгазина

АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье показана разработка и оценка эффективности автоматизированной информационной системы управления государственными закупками высшего учебного заведения на примере ФГКОУ ВО «Барнаульский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации».

Актуальность темы обусловлена инициированными на государственном уровне процессами автоматизации закупочной деятельности вузов, появлением новых агрегаторов торговли и единых информационных систем [1; 2].

Основные проблемы процесса закупочной деятельности высших учебных заведений заключаются в ведении «бумажного» документооборота, из-за которого возникает дублирование рапортов и увеличивается трудоемкость сбора первичной потребности по институту. Многократное дублирование информации на бумажных носителях, сводные