



PROGRAM REGIONALNY
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WOJEWÓDZTWO
KUJAWSKO-POMORSKIE

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Mój region w Europie

II. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI INTERFEJSÓW FIZYCZNYCH

Raport z badań

Okres realizacji 07.2014-12.2014

Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013 oraz ze środków budżetu Województwa Kujawsko-Pomorskiego

Spis treści

Wstęp.....	2
Przegląd literaturowy na temat zagadnień związanych z prototypowaniem interfejsów fizycznych w wybranych dziedzinach.....	3
Wytypowanie dostępnych koncepcji prototypowania interfejsów fizycznych; wypracowania wspólnych metod, narzędzi analitycznych	10
Opracowanie metodologii, modelu matematycznego oraz algorytmów do szacowania pracochłonności projektów dotyczących prototypowania interfejsów fizycznych.....	22
Implementacja opracowanych algorytmów i modeli matematycznych.....	27
Opracowanie ogólnego modelu prototypowania interfejsów fizycznych	33

Wstęp

Raport powstał jako efekt prac zespołu złożonego z pracowników naukowych Wyższej Szkoły Gospodarki w Bydgoszczy w składzie:

- a. dr Włodzimierz Masierak,
- b. mgr inż. Tomasz Ocetkiewicz,
- c. mgr Cezary Uniszkiewicz

Badania były finansowane w ramach projektu pt. *"Przeprowadzenie badania podstawowego w zakresie możliwości wykorzystania elektronicznych systemów sterowania w badaniu funkcjonalności prototypów"* finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013 oraz ze środków budżetu Województwa Kujawsko-Pomorskiego.

Raport obejmuje okres badań od 01.07.2014 do 31.12.2014.

Niniejsze opracowanie składa się z następujących części.

Rozdział pierwszy, to studia literaturowe nad zagadnieniami związanymi z prototypowaniem interfejsów fizycznych.

Rozdział drugi dotyczy przeglądu i ostatecznego wybrania koncepcji prototypowania fizycznego. Omówiono w nim propozycję metodyki tworzenia prototypów fizycznych. Dokonano uwspólniania różnych koncepcji oraz wskazano na różne ich zastosowania.

Rozdział trzeci dotyczy szacowania kosztochłonności projektów obejmujących prototypowanie. Przedstawiono model matematyczny stanowiący narzędzie analityczne.

Rozdział czwarty przedstawia możliwe sposoby implementacji rozwiązań wskazanych w rozdziale trzecim.

Rozdział piąty, to próba wskazania najbardziej ogólnej koncepcji modelowania prototypów wizualnych.

Przegląd literaturowy na temat zagadnień związanych z prototypowaniem interfejsów fizycznych w wybranych dziedzinach

Pojęcie „interfejs” gości w języku polskim od pewnego czasu, i można mu przypisać kilkanaście znaczeń w zależności od pełnionej funkcji.

Interfejs (spolszczenie angielskiego słowa *interface*, które na polski bywa tłumaczone również jako *styk*, lub *złącze*) — w informatyce i elektronice jest to urządzenie pozwalające na połączenie ze sobą dwóch innych urządzeń, które bez niego nie mogą ze sobą współpracować. Czasami jako interfejs określa się elementy wystające z urządzenia na zewnątrz, w które można włączyć inne urządzenia lub wtyczki. Aby dwa urządzenia mogły działać razem muszą mieć zgodne (kompatybilne) interfejsy. Interfejsem może być kabel łączący dwa urządzenia, ale zarówno wtyczki na tym kablu jak i pasujące do nich gniazda są również interfejsami. Gniazdo na płycie głównej komputera jest interfejsem, w który wkłada się np. kartę graficzną, ale i sama karta jest interfejsem umożliwiającym współpracę monitora z resztą systemu komputerowego. Sam monitor jako całe urządzenie, to także interfejs, a posiada on swój własny interfejs w postaci ekranu. Pokręta sterujące monitorem, a obecnie coraz częściej panel sterujący z przyciskami to drugi, obok ekranu, interfejs monitora.

Interfejs użytkownika to część urządzenia lub oprogramowania odpowiedzialna za interakcję z użytkownikiem. Człowiek nie jest zdolny do bezpośredniej komunikacji z maszynami. Aby stało się to możliwe urządzenia są wyposażone w odpowiednie urządzenia wejścia-wyjścia tworzące razem interfejs użytkownika. Do najczęściej wykorzystywanych interfejsów użytkownika zaliczyć można:

- wiersz poleceń (CLI) – urządzenie wejściowe to klawiatura, a wyjściowe to drukarka lub wyświetlacz w trybie znakowym,
- interfejs tekstowy (TUI) – urządzenie wejściowe to klawiatura lub myszka, a wyjściowe to wyświetlacz w trybie znakowym,
- interfejs graficzny (GUI) – wejście to urządzenie wskazujące (np. myszka), a wyjściowe to wyświetlacz graficzny,
- interfejs strony internetowej (WUI) – wejście i wyjście jest realizowane poprzez stronę internetową wyświetlaną w przeglądarce internetowej.
- interfejs głosowy (VUI) – urządzenie wejściowe to mikrofon, a wyjściowe to głośniki.
- interfejs gestowy – urządzenie wejściowe to ciało ludzkie lub specjalny kontroler, a wyjściowe to wyświetlacz graficzny; przykładem może być Kinect dla konsoli Xbox 360.

W informatyce najczęściej jako interfejs użytkownika rozpatruje się część oprogramowania zajmującą się obsługą urządzeń wejścia/wyjścia przeznaczonych dla interakcji z użytkownikiem. W komputerach zwykle za obsługę większości funkcji interfejsu użytkownika odpowiada system operacyjny, który narzuca standaryzację wyglądu różnych aplikacji. Zwykli użytkownicy postrzegają oprogramowanie wyłącznie poprzez interfejs użytkownika [7].

Graficzny interfejs użytkownika, środowisko graficzne (ang. *graphical user interface, GUI*) – ogólne określenie sposobu prezentacji informacji przez komputer oraz interakcji z użytkownikiem, polegające na rysowaniu i obsługiwaniu widżetów. Środowisko graficzne jest grupą wzajemnie współpracujących programów, zapewniającą możliwość wykonywania podstawowych operacji na komputerze (takich jak uruchamianie programów, poruszanie się po katalogach, dokonywanie ustawień itp.) w trybie graficznym, najczęściej okienkowym. Zapewnia alternatywny dla konsoli sposób pracy na komputerze [1, 3].

Najważniejszym elementem graficznego interfejsu jest okno programu (lub kilka takich okien). Wewnątrz takiego okna są rozmieszczone elementy interakcyjne, zwane widżetami (lub „kontrolkami”, nawiązując do pulpitów sterowniczych). Użytkownik komunikuje się z aplikacją pośrednio przez te widżety najczęściej za pomocą myszy i klawiatury. Mysz jest odpowiedzialna za przesuwanie tzw. kursora myszy, wskazującego odpowiednią pozycję na ekranie, a naciskanie przycisków jest związane z obszarem, w którym zawiera się aktualna pozycja kursora. Klawiatura jest związana z kolei z pojęciem tzw. „skupienia” (ang. *focus*). Skupienie jest stanem, który może posiadać w jednym czasie dokładnie jeden widżet w całym systemie okienkowym. Jeśli użytkownik naciska klawisze na klawiaturze, informacja o naciskaniu klawiszy przekazywana jest do tego widżetu, który aktualnie „posiada skupienie” [7].

W projektowaniu przemysłowym interfejsem użytkownika nazywana jest przestrzeń w której dochodzi do interakcji człowieka z maszyną. Celem tej interakcji jest umożliwienie skutecznego operowania i kontroli nad maszyną przez człowieka, podczas gdy maszyna dostarcza zwrotnych informacji ułatwiając operatorowi podejmowanie decyzji. Przykłady tak szeroko rozumianej koncepcji interfejsów użytkownika obejmują interaktywne aspekty komputerowych systemów operacyjnych, jak również narzędzi ręcznych, ciężkich maszyn sterowniczych i kontroli procesu [7].

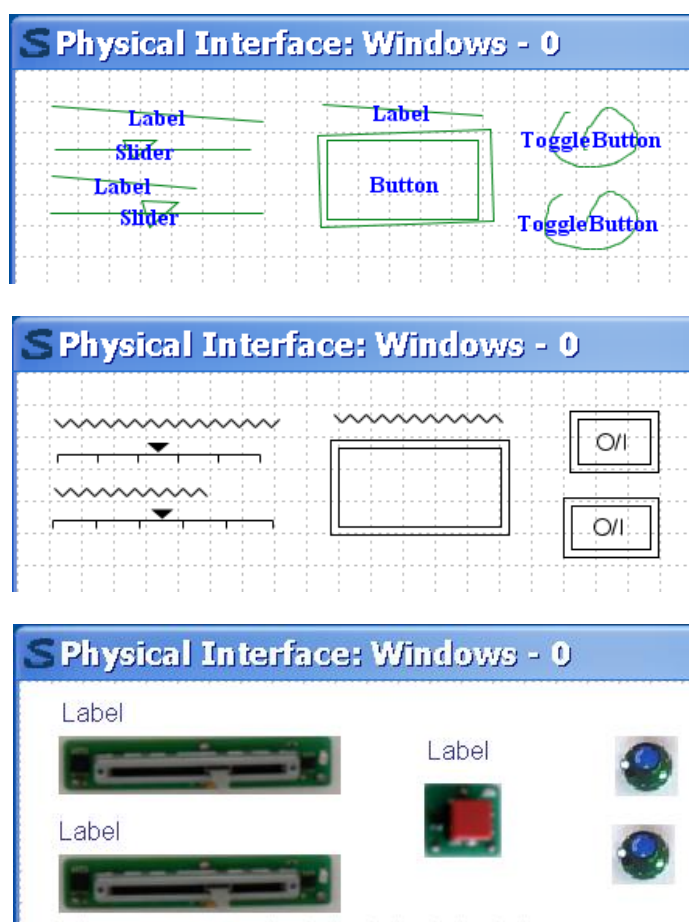
Prowadzone są także badania nad nowymi interfejsami, takimi jak rzeczywistość wirtualna oraz interfejsami mózg-maszyna, które mogą ułatwić użytkownikowi współpracę z komputerem.

Fizyczny interfejs użytkownika - to określenie sposobu interakcji użytkownika z komputerem, urządzeniem lub systemem poprzez elementy fizyczne w postaci np. konsol sterowniczych wyposażonych w manipulatory, potencjometry, dżojstiki, lampki kontrolne, wyświetlacze itp. czyli fizycznych widżetów [3]. Specjalistami zajmującymi się projektowaniem interfejsów fizycznych są projektanci interakcji bądź też architekci informacji łączący przygotowanie techniczne z wiedzą

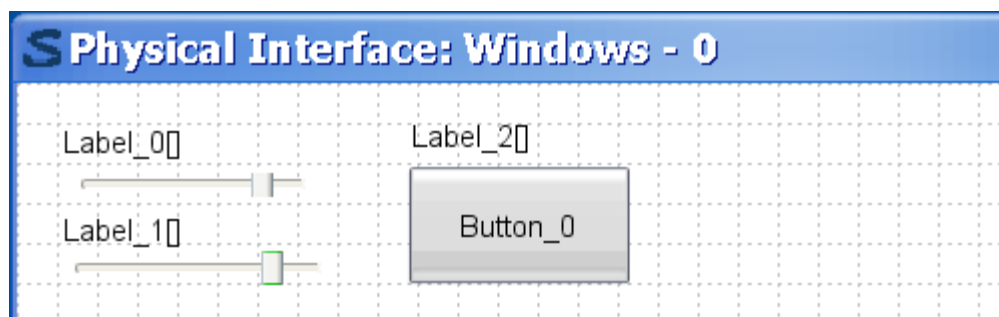
psychologiczną o przetwarzaniu informacji przez człowieka i wiedzą o ergonomii urządzeń. Przygotowany przez nich projekt trafia następnie do projektantów graficznych 2D lub 3D i specjalistów z zakresu prototypowania [2].

Fazy prototypowania fizycznego interfejsu użytkownika przedstawia rysunek 1. Etap pierwszy to proste projektowanie graficzne (tworzenie szkicu) z wykorzystaniem programu graficznego, umożliwiające wstępne rozmieszczenie elementów interfejsu pulpitu sterowniczego. Etap ten jest analogiczny jak w przypadku projektowania graficznego interfejsu użytkownika. W drugim etapie szkic projektu jest uszczegóławiany poprzez umieszczenie standardowych symboli elementów sterowania. Etap trzeci to zastąpienie symboli wizualizacjami elementów sterowania wraz z etykietami [1].

Rysunek 2 obrazuje analogię projektowania interfejsu fizycznego i graficznego.



Rys. 1. Fazy prototypowania interfejsu fizycznego z wykorzystaniem programu MIXEDSKETCH [1, 5]



Rys. 2. Graficzny interfejs użytkownika odpowiadający przykładowi z rys. 1 [1, 5].

Prototyp – urządzenie, obwód lub program zaprojektowany i zbudowany w celu zademonstrowania zdolności do budowy urządzenia docelowego oraz poprawności przygotowania dokumentacji projektowej. Podczas budowy prototypu wprowadzane są pierwszy raz w życie nowe pomysły. Jeżeli uda się zbudować działający prototyp, można przystąpić do budowy finalnego urządzenia. Często podczas projektowania niektóre rzeczywiste zjawiska związane z konstrukcją zostają pominięte. Prototyp pozwala na odkrycie ich nieznanego wpływu i wprowadzenie korekt. Jeżeli pierwszy prototyp nie jest udany, to buduje się kolejne, aż do uzyskania urządzenia spełniającego założenia. Prototyp może fizycznie bardzo różnić się od ostatecznego urządzenia, jeżeli celem jego budowy było sprawdzenie tylko jednej jego cechy.

Prototypowanie to proces budowy prototypu. Często jest on bardzo kosztowny, ponieważ urządzenie wykonywane jest w skali jednostkowej. Budowa prototypów wymaga często doskonale wyszkolonej kadry i odpowiednich uniwersalnych maszyn produkcyjnych. Koszty budowy prototypów stanowią sporą część nakładów badawczych koniecznych do zaprojektowania nowego urządzenia. Z tego względu nowym trendem jest zastępowanie kolejnych wersji prototypów, technikami symulacji komputerowej. Jeżeli uda się zbudować wierny rzeczywistości model matematyczny, to obserwacja jego zachowania może pomóc w odkryciu ukrytych wad projektu. Dużą pomocą jest też grafika komputerowa. Możliwość obserwacji projektowanego urządzenia w rzeczywistości wirtualnej pozwala inżynierom na dostrzeżenie wielu błędów.

Szybkie prototypowanie

Współczesne metody szybkiego prototypowania w przeważającej większości zaliczane są do technologii przyrostowych (addytywnych). Oznacza to, iż fizyczny model budowany jest od podstaw, etap po etapie, warstwa po warstwie nakładanego w określony sposób materiału. Oczywiście, prototyp możemy

uzyskać np. poprzez zamodelowanie jego kształtu chociażby w glinie, stosując nie tylko metodę przyrostową (dodawanie gliny), ale i ubytkową (jej usunięcie z wybranych miejsc), czy też wykonując na tej podstawie formę – chociażby z piasku – i wykonując odlew – nawet z metalu. Możemy także wyfrezować nasz prototyp korzystając z centrum obróbczego sterowanego numerycznie. Ale żadna z powyższych metod nie pozwala na wykonanie – w jednym przebiegu technologicznym – kompletnego, działającego mechanizmu, składającego się np. z obudowy, przekładni zębatej, przekładni łańcuchowej umieszczonej pod dodatkową obudową. Modelu, w którym każde ogniwo łańcucha będzie się ruszało, wykonane z precyzją determinowaną jedynie... grubością warstw nakładanego materiału [13].

Metody szybkiego prototypowania możemy podzielić na wiele rodzajów, jako kryterium przyjmując np. zastosowanie uzyskanego modelu, sposób jego budowy, rodzaj i stan skupienia materiałów użytych do jego budowy, czy też dokładność wykonania. Kryterium zastosowania modelu możemy przyjąć jako jedno z podstawowych, od niego bowiem będzie zależeć technologia, jaką zdecydujemy się wykorzystać do jego budowy [13].

I tak modele możemy podzielić na:

- zapewniające jedynie wstępną weryfikację, czyli odzwierciedlające kształt, formę modelu jedynie w sposób przybliżony, mniej precyzyjny;
- funkcjonalne, czyli posiadające niektóre parametry zbliżone lub nawet identyczne z parametrami właściwego wyrobu. Pozwalają one na dokładną prezentację gotowego przyszłego wyrobu, mogą posłużyć chociażby do oceny zainteresowania produktem;
- będące w zasadzie gotowymi elementami. Są to modele wykonane technologiami RP już jako seria próbna, o wszystkich parametrach właściwego wyrobu. Możemy na nich przeprowadzić badania własności fizycznych, przeanalizować możliwość wprowadzenia zmian w już wytwarzanych produktach etc.

Gdy znamy zastosowanie naszego modelu, łatwo możemy określić, z jakiego materiału powinien zostać wykonany i chociażby na tej podstawie możemy dokonać wyboru technologii.

Literatura:

1. Coyette A., Jean Vanderdonckt J.: Prototyping Digital, Physical, and Mixed User Interfaces by Sketching. In Faure, D., Vanderdonckt, J., (Eds.), Proc. of 1st Int. Workshop on User Interface Extensible Markup Language UsiXML'2010 (Berlin, 20 June 2010), Thales Research and Technology France, Paris, 2010. ISBN 978-2-9536757-0-2

2. Ballagas, R., Ringer, M. Stone, M., and Borchers, J. in Stuff: a physical user interface toolkit for ubiquitous computing environments. In Proc. of CHI'2003, ACM Press, New York (2003) 537-544.
3. Greenberg, S and Fitchett, C. Phidgets: Easy development of physical interfaces through physical widgets. In Proc. of UIST'01, ACM Press (2001), 209-218.
4. Hartmann, B., Klemmer, S. R., Bernstein, M., and Mehta, N. d.tools: Visually Prototyping Physical UIs through Statecharts. In EA of UIST'2005, ACM Press (2005).
5. Spiessl, W., Villar, N., Gellersen, H., and Schmidt, A. VoodooFlash: authoring across physical and digital form. In Proc. of TEI'2007, ACM Press (2007), 97-100.
6. Alan Cooper: *About Face: The Essentials of User Interface Design*. Foster City, CA: IDG Books, 1995. ISBN ISBN 0-56884-322-4.
7. Ben Shneiderman, Catherine Plaisant: *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Co, March 2009, s. 672. ISBN ISBN 0-321-53735-1.
8. Dey, A. K., Salber, D., and Abowd, G. A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. *Human- Computer Interaction*, Vol 16, 2001.
9. Greenberg, S. (2002) Rapid prototyping of physical user interfaces (invited presentation). *Proceedings of Graphics Interface (GI'2002)*. Distributed by ACM and Morgan-Kaufmann, May.
10. Grochowiak A.: „Rapid prototyping i rapid tooling”, *CADCAM Forum*, wydania: maj, czerwiec i lipiec 2000.
11. Bubicz M.: „Raport: szybkie prototypowanie. Przegląd dostępnych rozwiązań...”, *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie*, wyd. 4(07) kwiecień 2008.
12. Bubicz M.: „Cyfrowe czy jednak fizyczne”, *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie*, wyd. 1(01) październik 2007.
13. Bubicz M.: „Przegląd technologii szybkiego prototypowania”, *CADblog.pl*, internetowe czasopismo użytkowników systemów CAD/CAM/CAE nr 1 (11) 2010 rok.
14. Chlebus E., Boratyński T., Dybała B., Frankiewicz M., Kolinka P., *Innowacyjne technologie Rapid Prototyping - Rapid Tooling w rozwoju produktu*. Pod red. Edwarda Chlebusa. Oficyna Wydaw. PWr. Wrocław 2003, 204 s.

15. Advanced Applications of Rapid Prototyping Technology in Modern Engineering. Edited by Muhammad Enamul Hoque, ISBN 978-953-307-698-0, Publisher: InTech, Chapters published September 22, 2011
16. Hou Wenjun (2008). The Three-Dimensional User Interface, Advances in Human Computer Interaction, Shane Pinder (Ed.), ISBN: 978-953-7619-15-2, InTech.

Wytypowanie dostępnych koncepcji prototypowania interfejsów fizycznych; wypracowania wspólnych metod, narzędzi analitycznych

PRZEDMIOT BADAŃ

Przedmiotem badań są procesy postrzegania oraz procesy przetwarzania informacji w mózgu, a następnie dzięki identyfikacji schematów reakcji i związanej z tym aktywności różnych obszarów mózgu, lepsze dopasowywanie prototypu interfejsu fizycznego. Zastosowanie wielokrotnych procedur w modyfikowanych wersjach prototypu w odniesieniu do poznanych mechanizmów reakcji pozwoli na wypracowanie najlepszej metodyki postępowania w tego typu badaniach.

Podstawowym narzędziem badawczym wykorzystywanym w badaniach jest technika EEG. W zakresie EEG celem prowadzonych badań jest badanie wpływu zmiennych pośrednich w trakcie detekcji, wzmocnienia i rejestracji czynności bioelektrycznej generowanej przez mózg przy użyciu elektrod połączonych z aparaturą zwaną elektroencefalografem w kontekście z prototypem interfejsu fizycznego.

Wytypowanie koncepcji prototypowania

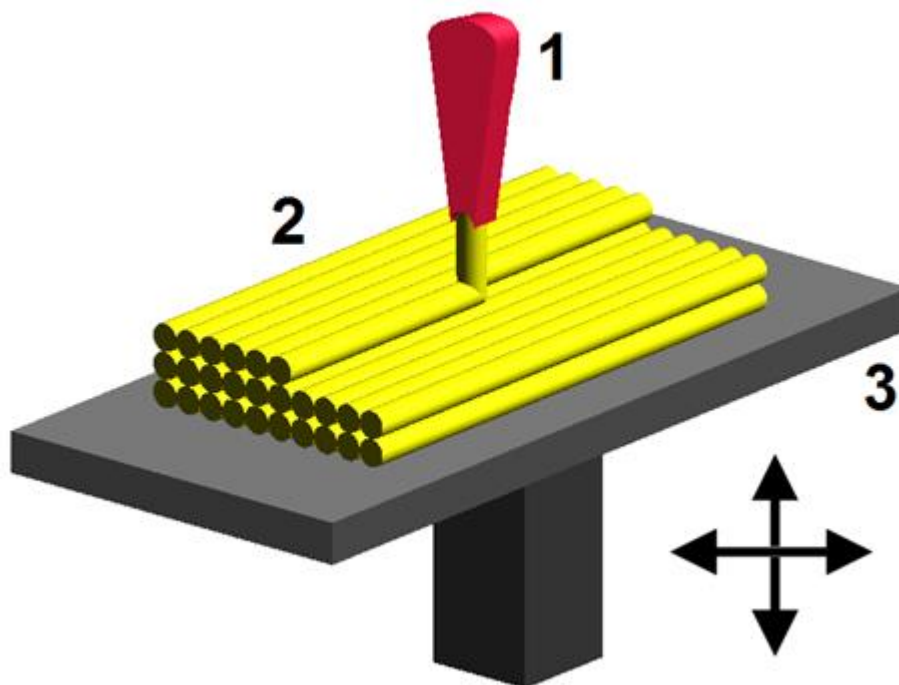
W ostatnim okresie następuje bardzo szybki rozwój technik szybkiego prototypowania, szczególnie z wykorzystaniem techniki kształtowania przyrostowego popularnie określanego drukiem 3D. Druk 3D to odwzorowanie komputerowego modelu trójwymiarowego w rzeczywistej przestrzeni dzięki kształtowaniu warstwowemu materiału takiego jak: tworzywo sztuczne, płyn (żywica akrylowa) lub proszek (metal, ceramika).

Przegląd technologii szybkiego prototypowania z wykorzystaniem technik druku 3D

Druk z wykorzystaniem technologii FDM

Technologia FDM (Fused Deposition Modelling), polega na budowaniu modelu poprzez nakładanie kolejnych warstw półpłynnego, termoplastycznego materiału, podawanego przez termiczne głowice wyposażone w wymienne dysze. Gdy konieczne jest wykonanie elementu podporowego, w kolejnej warstwie oprócz właściwego materiału dokładany jest także materiał podporowy (z ang. support). Charakterystyczne dla tej technologii jest to, iż oba rodzaje materiału dostępne są w postaci włókien nawiniętych na bębny umieszczane z obok maszyny. Włókna są odwijane i podawane do głowicy, w niej podgrzewane do stanu półpłynnego i nanoszone w postaci warstwy, która szybko stygnie i twardnieje, tworząc podstawę dla kolejnych warstw. Głowice drukujące poruszają się w osiach X-Y, natomiast podstawa (stolik), na której budowany jest model, porusza się w osi Z – opuszcza po nałożeniu każdej warstwy o wartość odpowiadającą grubości nałożonej warstwy [10].

FDM zostało opatentowane przez firmę Stratasys, obecną na polskim rynku już od kilku lat. W maszynach do FDM możemy zastosować różne rodzaje materiału, w tym także odpowiadające właściwościami tworzywom stosowanym na co dzień w przemyśle (np. ABS-M30, który jest o ponad 67% trwalszy niż standardowy ABS!). Świadczy to o możliwościach zastosowania modeli/prototypów uzyskanych w tej technologii także w charakterze serii próbnej, lub jako pełnowartościowych produktów małoseryjnych



Rys.3 Osadzanie topionego materiału

- 1 – dysza kontrolująca wypływ roztopionego tworzywa,
- 2 – osadzony i zastygnięty materiał,
- 3 – kontrolowany ruchomy stół.

Druk z wykorzystaniem technologii SLA

SLA czyli stereolitografia to metoda (czy też – technologia) polegająca na punktowym utwardzaniu ciekłego materiału (żywicy epoksydowej lub akrylowej) przy użyciu wiązki laserowej małej mocy. Naświetlona promieniowaniem ultrafioletowym żywica foto-utwardzalna ulega polimeryzacji –

utwardzeniu. Po nałożeniu i utwardzeniu jednej warstwy (patrz ramka), proces jest powtarzany dla kolejnej i tak aż do wyprodukowania całego modelu. Jeżeli stopień skomplikowania konstrukcji tego wymaga, budowane są także specjalne podpory podtrzymujące elementy konstrukcji. Podpory są generowane automatycznie, przez program sterujący procesem prototypowania, podczas konwersji pliku zawierającego geometrię z systemu CAD. Po wyjęciu z maszyny gotowego modelu, w przypadku stereolitografii zmuszeni jesteśmy do mechanicznego, ręcznego usunięcia owych podpór. Warto zwrócić uwagę na fakt, iż budowa modelu wiąże się z zużyciem materiału nie tylko potrzebnego na zbudowanie jego bryły, ale także – na wspomniane podpory. W innych technologiach spotkamy się także z użyciem dwóch rodzajów materiału – właściwego, służącego do budowy modelu, i podporowego, o odmiennych właściwościach fizyko-chemicznych [11].

Druk z wykorzystaniem technologii SLS

SLS – z ang. Selective Laser Sintering - selektywne spiekanie laserowe – jest to technologia podobna do metody SLA z tym wyjątkiem, że zbiornik wypełniony jest proszkiem nylonowym, ceramicznym, szklanym lub metalowym. Kolejne warstwy spiekane są ze sobą laserem o dużej mocy. Metoda ta jest bardzo dokładna, lecz modele mogą być porowate.

Barierą do powszechnego stosowania tej technologii druku jest bardzo wysoka cena samego urządzenia, oraz wykwalifikowany personel obsługujący maszyny. Druk ten wymaga odpowiedniego pomieszczenia, gdzie zachowana jest stała temperatura i wilgotność powietrza na odpowiednim poziomie.

Druk z wykorzystaniem technologii DMLS

Technologia DMLS (direct metal laser sintering) pozwala na drukowanie sproszkowanym metalem. Jest to trudna i wymagająca technologia. Wymaga podgrzewania filamentu do bardzo wysokich temperatur. Ponadto metal ulega dużemu skurczowi, co należy brać pod uwagę podczas wydruków. Drukarki 3D drukujące z metalu charakteryzują się bardzo wysoką ceną.

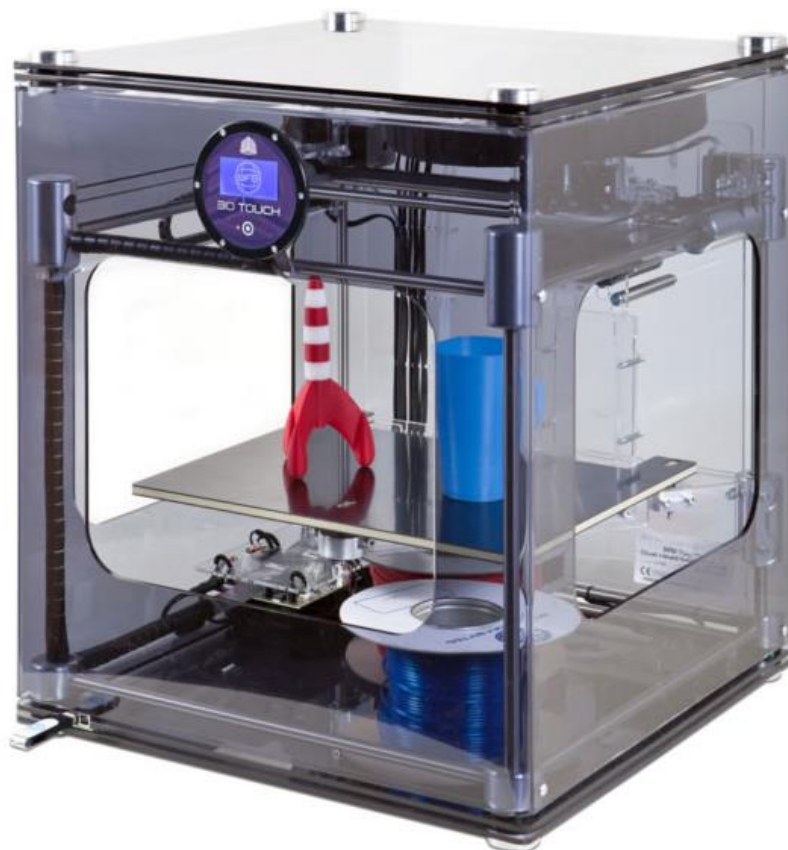
Wybór technologii i drukarki 3D

Biorąc pod uwagę dostępne technologie szybkiego prototypowania, uwzględniając ich wady i zalety, najlepszą techniką jaką można wykorzystać w badaniach prototypów interfejsów fizycznych jest druk 3D wykorzystujący technologię FDM.

Do jednych z najlepszych drukarek 3D wykorzystujących technologię FDM należy trójgłowicowa drukarka 3DTouch firmy Bits From Bytes.

Najważniejsze parametry techniczne drukarki 3DTouch:

- obszar roboczy: w osi x - 185 mm, w osi y - 275, w osi z - 210 mm;
- rozdzielczość w osi z - 0,125 mm;
- dokładność osi x i y - +/- 1% w stosunku do wymiarów obiektu, lub +/- 0,2 mm;
- maksymalna prędkość druku - 13 mm³/s - zależna od rodzaju materiału;
- maksymalna temperatura grzania - 280 st. C;
- stół bez podgrzewania;
- materiał filamentu: PLA, ABS, i inne, których temperatura płynięcia nie przekracza 280 st. C.
- grubość filamentu - 3 mm;
- dotykowy panel kontrolny;
- drukowanie bezpośrednio z pendrive'a.



Rys. 4 Drukarka 3DTouch firmy Bits From Bytes.

Duży obszar roboczy drukarki pozwala na wydruk prototypowych interfejsów fizycznych w całości, bez konieczności dzielenia ich na mniejsze fragmenty.

Model opracowany w programie CAD musi być przetworzony do formatu umożliwiającego drukowanie. Zajmuje się tym specjalne oprogramowanie o nazwie Axon, które dzieli model na warstwy według przyjętych parametrów druku określanych przez użytkownika. Gotowy plik wydruku przenoszony jest do pamięci flash (pendrive) i umieszczany w porcie USB drukarki. Takie rozwiązanie eliminuje konieczność podłączania komputera bezpośrednio do drukarki i wyłączenie z użytkowania czasami na kilkanaście godzin.

Wybór urządzenia EEG

Sygnały EEG

Z medycznego punktu widzenia sygnały EEG czyli elektroencefalografia to nieinwazyjna metoda badania bioelektrycznej czynności mózgu, polegająca na przechwytywaniu impulsów elektrycznych wytworzonych w wyniku komunikacji komórek nerwowych. Przechwytywane impulsy mają bardzo niską wartość napięcia oraz natężenia, wymagają więc wzmocnienia, a wynik zapisywany jest w postaci elektroencefalogramu. Dzięki temu można uzyskać informacje czy procesy komunikacji komórek zachodzą prawidłowo.

EEG stanowi rejestrację elektrycznej aktywności kory mózgowej. Ze względu na to, że aktywność elektryczna kory jest mierzona w mikrowoltach (V), musi być ona wzmocniona 1 000 000 razy, aby można ją było uwidocznić na ekranie komputera lub zapisać. Większość sygnałów elektrycznych, które zostają zarejestrowane pochodzi z neuronów. Są to różne źródła aktywności elektrycznej, w tym potencjały czynnościowe, potencjały postsynaptyczne i długotrwała depolaryzacja neuronów. Potencjały czynnościowe indukują krótkie (10 ms lub mniej) prądy lokalne w aksonie z bardzo ograniczonym polem elektrycznym. Z tego względu jest mało prawdopodobne, aby było możliwe ich zarejestrowanie. Potencjały postsynaptyczne są znacznie dłuższe (50-200 ms), mają większe pole i można przypuszczać, że to one są głównymi generatorami zapisu EEG. Zmiany w zapisie EEG mogą wywoływać również komórki glejowe oraz długotrwała depolaryzacja neuronu.

Przykładowe sygnały EEG można zobaczyć na elektroencefalogramie poniżej (Rys. 1).



Rys. 5 "Elektroencefalogram" (źródło <http://www.czytelniamedyczna.pl/> 15.06.2014)

Poszczególne częstotliwości odpowiadają za różne regiony w mózgu. Najważniejszym aspektem jest to, że dzięki metodzie EEG możliwe jest rozpoznawanie wzorców myślowych u osób zdrowych. Wzorec myślowy może być zapisany, a następnie porównywany do bieżącego wyniku analizy sygnałów EEG. Na tej podstawie wyciągane są wnioski dotyczące emocji osoby badanej lub może zostać wykonana odpowiednia akcja np. sterowanie poprzez interfejs fizyczny platformą mobilną, lub elementem wirtualnym w postaci kursora na ekranie.

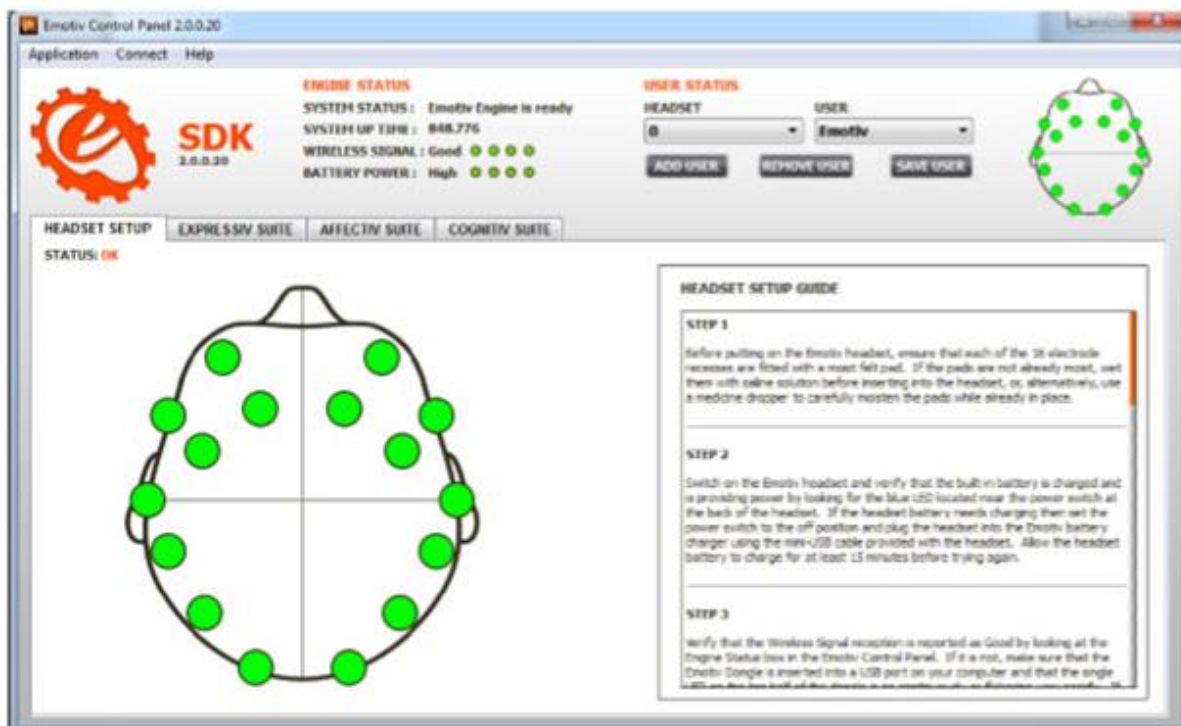
Na rynku istnieje kilka rozwiązań urządzeń EEG przeznaczonych dla osób niewykwalifikowanych. Urządzenia te są sklasyfikowane jako skanery EEG. Głównym założeniem jakie przyjęto podczas wyboru skanera EEG był bardzo dobrze udokumentowany interfejs komunikacyjny, który umożliwi wymianę informacji z komputerem. Dodatkowo przyjęto ograniczenie w stosunku do ceny sprzętu, która nie powinna przekroczyć kwoty 10 000 zł. Po uwzględnieniu wymienionych kryteriów stwierdzono że jedyną firmą, której urządzenia będzie można wykorzystać w badaniach jest Emotiv. Wybrany został model Emotiv EPOC wraz z edukacyjnym SDK (*ang – Software Development Kit*), czyli z narzędziami programistycznymi w wersji dla placówek edukacyjnych (nie do użytku komercyjnego). W przypadku wielu firm produkujących tego typu zaawansowane urządzenia, nie ma możliwości wykupienia dostępu do narzędzi programistycznych, czy dostępu do nieprzetworzonych danych. Urządzenie i oprogramowanie firmy Emotive jest stale rozwijane i unowocześniane. Do wad przyjętego rozwiązania sprzętowego można zaliczyć to, że nie jest dostępna pełna funkcjonalność dla wszystkich języków programowania i na wszystkie systemy operacyjne. Aktualnie dostępne są biblioteki wymagające środowiska .NET dla architektury 32bitowej, co ogranicza pole działania do systemu

operacyjnego Windows. Wersja dla systemu operacyjnego Linux, dostępna jest w wariantcie produkcyjnym i nie posiada pełnej funkcjonalności.

Narzędzia Emotiv

Producent zapewnia nam Panel Kontrolny dzięki któremu możemy sprawdzić czy nasz hełm EEG jest aktywny, jak działają przekaźniki, a także możemy ćwiczyć posługiwanie się sygnałami EEG. Wyćwiczenie odpowiedniego schematu myślowego jest dość skomplikowane. Urządzenie może mieć zaprogramowanych 14 (łącznie z neutralnym) schematów naszych myśli. Jednocześnie możliwe jest używanie 4 wzorców. Oznacza to, że mimo zapisanych wielu wzorców, możliwa jest detekcja jednocześnie tylko 4 wskazanych przez nas schematów. Wynika to z ograniczeń sprzętowych i ilości zastosowanych elektrod pomiarowych oraz dołączonych bibliotek. Przy tak dużym wzmocnieniu sygnału zwiększenie ilości rozpoznawanych sygnałów może powodować błąd z uwagi na podobieństwo odbieranych sygnałów.

Rys. 2 przedstawia stronę statusową programu dostarczonego przez Emotiv. Dzięki tej zakładce możliwe jest sprawdzenie poprawności połączenia zestawu EEG. Kolor zielony wskazuje na bardzo dobry odbiór informacji z danego sensora. Odpowiednio kolory żółty, pomarańczowy i czerwony wskazują na coraz słabsze połączenie. Kolor czarny natomiast wskazuje na całkowity brak przepływu informacji.



Rys. 6 Strona statusu



Rys. 7. Strona aktywności mięśni twarzy

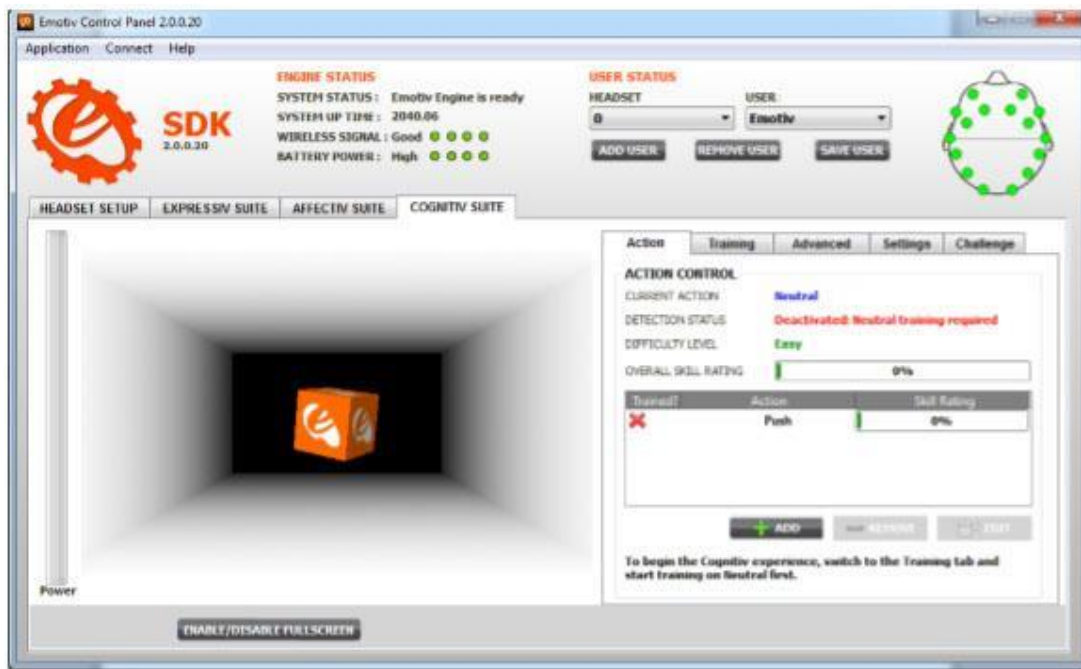
Strona aktywności mięśni twarzy zobrażowana jest na Rys. 3. Wirtualna osoba widoczna na rysunku naśladuje mimikę oraz ruch szyi. W przypadku aktywności mięśni twarzy sygnał EEG jest bardzo wyraźny, dlatego też jest ta metoda jest bardzo dokładna. Oprogramowanie pozwala na wykrycie akcji takich jak mruganie, uniesienie kąćka ust, uśmiech czy zmarszczenie brwi.



Rys. 8. Strona emocji

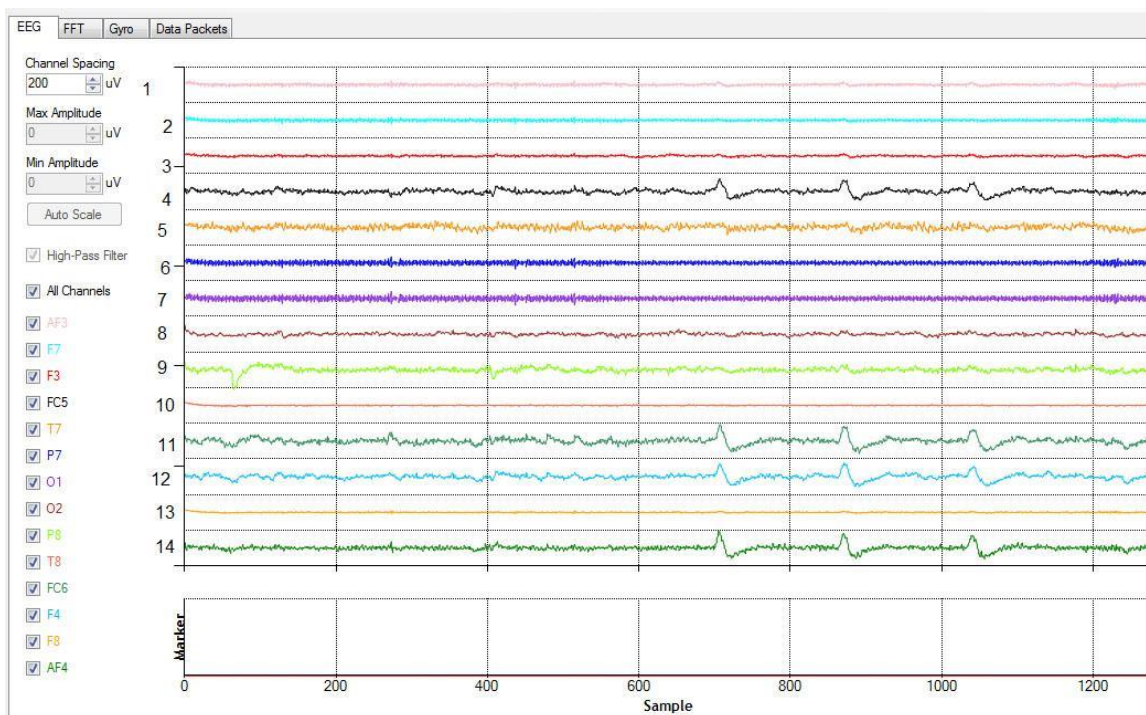
Analiza EEG za pomocą Emotiv umożliwia obserwację poszczególnych stanów psychicznych w jakich się znajdujemy. Stanami jakie możemy tutaj zaobserwować są m. in. determinacja, frustracja, medytacja (skupienie), podekscytowanie czy też długoterminowa fascynacja (Rys. 4).

Ostatnią zakładkę poświęcono myślą poznawczym (Rys.5). Są to sygnały przy pomocy których jesteśmy w stanie kontrolować lewitujący sześcian i na których skupiona jest uwaga. Wymagane jest w tym przypadku wypracowanie wzorców myślowych (trening) adekwatnych do sterowania interfejsem. W zależności od zapisanego wzorca trenowana jest odpowiednia komenda manipulatora wirtualnego lub po wykorzystaniu bibliotek SDK - interfejsu fizycznego.



Rys. 9. Strona myśli poznawczych

Wraz z SDK otrzymujemy bardzo przydatną aplikację służącą rejestracji sygnałów odebranych z poszczególnych elektrod. Umożliwia ona analizę danych nadchodzących z poszczególnych przekaźników i opracowanie własnych algorytmów. Narzędzie umożliwia zmianę czasu próbkowania oraz poziom wzmocnienia sygnałów.



Rys. 10. "Emotive TestBench"

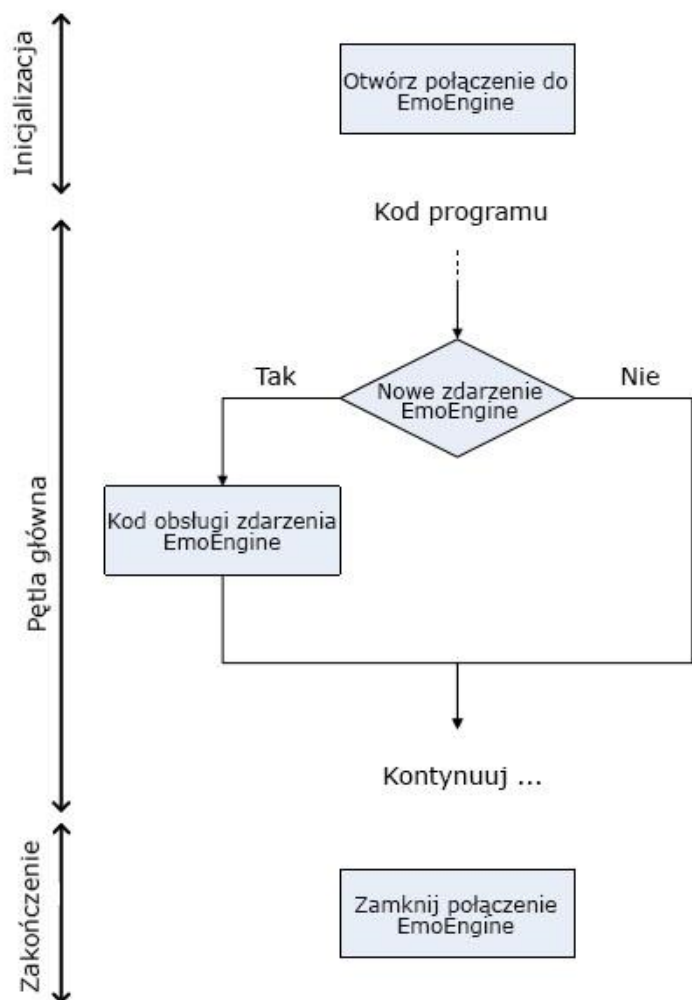
Emotiv SDK

Emotiv SDK to zbiór narzędzi programistycznych (bibliotek .dll oraz plików .h) jakie można dokupić do urządzenia Emotive EPOC. Zastosowania rozumiane w postaci biblioteki .dll, sprawiają że SDK jest użyteczne tylko na systemie operacyjnym Windows.

W dostarczonych interfejsach można wyróżnić dwie główne klasy (nie wprost). Pierwsza z nich to klasa główna, odpowiadająca za zbieranie danych sygnałów EEG i żyroskopu, zarządzanie specyficznymi ustawieniami użytkownika, bądź aplikacji, dokonująca przetwarzania oraz tłumacząca wykryte stany na bardziej przystępną formę dostępną w drugiej klasie. Ten interfejs wykorzystywany jest do nawiązania i zakończenia połączenia oraz wykonuje wszystkie operacje związane z rdzeniem urządzenia.

Druga klasa (dostępna po interfejsie) służy do pozyskiwania konkretnych danych, pozyskanych przez rdzeń – EmoEngine. Jest ona dynamicznym obiektem i można się do niej odnosić w zależności od języka w jakim pisany jest program. Dzięki temu w przystępnej formie można uzyskać informacje o stanie emocjonalnym użytkownika, o aktywności mięśni twarzy, szyi a także uzyskać informacje na temat stanu myśli poznawczych; czyli tych, które z punktu widzenia prowadzonych badań są najbardziej interesujące.

Poniższy schemat blokowy (Rys. 7) pokazuje zasadę działania komunikacji z Emotiv EPOC przy użyciu API.



Rys. 11. Schemat połączenia przez Emotiv API

Testowy interfejs fizyczny

W zakresie 3D celem badań jest opracowanie metodologii projektowania, prototypowania i testowania fizycznych interfejsów użytkownika, głównie detali pulpitów sterowniczych oraz poszczególnych manipulatorów.

Metodologia badawcza w przedstawionym wyżej zakresie zakłada wykorzystanie następujących metod badawczych:

- eksperymentu naukowego,
- metoda badania opinii (sądów).

W przypadku eksperymentu naukowego niezmiernie istotna jest obserwacja skutków zmian w badanym obiekcie poprzez planowaną zmianę przez badacza wybranych czynników, przy jednoczesnej kontroli pozostałych czynników. Spełnienie tego warunku wymagało zaprojektowania testowego interfejsu fizycznego w postaci pulpitu sterowniczego. Pulpit wyposażony jest w standardowe elementy sterowania: dwa manipulatory dwuosiowe XY, przełączniki dwupozycyjne, przełączniki trójpzycyjne, przyciski, sygnalizatory świetlne w postaci różnokolorowych diod LED. Dobór, rozmieszczenie, kolor i kształt poszczególnych elementów stanowi element zmienny eksperymentu czyli czynną ingerencję badacza w przedmiot badań.

Poszczególne etapy tworzenia interfejsu fizycznego:

- projektowanie pulpitu - dobór i rozmieszczenie elementów sterowniczych z wykorzystaniem oprogramowania CAD (SolidEdge),
- projektowanie kształtu elementów manipulatorów,
- przygotowanie opracowanego projektu do druku 3D,
- wydruk pulpitu i jego elementów składowych z wykorzystaniem drukarki do druku przestrzennego,
- montaż pulpitu.

Przygotowany testowy interfejs fizyczny poddawany jest następnie "pomiarowi" - badaniu dla uzyskania możliwie najwięcej informacji o nim. Po każdym cyklu pomiarowym wprowadzane są do interfejsu zmiany, przy czym, aby możliwa była prawidłowa ocena wyniku pomiaru, zmianie podlega tylko jeden element interfejsu np. kształt drążka manipulatora XY. Ilość cykli pomiarowych uzależniona jest od złożoności interfejsu fizycznego, jednak musi ich być na tyle dużo, aby analiza wyników pozwoliła na optymalne rozmieszczenie elementów sterujących interfejsu.

Opracowanie metodologii, modelu matematycznego oraz algorytmów do szacowania pracochłonności projektów dotyczących prototypowania interfejsów fizycznych

Wprowadzenie

Decydując się na wykorzystanie technologii druku 3D, jako metody do prototypowania interfejsów fizycznych, do szacowania pracochłonności można wykorzystać informacje, jakich dostarczają programy pozwalające przygotować wydruki. Zawierają one zaawansowane algorytmy, które potrafią wyznaczyć czas potrzebny na przygotowanie rzeczywistego modelu interfejsu, uwzględniając najważniejsze parametry dotyczące operacji wydruku, tj:

- rodzaj materiału,
- ilość warstw,
- sposób wypełnienia warstwy(wzór, współczynnik wypełnienia),
- średnicę filamentu,
- powierzchnię wydruku.

Należy również wziąć pod uwagę, iż od czasu przewidzianego na wydruk pojedynczej warstwy, zależy w bardzo dużym stopniu, jakość drukowanych interfejsów. Dlatego też w wielu przypadkach nie należy zbyt mocno redukować czasu przeznaczonego na wydruk elementów. Kluczową rolę, w przygotowaniu wydruku interfejsu, odgrywa również stopień skomplikowania elementu. Jeżeli zawiera on elementy "wiszące" tzw. mosty, to drukarka musi wydrukować podpory dla tych elementów, które następnie, po zakończeniu wydruku, usuwa się mechanicznie. Na etapie realizacji projektu nie był dostępny dedykowany, rozpuszczalny w wodzie materiał podporowy - PVA. Ponadto istotnym zagadnieniem jest to, jakiej klasy i budowy drukarką 3D dysponuje osoba przygotowująca prototyp. W przypadku drukarki wyposażonej w jedną głowicę, podpory muszą być wydrukowane z takiego samego materiału jak reszta prototypu, co jest korzystne z punktu widzenia czasu wydruku. Wadą takiego rozwiązania technicznego jest utrudnione usuwanie nadmiarowego materiału. Inna sytuacja ma miejsce, gdy mamy do dyspozycji drukarkę z co najmniej dwiema głowicami, mogącymi pracować z różnymi materiałami. W tym przypadku podpory drukowane są z innego materiału, a ich usunięcie jest zdecydowanie mniej czasochłonne. Wiąże się to niestety ze znacząco dłuższym czasem potrzebnym na wykonanie wydruku. Wynika to z konieczności doliczenia czasu na podgrzanie kolejnej głowicy drukarki w momencie drukowania podpory. Niestety ten czas należy przemnożyć przez ilość podpór i ilość warstw w jakich one będą występowały. Nawet jeśli pojedynczy czas podgrzewania głowicy jest relatywnie krótki, to

częstotliwość jego występowania powoduje, że czas potrzebny na wydruk interfejsu może wydłużyć się nawet dwukrotnie.

Wspomniane powyżej zagadnienia sprawiają ogromną trudność w opracowaniu skutecznej metody wyliczenia pracochłonności projektowania interfejsu fizycznego. Nie bez znaczenia jest też kwestia umiejętności projektowania 3D przez osobę wykonującą projekt. Jednakże zakładamy, że różnice w przygotowaniu prototypowego interfejsu wynikające z różnej wiedzy z zakresu grafiki komputerowej nie wpływają w sposób bardzo znaczący na czasochłonność całego zagadnienia, dlatego też zakładamy pewną wartość stałą uzależnioną jedynie od stopnia skomplikowania projektu. Takie podejście wynika z wieloletniego doświadczenia w prowadzeniu tego typu przedsięwzięć.

Model matematyczny

Proces przygotowania prototypu interfejsu fizycznego można opisać, ze względu na czas jego realizacji, jako sumę 3 składników:

$$T_p = T_{pm} + T_{pw} + T_w + T_{EEG}$$

gdzie:

T_{pm} - czas przygotowania modelu 3D - zależny od stopnia skomplikowania interfejsu, umiejętności projektanta oraz wielkości interfejsu,

T_{pw} - czas przygotowania modelu 3D do wydruku - zależny od stopnia skomplikowania interfejsu, dokładności wydruku oraz stopnia i sposobu wypełnienia wydruku,

T_w - czas wydruku.

T_{EEG} - czas potrzebny na wy

Czas przygotowanie modelu 3D T_{pm} będzie szacowany jako iloczyn współczynnika trudności projektu z przedziału $\langle 1;10 \rangle$ oraz pewnego stałego czasu wyznaczonego eksperymentalnie. Jako projekt o trudności 1 można przyjąć interfejs fizyczny o regularnym kształcie (okrąg, elipsa, prostokąt), zawierający nie więcej niż 5 punktów wprowadzania i ekspozycji informacji oraz wyświetlacz typu LCD.

Czas przygotowania modelu 3D do wydruku jest, jak wspomniano, zależny od stopnia skomplikowania projektu (zachodzi tutaj odwrotna proporcjonalność w stosunku do wydajności obliczeniowej jednostki komputerowej wykorzystanej do prowadzenia obliczeń), wartości współczynnika wypełnienia wydruku oraz wzoru wypełnienia. Można przyjąć, że nie przekracza on 5 minut, przy czym jako

platformę testową wykorzystano komputer z 4-rdzeniowym procesorem rodziny Core i7 4-tej generacji, wyposażony w 16GB pamięci RAM.

Materiałochłonność wykonania interfejsu fizycznego z wykorzystaniem technologii druku 3D można opisać zależnością:

$$M = \sum_{j=1}^{c(h/e)} k_2[j] \cdot \left(\sum_{i=1}^{c(d/e)} (k_1[i] \cdot l) - \sum_{n=1}^o \sum_{m=1}^{c(2r_o/e)} (k_3[n] \cdot r_o) - \sum_{p=1}^p \sum_{m=1}^{c(d_p/e)} l_p \right) \cdot w$$

gdzie:

$M[g]$ - materiałochłonność,

$c(.)$ - operator zaokrąglania w górę do najbliższej liczby naturalnej - nie jest konieczny jeżeli na etapie projektowania znana jest średnica ekstrudera, a projektant dobiera wymiary liniowe elementów i całego interfejsu jako całkowite wielokrotności tej średnicy,

$e[mm]$ - średnica ekstrudera,

$h[mm]$ - grubość panelu czołowego interfejsu,

$d[mm]$ - szerokość panelu czołowego interfejsu,

$l[mm]$ - długość panelu czołowego interfejsu,

k_1, k_2, k_3, k_4 - współczynniki kształtu przyjmujące wartość z przedziału $k_i \in (0,1 >$ przy czym wartość $k_i = 1$ jest przyjmowana w przypadku, gdy drukowana warstwa lub otwór są prostokątne, co oznacza, że dla każdego przebiegu głowicy jest wymagana taka sama ilość materiału,

$r_o [mm]$ - promień otworu okrągłego,

$d[mm]$ - szerokość otworu prostokątnego,

$d_p [mm], l_p [mm]$ - wymiary pojedynczego otworu prostokątnego - odpowiednio szerokość i długość,

o - ilość otworów okrągłych,

p - ilość otworów prostokątnych,

$w[g/mm]$ - waga materiału, z którego zostanie wykonany interfejs przeliczona na jednostkę długości.

Na podstawie tak określonej materiałochłonności możliwe jest wyliczenie czasu wydruku prototypu interfejsu:

$$T_w = v \cdot \frac{M}{w}$$

gdzie:

$v[mm/s]$ - prędkość liniowa ekstrudera, parametr nastawialny, zależny od drukarki, materiału oraz warunków otoczenia,

$M[g]$ - materiałochłonność,

$w[g/mm]$ - waga materiału, z którego zostanie wykonany interfejs przeliczona na jednostkę długości.

Należy zwrócić uwagę, że przy szacowaniu czasu wydruku nie zostały uwzględnione następujące czynniki wpływające na całkowity czas przygotowanie prototypu interfejsu fizycznego, tj.:

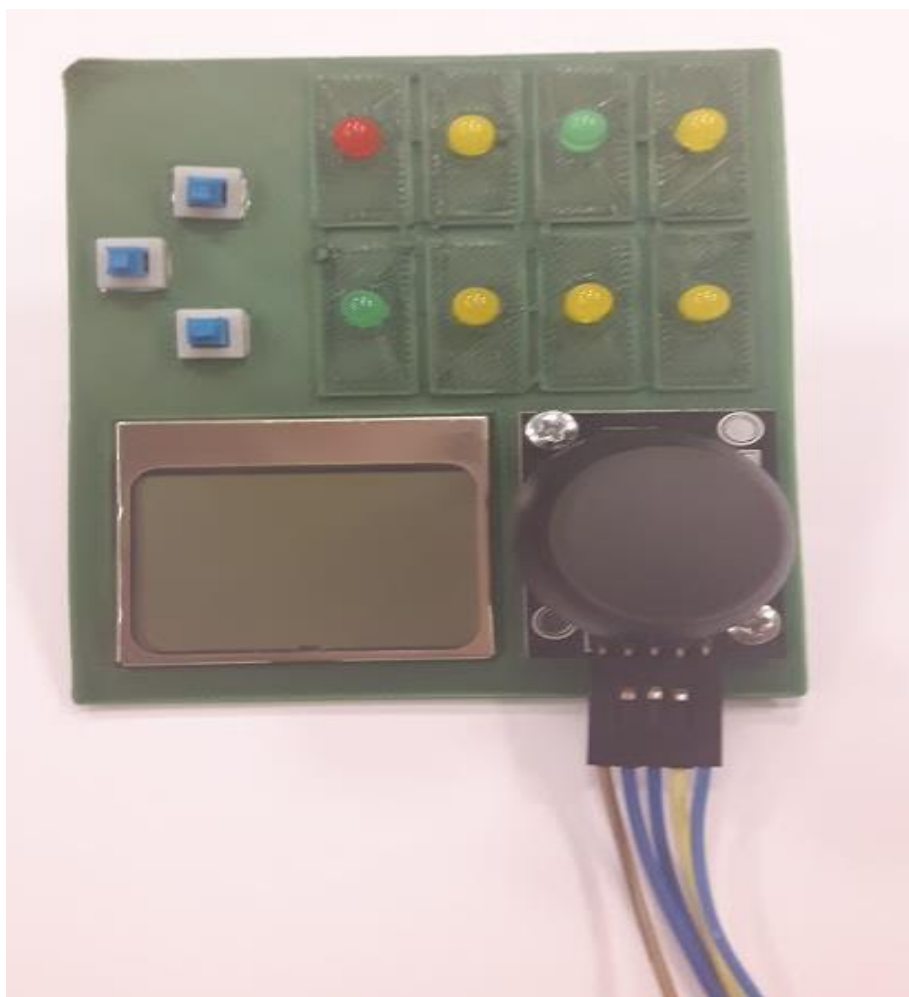
- czas potrzebny na przygotowaniu ekstrudera do wydruku - zgodnie z przedstawionym opisem technologii wydruku zakres temperatur niezbędnych do zapewnienia odpowiedniej plastyczności filamentu zawiera się w przedziale od 190 do 230 stopni Celsjusza, co oznacza konieczność podgrzania końcówki roboczej dyszy do takiej temperatury. Czas uzyskania odpowiedniej temperatury jest zależny od cieplnej stałej czasowej dyszy (zależy od materiału, kształtu, etc), systemu chłodzenia i grzania (konstrukcja drukarki) oraz warunków otoczenia,
- czas potrzebny na podgrzanie stołu do wymaganej temperatury,
- czas potrzebny na wykonanie ruchów przestawczych - są one związane z przesunięciem ekstrudera pomiędzy kolejnymi warstwami w trakcie wykonywania wydruku,
- dodatkowo zakłada się, że przed przystąpieniem do wydruku drukarka została poddana procesowi kalibracji.

Wymienione wyżej czynniki można podzielić na 2 grupy, z których jedna będzie obejmować parametry zależne od przygotowanego modelu, a druga parametry niezależne. Do pierwszej z nich należy zaliczyć czas związany z ruchami przestawczymi, którego wartość należy szacować na 1% czasu potrzebnego na

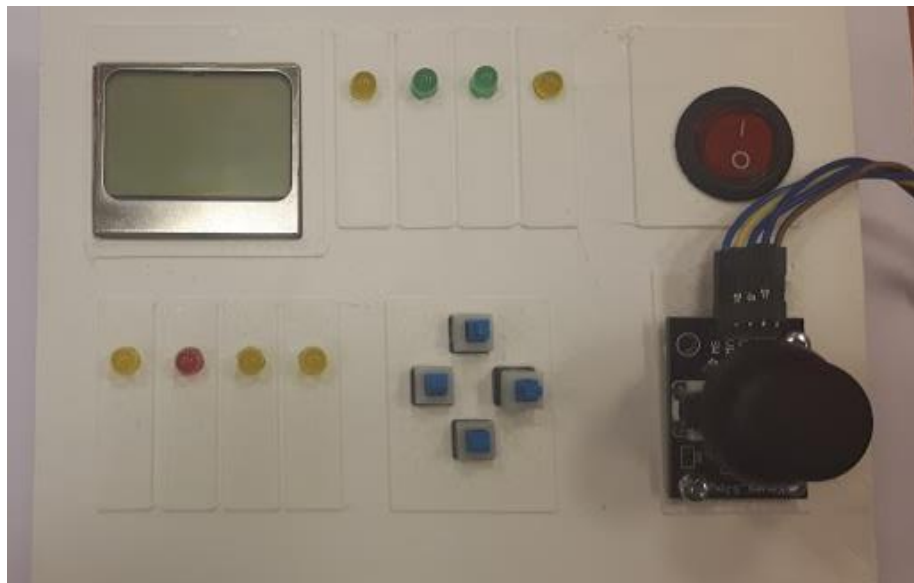
wykonanie wydruku. Pozostałe parametry mają wartość zależną jedynie od modelu drukarki oraz parametrów otoczenia.

Implementacja opracowanych algorytmów i modeli matematycznych

W celu sprawdzenia poprawności modeli matematycznych wykonano szereg testowych projektów i wydruków interfejsów fizycznych. Do przygotowania projektów wybrano studentów różnych kierunków studiów o różnej znajomości programów graficznych. Zadanie polegało na zaprojektowaniu pulpitu sterowniczego platformy mobilnej oraz jego wydrukowanie na drukarce 3D. Pozostałe czynności polegające na zbadaniu funkcjonalności pulpitów, przy użyciu hełmów EEG prowadzone były przez zespół naukowy realizujący projekt. Czasy uzyskane przez studentów zostały następnie porównane z czasami uzyskanymi w wyniku obliczeń matematycznych. Ponadto zwiększano stopień skomplikowania pulpitów sterowniczych. Przykładowe interfejsy opracowane na etapie prac prezentują poniższe zdjęcia.



Rys. 12. Przykładowy interfejs fizyczny do sterowania platformą mobilną

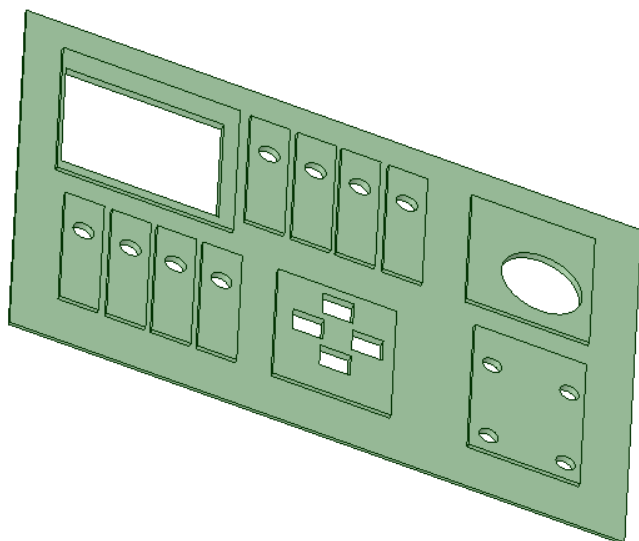


Rys. 13. Przykładowy interfejs fizyczny do sterowania platformą mobilną

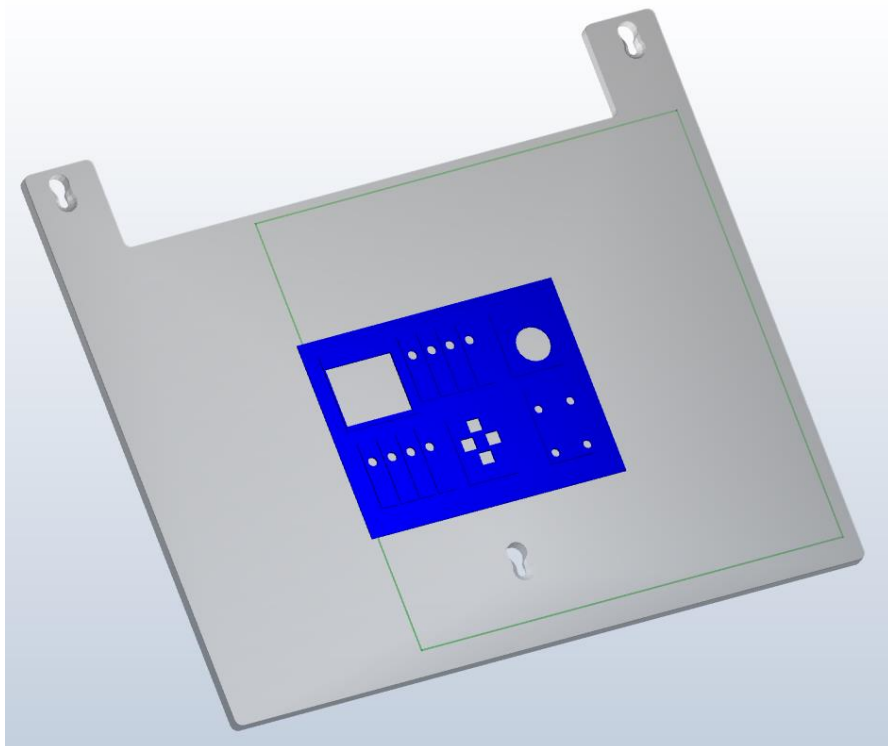


Rys. 14. Przykładowy interfejs fizyczny do sterowania platformą mobilną

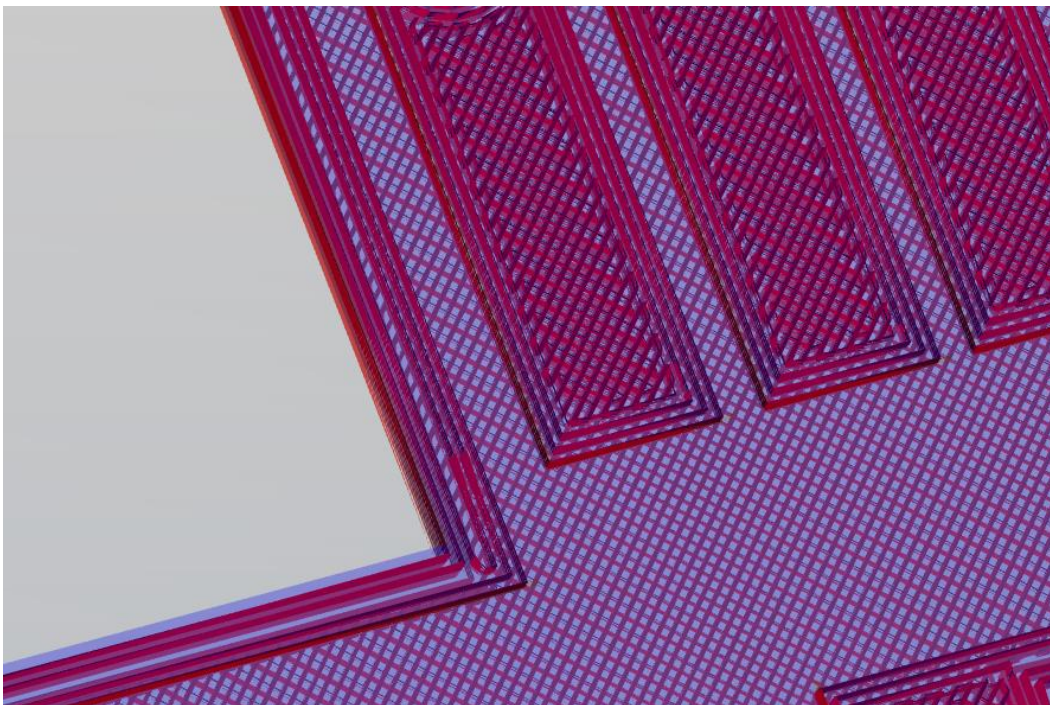
Opracowane przykładowe modele 3D:



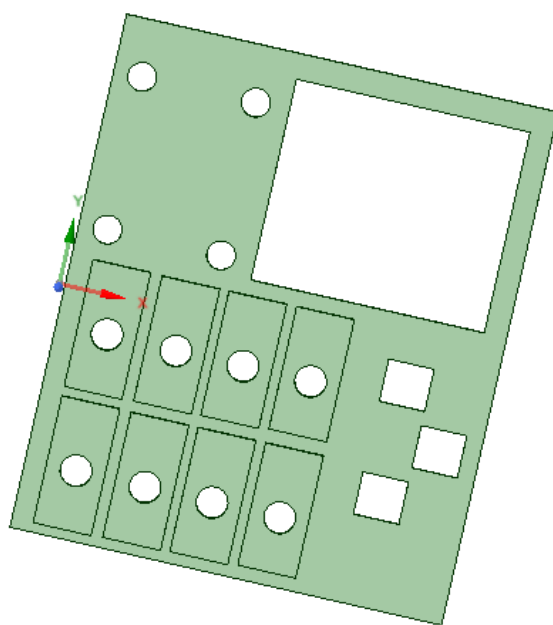
Rys. 15. Przykładowy interfejs fizyczny do sterowania platformą mobilną - model 3D



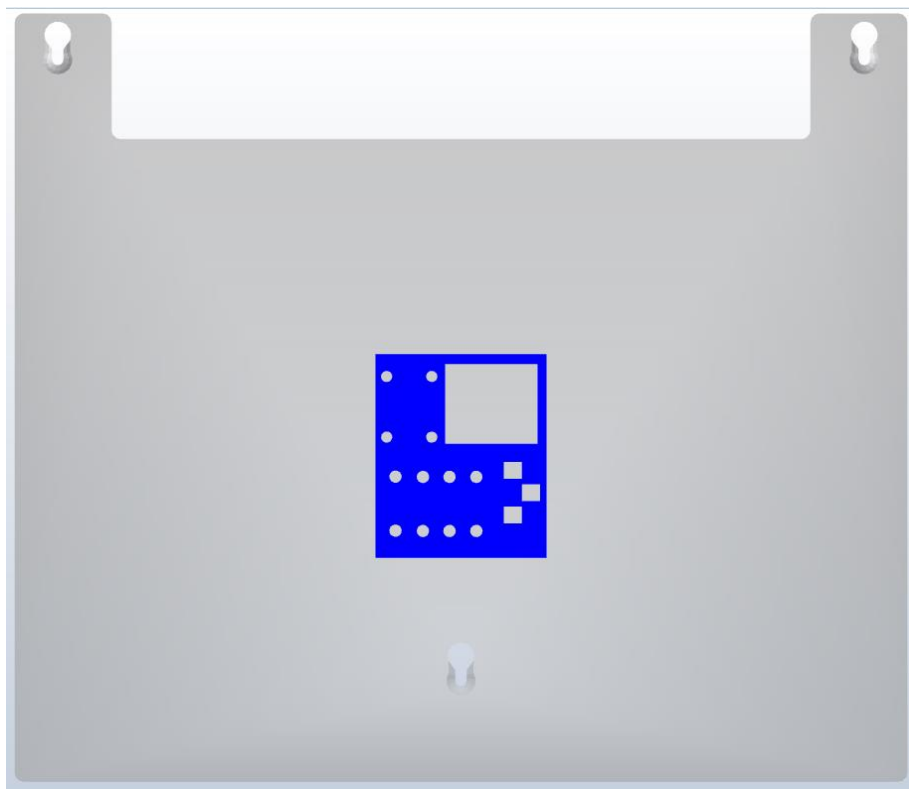
Rys. 16. Prototypowy interfejs przygotowany do wydruku - przed uruchomieniem slicer'a



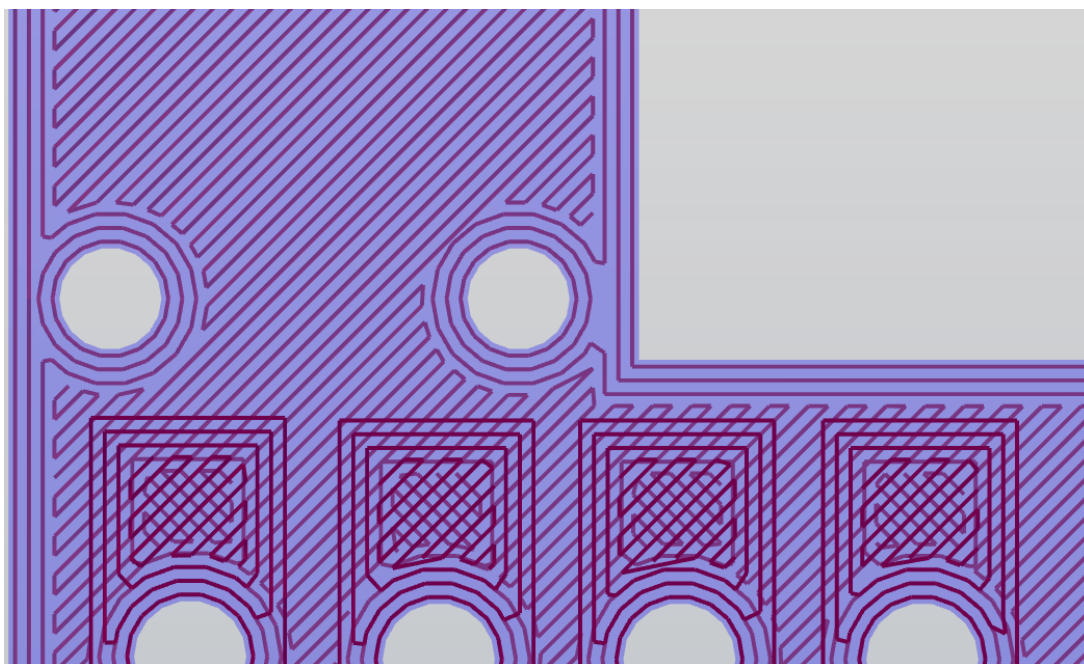
Rys. 17. Prototypowy interfejs przygotowany do wydruku - powiększony fragment po uruchomieniu slicer'a



Rys. 18. Model 3D interfejsu



Rys. 19. Model 3D interfejsu - przed generacją pliku gcode



Rys. 20. Model 3D interfejsu - po generacji pliku gcode

Ewaluacja opracowanych implementacji algorytmów i modeli matematycznych z uwzględnieniem wyników testów

Przeprowadzone badania eksperymentalne wykazały poprawność modelu matematycznego w części związanej z obliczaniem czasu potrzebnego na wydruk interfejsu fizycznego. Należy jednak dodać współczynniki korekty o charakterze multiplikatywnym związane z czasem potrzebnym na przygotowanie modelu i samego badania funkcjonalności interfejsu za pomocą hełmu EEG. Czas przygotowaniu projektu do wydruku przyjęto na podstawie eksperymentów jako stałą równą 15 min. Zakłada się, że jest to czas potrzebny na import projektu oraz wykonanie operacji niezbędnych do przekształcenia z postaci modelu 3D do pliku zawierającego kody sterujące dla drukarki 3D. W wyniku ewaluacji stwierdzono, czas przygotowania wydruku silnie zależy od stopnia skomplikowania projektu i wydajności komputera, ale ze względu na specyficzny produkt wyjściowy w postaci interfejsu użytkownika (płaska powierzchnia o niewielkiej grubości z otworami) można założyć, że podana wartość graniczna nie powinna zostać przekroczona.

Wartości eksperymentalne były nieznacznie większe niż wynikające z modelu matematycznego i wynikały zapewne z niedoświadczenia osób poddanych próbie. Przewiduje się jednak, że osoby te wykonując podobne projekty kolejnym razem osiągnęłyby czasy jeszcze bardziej zbliżone do zakładanych.

Niedoszacowany był jednak czas potrzebny na przeprowadzanie badania EEG. Wynika to przede wszystkim z techniki wykonywania tego badania. Elektrody wykorzystywane w badaniu pokryte są gąbkami, które przylegają do głowy osoby poddawanej badaniu. W celu polepszenia przewodności elektrycznej muszą być one nasączone roztworem soli fizjologicznej. Niestety po ok 15 minutach badania należy ponownie nasączyć elektrody płynem i ponownie ustawić je w prawidłowej pozycji na głowie osoby poddanej badaniu. Co prawda narzędzia programistyczne dostarczane z urządzeniem pozwalają w dosyć łatwy sposób na znalezienie prawidłowej pozycji elektrod, ale w praktyce zabiera to zdecydowanie więcej czasu niż na początku zakładano.

Uwzględniając powyższe problemy postanowiono zmodyfikować model matematyczny tylko w części związanej z czasem potrzebnym na wykonanie badania EEG i po zmianach otrzymano pracochłonność opisaną wzorem:

$$T_p = k_{mp} \cdot 20[\text{min}] + 15[\text{min}] + T_w + T_{EEG}$$

gdzie:

$$T_{EEG} = T_{STEU} + k_B \cdot T_{BSEU} + T_{BW}$$

T_{STEU} - czas potrzebny na badanie stanu emocjonalnego uczestnika.

T_{BSEU} - czas potrzebny na wykonanie serii ćwiczeń relaksujących oraz powtarzane badanie stanu emocjonalnego uczestnika.

T_{BW} - czas potrzebny na wykonanie badania właściwego.

Opracowanie ogólnego modelu prototypowania interfejsów fizycznych

Metodyka badania funkcjonalności interfejsu fizycznego

1. Przygotowanie do badania

Aby badanie przeprowadzone za pomocą hełmów EEG miało gwarantować rzetelność wyników konieczne jest podjęcie pewnych kroków, które wprowadzą osobę badaną w stan relaksacji, który da się zmierzyć za pomocą badania EEG. Stan ten można osiągnąć wykonując kilka ćwiczeń, z wykorzystaniem hełmu EEG. Są to zabawy polegające na przyzwyczajeniu osoby do sprzętu i tej techniki badań. Możemy do nich zaliczyć:

- wykonywanie testów sterowania za pomocą myśli (będące jednocześnie etapem zbierania wzorcowych zapisów EEG)
- sterowanie platformą jeżdżącą lub latającą za pomocą myśli bądź mimiki twarzy

Tego typu ćwiczenia połączone z zabawą pozwalają w łatwy i przyjemny, dla uczestnika badania, sposób oswoić się z aparaturą i sposobem przeprowadzenia właściwego badania. W trakcie wszystkich zabaw z wykorzystaniem myśli dokonywane są pomiary wzorcowe jak również mierzony jest pomiar relaksacji osoby badanej. Udokumentowano, iż badania relaksacji z wykorzystaniem technik EEG mają korzystny wpływ, zarówno na zdrowie fizyczne jak i psychiczne. Poświęcono temu zagadnieniu wiele prac z zakresu medycyny. Osoby, które szczególnie powinny korzystać z tego typu technik relaksacyjnych to według wielu opracowań naukowych:

- studenci i osoby zdające egzaminy (maturzyści, gimnazjaliści itp.)
- kadra zarządzająca w przedsiębiorstwach
- ludzie pracujący pod silną presją czasu
- osoby występujące publicznie (wykładowcy, politycy, aktorzy)
- osoby, w których pracy liczy się czas reakcji (sportowcy, piloci, kierowcy)
- osoby cierpiące na bezsenność

Po wykonaniu tego typu ćwiczeń następuje właściwy pomiar poziomu relaksacji. Spodziewany jest efekt zwiększenia u badanego poziomu fal Alfa, które odpowiadają właśnie za stan głębokiego relaksu. Osiągając ten stan u osoby badanej mamy gwarancję, że na ocenę fizycznego interfejsu nie będą miały wpływu inne, nagromadzone u osoby badanej, negatywne emocje.

2. Badanie właściwe

Po wykonaniu serii ćwiczeń relaksacyjnych można przystąpić do badania właściwego, mającego na celu zbadanie użyteczności i funkcjonalności interfejsu fizycznego. Osoba badana przez określony czas (minimum 30 minut) musi korzystać z zaprojektowanego interfejsu fizycznego, kontrolując za jego pomocą proces lub urządzenie. W trakcie całego badania mierzony jest poziom stresu za pomocą EEG. Oczywiście będzie zwiększenie intensywności fal Beta, w związku ze zwiększonym skupieniem nad wykonaniem zadania i tym samym zmniejszenie intensywności fal Alfa. Na podstawie tych pomiarów będzie można określić jak duże trudności sprawiło wykonanie zadania przy użyciu prototypowego interfejsu.

Badając w ten sposób reakcje użytkownika na różne typy interfejsów, w których każdy będzie na nowo zaprojektowany w celu osiągnięcia większej ergonomii pracy będzie możliwe wybranie takiej formy, która będzie najlepsza w obsłudze dla użytkowników. Próbę należy powtórzyć na grupie 5-10 osób, aby zapewnić tym samym rzetelność wyników.

Proces badania interfejsów fizycznych za pomocą badania EEG nie należy do najłatwiejszych metod. Możliwe jest jednak za jego pomocą porównanie kilku typów prototypowego interfejsu i tym samym wybranie tego, którego użytkowanie będzie sprawiało operatorom najmniej problemów. Najłatwiejszą metodą wydaje się określenie zmian poziomu relaksacji użytkownika w trakcie trzydziestominutowego użytkowania danego interfejsu. Kluczowe jest, aby użytkownik podchodząc do próby osiągnął odpowiedni stan relaksacji umysłu poprzez wykonanie wcześniej serii ćwiczeń z wykorzystaniem EEG. Dzięki temu na wynik badania nie mają wpływu negatywne emocje, które mogłyby wypaczyć ocenę ergonomii i użyteczności interfejsu. Właściwe badanie zaczyna się dopiero w momencie, gdy uczestnik jest do niego odpowiednio przygotowany. Jeśli w trakcie ćwiczeń osoba badana nie osiągnie odpowiedniego poziomu relaksacji można badanie przerwać i przełożyć na kolejny dzień. Jest to zatem jedyna metoda, w której przeprowadzający badanie ma możliwość określenia stanu emocji osobie badanej.

3. Algorytm przedstawiający sposób i kolejność wykonywania zadania

Poniżej, za pomocą schematu blokowego, został zaprezentowany algorytm pojedynczego badania użyteczności i funkcjonalności prototypu EEG. Na rysunku tym pokazano poszczególne etapy wykonywanych kroków, nie uwzględniając jednak możliwości przerwania wykonywanego badania z uwagi na nieosiągnięcie niewłaściwego poziomu relaksacji osoby badanej. Decyzja o przerwaniu prób musi zostać podjęta przez osobę, która wykonuje badanie na podstawie oceny zapisów EEG i rozmowy

z osobą badaną. Należy nadmienić, iż ten sam schemat należy powtórzyć badając każdy interfejs, który ma podlegać porównaniu.



Rys. 21. Algorytm pojedynczego badania

4. Metoda badania opinii

Zoptymalizowany interfejs fizyczny poddawany jest następnie ostatecznej ocenie, w której wykorzystane są dwie metody badania opinii:

- ankietowanie,

- wywiad.

Dla każdego badanego interfejsu fizycznego ankietowanie obejmuje następujące czynności:

- opracowanie kwestionariusza,
- dobór ankietowanych,
- wybór sposobu ankietowania,
- przeprowadzenie ankietowania,
- opracowanie wyników ankiety.

Ankieta przewiduje dwa rodzaje pytań:

- pytania zamknięte (jedna odpowiedź),
- pytania otwarte, które dopuszczają pełną swobodę wypowiedzi.

W celu zdobycia dodatkowego materiału empirycznego, jako uzupełnienie ankietowania, przeprowadzany jest wywiad w postaci rozmowy swobodnej ukierunkowanej z osobami grupy opiniotawczej.