Критическая поверхность выбора приемлемой системы сбора, передачи и отображения информации Узла связи Берегового центра управления автономными необитаемыми подводными аппаратами

Ю.Б. Аллакулиев

Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова, Владивосток

Аннотация: в данной работе рассматривается задача выбора приемлемой системы сбора, передачи и отображения информации берегового центра управления автономными необитаемыми аппаратами (АНПА) в теории принятия решений. В случае экспоненциальной системы принятия решений, в которой приведена гипотеза о приемлемости системы сбора, передачи и отображения информации, необходимо определить суммарное время семантической идентификации лесной топологии «А»-графа [1] (принцип аддитивности). Для этого нужны дополнительные тестовые эксперименты или известные данные по времени уяснения семантики в конкретных ситуациях. Если это время будет меньше нормативного, или точнее времени компромисса, то такую систему сбора, передачи и отображения информации можно рекомендовать к эксплуатации в экспоненциальной системе принятия решения. В противном случае такую систему нельзя рекомендовать лицу, принимающему решение (ЛПР) обсуждаемого типа.
Ключевые слова: система сбора, передачи и отображения информации (ССПОИ) узла связи берегового центра управления (УС БЦУ) автономными необитаемыми аппаратами (АНПА), лицо, принимающее решение (ЛПР), когнитивная функция ЛПР.

Следуя теоретической схеме принятия решений по оценке адекватности системы сбора, передачи и отображения информации (ССПОИ) [2], выясним вначале, какой класс $\Psi(\tau)$ – когнитивная функция ЛПР, сопряжен с логарифмическими функциями. Наряду с кумулятивной функцией штрафов может рассматриваться более ослабленный вариант внешней неопределенности. Он аппроксимируется логарифмической зависимостью, параметризованной двумя степенями свободы: амплитудой логарифма и скоростью нарастания. Другим крайним случаем является штрафная функция с выходом на стационарный уровень.

Рассматриваемый нами в данной работе случай занимает промежуточное положение по типу штрафной неопределенности. Поэтому было бы важно такой класс когнитивных функций [3] индуцировать вышеупомянутыми штрафами.

Пусть штрафная функция в общем виде $\Phi(\tau)=\ln B\tau^{\beta}$, где $B>0,\quad \beta>0, \beta><1$. Штрафы имеют две степени свободы. Сами штрафные функции в свою очередь индуцируют функции стоимости, затрат $\varphi(\tau)$ в системе принятия решений (СПР). Класс стоимостных функций совпадает с классом штрафов, однако будет отличаться параметрами. Введем соответствующую энтропию стоимости или затрат СПР:

$$S[\varphi(\tau)]=\ln\varphi(\tau)\Rightarrow\ln A\tau^{\gamma},\ A>0, \gamma>0, \gamma><1. \tag{1}$$

Для (1) определим потенциальную составляющую лагранжиана СПР.

$$V_{A,\gamma}(\tau)=\sum_{i=1}^{m}\Psi_i(\tau)\ln\varphi_i(\tau)=\sum_{i=1}^{m}\Psi_i(\tau)\ln A\tau^{\gamma}. \tag{2}$$

Здесь $\Psi_i(\tau)$ является когнитивной функцией ЛПР, которая имеет смысл меры или распределения [4] когнитивных усилий по τ. Фактически потенциальная часть лагранжиана получается усреднением по когнитивной характеристике ЛПР. Аналогично мера возможностей СПР составит вторую часть лагранжиана:

$$H[\Psi(\tau)]=-\sum_{i=1}^{n}\Psi_i(\tau)\ln\Psi_i(\tau)\quad \Psi_i(\tau)>0\quad Norm\ \Psi_i(\tau)<\ \propto. \tag{3}$$

Мера возможностей взята в виде шенноновской энтропии, причем предполагается, что $\Psi_i(\tau)$- распределение является вероятностной мерой.

Тогда лагранжиан СПР в целом приведет к действию (2, 3):

$$S\{L[\Psi_i(\tau);\varphi(\tau)]\}=\sum_i\sum_\alpha\{\Psi_i(\tau)[\ln\Psi_i(\tau)+\ln\alpha\tau_{i,\alpha}^{\gamma}]\}. \tag{4}$$

В (4) α – индекс относится к многопродуктовости, а i индекс указывает на число направлений в лесном «А»-графе [2]. При этом предполагается, что стоимостная функция для разных направлений лесного графа одинакова, как и сама внешняя штрафная функция Ф(τ) или её энтропия.

Как всегда вариационный принцип требует $\delta S\{L[\Psi_i(\tau);\varphi(\tau)]\}=0$. (5)

Это в свою очередь эквивалентно обращению в нуль вариационной производной от лагранжевой функции от $\Psi(\tau)$ – функции ЛПР.

$$\frac{\partial L[\Psi_i(\tau);\varphi(\tau_i)]}{\partial \Psi_i(\tau)}=0. \quad (6)$$

Выражение (6) – функционал, поскольку варьируется вид Ψ(τ) функции ЛПР. В случае параметрического задания Ψ(τ) ЛПР функциональная производная сводится к обычным производным по параметрам. Кроме того, так как «А»-граф обладает лесной топологией, то функция Лагранжа для СПР в целом подчиняется принципу аддитивности. В таком случае вариационная или функциональная производная (6) будет равна

$$\frac{\partial L[\Psi(\tau);\varphi(\tau)]}{\partial \Psi(\tau)}=\ln\Psi(\tau)+\ln\alpha\tau^{\gamma}+1=0\ . \quad (7)$$

Из (7) нетрудно получить явный вид когнитивной функции ЛПР:

$$\Psi(\tau)=\frac{C}{\tau^{\gamma}},\ \text{где}\ C=\frac{1}{\alpha^{e}}>0,\ \gamma>0,\ \gamma>,<1,\ \tau\geq 1. \quad (8)$$

Зависимость (8) – хорошо известное распределение ЦПМ [1, 5]. Данное распределение нетипично для обычной теории вероятностей [1]. Если нет, например, моды, бессмысленно говорить о среднем. Моментов *k*-х в распределении ЦПМ не существует [1, 5]. Сегодня такие распределения называются распределениями с «затянутыми» или с «дальнедействующими хвостами». При $\tau=1$ ЦПМ характеризуется *C*- амплитудой. Асимптотика ЦПМ конечно нулевая, но все дело в γ-показателе. Как мы уже говорили, если взять $\gamma>1$, то интеграл под ЦПМ распределением будет стремиться к нулю. Такие статистики называются ближнедействующими. Если же брать

γ < 1, то аналогичный интеграл будет расходится и статистика будет дальнодействующей. Вполне возможно, что от характера ближнее-дально-действия будет зависеть успех борьбы антагонистических систем и момент компромисса. Полезно подчеркнуть, что в случае экспоненциальных систем СПР нет такого деления. Для простоты в настоящем сообщении будем рассматривать одноканальную, однопродуктовую и статическую СПР.

Решив задачу борьбы и компромисса при таких условиях, по крайней мере для лесного графа ССПОИ, без труда можно получить общую характеристику для «А»-графа в целом [6].

Теперь обратимся к борьбе СПР с внешней неопределенностью, которая выражается штрафной функцией и её энтропией. Важно подчеркнуть, что ортодоксальная теория принятия решений [4] сводится к проблеме выбора из достаточно полного множества альтернатив. В ней нет никакого обращения к борьбе в том или ином виде, и соответственно к компромиссу. В простой версии борьба антагонистических систем отражается в мультипликативной логике штрафных и когнитивных функций СПР. Так в теории принятия решений надо сформулировать тот функционал, который может лечь в основу соответствующего критерия оценки приемлемости ССПОИ для данного типа ЛПР. В нашем подходе выбираем:

$$\arg Mod\{\Psi(\tau)\varphi(\tau)] = \frac{d[\Psi(\tau)\varphi(\tau)]d\Psi(\tau)}{d\Psi(\tau)d\tau} \Rightarrow \tau^*(\beta;\gamma/a \vee b). \qquad (9)$$

Выражение (9) фактически представляет собой поверхность компромисса. Это время компромисса является условным функционалом:

$$\tau^*(\Psi(\tau)/\varphi(\tau)) \in \left\{\tau^*\left(X_i^\alpha/Z_i^\alpha\right)\right\}. \qquad (10)$$

Именно временной функционал (10) и будет является критической поверхностью принятия решения. Тогда, если $\tau_{i,\alpha} < \tau^*\left(X_i^\alpha/Z_i^\alpha\right)$, ССПОИ может быть принята к эксплуатации для данного ЛПР.

Если $\tau_{i,\alpha} > \tau^* \left(X_i^\alpha / Z_i^\alpha \right)$, то ССПОИ должна быть отвергнута для данного типа ЛПР как неэффективная. Можно заметить, что такое принятие решения, как выбор ССПОИ, соответствует обычным методам проверки гипотез математической статистики в альтернативном варианте. Здесь надо подчеркнуть, что проверку простой альтернативы для каждой ССПОИ надо проводить независимо и только в смысле принятия-отвержения. При этом также надо помнить, что одна и та же ССПОИ для разных ЛПР может быть приемлема, а для другого ЛПР – не приемлема.

Согласно вышеприведенному формализму любая СПР будет задаваться функцией штрафов, которая индуцирует функцию стоимости и когнитивной функцией ЛПР. Видимо наиболее простой случай, когда обе функции принадлежат экспоненциальному классу. По крайней мере, в любом случае придется начинать с такого класса функций.

Пусть функция когнитивных усилий ЛПР будет равна:

$$\Psi_{A,\lambda_\alpha}(\tau) = Ae^{-\lambda_\alpha \tau} \qquad (11),$$

где $\lambda_a = \frac{1}{\tau_a}$, а τ_a – время характерного экспоненциального затухания когнитивных усилий. В этом выражении есть две степени свободы: амплитудная A и λ_a с размерностью частоты. Очевидно, чем больше τ_a, тем медленнее спадают когнитивные усилия. В качестве штрафной выбирается следующая функция:

$$\varphi_{B,\lambda_b} = B\left[1 - e^{-\lambda_b \tau}\right], \qquad (12)$$

где $\lambda_b = \frac{1}{\tau_b}$, а τ_b - время характерного экспоненциального нарастания штрафов. Здесь мы также имеем две степени свободы, аналогичные предыдущему выражению (11).

В обеих функциях (11,12) имеются амплитудные параметры и скоростные. В какой мере компромисс будет зависеть от этих степеней свободы? Борьба двух систем описывается в мультипликативной логике, что позволяет установить время компромисса для экспоненциальной СПР. В результате получим:

$$\tau^*_{\lambda_a,\lambda_b} = -\frac{1}{\lambda_b} ln\left(\frac{\lambda_a}{\lambda_a+\lambda_b}\right). \quad (13)$$

В эквивалентных временных шкалах имеем следующие значения:

$$\tau^*_{\tau_a,\tau_b} = \tau_b ln\left(1+\frac{\tau_a}{\tau_b}\right). \quad (14)$$

Из этих выражений видно, что время компромисса, вообще говоря, не зависит от амплитудной информации. Оно определяется парой λ или τ показателей.

Если взять мажоранту (14), то $\tau_{ассимптотическая} \sim \tau_a$. Этот результат основан на аппроксимации логарифма простейшим неравенством из теории выпуклых функций. Оно сразу подсказывает, что

$$\frac{\tau_a}{\tau_b} \gg 1, \text{т.е.}\, \tau_a \gg \tau_b > 1. \quad (15)$$

Анализ приведенных формул, конечно, должен быть двухсторонним. Если исповедовать точку зрения вражеской стороны, то

$$B > A, \tau_b < 1. \quad (16)$$

Это означает, что штрафные функции, степень неопределенности противоборствующей стороны должны быть мощными и быстрыми.

Если же анализировать выражения с точки зрения СПР, то

$$\tau_a \gg \tau_b > 1. \quad (17).$$

В этом случае мы получаем больший интервал дозволенных значений, подпороговых. Для примера показан результат мультипликации (рис. 1, 2).

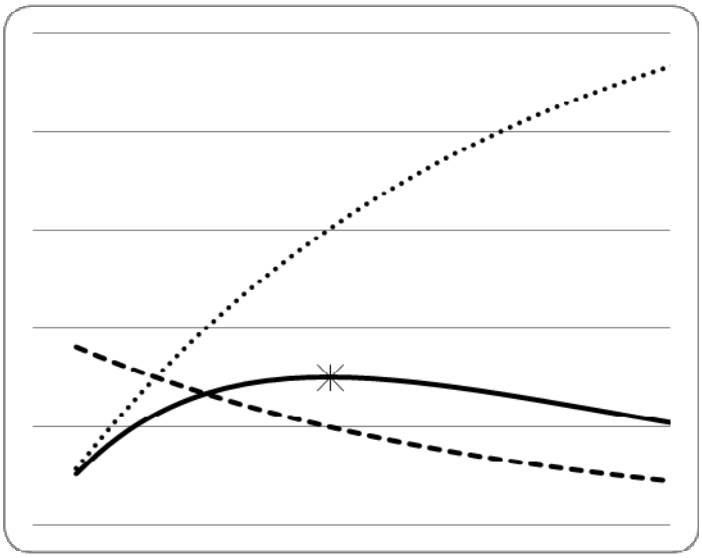

Рис. 1. Кривая принятия решения на экспоненциальных функциях
Амплитуда штрафа – 3, амплитуда ЛПР - 1. Показатели экспоненты – 0,1.

На этих рисунках виден один интересный результат, когда одно и то же значение времени компромисса получается по двум разным каналам воздействия.

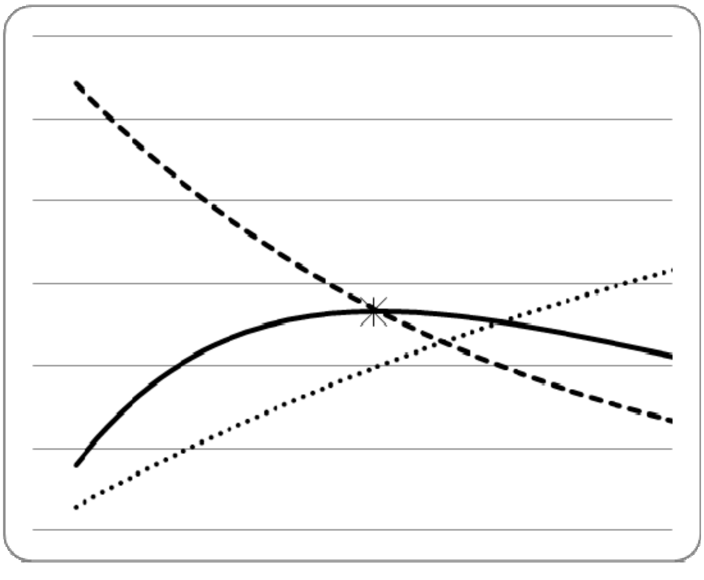

Рис. 2. Кривая принятия решения на экспоненциальных функциях
Амплитуды – 3. Показатель штрафа – 0,05, показатель ЛПР – 0,1.

Для рис. 1 $\lambda_a = \lambda_b = 0.1;\ A = 1;\ B = 3.$

Для рис. 2 $\lambda_a = 0.1;\ \lambda_b = 0.05;\ A = B = 3.$

Важно указать, что экстремум не всегда совпадает с пересечением. Если же говорить об амплитуде компромисса, то для случая на рис. 2, она выше, чем на рис. 1. Вообще говоря, значения амплитуд A и B имеют свой смысл при поиске компромиссов.

В нашем случае в ТПР особую роль играет построение поверхности принятия решения $\tau^*_{\lambda_a,\lambda_b}$ (см. рис. 3). Данная поверхность обладает хорошими топологическими и аналитическими свойствами. Если сделать ортогональные сечения данной поверхности, то для них характерен коллинеарный спадающий характер параметрических зависимостей

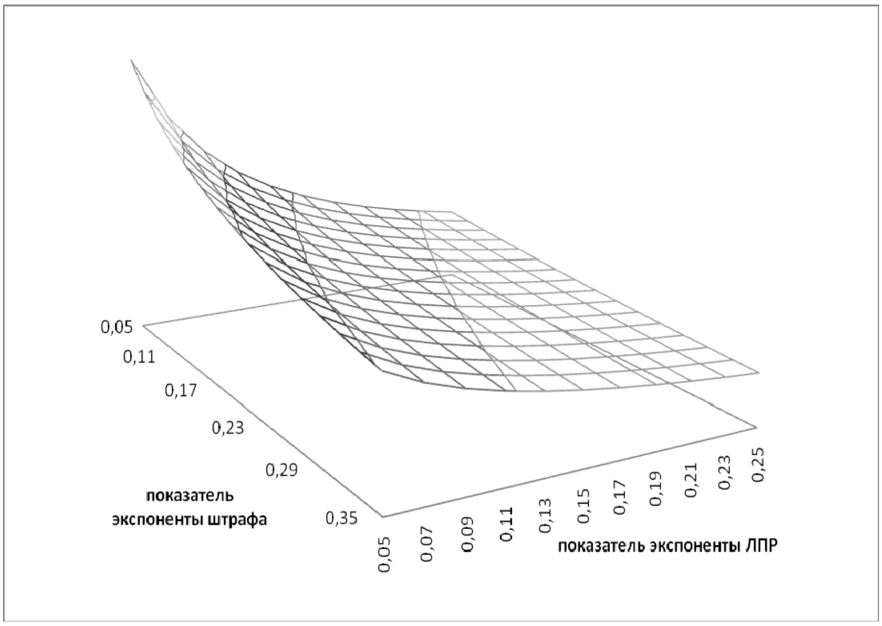

Рис. 3. Поверхность принятия решения на экспоненциальных функциях

В аналитическом и топологическом планах поверхность всюду непрерывна, дифференцируема, глобально вогнутая. Каких-либо аналитических и топологических особенностей она не содержит.

Вообще говоря, в нашей версии ТПР, в которой приведена гипотеза о приемлемости ССПОИ, необходимо определить суммарное время семантической идентификации лесной топологии «А»-графа [7] (принцип аддитивности). Для этого нужны дополнительные тестовые эксперименты или известные данные по времени уяснения семантики в конкретных ситуациях. Если это время будет меньше нормативного, или точнее времени компромисса, то такую ССПОИ можно рекомендовать к эксплуатации в экспоненциальной СПР. В противном случае такую ССПОИ нельзя рекомендовать ЛПР обсуждаемого типа. Видимо СПР экспоненциального типа будет представлять самую простую конфигурацию ситуации антагонистической борьбы.

Литература

1. Королюк В.С. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука. 1985. 516 с.

2. Тартаковский Г.П. Теория информационных систем // М. Физматкнига, 2005, 304 с.

3. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности серия: «Системы и проблемы управления». М.: СИНТЕГ, 2000, 528 с.

4. Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии. М.: Мир.1980. 350 с.

5. Щеголева С.А. Статистика Ципфа-Парето-Мандельброта и анализ Парето/ Вестник ДВГАЭУ №3 Владивосток 2002. С.56-64.

6. Айзерман М.А. и др. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами // Исследования по теории структур. Сб. науч. тр. М.: Наука. 1988, С.5-77.

7. Горияннов В.Т., Журавлев Л.Г., Тихонов В.И. Статистическая радиотехника: примеры и задачи. М.: Сов.радио.1980. 544 с.

8. Аллакулиев Ю.Б., Концепция Берегового центра управления автономными роботами дальнего радиуса действия // Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» и IX молодежная школа-семинар «Управление и обработка информации в технических системах» // Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, 2018. С. 148-156.

9. Гинис Л.А., Вовк С.П. Определение четко доминирующих тактик для выработки альтернативных управляющих решений в условиях полной неопределенности // Инженерный вестник Дона. 2014. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2327.

10. Грищенко А.А. Нечеткие методы принятия решений поиска объектов на море // Инженерный вестник Дона. 2014. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2287.

11. Золотарев В.М Современная теория суммирования независимых случайных величин. М.: Наука. 1986. 416 с.

12. Климов Г.П. Стохастические системы обслуживания. М.: Наука. Гл. ред.физ.-мат.лит. 1966. 244 с.

13. Стратонович Р.Л. Теория информации. М.: Сов.радио. 1975. 424 с.

14. World Robotics 2015 Service Robots: Service Robot Statistics. IFR International Federation of Robotics. URL: ifr.org/service-robots/statistics/. [Accessed 25 February 2015].

15. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013-2038. Washington, D.C.: Department of Defense, 2013. URL: defense.gov/pubs/DOD-USRM-2013.pdf. [Accessed 31 March 2014].

16. A Roadmap for U.S. Robotics From Internet to Robotics. 2013. URL: robotics-vo.us/sites/default/files/2013%20Robotics%20Roadmap-rs.pdf.

References

1. Koroljuk V.S. i dr. Spravochnik po teorii verojatnostej i matematicheskoj statistike. [Handbook of probability theory and mathematical statistics]. M.: Nauka. 1985. 516 p.

2. Tartakovskij G.P. Teoriya informacionny`x system [Theory of Information Systems]. M.: Fizmatkniga, 2005, 304 p.

3. Prangishvili I.V. Sistemny`j podxod i obshhesistemny`e zakonomernosti seriya: «Sistemy` i problemy` upravleniya» [System approach and system-wide regularities series: "Systems and control problems"]. M.: SINTEG, 2000, 528 p.

4. Martin N., Inglend Dzh. Matematicheskaya teoriya e`ntropii [Mathematical Theory of Entropy]. M.: Mir. 1980. 350 p.

5. Schegolev S.A. Vestnik DVGAUU number 3 Vladivostok 2002. pp. 56-64.

6. Ajzerman M.A. i dr. Dinamicheskij podxod k analizu struktur, opisy`vaemy`x grafami [A dynamic approach to the analysis of structures described by graphs]. Issledovaniya po teorii struktur. Sb.nauch.tr. M.: Nauka. 1988, pp.5-77.

7. Goriyanov V.T., Zhuravlev L.G., Tixonov V.I. Statisticheskaya radiotexnika: primery` i zadachi [Statistical Radio Engineering: Examples and Tasks]. M.: Sov.radio.1980. 544 p.

8. Allakuliev Yu.B. Materialy` XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Perspektivny`e sistemy` i zadachi upravleniya» i IX molodezhnaya shkola-seminar «Upravlenie i obrabotka informacii v texnicheskix sistemax» (Materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference "Perspective Systems and Management Tasks" and the IX Youth Workshop "Management and Processing of Information in Technical Systems"). Rostov-na-Donu: SFEDU, 2018. pp. 148-156.

9. Ginis L.A., Vovk S.P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2327.

10. Grishhenko A.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2287.

11. Zolotarev V.M Sovremennaya teoriya summirovaniya nezavisimy`x sluchajny`x velichin [The modern theory of summation of independent random variables]. M.: Nauka. 1986. 416 p.

12. Klimov G.P. Stoxasticheskie sistemy` obsluzhivaniya [Stochastic service systems]. M.: Nauka.Gl. red.fiz.-mat.lit. 1966. 244 p.

13. Stratonovich R.L. Teoriya informacii [Information theory]. M.: Sov.radio. 1975. 424 p.

14. World Robotics 2015 Service Robots: Service Robot Statistics. IFR International Federation of Robotics. URL: ifr.org/service-robots/statistics/.

15. Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013-2038. Washington, D.C.: Department of Defense, 2013. URL: defense.gov/pubs/DOD-USRM 2013.pdf.

16. A Roadmap for U.S. Robotics from Internet to Robotics. 2013. URL: robotics-vo.us/sites/default/files/2013%20Robotics%20Roadmap-rs.pdf.