

Robòtica: Raiden Project

Bartomeu Miró Mateu ^{*}
Lluís Cortès Rullan [†]

20 de maig de 2011

Primera pràctica de Robòtica de l'apartat de robòtica industrial. Control d'un braç robot Mitsubishi RV-6S programat en MELFA Basic IV destinant a la paletització de peces colorides circulars.

^{*}bartomeumiro a gmail punt com

[†]lluisbinet a gmail punt com

Índex

1	Interpretació de l'enunciat i modelat de l'escenari	3
2	Moviment del robot	5
3	Càlculs	7
3.1	Transformació de sistemes de coordenades	7
3.2	Càlcul de piles, pals (X,Y) i altura de peces (Z)	9
4	Estructura del programa	9
4.1	Macros, paràmetres	9
4.2	Estructura del codi	10
4.2.1	Auxiliars	11
4.2.2	Inicialitzacions	12
4.2.3	Càlcul de punts	12
4.2.4	Munta palé	14
4.2.5	Desmunta palé	15
4.2.6	Acaba	16
5	Incidents i problemàtica al desenvolupament	16
6	Joc de proves	18

1 Interpretació de l'enunciat i modelat de l'escenari

En aquest apartat s'expliquen les extensions i suposicions de l'enunciat original, així el modelat de l'entorn del robot.

Tal i com es demana el programa està parametritzat segons la posició de la càmera, el punt P que aquesta detecta i l'angle α . A més existeixen altres paràmetres com els punts on es troben les peces originalment i on es deixen al final.

Per altra banda s'ha introduït la possibilitat de fixar un nombre diferent de peces a cada pila, per tant es poden tenir piles amb diferent número de peces. També és té amb compte la possibilitat de tenir més d'una peça, o cap, d'algun tipus.

Tots aquests paràmetres es tornen a veure detallats en l'apartat d'explicació del codi on s'expliquen les *Macros pròpies*4.1.

L'enunciat deixa oberta la possibilitat de que fer amb les peces de tipus 4, en aquest punt s'ha optat per posar-les al pal 4 per aprofitar el codi ja escrit i així seguir la coherència i estructura dels tipus de peça anteriors. El fet de no optar per apilar-les en qualsevol punt de l'entorn es perquè en la paletització ja s'ha demostrat coneixement de com apilar peces i tractar el tipus 4 de manera diferent als anteriors minvava elegància al codi i l'execució.

En la figura ?? següent es poden veure tots els paràmetres i punts (marcats amb una estrella) que caracteritzen l'escenari.

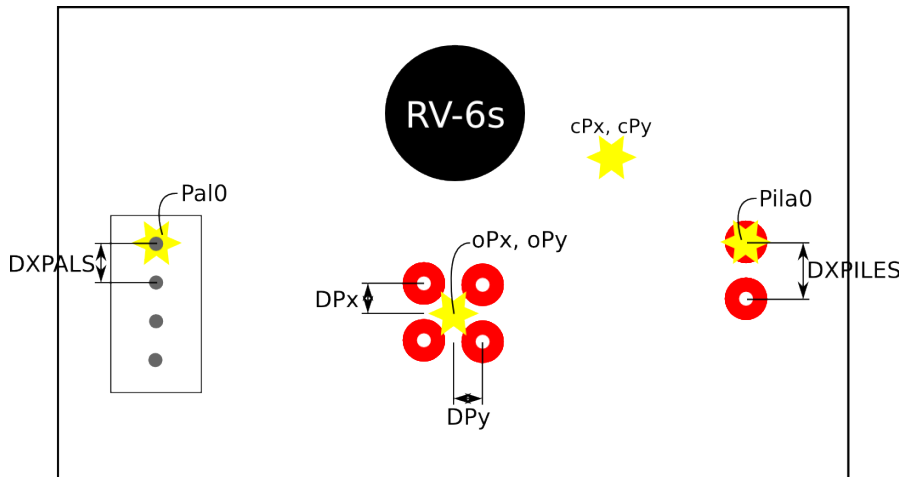


Figura 1: Escenari del robot

La figura es veu complementada amb el llistat de punts emprats a la pràctica.

```
DEF POS Paralisi = (337.16, -14.95, 270.30, -179.98, -0.36, -177.39) (7, 0)
DEF POS Pa0      = (308.00, -550.00, 280.00, 171.00, -57.00, -79.00) (7, 0)
DEF POS Pila0    = (340.18, 481.51, 280.00, -179.98, -0.36, -90.00) (7, 0)
```

```
DEF POS Pale0      = ( 0.00, 0.00, 280.00, -179.98, -0.36, -90.00) (7,0)
DEF POS PaleOut0   = (337.00, -450.00, 280.00, 171.00, -57.00, -79.00) (7,0)
```

Com es detalla en l'apartat de *calcul de punts* 3.2 s'ha intentat minimitzar el nombre de punts capturats per tal de calcular els demes en realció a aquests.

A continuació s'explica l'utilitat de cada punt o posició.

Paralisi Guarda la posició del robot en repòs.

Pai0 Posició del primer pal (amb la pinça tombada).

Pila0 Posició de la primera pila (amb pinça perpendicular)

Pale0 Orientació del braç robot per posar peces del palé (amb la pinça perpendicular).

PaleOut0 Orientació del braç robot per agafar les peces del palé (amb la pinça tombada)

A efectes pràctics a la imatge següent es veu el posicionat de les peces de una forma humanament comprensible emprant les marques fetes per els alumnes sobre l'entorn i existents a data de 20 de maig de 2011.

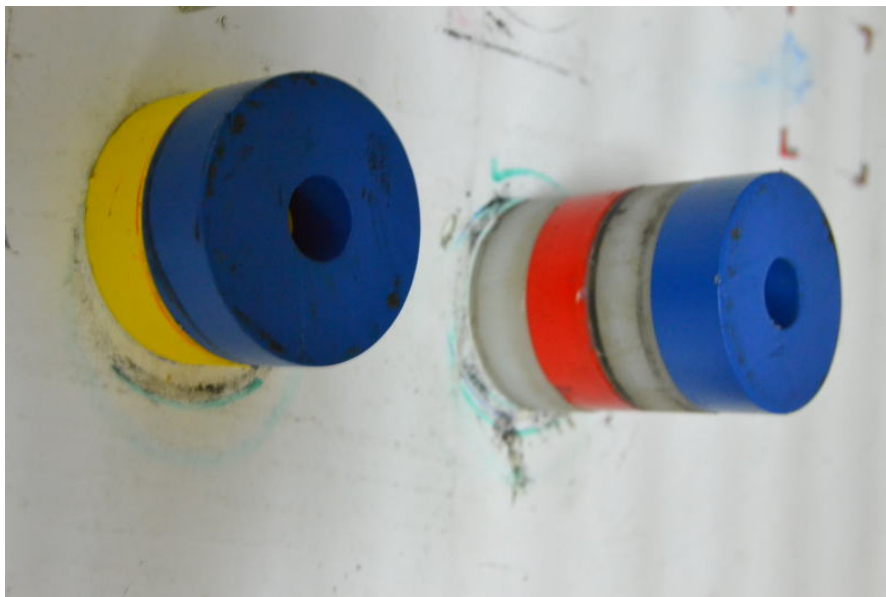


Figura 2: Posicionat de les piles a l'entorn

A la imatge es pot apreciar com la primera pila esta al centre fet amb rotulador negre i la segona seguint el cercle fet amb boli *Bic* blau.

Degut a l'esgotament de les bateries dels codificadors angulars l'han hagut de recalular les orientacions del braç, això provoca un descalibrat. El cas es que després del recalibrat del braç sempre quedava uns milimetres curt en l'eix Y per la introducció de les peces de tipus 4. Donat que l'eix Y es suposadament constant als quatre pals s'ha optat per moure la base en lloc d'ofuscar el codi amb un cas especial. Concretament s'ha de rotar el suport dels pals sobre el Pal0 en sentit anti-horari quedant el peu del costat del pal 3 com indica la figura ??.

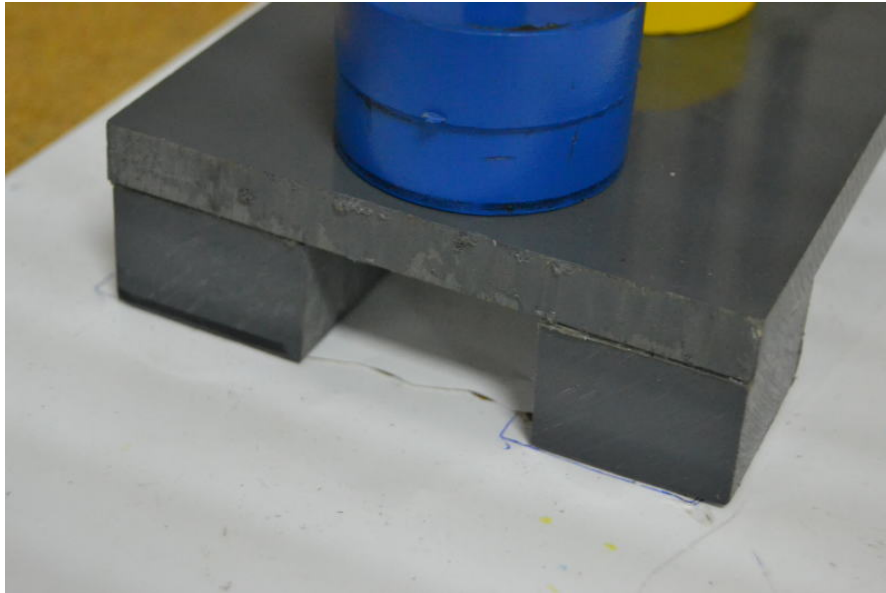


Figura 3: Pals moguts, correcció després de l'esgotament de les bateries

Aquest fet es degui molt possiblement a lleugeres modificacions de l'orientació de la pinça que s'han hagut de recalcular, però que no hem volgut afinar per l'inversió de temps que suposa i que ja va fer-se al seu moment.

2 Moviment del robot

En aquest punt descrivim el moviment del braç robot i el perquè de l'ordre o orientacions del mateix.

Totes les aproximacions a les peces es fan desde adalt. El braç robot es posiciona a XY sobre la peça en qüestió i després efectua un descens en Z . Un cop agafada efectua el moviment invers, ascens a Z i després el desplaçament corresponent al pla XY on es consideren segurs els moviments. Aquest pla de seguretat en la pràctica ve donat per la variable ZS fixada per defecte a 280.0.

En primer lloc el robot agafa les peces del les piles inicials. Aquestes són col·locades a la zona de paletització. Ambudes accions és duen a terme amb la pinça

perpendicular al pla XY, ja que es la posició més segura i còmode de programar per l'agafada de peces.

Cal remarcar que la pinça esta mirant cap al vidre protector i la paret, de tal manera que l'operador veu el metall. Aquest fet es deu a que si no s'agafés bé la peça i aquesta sortís disparada ho faria en direcció a la paret o el vidre protector, no cap a l'operari.

Un cop acabat el muntatge del palé és desmunta amb la pinça tombada, s'agafen les peces començant per les que es troben més a l'esquerra del braç robot, per col·locarles als pals.

El fet de tombar la pinça és per incrementar l'abast del braç robot. Amb la pinça perpendicular al pla XY, com s'havia efectuat el muntatge del palé, no és possible arribar als pals 3 i 4. Com que s'ha decidit tombar la pinça cap a l'esquerra¹, desde el punt de vista del robot, s'han de recollir les peces d'esquerra a dreta per tal de evitar que el braç col·lisi (fig. 2) amb algun dels munts del palé encara existents.

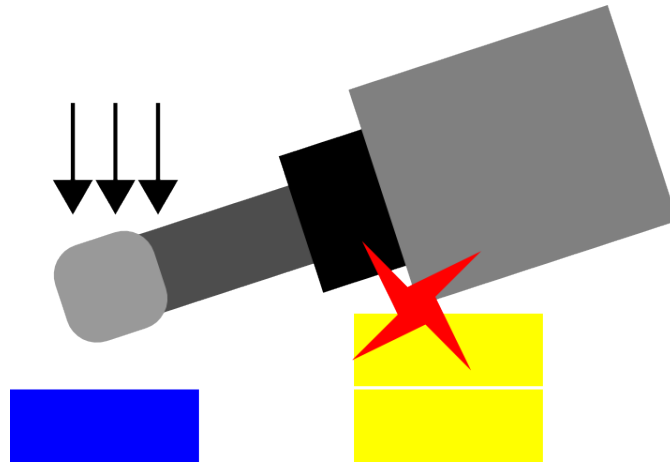


Figura 4: Colisió amb el munt de peces grogues intentant agafar l'última peça blava

Així doncs a la figura2 veim quin seria l'ordre de recollida depenent dels diferents angles per tal d'evitar les possibles col·lisions.

¹Els pals estan a la dreta del robot, per tant convé tombar la pinça a la esquerra per simplificar els moviemnts i evitar haver de fer un gir del braç

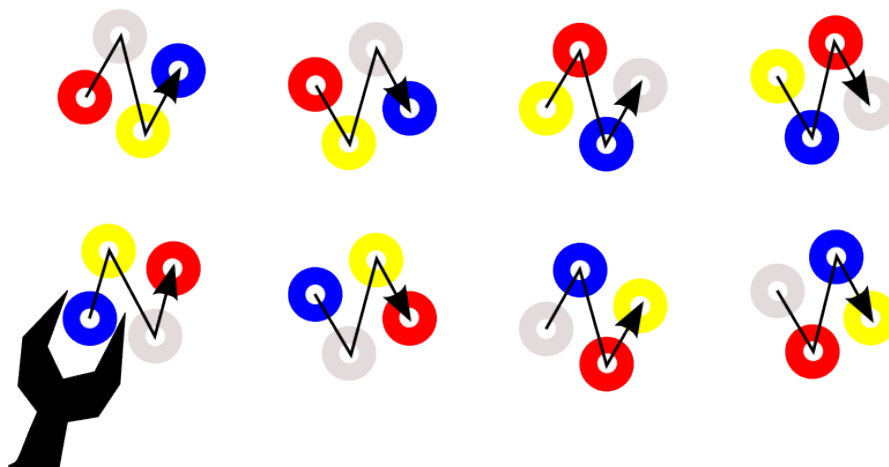


Figura 5: Ordre de recollida de les peces segons l'angle α

Així doncs l'ordre de despaletització depèn de l'angle i no del tipus de peça. Com és pot veure a la figura existeixen 8 possibles casos que es veuen reflectits en l'explicació del codi font corresponent, secció 4.2.3.

3 Càlculs

L'apartat de càlculs inclou, per una banda, els requerits per l'enunciat a l'haver de transformar el punt P del sistema de coordenades de la càmera al del braç robot. En aquest punt es mostra el procés de obtenció de les equacions per fer tal transformació i en l'apartat de codi es veu la seva implementació en el programa.

Per altra banda es mostra el càlcul dels punts emprats de la situació dels objectes en l'entorn a partir dels seus homòlegs. Com s'ha mencionat la posició dels pals es relativa a un punt, concretament tots els pals on es deixen les peces venen en funció de la posició del primer. De la mateixa manera la posició de cada pila on inicialment es recullen les peces ve en funció de la posició de la primera pila, el nombre de piles i la distància entre elles.

Finalment també es descriu el càlcul de punts en Z on s'agafen les peces en funció del pla de terra, l'altura de les peces i la quantitat de les mateixes.

3.1 Transformació de sistemes de coordenades

Amb l'enunciat tenim la posició de la càmera {C} respecte el robot {R} i la posició del punt P, que es el centre de sistema de coordenades del palé {P}, respecte la càmera. El que volem es posar el punt P en el sistemes de coordenades del robot.

Així doncs definim:

${}^R T_C$ La matriu de transformació de un punt del robot a la camera

${}^C T_P$ La matriu de transformació de un punt de la càmera al palé

${}^P P$ Punt en el sistema de coordenades del palé

${}^R P$ Punt en el sistema de coordenades del robot

Combinant aquestes matrius obtenim que:

$${}^R T_C \times {}^C T_P \times {}^P P = {}^R P$$

Per tant hem de cercar ${}^R T_P$:

$${}^R T_P = {}^R T_C \times {}^C T_P$$

$${}^R T_P = \left(\begin{array}{ccc|c} 0 & 1 & 0 & cPx \\ 1 & 0 & 0 & cPy \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{ccc|c} \cos\phi & -\sin\phi & 0 & oPx \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 & oPy \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right)$$

$${}^R T_P = \left(\begin{array}{ccc|c} \sin\phi & \cos\phi & 0 & oPy + cPx \\ \cos\phi & -\sin\phi & 0 & oPx + cPy \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right)$$

Així doncs per passar d'un punt del sistema de coordenades ${}^P P$ a ${}^R P$ ho feim així:

$${}^R T \times {}^P P = {}^R P$$

En el cas genèric agafam ${}^P P = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$

$$\left(\begin{array}{ccc|c} \sin\phi & \cos\phi & 0 & oPy + cPx \\ \cos\phi & -\sin\phi & 0 & oPx + cPy \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \times \sin\phi + y \times \cos\phi + cPy + cPx \\ x \times \cos\phi - y \times \sin\phi + oPx + cPy \\ -z \\ 1 \end{pmatrix}$$

De on extreim les següents equacions que seran implementades dins del nostre programa (secció 4.2.1).

$${}^R P_X = x \times \sin\phi + y \times \cos\phi + cPy + cPx$$

$${}^R P_Y = x \times \cos\phi - y \times \sin\phi + oPx + cPy$$

$${}^R P_Z = -z$$

3.2 Càlcul de piles, pals (X,Y) i altura de peces (Z)

A banda de la transformació de punts entre sistemes de coordenades hi ha altres punts a calcular. El primer són les piles d'on s'agafen les peces. Dins del llistat de punts tenim el punt de la primera pila, les següents es troben situades a un desplaçament en X. Així doncs en el nostre escenari senzillament s'ha de incrementar en X el valor de la distància entre piles. Succeeix exactament el mateix amb els pals on es deixen les peces.

Els detalls de implementació i valors de les constants de separació es poden veure en l'apartat específic 4.2.3 on s'explica el codi font. Cal remarcar que al codi també figura un desplaçament en Y, per si es volguessin posar les piles o pals fent una diagonal, però per defecte la *macro* està inicialitzada a 0.

4 Estructura del programa

El programa es divideix en cinc seccions.

Capçalera de l'enunciat Interfície de *macros* requerida per l'enunciat on hi ha paràmetres com l'angle α .

Macros pròpies Reassignació de valors per les funcionalitats extra que s'han implementat com ara emprar piles amb nombre de peces diferents, si es vol fer una execució amb l'enunciat original sols fa falta assignar els valors de les variables de la secció anterior.

Declaracions pròpies Aquí es declaren les variables globals pròpies del programa, en principi sols les ha de tocar el programador.

Rutines Codi de les rutines on es desenvolupa tota la pràctica.

Main Simple crida ordenada a les rutines per desencadenar l'execució.

4.1 Macros, paràmetres

Les *macros*² de la *capçalera de l'enunciat* ja estan explicades al propi enunciat, aquí s'expliquen les altres *macros* introduïdes per les funcionalitats pròpies, corresponents a l'apartat de *Macros pròpies*.

PINCA Valor de la pinça emprada, en el nostre cas el robot només en té una i és la 1.

DPALE Retard (*Delay*) de 4 segons requerit a l'enunciat un cop s'ha muntat el palé.

²Cal mencionar que aquests valors no són realment *macros* sinó variables, una *macro* es resol en temps de pre-processor no en temps de compilació o execució, el fet de que el llenguatge no disposi de *macros* porta alguns problemes mencionats a l'apartat de incidents??.

D#PINCA% Retards aplicats després de *O*#brir o *T*#ancar la pinça en funció de si es *I*%nicial o *F*%inal, abans o després d'agafar la peça.

VLENT Velocitat a la qual es duen a terme les aproximacions delicades, com l'agafada de peces.

VNORMAL Velocitat a la que es desplaça normalment el braç en els trajectes segurs.

ZS Pla *Z* on es consideren segurs els moviments del braç robot i on es duen a terme els desplaçaments llargs.

ZTPT Pla de Terra ($Z = 0$) amb la Pinça Tombada (angle inferior a 45 amb el pla *XY*)

ZTPR Pla de terra amb la pinça perpendicular al pla *XY*

TP Tipus de Peça diferents que tenim, es igual el número de munts del palé i de pals de destí.

PILES Número de piles d'on es fa la recollida inicial de peces.

PALS Número de pals de destí on es deixen les peces.

DT Retard per l'obertura i tancament de la pinça.

HDISC Altura de les peces (discs)

D#PILES Distància en *X* i *Y* entre les piles

D#PALS Distància en *X* i *Y* entre els pals

DZPAL Distància *Z* a baixar per introduir la peça dins el pal.

RELPALE(T,E) Distància relativa de la peça tipus *T* al punt *P*, en funció de l'eix *E* (1 per *X*, 2 per *Y*)

4.2 Estructura del codi

En el codi s'ha fet una funció per cada acció i alguna d'auxiliar transversal. La intenció es dedicar tota la feina a les rutines i que la lectura del programa es pugui llegir de manera natural en els nivells més alts entrant en detalls a mesura que es va aprofundint en les funcions.

Munta palé		Desmunta palé	
Agafa pila	Posa palé	Agafa Palé	Posa pal
Obre/tanca pinça			

Cal fer especial menció a dos vectors de control de l'estat del programa, aquests són `npcspila` i `alloc`.

`npcspila(p)` conté el nombre de peces que resten a la pila inicial d'on s'agafen les peces.

`alloc(m)` indica quantes peces ja estan a lloc, situades al munt `p` del palé, recordem que cada munt correspon a un tipus de peça.

Ambdues variables serveixen per controlar l'altura en *Z* d'on agafar les peces, i per saber quan ja no en queden més.

Amb aquest principi ens queda un cos principal tan lleuger com aquest.

```
970 gosub *INIT
980 gosub *CALCPTS
990 gosub *MNTPALE
1000 dly DPALE
1010 gosub *DESPAILE
1020 gosub *ACABA
1030 end
```

4.2.1 Auxiliars

Canvi sistemes de coordenades En la funció `CAM2ROB` es troba implementat el canvi de sistemes de coordenades de la càmera al robot. Com a interfície llegeix els punts `ppx` i `ppy` que són els que es desitgen transformar, així com les *macros* del programa `oPx`, `oPy`, `cPx`, `cPy` i `l'angle`. Deixa els valors de `ppx` i `ppy` en funció del sistema de coordenades del braç robot en les variables `prx` i `pry`.

```
2020 *CAM2ROB
2030     angleR = (angle*M_PI) / 180.0
2040     prx = ppx*sin(angleR) + ppy*cos(angleR) + oPy + cPx
2050     pry = ppx*cos(angleR) - ppy*sin(angleR) + oPx + cPy
2060     return
```

Obertura-Tancament de pinça Per tal de facilitar la llegibilitat del codi i no afegir constantment els retards per la obertura i tancament de pinça s'han definit les funcions `OPINCA` i `TPINCA` que encapsulen aquest comportament.

```
2080 *OPINCA
2090     dly DOPINCAI
2100     hopen PINCA
2110     dly DOPINCAF
2120     return
```

```
2130 *TPINCA
2140     dly DTPINCAI
```

```
2150    hclose PINCA
2160    dly DTPINCAF
2170    return
```

4.2.2 Inicialitzacions

En aquesta rutina es duu a terme l'operació de *homing* i demés inicialitzacions físiques del braç robot com l'obertura de la pinça o de les variables que controlen l'entorn del robot, com el comptador de peces que s'han posat a cada palé.

```
1050 *INIT
1060    servo ON
1070    ovrd VNORMAL
1080    mov Paralisi
1090    gosub *OPINCA
1100    for i = 1 to TP
1110        alloc(i) = 0
1120    next
1130    return
```

4.2.3 Càlcul de punts

Com ja s'ha comentat en la pràctica s'ha fet el màxim esforç per posar tots els punts en funció d'uns pocs, per això en la funció de càlcul de punts s'omplen els vectors que contenen els punts homòlegs calculats a partir de les *macros* que descriuen l'entorn físic. En aquest punt també es calcula l'ordre de recollida de les peces en funció de l'angle2. Per limitacions del llenguatge comentades a l'apartat de incidents 5 el codi no has sortir gaire elegant.

Un cop acabada la funció càlcul de punts tots els vectors de punts estan apunt per ser recorreguts per part del braç robot en els eixos (X,Y), el Z és calculat en temps d'execució ja que depèn de quina peça s'estigui tractant, ja que son apilades a l'eix Z. Aquests vectors emprats de interfície són:

Pila Cada component indica la posició (X,Y) de cada una de les piles d'on s'agafen inicialment les peces, en l'execució per defecte seran dues.

Pale Cada component correspon a la posició on anirà col·locat cada tipus de peça al palé.

PalI Posició inicial on es col·loca el braç per iniciar el descens sobre el pal.

PalF Punt final de descens del braç, on es considera que la peça ja hi ha entrat i pot ser amollada.

```

1140 *CALCPTS
1150   for pil = 1 to PILES
1160       Pila(pil) = Pila0
1170       Pila(pil).x = Pila(1).x + DXPILES * (pil - 1)
1180       Pila(pil).y = Pila(1).y + DYPILES * (pil - 1) 'es 0
1190   next

1210   for tipus = 1 to TP
1220       ppx = RELPALE(tipus, 1) 'paramentres de entrada de CAM2ROB
1230       ppy = RELPALE(tipus, 2)
1240       gosub *CAM2ROB           'prx i pry son parametres de sortida
1250       Pale(tipus) = Pale0      'Escriu altres components i orientacions
1260       Pale(tipus).x = prx
1270       Pale(tipus).y = pry
1280       PaleOut(tipus) = PaleOut0
1290       PaleOut(tipus).x = prx '- 7.0
1300       PaleOut(tipus).y = pry - 15.0
1310   next

1330   for pal = 1 to PALS
1340       PalI(pal) = Pal0
1350       PalI(pal).x = PalI(pal).x + DXPALS * (pal - 1)
1360       PalI(pal).y = PalI(pal).y + DYPALS * (pal - 1)
1370       PalF(pal) = PalI(pal)
1380       PalF(pal).z = PalF(pal).z - DZPAL
1390   next
1400
1410   angle = angle mod 360
1420   if ((0.0 < angle) and (angle < 45.0)) then
1430       ordre(1) = 3
1440       ordre(2) = 2
1450       ordre(3) = 4
1460       ordre(4) = 1
1470       return
1480   endif
1490   if ((45.0 < angle) and (angle < 90.0)) then
1500       ordre(1) = 3
1510       ordre(2) = 4
1520       ordre(3) = 2
1530       ordre(4) = 1
1540       return
1550   endif
1560   if ((90.0 < angle) and (angle < 135.0)) then
1570       ordre(1) = 4
1580       ordre(2) = 3
1590       ordre(3) = 1
1600       ordre(4) = 2
1610       return

```

```

1620     endif
1630     if ((135.0 <= angle) and (angle < 180.0)) then
1640         ordre(1) = 4
1650         ordre(2) = 1
1660         ordre(3) = 3
1670         ordre(4) = 2
1680         return
1690     endif
1700     if ((180.0 <= angle) and (angle < 225.0)) then
1710         ordre(1) = 1
1720         ordre(2) = 4
1730         ordre(3) = 2
1740         ordre(4) = 3
1750         return
1760     endif
1770     if ((225.0 <= angle) and (angle < 270.0)) then
1780         ordre(1) = 1
1790         ordre(2) = 2
1800         ordre(3) = 4
1810         ordre(4) = 3
1820         return
1830     endif
1840     if ((270.0 <= angle) and (angle < 315.0)) then
1850         ordre(1) = 2
1860         ordre(2) = 1
1870         ordre(3) = 4
1880         ordre(4) = 3
1890         return
1900     endif
1910     ' 315.0 > angle < 360.0
1920     ordre(1) = 2
1930     ordre(2) = 3
1940     ordre(3) = 1
1950     ordre(4) = 4
1960     return

```

4.2.4 Munta palé

Tal i com indica el títol en aquesta funció es munta el palé, aquesta tasca consisteix en iterar per cada una de les peces existents en cada una de les piles per agafar-les i depositar-les al lloc corresponent del palé.

```

2180 *MNTPALE
2190     peca = 1
2200     for pil = 1 to PILES
2210         for pecapila = 1 to npcspila(pil)
2220             gosub *AGAFPILA
2230             gosub *POSAPALE

```

```
2240         peca = peca + 1
2250     next
2260 next
2270 return
```

Agafa de la pila

```
2380 *AGAFPILA
2390     mov Pila(pil)
2400     Prvsnl = Pila(pil)
2410     Prvsnl.z = Prvsnl.z - ZTPR + (npcspila!(pil) - pecapila) * HDISC
2420     ovrd VLENT
2430     mvs Prvsnl
2440     gosub *TPINCA
2450     mvs Pila(pil)
2460     ovrd VNORMAL
2470     return
```

Posa al Palé

```
2480 *POSAPALE
2490     mov Pale(tipusP(peca))
2500     Prvsnl = Pale(tipusP(peca))
2510     Prvsnl.z = Prvsnl.z - ZTPR + alloc(tipusP(peca)) * HDISC
2520     ovrd VLENT
2530     mvs Prvsnl
2540     gosub *OPINCA
2550     mvs Pale(tipusP(peca))
2560     ovrd VNORMAL
2570     alloc(tipusP(peca)) = alloc(tipusP(peca)) + 1
2580     return
```

4.2.5 Desmunta palé

En aquest punt del programa el braç va munt a munt del palé agafant les peces i deixant-les als pals, no passa al següent munt mentre a l'actual quedin peces. L'ordre d'agafada dels munts ha estat calculat en *càlcul de punts* com ja s'ha esmentat 4.2.3.

```
2290 *DESPAILE
2300     for tipus = 1 to TP
2310         munt = ordre(tipus)
2320         while alloc(munt) > 0
2330             gosub *AGAFPALA
2340             gosub *POSADDEST
```

```
2350      wend
2360  next
2370  return
```

Agafa del palé

```
2590 *AGAFPALÉ
2600      mov PaleOut(munt)
2610      Prvsnl = PaleOut(munt)
2620      Prvsnl.z = Prvsnl.z - ZTPT + (alloc(munt) - 1) * HDISC
2630      ovrd VLENT
2640      mvs Prvsnl
2650      gosub *TPINCA
2660      mvs PaleOut(munt)
2670      ovrd VNORMAL
2680      alloc(munt) = alloc(munt) - 1
2690      return
```

Posa pal

```
2700 *POSADEST
2710      mov PalI(munt)
2720      ovrd VLENT
2730      mvs PalF(munt)
2740      gosub *OPINCA
2750      mvs PalI(munt)
2760      ovrd VNORMAL
2770      return
```

4.2.6 Acaba

De manera similar a l'inicialitza, acaba s'encarrega del posicionament físic del robot en una posició de repòs i la desconnexió dels servomotors.

```
1970 *ACABA
1980      mov Paralisi
1990      hopen PINCA
2000      servo OFF
2010      return
```

5 Incidents i problemàtica al desenvolupament

Durant el desenvolupament com es habitual hom es troba amb problemes a resoldre, alguns d'ells fruit de l'aprenentatge però d'altres deguts a limitacions de l'entronja sigui físic com virtual.

El primer problema a afrontar era fer arribar les peces als pas 3 i 4 com s'ha comentat. S'enten que aquest fet es intencionat per complicar una mica més la pràctica.

En el nostre cas això ha estat resolt tombant la pinça com ja s'ha exposat en les seccions anteriors. El fet de tornar la pinça porta una sèrie de complicacions addicionals. L'una és que el sistema de coordenades de la pinça no està ubicat perfectament a la zona de contacte on s'agafen les peces, això fa que s'hagi de fer una petita correcció en *XY* respecte a la posició quan està perpendicular. Aquesta correcció és veu al codi com una suma de 5.0 a *X* i 20.0 a *Y*, no definits com a *macro* per resgnació.

La sol·lució no es gaire elegant però sí efectiva, tal vegada si el treball a realitzar fos més complexe considerariem intentar moure el sistema de coordenades al punt correcte, ja sigui amb la funció `tool` com fent un càlcul propi a mà i tingeunt una funció similar a la `CAM2ROB`.

En l'entorn físic també ens hem trobat amb el problema que les peces tenen restes de cola i avegades s'aferren entre elles movent dues peces a la vegada, cosa que desberata totalment l'execució i requereix un reseteig manual de l'entorn.

S'enten que tots aquests problemes físics són fruit de viure en un món material amb certes complicacions que, al cap i a la fi, fan la vida un poc més interessant. Per altra banda si entrem en l'apartat de problemes o incidents en el programari ens trobam amb coses menys justificables.

El llenguatge de programació del robot es un autèntic desastre, incòmode i poc pràctic. Un dels principals problemes de la robòtica industrial és el temps que és té el robot aturat per programar-lo i d'aquí que s'inverteixi molt de temps en simuladors, que no poden simular els problemes físics esmentats anteriorment. Així doncs seria molt més eficaç tenir millors llenguatges que no indueixin a l'error i facilitin un desenvolupament més ràpid que no pas dedicar-se a simuladors.

Concretament al llenguatge li sobren coses com el numerat de línia, sobretot que l'entorn no ho faci de manera completament automàtica. Requerir numerat només fa que s'hagi de pitjar el botonet de reenumeració cada cop i esperar que es faci el procés, que incompressiblement tarda uns 2 o 3 segons.

Al llenguatge també són necessaris més elements, el primordial són variables locals i crides de funcions amb un fàcil pas de paràmetres, les variables globals i el `gosub` indueixen freqüentment a l'error.

Falta de *macros*, en tot programa, i més els que tracten entrans físics, són necessaris números màgics, aquests poden ser resolts amb una variable però si són necessaris per la declaració d'un vector tenim un problema, i més si el llenguatge no permet que aquests siguin dinàmics. És trist haver de posar números màgics per tot amb un comentari el costat on aparegui algun identificador per poder-los trobar al llarg del codi quan s'ha de realitzar algun canvi.

Tampoc estaria de més el suport de la funció de `case` amb floats, es cert que això requereix més complexitat, però com a mínim l'entorn podria aixecar un advertiment en ser usat, dient que no funciona.

Finalment comentar que el sistema de mostrat d'errors pobre a més de sovint

practicament inexistent.

6 Joc de proves

Per tal de provar la pràctica s'han realitzat una sèrie de jocs de proves descrits a continuació.

Cal esmentar que al no poder oferir una traça de l'execució aquest apartat sols serveix per mencionar proves interessants a fer per validar qualsevol canvi el programa.

La primera prova es realitza amb l'enunciat per defecte, sols dos munts i quatre peces, una de cada tipus. A continuació es duen a terme rotacions del palé.

Cada una de les rotacions es fa per comprovar que el braç agafi les peces amb l'ordre que toca sense collisonar amb els demés munts. Així doncs es realitzen 8 execucions corresponents als 8 casos 2 de recollida que s'han esmentat a l'apartat d'explicació de l'enunciat.

A continuació es realitza la prova de posar les 4 paces del mateix tipus, aquest test serveix per comprovar si funciona correctament el desplaçament en Z. Per altra banda amb aquest test es comprova que passa quan no existeix algun tipus de peça en la seqüència.

Finalment es prova l'execució amb piles de diferent dimensió (4 i 2) amb peces repetides del mateix color.

Cal esmentar que tots els tests foren passats abans de l'escotament de les bateries que guardaven els valors dels codificadors angulars òptics. Després del reestabliment del robot sols s'han fet proves amb les piles de diferent tamany amb $\alpha = 133$ i $\alpha = 240$.