

A6M33SSL: Statistika a spolehlivost v lékařství

Teorie spolehlivosti

Vojta Vonásek
vonasek@labe.felk.cvut.cz

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra kybernetiky

A6M33SSL - přehled

Obsah "spolehlivostní" části A6M33SSL

- Jak modelovat náhodné poruchy komponent a celých systémů
- Jak zvýšit jejich spolehlivost
- Jak modelovat složitější systémy s různými poruchami (a opravami)

Související předměty

- A4M33TVS: Testování a verifikace software
- A3M38DIT Diagnostika a testování

Zkouška

- Teoretické otázky, početní příklady, znalost z přednášek i cvičení!

*** STOP: 0x00000019 (0x00000000,0xC00E0FF0,0xFFFFEFD4,0xC0000000)
BAD_POOL_HEADER

CPUID: GenuineIntel 5.2.c irq1:1f SYSVER 0xf0000565

| Dll Base | DateStmp | - Name | Dll Base | DateStmp | - Name |
|----------|----------|----------------|----------|----------|-----------------|
| 80100000 | 3202c07e | - ntoskrnl.exe | 80010000 | 31ee6c52 | - hal.dll |
| 80001000 | 31ed06b4 | - atapi.sys | 80006000 | 31ec6c74 | - SCSIPTOR.SYS |
| 802c6000 | 31ed06bf | - aic78xx.sys | 802cd000 | 31ed237c | - Disk.sys |
| 802d1000 | 31ec6c7a | - CLASS2.SYS | 8037c000 | 31eed0a7 | - Ntfs.sys |
| fc698000 | 31ec6c7d | - Floppy.SYS | fc6a8000 | 31ec6ca1 | - Cdrom.SYS |
| fc90a000 | 31ec6df7 | - Fs_Rec.SYS | fc9c9000 | 31ec6c99 | - Null.SYS |
| fc864000 | 31ed868b | - KSecDD.SYS | fc9ca000 | 31ec6c78 | - Beep.SYS |
| fc6d8000 | 31ec6c90 | - i8042prt.sys | fc86c000 | 31ec6c97 | - mouclass.sys |
| fc874000 | 31ec6c94 | - kbdclass.sys | fc6f0000 | 31f50722 | - UIDEOPORT.SYS |
| feffa000 | 31ec6c62 | - mga_mil.sys | fc890000 | 31ec6c6d | - vga.sys |
| fc708000 | 31ec6ccb | - Msfs.SYS | fc4b0000 | 31ec6cc7 | - Npfs.SYS |
| fefbc000 | 31eed262 | - NDIS.SYS | a0000000 | 31f954f7 | - win32k.sys |
| feffa000 | 31f91a51 | - mga.dll | fec31000 | 31eedd07 | - Fastfat.SYS |
| feb8c000 | 31ec6e6c | - TDI.SYS | feaf0000 | 31ed0754 | - nbfs.sys |
| feacf000 | 31f130a7 | - tcpip.sys | feab3000 | 31f50a65 | - netbt.sys |
| fc550000 | 31601a30 | - e159x.sys | fc560000 | 31f8f864 | -afd.sys |
| fc718000 | 31ec6e7a | - netbios.sys | fc858000 | 31ec6c9b | - Parport.sys |
| fc870000 | 31ec6c9b | - Parallel.SYS | fc954000 | 31ec6c9d | - ParUdm.SYS |
| fc5b0000 | 31ec6cb1 | - Serial.SYS | fea4c000 | 31f5003b | - rdr.sys |
| fea3b000 | 31f7a1ba | - mup.sys | fe9da000 | 32031abe | - srv.sys |

| Address | dword dump | Build [1381] | - Name | |
|----------|------------|-------------------|-------------------|----------------|
| fec32d84 | 80143e00 | 80143e00 80144000 | ffdfdf00 00070b02 | - KSecDD.SYS |
| 801471c8 | 80144000 | 80144000 ffdff000 | c03000b0 00000001 | - ntoskrnl.exe |
| 801471dc | 80122000 | f0003fe0 f030eee0 | e133c4b4 e133cd40 | - ntoskrnl.exe |
| 80147304 | 803023f0 | 0000023c 00000034 | 00000000 00000000 | - ntoskrnl.exe |

Restart and set the recovery options in the system control panel
or the /CRASHDEBUG system start option.

Motivační příklad — harddisk

E-shop nabízí v akci špičkový harddisk (HDD) s parametrem MTBF = 1.4 milión hodin (cca 160 let).



Vymyšlen s ohledem na odolnost a spolehlivost

Hodnota až 1,4 milionu hodin MTBF znamená, že tento disk se špičkovým výkonem poskytuje nejvyšší úroveň spolehlivosti pro nepřetržitý provoz v těch nejnáročnějších prostředích úložišť.

Parametry a specifikace



| | |
|------------------|-------------------------|
| Použití | Do počítače, Do serveru |
| Typ úložiště | HDD |
| Kapacita | 4 000 GB (4 TB) |
| Formát | 3,5" |
| Barva | Stříbrná |
| ▼ Více parametrů | |

Motivační příklad — harddisk

E-shop nabízí v akci špičkový harddisk (HDD) s parametrem MTBF = 1.4 milión hodin (cca 160 let).

- Znamená to, že disk vydrží 160 let?
- Co je MTBF?
- Vydrží vám disk celé studium na FELu? A tuto přednášku?
- Jaká je pravděpodobnost poruchy HDD během této přednášky?
- Může uživatel ovlivnit výskyt poruch?
- Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?



Motivační příklad — harddisk

E-shop nabízí v akci špičkový harddisk (HDD) s parametrem MTBF = 1.4 milión hodin (cca 160 let).

- Znamená to, že disk vydrží 160 let?
- Co je MTBF?
- Vydrží vám disk celé studium na FELu? A tuto přednášku?
- Jaká je pravděpodobnost poruchy HDD během této přednášky?
- Může uživatel ovlivnit výskyt poruch?
- Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?

MTBF = mean time between failures — střední doba mezi poruchami

- **Proč "střední doba"?**
- **Jak je definována porucha HDD?**

Teorie spolehlivosti

- Analýza systému
 - modely spolehlivosti/poruchovosti komponent a systémů
 - měření parametrů systémů (např. měření MTBF)
- Syntéza systémů
 - Jak navrhnout systém s požadovanou spolehlivostí
 - Jak zvýšit spolehlivost existujícího systému?

Historie

- První studie spolehlivosti po 1. světové válce (nehody letadel)
- Větší rozvoj během 2. svět. války, např. při vývoji V1
- Probability law of series components → i když je systém složen z velkého množství kvalitních komponent, jeho celková spolehlivost může být nízká.

Teorie spolehlivosti

Spolehlivost: pravděpodobnost, že systém (prvek) vykonává požadovanou funkci v uvažovaném časovém intervalu.

Poruchy: jevy, kvůli kterým zařízení nefunguje správně

- Posouzení, zda je jev poruchou na základě podmínek provozu
 - Rozbitá žárovka (jev) v lustru nemusí být poruchou
 - Rozbitá žárovka (jev) v kontrolním panelu jaderné elektrárny je poruchou
- Významnost/vážnost poruch
 - katastrofické
 - významné
 - nevýznamné
- Typy poruch:
 - závislé, nezávislé
 - trvalé, dočasné
 - časné, dožitím

V SSL budeme uvažovat poruchy náhodné a trvalé

Příčiny poruch

Výrobní příčiny:

- Konstrukční chyby, nedokonalost materiálu
- Nevhodná technologie výroby, chyby při výrobě

Oblast přepravy:

- Nedodržení přepravních podmínek
- Nedodržení skladovacích podmínek

Oblast užívání:

- Nesprávné používání
- Nedodržení podmínek údržby
- Únava, stárnutí a opotřebení



Náhodné poruchy

Náhodné, neopravované poruchy (zatím)

- poruchy vznikají náhodně v čase
- příčiny: stárnutí materiálů, interakce s jiným systémem, lidský faktor
- lze uvažovat i jinou "časovou" doménu:
 - CPU time (SW), CPU cykly (SW na μ P)
 - počet běhů, počet cyklů, počet vykonaných operací (vhodné pro systémy s nespojitou činností)
 - počet otočení ozubených koleček
 - ujeté kilometry, zpracovaný objem, apod.

Charakteristika poruch

- Intenzita poruch
- Hustota poruch
- Střední doba mezi poruchami

Charakteristiky spolehlivosti

Předpoklad:

- náhodné poruchy, které nastávají v náhodném čase $\xi \geq 0$
- v čase $t < 0$ je prvek vypnut a nemůže se porouchat
- čas je buď spojitý nebo diskrétní
- dvoustavové poruchy: systém je buď funkční, nebo porouchaný
- poruchy bez oprav

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$: je pravděpodobnost, že v čase t je systém funkční

$$R(t) = P(\xi > t).$$

Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$: je pravděpodobnost, že porucha nastala před časem t

$$Q(t) = P(\xi \leq t).$$

$Q(t)$ je distribuční funkce
 $R(t)$ — z anlg. "reliability"

Charakteristiky spolehlivosti

Porucha a bezporuchový stav se vylučují:

$$R(t) = 1 - Q(t).$$

Hustota pravděpodobnosti poruch $f(t)$:

$$f(t) = \frac{d}{dt}Q(t) = \frac{d}{dt}(1 - R(t)) = -\frac{d}{dt}R(t)$$

Zaručená doba bezporuchového provozu T_β : je takový čas, kdy pravděpodobnost bezporuchového provozu je rovna β , tedy

$$R(T_\beta) = \beta$$

MTTF a MTBF

MTTF — Mean Time To Failure

- střední doba do poruchy systému

MTBF = T_s — Mean Time Between Failures

- střední doba mezi poruchami pro systém s opravami

$$T_s = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad T_s = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

MTTR – Mean Time To Repair

- střední doba opravy (pouze pro systém s opravami)

$$\text{MTBF} = \text{MTTF} + \text{MTTR}$$

Systém bez oprav: MTBF = MTTF.

Součinitel pohotovosti K_p (jen u prvků s opravami):

$$K_p = \frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}}$$

Pravděpodobnost poruchy

Pravděpodobnost, že dojde k poruše v intervalu $\langle t_1, t_2 \rangle$

$$P(t_1 < \xi < t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = [Q(t)]_{t_1}^{t_2} = Q(t_2) - Q(t_1) =$$

$$1 - R(t_2) - (1 - R(t_1)) = R(t_1) - R(t_2)$$

Poznámka:

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = \int_0^{t_2} f(t) dt - \int_0^{t_1} f(t) dt =$$

$$Q(t_2) - Q(t_1) = R(t_1) - R(t_2)$$

Intenzita poruch

Pravděpodobnost poruchy v intervalu $\langle t, t + \Delta t \rangle$ za předpokladu, že v čase t systém funguje:

$$P(t < \xi \leq t + \Delta t | \xi > t) = \frac{P(t < \xi \leq t + \Delta t)}{P(\xi > t)} = \frac{Q(t + \Delta t) - Q(t)}{R(t)}$$

Intenzita poruch $\lambda(t)$:

$$\begin{aligned}\lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < \xi \leq t + \Delta t | \xi > t)}{\Delta t} = \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q(t + \Delta t) - Q(t)}{\Delta t} \frac{1}{R(t)} = \frac{dQ(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}.\end{aligned}$$

- $\lambda(t)$ se může měnit v čase!, např. v důsledku stárnutí materiálu

Interpretace spolehlivosti

- Jaká je pravděpodobnost, že se systém porouchá v časovém intervalu $\langle t, t + \Delta t \rangle$?

$$\approx f(t)\Delta t$$

- Jaká je pravděpodobnost, že se systém porouchá v časovém intervalu $\langle t, t + \Delta t \rangle$ za předpokladu, že v čase t systém ještě funguje?

$$\approx \lambda(t)\Delta t$$

Interpretace spolehlivosti

Počet poruch v časovém intervalu $\langle t, t + \Delta t \rangle$ je $n(t)$. Počet funkčních prvků je $m(t)$, pak

$$\lambda(t) \approx \frac{n(t)}{m(t)\Delta t}.$$

Intenzita poruch je rovna střední hodnotě počtu poruch v jednotkovém intervalu.

Charakteristiky spolehlivosti

Vlastnosti $R(t)$

- $0 \leq R(t) \leq 1$
- $R(0) = 1$ (přístroj funguje v době zapnutí)
- $R(\infty) = 0$ (přístroj se určitě porouchá)
- Pravděpodobnost $R(t)$ klesá s časem

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ jako funkce $\lambda(t)$:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$$

- Z průběhu intenzity poruch můžeme odvodit $R(t)$
- Z $R(t)$ lze vypočítat $f(t)$
- Z $R(t)$ lze vypočítat $Q(t)$
- ... tedy všechny potřebné údaje

Bude odvozeno na cvičení.

Příklady MTBF

| Zařízení | MTBF | |
|-----------------------------|---------------|-------------|
| | Hodiny | Roky |
| HDD | 1 000 000 | 160 |
| PC zdroj | 100 000 | 11 |
| Jehličková tiskárna | 20 000 | 2 |
| Tenký klient PC (bez disku) | 170 000 | 19 |
| LED (v dopravě) | 100 000 | 11 |
| TV | 45 000 | 5 |
| DVD přehrávač | 40 000 | 4 |
| Standardní PC | 30 000 | 3 |
| NAND gate | 148 000 000 | 16 894 |

Jak získat parametry spolehlivosti

Hlavním parametrem je intenzita poruch $\lambda(t)$ nebo MTBF

- Historická data
 - Databáze udržovaná výrobcem
 - Parametry nových prvků mohou být odhadnuty z parametrů podobných zařízení
- Veřejné/komeční databáze
 - např. Reliability Prediction of Electronic Equipment (MIL-HDBK-217F)
 - Intenzity poruch pro elektronické součástky
 - Parametry pro různé provozní podmínky (např. teploty)
- Testování na reálných systémech nebo prototypch

Příloha

Jak získat parametry spolehlivosti

Testování

- Sledují se poruchy jednotlivých komponent (pokud je to možné)
- Výsledkem měření jsou tabulky intenzit nebo časů poruch
- Některé systémy takto nelze testovat
 - vysoká MTBF — muselo by se měřit dlouho
 - zastarávání výrobku (během testů se přestane používat)
 - Některé poruchy nechceme naměřit (výbuch reaktoru)
 - Ekonomické náklady
- Naměřená data zpracovávají statisticky

Zrychlené testy (ALT — Accelerated Life Testing)

- Výrobek je vystaven zvýšené zátěži (např. vyšší/nížší teplota, tlak, napětí, zátěž, vibrace, vlhkost, prach, ...)
- Očekává se, že vzroste intenzita poruch a klesne MTBF
- ALT umožní snížit počet zařízení nutný k testování
- Výsledky testů jsou upraveny dle tabulek/modelů ALT

Testování výrobků

MTBF data

- Tabulka obsahuje časy t_i , kdy nastaly poruchy
- Převod na tabulku intenzit: určit intervaly a spočítat poruchy, které se projeví v daném intervalu
- Aproximace t_i vhodným rozdělením (např. metoda max. věrohodnosti)

| Záznam | čas |
|--------|-------|
| 1 | t_1 |
| 2 | t_2 |
| : | |
| n | t_n |

Intenzity poruch

- Tabulka obsahující počet poruch v daném intervalu
- Lze vynést do grafu a proložit křivkou

| Záznam | Délka inter- valu [hod] | Počet poruch |
|--------|----------------------------|-----------------|
| 1 | 4 | 5 |
| 2 | 4 | 6 |
| 3 | 8 | 10 |
| : | | |

Poznámka: uvažujeme časovou doménu, ale obdobně lze i pro jiné

Zrychlené testování — nepovinné

Příklad: měříme

$$\lambda = \frac{r}{T a_f}$$

- T je doba zrychleného testu
- r je počet pozorovaných poruch
- a_f je faktor zrychlení testu, např. pro test se zvýšenou teplotou:

$$a_f = e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_t} \right)}$$

- E_a exp. hodnota svázaná s typem poruchy a obtížností jejího vyvolání. Např. 0.7 eV
- k je Boltzmannova konstanta
- T_u provozní teplota [K]
- T_t teplota během testu [K]

Zrychlené testování I

s_0, s_1, \dots, s_n jsou úrovně zátěže (např. teplota), takové, že $s_i > s_{i-1}$ a s_0 odpovídá provozním podmínkám.

Máme k dispozici velké množství n zařízení na testování.

Postup:

- 1 Jedna úroveň testování s_i je vybrána náhodně a n_i prvků je vybráno náhodně pro testování na této úrovni. Test je ukončen poté, co je zaznamenáno $r_i \leq n_i$ poruch. Výsledkem jsou měření časů poruch $T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{ir_i}$
- 2 Další úroveň s_j je vybrána náhodně ze zbývajících (netestovaných) úrovní n_j prvků je vybráno náhodně k testování (ze zbývajících prvků) Test je ukončen po $r_j \leq n_j$ poruchách. Výsledkem je měření $T_{j1}, T_{j2}, \dots, T_{jr_j}$.

Bod 2 je opakován tak dlouho, dokud nejsou otestovány všechny úrovně k .

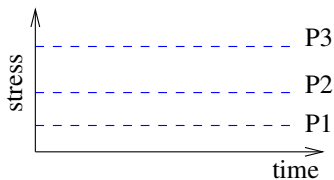
- Na každé úrovni testujeme jiné prvky (vypovídající data)
- Na každé úrovni máme zaručen počet r_j poruch (lze dopředu zvolit)

Zrychlené testování II

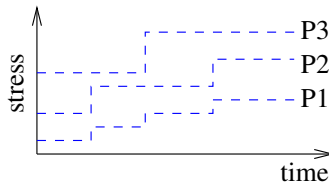
Před testem zvolíme časy t_1, t_2, \dots, t_k , k je počet zátěžových úrovní.

- 1 Vybereme m náhodných prvků z n dostupných
 - 2 V časovém úseku $(0, t_1]$ jsou testovány při zátěži s_0
 - 3 Prvky, které fungují v čase t_1 jsou ponechány v testu
 - 4 V časovém úseku $(t_1, t_2]$ jsou prvky testovány při zátěži s_1
 - 5 atd..
 - 6 výsledkem je vektor časů poruch T_1, T_2, \dots, T_n
- Vyžaduje méně testovacích prvků než metoda I
 - Není zaručeno, že budeme pozorovat chyby na k -te úrovni
 - Výrobky jsou namáhány více (na všech předchozích úrovních) — může ovlivnit jejich poruchovost

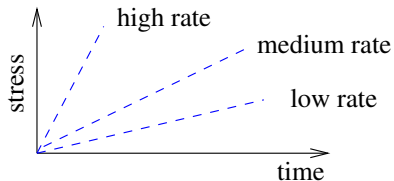
Příklady ALT testů



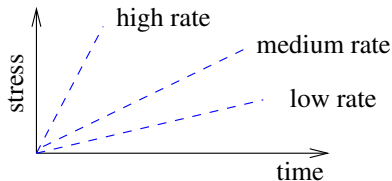
Konstatní zátěž



Skokově rostoucí zátěž



Rostoucí zátěž



Cyklický test

Exponenciální rozdělení

Vlastnosti a použití

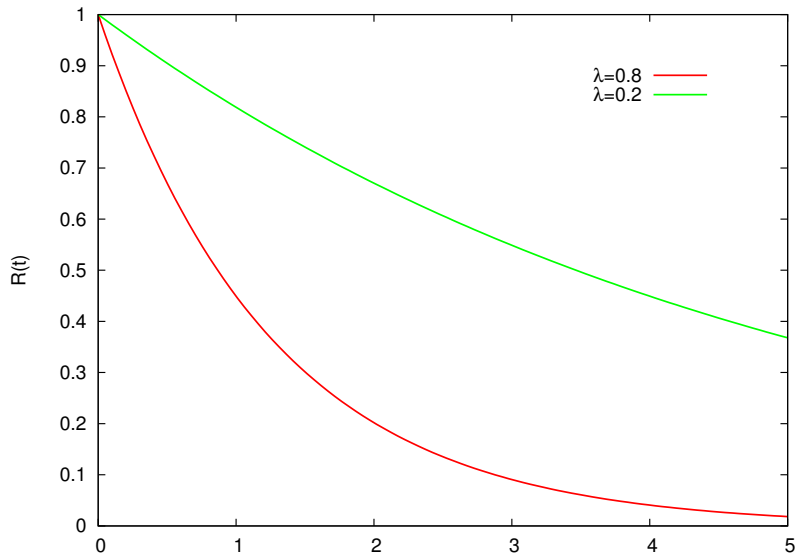
- $\lambda(t) = \lambda_0$ je konstantní
- Modelování poruchovosti v běžném provozu
- Jednoduché odvození λ_0 z dat, jednoduché i další výpočty

Příklad: Určete $R(t)$ pro exponenciální rozdělení s intenzitou poruch λ_0 .

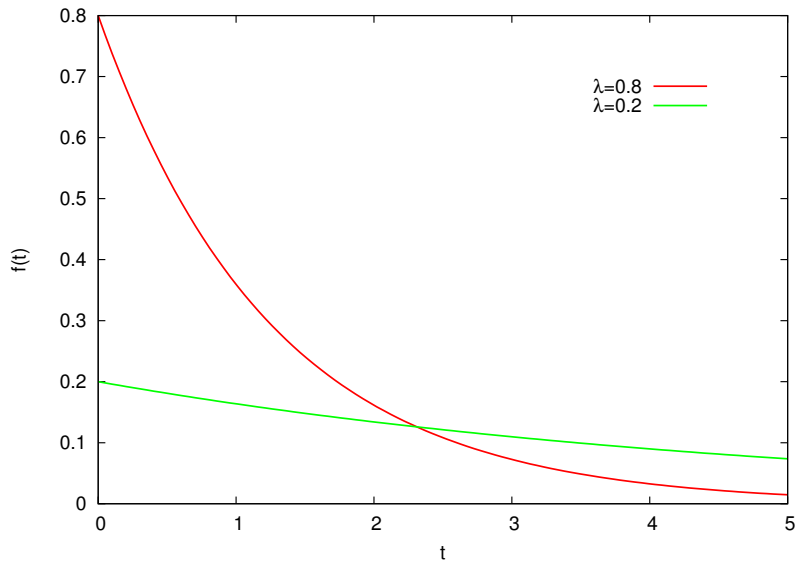
$$\begin{aligned}R(t) &= e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} \\&= e^{-\int_0^t \lambda_0 d\tau} \\&= e^{-[\lambda_0 \tau]_0^t} \\&= e^{-(\lambda_0 \cdot t - \lambda_0 \cdot 0)} \\&= e^{-\lambda_0 t}\end{aligned}$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu pro poruchy, jejichž výskyt je popsán exponenciálním rozdělením je $R(t) = e^{-\lambda_0 t}$.

Exponenciální rozdělení



Exponenciální rozdělení



Memoryless property

Jaká je pravděpodobnost, že přístroj bude fungovat v čase $t + x$ za předpokladu, že funguje v čase t ?

$$\begin{aligned}P(\xi > t + x | \xi > t) &= \frac{P(\xi > t + x)}{P(\xi > t)} = \frac{R(t + x)}{R(t)} = \frac{e^{-\lambda(t+x)}}{e^{-\lambda t}} \\ &= e^{-\lambda x} = P(\xi > x) = R(x).\end{aligned}$$

Určení λ_0 z dat

Jak určit parametr λ_0 pro daný prvek?

- Test s n výrobky
- Naměříme časy poruch t_1, \dots, t_n
- Odhad λ_0 je

$$\lambda_0 = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Pozn: odvodíme na cvičení

Exponenciální rozdělení

Příklad: Jaká je pravděpodobnost, že prvek, jehož poruchy podléhají exponenciálnímu rozdělení s parametrem $\lambda_0 = 0.001$, bude fungovat v čase $t = 10$?

Pravděpodobnost bezporuchového provozu pro exp. rozdělení je

$$R(t) = e^{-\lambda_0 t}.$$

Po dosazení

$$R(10) = e^{-10 \cdot 0.001} = e^{-0.01} = 0.99.$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu je 99 %.

Exponenciální rozdělení

Příklady:

- Určete střední dobu bezporuchového provozu T_s pro exponenciální rozdělení.
- Kolik % výrobků se porouchá během této doby?
- Odvoďte hodnotu mediánu pro exponenciální rozdělení.

Alternativní charakteristiky

AFR (Annualized failure rate)

- Pravděpodobnost poruchy v 1 roce
- Předpokládá exponenciální rozdělení poruch
- Používá se zejména u HDD

$$AFR(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\frac{t}{T_s}}$$

FIT (Failures in Time)

- počet poruch za dobu 10^9 hodin.
- předpokládá exponenciální rozdělení
- používá se např. pro polovodičové součástky

Motivační příklad — HDD

Prodejce nabízí HDD s MBTF=1.4 milion hodin (cca 160 let).

- Co je MTBF?
- Vydrží vám disk celé studium na FELu?
- Jaká je pravděpodobnost, že se vám HDD porouchá během této přednášky?
- Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?

Motivační příklad — HDD

Prodejce nabízí HDD s MBTF=1.4 milion hodin (cca 160 let).

- Co je MTBF?
- Vydrží vám disk celé studium na FELu?
- Jaká je pravděpodobnost, že se vám HDD porouchá během této přenášky?
- Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?

- MTBF je střední doba mezi poruchami.
- Tato doba neznamena, že vám HDD vydrží 160 let.
- Uvažujme exponenciální rozdělení poruch, pak
- $\lambda_0 = 1.4 \cdot 10^{-6}$

Motivační příklad — HDD

Prodejce nabízí HDD s MBTF=1.4 milion hodin (cca 160 let).

- Co je MTBF?
- Vydrží vám disk celé studium na FELu?
- Jaká je pravděpodobnost, že se vám HDD porouchá během této přenášky?
- Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?

Jaká je pravděpodobnost, že HDD vydrží fungovat bez poruchy po dobu T_s ?

Uvažujme exponenciální rozdělení poruch s $\lambda_0 = 1/T_s$. Pak

$$R(T_s) = e^{-\lambda_0 T_s} = e^{(-1/T_s) \cdot T_s} = e^{-1} = 0.367.$$

Pravděpodobnost, že HDD vydrží fungovat po celou dobu MTBF je 36.7 %.

Motivační příklad — HDD

Prodejce nabízí HDD s MBTF=1.4 milion hodin (cca 160 let).

- Co je MTBF?
- **Vydrží vám disk celé studium na FELu?**
- Jaká je pravděpodobnost, že se vám HDD porouchá během této přenášky?
- Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?

Obdobně. Hledáme $R(5let) = R(43800hodin)$.

Řešení: $R(5let) = 0.9405$. Disk se tedy během studia na FELu porouchá s pravděpodobností 5.9 %.

Motivační příklad — HDD

Prodejce nabízí HDD s MBTF=1.4 milion hodin (cca 160 let).

- Co je MTBF?
- Vydrží vám disk celé studium na FELu?
- **Jaká je pravděpodobnost, že se vám HDD porouchá během této přednášky?**
- Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?

Motivační příklad — HDD

Prodejce nabízí HDD s MBTF=1.4 milion hodin (cca 160 let).

- Co je MTBF?
- Vydrží vám disk celé studium na FELu?
- Jaká je pravděpodobnost, že se vám HDD porouchá během této přednášky?
- **Má smysl zálohovat data na tento disk? Pokud ano, tak jak na to?**

Viz další přednášky.