



6th International Conference **APLIMAT 2007**

Faculty of Mechanical Engineering - Slovak University of Technology in Bratislava

Session: Open Source Software in Research and Education

SPRACOVANIE A VIZUALIZÁCIA EXPERIMENTÁLNYCH DÁT

ŠEVČOVIČ, Ladislav, (SK)

Abstrakt. Pri spracovaní výsledkov meraní a pozorovaní sa široko používajú metódy grafického zobrazenia. Číselné údaje, ako výsledky meraní a pozorovaní prezentované v tabuľkovej forme neumožňujú dostatočne názorne charakterizovať zákonitosti študovaných procesov, preto je vhodné tabuľku doplniť grafom. Grafické zobrazenie poskytuje názornejšiu predstavu o výsledkoch experimentu, umožňuje lepšie pochopiť fyzikálny zmysel študovaného procesu, odhaliť všeobecný charakter závislosti premenných veličín. V prostredí OS GNU/Linux máme bohatý výber programov na spracovanie a analýzu dát, ktoré sú na rozdiel od komerčného softvéru v OS Windows voľne šíriteľné vďaka licencií GPL.

Kľúčové slová. Regresia, spracovanie dát, open source, QtiPlot, Kpl.

EXPERIMENTAL DATA PROCESSING AND ITS GRAPHICAL VISUALIZATION

Abstract. Graphical representation is a method widely used for processing and analysing measurements and observations results. Their presentation in the form of digital data or summarized within tables cannot sometimes present the studied processes well, therefore it may be convenient to add a graph to the table. Graphic imagining may give better insight into the experimental results and make the physical meaning of the process in hand more clear as well as to reveal the general character of the functional dependence of the studied quantities. OS GNU/Linux offers many programs for data processing and analysing which are, unlike the commercial software under the OS Windows, distributed under GPL licence.

Key words and phrases. Regression, data processing, open source, QtiPlot, Kpl.

Mathematics Subject Classification. Primary 60A05, 08A72; Secondary 28E10.

1 Úvod

Úlohy súvisiace s vyhodnotením experimentálnych dát vo fyzikálnej a technickej praxi sa vyznačujú týmito základnými vlastnosťami:

- (a) rozsah a objem spracovaných dát obyčajne nie je veľký,
- (b) v dátach sa nachádzajú aj vybočujúce hodnoty merania a rôzne nehomogenity,
- (c) v dátach sa zvyčajne vyskytujú nelinearity, vzájomné väzby a pod., ktoré treba identifikovať a opísať,
- (d) parametre modelov majú obyčajne definovaný fyzikálny význam,
- (e) často narážame na istú neurčitost' (nejasnosť, nepresnosť) pri výbere modelu na opis dát.

Pri projektovaní pokusu je experimentátor vedený snahou získať z meraní čo najviac fyzikálne zaujímavých informácií, preto experiment často prebieha za rôznych (kontrolovaných) podmienok. Zmenou istých veličín sledujeme ich vplyv na iné veličiny. Vo väčšine prípadov sa jedná o spojitú funkčnú závislosť jednej veličiny od druhej veličiny. Napr. teplotnú závislosť odporu, závislosť anódového prúdu magnetrónu od indukcie magnetického poľa, závislosť intenzity jadrového žiarenia od hrúbky absorbátora atď. Nameraním závislosti veličín práca experimentátora nekončí, naopak, nasleduje najdôležitejšia úloha, a to *fyzikálne interpretovať výsledky meraní*. Pod pojmom interpretácie rozumieme *odôvodnenie výsledkov*. V podstate ide o *určenie príčin*, ktoré spôsobujú daný výsledok. Experimentálna práca je takto z formálneho hľadiska „obrátenu“ úlohou k teoretickému postupu, ktorý z definovaných podmienok (príčin) predpokladá závery (následky) a tento fakt treba mať na zreteli pri spracovávaní merania. V konkrétnych prípadoch sa najčastejšie stretáme s týmito situáciami:

- Fyzikálna interpretácia meranej závislosti nie je dobre prepracovaná, tzn., že v čase konania experimentu neexistuje teoretický model, ktorý by viac-menej úspešne predpovedal tvar funkčnej závislosti. Potom je možné získané závislosti interpretovať iba kvalitatívne, resp. v jednoduchých prípadoch vysloviť hypotézu (napr. o lineárnej, resp. inej závislosti).
- Teoretický model predpovedá očakávanú závislosť, napr. $y = a + bx$. Experiment⁶ lineárnu závislosť potvrdí. Treba nájsť „správne“ hodnoty parametrov, napr. a, b , ktorým môžu zodpovedať ďalšie dôležité informácie. Úlohami tohto druhu sa zaoberá vyrovnávací počet. V súčasnej dobe sa široko využíva *metóda najmenších štvorcov*. Za správne hodnoty sa považujú také hodnoty parametrov, ktoré dávajú *najmenší súčet druhých mocnín odchýlok* medzi nameranými a teoreticky predpovedanými hodnotami. Uvedieme hlavné črty metódy.

⁶Experiment môžeme rozdeliť na časti, ktoré sú do istej miery samostatné, voláme ich *pokusy*.

Majme nameranú funkčnú závislosť $f_i = f(x_i)$ v bodoch $i = 1, 2, \dots, n$. Teoretický model predpokladá závislosť $y = F(x, p_1, p_2, \dots, p_k)$, kde p_1, p_2, \dots, p_k sú parametre, ktoré sa nedajú vypočítať v rámci tohto modelu (čím menej parametrov, tým je model hodnotnejší), pričom tvar funkcie F nepoznáme. Odchýlky modelovej F^* a experimentálnej funkcie f_i , vypočítané v nameraných bodoch, označíme e_i

$$e_i = F^*(x_i, p_1^*, p_2^*, \dots, p_k^*) - f_i. \quad (1)$$

Vzhľadom na to, že považujeme kladné odchýlky za rovnako významné ako záporné, uvažujeme druhú mocninu e_i .⁷ Ďalej označíme

$$\Phi = \sum_{i=1}^n e_i^2. \quad (2)$$

Úlohou je nájsť také odhady $\hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_k$ parametrov p_1, p_2, \dots, p_k , pre ktoré funkcia Φ (označovaná tiež ako *účelová* alebo *kritériálna*) nadobúda minimum. Aby mala táto požiadavka zmysel, musí byť splnených niekoľko nie práve samozrejmych predpokladov, o ktorých sa musíme pred začatím experimentu presvedčiť, pozri napr. [3, I., str. 74]:

1. chyba nezávisle premennej x_i je zanedbateľne malá vzhľadom na chybu závisle premennej f_i ,
2. chyba merania premennej f_i je náhodná veličina z normálne rozdeleného súboru, ktorý má nulovú strednú hodnotu a konštantný rozptyl v celej oblasti merania.⁸

Nutnou podmienkou pre minimum je potom splnenie rovnice

$$\frac{\partial \Phi}{\partial p_j^*} = 2 \sum_{i=1}^n e_i \frac{\partial e_i}{\partial p_j^*} = 2 \sum_{i=1}^n e_i \frac{\partial F^*(x_i, p_1^*, \dots, p_k^*)}{\partial p_j^*} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (3)$$

Túto sústavu je možné explicitne riešiť v niektorých špeciálnych prípadoch. Všeobecne treba používať vybrané numerické metódy [1, 2, 7–9, 11].

Na spracovanie údajov, kreslenie grafických závislostí a ilustrácií existujú open source programy, ktoré sú bohato vybavené podprogramami na interpoláciu aj extrapoláciu, na fitovanie (nájdanie najlepšej aproximácie) nameranej závislosti zvolenou triedou funkcií a na optimalizáciu. Navyše, tieto programy poskytujú aj prostriedky na štatistické spracovanie výsledkov, vyhladenie závislostí, rôzne filtre a pod. Do tejto kategórie patria aj dva výborné open source programy QtiPlot a Kpl.

⁷Všeobecne sa uvažuje nejaká párna funkcia, t. j. funkcia $f(x)$ taká, že $f(x) = f(-x)$. Druhej mocnine sa dáva prednosť pred absolútnou hodnotou, lebo je to hladká funkcia.

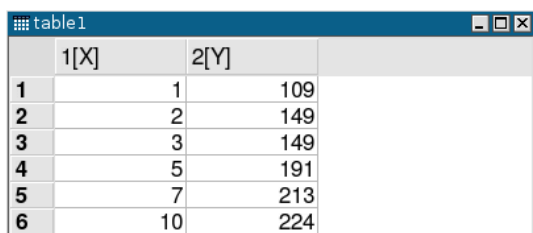
⁸Systematické chyby ovplyvňujú experiment v rovnakom zmysle, ale vo všeobecnosti všetky merania rôznou hodnotou. Majú nenulovú strednú hodnotu a prejavujú určitú mieru vzájomnej závislosti, t. j. sú korelované. Nedodržanie predpokladu náhodnosti a nezávislosti chýb i nenulovosti ich stredných hodnôt znemožňuje použitie štatistických metód vyhodnotenia.

2 Použitie programu QtiPlot

QtiPlot je výkonný programový balík, ktorý poskytuje ako jednoduché tak aj veľmi zložité nástroje na analýzu dát a na kreslenie grafov. V tomto príspevku sa budeme venovať opisu verzie QtiPlot 0.8.5 v prostredí OS GNU/Linux distribúcie UBUNTU 6.06. Domovská internetová stránka programu je na URL adrese <http://soft.proindependent.com/qtiplot.html> odkiaľ sa dá program stiahnuť. Na prácu v QtiPlote existujú dva druhy okien (pracovných prostredí):

- tabuľkové
- a grafické.

Tabuľkové okno zobrazuje dáta potrebné na tvorbu grafu. V *grafickom* okne je vyobrazený graf vytvorený z týchto dát. Podľa toho, ktoré z okien je aktívne, tabuľkové alebo grafické, mení sa obsah hlavnej ponuky. Vzhľadom na rozsah možností, ktoré poskytuje program QtiPlot, ukážeme na konkrétnom príklade niektoré funkcie a ponuky QtiPlotu, ktoré sú potrebné na numerické spracovanie experimentálnych dát a ich grafickú prezentáciu.



	1[X]	2[Y]	
1	1	109	
2	2	149	
3	3	149	
4	5	191	
5	7	213	
6	10	224	

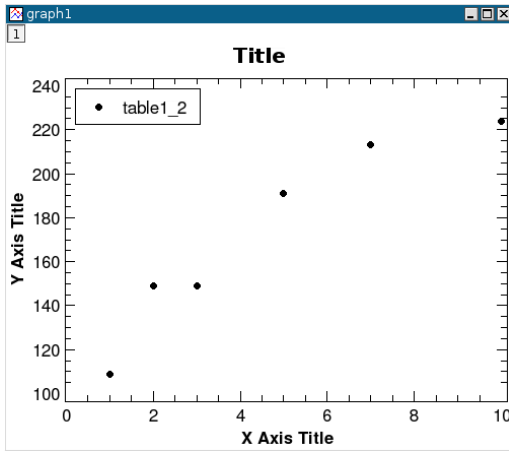
Obrázok 1: Tabuľkové okno s importovanými dátami `boxbod.dat`

Oknom myši v hlavičke tabuľky vyberieme z kontextového menu `Add column`. Na našu úkážku použijeme certifikované dáta z internetovej stránky Národného inštitútu štandardov a technológií Spojených štátov amerických [4]. Stiahli sme si dáta z kolekcie pre nelineárnu regresiu s názvom `BoxBOD`⁹, ktoré sú zaradené do kategórie s vysokou náročnosťou na spracovanie. Tabuľka bola uložená do dátového súboru s názvom `boxbod.dat`. Tento súbor teraz importujeme, postupným vyvolaním nasledovných ponúk `File → Import ASCII → Set import option`, nastavíme formát importovaných dát a potom vykonáme import dát do tabuľky, napr. z nástrojovej lišty kliknutím na ikonu



Vyhľadáme súbor `boxbod.dat`, po voľbe sa údaje prenású do tabuľky, pozri obrázok 1.

⁹ http://www.itl.nist.gov/div898/strd/nls/nls_main.shtml



Obrázok 2: Zobrazenia dát tabuľky z obrázku 1

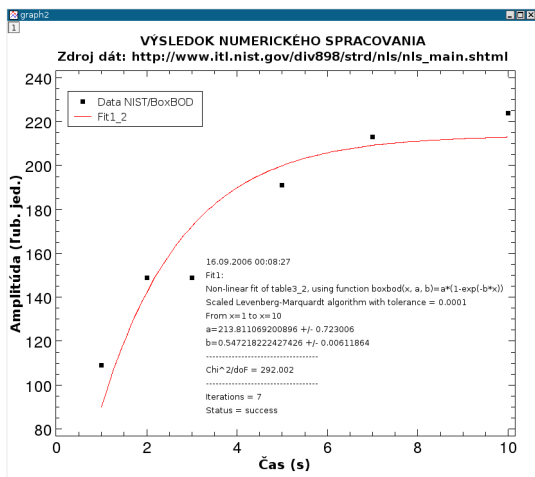
dolného okna zapíšeme aproximačnú funkciu $a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$, do okienka Name vpíšeme názov funkcie, napr. boxbod, do okienka Parameters vpíšeme symboly a , b fitovaných parametrov oddelených čiarkou a medzerou, potom kliknutím na položku Save vytvorenú funkciu uložíme (objaví sa v zozname Function). Klikom myši na prvok zoznamu z okna Category sa zobrazí v okne Function zoznam funkcií z danej kategórie (vybrané položky sa podfarbia modrou farbou). Vyberieme si samozrejme tú našu boxbod. V príprave na fitovanie pokračujeme zaškrtnutím políčka Fit with selected user function a potom kliknutím na položku Fit >>. Otvorí sa okno, v ktorom nastavíme štartovacie hodnoty Initial guesses, vyberieme algoritmus fitovania, rozsah nezávisle premennej, maximálny počet iterácií a toleranciu na ukončenie procesu. Kliknutím na položku Fit sa odštartuje fitovanie a po jeho ukončení sa na pracovnej ploche objaví tabuľka Result Log s výsledkami, pričom sa v grafe zobrazí regresná krivka (obrázok 3). Výsledky fitovania môžeme vložiť do poľa grafu kopírovaním tabuľky cez schránku, pričom môžeme použiť postup na editovanie a vkládanie textu do plochy grafu Graph → Add text. Výsledok vidíme znázornený na obrázku 3 a uvádzame tu aj tabuľku výsledkov:

```
16.09.2006 00:08:27 Fit1:
Non-linear fit of table3_2,
using function boxbod(x, a, b)=a*(1-exp(-b*x))
Scaled Levenberg-Marquardt algorithm with tolerance = 0.0001
From x=1 to x=10
a=213.811069200896 +/- 0.723006
b=0.547218222427426 +/- 0.00611864
-----
Chi^2/doF = 292.002
-----
Iterations = 7
Status = success
```

Kliknutím do hlavičky tabuľky a ťahom myši (alebo stlačením klávesu Shift a súčasným pohybom klávesových šípok) vyznačíme stĺpce závisle a nezávisle premennej a z hlavného menu zvolíme Plot → Scatter. Vykreslia sa body do grafu s názvom graph 1 (obrázok 2). Aproximujme dáta znázornené v grafe na obrázku 2 exponenciálnou závislosťou v tvare

$$y = a[1 - \exp(-bx)],$$

ktorá je podľa [4] modelovou funkciou pre tieto dáta. V hlavnom menu klikneme na položku Analysis → Non-linear Curve Fit ... a vyberieme ponuku User defined. Do ľavého



Obrázok 3: Nelineárna regresia dát BoxBOD exponenciálnou funkciou

čiže $n - k$ a štandardná neistota parametra je určená podľa vzťahu

$$\sigma^{\text{qti}} = \sqrt{\frac{(\text{cov})_{ii}}{\text{Chi}^2/\text{doF}}}. \quad (4)$$

Na internetovej stránke inštitútu NIST sa však dočítame, že ich údaj štandardnej neistoty parametra sa počíta podľa vzťahu

$$\sigma^{\text{nist}} = \sqrt{(\text{cov})_{ii}}, \quad (5)$$

kde $(\text{cov})_{ii}$ je v oboch prípadoch kovariančná matica parametrov regresie, pozri napr. v prácach [5, 6]. Pri rovnosti kovariančných matíc, potom súvis oboch údajov môžeme vyjadriť vzťahom

$$\sigma^{\text{nist}} = \sigma^{\text{qti}} \sqrt{\text{Chi}^2/\text{doF}}. \quad (6)$$

Keď teda potrebujeme výsledok numerického spracovania dát regresiou programom QtiPlot uviesť so štandardnou neistotou hľadaných parametrov, musíme tento „nedostatok“ výpočtu programu korigovať použitím vzťahu (6), štandardná neistota parametra regresie sa uvádza v takom tvare, ako na internetovej stránke inštitútu NIST.

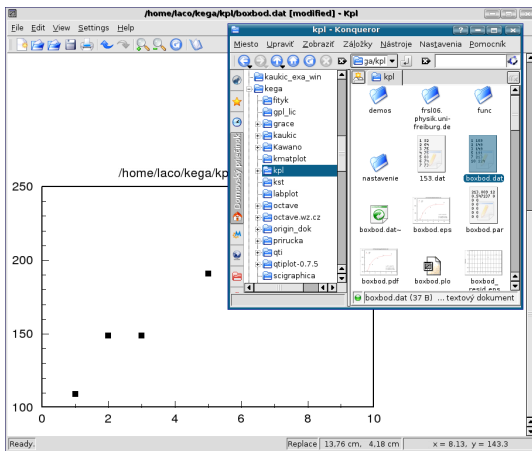
3 Použitie programu Kpl

Program Kpl je jednoduchý z pohľadu ovládania, poskytuje však rozsiahle možnosti na vyhladzovanie, optimalizáciu a numerické operácie s nameranými dátami (napr. derivovanie, integrovanie); môžeme ho dopĺňať vlastnými funkciami a knižnicami, ktoré sa napíšu

Výpis nás informuje o dátume a čase fitovania, že toto fitovanie údajov z tabuľky table3_2 funkciou boxbod je prvé v tomto projekte, urobené nelineárnou metódou použitím Levenbergovho-Marquardtovho algoritmu s toleranciou 0.0001. Ďalej sa uvádza rozsah nezávisle premennej x , fitované parametre a a b so štandardnými neistotami, hodnota $\tilde{\chi}^2 = \chi^2/(n-k)$ (redukovaná hodnota funkcie *chí kvadrát* χ^2 , pozri [5, 10]), počet iterácií a napokon hlásenie, že proces fitovania bol ukončený úspešne.

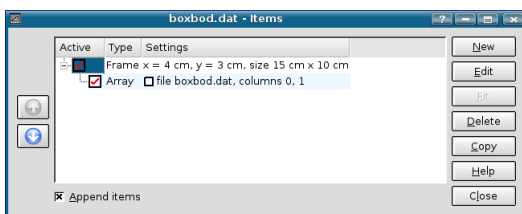
Program QtiPlot počíta redukovanú hodnotu χ^2 označenú ako Chi^2/doF , kde doF znamená *Degrees of Freedom*

a skompilujú v programovacom jazyku C. Na rozdiel od programu QtiPlot neumožňuje štatistické výpočty a charakteristiky dát. Domovská internetová stránka programu je na adrese <http://frs106.physik.uni-freiburg.de/privat/stille/kpl/>. Na prácu v Kpl máme k dispozícii jedno pracovné okno.



Obrázok 4: Importovanie a zobrazenie dát metódou ťahaj a pust'

ktoré zvolíme symbol desatinnej rádovej čiarky a vyhľadáme na disku súbor na importovanie. (b) Otvoríme program Kpl a potom nejaký program na spravovanie súborov (napr. Konqueror alebo Kruzader), v ktorom vyhľadáme súbor, ktorý chceme zobraziť. Označíme ho ľavým klikom myšky a ťahom ho premiestnime do okna programu Kpl, kde klik uvoľníme (metóda Drag and Drop), pozri obrázok 4.



Obrázok 5: Pracovné okno položky Items ...

znázornené v grafe na obrázku 4 exponenciálnou závislosťou v tvare

$$y = a[1 - \exp(-bx)],$$

ktorá je podľa [4] modelovou funkciou pre tieto dáta. Kpl implicitne takúto funkciu neponúka, ale môžeme ju napísať ako program v jazyku C, napr. `boxbod.c`, a skompilovaním vytvoriť knižnicu (modul) `boxbod.so`.

Postup je nasledovný: v textovom editore napíšeme napríklad takéto funkcie v jazyku C. Prvá `plotfunc` bude na vykreslenie fitovanej čiary do grafu, druhá `fitfunc` na iteráciu:

Program Kpl má síce vlastný editor tabuliek, ale s obmedzenými možnosťami formátovania, preto si na vytvorenie tabuľky vyberme radšej nejaký textový ASCII editor (napr. Kate, gedit, KSpread a pod.). Dátový súbor vytvárame a editujeme v stĺpcovom formáte, a pri jeho ukladaní do pracovného priečinka mu pridávame príponu `.dat`. Symbolom desatinnej rádovej čiarky môže byť *desatinná čiarka* alebo *desatinná bodka* a ako oddeľovač (separátor) stĺpcov odporúčame použiť tabulátor (Tab) alebo medzerník (Space). Dátový súbor môžeme importovať dvoma spôsobmi: (a) Vyvolaním ponúk `File` → `Open Data File ...` sa otvorí dialógové

„Surový“ graf z obrázku 4 môžeme upravovať vyvolaním položky `Items ...`. Aktivuje sa dvoma spôsobmi, pravým klikom myši do prázdneho poľa v okne programu (mimo poľa grafu) a z kontextového menu vyberieme žiadanú položku alebo vyvolaním ponúk `Edit` → `Items ...`, pozri obrázok 5. Tak, ako v prípade programu QtiPlot aproximujeme dáta

```

/*****/
/*   boxbod.c   2D functions for Kpl   */
/*   */
/*   Copyright (C) 2006 by Ladislav Sevcovic   */
/*   <ladislav.sevcovic@tuke.sk>   */
/*   */
/*   Released under the GPL; see file LICENSE for details.   */
/*   */
/*   Use the following command to compile the C function   */
/*   and create a shared library:   */
/*   gcc -Wall -shared -fPIC -o boxbod.so boxbod.c -lm   */
/*   Do this in a X terminal windows (shell).   */
/*   At the X terminal type:   nm boxbod.so>boxbod.def   */
/*   */
/*   exponential(x, p) calculates of exponential   */
/*   Returns: p[0] * (1 - exp(-p[1] * x))   */
/*****/
#include <math.h>
/*****/
double plotfunc(double x, const double* p)
{
return(p[0] * (1 - exp(- p[1] * x)));
}
/*****/
double fitfunc(double x, const double* p)
{
int i;
double f;
f = p[0];
for (i = 0; i < 3; i += 1)
f += p[i] * (1 - exp(- p[i + 1] * x));
return f;
}
/*****/

```

Súbor uložíme do pracovného priečinka pod menom `boxbod.c` a do príkazového riadka v okne X terminálu najprv napíšeme

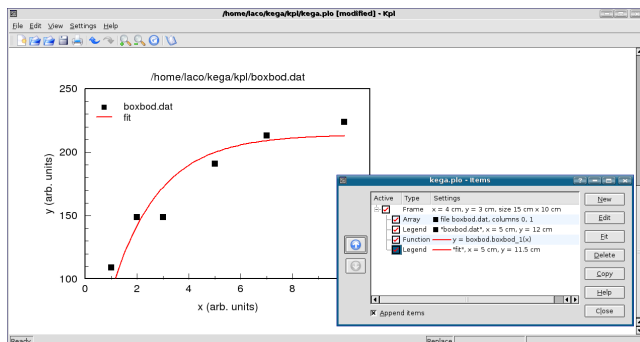
```
gcc-Wall-shared-fPIC-o-boxbod.so-boxbod.c-lm
```

Stlačím klávesu Enter spustíme kompiláciu nášho programu do binárnej knižnice `boxbod.so`. Potom napíšeme

```
nm-boxbod.so>boxbod.def
```

Opätovným odoslaním vytvoríme tabuľku symbolov.¹⁰ Dva skompilované súbory `boxbod.so` a `boxbod.def` použijeme na fitovanie, presuňme ich teda do pracovného priečinka, v ktorom máme ostatné súbory s dátami pre Kpl alebo do osobitného podpriečinka, v ktorom budú len knižnice (aj budúce).

¹⁰Súčasťou OS GNU/Linux je aj kompilátor `gcc` jazyka C a rad ďalších programátorských nástrojov. Program `nm` vytlačí tabuľku symbolov (zoznam názvov) v abecednom poradí pre jeden alebo viac objektových súborov. Výstup obsahuje pre každý symbol meno, hodnotu, typ, veľkosť a pod.



Obrázok 6: Výsledný graf s fitovanou krivkou pre dáta `boxbod.dat`

klikneme na novovytvorenú položku `Function` a potom na okienko `Fit`, čím sa nám otvorí okno `Parameter fit`. Zaškrtneme ľavé okienka pre parametre p_0 a p_1 a do pravých vpíšeme ich štartovacie hodnoty, pre $p_0=100$ a pre $p_1=0.75$. Fitovanie bude nelineárne, preto zaškrtneme aj okienko `Nonlinear fit`. Kliknutím do položky `Model` sa otvorí okno `Error model function`, v ktorom opäť vyhľadáme knižnicu `boxbod.so` a z nej tentoraz vyberieme funkciu `fitfunc`, ako argument zvolíme `ycolumn`. Kliknutím na položku `Edit` zadáme štartovacie parametre iteratívneho procesu (stačí napr. $p_0=1$). Výsledné parametre fitovanej funkcie $y=p[0]*(1-\exp(-p[1]*x))$ sa vpíšu do príslušných okienok parametrov. Kliknutím na položku `Apply` sa výsledok fitovania zobrazí v grafe, ako spojitá krivka (obrázok 6). Prácu s fitovaním ukončíme kliknutím na položku `OK`. Do grafu vložíme legendu, názvy osí a pod., pre viac informácií o úprave grafov pozri [10, str. 65].

4 Záver

Keď hovoríme o vyhodnocovaní experimentálnych dát a o ich príprave na ďalšiu prezentáciu s použitím osobného počítača, potom samozrejme musíme venovať náležitú pozornosť nielen samotným programom, ale aj metódam a postupom spracovania dát. Stručný opis použitia dvoch známych produktov z tejto oblasti nám v základoch objasnil ich niektoré špecifické vlastnosti a ukázal, že aj open source softvér disponuje dostatočnou kvalitou, ktorá nezaostáva za drahým komerčným softvérom (v mnohých prípadoch pre bežného používateľa nedostupným). Mali sme možnosť pracovať aj s programom `Origin 6.1`¹¹, ktorému sa opisovaná verzia `QtiPlot 0.8.5` svojimi možnosťami a ponukou najviac približuje. Čo sa týka rozdielu z pohľadu bežného používateľa, `QtiPlot` má menší výber formátov pre grafický výstup. Nepokladáme to ale za taký veľký nedostatok. `Origin 6.1` má však lepšie vypracované možnosti napr. ponuky `Analysis` v grafickom móde a rozšírenejšiu ponuku modulu `Non-Linear Curve Fit...`, lepšiu 3D grafiku a iné, ktoré nám však pri štandardnej práci

¹¹Komerčný program, cena aktuálnej verzie `Origin 7.5` je asi 19000,- SKK bez DPH.

Teraz už môžeme začať s fitovaním dát. V okne položky `Items` klikneme na ponuku `New` a potom na ponuku `Function`. Vyhľadáme si našu knižnicu `boxbod.so` a z nej vyberieme funkciu `plotfunc`, doplníme `xmax` na 10, nastavíme symbol, veľkosť a farbu fitovacej čiary v grafe a výber ukončíme potvrdením `Apply` a potom `OK`. Prejdeme opäť do okna `Items`, kde

s programom nebudú chýbať.

Okrem programov QtiPlot a Kpl existuje veľa ďalších OSS programov použiteľných na účely spracovania a grafického zobrazenia dát, uvedme napríklad: Labplot, Octave, Pylab, Grace, R.

PodĎakovanie

Táto práca vznikla s podporou grantovej agentúry KEGA v rámci riešenia projektu 3/2158/04 „Využitie open source softvéru vo výučbe na vysokých školách“.

Literatúra

- [1] KAUKIČ, M.: *Numerická analýza I. Základné problémy a metódy*. Žilina : MC Energy, s. r. o. 1998
- [2] PIRČ, V. – BUŠA, J.: *Numerické metódy*. Košice : elfa, 2002, ISBN 80-89066-25-9
- [3] PETROVIČ, P. – NADRCHAL, J. – PETROVIČOVÁ, J.: *Programovanie a spracovanie dát I., II.* Košice : Edičné stredisko UPJŠ, 1989
- [4] NIST *National Institute of Standards and Technology. Statistical reference Datasets.* <http://www.itl.nist.gov/div898/strd/general/dataarchive.html>
- [5] PRESS, W. H. et al.: *Numerical Recipes in C – The Art of Scientific Computing*. New York : Cambridge University Press, 1992, 2nd Ed. Kniha v PDF formáte je dostupná na URL adrese: <http://www.nrbook.com/b/bookcpdf.php>
- [6] KUDRACIK, F.: *Spracovanie experimentálnych dát*. Bratislava : Univerzita Komenského, 1999, ISBN 80-223-1327-0
- [7] RIEČANOVÁ, Z. a kol.: *Numerické metódy a matematická štatistika*. Bratislava : ALFA, 1987
- [8] BRUNOVSKÁ, A.: *Malá optimalizácia*. Bratislava : Alfa, 1990, ISBN 80-05-00770-1
- [9] DÁVID, A.: *Numerické metódy na osobnom počítači*. Bratislava : Alfa, 1988
- [10] ŠEVČOVIČ, L.: *Programy na spracovanie a vizualizáciu experimentálnych dát*. Košice : TU v Košiciach, 2006, ISBN 80-8073-638-3, (obrazovková verzia ISBN 80-8073-639-1). Kniha v PDF formáte je dostupná na URL adrese: <http://people.tuke.sk/jan.busa/kega/>

- [11] GARCIA, A., L. 2000. *Numerical Methods for Physics*. New Jersey : Prentice-Hall, 2000, ISBN 013-906744-2

Kontaktná adresa

Ladislav ŠEVČOVIČ (RNDr.),
Katedra fyziky FEI TU v Košiciach, Park Komenského 2,
041 20 Košice, ladislav.sevcovic@tuke.sk

6th INTERNATIONAL CONFERENCE APLIMAT

Section Open Source Software in Research and Education

February 6–9, 2007

Bratislava, Slovakia

Organizers: Michal Kaukič and Miloš Šrámek

Reviewers: Ján Buša, Michal Kaukič, Dušan Mamrilla, Peter Mann, Andrej Petráš, Karel Šotek and Miloš Šrámek

Editors: Michal Kaukič, Miloš Šrámek, Ladislav Ševčovič and Ján Buša

ISBN 978-80-969562-7-2

Zborník bol vydaný s podporou SKOSI, n. o.

Copyright ©2007 autori príspevkov

Ktokoľvek má dovolenie vyhotoviť alebo distribuovať doslovný opis tohoto dokumentu alebo jeho časti akýmkoľvek médiom za predpokladu, že bude zachované oznámenie o copyrighte a o tom, že distribútor príjemcovi poskytuje povolenie na ďalšie šírenie, a to v rovnakej podobe, akú má toto oznámenie.