

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДОБЫВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

И. М. ЛЕВКИН

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: lev.kin@yandex.ru*

Рассмотрены различные подходы к оценке эффективности функционирования целенаправленных технических систем, учитывающие целевой эффект, или степень достижения цели (результативность), ресурсоемкость, оперативность, условия применения системы и ее технические характеристики, экономические затраты на производство и др. Комплексную оценку эффективности робототехнических систем добыwania и обработки информации предложено осуществлять с помощью разработанного дерева целей и задач и дерева показателей эффективности системы на основе операционно-временных, операционно-ресурсных и обобщенных комплексных моделей их функционирования. Обобщенный комплексный показатель эффективности зависит от конечной цели функционирования системы и включает в себя характеристики различных групп (технических, целевых, ресурсных и т.п.). Показателем эффективности является вероятность достижения цели. В качестве примера рассмотрена эффективность применения беспилотного летательного аппарата при получении изображений земной поверхности.

Ключевые слова: *эффективность, целенаправленные технические системы, робототехнические системы, добывание и обработка информации, дерево показателей эффективности, комплексный показатель*

Оценка эффективности целенаправленных технических систем, к которым относятся и робототехнические системы добыwania и обработки информации (далее — РТС), является важным этапом процесса их разработки и эксплуатации. Существует немало различных подходов к получению оценок, учитывающих различные параметры РТС. К основным параметрам относятся [1—10]:

- целевой эффект, или степень достижения цели (результативность);
- ресурсоемкость;
- оперативность;
- условия применения РТС;
- технические характеристики РТС в целом и их отдельных подсистем, в частности;
- экономические затраты на производство РТС.

Показателем эффективности таких систем, объединяющим перечисленные параметры, является вероятность достижения цели, но универсальная методика его определения [1] обеспечивает только определение общего перечня параметров РТС, которые необходимо учесть при проведении расчетов. Кроме того, в каждом отдельном случае для вычисления показателя эффективности функционирования таких систем используется свой математический аппарат, слабо коррелированный с иными методиками вычисления вероятности достижения целей.

Таким образом, отсутствие единого подхода к оценке различных составляющих процесса функционирования РТС приводит к необходимости использования разнообразных, как правило частично пересекающихся, механизмов определения эффективности, а также не позволяет дифференцировать степень влияния различных показателей на конечный результат функционирования РТС.

Методический подход, позволяющий устранить отмеченные недостатки, должен обеспечивать:

- 1) системное представление различных целей, которые может преследовать функционирование РТС, путем построения дерева целей и задач (ДЦЗ);
- 2) использование единого способа вычисления вероятности достижения каждой отдельной подцели (задачи) ДЦЗ;
- 3) получение интегрального показателя эффективности функционирования РТС с помощью промежуточных показателей элементов ДЦЗ.

В процессе разработки и применения систем подобного назначения необходимо обеспечить [11—13]:

- формирование заданных характеристик РТС — добывание, обработку и передачу информации;
- экономичность процесса разработки и производства РТС с учетом новейших достижений науки и техники;
- непосредственное добывание РТС информации в заданной области информационного пространства;
- передачу РТС информации по телекоммуникационным системам;
- обработку РТС информации в различных информационно-аналитических структурах;
- поддержание РТС в работоспособном состоянии в различных условиях.

На рис. 1 представлено дерево показателей эффективности РТС.



Рис. 1

Техническая эффективность $\xi_i, i = \overline{1, I}$, определяется техническими характеристиками РТС воздушного базирования по добыванию и обработке различных видов информации, ее передаче по каналам связи, хранению и т.п. К таким характеристикам относятся разрешающая способность инструментальных средств, их спектральная чувствительность, полоса захвата, дальность обнаружения, объем оперативной памяти, скорость обработки информации, скорость передачи информации, скорость перемещения в пространстве и др.

Результативная эффективность $\nu_j, j = \overline{1, J}$, определяется характеристиками, описывающими степень достижения РТС того или иного результата в ходе добывания или обработки информации. К таким характеристикам относятся степень обследования информационного пространства, относительное число решенных задач, выявленных объектов (информационных признаков), полнота обработки информации, ее достоверность и др.

Показатели ресурсной эффективности $r_f, f = \overline{1, F}$, представляют собой совокупность характеристик, описывающих расход ресурсов РТС. Так, например, к техническим относятся энергетические ресурсы (топливо, емкость источников электропитания, емкость баллонов сжатого газа и т.п.), продолжительность непрерывной эксплуатации, материальные ресурсы и др. К интеллектуальным ресурсам относятся творческие способности человека-оператора, его работоспособность, психологическая устойчивость и др. Отдельного рассмотрения требует временной ресурс (оперативность процесса добывания и обработки информации).

Эксплуатационная эффективность $\zeta_g, g = \overline{1, G}$, определяется характеристиками, описывающими процесс применения РТС по назначению: живучесть РТС, устойчивость к внешним и внутренним воздействиям, маневренность, рациональность применения и др.

Экономическая эффективность $\varepsilon_h, h = \overline{1, H}$, определяется характеристиками, описывающими экономические затраты на разработку, производство и эксплуатацию РТС. К таким характеристикам относятся затраты на отдельные операции изготовления РТС, рентабельность их производства в целом, затраты на инновации в процессе производства, экологичность, логистика и др.

Так как универсальным показателем эффективности функционирования любой целенаправленной системы является вероятность достижения цели P , то эффективность функционирования элементов нижнего уровня дерева показателей может быть определена следующим образом:

$$P_k = p(\hat{\omega} \leq \omega^*), \omega \in \{\zeta_1, \dots, \zeta_J; v_1, \dots, v_J; r_1, \dots, r_F; \zeta_1, \dots, \zeta_G; \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_H\}, \quad (1)$$

где $\hat{\omega}$ — случайная величина, характеризующая достижимость технического показателя РТС; ω^* — требования, предъявляемые к показателю; k — некоторая промежуточная цель функционирования РТС.

Если при оценке эффективности функционирования РТС важно достичь требуемых значений характеристик одного типа (например, разрешающей способности инструментальных средств, спектральной чувствительности и т.п.), то при вычислении P_k может быть либо использована свертка характеристик, например, вида $v = \sum_s \alpha_s v_s$, $s \in \{1, I\}$, α_s — нормированный коэффициент важности технической характеристики ($\sum_s \alpha_s = 1$), либо вычислен комплексный показатель эффективности, например, для результативной эффективности:

$$P_p = p\left[\left(\hat{v}_l \geq v_l^*\right) \cap \left(\hat{v}_l \leq v_l^*\right) \cap \dots \cap \left(\hat{v}_q \leq v_q^*\right)\right]. \quad (2)$$

Обобщенный комплексный показатель эффективности зависит от конечной цели функционирования РТС и включает в себя технические, целевые, ресурсные характеристики РТС. Примером такого показателя может быть вероятность обследования некоторой области информационного пространства:

$$P = p\left[\left(\hat{v} \geq v^*\right) \cap \left(\hat{r} \leq r^*\right) \cap \left(\hat{\tau} \leq \tau^*\right)\right] = \iiint_{v, r, \tau} \varphi_{\langle \hat{v}, \hat{r}, \hat{\tau} \rangle}(v, r, \tau) dv dr d\tau, \quad (3)$$

где $\varphi_{\langle \hat{v}, \hat{r}, \hat{\tau} \rangle}(v, r, \tau)$ — совместная плотность распределения вероятности случайных величин, характеризующих результативность (\hat{v}), ресурсоемкость (\hat{r}) и оперативность ($\hat{\tau}$) РТС.

Для упрощения расчетов обобщенного комплексного показателя эффективности иногда

применяют так называемый „эффект поглощения“ [1]: одно из требований считается достоверно выполнимым, например, принимается, что для достижения конечного результата используется весь ресурс, имеющийся у РТС. В этом случае случайная величина \hat{r} исключается из рассмотрения, и выражение (3) принимает вид:

$$P = p\left[\left(\hat{v} \geq v^*\right) \cap \left(\hat{\tau} \leq \tau^*\right)\right] = \iint_{v \tau} \varphi_{\langle \hat{v}, \hat{\tau} \rangle} dv d\tau. \quad (4)$$

В зависимости от набора характеристик РТС, обеспечивающих достижение какой-либо цели, могут быть построены различные модели оценки эффективности: операционно-временная; операционно-ресурсная; обобщенная комплексная.

Операционно-временная модель оценки эффективности описывает распределение времени по основным операциям процесса функционирования РТС. Основной целью применения РТС в этом случае является минимизация времени для достижения требуемого результата [14]. Пример модели, описывающей процесс добывания информации беспилотным летательным аппаратом (БЛА), приведен на рис. 2.

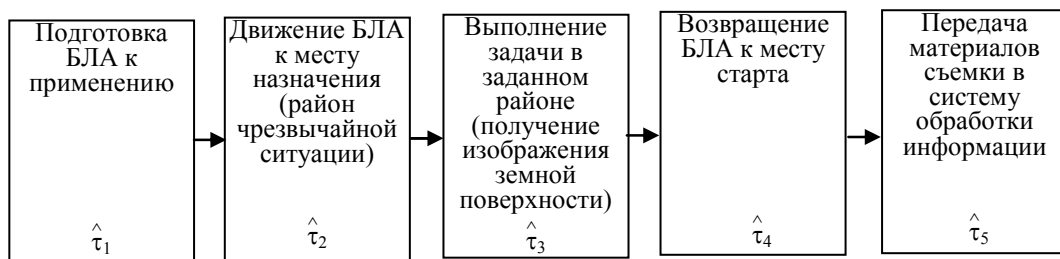


Рис. 2

Согласно этой модели, для непосредственного получения результата — изображения земной поверхности в районе чрезвычайной ситуации — затрачивается время $\hat{\tau}_3$, это время называется операционным [15—18]. Значение $\hat{\tau}_3$ зависит от инструментальных средств, установленных на БЛА, размеров района съемки, условий съемки (погодных, технических и т.д.). Остальные временные затраты ($\hat{\tau}_1, \hat{\tau}_2, \hat{\tau}_4, \hat{\tau}_5$) относятся к технической задержке. Очевидно, что в зависимости от выбора маршрута полета (логистика), условий полета (летные характеристики БЛА), размеров области съемки (производительность инструментальных средств) и других характеристик поставленная задача будет выполнена за разное время и с различным результатом.

В рассмотренной модели не учтен технический (или иной другой, кроме временного) ресурс БЛА, поэтому в качестве аналитического выражения, определяющего вероятность достижения цели, в данном случае может быть использовано (4).

Операционно-ресурсная модель описывает распределение различных видов ресурсов по основным операциям процесса функционирования БЛА. Применение РТС в данном случае позволяет минимизировать ресурсные затраты для достижения требуемого целевого эффекта. В рассматриваемом примере ресурсом может быть емкость накопителя информации, емкость источников питания, объем топлива и т.п. При этом требование на минимизацию времени выполнения задачи не накладывается (используется „эффект поглощения“ времени в выражении (3)).

Обобщенная комплексная модель оценки эффективности БЛА по добыванию информации в районе чрезвычайной ситуации может быть представлена выражением (3).

Использование предлагаемого подхода к оценке эффективности функционирования целенаправленных технических систем, в том числе и РТС, обеспечивает

1) возможность одновременного всестороннего учета различных частных показателей, в том числе путем формирования полного обобщенного комплексного показателя вида:

$$P = p \left[(\hat{\xi} \leq \xi^*) \cap (\hat{v} \geq v^*) \cap (\hat{r} \leq r^*) \cap \dots \cap (\hat{\tau} \leq \tau^*) \right] = \\ = \int_{\xi} \int_{v} \int_{r} \dots \int_{\tau} \Phi_{\langle \hat{\xi}, \hat{v}, \hat{r}, \dots, \hat{\tau} \rangle} (\xi, v, r, \dots, \tau) d\xi dv dr \dots d\tau; \quad (5)$$

2) возможность изучения влияния отдельных характеристик на соответствующий показатель эффективности функционирования РТС. В этом случае может быть использован метод ведущей характеристики (выбранная характеристика представляется комплексным или частным показателем эффективности в некотором диапазоне ее изменения при фиксированных значениях остальных характеристик):

$$P = p \left[(\hat{v}_l \geq v_l^*) \mid v_u = \text{const}, u \in \{1, I\}, u \neq l \right]. \quad (6)$$

3) получение значения обобщенного комплексного показателя эффективности путем построения аналитического выражения вида (5) или использованием метода последовательных вычислений. В последнем случае предполагается, что различные группы характеристик РТС являются независимыми, а расчет комплексного показателя осуществляется следующим образом. Согласно выражению (2) определяются значения частных показателей эффективности — технической, результативной, ресурсной, эксплуатационной, экономической: соответственно P_T , P_P , P_{Pc} , P_3 , $P_{3к}$. Затем значение полного обобщенного комплексного показателя эффективности вычисляется при помощи выражения:

$$P = 1 - (1 - P_T)(1 - P_P)(1 - P_{Pc})(1 - P_3)(1 - P_{3к}). \quad (7)$$

Предлагаемая методика комплексной оценки эффективности робототехнических систем добывания и обработки информации может использоваться на любом этапе разработки и внедрения различных технических систем. Для использования методики необходимо изучить вероятностные характеристики операций жизненного цикла технической системы и их влияние друг на друга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. С. 23—25.
2. Куренков В. И., Кучеров А. С. Методы исследования эффективности ракетно-космических систем. Самара: СГАУ, 2012. 108 с.
3. Моргунов Е. П., Моргунова О. Н. Модификация метода „Анализ среды функционирования“ на основе использования эталонных границ эффективности [Электронный ресурс]: <<http://morgunov.org/docs/paper37.pdf>>.
4. Методические указания по определению экономической эффективности капитальных вложений и технических решений в транспортном строительстве. М.: ОРГТРАНССТРОЙ, 1974.
5. Выбор показателей эффективности [Электронный ресурс]: <<http://www.scriu.com/10/31/42242831435.php>>.
6. Ермишян А. Г. Идеология оценки эффективности функционирования сложных организационно-технических систем военного назначения // Вестн. Академии военных наук. Санкт-Петербургское региональное отделение. 2012. № 7.
7. Коломойцев В. С., Богатырев В. А. Оценка эффективности и обоснование выбора структурной организации системы многоуровневого защищенного доступа к ресурсам внешней сети // Информация и космос. 2015. № 3. С. 71—79.

8. Конищенко А. В., Прядко Т. В. Оценка показателей функционирования информационной системы каталогизации предметов снабжения // Телекоммуникации. 2006. № 7. С. 10—13.
9. Пуха Г. П., Попов П. В., Драчёв Р. В. Построение систем интеллектуальной поддержки принятия решений // Морской сборник. 2014. Т. 2012, № 11. С. 41—47.
10. Пуха Г. П., Попов П. В., Драчев Р. В., Попцова Н. А. Построение системы интеллектуальной поддержки принятия решений по организации услуг мобильной связи // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 70—75.
11. Афонин В. Л., Макушкин В. А. Интеллектуальные робототехнические системы: курс лекций. М.: Интернет-ун-т информ. технологий, 2009.
12. Минаков Е. П., Лопота В. А., Юревич Е. И., Кондратьев А. С. Концепция развития робототехнических систем в интересах пилотируемой космонавтики, исследования Луны и планет солнечной системы. [Электронный ресурс]: <<http://www.mr.rtc.ru/doc/general/ob04.pdf>>.
13. Иванов А. В., Юревич Е. И. Мини- и микроробототехника. СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2011. С. 14—15.
14. Степанов Д. Н., Тищенко И. П. Задача моделирования полета беспилотного летательного аппарата на основе системы технического зрения // Программные системы: теория и приложения: электрон. науч. журн. 2011. № 4(8). С. 33—43 [Электронный ресурс]: <http://psta.psiras.ru/read/psta2011_4_33-43.pdf>.
15. Зыль С. QNX Momentics. Основы применения. СПб: БХВ-Петербург, 2004. С. 32—33.
16. Ослендер Д. М., Риджли Дж. Р., Рингенберг Дж. Д. Управляющие программы для механических систем: Объектно-ориентированное проектирование систем реального времени. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2004. С. 35—37.
17. Воробьёв А. И., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Оценка вероятностно-временных характеристик процесса предоставления информационно-справочных услуг // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 9. С. 15—18.
18. Колбанёв М. О., Татарникова Т. М., Воробьёв А. И. Модель балансировки нагрузки в вычислительном кластере центра обработки данных // Информационно-управляющие системы. 2012. № 3. С. 37—41.

Сведения об авторе

Игорь Михайлович Левкин

— д-р воен. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра бортовых систем управления оружием и вооружением; E-mail: lev.kin@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
информационных систем и
технологий СПбГЭУ

Поступила в редакцию
29.06.16 г.

Ссылка для цитирования: Левкин И. М. Комплексная оценка эффективности робототехнических систем добы- вания и обработки информации // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60, № 2. С. 110—116.

COMPLEX ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS OF ROBOTIC SYSTEM FOR COLLECTION AND PROCESSING OF INFORMATION

I. M. Levkin

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: lev.kin@yandex.ru

Various approaches to estimating the operation effectiveness of specialized technical systems with the account for target effect or the degree of achievement of objectives (effectiveness), resource consumption, operativeness, conditions of use and the system technical specifications, economic costs of production, etc.

A method of comprehensive evaluation of robotic system effectiveness in collecting and processing of information is proposed. The method is based on the use of developed hierarchy of goals and objectives tree, and the system performance indicators based on the operational-time, operational-resource, and generalized complex models of the system functioning. The generalized complex index of efficiency depends on the ultimate goal of the system and includes the characteristics of various groups (technical, target, resource, etc.). The measure of effectiveness is the probability of achieving the goal. As an example, the effectiveness of unmanned aircraft application for the earth's surface imaging is considered.

Keywords: efficiency, targeted technical systems, robotic systems, information collecting and processing, tree of performance indicators, comprehensive index

Data on author

Igor M. Levkin — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of On-board Weapons Control Systems; E-mail: lev.kin@yandex.ru

For citation: *Levkin I. M.* Complex assessment of effectiveness of robotic system for collection and processing of information // Journal of Instrument Engineering. 2017. Vol. 60, N 2. P. 110—116 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-2-110-116