

Dariusz FILIPEK¹
Dariusz KALWASIŃSKI¹

WYBRANE ASPEKTY TWORZENIA OPROGRAMOWANIA INTERAKTYWNEJ APLIKACJI DO SZKOLENIA OPERATORÓW TOKAREK

W artykule przedstawiono wybrane istotne problemy, jakie wystąpiły podczas prac związanych z programowaniem aplikacji interaktywnej obsługi tokarki, którą to aplikację wykonano w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym. Jest ona częścią stanowiska do interaktywnej symulacji obsługi tokarki, jako narzędzie wzbogacające i uzupełniające proces szkolenia przyszłych operatorów tokarek konwencjonalnych, zwłaszcza w aspekcie bezpieczeństwa ich użytkowania. Jako narzędzie oparte na technice wirtualnej rzeczywistości umożliwia, w sposób bez urazowy, zapoznanie uczestników z podstawowymi zasadami użytkowania tego typu maszyn.

1. WPROWADZENIE

Praca przy obsłudze obrabiarek do skrawania metali może powodować szereg zagrożeń, głównie ze względu na możliwość kontaktu rąk operatora z ruchomymi elementami maszyn. Jak wynika z danych GUS w Polsce w 2012r miały miejsce 4423 wypadki zaistniałe podczas produkcji metalowych wyrobów gotowych z wyłączeniem maszyn i urządzeń. Duża część z nich, bo ok. 32 %, była związana z użytkowaniem tokarek. Głównymi przyczynami powodującymi powstawanie wypadków przy obsłudze obrabiarek jest nieprawidłowe i samowolne zachowanie się pracownika. Wśród przyczyn można wyróżnić: niedostateczną koncentrację i nieuwagę pracownika podczas wykonywania zadania, zaskoczenie pracownika niespodziewanym zdarzeniem, niewłaściwe operowanie kończynami przez operatora w strefie zagrożenia, lekceważenie zagrożenia przez pracownika oraz wykonywanie przez niego zadań (czynności) bez usunięcia zidentyfikowanego wcześniej zagrożenia. Ponadto do większości wypadków dochodzi przy maszynach użytkowanych przez operatorów niedoświadczonych, pracujących na stanowisku pracy nie dłużej niż 1 rok. Dlatego też dobrym rozwiązaniem jest wzbogacanie tradycyjnych form szkoleniowych operatorów obrabiarek o nowe technologie, umożliwiające zwiększanie ich wiedzy z zakresu przyczyn powstawania wypadków oraz

¹ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, E-mail: dakal@ciop.pl

umiejętności obsługi obrabiarek. Jednym ze sposobów rozwijających nowatorskie metody w tym zakresie jest wykorzystanie techniki rzeczywistości wirtualnej (VR), która umożliwia na osobiste uczestniczenie osobie szkolonej w procesie symulacji obsługi maszyny. Wykorzystanie w szkoleniu tej techniki nie zastąpi oczywiście szkoleń prowadzonych na rzeczywistych maszynach, ale umożliwi szybsze zdobycie wiedzy i umiejętności, szczególnie przez początkujących operatorów maszyn.

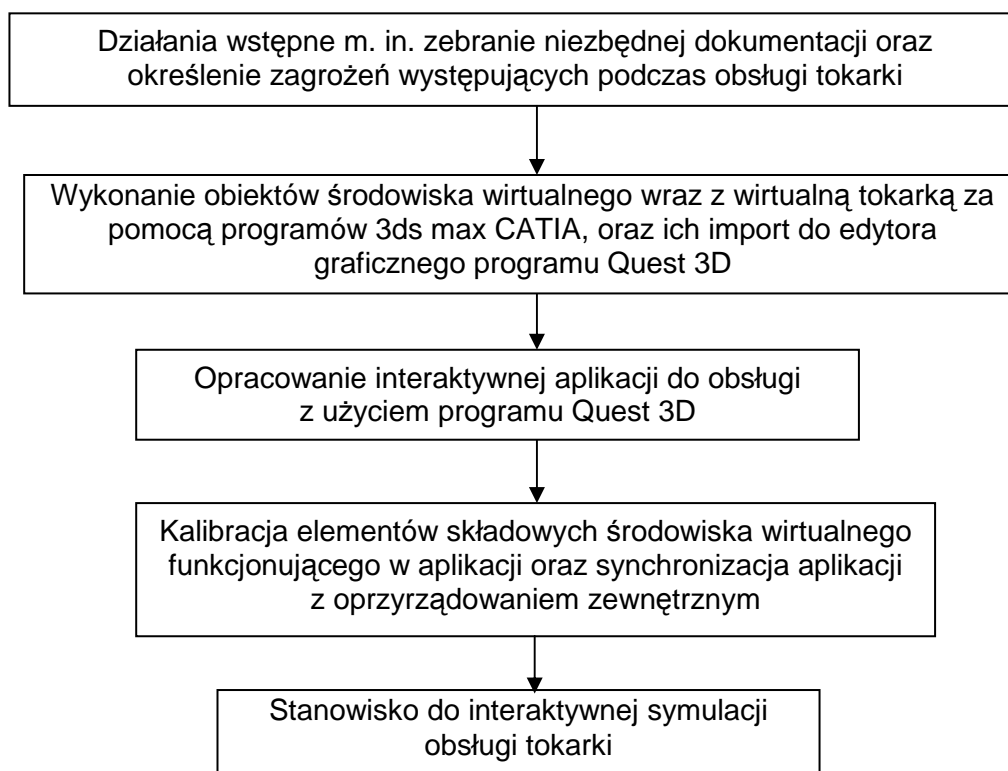
Rzeczywistość wirtualna wykorzystywana jest w szkoleniu operatorów takich maszyn jak: pilarka łańcuchowa [1], automat spawalniczy [2], maszyny górnicze [3] itp. Technika ta wykorzystywana jest również w szkoleniu maszynistów kolejowych [4], operatorów wózków jezdniowych podnośnikowych [5], pojazdów i maszyn budowlanych [6] oraz kierowców pojazdów samochodowych [7].

W artykule przedstawiono wybrane aspekty oprogramowania jakie zastosowano w CIOP-PIB (Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy), podczas tworzenia interaktywnej aplikacji do obsługi wirtualnej tokarki.

2. APLIKACJA DO OBSŁUGI TOKARKI

Aplikacja umożliwia symulację procesu toczenia długich elementów obejmującego pobranie elementu, mocowanie w uchwycie, dociśnięcie grotem konika oraz odłożenie do pojemnika. Proces ten został oparty o rzeczywiste działania wykonywane przez operatora podczas realizacji toczenia na tokarkach. Interaktywna aplikacja wykonana w technice VR jest jednym z elementów składowych stanowiska, na którym można prowadzić interaktywną symulację procesu użytkowania tokarki oraz występujących podczas niego wypadków. Stanowisko składa się z ww. aplikacji, oprzyrządowania zewnętrznego VR, umożliwiającego zanurzenie operatora w wirtualnym środowisku przy pomocy infohełmu i systemu śledzenia oraz manipulowania przedmiotami lub elementami w wirtualnym środowisku za pomocą awatarów dłoni, zsynchronizowanych z inforekawkicami wyposażonymi w sensory ruchu palców dłoni. Sposób postępowania przy tworzeniu stanowiska i elementów składowych aplikacji zaprezentowano na rys. 1.

Aplikacje do interaktywnej obsługi tokarki konwencjonalnej [8],[9] wykonano za pomocą edytora graficznego programu Quest 3D [10]. Program ten umożliwia tworzenie interaktywnych aplikacji 3D z poruszaniem się po wirtualnym środowisku w czasie rzeczywistym [11]. Jej struktura opiera się na budowie grafu, składającego się z połączonych ze sobą kanałów *Channels*, które są zarówno gotowymi oprogramowanymi bibliotekami funkcji, realizującymi konkretne zadania (np. kanały *Expression Value* umożliwiają opisywanie i wykonywanie funkcji matematycznych szerzej opisane w dalszej części artykułu), jak i zaimportowanymi obiektami składającymi się na całość środowiska wraz z aktywnymi elementami aplikacji np. ruchomymi dźwigniami tokarki. Kanały połączone są ze sobą w hierarchii dziecko – rodzic (*Parent - Children*). Kanały *Children* są zwykle używane jako kanały wprowadzające lub odbierające dane z kanałów *Parent*. W trakcie prowadzonej symulacji, silnik graficzny edytora wywołuje po kolei każdy kanał, przebiegając przez graf podczas każdej klatki renderowania.



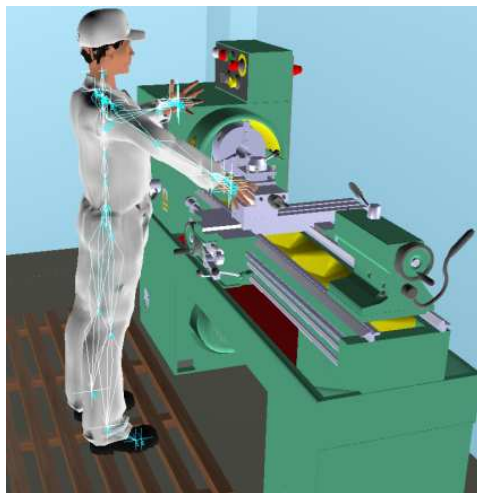
Rys. 1. Schemat przebiegu tworzenia stanowiska do interaktywnej symulacji obsługi tokarki
Fig. 1. Scheme presenting the process of creating a workstation for interactive simulation of Lathe operation

3. WYBRANE ASPEKTY TWORZENIA INTERAKTYWNEJ APLIKACJI

Budowę interaktywnej aplikacji rozpoczęto od połączenia kanałów *Project start* i *3D scene* (pierwszy z nich w celu wskazania aplikacji, z którego miejsca ma rozpocząć działanie, należało ustawić jako kanał startowy - *Set As start Channel*). Natomiast drugi z nich umożliwia podłączenie kanału *Render*, odpowiedzialnego ze rendering w czasie rzeczywistym oraz tzw. *ChannelCaller*, zwanych również kanałami rozszerzeń. Umożliwiają one po podłączeniu innych kanałów sterowanie obiektami np. przekładnią wektorów siły powodującej przesuwanie, obracanie obiektów, zmianę ich wielkości, barwy itp. Obiekty komputerowego środowiska zostały wykonane w programach takich, jak 3ds max [12], CATIA oraz Blender. Wykonane obiekty zostały zaimportowane do edytora graficznego, w którym wykonano komputerowe środowisko warsztatu mechanicznego. Przed importem obiektów do tego edytora zostały one przekonwertowane na format x, 3ds i Collada. Do konwertowania komputerowych obiektów posłużono się różnego rodzaju exporterami, pluginami lub programami do konwersji.

W zależności od specyfiki obiektu musi on być odpowiednio zaimportowany. Importowanie obiektów uzależnione jest od wielu czynników, między innymi od faktu, czy obiekt jest pierwszego czy drugiego planu lub czy obiekt jest animowany [13] np. uprzednio przygotowane postacie pracowników, wraz z kośćmi, imitujące wykonywane czynności

podczas obsługi maszyn (rys.2) [14]. Obiekty w zależności od zastosowania zostały odpowiednio umiejscowione w komputerowym środowisku oraz jeśli była taka potrzeba zostały oprogramowane [15].



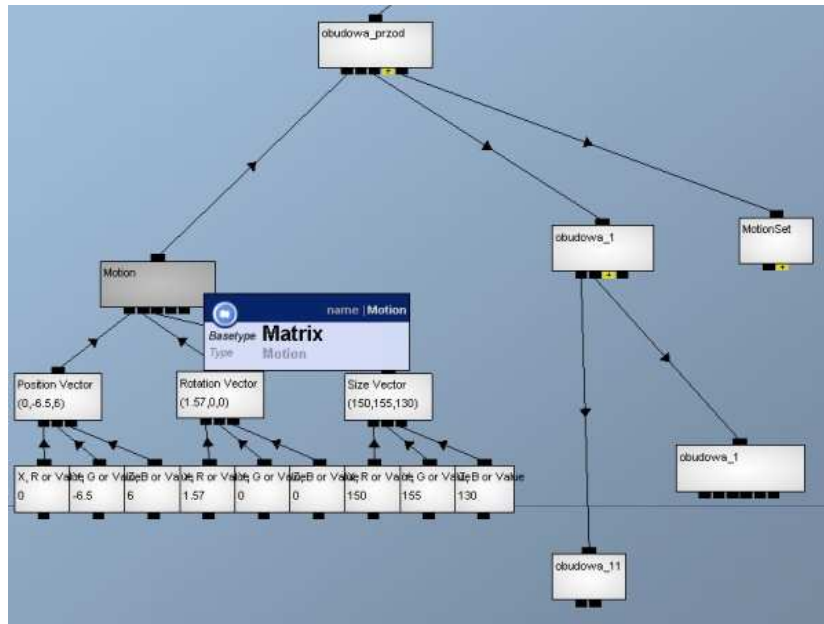
Rys. 2. Zaimportowana postać pracownika (wraz z kośćmi) imitującego wykonywanie czynności podczas obsługi tokarki

Fig. 2. Imported figure of a worker (including bones) imitating activities performed during Lathe operation

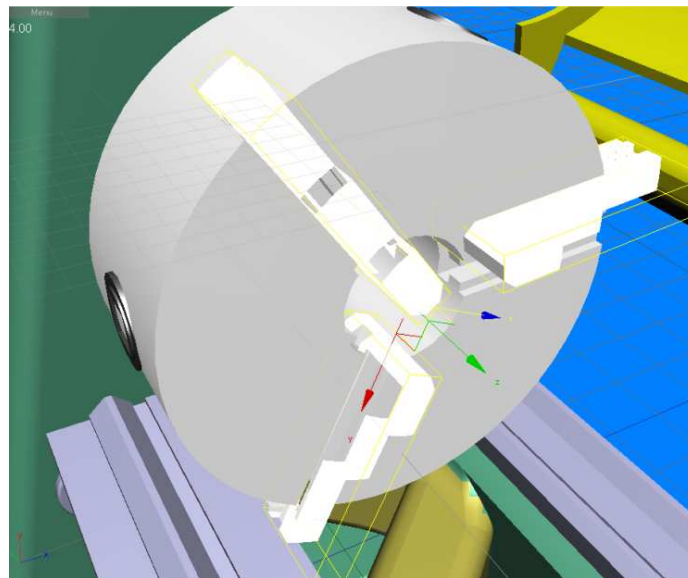
Strukturę grafu typowego obiektu zaimportowanego do środowiska przedstawiono na rys. 3. Najważniejszym elementem grafu jest *Channel 3D*, który najczęściej nosi nazwę wstawianego do środowiska obiektu. Kanał ten podłączony jest pod kanał *Render*, reprezentujący jego geometrię i nie podlegający edycji. Można pod niego podpinać inne kanały i edytując je zmieniać parametry funkcjonalne obiektu. Najważniejsze z nich to:

- macierz transformacji *Motion* - umożliwia podpinanie wektorów oraz w połączeniu z kanałami rozszerzeń sterowanie nimi,
- macierz przesunięcia (*offset Matrix*) - umożliwia dowolne ustalanie punktu centralnego obiektów 3D. Funkcja przydatna np. podczas ustawienia centrowania szczęk w uchwycie samocentrującym tokarki (rys. 4),
- kanały *Surface* odpowiadające za wygląd obiektu - umożliwiają dodawanie materiału do obiektu, zmianę jego tekstury, koloru, odcienia, połyskliwości, nasycenia itd.

Jedną z najważniejszych operacji podczas prac nad aplikacją do interaktywnej obsługi tokarki było określenie i nadanie wielkości fizycznych poszczególnym obiektom wirtualnego środowiska, biorącym udział w symulacji procesu toczenia. Celem tego działania było, aby obiekty w sposób kontrolowany zmieniały swoje położenie, oddziaływały na siebie, zmieniały barwę itp. czyli, aby następowała między nimi interakcja i można było nim sterować za pomocą elementów sterowniczych [16], co umożliwiło interaktywną obsługę aplikacji. Większość prac związanych z określaniem i nadawaniem wielkości fizycznych obiektom biorącym udział w symulacji procesu toczenia realizowana jest poprzez tzw. kanały rozszerzeń.



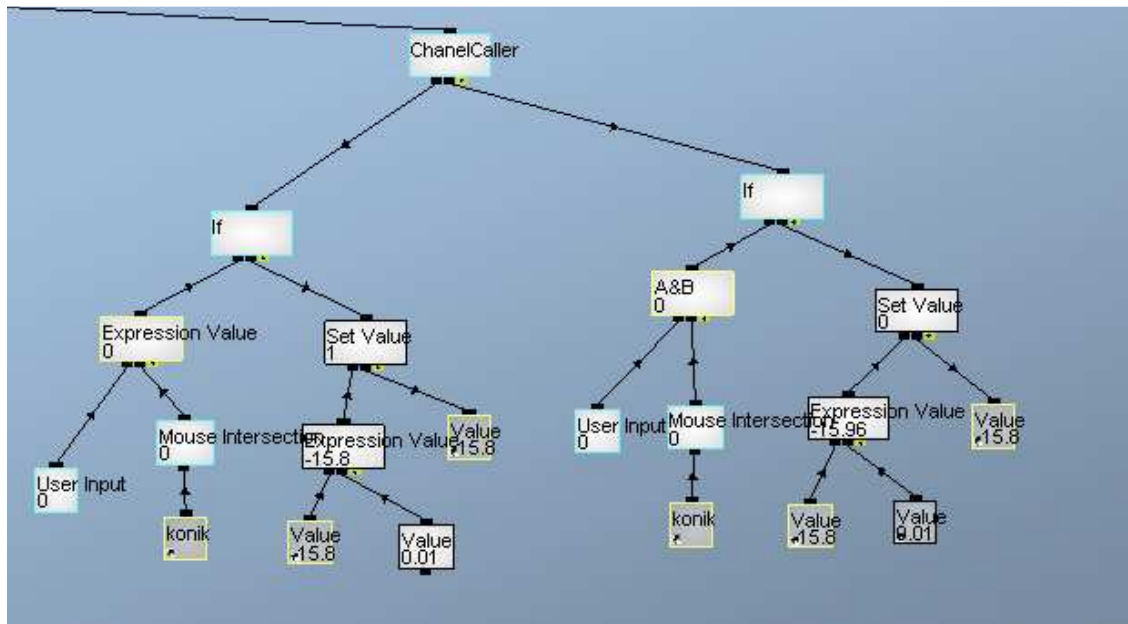
Rys. 3. Fragment grafu przedstawiający przykładową strukturę obiektu 3D
 Fig. 3. Fragment of a graph presenting a sample structure of 3D object



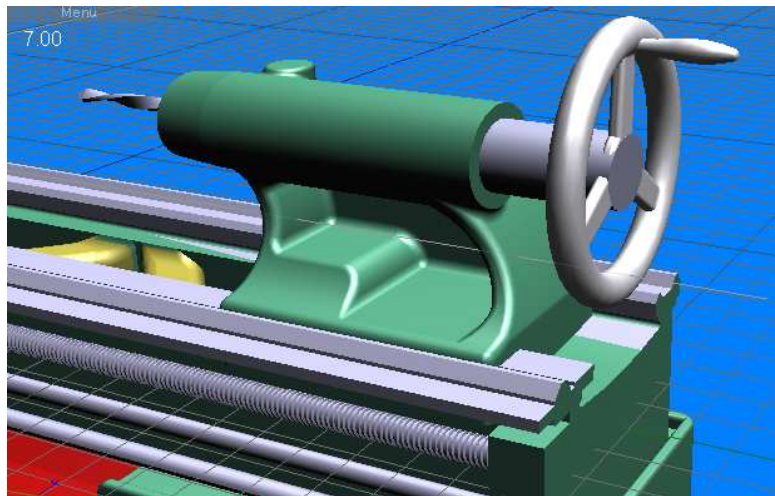
Rys. 4. Przykład zastosowania macierzy przesunięcia (offset Matrix)
 Fig. 4. An example of application of the offset Matrix

Przykładowe zastosowanie kanału rozszerzeń pokazane jest na rysunkach 5 i 6. Przedstawiają one struktury grafu zastosowane do sterowania ruchami konkretnych obiektów przesuwu konika tokarki oraz obrotami imaka nożowego. Jak widać w obu przypadkach początek grafu zaczyna się od kanału *ChannelCaller*, jednak on sam, jako taki nie spełnia żadnej roli, a służy bardziej do porządkowania grafu i jedynie przekazuje połączenia do konkretnych kanałów pełniących określone funkcje w grafie.

a)



b)

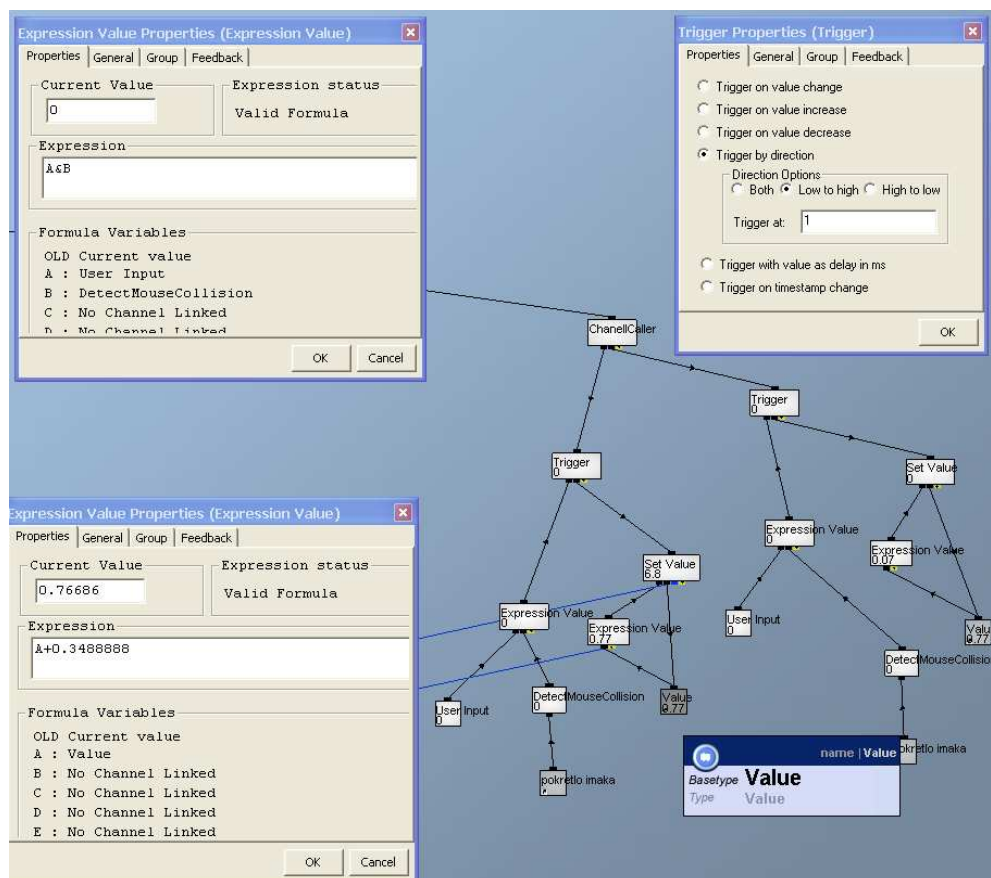


Rys. 5. Zastosowanie kanału rozszerzeń do sterowania obiektem – przesuwu konika tokarki:
 a) fragment struktury grafu umożliwiającego przemieszczanie obiektu konik, b) obiekt 3D konik tokarki
 Fig. 5. Use of the ChannelCaller for the object control – move of tailstock: Fragment of a graph structure
 enabling to move tailstock b) 3D object - tailstock

Jak widać na podstawie grafu (rys. 5), kanał *ChanelCaller* łączy się bezpośrednio z kanałami *if*, które znajdują się na samej górze logiki naszego grafu, służącej do przemieszczania obiektu konik. Kanał *if* realizuje instrukcję warunkową. Jego działanie zostanie zainicjalizowane jeśli na jego wejściu pojawi się wartość 1. Podłączone są do niego dwa kanały – dzieci. Pierwszy *Expression Value*, za pomocą którego można wykonywać operacje matematyczne. W naszym przypadku jest ustawiona operacje koniunkcji dwóch

wartości. Pierwsza wartość uzyskiwana jest z kanału *User Input*, za pomocą którego można ustawić, w jaki sposób obiekty aplikacji mają wchodzić w interakcje z użytkownikiem. Druga wartość pochodzi od kanału *DetectMouseCollision*, pod która podłączony jest skrót do obiektu konik. Kanał *if* niejako wyzwała działanie kanału *Set Value*, który odpowiada za ustawienie aktualnej wartości pozycji obiektu konik. Wartość ta uzyskana jest z *Expression Value*, ustawionego na działanie operacji sumowania dwóch wartości. Jedną z nich jest wartością pozycji obiektu konik, druga zaś to stała wartość 0,01, która jest jednocześnie prędkością przesuwania obiektu. *Set Value* podaje wartość pozycji, która jest jednocześnie podawana względem osi na obiekt i na kanał *Expression Value*, w którym następuje jej zwiększenie o wartość 0,01. W ten sposób odbywa się jego przemieszczanie obiektu konik wzdłuż łoża tokarki.

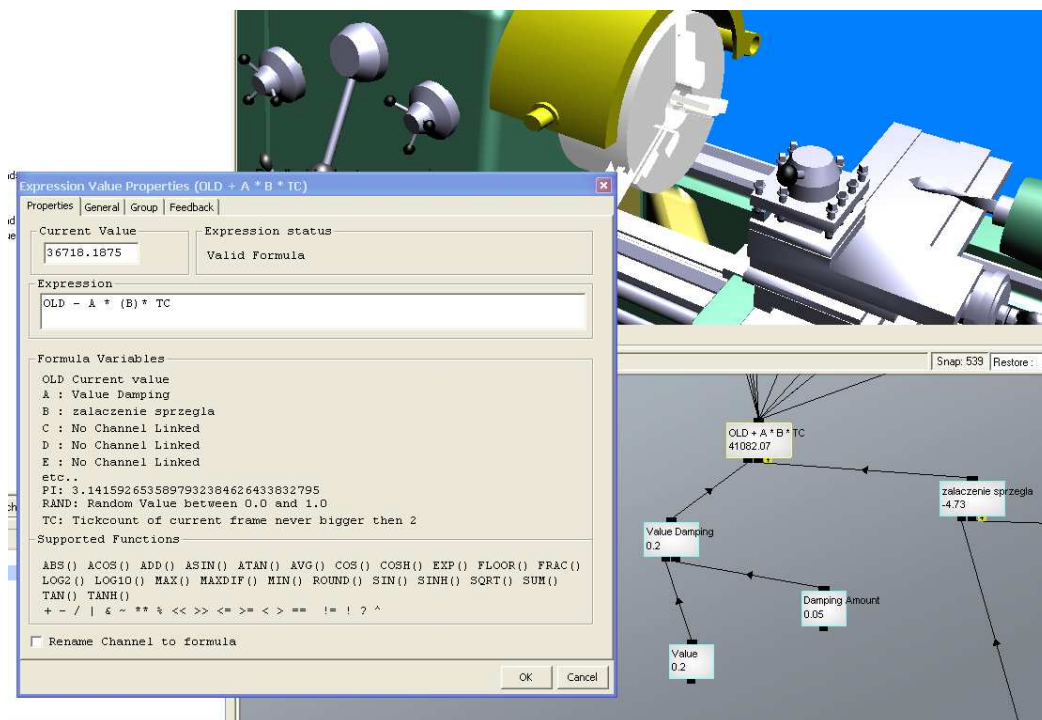
W przypadku obrotów imaka nożowego logika grafu przedstawia się nieco inaczej (rys. 6). Jak widać *Channel Caller* łączy się bezpośrednio z kanałem *Trigger*, który pełni rolę wyzwalacza. Powoduje on wywołanie innych funkcji kanałów po spełnieniu konkretnych warunków, w zależności od ustawienia. Może to nastąpić np. w skutek zmiany wartości, jej wzrostu itp. W naszym przypadku *Trigger* zadziała wtedy, gdy podamy mu wartość 1 bezpośrednio z kanału *Expression Value*. Podobnie jak w poprzednim przypadku *Expression Value* ustawiony jest na działanie operacji koniunkcji dwóch wartości.



Rys. 6. Zastosowanie kanału rozszerzeń do sterowania obiektem – obrotami imaka nożowego
Fig. 6. Use of Channel Caller to control the object – rotations of the turret tool post

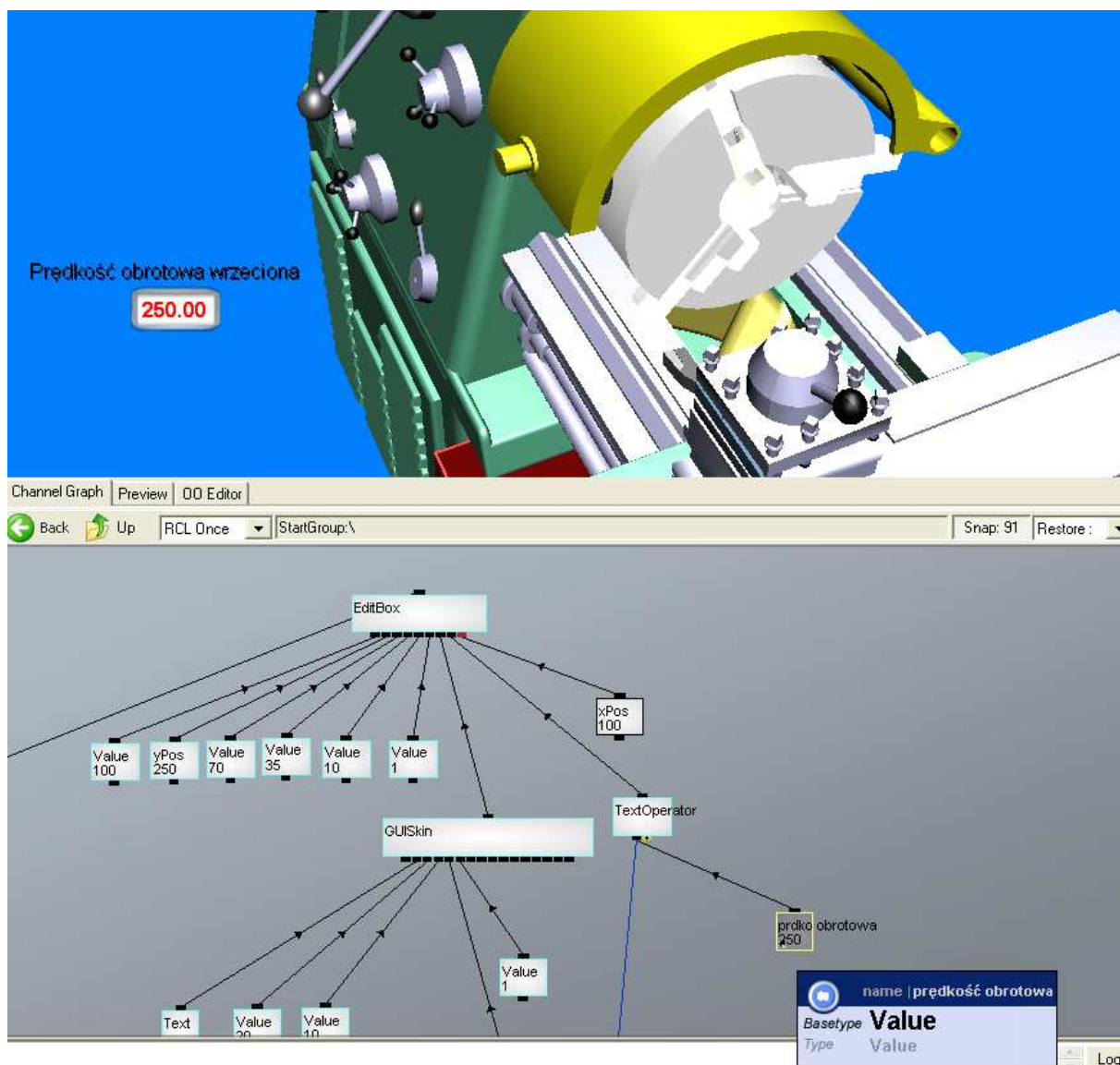
Pierwsza wartość uzyskiwana jest z kanału *User Input*, a druga pochodzi od kanału *DetectMouseCollision*, pod który podłączony jest skrót do obiektu pokrętło imaka. Kanał *Trigger* niejako uruchamia obrót imaka nożowego o kąt 90 stopni. Sumowanie wartości obrotu dokonywane jest za pomocą kanałów *Expression Value*, *Set Value* oraz *Value*, które działają w pętli. Z kanału *Value* na *Expression Value* podawana jest wartość, która następnie jest obniżana lub podwyższana. Następnie z wyjścia *Expression Value* podawana jest na kanał *Set Value*, który ustawia ją na kanale *Value*, będącym jednocześnie skrótem do wartości wektora obrotu imaka nożowego.

Kanał *Expression Value* jest jednym z ważniejszych przy budowaniu logiki podczas opracowania tego typu aplikacji i służy najczęściej do opisanego różnego rodzaju ruchów obiektów. Można do tego celu wykorzystywać równania algebraiczne logiczne, używać funkcji trygonometrycznych itp. Jednym z najważniejszych zastosowań *Expression Value*, podczas prac nad aplikacją do szkolenia operatorów tokarek, było wykorzystanie go do opisu ruchu wrzeciona. Równanie opisu tego ruchu prezentuje rys. 7. Ważnym elementem podnoszącym realizm działania aplikacji było uwzględnienie momentu bezwładności podczas zatrzymania ruchu uchwytu tokarskiego. Odpowiada za to parametr „OLD”, którego zadaniem jest przechowywanie starej wartości naszej zmiennej, w tym przypadku prędkości obrotowej wrzeciona. Ponadto składnikami wzoru są prędkość obrotowa wrzeciona, załączenie sprzęgła (wartości 0 – wyłączone lub 1 – włączone) oraz współczynnik TC, czyli liczba cykli zegara (parametr związany z prędkością pracy aplikacji na danym komputerze). Dzięki niemu nie ma charakterystycznych Lagów (spowolnień) podczas obrotów uchwytu tokarskiego. Natomiast aktualna prędkość obrotowa wyświetlana jest w polu *Current Value*.



Rys. 7. Wykorzystanie kanału Expression Value do sterowania obrotami wrzeciona tokarki
Fig. 7. Use of Expression Value channel to control the rotations of the Lathe spindle

W celu umożliwienia lepszej interakcji użytkownika z budowaną aplikacją możliwe jest zastosowanie tzw. Graficznego Interfejsu Użytkownika (*Graphic User Interface, GUI*). Najważniejszym elementem GUI jest okno programu, czyli wydzielony obszar ekranu, na którym prezentowane są najczęściej, jako obraz 2D, konkretne parametry pracy elementów samej aplikacji. Przykład zastosowania GUI w celu wyświetlania prędkości obrotowej wrzeciona przedstawia rys. 8. W tym wypadku graficzny interfejs ustawiony jest jako okno edycyjne (*EditBox*). Możliwa jest zmiana jego parametrów: wielkości położenia, wyglądu, barwy, tekstury itp. Sama wartość prędkości obrotowej wyświetlana jest za pomocą kanału *TextOperator*, do którego podłączony jest skrót *Value* – prędkość obrotowa.



Rys. 8. Zastosowanie graficznego interfejsu użytkownika w celu prezentacji wartości prędkości obrotowej wrzeciona tokarki

Fig. 8. Use of Graphic User Interface (GUI) for the presentation of rotational speed values of the lathe spindle

4. PODSUMOWANIE

Prace nad narzędziem do interaktywnej obsługi tokarki obejmowały szereg działań, począwszy od zamodelowania środowiska poprzez oprogramowanie obiektów do stworzenia interakcji człowiek – aplikacja. Niniejszy artykuł opisuje niektóre istotne problemy powstałe podczas prac nad tą aplikacją, szczególnie w aspekcie praw fizyki, poprzez łączenie ze sobą bloków funkcjonalnych *Channels*, spełniających odpowiednie funkcje podczas działania aplikacji. Podane przykłady budowy logiki grafu są charakterystycznymi przykładami podczas budowy tego typu aplikacji i mogą być pomocne dla inżynierów bądź konstruktorów, którzy stawiają pierwsze kroki w procesie tworzenia symulatorów maszyn, jak również dla tych, którzy posiadają już w tej dziedzinie pewne doświadczenie.

LITERATURA

- [1] A mixed reality chainsaw simulation, 2006, http://i.document.m05.de/?page_id=282
- [2] CHAMBERS T.L., AGLAWE A., REINERS D., WHITE S., BORST CH.W., BAJPAYEE A., 2010, *Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system*, SI: Manufacturing and Construction, Springer-Verlag, London.
- [3] Immersive Technologies, 2010, *Immersive Technologies Releases Next Generation Advanced Equipment Simulators for both Surface and Underground Mining*.
http://www.immersivetechnologies.com/news/news2010/news_2010_07.htm
- [4] ETC-PZL Aerospace Industries, http://www.ai.com.pl/pl/produkty/ep09_sym.html
- [5] SAULEWICZ A., KALWASIŃSKI D., MYRCHA K., 2008, *Wykorzystanie symulacji wykonanej w technice VR do szkoleń operatorów w zakresie identyfikacji zagrożeń wypadkowych w transporcie wewnątrzzakładowym*, V Ogólnopolska Konferencja, Modelowanie i Symulacja, MiS-5, w Kościelisku, 23-27 czerwca, 265-267.
- [6] Immersive Technologies, 2010, *New PRO3 Simulator and Caterpillar 793F the perfect match in Tucson*, http://www.immersivetechnologies.com/news/news2010/news__08.htm
- [7] Instytut Transportu Samochodowego (ITS), 2010, *W instytucie na symulatorze*, <http://www.log24.pl/artykuly/w-instytucie-na-symulatorze>
- [8] Poradnik warsztatowca mechanika, 1989, WNT, Warszawa.
- [9] DUDIK K., 1960, *Poradnik Tokarza*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne Warszawa.
- [10] Quest 3D ver.3 tutorial manual.
- [11] KALWASIŃSKI D., SAULEWICZ A., MYRCHA K., 2010, *Development of a virtual environment to implement a computer-based tool for interactive simulation of lathe operation*, Published in the conference proceedings, New World Situation, New Directions in Concurrent Engineering, ISBN 978-0-85729-024-3, DOI 10.1007/978-0-85729-024-3, Springer – Verlag London Limited, 87-95.
- [12] Autodesk 3D Studio Max. Reference Manual.
- [13] KALWASIŃSKI D., FILIPEK D., 2011, *Multimedialne wizualizacje zagrożeń mechanicznych związanych z użytkowaniem maszyn w przemyśle metalowym*, Bezpieczeństwo Pracy, 11, 14-17.
- [14] FILIPEK D., 2012, *Zastosowanie komputerowego środowiska na potrzeby tworzenia materiałów szkoleniowych z zakresu bezpieczeństwa pracy wybranych maszyn stacjonarnych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Mechanika, 84/3, 5 – 13.
- [15] KALWASIŃSKI D., MYRCHA K., 2010, *Środowisko wirtualne dla potrzeb interaktywnej symulacji obsługi tokarki*, Mechanik, 7, 187-194.
- [16] KALWASIŃSKI D., 2011, *Symulacja sytuacji wypadkowych w procesie pracy z wykorzystaniem techniki VR*, Mechanik, 7.

SELECTED ASPECTS OF PROGRAMMING AN INTERACTIVE APPLICATION FOR TRAINING
OF LATHES OPERATORS

The paper presents selected essential problems which appeared in the course of the works related with the programming of the interactive Lathe operation application. The application was developed in Central Institute for Labour Protection – National Research Institute (CIOP- PIB). This application is a part of a workstation for the interactive simulation of Lathe operation as a tool which enriches and supplements the training process for the future Lathe operators. Especially, in the area of safe use because as a tool based on virtual reality technique it enables to acquaint the learners with the basic principles of its use without the risk of injury.