

КОГНИТИВНО-ДОВЕРИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК–АГЕНТ»

Хаджинова Н. В., Кадлубай В. А.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: khajynova@bsuir.by, tylyla2004@gmail.com

Разработана модель информационных потоков в системе "человек–агент оптимизирующая обработку данных в условиях когнитивных ограничений пользователя. Предложены алгоритмы адаптивной фильтрации и представления информации, снижающие когнитивную нагрузку на оператора на 28%. Разработаны принципы семантического согласования ментальных моделей пользователя и агента для эффективной совместной обработки информации. На основе эксперимента подтверждена эффективность предложенных решений.

ВВЕДЕНИЕ

Современные автономные системы и искусственные агенты становятся неотъемлемой частью профессиональной деятельности операторов сложных систем в таких областях, как управление технологическими процессами, мониторинг критических объектов и обработка больших данных. Однако полная автоматизация часто невозможна или нежелательна, что приводит к необходимости создания гибридных систем, в которых человек и автономный агент совместно обрабатывают информацию и принимают решения.

Ключевыми проблемами таких систем являются формирование адекватного уровня доверия оператора к агенту и управление когнитивной нагрузкой в процессе информационного взаимодействия. Недостаточное доверие приводит к неэффективному использованию возможностей системы, тогда как избыточное доверие может вызвать снижение критичности оператора и ухудшение ситуационной осведомленности.

I. МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Информационное взаимодействие в системах «человек–агент» представляет собой сложный многокомпонентный процесс. На основе анализа архитектур автоматизированных систем предложена трехуровневая модель доверия:

- *Инструментальное доверие* – основано на оценке надежности и точности обработки информации агентом;
- *Процедурное доверие* – формируется через понимание алгоритмов работы системы;
- *Нормативное доверие* – связано с соответствием ментальных моделей оператора и агента.

Ключевыми факторами доверия являются: прозрачность обработки данных агентом, предсказуемость его поведения, возможность контроля со стороны оператора и историческая надежность. Проведенные исследования[3] показывают, что прозрачность системы увеличивает доверие

на 25–40% по сравнению с системами типа черные ящики.

II. КЛАССИФИКАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ НАГРУЗОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Совместная обработка информации в гибридных системах создает специфические когнитивные нагрузки, которые можно классифицировать следующим образом:

Таблица 1 – Типы когнитивных нагрузок в гибридных системах

Тип нагрузки	Источник	Влияние на эффективность
Информационная	Мониторинг потоков данных	Снижение на 15–30%
Процедурная	Принятие алгоритмов обработки информации	Снижение на 10–25%
Коммуникационная	Анализ результатов обработки данных	Снижение на 20–35%

Эксперимент[3] с участием 45 операторов сложных систем показал, что неправильное распределение когнитивной нагрузки приводит к снижению точности обработки информации на 22% и увеличению времени выполнения задач на 35%.

III. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Для оценки когнитивной нагрузки применялся комплекс методов, включающий субъективные шкалы NASA-TLX, объективные физиологические показатели (частота сердечных сокращений, кожно-гальваническая реакция) и поведенческие метрики обработки информации.

Разработана модель оценки когнитивной нагрузки при работе с информационными система-

ми:

$$CL_{total} = \alpha \cdot \sum_{i=1}^n I_i W_i + \beta \cdot \int_0^T P(t) dt + \gamma \cdot \log(1+C), \quad (2)$$

где CL_{total} – общая когнитивная нагрузка; I_i – информационные потоки; $P(t)$ – процедурная сложность; C – коммуникационные затраты; α, β, γ – весовые коэффициенты, определяемые экспериментально.

Предложены следующие архитектурные решения для снижения когнитивной нагрузки:

1. Адаптивная визуализация – динамическое изменение уровня детализации информации в зависимости от контекста задачи;
2. Прогрессивное раскрытие – поэтапное представление сложных данных;
3. Семантическое согласование – обеспечение концептуальной совместимости ментальных моделей пользователя и агента.

Внедрение предложенных методов в систему обработки информации позволило снизить общую когнитивную нагрузку на 28% и повысить точность совместных решений на 18%.

IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДЕЛИ ДОВЕРИЯ

Для верификации предложенной модели доверия проведен эксперимент [3]. В исследовании участвовали 45 оператора различной квалификации.

Основные результаты эксперимента:

$$T = 0.45 \cdot C + 0.32 \cdot P + 0.23 \cdot R, \quad (1)$$

где T – общий уровень доверия, C – оценка компетентности, P – прозрачность решений, R – надежность.

Статистический анализ данных подтвердил значимость всех коэффициентов модели ($p < 0.01$). Корреляция между предсказанным и измененным уровнем доверия составила $r = 0.84$.

V. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

На основе проведенных исследований [3] сформулированы практические рекомендации по

проектированию гибридных систем обработки информации:

- Обеспечивать постепенное увеличение автономности агента по мере роста доверия пользователя;
- Реализовывать механизмы объяснения решений, адаптированные к уровню квалификации пользователя;
- Предоставлять возможности тонкой настройки уровня автоматизации обработки данных;
- Использовать единообразные интерфейсные метафоры для снижения процедурной нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная многоуровневая модель информационного взаимодействия и методы управления когнитивной нагрузкой позволяют существенно повысить эффективность гибридных систем «человек-агент». Подтверждено, что учет предложенных принципов при проектировании систем обработки информации способствует формированию адекватного уровня доверия и оптимизации когнитивных нагрузок.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка адаптивных интерфейсов, динамически подстраивающихся под когнитивное состояние оператора, и создание методов прогнозирования доверия на основе анализа информационных потоков.

VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoff, K. A. Trust in automation: integrating empirical evidence on factors that influence trust / K. A. Hoff, M. Bashir // Human Factors. – 2015. – Vol. 57, № 3. – P. 407–434.
2. Светличный, А. М. Когнитивные нагрузки в человеко-машинных системах / А. М. Светличный, Е. В. Попова – М.: Наука, 2018. – 256 с.
3. Chen, J. Y. Human-autonomy teaming: a review and analysis of the empirical literature / J. Y. Chen, E. J. de Visser // Human Factors. – 2021. – P. 1–45.
4. Lyons, J. B. Being transparent about transparency: a model for human-robot interaction / J. B. Lyons // Trust and autonomous systems: papers from the AAAI Spring Symposium. – 2013. – P. 45–52.
5. Lee, J. D. Trust in automation: designing for appropriate reliance / J. D. Lee, K. A. See // Human Factors. – 2004. – Vol. 46, № 1. – P. 50–80.