

# Spomini na prve korake v robotiko v Sloveniji

Saša Divjak

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, SI-1000 Ljubljana

sasa.divjak@fri.uni-lj.si

Spomini segajo v sedemdeseta leta prejšnjega stoletja in na ustvarjalno delo na Inštitutu Jožef Stefan (IJS). Naslednje vrstice odražajo le enega od pogledov, saj nas je bilo ustvarjalcev kar nekaj, večinoma pa je naše delo preveval veliko razvojno raziskovalno navdušenje. Prav bi bilo, da te vrstice dopolnijo še drugi »igralci«, saj so moji spomini le delni, pa tudi po tolikšnem času že nekoliko zamegljeni.

Z današnjega stališča so stvari morda videti preproste, a takrat smo orali ledino in imeli za današnje pojme na voljo res skromno tehnologijo. Ker so bili tudi prvi koraki v robotiko s tem pogojeni, je prav, da o teh romantičnih časih povem kaj več.

Osnova so tedaj bili mikroročunalniki z mikroprocesorji 8008, kasneje pa seveda tudi drugimi. Prvi tak razvojni mikroročunalnik smo kupili po komponentah in prvi program zanj ročno, dejansko binarno vpisali s stikali kar v strojni kodi in upali, da se pri tem ne bi kaj zmotili, saj je bil postopek zamuden. Kasneje pa smo prešli na lasten razvoj mikroročunalnikov. V našem odseku za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko je bil temelj tako imenovani mikroročunalnik Darta 80, ki ga je leta 1980 modularno zasnoval Jurij Tasič. Zanimivost je še, da se je samo na IJS v različnih odsekih pojavilo več podobnih mikroročunalniških konceptov. To so bili časi Jugoslavije in hladne vojne med blokoma. Tako nismo smeli (z mikroročunalniki) avtomatiziranih sistemov, ki so imeli vgrajene ameriške mikroprocesorje, kljub siceršnjemu lastnemu razvoju, posredovati v dežele vzhodnega bloka. Mikroprocesorji so bili praktično prešteti. A o tem kasneje.

V sedemdesetih letih prejšnjega stoletja je bilo programiranje mikroročunalniških sistemov sprva zamudno, saj takrat nismo imeli zunanjih magnetnih

medijev (diskov ali vsaj kaset). In urejevalniki besedila, torej izvorne programske kode, so bili tedaj zelo primitivni, enovrstični, kar je za današnje čase nepojmljivo. Samo za zgled, kako je potekal postopek od odkritja programerske napake do njenega popravka. Naslednjih nekaj stavkov lahko razume le računalnikar tiste generacije. Koraki so bili naslednji:



Slika 1: Razvoj programske opreme je potekal s pomočjo teleprinterja

1. V računalnik smo preko luknjanega traku prebrali urejevalnik besedila
2. Prebrali so nato izvorno programsko kodo z ugotovljeno napako.
3. Popravili smo napako v izvorni kodi
4. Sledilo je luknjanje popravljenih izvornih kod na nov trak
5. Nato sledi branje tako imenovanega assemblerja (zbornika)
6. In nato branje popravljenih izvornih kod našega programa
7. Ahh, ponovno branje popravljenih izvornih kod (tako je pač zbirnik deloval, v dveh pasovih)

8. In končno luknjanje tako pridobljene binarne (strojne) kode na luknjan trak
9. In branje traku z binarno kodo nazaj v ciljni računalnik. Ob takratni hitrosti teleprinterjev (teletype) je ves postopek trajal kar nekaj minut. Danes za to potrebujemo drobec sekunde. Ni čuda, če smo se temu hoteli izogniti. In ob odkritju manjših programskih hroščev smo pogosto raje napakico popravili kar na strojnem nivoju (če se je dalo) in »spekli« nov EPROM. To je vrsta bralnega pomnilnika, ki omogoča večkratni zapis podatkov. Pomnilnike pobrišemo z UV-svetlobo, ki preko odprtine na čipu toplotno ogreje pomnilne celice, ki zato pozabijo staro vsebino. Sledi programiranje z enakim programatorjem.

Posledica take slabe navade je lahko bila, da smo na koncu sicer imeli pravilno delujoč program, njegova izvorna koda pa temu ni več ustrezala. Za današnje razmere hudo napačen pristop.

Programiranje je v tistih časih tako praviloma potekalo na ravni zbirnega jezika. Razvoj v svetu je seveda tekkel naprej in v drugi polovici sedemdesetih let smo dobili nekaj računalnikov PDP 11 znamke Digital, ki pa so že bili opremljeni z diskom. Za tak računalnik sem razvil tako imenovani križni zbirnik (crossassembler). Ta je omogočal bolj udobno in hitrejše razvijanje in popravljanje programov za naše avtomatizirane sisteme. Še vedno pa je programiranje potekalo na ravni zbirnega jezika, rezultat pa je še vedno bila binarna koda na luknjanem traku. A takrat so bili luknjači in bralci parirnega traku že precej hitrejši.

Za hip se tu ustavimo in se povrnimo na problematiko prepovedi izvoza računalniških avtomatizacij z ameriškimi čipi na vzhod. V odseku smo dobili projekt z Iskro, v okviru katerega naj bi razvili računalniško krmiljen spektrometer za znano firmo Carl Zeiss, ki pa je bilo v takratni Vzhodni Nemčiji. Kaj storiti? Povrnili smo se h koreninam pojava mikroprocesorjev. Prvi mikroprocesor je bil 4 bitni Intel 4004, ki je v bistvu izhajal iz kombinacije CPE in pomnilnika. In prav tako pot smo ubrali z originalno kombinacijo klasičnega kalkulatorskega čipa in pomnilnika ROM. Tako smo dobili »svoj lastni« mikroračunalnik, ki ni bil podvržen embargu. Dopolnili smo ga s svojim naborom ukazov in s posebej zanj razvitim zbirnim jezikom in zbirnikom. Za aparaturno zasnovo je poskrbel Jurij Tasič, programski del pa je bil moj. Seveda so bili v razvoj vključeni tudi drugi sodelavci.

Spomnim se, kako smo s prototipom z avtom odšli v Vzhodno Nemčijo, za takratno železno zaveso. In v Carlu Zeissu so nam najprej pobrali potne liste in smo jih dobili nazaj šele po uspešni predaji prototipa. K sreči brez kakšnih zapletov. Spektrometer SPEKOL je bil nato uspešnica Iskre Horjul in je tudi dobil zlato nagrado v Leipzigu. Ekipa v Sloveniji pa je tudi dobila priznanje takratnega Sklada Borisa Kidriča.

Take in podobne avtomatizacije so bile dobre izkušnje za prve korake v robotiko. Prvi robot smo leta 1978 razvili v sodelovanju z inštitutom Mihajlo Pupin iz Beograda. Elektromehanski del so razvili oni, računalniški del pa pri nas. Spet smo vzeli kot osnovo mikroračunalniški sistem Darta. Zanimiv pa je bil razvoj programske opreme, ki sva jo razvila Pavle Oblak in jaz. Navdušilo me je teamsko delo in modularen pristop. S Pavletom sva predvideno programsko podporo razdelila v dva dela in vsak je delal svoje. Vendar en del ni mogel delovati brez drugega. Če se prav spomnim, je eden prevzel gonilnike periferije (torej bodočega robota), drugi pa samo programiranje bodočega robota. Ker pa je delo potekalo vzporedno in vsak od naju še ni mogel imeti dela drugega, je bilo pomembno, da sva jasno definirala stične točke, danes bi temu rekli API (Application Programming Interface). Za (začasno) manjkajoče dele pa sva sestavila programski simulator (morda bolje emulator) in bila tako med seboj neodvisna. Verjetno pa je kljub temu pomagalo, da sva delala v istem prostoru.

Ko je bil »najin« del razvit in v maksimalni možni meri preizkušen, je sledilo potovanje v Beograd. In v avtu sva imela naš računalnik. Po nekajurni vožnji je sledilo prvo srečanje z elektromehanskim delom robota. In skoraj neverjeten čudež. Praktično takoj sta se »naš« in Pupinov del v celoti razumela, čemur je



Slika 2: Spektrometer Spekol

seveda sledila vesela novica v Ljubljano. V dolgoletni razvojni praksi se kaj takega redko zgodi. Striček Murphy (dobro znani Murphyjevi zakon, da če kaj gre lahko narobe, se bo to zanesljivo zgodilo) se je očitno med dolgo vožnjo proti Beogradu utrudil in zaspal.

Po prvem jugoslovanskem robotu so sledili projekti robotizacije v sodelovanju z Gorenjem. Takrat je na IJS nastala zelo močna ekipa, ki je pokrivala praktično vse. Če se ne motim, je bilo skupaj s sodelavci Gorenja v razvoj tako ali drugače vključenih okrog 50 ljudi. V računalniškem smislu je spet služil kot osnova mikroročunalnik Darta, ki pa je tedaj že bil dopolnjen z disketnim sistemom. Razvoj je bil popolnoma naš. Sam lahko nekaj besed več povem o programskem delu. Tudi za disketno enoto so moji sodelavci sami razvili krmilnik (aparaturni vmesnik), za katerega pa je bilo treba še napisati programski gonilnik. Vse, kar smo imeli na voljo, so bile specifikacije integriranega vezja v krmilniku. To je bilo treba preštudirati in nato hoditi korak za korakom. Prvi uspeh je bil, da smo znali na disketo zapisati na absolutne naslove sledi s testnimi podatki in jih ponovno prebrati nazaj. To so seveda zelo nizkonivojske operacije. Pri popularnih računalnikih PC bi temu ustrezal BIOS. Sam sem pred tem že imel izkušnje z znanim Iskrinim računalnikom IskraData 1680. Tako je sledil razvoj višjenivojskih operacij

in končno smo dobili svoj lasten diskovni operacijski sistem (neke vrste DOS). Luknjani trak je šel v zgodovino, programe smo lahko iz razvojnega računalnika (Digitalov PDP) prenašali na ciljnega preko disket. A lastni razvoj ima tudi svojo ceno. »Naš« format disket je bil seveda drugačen od formata, ki ga je razumel PDP-jev operacijski sistem (takrat še RT11). Potrebna je bila pretvorba. Z nekaj spretnosti smo tudi pri našem sistemu uvedli isti format zapisa in stvar poenostavili. In nauk iz tega? Dobro se je držati uveljavljenih standardov.

Programiranje programske opreme robotov je dokaj kompleksna zadeva. Ne pozabimo, da smo vse to še vedno delali na nivoju zbirnega jezika. Kompleksnost programske opreme seveda olajša modularno programiranje, ki predvsem omogoča testiranje posameznih, malo bolj enostavnih modulov. Nedvomno so pri tem pomagale izkušnje s prvim jugoslovanskim robotom. Naslednji korak je bil razvoj lastnega večopravilnega operacijskega sistema (multitasking). Po mojih zamislih in vodstvom ga je nato realiziral v okviru svoje diplome eden od mojih študentov. Še leta sem nato na fakulteti pri predmetu »Operacijski sistemi« predaval poglavje »Naredimo si sami lasten operacijski sistem«. Danes je to seveda zastarelo in operacijski sistemi so danes precej bolj dodelani. A je delovalo. Če bi danes korakal v tej smeri, bi uporabil popularni LINUX (a tega takrat še ni bilo).



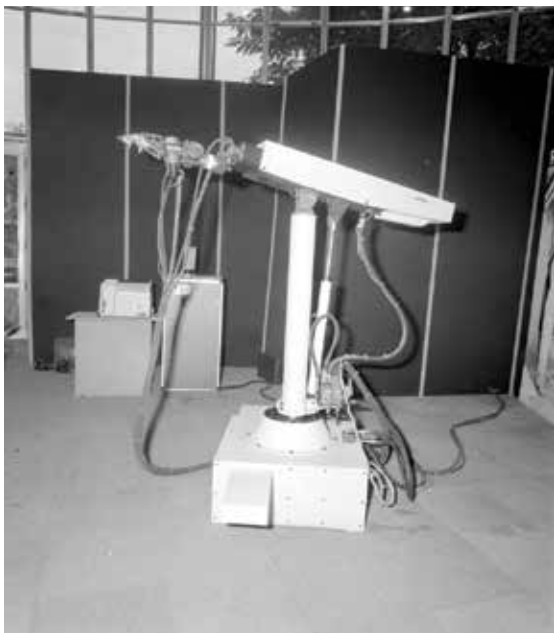
Slika 3: Prvi jugoslovanski računalniško krmiljeni robot UMS-2. Na sliki so tudi člani ekipe Jadran Lenarčič, Pavle Oblak, Uroš Stanič in Saša Divjak

V bistvu je bila ta sistemska programska oprema jedro vseh takratnih robotov, ki smo jih razvili na Inštitutu Jožef Stefan. V letu 1979 sem sodeloval pri razvoju robota GORO 1 za Gorenje in v letu 1980 robota STEFAN 80, ki naj bi bil namenjen kovanju.

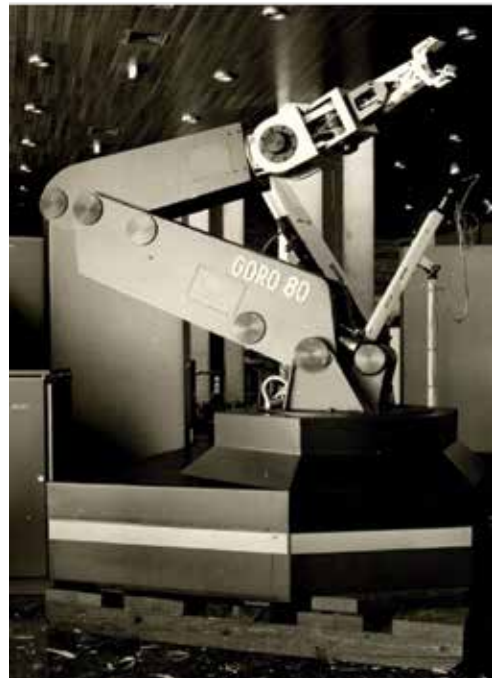
Za robot GORO 101 je v letu 1983 ekipa v sestavi Pavle Oblak, Uroš Stanič, Jadran Lenarčič, Saša Divjak, Danijel Šlebinger, Anton Ružič, Alojz Žnidaršič, Viktor Vavpot, Boris Krevzel, Mimir Vukobratović, Dragan Hristić in Miroslav Štrubelj prejela nagrado Sklada Borisa Kidriča za izume in tehnične izboljšave.

STEFAN 80 je bil zares impozanten robot, ki je s svojo roko imel delovni obseg nekaj metrov in je bil zmožen prenašati tudi malo težji tovor. Številka 80 v imenu robota pravzaprav pomeni, da je imel nosilnost kar 80 kg. Seveda so tudi pri razvoju programske opreme sodelovali tudi drugi. Spomnim se predvsem Antona Ružiča, pa seveda Pavleta Oblaka.

Prav na robot STEFAN 80 je navezana še zanimiva anekdota. Robota naj bi razstavili na konferenci v Portorožu. In, ko je bil postavljen, ni delal. Kriza! Sledilo je ugotavljanje, zakaj robot miruje. Seveda človek, vsaj programer, najprej pomisli, da je napaka v njegovem programu. In sledilo je sistematično preverjanje modula za modulom. Ure so tekle in dan se je prevesil v pozno noč. In končno nenavadno odkritje. Napaka ni bila programska, pač pa začuda v mikroprocesorju, v katerem se je – zelo čudno – po-



Slika 4: **Industrijski robot GORO1**



Slika 5: **Industrijski robot STEFAN 80**

kvaril en časovnik (timer), čeprav je sam mikroprocesor navidezno deloval povsem v redu. Z malo iznajdljivosti smo okvarjeni časovnik programsko simulirali in robot je spet, še pravočasno, zaživel.

Pa saj smo bili navajeni dolgotrajnega dela. Nič nenavadnega ni bilo, če smo na projektih delali tudi več kot 12 ur na dan. To so bili romantični časi, prepleteni z navdušenjem. V tistih časih se je ponekod že pojavil tudi termin inteligentne robotike. Vendar so tisti, ki so začeli s tako dejavnostjo, robote kupovali in jih nadgrajevali v smislu umetne inteligence. Mi pa smo robote razvijali in sami delali. Hiše ne moreš zgraditi, če nimaš prej temeljev. Tudi inteligentnih robotov bi ne bilo, če ne bi nekdo najprej ustvaril robotov.