

Educational Middleware Architecture for Explainable Feedback in Braille Learning: Interaction Logs and Large Language Models (LLMs)

Por Carlos Wagner Costa Vieira e João Batista Furlan Duarte

Fonte: OpenAlex · Unifor · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO

8/10

APLICABILIDADE

9/10

POTENCIAL
ECONÔMICO

7/10

MATURIDADE

Baixa

Arquitetura de middleware para aprendizado de Braille que combina captura de logs de interação e LLMs para gerar feedback explicável. O sistema inova ao analisar o processo de aprendizado (hesitação, tempo) via sensores em dispositivos Braille, fornecendo insights pedagógicos profundos para professores em vez de apenas validação de erros.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

SaaS de 'Learning Analytics para Inclusão' que interpreta dados de dispositivos Braille variados, gerando relatórios automáticos de progresso e dificuldades motoras/cognitivas para professores e terapeutas ocupacionais.

Aplicações práticas

Ferramentas de apoio ao professor no Atendimento Educacional Especializado (AEE), dashboards de learning analytics para instituições de ensino especial e integração com displays Braille existentes para torná-los dispositivos de coleta de inteligência pedagógica.

Potencial de mercado

Alto potencial no nicho de EdTech e Tecnologia Assistiva. A demanda por inclusão é regulamentada e crescente, com poucas soluções que oferecem análise profunda de dados comportamentais para o aprendizado de Braille. Oportunidade de B2G (venda para governo) e B2B (escolas especializadas).

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

Ferramentas atuais de tecnologia assistiva focam apenas na correção final (acerto/erro), negligenciando a análise do processo cognitivo e motor do aluno. Isso dificulta a intervenção pedagógica personalizada, pois professores não possuem dados sobre como o aluno chegou à resposta ou onde encontrou dificuldades durante a leitura/escrita.

Metodologia

Desenvolvimento de uma arquitetura de middleware que trata dispositivos Braille como sensores, capturando dados comportamentais não intrusivos. O sistema separa a análise determinística de eventos (cálculo de métricas) da interpretação via LLM, gerando feedback explicável (XAI) para educadores. A avaliação atual é técnica (bench testing), pendente de aprovação ética para testes com humanos.

Principais descobertas

Viabilidade técnica da arquitetura para estruturar dados brutos de interação em indicadores pedagógicos. A separação entre processamento determinístico e inferência de LLM garante transparência (XAI). O sistema promove uma transição de 'avaliação' para 'análise de processo' na educação especial.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Implementação em redes municipais e estaduais para fortalecer o Atendimento Educacional Especializado (AEE), permitindo monitoramento em tempo real da eficácia da alfabetização Braille e alocação eficiente de recursos públicos na educação inclusiva.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Parceria entre UNIFOR e fabricantes de regletes e displays Braille para licenciar ou integrar o middleware diretamente no hardware, agregando valor competitivo aos equipamentos através de analytics inteligentes.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO ALTO · EDTECH

Braille Insight Analytics

Spin-off focada em comercializar a plataforma de análise de dados para escolas e clínicas de reabilitação, transformando dispositivos analógicos em ferramentas de dados digitais.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO MÉDIO · GOVTECH

Monitoramento Inteligente da Alfabetização Braille

Uso da arquitetura pelo poder público para criar indicadores de qualidade na educação de cegos, subsidiando políticas públicas baseadas em evidências reais de aprendizado.

Ecossistema de Tecnologia Assistiva Inteligente

Colaboração universidade-empresa para desenvolver APIs padrões de captura de dados em dispositivos Braille, estabelecendo um novo padrão de mercado conectados à IA.

Módulo de XAI para Plataformas LMS

Integração da lógica de feedback explicável em plataformas de ensino a distância (LMS) que possuem foco em acessibilidade, automatizando o suporte a alunos com deficiência visual.

ABSTRACT ORIGINAL

This manuscript presents a preprint of an educational middleware architecture for Braille learning based on interaction log capture and explainable feedback generation using large language models (LLMs). The proposed approach addresses a gap in assistive and educational technologies by focusing on the analysis of the learning process rather than only correctness evaluation. The system treats a bidirectional Braille device as a sensor of the learning process, enabling non-intrusive capture of behavioral data such as time per cell, hesitation, and interaction patterns. A middleware layer structures interaction events, computes pedagogical indicators, and provides them as input to a large language model responsible for generating interpretive feedback for teachers. The architecture explicitly separates deterministic analysis from LLM-based interpretation, ensuring transparency, traceability, and alignment with principles of Explainable Artificial Intelligence (XAI). The current results correspond to preliminary technical evaluation and bench testing in controlled conditions, without the collection of data from human participants. A user-based evaluation involving visually impaired students and teachers has been submitted to a Research Ethics Committee (CEP) and will be conducted after approval. This preprint contributes to the integration of assistive technology, learning analytics, and explainable AI in Braille education.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Nova arquitetura usa IA para detalhar o aprendizado de Braille

O cenário atual

As tecnologias assistivas e educacionais disponíveis atualmente para o ensino de Braille costumam ter um foco limitado. Geralmente, elas avaliam apenas se o aluno acertou ou errou a tarefa. O paper aponta que existe uma lacuna nessas tecnologias, pois poucas ferramentas analisam o processo de aprendizado em si, ou seja, como o aluno chega à resposta.

O que os pesquisadores fizeram

Os pesquisadores desenvolveram uma arquitetura de middleware educacional focada no ensino de Braille. Este manuscrito é um preprint (versão preliminar). O objetivo da proposta é capturar registros de interação e usar Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs) para criar um feedback explicável. A ideia é analisar o processo de aprendizagem do aluno, e não apenas o resultado final.

Como funciona na prática

O sistema trata o dispositivo de Braille bidirecional como um sensor do aprendizado. Ele captura dados comportamentais de forma não invasiva, como o tempo gasto em cada célula, hesitações e padrões de interação. Uma camada de middleware organiza esses eventos, calcula indicadores pedagógicos e envia esses dados para uma Inteligência Artificial (LLM). A IA gera então um feedback interpretativo para os professores. A arquitetura separa a análise técnica da interpretação feita pela IA, garantindo transparência e rastreabilidade, princípios da Inteligência Artificial Explicável (XAI).

Resultados e evidência

Os resultados atuais correspondem a uma avaliação técnica preliminar e testes de bancada realizados em condições controladas. O paper não detalha números específicos ou métricas de desempenho desses testes. Os autores esclarecem que, até o momento, não houve coleta de dados com participantes humanos.

Implicações práticas

Esta tecnologia visa integrar ferramentas de tecnologia assistiva, análise de aprendizado e Inteligência Artificial Explicável. Na prática, isso permite que professores recebam insights sobre o comportamento do aluno durante o uso do Braille, ajudando a identificar dificuldades que vão além do simples acerto ou erro. O sistema promove uma análise mais profunda do processo educacional de alunos com deficiência visual.

Limitações e próximos passos

A principal limitação do estudo é que ele ainda não passou por testes com usuários reais. A avaliação atual é apenas técnica e controlada. Os próximos passos já estão planejados: uma avaliação envolvendo estudantes com deficiência visual e professores foi submetida a um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). A pesquisa com seres humanos será conduzida somente após a aprovação do comitê.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi conduzido por Carlos Wagner Costa Vieira e João Batista Furlan Duarte, ambos vinculados à Universidade de Fortaleza (UNIFOR). O paper não detalha a formação acadêmica específica, trajetória profissional ou afiliações anteriores dos autores. O manuscrito apenas os apresenta como os responsáveis pelo desenvolvimento da arquitetura de middleware e pela escrita do preprint.

PALAVRAS-CHAVE

Correctness · Braille · Middleware (distributed applications) · Process (computing) · Architecture · Preprint · Data collection