



**Институт информатики и
математического моделирования Федерального
исследовательского центра
«Кольский научный центр РАН»
(ИИММ КНЦ РАН)**

г. Апатиты Мурманской обл.

Информационная технология расчета надежности структурно сложных систем с применением
методов программирования в ограничениях

Шестаков Алексей Владимирович - магистрант 2го курса по
направлению ИСиТ

shestakov@iimm.ru

Научный руководитель Олейник А.Г., д.т.н.

2022 г.

Информационные технологии расчёта и визуализации риска для опасных производственных объектов, работающих под давлением (прошлая тема ВКР)

- Был предложен один из подходов к оценке последствий воздействия взрывной волны на окружающую технологическую среду;
- Автоматизирован процесс оценки риска при помощи геоинформационных технологий с применением программных средств с открытым исходным кодом, модуль:
 - Производит расчёты и даёт первичную оценку разрушающий последствий при взрыве сосуда под высоким давлением;
 - Отображает на карте зоны поражения;
- Предложенная методика успешно апробирована на одном из пищевых предприятий Мурманской области.

prototype

Координаты

X (широта) 33,4319

Y (долгота) 67,5832

Расстояние от центра (м) 0

Физические параметры

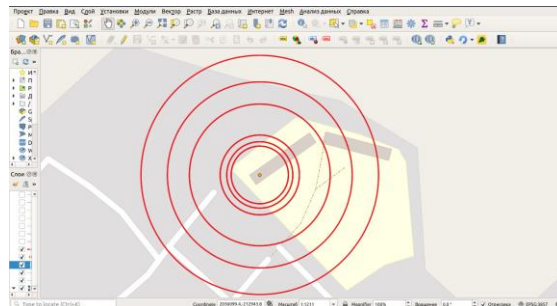
Давление P в сосуде перед взрывом (кгс/см): 2; 3,5; 4,5; 5; 8; 10; 15

15,0

Параметры сосуда

Объём (м) 6,8000

OK Отмена



Результат

120 кПа - смертельное воздействие на человека, в радиусе 13 м

100 кПа - полное разрушение зданий, в радиусе 15 м

70 кПа - сильные повреждения, в радиусе 18 м

28 кПа - средние повреждения, в радиусе 32 м

14 кПа - разрушение оконных проёмов, легкобросаемых конструкций, в радиусе 42 м

5 кПа - безопасно для человека, в радиусе 54 м

OK Показать подробности...

Содержание

- Введение
- Цели расчета надёжности
- Constraint Satisfaction Problem – CSP
- Логико-вероятностные методы
- Библиотеки и инструменты Python для поддержки расчетов
- C и D системы. Определения
- Алгоритм
- Итоги
- Список источников
- Приложение

Введение

- Логико-вероятностные методы (ЛВМ), позволяют описать структуру моделируемой системы средствами математической логики, а количественную оценку надежности или безопасности системы производить с помощью теории вероятностей.
- Однако, методы является недостаточно эффективными.
- Появилась необходимость в разработке новых эффективных методов ускорения процедур логико-вероятностного анализа систем большой размерности (рассмотрен подход, предложенный Зуенко А.А).
- На базе подхода планируется программная реализация нескольких логико-вероятностных алгоритмов и оценка их эффективности.

Цели расчета надёжности

- Обоснование количественных требований к надёжности объекта или его составным частям;
- Сравнительный анализ надёжности вариантов схемно-конструктивного построения объекта и обоснование Выбора рационального варианта, в том числе по стоимостному критерию;
- Определение достигнутого (ожидаемого) уровня надёжности объекта и/или его составных частей, в том числе расчетное определение показателей надёжности или параметров распределения характеристик надёжности составных частей объекта в качестве исходных данных для расчета надёжности объекта в целом;
- Обоснование и проверку эффективности предлагаемых (реализованных) мер по доработкам конструкции, технологии изготовления, системы технического обслуживания и ремонта объекта, направленных на повышение его надёжности;
- Решение различных оптимизационных задач, в которых показатели надёжности выступают в роли целевых функций, управляемых параметров или граничных условий, в том числе таких, как оптимизация структуры объекта, распределение требований по надёжности между показателями отдельных составляющих надёжности (например, безотказности и ремонтпригодности), расчет комплектов ЗИП, оптимизация систем технического обслуживания и ремонта, обоснование гарантийных сроков и назначенных сроков службы (ресурса) объекта и др.;
- Проверку соответствия ожидаемого (достигнутого) уровня надёжности объекта установленным требованиям (контроль надёжности), если прямое экспериментальное подтверждение их уровня надёжности невозможно технически или нецелесообразно экономически.

Constraint Satisfaction Problem – CSP

Формально, задача удовлетворения ограничений определена:

- Множество переменных $X = \{x_1, \dots, x_n\}$
- Множество ограничений $C = \{C_1(X_1, X_2, \dots, X_n), C_2(X_1, X_2, \dots, X_n), \dots, C_m(X_1, X_2, \dots, X_n)\}$
- Множество возможных значений $D = \{D_1, \dots, D_n\}$, $x_i \in D_i$
- Целевая функция - $F(X_1, X_2, \dots, X_n) \max$

Логико-вероятностные методы

- ЛВМ представляют собой методологию анализа структурно-сложных систем, решения системных задач организованной сложности, анализа и оценки надежности, риска и безопасности технических систем.
- Логико-вероятностные методы удобны для исходной постановки задач в формализованном виде как структурного описания анализируемых свойств функционирования высокоразмерных и сложных систем.
- В ЛВМ созданы процедуры преобразования в искомые расчетные математические модели исходных структурных моделей, что позволяет осуществить их алгоритмизацию с дальнейшей реализацией на ЭВМ

Библиотеки и инструменты Python для поддержки расчетов

- PuLP – API линейного программирования Python для определения задачи и вызова солверов.
- NumPy – библиотека для обработки больших объемов данных, представленных, как правило, в виде больших матриц и массивов. Частично написана на C для повышения производительности работы алгоритмов.
- SciPy – библиотека, объединяющая инструменты для научных вычислений, в частности средства для интегрирования и интерполяции функций, обработки изображений, решения дифференциальных уравнений, генетические алгоритмы и пр.
- Matplotlib – библиотека для визуализации данных, поддерживает возможность отображать данные в различных графических форматах.
- Pandas – многоцелевая высокопроизводительная библиотека, используемая для моделирования и анализа данных. Библиотека ориентирована на работу с разнородными форматами данных.
- SymPy – библиотека для символьных вычислений. Применяется для решения уравнений, интегрирования, дифференцирования, комбинаторных задач, дискретных задач, физических уравнений и т.д.
- Logilab (пакет библиотек) имеет модуль constraint, использующийся для решения задач программирования в ограничениях;
- ПО Cassowary constraint solver это набор инструментов для решения инкрементных ограничений, который эффективно решает системы линейных равенств и неравенств. Ограничения могут быть либо требованиями, либо предпочтениями.

С и D системы. Определения

- **С-кортежем** называется заданный в определенной схеме отношения кортеж компонент.
- **С-системой** называется множество однотипных *С-кортежей*, которые записываются в виде матрицы, ограниченной прямыми скобками. Строки этой матрицы содержат *С-кортежи*.
- **Диагональная С-система** – *С-система* размерности $n \times n$, у которой все недиагональные компоненты равны нулю.
- **D-кортеж** – это отношение, равное *диагональной С-системе*, записанное в виде кортежа диагональных компонент и ограниченное перевернутыми квадратными скобками.

Алгоритм

1. Инициализация переменных:

$$Sys = P[X_1 \dots X_m], Res = \emptyset$$

Sys – текущая задача CSP, **Res** – C-система, строки которой представляют собой искомые решения и добавляются в процессе вывода. $P[X_1 \dots X_m]$ - исходная D-система

2. Ищем одно из решений (алгоритмом, который опирается на утверждения У1-У5, эвристики Э1-Э3 из приложения 1 и 2)

$$T_i[X_1 \dots X_m] = [B_1^i \ B_2^i \ \dots \ B_m^i]$$

- a) Если решение получено, то добавляем в C-систему Res кортеж $T_i[X_1 \dots X_m]$ и переходим к п.3
- b) Если решений больше нет, то переход к п. 4

3. Добавляем $\bar{T} =]\bar{B}_1 \ \bar{B}_2 \ \dots \ \bar{B}_m[$ вниз D-системы Sys

a) Новая D-система: $Sys = Sys \setminus T_i[X_1 \dots X_m]$

Исключена область, описываемая $T_i[X_1 \dots X_m] = [B_1^i \ B_2^i \ \dots \ B_m^i]$

a) Переход к п.2

4. Конец алгоритма.

Итоги

- В ходе проделанной работы были изучены методы и инструменты программирования в ограничениях.
- Рассмотрен подход к ускорению процедур логико-вероятностного анализа систем большой размерности, предложенный Зуенко А.А., использующий парадигмы программирования в ограничениях.
- Поставлены планы программной реализации на базе изученного подхода нескольких логико-вероятностных алгоритмов и оценка их эффективности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зуенко А.А. Вывод на ограничениях с применением матричного представления конечных предикатов / Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 3. С. 21-31.
2. Кулик Б.А., Зуенко А.А., Фридман А.Я. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 235 с.
3. Рябинин И.А., Струков А.В. Автоматизированное моделирование надежности систем структурно-сложных систем из элементов с тремя несовместными состояниями / Труды СПИИРАН. 2014. № 3(34). С. 89-111.

Приложение 1

- **Утверждение 1 (У1).** Если строка D-системы содержит все пустые компоненты, то D-система пуста.
- **Утверждение 2 (У2).** Если все компоненты некоторого атрибута пусты, то данный атрибут можно удалить из D-системы (удаляются все компоненты, стоящие в соответствующем столбце).
- **Утверждение 3 (У3).** Если в D-системе есть строка (кортеж), содержащая лишь одну непустую компоненту, то все значения, не входящие в эту компоненту, удаляются из соответствующего домена (компонента становится новым доменом данного атрибута).
- **Утверждение 4 (У4).** Если строка D-системы содержит хотя бы одну полную компоненту, то она удаляется.
- **Утверждение 5 (У5).** Если компонента некоторого атрибута D-системы содержит значение, не принадлежащее соответствующему домену, то это значение удаляется из компоненты.
- **Утверждение 6 (У6).** Если одна строка D-системы полностью доминирует (покомпонентно содержит) другую строку, то доминирующая строка удаляется из D-системы.

Приложение 2

- **Э1.** Выбирать атрибут с доменом, содержащим наименьшее количество значений, что позволяет проверять меньшее количество преемников.
- **Э2.** В случае неоднозначности выбора, производимого согласно Э1, выбирать атрибут, количество непустых компонент которого максимально.
- **Э3.** Для формирования нового одноэлементного домена выбирать наиболее часто встречающееся в кортежах D-системы значение атрибута.