

Planowanie wirtualnych ścieżek ruchu systemu motion control

Robert Muszyński*, Szymon Gospodarek†
Laboratorium Robotyki
Wydział Elektroniki
Politechnika Wrocławska‡

20 maja 2014

1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie ze sposobami realizacji produkcji filmowych z wykorzystaniem manipulatora robotycznego typu „motion control”.

2 Wprowadzenie

Motion control to sterowany komputerowo robot pozwalający na wykonanie niezwykle precyzyjnych i powtarzalnych ruchów kamery filmowej. Po zaprogramowaniu ruchu, urządzenie to może powtarzać go z ogromną precyzją, dowolną liczbę razy. Takie rozwiązanie ułatwia tworzenie obrazu efektów specjalnych, który powstaje w wyniku nałożenia na siebie oddzielnie rejestrowanych sekwencji filmowych. Dodatkowo, sekwencje te mogą być uzupełniane obrazami wygenerowanymi komputerowo. Co więcej, odpowiednie zaprogramowanie systemu pozwala na uzyskanie efektu, w którym rejestrowane obiekty będą znajdowały się w różnych (odległych) miejscach finalnego obrazu, a kamera będzie sprawiała wrażenie, jakby pomiędzy tymi miejscami się w sposób ciągły przemieszczała. Dzięki temu można wywołać wrażenie ruchu kamery po ścieżkach, po których w rzeczywistości się ona nie przemieszczała, nazywanych tutaj ścieżkami wirtualnymi. Taki podejście jest niespotykanym wcześniej spojrzeniem na zagadnienie prowadzenia rejestrującej obraz kamery, które stanowi element składowy bardziej ogólnej koncepcji nowatorskiego systemu tworzenia efektów specjalnych, którego autorem jest polski reżyser, laureat Oscara, Zbigniew Rybczyński.

Znajdujący się we wrocławskim Centrum Technologii Audiowizualnych system produkcji efektów specjalnych (rysunek 1) złożony jest z systemu motion control oraz systemu komponowania planów filmowych i planowania ruchu kamery. W skład systemu motion control wchodzi ramię manipulatora z głowicą, dysponujące w sumie 5. stopniami swobody, obrotowa scena o 1. stopniu swobody (rysunek 2) oraz system automatyki rejestracji

*Katedra Cybernetyki i Robotyki, Politechnika Wrocławska

†Wrocławskie Centrum Technologii Audiowizualnych CeTA

‡Ćwiczenie jest realizowane we wrocławskim Centrum Technologii Audiowizualnych CeTA.

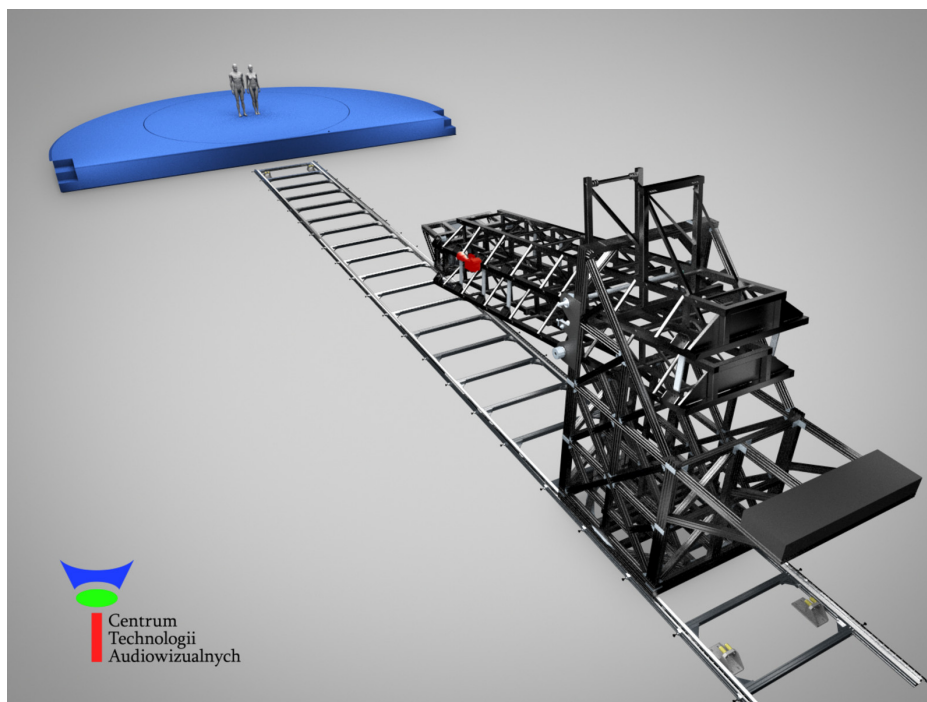


Rysunek 1: Widok ogólny studia i reżyserki wrocławskiego Centrum Technologii Audio-wizualnych [1]

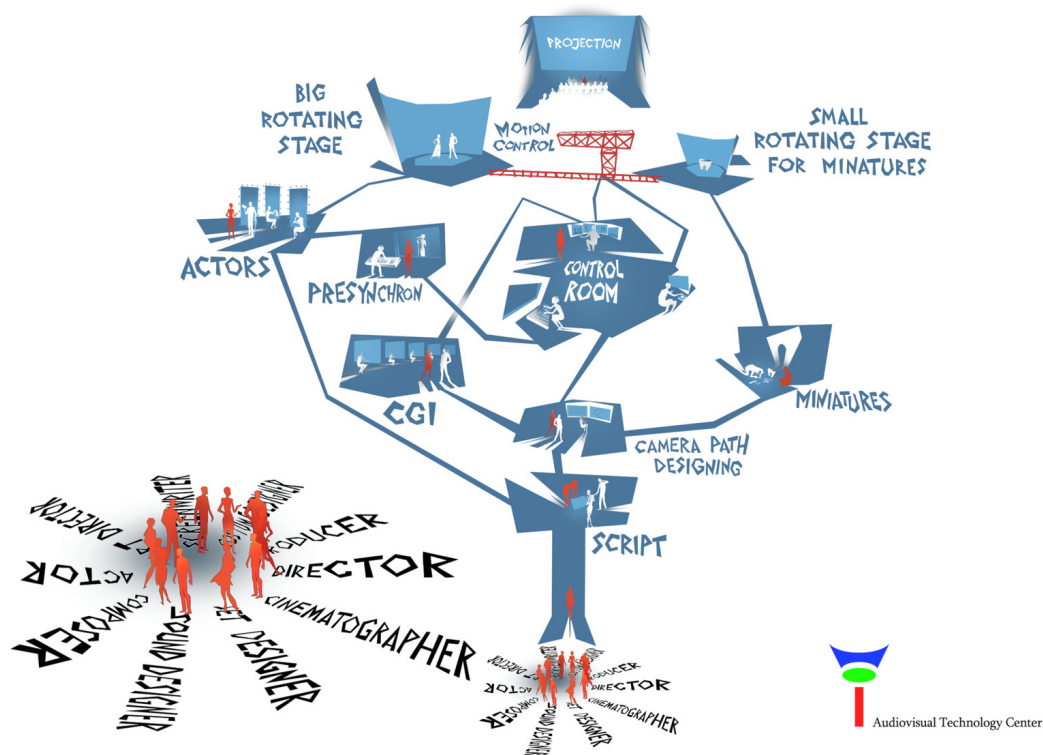
ujęcia (indekser, niskopoziomowe sterowniki silników), pozwalający na odtwarzanie zaprogramowanych trajektorii. Ponadto, system sterowania umożliwi kontrolowanie dwóch dodatkowych silników regulujących ostrość i zoom kamery. Towarzyszący systemowi motion control system komputerowy wraz z oprogramowaniem pozwala na komponowanie planów filmowych, w których będzie przemieszczała się kamera, wyznaczanie w nich sekwencji filmowych, które zostaną zarejestrowane, wytyczanie dla nich ścieżek ruchu kamery, oraz wyliczanie na podstawie wytyczonych ścieżek trajektorii ruchu systemu motion control.

2.1 Etapy realizacji produkcji filmowych

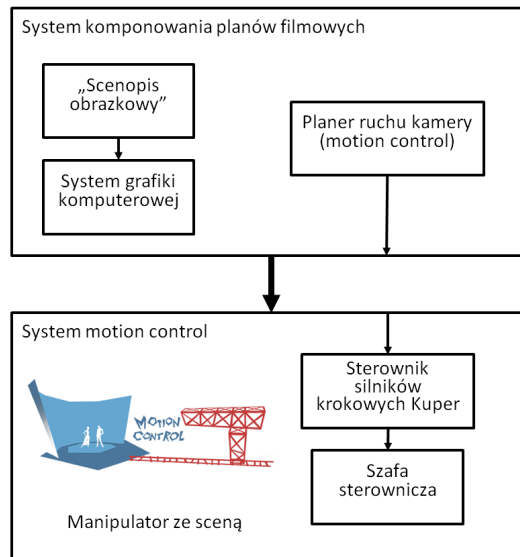
Proces produkcji filmowej (rysunek 3) obejmuje kilka etapów, począwszy od pomysłu, aż do kompletnie przygotowany, gotowy do projekcji film. Scenariusz jest pierwszym przygotowywanym elementem: opisuje pomysł, określa realia, definiuje rozwój akcji. Zawiera również informacje techniczne dotyczące scenerii jak i liczby aktorów. Często rozszerzony jest on o tzw. scenopis obrazkowy, który w formie szkiców określa wygląd scen. Na-



Rysunek 2: Manipulator z obrotową sceną w systemie motion control [2]



Rysunek 3: Etapy produkcji filmowej [2]



Rysunek 4: Schemat funkcjonalny systemu produkcji efektów specjalnych [2]

stępnie, wszelkie informacje wędrują do aktorów, tak aby wcześniej mogli zapoznać się ze swoją rolą, oraz do zespołu zajmującego się komponowaniem planu filmowego, który przede wszystkim określa w jaki sposób całość zostanie zarejestrowana: które elementy będą rejestrowane w świecie rzeczywistym za pomocą kamer, a które zostaną przygotowane w świecie wirtualnym, jakie będą plany filmowe, jak w nich będzie poruszała się kamera. Na tym etapie rozdziela się pracę dla grupy grafików oraz modelarzy — elementy scen są przygotowywane w formie rzeczywistych lub komputerowych obiektów. Jednocześnie powstaje dźwięk, a aktorzy przygotowują się odegrania swoich ról. Kiedy wszystko jest gotowe można przystąpić do nagrywania poszczególnych ujęć, stanowiących warstwy docelowego obrazu, których połączenie kończy etap realizacji filmu. Warto dodać, że w najprostszym przypadku, w procesie łączenia ujęć mogą one zostać zmontowane w sekwencję następujących po sobie scen, jednakże w celu uzyskania efektów specjalnych będzie konieczne ich zmontowanie w taki sposób, by się na siebie nakładały, tym samym stając się poszczególnymi warstwami ujęcia. Tak przygotowany materiał jest gotowy do projekcji.

3 Opis stanowiska

Schemat funkcjonalny systemu produkcji efektów specjalnych pokazany jest na rysunku 4. Elementem nadrzędnym jest system komponowania planów filmowych, który pozwala na przygotowanie ruchu kamery w filmowanym otoczeniu. Zaprojektowane w systemie komponowania planów filmowych trajektorie ruchu kamery są odtwarzane przez system motion control. Takie rozwiązanie pozwala na wielokrotne realizowanie takich samych, synchronicznych trajektorii systemu z równoczesną rejestracją obrazu.

W systemie motion control można wyróżnić: manipulator z obrotową sceną, czyli mechaniczny układ wykonawczy zadanej trajektorii z efektem–kamerą, indeks generujący sygnały sterujące dla silników napędowych i synchronizujący ich pracę z pracą systemu wideo, oraz szafę sterowniczą, której zadaniem jest odpowiednie sterowanie silnikami oraz nadzór nad poprawnością wykonywanego ruchu. Dwa ostatnie elementy systemu tworzą

w sumie system automatyki rejestracji ujęcia, którego rolą jest nadzorowanie procesu zapisu materiału wideo wraz z odtwarzaniem pożądanego trajektorii ruchu kamery.

3.1 System komponowania planów filmowych

Komponowanie planu filmowego jest etapem, w którym podejmuje się decyzję o ostatecznym wyglądzie sceny. Począwszy od ustalenia, które elementy obrazu powstają komputerowo, a które są obiektami rzeczywistymi i w jakiej skali są filmowane, po ich (poszczególnych obiektów, aktorów) usytuowanie na planie, uwzględniające wzajemne możliwe interakcje czy też kolizje. Tak przygotowana scena jest bazą do zaprojektowania ruchu kamery. Ostatecznie ustalona zostaje kolejność filmowanych elementów — warstw, w taki sposób, aby w miarę możliwości dalszy plan nie nakładał się na plan bliższy.

3.1.1 Planowanie trajektorii ruchu

Ruch kamery w obrębie sceny może być uzyskiwany na wiele sposobów, gdyż widz jest tylko wirtualnie powiązany z kamerą. Wirtualnie, ponieważ widzi to, co znajduje się w obiektywie, ale nie bierze udziału w ruchu kamery. Inaczej mówiąc, ruch jest względny, a widz, który analizuje tylko obraz, może w łatwy sposób zostać oszukany.

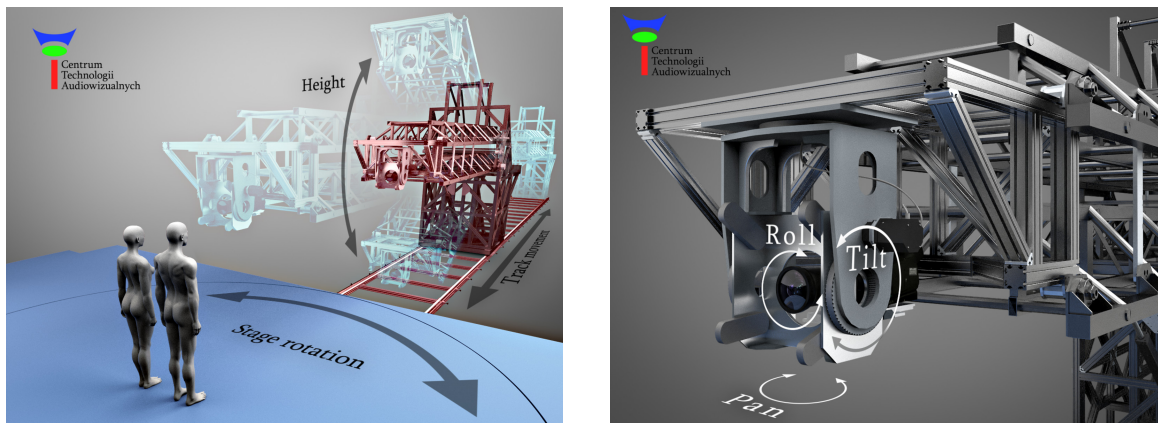
Planowanie trajektorii ruchu odbywa się przy pomocy przygotowanego programu komputerowego. Na tym etapie zakres ruchu kamery nie jest w żaden sposób determinowany mechaniką robota znajdującego się w studiu — planowanie jest realizowane w symulowanym komputerowo, wirtualnym modelu statycznej sceny i kamery, która może poruszać się w niej w zasadzie w sposób dowolny. Dzięki temu obraz będący efektem ruchu jest łatwy do przewidzenia i może odzwierciedlać potrzeby jego twórców. Warto tu zauważyć, że przy rejestracji obrazu możliwy jest dobór skali w taki sposób, aby filmować miniatury, które w obrazie końcowym będą widziane jako elementy w innej skali np. odpowiadającej wielkości rzeczywistych obiektów. Dopiero kiedy trajektoria ruchu kamery jest już zaprojektowana następuje odpowiednia jej transformacja i dostosowanie do warunków w studiu tak, aby efekt końcowy był identyczny z symulowanym komputerowo. Tak otrzymana trajektoria stanowi podstawę do zaplanowania ruchu manipulatora motion control (wraz z obrotową sceną) tak, by w efekcie końcowym widz miał wrażenie, że rzeczywista kamera porusza się tak, jak to było zaprojektowane w modelu statycznej sceny.

3.2 System motion control

3.2.1 Manipulator z obrotową sceną

Konstrukcja manipulatora wraz z obrotową sceną jest układem mechanicznym, który posiada 5 stopni swobody, zobrazowanych na rysunku 5. Kolejno są to: ruch obrotowy sceny (Stage), poziomy ruch liniowy korpusu manipulatora wzdłuż toru — zmiana odległości kamery od centrum sceny (Track), pionowy ruch ramienia manipulatora — zmiana wysokości kamery względem powierzchni sceny (Height), oraz trzy obroty zmieniające orientację kamery: Pan — obrót kamery wokół osi pionowej, Tilt — obrót kamery wokół osi poziomej, prostopadłej do osi optycznej obiektywu kamery, oraz Roll — obrót wokół osi optycznej obiektywu.

Traktowanie ruchu obrotowego sceny jako pierwszego stopnia swobody pozwala na wirtualne uzyskanie dowolnego położenie kamery względem sceny (co na pierwszy rzut oka, na podstawie analizy mechaniki manipulatora może wydawać się niemożliwe). Dzieje się tak, gdyż po zarejestrowaniu obrazu na jego podstawie nie można określić, czy to kamera



Rysunek 5: Stopnie swobody manipulatora z obrotową sceną w systemie motion control [2]

Tabela 1: Parametry Denavita-Hartenberga manipulatora motion control

ogniwo	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	$-q_1 + \frac{\pi}{2}$	0	0	$\frac{\pi}{2}$
2	$\frac{\pi}{2}$	$q_2 + q_{20}$	a_2	$\frac{\pi}{2}$
3	$q_3 - \frac{\pi}{2}$	0	a_3	$\frac{\pi}{2}$
4	q_4	0	0	$\frac{\pi}{2}$
5	$q_5 - \frac{\pi}{2}$	0	0	$\frac{\pi}{2}$
6	q_6	0	0	π

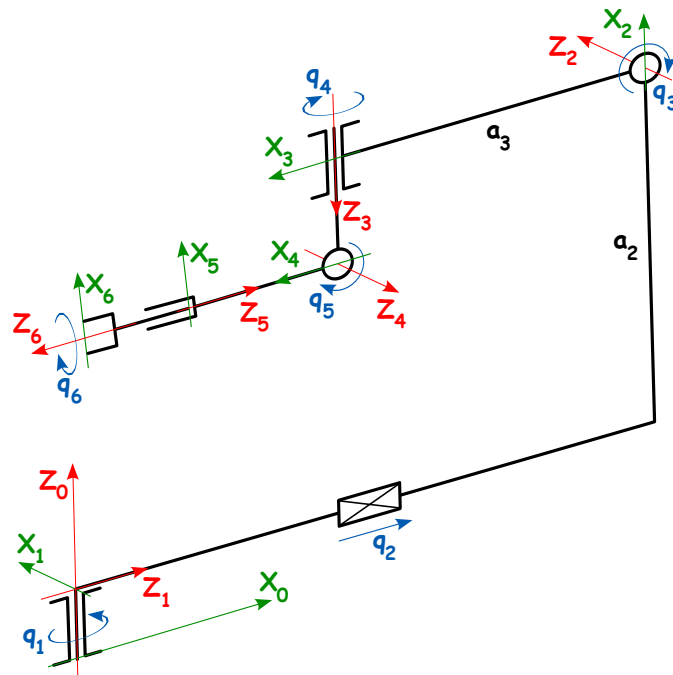
obracała się dookoła sceny, czy też obracała się sama scena. Uzupełniając zarejestrowany obraz odpowiednim ruchem tła można sprawić, iż widz będzie odbierał ten sam ruch kamery na różne sposoby.

Schemat kinematyczny manipulatora operującego kamerą, wraz z obrotową sceną, przedstawiono na rysunku 6. Należy zauważyć, że bazowy układ współrzędnych jest związany z obrotową sceną, co powoduje, że z jego punktu widzenia to cały manipulator obraca się wokół osi obrotu sceny. Parametry Denavita-Hartenberga manipulatora zostały zebrane w tabeli 1, gdzie dla analizowanego manipulatora, poza ogniwo drugim, θ_i oznacza i -tą współrzędną przegubową, zaś d_i , a_i oraz α_i są parametrami konstrukcyjnymi manipulatora i charakteryzują jego geometrię. Dla ogniwa drugiego współrzędną przegubową jest przesunięcie d_2 , a pozostałe parametry ogniwa są parametrami konstrukcyjnymi*. Rzeczywiste wartości podanych w tabeli parametrów wynoszą $a_2 = 1828[mm]$, $a_3 = 4910[mm]$, $q_{20} = 9807[mm]$. Zakres ruchu poszczególnych przegubów zebrano w tabeli 2.

3.2.2 System automatyki rejestracji ujęcia

W systemie automatyki rejestracji ujęcia można wyróżnić dwa podstawowe komponenty: indeksor oraz niskopoziomowe sterowniki silników napędowych. W omawianym rozwiązaniu użyto indeksor Kuper RTMC48 firmy Kuper Controls, który jest niczym innym jak komputerem wyposażonym w kartę wejść/wyjść cyfrowych z dodatkowym zewnętrznym panelem operatorskim oraz linią obsługującą time code — protokół synchronizacyjny urządzeń nagrywających. Indeksor ten na podstawie wczytywanych do niego trajektorii

*De facto, składowa q_{20} przesunięcia d_2 jest również parametrem manipulatora, który definiuje położenie zerowe drugiego przegubu.



Rysunek 6: Szkielet manipulatora motion control z obrotową sceną w konfiguracji $q_i = 0$, $i = 1, \dots, 6$, z przypisanymi układami współrzędnych

Tabela 2: Zakres ruchu przegubów manipulatora motion control

ogniwo	$q_i \min$	$q_i \max$
1	$-\infty$	∞
2	$-6097[\text{mm}]$	$11712[\text{mm}]$
3	$-\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{6}$
4	$-\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$
5	$-\frac{4\pi}{9}$	$\frac{4\pi}{9}$
6	$-\pi$	π

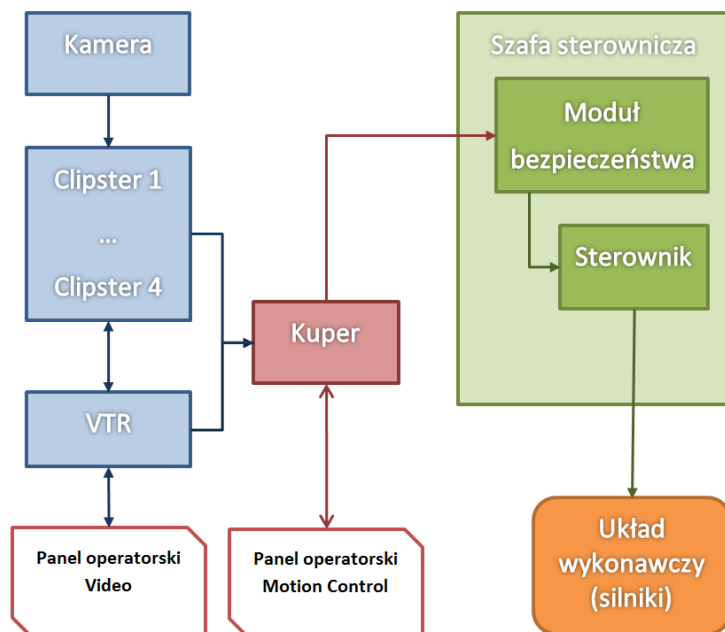
ruchu generuje sygnały sterujące typu step/dir, przeznaczone do sterowania silników krokowych. Sygnały te trafiają do szafy sterowniczej, gdzie podawane są na wejścia sterowników silników krokowych (napędzających osie Pan, Tilt i Roll) oraz wejścia odpowiednio zaprojektowanych sterowników serwonapędów (osie Track, Stage, Height, Focus, Zoom[†]). W trakcie pracy indeksier realizuje funkcję odtwarzania wczytanej trajektorii (bez sprzężenia zwrotnego) w sposób zsynchronizowany z time codem.

Pracę poszczególnych silników i sterowników dodatkowo nadzoruje system bezpieczeństwa. System ten potrafi zatrzymać robota w momencie wystąpienia sytuacji awaryjnej, takiej jak zbyt duże przyspieszenie robota, błąd komunikacji, naciśnięcie przycisku stopu awaryjnego.

3.3 System wielowarstwowej rejestracji materiału wideo

W skład systemu rejestracji materiału wideo (zobacz rysunek 7) wchodzi kamera wideo,

[†]Dwie ostatnie osie, Focus i Zoom, pozwalają na zadawanie w trakcie ruchu trajektorii zmian ustawień kamery: ostrości oraz długości ogniskowej obiektywu.

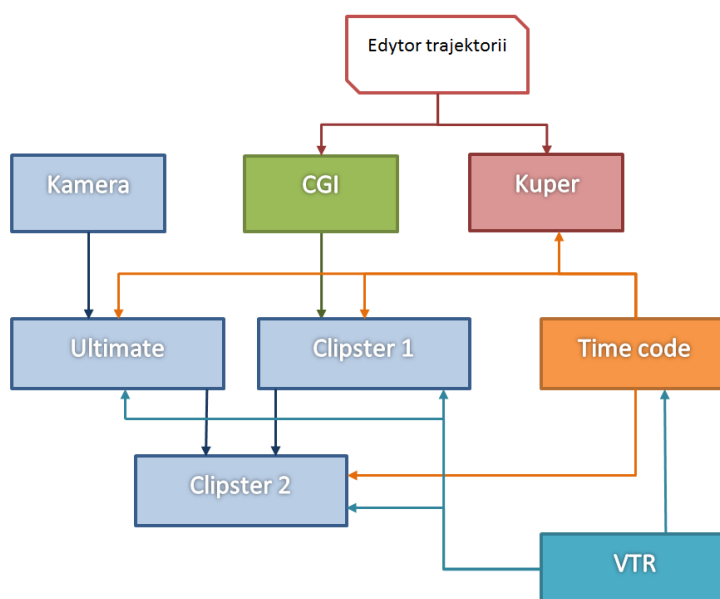


Rysunek 7: System wielowarstwowej rejestracji materiału wideo w systemie motion control [2]

cztery macierze dyskowe nazywane kolejno Clipster 1 do Clipster 4 stanowiące nośnik danych, urządzenia Ultimate, którego zadaniem jest wyznaczenie na obrazie warstw maski[‡], oraz zarządzający całością moduł VTR — Video Tape Recorder. Jego nazwa oddaje charakter sposobu pracy urządzenia, które to pozwala na symulację pracy w stosowanych dawniej systemach montażu realizowanego bezpośrednio na taśmie filmowej.

Sposób funkcjonowania tego systemu w procesie montażu wielowarstwowego pokazano na schemacie na rysunku 8. Schemat ten przedstawia sytuację, w której łączone są dwie warstwy obrazu — jedna generowana komputerowo, a druga pochodząca z kamery rejestrującej na przykład grę aktora bądź jakieś elementy scenografii w dowolnej skali. Informacja o zaplanowanej trajektorii ruchu kamery trafia do indeksera Kuper (po jej przełożeniu na ruch systemu motion control) oraz do systemu CGI (Computer Generated Imagery), za pomocą którego przygotowana jest odpowiadająca tej ścieżce, generowana komputerowo (wirtualna) scena, rejestrowana na wybranej macierzy, tutaj na macierzy Clipster 1. Następnie, za pośrednictwem modułu VTR operator definiuje, na której macierzy dyskowej (Clipster 1) znajduje się stanowiąca warstwę obrazu, a zarejestrowana wcześniej scena, oraz które urządzenie nagra obraz pochodzący z kamery, będący kolejną, drugą warstwą ujęcia. Określa on również czas rozpoczęcia i końca nagrania. Kiedy wszystko jest gotowe system synchronizowany jest za pomocą protokołu time code i urządzenia rozpoczynają realizację swoich zadań. System motion control rozpoczyna ruch, obraz z kamery jest rejestrowany na macierzy Clipster 2, ale też równocześnie jest wyświetlany na panelu VTR po jego zmontowaniu z synchronicznie odtwarzanym obrazem, zarejestrowanym wcześniej na macierzy Clipster 1. Sposób montażu determinowany jest przez maski pochodzące z urządzenia Ultimate. Taki sposób postępowania pozwala nie

[‡]Przez warstwę maski rozumie się pomocniczą warstwę, która określa sposób, w jaki nakładać się będą poszczególne warstwy obrazu — które z nich w danym momencie będą widoczne, a które przesłonięte przez inne warstwy.



Rysunek 8: Przykładowy proces montażu dwóch warstw obrazu [2]

tylko na zarejestrowanie na macierzy Clipster 2 nowej warstwy ujęcia, ale także oglądanie w czasie rzeczywistym na panelu VTR efektu końcowego wykonywanej pracy.

4 Wymagania wstępne

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia należy zapoznać się z:

- zasadami bezpieczeństwa pracy na stanowisku,
- zakresem działania i ofertą wrocławskiego [Centrum Technologii Audiowizualnych](#) w dziedzinie produkcji filmowej.

5 Zadania do wykonania

W trakcie ćwiczenia należy:

1. Zapoznać się z konstrukcją robota motion control i jego układem sterowania.
2. Zapoznać się z budową konsoli operatora (control room) i jej funkcjonalnością.
3. Zapoznać się z przykładowym planem filmowym przygotowanym na potrzeby realizacji ujęcia.
4. Przeprowadzić nagranie detalu na potrzeby realizacji ujęcia.
5. Dokonać montaż nagranych materiałów z wirtualnym tłem.
6. Przeprowadzić nagranie sceny z aktorem — analiza możliwości montażu on-line.
7. Zaproponować i zrealizować scenopis krótkiego ujęcia filmowego:

- przygotowanie układu planu filmowego do realizacji ujęcia,
- zaplanowanie ścieżki ruchu kamery w przygotowanym planie filmowym,
- rejestracja obrazu z równoczesnym montażem ujęcia.

Literatura

- [1] Strona domowa wrocławskiego Centrum Technologii Audiowizualnych CeTA. <http://www.filmstudioceta.pl/>, 2014.
- [2] Łukasz Mackiewicz, Bartek Przybylski, Filip Pyś, Bartek Szlachcic, Monika Urbańczyk. Materiały własne wrocławskiego Centrum Technologii Audiowizualnych CeTA, 2014.