

PDV 08 2021/2022

Detekce selhání

Michal Jakob

michal.jakob@fel.cvut.cz

Centrum umělé inteligence, katedra počítačů, FEL ČVUT



Detekce selhání

Systemy založeny na **skupinách procesů**

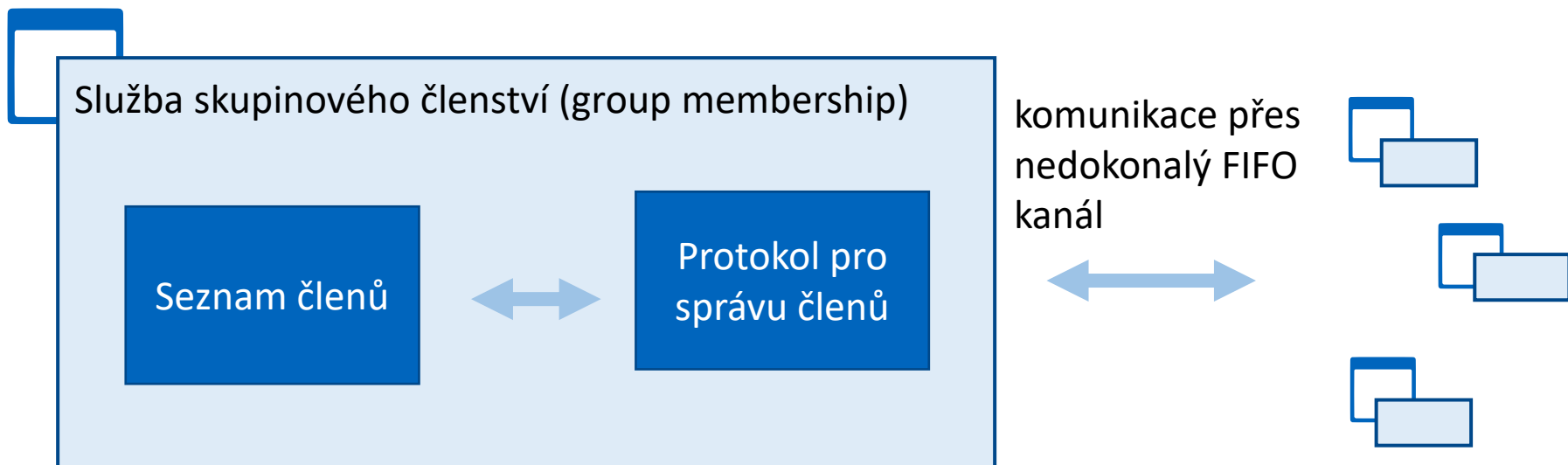
- cloudy / datová centra
- replikované servery
- distribuované databáze

Frekvence selhání roste lineárně s počtem procesů ve skupině
=> selhání jsou *běžná*.

V následujícím předpokládáme **havárii procesu (crash-stop)** jako model selhání a komunikaci přes ztrátový/nedokonalý FIFO kanál.

Obecněji: Správa skupin (group membership)

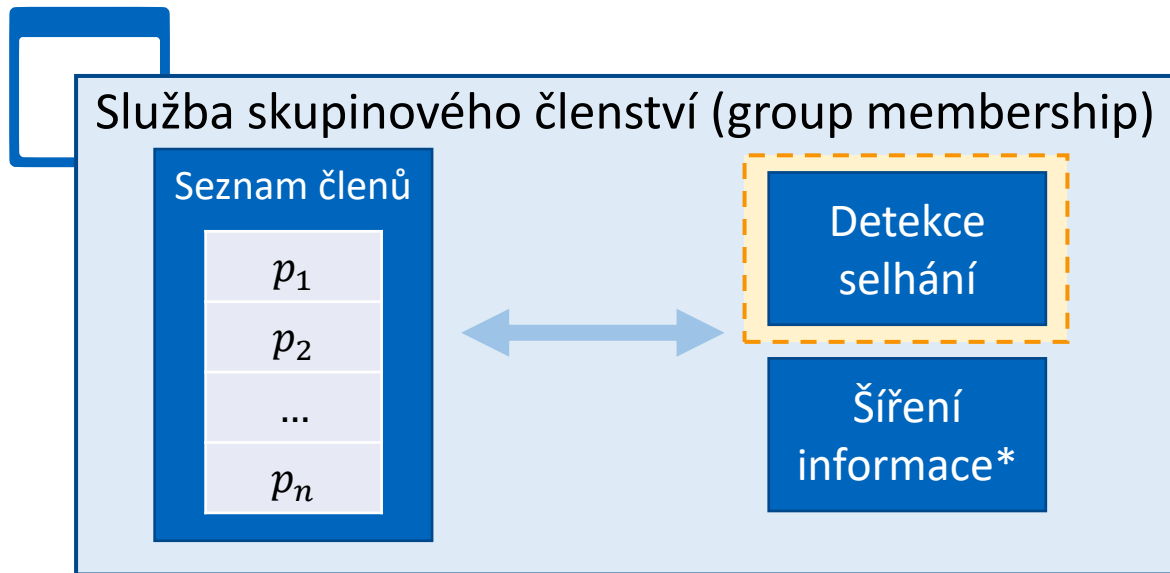
 proces ve skupině



Procesy ze skupiny,
které dosud nesehaly

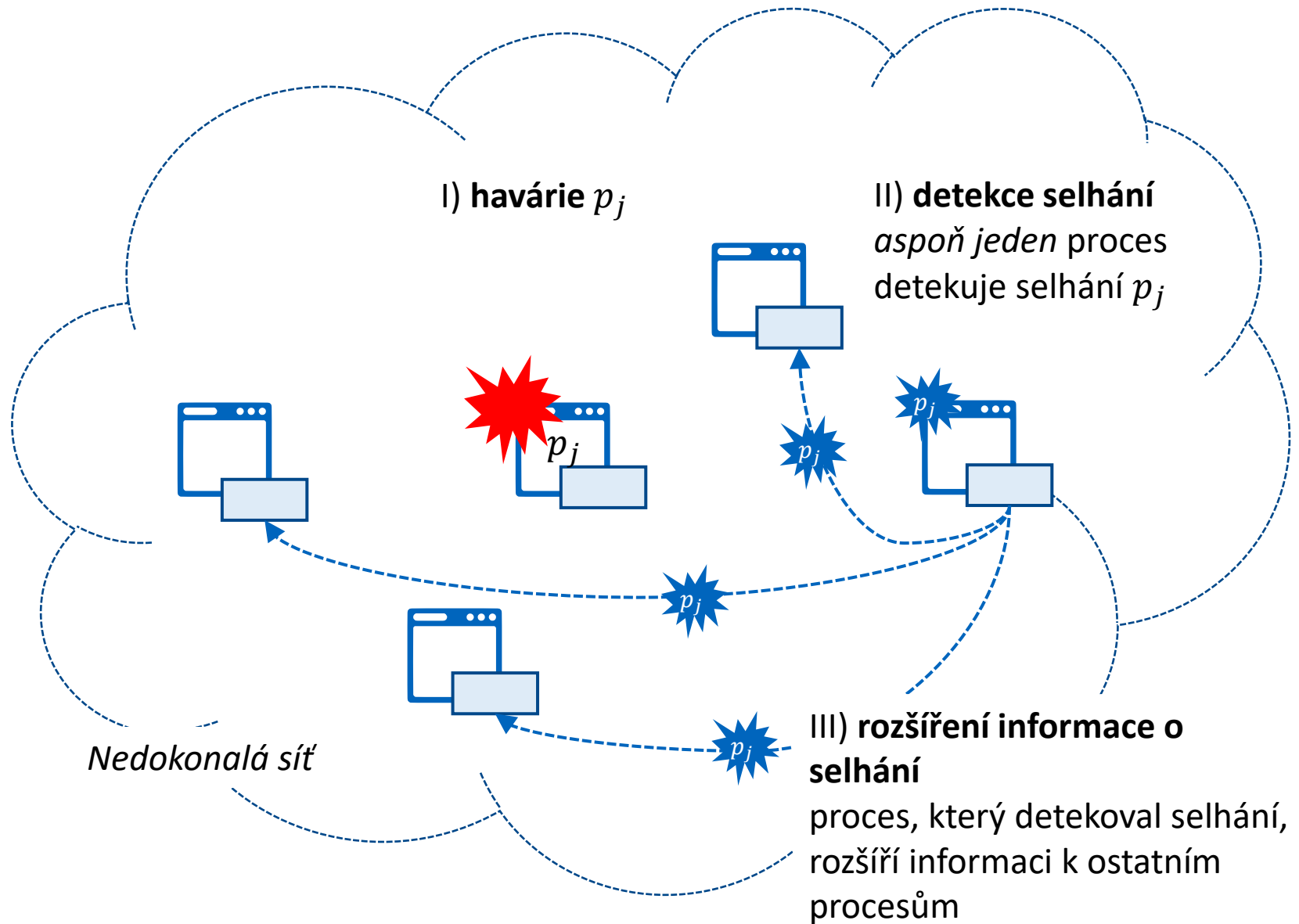
Udržuje seznam procesů při 1)
příchodu nového procesu, 2)
tichého selhání procesu a 3)
odchodu procesu

Dva podprotokoly



*Informace o selhání
(a také o vstupu / výstupu procesu do skupiny)

Průběh detekce

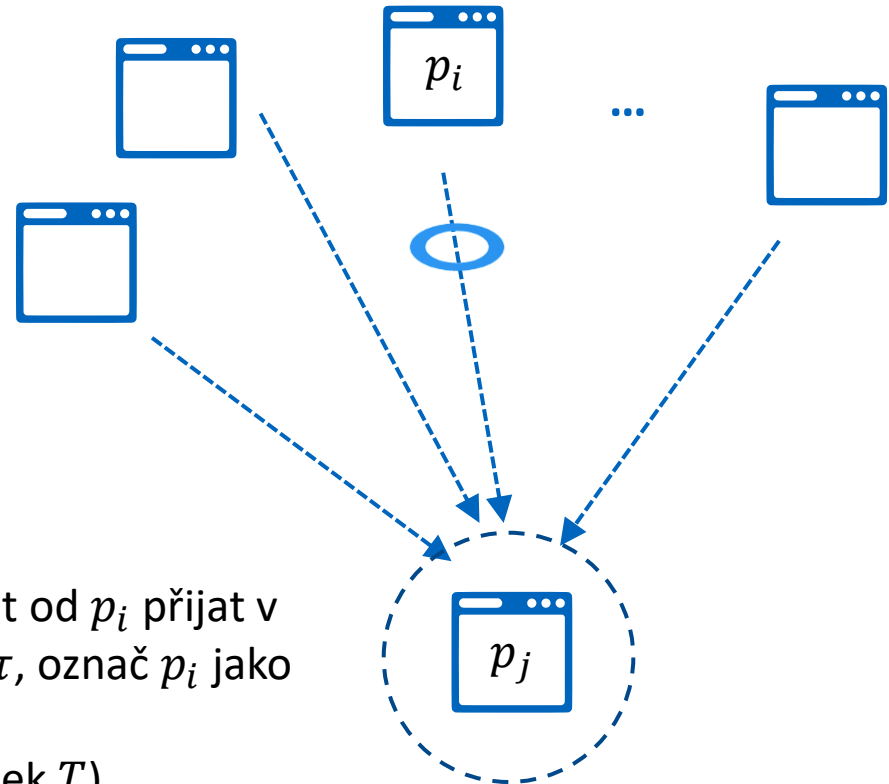




Základní protokoly pro detekci selhání

Centralizovaný heartbeat

- Hearbeats jsou **odesílány periodicky** (každých T časových jednotek) jednomu vybranému procesu.
- Heartbeat má **pořadové číslo**. (Po odeslání heartbeatů je inkrementován lokální **čítač heartbeatů** každého procesu.)

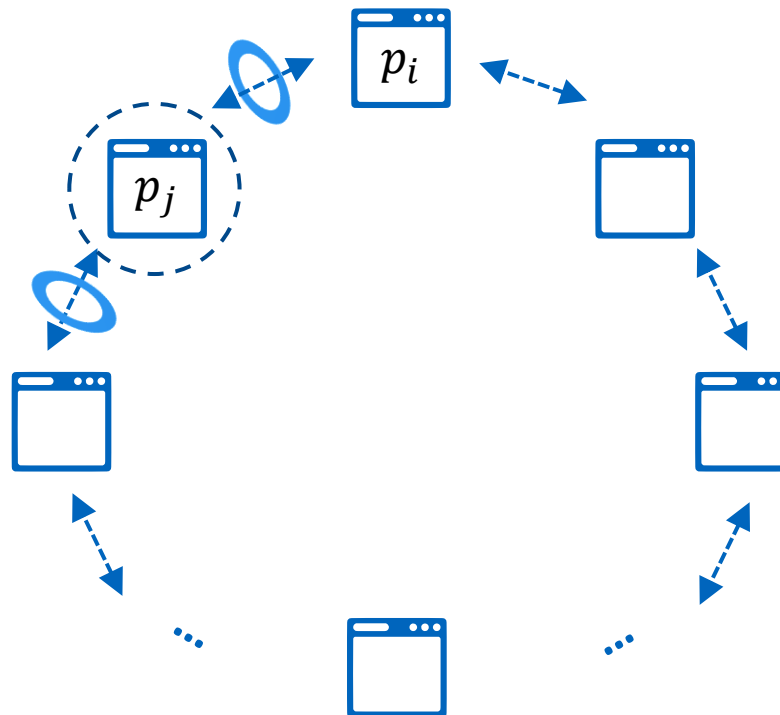


Není-li heartbeat od p_i přijat v časovém limitu τ , označ p_i jako **havarovaný** (τ typicky násobek T)

- ☺ **Úplný** pro všechny procesy s výjimkou p_j
- ☹ Selhání p_j **není detekováno**.
- ☹ Při vysokém počtu procesů může být p_j **přetížený**.

Kruhový heartbeat

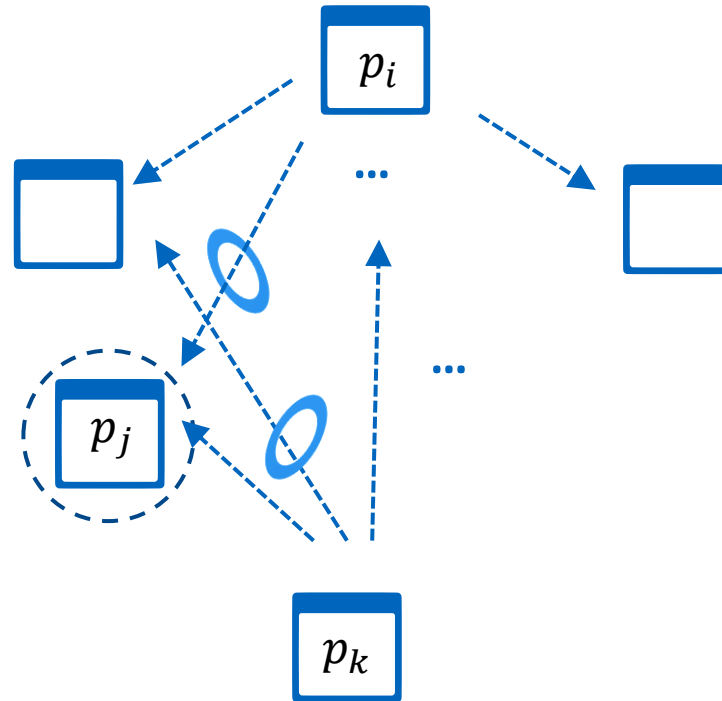
- Hearbeats jsou odesílány periodicky **sousedům každého** procesu (jedno- nebo oboustranně)



- ☺ **Není centrální bod**
- ☹ **Neúplné** při současném selhání více procesů
- ☹ Je třeba udržovat **kruh**

Všichni-všem (all-to-all) heartbeating

- **Každý** proces posílá periodicky heartbeats **všem** ostatním procesům.



- ☺ **Rovnoměrná zátěž** všech procesů (ale **vysoká**).
- ☺ **Úplný**: pokud zůstane aspoň jede nehavaraný proces, detekuje selhání libovolného jiného procesu.
- ☹ **Nízká přesnost**: stačí, když jeden proces nedostane včas heartbeats a může označit všechny procesy jako havarované.



Vlastnosti detektorů selhání

Požadované vlastnosti detektorů selhání



Úplnost

= **každé selhání** je časem **detekováno** aspoň jedním **bezvadným** procesem

Přesnost

= **nedochází k mylné detekci**

Pokud je proces detekován jako havarovaný, tak skutečně havaroval (žádná false positives)

Nelze dosáhnout obou vlastností současně při nedokonalé komunikaci

(detekce selhání je ekvivalentní problému konsensu—procesy se musí shodnout na tom, které procesy jsou bezvadné a které havarované)

Požadované vlastnosti detektorů selhání

100% Úplnost

Úplnost nelze obětovat <= potřebujeme vědět, že proces havaroval

Vždy splněna v prakticky používaných detektorech

<100% Přesnost

Chybně detekované selhání vede ke zbytečným operacím, ale lepší než přehlédnutí havárie

Pouze částečně (pravděpodobnostní garance)

Další vlastnosti detektorů selhání

Rychlost detekce

= čas do okamžiku, kdy **první** proces detekuje selhání

Škálovatelnost

= **počet** posílaných **zpráv** a **rovnoměrné rozložení** komunikační zátěže

Nechceme úzká hrdla a centrální body selhání

Vlastnosti detektorů selhání

Úplnost

Vždy **garantována**

(Ne)Přesnost

p_m ... pravděpodobnost, že dojde k **chybné detekci** během T časových jednotek

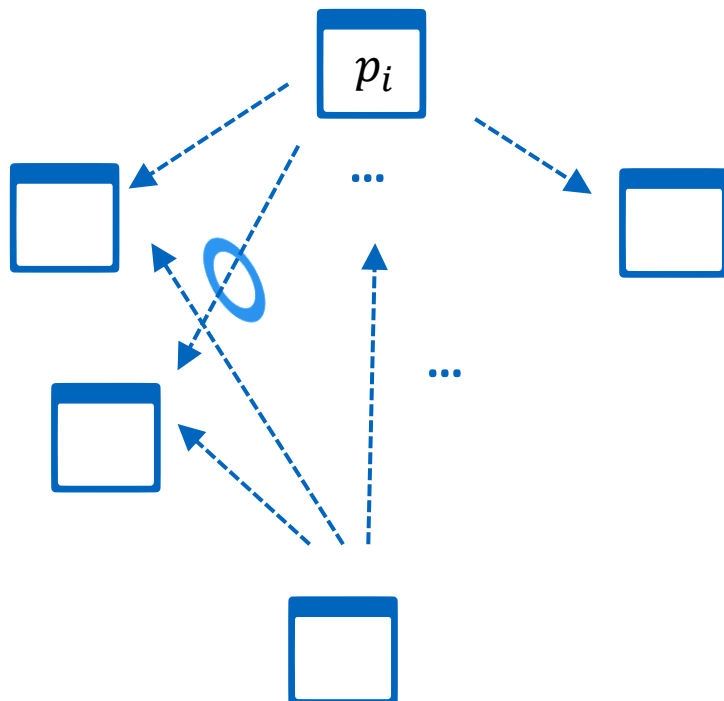
Rychlost

T_d ... průměrný počet časových jednotek do **první detekce** selhání

Škálovatelnost

L ... **komunikační zátěž**, tj. počet zpráv na proces a jednotku času

Analýza all-to-all heartbeating



Počet procesů: N

Perioda heartbeatu: T

Timeout interval: τ

Přesnost: závisí na
spolehlivosti komunikace

**Maximální čas do první
detekce:** $T_d = \tau + T$

Komunikační zátěž: $L = \frac{N}{T}$

Komunikační zátěž je
lineární v počtu procesů.

(celkový počet zpráv v systému roste
kvadraticky s počtem procesů)

Optimální detektor

All-to-all heartbeat má **lineární zátěž** $L = O(N/T)$

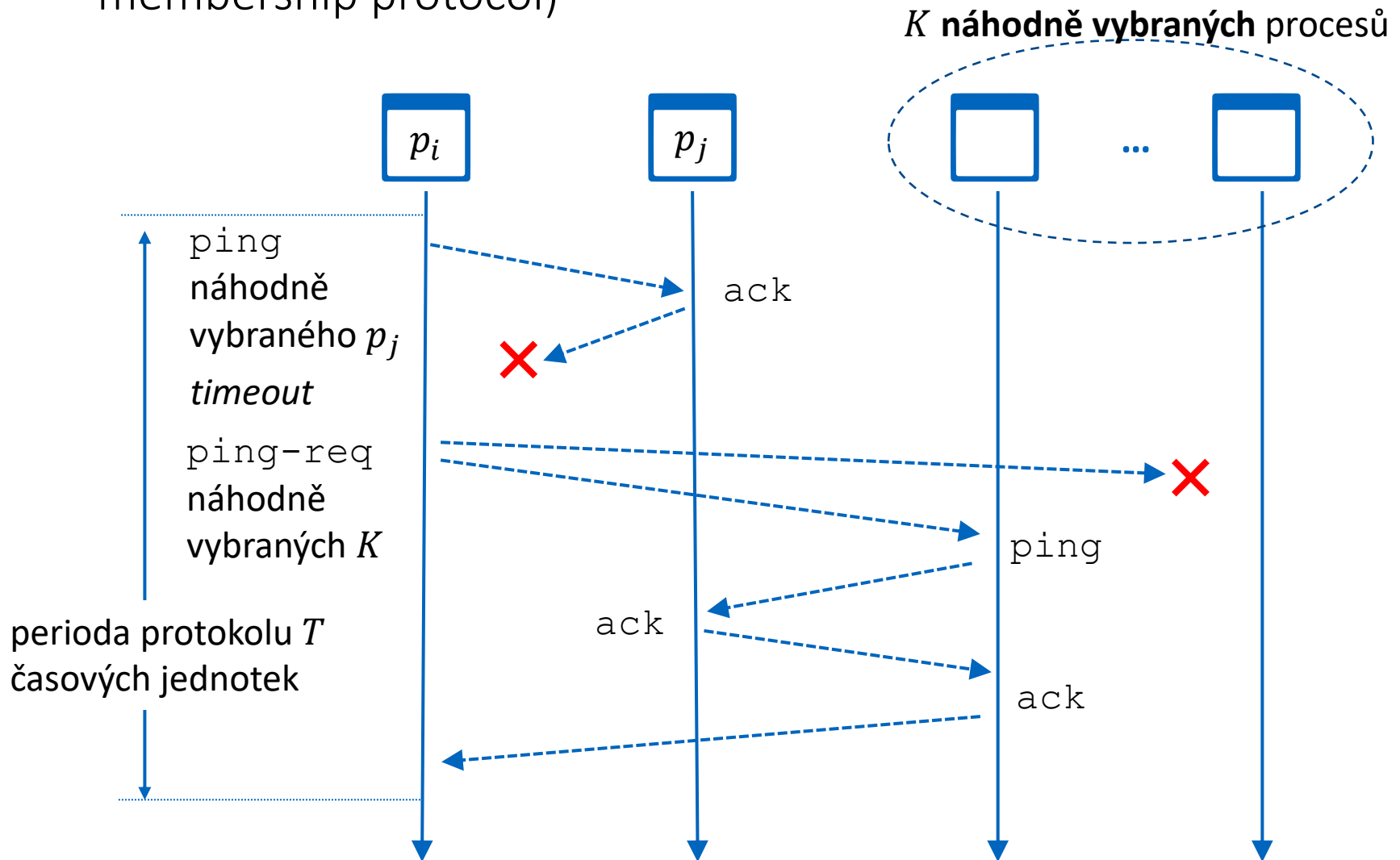
- celkový počet posílaných zpráv ve skupině procesů pak roste **kvadraticky**

Jak dosáhnout nižší zátěže?

→ Zavést pravděpodobnostní detekční algoritmus.

SWIM Detektor Selhání

(Scalable weakly consistent infection-style proces group membership protocol)



Střední čas do detekce selhání?

Pravděpodobnost, že daný proces bude vybrán pro PING v jedné periodě aspoň jedním procesem:

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} \rightarrow 1 - e^{-1}$$

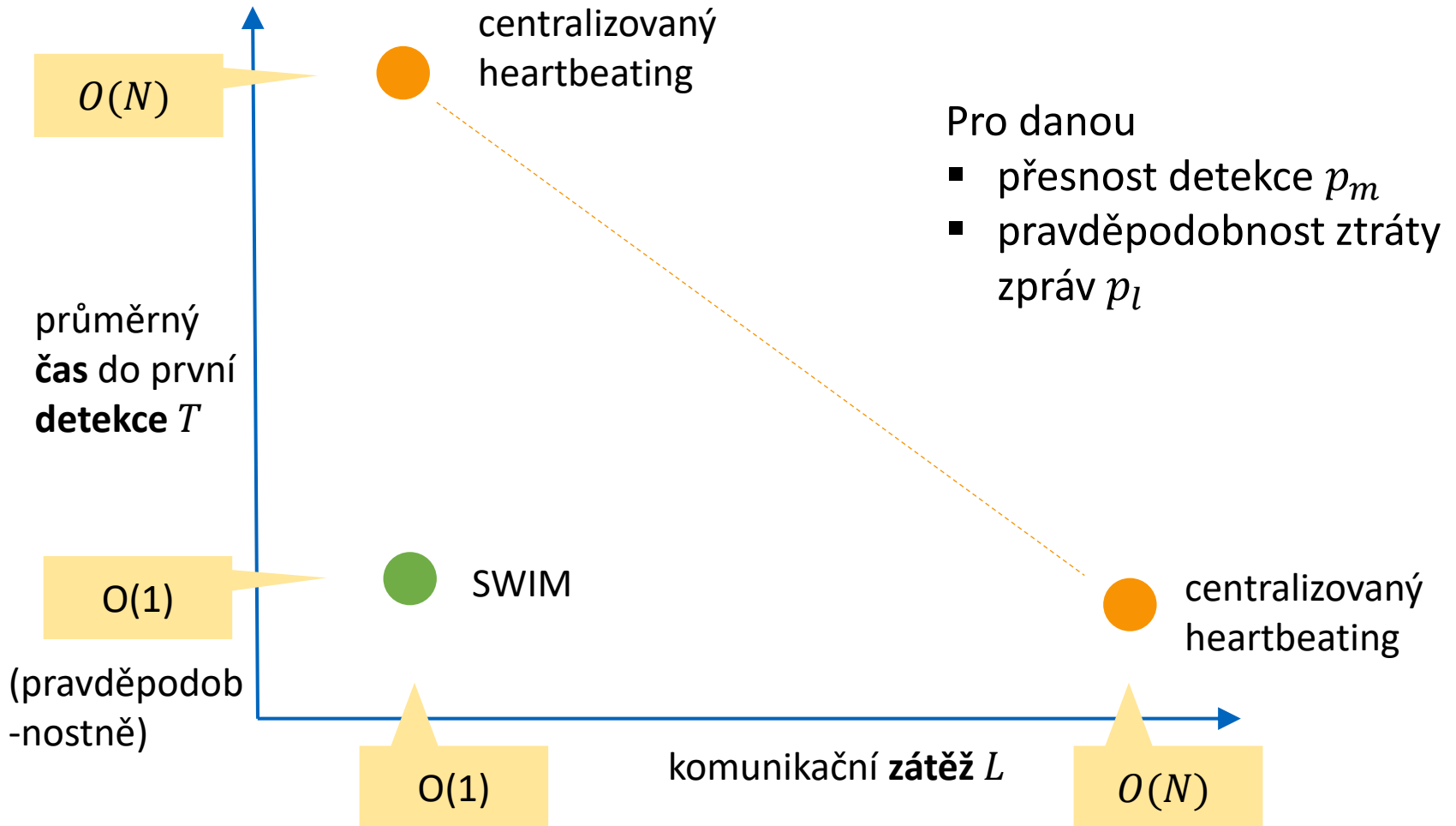
Střední hodnota počtu period, než bude daný proces poprvé vybrán pro PING:

$$t = \frac{1}{1 - e^{-1}} = \frac{e - 1}{e}$$

Další vlastnosti SWIM

Průměrný čas do první detekce T_d	<ul style="list-style-type: none">▪ nezávisí na počtu procesů▪ Lze ukázat, že $E[T_d] = \frac{e}{e-1}T \sim 1.58T$ (pro velká N)
Komunikační zátěž L	<ul style="list-style-type: none">▪ nezávisí na počtu procesů
(Ne)přesnost p_m	<ul style="list-style-type: none">▪ lze nastavit nastavením K▪ klesá exponenciálně s rostoucím K
Úplnost	<ul style="list-style-type: none">▪ Selhání bude <i>časem</i> detekováno – průměrný čas $\frac{e}{e-1}T$▪ Čas do detekce lze omezit i deterministicky na $O(N)$ (viz dále).

SWIM versus heartbeating



Časově garantovaná úplnost

Hlavní myšlenka: Zvolit každý proces ze seznamu **právě jednou** při posílání `ping` zprávy.

- postupné procházení seznamu
- permutace seznamu po obeslání všech procesů

Každé selhání je detekováno v maximálně $2N - 1$ periodách protokolu

Ostatní vlastnosti SWIM jsou **zachovány**.

Souhrn

Detekce selhání **klíčový stavební** prvek pro spolehlivé DS.

Jednoduchá detekce pomocí **heartbeat** vyžaduje lineární komunikační zátěž každého uzlu.

Pravděpodobnostní SWIM algoritmus je škálovatelný s konstantní zátěží.