

KONSTRUKCJA DYDAKTYCZNEGO MANIPULATORA TYPU SCARA

Oskar GROTH, Michał KOWALSKI, Łukasz MAŁAGODZKI, Leszek SŁOMION, Janusz POMIRSKI

Akademia Morska w Gdyni, tel: (+58) 6901471, fax: (+58) 6901445, e-mail: jpomir@am.gdynia.pl.

Streszczenie: W pracy przedstawiono konstrukcję manipulatora typu SCARA wykonanego w Katedrze Automatyki Okrętowej Akademii Morskiej w Gdyni. Łańcuch kinematyczny manipulatora obejmuje trzy przeguby, z których dwa to przeguby obrotowe o osi obrotu umieszczonej pionowo do podłoża. Trzeci przegub jest pryzmatyczny i umożliwia ruch postępowy końcówki roboczej wzdłuż linii równoległej do osi obrotu pozostałych przegubów. Napęd przegubów stanowią silniki krokowe. Położenie przegubów jest mierzone przez przetworniki obrotowo-impulsowe oraz wyłączniki krańcowe. Sterowanie manipulatora odbywa się z poziomu oprogramowania napisanego dla komputera PC w języku Borland C++ Builder. Sygnały sterujące i sygnały z przetworników przekazywane są za pomocą linii portu LPT komputera. Elastyczna konstrukcja robota umożliwia jego dalszą modyfikację i stopniową rozbudowę.

Słowa kluczowe: manipulator, SCARA, robot przemysłowy.

1. WSTĘP

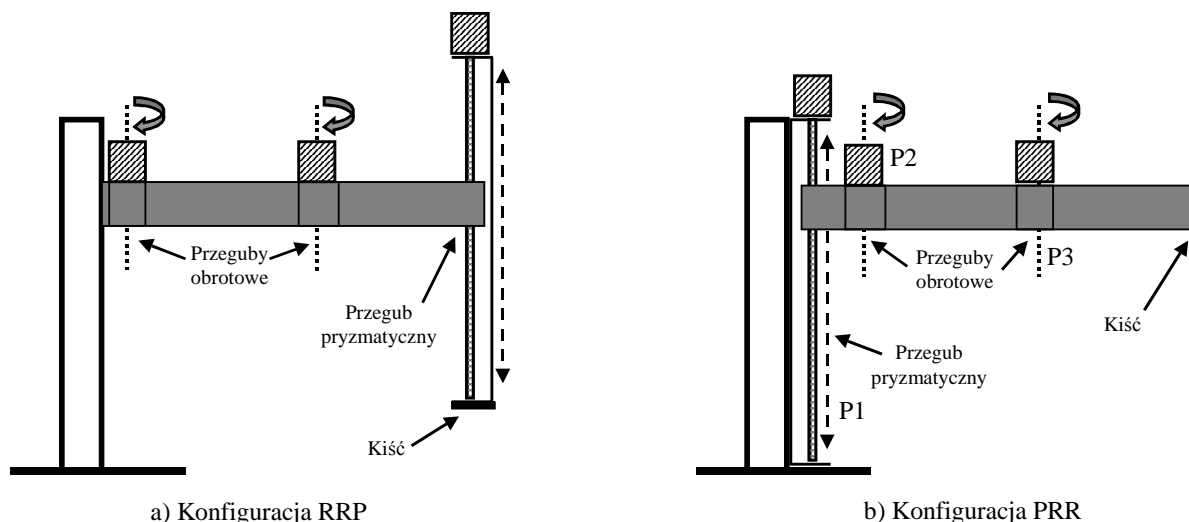
W pracy przedstawiono konstrukcję manipulatora typu SCARA o trzech stopniach swobody wykonanego w laboratorium robotyki w Katedrze Automatyki Okrętowej Akademii Morskiej w Gdyni. Zakres pracy obejmował:

- zaprojektowanie konstrukcji mechanicznej manipulatora SCARA oraz dobór odpowiednich materiałów na budowę robota;

- wykonanie elementów konstrukcyjnych wchodzących w skład robota SCARA;
- dobór elektrycznych silników napędowych, sterowników oraz zasilacza;
- okablowanie oraz zmontowanie części elektrycznej;
- wykonanie programu sterującego pracą ramienia robota.

Łańcuch kinematyczny klasycznego manipulatora SCARA obejmuje trzy przeguby, z których dwa pierwsze to przeguby obrotowe (R) o płaszczyźnie obrotu położonej równoległe do podłoża. Kolejny przegub jest pryzmatyczny (P) i umożliwia ruch postępowy końcówki roboczej wzdłuż linii pionowej do podłoża (rys. 1a) [1]. Ze względu na znaczną masę przegubu pryzmatycznego zdecydowano się jednak na zastosowanie alternatywnej, spotykanej w przemyśle konfiguracji SCARA, w której przegub pryzmatyczny jest pierwszy licząc od punktu zamocowania (rys. 1b).

Podstawowym materiałem konstrukcyjnym manipulatora były kształtki aluminiowe łączone między sobą połączeniami śrubowymi. Aluminium zapewnia stosunkowo niewielką masę manipulatora przy zachowaniu dużej wytrzymałości mechanicznej.



Rys. 1. Dwie konfiguracje manipulatora SCARA

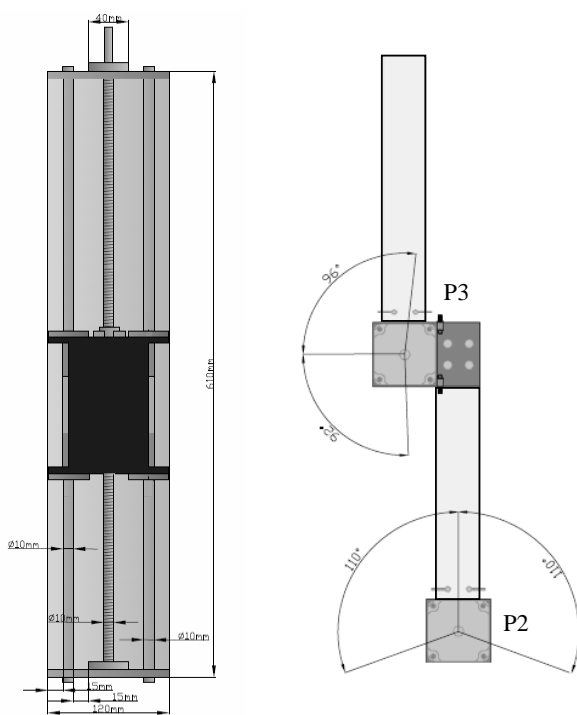
2. KONSTRUKCJA MECHANICZNO-ELEKTRYCZNA MANIPULATORA

2.1. Układ mechaniczny i napędowy

Przedstawiony na rys. 2a przegub pryzmatyczny składa się ze stelaża oraz wózka, do którego zostały zamontowane przeguby obrotowe. Elementy stelaża i wózka zostały wycięte z arkusza blachy aluminiowej i pospawane. Ruch w płaszczyźnie pionowej robota SCARA uzyskuje się poprzez wykorzystanie śruby z gwintem trapezowym oraz nakrętki. Obrót śruby napędzanej za pomocą silnika krokowego powoduje przemieszczenie się nakrętki przykręconej do wózka. Prowadzenie liniowe uzyskuje się poprzez zastosowanie dwóch precyzyjnych wałków prowadzących oraz czterech łożysk liniowych. Odległości pomiędzy wałkami prowadzącymi a śrubą napędową oraz zastosowanie łożysk o długim płaszczu zapewnia dużą sztywność konstrukcji. Przegub pryzmatyczny został umocowany do aluminiowego słupa o przekroju kwadratowym będącego nieruchomą podstawą robota.

Napęd przegubu pryzmatycznego stanowi bipolarny dwufazowy silnik krokowy o momencie trzymającym 0,55 Nm, maksymalnym prądzie uzwojenia 1 A, wymagający 200 impulsów sterujących (kroków) na jeden obrót. W górnej części przegubu wbudowano wyłącznik krańcowy, który jest stosowany do ustalenia pozycji początkowej po włączeniu zasilania. Od chwili wyznaczenia pozycji początkowej położenie przegubu pryzmatycznego określa się na podstawie liczby obrotów silnika krokowego mierzonych przez przetwornik obrotowo-impulsowy dołączony do osi tego silnika.

Dwa przeguby obrotowe P2 i P3 (rys. 2b) mają taką samą konstrukcję. Zostały one wycięte z odcinków kształtowników aluminiowych i połączone śrubami. W aluminium wykonano gniazda dla łożysk kulkowych, które zapewniają obrót osi przymocowanych do następnego ramienia robota [2].

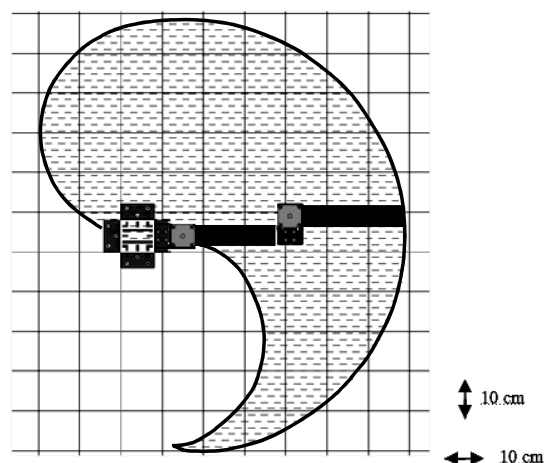


a. Przegub pryzmatyczny P1 b. Połączenie przegubów obrotowych P2, P3

Rys. 2. Budowa przegubów manipulatora

Robot został wyposażony w czujniki krańcowe na przegubach obrotowych, które chronią przed ewentualnym uszkodzeniem silniki krokowe i konstrukcję mechaniczną manipulatora. Czujniki są wykorzystywane w funkcji „FIND HOME”, której zadaniem jest ustawienie ramion manipulatora w pozycji początkowej. Z chwilą określenia pozycji początkowej złącza obrotowego jego położenie określane jest przez przetwornik obrotowo-impulsowy dołączony do obu silników krokowych.

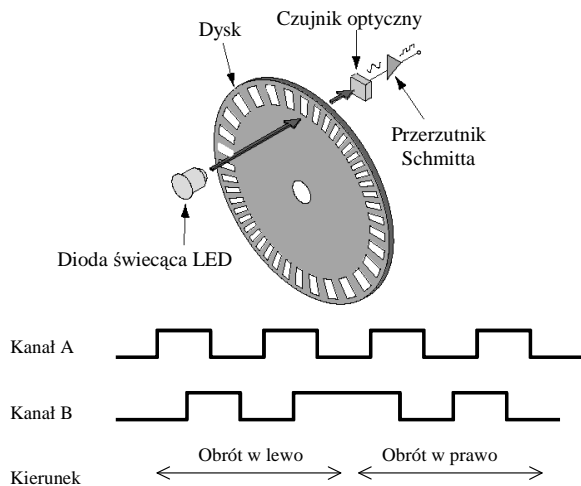
W manipulatorze zastosowano "przesunięte" połączenie ramion manipulatora przegubami obrotowymi (rys. 2b), co zapewnia uzyskanie przestrzeni roboczej manipulatora przedstawione na rys. 3. Do napędu przegubów obrotowych zastosowano hybrydowe bipolarny dwufazowe silniki krokowe 57BYGH803 firmy Wobit o momencie trzymającym 1,4 Nm, maksymalnym prądzie uzwojenia 1,5 A, które do wykonania jednego obrotu potrzebują 200 impulsów sterujących (kroków). Zastosowane silniki charakteryzują się dużym momentem obrotowym w stosunku do niewielkich rozmiarów.



Rys. 3. Obszar roboczy manipulatora

Jak wyżej wspomniano, we wszystkich przegubach do pomiaru aktualnego położenia wykorzystano przetworniki obrotowo-impulsowe dołączone do osi obrotowych silników krokowych. Przetworniki obrotowo-impulsowe (enkodery inkrementalne) są przeznaczone do względnego pomiaru kąta obrotu osi. Na osi umieszczona jest tarcza z dużą liczbą równomiernie rozłożonych prążków, które w czasie obrotu tarczy zasłaniają źródło światła (rys. 4), a tym samym generują falę prostokątną na wyjściu enkodera. Liczba prążków na tarczy określa rozdzielczość i jest parametrem konstrukcyjnym przetwornika. Aby wyznaczyć aktualną pozycję osi obrotowej konieczna jest znajomość pozycji początkowej. Dlatego po włączeniu zasilania sterownik manipulatora musi przeprowadzić operację poszukiwania pozycji początkowej – silniki krokowe obracają się w określonym kierunku aż do chwili zadziałania wyłączników krańcowych. Od tej chwili kąt obrotu w stosunku do znanej pozycji początkowej jest wyznaczany poprzez pomiar liczby impulsów dochodzących z enkodera.

Kierunek ruchu jest rozpoznawany dzięki przesunięciu fazowemu sygnałów dochodzących z dwóch kanałów A i B. Czujniki optyczne A i B są przesunięte na tarczy optycznej o pół prążka, dlatego przez analizę sekwencji zmian sygnałów w obu kanałach jest możliwe określenie kierunku obrotów (rys. 4) [3].



Rys. 4. Działanie przetwornika obrotowo-impulsowego

2.2. Układ zasilania i sterowania

Na układy elektryczne wykonanego manipulatora SCARA przede wszystkim składa się układ sterowania zbudowany z sterowników oraz zasilacza. Do sterowania wszystkich silników wykorzystuje się metodę sterowania mikrokrokowego z podziałem $1/8$ kroku, co zwiększa dokładność wykonywanych ruchów manipulatora. Do zasilania układu służy zasilacz niestabilizowany o napięciu wyjściowym spoczynkowym 36 V. W zasilaczu zastosowano transformator toroidalny o niewielkim rozproszeniu pola magnetycznego, a tym samym dużej sprawności. Na wyjściu prostownika umieszczono kondensatory filtrujące o dużej pojemności (rzędu milifaradów), które zapewniają odbiór energii z silnika krokowego podczas jego hamowania.

Sterowniki silników krokowych wraz z zasilaczem oraz układem chłodzenia zostały zamknięte w obudowie metalowej. Na obudowie znajdują się złącza LPT (Centronics), na których zostały wyprowadzone wszystkie dostępne sygnały pomiarowe z przetworników obrotowo-impulsowych i wyłączników krańcowych oraz sygnały do sterowników silników krokowych.

Do wyprowadzonych złącz jest możliwe dołączenie kontrolerów różnego rodzaju: dedykowanego systemu mikroprocesorowego lub sterownika programowalnego. W pracy zdecydowano się na wykorzystanie komputera PC do sterowania manipulatorem.

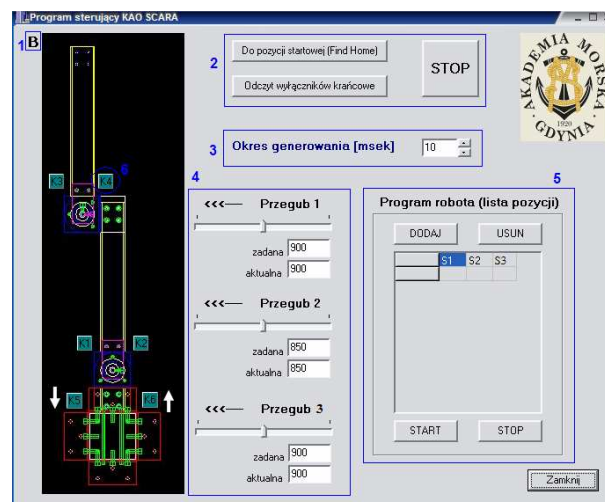
3. STEROWANIE MANIPULATORA

3.1. Program sterujący

Sterowanie robotem odbywa się w przy pomocy programu demonstracyjnego napisanego z wykorzystaniem kompilatora Borland C++ Builder (rys. 5). Sterowanie silnikami krokowymi odbywa się przez jeden port LPT komputera PC i umożliwia weryfikację poprawności działania układów elektrycznych i mechanicznych manipulatora. W programie przewidziano możliwość zdefiniowania trajektorii manipulatora w postaci sekwencji zmiennych złączowych.

Aby port LPT działał poprawnie w systemie nie mogą być zainstalowane żadne dodatkowe sterowniki tego portu. System operacyjny Windows silnie ogranicza maksymalną częstotliwość generacji impulsów sterujących silnikami krokowymi, z tego powodu aktualnie uzyskiwane prędkości przesuwu są niewielkie. Konieczne staje się zastosowanie – jako sterownika robota SCARA – dedykowanego sterownika

mikroprocesorowego lub komputera osobistego z systemem operacyjnym czasu rzeczywistego.



Rys. 5. Interfejs programu sterowania przegubami robota.

3.2. Kinematyka prosta manipulatora SCARA

Proste zadanie kinematyki można rozwiązać wyznaczając macierz transformacji z układu 3 do układu 0 manipulatora SCARA:

$$T_0^3 = T_0^1 \cdot T_1^2 \cdot T_2^3 \quad (1)$$

gdzie:

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & a_1 \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & a_1 \sin \theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_{2norm} & -\sin \theta_{2norm} & 0 & a_2 \cos \theta_{2norm} \\ \sin \theta_{2norm} & \cos \theta_{2norm} & 0 & a_2 \sin \theta_{2norm} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 & a_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & -\cos \theta_3 & 0 & a_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\theta_{2norm} = \theta_2 + 82,2^\circ \quad (5)$$

Parametry Danevita-Hartenberga (a_i , a_i , d_i , θ_i ; $i = 1, 2, 3$) występujące we wzorach (2), (3), (4), (5) zostały zdefiniowane w tablicy 1, a znaczenie parametrów przedstawione na rys. 5.

4. PODSUMOWANIE

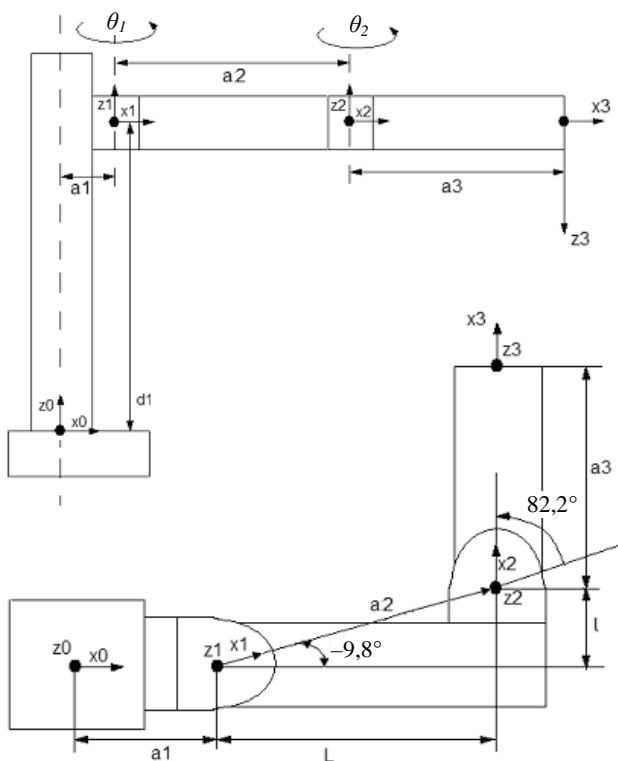
Na rys. 7 przedstawiono manipulator SCARA zaprojektowany i wykonany w laboratorium. Robot ten stanowić będzie wyposażenie dydaktyczne laboratorium robotyki. Wiele rozwiązań konstrukcyjnych jest kompromisem pomiędzy wymaganiami a możliwościami obróbki materiałów i kosztami. Zbudowanie manipulatora SCARA w laboratorium było tanią alternatywą dla zakupu komercyjnego robota przemysłowego. Elastyczna konstrukcja robota umożliwia jego modyfikację i stopniową

rozbudowę. Docelowo manipulator SCARA zostanie wyposażony w efektor obejmujący kiść obrotową oraz chwytak. Potrzebne będzie też skonstruowanie dedykowanego sterownika, który zapewni odpowiednią szybkość obliczeń i generacji sygnałów sterujących. Prace nad manipulatorem pozwoliły na praktyczne zapoznanie się z problematyką konstruowania robotów przemysłowych.

Tablica 1. Parametry D-H manipulatora SCARA

Człon	Parametry			
	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	0	100 mm	d_1	$-9,8^\circ$
2	0	264 mm	0	$\theta_2 + 82,2^\circ$
3	180°	280 mm	0	θ_3

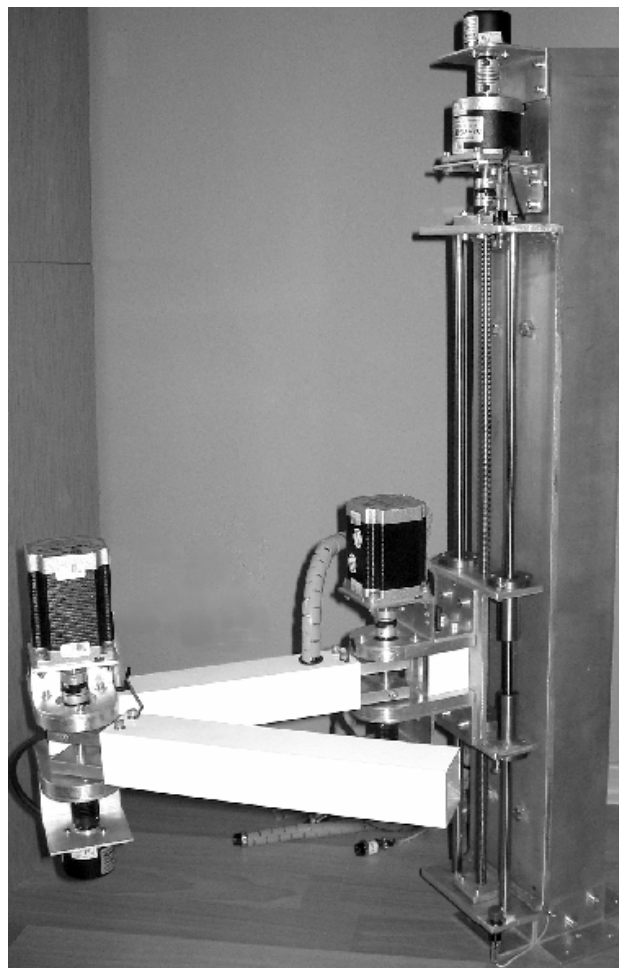
gdzie: d_1 – zmienna złączowa przegubu pryzmatycznego P1 (od 0 do 400 mm), θ_2 – zmienna złączowa przegubu obrotowego P2 (od -90° do 90°), θ_3 – zmienna złączowa przegubu obrotowego P3 (od -90° do 90°).



Rys. 6. Wyznaczanie parametrów Danevita-Hartenberga

5. BIBLIOGRAFIA

1. Honczarenko J.: Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie, WNT, Warszawa 2004.
2. Groth O., Kowalski M.: Konstrukcja manipulatora typu SCARA o dwóch stopniach swobody, praca magisterska, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, 2007.
3. Ober W.: Wobit. Optoelektroniczny przetwornik obrotowo-impulsowy, dokument elektroniczny, <http://wobit.com.pl/download/pdf/przetworniki/mok40.pdf>.



Rys. 7. Zmontowany manipulator SCARA

DESIGN OF THE DIDACTIC SCARA MANIPULATOR

Keywords: SCARA, robot

The paper describes structure of the didactic SCARA manipulator, which was designed and built in the Automation Control Department of Gdynia Maritime University, Poland. The robot has three joints, first joint is prismatic and moves the tool perpendicular to the robot base, next two rotary joints are parallel that provide compliance in the horizontal plane. Actuators of joints are stepping motors. Incremental encoders and limit switches measure position of the joints. The computer software written in BORLAND C++ Builder compiler performs robot control. Control signals and measurements are moved between robot and computer through the LPT Centronics interface. Robot was build for didactic use in the department's laboratory. The robot structure enables future easy modification.