Distribuované algoritmy

PA 150 ◇ Principy operačních systémů

Jan Staudek
http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/vyuka/

Verze : podzim 2020

Distribuovaný systém, distribuovaný algoritmus

- Distribuovaný systém, DS
  - ✓ množina autonomních výpočetních komponent (jednotek, procesorů, zařízení, . . . vzájemně propojených nějakou komunikační strukturou
- Distribuovaný algoritmus, DA
  - ✓ agregace algoritmů běžících v jednotlivých komponentách DS
- Připomenutí pojmu algoritmus
  - ✓ přesný návod či postup, kterým lze vyřešit daný typ úlohy
  - ✓ teoretický princip řešení jisté třídy obdobných problému
  - ✓ skládá se z konečného počtu jednoduchých (elementárních), jednoznačně a přesně definovaných kroků
  - ✓ končí, poskytuje výsledek, v (libovolně velkém) konečném počtu kroků

Složitost DA

- Jeden a tentýž problém lze obvykle řešit více různými způsoby a je žádoucí mít možnost měřit efektivitu konkrétních řešení z hlediska potřebných zdrojů pro jejich realizaci podle vhodných kritérií
- Určitě mají význam sekvenční (lokální) doby výpočtů a (lokální) nároky na paměť
- Pro DA jsou však charakterističtější míry vyjadřující
  - ✓ komunikační složitost
  - ✓ globální nároky na paměť v celém DS
- Tyto míry jsou založené na podobných procedurách pro výpočet složitosti sekvenčních systémů a jsou poměrně široce standardizované

Složitost DA

- Komunikační složitost, C
  - ✓ *Message Complexity*, složitost výměny zpráv
  - ✓ *Bit Complexity*, bitová složitost
- Časová složitost, T
  - ✓ Doba vnitřního, lokálního zpracování
  - ✓ Zpoždění dané přenosy zpráv
- Paměťová složitost, M
  - ✓ Množství paměti potřebné pro realizaci výpočtu DA
  - ✓ Totální paměťové nárokyv rámci celého DS
  - ✓ Maximální paměťové nároky v jedné komponentě DS
  - ✓ Redundance a vyváženost v komponentách DS

Komunikační složitost DA

- *Message Complexity*, složitost výměny zpráv
  Celkový počet zpráv vyměněných distribuovaným algoritmem
- *Bit Complexity*, bitová složitost
  Počet bitů (množství informace) přenášených DA
- Při výkladu používáme složitost výměny zpráv, poněvadž v našich DA je komunikace vyjadřovaná v pojmech abstraktních zpráv vyměňovaných mezi komponentami
- Velikost této míry je typicky daná počtem komunikačních událostí (vyslání/příjem zprávy)
  - ✓ Každá zpráva může přenášet jakýkoliv datový prvek, tj. paměťové kapacity komunikačních kanálů mohou být libovolně veliké

Časová složitost DA

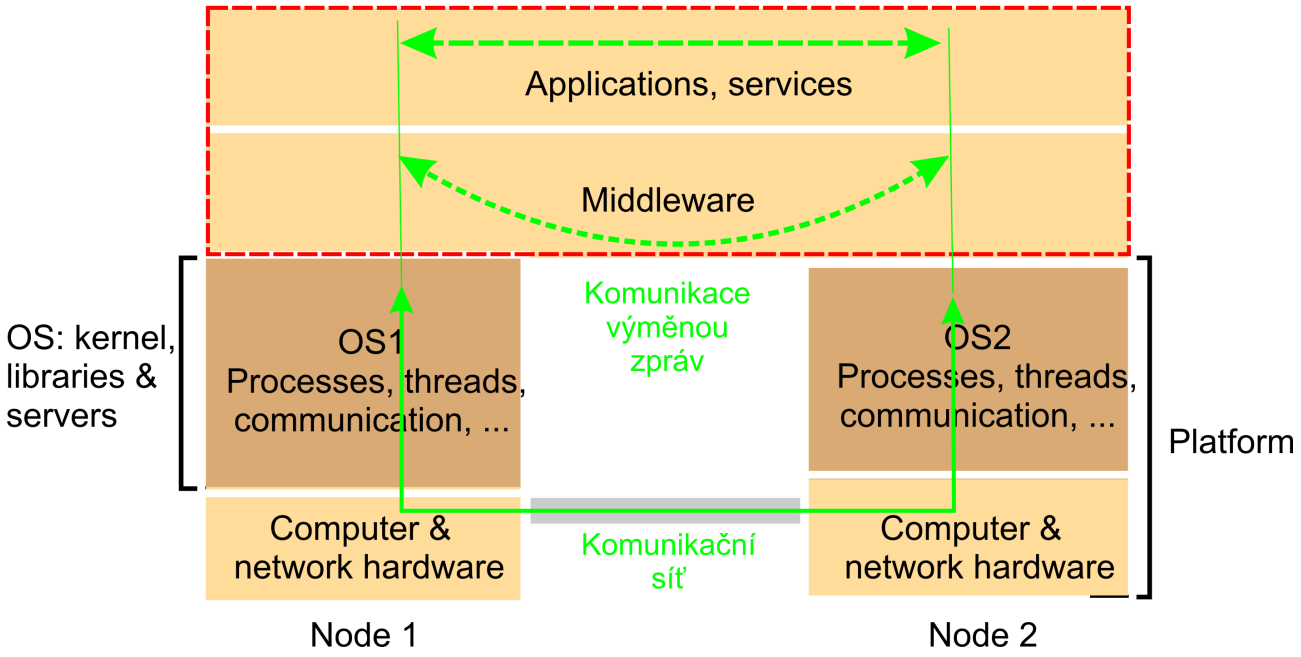
- Kolik časových jednotek uplyne od startu do ukončení DA
- Dobu vnitřního, lokálního zpracování zanedbáváme
- Časová složitost při synchronním plánování
  - ✓ časová složitost je daná počtem synchronních běhů do ukončení DA
- Časová složitost při asynchronním plánování
  - ✓ Používají se idealizované normalizační předpoklady:
    - čas vnitřního, lokálního zpracování je zanedbatelný, každá komponenta může provést libovolný konečný výpočet v nulové čase
    - maximální přenosové zpoždění trvá nejvýše 1 časovou jednotku
  - ✓ Časová složitost je daná celkovým normalizovaným časem provedení

Paměťová složitost DA

- Totální paměťové nároky v rámci celého DS
- Maximální paměťové nároky v jedné komponentě DS
- Redundance
  - ✓ počet kopií datového elementu udržovaného v DS
  - ✓ DS je kompaktní, pokud je minimální i maximální redundance všech datových elementů je shodná
- Vyváženost
  - ✓ DA má vyvážené požadavky na paměť, pokud je maximální paměťová složitost komponenty DS úměrná poměru počtu datových elementů DA (m) a počtu komponent DS (n)
  - ✓ DA má perfektně vyvážené požadavky na paměť, pokud je maximální paměťová složitost komponenty = m/n, příp. $m/n + 1$

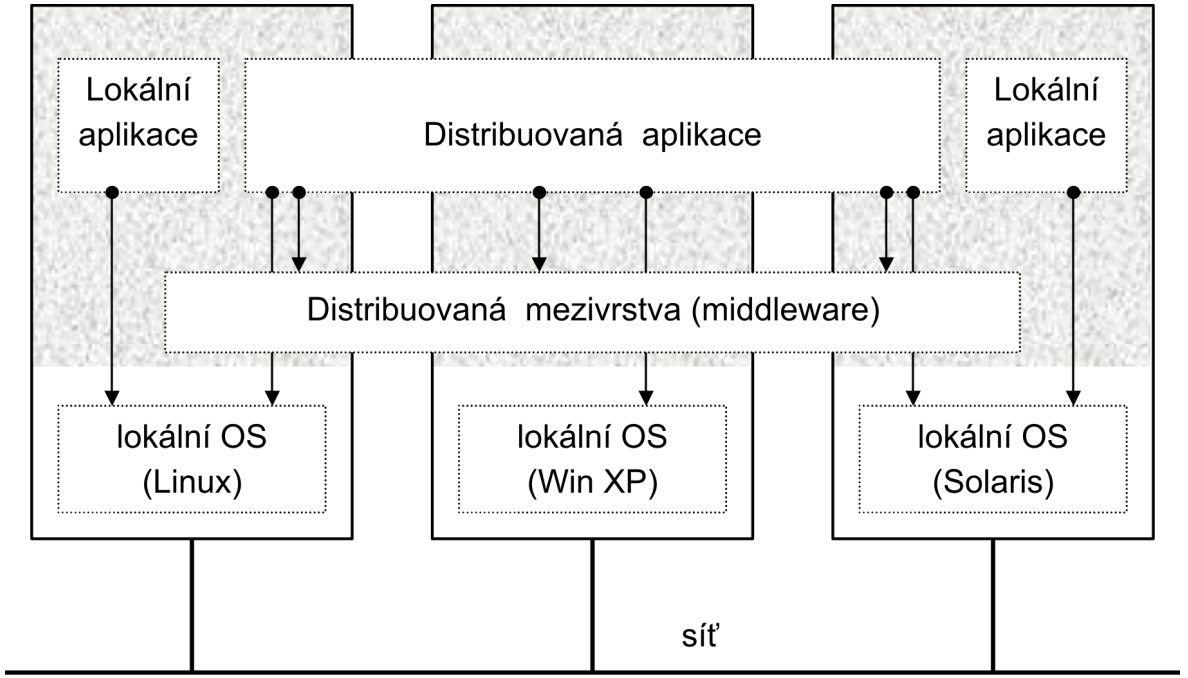
Distribuované prostředí přednášky

- libovolný lokální OS + rozšiřující vrstva poskytující distribuované prostředí + další služby (transakce, . . .)
- prostředí pro distribuované aplikace – middleware (OSF DCE, CORBA, DCOM, Globe, . . .)



Distribuované prostředí přednášky

- libovolný lokální OS + rozšiřující vrstva poskytující distribuované prostředí + další služby (transakce, . . .)
- prostředí pro distribuované aplikace – middleware (OSF DCE, CORBA, DCOM, Globe, . . .)



Předpoklady pro model použitý při našem studiu DA

- Komunikační síť je silně souvislá
- Procesy komunikují pouze výměnou zpráv
- Komunikace výměnou zpráv je pseudo-asynchronní, zdržení zprávy v kanálu může být libovolné, vždy je konečné, výpadky komunikačního přenosu lze detekovat hlídáním časových limitů
- Komunikační kanály zprávy neztrácejí, neduplikují, nemodifikují
- Přenos zpráv komunikačními kanály se řídí politikou FIFO
- Procesy nepadají
- Procesy znají pouze své sousedy, nikoli topologii celého DS
- Procesy mají jedinečné identifikátory (pid)

Konfigurace, přechod, provedení

- Globální stav DS daný stavem jeho procesů a zprávami obsaženými v jeho kanálech je konfigurací DS
- Konfigurace vzniká postupně, po krocích zvaných přechody
- Systém přechodů sestává z
  - ✓ množiny konfiguraci C
  - ✓ binární relace přechodu $\rightarrow$ na C
  - ✓ množiny iniciálních konfigurací $I \subseteq C$
- Konfigurace $\gamma \in C$ je terminální, pokud neexistuje $\gamma \rightarrow \delta$ pro žádnou z $\delta \in C$
- Provedení algoritmu je posloupností konfigurací $\gamma_0\gamma_1\gamma_2\ldots$, kde $\gamma_0 \in I$ a $\gamma_i \rightarrow \gamma_{i+1}$ pro všechna $i \geq 0$
- Konfigurace δ je dosažitelná pokud $\gamma_0\gamma_1\gamma_2\ldots\gamma_k = \delta$, kde $\gamma_0 \in I$ a $\gamma_i \rightarrow \gamma_{i+1}$ pro všechna $0 \leq i < k$

Události

- Každý přechod v DS je vázaný na jistou událost v některém z procesů DS
  - ✓ V případě synchronních DS na dvě události ve dvou procesech DS
- Proces může generovat vnitřní událost a událost vyslání zprávy
- V procesu může nastat událost příjmu zprávy
- Proces je iniciátor, pokud jeho první událostí je jeho vnitřní událost nebo událost vyslání zprávy
- DA je centralizovaný, pokud existuje právě jeden iniciátor
- Decentralizovaný DA může mít více iniciátorů

Požadované vlastnosti distribuovaných algoritmů

- Bezpečnost, *Safety*, Nothing bad happened yet
  - ✓ Sledovaná podmínka: Globální stav DS je ve konfiguraci, ze které je normálními stavovými přechody nedosažitelný
    jistý, konkrétní nežádoucí stav
  - ✓ Cíl – např. dosáhne se vzájemné vyloučení kritických sekcí procesů, zabrání se uváznutí, ...
  - ✓ Typicky se dokazuje indukcí: *jestliže* X *platí pro* $n = 1$ *a jestliže* X *platí pro* $n = m$ *a pro* $n = m + 1$, *pak* X *platí pro všechna* n
  - ✓ Narušení bezpečnosti (tj. narušení dosažitelnosti cíle algoritmu) se prokazuje v konečném počtu kroků řešení
  - ✓ Řešení problému nenarušující bezpečnost je korektní řešení
  - ✓ Podmínka bezpečnosti musí být splněná v každé konfiguraci každého provedení algoritmu, je invariantem.

    Předpoklad P je invariantem, pokud platí $P(\gamma)$ pro všechny $\gamma \in I$ a jestliže existuje $\gamma \rightarrow \delta$, pak platí i $P(\delta)$.

Požadované vlastnosti distribuovaných algoritmů

- Živost, *Liveness*, Something good eventually happens
  - ✓ Vlastnost globálního stavu DS zajišťující, že

    jistou posloupností normálních stavových přechodů je dosažitelný jistý, konkrétní žádoucí stav
  - ✓ Např. v konečném počtu kroků algoritmu
    se zvolí vedoucí uzel v síti nebo
    proces žádají o vstup do kritické cesty získá právo vstoupit do kritické sekce
  - ✓ Narušení podmínky živosti se prokazuje pouze
    v nekonečném počtu kroků řešení
  - ✓ Korektní řešení problému nenarušující živost je
    úplné, kompletní řešení
  - ✓ Podmínka živosti musí být splněná v některé konfiguraci každého provedení algoritmu

Typové synchronizační úlohy v distribuovaném prostředí

- Zjištění globálního stavu distribuovaného systému
  - ✓ viz přednáška
    Distribuované prostředí, čas, stav, distribuované algoritmy
- Vzájemné vyloučení kritických sekcí
  - ✓ kritická sekce – pasáž běhu procesu (vlákna) operující se zdrojem v čase přístupným jedinému procesu (vláknu)
- Volební problém – volba řídicího (*master*) uzlu, volba „lídra"
  - ✓ v množině kooperujících procesů (vláken) smí mít jediný proces (jediné vlákno) statut řídicího prvku (*master*)
  - ✓ řídicím prvkem může být kterýkoliv z kooperujících procesů (vláken)
  - ✓ řídici proces bude plnit roli serveru, . . .

Typové synchronizační úlohy v distribuovaném prostředí

- Řešení problému sdělování zpráv všem procesům náležejících do skupiny procesů, multicasting
  - ✓ se zárukou doručení zprávy všem procesům skupiny
  - ✓ se zárukou doručování zpráv v definovaném pořadí (FIFO, . . .)
- Problém dosažení shody
  - ✓ všechny (nechybující) procesy z množiny procesů poskytujících jistou službu musí deklarovat shodnou výstupní hodnotu
  - ✓ Příklad:

    Vesmírná mise je řízena x počítači paralelně
    aby se zajistila spolehlivost řízení i v případech, kdy může dojít k selhání až y počítačů

    Řízení mise musí dospět k rozhodnutí:
    pokračovat v misi / *návrat z mise*
    na základě doporučení většiny neselhavších počítačů.
    Jak velké musí být x, pokud lze kvalifikovaně odhadnout y ?