

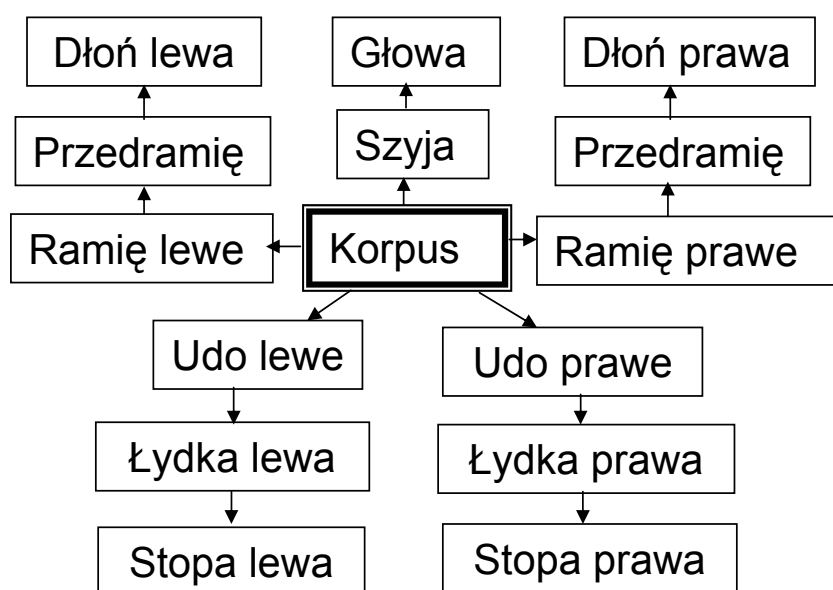
5. ANIMACJA OBIEKTÓW HIERARCHICZNYCH

Obiekt hierarchiczny składa się z odrębnych modeli geometrycznych powiązanych ze sobą logicznie w postaci drzewa:

korzeń -> rodzic (n) -> potomek (n)
(ang. root -> parent (n) -> child (n))

Każdy obiekt w hierarchii (także korzeń) może mieć dowolną liczbę potomków (n). Ponieważ każda część obiektu hierarchicznego reprezentowana jest przez oddzielny model, może on posiadać specyficzne dla niej właściwości (np. masa, maksymalny kąt wychylenia). Efekt przerw pomiędzy elementami można zminimalizować przez zachodzenie obiektów na siebie.

Hierarchie obiektów powiązanych w postaci drzewa (Rys.5.1) można animować za pomocą mechanizmów kinematyki prostej (ang. *forward kinematics*) lub kinematyki odwrotnej (ang. *inverse kinematics*).



Rys.5.1 Drzewo hierarchii obiektów, którego korzeniem jest korpus, tworzących szkielet postaci humanoidalnej.

Liczbę prostych ruchów jakie może zrealizować obiekt hierarchiczny w układzie kartezjańskim wyznaczona jest przez tak zwany stopień swobody łańcucha (ang. *Degree Of Freedom, DOF*).

Dla dowolnego łańcucha przestrzennego stopień swobody (w) obliczamy ze wzoru:

$$w = 6(n - 1) - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1$$

gdzie:

n – ilość ogniw,

p_n – ilość par kinetycznych (połączenie dwóch członów mechanizmu) n-tej klasy

Można wyróżnić trzy stopnie swobody łańcucha:

w = 0 łańcuch sztywny

w = 1 łańcuch normalny

w > 1 łańcuch swobodny

Pojedynczy obiekt ma maksymalną liczbę sześciu stopni swobody:

trzy ruchy translacyjne w stosunku do osi układu współrzędnych **X, Y i Z**.

trzy obroty względem osi równoległych do osi układu współrzędnych **X, Y i Z**.

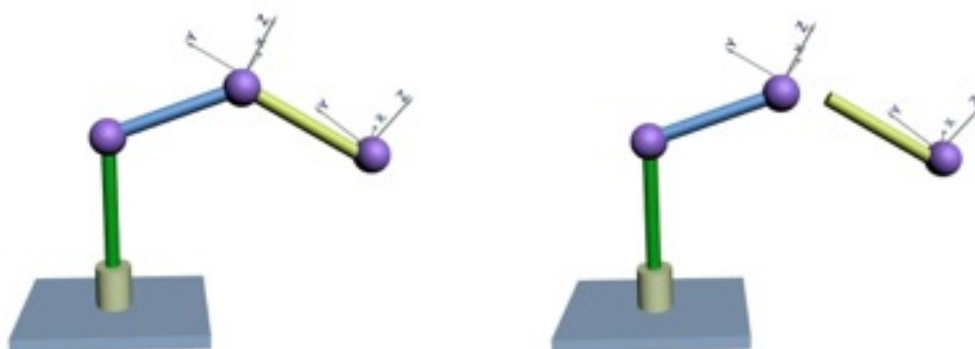
Skomplikowane obiekty mogą mieć setki stopni swobody. W pełni zdefiniowany szkielet człowieka ma ponad 200 stopni swobody.

W programie Autodesk 3ds Max obiekty geometryczne możemy łączyć ze sobą w hierarchię za pomocą narzędzia *Select and Link* (istotny jest kierunek - od obiektu podrzędnego do nadrzędnego). Przed zlinkowaniu obiektów należy poprawnie ustawić ich pozycje punktów pivotu (obrotu). Edycji powiązań pomiędzy obiektami w scenie możemy dokonać również za pomocą okna *Schematic View* (przycisk na głównym pasku narzędziowym programu). Podgląd hierarchii obiektów widoczny jest także w oknie edytora *Track View*.

Po utworzeniu hierarchii możemy w prosty sposób zaznaczać obiekty nadrzędne i podrzędne dla aktualnie zaznaczonego obiektu, posługując się w tym celu odpowiednio klawiszami *Page Up* oraz *Page Down*. Aby zaznaczyć obiekt wraz ze wszystkimi jego dziećmi wystarczy dwukrotnie kliknąć w wybrany obiekt w oknie widoku.

5.1 Kinematyka prosta

Mechanizm kinematyki prostej zakłada, że obiekt podrzędny w hierarchii dziedziczy transformacje wszystkich obiektów nadrzędnych. Innymi słowy, poruszając rodzicem, w hierarchii obiektów, poruszamy również wszystkimi jego dziećmi. Powielenie przekształcenia na wszystkie obiekty podrzędne wymaga zastosowania algorytmu przeszukiwania w głąb (ang. *Depth-First Search, DFS*). Zależność w drugą stronę nie występuje - przekształcenie obiektu podrzędnego nie ma wpływu na obiekt nadrzędny (Rys.5.2).



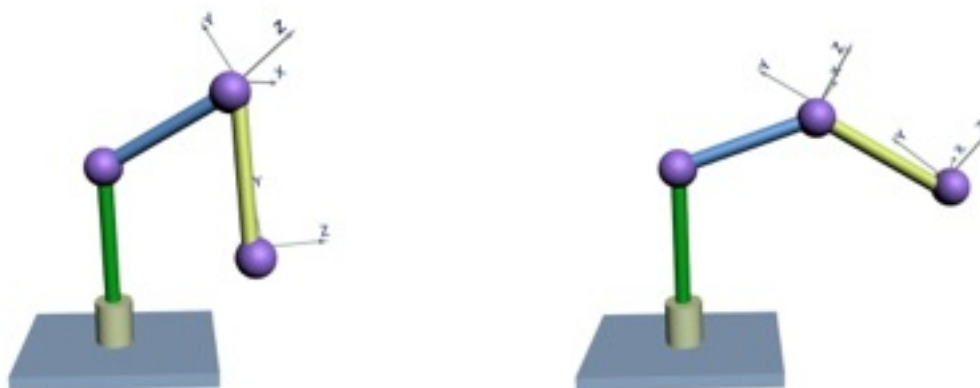
Rys.5.2 Łańcuch kinematyki prostej: przesunięcie dziecka nie wymaga zmiany położenia rodzica.

Jest to technika dość łatwa w implementacji, ale wymaga od animatora umiejętności tworzenia naturalnego ruchu postaci. Animacja złożonych hierarchii obiektów może być niezwykle nużąca i czasochłonna. Najczęściej stosuje się ten rodzaj animacji do robotów i postaci pozbawionych „powłoki”, czyli składających się z połączonych ze sobą elementów sztywnych.

5.2 Kinematyka odwrotna

W przypadku mechanizmu kinematyki odwrotnej przekształcenie obiektu podrzędnego w hierarchii wpływa na obiekt nadrzędny (Rys.5.3). Przekształcenie odbywa się przez podanie pozycji efektora końcowego łańcucha (ang. *end effector*).

Obrót obiektów w łańcuchu, tak aby zminimalizować odległość końca łańcucha od efektora jest obliczana za pomocą algorytmu cyklicznego dochodzenia do współrzędnych (ang. *Cyclic Coordinate Descent, CCD*). Złożoność tej techniki rośnie wraz z liczbą połączonych obiektów. Przy określeniu pozycji obiektów konieczne jest wzięcie pod uwagę ograniczeń nałożonych na kąty obrotów oraz kolizje pomiędzy częściami ciała postaci z obiektami zewnętrznymi.



Rys.5.3 Łańcuch kinematyki odwrotnej: przesunięcie dziecka powoduje automatyczną zmianę położenia rodzica.

W programie Autodesk 3ds Max po utworzeniu łańcucha kinematyki odwrotnej (patrz instrukcja 6), istnieje możliwość blokowania stopni swobody dla poszczególnych osi, oraz określania przekazywania ruchu z rodzica na potomka.

Zadanie:

Proszę stworzyć schemat robota składającego się wyłącznie z prymitywów, a następnie powiązać logicznie jego elementy i zaanimować krótką sekwencję podskoku.