

Н. Н. Прокимов, канд. техн. наук, доцент, Университет «Синергия»,
prokimnovnn@mail.ru

Концепция и принципы организации адаптивного мониторинга

Окончание. Начало в № 1(61) 2016

Рассмотрена парадигма адаптивного мониторинга для решения исследовательских и управленческих задач. На основе собираемых данных о поведении наблюдаемых процессов и о динамике самого процесса мониторинга структура и параметры системы мониторинга непрерывно подстраиваются под изменяющиеся условия, обеспечивая тем самым максимально возможную эффективность функционирования системы. Охарактеризованы состав и назначение основных компонентов, применяемых методов и процедур, предложены критерии и рекомендации по выбору указанных объектов. Приводятся примеры ИТ-платформ, обеспечивающих реализацию подхода.

Ключевые слова: мониторинг, адаптивный мониторинг, система наблюдения, индикаторы, триггеры.

Часть 2

Триггеры

В системах, построенных на основе концепции потока работ, под триггером понимается средство, осуществляющее переключение последовательности выполнения работ при наступлении некоторого условия. В данном контексте на триггеры возлагаются задачи отслеживания динамики процессов мониторинга, фиксации наступления условий, требующих со стороны системы принятия некоторых ответных действий, анализа особенностей сложившейся обстановки, выбора, планирования и запуска необходимых процедур.

По оперативности ответной реакции на события, инициируемой триггерами, последние целесообразно классифицировать по степени важности и срочности (ранжировать), поскольку очевидно, что проведение мероприятий по устранению узких мест, возникших в связи с критической загруженностью некоторых компонентов или ухудшением качества собираемых данных ниже допустимого уровня, имеет, как правило, большую важность по сравнению с анализом

возможности увеличения периодичности наблюдения или сокращения перечня собираемых данных.

Правила срабатывания ряда триггеров, особенно отслеживающих загрузку ресурсов системы, во многом соответствуют правилам, принятым в системах наблюдения и контроля информационно-вычислительных ресурсов (примером может служить система *Datadog*¹, контролирующая состояние различных компонентов как внутри, так и за пределами системы на основе интеграции наблюдаемых значений и существенных событий с целью идентификации узких мест и потенциальных проблем с использованием ресурсов). В табл. 1 показаны примеры возможных событий, вызывающих срабатывание триггеров, и возможные действия, выполняемые при срабатывании триггеров.

Параметрами в критериях могут выступать границы диапазона, среднее, медиана, дисперсия отдельного показателя, среднего по выборке, среднего по наблюдению, или показателя, отбираемые по иному правилу. Базовые значения устанавливаются по дан-

¹ <https://www.datadoghq.com/product/index.html>

Таблица. 1. Триггеры системы адаптивного мониторинга**Table 1.** Adaptive monitoring triggers

№	Событие	Ранг	Возможные действия
1	Превышено допустимое отклонение параметра от прогнозного значения	2	Отправка запроса и проверка отчета. Перерасчет прогноза
2	Превышен допустимый темп увеличения или уменьшения параметра	2	Отправка запроса и проверка отчета. Перерасчет прогноза
3	Превышен порог повторяемости ошибки определенного типа в отчетах разных респондентов	2	Проверка на наличие инструментальной ошибки
4	Превышен порог числа совпадений подряд значений показателей в последовательности отчетов	1	Проверка респондента на добросовестность подготовки отчетов
5	Уменьшение дисперсии значений показателя ниже порогового значения	3	Проверка возможности сокращения выборки
6	Превышение дисперсии значений показателя порогового значения	3	Анализ необходимости увеличения выборки
7	Превышен допустимый порог абсолютного (относительного) числа ошибок в очередном цикле наблюдения (суммарно и/или по респондентам)	2	Анализ на необходимость принятия мер административного воздействия
8	Превышен допустимый порог приращения абсолютного (относительного) числа ошибок в очередном цикле наблюдений	2	Проверка обеспеченности ресурсами. Анализ необходимости принятия мер административного характера
9	Нарушен плановый срок представления (готовности) отчета	1	Проверка обеспеченности ресурсами. Анализ необходимости проведения административных мероприятий
10	Превышен порог суммарных нарушений планового срока представления (готовности) отчета	2	Проверка обеспеченности ресурсами. Анализ необходимости проведения административных мероприятий
11	Достижение показателями загрузки системных ресурсов критической отметки	1	Идентификация и ликвидация узких мест в системных ресурсах. Анализ и планирование системной модернизации
12	Превышен порог недоступности системных ресурсов (процент времени)	1	Идентификация и ликвидация узких мест в системных ресурсах. Анализ и планирование системной модернизации

ным предшествующего периода, среднего за несколько предшествующих периодов, скользящего среднего или по иному правилу.

Помимо действий, выполняемых при появлении определенных событий и условий, ряд процедур, таких, например, как анализ тенденций протекания наблюдаемых процес-

сов с последующим уточнением граничных и пороговых значений, выполняется на регулярной основе. Эти процедуры формально можно также рассматривать как процедуры, запускаемые триггером (считая событием наступление планового срока), но, по сути, они носят плановый характер.

Интерпретация значений индикаторов и последующие решения в большинстве случаев существенным образом определяются контекстом конкретного наблюдения (условиями проведения и требованиями к его параметрам) и предполагают включение в рассмотрение значений других индикаторов. Поэтому одни и те же величины могут трактоваться как нормальные и не требующие ответной реакции системы в одной ситуации, но инициирующие анализ и проведение корректирующих воздействий — в другой.

В последующих разделах приводится обоснование принципов и критериев выбора основных целей, возможных методов и информационного обеспечения процессов адаптации.

Индикаторы

Под индикаторами будем понимать параметры, которые показывают степень дости-

жения целей функционирования системы мониторинга, отображают текущие условия протекания наблюдаемого процесса и уведомляют об отклонениях свойств конечного результата или режима функционирования системы от желаемых. Помимо целей слежения за текущим состоянием наблюдаемых процессов и сохранения истории поведения системы мониторинга индикаторы могут применяться также для решения второй важной задачи — прогнозирования поведения системы в будущем. Анализ текущих и исторических значений индикаторов позволяет определить состав и порядок применения управленческих воздействий на систему мониторинга.

Условно индикаторы можно распределить на группы, образованные соответственно их назначению и степени общности (рис. 7).

1. *По назначению* — на индикаторы, необходимые для оценивания и прогнозирования

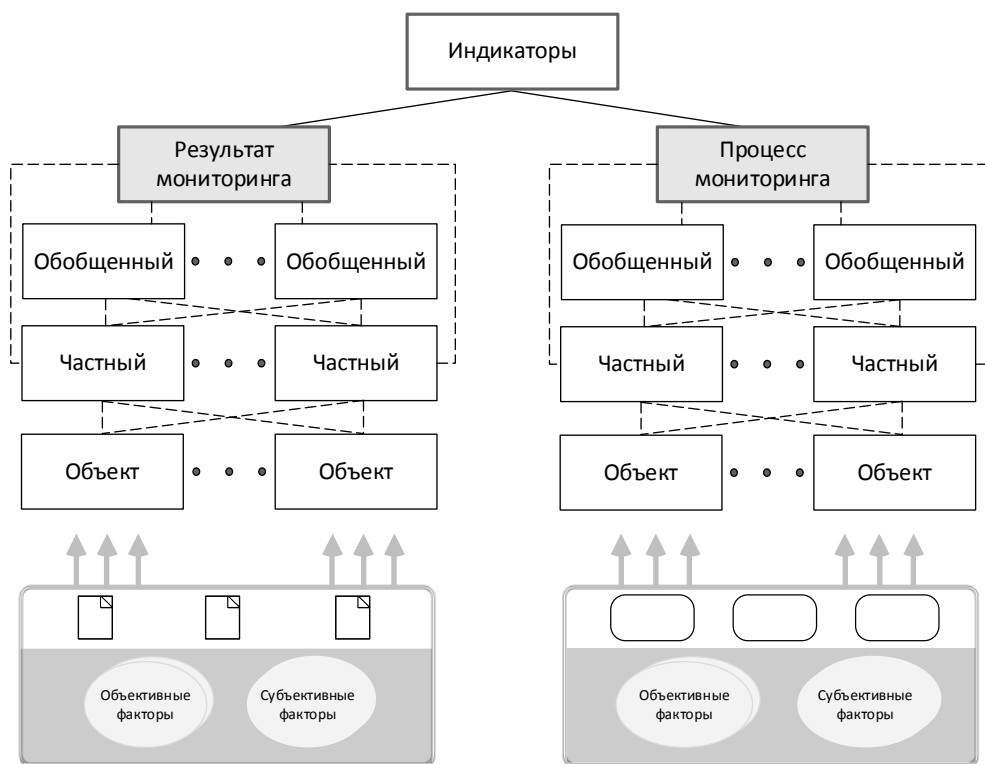


Рис. 7. Индикаторы системы мониторинга

Fig. 7. Monitoring system indicators

результата мониторинга (собираемых данных), и индикаторы, необходимые для оценивания и прогнозирования эффективности процесса мониторинга.

2. По общности — на частные индикаторы, представляющие какую-либо измеримую величину, и обобщенные, представляющие собой свертку [9] частных индикаторов.

Частные индикаторы (в англоязычных источниках часто именуемые ключевыми показателями эффективности — *key performance indicator, KPI*) указывают на образование узких мест и позволяют определить и выполнить корректирующие действия по устранению узких мест и предотвращению их появления в будущем. Например, внезапный выход представленного в отчете респондента значения показателя за границы диапазона, характерного для предшествующих периодов наблюдений, может объясняться привлечением к работам по сбору данных и подготовке отчетов нового сотрудника, не прошедшего обучение или инструктаж. Очевидно, что адекватными шагами в этом случае будут шаги, направленные на прохождение новичком соответствующих курсов или тренингов.

Обобщенные индикаторы (часто именуемые индексами) представляются, как правило, аддитивной сверткой частных индикаторов, которые участвуют в свертке вместе со своими весами. Например, индикатор качества отчетов, представляемых k -м респондентом Q^k , может быть задан в виде взвешенной суммы

$$Q^k = \sum_{i=1}^{N_k} \lambda_i Q_i^k, \quad (7)$$

где λ_i — вес i -го наблюдения, связанный с весами, присутствующими в выражениях (1) и (4) для целевой функции системы мониторинга, N_k — число наблюдений, закрепленных за k -м респондентом, Q_i^k — индикатор качества сведений респондента по i -му наблюдению, который, в свою очередь, может строиться как агрегированный по типам и удельной доле присутствующих в отчетах ошибок.

Индикаторы привязываются к конкретным контролируемым компонентам: к респондентам — как в (7), отчетам, наблюдаемым процессам или объектам.

Число обобщенных индикаторов, используемых для одного объекта, должно быть ограниченным (в частности, в [8] для контроля качества отчетов с результатами клинических испытаний, представляемых конкретным поставщиком, рекомендуется использовать от 5 до 10 индикаторов, которых по опыту автора достаточно как для оценивания, так и для прогнозирования качества данных, получаемых при проведении наблюдений такого типа).

Изменчивость требований к целям и характеру проведения наблюдений требует периодической корректировки как значений весов частных индикаторов, присутствующих в выражениях для обобщенных индикаторов, так, возможно, и самих выражений свертки.

Качество данных мониторинга

Качество данных, собираемых системой мониторинга, достигается в общем случае применением двух подходов [12]:

- 1) *обеспечением качества* — мероприятиями, проводимыми до начала сбора данных;
- 2) *контролем качества* — мероприятиями, проводимыми в процессе и по окончании цикла сбора данных.

Обеспечение качества направлено на предотвращение появления ошибок, что, разумеется, экономически намного эффективнее их исправления. К основному средству обеспечения качества данных относится стандартизация технологии их сбора (формы отчетов, комплексные и индивидуальные процедуры сбора данных и их проверки), которая позволяет избежать многих типичных ошибок:

- неопределенности по срокам, применяемым методам и участникам;
- неполноты перечня собираемых данных;
- нечеткостей в описании методик и инструментов сбора данных;

- неясностей содержания и программы обучения или переподготовки персонала, ответственного за сбор данных;

- неясности в составе, использовании, корректировке и калибровке оборудования сбора данных (в случае необходимости таковых);

- отсутствия средств документирования изменений в формах и процедурах, производимых в процессе мониторинга.

Однако эти меры не могут исключить возможности появления в процессе мониторинга эпизодических, систематических и некоторых других ошибок полностью.

Ошибки в данных обычно классифицируются по уровням серьезности (категориям). К *синтаксическим* (формальным) ошибкам относятся такие, как повторение кода в одной записи или указание кода, не принадлежащего допустимому множеству значений, задание значений вне диапазона. Синтаксические ошибки обнаруживаются системой проверки, и содержащие их записи не будут внесены в базу данных. К *логическим* ошибкам принадлежат отчеты, содержащие недостоверную информацию, выявляемую применением правил логического контроля (в частности, проверкой совпадения суммы значений с контрольной суммой). К ошибкам *качества* относятся сведения, прошедшие все синтаксические и логические проверки, но, тем не менее, вызывающие недоверие в аспекте наблюдаемых отклонений от ожидаемых величин, которые обусловлены историческими и статистическими оценками. Данные, вызывающие сомнения в их качестве, подлежат последующему анализу, на основании которого данные либо принимаются, либо отвергаются.

В ряде мониторинговых систем, где серьезность последствий неверных решений, принятых на основе неверных данных, весьма велика (в частности, в системах сбора данных клинических испытаний), в особую подгруппу выделяются *фальсифицированные* данные, представляющие собой результат преднамеренных искажений,

которым уделяется повышенное внимание. Фальсификация данных особенно характерна для тех систем мониторинга (или видов наблюдений), где роли объекта наблюдения и субъекта наблюдения (респондента) выполняются одним лицом.

Контроль качества направлен как на выявление причин и источников появления ошибок в процессе ведения мониторинга, так и на реализацию действий по исправлению (замене) некорректных методов и средств сбора данных, уменьшая вероятность повторения вызванных ими ошибок в будущем.

Укажем основные факторы (причины), снижающие качество результата мониторинга, и возможные индикаторы их присутствия.

Объективные факторы:

- неверно выбранные измерительное оборудование и средства;

- ошибки или неточности в методиках (инструкциях) сбора данных;

- недостаток ресурсов (в частности, времени, отводимого на сбор, подготовку и отправку данных).

Субъективные факторы:

- случайная ошибка или нарушение регламента;

- систематическая ошибка или нарушение регламента;

- злонамеренная ошибка (фальсификация данных).

На возможность применения дефектного инструментария или искаженной методики сбора данных может указать повторяемость одной и той же ошибки в отчетах большого числа респондентов (например, в виде повсеместно одинакового отклонения наблюдаемого среднего некоторого показателя от ожидаемого). Указанием на ту же причину в отчетах отдельного респондента может быть устойчивое отклонение значений наблюдаемого показателя в отчетах данного респондента от аналогичных значений, представленных в отчетах другими респондентами для тех же условий наблюдения и для схожих объектов наблюдения (в [13] приводится при-

мер обнаружения с помощью данного способа источника ошибок в виде некалиброванных градусников, применявшихся для измерений температуры в одном из клинических учреждений, данные наблюдения которого направлялись в центр сбора информации).

Признаком возможной фальсификации данных может служить многократное повторение в представленных подряд респондентом ответах одного и того же значения показателя для наблюдений, где в силу природы наблюдаемого процесса возможность повторения значений практически исключена.

Индикаторы качества данных в общем случае следующие:

индикаторы ошибок в данных:

- среднее относительное число ошибок (диапазона, форматов, логических) на сообщение;

- дисперсия относительного числа ошибок на сообщение;

- величина превышения среднего относительного числа ошибок респондента по отношению к среднему по всем респондентам;

- динамика изменений;

индикаторы признаков фальсификации данных:

- число превышений допустимых отклонений (по респонденту и по отдельному показателю) от среднего по данному показателю по всем отчетам;

- логические проверки на основе комплексного анализа динамических рядов по совокупности показателей;

- длина серии «подозрительных» сообщений респондента по данному показателю;

- превышение порога несоответствия ожидаемым значениям.

Качество процесса мониторинга

Из факторов, снижающих качество процесса мониторинга, укажем следующие:

объективные факторы:

- изменение характера изучаемого явления или объекта наблюдения;

- изменение динамики (замедление или ускорение) наблюдаемого процесса;

субъективные факторы:

- неадекватный выбор периода наблюдения;
- неадекватный выбор числа и состава объектов наблюдения (основанный, в частности, на прогнозе или использовании известных аналогов и влияющий на статистическую значимость);

- неадекватный выбор состава показателей;
- коррелированные показатели;
- неучтенные показатели;
- недостаточное число групп или диапазонов значений.

В качестве индикаторов, необходимых для отслеживания использования и состояния ресурсов, можно использовать следующие:

административно-управленческие ресурсы:

- сроки представления отчетов (по респондентам);

- общее число нарушений контрольных сроков;

- среднее число нарушений контрольных сроков на отчет;

- абсолютные и приведенные (например, к периоду наблюдения) суммарные задержки;

- гистограмма (по диапазонам величины задержки);

системотехнические ресурсы:

- коэффициент загрузки ресурса;

- коэффициент недоступности ресурса;

- время ожидания освобождения ресурса;

- выявленные ошибки.

Целесообразно использование как фактических, так и относительных (приведенных к единице объема данных и/или отчету) значений, которые могут указывать на недостаток у респондента времени, отводимого регламентом на подготовку отчета.

Индикаторы и объекты систем мониторинга системотехнических ресурсов, обладающих собственной спецификой, выбираются соответственно принятой концепции (или применяемой специальной системы в виде автономного компонента всей системы мониторинга).

Выбор и применение индикаторов

Перечислим принципы, сформулированные на основе обобщения накопленного практического опыта применения систем адаптивного мониторинга различной предметной ориентации, следование которым может улучшить результат формирования множества индикаторов.

1. В число главных свойств индикатора должны входить:

- *ясность* — смысл истолковывается всеми участниками однозначно;
- *очередность* — каждое значение должно быть привязано к моменту времени, для которого оно получено;
- *независимость* — отражает только одно свойство (характеристику);
- *объективность* — критерий (правило) получения должен быть формализован;
- *надежность* — значение формируется только на основе системных данных, без использования внешних, полученных помимо установленного регламента;
- *реализуемость* — данные, используемые для расчета значения, должны быть доступны.

2. Число применяемых индикаторов должно быть сбалансированным: чрезмерно большое их число усложняет процедуры анализа и принятия решения, сведение их числа к минимуму может сделать индикаторы малоприменимыми ввиду принципиальной невозможности построить индикатор «универсального» применения.

3. Использование индикаторов в триггерах предполагает наличие критических или пороговых значений (например, средних или граничных), надежно оценить которые в отсутствие достаточной статистики нельзя. Поэтому возможность практического применения ряда индикаторов появляется только по прошествии некоторого времени (с момента начала эксплуатации системы, отдельного наблюдения, внедрения в практику нового метода и т. п.), необходимого для накопления данных.

4. Зафиксированные на основе индикаторов аномальные отклонения не обязательно носят негативный характер. В частности, индикаторы могут указывать на возможность освобождения системных ресурсов, ставших с течением времени избыточными.

5. Попадание значений некоторых индикаторов в критический диапазон свидетельствует только о возникшем подозрении на присутствие аномалий, но не обязательно об их присутствии фактическом. Однозначное и надежное заключение о текущем состоянии процесса основывается на итогах проводимого анализа, в котором могут участвовать другие индикаторы.

6. Протекание процессов в типичном случае подвержено воздействиям случайных факторов, в силу чего для их описания используются статистические характеристики, состав которых нередко ограничивается средними значениями. Вместе с тем для реальных процессов предположение об унимодальности (тем более о нормальности) распределения часто не оправдывается, что может привести к неверным выводам и решениям. Для описания таких процессов необходима более полная информация, возможно, в виде гистограмм значений отслеживаемого параметра.

7. Интерпретация значений индикаторов и последующие решения в большинстве случаев существенно зависят от контекста проводимого наблюдения (условий проведения и требований к его параметрам) и могут потребовать включения в анализ значений других индикаторов. Поэтому одни и те же величины могут трактоваться как нормальные и не требующие ответной реакции системы в одной ситуации, но инициирующие анализ и проведение корректирующих воздействий — в другой.

8. По отношению к некоторым индикаторам имеет смысл устанавливать ограничения на доступ к их значениям. В частности, пороговые значения индикаторов, используемых для обнаружения фактов фабрикации данных, могут оказаться полезным источни-

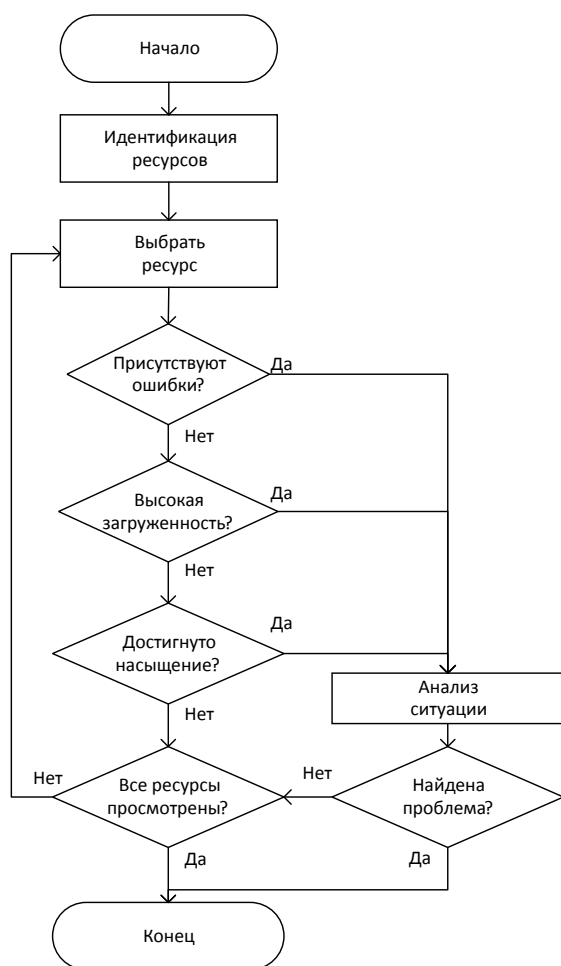


Рис. 8. Контроль состояния ресурсов на основе метода *USE*

Fig. 8. Carrying out of checks in *USE* method

ком для недобросовестных поставщиков информации.

9. Выбор индикаторов требует осторожности в случаях, когда процедуры сбора могут сопровождаться появлением «эффекта наблюдателя» [14], выражающемся как в замедлении наблюдаемого процесса, так и в искажении значений индикаторов. Преимущественно это относится к индикаторам, контролирующим использование технических ресурсов, и может быть обусловлено, например, служебными операциями по ведению электронного журнала наблюдений (в частности, имеющего содержание и организацию, описанные в [1]),

или разделением ресурсов центрального процессора между основным и служебными процессами.

10. Состав индикаторов зависит от принятой концепции, поэтому определенный набор может обеспечивать решение в рамках одного подхода и не подходить в других случаях.

Например, в основу метода *USE* (*utilization, saturation and errors* — загрузка, насыщение и ошибки) [15], применяемого для мониторинга информационных систем, положен принцип идентификации узких мест, снижающих ее производительность. Концепция обуславливает выбор индикаторов, на анализе которых строится метод (рис. 8).

Однако мониторинг, проводимый на основе другого подхода, может потребовать уже иных индикаторов (в частности, индикаторов состояний потоков в методе *TSA* — *Thread State Analysis* ², предназначенном для решения аналогичной задачи, но основанном на анализе состояний потоков).

Формирование индикаторов и построение методик проверок

Как было отмечено, для нахождения значений индикаторов динамики протекания и качества результата процесса мониторинга в общем случае используются как данные, собираемые в рамках целевой функции системы, так и вспомогательная информация, необходимая для отслеживания процесса, инициализации анализа ситуации, планирования и выполнения действий по адаптации структуры и параметров компонентов. Источниками сведений, необходимых для информационной поддержки выполнения функций адаптации, могут служить:

- 1) регулярные отчеты респондентов с данными, направляемые в рамках целевой функции наблюдения;
- 2) регулярные управленческие отчеты респондентов, содержащие сведения органи-

² <http://www.brendangregg.com/tsamethod.html>

зационно-административного характера (загрузка ресурсов, структурные параметры), необходимые для выполнения служебных функций;

3) направляемые по запросу отчеты респондентов с дополнительными данными;

4) данные средств автоматического сбора данных о загрузке ресурсов системы (в первую очередь системотехнических).

Необходимость в получении сведений, отмеченных в п. 3 приведенного списка, вызвана отсутствием в регулярных отчетах данных, используемых в решении некоторых задач, ввиду, например, экономической нецелесообразности в силу эпизодичности и непредсказуемости запуска процедур, использующих эти данные. Возможная логика взаимодействия участников в процессе сбора нестандартных данных показана на рис. 9.

В большинстве случаев данные представляют собой временные ряды, которые позволяют, во-первых, выявить тенденцию (например, с помощью метода скользящего среднего) и, во-вторых, отследить эффективность принятых мер. Для обработки применяются статистические методы, в первую очередь однофакторный и многофакторный корреляционный анализ и оценивание гипотез. Например, с помощью многофакторного корреляционного анализа можно проанализировать эффект совместного влияния таких факторов, как соблюдение респондентом регламента представления отчета и качество содержащихся в отчете данных.

Выбор метода статистического анализа зависит от вида проводимого наблюдения и степени жесткости требований, предъявляемых к качеству данных. Отправной точкой для решения вопроса о выборе методов статистического анализа могут быть решения, принятые в системах мониторинга данных клинических испытаний, где требование к качеству собранных данных рассматривается как критическое, благодаря чему уровень проработанности математических методов и процедур проведения статистических проверок весьма высок.

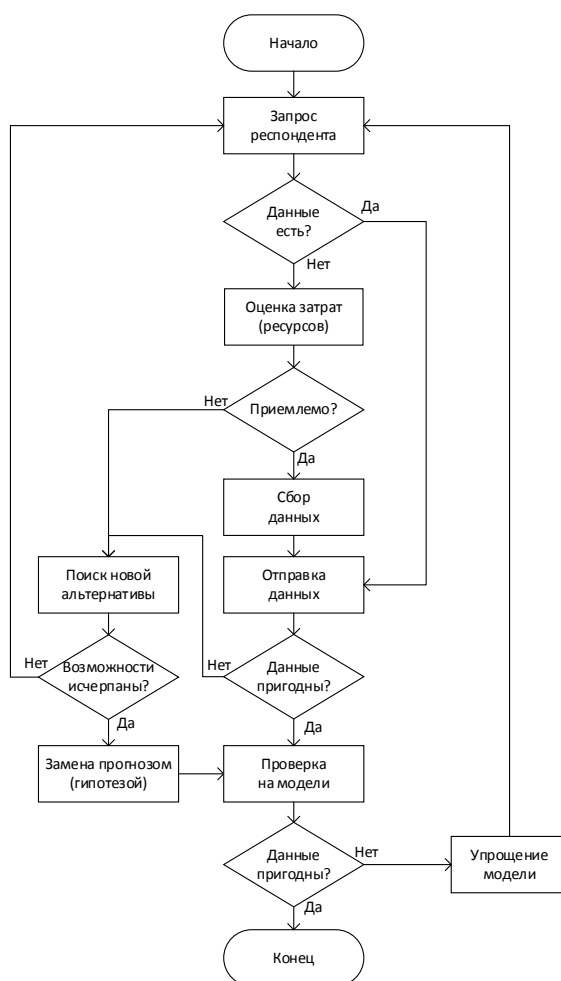


Рис. 9. Сбор нестандартных данных

Fig. 9. Collecting irregular data

Помимо учета результатов статистического анализа механизм адаптации системы и планирования действий строится с учетом наблюдаемых тенденций, что предполагает использование методов прогнозирования [16]. В качестве примера на рис. 10 показана укрупненная схема отслеживания динамики наблюдаемых значений и выполнения периодических корректировок параметров (граничных значений), присутствующих в правилах проверки.

Верхний блок на основе временного ряда $V_{T-1}, V_{T-2}, \dots, V_1$ с помощью модели прогнозирования устанавливает значения на текущий

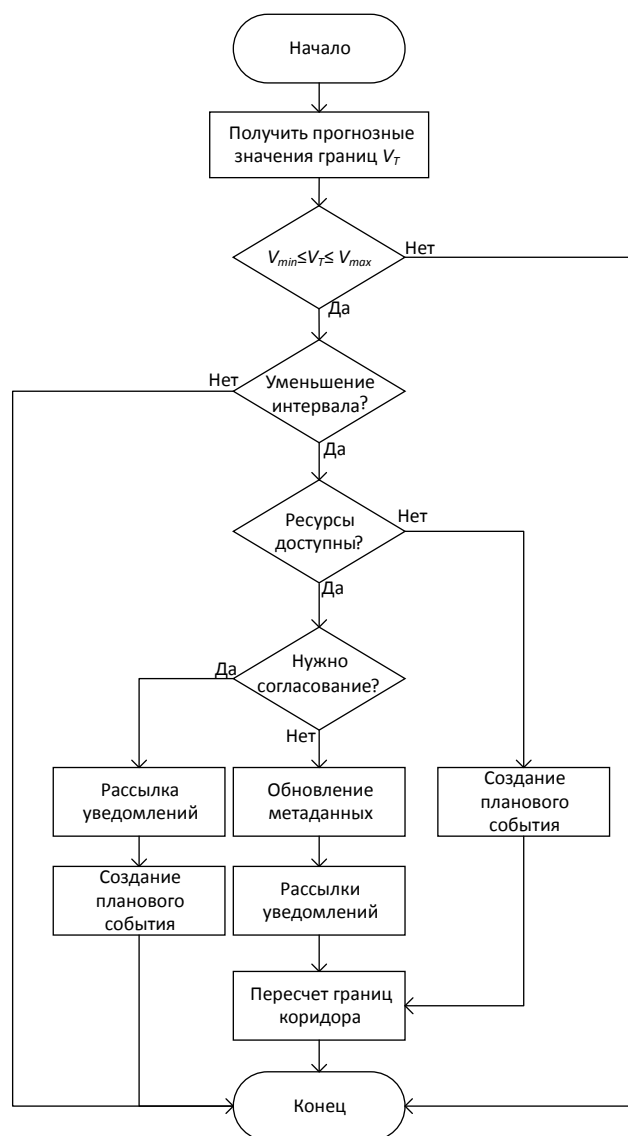


Рис. 10. Коррекция границ ожидаемых значений

Fig. 10. Adjusting expected value boundaries

момент границ $\hat{V}_T^{\min}$ и $\hat{V}_T^{\max}$ значений показателя V [15]:

$$\begin{aligned} V_T^{\max} &= F_v^{\max}(V_{T-1}, V_{T-2}, \dots, V_1) + \varepsilon_T \\ V_T^{\min} &= F_v^{\min}(V_{T-1}, V_{T-2}, \dots, V_1) + \varepsilon_T \end{aligned}$$

где ε_T — величина ошибки прогноза.

Прогнозные значения зависят от достигнутой на текущий момент надежности про-

гноза: бóльшая надежность при той же динамике поведения наблюдаемого показателя соответствует более широкому коридору. Рост объема накопленной информации (рост объема исторических данных) будет сопровождаться и ростом надежности (уменьшением величины ошибки) прогноза. Это позволит периодически уточнять диапазон ожидаемых значений (т. е. сужать при той же самой динамике показателя), обеспечивая та-

ким образом возможность более тщательного контроля.

В зависимости от изменения характера временного ряда (долговременность памяти, тип стационарности) и по мере совершенствования метода и модели прогнозирования (например, переходом на модель авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего с учетом внешнего фактора, обозначаемую в англоязычных источниках аббревиатурой *ARIMAX* [17]), которые учитывают значения других наблюдаемых показателей, могут корректировать время упреждения прогноза и плановые сроки проверок (блок создания планового события на рис. 10).

Наличие исторических данных, характеризующих работу участников, позволяет усовершенствовать механизм применения *управленческих процедур*. При достижении (превышении или снижении) индикатором, отражающим рейтинг участника, порогового значения могут инициироваться:

- объявление благодарности (по телефону или почтой) или премирование;
- предупреждение;
- перевод респондента (поставщика услуг) на другую категорию оплаты;
- предъявление исков о возмещении ущерба;
- отказ от услуг ненадежного или недобросовестного респондента (поставщика услуг).

Эффективная реализация механизма реализации управленческих процедур должна обеспечиваться административно-правовой основой. Например, в соглашениях с респондентами (поставщиками информационных услуг) необходимо предусматривать пункты, в которых оговариваются нормативные показатели качества представляемых данных наблюдения и возможные меры со стороны заказчика при нарушении установленных нормативов.

В завершение раздела сформулируем несколько критериев для выбора и применения процедур.

1. Регламент запуска и время выполнения процедур, помимо спецификации правил

и результата, должен включать ограничения на время, прошедшее с момента срабатывания триггера до завершения процедуры. Очевидно, что диапазон установленных ограничений для процедур может быть довольно широк.

2. Ход выполнения каждой процедуры должен отслеживаться на всем временном промежутке вплоть до завершения процедуры. Результат необходимо зарегистрировать и оценить. Полученная количественная оценка позволяет, с одной стороны, при не полностью достигнутой цели предпринять дополнительные шаги и, с другой стороны, прогнозировать в дальнейшем эффект применения процедуры и улучшить результат планирования.

3. Применение не прошедших проверку процедур или применение процедур без учета существенных факторов могут в некоторых случаях оказаться контрпродуктивными. Например, введение ограничений на диапазон вводимых данных может стимулировать недобросовестных участников к тому, чтобы прибегать в условиях перегруженности к подтасовке данных, более искусно имитируя данные реальные.

4. Результаты выполнения процедур должны служить основой для корректировки плана мониторинга путем уточнения пороговых значений триггеров, состава и правил запуска процедур в привязке к конкретному объекту.

ИТ-платформы и средства

Кратко остановимся на средствах информационной технологии, которые могут обеспечить реализацию концепции адаптивного мониторинга.

В зависимости от конкретных задач и проектных приоритетов реализация концепции адаптивного мониторинга может строиться на основе как специальных систем, так и средств общего назначения.

Прикладные системы

Примерами систем специального назначения, построенных на основе концепции

адаптивного мониторинга, могут служить системы сбора данных клинических испытаний. Системы, предлагаемые на рынке, применяют, как правило, свой собственный методологический подход, так или иначе основанный на биостатистике (бионике) — отрасли науки, в которой широко используется аппарат математической статистики применительно к задачам биологии и медицины. Технологическая часть систем строится на стандартах для электронных данных в области клинической практики и здравоохранения, таких как *HL7 — Health Level Seven International*, название которого указывает на соответствие прикладному (седьмому) уровню стандарта *OSI*.

Одним из приоритетов при создании таких систем является минимизация числа проводимых процедур взаимодействия с сайтами (поставщиками) данных в процессе сбора данных и перенос основной рабочей нагрузки в центр мониторинга, чем достигается значительная экономия ресурсов. Системы имеют давнюю историю развития и практического использования [18], представлены на рынке системами, позиционирующими себя как системы *RBM* (например, *AptivInSite*³, применяющая оригинальный метод под названием «верификация на основе взятия статистических образцов» — *Verification by Statistical Sampling*, или *CluePoints*⁴, также построенная на основе статистического мониторинга), и системами адаптивного мониторинга.

Как уже отмечалось, знакомство с применяемым в таких системах математическим аппаратом может оказаться весьма полезным источником идей и методов для проектирования систем адаптивного мониторинга иной предметной ориентации.

Мониторинг информационно-вычислительных систем

Большинство систем этого назначения строится с учетом требований Соглашения об уровне предоставления услуги (*SLA — Service Level Agreement*), заключаемого между заказчиком и поставщиком ИТ-услуг в рамках методологии *ITIL5 (Information Technology Infrastructure Library* — библиотека структуры информационных технологий). Соглашение включает в качестве основного условие обеспечения оговоренного уровня качества предоставляемых услуг, что фиксируется в первую очередь значениями показателей эффективности *KPI*. Поэтому данные мониторинга имеют нередко и юридический аспект.

В системах, как правило, предусмотрены графические электронные табло, отображающие текущее состояние (*dashboards*), с помощью которых удобно проводить анализ системной обстановки и устранять возникающие узкие места (обычно в полуручном режиме). Отметим некоторые из известных систем в этой категории.

- Семейство продуктов *Nagios*⁶ обеспечивает мониторинг ИТ-компонентов, поддержку ведения журналов, анализ производительности сети, функционирование приложений. Ядро системы распространяется свободно.

- Система *Centreon Engine*⁷, построенная по принципу свободной лицензии, помимо мониторинга ресурсов обладает возможностями отслеживать также и работу прикладных программ на основе комплексных индикаторов, получаемых путем агрегирования индикаторов ИТ-уровня (системотехнического уровня). Приближая тем самым уровень мониторинга к функциональному (прикладному), система позволяет гибко назначать приоритеты процессам (приложениям) на основе формального описания деловых правил.

³ <http://www.businesswire.com/news/home/20131105005363/en/Aptiv-Solutions-Enhances-AptivInSite%E2%84%A2-Risk-Based-Monitoring-Offering>

⁴ <http://www.cluepoints.com/resources>

⁵ <https://www.axelos.com/best-practice-solutions/itil>

⁶ <https://www.nagios.com/>

⁷ <https://www.centreon.com/en/>

Многоагентная технология

Позволяет осуществлять сбор данных для наблюдений, в которых может присутствовать значительное разнообразие как в свойствах наблюдаемых процессов или объектов, так и в методическом обеспечении, применяемом респондентами. Помимо возможности оптимизации процесса наблюдения на уровне каждого интеллектуального агента (респондента), такой подход открывает перспективы для дальнейшего перехода на унифицированную технологию.

Так, в [19] описан подход к классификации объектов наблюдения. В наблюдениях участвовали различные агенты, за каждым из которых был закреплён свой состав наблюдаемых (пожилые люди, проживающие в своих домах), каждый из которых мог быть под наблюдением разных агентов, использовавших для наблюдения свой набор показателей (температура тела, кровяное давление и т. п.). На первом этапе проводилась локальная классификация на уровне отдельных групп агентов, которые получали возможность взаимодействия друг с другом, в результате чего показатели ранжировались. Далее проводилось разбиение на классы с помощью нахождения расстояний между классами в евклидовом пространстве. Авторы считают, что решение подобной задачи на основе классического подхода к мониторингу невозможно.

Многоагентная технология может строиться по иерархическому принципу. Так, создаваемая в рамках проекта *Fault-Adaptive Monitoring and Control of Complex Distributed Dynamical Systems*⁸ Совета по проведению научных исследований Евросоюза (*European Research Council — ERC*) инновационная технология базируется на группах интеллектуальных агентов для диагностики неисправности. Взаимодействуя между собой на локальном уровне, агенты при возникновении опас-

ных ситуаций будут передавать проблему на региональный уровень, который на основании синтеза частичных «снимков» состояния будет принимать окончательные решения. Хотя система, приведенная в этом примере, представляет собой, по существу, систему управления, тем не менее заложенный в проекте подход может применяться и в системах мониторинга.

Управление метаданными

Системотехническую платформу построения мониторинга на основе адаптивного подхода могут обеспечить также технологии, основанные на представлении среды наблюдения и всех компонентов системы в виде структурированных и частично структурированных массивов данных. В массивах хранятся сведения о составе наблюдаемых объектов и процессов, содержании и форматах собираемых данных, логических связях между данными, участниках и схеме закрепления за ними обязанностей (задач), регламентах взаимодействия между участниками, структурах и форматах отчетов, формализованных требованиях к качеству данных, правилах проверки их соблюдения, процедурах и порядке их выполнения при обнаружении отклонений.

Системотехническая реализация этого принципа может рассматриваться как каркас (*framework*), воплощенный с помощью определенных ИТ-средств (таких как СУБД и почтовые службы) и наполняемый содержанием, отражающим конкретные целевые задачи мониторинга, условия и регламент его проведения. Наполнение сводится преимущественно к заполнению отдельных разделов формализованными сведениями относительно структуры и параметров системных компонентов.

Платформы обеспечивают, таким образом, поддержку на техническом уровне решения основной практической задачи адаптивного мониторинга — при появлении соответствующих условий осуществлять гиб-

⁸ <https://erc.europa.eu/fault-adaptive-monitoring-and-control-complex-distributed-dynamical-systems>

кое переконфигурирование ИТ-компонентов системы и перенастройку их параметров на максимально возможном уровне автоматизации. С примером такого подхода можно ознакомиться в [1; 2].

Беспроводные и облачные технологии

Применение концепции адаптивного мониторинга хорошо сочетается с ИТ-технологиями, обеспечивающими дополнительно к своим основным возможностям высокий уровень автоматизации и работу в режиме, близком к режиму реального времени. К числу таких технологий относятся в первую очередь беспроводные и облачные технологии. Эффект их применения особенно ощутим в тех случаях, когда условия сбора данных диктуют необходимость использования датчиков и сенсоров.

Назовем в качестве примера интеллектуальную систему мониторинга функциональной активности пожилых людей и проведение классификации по состоянию здоровья [20], отличающуюся, как утверждают разработчики, невысокой стоимостью, надежностью и гибкостью. В этой системе, оконечные устройства которой построены на основе технологии *Android*, применяются автоматический съем и передача в реальном времени биометрических параметров наблюдаемых индивидов в центр сбора данных, где осуществляется их обработка.

Большими возможностями для практической организации мониторинга обладают также облачные технологии, применение которых возможно для построения наблюдений за процессами самого разнообразного типа. Так, в [21] описана архитектура и применяемые средства системы мониторинга работы очистных сооружений на основе облачной технологии, в [22] представлен обзор систем облачного мониторинга ИТ-систем и дана их классификация, в [23] отмечены возможности для использования облачной технологии в целях наблюдения за процессами дистанционного обучения.

Заключение

Можно видеть, что концепция и принципы построения систем адаптивного мониторинга представляют собой практическое воплощение общетеоретических основ построения систем адаптивного управления [24]. В системах в полной мере используется как информация о функционировании объекта управления, так и информация о состоянии внешней среды, а также реализованы все фундаментальные принципы адаптивного управления: управление по программе, компенсация возмущающих воздействий и обратная связь. Осуществляя непрерывное накопление, систематизацию и анализ данных о поведении контролируемых и внутрисистемных процессов, система адаптивного мониторинга обладает всеми достоинствами обучающейся системы, непрерывно улучшая свои характеристики.

Близость концепций адаптивного мониторинга и адаптивного управления открывает возможность для широкого применения хорошо проработанных и проверенных длительным опытом своего применения универсальных законов и принципов теории управления к разработке формальных деловых правил, административных процедур, инструментальных и методических средств для практической реализации адаптивных систем. Дополненный прикладными наработками в области построения предметно-ориентированных систем мониторинга и новейшими достижениями современных информационных технологий, средства которых составляют основную часть систем мониторинга, экономический эффект внедрения положений теории управления значительно усиливается.

Смещая акценты от пассивного выполнения рутинных процедур, присущих традиционным системам, в сторону активного воздействия на процесс наблюдений в целях его непрерывного совершенствования, системы адаптивного мониторинга обеспечивают:

- улучшение качества собираемых данных;

- гибкость и адекватность выбора рабочего инструментария наблюдений;
- адаптацию интенсивности мониторинга к изменениям характеристик контролируемых и внутрисистемных процессов;
- повышение уровня ответственности респондентов;
- рациональное формирование и использование системных ресурсов;
- большую оперативность реакции системы на непредвиденные события и ситуации;
- улучшение временных характеристик системы с возможностью работы в ряде случаев в оперативном режиме.

В сравнении с системами классического мониторинга системы адаптивного мониторинга характеризуют большой универсализм в смысле совокупности наблюдаемых процессов, разнообразие применяемых методических и инструментальных средств, средств информационных технологий и гибкость их применения. Кроме того, адаптивный подход содержит значительный потенциал для дальнейшего совершенствования системы.

Адаптивный подход к построению мониторинга может практически осуществляться как на основе готовых ИТ-решений, так и на основе унифицированных ИТ-технологий создания и поддержки систем ведения наблюдений, предусматривающих возможность системной адаптации.

Вместе с тем успешность реализации концепции адаптивного мониторинга зависит и от ряда практических факторов, в первую очередь от культурной среды внедряющей организации, под которой подразумеваются, в частности, наличие проработанного плана, ответственных руководителей высшего звена, а также профессионально подготовленного и мотивированного персонала.

Список литературы

1. *Прокимнов Н. Н.* Инфраструктура информационной системы мониторинга экономических процессов // Прикладная информатика. 2009. № 3 (21). С. 65–94.
2. *Прокимнов Н. Н.* Унифицированная системная среда наблюдений за экономическими процессами // Сб. трудов Международного научного конгресса «Роль бизнеса в трансформации российского общества». М., 2009.
3. *Прокимнов Н. Н.* Моделирование мониторинговых процессов // Прикладная информатика. 2010. № 6 (30). С. 90–100.
4. *Прокимнов Н. Н.* Модели систем мониторинга // Сб. трудов Международного научного конгресса «Роль бизнеса в трансформации российского общества», 2010.
5. Handbook on Planning, Monitoring and Evaluating for Development Results — United Nations Development Programme UNDP 2009, United Nations Development Programme. N. Y., NY 10017, USA 2009. — 232p.
6. *Woolcock M.* Towards a Plurality of Methods in Project Evaluation: A Contextualised Approach to Understanding, Impact Trajectories and Efficacy. Brooks World Poverty Institute, BWPI Working Paper 73, 2009. — 22 p.
7. *Hummelbrunner R., Britt H.* Synchronizing Monitoring with the Pace of Change in Complexity: A Complexity-Aware Monitoring Principle, United States Agency for International Development (USAID), 2014.
8. *Rosenberg M.* Adaptive Monitoring: Risk-Based Monitoring and Beyond // Journal of Clinic Research. 2013. Vol. 9. No. 9.
9. *Анфилатов В., Емельянов А., Кукушкин А.* Системный анализ в управлении / под ред. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2009. — 368 с.
10. *Smit A.* Adaptive monitoring: an overview — DOC Science Internal Series. Wellington, New Zealand, 2003. — 15 p.
11. *Налимов А., Чернова Н.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. — 340 с.
12. *Most M. M., Craddick S., Crawford S., Redican S., Rhodes D., Rukenbrod F., Laws R.* Dietary quality assurance processes of the DASH-Sodium controlled diet study // Journal of the American Dietetic Association. 2003. 103 (10). P. 1339–1346.
13. *Venet D., Doffagne E., Burzykowski T., Beckers F., Tellier Y., Genevois-Marlin E., Becker U., Bee V., Wilson V., Legrand C., Buyse M.* A statistical approach to central monitoring of data quality in clinical trials // Clinical Trials. 2012. Dec. 9 (6).
14. *Mytkowicz T., Sweeney P., Hauswirth M., Diwan A.* Observer Effect and Measurement Bias in Performance Analysis. Technical Report CU-CS-1042–08 // Computer Science Technical Reports. 2008. Paper 972. — 13 p.
15. *Brendan G.* Performance Analysis: The USE Method // SlideShare: портал. 2012, July. URL: <http://www.slideshare.net/brendangregg/performance-use>

- method/2-whoami_I_work_at_the (дата последнего обращения: 17.01.2016).
16. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Кн. 1. М.: Мир, 1974. — 406 с.
 17. Hyndman R., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. OTexts, 2013. — 292 p.
 18. Harris P., Taylor R., Thielke R., Payne J., Gonzalez N., Conde J. Research electronic data capture (REDCap) — A metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support // *Journal of Biomedical Informatics*. 2009. 42. P. 377–381.
 19. Rammal A., Trouilhet S., Singer N., Pecatte J. An Adaptive System for Home Monitoring Using a Multiagent Classification of Patterns // *International Journal of Telemedicine and Applications*. Vol. 2008 (2008). — 8 p.
 20. Bharathi M. Rohit kumar upadhyay, Amit kumar yadav, Rizwan MD. Wireless System for Monitoring and Real-Time Classification of Functional Activity using Android Technology // *International Journal of P2P Network Trends and Technology (IJPTT)*. 2012. Vol. 2. Issue 5. No. 2. — 5 p.
 21. Donovan P., Coburn D., Jones E., Hannon L., Glavin M., Mullins D., Clifford E. A Cloud-based Distributed Data Collection System for Decentralised Wastewater Treatment Plants // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 119. P. 464–469.
 22. Fatema K., Emeakaroha V., Healy P., Morrison J., Lynn T. A survey of cloud monitoring tools: Taxonomy, capabilities and objectives // *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2014. No. 74. P. 2918–2933.
 23. Денисов Д. В. Обеспечение и оценка качества дистанционного обучения. Материалы международного научно-образовательного форума «Бургас-2013». Бургас: ЕООД ИХНИИТ, 2013. С. 176–180.
 24. Волкова В. Н., Емельянов А. А. Теория систем и системный анализ в управлении организациями. Справочник: учеб. пособие / под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2006. — 848 с.
 - Processes]. *Sb. trudov Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Rol' biznesa v transformatsii rossiiskogo obshchestva»*. Moscow, 2009.
 3. Prokimnov N. N. Modeling of Monitoring Processes. *Prikladnaya Informatika — Journal of Applied Informatics*, 2010, no. 6 (30), pp. 90–100 (in Russian).
 4. Prokimnov N. N. Modeli sistem monitoringa [Modeling Monitoring Systems]. *Sb. trudov Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Rol' biznesa v transformatsii rossiiskogo obshchestva»*. Moscow, 2010.
 5. Handbook on Planning, Monitoring and Evaluating for Development Results — United Nations Development Programme UNDP 2009, United Nations Development Programme. New York, NY 10017, USA 2009. 232 p.
 6. Woolcock M. Towards a Plurality of Methods in Project Evaluation: A Contextualised Approach to Understanding, Impact Trajectories and Efficacy. Brooks World Poverty Institute. *BWPI Working Paper*, 2009. 73. 22 p.
 7. Hummelbrunner R., Britt H. Synchronizing Monitoring with the Pace of Change in Complexity: A Complexity-Aware Monitoring Principle, United States Agency for International Development (USAID), 2014.
 8. Rosenberg M. Adaptive Monitoring: Risk-Based Monitoring and Beyon. *Journal of Clinic Research*, 2013, vol. 9, no. 9.
 9. Anfilatov V., Emel'yanov A., Kukushkin A. Ed. by A. Emel'yanov. *Sistemnyi analiz v upravlenii* [System Analyses in Control]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2009. 368 p.
 10. Smit A. *Adaptive monitoring: an overview — DOC Science Internal Series*. Wellington, New Zealand, 2003. 15 p.
 11. Nalimov A., Chernova N. *Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nykh eksperimentov* [Statistical methods for Design of Experiments]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 340 c.
 12. Most M. M., Craddick S., Crawford S., Redican S., Rhodes D., Rukenbrod F., Laws R. Dietary quality assurance processes of the DASH-Sodium controlled diet study. *Journal of the American Dietetic Association*, 2003, 103 (10), pp. 1339–1346.
 13. Venet D., Doffagne E., Burzykowski T., Beckers F., Tellier Y., Genevois-Marlin E., Becker U., Bee V., Wilson V., Legrand C., Buyse M. A statistical approach to central monitoring of data quality in clinical trials. *Clinical Trials*, 2012, Dec, 9 (6).
 14. Mytkowicz T., Sweeney P., Hauswirth M., Diwan A. Observer Effect and Measurement Bias in Performance Analysis Technical Report CU-CS-1042–08. *Computer Science Technical Reports*, 2008, Paper 972. 13 p.
 15. Brendan G. *Performance Analysis: The USE Method. SlideShare: portal*. 2012, July. Available at: <http://www.slideshare.net/brendangregg/performance->

References

- use-method/2-whoami_I_work_at_the (accessed: 17.01.2016).
16. Box G. and Jenkins G. Time Series Analysis, Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco, 1970 (Rus. ed.: Boks Dzh., Dzhenkins G.). *Analiz vremennykh ryadov, prognoz i upravlenie*, kn. 1. Moscow, Mir Publ., 1974. 406 p.
 17. Hyndman R., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. OTexts, 2013. 292 p.
 18. Harris P., Taylor R, Thielke R, Payne J., Gonzalez N., Conde J. Research electronic data capture (RED-Cap) — A metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support. *Journal of Biomedical Informatics*, 2009, 2, pp. 377–381.
 19. Rammal A., Trouilhet S., Singer N., Pecatte J. An Adaptive System for Home Monitoring Using a Multiagent Classification of Patterns. *International Journal of Telemedicine and Applications*, 2008. Vol. 2008. 8 p.
 20. Bharathi M., Rohit kumar upadhyay, Amit kumar yadav, Rizwan MD. Wireless System for Monitoring and Real-Time Classification of Functional Activity using Android Technology. *International Journal of P2P Network Trends and Technology (IJPTT)*, 2012, vol. 2, issue 5, no 2. 5 p.
 21. Donovan P., Coburn D., Jones E., Hannon L., Glavin M., Mullins D., Clifford E. A Cloud-based Distributed Data Collection System for Decentralised Wastewater Treatment Plants. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 119, pp. 464–469.
 22. Fatema K., Emeakaroha V., Healy P., Morrison J., Lynn T. A survey of cloud monitoring tools: Taxonomy, capabilities and objectives. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 2014, 74, pp. 2918–2933.
 23. Denisov D. V. *Obespechenie i otsenka kachestva distantionnogo obucheniya* [Supporting and Evaluating Distance Learning]. Materialy mezhdunarodnogo nauchno-obrazovatel'nogo foruma «Burgas-2013». Burgas, EOOD IKhNIIT Publ. Proc. of the International Forum on Science and Education «Burgas-2013», 201, pp. 176–180.
 24. Volkova V. N., Emel'yanov A. A. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz v upravlenii organizatsiyami. Spravochnik. Ucheb. posobie* [System Theory and System Analyses in Control and Organisation]. Ed. by V. N. Volkova and A. A. Emel'yanov. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2006. 848 p.

N. Prokimnov, Moscow University of Finance and Industry «Synergy», Moscow, Russia, prokimnovnn@mail.ru

The concept and principles of adaptive monitoring (part 2)

Comprehensive, accurate and qualitative information is the basis of research, decision-making and management activities at different levels and applications. The non-trivial cases to obtain data related to the solution of complex problems and requires establishing special data collection or monitor system, the traditional approach to the construction is based on pre-formed requirements derived from system analysis stage. However, the actually observed processes due to their unpredictable character are typically different from expected ones having highly variability of their parameters' values and behavior styles thus reducing the originally built monitoring system efficiency because of ever-growing discrepancy between the initial objectives and actually observed environment. The solution may exist in creating a system of adaptive monitoring, featuring flexibility to change its structure and behavior depending on changing conditions. The paper describes the fundamental concepts for building systems in an adaptive manner taking into account and generalizing the accumulated experience of implementing this approach. We indicate the possible adaptation areas, describe the main system components and objects, such as triggers and indicators, enumerate the requirements they should meet and enlist the recommendations for their design. In addition, the possible IT technologies, platforms and application systems examples that implement an adaptive monitoring approach are highlighted.

Keywords: monitoring, adaptive monitoring, data collection, indicators, triggers.

About author:

N. Prokimnov, PhD in Technique, Associate Professor

For citation:

Prokimnov N. The concept and principles of adaptive monitoring (part 2). *Prikladnaya Informatika — Journal of Applied Informatics*, 2016, vol. 11, no. 3 (63), pp. 5–21 (in Russian).