

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЕСУРС В ОБЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЯХ К ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВАЯ ПОЛИЦИЯ»

Сухов А.В., д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник ФКУ НПО «СТиС» МВД России

Величко П.С., старший научный сотрудник ФКУ НПО «СТиС» МВД России

Конюшев В.В., старший научный сотрудник ФКУ НПО «СТиС» МВД России

Лёвин А.И., канд. техн. наук, доц., старший научный сотрудник ФКУ НПО «СТиС» МВД России

Рассматриваются задачи информационного обеспечения применения полицейского робототехнического комплекса (ПРТК). Анализируется информационная структура ПРТК. Определяются роль и перспективы применения искусственного интеллекта в эргатической системе ПРТК. Акцентируется внимание на необходимости применения искусственного интеллекта для решения задач управления ПРТК в процессе проведения оперативно-служебных мероприятий.

Предлагаются подходы к оценке информационного ресурса искусственного интеллекта в эргатической системе полицейского робототехнического комплекса на основе методов математического моделирования.

В информационном пространстве, основанном на обобщенной энтропии покрытия, представлена динамика информационного ресурса узлов информационной системы информационно-коммуникационной технологии «Цифровая полиция» и на основе этого определены информационные потоки, отражающие целевое функционирование информационной системы. Проведен анализ входящих и исходящих потоков в узлах системы и получены основные признаки, определяющие устойчивую работу системы или наоборот, приводящие к катастрофам.

Для систем с поддержкой принятия решений, основанных на искусственном интеллекте, показано, как информационный ресурс количественно определяет потенциальное качество принимаемых решений, характеризуя их обоснованность или уровень риска при принятии недостаточно обоснованных решений.

Ключевые слова: информационный ресурс, искусственный интеллект, математическое моделирование, полицейский робототехнический комплекс, энтропия покрытия, эргатическая система.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности задач, возложенных на органы внутренних дел Российской Федерации (ОВД РФ), в значительной степени определяет применение полицейских робототехнических комплексов и систем (ПРТК и ПРТС) различного назначения и сред применения: наземных, воздушных, внутренних вод.

Информационно-коммуникационная технология «Цифровая полиция» (ИКТ ЦП) направлена на решение задач цифровой трансформации, развития единого цифрового информационного пространства МВД России и может

быть определена как совокупность цифровых технологий, методов, сценариев деятельности, программно-технических средств, интегрируемых с целью сбора, обработки, хранения, распространения, отображения и использования информации, а также информационного обеспечения деятельности сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации и полицейской робототехники, электронного предоставления государственных услуг населению.

Для систем с поддержкой принятия решений, основанных на искусственном интеллекте (ИИ), информационный ресурс количественно определяет потенциальное качество

принимаемых решений, характеризуя их обоснованность или уровень риска при принятии недостаточно обоснованных решений.

Определению и описанию информационного ресурса посвящено достаточно много работ [1–7]. В данных работах исследуются различные приложения информационных технологий. Однако информационный ресурс для приложений с ИИ ранее не рассматривался, хотя во многих системах он играет значительную роль, особенно, в системах с нисходящим ИИ [8, 9].

В информационном пространстве, основанном на обобщенной энтропии покрытия (ОЭП), следует описать динамику информационного ресурса узлов информационной системы ИКТ ЦП и на основе этого определить информационные потоки, отражающие целевое функционирование информационной системы (ИС). Анализ входящих и исходящих потоков в узлах системы позволит выявить основные признаки, определяющие устойчивую работу системы или наоборот, приводящие к катастрофам.

Целью создания и применения ИКТ ЦП является повышение качества управления на новой научнотехнической и технологической основе, в том числе управления новыми техническими средствами; обеспечение информированности сотрудников полиции об обстановке в реальном масштабе времени в обширных (заданных) районах.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРТК В СОСТАВЕ ИКТ ЦП

Повышение эффективности задач, возложенных на органы внутренних дел Российской Федерации, в значительной степени обеспечивает применение полицейских робототехнических комплексов.

В состав ИКТ ЦП входят следующие основные компоненты:

- комплексы технологических и коммуникационных решений, примененных в ПРТК для выполнения возложенных на них задач и управления ими;
- полицейские робототехнические комплексы;
- комплекс цифровых информационно-коммуникационных средств сотрудников цифровой полиции;
- комплекс средств управления ПРТК.

Полицейские робототехническими комплексы включают следующие компоненты:

- наземные ПРТК (НПРТК);
- ПРТК внутренних вод (ПРТК ВВ);
- ПРТК воздушной среды применения (ВПРТК).

Для НПРТК, ПРТК ВВ и ВПРТК актуальным вариантом применения в МВД России является комплексная техническая поддержка решения целевых задач оперативно-служебной деятельности с помощью дистанционно управляемых ПРТК, принятых на снабжение МВД России, и использование ПРТК двойного назначения.

Для решения комплекса вопросов, относящихся к обеспечению эффективности и надежности функционирования ИКТ ЦП, необходимо решение задач синтеза и анализа соответствующих моделей.

Процессы информационного взаимодействия компонентов ИКТ ЦП определяются задачами и средой проведения специальных мероприятий.

Робототехнические комплексы, входящие в состав ПРТС, могут выполнять задачу под управлением операторов, по заранее запрограммированным правилам или полностью автономно. Они должны адаптироваться к постоянно меняющимся условиям работы, для этого они оснащаются датчиками и камерами и получают информацию от ИСОД МВД России и других информационных ресурсов.

На рис. 1 представлен пример обобщенной структуры унифицированной системы управления (СУ) робототехнических комплексов [11]. Данная система управления построена по модульному принципу и обладает свойством распределения вычислительной нагрузки.

Для эффективного обмена данными в информационно-вычислительных сетях разработаны протоколы обмена подсистем, оптимально использующие временные и скоростные ресурсы сетей и имеющие возможность поддержки наиболее распространенных стандартов (протоколов) обмена данными (например, для сети CAN – «J1939», «CANopen» и др.).

Различают два основных способа использования управляющих вычислительных комплексов в системах управления ПРТК.

В первом способе компьютер разгружает человека и выполняет большой объем простейших операций при обработке различных данных. Такие системы принято называть автоматизированными системами обработки данных (АСОД).

Во втором способе кроме выполнения функций в АСОД человек (оператор) или лицо, принимающее решение (ЛПР), участвует в процессах принятия управленческих решений, в основном на верхних уровнях организационной структуры систем управления.

Системы программного управления реализуют простейший способ управления, когда априорно достаточно точ-

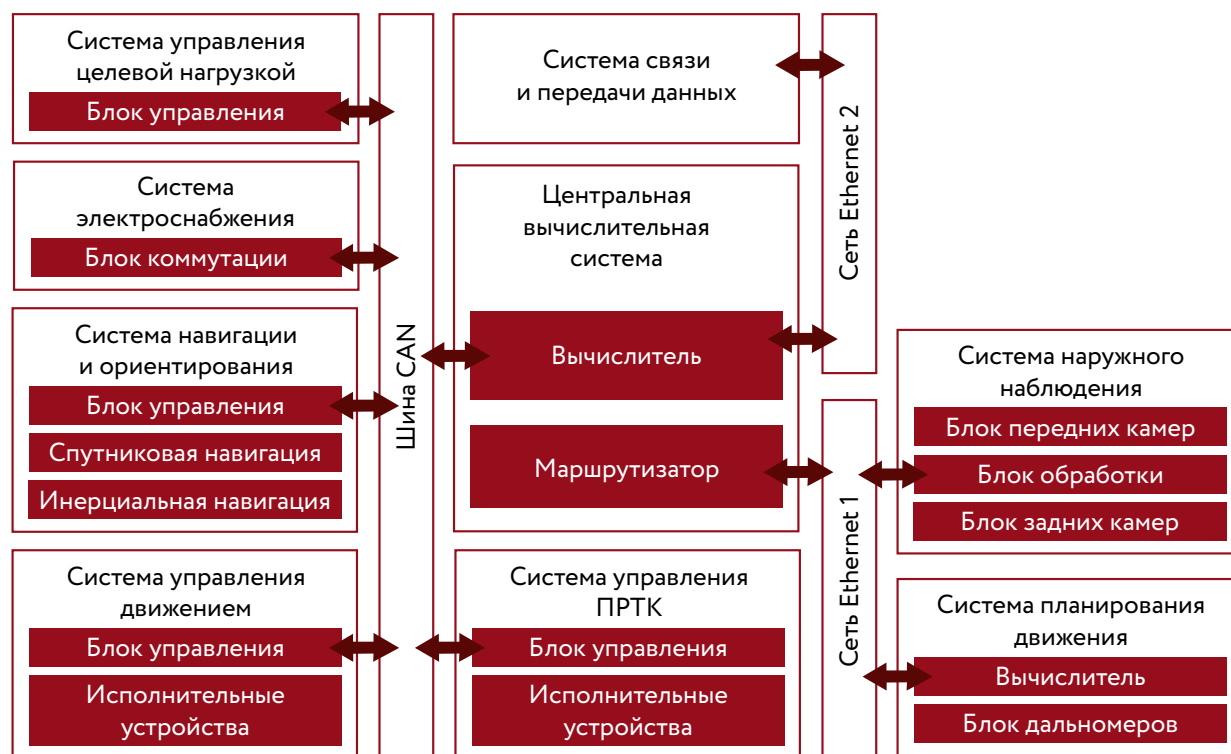


Рис. 1. Структура унифицированной системы управления ПРТК

но известно все о внешней среде и самом ПРТК, и это позволяет заранее спланировать и запрограммировать его работу.

В непредвиденных ситуациях необходимо оперативно получать информацию о внешней среде непосредственно в ходе выполнения операций для использования ее в реальном масштабе времени. Такое управление, зависящее от текущей информации о внешней среде, называется адаптивным. Необходимым условием его реализации является наличие сенсорных систем, поставляющих эту информацию.

Интеллектуальное управление – это высшая ступень управления после программного и адаптивного, отличающаяся применением искусственного интеллекта. В современных интеллектуальных технических системах, включая системы интеллектуального управления, используют теорию нечетких множеств и нечеткой логики, различные эвристические алгоритмы и технологии экспертных систем, ассоциативной памяти и технических нейронных сетей.

В ПРТС технологии ИИ могут использоваться для решения следующих задач:

- обработка сенсорной информации (фильтрация, сжатие информации, распознавание образов);

- создание моделей внешней среды;
- планирование поведения;
- управление движением;
- создание интеллектуального интерфейса между оператором и ПРТК.

На рис. 2 показана обобщенная схема системы интеллектуального управления ПРТК. В центре схемы находится блок базы знаний, связанный с другими системами, обрабатывающими информацию. В этот блок входит база знаний о внешней среде – модель внешней среды, база данных как о внешней среде, так и о самом ПРТК, и об операциях, которые он должен выполнять. Кроме того, специализированные оперативные базы знаний и данных, связанные с центральной базой данных и знаний, могут находиться и в отдельных системах ПРТК. Блок планирования поведения оперативно корректирует параметры управления.

Программное обеспечение (системное, прикладное и инструментальное) систем управления ПРТК является иерархическим, как структура самой системы управления, и модульным, как ее аппаратная реализация. Основой ее является иерархия языков, включающая в себя в общем случае интеллектуальную систему управления отдельными уровнями [10].



Рис. 2. Схема системы интеллектуального управления ПРТК

Такая структура отличается предельно высокой надежностью, сфера ее оптимального применения, когда она наиболее эффективна, – это условия случайного потока заявок (команд) на входе.

РОЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИИ В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРТК

Применительно к задачам управления ПРТК технологии ИИ рассматриваются как инструмент поддержки принятия решений, который усиливает интеллектуальные возможности, а не заменяет сотрудников, осуществляющих оперативно-служебную деятельность с использованием робототехнических средств. Поэтому выбор вариантов конкретных технологий ИИ неразрывно связан с исследованием и моделированием процессов оперативно-служебных мероприятий (ОСМ).

На первом этапе применения технологий ИИ представляется необходимой разработка алгоритмических моделей процессов с учетом возможностей информационных ресурсов эргатической системы ПРТК.

Эргатическую систему с применением ИИ в данном случае следует рассматривать как систему, включающую интеллек-

туальную автоматизацию, роль которой заключается в информационном обеспечении процессов принятия решений по управлению ПРТК в интересах достижения целей ОСМ.

Для каждого типа информации возможно применение отдельных технологий нисходящего (Top-Down) ИИ [8, 9]. Речь идет о прикладном моделировании отдельных компонентов информационно-аналитических и информационно-управляющих процессов ОСМ. Каждая такая технология вносит свой вклад в информационный ресурс эргатической системы в целом. В настоящее время именно этот подход возможен для реализации.

Восходящий подход к применению технологий ИИ (Bottom-Up) предполагает полноценную деятельность, связанную с анализом данных и поиском лучших решений на их основе (Data Science).

То есть, переход от слабого нисходящего ИИ к сильному восходящему ИИ предполагает комплексный анализ информационных ресурсов в условиях неполной, разрозненной информации с целью максимально рационального управления ПРТК. ИИ, согласно этому подходу, представляет собой комплексное целое, которое характеризуется системными атрибутами и ситуационной

универсальностью, то есть полноценными качествами информационно-управляющей системы, а не узкой функциональностью.

Промежуточные стадии создания сильного восходящего ИИ могут быть отнесены к гибридным интеллектуальным системам [8–10], в которых для решения задач ОСМ используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека. Для этого должна быть построена система аналитических моделей, работающая на основе информационного ресурса, включающего детерминированную и стохастическую составляющие.

Общая схема гибридной интеллектуальной системы представлена на рис. 3 [8, 11].

Применительно к эргатической системе ПРТК основными функциональными компонентами, форми-

рующими информационный ресурс ИИ, являются следующие:

- центральная вычислительная система;
- подсистема связи и передачи данных;
- подсистема определения технического состояния ПРТК;
- подсистема управления движением робототехнических средств;
- подсистема целевой нагрузки (техническое зрение, специальные датчики и др.);
- подсистема геоинформационного и пространственного обеспечения;
- внешние ведомственные и другие информационные системы;
- ЛПР по управлению ПРТК, получению дополнительной информации и корректировке сценариев применения робототехнических средств.



Рис. 3. Схема гибридной интеллектуальной системы

ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИОННОМУ РЕСУРСУ ИКТ ЦП

В организации ФКУ НПО «СТИС» МВД России в ходе выполнения инициативной НИР «Информационно-коммуникационная технология «Цифровая полиция» в 2021 г. в качестве результата были разработаны и представлены Общие технические требования (ОТТ) к компонентам ИКТ «Цифровая полиция».

В состав ОТТ вошли следующие разделы:

1. Общие сведения об ИКТ ЦП.
2. Назначение и цель создания ИКТ ЦП.
3. Структура ИКТ «Цифровая полиция».
4. Требования к ИКТ ЦП в целом.
5. Требования к видам обеспечения.
6. Требования к компонентам ИКТ ЦП.
7. Требования к экипировке цифрового полицейского.

При обосновании ОТТ к рассматриваемой эргатической системе основная роль отведена разработке общей схемы информационного взаимодействия и математической модели функционирования ИКТ ЦП.

Объект может быть представлен вектором состояния X_S , компонентами которого в зависимости от решаемой прикладной задачи могут являться пространственные координаты, идентификационные показатели принадлежности к определенному классу объектов, энергетические (электромагнитные) характеристики и прочие показатели. Эти характеристики и показатели, как правило, имеют динамический характер поведения.

Динамика вектора состояния (ВС) объекта описывается дифференциальными уравнениями [12, 13]:

$$\frac{dX(t)}{dt} = f(X(t), t) + n(t), \quad (1)$$

где $f(\cdot)$ – некоторая векторная функция; $n(t)$ – векторная функция шума, характеризующая влияние совокупности случайных факторов окружающей среды.

На рис. 4 представлена схема информационного взаимодействия ИКТ ЦП. На нижнем уровне осуществляется взаимодействия ПРТК цифровой полиции с объектом наблюдения и проводится первичный сбор информации об объекте наблюдения. При этом необходимо получить оценку ВС объекта с требуемой точностью, что можно охарактеризовать как требование добиться рассогласования истинного значения ВС и его оценки X^* в пределах некоторого допустимого множества $\Delta X_{\text{доп}}$:

$$X - X^* \subseteq \Delta X_{\text{доп}} \quad (2)$$

Оценить степень рассогласования и осуществить поиск оптимальной оценки возможно с применением аппарата оптимальной нелинейной фильтрации в предметной области значений компонентов ВС и аппарата оптимального управления (принцип максимума Понтрягина) с использованием энтропии покрытия [12] позволяющей математически строго сформулировать задачу оптимального управления. При этом энтропия покрытия (ЭП) определяется следующим образом:

$$H_0 = \log\{ \|(X_0 \setminus X_0^*) \cup \Delta X_{\text{доп } 0} \| \setminus X_{\text{доп}} \}, \quad (3)$$

где символ «\» означает разность множеств; двойные прямые скобки «\|\cdot\|» соответствуют операции взятия нормы.

Изменение энтропии покрытия в процессе проведения наблюдения образует информацию об объ-

екте. Потоки передаваемой информации представляют собой *осведомительную информацию*, потоки управляющих воздействий представляют собой *управляющую информацию*. Совокупность последовательных действий, направленных на изменение состояния информации об объекте, которая на выходе функциональной подсистемы управления приводится к управляющей информации, и представляет собой технологический процесс переработки информации.

В [14] представлены выражения по оптимизации информационных потоков в форме Понтрягина. В общем виде целевой функционал можно записать следующим образом:

$$F = H_0(X_0, t_H) - H_0(X_0, t_K) + \int_{T_H}^{T_K} u^t(X_0(t), t) V h_j(X_0(t), t) dt \rightarrow \min_u, \quad (4)$$

где h_j – вектор производной по времени от условной энтропии покрытия по j элементам, взаимодействующим с объектом управления; $u^t(X_0, t)$ – вектор управляющих воздействий на информационные потоки (в терминах энтропии покрытия) от m взаимодействующих элементов; верхний индекс t – символ транспонирования; V – матрица связей объекта и управляющих элементов, которая настраивается по конкретным связям оцениваемых компонентов ВС с элементами системы; $H(X_0, t_H)$ и $H(X_0, t_K)$ – терминант функционала, образуемый энтропией покрытия объекта в начальный и конечный моменты времени наблюдения.

Элементы информационной системы ИКТ ЦП (узлы информационной системы) в информационном пространстве также отображаются своим значением ЭП, которая рассчитывается по соответствию ресурсов этих элементов их нормативным значениям. Тогда уравнения ограничений для узлов ИС будут иметь вид неравенств с левой частью, подобной выражению (4):

$$F = H_{Hi}^0(X_i(t_H), t_H) - H_{Hi}^0(X_i(t_K), t_K) + \int_{T_H}^{T_K} u_i^t(X(t), t) V_i h_{i/j}^0(X(t), t) dt \leq H_{\max i}^0, \quad (5)$$

где u_i^t – вектор управляющих воздействий для i -го элемента; V_i – матрица коэффициентов для i -го элемента; $h_{i/j}^0$ – производная условной обобщенной энтропии покрытия в отношении элементов i и j по времени [11–13].

Решение задачи оптимального управления в информационном пространстве по принципу максимума Л. Е. Понтрягина [15, 16] позволяет получить значения вектора управляющих воздействий в дискретном времени на k -м шаге итерации [11–13]:

$$\begin{cases} u_0^t(t_k) = H_0^0(X_0, t_k) (\Delta H_{0/jk})^t [V (\Delta H_{0/jk}) (\Delta H_{0/jk})^t]^{-1} \\ u_j^t(t_k) = [H_j(X_j, t_k) + H_{\max j}] (\Delta H_{j/ik})^t [V (\Delta H_{j/ik}) (\Delta H_{j/ik})^t]^{-1} \end{cases} \quad (6)$$

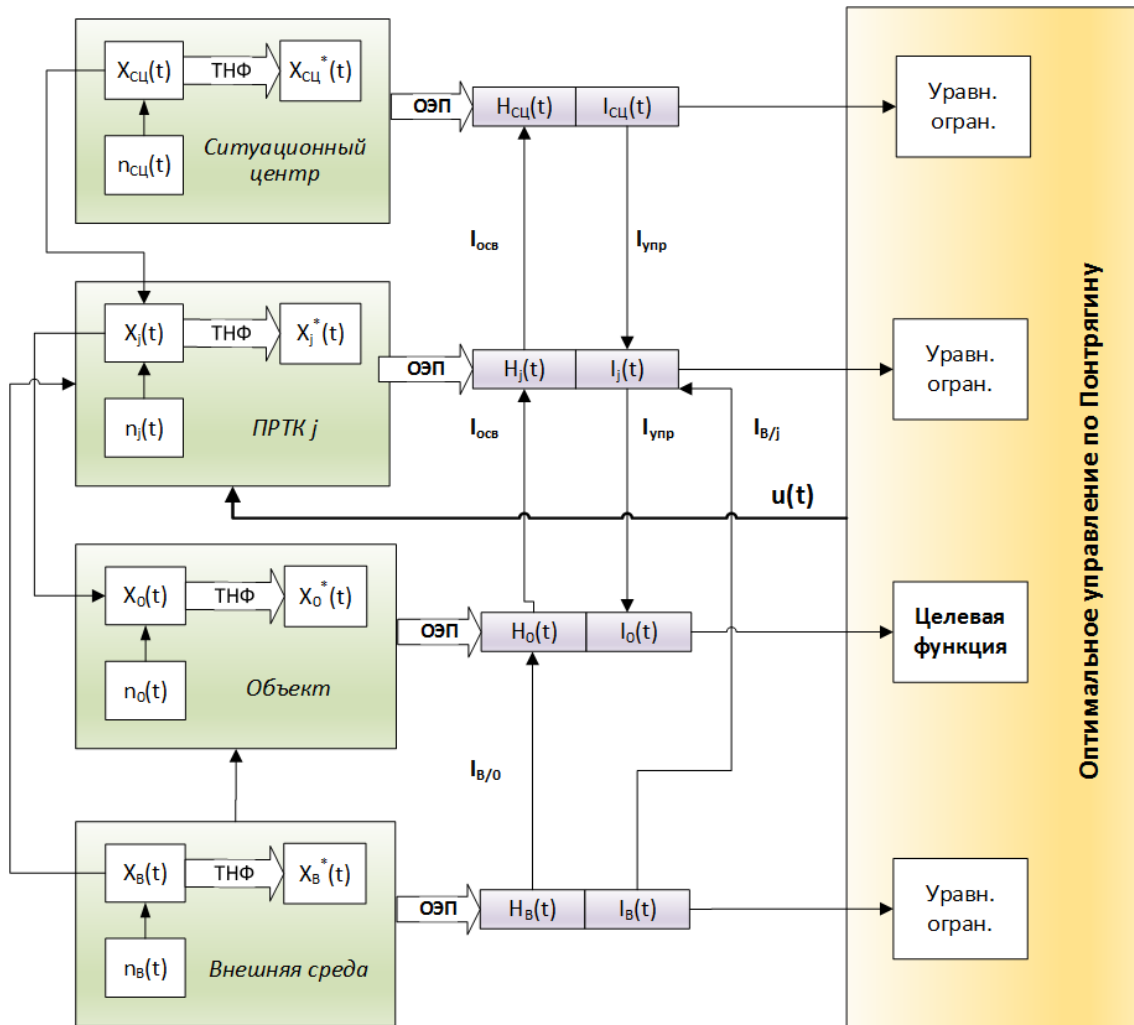


Рис. 4. Схема информационного взаимодействия ИКТ ЦП

ТНФ – процесс получения оценок X^* с применением теории нелинейной фильтрации; оЭП – формирование обобщенной энтропии покрытия; $I_{осв}, I_{упр}$ – потоки осведомляющей и управляющей информации соответственно; H – энтропия покрытия элемента; X – вектор состояния элемента; $u(t)$ – вектор управляющих воздействий.

Методика решения задачи оптимального управления рекуррентным способом заключается в выполнении следующих этапов:

1. В области ресурсного обмена строится матрица коэффициентов ресурсного обмена для всех существенных связей j -го элемента системы с остальными и строится система дифференциальных уравнений ресурсного обмена (1).
2. Корректируются связи j -го элемента с объектом. При отсутствии прямых связей создаются эквивалентные с выделением параметров объекта, на которые воздействует j -й элемент ПРТК непосредственно или опосредованно. Этими связями дополняется система дифференциальных уравнений ресурсного обмена.
3. Система дифференциальных уравнений ресурсного

обмена из представления в непрерывном времени преобразуется к представлению в дискретном времени [12, 14].

4. Задается начальное состояние для ресурсов j -го элемента ПРТК и рассчитывается начальная оЭП и начальная ЭП объекта.
5. Проводится пошаговое моделирование работы в соответствии с приближенными значениями (BC):
 - по входным данным корректируются терминальные значения энтропии покрытия для следующего шага работы;
 - проводится расчет управляющих коэффициентов (6);
 - осуществляется ресурсный обмен между элементами системы и объектом в соответствии с реальными связями.

Таким образом, если представить информационную систему ИКТ ЦП отображением ее элементов и объекта наблюдения в целевое информационное пространство, то появляется возможность оптимальным образом решать функциональные задачи информационной системе ИКТ ЦП, регулируя циркулирующие информационные потоки между взаимодействующими элементами системы, обеспечивая при этом минимизацию расхода ресурсов системы.

ДИНАМИКА ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА ИКТ ЦП

Для отображения предметной области отношений в информационное пространство, основанное на обобщенной энтропии покрытия [11], зададим текущее состояние элементов ИКТ ЦП в терминах энтропии покрытия, вычисленной по вектору состояния элемента.

Определение: текущие значения ОЭП в узлах системы ИКТ ЦП являются информационным ресурсом данной системы, характеризующим степень обоснованности принимаемых решений.

Для систем с поддержкой принятия решений, основанной на ИИ, информационный ресурс количественно определяет потенциальное качество действий ЛПР, показывает, насколько принятые решения будут обоснованы (действительная часть ОЭП) или наоборот, насколько велик риск принятия недостаточно обоснованных решений (мнимая часть ОЭП).

До настоящего времени количественной оценки обоснованности принятия решений системами, основанными на ИИ, не предлагалось.

Информационное пространство, основанное на ОЭП, является метрическим, что доказано в работах [12, 13]. При этом изменение состояния ИС описывается динамикой информационного ресурса в узлах системы. Анализ динамики информационного ресурса в узлах ИС достаточно подробно описан в работах [3, 5]. Приведем основные положения применительно к информационной системе ИКТ ЦП.

В действующей информационной системе, находящейся в состоянии гомеостазиса, наблюдается непрерывная циркуляция информационных потоков. И этот процесс сопровождается динамикой информационного ресурса в узлах ИС. Эффективность ИС можно оценить по количеству информации в узлах за определенный промежуток времени. Как и в классическом представлении информация определяется как разность априорной и апостериорной ОЭП [13]. Динамика информации между узлами i и j на интервале времени $(k, k + 1)$ определяется исходящими и входящими информационными потоками [8, 14]:

$$I_{ij}(\Delta t) = H_{ij}(t_k) - H_{ij}(t_{k+1}) = -I_{ji}(\Delta t), \quad (7)$$

где $\Delta t = t_1 - t_0$ – интервал информационного обмена.

Информационное участие узла ИС на данном временном интервале определяется его информационным взаимодействием со всеми связанными с ним элементами ИКТ ЦП и объектом управления:

$$I_i(\Delta t) = \sum_{j=0}^m I_{ij}(\Delta t) = \sum_{j=0}^m [H_{ij}(t_k) - H_{ij}(t_{k+1})], \quad (8)$$

где m – количество узлов, участвующих в информационном обмене с i -м узлом.

В выражении (8) присутствует слагаемое I_{ii} , которое характеризует затраты i -го элемента на обеспечение необходимым ресурсом.

Динамика информационных потоков в элементе. Для представления информационного потока от узла i к узлу j в непрерывном времени используем выражение (7) и получим производную ОЭП по времени:

$$I_{ij}(t) = \frac{dH_{ij}(t)}{dt} = -I_{ji}(t). \quad (9)$$

Расхождение информационного поля в узле i информационной системы представляет собой дивергенцию информационного потока:

$$\text{div } I_i = \frac{dH_{ire}}{dt} - \frac{dH_{im}}{dt}, \quad (10)$$

где H_{ire} – действительная часть обобщенной энтропии покрытия; H_{im} – мнимая часть обобщенной энтропии покрытия.

Расхождение информационного поля характеризует генераторные или потребительские свойства узла i . Если $\text{div } I_i > 0$, то этот узел является источником в информационном обмене, то есть генератором. Если $\text{div } I_i < 0$, то этот узел является стоком, потребителем в информационном обмене. В случае, когда $\text{div } I_i = 0$, узел принимает нейтральное участие в информационном обмене.

Информационная система должна стремиться к обеспечению нулевого потенциала ($\text{div } I_i = 0$) для каждого узла, так как в этом случае обеспечивается соответствие узла требованиям системы по участию в решении целевых задач и возможностям собственного нормального функционирования, т.е. это состояние узла характеризует его как выполнившим текущие задачи в информационной системе ИКТ ЦП.

С учетом свойства аддитивности для энтропии покрытия и обобщенной энтропии покрытия информация может быть определена через условные энтропии покрытия. Учтем, что линейные свойства энтропии покрытия при линейных преобразованиях сохраняются:

$$H_{ij}(t + \Delta t) = H_{ij}(t) + A \cdot H_{ij}(t) \cdot \Delta t. \quad (11)$$

В результате предельного перехода $\Delta t \rightarrow 0$ и решения получившегося дифференциального уравнения получим общее решение:

$$L_i(a) = a_0 + \exp[a_1 \sum_{j=1}^m H_{ij}], \quad (12)$$

где a_0, a_1 – некоторые константы.

Для ОЭП имеем совокупность гармонических решений с гармоническими функциями степени m

$$L_i(a) = a_0 + \prod_{j=1}^m \{\exp[a_1 |H_{ij}|]\} [\cos \arg H_{ij} + i \sin \arg H_{ij}], \quad (13)$$

где $\arg H_{n/ij}$ – аргумент комплексной величины.

Таким образом, решением является сложная гармоническая функция с квазипериодическими решениями. Такие решения образуют системы с неравновесным порядком.

Физическим смыслом решения (13) является текущая информация покрытия для узла информационной системы ИКТ ЦП, которая, в соответствии с решаемыми ресурсными задачами, может принимать и отрицательные значения.

Иначе решения (12), (13) можно представить в виде:

$$L(a, t) = a_0 + \exp[a_1 |H(t)|] \exp[i a_1 \arg H(t)]. \quad (14)$$

Тогда при $a_1 < 0, \arg(H(t)) > 0$ и при $a_1 < 0, \arg(H(t)) < 0$ решение имеет устойчивый фокус [14]. Необходимо отметить, что точка устойчивого фокуса, равная нулю, характеризует стабильное функционирование узла ИС.

Для случая $a_1 > 0, \arg(H(t)) > 0$ и при $a_1 > 0, \arg(H(t)) < 0$ решение для узла ИС является неустойчивым. Реально это приводит или к необоснованному потреблению ресурсов, или уничтожению имеющегося необходимого запаса, что определяется соотношением действительной и мнимой частей значения обобщенной энтропии покрытия.

Информационная система ИКТ ЦП вырабатывает управляющие воздействия для текущей коррекции информационных потоков. Решение задачи оптимального управления проводится в соответствии с поставленным целевым функционалом и уравнениями ограничений для объекта управления [15].

В выражении (14) вещественная часть определяет характер изменений информационного потока с учетом совокупности информационных отношений узлов ИС с другими узлами. На участках устойчивого функционирования узла ЭП имеет колебательный характер с ограниченной амплитудой. Из (13) следует, что вещественная часть, характеризующая избыток ресурса, равна:

$$\operatorname{Re} \bar{L}_i(a) = a_0 + \prod_{j=1}^m \{\exp[a_1 |H_{ij}|]\} [\cos \arg H_{ij}]. \quad (15)$$

В соответствии с этим выражением ЭП узла представляет собой квазигармонический процесс, образованный совокупностью из m гармоник. Стремление этой величины к нулю определяет оптимальное распределение ресурсов в системе. И наоборот, возрастание этой величины говорит о неоптимальном распределении ресурсов.

Мнимая часть характеризует степень недостаточности ресурсов по отношению к нормативному значению. Резкое увеличение мнимой части может привести к выключению узла из ИС, что, в свою очередь, может привести к общей катастрофе функционирования информационной системы ИКТ ЦП и к невыполнению поставленной целевой задачи.

На основании выражения (13) мнимая часть имеет значение

$$\operatorname{Im} L_i(a) = \prod_{j=1}^m \{\exp[a_1 |H_{ij}|]\} [\sin \arg H_{ij}]. \quad (16)$$

Характер динамики мнимой части энтропии покрытия аналогичен виду графиков для действительной части.

Имитационная модель информационной системы. Ожидается существенная экономия расхода имеющихся в системе ресурсов, в том числе и временных, обусловленная применением принципов оптимального управления, поскольку известно [16], что любая траектория движения системы, не удовлетворяющая минимуму целевого функционала, приводит к увеличению его значения и, соответственно, к увеличению текущих значений ЭП, а значит, к нерациональному расходованию ресурсов.

На рис. 5 представлены результаты моделирования функционирования ИС, состоящей из трех узлов – объекта управления (с номером 0), ситуационного центра (с номером 1) и ПРТК (с номером 2). На верхнем рисунке приведено изменение действительной составляющей энтропии покрытия, а на нижнем – мнимой.

В качестве векторов ресурсов системы использован обобщенный технический ресурс. Степень взаимовлияния ресурсов узлов ИС друг на друга определяется заданием соответствующих коэффициентов в уравнениях состояния, а оптимальное поведение определяется решением целевого функционала.

На рис. 5 видно, что ЭП объекта управления H_0 достигает нулевого значения около 40-го шага итерации и далее не достигает больших значений. Это характеризует достаточно качественное выполнение задачи управления.

На рис. 6 проиллюстрирована динамика информации покрытия объекта управления, которая вначале работы превышала 5 нат, а в дальнейшем не выходила за пределы 3 нат.

Этот экспериментальный результат соответствует выводам, приведенным выше при анализе выражения (14)

и подтверждает устойчивость функционирования информационной системы ИКТ ЦП.

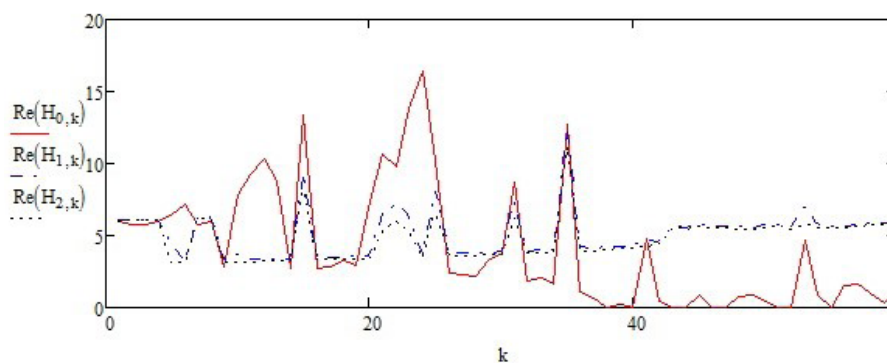


Рис. 5. Динамика энтропии покрытия узлов информационной системы

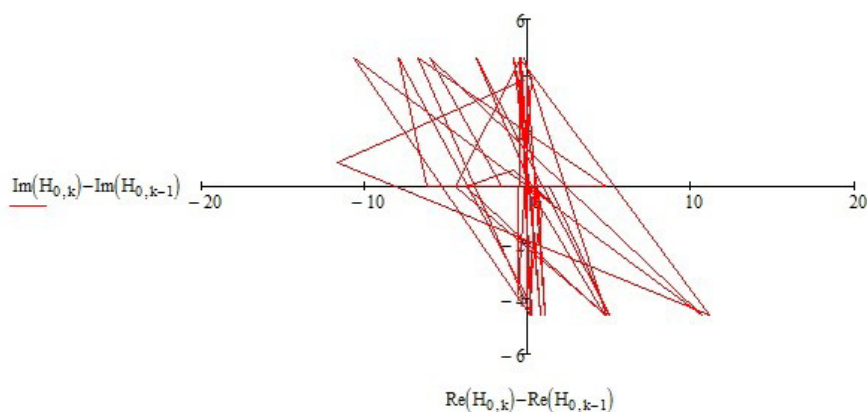


Рис. 6. Динамика обобщенной энтропии покрытия объекта управления

Результаты моделирования получены с использованием программного продукта Mathcad-15.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в информационном пространстве, основанном на обобщенной энтропии покрытия, представлена динамика информационного ресурса узлов информационной системы ИКТ ЦП и на основе этого определены информационные потоки, отражающие целевое функционирование информационной системы. Проведен анализ входящих и исходящих потоков в узлах системы и получены основные признаки, определяющие устойчивую работу системы или наоборот, приводящие к катастрофам.

Для систем с поддержкой принятия решений, основанных на искусственном интеллекте, показано, как информационный ресурс количественно определяет потенциальное качество принимаемых решений, и характеризует, насколько эти решения будут обоснованы (действительная часть ОЭП) или наоборот, насколько велик риск принятия недостаточно обоснованных решений (мнимая часть ОЭП).

Информационное пространство позволило отразить информационный ресурс узлов системы с учетом ее целевого функционирования в целом и отдельного функционирования каждого узла. Была проведена оптимизация информационного ресурса для информационной системы ИКТ ЦП в среде программирования Mathcad-15.

Список использованных источников и литературы

1. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: тезаурус. – М.: Наука, 2005. – 248 с.
2. Lovtsov D.A. Models of the information resource measurement of an automated control system // *Avtomatika i telemehanika*. 1996. No 8, pp. 3–17.
3. Сухов А.В., Прокопенко В.С. Оптимизация информационного ресурса в системе управления сложным техническим комплексом в информационном пространстве, основанном на энтропии покрытия // *Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования*. 2011. № 1 (1). С. 7.
4. Сухов А.В. Оценка информационного ресурса радионавигационных станций в условиях помех от средств мобильной связи // *Правовая информатика*. 2019. № 1. С. 36–45.
5. Сухов А.В., Прокопенко В.С. Измерение информации в эргасистемах // *Транспортное дело России*. 2011. № 1. С. 39–41.
6. Сухов А.В., Осипов В.В., Прокопенко В.С., Еременко В.В. Оптимизация состояния информационного ресурса информационной системы // *Научные труды (Вестник МАТИ)*. 2011. № 18 (90). С. 166.
7. Buryi, A.S., Lomakin, M.I., Sukhov, A.V. Quality assessment of "Stress-Strength" models in the conditions of Big Data // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2020. No. 9 (3), pp. 3276–3281. DOI: 10.35940/ijitee.C8982.019320
8. Душкин Р.В., Андронов М.Г. Гибридная схема искусственных интеллектуальных систем // *Кибернетика и программирование*. 2019. № 4. С. 51–58. DOI: 10.25136/2644-5522.2019.4.29809
9. Гришин Е.А. Самообучение как аргумент функции выживания автономного виртуального персонажа // *Искусственные общества*. 2019. Т. 14. № 1. С. 4. DOI:10.18254/S207751800004813-3.
10. Родионов В.В., Филиппов С.И., Варабин Д.А. Унифицированная система управления робототехническими комплексами // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2018. № 1 (195). С. 128–140. DOI: 10.23683/2311-3103-2018-1-128-140
11. Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами: учеб. пособ. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 167 с.
12. Sukhov, A.V. Dynamics of information flows in a control system of a complex technological system // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2000. Vol. 39. No 4, pp. 592–600.
13. Бурый А.С., Сухов А.В. Оптимальное управление сложным техническим комплексом в информационном пространстве // *Автоматика и телемеханика*. 2003. № 8. С. 145–162.
14. Сухов А.В., Зайцев М.А. Модельно-алгоритмическое обеспечение информационных систем управления: монография. – М.: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2016. – 128 с.
15. Галеев Э.М., Тихомиров В.М. Краткий курс теории экстремальных задач. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. – 204 с.

INFORMATION RESOURCE IN THE GENERAL TECHNICAL REQUIREMENTS FOR INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY "DIGITAL POLICE"

Sukhov A.V., doctor of technical sciences, professor, leading scientific researcher, FGI SPA SET of the MIA RF

Velichko P.S., Senior Researcher, FGI SPA SET of the MIA RF

Konyushev V.V., Senior Researcher, FGI SPA SET of the MIA RF

Levin A.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior researcher, FGI SPA SET of the MIA RF

The problems of information support for the use of a police robotic complex (PRTK) are considered. The information structure of the PTK is analyzed. The role and prospects of the use of artificial intelligence (AI) in the ergatic PTK system are determined. Attention is focused on the need to use hybrid AI to solve the tasks of PTK management in the process of conducting operational and service activities.

Approaches to the evaluation of the information resource of artificial intelligence in the ergatic system of the police robotic complex based on mathematical modeling methods are proposed.

In the information space based on the generalized covering entropy, the dynamics of the information resource of the information system of the information and communication technology "Digital Police" is presented and, based on this, information flows reflecting the targeted functioning of the information system are determined. The analysis of incoming and outgoing flows in the nodes of the system was carried out and the main signs were obtained that determine the stable operation of the system or vice versa, leading to disasters.

For decisionmaking systems based on artificial intelligence, it is shown how an information resource quantifies the potential quality of decisions made, characterizing their validity or the level of risk when making insufficiently informed decisions.

Keywords: information resource, artificial intelligence, mathematical modeling, police robotic complex, entropy of coverage, ergatic system.

References

1. Lovtsov, D.A. Informacionnaya teoriya ergasistem: Tezaurus. Moscow, Nauka Publ, 248 p.
2. Lovtsov, D.A. Models of the information resource measurement of an automated control system. Avtomatika i Telemekhanika, 1996, no 8, pp. 3–17.
3. Sukhov, A.V., Prokopenko, V.S. Optimizaciya informacionnogo resursa v sisteme upravleniya slozhnym tekhnicheskim kompleksom v informacionnom prostranstve, osnovannom na entropii pokrytiya. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2011, no 1 (1), p. 7.
4. Sukhov, A.V. Ocenka informacionnogo resursa radionavigacionnyh stancij v usloviyah pomekh ot sredstv mobil'noj svyazi. Legal information, 2019, no 1, pp. 36–45.
5. Sukhov, A.V., Prokopenko, V.S. Izmerenie informacii v ergasistemah. Transportnoe delo Rossii, 2011, no 1, pp. 39–41.
6. Sukhov, A.V., Osipov, V.V., Prokopenko, V.S., Eremenko, V.V. Optimizaciya sostoyaniya informacionnogo resursa informacionnoj sistemy. Nauchnye trudy (Vestnik MATI), 2011, no 18 (90). – P. 166.

7. Buryi A.S., Lomakin M.I., Sukhov A.V. Quality assessment of "Stress-Strength" models in the conditions of Big Data. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2020, no 9 (3), pp. 3276–3281. DOI: 10.35940/ijitee.C8982.019320
8. Dushkin, R.V., Andronov, M.G. Gibridnaya skhema iskusstvennyh intellektual'nyh sistem. *Kibernetika i programmirovaniye*, 2019, no 4, pp. 51–58. DOI: 10.25136/2644-5522.2019.4.29809
9. Grishin E.A. Samoobuchenie kak argument funktsii vyzhivaniya avtonomnogo virtual'nogo personazha. *Iskusstvennyye obshchestva*, 2019, vol. 14, no 1, p. 4. DOI:10.18254/S207751800004813-3
10. Rodionov, V.V., Filippov, S.I., Varabin, D.A. Unificirovannaya sistema upravleniya roboto-tekhnicheskimi kompleksami. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki*, 2018, no 1(195), pp. 128–140. DOI: 10.23683/2311-3103-2018-1-128-140
11. Yurevich, E.I. Upravlenie robotami i robototekhnicheskimi sistemami: Ucheb. posobie. Sankt-Peterburg, SPbGTU Publ., 2001, 167 p.
12. Sukhov, A.V. Dynamics of information flows in a control system of a complex technological system. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2000, vol. 39, no 4, pp. 592–600.
13. Buryi, A.S., Sukhov, A.V. Optimal control of complicated complexes in an automatic information space. *Automation and Remote Control*, 2003, vol. 64, no 8, pp. 1329–1345.
14. Sukhov, A.V., Zaitsev, M.A. Model'noalgoritmicheskoe obespechenie informacionnyh sistem upravleniya: monografiya. Moscow, Moskovskij universitet im. S.Yu. Witte Publ., 2016, 128 p.
15. Galeev, E.M., Tikhomirov, V.M. *Kratkij kurs teorii ekstremal'nyh zadach*. Moscow, Moskovskij universitet Publ., 1989, 204 p.
16. Bakhvalov, N.S., Zhidkov, N.P., Kobelkov, G.M. *CHislennyye metody*. Moscow, Nauka Publ., 1987, 600 p.