PDV 08 2019/2020
Detekce selhání

Michal Jakob
michal.jakob@fel.cvut.cz
Centrum umělé inteligence, katedra počítačů, FEL ČVUT

Detekce selhání

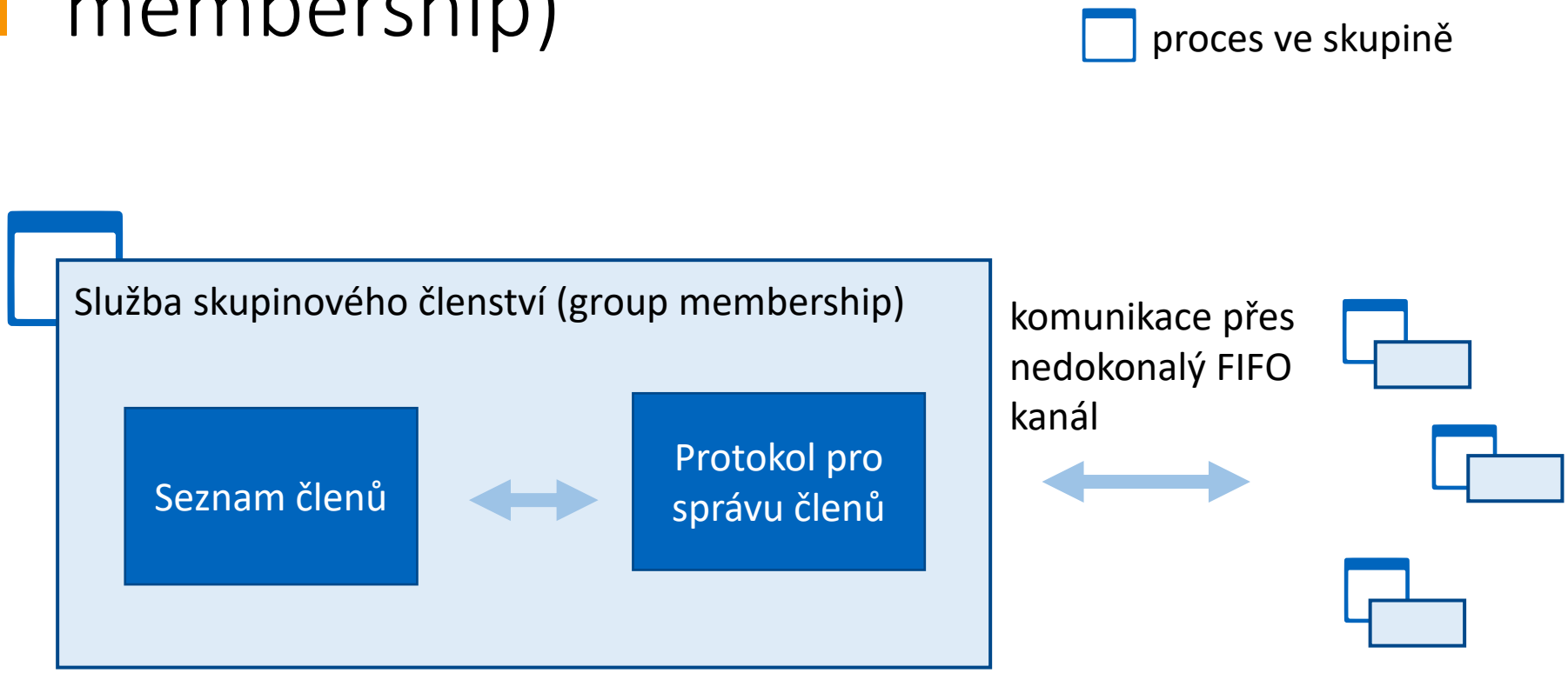
Systémy založeny na **skupinách procesů**

- 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.

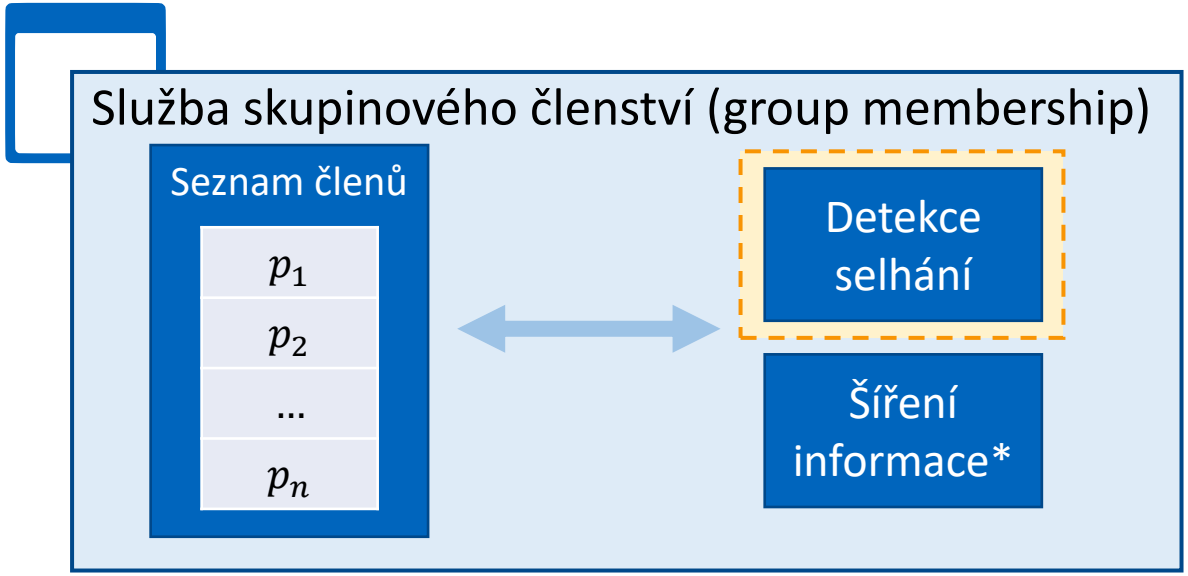
Obecněji: Správa skupin (group membership)



Procesy ze skupiny, které dosud neselhaly

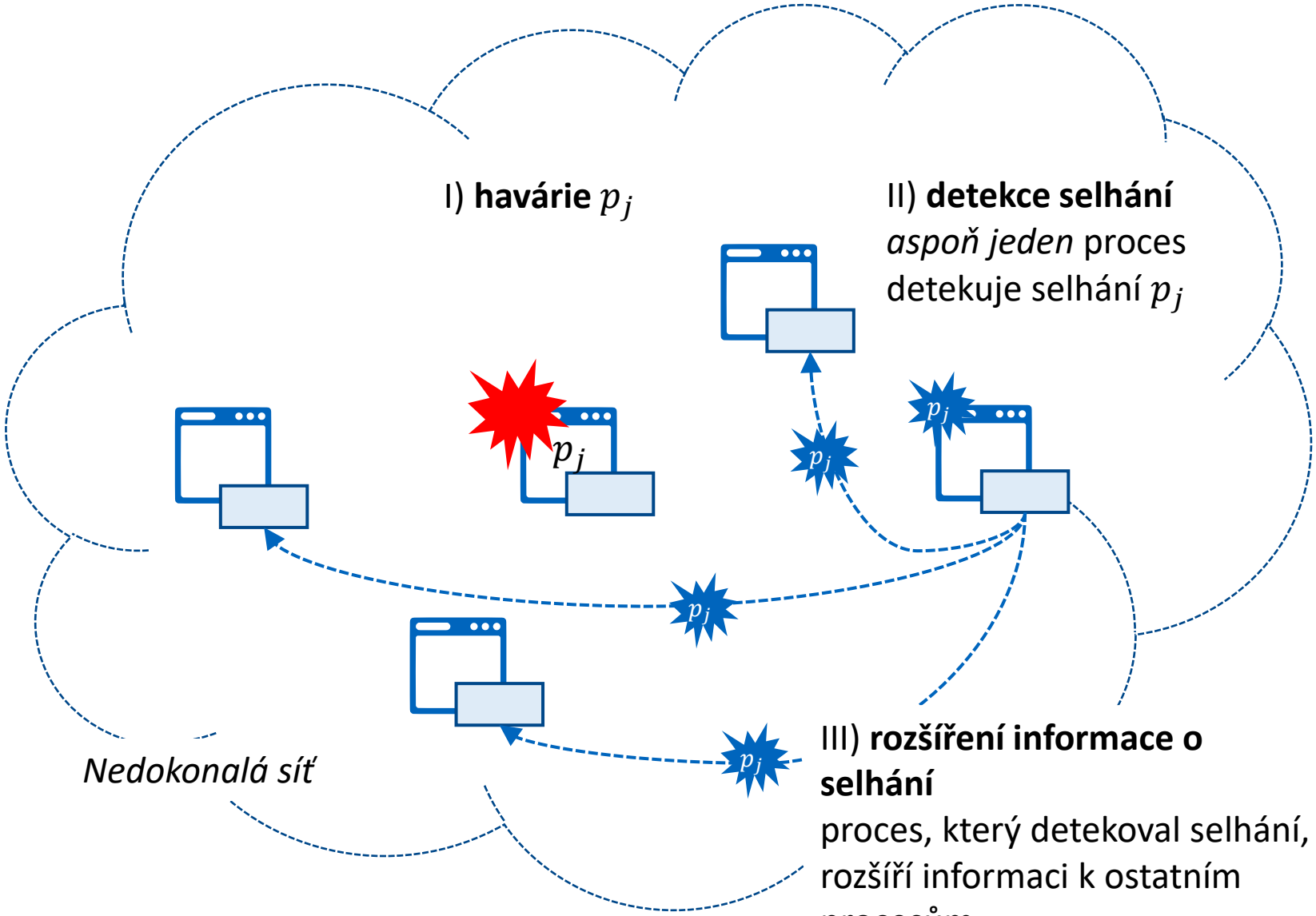
Udržuje seznam procesů při 1) příchodu nového procesu, 2) **tichého selhání procesu** a 3) odchodu procesu

Dva podprotokoly



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

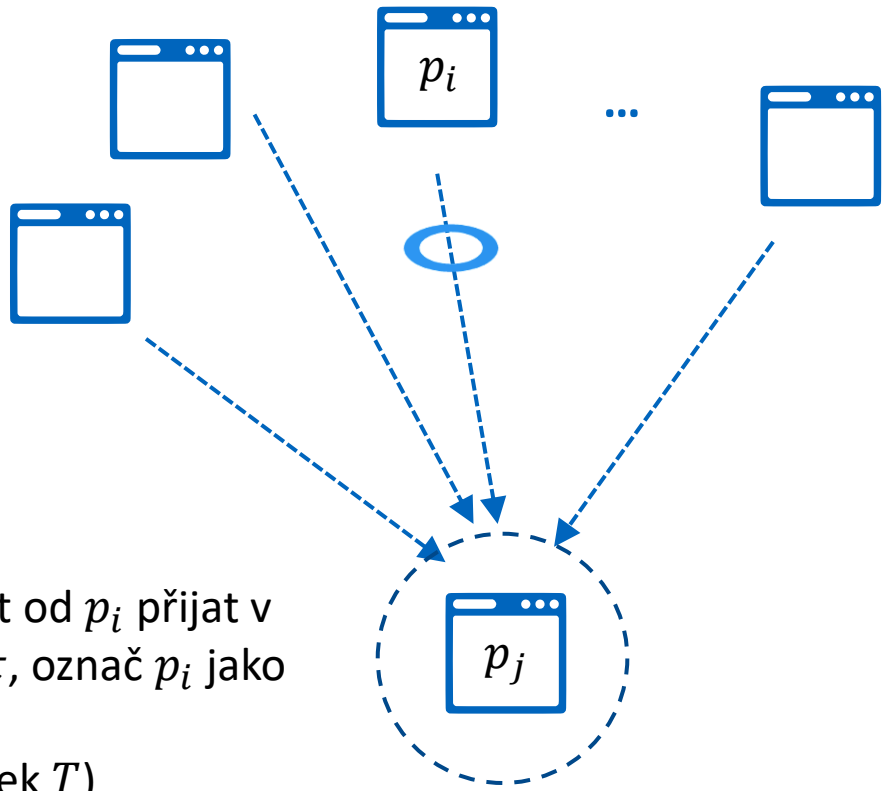
Průběh detekce



Základní protokoly pro detekci selhání

Centralizovaný heartbeat

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

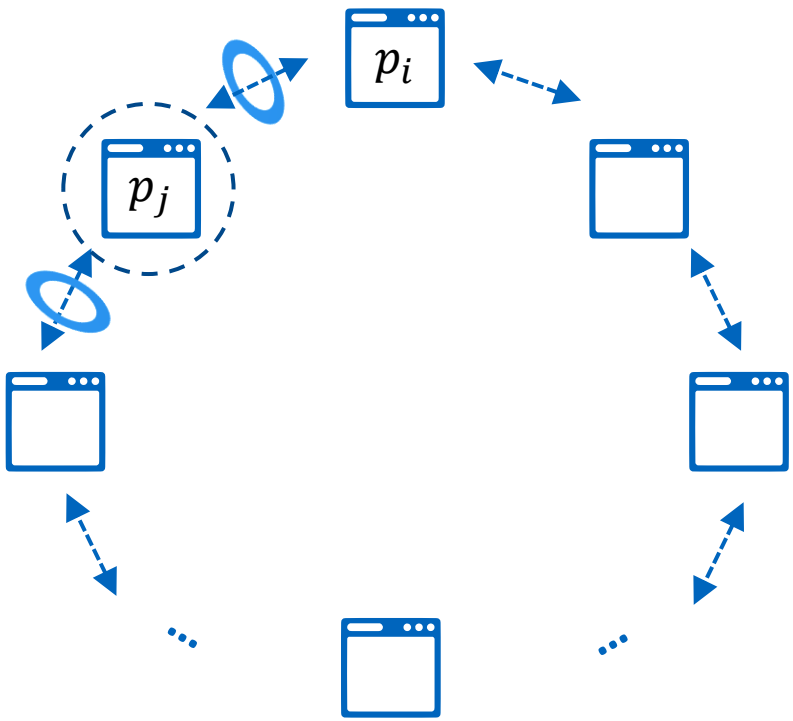


Není-li heartbeat od p_i přijat v časovém limitu τ, označ p_i jako **havarovaný**
(τ typicky násobek T)

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

Kruhový heartbeat

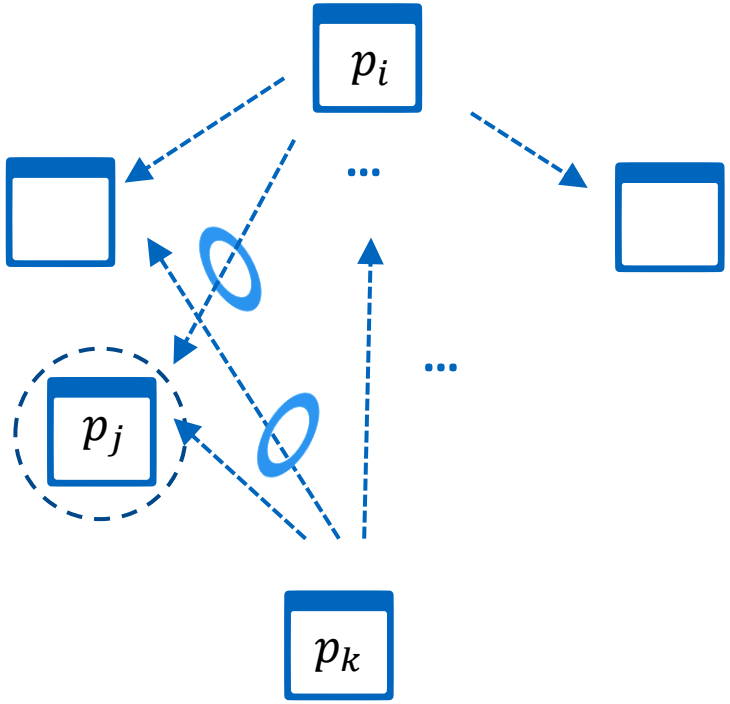
- Hearbeats jsou odesílány periodicky **sousedům každého** procesu (jedno- nebo oboustranně)



☺ 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 poměrně **vysoká**).
☺ **Úplný**: pokud zůstane aspoň jede nehavarovaný 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	Přesnost
= **každé selhání** je časem **detekováno** aspoň jedním **bezvadným** procesem	**= 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	Škálovatelnost
= čas do okamžiku, kdy **první** proces detekuje selhání	**= počet** posílaných **zpráv** a **rovnoměrné rozložení** komunikační zátěže Nechceme úzká hrdla a centrální body selhání

Vlastnosti detektorů selhání

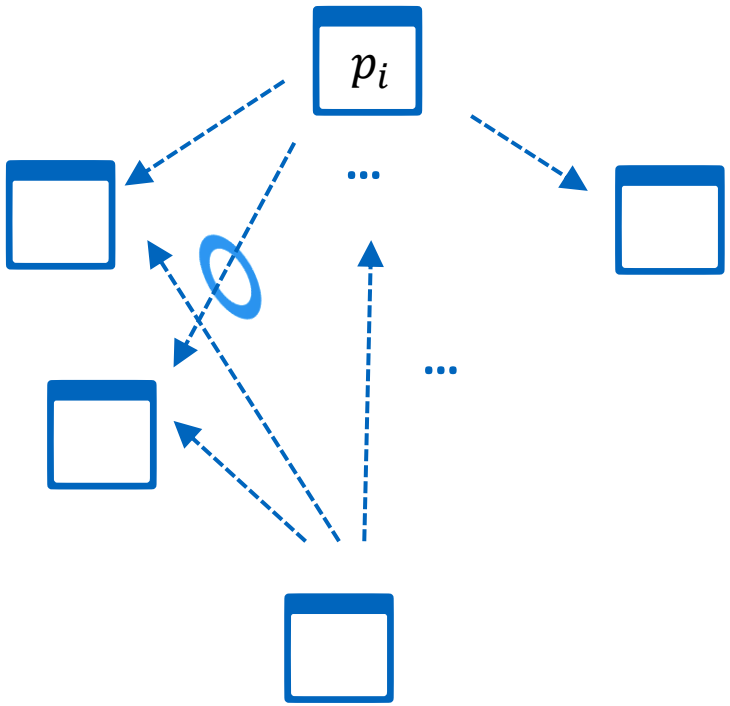
Úplnost } Vždy **garantována**

(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: $\mathrm{T}_d = \tau + T$
Komunikační zátěž: $\mathrm{L} = \frac{N}{T}$

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**

Proč?

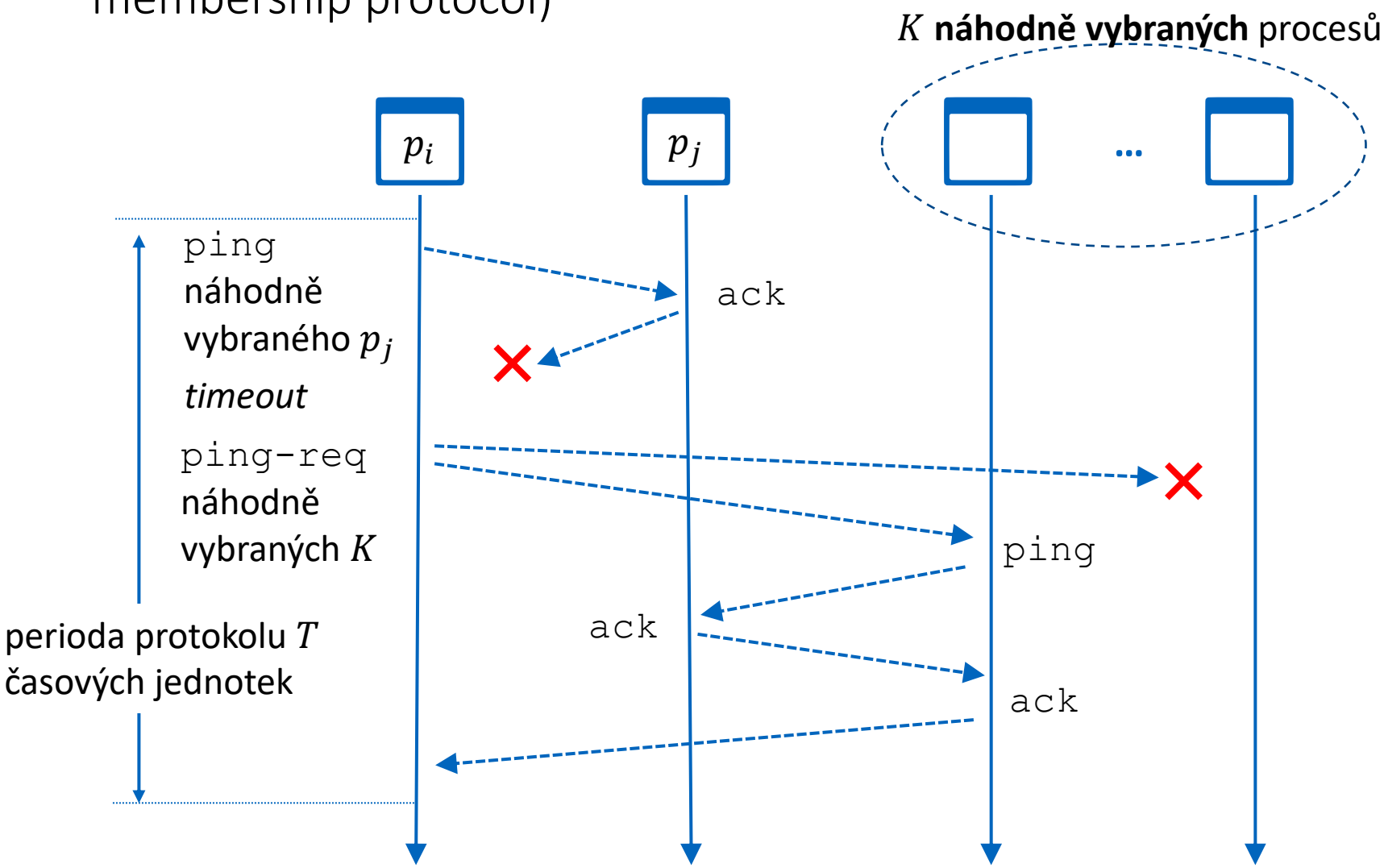
Všechny procesy se snaží detekovat selhání samy, informaci o detekovaném selhání si nevyměňují!

Pro **efektivnější detekci** selhání je potřeba

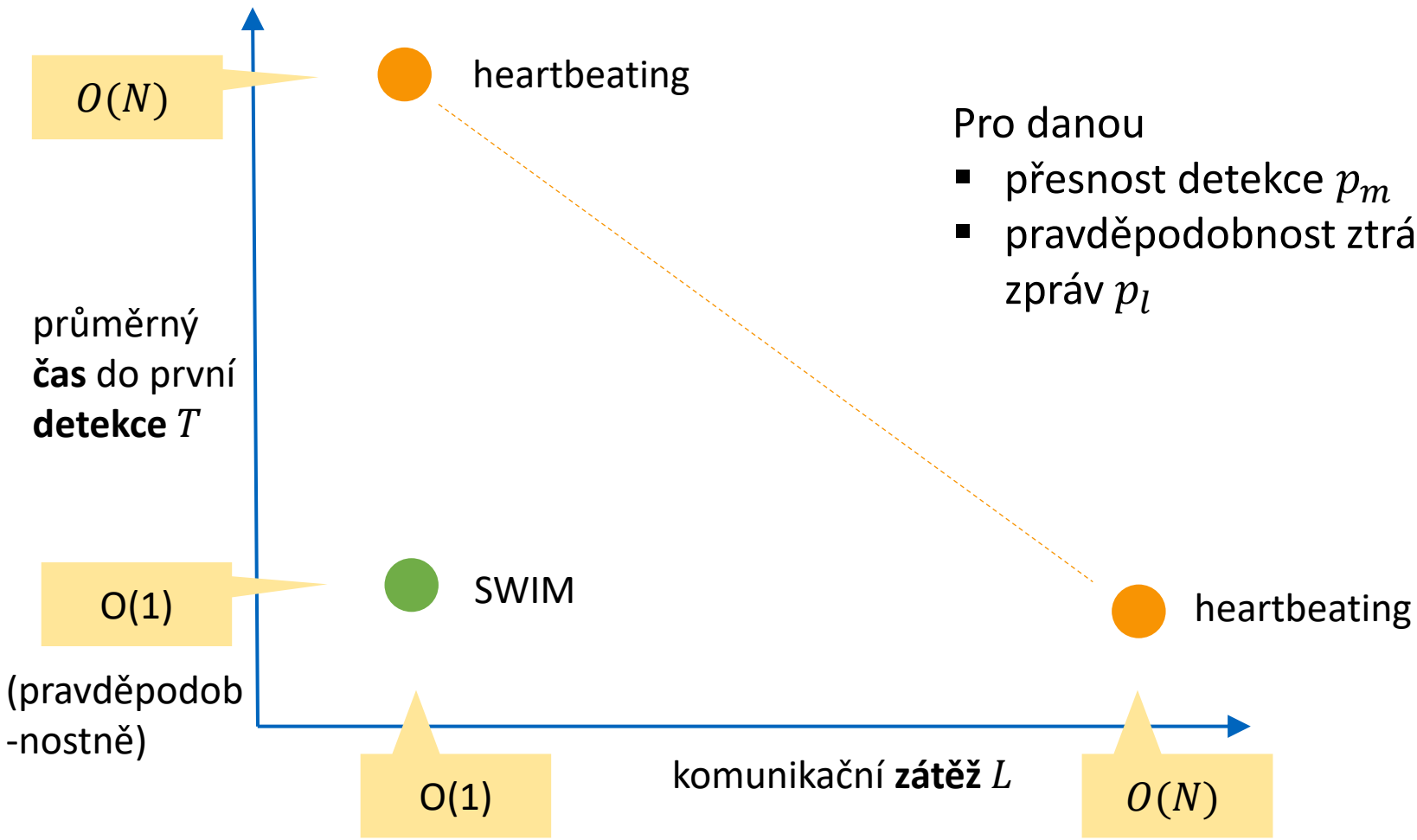
- oddělit detekci selhání a šíření informace o selhání
- použít jinou detekci než založenou na heartbeat (ale na opačném mechanismu)

SWIM Detektor Selhání

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



SWIM versus heartbeating



Další vlastnosti SWIM

Průměrný čas do první detekce T_d	▪ nezávisí na počtu procesů ▪ Lze ukázat, že $\mathrm{E}[T_d] = \frac{e}{e-1}T \sim 1.58T$ (pro velká N)
Komunikační zátěž L	▪ nezávisí na počtu procesů
(Ne)přesnost p_m	▪ lze nastavit nastavením K ▪ klesá exponenciálně s rostoucím K
Úplnost	▪ Selhání bude *časem* detekováno – průměrný čas $\frac{e}{e-1}T$ ▪ Čas do detekce lze omezit i deterministicky na $O(N)$ (viz dále).

Časově garantovaná úplnost

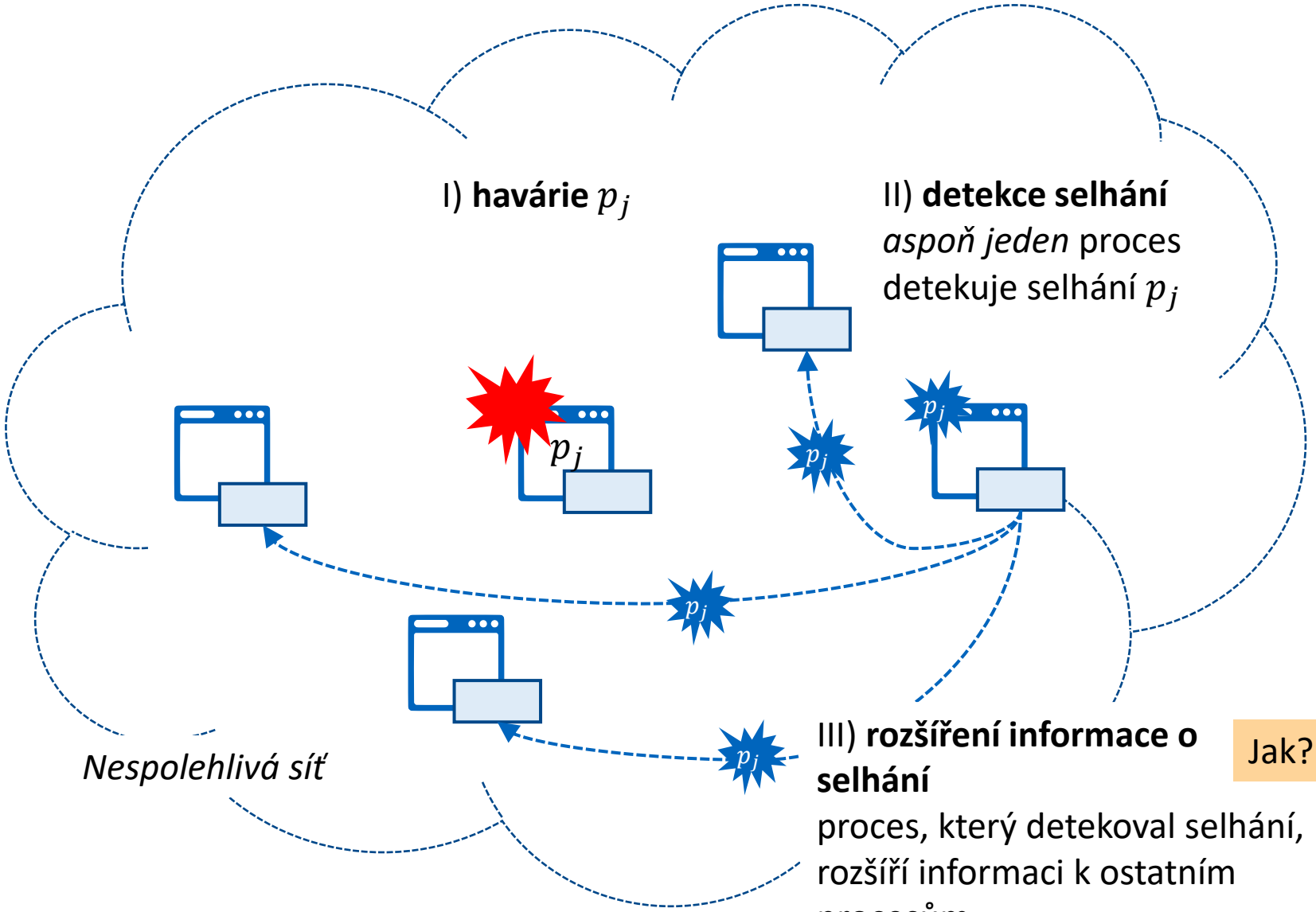
Hlavní myšlenka: Zvolit každý proces ze seznamu **právě jednou** při posílání `ping` zprávy.

- postupné procházení seznamu
- permutace seznamu po obeslání všech procesů

Každé selhání je detekováno v maximálně $\mathbf{2N - 1}$ periodách protokolu

Ostatní vlastnosti SWIM jsou **zachovány.**

Šíření informace



Jak?

Jak šířit informaci?

Multicast (hardware / IP)

- ne vždy k dispozici

Point-to-point (TCP / UDP)

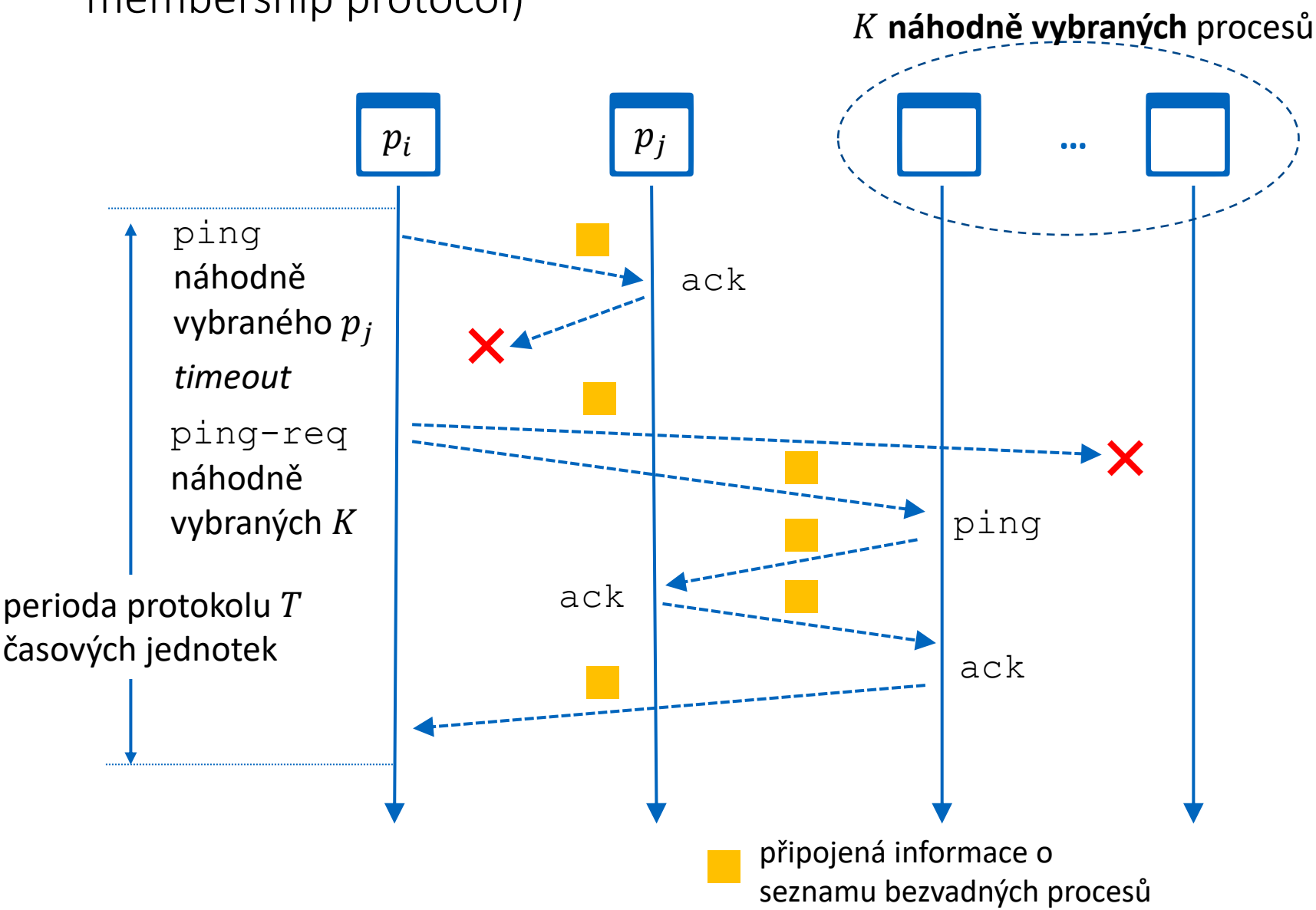
- nákladné

Bez dodatečných zpráv: připojit ke zprávám protokolu detekce selhání!

- tzv. infekční styl šíření informace

SWIM Failure Detector

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



Vlastnosti šíření informace

Epidemický styl šíření informací: „exponenciálně rychlý“ – po $\lambda \log N$ periodách protokolu lze očekávat, že $N^{-2(\lambda-1)}$ procesů nedostalo aktualizaci (update).

Implementace

- každý proces udržuje lokální buffer obdržených aktualizací
- může mít fixní délku nebo fixní dobu expirace
- doba expirace ovlivňuje míru konzistence

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.