

Problemy sterowania złożonym eksperymentem z rejestracją EEG

Streszczenie. Przedstawiony artykuł porusza problematykę z zakresu prowadzenia i przygotowywania eksperymentu badawczego z rejestracją EEG wykorzystującego złożony system komputerowy. Skupia się on na aspektach technicznych i programistycznych związanych ze sterowaniem, komunikacją i przepływem informacji w takim systemie. Ukazuje również miejsca bądź elementy systemu będące wrażliwymi częściami układu i od których działania zależy może przeprowadzenie całego eksperymentu

Abstract. Presented thesis states about issues and problems regarding control and preparation of EEG research experiment using the complex computer system. It is focused on technical and programming aspects and issues of control, communication, and information flow within created system. It highlights hotspots and choke points, that might complicate the work of entire system but also are key points of it. (Control issues of complex experiment with EEG registration).

Słowa kluczowe: rejestracja EEG, sterowanie eksperymentem, złożony system komputerowy

Keywords: EEG registration, controlling experiment, complex computer system

Wstęp

Sterowanie i kontrola różnego rodzaju procesów przy wykorzystaniu metod komputerowych stały się nieodzownym elementem życia człowieka. Można wskazać wiele zalet sterowania komputerowego. Wśród najważniejszych wymienia się: zachowanie powtarzalności procesu, zachowanie stałych parametrów, odpowiednio szybkie działanie, możliwość eliminowania błędów, optymalizacja procesu. Istotną cechą komputerowego sterowania procesem jest to, że mimo automatyzacji zadań, człowiek powinien mieć kontrolę nad realizacją całego procesu. To on decyduje o rozpoczęciu i zakończeniu badań; to on ustala parametry wejściowe i poddaje wyniki ostatecznej analizie.

W przypadku sterowania procesami w rozproszonym systemie komputerowym ważnym czynnikiem jest zapewnienie poprawnej komunikacji, często między różnymi środowiskami programistycznymi, systemami operacyjnymi czy aplikacjami. Sposób połączenia wszystkich elementów będzie wpływał między innymi na występowanie potencjalnych błędów, szybkość wysyłania informacji między kolejnymi elementami oraz skomplikowanie całego układu [1]. Dodatkowym problemem w przypadku budowania systemów rozproszonych jest ingerencja człowieka w parametry w trakcie trwania procesu – różnego rodzaju interakcje człowieka z systemem takie jak np. wprowadzenie dodatkowych zmiennych lub zmiana ich wartości w trakcie trwania procesu, dodawanie, odejmowanie lub zmienianie kolejności kroków procesu. Każda ingerencja człowieka musi zostać uwzględniona na etapie projektowania stanowiska. Wszystkie sytuacje gdzie istnieje możliwość ingerencji człowieka z systemem powinny być przygotowane na taką ewentualność i odpowiednio zaprogramowane tj. powinny udostępniać tylko parametry niezbędne do dalszego poprawnego funkcjonowania procesu.

W przypadku zastosowania rejestracji EEG w badaniach eksperymentalnych z udziałem osób badanych rzadko kiedy omawia się aspekty techniczne związane z budową sprawnie działającego stanowiska badawczego. Stanowisko takie zwykle składa się z wielu odrębnych urządzeń sterowanych komputerowo, które ze sobą współpracują lub się uzupełniają podczas badania. Obsługa szeregu urządzeń jednocześnie wymaga zwykle opracowanie własnego autorskiego systemu kontroli i sterowania badaniem tak, aby eksperyment przebiegał sprawnie, a czas jego trwania nie był wydłużony przez uruchamianie i zapisywanie danych osobno na kilku

komputerach. W dostępnej literaturze można spotkać głównie opisy aspektów technicznych przy eksperymentach z zakresu Brain Computer Interface (BCI), w których wykorzystuje się rejestrację EEG [2-7]. Często w tego typu badaniach opisywanych w literaturze mówi się o konkretnych problemach związanych z interfejsami człowiek – komputer lub mózg – komputer, a opisywane aspekty techniczne dotyczą głównie prezentowania konkretnego rozwiązania. Można uzyskać wiele informacji na temat działania interfejsu, jednak czynniki, które mogą mieć wpływ na rejestrowany sygnał EEG są rzadko opisywane [8] lub ich opis jest bardzo ogólnikowy. W przypadku badań wpływu czynnika środowiskowego (jak np. barwa światła) na aktywność kory mózgowej człowieka praktycznie zawsze wyraźnie eksponowane są aspekty behawioralne (związane z realizacją odpowiednich testów) dotyczące oceny aktywności [9]. Opisywana jest także relacja między poziomem wykonania testów a poziomem odpowiednich sygnałów EEG, będących miarą aktywności mózgu [10, 11]. W artykułach szczegółowo przedstawiany jest sposób ekspozycji i zależności związane z długością fali emitowanego światła [12, 13]. Zwraca się uwagę na aspekty technologiczne zastosowanych źródeł światła [14, 15]. Z drugiej strony, przeprowadzenie badania wpływu barwy światła na aktywność mózgu jest złożonym eksperymentem, który wymaga opracowania sterowania i synchronizacji zaplanowanych zdarzeń. Autorzy artykułów nie wchodzi w tego typu szczegóły realizacyjne. Brak jest opisu rozwiązań technicznych na poziomie sterowania i synchronizacji, co tak na prawdę jest niezbędne do prawidłowego przeprowadzenia bardzo złożonych eksperymentów. Początkujący badacz musi się zatem zmierzyć samodzielnie z wieloma problemami technicznymi, które należy rozwiązać już na etapie projektu stanowiska i przebiegu eksperymentu, aby osiągnąć zamierzony cel badania. Jak wskazują doświadczenia własne, pewne z pozoru błahe szczegóły techniczne mają istotne znaczenie dla sukcesu prowadzonych badań. Niniejszy artykuł poświęcony jest właśnie takim problemom.

Celem artykułu jest przedstawienie wybranych aspektów technicznych oraz problemów sterowania rozproszonym systemem komputerowym dla potrzeb realizacji badań wpływu światła na aktywność kory mózgowej człowieka rejestrowaną z wykorzystaniem elektroencefalografii (EEG).

Założenia techniczne eksperymentu i stanowiska badawczego

Eksperyment, na potrzeby którego zbudowano rozproszony system komputerowy, dotyczył określenia

wpływu ekspozycji na światło o określonej barwie na poziom czujności człowieka, określany na podstawie rejestrowanego sygnału EEG. Elektroencefalografia jest nieinwazyjną metodą wykorzystywaną do badania aktywności kory mózgowej, zarówno w celach naukowych jak i medycznych. Odpowiednio rozmieszczone na skórze głowy elektrody rejestrują zmiany potencjałów elektrycznych pochodzących od aktywności kory mózgowej. Zakres zmian mierzonych potencjałów wynosi od około 10 do 100 μV , co wymaga stworzenia na stanowisku warunków maksymalnie redukujących wpływ potencjalnych zakłóceń, aparatury towarzyszącej oraz zachowania osoby badanej podczas rejestracji EEG. Można wyróżnić następujące najważniejsze grupy aspektów technicznych:

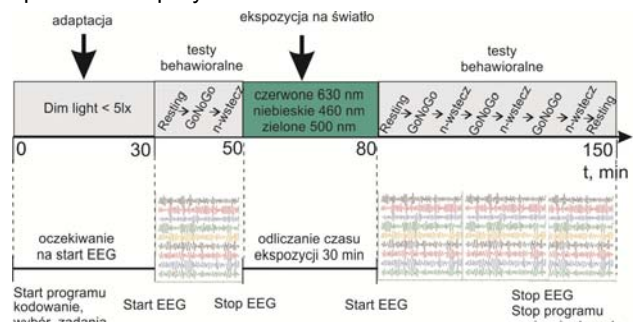
- Środowiskowe – związane z występującymi na stanowisku fizycznymi czynnikami takimi jak:
 - temperatura i wilgotność powietrza (zbyt niskie lub zbyt wysokie mogły powodować rozpraszanie uwagi);
 - hałas otoczenia (występowanie hałasu podczas rejestracji powoduje powstawanie artefaktów w rejestrowanym sygnale);
 - parametry sieci zasilania – sprzęt komputerowy, wzmacniacz EEG powinny być zasilane z tej samej fazy tak, aby uniknąć wpływu różnic napięcia międzyfazowego na rejestrowany sygnał EEG;
 - oświetlenie – jako czynnik, którego wpływ podlega badaniom w eksperymencie, powinno być odpowiednio zaprojektowane, wykonane i kontrolowane, zgodnie z przyjętymi założeniami [15].
- Przestrzenne – związane z fizycznym rozdzielaniem stanowiska badań eksperymentalnych na stanowisko kontroli i monitorowania badania oraz stanowisko badania. W polu widzenia badanego nie powinno być czynników mogących rozpraszać uwagę.
- Ergonomiczne – związane z zapewnieniem komfortowych warunków pracy na stanowisku badania. Ergonomiczne, wygodne krzesło, klawiatura oraz specjalnie skonstruowany wspornik podbródka, dzięki któremu badany mógł wygodnie oprzeć głowę i zminimalizować tym samym niepożądane i przypadkowe ruchy głową podczas rejestracji EEG.

Przyjęto, że w trakcie eksperymentu powinny być wykonywane dwa zadania behawioralne: GoNoGo (badanie poziomu czujności, uwagi i kontroli reakcji) oraz n-wstecz (badanie wydolności pamięci roboczej). Także w trakcie spoczynkowej aktywności bioelektrycznej mózgu (Resting) będzie dokonana rejestracja [16]. Wszystkie bodźce wzrokowe powinny być wyświetlane na ekranie komputera na stanowisku badania oraz na ekranie komputera na stanowisku sterowania i monitorowania badania.

Podczas całego czasu trwania rejestracji EEG osoba badana powinna siedzieć nieruchomo i ograniczyć do minimum mruganie. Powinno się umożliwić badanej osobie rozluźnienie mięśni i krótki odpoczynek w trakcie trwania eksperymentu (między rejestracjami). Podczas przerw zapis EEG powinien być wyłączony. Podczas eksperymentu system powinien zapewnić:

- Automatyczne załączanie kolejno zaplanowanych zadań behawioralnych (rys.1).
- Załączanie dwóch różnych wariantów wykonywanego eksperymentu.
- Możliwość jednoznacznego kodowania każdej osoby badanej.
- Zapewnienie przerw między kolejnymi zadaniami behawioralnymi.
- Podgląd rejestrowanego sygnału EEG.
- Załączanie/sterowanie oprawami LED.
- Odliczanie czasu trwania ekspozycji.

- Podgląd badanego w celu kontroli czy osoba nie zasypia podczas eksperymentu.



Rys.1 Schemat przebiegu badania EEG (prezentacja dla jednego wariantu eksperymentu)

Realizacja stanowiska badawczego

Stanowisko do badań eksperymentalnych składa się z czterech komputerów PC – dwóch stacjonarnych (K1, K2) i dwóch typu laptop (K3, K4). Wydzielono 2 części stanowiska. Pierwszą – zwaną stanowiskiem badania, na którym osoba badana ma za zadanie reagować na wyświetlane bodźce na ekranie komputera. Drugą – zwaną stanowiskiem sterowania i monitorowania badania, na którym jest prowadzony nadzór eksperymentu. Dwa komputery: K1 (rys.2) – nazwany komputerem do rejestracji EEG i sterowania eksperymentem oraz K2 (rys.2) – nazwany komputerem z oprogramowaniem do wyświetlania bodźców są połączone ze sobą na dwa sposoby.

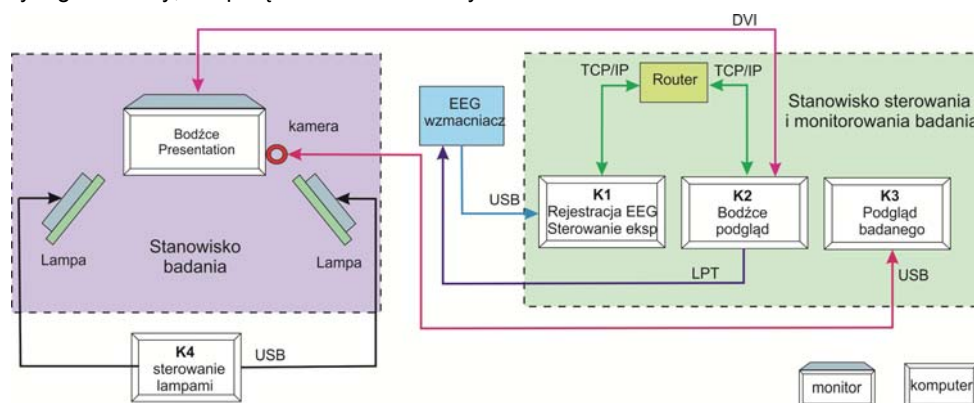
- Pierwsze połączenie pośrednie przez wzmacniacz EEG, (przez port LPT) do przesyłania informacji o zdarzeniach (np. pojawieniu się bodźca na ekranie komputera) do wzmacniacza EEG. Zastosowano wzmacniacz EEG firmy g.Tech (wzmacniacz g.Hlamp Guger Technologies, Graz, Austria) próbujący sygnał 256 razy na sekundę. Dzięki temu wzmacniaczowi możliwe jest jednoczesne rejestrowanie sygnału EEG oraz uzupełnianie tego sygnału, o informacje na temat bodźców z komputera z oprogramowaniem do wyświetlania bodźców. Zebrane w ten sposób informacje wysyłane są następnie do komputera rejestracji EEG i sterowania eksperymentem, gdzie są wyświetlane, a następnie zapisywane.
- Drugie połączenie, przy użyciu protokołu TCP/IP, służy do kontroli i sterowania przebiegiem eksperymentu. Zapewnia jednoczesny start zapisu na komputerze do rejestracji EEG i start sterowania eksperymentem z prezentacją znaków na komputerze do wyświetlania bodźców. Schemat połączenia widoczny jest na rysunku 2. Komputer K2 (z oprogramowaniem Presentation) pełni rolę klienta w opracowanym systemie sterowania.

Komputer K2 (rys.2) do podglądu wykorzystuje kamerę internetową do monitorowania osoby badanej w trakcie trwania ekspozycji na konkretną barwę światła. Kamera pozwala obserwować oczy badanego i ocenić czy są one otwarte czy zamknięte. Pasywny charakter pracy kamery w trybie ciągłym spełnia swoje zadanie bez potrzeby sprężania z systemem sterowania.

Naświetlacze do ekspozycji na określoną barwę światła MOL 02 (GL Optic Polska) wyposażone są w niezależny 16 kanałowy kontroler, który pozwala regulować prąd każdego kanału z 16-bitową rozdzielczością. Zastosowany do sterowania elementów LED układ stałoprądowego zasilania zapewnia wysoką stabilność emitowanego strumienia świetlnego (w sposób pozbawiony pulsacji). Do sterowania lampami LED wykorzystywany jest laptop K4 (rys.2) z system Windows oraz dedykowanym oprogramowaniem. Komunikacja odbywa się z wykorzystaniem magistrali szeregowej opartej o przemysłowy interfejs RS485.

Program sterujący pozwala na niezależne sterowanie każdego kanału. Ze względu na wykorzystywanie komercyjnego oprogramowania naświetlaczy, do kodu którego dostęp był ograniczony, nie połączono naświetlaczy

wraz z ich sterowaniem z resztą systemu sterowania. Naświetlaczami steruje się ręcznie, włączając odpowiednie barwy zgodnie z harmonogramem eksperymentu.



Rys.2 Schemat połączeń na stanowisku eksperymentalnym

Oprogramowanie do sterowania eksperymentem

Oprogramowanie do sterowania eksperymentem (komputerowy system sterowania) składało się z następujących modułów:

- Moduł 1 do generowania zadań behawioralnych: Resting, GoNoGo i n-wstecz napisanych w środowisku Presentation v20.0.
- Moduł 2 łączący zadania behawioralne napisany w środowisku Presentation v20.0.
- Moduł 3 aplikacji klienta do połączenia komputera z Presentation z komputerem do rejestracji EEG, napisany w języku C#.
- Moduł 4 do sterowania całym eksperymentem napisany w środowisku Matlab. Moduł ten realizował także zadania serwera komunikacyjnego.

Zadaniem modułu 1 do generowania zadań behawioralnych było wyświetlanie bodźców oraz rejestrowanie informacji o naciśniętych przez użytkownika klawiszach (jako reakcji na bodziec) i zapisywanie ich do odpowiedniego pliku log. Dodatkowo informacja o naciśniętym przycisku oraz informacja o wyświetlanym na ekranie bodźcu była wysyłana na port LPT. Jednak program ten umożliwiał jedynie osobne uruchamianie każdego z kolejnych zadań, co przy zaplanowanym eksperymencie składającym się z 11 testów wymuszało 11-krotne uruchamianie okna rozpoczęcia testu wraz z wypełnieniem niezbędnych pól. W ten sposób czas trwania eksperymentu wydłużyłby się, co najmniej o 30 min oraz występowałoby duże prawdopodobieństwo pomyłki (osoby prowadzącej eksperyment) takiej jak: niepoprawne zakodowanie, wywołanie niewłaściwego testu lub zmiana kolejności testów. Zapewnienie poprawnej pracy wymagało opracowania modułu 2, (również w środowisku Presentation), który zapewniłby ciągłość wywoływania, kodowania oraz zapisywania kolejnych zadań eksperymentu osobno. Napisany program zapewniał:

- odpowiednie ustawienie kolejności zadań w bloki np. Resting – GoNoGo – n-wstecz lub Resting – n-wstecz – GoNoGo,
- blokadę automatycznego przejścia do kolejnego zadania, do czasu przyścia odpowiedniego polecenia od prowadzącego (poprzez wirtualny port COM).

Dodatkową niedogodnością, z którą należało się zmierzyć była konieczność zainstalowania programu Presentation na komputerze, który miał wyjście portu LPT niezbędne do podłączenia tego komputera ze

wzmacniaczem EEG. Dostępna wersja Presentation nie dawała możliwości przesyłania danych poprzez inne rodzaje łączy (jak np. USB). Port LPT nie jest obecnie stosowany w komputerach PC. Jedyny dostępny do badań komputer z takim gniazdem, miał zainstalowany system operacyjny Windows XP, który wymagał specjalnego podejścia programistycznego.

Moduł 3 – program aplikacji klienta do połączenia komputera z Presentation z komputerem do rejestracji EEG korzystał z protokołu TCP/IP. Do zadań tej aplikacji należało:

- łączenie się z serwerem w celu uzyskania informacji o kontynuowaniu zadania i konieczności uruchomienia kolejnego eksperymentu,
- przekazywanie informacji do programu Presentation poprzez wirtualny port COM,
- zapewnienie minimalnego obciążenia komputera (aplikacja działała w tle, a program uaktywniał się co pewien określony interwał czasowy i wysyłał zapytanie do serwera po czym zostawał wstrzymany).

Do obsługi protokołu TCP/IP został wykorzystany port 5000 jako jeden z popularnych portów rejestrowanych pozwalających aplikacjom komunikować się ze sobą. Do połączenia obu komputerów wykorzystano odpowiednio skonfigurowany router pozwalający na utworzenie sieci wewnętrznej odizolowanej od globalnej sieci internetowej.

Moduł 4 – program do sterowania eksperymentem, obejmujący również aplikację serwera komunikacyjnego, napisany w środowisku Matlab składał się z trzech głównych komponentów:

- część odpowiedzialna za proces wprowadzania danych oraz kodowania osoby badanej (kod osoby musiał być zapisany w ściśle określonej formule i obejmował odpowiednie ustawienie znaków, zarówno liter jak i cyfr),
- część odpowiedzialna za obsługę protokołu TCP/IP od strony serwera (udostępnianie danych dla aplikacji klientów, zamykanie połączenia, aby uruchomić moduł związany z realizacją eksperymentu, sprawdzenie połączenia przed rozpoczęciem eksperymentu),
- część odpowiedzialna za obsługę aplikacji zbudowanej w toolboxie Simulink przez producenta wzmacniacza EEG g.Tech. Zadaniem tej części programu było:
 - automatyczne kodowanie zapisywanych plików z danymi EEG,
 - wyzwalanie kolejnych etapów eksperymentu, rejestrowanie zapisu EEG i wyświetlanie go w czasie rzeczywistym,

- wyłączanie rejestracji EEG i zapisywanie danych eksperymentu
- zapisywanie danych związanych z przebiegiem sygnału EEG oraz zdarzeń wychwyconych przez program Presentation.

Osoba kontrolująca system komputerowy sprawowała kontrolę jedynie nad rozpoczęciem i zakończeniem danej fazy eksperymentu, procesy związane z agregacją, wyświetlaniem i zapisem danych odbywały się automatycznie.

Opracowane, autorskie rozproszone oprogramowanie zapewniało: równoległy start poszczególnych zadań i rejestracji sygnału EEG, automatyzację procesu bez konieczności przerywania testu w celu zapisu/uzupełnienia danych przez osobę prowadzącą badanie oraz sprawowanie kontroli przebiegu całego eksperymentu wraz z zapewnieniem procesu przez osobę prowadzącą badanie.

Przeływ informacji w komputerowym systemie sterowania eksperymentem

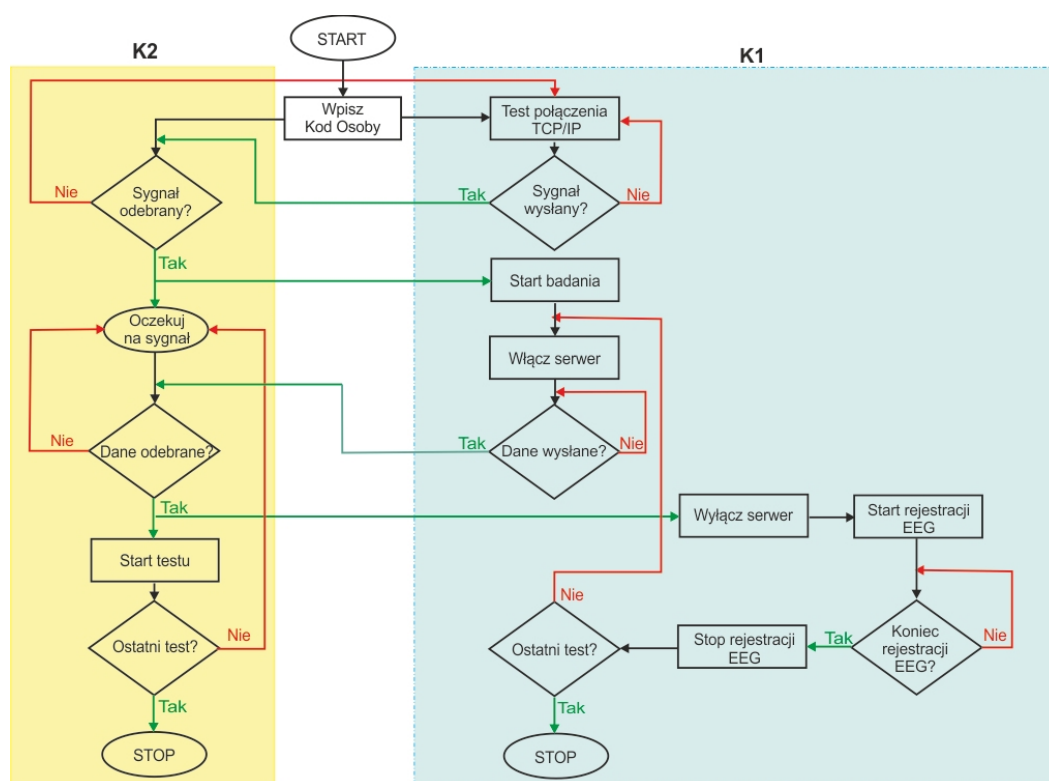
Proces w komputerowym systemie sterowania eksperymentem rozpoczynał się od uruchomienia wszystkich modułów oprogramowania. Po ich uaktywnieniu osoba kontrolująca badanie wpisywała w programach, Presentation oraz Matlab, dane osoby badanej. Wpisywanie danych w obu programach niezależnie wymagane było ze względu na sposób wprowadzania danych do programu Presentation.

Przed rozpoczęciem eksperymentu następował test połączenia TCP/IP poprzez wysłanie małych pakietów

informacji z komputera serwera na komputer klienta. Po ich poprawnym przesłaniu program był gotowy do rejestracji. Po rozpoczęciu eksperymentu następowało uruchomienie serwera, co inicjowało proces oczekiwania na połączenie z klientem. Po wysłaniu informacji do klienta, serwer był wyłączany i rozpoczynał się proces kodowania i rejestrowania sygnału EEG oraz informacji o zdarzeniach pochodzących ze wzmacniacza EEG. W tym samym momencie na komputerze klienta następowało przekazanie informacji o wyzwoleniu eksperymentu (poprzez port COM) do programu Presentation. Po pojawieniu się informacji na porcie COM o starcie badania program Presentation wyzwalał eksperyment.

Każde kolejne zadanie wykonywane było według powyższej procedury z pominięciem etapu rejestracji osoby badanej oraz testowania połączenia. Ideowy schemat blokowy przepływu informacji przedstawiono na rysunku 3. Eksperyment kończył się równoległe w obu programach w momencie, w którym użytkownik zakończył ostatni z testów. Wyniki z programu Presentation zapisywane były w postaci plików tekstowych (logów) natomiast pliki z zapisem EEG przechowywane były w formie obiektów z rozszerzeniem „mat” interpretowalnych przez oprogramowanie Matlab.

Ważnym aspektem w komputerowym systemie sterowania była forma poprawnego zapisu i odczytu informacji. Rejestracja EEG stanowiła główne źródło zapisywanych danych, co wymuszało kontrolę nad odpowiednim nazewnictwem plików z zarejestrowanymi przebiegami EEG i zapobieganie nadpisywaniu się informacji.



Rys.3 Schemat blokowy przepływu informacji w komputerowym systemie sterowania

Przeprowadzone eksperymenty

Po wstępnym przetestowaniu poszczególnych modułów przeprowadzono testy funkcjonalne całego autorskiego oprogramowania w warunkach pracy stanowiska eksperymentalnego. Testy wykazały potrzebę wprowadzenia drobnych korekt do procedur komunikacyjnych zapewniających współpracę

poszczególnych elementów stanowiska (Presentation, rejestracja sygnałów EEG). Po wprowadzeniu korekt przeprowadzono serię badań pilotażowych na grupie 33 osób, wykorzystując różne ustawienia barw naświetlaczy. Ocenie podlegał wpływ barwy światła na czujność osoby badanej. Do oceny czujności wykorzystano znaną miarę opartą na analizie rejestrowanych sygnałów EEG w

odpowiednich pasmach [17]. Łącznie przeprowadzono 99 sesji eksperymentalnych. Uzyskane wyniki z badań pilotażowych potwierdziły poprawność przyjętych rozwiązań w autorskim oprogramowaniu sterującym.

Wnioski

W artykule przedstawiono podstawowe problemy techniczne związane ze sterowaniem złożonym eksperymentem z rejestracją EEG. Stopień skomplikowania sterowania takim eksperymentem zależy zarówno od zastosowanego sprzętu (komputery, wzmacniacz EEG, urządzenia we / wy), środowisk komputerowych oraz programów do obsługi poszczególnych części eksperymentu. Istotne są również dostępne protokoły przesyłu danych pomiędzy komputerami i urządzeniami zastosowanymi do badań.

Determinującymi czynnikami są zasoby programowo-sprzętowe, jakimi dysponuje się w momencie przystąpienia do badań, gdyż ze względów finansowych nie zawsze jest możliwość zakupu dedykowanych do celu najnowszych urządzeń i rozwiązań.

Przedstawiony przykład jest właśnie takim przypadkiem, kiedy należało zbudować stanowisko badawcze w oparciu o istniejący sprzęt i istniejące aplikacje. Budowa stanowiska wymagała dodatkowego oprogramowania integrującego cały system. Głównym problemem pozostało połączenie ze sobą środowisk w taki sposób, aby zapewnić kontrolowany i niezawodny przepływ informacji. Wykorzystywane do tego celu technologie (takie jak np. protokół TCP/IP, RS485, USB, LPT i inne) mają swoje zalety jak i wady. Częstym ograniczeniem są również gotowe aplikacje, których używa się do badań. Może się okazać, że metoda, którą chcielibyśmy wykorzystać jest nieobsługiwana przez te aplikacje, bądź obsługa wymagałaby włożenia dodatkowej pracy

Opis doświadczeń i sposób rozwiązania problemów technicznych może być przydatny osobom planującym prowadzenie tego typu eksperymentów. Określenie warunków oraz sposobu kontrolowania przebiegu eksperymentu już na etapie projektowania stanowiska badawczego wydaje się zasadne i potrzebne, aby proces badania przebiegał bez zakłóceń.

Wyniki badań pilotażowych wpływu barwy światła na poziom czujności były zgodne z innymi wynikami opublikowanymi w artykułach naukowych i tym samym potwierdziły poprawność opracowanej metodyki badań. Potwierdziły poprawność rozwiązań zaproponowanego systemu pomiarowego i autorskiego oprogramowania sterującego przeprowadzeniem eksperymentu.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Autorzy: mgr. inż. Mariusz Wiselka, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego, Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, E-mail: marwi@ciop.pl;
dr hab. inż. Dariusz Sawicki, prof. uczelni, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informatycznych-Pomiarowych, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: dariusz.sawicki@ee.pw.edu.pl;
dr hab. inż. Agnieszka Wolska, prof. instytutu, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego, Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, E-mail: agwol@ciop.pl;

dr Kamila Nowak, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ergonomii, Pracownia Psychologii i Socjologii Pracy, Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, E-mail: kanow@ciop.pl.

LITERATURA

- [1] Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G., *Distributed Systems Concepts and Design Fifth Edition*, (2012)
- [2] Dimigen O., EYE-EEG: Tutorial, version July 3rd, 2017, <http://www2.hu-berlin.de/eyetracking-eeg/tutorial.html>,
- [3] Sun H., Zhang L., Zaho Q., EEG Based Brain-Computer Interface System for Remote Vehicle Controlling. In: Wang R., Gu F. (eds) *Advances in Cognitive Neurodynamics (II)*. Springer, 695-699
- [4] Ray A. M., Sitaram R., Rana M., Pasqualotto E., Buyukturkoglu K., Guan C., Ang K. K., Tejos C., Zamorano F., Aboitiz F., Birbaumer N., Ruiz S. A subject-independent pattern-based Brain-Computer Interface, *Frontiers in Behavioural Neuroscience*, (2015), <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00269>
- [5] Direct Brain-to-Brain Communication in Humans: A Pilot Study, <https://homes.cs.washington.edu/~rao/brain2brain/experiment.html>, (2013)
- [6] DelPreto J., Salazar-Gomez A. F., Gil S., Hasani R. M., Guenther F. H., Rus D., Plug-and-Play Supervisory Control Using Muscle and Brain Signals for Real-Time Gesture and Error Detection, *Robotics: Science and Systems 2018*, (2018).
- [7] Kapeller C., Hintermuller C., Abu-Alqumsan M., Pruckl R., Peer A., Guger C., A BCI using VEP for continuous control of a mobile robot, 35th IEEE EMBS Conference, (2013)
- [8] Rak R., Kołodziej M., Majkowski A., Brain-computer interface as measurement and control system The review paper, *Metrology and Measurement Systems*, 19 (2012), n.3, 427-444
- [9] Sahin L., Wood B.M., Plitnick B., Figueiro M.G., Daytime light exposure: effects on biomarkers, measure of alertness and performance. *Behav Brain Res.* 274, (2014), 176-185, <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.08.017>
- [10] Figueiro M.G., Rea M.S., The effects of red and blue light on circadian variations in cortisol, alpha amylase and melatonin. *Int J Endocrinol*, Volume 2010, (2010) 9 pages, <https://doi.org/10.1155/2010/829351>.
- [11] Figueiro M.G., Sahin, L., Wood, B., Plitnick, B., Light at night and measures of alertness and performance: implications for shift workers. *Biol Res Nurs.* 18(1), (2016), 90-100, <https://doi.org/10.1177/1099800415572873>
- [12] Łaszewska K., Goroncy A., Weber P., Pracki T., Tafil-Klawe M., Pracka D., Złomańczuk P., Daytime acute non-visual alerting response in brain activity occurs as a result of short- and long wavelengths of light. *Journal of psychophysiology*, (2017). <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000199>
- [13] Okamoto Y., Rea M.S., Figueiro M.G., Temporal dynamics of EEG activity during short and long wavelength light exposures in the early morning, *BMC Res Notes*, 7:113, (2014), 1-6
- [14] Alkozei A., Smith R., Pisner D.A., Vanuk J.R., Berryhill S.M., Fridman A., Shane B.R., Knight S.A., Killgore W.D.S., Exposure to blue light increases subsequent functional activation of the prefrontal cortex during performance of a working memory task. *Sleep*, vol. 39 (9), (2016), 1671-1680. <http://dx.doi.org/10.5665/sleep.6090>
- [15] Wolska A., Wiselka M., Sawicki D., Nowak K., Rybczyński R., Lalek J., Uwarunkowania techniczne elektroencefalograficznego badania wpływu barwy światła na czujność człowieka, XXVI Krajowa Konferencja Oświetleniowa, (2018)
- [16] Wolska A., Sawicki D., Nowak K., Wiselka M. and Kołodziej M., Method of Acute Alertness Level Evaluation after Exposure to Blue and Red Light (based on EEG): Technical Aspects, Proceedings of the 6th International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics (NEUROTECHNIX 2018), Seville, Spain, 19-21 September, 2018, 53-60. <https://doi.org/10.5220/0006922500530060>
- [17] Sawicki D., Wolska A., Roslon P., Ordysiński S., New EEG Measure of the Alertness Analyzed by Emotiv EPOC in a Real Working Environment, Proceedings of the 4th International Congress on Neurotechnology, Electronics and Informatics, NEUROTECHNIX 2016, Porto, Portugal, 7-8 November 2016, 35-42. <https://doi.org/10.5220/0006041200350042>.