

УДК 004.942

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ СБОРА УРОЖАЯ В УСЛОВИЯХ САНКЦИЙ

Э.В. Балакина,

к.э.н., доц.,

Московский финансово-юридический университет,

г. Москва, ул. Введенского 1 а

Аннотация: В настоящее время интенсивное развитие получило имитационное моделирование в социально-экономической, природоохранной и финансовой сферах деятельности. Интерес представляет и его применение в сельскохозяйственной и природоохранной деятельности для целей прогнозирования и оптимального планирования, а также принятия необходимых управленческих решений.

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимальное планирование, сети Петри, метод компонентных цепей

SIMULATION OF AGRICULTURAL ACTIVITIES ON THE EXAMPLE OF THE HARVEST IN THE CONDITIONS OF SANCTIONS

E.V. Balakina,

Candi date of Economic Sciences, Associate Professor,

Moscow University of Finance and Law,

Moscow, Vvedensky Str. 1 a

Annotation: At present, simulation modeling has received intensive development in the socio-economic, environmental and financial fields of activity. Of interest is its application in agricultural and environmental activities for the purposes of forecasting and optimal planning, as well as making the necessary management decisions.

Keywords: simulation modeling, optimal planning, Petri nets, the method of component circuits

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования P системы W во времени t , причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени $P(t_i)$, дающие возможность оценить характеристики системы $H_i(W)$.

В сельскохозяйственной деятельности мы в основном наблюдаем непрерывно-событийные системы, где непрерывный процесс функционирования сельскохозяйственного объекта, прерывается некоторым событием, а затем возобновляется и продолжается до наступления следующего события.

В непрерывной имитационной модели состояние системы представляется с помощью непрерывно изменяющихся зависимых переменных. Для того чтобы отличать непрерывно изменяющиеся переменные от дискретно-изменяющихся, их называют переменными состояния. Непрерывная имитационная модель создается путем задания уравнений для совокупности переменных состояния, динамическое поведение которых имитирует реальную систему.

Модели непрерывных систем часто определяются в терминах производных переменных состояния. Это объясняется тем, что иногда легче задать выражение для определения скорости изменения переменной состояния, чем сделать это непосредственно для самой переменной. Уравнения такого вида, включающие производные переменных состояния, называются уравнениями состояния. Пусть, например, в процессе разработки модели составлено следующее дифференциальное уравнение для переменной состояния s по времени t :

$$\frac{ds(t)}{dt} = s^2(t) + t^2, \quad s(0) = k \quad (1)$$

Первое уравнение определяет скорость изменения s как функцию от s и t , второе уравнение – начальное условие для переменной состояния. Цель имитационного эксперимента состоит в определении реакции переменной состояния в зависимости от имитационного времени. В некоторых случаях возможно определение аналитического выражения для переменной состояния s , заданного

уравнением для $\frac{ds}{dt}$. Однако на практике в большинстве случаев аналитическое выражение для s не известно. В результате необходимо получить реакцию путем интегрирования $\frac{ds}{dt}$ по времени, используя уравнение следующего вида:

$$s(t_2) = s(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{ds}{dt} \right) dt$$

Выполнение процесса интегрирования требует применения числовых методов. При использовании этих методов независимая переменная (обычно время) разделяется на части, называемые шагами. Значения переменных состояния, требующие интегрирования, получаются путем аппроксимации производных этих переменных по времени. Точность получаемых значений зависит от порядка аппроксимационного метода и размера шага: более высокую точность дают аппроксимации высокого порядка и наименьшие размеры шагов. Так как аппроксимации высокого порядка и небольшие размеры шага требуют больше вычислений, то существует зависимость между точностью вычислений переменной состояния и затрачиваемым при этом машинным временем.

Сеть Петри (СП) – это инструмент исследования дискретно-событийных систем. СП применяется исключительно в моделировании, т.е. явление изучается не непосредственно, а косвенно, через модель. Ожидается, что при моделировании можно получить новые знания о моделируемом объекте, избегая опасности, дороговизны или неудобства манипулирования самим реальным явлением.

Для моделирования сетей Петри предлагается использовать метод компонентных цепей (МКЦ) [1], который предполагает выделение компонентов систем и построение их моделей. МКЦ – это объектно-ориентированный язык для моделирования сложных и физически-неоднородных систем с энергетическими и информационными потоками в связях.

Таким образом, формализм сетей Петри в методе компонентных цепей можно представить в виде:

$$C_p = (K, B, N),$$

где C_p – компонентная цепь СП;

K – множество компонентов, каждый из которых характеризует состояние, в котором может находиться подлежащая обработке заявка (относительно формализма сетей Петри включает в себя множество позиций P и переходов T), т.е. $K \subset (P, T)$;

S – множество связей всех компонентов множества K , предназначенных для прохождения потоков заявок между ними, т.е. $S \subset I$;

N – множество узлов, образованных при соединении связей компонентов и служащих для коммутации потоков заявок в связях, т.е. $O \subset N$.

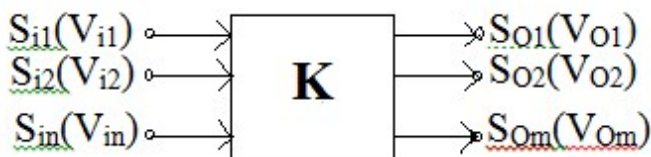


Рисунок 1 – Обобщенный компонент сетей Петри
(где S – связи, V – переменные связей)

В модели Harvest [2] есть дискретные и непрерывные (например, движение объектов) процессы. Логика взаимодействия дискретных и непрерывных процессов с помощью событий и задержек сделана наглядной и достаточно компактной. В этой модели принята гипотеза о равномерности урожая по площади поля, то есть участки со злаками разбросаны по полю равномерно, потому скорость заполнения бункера комбайна в модели является постоянной при его движении по полю с постоянной скоростью. Движение объектов в двумерном пространстве представлено следующей схемой взаимодействия:

- комбайн стартует и после заполнения емкости останавливается и ждет трактор для разгрузки;
- после заполнения кузова трактора он едет для разгрузки к грузовику;
- грузовик, после разгрузки трактора следует к бункеру зернохранилища;
- каждый объект по отношению к другим объектам может попасть в очередь.

При построении модели должны быть решены вопросы:

- насколько детально следует в модели отражать движение объектов и процессы загрузки-выгрузки;
- будут ли они выполняться с постоянной или переменной скоростью;
- надо ли учитывать фактор случайности.

Целью данной модели является анализ логики управления взаимодействием объектов системы во времени в процессе их функционирования.

Введем следующие допущения при построении модели:

- в данной модели все процессы будем считать детерминированными;
- скорости передвижения и скорости заполнения емкостей зерном будем считать постоянными, а передвижение равномерным.

Рассмотрим, как представить в модели сам сбор урожая.

При создании модели каждого объекта нужно стремиться к простой и ясной ее структуре. Структура данной модели включает 3 объекта: комбайн, трактор и грузовик, а также бункер. Бункер тоже имеет активность – он заполняется, когда в него разгружается грузовик.

Несмотря на различные алгоритмы функционирования наших объектов, в них имеется общая логика:

- во-первых, все объекты движутся;
- во-вторых, у всех активных объектов есть логика заполнения емкостей.

Для моделирования достаточным является отражение наиболее существенных деталей внешнего поведения объектов.

В нашей модели каждая из трех машин движется на плоскости по прямой с постоянной скоростью равномерно. Для движения обычно известны начальная и конечная точки и скорость. Наиболее простым является построение и решение дифференциальных уравнений движения. Однако этот подход не всегда удобен, так как требует применения численных методов с проверкой условия остановки объекта на каждом шаге по времени с малым интервалом – фактически имитационное моделирование непрерывного процесса с использованием численных методов.

В данной модели моделируемое движение – равномерное прямолинейное движение, тогда по известной скорости и начальных координатах можно вычислить время, когда объект прибудет в точку разгрузки. То есть для дифференциального уравнения (1) мы находим решение и используем его. На момент времени прибытия объекта в точку назначения можно взвести таймер. Событие срабатывания таймера сообщит о том, что процесс закончился. Если нам нужны промежуточные координаты, то их легко получить в любой момент времени по остатку времени движения, скорости объекта и координате конечной точки его движения [1-4]. Так непрерывный процесс движения представляется дискретным.

Каждая из трех машин может нагружаться и разгружаться, может загружаться и бункер. Эти операции происходят с постоянной скоростью. Комбайн может одновременно и загружаться сам и разгружаться в кузов трактора. Реализация непрерывных процессов заполнения и освобождения емкости можно построить и как моделирование непрерывного движения с помощью дискретных процессов: никакие переменные не изменяются непрерывно во времени, изменяться будет только модельное время, а вместе с ним и время до момента окончания процесса разгрузки-загрузки, значение которого храниться в таймере. Класс Запас реализует описанную активность, он несколько проще класса Двигатель, поскольку здесь только один изменяющийся параметр – объем (в отличие от двух координат движения) и всегда известны границы (полный объем при загрузке или пустая емкость при разгрузке).

Таймер этого класса моделирует непрерывный процесс. Если он активен, то процесс протекает, и значение таймера определяет время окончания процесса.

Грузовик является самым простым объектом из трех машин в этой модели. Грузовик сначала стоит на парковке в поле. Если к нему подходит трактор, то Грузовик начинает нагружаться. Если он нагружен полностью, то направляется на разгрузку в бункер. Кроме того, грузовик может направляться к бункеру или направляться от бункера в поле по команде от кнопки.

Объект *Трактор* построен аналогично тому, как и активный объект Грузовик. Он включает экземпляры объектов Двигатель и Запас. Вначале *Трактор* стоит на парковке, ожидая команды. Команда

приходит как «Go to Combain», который порождается нажатием кнопки. При входе в состояние «Going to Combain», вычисляются текущие координаты комбайна, и запускается процесс движения трактора к нужной точке. *Комбайн* при этом может двигаться и его координаты могут меняться. Вследствие этого *Трактор* придет к месту, в котором *Комбайн* был в начале движения. Для учета этого при каждом повторном входе в состояние «Going to Combain» будет производиться определение текущих координат и перезапускается процесс движения трактора к новому месту, в котором *Комбайн*. Этим моделируется коррекция направления движения трактора его водителем. По этим описаниям и строятся модели работы средств уборки урожая.

Для моделирования процесса сбора урожая будем использовать среду моделирования MAPS [2-6]. MAPS представляет собой программный продукт для моделирования и анализа физически неоднородных технических систем. Она позволяет частично или полностью заменить физический эксперимент вычислительным, исследовать и оптимизировать характеристики создаваемых устройств или подсистем в поисках наилучшего варианта.

В основе работы системы моделирования лежит представление исследуемого объекта в виде компонентной цепи. Сложные технические устройства (электронные, электромеханические и т.д.) представляются набором компонентов, связанных между собой согласно принципиальной, кинематической, структурной схеме или другой формальной структуре. Таким образом, исследуемый объект перед началом моделирования должен быть представлен в виде компонентной цепи, состоящей из типовых компонентов, входящих в библиотеку моделей.

Моделирование процесса сбора урожая можно представить в виде схемы, представленной на рис. 1, состоящей из таких элементов сетей Петри как: «Источник фишек», «Счетчик» «Очередь», «Позиция», «Позиция с двумя входами»:

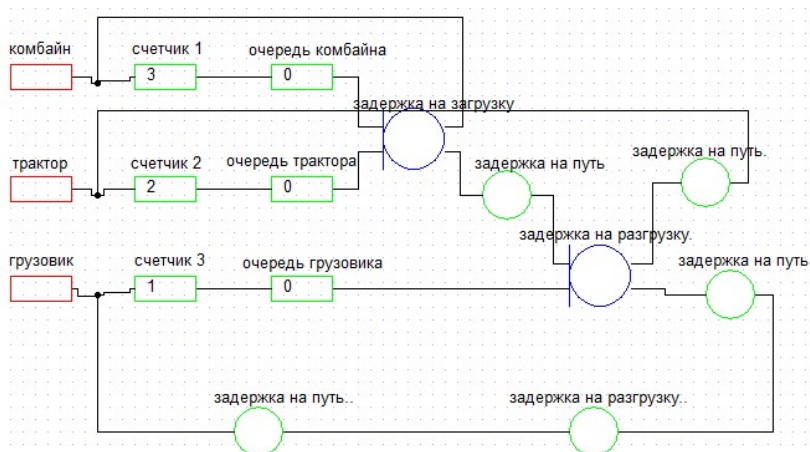


Рисунок 2 – Схема для моделирования процесса сбора урожая

где:

Под компонентами «Источники фишек» понимается сельскохозяйственная техника: комбайн, трактор и грузовик соответственно.

Компонент «Счетчик» считает повторность действий каждой сельскохозяйственной техники.

Компонент «Очередь» считает, сколько комбайнов, тракторов и грузовиков находятся в очереди.

Компонент «Позиция» представляет собой задержку на путь, а также задержку на загрузку и разгрузку сельскохозяйственной техники.

В свойствах каждого компонента можно задать время его работы, а также каждый компонент имеет свое внутреннее модельное время.

Каждая из трех машин (комбайн, трактор и грузовик) движется по плоскости. Движение происходит по прямой, равномерно с постоянной скоростью. Прибыв к месту назначения, сельскохозяйственная техника начинает работать. В то время как комбайн подготовил урожай, трактор начинает загружаться, после чего трактор едет на разгрузку, а комбайн возвращается на прежнее место. После разгрузки трактор возвращается назад и начинает загружаться грузовик, затем он разгружается и возвращается назад.

Сегодня в условиях острой необходимости развития отечественного товаропроизводителя, с помощью данной схемы можно оценить эффективность каждой сельскохозяйственной техники, проанализировав очередь комбайна, трактора или грузовика, можно уменьшить время сбора урожая или повысить эффективность путем добавления или уменьшения на каждом участке определенного вида сельскохозяйственной техники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 13-07-00378 «Многоуровневые компьютерные модели для интеллектуального управления эколого-экономическими системами предприятий нефтегазовой промышленности.

Список литературы

- [1] Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования промышленных роботов / В.М. Дмитриев, Л.А. Арайс, А.В. Шутенков. – М.: Машиностроение, 1995. 304 с.
- [2] Дмитриев В.М. MAPC – среда моделирования технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011. 278 с.
- [3] Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: В 2-х частях. Часть первая. – М.: Мир, 2013. 400 с.
- [4] Десненко С.И., Десненко М.А. Моделирование в физике: Учебно-методическое пособие: В 2 ч. – Чита: Изд-во ЗабГПУ, 2013. Ч I. 53 с.
- [5] Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. / Ю.Г. Карпов – СПб: «БХВ-Петербург», 2019. 390 с.
- [6] Лычкина Н.Н. Современные тенденции в имитационном моделировании. / Н.Н. Лычкина // Вестник университета, серия Информационные системы управления №2 – М., ГУУ., 2020. 136 с.

Bibliography (Transliterated)

- [1] Dmitriev V.M. Automation of modeling industrial robots / V.M. Dmitriev, L.A. Arays, A.V. Shutenkov. – M.: Mashinostroenie, 1995. 304 p.

[2] Dmitriev V.M. MARS is an environment for modeling technical devices and systems / V.M. Dmitriev, A.V. Shutenkov, T.N. Zaichenko, T.V. Ganja. – Tomsk: V-Spectrum, 2011. 278 p.

[3] Gould H., Tobochnik Ya. Computer modeling in physics: In 2 parts. Part one. – M.: Mir, 2013. 400 p.

[4] Desnenko S.I., Desnenko M.A. Modeling in physics: Teaching aid: In 2 hours – Chita: ZabGPU Publishing House, 2013. Part I. 53 p.

[5] Karpov Yu.G. Simulation modeling of systems. / Yu.G. Karpov – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2019. 390 p.

[6] Lychkina N.N. Modern trends in simulation modeling. / N.N. Lychkina // Bulletin of the University, series Management Information Systems No. 2 – M., GUU., 2020. 136 p.

© Э.В. Балакина, 2023