Распределённые алгоритмы

mk.cs.msu.ru → Лекционные курсы → Распределённые алгоритмы

Блок 42

Задача консенсуса

Лектор:
Подымов Владислав Васильевич
E-mail:
valdus@yandex.ru

ВМК МГУ, 2023/2024, весенний семестр

Задача консенсуса — это задача принятия решения, в которой во всех исправных узлах принимаются одинаковые решения

Далее будем рассматривать следующий вариант задачи консенсуса

Каждый узел p имеет входную переменную $\mathfrak{i}_p$, доступную только для чтения и имеющую одно из значений 0, 1

Начальное состояние узла p однозначно задаётся значением $\mathfrak{i}_p$

Требуется принять одно из двух решений, 0 или 1

Каждый узел p содержит выходную переменную $\mathfrak{o}_p$ с начальным значением $\perp$, в которую можно присвоить решение, и такое присваивание можно выполнить только один раз

Требование конечности вычислений алгоритма ослабим с учётом справедливости

Несправедливым объявляется бесконечное вычисление, в котором хотя бы один исправный узел, начиная с некоторого момента времени, всегда может выполнить действие, но никогда не выполняет ни одного действия

Остальные вычисления объявляются справедливыми

Конечными должны быть по крайней мере все справедливые вычисления (а несправедливые могут быть и бесконечными)

Алгоритмом консенсуса (решением задачи консенсуса), устойчивым к заданному виду отказов $\mathfrak{F}$, будем называть распределённый алгоритм, обладающий следующими свойствами:

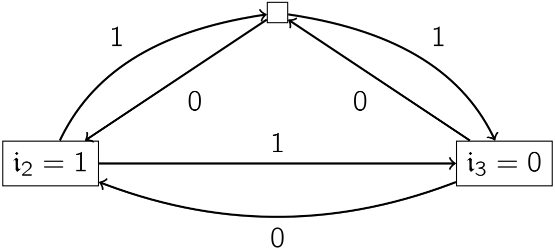
1. **Завершаемость**
   В условиях отказов $\mathfrak{F}$ все справедливые вычисления конечны

2. **Единогласие**
   Все исправные узлы p по завершении вычисления принимают одно и то же решение 0 или 1 в выходных переменных

3. **Невырожденность**
   Если исправные узлы принимают решение v, то существует исправный узел p со значением $\mathbf{i}_p = v$

Небольшой пример, иллюстрирующий трудность достижения консенсуса

Представим себе клику из трёх узлов (1, 2, 3), в которой узел 1 — византийский



Какому из узлов 2, 3 следует «поддаться на уговоры» и принять решение, не совпадающее с его входным значением?

Если из определения алгоритма консенсуса удалить хотя бы одно из трёх свойств, то можно придумать достаточно простой и «весьма бесполезный» решающий алгоритм

Д.з. 1. Предложите распределённые алгоритмы с асинхронным обменом сообщениями, устойчивые к выходу из строя не более чем одного узла и обладающие следующими свойствами:

1. Завершаемость и единогласие
2. Завершаемость и невырожденность
3. Единогласие и невырожденность

Но если потребовать соблюдение всех трёх свойств, то задача, увы, становится нерешаемой даже для простых видов отказов

Теорема (Д.з. 2, трудная). **Не существует алгоритма консенсуса с асинхронным обменом сообщениями, устойчивого к выходу из строя не более чем одного узла**

На практике для решения задачи консенсуса используются «ослабленные» ограничения, обеспечивающие наличие «разумного» решения — например:

- Ослабленная модель отказа
  Например, существуют алгоритмы консенсуса, устойчивые относительно изначально бездействующих узлов
- Рандомизация
  Например, даже для «более сильных» византийских отказов существуют алгоритмы, в которых консенсуса можно достигать с вероятностью, стремящейся к 1
- Слабая завершаемость
  Например, существуют алгоритмы косенсуса для византийских отказов, которые не завершаются только в некоторых «очень плохих» случаях
- Синхронность
  Существуют алгоритмы консенсуса с синхронным обменом сообщениями для византийских отказов