

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Кудрявцев В.И., Зирко О.Ф.

Минск, БелИСА. Республика Беларусь, olzirko@ya.ru

В соответствии с принятой трактовкой фирмы Gartner Group [1], [2] под дискретным производством понимается разнообразное сборочное производство, но также и любое производство с выраженной последовательностью повторяющихся производственных операций, которые в логически завершённых производственных системах реализуются посредством различных конвейеров. Авторы исследовали возможности моделирования процессов такого производства с использованием модели очереди требований в контексте задач автоматического управления такой очередью и соответственно процессов дискретного производства [3]. Было выявлено, что основой автоматического управления очередью требований является прогноз целевого производственного события, который может быть осуществлён с использованием производственных данных структурированных в порядке очереди, что требует рассмотрения такого управления в аспекте функционирования соответствующей информационной системы. Однако оправданность разработки такой информационной системы определяется существенностью отличий и эффекта такого управления от уже существующего автоматического управления. С одной стороны, казалось бы ничего уникального в управлении очередью требований быть не может. Так же как это принято в теории автоматического управления существует задача определения управляющего воздействия на объект управления. Измерение управляемой величины объекта управления, сравнение этого значения с заданным значением критерия управления и рассогласование являются основанием для определения нового значения управляющего воздействия на объект управления.

Исследуя очередь как объект управления необходимо учитывать, что с одной стороны она представляет собой одно целое, а с другой – состоит из множества требований, по отношению к которым должно рассматриваться управляющее воздействие. Кроме того, необходимо учитывать обратную связь по управляемой величине, которая превращается в связь по различным событиям очереди. События в свою очередь формируются и описываются в зависимости от целей управления, а управляющее воздействие определяется как процесс, встроенный в прогноз целевого события. Результат прогноза описывается с использованием вероятностной оценки прогноза. При этом также вероятностная оценка присутствует в критерии управления по прогнозу.

Авторами была пересмотрена модель очереди требований как объекта управления и изменена с учётом особенностей производственной очереди. Это дало основание для разработки методологии управления производственной очередью QPC (Queues Processes Calculations). Определено, что моделирование процессов дискретного производства посредством производственных очередей может быть осуществлено с использованием узлов простой трансформации требований на местах очереди и посредством узлов дистрибуции требований, схема которых представлена на рисунке 1.

Рассмотрим фрагмент дискретного производства в виде комплексного орграфа при работе узла дистрибуции по следующей схеме: из производственной очереди 1-2 происходит перераспределение требований в очереди 2-3 и 2-4. Схема представлена на рисунке 1.

Узел 2 на рисунке 1 представляет собой узел дистрибуции требований, а узлы 3 и 4 создают целевые производственные события реализации требований в соответствующих очередях. При этом в очередях требования проходят ту или иную обработку на местах очереди, длительность которой зависит от индивидуальных особенностей требования. Задача управления дистрибуцией требований в узле 2 состоит в том, чтобы производительность

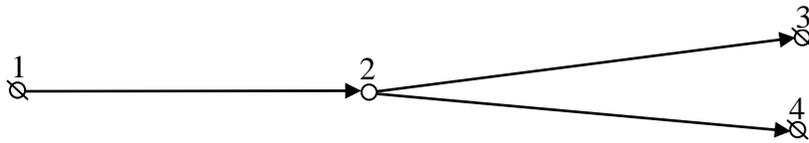


Рисунок 1. - Схема фрагмента дискретного производства в виде комплексного орграфа с узлом дистрибуции требований.

системы очередей 1-2, 2-3 и 2-4 была возможно выше, то есть чтобы целевые события в узлах 3 и 4 наступали как можно чаще. Эта задача может быть решена двумя способами. В первом случае создается система адаптивного автоматического управления, схема которого представлена на рисунке 2 и которая размещается в узле 2, представленном на рисунке 1.

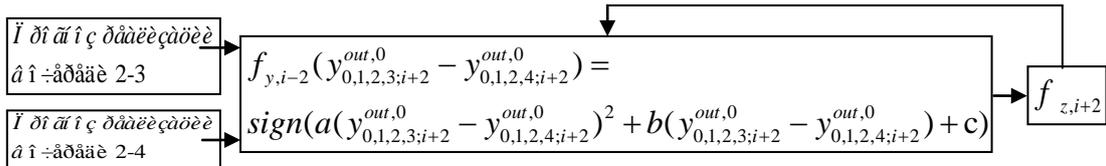


Рисунок 2. - Схема адаптивного автоматического управления дистрибуцией требований в узле 2 на примере управления $i+2$ требованием

В данной системе для каждого требования, например, $i+2$ -го, рассчитываются два прогноза реализации в очереди 2-3 и в очереди 2-4. где Альтернативные значения прогнозов сравниваются в управляющей функции $f_{y,i-2}(y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0} - y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0})$. При этом $y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0}$ и $y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0}$ в формуле управляющей функции представляют целевые параметры событий реализации данного требования в соответствующих узлах 3 или 4. Под их значениями $y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0}$ и $y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0}$ будем подразумевать физические значения, в данном случае математическое ожидание времени ожидания требованием своей реализации в узлах 3 или 4.

Для адаптивного автоматического управления должен быть установлен критерий, например, если разность $(y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0} - y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0}) < 0$, то управляющая функция $f_{y,i-2}$ определяет $i+2$ –е требование в очередь 2-3, иначе -- в очередь 2-4.

Возникает вопрос, насколько правильно определена очередь для $i+2$ -го требования в ходе такого управления. Разрешить его можно с помощью постфактумной оценки f_z управления. Она доступна только для уже реализованных ранее в узлах 3 и 4 требований, которые назовем прецедентом, и должна либо подтвердить, либо опровергнуть выбор очереди для этих требований, осуществленном посредством функции f_y . Искомая оценка f_z имеет две очевидные градации TRUE и FALSE. Однако определенную оценку FALSE можно получить только, если порядок реализации требований в узлах 3 и 4 будет отличаться от порядка расположения этих же требований в очереди 1-2. Это не отражает все случаи ошибки управления дистрибуцией. При обнаружении оценки FALSE регулятор, осуществляющий функцию управления f_y может изменить оценку этой функцией значения своего аргумента $(y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0} - y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0})$. Например, используя в качестве функции f_y определение знака, а значит и очереди, уравнения регрессии, как это отражено на рисунке 2, чтобы избежать оценки FALSE при повторении того значения, оценка которого функцией f_y вызвала ошибку. При этом не гарантируется, что коррекция функции f_y приведет к уменьшению частоты обнаружения оценки FALSE и устойчивому управлению, поскольку коррекция не затрагивает причины, приведшие к ошибке управления.

Такая коррекция может быть осуществлена в ходе автоматического управления в методологии QPC схема которого приведена на рисунке 3.

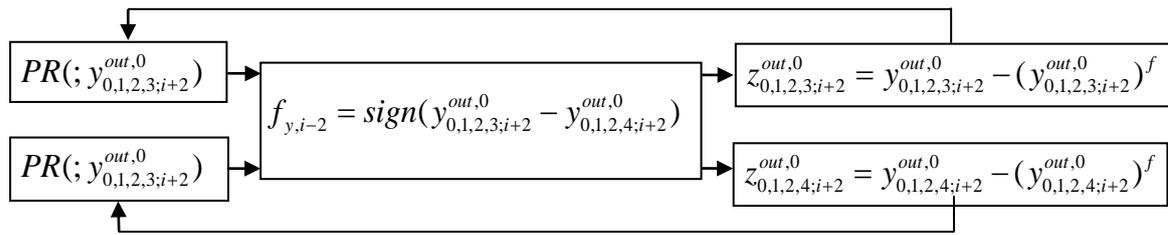


Рисунок 3. - Схема прогнозного управления дистрибуцией требований в узле 2 на примере управления $i+2$ требованием

В соответствии с этой схемой функция управления f_y не охватывается обратной связью и не подлежит коррекции. В рассматриваемом случае постфактумная оценка принимает вид ошибки одного из двух сравниваемых при управлении прогнозов либо $z_{0,1,2,3;i+2}^{out,0} = y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0} - (y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0})^f$, либо $z_{0,1,2,4;i+2}^{out,0} = y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0} - (y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0})^f$, где $(y_{0,1,2,3;i+2}^{out,0})^f$ и $(y_{0,1,2,4;i+2}^{out,0})^f$ - фактические значения целевых величин события реализации, которое для требования $i+2$ может произойти либо в очереди 2-3, либо в очереди 2-4. При этом достижение конкретного значения постфактумной оценки z прогноза не зависит от функции управления. Оно обеспечивается всегда при реализации требования в той очереди, куда его направил регулятор. Однако такая постфактумная оценка не отражает непосредственно достижение цели управления, а именно точности управления дистрибуцией требований. Поэтому следует рассмотреть влияние такого управления прогнозом реализации требования на точность управления дистрибуцией требований.

Прогноз имеет более сложную структуру, чем функция управления дистрибуции, которая основана на разности значений прогноза, поскольку кроме значений прогноза, которые являются математическим ожиданием целевых величин, он описывается функцией распределения плотности (ФРП) вероятностей прогноза. Таким же образом описывается результат технических измерений, поэтому точность прогноза следует оценивать в оценках точности технических измерений. Для этого используем показатели относительной ошибки прогноза δ и надежности прогноза для j -го требования P_j и введем понятие класса точности прогноза. Как известно величина $\delta \cdot 100$ определяет класс точности технических измерений при надежности измерений $P_j = 0,95$. По аналогии будем именовать величины $\delta_{2,3} \cdot 100$ и $\delta_{3,4} \cdot 100$ классами точности соответствующих прогнозов для реализации соответствующих требований в очередях 2,3 и 2,4. В отличие от технических измерений для установления класса точности надежность прогноза была выбрана сниженной, поскольку характеристики точности измерительных преобразователей проверяются с использованием образцовых средств измерений, а для прогнозов, формируемых в рамках рассматриваемых процессов управления, это не так. Прогнозы строятся, во-первых, с использованием производственных данных, имеющих собственную точность, а во-вторых, они строятся на основе моделирования технологических процессов, для которого, например, в теории планирования активного многофакторного эксперимента допускается надежность 0,9. Это значение надежности и выберем для установления класса точности прогноза.

Поскольку управление дистрибуцией требований в рассматриваемом случае определяется выбором между двумя прогнозами, то будем оценивать ее ошибочность как риск ошибочности управления дистрибуцией P_j^{md} для j -го требования, которая представляет собой оценку вероятности такой ошибки. Для определения влияния изменения класса точности прогноза, которая может быть достигнута при управлении прогнозом в методологии QPC, на

средний риск ошибочности управления дистрибуцией $\overline{P^{rmd}}$ авторами был проведен численный эксперимент по 32 вариантам. В результате численного эксперимента средний риск ошибочности управления дистрибуции изменялся с $\overline{P^{rmd}} = 0,299$ до $\overline{P^{rmd}} = 0,060$ при увеличении класса точности прогноза реализации требований в очереди 2,3 с 5 до 0,4 и классе точности прогноза реализации требований в очереди 2,4 равном 3. Таким образом, автоматическое поддержание или увеличение точности прогноза реализации требований при их дистрибуции прямо определяют поддержание или увеличение точности автоматического прогнозного управления дистрибуцией требований.

Изменение класса точности прогноза в эксперименте в целом соответствует Международной рекомендации №34 Международной Организации Законодательной Метрологии от 1982 года [4] для рядов классов точности. Для повышения иллюстративности в диапазоне от 1 до 10 представлено 6 классов точности, а не как рекомендовано в [4] - не более 5. Использованием понятия классов точности прогноза подчеркивается отличие в подходах автоматического управления на основе QPC как автоматического управления прогнозом, от подходов теории автоматического управления (ТАУ). В связи с этим предлагается автоматическое управление прогнозом в методологии QPC именовать автоматическим прогнозным управлением (АПУ). В ходе этого управления как это было исследовано авторами коррекции в автоматическом режиме могут подвергаться как набор предпосылок для прогноза, так и его математическая модель. Однако возможности АПУ этим не исчерпываются, если рассматривать прогноз не только как расчет, но и как вычислительный процесс, осуществляемый в реальном времени. Вычислительный процесс прогноза ограничен значением времени, когда все предпосылки прогноза известны, и он может быть вычислен, и моментом времени, когда управляющее воздействие в отношении рассчитываемого требования реализуется и прогнозирование с целью управления этим требованием теряет смысл. Очевидно, что в алгоритме вычисления прогнозов могут быть выделены вычислительные ресурсы для повторного расчета прогнозов с высокими значениями P_j^{rmd} в отрезке времени наиболее близкому времени реализации управляющего воздействия. Авторами был произведен численный эксперимент с 8 вариантами в которых уменьшение глубины прогнозирования в 2 раза привело к снижению средних рисков ошибки дистрибуции с $\overline{P^{rmd}} = 0,299$ при классе точности прогноза в очереди 2,3 равном 5 и классе точности прогноза в очереди 2,4 равном 3, до $\overline{P^{rmd}} = 0,117$ при тех же классах точности прогнозов в очередях 2,3 и 2,4.

В отличие от автоматического управления, рассматриваемого в ТАУ, АПУ является частным случаем прогнозного управления (ПУ), которое может осуществляться в режиме поддержки производственного управления на разных его уровнях и опираться на ту же модель прогноза и те же структуры данных, что и АПУ.

В частности, в отличие от ТАУ, в контур автоматического управления через расчет прогноза включены предпосылки этого прогноза, которые формируются посредством измерительных преобразователей и технологического оборудования устанавливающего те или иные производственные факты с той или иной достоверностью. Последняя также определяет точность расчета прогноза. Тогда управление прогнозом целевой величины, а, следовательно, и P_j^{rmd} может быть осуществлено посредством настройки, поверки или замены измерительных приборов на более точные, восстановления измерительных схем, а также оно может быть осуществлено посредством уточнения исполнения режимов обработки требований технологическим оборудованием с его перенастройкой или заменой. Эти процессы осуществляются посредством оперативного обслуживания подразделениями КИП и А и главного технолога. Для своевременного обслуживания необходимо проанализировать данные текущего актуального прецедента и на его основе рассчитать частные обратные прогнозы или ретропрогнозы, где часть предпосылок прогноза и его результат являются предпосылками ретропрогноза, а одна из предпосылок прогноза является целевым событием ретропрогноза. Для

такого управления прогнозом в целях оперативного обслуживания необходимы критерии точности измерения или установления предпосылок прогноза, которые могли бы определить необходимость того или иного обслуживания.

Между тем на предприятиях не запускают производственные процессы, которые не соответствуют требуемым критериям управления. Такое состояние управления производством гарантируется, например, на этапе завершения пусконаладочных работ системы управления, и оно может считаться образцовым для последующей ее эксплуатации. Тогда, может быть установлена образцовая точность обратных частных прогнозов показаний контрольно-измерительных приборов и обратных прогнозов точности обработки в некотором образцовом прецеденте данных относящихся к пуско-наладочному режиму работы производства. Затем следует периодически или установив события обратной связи для расчета ретропрогнозов, сравнивать точность текущих частных обратных прогнозов и образцовых и принимать соответствующие решения.

Поскольку величина P_j^{md} отображает риск ошибочности, то и критерий управления должен включать в себя допустимый верхний предел этого риска, что собственно и предусматривается методологией QPC. Установление такого значения возможно только при экономической или технической оценке последствий ошибочности и издержек ПУ, что предусматривает более высокий уровень управления и представляет собой отдельный информационный процесс. Однако на этом же уровне управления могут приниматься управленческие решения, связанные с изменением схемы технологического процесса, например, для того, чтобы можно было уменьшать глубину прогнозирования в АПУ, а значит повысить его точность. Тогда на основе структур данных, созданных для поддержания данного АПУ, можно осуществить реконструкцию АПУ для данных прецедента требуемой глубины, но осуществляемого в новой технологической схеме и оценить его отличия от АПУ в котором эти данные были использованы в рассматриваемом прецеденте. Такую реконструкцию следует отличать от имитации АПУ в тех или иных условиях в имитационных компьютерных системах. При имитации невозможно установить точность воспроизведения производственного процесса конкретного производства. При реконструкции же используются данные реального производственного прецедента. Эти данные позволяют установить точность прогнозирования на каждом этапе производства и с любого места очереди.

Таким образом, доказано, что ПУ отличается от типа управления, рассматриваемого в ТАУ, может осуществляться на всех уровнях управления дискретным производством, включая автоматическое управление, и по характеру рассмотрения процесса управления его следует отнести к области компетенции метрологии.

Литература:

1. Уильямсон, О.И. Экономические институты капитализма. Фирмы, рынки, «отношенческая» контракция / О.И. Уильямсон. – СПб.: Лениздат, 1996. – 164 с.
2. Macneil, Ian R. Reflection on Relational Contract / Ian R. Macneil. – Cambridge University Press, 1974. – P. 541–546.
3. Зирко, О.Ф. Кудрявцев В.И. Информационное моделирование массовых производственных процессов / О.Ф. Зирко, В.И. Кудрявцев // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ-2013): доклады XII Международной конференции, Минск, 20 ноября 2013 г. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2013. – С.140-146.
4. Сретенский, В.Н. О метрологическом обеспечении контроля и надежности изделий в процессе эксплуатации / В.Н. Сретенский, В.В. Трейер// Надежность и контроль качества. – 1978. – № 4. – С. 38-45.