

Dr inż. Marcin JANUSZKA, email: marcin.januszka@polsl.pl
Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska

OPARTA NA WIEDZY METODA WSPOMAGANIA PROCESU OPRACOWANIA ŚRODKA TECHNICZNEGO Z ZASTOSOWANIEM POSZERZONEJ RZECZYWISTOŚCI

Streszczenie: W artykule przedstawiono opracowaną metodę łączącą metody pozyskiwania wiedzy, projektowej z różnych źródeł oraz środków reprezentacji wiedzy, z metodą prezentacji zgromadzonej wiedzy z zastosowaniem technik poszerzonej rzeczywistości (ang. Augmented Reality, AR). Nowoczesne techniki wizualizacji AR pozwalają uzupełniać otaczający nas świat rzeczywisty o komputerowo generowane obiekty wirtualne i mogą stanowić skuteczny środek prezentacji wiedzy. Metoda przewiduje zastosowanie graficznej reprezentacji wiedzy w postaci diagramów języka UML zapisywanych zgodnie z zaadaptowanymi zaleceniami metodologii MOKA. Wiedza reprezentowana w ten sposób, uzupełniona jest o reprezentację multimedialną, z wykorzystaniem m.in.: modeli 3D, zdjęć, rysunków, filmów czy dźwięku. Stosowanie wiedzy możliwe jest dzięki metodzie prezentacji wiedzy projektantom i konstruktorom za pomocą systemu AR. Dzięki zastosowaniu technik AR projektant może być wspomagany bardziej efektywnie niż w przypadku tradycyjnych systemów klasy CAD.

Słowa kluczowe: poszerzona rzeczywistość, CAD, UML, systemy bazujące na wiedzy, wizualizacja, systemy interaktywne

KNOWLEDGE-BASED METHOD FOR AIDING PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS WITH THE USE OF AUGMENTED REALITY

Abstract: The paper presents an effective method for knowledge acquiring from different sources, a method for knowledge representation and a method for effective presenting knowledge with the use of augmented reality (AR) techniques. Modern visualization techniques, such as AR, allow to enrich real environment thanks to computer generated virtual objects and can be an effective way for presenting knowledge. The presented method uses UML diagrams in acquisition and knowledge representation with MOKA project principles used as knowledge representation forms. It is important that the method also use multimedia representation of knowledge, especially interactive animated 3D CAD models, photos, drawings, movies etc. Knowledge is delivered to the user with use of augmented reality techniques. AR allows the user to understand the presented virtual data and knowledge in a more comprehensive way, thus making the design process more efficient than that presently supported by conventional present-day CAD systems.

Keywords: augmented reality, CAD, UML, knowledge based engineering, visualization, interactive systems

1. WPROWADZENIE

Obecnie opracowywane są coraz bardziej skomplikowane modele układów. Modele te uwzględniają wiele procesów związanych z cyklem istnienia środka technicznego (np. wytwarzanie, eksploatację) oraz ich wpływ na koszty środka technicznego [2]. Coraz bardziej utrudnia to możliwość wyobrażenia sobie, jak będzie wyglądać i działać środek techniczny i jego różne podukłady składowe, osobom biorącym udział w procesie jego rozwoju. Jest to szczególnie istotny problem w układach mechatronicznych, w których występuje m.in. integracja różnych układów elektronicznych z mechanicznymi.

Zrozumienie sposobu sterowania układami mechanicznymi z zastosowaniem układów elektronicznych jest często skomplikowane. Odpowiednia wizualizacja wyglądu i działania środka technicznego w procesie jego opracowania jest konieczna również ze względu na nowe procesy, tj. szybkie opracowanie środków technicznych, które mają na celu skrócenie okresu pomiędzy projektowaniem i konstruowaniem środka technicznego, a jego sprzedażą. Stosując odpowiednie systemy komputerowego wspomaganie bazujące na nowoczesnych technikach wizualizacji projektant może „przeprowadzać ocenę i analizę modelu bazując wyłącznie na jego reprezentacji cyfrowej” [6]. Odpowiednia wizualizacja środka technicznego w postaci cyfrowej makiety (ang. Digital Mock-Up, DMU), jak i skuteczne dostarczenie wiedzy niezbędnej do dokonania oceny i podjęcia prawidłowych decyzji przez projektantów i konstruktorów podczas opracowania środka technicznego są więc zagadnieniami bardzo istotnymi.

Zastosowanie narzędzi komputerowych pozwala na zmniejszenie kosztów wytwarzania, skrócenie czasu przygotowania środka technicznego do produkcji i polepszenie jego jakości. Szacuje się, że 80 - 90% kosztów całego cyklu istnienia środka technicznego (ang. Product Lifecycle) determinowane jest już podczas fazy projektowania [6]. Do narzędzi i środków, które pozwalają już we wczesnych fazach opracowania środka technicznego na skuteczne podejmowanie decyzji wpływających w poważny sposób na proces jego wytwarzania (w tym montażu), czas wprowadzania środka technicznego na rynek, jakość środka technicznego oraz koszty produkcji, a co za tym idzie również na sukces środka technicznego na rynku należą techniki poszerzonej rzeczywistości (ang. Augmented Reality, AR).

W większości obecnie prowadzonych badań w zakresie zastosowania technik AR w procesach opracowania środków technicznych autorzy nie podejmują problemu pozyskiwania i formalnej reprezentacji wiedzy, która może być stosowana do wspomaganie użytkowników za pomocą opracowywanych systemów AR. W opracowywanych i stosowanych systemach korzysta się w głównej mierze z nieformalnej reprezentacji multimedialnej. Zasoby wiedzy pozyskiwane i przedstawiane są w takim przypadku głównie w postaci obiektów trójwymiarowych. Stosowanie wyłącznie takiej formy reprezentacji wiedzy jest niewystarczające. Ponadto przetwarzanie tak reprezentowanej wiedzy przez systemy bazujące na wiedzy jest niezwykle trudne, a czasem wręcz niemożliwe.

Problem badawczy, jakim zajął się autor, jest związany z opracowaniem metody wspomaganie wybranych etapów procesu opracowania środka technicznego, w szczególności projektowania i konstruowania. Wspomaganie projektantów i konstruktorów powinno polegać na umożliwieniu im skutecznego stosowania dostępnej wiedzy, związanej ze środkiem technicznym lub procesem jego opracowania [3]. Aby wiedza mogła być skutecznie stosowana, jednym z uzasadnionych podejść jest użycie nowoczesnych technik komputerowych tj. AR. Za ich pomocą użytkownik - projektant lub konstruktor - może realizować wybrane zadania procesu opracowania środka technicznego w bardziej przyjazny, naturalny i intuicyjny sposób.

Niniejszy artykuł przedstawia wyniki badań w zakresie opracowanej metody i systemu (bazującego na metodzie) wykorzystujących techniki AR i służących do wspomaganie procesu opracowania środków technicznych. Praca była częściowo finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy. Ze względu na złożoność metody artykuł przedstawia wyłącznie opis najważniejszych elementów metody oraz aspektów jej stosowania. Zastosowanie AR w procesie opracowania środka technicznego niesie za sobą wiele korzyści, co starano się wykazać w niniejszym artykule. Korzyści te potwierdzają omówione w artykule wyniki badań w ramach przeprowadzonych eksperymentów.

2. OPIS METODY

Elementy metody wspomagania procesu projektowania i konstruowania bazującego na wiedzy stanowią: metody pozyskiwania wiedzy oraz metoda jej prezentacji.

2.1 Metoda pozyskiwania i środki reprezentacji wiedzy

Złożoność wiedzy projektowej powoduje duże trudności w jej pozyskaniu. Wiedza jest bowiem najczęściej pozyskiwana od ekspertów z danej dziedziny lub ze źródeł opracowanych przez ekspertów. Eksperci ci nie znają się często na organizacji zasobów wiedzy. Istotne jest więc opracowanie takich metod pozyskiwania i środków reprezentacji wiedzy, które będą zrozumiałe dla ekspertów. Opracowana metoda bazuje na reprezentacji wiedzy wykorzystującej język UML, który jest językiem formalnym używanym do modelowania zorientowanego obiektowo różnego rodzaju systemów. Zgodnie z opracowaną metodą diagramy czynności UML stanowią graficzną reprezentację procedur (wiedza projektowa o charakterze proceduralnym) oraz reguł decyzyjnych (wiedza projektowa o charakterze deklaratywnym). Diagramy klas oraz obiektów UML stanowią natomiast graficzną reprezentację struktury projektowanych produktów. Stosowana reprezentacja procedur i struktur produktów stanowi zaadaptowaną reprezentację modelu formalnego zaczerpniętego z projektu MOKA¹ [7], wykorzystującego diagramy języka UML. Diagramy języka UML, szczególnie diagramy czynności, posługują się zapisami bliskimi językowi naturalnemu, przez co powinny być odpowiednim środkiem do zapisu wiedzy.

Zgodnie z opracowaną metodą, efektywna realizacja procesu pozyskiwania wiedzy (przede wszystkim jej zapisu) zapewniona jest dzięki komputerowemu wspomaganemu tego procesu. W tym celu stosowane mogą być specjalne programy komputerowe pozwalające na zapisywanie wiedzy w postaci diagramów w zunifikowanym języku modelowania UML. Celem pozyskiwania wiedzy jest otrzymanie pewnej „porcji” wiedzy w postaci zbioru procedur projektowo-konstrukcyjnych oraz reguł empirycznych, sformułowanych dla dziedziny (dziedzin) określonych przez inżyniera wiedzy. Pozyskiwanie wiedzy może odbywać się częściowo z zastosowaniem technik zapisu diagramów (metoda z grupy nieautomatycznych metod pozyskiwania wiedzy) i częściowo w sposób zautomatyzowany (automatyczny zapis diagramów obiektów). Akwizycja wiedzy z zastosowaniem nieautomatycznego zapisu diagramów może być realizowana według trzech scenariuszy. Według pierwszego pozyskiwanie wiedzy może być prowadzone samodzielnie przez eksperta (projektanta lub konstruktora). Drugi scenariusz pozwala na zapisywanie wiedzy, której źródłem jest ekspert, jednak bezpośredniego zapisu wiedzy dokonuje inżynier wiedzy znający zasady tworzenia diagramów UML zgodnie z opisywaną metodą. Ostatni scenariusz przewiduje możliwość akwizycji wiedzy wyłącznie przez inżyniera wiedzy znającego zasady zapisu wiedzy zgodnie z opisywaną metodą, z dostępnych źródeł innych niż ekspert. Ostatni scenariusz jest dość istotny, gdyż czas eksperta jest niezwykle cenny. Pozyskana i zapisana wiedza w dalszej kolejności poddawana jest procesowi sprawdzenia i łączenia. Prezentowana metoda pozwala także na automatyczne pozyskiwanie wiedzy, wyłącznie w przypadku wiedzy dotyczącej struktur opracowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Na podstawie struktur hierarchicznych modeli złożeniowych produktów pochodzących z systemu CAD automatycznie (przy wykorzystaniu odpowiednich skryptów) tworzone mogą być odpowiednie diagramy obiektów UML.

Innym ważnym aspektem metody jest pozyskiwanie wiedzy która będzie wymagała reprezentacji multimedialnej, tj. głównie w postaci trójwymiarowych modeli CAD, ale także

¹ Modele budowane przez autora nie są bezpośrednim formalnym odpowiednikiem modeli MOKA, a tylko budowanym samodzielnie modelem wzorowanym na modelach MOKA.

rysunków, zdjęć, filmów czy dźwięku. Źródłem takiej wiedzy mogą być repozytoria danych i wiedzy lub zaawansowane systemy PDM działające w przedsiębiorstwach. Dokumenty opisujące produkty mogą mieć różne formy papierowe i cyfrowe. Na potrzeby opracowanej metody zastosowanie mogą znaleźć jedynie formy cyfrowe. Nadrzędną stosowaną formą powinny być trójwymiarowe wirtualne modele, które efektywnie mogą być stosowane w systemach AR. Multimedialna reprezentacja powinna dotyczyć wiedzy (szczególnie ukrytej/niejawnej) o obiektach lub klasach obiektów. Powinna być ona uzupełnieniem wiedzy jawnej, dla której środkiem reprezentacji zgodnie z metodą są diagramy UML. Pozyskanie odpowiednich zasobów wiedzy z repozytoriów lub systemów PDM dokonywać powinien inżynier wiedzy. On też powinien dokonywać integracji (łączenia) pozyskanej wiedzy reprezentowanej w sposób deklaratywny, proceduralny z elementami multimedialnymi.

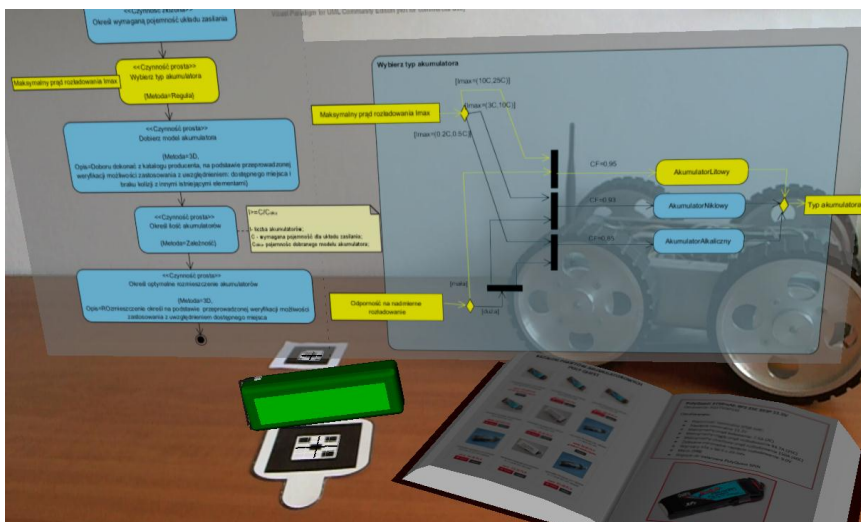
2.2 Metoda prezentacji dostępnej wiedzy

Odpowiednia prezentacja wiedzy z zastosowaniem reprezentacji multimedialnej (w tym szczególnie wirtualnych modeli środka technicznego lub jego elementów składowych) była jednym z istotnych problemów badawczych do rozwiązania w ramach opracowania prezentowanej w artykule metody. Wiedza taka z reguły nie może być interpretowana w sposób automatyczny (przez aplikacje komputerowe, np. aplikacje KBE), a jedynie przez człowieka (tzw. human-interpretable). W związku z tym szczególnie istotne jest zastosowanie odpowiednich technik wizualizacji przyszłego środka technicznego w procesie jego opracowania (ang. Rapid Product Development), które pozwolą jednoznacznie, bezbłędnie i skutecznie, w sposób przyjazny dla użytkownika interpretować prezentowaną wiedzę [3].

Innym problemem jest prezentacja wiedzy deklaratywnej i proceduralnej. Dla tego typu wiedzy stosowana jest najczęściej taka forma reprezentacji, która pozwoli na jej interpretację przez aplikacje komputerowe (ang. computer-interpretable). Wiedza taka nie wymaga z reguły zaawansowanych metod wizualizacji. Jeśli weźmiemy jednak pod uwagę potrzebę prezentacji wiedzy w określonym miejscu - w którym się znajdujemy - oraz w odpowiednim czasie - kiedy potrzebujemy skorzystać z pozyskanej wiedzy - systemy komputerowe oraz techniki wizualizacji mogą znaleźć doskonałe zastosowanie. Obecnie dąży się aby informacje i wiedza były dostarczane w odpowiednim momencie zaistnienia takiej potrzeby (ang. Just in Time, JIT). Odpowiednie techniki wizualizacji stwarzają możliwość dostarczania niezbędnych informacji i/lub wiedzy bez potrzeby zmiany ułożenia głowy i odwracania uwagi od realizowanych w danej chwili czynności. W takim przypadku człowiek nie musi dzielić swojej uwagi pomiędzy czytanie i interpretowanie informacji w drukowanej instrukcji, a czynności które wykonuje [5].

Zastosowanie technik AR umożliwia spełnienie powyższych wymagań odnośnie wizualizacji. Liczne badania przeprowadzone w różnych ośrodkach naukowych na całym świecie potwierdzają, iż zastosowanie technik AR pozwala stworzyć niezwykle efektywne systemy prezentacji danych i wiedzy do wspomaganie użytkownika. System taki został także opracowany przez autora (rys. 1).

Istnieje wiele sposobów prezentowania użytkownikowi systemów AR komputerowo generowanych, wirtualnych danych. Dzięki zastosowaniu odpowiednich typów wyświetlaczy tj. [1]: wyświetlacze montowane na głowie (ang. Head-Mounted Display, HMD), wyświetlacze trzymane w rękach (ang. Hand-Held Display, HHD), wyświetlacze montowane na wysięgnikach (ang. Binocular Omni-Orientation Monitor, BOOM), a nawet standardowych monitorów, tabletów lub projektorów, możemy pokazać to, czego „normalnie” nie widać.



Rys. 1 Sposób prezentacji wiedzy w postaci diagramów UML oraz modeli w środowisku AR, zgodny z opracowaną metodą

Tworząc scenę AR należy pamiętać o wszystkich możliwych formach reprezentacji wiedzy i dobierać je stosownie do prezentowanych treści i oczekiwanych efektów. Tworząc scenę w środowisku AR należy zwrócić uwagę na pewne aspekty pozwalające na lepszy odbiór i zwiększenie czytelności prezentowanych na niej treści. Ustalenie odpowiednich reguł zarządzania widokiem pozwala na optymalne przedstawienie wiedzy użytkownikowi.

W ramach opracowanej metody określono kilka podstawowych reguł zarządzania widokiem pozwalających efektywnie korzystać z prezentowanej użytkownikowi wiedzy. Reguły te można podzielić na dwie kategorie: reguły związane z rozmieszczeniem obiektów na scenie oraz reguły dotyczące stylu prezentowanych obiektów. Reguły mogą być zaimplementowane w systemie, tak aby w momencie tworzenia sceny zarządzanie widokiem realizowane było w sposób automatyczny w czasie rzeczywistym. W prostszych systemach AR możliwe jest ręczne tworzenie sceny z uwzględnieniem przyjętych reguł.

3. ISTOTA WSPOMAGANIA PROJEKTANTA

Istotą wspomagania jest dostarczanie projektantom i konstruktorom wiedzy zapisanej w bazie wiedzy, która może być przetwarzana (interpretowana) i stosowana przez nich w procesie opracowania środka technicznego. W procesie tym używane są metody i środki informatyczne (komputerowe) pozwalające wzmocnić możliwości twórcze uczestników tego procesu. Aby można było wykorzystać system komputerowy do wspomżenia rozwiązania problemu to problem ten musi być algorytmiczny.

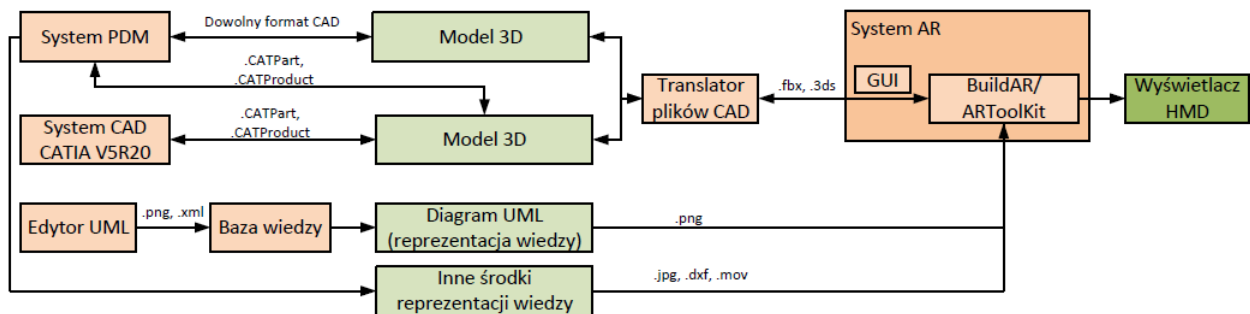
Opracowywanie projektu środka technicznego może być realizowane w systemie CAD lub systemie AR zintegrowanym z systemem CAD. System AR może pracować jako asystent użytkownika. W systemie AR zaimplementowana jest metoda wspomagania bazującego na wiedzy. Część zadań projektowych realizowana jest wyłącznie przy użyciu systemu CAD (np. modelowanie geometryczne). Zadania wymagające wspomagania projektanta dostępną wiedzą realizowane są za pomocą systemu AR. Na etapie wykorzystania systemu projektant lub konstruktor (lub grupa) wyposażony w wyświetlacz HMD prowadzi prace mające na celu opracowanie środka technicznego. System AR działa w oparciu o wiedzę zapisaną w bazie wiedzy. Jego działanie może sprowadzać się do prezentacji odpowiednio reprezentowanej wiedzy. W bliskim otoczeniu użytkownika wyświetlane są komputerowo generowane obiekty reprezentujące wiedzę projektową. Poza wiedzą za pomocą systemu AR prezentowany może być również opracowywany środek techniczny (jego model 3D), dla którego ta wiedza będzie stosowana [3].

4. SYSTEM WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA

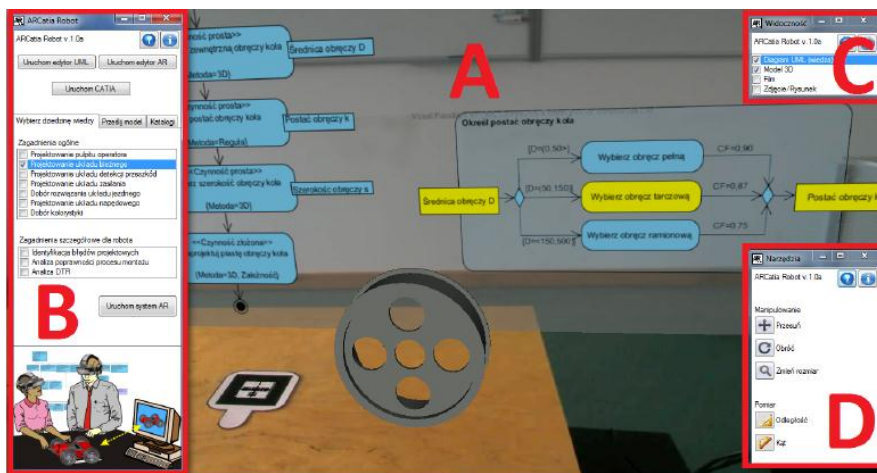
Bazując na opracowanej metodzie dokonano jej implementacji. Zaimplementowany system AR pozwala użytkownikowi na efektywną prezentację wiedzy (wcześniej pozyskanej i zapisanej w odpowiedniej bazie wiedzy) niezbędnej mu podczas realizacji procesu projektowego. Poza samym dostarczaniem wiedzy system umożliwia użytkownikowi także stosowanie tej wiedzy w trakcie procesu projektowego.

Na etapie pozyskiwania, wiedza zapisywana jest przez specjalistę lub inżyniera wiedzy z wykorzystaniem edytora UML. Edytor umożliwia wybór i umiejscawianie odpowiednich symboli graficznych definiujących tworzone elementy np. procedury, reguły. Tak pozyskana wiedza zapisywana jest w bazie wiedzy w dwóch różnych postaciach: graficznej - jako plik grafiki w formacie .png oraz tekstowej - jako plik XML. Na potrzeby prowadzonych przez autora badań zastosowanie znajduje wyłącznie postać graficzna diagramu UML, który jest w takiej postaci wyświetlany w trybie AR. Plik XML może znaleźć zastosowanie w innych systemach przetwarzających wiedzę - systemach bazujących na wiedzy (np. systemach doradczych). Uzupełnieniem wiedzy reprezentowanej deklaratywnie i proceduralnie jest wiedza multimedialna.

W następstwie etapu pozyskiwania wiedzy inżynier wiedzy ma za zadanie zbudować scenę AR, czyli przestrzeń przeznaczoną do prezentacji różnorodnych obiektów wirtualnych i wiedzy. Do budowy sceny AR w opracowanym systemie wykorzystywane jest komercyjne oprogramowanie BuildAR. Budowa sceny AR jest niezwykle prosta i szybka. Etap stosowania wiedzy polega na prezentacji i interpretacji wiedzy przez projektantów i konstruktorów, a następnie wykorzystaniu jej w procesie opracowania środka technicznego. W tym celu stosowana jest odpowiednia aplikacja integrująca różne komponenty sprzętowe i programowe systemu (rys. 2 oraz rys. 3).



Rys. 2 Integracja i przepływ danych pomiędzy komponentami systemu



Rys. 3 Graficzny interfejs użytkownika: A- główne okno sceny AR, B- okno zarządzania aplikacją, C- okno ustalania widoczności obiektów na scenie AR, D- okno narzędziowe

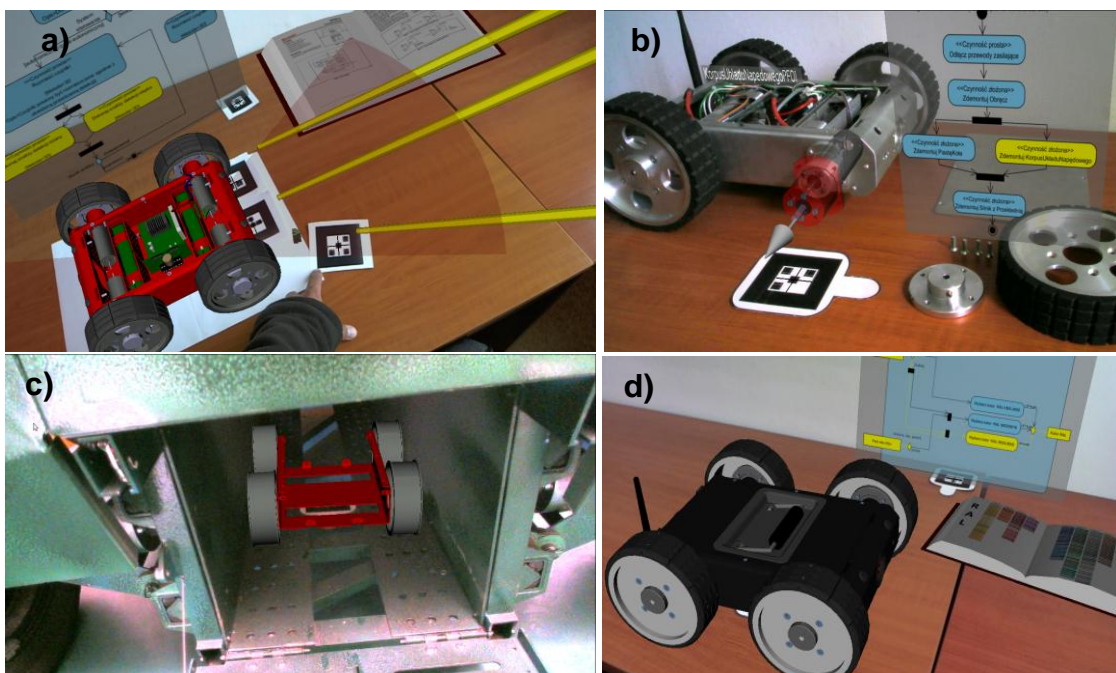
Na tym etapie wykorzystania systemu projektant (lub grupa projektantów) wyposażony w wyświetlacz HMD prowadzi na komputerze prace mające na celu opracowanie środka technicznego. W otoczeniu użytkownika (np. na biurku) znajduje się marker/markery. Zgodnie z położeniem i orientacją markera(-ów) wyświetlane są komputerowo generowane obiekty. Wiedza prezentowana jest z zastosowaniem wirtualnych obiektów. Wiedza reprezentowana może być w sposób deklaracyjny, proceduralny oraz z wykorzystaniem reprezentacji multimedialnej. Szczegółowy opis działania systemu przedstawiono w [4].

5. BADANIA WALIDACYJNE

Celem badań walidacyjnych w odniesieniu do opracowanego systemu (pośrednio także metody, na podstawie której powstał system) była ocena jego poprawności i przydatności w kontekście jego zastosowania do wspomagania procesu opracowania środka technicznego z wykorzystaniem techniki AR. Ocenie poddany został wpływ sposobu wizualizacji wiedzy (a zatem środowiska pracy) na skuteczność realizacji zadań projektowych przez doświadczonych i niedoświadczonych projektantów. Do oceny systemu przyjęto miary ilościowe (czas realizacji zadania) oraz jakościowe (satysfakcja użytkownika).

5.1 Przebieg eksperymentu i uczestnicy

W celu umożliwienia oceny skuteczności opracowanego systemu wykorzystującego techniki AR przeprowadzono badania eksperymentalne, w ramach których uczestnicy realizowali pewne zadania projektowe. Eksperyment łącznie obejmował 10 zadań, w tym: projektowanie ergonomiczne pulpitu operatora robota, projektowanie i weryfikacja obręczy koła (rys. 4c), projektowanie układu detekcji przeszkód (rys. 4a), identyfikacja błędów projektowych robota mobilnego, analiza rozwiązania konstrukcyjnego pod kątem poprawnego i szybkiego montażu, projektowanie akumulatorowego układu zasilania robota mobilnego, adaptacja robota mobilnego do inspekcji kanałów, opracowanie nowego wariantu układu napędowego robota, określenie wariantów kolorystycznych robota (rys. 4d), weryfikacja czynności obsługowych i poprawności DTR (rys. 4b).



Rys. 4 Wybrane przykłady zadań realizowanych za pomocą systemu AR

Badania eksperymentalne przeprowadzone zostały przy udziale grupy liczącej 30 osób. Do udziału w badaniach zaproszeni zostali specjaliści, którzy posiadali wiedzę z zakresu projektowania. W badaniach udział wzięli zarówno doświadczeni jak i niedoświadczeni projektanci.

Uczestnicy realizowali zadania projektowe przy użyciu opracowanego systemu AR oraz z użyciem klasycznego systemu CAD. Środowisko AR przygotowane zostało w oparciu o system AR zintegrowany z systemem CATIA V5R20. Klasyczne środowisko systemu CAD przygotowane zostało w oparciu wyłącznie o system CATIA V5R20.

Walidacja systemu została przeprowadzona indukcyjnie, zgodnie z następującym planem:

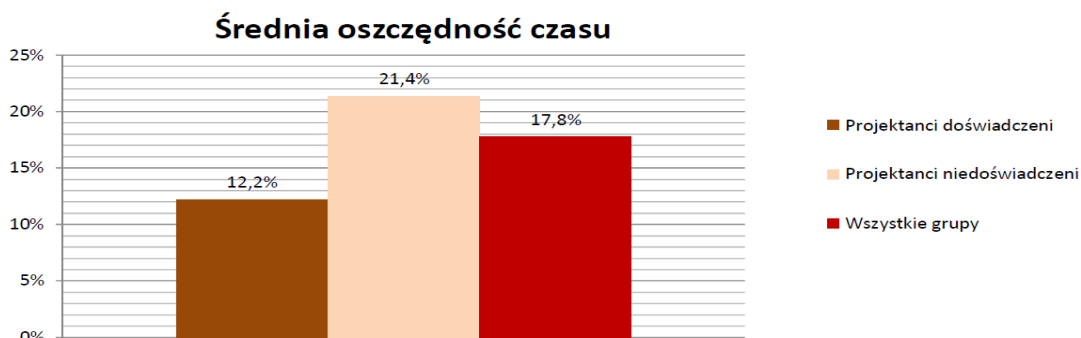
1. Szkolenie uczestników;
2. Realizacja zadań dotyczących procesu opracowania środka technicznego;
3. Ocena metody pod kątem skuteczności wspomaganie i satysfakcji uczestników procesu opracowania środka technicznego.

Wszyscy projektanci w trakcie realizacji zadań mieli możliwość korzystania ze zgromadzonej wiedzy. Projektantom korzystającym z systemu CAD niezbędna wiedza prezentowana była na monitorze komputera, a proces realizowany był w systemie CAD. Projektantom wspomaganym systemem AR niezbędna wiedza prezentowana była w otaczającej ich przestrzeni rzeczywistej (w miejscu realizacji czynności), gdzie również realizowany był proces opracowania środka technicznego. Użytkownicy systemu AR mieli dodatkową możliwość wyeksportowania wyników pracy realizowanej w trybie AR do systemu CAD, tak aby możliwe było ich użycie w dalszych etapach procesu opracowania środka technicznego.

5.2. Ocena

Ocena systemu miała charakter jakościowy oraz ilościowy. Oceny ilościowej dokonano w wyniku obserwacji bezpośredniej. Najistotniejszym elementem podlegającym obserwacji był czas realizacji zadań. Dodatkowym narzędziem zastosowanym do oceny (ocena jakościowa) systemu były kwestionariusze. Do oceny zaadaptowane zostały kwestionariusze SUMI (ang. Software Usability Measurement Inventory) [8] służące do oceny satysfakcji użytkownika. Kwestionariusz wypełniany był po wykonaniu wszystkich zadań. Uzyskane oceny pozwoliły odpowiedzieć na pytanie czy zaproponowany system jest przydatny i pozwala na skuteczną realizację procesu opracowania środka technicznego.

Ocena ilościowa. Podstawowym parametrem obserwowanym podczas realizacji eksperymentu był czas realizacji zadania projektowego przez uczestników eksperymentu. Analiza czasu realizacji zadania pozwoliła na ocenę wpływu wykorzystania systemu AR na zmianę czasu realizacji tego zadania w procesie opracowania produktu. Średnią oszczędność czasu dzięki zastosowaniu systemu AR do wspomaganie projektanta podczas realizacji zadania przedstawia wykres na rys. 5.

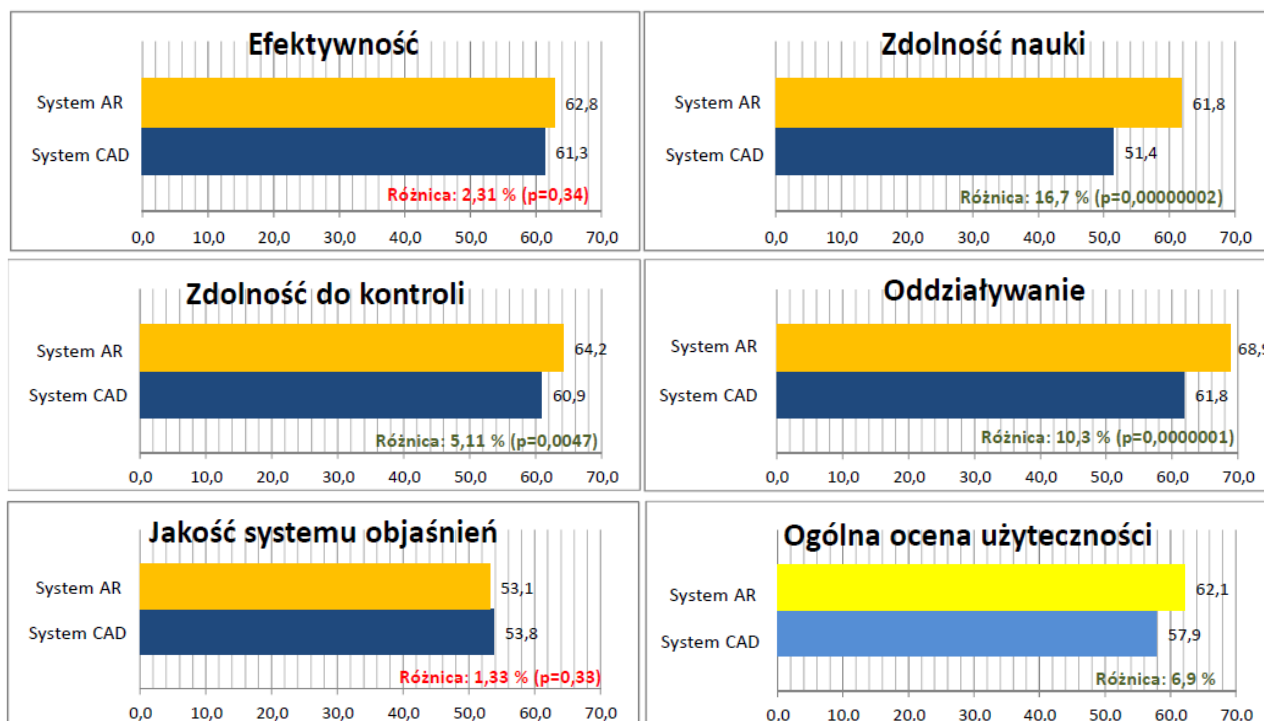


Rys. 5. Średnia oszczędność czasu realizacji zadań w wyniku zastosowania systemu AR

Analizując czasy realizacji zadania przez poszczególnych użytkowników zauważyć można, że dzięki zastosowaniu systemu AR uzyskano istotne skrócenie czasu realizacji zadań. Średnie skrócenie czasu realizacji zadań osiągnięto na poziomie 17,8%. Analizując wyniki zauważyć można, iż większą korzyść ze stosowania systemu AR czerpią mniej doświadczeni projektanci. Wynika to zapewne z ich mniejszej wiedzy oraz doświadczenia. Projektanci ci częściej muszą sięgać do zgromadzonej wiedzy, a dzięki systemowi AR mają do niej łatwiejszy dostęp, niż w przypadku tradycyjnie stosowanych systemów opartych na wiedzy. Doświadczeni projektanci posiadają większy zasób wiedzy i szczególnie przy realizacji pewnych zadań rutynowych nie mają potrzeby sięgać do zgromadzonej wiedzy.

Ocena jakościowa. Po zakończeniu eksperymentu projektanci dokonali oceny systemu AR bazującego na opracowanej metodzie oraz klasycznego systemu CAD przy użyciu kwestionariuszy. Kwestionariusze zostały opracowane zgodnie z branżową metodyką pomiaru użyteczności programów komputerowych SUMI, opracowaną i rozwijaną w ciągu ostatnich kilkunastu lat przez ekspertów w dziedzinie użyteczności oprogramowania z grupy Human Factors Research Group na Uniwersytecie w Cork (Irlandia) [8]. Test SUMI służy do oceny satysfakcji i wydajności użytkownika korzystającego z aplikacji i jest narzędziem powszechnie stosowanym w społeczności programistów.

Metodyka pomiaru użyteczności oprogramowania obejmowała pięć kategorii oceny: efektywność, oddziaływanie, jakość systemu objaśnień, zdolność do kontroli, zdolność nauki. Kwestionariusz zawierał pięćdziesiąt stwierdzeń dotyczących użyteczności oprogramowania i wydajności pracy z jego użyciem. Uczestnicy badania ustosunkowywali się do stwierdzeń w poszczególnych kategoriach za pomocą standardowej, trójstopniowej skali Likerta. Na podstawie ocen cząstkowych wyznaczano ogólną ocenę dla danej kategorii (rys. 6).



Rys. 6. Wyniki oceny satysfakcji użytkownika systemu AR i CAD wg metodyki SUMI

Kategoria *Efektywność* umożliwia dokonanie pomiaru odczuć użytkownika w zakresie wygody i prostoty korzystania z interfejsu systemu, w trakcie realizacji zadań. Na ocenę efektywności wpływ ma wiele czynników, spośród których najważniejsze to: szybkość

działania, stabilność oraz liczba dostępnych funkcji. Kategorie *Oddziaływanie* umożliwia dokonanie pomiaru jak bardzo użytkownicy polubili badany system. Kolejna kategoria oceny *Jakość systemu objaśnień* pozwala dokonać oceny stopnia w jakim system jest pomocny dla użytkownika w rozwiązywaniu problemów z jego obsługą (nie w rozwiązywaniu zdań), dzięki narzędziom pomocy i dokumentacji systemu. Kategoria *Zdolność do kontroli* umożliwia pomiar w jakim stopniu i z jak dużą łatwością użytkownik jest w stanie kontrolować realizację zadań za pomocą dostępnych funkcji systemu. Kryterium *Zdolności nauki* umożliwia pomiar wrażeń użytkownika w zakresie intuicyjnej obsługi systemu, łatwości uczenia się, szybkości uzyskiwania sprawności oraz komfortu obsługi aplikacji.

W czterech z pięciu badanych kategorii (rys. 6) użyteczność systemu AR otrzymała wyższe średnie oceny od systemu CAD. W trzech kategoriach oceny te były istotnie wyższe, w jednej z nich osiągając różnicę na poziomie ponad 16% (dla kategorii zdolność do nauki). Podsumowując oceny satysfakcji projektantów (patrz rys. 6 – ogólna ocena użyteczności) z użyteczności systemu dla zadań zauważyć można, że projektanci generalnie odczuwali większą satysfakcję realizując zadania z wykorzystaniem systemu AR.

5. PODSUMOWANIE

Zaproponowana przez autora graficzno-tekstowa reprezentacja wiedzy proceduralnej i deklaratywnej w postaci diagramów UML uzupełnianych wiedzą reprezentowaną w sposób multimedialny jest przystępna i zrozumiała dla użytkowników. Jak wykazały przeprowadzone badania wykorzystanie systemu AR zintegrowanego z systemem CAD do prezentacji tak reprezentowanej wiedzy powinno skrócić czas opracowania środka technicznego, w stosunku do czasu jego opracowania w modelu tradycyjnym (przy użyciu wyłącznie systemu CAD). Dodatkowa korzyść osiągnięta w wyniku zastosowania technik poszerzonej rzeczywistości to ograniczenie kosztów opracowania rozwiązań. Przedstawione korzyści wynikają głównie z:

- ograniczenia potrzeby tworzenia wirtualnych środowisk dla analiz i symulacji,
- ograniczenia potrzeby budowy fizycznych prototypów,
- możliwości wizualizacji i interakcji z obiektami w niezwykle intuicyjny sposób,
- możliwości prezentacji w dowolnej skali także w skali 1:1,
- lepszej interpretacji prezentowanej wiedzy.

Obecnie pomimo wciąż pewnych problemów technologicznych (jakość wizualizacji i dokładność śledzenia wymagają udoskonalenia) oraz ekonomicznych (w chwili obecnej wysoki koszt sprzętu) korzyści wynikające ze stosowania techniki poszerzonej rzeczywistości pozwalają mieć nadzieję, że pewnego dnia systemy tego typu staną się powszechnie stosowane i przyczynią się do dalszej racjonalizacji procesów opracowania środków technicznych.

LITERATURA

- [1] Azuma R.T., *A survey of augmented reality*. Teleoperators and Virtual Environments, 6, 4(1997): 355–385, 1997.
- [2] E. Chlebus. Innowacyjne metody inżynierskie w zintegrowanym rozwoju produktu i procesów wytwarzania. *Mechanik*, 76(1):5–11, 2003.
- [3] Januszka M., *Techniki poszerzonej rzeczywistości w procesie opracowania produktu*, *Mechanik* 2/2012, s. 153 (pełna wersja na CD-ROM)
- [4] Januszka M., Moczulski W., *Acquisition and Knowledge Representation in the Product Development Process with the Use of Augmented Reality*, J. Stjepandic et al.

- (eds.), Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment, Springer-Verlag London 2013, s. 315-326
- [5] Januszka M., Moczulski W., *Augmented reality system for aiding engineering design process of machinery systems*, JSSSE, 20 (3): 294-309, Springer, 2011.
- [6] Z. Weiss. Integracja procesu projektowania warunkiem szybkiego rozwoju wyrobu - metody i narzędzia. *Materiały konferencyjne Targów Technologii Przemysłowych i Dóbr Inwestycyjnych*, Poznań, 2004.
- [7] MOKA Project. MOKA User Guide - MOKA Modelling Language Core Definition. Raport instytutowy D1.3- Annex B. Dostępne online: http://web1.eng.coventry.ac.uk/moka/Documents/consortium/mig_def.pdf [dostęp: 15.11.2013], MML Working Group, 2000.
- [8] SUMI Background notes on the SUMI questionnaire: The use of questionnaire methods for usability assessment. Dostępne w Internecie: <http://sumi.ucc.ie/sumipapp.html> [dostęp 15.11.2012].