

Metodologia symulacji eksperymentalnej: instynkt tropiciela i BCI w wiosce kosmicznej

Cel dokumentu

Udostępnienie formalnej metodologii symulacji koncepcyjnej i protokołu eksperymentalnego badań nad instynktem tropiącym, intuicją ekspercką oraz interfejsami BCI/AR w kontekście modelu Human-AI In-The-Loop w zamkniętym środowisku habitatowym.

Zakres

Dokument opisuje: - Architekturę symulowanego środowiska (escape room / AR / habitat analogowy) - Strukturę scenariuszy eksperymentalnych - Protokół rekrutacji i randomizacji uczestników - Zdefiniowane metryki efektywności poznawczej i operacyjnej - Procedury zbierania i analizy danych - Warunki falsyfikowalności hipotez - Uwagi dot. skalowalności i dual-use

Architektura symulacji

- **Środowisko fizyczne:** Escape room stylizowany na habitat kosmiczny, z przestrzennymi modułami, ukrytymi usterek, panelami operatorskimi, zadaniami logicznymi i czujnikami reakcji.
- **Technologia wspierająca:** Rzeczywistość rozszerzona (AR) z cyfrowymi feromonami – widocznymi śladami anomalii, danymi telemetrycznymi, ikonami decyzji. Interfejs EEG (opaska BCI, np. Muse, Emotiv) do sterowania elementami otoczenia (np. dronem, kamerą, zamkiem).
- **Symulowane incydenty:** Mikro-wyciek, konflikt sygnałów, awaria czujnika, symulowane nieporozumienie w zespole.
- **Warstwa logowania:** Rejestrowane metadane decyzji, kolejność interwencji, zmienność śladów, reakcje BCI, komunikaty AR, logi czujnikowe, pomiary EEG/tętna.

Protokół rekrutacji i randomizacji

- Uczestnicy: min. 30 os., docelowo 60, z różnym poziomem doświadczenia technicznego (naukowcy, operatorzy, cywile).
- Randomizacja do 4 grup:
- (A) kontrolna (standardowe checklisty)
- (B) trening intuicji (RPD, tropienie, rozpoznawanie wzorców)
- (C) BCI/AR (interfejs bez treningu intuicji)
- (D) łączona (intuicja + BCI/AR)
- Scenariusze te same dla wszystkich grup; różnica dotyczy tylko fazy przygotowawczej (typ treningu).

Metody

Symulacja składa się z trzech warstw metodycznych:

1. Symulacja poznawcza (modelowa)

Modelowanie decyzyjne w oparciu o Recognition-Primed Decision (RPD) i Naturalistic Decision Making (NDM), śledzenie ścieżek decyzyjnych w warunkach presji czasu, niepewności i niepełnej informacji. Analiza etapów: rozpoznanie, hipoteza, reakcja. Identyfikacja miejsc, gdzie wprowadzenie intuicji zmienia strukturę poznawczą (np. skrócenie liczby hipotez).

2. Symulacja operacyjna (task-level)

Formalny design eksperymentalnego escape roomu. Każdy scenariusz zawiera minimum jeden incydent wymagający tropienia (wyciek, konflikt sygnału), jeden wymagający pracy z feromonem (np. cyfrowa anomalia) i jeden do aktywacji przez BCI (np. wyłączenie zdalne). Decyzje uczestników oraz kolejność działań porównywane między grupami w ramach metryk czasowych i jakościowych.

3. Symulacja ekonomiczna (back-of-the-envelope)

Obliczenia ROI, NPV i ΔEV w oparciu o znane stawki (czas załogi, koszt awarii, koszt upmass). Weryfikacja, czy redukcja błędów i przyrost produktywności w wyniku wdrożenia intuicji i BCI przynosi dodatni zwrot z inwestycji. Zastosowano model oparty na portfelu ryzyk i wartości błędu unikanego.

Metryki operacyjne i behawioralne

- **Czas reakcji:** od pojawienia się anomalii do pierwszej poprawnej akcji
- **Liczba poprawnych decyzji** w ciągu 10 minut
- **Liczba fałszywych tropów** (interwencje niepotrzebne lub szkodliwe)
- **Override rate:** odsetek interwencji AI nadpisanych przez człowieka (i odwrotnie)
- **Load poznawczy:** ocena NASA-TLX + rejestracja EEG (delta/beta ratio)
- **Wskaźnik śladów stigmergicznych:** ile z pozostawionych cyfrowych feromonów zostało odczytanych i wykorzystanych

Falsyfikacja hipotez

Hipotezy H1-H4 falsyfikowane przez: - porównanie czasów i poprawności między grupami (ANOVA lub nieparametryczne) - analiza regresji z covariatami (wiek, doświadczenie) - minimalna wielkość efektu do uznania hipotezy (Cohen's $d > 0.5$)

Analiza ekonomiczna (wariant uproszczony)

- Przyjęte kotwice kosztowe: \$130k/h załogi, \$20k/kg upmass, \$2M system AR/BCI
- Korzyści: uniknięte incydenty, skrócenie przestojów, jakość danych
- Obliczane:
 - $ROI = (\Delta V - \Delta C) / \Delta C$
 - $NPV = \sum (\Delta CF_t / (1+r)^t) - CAPEX$

Uwagi praktyczne

- Skalowalność: protokół gotowy do wdrożenia w habitatcie analogowym (Lunares, HERA, MDRS)
- Dual-use: kompetencje intuicyjne i stigmergiczne nadają się do zastosowania w HRO, cyberbezpieczeństwie, wojsku
- Governance: potrzebna kontrola prywatności EEG, etyka BCI

Kontakt

Opracowanie na podstawie badania projektowego (v1.0, luty 2026)