

Адаптация сетевого трафика сбора данных с промысловых кустов при ограниченной пропускной способности корпоративной информационно-управляющей системы нефтегазодобывающего предприятия*

Д.В. ЖУРАВЛЕВ, А.М. МАЛЫШЕНКО

На примере системы передачи данных нефтегазодобывающего управления Казанского нефтегазоконденсатного месторождения описаны проблемы в корпоративных информационно-управляющих системах подобных предприятий, связанные с ограниченной пропускной способностью систем передачи данных о технологических параметрах с кустовых площадок. Предложено использовать в качестве численных методов адаптации и оптимизации сетевых трафиков в КИУС эволюционные методы поиска оптимизированных решений – генетические алгоритмы. Показаны преимущества такого решения по сравнению с традиционно используемыми в нефтегазодобывающих предприятиях методами опроса параметров технологических процессов.

Ключевые слова: нефтегазодобывающее управление, корпоративная информационно-управляющая система, сетевой трафик, пропускная способность, адаптация, оптимизация, радиоканал, генетический алгоритм, программируемый логический контроллер.

ВВЕДЕНИЕ

Современные нефтегазодобывающие предприятия (НГДУ) ведут добычу нефти и газа, как правило, с различных месторождений, удаленных друг от друга. Для управления технологическими процессами добычи в подобных случаях применяются распределенные системы автоматизированного управления. Данные системы имеют различную топологию и структуру. Объединение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) нефтегазодобывающего управления в комплексные информационно-управляющие системы (КИУС) позволяет существенно повысить эффективность работы нефтяных и газовых предприятий. Такие системы приобретают большую сложность, выражающуюся в их многофункциональности и многокомпонентности, иерархичности и разнородности их структуры, в наличии горизонтальных и вертикальных информационно-управляющих связей между подсистемами КИУС.

На верхнем уровне иерархии КИУС нефтегазодобывающего управления (центральная диспетчерская служба) для прогноза и формирования управляющих воздействий должна использоваться полная или хотя бы наиболее актуальная информация об удаленных объектах управления, определяемая степенью интеграции системы. С увеличением сложности таких систем возрастает объем информации, который необходимо получать и анализировать в центральной диспетчерской службе, что, в свою очередь, вызывает увеличение сетевого трафика от объектов управления.

Значительная удаленность различных объектов таких систем не позволяет организовать на всех участках высокоскоростную систему передачи данных. Зачастую это бывает либо технически невозможно, либо экономически нецелесообразно. В связи с этим одной из наиболее актуальных проблем таких систем является проблема распределения сетевых трафиков между различными узлами связи. Разрешение указанных проблем возможно при использовании в качестве численных методов оптимизации – генетических алгоритмов, являющихся эволюци-

* Статья получена 28 мая 2013 г.

онными методами поиска оптимальных решений [1]. Кратко генетические алгоритмы можно охарактеризовать как методы адаптивного случайного поиска, использующие на одной итерации множество тестовых точек (потенциальных решений).

Как показывает анализ исследований, связанных с адаптацией процессов и структур технологических объектов добычи и транспорта нефти и газа, применяемый ныне аппарат численных методов расчета сетевых трафиков почти не содержит ни одного из направлений эволюционных вычислений, одним из которых являются генетические алгоритмы. Между тем спектр оптимизационных задач, решаемых на основе генетических алгоритмов, постоянно расширяется, что в первую очередь связано с их универсальностью по отношению к виду целевых функций и удобной возможностью комбинирования с классическими и интеллектуальными процедурами поиска адаптивных оптимизируемых решений.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве примера рассмотрим систему передачи данных НГДУ Казанского нефтегазоконденсатного месторождения, представленную на рис. 1 [2].

Как видно из рис. 1, система передачи данных имеет различные каналы связи. Среди них волоконно-оптические линии связи, xDSL-каналы передачи данных, а также радиоканалы связи с удаленными кустовыми площадками. Наименьшую пропускную способность имеют каналы передачи данных на основе радиосвязи. Передача данных на основе радиосвязи используется с удаленных кустовых площадок. В настоящее время на этом месторождении в эксплуатацию введено 6 кустовых площадок, в состав каждой из которых входит 24 скважины, однако в перспективе предполагается увеличение кустовых площадок до 30.

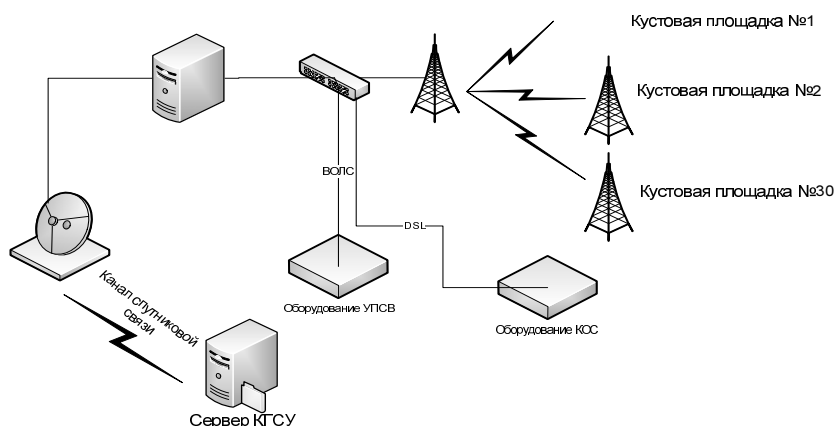


Рис. 1. Система передачи данных НГДУ Казанского месторождения

Локальная автоматизированная система управления технологическим процессом кустовых площадок реализована на контроллере Siemens S7-300 (CPU 313C-2DP). Данные с подсистем куста скважин (замерных установок, электроцентробежных насосов (ЭЦН)) через коммуникационные модули CP 341 по интерфейсу RS-485 собираются в кустовых программируемых логических контроллерах (ПЛК).

Сбор данных с кустовых площадок осуществляется с использованием коммуникационного контроллера Siemens S7-300 с центральным процессором CPU 313C, который передает данные на сервер WinCC по ЛВС (Ethernet). Данный процесс выполняется циклически опросом коммуникационным контроллером удаленных модулей кустовых площадок.

Проведем анализ частоты опроса удаленных кустовых площадок в НГДУ Казанского месторождения с использованием радиоканала УКВ-диапазона, организованного на оборудовании радиомодемов Integra. Структурная схема сети передачи данных на основе радиомодемов Integra приведена на рис. 2, где 1 – радиостанция Integra TR; 2 – коммуникационный модуль CP 341; 3 – ПЛК S7 300.

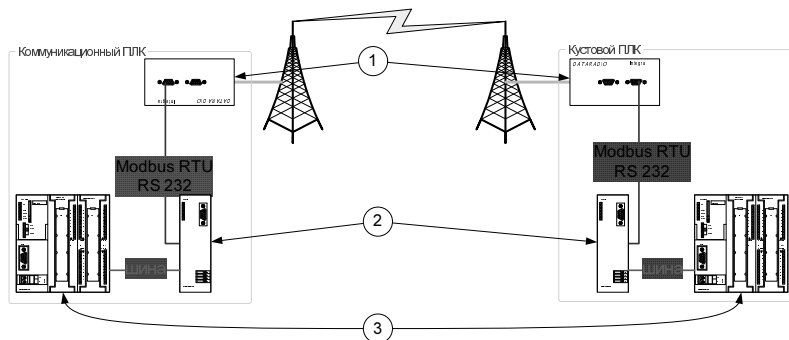


Рис. 2. Схема сети передачи данных на основе радиомодемов Integra

Максимальный объем данных, передаваемый за одну итерацию запрос-ответ Modbus, составляет 254 байта. Цикл опроса параметров одной кустовой площадки состоит из последовательности операций одной итерации запрос-ответ Modbus. Продолжительность одной итерации запрос-ответ Modbus составляет 849 мс. Примем требуемый максимальный объем данных от кустовой площадки равным 3000 байт. Тогда для опроса одного куста потребуются

$$3000/254 = 12 \text{ циклов обмена.}$$

Следовательно, полный опрос всех кустовых площадок будет занимать

$$12 \times 30 \times 0,849 \text{ с} = 5 \text{ минут } 05 \text{ секунд.}$$

Для получения полной картины о технологическом процессе в диспетчерской приемлемая частота опроса одной кустовой площадки не должна превышать 30 с.

Одним из вариантов увеличения частоты опроса кустовых площадок является увеличение пропускной способности канала связи. Проведем анализ частоты опроса удаленных кустовых площадок с использованием оборудования RadioEthernet Tsunami со скоростью передачи данных до 10 Мбит/с. Структурная схема такой сети передачи данных приведена на рис. 3, где 1 – коммуникационный модуль CP 343; 2 – ПЛК S7 300.

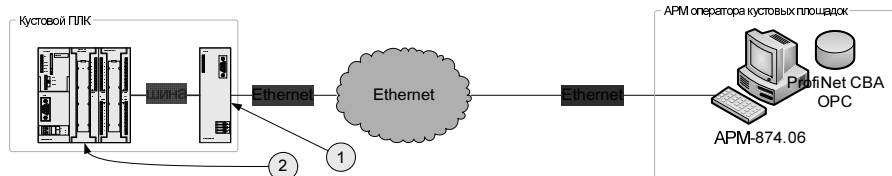


Рис. 3. Схема сети передачи данных на основе оборудования RadioEthernet Tsunami

Максимальный объем данных, передаваемый за одну итерацию запрос-ответ Ethernet, в этом случае равен 3084 байтам. Продолжительность одной итерации запрос-ответ Ethernet составляет 1274,7 мс. Максимальный объем данных от кустовой площадки будет равным 3000 байт. Сбор параметров с одной кустовой площадки будет осуществляться за одну итерацию запрос-ответ Ethernet. Полный опрос кустовых площадок будет занимать

$$30 \times 1,2477 \text{ с.} = 38,241 \text{ с.}$$

Данное значение больше приемлемого. При данной модификации оборудования наихудшим звеном является контроллерное оборудование. Для дальнейшего увеличения частоты опроса кустовых площадок требуется модификация контроллерного оборудования с реконструкцией системы АСУТП уже существующих кустовых площадок. Данный вариант реинжиниринга значительно увеличивает стоимость капитальных затрат на обустройство кустовых площадок.

При таком сборе всех параметров нет возможности проводить опрос с приемлемой частотой. Однако часть параметров в определенный момент времени не является критической и

данными параметрами можно пренебречь. Задача состоит в поиске критерия для определения наиболее важных параметров и параметров, показания которых можно утратить в определенный период времени.

На каждой из 24 скважин кустовой площадки контролируются три параметра (температура, давление, расход). Таким образом, на каждой кустовой площадке контролируется 72 параметра, а в совокупности со всех кустовых площадок поступает в центральный диспетчерский пункт за один сеанс связи 2160 значений параметров. При различных условиях течения технологического процесса наиболее критичными могут являться различные параметры. В этой связи определение наиболее важных параметров технологического процесса является многокритериальной задачей.

2. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Для решения многокритериальных задач одним из наиболее подходящих методов являются метод с использованием генетических алгоритмов. Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию [1].

Для получения достоверной информации о технологическом процессе на кустовой площадке НГДУ достаточно проводить опрос значений только тех параметров, которые изменили свое значение на определенную дискретную величину Δ . Чем меньше значение величины Δ , тем чаще должен будет происходить опрос данного параметра. Для определения приоритетов опроса технологических параметров необходимо задать значения величин Δ для каждого параметра. Для параметров, значения которых не критичны в текущий момент времени, значение величины Δ можно увеличить. Тогда можно сократить количество опросов параметра без потери контроля технологического процесса.

Первым шагом для решения задачи адаптации сетевого трафика является выбор критериев контроля технологического процесса (ТП). В качестве основных критериев могут быть выбраны следующие критерии:

- актуальность текущих значений параметра (нахождение его в заданных пределах, близость к критическим значениям);
- актуальность измерения скорости изменения параметра (нахождение скорости в заданных пределах);
- актуальность параметров во времени (измерение параметров не реже одного раза в единицу времени в соответствии с технологическим регламентом);

Сформулируем каждый критерий с помощью математических выражений. Для каждого параметра технологического процесса есть максимальные и минимальные критические значения. Для i -параметра обозначим эти значения как $t_{i\max}$ и $t_{i\min}$. Чем ближе значение параметра ТП к критическим значениям, тем чаще необходимо измерять данный параметр, а значение Δ_i не должно превышать разницу между предыдущим значением параметра и его критическими значениями. Тогда получим следующие выражения критерия актуальности текущего значения параметра:

$$t_{i\min} < t_i < t_{i\max}; \Delta_i < t_i - t_{i\min}; \Delta_i < t_{i\max} - t_i,$$

где для i -го параметра: t_i – текущее значение; $t_{i\max}$ – максимальное критическое значение; $t_{i\min}$ – минимальное критическое значение; Δ_i – значение величины уставки Δ .

Кроме статических значений параметра, необходимо также знать его динамические характеристики, в частности, скорость изменения параметра. Установившиеся технологические процессы с небольшой скоростью изменения значений параметров с меньшей вероятностью выйдут за пределы критических значений последних в некотором интервале времени, чем процессы с высокой динамикой. При этом для каждого параметра в соответствии с технологическим регламентом можно подобрать некоторое максимальное значение скорости изменения

его значения. Тогда можно сформулировать следующие условия для текущих значений скорости изменения параметра:

$$|V_i| < V_{i\max}; \quad \Delta_i < |V_i| \cdot T_i,$$

где V_i – скорость изменения значений i -го параметра; $V_{i\max}$ – максимальная скорость изменения i -го параметра в соответствии с технологическим регламентом; T_i – период опроса i -го параметра.

Для большинства параметров технологического процесса технологическим регламентом определяется максимально допустимый период опроса значений данного параметра. Таким образом, для периода опроса параметров можно сформулировать следующие условия:

$$T_i < T_{i\max}; \quad \Delta_i < |V_i| \cdot T_i,$$

где T_i – текущий интервал времени между двумя последними опросами значений параметра; V_i – скорость изменения значений i -го параметра; $T_{i\max}$ – максимально допустимый интервал опроса значений параметра в соответствии с технологическим регламентом.

Кроме того, накладывается ограничение на период передачи данных параметров со всех удаленных кустовых площадок. Для удаленных кустовых площадок Казанского месторождения в соответствии с требованиями технического задания [2] период передачи данных с кустовых площадок не должен превышать 30 секунд.

После определения критериев адаптации для работы генетического алгоритма расчета сетевых трафиков необходимо произвести формирование начальной популяции $I_0 = \{i_1, i_2, \dots, i_s\}$ – конечного набора допустимых решений задачи. Каждая особь такой популяции имеет вид:

$$ik = \{\Delta_1^k, \Delta_2^k, \dots, \Delta_\delta^k\},$$

где ik – k -я особь популяции; Δ_i^k – значение величины Δ_i i -го параметра k -й особи популяции. В нашем случае это наборы значений дискретных величин Δ_i для каждого параметра технологического процесса.

Начальная популяция может быть сформирована случайным образом, либо на основе знаний о характеристиках технологического процесса. Близость начальной популяции к оптимальному решению влияет на скорость схождения генетического алгоритма. Чем меньше значение дискретной величины Δ_i , тем выше вероятность опроса i -го параметра в текущий интервал времени. С помощью изменения дискретной величины Δ_i можно сформировать приоритетность опроса параметров. При значении величины Δ_i , равном нулю, приоритет опроса i -го параметра будет наивысшим.

Ключевой момент генетического алгоритма – отбор особей популяции для формирования родительского массива, который в дальнейшем, подвергаясь воздействию генетических операторов, образует новое поколение особей.

Селекция особей включает следующие этапы:

1) формирование функции пригодности, т. е. привнесение в схему селекции принципа оптимальности;

2) вычисление функции пригодности для каждой особи;

3) формирование родительского массива особей.

Выделяют различные виды селекции, в частности: детерминированная селекция, селекционная схема «рулетка», случайные единый отбор, селекция с линейным ранжированием, турнирная селекция. На каждом шаге эволюции с помощью вероятностного оператора селекции в соответствии с выбранными критериями выбираются наиболее оптимальные решения – родители i_1, i_2, \dots, ik .

Вероятность выбора особи в родители вычисляется как отношение ее пригодности к суммарной пригодности всех особей популяции, т. е. относительную пригодность каждой особи можно определить по формулам:

$$P_{select}^j = \frac{f(i^j)}{\sum_{i=1}^N f(i^j)}, j = \overline{1, N}, \quad e^j = \text{ent}(P_{select}^j N), j = \overline{1, N},$$

где P_{select}^j – вероятность выбора в родители j -й особи; $f(i^j)$ – значение функции пригодности j -й особи; e^j – ожидаемое воспроизведение j -й особи; N – число особей в популяции.

Оператор скрещивания (оператор кроссинговера) по решениям $i1, i2, \dots, ik$ строит новое решение i' . Оператор кроссинговера является основным генетическим оператором, за счет которого производится обмен генетическим материалом между особями. Он моделирует процесс скрещивания особей.

Рассмотрим работу оператора скрещивания более подробно. Пусть имеются две родительские особи с хромосомами $X = \{x_i, i = 1, N\}$ и $Y = \{y_i, i = 1, N\}$. Случайным образом определяется точка внутри хромосомы, в которой обе хромосомы делятся на две части и обмениваются ими как показано на рис. 4.

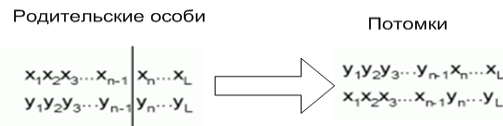


Рис. 4. Схема работы оператора кроссинговера

Полученные посредством оператора скрещивания особи подвергаются воздействию оператора мутации. Оператор мутации необходим для «выбивания» популяции из локального экстремума и способствует защите от преждевременной сходимости алгоритма.



Рис. 5. Схема работы оператора мутации

Затем решение добавляется в популяцию, а решение, наименее удовлетворяющее выбранным критериям, удаляется из популяции. Передача данных с удаленных объектов осуществляется на основе оптимизации сетевого трафика в соответствии с выбранными критериями решения.

Таким образом, происходит адаптация исходной популяции сетевого трафика к текущему характеру течения технологического процесса. В каждый момент времени формируется наиболее оптимальное распределение сетевого трафика между удаленными кустовыми площадками. Это позволяет увеличить частоту опроса наиболее важных параметров без существенной допустимой потери данных о технологическом процессе.

Предварительные результаты показали возможность сокращения периода передачи данных с использованием подобного генетического алгоритма выбора сетевого трафика с удаленных кустовых площадок на Казанском месторождении почти на 80 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере Казанского нефтегазоконденсатного месторождения установлено, что для обеспечения приемлемой частоты опроса значений параметров технологического процесса с применением стандартных методов опроса параметров технологических процессов необходи-

мо использование более производительного контроллерного оборудования (Siemens S7 400) и высокоскоростного оборудования передачи данных (RadioEthernet Tsunami).

При этом данное решение значительно увеличивает величину капитальных вложений. Кроме того, данное решение потребует модернизации уже существующей системы автоматического управления технологическим процессом.

Применение генетических алгоритмов позволяет организовать АСУТП Казанского месторождения, обеспечивающего приемлемые результаты с использованием более дешевого контроллерного оборудования и высокоскоростного оборудования передачи данных. Передачу данных с существующих кустовых площадок можно осуществлять с использованием менее скоростного оборудования передачи данных на основе радиомодемов Integra.

Кроме того, применение метода оптимизации сетевых трафиков с использованием генетических алгоритмов возможно не только на вновь проектируемых объектах, но и на уже существующих системах, проводя реинжиниринг существующих систем. Это позволит модернизировать систему передачи данных без существенной аппаратной реконструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – 2-е изд. – М: Горячая линия-Телеком, 2008. – 452 с.
- [2] Техническое задание по проекту «Концепция полного развития Казанского НГКМ».
- [3] Нечеткие множества / Под ред. Д.А. Постелова. – М.: Наука, 1986. – 32 с.
- [3] Курейчик В.М. Поисковая адаптация: теория и практика / В.М. Курейчик, Б.К. Лебедев, О.К. Лебедев. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.
- [4] Steven S. Skiena. The Algorithm Design Manual. Second Edition . Springer, 2008.

REFERENCES

- [1] Rutkovskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy. – 2-e izd. – М.: Gorjachaja linija-Telekom, 2008. – 452 s.
- [2] Tehnicheskoe zadanie po proektu «Konceptija polnogo razvitiya Kazanskogo NGKM».
- [3] Nechetkie mnozhestva / Pod red. Pospelova D.A. – М.: Nauka, 1986. – 32 s.
- [4] Kurejchik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.K. Poiskovaja adaptacija: teorija i praktika. – М.: Fizmatlit, 2006. – 272 s.
- [5] Steven S. Skiena. The Algorithm Design Manual. Second Edition. Springer, 2008.

Мальшенко Александр Максимович, доктор технических наук, профессор кафедры интегрированных компьютерных систем управления Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основные направления научных исследований – системный анализ, теория автоматического управления и обработка информации. Имеет более 150 публикаций, в том числе 10 монографий. E-mail: mam@tpu.ru

Журавлев Денис Владимирович, аспирант, инженер кафедры интегрированных компьютерных систем управления Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основное направление научных исследований – системный анализ, управление и обработка информации. Имеет 12 публикаций. E-mail: zhuravlevden1618@gmail.com

D.V. Zhuravlev, A.M. Malysenko

Optimization of network traffic in complex information and control systems using genetic algorithms

On the example of Kazan oil field found that to be an acceptable sampling frequency values of process parameters using standard methods of the survey process parameters necessary to use a more productive by controller equipment and high-speed data transmission equipment. In this case, the decision significantly increases the amount of capital investment. In addition, this solution would require upgrading the existing system of automatic process control.

Application of genetic algorithms allows to organize a system of process control Kazan field that provides acceptable results with the use of cheaper equipment and high-speed data transmission equipment. Transfer of data from existing well pads can be performed using less efficient equipment based data radio modems Integra.

The application of the method to optimize network traffic by using genetic algorithms is possible not only to the newly designed sites but also on existing systems by conducting re-engineering of existing systems. This allows the system upgrade data transmission apparatus without substantial reconstruction.

Key words: corporate information-control system, network traffic, adaptation, optimization, genetic algorithm, programming logic controller, radio channel.