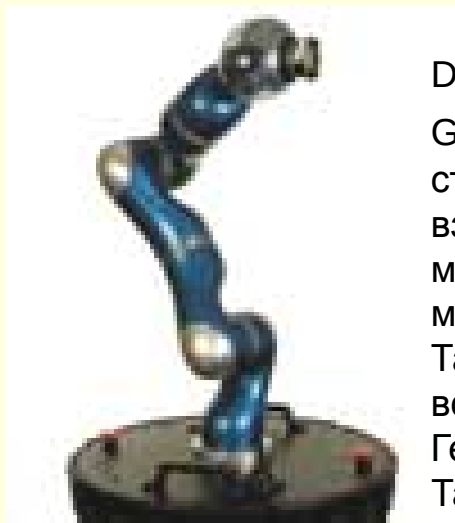


КОНЦЕПЦИЯ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЛЕКИ РОБОТИ

Леките роботи имат нестандартно отношение на товароносимостта си и общото тегло. DLR например може да носи тегло по-голямо от 10 кг при пълна скорост, а тежи само 18 кг.



DLR Light Weight Robot (LWR) на Institute of Robotics and Mechatronics на German Aerospace Center (DLR) е лек робот с гъвкава, антропоморфна структура, който е оборудван с необходимата сензорика за взаимодействие с човека. Размерите, силата и възможностите на манипулатора са подобни на човешката ръка. Към робота могат да се монтират различни хващачи инструменти чрез стандартен фланец. Тази екстремно лека конструкция е постигната чрез оптимизация на всички критични компоненти с метода на крайните елементи. Геометрията на детайлите е получена чрез 3D-CAD System ProEngineer. Тази програмна система позволява използване на метода на крайните елементи и симулация на дискретни системи, чрез която се определя най-добрата конфигурация на ставите. По този начин се изгражда база знания, която съдържа цялата важна информация за конструкцията на робота.

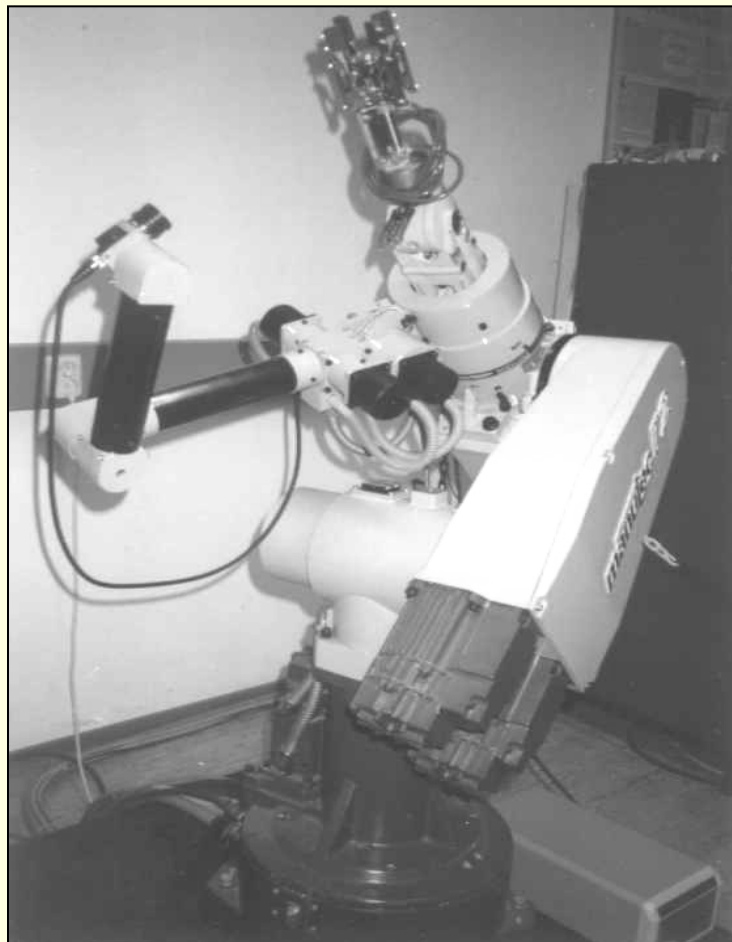
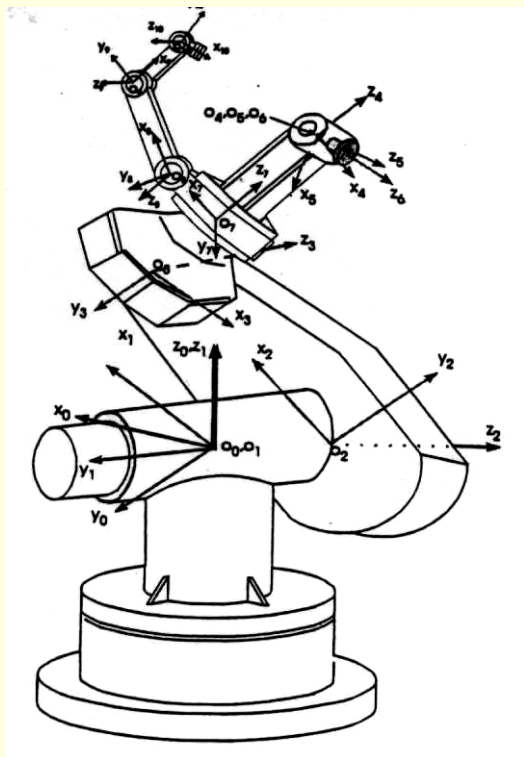
КОНЦЕПЦИЯ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА ЛЕКИ РОБОТИ

- Използват са много леки двигатели, редуктори и спирачки. Всички тези компоненти са разположени в корпуса на робота като се използва възможно най-малко пространство.
- Всяка става на робота има сензор за позиция на двигателя и сензори за позиция и момент на ставата. Чрез сензора за момент се компенсира еластичността на ставата. Така роботът може да бъде управляван по позиция, скорост и момент.
- Всички кабели са разположени вътре в робота.
- Необходима е оптимизация на коравината и якостта на конструкцията по критерии за ниско собствено тегло и лесно производство на механичната система.
- Основната конструкция не е модулна. Това увеличава производствените разходи, но е единствен начин да се получи оптимално съотношение на товароподемност и собствено тегло.

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

- ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ РОБОТИЗИРАНИ СИСТЕМИ, ИЗПОЛЗВАЩИ ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА СА В ОСНОВАТА НА НОВИТЕ ТЕХНОЛОГИИ. ОСНОВНИТЕ НАПРАВЛЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ НА ТЕЗИ СИСТЕМИ СА ПРОЕКТИРАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА МАШИННО ЗРЕНИЕ В РЕАЛНО ВРЕМЕ; РАЗПОЗНАВАНЕ НА ОБРАЗИ; СЛЕДЕНЕ НА ОБЕКТИ В ДИНАМИЧНИ СРЕДИ; ИЗМЕРВАНЕ НА РАЗМЕРИ ОТ ДИСТАНЦИЯ И ДР.
- **ЗАДАЧАТА Е ДА СЕ ПРОЕКТИРА ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА, КОЙТО СЕ МОНТИРА ВЪРХУ ПРОМИШЛЕН РОБОТ ЗА МОНТАЖ И ОСИГУРЯВА ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА СЦЕНАТА ОКОЛО ХВАЩАЧА НА РОБОТА.**
- **1994-1996. Germany, Bergische University, Wuppertal.**
- Договор: Roboterkameraführung-Flexible und koordinierte Kameraführung für Roboter- handfertigkeit.
- *Designed and implemented "Lightweight robot arm - camera for interaction with robot assembly".*

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА



ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

- Роботът Manutec r2 има структурна схема $R \perp R \parallel R \perp R \perp R$, а роботът с камерата има структурна схема $R \perp R \parallel R \parallel R$. Възможните конфигурации на комплекса основен робот-робот с камера са важни за покриване на цялото работно пространство на хващача и избягване на колизии.
- Позицията на камерата се намира в сферичното пространство около хващача на основния робот. Ориентацията на камерата се отчита по остта на въртене на става 4 на основния робот. Едновременно с това може да се наблюдава момента на хващане на детайла във всяка една ситуация. Проблеми могат да възникнат при хващачи с големи габарити и тогава би трябвало да се включи още една степен на свобода.
- В конструкцията на робота са използвани специални композитни материали и дуралуминий, осигуряващи минималното му тегло с цел максимално запазване товароносимостта на основния робот. Задвижването на робота сс камерата е осъществено чрез стъпкови двигатели, вълнови редуктори и зъбно-ремъчни предавки.
- РОБОТЪТ ТЕЖИ 17 кг и НОСИ 5 кг.

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

- Решаването на правата и обратна кинематични задачи е облекчено от целево насочено разделение на цялостната геометрия на комплекса в частични геометрии:
- * *Позиция на хващача по отношение на основата на робота.* Тази частична геометрия е $R \perp R \parallel R \perp R \perp R$ и определя цялостната геометрия на основния робот за монтаж и е необходима за манипулиране на обектите.
- * *Позиция на камерата относно позицията на хващача.* Тази частична геометрия е $R \perp R \perp R \perp R \parallel R \parallel R$ и е необходима за обхващане на работната сцена и е много важна за избягване на колизии.
- * *Позиция на камерата по отношение на основата на робота.* ($R \perp R \parallel R \perp R \parallel R \parallel R$). Тази геометрия трябва да се има предвид за избягване на колизии.

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

- **2. ДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ НА СИСТЕМАТА.**
- С монтираният робот с камера динамиката на основния робот много се усложнява. Структурно могат да се разделят две кинематични вериги с дървовидна структура. Движенията на робота и робота с камерата си влияят взаимно. Цялата система има 10 стави (десет степени на свобода) и динамиката се описва с 10 диференциални уравнения от втори ред.
- Описваме кинематиката на системата от основен робот и робот с камера чрез преобразованията на Денавит и Хартенберг. Дървовидната структура на робота има две кинематични вериги. Едната е от основата на робота до хващача (звена от 1 до 6), докато другата е съставена от първите три звена на основния робот и четирите звена на робота с камерата (звена от 1 до 3 и от 7 до 10).
- В следващите таблици са дадени параметрите на Денавит и Хартенберг за всяка верига:
- Кинематична верига на робот Manutec r2
- Кинематична верига на робота с камерата

i	α_{i-1}	a_{i-1}	θ_i	d_i
1	0	0	θ_1	0
2	90	0	θ_2	d_1
3	0	a_2	θ_3	d_2
4	90	0	θ_4	d_3
5	-90	0	θ_5	0
6	90	0	θ_6	0

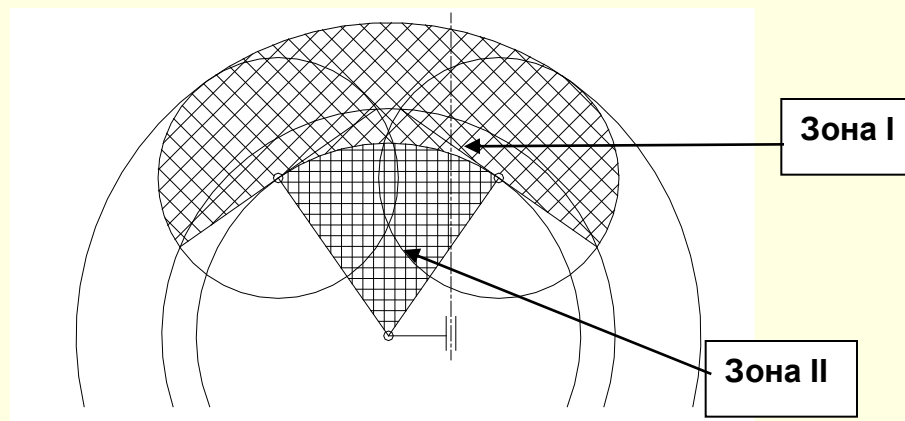
i	α_{i-1}	a_{i-1}	θ_i	d_i
1	0	0	θ_1	0
2	90	0	θ_2	d_2
3	0	a_2	θ_3	d_3
7	90	0	θ_7	d_7
8	90	a_7	θ_8	0
9	0	a_8	θ_9	d_9
10	0	a_9	θ_{10}	d_{10}

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

Коефициент на геометрична ефективност K_G -

отношението между площта (обема) VW на зоната на достижимост и площта (обема) VS на работната зона. Позволява да бъде оценена дадена структура по отношение на това каква част от работната ѝ зона е използвана за манипулации.

Създаден е примерен модел на работната зона, като при това са използвани възможностите на графичния софтуер AutoCAD 2002.

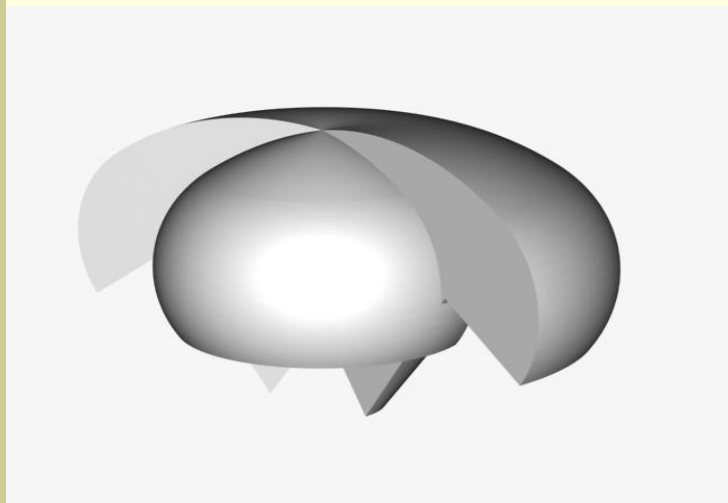


Работна зона на видео манипулатора от системата.

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

- **Синтез на тримерен модел на работната зона и зоната на достижимост на видео манипулатора.**
- Пространственото движение на видео манипулатора се определя от ротацията в основата му – звено 0. Тримерният модел е получен чрез ротация на равнинното сечение на работната зона около вертикалната ос на звено 0 в рамките на наложените ъглови ограничения - $\pm 105^\circ$. В AutoCAD среда е използвана командната линия “Draw-Solids-Revolve”, позволяваща формирането на обемни твърдотелни модели.

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

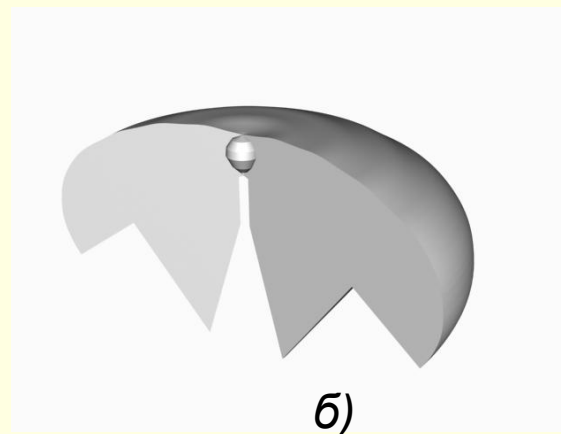
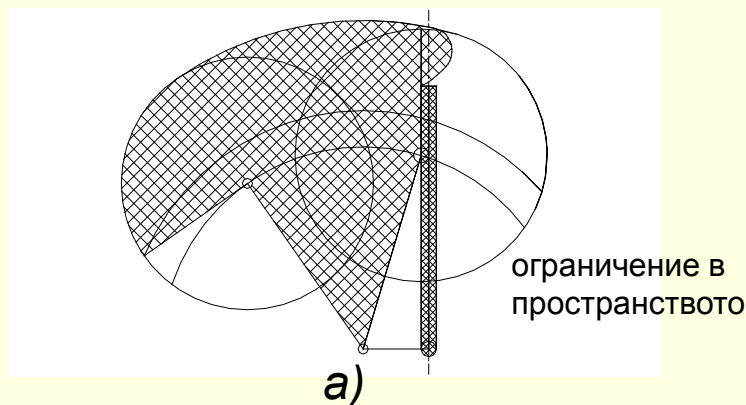


*Тримерен модел на а) работната зона и б) зоната на достижимост
на видео манипулатора*

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

Определяне на работната зона и зоната на достижимост на видео манипулатора при наложено ограничение за неконфликтност с носещия робот.

При системи от свързани манипулатори е поставена задачата за неконфликтност между манипулационните системи.



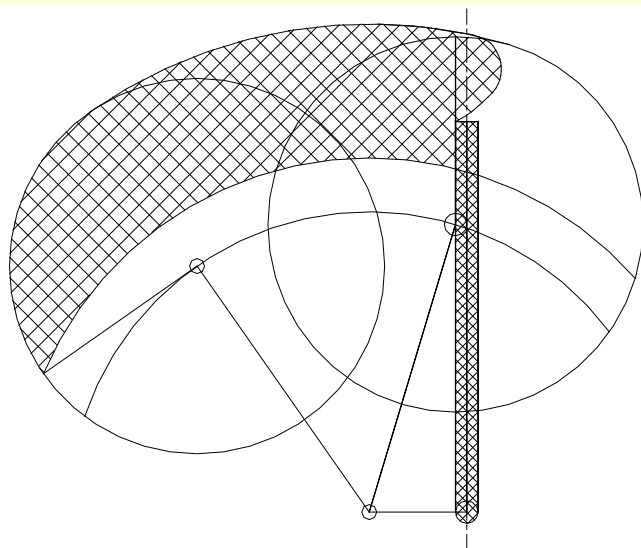
*Ограничение на работната зона на ВМ от носещия манипулатор
Manutec r2*

а) - равнинно сечение и б) - тримерен модел

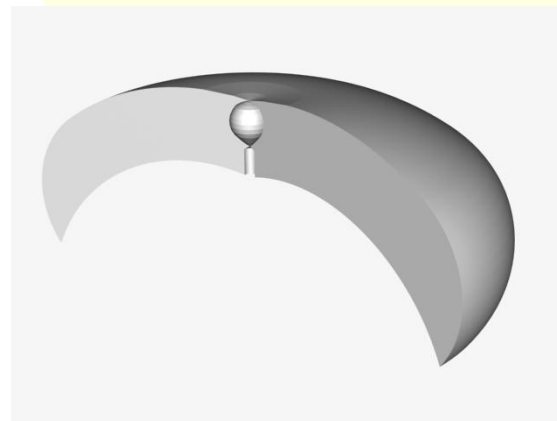
ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

Липсата на удар между структурите е допълнително ограничаващо условие при определяне на работната зона. В конкретния случай звено 2 на робота *Manutec r2*, носещо ВМ е оградено от паралелепипед с размери на основата 100x100 мм, представляващ допълнително ограничение в пространството на ВМ. Това допълнително ограничение видоизменя работната зона на ВМ. На тази база е синтезирана и зоната на достижимост при наложени ограничения от носещия робот.

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА



а)



б)

Зона на достижимост на ВМ, ограничена от носещия манипулатор Manutec r2 а) равнинно сечение и б) тримерен модел

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

- **Определяне коефициента на геометрична ефективност KG на видео манипулатора.**
- Коефициентът KG показва каква част от работната зона на манипулатора е достъпна за ефективни действия. Аналитичното му определяне на практика е невъзможно. От фигурите се вижда колко е сложна пространствената форма на работната зона и зоната на достижимост дори за един елементарен тризвенеен механизъм с три степени на свобода, какъвто е видео манипулатора. За численото определяне обема на зоните са използвани аналитичните възможности на AutoCAD средата. Командата MASSPROP изчислява търсения обем на тримерния модел на зоните. В конкретния случай на видео манипулатора коефициента KG е изчислен за реалните размери на робота. Чрез данните от командата MASSPROP се изчислява коефициента KG .

ЛЕК РОБОТ, НОСЕЩ ТВ КАМЕРА ЗА ВИЗУАЛНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

■ Коефициент на геометрична ефективност $KG = VW / VS = 0,626$

Коефициента на геометрична ефективност на видео манипулатора може да бъде сравнен с този на носещия робот *Manutec r2*, който е **0,976**. Той зависи от наложените върху манипулатора ограничения. Въпреки еднаквите структури, коефициентът KG на видео манипулатора е по-малък от този на *Manutec r2*. Това се дължи на по-големия диапазон на движение в ставите на носещия робот, както и на факта, че върху видео манипулатора е наложено едно ограничение в повече, а именно условието за липса на удар с носещия робот.

ЛЕК РОБОТ ЗА МОБИЛНА ПЛАТФОРМА

ИЗВЕСТНО Е, ЧЕ НАЙ-ЧЕСТО ИЗПОЛЗВАНИТЕ ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ СЕ ПРОЕКТИРАТ С ГОЛЕМИ МАСИ И ВИСОКА КОРАВИНА ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА ТОЧНОСТ И СТАБИЛНОСТ. ПОРАДИ ТОВА ТЕ ИМАТ ТОВАРОНОСИМОСТ 1 КЪМ 10 ОТ СОБСТВЕНОТО СИ ТЕГЛО.

ЗАДАЧАТА Е ДА СЕ ПРОЕКТИРА МЕХАНИЧНА СИСТЕМА НА РОБОТ С ШЕСТ СТЕПЕНИ НА СВОБОДА, ПРИ КОЙТО СЪОТНОШЕНИЕТО ТОВАРОНОСИМОСТ/СОБСТВЕНО ТЕГЛО ДА Е 1:3, РЪКАТА ДА Е С ДЪЛЖИНА 1,2 МЕТРА И ДА Е С ПРОМЕНЛИВА КОНФИГУРАЦИЯ.

ПРОЕКТИРАНАТА РЪКА ТРЯБВА ДА СЕ МОНТИРА ВЪРХУ МОБИЛНА ПЛАТФОРМА И ТОВА ВОДИ ДО 2 ОГРАНИЧЕНИЯ:

- МИНИМАЛНО ТЕГЛО, ЗА ДА МОЖЕ МОБИЛНАТА ПЛАТФОРМА ДА Я НОСИ И ДА СЕ ЗАХРАНВА ОТ БАТЕРИИТЕ ѝ;
- МАЛКИ ГАБАРИТИ, ПОРАДИ ОГРАНИЧЕНОТО ПРОСТРАНСТВО НА ГОРНАТА ПОВЪРХНОСТ НА МОБИЛНАТА ПЛАТФОРМА.

ЛЕК РОБОТ ЗА МОБИЛНА ПЛАТФОРМА

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
11 October 2001 (11.10.2001)

(10) International Publication Number
WO 01/74548 A1

(51) International Patent Classification: **B25J 9/04, 17/02**

(21) International Application Number: **PCT/SE91/00092**

(22) International Filing Date: 29 March 2001 (29.03.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
0001163-5 31 March 2000 (31.03.2000) SE

(71) Applicants and
(72) Inventors: ANANIEV, Anani, Vladimirov [BG/SE];
Angkatan 18, S-702 24 Örebro (SE); WIDF, Peter,
Ivar [SE/SE]; Hesta 3, S-681 93 Kristinehamn (SE);
KALAYKOV, Ivan, Guentchev [BG/SE]; Senapovigen
37, S-702 18 Örebro (SE); IGNATOVA, Detelina, Stoy-
anova [BG/BG]; Bulgarian Academy of Sciences, Institute

of Mechanics, Acad. G. Bonchev Str. Block 4, BG-1113
Sofia (BG).

(74) Agents: HOPFGARTEN, Nils et al.; L.A. Gresh & Co.
KB, Box 6107, S-102 32 Stockholm (SE).

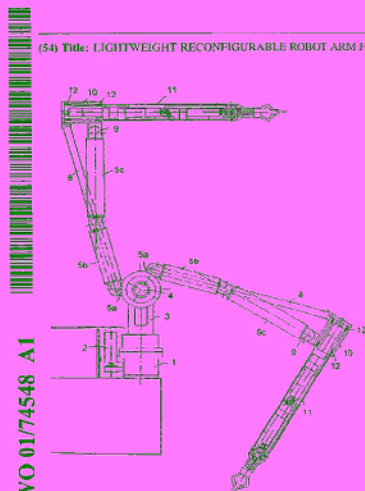
(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AT
(utility model), AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA,
CH, CN, CO, CR, CU, CZ, CZ (utility model), DE, DE
(utility model), DK, DK (utility model), DM, DZ, EE, EE
(utility model), ES, FI, FI (utility model), GB, GD, GE, GH,
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KP, KR, KZ, LC,
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, NZ, NZ, PL, PT, RO, RU, SE, SG, SI, SK,
SK (utility model), SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM,
KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW); Eurasian
patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM); European
patent (AT, AU, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM); European

[Continued on next page]

(54) Title: LIGHTWEIGHT RECONFIGURABLE ROBOT ARM FOR MOBILE ROBOTS

(57) Abstract: The present invention relates to a robot arm and especially to a lightweight reconfigurable robot arm for mobile robots comprising: a stationary base, supporting a rotation about a vertical axis of a swivel body; a first reconfigurable link, for fore-and-aft swivelling movements about a first horizontal axis; a second link, for swivelling movements about a second horizontal axis; a robot wrist; a pivoting link, which is parallel with the first reconfigurable link; three motors, for driving the robot wrist; three motors, for driving the first and second link and the rotation of the swivel body about the vertical axis.



WO 01/74548 A1

1999-2001. Sweden, Orebro University, Orebro, *Designed and implemented* two light robot arms for mobile robots.

ПАТЕНТ:

Ananiev A., Wide P., Kalaykov I., Ignatova D., Lightweight Reconfigurable Robot Arm for Mobile Robots, International Patent № **WO 01/74548 A1, /B25J 9/04, 17/02/**

ЛЕК РОБОТ ЗА МОБИЛНА ПЛАТФОРМА



ЛЕК РОБОТ ЗА МОБИЛНА ПЛАТФОРМА



ЛЕК РОБОТ ЗА МОБИЛНА ПЛАТФОРМА

