

Statistické zpracování výsledků pozorování s využitím výpočetního systému MATLAB

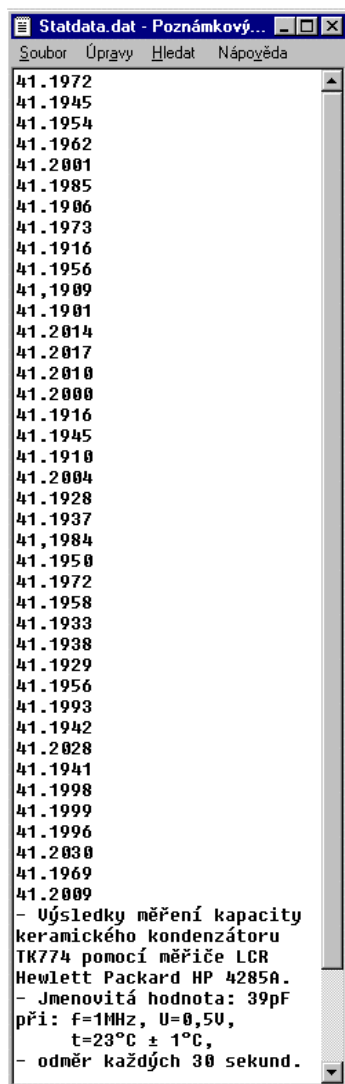
Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc., Ing. Radislav Šmíd, Ph.D., Petr PFEIFER

Katedra měření, Fakulta elektrotechnická,
České vysoké učení v Praze, Technická 2, 16627 Praha 6

Abstrakt: Příspěvek se zabývá popisem vyvinutého programového vybavení pro statistické zpracování výsledků pozorování, které používá pro všechny výpočty i tvorbu grafického uživatelského rozhraní pod Windows výpočetní systém MATLAB. Program byl sestaven s ohledem na použití především ve výuce, proto obsahuje několik prvků, které vizualizují prováděné výpočty.

1. Úvod

Před nedávnou dobou vznikla na naší katedře potřeba obnovy starého programového vybavení pro statistické zpracování výsledků pozorování užívaného také ve výuce. Nový program měl pracovat v prostředí Windows a měl podávat vyčerpávající informace o průběhu statistického zpracování výsledků pozorování a jeho fázích v přehledné grafické podobě. Pro své nesporné výhody byl pro vývoj nového programového vybavení zvolen výpočetní systém MATLAB.



```
Statdata.dat - Poznámkový...
Soubor Úpravy Hledat Nápověda
41.1972
41.1945
41.1954
41.1962
41.2001
41.1985
41.1906
41.1973
41.1916
41.1956
41.1909
41.1901
41.2014
41.2017
41.2010
41.2000
41.1916
41.1945
41.1910
41.2004
41.1928
41.1937
41.1984
41.1950
41.1972
41.1958
41.1933
41.1938
41.1929
41.1956
41.1993
41.1942
41.2028
41.1941
41.1998
41.1999
41.1996
41.2030
41.1969
41.2009
- Výsledky měření kapacity
keramického kondenzátoru
TK774 pomocí měřiče LCR
Hewlett Packard HP 4285A.
- Jmenovitá hodnota: 39pF
při: f=1MHz, U=0,5U,
t=23°C ± 1°C,
- odměr každých 30 sekund.
```

Obr. 1 Příklad souboru
s naměřenými daty

2. Popis funkcí programu

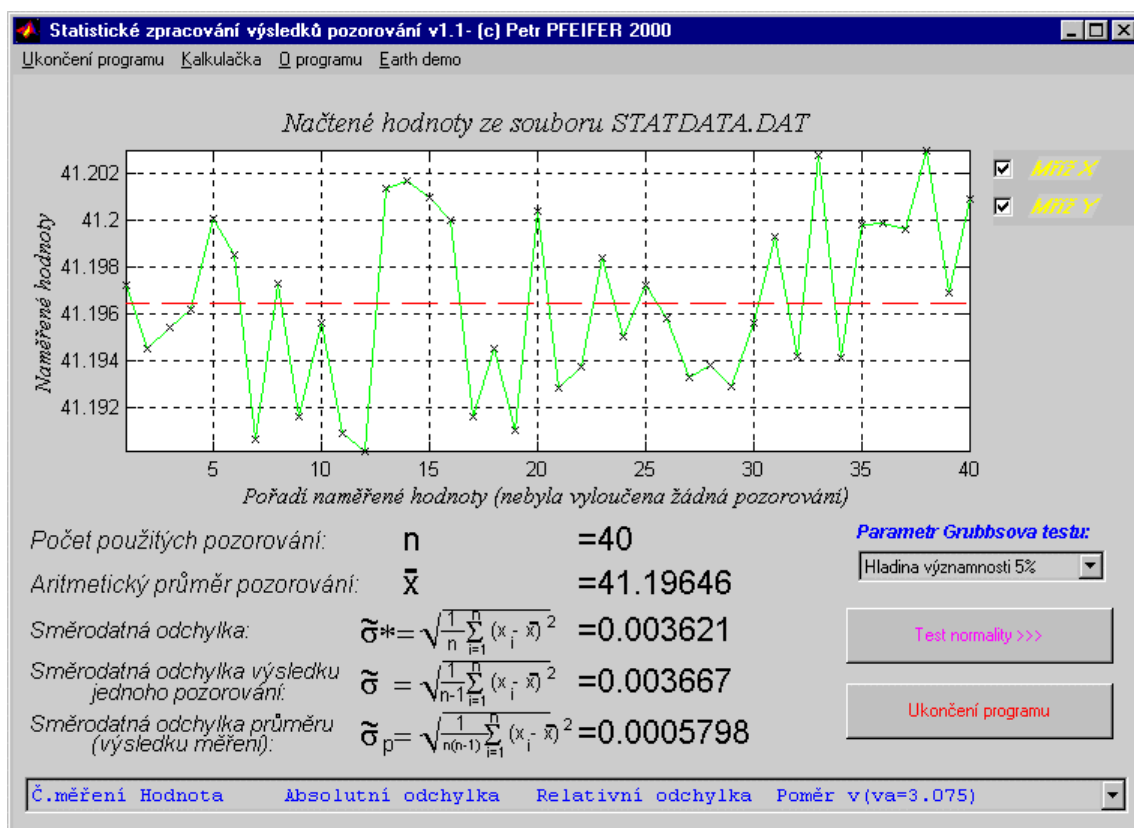
Program je koncipován jako jediný soubor typu m-file. Využívá služeb několika funkcí z knihovny STATS, přičemž přítomnost potřebných souborů program při svém spuštění kontroluje. Ke své práci vyžaduje MATLAB verze 5.2 nebo vyšší, jinak se po spuštění programu rovněž objeví chybové hlášení. Pro tvorbu grafického uživatelského rozhraní a jeho modifikace se téměř výlučně používají pouze funkce pro práci s grafickými objekty, jako např. *uicontrol()*, *get()*, *set()*, *delete()*, případně *text()*, apod.

Vlastní zpracování výsledků pozorování (naměřených dat) je rozděleno do několika fází, které je možné postupně detailně sledovat a případně ovlivňovat. Uživatel je o průběhu a všech dílčích výsledcích informován v přehledné grafické podobě.

2.1 Formát souboru dat

Vyvinutý systém umožňuje načíst naměřená data prakticky z libovolného textového souboru. Správný formát dat souboru je programem před následným statistickým zpracováním kontrolován. Program předpokládá soubor *statdata.dat*, ale název zpracovávaného souboru lze pochopitelně změnit. Na obr. 1 je možné vidět příklad obsahu takového souboru s výsledky pozorování. Na každém řádku textového souboru se předpokládá jeden dílčí výsledek, údajů by měl být dostatečný

počet (min.10), aby následně statistické zpracování mělo vůbec smysl provádět. Soubor může obsahovat také různé poznámky o provedeném pozorování. Jako výstup z provedeného pozorování tak může být jediný soubor.



Obr. 2 První okno programu se základními statistickými údaji a posouzením odlehlosti jednotlivých výsledků pozorování

2.2 Posouzení odlehlosti výsledků pozorování, výpočet základních statistických ukazatelů

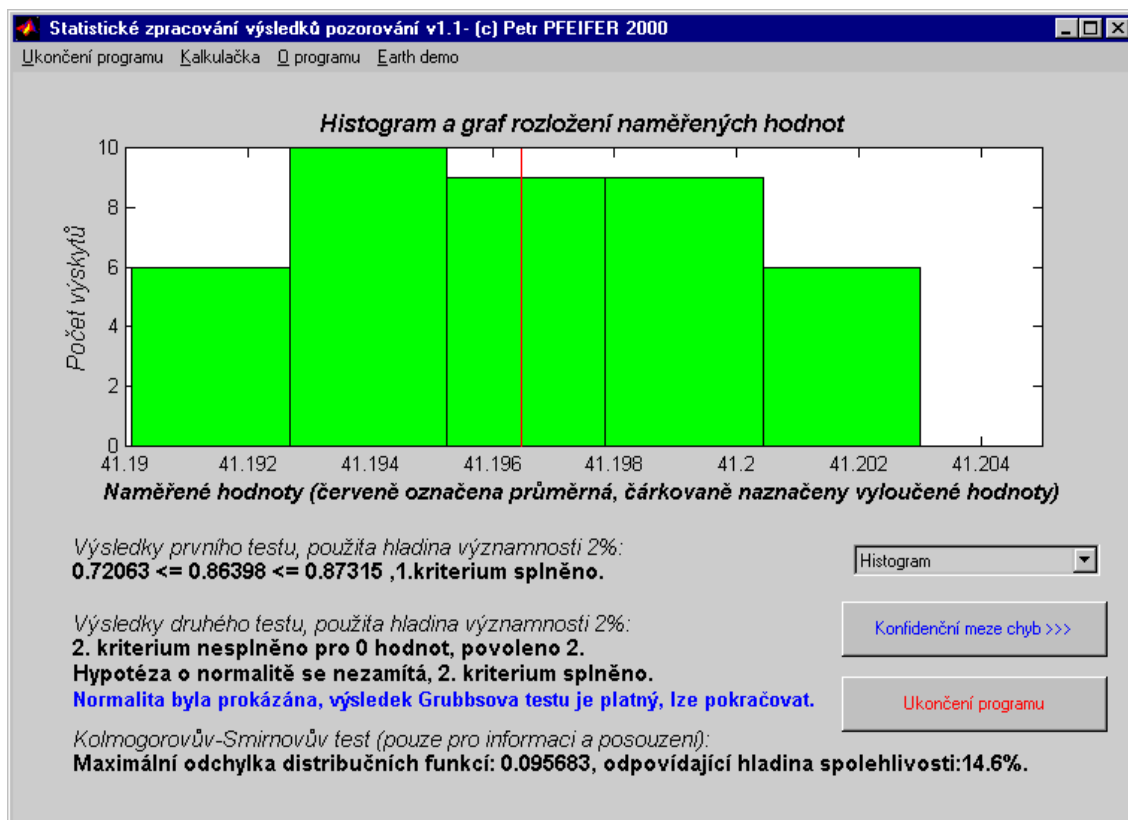
Na obr.2 můžeme vidět kopii prvního okna programu, vytvořeného po načtení dat ze souboru (výsledků pozorování) a jejich úvodní kontrole, zda je vůbec možné jejich využití pro účely tohoto postupu zpracování výsledků měření. V této fázi zpracování výsledků pozorování se provádí především posouzení jejich odlehlosti použitím metody F. E. Grubbsa a výpočet základních statistických ukazatelů výsledného souboru použitých výsledků pozorování.

V horní části okna jsou všechny naměřené výsledky graficky znázorněny (křížek u každé hodnoty, navzájem spojeny pro znázornění případných trendů) a je zobrazena jejich střední hodnota (čárkovaná červená čára). V případě, že je některá hodnota pro další zpracování výsledků ze zpracovávaného souboru vyškrtuta, tedy posouzena jako odlehlý výsledek, je příslušný křížek červeně orámován a je k němu přidáno číslo s jeho pořadím v souboru. V tomto grafu je možné pro zpřehlednění zvolit zobrazení jednotlivých částí mřížky. V dolní části prvního okna se zobrazují aktuální statistické ukazatele výsledného souboru hodnot, v případě směrodatných odchylek včetně vysázených vzorců, pomocí kterých byly uvedené výsledky získány. Všechny výsledky jsou přepočítávány a znovu zobrazeny po každé změně volby hladiny významnosti.

Kliknutím na výběrový box ve spodní části okna se aktivuje jeho obsah a zobrazí se výpis všech hodnot s uvedením jejich absolutní a relativní odchylky a poměrem v , vypočteným pro účely Grubbsova testu (v v prvním řádku je vždy v závorce uvedena hodnota Grubbsem stanovené α -kritické hodnoty $V\alpha$ statistiky, vypočtené za předpokladu normálního

rozdělení výsledků jednotlivých pozorování a na základě zvolené hladiny významnosti). Jednotlivé výsledky pozorování se z posuzovaného souboru vylučují, jestliže hodnota příslušného v je větší než hodnota $V\alpha$, tedy výsledek je pravděpodobně zatížen hrubou chybou.

Pokud po posouzení odlehlosti a případném vyškrtnutí zůstane dostatečné množství hodnot, je umožněn přechod do následující fáze zpracování výsledků pozorování, fáze ověření shody empirického rozdělení výsledků pozorování s normálním rozdělením. Vlastní přechod provedeme stiskem grafického tlačítka *Test normality >>>*, předčasné ukončení programu je možné níže umístěným tlačítkem.

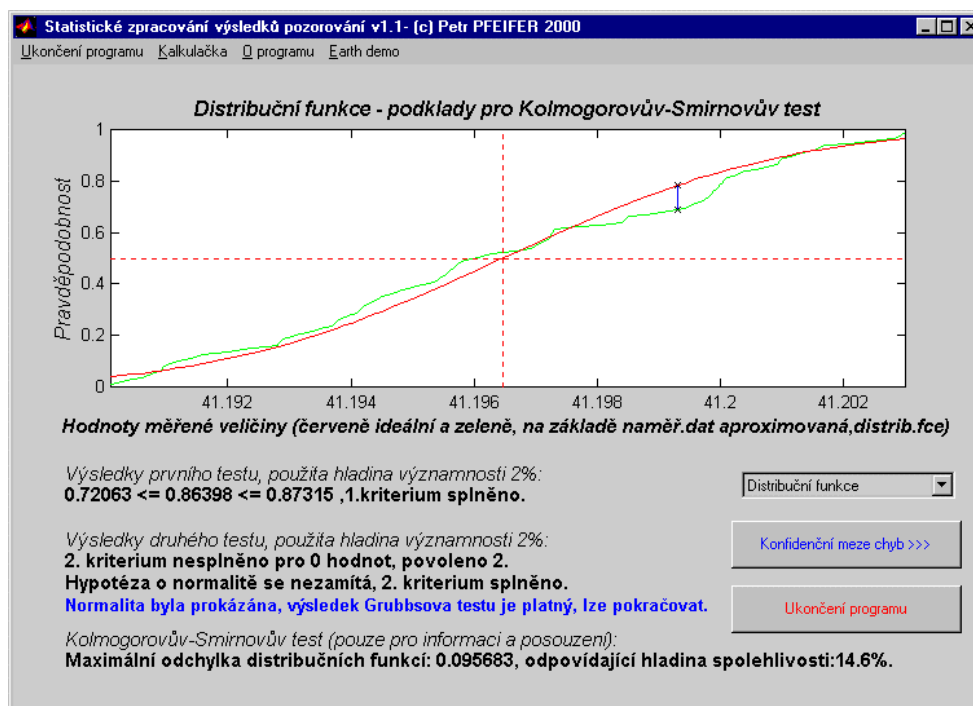
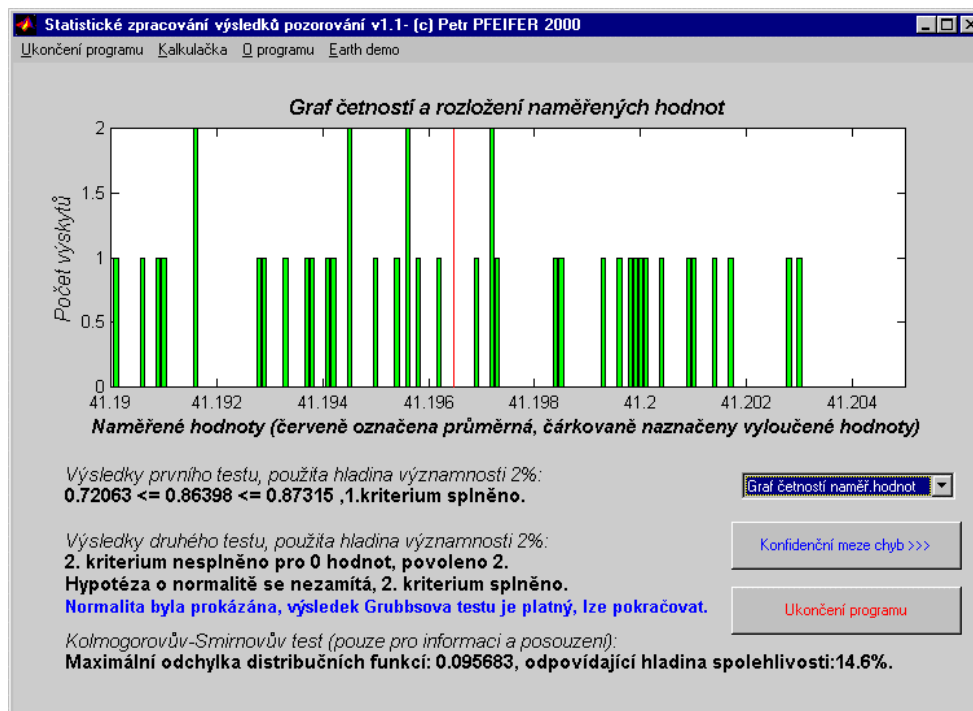


Obr. 3 Druhé okno programu s výsledky jednotlivých kritérií a zobrazení histogramu

2.3 Ověření shody empirického rozdělení výsledků pozorování s normálním rozdělením (test normality)

Na obr.3 je kopie druhého okna programu. V této fázi statistického zpracování výsledků pozorování se provedou výpočty podkladů pro testy dobré shody, které slouží k ověření shody empirického rozdělení a předpokládaného rozdělení vyhovujících výsledků pozorování. Při výpočtech se používá pevně zvolená hladina významnosti 2%. Program vypočítá podklady pro jednotlivá kritéria, které zobrazí a zároveň vyhodnotí. V případě splnění obou kritérií je normalita považována za prokázanou, je o tomto faktu informováno a je umožněn přechod do další fáze statistického zpracování výsledků pozorování (umožněním aktivace tlačítka *Konfidenční meze chyb >>>*).

Pomocí rozbalovací nabídky nad tlačítky je možné volit zobrazení jednoho ze tří grafů, který se následně zobrazí opět v horní části okna. Na obr.3 je vidět zvolené zobrazení histogramu. Další možnosti, tedy zobrazení grafu četnosti a distribučních funkcí pro účely Kolmogorovova-Smirnovova testu, jsou uvedeny na obr. 4, spolu s níže uvedeným stručným popisem.



Obr. 4 Druhé okno programu s výsledky jednotlivých kritérií a zobrazení grafu četnosti jednotlivých hodnot pozorování (nahore) a distribuční funkce pro účely Kolmogorova-Smirnovova testu (dole)

Jak již bylo výše zmíněno, v uvedené verzi byl přidán Kolmogorovův-Smirnovův test. Pomocí tohoto testu, založeného na posuzování odchylky distribuční funkce ideálního rozložení a distribuční funkce, vypočítané (aproximované) na základě souboru s výsledky pozorování. Při tomto testu se zjišťuje maximální odchylka těchto distribučních funkcí, která slouží k výpočtu odpovídající hladiny spolehlivosti. I zde byla cílem maximální názornost, obě distribuční funkce jsou tedy zobrazeny a rovněž je výrazně označena poloha nalezené maximální odchylky obou distribučních funkcí.

Statistické zpracování výsledků pozorování v1.1- (c) Petr PFEIFER 2000

Ukončení programu Kalkulačka U programu Earth demo

Konfidenční meze nevyložené systematické chyby:

(Do políček se vkládají hranice složek příslušné nevyložené systematické chyby.)

0.0824	0.0618		
^-přístroj	^-vliv kolísání teploty		
		Koeficient spolehlivosti 95%	Ukončení programu

Počet složek nevyložené systematické chyby: $m = 2$

Směrodatná odchylka nevyložené systematické chyby: $\tilde{\sigma}_{\text{syst.}} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^m \Delta_{\text{hr.syst.}i}^2} = 0.05947$

Konfidenční meze nevyložené systematické chyby: $\Delta X_{\text{hr.syst.}} = 0.1133$

Konfid. meze náhodné chyby výsledku měření: $\Delta X_{\text{hr.nah.}} = t_{1-\alpha/2} (n-1) \cdot \tilde{\sigma}_p = \pm 0.001173$

Odpovídající interval spolehlivosti: (41.19529, 41.19764)

Konfidenční meze celkové chyby měření: $\Delta X_{\text{hr.z}} = \frac{\Delta X_{\text{hr.nah.}} + \Delta X_{\text{hr.syst.}}}{\tilde{\sigma}_p + \tilde{\sigma}_{\text{syst.}}} \sqrt{\tilde{\sigma}_p^2 + \tilde{\sigma}_{\text{syst.}}^2} = \pm 0.1134$

Odpovídající interval spolehlivosti: (41.08309, 41.30984)

Obr.5 Třetí a poslední okno programu s možností zadání konfidenčních mezí nevyložených systematických chyb a výsledky zpracování.

2.4 Zadání konfidenčních mezí nevyložené systematické chyby a závěrečné výpočty

Na výše uvedeném posledním obrázku je kopie posledního okna programu s aktuálními výsledky. V této závěrečné fázi statistického zpracování výsledků pozorování můžeme pomocí boxů v horní části okna zadat hodnoty konfidenčních mezí jednotlivých složek nevyložené systematické chyby. Při každém zadání hodnoty do některého z vyhrazených políček se automaticky všechny níže uvedené výsledky přepočítají a znovu zobrazí.

Na obr.5 můžeme vidět funkci v programu zabudované průběžné kontrole zadaných dat. Hodnoty, které mají smysl a jsou programem následně zpracovány, jsou také pro kontrolu vytištěny zpět do právě modifikovaného políčka s využitím funkce *num2str()* a toto políčko je zvýrazněno přebarvením svého podkladu bílou barvou. V případě chybného nebo nesrozumitelného údaje (jako např. uvedené poznámky o přístroji nebo o vlivu kolísání teploty v průběhu měření), je pozadí políčka obarveno červenou barvou a jakýkoliv výsledek této kontroly není pochopitelně pro účely dalšího zpracování dat vůbec uvažován.

V dolní části okna jsou uvedeny všechny základní statistické údaje, např. rekapitulace počtu zadaných a uznaných složek nevyložené systematické chyby, směrodatné odchylky nevyložené systematické chyby a konfidenčních mezí nevyložené systematické, náhodné a celkové chyby výsledku měření. Opět u každého výpočtu té které chyby je také vysázený vzorec, který byl k jejímu výpočtu použit. Nakonec může uživatel vidět zvýrazněný hlavní výsledek, tedy odpovídající interval spolehlivosti, ve kterém se hodnota měřené veličiny, při zvolené hladině, resp. koeficientu spolehlivosti, s největší pravděpodobností nachází.

Program lze ukončit stiskem posledního grafického tlačítka, stejně jako kdykoliv použitím uzavírací zóny okna.

3. Závěr

Výše popisovaný program je již s úspěchem odzkoušen a používán především ve výuce. Výpočetní systém MATLAB se ukázal být velice dobrou volbou, program je především přehlednější a kratší oproti řešení užitím jiných produktů pro vývoj programů a grafických uživatelských rozhraní pro Windows. Velkými výhodami programu jsou uvedení vzorců a přehledné grafické znázornění dat, uživatel tak není odkázán na pouhé konstatování a strohé výpisy výsledků, ale může si bez minima dalších pomůcek udělat obrázek o výpočetním postupu a významu příslušného výsledku nebo hodnoty. Program je koncipován jako jediný m-file délky necelých 31 KB, což bezpochyby přispívá k jeho bezproblémovému využívání. Prakticky všechny dílčí výsledky statistického zpracování výsledků pozorování je možné uložit do souboru nebo získat přímo z prostředí MATLAB čtením vyhrazené globální proměnné.

Literatura

- [1] Boháček, J.: Teorie měření. Skripta ČVUT, Praha 1991
- [2] Boháček, J., Haasz, V.: Teorie měření. Cvičení. Skripta ČVUT, Praha 1992
- [3] NUMERICAL RECIPIES IN C: THE ART OF SCIENTIFIC COMPUTING, ISBN 0-521-43108-5, Chapter 14. Statistical Description of Data, Cambridge University Press
- [4] <http://www.grappad.com/www/grubbs.htm>

Kontaktní adresa:

Petr PFEIFER

Katedra měření, FEL ČVUT Praha, Technická 2, 166 27 Praha 6

e-mail: xpfeifer@fel.cvut.cz