

SCIENCA REVUO de  
Internacia Scienca  
Asocio Esperantista  
BEOGRAD, Jugoslavio

ET Vol. 27  
n-ro 5/6(121/122)  
30.12.1976.

## PERKOMPUTERA SCIENCA EDUKADO<sup>+</sup>)

D.L.BITZER,

B.A.SHERWOOD

P.TENCZAR, URBANA, ILLINOIS, USONO

(PRELEGO EN INTERNACIA SOMERA UNIVERSITATO, KOPENHAGO, 1975.)

Kreskas la uzo de komputeroj en la scienca edukado, ĉu en la rekta instruo, ĉu kiel komputilo. Sciencaj instruistoj povas prepari perkomputerajn edukajn materialojn kun kiuj lernantoj interagis je sia preferata rapideco, donante al la individua studanto paciencon kaj inteligentan helpinstruiston, kiu povas simuli kompleksajn fenomenojn, ekzercigi pri bazaj konceptoj, kaj diagnozi kaj trakti malfortecojn de la antaŭ-preparado aŭ kompreno. Studantoj povas skribi mem siajn programojn kaj trakti problemojn kiuj transpasas la limojn de tradiciaj analitikaj procedoj.

Kvankam komputeroj suplementas la sciencan edukadon en centoj da institucioj ĉirkaŭ la mondo, nur en kelkaj lernejoj kaj universitatoj ekzistas tutaj kursoj uzante la komputeron funde. El tiuj malmultaj projektoj, kiuj naskis kompletajn perkomputerajn kursojn, ankoraŭ malpli esploris la inĝenierajn demandojn, kiel ebligi amasan utiligadon; plejparte projektoj direktiĝis al provoj kaj malampleksa utiligo. La sistemo PLATO IV de la Universitato de Illinois estas la kulmino de la grava esplora kaj evoluiga klopodo, komencita en la 1959., kondŭkanta al vivipova perkomputera eduka sistemo. Pli ol 4000 homoj da perkomputeraj edukaj materialoj jam kreiĝis en la sistemo PLATO, inkluzive de la pli ol 40 duonjaraj kursoj en diversaj fakoj. Ĉi tiu granda lecionaro enhavas lecionojn, kiuj reprezentas ĉiujn ĉefajn tipojn de la utiligo de komputero kaj de instruo-stiloj, kaj ni uzos ekzemplojn de PLATO-lecionoj por ilustrila rolon de komputero en la scienca edukado.

<sup>+</sup>) Traduko fare de B.A.Sherwood de referato antaŭe prezentita ĉe konferenco de UNESCO

La ekzemplaj lecionoj kiuj sekvas helpos difini nian koncepton de la perkomputera edukado: ni precipe esperas dispeli la miskoncepton, ke la rolo de komputero devas limiĝi al la prezento de simplaj oble-elektaj demandoj. La ekzemplajn lecionojn sekvas diskuto de la fundamentaj problemoj ligataj al la problemoj, kiel fari la perkomputeran edukadon vivipova.

La bildoj kiuj akompanas la ekzemplajn lecionojn estas duonmezuraj fotoj de la 21x21 cm<sup>2</sup> plasma panelo de individua studenta prezentilo PLATO. La plasma panelo montras oranĝan tekston kaj desegnaĵojn sur nigra fono; negativoj vidiĝas ĉi tie por faciligo de represo. Gravas memori, ke ĉiu studento havas sian propran individuan prezentilon (kun prezenta ekranaro kaj tajpila klavaro) kaj ke estas malprobablege, ke du studentoj havas la saman bildon sur la ekrano samtempe. Male, estas neprobable, ke du studentoj spertus identajn prezentaĵojn de la leciono, ĉar la komputero interagas kun ĉiu studento laŭ individueca maniero.

## EKZEMPLOJ DE LECIONOJ

### *Biologio*

Simulaj teknikoj en kurso de la genetiko instruas al studentoj pri la leĝoj de la heredo. Ĉi tiu komputera laboratorio permesas al studentoj gvidi normalan serion de pariĝoj de fruktomuŝoj. Ĉiu studento ricevas diversajn rasojn de gepatraj muŝoj por la elekto. Krom muŝoj kun normalaj karakteroj, mutaciaj muŝoj povas posedi tiajn trajtojn, kiaj blankaj aŭ ruĝetaj okuloj; mankaj aŭ senvejnaj flugiloj; kaj nigraj, ebonaj, aŭ striaj korpoj. La muŝoj ne estas antaŭe konservitaj bildoj sed konsistas el kunmetitaj partoj: kapo, okuloj, torako, kaj abdomeno. Ĉiu muŝo mallonge esprimiĝas kiel unu komputera vorto, kiu specifikas la ekzaktan tipon de ĉiu korpoparto. Tio similas al la biologia kodo de informoj en genoj lokigataj en kromosomoj. La komputero povas konstrui muŝojn kun iu ajn kombino de normalaj kaj mutaciaj karakteroj. Kiam la studento petas, ke pariĝo efektiviĝu, en la daŭro de sekundoj la idoj montriĝas. Ĉar plejparte mutaciaj karakteroj estas recesivaj, ili ne aperas en la idoj de la unua generacio. La studento povas elekti kelkajn el la unuaj idoj kiel gepatrojn de la dua generacio (figuro 1). La studentoj konservas sciencan taglibron pri ĉiuj ĉi eksperimentoj tiel, ke ili poste povas fari statistikajn provojn de hipotezoj kaj redoni rezultojn en formala laboratoria raporto.

Ĉiuj idoj generiĝas per la utiligo de hazardaj nombroj kaj de probablecoj bazataj en la Mendel-aj leĝoj de la heredo. Tiel, ĉi tiu analogo de la reala biologia sistemo produktas milojn da eblaj rezultoj kaj donas al ĉiu studento propran eksperimenton. Serio de kutimaj eksperimentoj kun fruktomuŝoj

daŭras plurajn monatojn. Oni devas prepari kulturmedion, steriligi botelojn, ekzameni muŝojn je nekutimaj horoj, ktp. Uzante komputeron, studento povas fari la bazajn eksperimentojn de la Mendel-a genetiko dum 3 au 4 horoj da laboro. Tiu tempo-kunpremo de la eksperimentoj igas la logikan fluon de la plur-faza procedo multe pli komprenebla. Krome, ĉi tiu eksperimento en kutima kurso preskaŭ ĉiam efektiviĝas per rutinea stilo, ĉar mankas sufiĉa tempo aŭ helpo por ebligi al studento sekci propran vojon. Kun komputero, la studento povas esplori diversajn eksperimentajn strategiojn, ĉar oni en nur kelkaj minutoj povas rekomenci, kaj helpo estas ĉiam disponebla.

Tiu ĉi leciono de la biologio estas unu el la tridek-kvin lecionoj kreitaj por enkonduki komencajn universitatajn studentojn en la genetikon kaj evoluon.<sup>2)</sup> La studentoj laboras po 4 horoj semajne kun komputero, kiu prezentas la tutan materialon, sekvata de 2-hora diskutado kun homa instruisto.

### Geometrio

Rekono de desegnoj estas baza trajto de serio de la 15 lecionoj kreitaj por instrui neformalan geometrion al mezgradaĵ lernantoj.<sup>3)</sup> La kurso intencas doni al la lernantoj spertojn kun la faktoj de la ebena geometrio (simetriaĵ proprecoj, difinoj, ktp.) antaŭ ol konsideri formalajn pruvojn. La lernantoj estas petataj de la komputero konstrui geometriajn figurojn per la uzo de grupo de 8 klavoj por la movo de montropunkto ĉirkaŭ la ekrano (figuro 2). Kiam li estas preta, la

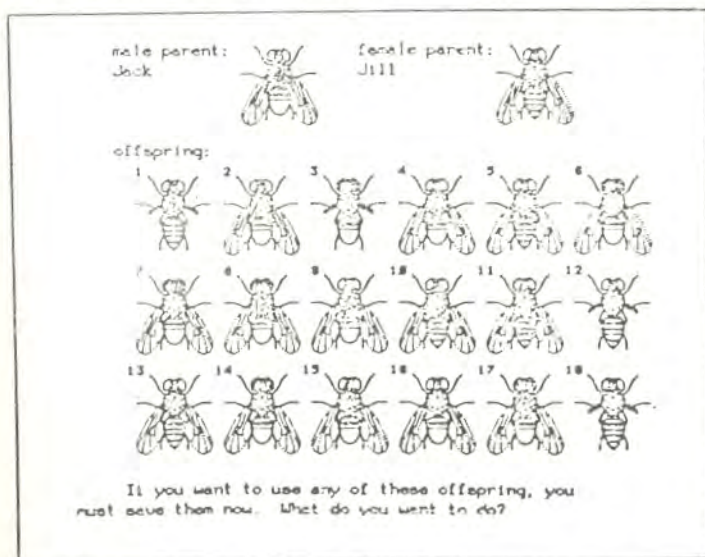


Fig. 1

Genetiko de la fruktomuŝoj. Kelkaj el la idoj havas blankajn okulojn kaj/aŭ malhavas flugilojn, trajtoj ne videblaj ĉe la gepatroj. La studento notas la observatajn karakterojn en sian taglibron. Traduko: "Se vi deziras uzi iujn el ĉi tiuj idoj, vi devas nun konservi ilin. Kion vi deziras fari?" La figuro estas iom pli ol duonmezura negativa foto de la ekrano de la studento.

lernanto povas peti, ke la komputero "juĝu" la laboron. Figuro 3 elmontras tipan sinsekvon de la interagado de lernanto kaj komputero. Estas klare, ke oni devas uzi kompleksajn juĝprocedojn, ne antaŭe konservitajn respondojn, ĉar la grandeco, orientiĝo, kaj eĉ la specifa tipo de figuro povas esti arbitraj. Krome, kiam la lernanto desegnas malkorektan figuron, la komputero devas fari pli ol simple respondi, ke la figuro estas malkorekta, aŭ la lernanto koleros. Necesas direkti la atenton de la lernanto al tiuj specifaj aspektoj de la desegno kiuj estas nekontentigaj.

### *Kemio*

Dialogo kun la komputero provizas la studenton kun informoj bezonataj por identigi kemiajn nekonataĵojn en leciono pri la kvalita analizo.<sup>4)</sup> La studento-komputero interparolo, en la natura lingvo de la studento, emas maksimumigi flekseblecon de la procedo por la studento.<sup>5)</sup> Jen ekzemplo de dialogo inter universitata studento kaj komputero. (Memoru, ke ĉi tiu dialogo fakte aperas sur prezenta ekrano, ne sur teletajpilo. Ekzemple, la spektroj montriĝas sur la ekrano en koloroj).

Studento: Kia estas la koloro?

PLATO: La solido estas blanka kaj la likvo estas senkolora.

Studento: Kia estas la fandopunkto?

PLATO: La fandopunkto estas 10-21°.

Studento: Kiel aspektas la nmr?

PLATO: Jen la 60-MHz protona nmr-a spektro. Por tabelo de kemiaj ŝanĝoj, premu la klavon INFORMO. (La spektro montriĝas sur la ekrano).

Studento: ir

PLATO: Jen la infraruĝa spektro. (Ĝi montriĝas sur la ekrano.)

Studento: En kio la nekonataĵo solviĝas?

PLATO: Bonvole faru pli detalan demandon.

Studento: Ĉu ĝi solviĝas en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>?

PLATO: La nekonataĵo solviĝas en malvarma koncentrita H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Studento: Elementa Analizo

PLATO: Ni povas doni rezultojn de la natria kunfandiĝo. Por provi, premu LAB.

Studento: Pikrata acida derivaĵo

PLATO: Bonvole pardonu... La sekvaj vortoj ne estas en mia vortaro... Pikrata

Studento: dnf

PLATO: La nekonataĵo reakcias kun 2,4-dinitrofenolohidrazino por formi novan substancon kun fandopunkto de 249-251°.

Studento: Kia estas la bolpunkto?

PLATO: La bolpunkto estas 195-200° je 760 mm.

Studento: Permanganata provo

PLATO: La nekonataĵo reakcias malrapide kun KMnO<sub>4</sub>.

Studento: Stano kaj HCl

PLATO: Bonvole pardonu... La sekvaj vortoj ne estas en mia vortaro... Stano

Draw a quadrilateral with only two lines of symmetry.



a

Draw a quadrilateral with only two lines of symmetry.



b

Draw a quadrilateral with only two lines of symmetry.



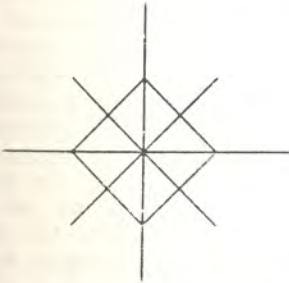
c

Draw a quadrilateral with only two lines of symmetry.



d

Draw a quadrilateral with only two lines of symmetry.



No, your figure has four lines of symmetry.  
Try again.

Fig. 2)

Desegno de geometria figuro. La lernanto movas punkton kaj markas verticojn por konstrui la figuron. La komputero montras al la lernanto, ke lia figuro estas nekorekta, per desegno de la kvar linioj de simetrio. Traduko: "Desegnu kvar-linian figuron kun sole du linioj de simetrio". "Ne, via figuro havas kvar liniojn de simetrio. Provu denove".

Studento: Tollen

PLATO: Ne estas reakcio kun reakciaĵo Tollen.

La nekonataĵo estas:

Studento: Acetfenino

PLATO: Malĝusta literumo.

Studento: Acetfeneno

PLATO: Bone! Por nova nekonataĵo, premu la klavon SEKVA.

Post kiam la studento akiras sufiĉajn informojn pri la nekonataĵo, li povas provi identigon (figuro 4). Vidiĝas la neĝuste literumita sed korekta identigo de la studento. La komputero rekonas, ke la respondo estas korekta sed la literumo nekorekta. Literumaj rekonoprocedoj, kiaj ĉi tiuj, devas esti baza parto de eduka komputera sistemo, ĉar, en ĉi tiu kazo, se oni diras al la studento nur tion, ke li eraras, li plejeble perdus multan tempon serĉante alian substancon.

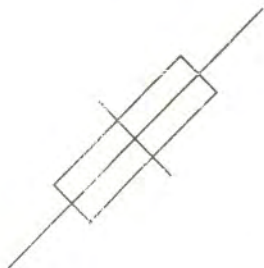
La poentoj montrataj en la figuro 4 rilatas al tio, ke la studento provas identigi la nekonataĵon kun minimuma "kosto" de kemiaj kaj fizikaj provoj. Kelkaj provoj kostas pli ol aliaj: ekzemple, determini la infraruĝan spektron kostas dek poentojn, sed la fandopunkto kostas nur unu poenton. La kemiisto, kiu verkis la lecionon, deziris kuraĝigi studentojn fari simplajn provojn antaŭ ol uzi multekostajn aparatojn, kia infraruĝa spektromezurilo.

Ĉi tiu leciono ne destiniĝas al anstataŭigo de la laboratorio de la organika kemio. Pli ĝuste ĝi intencas akriĝi la intelektan procedon de la formigo de demandoj kaj de la interpreto de rezultoj, antaŭ ol la studento eniras la laboratorion mem. Tiel, dumladaŭro de kelkaj horoj, studento povas identigi logike 5 au 6 nekonataĵojn - ofte pli ol la studento identigus dum la tuta duonjaro de laboro en la laboratorio. Jen nur unu el la multaj kemiaj lecionoj, sumante 50 horojn, instruataj per komputero ĉe la Universitato de Illinois.<sup>5)</sup>

### Fiziko

En la enkonduka kurso de mekaniko studentoj estas petataj aktive partopreni en la derivado de bazaj kinematikaj formuloj. En la figuro 5a la studento donas algebre nekorektan esprimon en unu etapo de la derivado: korekta respondo estas  $(v_1 + v_2)/2$ . En la figuro 5b simpla nombra ekzemplo montras al la studento la nekonsekvencon de lia formulo. Ĉi tiu procedo montras al la studento gravan metodon por kontroli la validecon de algebra esprimo, kaj ĉi tiu metodo de la nombra anstataŭigo ebligas la komputeron taŭge juĝi ĉiujn eblajn algebrajn respondojn, sendepende de la formo. En la figuro 5c la studento donas komplikatan sed algebre korektan respondon, kaj la komputero rimarkas, ke la respondo estas korekta sed ne en la plejsimpla formo. Tiu ĉi distingo fariĝas surbaze de la nombro de matematikaj operacioj renkontataj dum la nombra takso de la studenta respondo.<sup>7)</sup> Kiel en antaŭaj ekzemploj, vidiĝas, ke la juĝo de studentaj respondoj per procedo anstataŭ

Draw a quadrilateral with only two lines of symmetry.



Good! Your figure has symmetry lines that do not go through vertices.

a

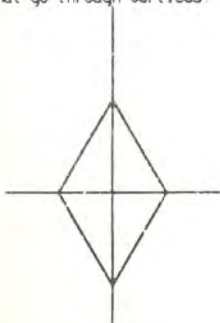
Now draw a quadrilateral with only two lines of symmetry that go through vertices.



You drew that figure before. Are you trying to fool me?

b

Now draw a quadrilateral with only two lines of symmetry that go through vertices.



Very good!!!

c

Fig. 3)

Konstruo de specifaj figuroj. Post sukcesa desegno en la unua problemo, la komputero petas kvarlinian figuron kun du linioj de simetrio, kiuj kontraste kun la unua desegno trairu la verticojn. La lernanto desegnas figuron de la sama tipo (en b) antaŭ ol korekte solvi la duan problemon (en c). Notu ke la komputero korekte klasifikas la desegnojn sendepende de la grandeco, formo, aŭ oriento.

The unknown is --- > acetphenon no

Your answer is misspelled.

SCORE 54

Fig. 4)

Kvalita organika analizo. La studento korekte identigis la substancon sed literumis erare. La poentoj ("SCORE") mezuras la efikecon de la studento per ŝarĝo por kemiaj provoj proporcia al la aktuala elspezo por tiaj provoj en la reala laboratorio.

per la komparo kun listo de konservataj respondoj donas al la studanto pli da libereco kaj kontribuas al pliintensigata interagado.

La jena ekzemplo venas de duonjara perkomputera kurso de la mekaniko<sup>8)</sup>, en kiuj studentoj laboras po 4 horoj semajne ĉe komputera prezentilo. La komputero enkondukas bazajn konceptojn, traktas aplikojn, simulas fenomenojn, kaj ekzamenas komprenon. Tiun laboron komplementas prelegoj, klasdiskutoj, kaj laboratoriaj ekzercoj.

#### *Matematiko*

Ekzemplo de la komputero kiel ilo vidiĝas en la figuro 6. La studanto skribis mallongan programon por taksi kaj desegni parametratan funkcion, kun la angulo "t" kiel la varianta parametro. Oni provis fari la komputan lingvaĵon<sup>9)</sup> tiom similan kiom eble al la normala algebro por eviti konfliktojn kun la natura lingvo de senpera instruo.

(La plej evoluigita kaj sukcesa integriĝo en la edukado de la komputero kiel ilo okazis ĉe Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, Usono, kie preskaŭ ĉiuj studentoj, inkluzive de nesciencaj studentoj, verkas komputerajn programojn kiel integra parto de siaj studoj kaj distriĝo<sup>10)</sup>).

#### *Programado fare de geknaboj*

Oni povas instrui junajn geknabojn pri la bazaj elementoj de programado. Unue, serio de ludoj instruas al la infano kompletan de operacioj, kiujn povas plenumi hometo sur la ekrano. En la figuro 7a la infano promeniĝis la hometon, paŝon post paŝo, tra labirinto: en la figuro 7b la infano lernas kiel levi pilkon, porti ĝin, kaj mallevi ĝin. (Kompleto de 8 klavoj sur la klavaro movigas la hometon unu paŝon en la 8 bazaj kompasaj direktoj. La "plus" a klavo levigas la pilkon kaj la "minus" a klavo mallevigas ĝin.) Post la lerno de la bazaj operacioj, la infano povas skribi liston de operacioj, kiun la hometo ellaboru, kiel en la figuro 8, kaj la infano povas rigardi la hometon dum ĝi plenumas la taskon.<sup>11)</sup> Grava aspekto de ĉi tiu ekzerco estas, ke la infano povas eĉ skribi nelogikan programon kaj ricevi erarmontron, kia "Ne estas pilko ĉi tie por levi!" La geknaboj ŝatas doni ordonojn al la hometo, kaj ili vidas la bazajn aspektojn de komputero kaj de programo: paŝon-post-paŝa procezo, ripetaj procezoj, koncepto de operacio, ktp.

### PROBLEMOJ

Per ekzemploj ni difinis la signifon por ni de la frazo "perkomputera edukado". Nun konvenas demandi, kiaj estas la bazaj problemoj en la fako de la perkomputera edukado.



If the acceleration is constant, the average velocity  $\bar{v}$  can be written as a simple function of the initial velocity  $v_i$  and the final velocity  $v_f$ . Write an expression involving  $v_i$  and  $v_f$ :

$$\bar{v} = \frac{v_f - v_i}{2} \text{ no}$$

Your expression gives the wrong result. Press -next- to see why.

a

Consider a car that speeds up (with constant acceleration) from 55 to 85 fps to pass a truck. What would you say is the average speed  $\bar{v}$  during this passing maneuver?

$$\bar{v} = \frac{75 \text{ ok}}{2} \text{ fps}$$

Right, but your formula gives

$$(v_f - v_i)/2 = 15 \#$$

So you must rewrite your expression.

b

If the acceleration is constant, the average velocity  $\bar{v}$  can be written as a simple function of the initial velocity  $v_i$  and the final velocity  $v_f$ . Write an expression involving  $v_i$  and  $v_f$ :

$$\bar{v} = \frac{(v_f^2 - v_i^2)/2}{(v_f - v_i)} \text{ ok}$$

Fine. A simpler formula is  $(v_i + v_f)/2$

c

Fig. 5)

Kinematikaj formuloj. Traduko de a kaj c: "Skribu esprimon kun  $v_i$  kaj  $v_f$  por la meza rapideco... Via esprimo donas malĝustan rezulton". (en a). En b; "Se aŭtomobilo akceliĝas de 60 ĝis 80, kio estas la meza rapideco?... Jes, sed via formulo donas 10. Do vi devas reskribi vian formulon". En c; "Bone. pli simpla formo estas  $(v_i + v_f)/2$ ".

Ĉi tiuj juĝoj fariĝas per procezo, ne per serĉo de listo de eblaj respondoj.

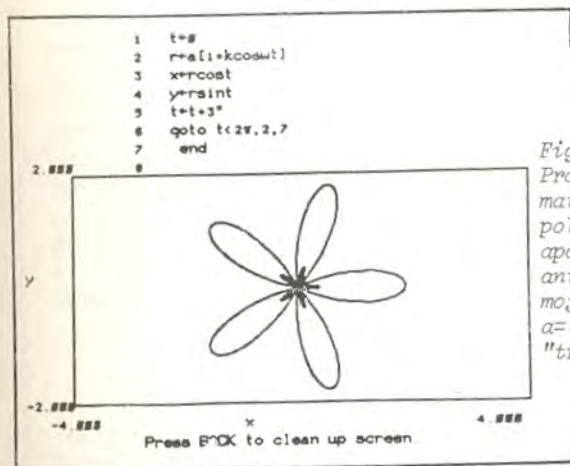


Fig. 6)

Programado fare de studento; Studento de matematiko kreas programon por grafikigi polusan funkcion. La angulo estas "t". Sur aparta paĝo la studento specifikas la variantojn de la grafikaĵo kaj iliajn ekstremojn. Li ankaŭ donas komencajn valorojn  $a=.75$ ,  $k=1.5$ , kaj  $w=5$ . "go to" signifas "transiru", kaj "end" signifas "finon".

Multaj malfacilaĵoj detenis la aplikadon de komputeroj en la edukado. Edukaj komputeraĵoj sistemoj ĝis nun estis tro multekostaj por grandskala uzo. La limigoj de multaj ekzistantaj sistemoj kaŭzis eniuj edukaj rondoj identigon de la perkomputera edukado kun nuraj ripetaj ekzercoj aŭ obla-elektaj ekzamenoj. La verkado de komputere bazataj lecionoj estis ofte tre malfacila, postulante servojn de fakuloj spertaj en programado; instruistoj sin trovas elbaritaj de partopreno en strukturigo de siaj kursoj. Ni diskutos tiujn kaj aliajn problemojn alfrontantaj la perkomputeran edukadon, kaj poste ni raportos pri progreso al solvo de la problemoj.

### *Prezento*

La fizika formo de la komunikado inter komputero kaj studento, aŭ inter komputero kaj instruisto, estas fundamenta por ĉiuj aliaj demandoj. Plejparte, ĝis nun la komunikilo de la studento (prezentilo) kapablis prezenti nur tekston, kiel tetaĵpilo. Dum teksta prezentilo estas adekvata por specialaj celoj, la malrapideco, limigita kompleto de literformoj, kaj la nekapablo desegni grafikaĵojn kaj figurojn igas ĝin nebona komunikilo por esprimi edukajn mesaĝojn. La pliaj kapabloj de rapida grafik-kapabla prezentilo preskaŭ necesas, precipe en la scienca edukado. Tiaj prezentiloj pasinte estis tre multekostaj, sed la nova teknologio rapide ŝanĝas tiun situacion. Ideale, la studenta prezentilo devus ebligi projekcion de fotoj, du-vojan perfoĉan komunikon, enmetojn per tuŝo, ktp., por plene engaĝi kiom eble multajn sentojn - vidajn, aŭdajn, tuŝajn. Je iu punkto, ekonomiaj konsideroj trudas kompromison kun tiu idealo, sed la baza principo validas: edukado estas ekstraordinare malfacila homa entreprenado, kaj ĝi postulas flekseblan kaj potencon komunikilon.

### *Komputa potenco*

Tro ofte ekzistis mallarĝa koncepto de la rolo de la komputero mem en la perkomputera edukado. Oni konsideris la komputeron nura negrava regilo, kiu elektas kaj plusendas esence statikan informon al la studento kaj distingas inter kelkaj stereotipaj respondoj de la studento. Por tiaj celoj malgranda aŭ malforta komputero sufiĉas. Sed por pli ĝeneralaj celoj, precipe en la scienca edukado, oni bezonas potencon komputeron por generi (ne nure reakiri) materialon por la studento kaj por analizi malstereotipajn respondojn kaj demandojn. Kiel pagi por tia potenco? Evidente la koston devas dividi granda nombro de uzantoj; novaj metodoj por organizi tiajn grandajn sistemojn nun faras tion ebla kaj ekonomia. Jen la aludo al avantaĝoj de granda sistemo kompare kun malgranda sistemo.

### *Verkado*

Por ke perkomputera eduksistemo estu vivipova kaj akceptata de la eduka medio, devas esti relative facile por bonaj

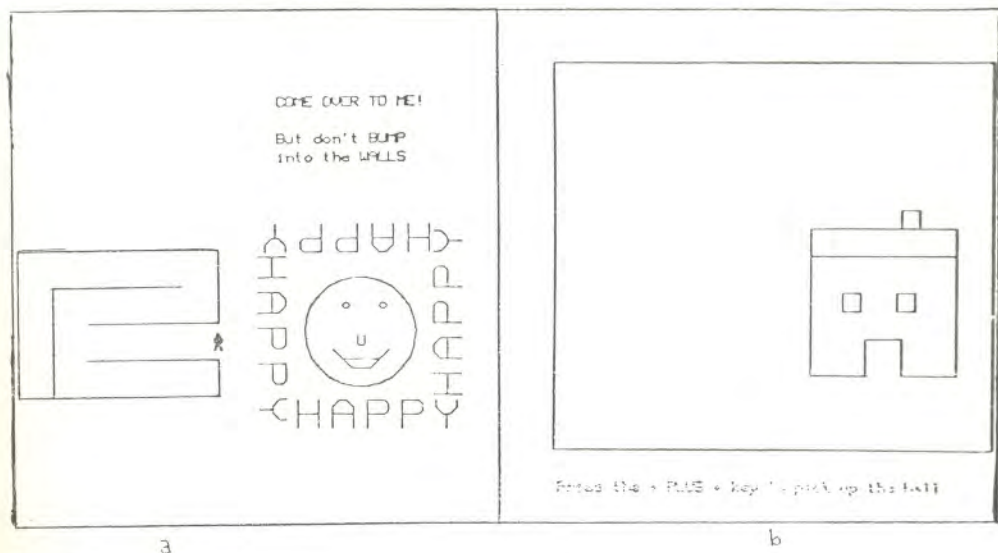


Fig. 7)

Ludoj, kiuj kondukas infanojn al la bazaj aspektoj de programado. La infano promenigis la hometon tra la labirinto, komencante ĉe la suba maldekstra angulo. Poste la infano lernas kiel levi pilkon kaj porti ĝin en la domon. Traduko: "VENU AL MI! Sed ne batiĝu ĉe la muroj". "Premu la klavon PLUS por levi la pilkon."

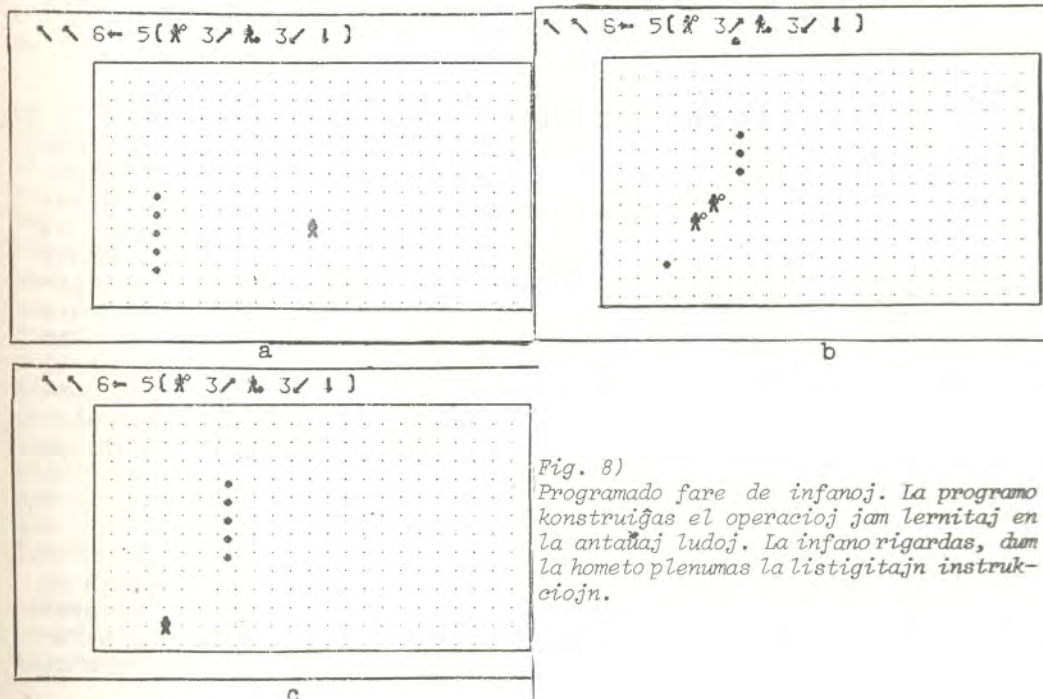


Fig. 8)

Programado fare de infanoj. La programo konstruiĝas el operacioj jam lernitaj en la antaŭaj ludoj. La infano rigardas, ĉu la hometo plenumas la listigitajn instrukciojn.

instruistoj krei komputere-bazatajn lecionojn. Kun potenca anstataŭ malforta komputero ĉe la koro de la sistemo, la komputero mem povas multe helpi, ne malhelpi, verkantojn en iliaj kreaĵ laboroj. Kvalito pliboniĝas kaj kostoj falas pro la forigo de programistoj kaj pro la proksimigo de verkisto al lia perilo, kun la rekta rego de ĝi. Por atingi tian streĉan proksimigon al la verkistoj, necesas krei konvenan verkistan lingvaĵon kaj medion, kiuj forte minimumigas la bezonon de faka scio pri komputeroj. Ideale oni deziras fari la sistemon travidebla kaj respondeca al la verkisto kiel al la studanto.

### *Kosto*

Alia decidiga aspekto estas la kosto. La uzo de komputeroj en senpera instruo ebligis grandskale, nur se tio estas ekonomie ebla, sendepende de kiom grandaj estu la supozataj meritoj. La tipaj kostoj de edukaj komputeraĵ sistemoj ĝis nun estis ĉirkaŭ kvin ĝis dek dolaroj por la studanta horo, kiu sufiĉus por dungi bonan privatan helpinstruiston. La reduktado de kostoj dekobla necesas por irigi la uzon de komputeroj en la edukado. Estas tre grave, ke la tutaj kostoj malpliiĝu kiom eble malalten, malgraŭ la neceso samtempe provizi sufiĉan potencon kaj flekseblecon por esti utila. Tiuj ĉi konfliktaĵ bezonoj devigis la inventon kaj evoluigon de tute novaj teknologioj. Kontraste kun multo el nefaka kaj faka kredoj, la komputera teknologio de la 1960-aj jaroj estis nekapabla de la grandskala edukada apliko: la kostoj estis tro altaj, eĉ por sufiĉe primitivaj sistemoj. La novaj teknologioj inkluzivas radikale originalan ekranon por la prezentilo, unikajn telekomunikilojn, kaj drastan restrukturigon de la interna komputera programaro por speguli la interagadan edukon medion.

### SOLVOJ

Ni jam diskutis kelkajn el la bazaj problemoj, kiuj detenis la grandskalan aplikadon de komputeroj en la edukado. Nun ni diskutos kiel tiuj problemoj traktiĝis endefinita kazo - la sistemo PLATO IV por la perkomputera edukado de la Universitato de Illinois. Tiu sistemo nun (junio 1975.) havas 950 prezentilojn en ĉiuj partoj de Usono kaj Kanado, ĉiuj ligataj al komputerego en Urbana, Illinois. Tia grandega reto de grafik-kapablaj prezentiloj estas tute senprecedenca. Jam ekfunkcias aliaj sistemoj PLATO en Minneapolis (de la Control Data Corporation) kaj en Tallahassee (de la Florida State University). La intenco estas kunligi kreskantan nombron de sistemoj, por konstrui reteton kapabla doni edukajn kaj aliajn servojn al edukaj instancoj kaj rekte al hejmoj.

### *Prezento*

En la enkonduko de ĉi tiu artikolo ni donis ekzemplojn de komputere-bazataj edukaj materialoj. Ilin produktis la sistemo PLATO IV, kaj la figuroj estas fotoj de la studanta ekranon, kiu estas plata plasma panelo<sup>12)</sup>, ne televidila ekranon.

Necesas iom da priskribo de tiu aparato por klarigi la karakteron de la studanta prezentilo. La plasma panelo estas grava ero por ebligi sufiĉe flekseblan komunikilon.

Ĝis antaŭnelonge, oni povis prezenti komputere generatajn grafikajn informojn al studanto sole per katodradia tubo, kia uzata en televidiloj. Ĉar katodradia tubo bezonas refreŝigon (renovigon) tridek fojojn en sekundo por daŭre prezenti bildon sen netolerebla flagreto, multekosta ekstera memorilo nepras krom la televidila aparato mem. (En la kazo de hejma televido, la bildo refreŝiĝas per la grandkvantaj signaloj daŭre elsendata de la televido-stacio. Por *individua* uzo la memorilo devas esti proksime al la ekrano, ĉar asigno de tuta televida kanalo al ĉiu uzanto estus ekstreme multekosta.) La tiel-nomata "memora" katodradia tubo estas televidila tubo mem enhavanta memorilon, danke al la specialaj elektrostataj proprecoj de sia ekrano. Ĉu tiu aparato pli konvenas al la perkomputera edukado, ĉar la komputero povas sendi la grafikajn informojn nur unufoje, kaj neniu refreŝigo necesas. Tamen, la memora katodradia tubo ja havas malavantaĝojn. Unu ĉefa problemo estas la malfacileco de la elekta forviŝo de malgranda porcio de la ekrano, sen perturbo de aliaj partoj de la bildo. Elekta forviŝo necesas por multaj aspektoj de la perkomputera edukado, inkluzive la korekton de parto de tajpita respondo, kaj en movaj sinsekvoj faritaj per desegno de figuro, paŭzo, forviŝo, kaj redesegno en alia loko sur la ekrano por krei iluzion de movado. Estas ankaŭ aliaj problemoj, kaj la longa tempo bezonata por forviŝi la tutan ekranon, la bezono de oftaj alĝustigoj, kaj la nepraktikeco de projekcio de fotoj sur la ekrano.

La plasma panelo inventiĝis ĉe la Universitato de Illinois por solvi ĉi tiujn problemojn. Ĝia memoro estas en la ekrano mem, esence propraĵo de la plasma panelo. Ĝi ebligas elektran forviŝon eĉ de unusola punkto sen perturbo de la resto de la bildo. La prezento estas brila, kun alta kontrasto, kaj libera de flagreto aŭ paliĝo. La panelo konsistas el du lamenoj el vitro, sur kiuj deponiĝas 512 horizontalaj kaj 512 vertikalaj kondukiloj, kiuj estas travideblaj. Neona gaso inter la horizontalaj kaj vertikalaj kondukiloj povas esti ek-lumigata kiel brilaj punktoj ĉe la interkruciĝo de la 512x512 reto de kondukiloj. (La apartigo estas 2.4 punktoj/mm.) Tia simpla strukturo taŭgas por amasa produktado je malalta kosto. La organizo en 512x512 reto de punktoj estas ideale konvena por adresi per komputero. La plasma panelo ebligas, je malalta kosto, grafikajn kapablojn, kiuj antaŭe disponiĝis nur je malebliga kosto. Plue, la simpleco de la aparato ebligas kromajn ekonomiojn en la planado kaj operacio de la telekomunikaĵoj kaj de la komputera programaro.

Pro tio, ke ĝi estas plata kaj travidebla, la plasma panelo povas funkcii kiel dorsprojekcia ekrano por lumbildoj aŭ kinofilmoj, elektataj per la komputero, kun komputere generataj tekstoj kaj grafikaĵoj surmetataj en la plasman panelon.

Tiu unika kombino aldonas gravan dimension al la perkompute-  
ra edukado. Ekzemple, la komputero povas elekti koloran lum-  
bildon de la homa koro por medicina studento, kaj poste sur-  
meti montrilojn aŭ moviĝantajn sangofluon sur la plasman pa-  
nelon por illustri dinamike la kompleksan agadon de la organo.  
Notu ke la *transsendo* de koloraj bildoj de la komputero pos-  
tulus ege multekostan komuniklinion. Ni ne montras ekzemplon  
de surmetata kolora foto en ĉi tiu artikolo pro malfacileco  
de la reprodukto.

Post ĉi tiu priskribo de la plasma panelo, utilas denove  
rigardi la fotojn de la fruktomuŝoj kaj de la leciono de geo-  
metrio. Notu ke la kutimaj misformoj de la televido tute man-  
kas - la plata plasma panelo kun sia precize geometria reto  
donas prezenton libera de misformo aŭ tremeto. La apartigo  
estas sufiĉe bona por ke la rigardanto kutime ne konscias, ke  
la teksto kaj grafikaj prezentoj fakte komponiĝas de indivi-  
duaj punktoj.

La foto de la fruktomuŝoj ilustras alian gravan aspek-  
ton rilate al simboloj bezonataj en la edukado. Aldone al la  
kutimaj malgrandaj kaj grandaj literoj, nombroj, interpunkci-  
aj signoj, ktp., lecionoj en iuj fakoj bezonas sufiĉe amplek-  
san kompletan de kromaj simboloj. Ekzemple, en la instruo de  
la rusa lingvo, necesas la rusa literaro. Kiam oni instruas  
fizikon, multo el la greka alfabeto kaj diversaj specialaj  
matematikaj simboloj nepras. La fruktomuŝoj desegniĝas per  
akurate lokigitaj simboloj-dekstraj flugiloj, maldekstraj flu-  
giloj, okuloj, ktp. Tia kompono de la muŝo estas multe pli  
rapida ol la desegno per solaj punktoj, unu post alia. Je la  
komenco de la studsesio, la komputero sendas al la prezenti-  
lo detalajn priskribojn de la specialaj simboloj-rusa aŭ gre-  
ka alfabetoj, aŭ partoj de fruktomuŝoj - kaj poste la kompu-  
tero povas nur specifi, kiujn simbolojn prezentiĝu ĉe kiuj  
lokoj de la ekrano. La prezentilo PLATO skribas 180 simbolojn  
en sekundo, ĉiu simbolo konsistanta el 8x16 reto de punktoj.  
Simile, tiu prezentilo havas sufiĉe da inteligento por deseg-  
ni liniojn en la leciono de geometrio per nura specifo de fi-  
naj punktoj, je la rapideco de 60 konektitaj linioj en sekun-  
do.<sup>13)</sup>

Oni devus diri ankoraŭ multon de teknika karaktero pri  
la proprecoj de prezentilo, utila en la edukado, sed espereble  
la ekzemploj de la heredo kaj de la geometrio emfazas la  
bazan argumenton: por edukaj celoj altkapabla prezentilo ne-  
pras. Kiel studekzerco, imagu provon de translokigo de la in-  
strumetodo de tiuj du ekzemploj al sistemo, kiu havas teletaj-  
pilojn (kiuj nur prezentas tekston). Estus neeble konservi la  
esencajn aspektojn de ĉi tiuj edukaj materialoj, kiu estas  
pruvo, ke la karaktero de la studanta prezentilo grandparte  
decidas, kiaj instruo-strategioj eblas.

*Tro ofte oni subtaksis la efikon, kiun havas la tipo de  
prezentilo sur la rango de edukaj eblecoj. Ni observis la kre-  
on de interesaj instruo-strategioj sekve al la enkonduko de  
ĉiu nova kapablo de la prezentilo. Aliaj aparatoj jam en la*

evoluado, kiuj jam kaŭzis la kreon de nekutimaj lecionoj, estas rektalira aŭdiga aparato kaj tuŝilo, kiu ebligas la komputeron rekoni tiun lokon, kie fingromontras la studento al la ekranon. En rekono de nia nuntempa malscio de ebla estonta progreso, la prezentilo PLATO havas aldonajn enirajn kaj elirajn konektilojn por la facila alkonekto de novaj aparatoj.

### *Komputa potenco*

La neceso de adekvata komputa potenco bone klariĝas per la enkondukaj ekzemploj. La fruktomuŝoj generiĝas hazarde, laŭ la statistikaj leĝoj de la heredo. Neniu du studentoj spertos la samajn rezultojn, krom en statistika senco. Estas la biologia procezo de la Mendela genetiko, kiu estas en la programo. La procezoj de la geometria leciono implikas multan komputadon por ebligi akuratan rekonon de la malstereotipa geometria respondo de la lernanto. Rekono de la liberformaj demandoj de la studento de kemio bezonas organizitajn serĉojn de sufiĉe granda informbazo de vortoj kaj konceptoj. Ĉiuj ĉi aspektoj de la perkomputera edukado postulas potencon komputeron, en kontrasto kun la etaj komputaj bezonoj por simplaj obla-elekta materialoj. Ĉar la memoro kaj aliaj nekomputaj partoj de komputera sistemo konsistigas grandan parton de la tuta sistemo kaj havas similajn kostojn sendepende de tio, ĉu la komputa parto estas potenca aŭ malforta, malforta sistemo facile povas kosti pli ol potenca sistemo. La malforta sistemo eble kapablos nur je simpla programita instrukcio aŭ obla-elekta ekzameno, kiuj eblas multe malpli koste per libroj kaj aliaj periloj. Sole potenca sistemo povas, per plialtigataj kapabloj, pravigi sian koston.

### *Verkado*

La lecionon pri la fruktomuŝoj verkis biologo, la lecionon pri la geometrio verkis matematikisto, kaj la lecionon pri la kvalita organika analizo verkis kemiisto. Ĉi tiuj aŭtoroj povis krei tiujn kompleksajn lecionojn senpere, sen helpo de programistoj. Tio rilatas rekte al la bezono de forta komputa potenco en la sistemo por forpreni multon el la programa laboro de la aŭtoro de la leciono, samtempe lasante la aŭtoron en la senpera rego de la prezentmaniero. Unu el la pligrandaj taskoj en la konstruo de la leciono pri la fruktomuŝoj estis la kreo de la specialaj simboloj uzataj por kunmeti bildojn de la muŝoj. La biologo rekte desegnis la simbolojn sur la ekranon, kaj poste uzis ilin en sia leciono. Por krei la dialogan lecionon, la kemiisto konstruis liston de rilataj vortoj, specifikis sinonimecon, listigis la bazajn konceptojn, kaj listigis la korespondajn respondojn. La sistemo mem zorgis pri la transformo de la larĝa rango de studentaj respondoj en formojn, kiuj pariĝus kun la bazaj konceptoj kaj tiel ebligus taŭgan respondon. La tasko de la matematikisto faciliĝis per potencaj komputaj kapabloj, facile uzeblaj en la sistemo por fari la rekonan procezon. Ĉiuj tri verkistoj ege profitis de la rapideco de la sistemo, ĉar en nuraj sekundoj ili povis moviĝi de verkado al provo kiel "studento",

kaj ree al la stato de la verkado por korekti observitajn erarojn. Tiu rapideco de la transiro inter la verkaj kaj studaj statoj estas utiliga en la kreo de lecionoj.

Ĉiuj materialoj de PLATO skribiĝas en la lingvaĵo TUTOR, kiu specife planiĝis por faciligi la kreon de perkomputeraj lecionoj, precipe rilate al grafik-kapablaj prezentiloj. Ni donas ekzemplon de programado en TUTOR en apendico.

### *Kosto*

Ni jam diskutis du gravajn faktorojn, kiuj influas la koston: la plasma panelo ebligas malmultekostan grafik-kapablan prezentilon, kaj taŭga procedo por verkado ebligas adto-rojn mem krei materialojn. Alia komponento en la tuta kosto estas la komputero mem, kaj konvenas mallonge priskribi la originalan utiligon de la komputero en la sistemo PLATO.<sup>14)</sup>

Tiel-nomata "tempo-disdona" komputero, kiu ŝajnas servi al multaj uzantoj samtempe, fakte servas sole al unu uzanto en iu momento. La komputero laboras por unu uzanto dum kelkaj milonoj da sekundo. Se la komputero povas fini sian laboron por ĉiuj uzantoj dum frakcio de sekundo, ĉiu uzanto havas la iluzion, ke li havas kompletan regon de la maŝino. En la transiro de unu uzanto al alia, la komputero devas konservi la programon kaj staton de la unua uzanto kaj akiri la programon kaj staton de la dua. Ĉi tiu procedo nomiĝas "interŝanĝo". La interŝanĝo de programoj kaj stato okazas inter la rapidega memoro de la komputero kaj mekanika, rotacianta disko aŭ tamburo, farita el sonbenda materialo. Malfeliĉe, la mekanika rapideco de ĉi tiuj aparatoj estas ege malrapida en la komparo kun la elektronika rapideco de la komputero, tiel ke la interŝanĝa procedo kuntrenas pezan kromlaboron. La komputero ofte aŭ atendas programon, kiun prilabori, aŭ implikiĝas en la malfacilan decidon, ĉu interŝanĝi, kaj kion interŝanĝi por maksimumigi la tutan efikon. Rezultas, ke tiaj sistemoj inklinas al altaj komputeraj kostoj, ĉar la komputero faras *utilan* laboron nur dum frakcio de la tempo. Por alie diri, la komputero povas servi al nur malgranda nombro de samtempaj uzantoj, kaj la kosto por uzanto estas proporcie alta. Plue, perkomputeraj edukaj materialoj administrataj per tia sistemo ofte limiĝas al simpleca prezento de paragrafoj, unu post alia, kun obla-elektaj demandoj, pro la limigoj de la malrapida interŝanĝa procedo, kiu postulas, ke la materialo organiziĝu en serio de tre mallongaj partetoj. Tio estas severa limigo: riĉeco de interkonektoj nepras por provizi altkvalitajn materialojn.

Memevidenta solvo estus reteno de la lecionoj kaj statoj de la studantoj en la centra memoro de la komputero, tiel evitanta interŝanĝojn. Oni preskaŭ neniam faras tion, pro la fakto, ke eĉ suplementa elektronika memoro kostas multe pli ol la memoro de disko aŭ tamburo. PLATO tamen komenciĝis per la premiso, ke tiu aranĝo estu uzata, por tiel plibonigi kvaliton kaj por pliefikiĝi la utiligon de la komputero. Estas la tuteca agado, kiu gravas, kaj pli altaj kostoj de memoro



povas esti bilancata per elimino de la altaj plukostoj de la mekanika interŝanĝo, kun drasta plibonigo de la kvalito. Dum studanto ĉe la sistemo PLATO studas sian lecionon, nenia interŝanĝo kun disko aŭ tamburo okazas: la interŝanĝo implikas specialan suplementan memorilon, de grandega rapideco (la "Extended Core Storage" de la Control Data Corporation). Por maksimumigi la utilon de tiu memorilo, oni aranĝis, ke multaj studentoj povas samtempe uzi unusolan kopion de leciono. (En disko-sistemoj, studanto plejofte havas propran kopion de leciono, krom sia stato en la leciono.)

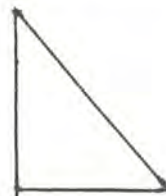
Pro tio, ke la tuta leciono estas tuj havebla kaj korespondas al unu aŭ du horoj de studado, lecionoj PLATO kutime estas tre kompleksaj en la interkonektoj de siaj partoj kaj malofte similas al la modelo de paŝon-post-paŝa, demando-reŝponda ripeto tiom kutima en la fako de la perkomputera edukado. Denove ni vidas, ke ĝuste kiel okazas pri la prezentiĵo, la strukturo de la sistemo mem multe influas kaj difinas la rangon de eblaj instruometodoj. Tiu ĉi punkto estis sisteme preterlasita de multaj esploristoj, kiuj taksis negravan demandon pri la strukturo de la sistemo kompare kun pedagogiaj demandoj. Ili ne rekonis, ke la limigoj de iliaj sistemoj falsigis la esplorrezultojn. Sole se la sistemo estas sufiĉe potenca por devigi malmultajn limigojn de edukaj strategiaj, estas negravaj la detaloj de la sistemo.

La rezulto de tiu ĉi restrukturigo de la uzo de la komputero en la sistemo PLATO estas, ke la komputero mem ĉesas esti la plej multekosta parto de la perkomputera eduksisistemo, ĉar nun granda komputero povas servi al centoj da prezentiĵoj, ne nur al dekoj. Tiu dekobla plibonigo ŝuldiĝas plejparte al la elimino de mekanika interŝanĝo de programoj, sed ĝi parte ŝuldiĝas ankaŭ al la simpleco de la plasma-panelaj prezentiĵoj kaj la rilataj telekomunikaj aparatoj. Por la diskuto de la tutaj kostoj, vidu referatojn de la piednoto 1). La tutaj kostoj, inkluzive de la kapitalo kaj operacio, taksigis je duondolaro por horo en la matura sistemo (por ĉiu studanto).

#### Apendico - la lingvaĵo TUTOR

Jen ekzemplo de simpla programo por montri triangulon kaj peti pri skribon. Nombro kia 1609 signifas vicon 16 (el 32) kaj kolumnon 9 (el 64) por lokigi punkton sur la ekrano. En la respondo, la vortoj "ĝi" kaj "estas" estas nedevigaj, kaj la vortoj "rekta" kaj "orta" estas sinonimaj. La "sago" montras al la studanto, ke li devas respondi.

unuo    figuro  
desegnu 1609; 2809; 2825; 1609  
ĉe       2025  
skribu   Kia estas ĉi tiu figuro?  
sago     2228  
resp-o   (ĝi,estas) (rekta,orta) triangulo



Kia estas ĉi tiu figuro?  
estas belega rekta trianglo ne  
xxxxxx

Malĝusta vorto montriĝas per "xxxxxx".  
Nekorekte literumita vorto montriĝas per "=====

## REFERENCES

- 1) Bitzer, D.L., R.W.Blomme, B.A. Sherwood, and P.Tenczar, "The PLATO System and Science Education," in Proceedings of a Conference on Computers in Undergraduate Science Education, IIT and Commission on College Physics, 1970. (Available from American Institute of Physics, 335 East 45th Street N.Y., N.Y. 10017.)
- Alpert, D., and D.L. Bitzer, "Advances in Computer-based Education," *Science* 167, 1582 (1970).
- Bitzer, D.L., and R.L. Johnson, "PLATO: A Computer-based System Used in the Engineering of Education," Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers 59, 960, (1971).
- Lyman, E., "A Summary of PLATO Curriculum and Research Materials," *Computer based Education Research Laboratory (CERL) Report X-23*.
- 2) Hyatt, G.W., D.C. Eades, and P. Tenczar, "Computer-based Education in Biology," *BioScience* 22, 401 (1972).
- 3) Dennis, J.R., "Teaching Selected Geometry Topics via a Computer System," *CERL Report X-3a* (1969).
- Dennis, J.R., "Identification of Pictorial Responses in Computer-based Geometry Instruction," *CERL Report X-3b* (1971).
- 4) Smith, S.G., "The Use of Computers in the Teaching of Organic Chemistry," *Journal of Chemical Education* 47, 608 (1970).
- 5) Tenczar, P., and W.M. Golden, "Spelling, Word, and Concept Recognition," *CERL Report X-35* (1972).
- 6) Smith, S.G., and J.Ghesquiere, "Computer-based Teaching of Organic Chemistry," in Volume IV of *Computers in Chemistry and Instrumentation*, ed. by J.C.Mattson, H.C. MacDonald, and H.B.Mark, Jr.(Marcel and Dekker, Inc., New York, in press).
- 7) Sherwood, B.A., "Judging Algebraic Expressions and Equations," *American Journal of Physics* 40, 1042 (1972).
- 8) Sherwood, B.A., C.Bennett, J.Mitchell, and C.Tenczar, "Experience with a PLATO Mechanics Course," in Proceedings of a Conference on Computers in the Undergraduate Curriculum, Dartmouth College (1971). Sherwood, B.A., "Free-body Diagrams (a PLATO Lesson)," *American Journal of Physics* 39, 1199 (1971).
- 9) This "GRAFIT" computing language, created by B.A.Sherwood, is itself written in the TUTOR language, as are all the Lessons discussed in this article.
- 10) Kemeny, J.G., and T.E.Kurtz, "Dartmouth Time-Sharing," *Science* 162, 223 (1968).
- Nevison, J.N., "The Computer as a Pupil: The Dartmouth Secondary School Project," Kiewit Computation Center Report (1970), Dartmouth College. Biennial Report 1969-1971, Kiewit Computation Center Report.
- Luehrmann, A., "Should the Computer Teach the Student, or Vice Versa?" AFIPS Conference Proceedings 40, 407 (1972).
- Also see a sequence of five papers in AFIRS Conference Proceedings 34. 649-689 (1969).
- 11) This pictographic programming language was created by P. Tenczar. It is written in TUTOR.
- 12) Johnson, R.L., D.L. Bitzer, and H.G. Slottow, "The Device Characteristics of the Plasma Display Element," *IEEE Transactions on Electron Devices*, 18 642 (1971).
- 13) Stifle, J., "The PLATO IV Student Terminal," Proceedings of the Society for Information Display, 13, 35 (1972).
- 14) Tenczar, P., R.W. Blomme, J.H.Parry, and B.A.Sherwood, "PLATO IV System Software," to be published.
- Stifle, J., "PLATO IV Architecture," *CERL Report X-20*, 1972.
- Stifle, J., D.L. Bitzer, and M.Johnson, "Digital Data Transmission via CATV," *CERL Report X-26* (1972).
- Bitzer, D.L., R.L.Johnson, and D.Skaperdas. "A Digitaly Addressable Random-Access Image Selector and Random-Access Audio System", *CERL Report X-13* (1970).

Lernantoj uzas komputerojn en scienca edukado per du metodoj: ili povas *skribi* komputerajn programojn por studi kompleksajn sistemojn kaj lerni numerajn teknikojn; kaj ili povas *interagi* kun edukaj komputeraj programoj skribitaj de instruistoj. La unua tipo de uzo estas tiom disvastigata kiom komputeroj mem, sed la dua severe restriktiĝis pro manko de taŭgaj sistemoj por kreo kaj livero de instruaj programoj. Nia artikolo plejparte traktas la lastan tipon de komputere-bazata edukado kaj donas ekzemplojn de materialoj kreataj de biologoj, kemiistoj, matematikistoj, kaj fizikistoj por iliaj lernantoj. Ĉi tiuj materialoj spegulas diversajn instrustilojn kaj strategiojn, inkluzive de la individua instruado, simulado aŭ modeligo, kaj ripetataj ekzercoj. Per la varieco kaj komplekso de la ekzemploj ni esperas dispeli miskomprenon, ke la rolo de la komputero limiĝas al "programita instruado" aŭ al la prezento de simplaj obla-elektaĵoj demandoj.<sup>+</sup>)

La problemoj de perkompüterata edukado inkluzivas: (1) La bezonon de adekvata prezentilo por la uzo de lernantoj. La ordinara teletajpilo ne estas adekvata en scienca edukado - *grafikaĵa* prezentilo nepras, ilo kiu povas rapide prezenti desegnojn, grafikaĵojn, kaj bildojn. (2) La bezonon de adekvata kalkula potenco. Malforta komputero nur povas reakiri konservatajn demandojn kaj rekoni stereotipajn respondojn. Por superi tian funkciadon de "instrumaŝino", necesas sufiĉa kalkula potenco por *generi* prezentaĵojn kaj problemojn kaj por rekoni malstereotipajn respondojn. (3) Necesas, ke estu eble por bonaj instruistoj krei materialojn sen bezono de la servadoj de spertaj komputeraj programistoj. Tio postulas taŭgan verkistan lingvaĵon kaj taŭgan sistemon. (4) La kosto de perkompüterata edukado devas malplialtiĝi multe. Tipaj kostoj estis pluraj dolaroj por horo, kiu ne konkuras kun homa individua instruisto. Necesis inventi novan teknologion por fari progreson al ekonomie vivpova perkompüterata edukado.

Unu solvo de la problemoj de la perkompüterata edukado estas la sistemo PLATO IV ĉe la Universitato de Illinois, Usono. (1) La koro de la lernanta prezentilo estas la plasma panelo, plata lameno sur kiu la komputero povas lumigi aŭ malŝalti iun ajn el la kvaromilionaj punktoj (en 512 x 512 krado) por prezenti tekston, grafikaĵojn, kaj desegnojn. La komputero povas elekti kolorajn fotojn por projekcio ĉe la dorso de la travidebla panelo. Pro teknikaj kialoj diskutataj en ĉi tiu artikolo, la plasma panelo reprezentas gravan antaŭenigon rilate aliajn teknikojn, inkluzive de la katodradia tubo. (2) La sistemo PLATO estas regata per granda porsciencia komputero kun adekvata potenco kaj rapideco por ebligi la prezencon de kompleksaj materialoj. La sistemo respondas al lernantaj enigoj post frakcio de sekundo. (3) Verkistoj kreas siajn materialojn per la lingvaĵo TUTOR, kiu estas potenca sed faciluza. Kalkula potenco en la sistemo PLATO estas ekspluata por helpi verkantojn en ilia krea proceso. (4) Kun plena ellaborado oni taksas, ke la kapitalaj kaj operaciaj kostoj estos duondolaro por horo. Parto de la kostoredukto ŝuldiĝas al ĝisfunda restrukturado de la operacio de la komputero mem: rapida elektronika memorilo anstataŭigas malrapidan mekanikan memorilon por pluraj gravaj funkcioj, kiu kondukas al ege plibonigata utiligado de la komputero.

<sup>+</sup>) Pli bone dirite: "fiksa-respondaj demandoj" - demandoj kun listeto de respondoj, el kiuj la studanto devas elekti.