O Modelo de Atores

MCZA020-13 - Programação Paralela

Emilio Francesquini
e.francesquini@ufabc.edu.br

2020.Q1

Centro de Matemática, Computação e Cognição
Universidade Federal do ABC

UFABC

Disclaimer

UFABC

- Estes slides foram preparados para o curso de Programação Paralela na UFABC.
- Este material pode ser usado livremente desde que sejam mantidos, além deste aviso, os créditos aos autores e instituições.
- Estes slides contém alguns textos e figuras preparados por Dror Bereznitsky.

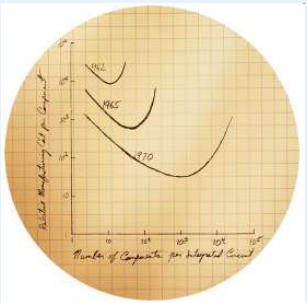
A Lei de Moore

UFABC

A Lei de Moore

O número de transistores em um chip vai dobrar aproximadamente a cada 18 meses.

Gordon E. Moore, 1965



UFABC

Andy Giveth, and Bill Taketh away

- Não importa o quão rápido os processadores se tornem, o software sempre encontra novas maneiras para consumir o ganho de desempenho.
- Lei de Andy e Bill - https://en.wikipedia.org/wiki/Andy_and_Bill%27s_law

UFABC

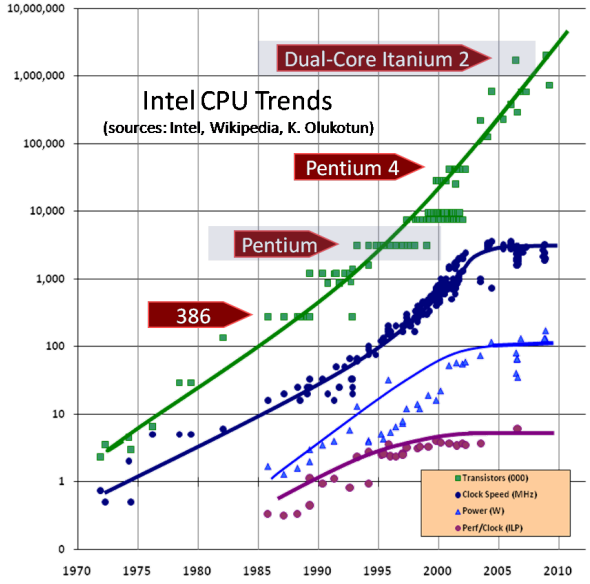
The Free Lunch

Ganhos de desempenho regulares, baratos e ”gratuitos”sem nem mesmo ter a necessidade de lançar novas versões. Bastava esperar...

- Este tempo já passou.
- Ótimo artigo do Herb Sutter:

`http://www.gotw.ca/publications/concurrency-ddj.htm`

The Free Lunch is Over



UFABC

Mas por quê não temos processadores de 10GHz hoje em dia?

- No início dos anos 2000 a frequência de funcionamento dos processadores aumentou tanto que:
  - Os chips ficaram grandes o suficiente para a velociade da luz ser uma barreira (os sinais não conseguem mais atravessar o chip todo em menos de um ciclo)
  - Frequências mais altas acabam causando problemas de dissipação de calor

UFABC

A era dos Multicores

- Os projetistas de hardware, então, se voltaram à produção de processadores multi-core
  - A incessante busca de desempenho passou então a ser uma tarefa compartilhada com os desenvolvedores de software
- Aumentam o desempenho total (paralelo) mas não mudam significativamente o desempenho sequencial
- De fato, o desempenho das CPUs tendem a ficar estáveis pelos próximos anos

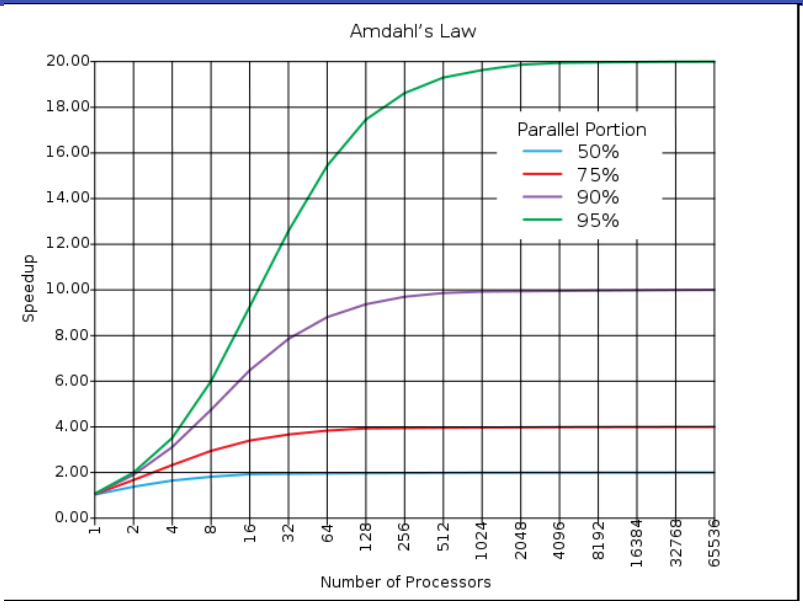
UFABC

A revolução da programação concorrente e paralela

- Acabou a mamata...
- Quer extrair até a última gota de desempenho do seu processador?

Você precisa desenvolver software concorrente

A Lei de Amdhal



Programação Concorrente com Estado Compartilhado

UFABC

- Há um compartilhamento de recursos (variáveis/memória, dispositivos, ...)
- Estabelece-se um mecanismo de controle e sincronização de acesso a esses recursos
  - Travas (locks)
  - Semáforos
  - Monitores
  - ...

UFABC

- Processos e Threads são a maneira do sistema operacional representar execuções concorrentes
- Threads, por definição, compartilham os recursos do processo ao qual pertencem com as demais threads do mesmo processo.
  - Exigem mecanismos de sincronização para acesso aos recursos compartilhados para garantir
    - Corretude
    - Consistência

UFABC

Threads são utilizados pela maior parte das linguagens tradicionais

- C/C++
- Java
- Python
- C#
- Ruby
- ...

Threads não são legais!

UFABC

Threads não são legais!

UFABC

> *”Programas multi-threaded não triviais são incompreensíveis para um ser humano...”*

Edward A. Lee, The Problem with Threads

UFABC

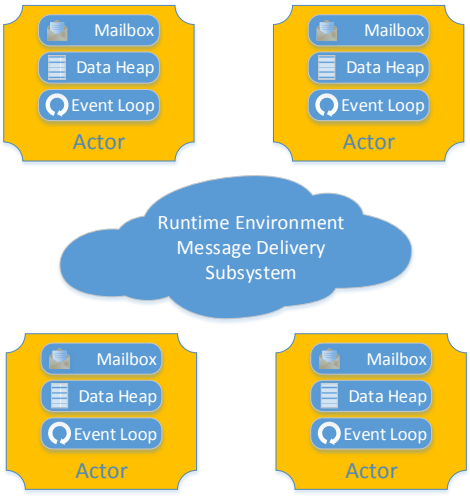
- Diante da dificultade de se utilizar threads corretamente, passou-se a procurar alternativas
  - Trocas de mensagens
    - MPI
    - Modelo de Atores
  - Memória transacional
  - Dataflow

O Modelo de Atores

O Modelo de Atores

Proposto originalmente por Hewitt *et al.* em 1973 e, mais tarde generalizado para concorrência em 1986 por Agha

- Baseado em princípios muito simples
  - Troca de mensagens assíncronas
  - Recepção seletiva de mensagens
  - Área de memória (*heap*) e laço de eventos privados
- Leve
  - Criado em quantidades excedendo o número de núcleos de processamento
  - Desacopla o número de atores do hardware



Aplicações baseadas em atores

- Têm a sua disposição ambientes de execução leves com distribuição automática e transparente de carga
- São altamente otimizados para máquinas com memória compartilhada
- São muito utilizados
  - Linguagens: Erlang, Elixir, Scala, Akka, Kilim, Salsa, ...
  - Applications: WhatsApp, Facebook Chat, Chef Server, Twitter, CouchDB, ...
  - Atendem milhares de clientes simultaneamente em serviços dedicados executando em máquinas poderosas

Principais pontos sobre o Modelo de Atores

UFABC

- Atores em vez de objetos
- Não há estado compartilhado entre atores
- Toda comunicação se dá por trocas de mensagens assíncronas
  - As mensagens são imutáveis
- Caixas postais podem fazer um buffer das mensagens recebidas
  - É o único canal de comunicação com um ator e age como uma fila com múltiplos produtores e um único consumidor

Atores podem...

UFABC

- Reagir a alguma mensagem recebida executando um comportamento
  - Eles podem apenas alterar o próprio estado
  - ...ou mandar mensagens para outros atores.
- Modelo muito mais natural do que o modelo orientado a objetos!
  - Você é capaz de mudar o estado de algo na cabeça do seu colega? Isto é feito por compartilhamento de estado ou por troca de mensagens?
- Como os atores nunca compartilham o estado, nunca precisam competir por travas para acessar recursos compartilhados

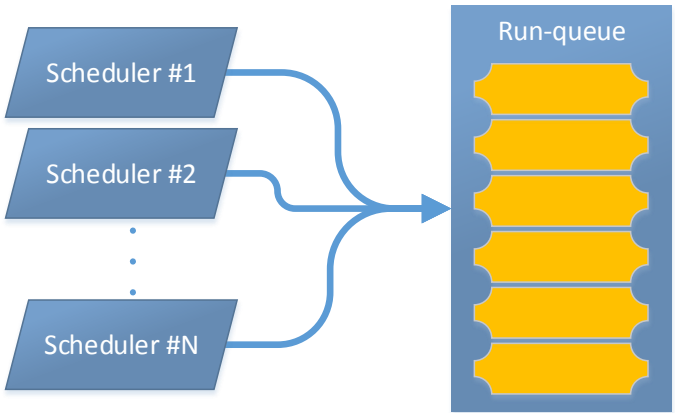
Os ambientes de execução do modelo de atores podem ser divididos em 2 principais categorias:

- Baseados em threads
  - Tem limitações sobre o número de atores e deixa a cargo do sistema operacional o escalonamento dos atores
- Baseados em eventos
  - Compostos de filas simples ou múltiplas de onde um pool de threads obtém as tarefas a serem executadas
  - Sistemas operacionais ainda não estão tão otimizados quanto poderiam para dar suporte a este tipo de aplicações

UFABC

Single Run-Queue

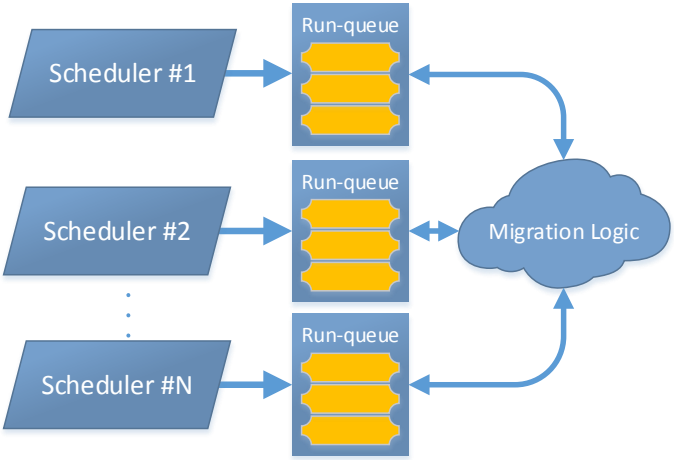
- Utilizado por Akka, Kilim, e VMs antigas de Erlang
- Pode se tornar um gargalo no desempenho
- Não garante soft-affinity



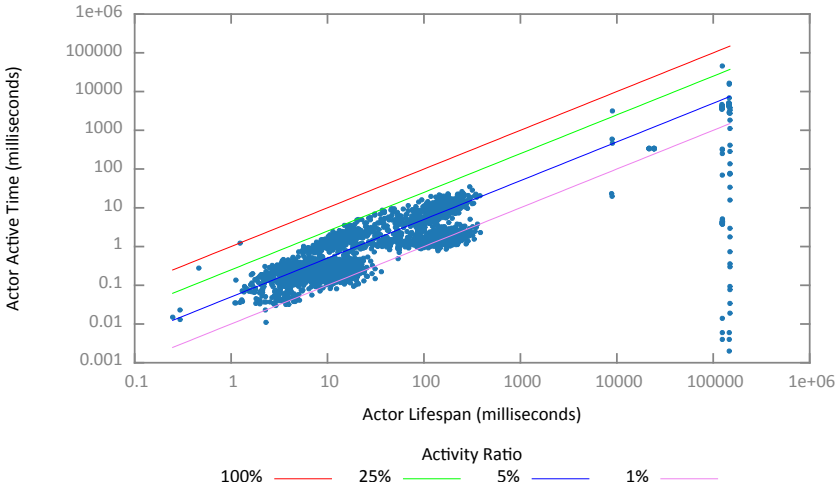
UFABC

Mulitple Run-Queues

- Utilizado por Erlang, Kilim
- Colocação inicial/soft affinity
- Balanceamento de carga (baseado no tamanho das filas)
- *Work stealing*

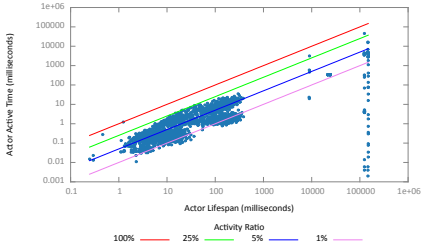


Entendendo o comportamento - Tempo de vida (1/2)



Entendendo o comportamento - Tempo de vida (1/2)

- Vivem pouco (99.5% < 1.5s)
- Tempo de atividade médio 26%
- Atores com vida curta
  - Representam a maioria dos atores
  - Geralmente são trabalhadores
  - Maior atividade
  - Pela sua grande quantidade dividem o scheduler
- Atores com vida longa
  - Principalmente inativos
  - Mantêm o estado da aplicação
- O número de atores é independente do número de núcleos



UFABC

Analizando uma série de aplicações, percebemos que as mensagens são curtas

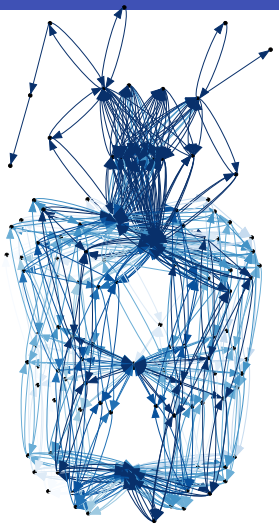
Application	Average Message Size
CouchDB	663 Bytes
Sim-Diasca	1088 Bytes
ErlangTW	960 Bytes
`ehb`	1024 Bytes
`big`	2112 Bytes
`orbit_int`	832 – 4608 Bytes

Grafo de comunicações

UFABC

Alguns atores são mais populares que outros

- Natural já que algumas funções são mais requisitadas que outras
- Alguns são atores de coordenação, logo criam mais atores do que um ator comum
- Chamamos esses atores especiais hubs
- Os hubs normalmente só conversam com um conjunto pequeno de outros atores chamado de ”grupo de afinidade”.



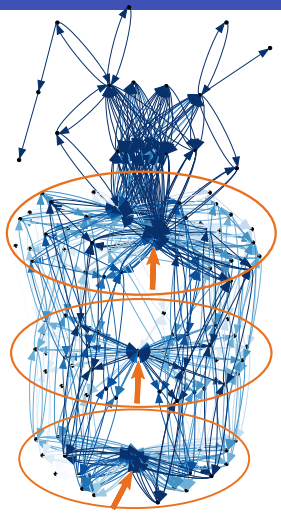
CouchDB communication graph

Grafo de comunicações

UFABC

Alguns atores são mais populares que outros

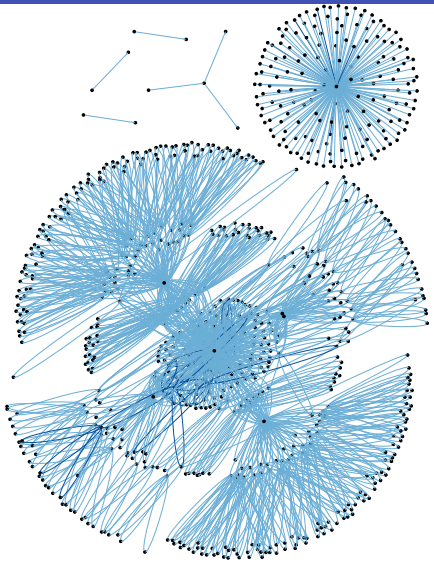
- Natural já que algumas funções são mais requisitadas que oturas
- Alguns são atores de coordenação, logo criam mais atores do que um ator comum
- Chamamos esses atores especiais hubs
- Os hubs normalmente só conversam com um conjunto pequeno de outros atores chamado de ”grupo de afinidade”.

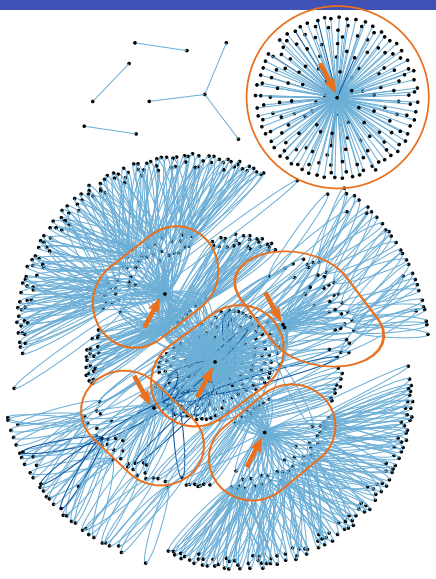


CouchDB communication graph

Sim-Diasca - Grafo de Comunicação

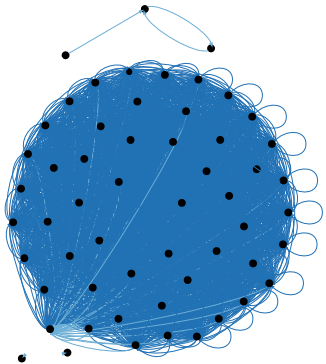
UFABC





O grafo de comunicação é específico por aplicação

- Neste caso é uma comunicação todos-com-todos
- Relativamente raro



Erlang no mundo real

UFABC

- Ericson AXD 301 switch
  - Milhões de chamadas por minuto, 99,9999999% uptime
- Aplicação de chat do Facebook
- Servidores do Whatsapp
- RabbitMQ
  - AMQP de alto desempenho, 400.000 mensagens por segundo
- CouchDB
- Ejabberd XMPP server - jabber.org

UFABC

Benefícios do modelo de atores

- Mais fácil de entender sistemas não triviais
- Nível de abstração alto
- Evita (ou facilita evitar)
  - Condições de corrida
  - Impasses
  - Starvation
  - Live locks
- Computação distribuída

Aproximação por trapézios

Código em Erlang

UFABC

```
1 -module(trap).
2 -export([main/1, go/6, trap/4, trapFold/4]).
3
4 -mode(native).
5
6 f(X) ->
7     X * X.
```

Código em Erlang - Solução artificial

UFABC

```erlang
trap(Left, Right, TrapCount, BaseLen) ->
    BaseLen * trap2(
                Left, Right, TrapCount, BaseLen,
                (f(Left) + f(Right)) / 2.0, 1).

trap2 (Left, Right, TrapCount, BaseLen, Estimate, I) when I < TrapCount
    -> 
    Estimate2 = Estimate + f(Left + I * BaseLen),
    trap2 (Left, Right, TrapCount, BaseLen, Estimate2, I + 1);
trap2 (_, _, _, _, Estimate, _) ->
    Estimate.
```

Código em Erlang - Com cara de funcional

UFABC

```
1  trapFold (Left, Right, TrapCount, BaseLen) ->
2      F = fun (I, Acc) -> Acc + f(Left + I * BaseLen) end,
3      L = lists:seq(1, TrapCount - 1),
4      PartialInt = lists:foldl(F, (f(Left) + f(Right)) / 2.0, L),
5      BaseLen * PartialInt.
```

Código em Erlang - Juntando tudo

UFABC

```
1  main([A, B, N, P]) ->
2      A2 = list_to_float(atom_to_list(A)),
3      B2 = list_to_float(atom_to_list(B)),
4      N2 = list_to_integer(atom_to_list(N)),
5      P2 = list_to_integer(atom_to_list(P)),
6      H = (B2 - A2) / N2,
7      Ranks = lists:seq(0, P2 - 1),
8
9      [spawn(trap, go, [self(), Rank, A2, N2, H, P2]) || Rank <- Ranks],
10     Int = lists:sum([getResults(Rank) || Rank <- Ranks]),
11
12     io:fwrite(io_lib:format("~.16f\n", [Int])),
13     init:stop().
```

Código em Erlang - Juntando tudo

UFABC

```
1  go (Src, Rank, A, N, H, P) ->
2      LocalN = N div P,
3      LocalA = A + Rank * LocalN * H,
4      LocalB = LocalA + LocalN * H,
5      %% Descomente a linha abaixo para usar a outra implementação
6      %% LocalInt = trap (LocalA, LocalB, LocalN, H),
7      LocalInt = trapFold (LocalA, LocalB, LocalN, H),
8      Src ! [Rank, LocalInt].
9
10 getResults (_From) ->
11     %% Pode-se esperar na ordem para garantir resultados sempre iguais
12     %% receive [From, Val] ->
13     receive [_, Val] -> %% Ou em qualquer ordem
14             Val
15     end.
```

UFABC

Para compilar e rodar faça:

```
1 $ erlc trap.erl
2 $ erl -noshell -s trap main A B N P
```

- O código completo está disponível em: http://professor.ufabc.edu.br/~e.francesquini/2019.q1.pp/files/codigo/trap_atores.html

Conclusão

O resumo da ópera

UFABC

- Acabou a mamata: se é preciso melhor desempenho, é preciso programar concorrentemente
- Aplicações precisam ser adaptadas. Quase nenhuma atualmente é preparada para isso.
- Programação baseada em estado compartilhado é difícil, propensa a erros, complicadíssima de se depurar, ...
- Existem modelos alternativos como
  - Concorrencia por passagem de mensagem
  - Memória transacional