**Rozdział: Analiza technologii zastanej w projektach elektronicznych szachownic edukacyjnych**

W związku z dynamicznym rozwojem technologii informacyjnych oraz rosnącym znaczeniem gier planszowych jako narzędzia edukacyjnego, w ostatnich latach powstało wiele projektów integrujących klasyczne rozgrywki szachowe z nowoczesnymi układami elektronicznymi. W niniejszym rozdziale przedstawiono przegląd wybranych realizacji, wskazując na wykorzystane technologie, cele projektowe oraz potencjalne ograniczenia.

Nasrul Humaïmi Mahmood oraz Che Ku Mohd Salahuddin Che Ku Long w pracy *Smart Electronic Chess Board Using Reed Switch* [1] przedstawili koncepcję elektronicznej szachownicy wykorzystującej czujniki kontaktronowe (reed switch). W zaproponowanym układzie pod każdą kratką planszy umieszczono czujnik reagujący na magnes w podstawie figury szachowej. W momencie przybliżenia figury do planszy, styk kontaktronu zamykał się, generując sygnał logiczny. Ze względu na dużą liczbę wymaganych wejść zastosowano multipleksery 8:1 typu 74LS251, co ograniczyło ilość linii sygnałowych do mikrokontrolera PIC18F452. Układ komunikował się z komputerem przez konwerter MAX232 i interfejs RS-232, a oprogramowanie w Visual Basic umożliwiało wizualizację rozmieszczenia figur, prowadzenie zapisu partii i obsługę zegara. Choć system nie rozpoznawał typu figur, jego prostota i niskie koszty czyniły go użytecznym narzędziem edukacyjnym oraz turniejowym.

Kolejnym rozwinięciem tej idei był projekt zaprezentowany przez Siti Zarinę Mohd Muji, Mohda Helmy’ego Abdula Wahaba, Radziego Ambara oraz Wong Kiana Loo w publikacji *Design and Implementation of Electronic Chess Set* [2]. Zamiast czujników magnetycznych zastosowano tu rozwiązanie optyczne — każda figura posiadała nadajnik IR, natomiast pod każdym polem planszy umieszczono fotodiodę. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 zarządzał całością systemu, a możliwe ruchy były sygnalizowane poprzez podświetlenie odpowiednich pól diodami LED. Dzięki zastosowaniu enkoderów 64:6, multiplekserów 64:1 oraz rejestrów przesuwających rozwiązano problem ograniczonej liczby wejść/wyjść. System analizował także możliwe ruchy figur, uwzględniając zasady takie jak bicie na skos czy ruchy początkowe pionków. Pomimo ograniczeń w dokładności rozpoznawania typu figur (około 80,95%), rozwiązanie wyróżniało się dużą precyzją w detekcji pozycji i ogromnym potencjałem edukacyjnym.

Równolegle, w obszarze wykorzystania sztucznej inteligencji, badacze ze Sri Lanka Institute of Information Technology: Anuhas Divulage, Ruchika Bandara, Thamara Liyanage, Malith Ishara, Aruna Ishara Gamage i Thusithanjana Thilakarathna opracowali system *Chess ADC – An Automated Aide-De-Camp* [3]. Projekt ten łączył techniki głębokiego uczenia z tradycyjną grą na fizycznej szachownicy. System wykorzystywał kamery oraz algorytmy oparte na sieciach neuronowych (CNN, ConvLSTM) do wykrywania pozycji figur, kontroli poprawności ruchów i predykcji kolejnych posunięć przeciwnika. Gracze mogli korzystać z podpowiedzi generowanych przez silnik Stockfish, a wszystkie partie były zapisywane w bazie danych w formacie PGN. Analiza zmian prawdopodobieństwa wygranej po każdym ruchu oraz wysokie wyniki trafności predykcji (np. 70,71% dla pionków) czyniły Chess ADC zaawansowanym narzędziem wspierającym rozwój strategicznych umiejętności szachistów.

Studentów Uniwersytetu Centralnej Florydy (UCF) — Aleca Barno, Alejandra Felixa, Cassidy’ego Phillipsa, Viniciusa Resende oraz Nikolaia Colettę — zainteresowała natomiast kwestia intuicyjnego wsparcia nauki dla początkujących graczy. W projekcie *Optical Interactive Chess Board for Beginners* [4] zaprojektowali szachownicę, w której do identyfikacji figur użyto światłowodów oraz fotodiod. Odbite od podstaw figur światło, modyfikowane przez specjalne filtry, pozwalało określić typ figury stojącej na danym polu. Pod planszą umieszczono diody LED informujące o możliwych ruchach i błędach, a wyświetlacz LCD przekazywał dodatkowe instrukcje. System posiadał rozbudowaną obsługę sytuacji nieregularnych — takich jak nieprawidłowe ruchy, roszada, en passant czy promocja piona — oraz zakładał przyszłą rozbudowę o przeciwnika AI i funkcje dźwiękowe. Projekt wyróżniał się zaawansowaniem technicznym przy zachowaniu prostoty użytkowania.

Odmiennym podejściem do zagadnienia była praca Filipa Sušaca, Ivana Aleksiego oraz Željko Hocenskiego, którzy zaprezentowali rozwiązanie *Digital Chess Board based on Array of Hall-Effect Sensors* [5]. W ich systemie do wykrywania obecności figur zastosowano 64 czujniki efektu Halla (A3144) rozmieszczone pod polami planszy, a każda figura została wyposażona w magnes trwały. Odczyt danych realizowano poprzez multipleksowanie wierszy i przesyłanie wyników do komputera za pomocą komunikacji UART. Analiza zmian w macierzy stanów planszy umożliwiała wykrywanie ruchów, w tym podnoszenia, przesunięć oraz bić. Oprogramowanie PC oferowało graficzną wizualizację pozycji oraz zapis partii w standardowej notacji. Skuteczność wykrywania ruchów sięgała 96% dla zwykłych przesunięć oraz 86% dla bicia figur. Mimo konieczności ręcznej inicjalizacji pozycji początkowej i ograniczeń w automatycznym rozpoznawaniu typów figur, system stanowił niedrogą i edukacyjną alternatywę dla komercyjnych rozwiązań.

Nowym podejściem do integracji tradycyjnej szachownicy z systemami cyfrowymi zajęli się Guljan Atayeva, Perman Hojaqulyyev, Ayjemal Ussayeva, Yslam Orazov oraz Annageldi Orazov w pracy *Cyber Physical System for Physical Chessboard Game on Computer Screen in a Real Time* [6]. Autorzy zaprezentowali projekt interaktywnej szachownicy edukacyjnej, która w czasie rzeczywistym odwzorowuje fizyczną grę na ekranie komputera. Kluczowym elementem systemu były czujniki kontaktronowe (reed switch) umieszczone pod każdym polem planszy, reagujące na magnesy zamontowane w podstawach figur. Sygnały z czujników przetwarzane były przez układ Arduino Uno oraz przesyłane do oprogramowania komputerowego napisanego w Pythonie, gdzie z wykorzystaniem biblioteki Tkinter tworzono wizualizację aktualnego stanu gry. System umożliwiał nie tylko śledzenie ruchów na bieżąco, ale także rejestrowanie historii rozgrywki w plikach .xls, co pozwalało na późniejszą analizę partii. Wśród proponowanych ulepszeń autorzy wskazali m.in. możliwość rozwoju sterowania głosowego, integracji z aplikacją mobilną oraz zastosowania identyfikacji figur za pomocą chipów RFID. Projekt stanowił wartościowy krok w kierunku połączenia klasycznej gry planszowej z nowoczesnymi technologiami, oferując atrakcyjne narzędzie dydaktyczne dla graczy w każdym wieku.

Jednym z najbardziej rozpoznawalnych produktów jest DGT e-Board, wykorzystywana w oficjalnych turniejach szachowych FIDE [7]. Plansza ta wykorzystuje technologię pasywnych obwodów LC umieszczonych w podstawie każdej figury oraz aktywnych cewek w polach planszy. Dzięki pomiarowi częstotliwości rezonansowej system jest w stanie nie tylko wykrywać obecność figur, ale również rozpoznawać ich typ. DGT e-Board umożliwia bezpośrednie przesyłanie aktualnego układu planszy do komputerów i transmisję partii online. Rozwiązanie to cechuje się wysoką precyzją i niezawodnością, choć jego koszt oraz potrzeba integracji ze specjalistycznym oprogramowaniem mogą być barierą dla użytkowników domowych.

Innym ciekawym rozwiązaniem jest Square Off, które wprowadziło innowacyjną funkcję automatycznego przesuwania figur [8]. System wykorzystuje ukryty mechanizm XY, który przesuwa figury za pomocą wbudowanych magnesów, tworząc wrażenie „samodzielnie grającej” szachownicy. Użytkownicy mogą rywalizować zarówno z wirtualnymi przeciwnikami AI, jak i z graczami online. Choć rozwiązanie to imponuje efektem wizualnym, jest ono mniej skoncentrowane na edukacyjnych aspektach nauki zasad gry.

W segmencie bardziej przystępnym cenowo wyróżnia się Chessnut Air [9], który łączy fizyczną szachownicę z cyfrowym interfejsem. System oparty na matrycy czujników wykrywa obecność figur na planszy i synchronizuje je z aplikacjami szachowymi (takimi jak Chess.com czy Lichess). Chessnut Air umożliwia grę z AI oraz rozgrywki online, oferując intuicyjny sposób nauki i analizy rozgrywek. Urządzenie wymaga połączenia zewnętrznego (telefonu, tabletu lub komputera), co zwiększa jego elastyczność.

[1] N. H. Mahmood and C. K. M. S. C. K. Long, "Smart Electronic Chess Board Using Reed Switch," *Jurnal Teknologi*, vol. 55, no. Sains & Kej., May 2011.

[2] S. Z. M. Muji, M. H. A. Wahab, R. Ambar, and W. K. Loo, "Design and Implementation of Electronic Chess Set," in *Proc. 2016 Int. Conf. Advances in Electrical, Electronic and System Engineering (ICAEES)*, Putrajaya, Malaysia, 2016.

[3] A. Divulage, R. Bandara, T. Liyanage, M. Ishara, A. I. Gamage, and T. Thilakarathna, "Chess ADC – An Automated Aide-De-Camp," in *Proc. 20th Int. Conf. Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer)*, Colombo, Sri Lanka, 2020.

[4] A. Barno, A. Felix, C. Phillips, V. Resende, and N. Coletta, "Optical Interactive Chess Board for Beginners," Senior Design Project, University of Central Florida, 2023.

[5] F. Sušac, I. Aleksi, and Ž. Hocenski, "Digital Chess Board based on Array of Hall-Effect Sensors," in *Proc. 2017 Int. Conv. Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2017.

[6] G. Atayeva, P. Hojaqulyyev, A. Ussayeva, Y. Orazov and A. Orazov, "Cyber Physical System for Physical Chessboard Game on Computer Screen in a Real Time," in *Proc. 2024 3rd International Conference on Computational Modelling, Simulation and Optimization (ICCMSO)*, Ashgabat, Turkmenistan, 2024.

[7] Digital Game Technology (DGT), „DGT Electronic Chess Board – przegląd produktu”, [Online]. <https://www.digitalgametechnology.com>. [Dostęp: 28-kwi-2025].

[8] Square Off, „Square Off – pierwsza na świecie automatyczna szachownica”, [Online]. <https://squareoffnow.com>. [Dostęp: 28-kwi-2025].

[9] Chessnut, „Chessnut Air – inteligentna elektroniczna szachownica”, [Online]. <https://chessnutech.com>. [Dostęp: 28-kwi-2025].