

УДК 681.5.08

**Е.М. Томилин (инж.), Н.И. Чичикало (д-р техн наук, проф.),
Е.В. Чернецкий (канд. техн. наук, ассист.)**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра электронной техники

E-mail: baksik_evgen@ukr.net, chichikalo@rambler.ru, tommi-lin@mail.ru.

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ СИСТЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В статье выполнен анализ особенностей режимов работы операционных систем реального времени. Предложена методика решения систем нелинейных уравнений в режиме реального времени.

Ключевые слова: режим реального времени, модуль реального времени, итерационной метод Ньютона.

Общая постановка проблемы

При проведении различных исследований и экспериментов существует необходимость решения различных математических задач, в том числе систем нелинейных уравнений, в режиме реального времени. SCADA-системы содержат в своем составе операционную систему реального времени, однако не обеспечивают решения сложных математических задач.

Постановка задач исследования

Выполнить поиск возможностей решения системы нелинейных уравнений в режиме реального времени. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) Проанализировать существующие режимы работы реального времени измерительных систем.
- 2) Разработать методику решения систем нелинейных уравнений в режиме реального времени.

Решение задач и результаты исследований

Реальное время — режим работы системы, характеризующийся ограничениями на динамические (временные) характеристики процесса функционирования.

Наиболее важные динамические (временные) характеристики:

- моменты наступления внутрисистемных событий (например, моменты выполнения требуемых действий при работе "по расписанию");
- длительности нахождения системы в определенных состояниях (например, продолжительности выполнения фрагментов программы);
- время отклика системы на внешние события (например, время реакции на прерывание).

Основное назначение систем, работающих в режиме реального времени, — взаимодействие с объектами реального мира в темпе процессов, протекающих в этих объектах [1].

Управляющие приложения реального времени можно по-разному разделить в зависимости от времени быстрого действия. С одной стороны — это системы жесткого реального времени, которые очень предсказуемы и никогда не теряют событий. Они обеспечивают гарантированную скорость реакции системы управления на изменение внешних условий. Примером таких систем может служить измеритель мощности двигателя. Если пропускается событие, то собранные данные или моделируемое состояние будут некорректны. С другой — системы мягкого реального времени, от которых не требуется высокой предсказуемости и которым позволяется пропускать события. При этом время выполнения цикла может отли-

чатся от итерации к итерации на сотни миллисекунд. Примером может служить система слежения за медленно меняющейся температурой, когда пропуск одного отсчета измерительной информации не влияет на общее поведение системы.

Ключевым отличием сервисов ядра операционной системы реального времени (ОСРВ) является детерминированный, основанный на строгом контроле времени, характер их работы. То есть, для выполнения одного сервиса операционной системы требуется временной интервал заведомо известной продолжительности. Любая случайная величина, определяющая время выполнения задачи в ОСРВ, может вызвать нежелательную задержку в работе приложения и тогда следующая задача не уложится в свой квант времени, что послужит причиной для ошибки. Операционные системы общего назначения не являются детерминированными. Их сервисы могут допускать случайные задержки в своей работе, что может привести к замедлению ответной реакции приложения на действия пользователя в заведомо неизвестный момент времени [2].

Обработка сигналов в режиме реального времени имеет много общего с управлением. Она требует предсказуемых временных интервалов между повторяющимися событиями. Но вместо вычисления отклика при этом выполняется обработка сигналов, полученных в результате сбора данных [3].

Для решения системы нелинейных уравнений используем итерационный метод Ньютона. В качестве примера системы возьмем нелинейные уравнения сложного радиационно-конвективного теплообмена [4].

1. Задаем начальные приближения переменных $T_i = T_i^{(0)}$, $i = (1 \dots m)$.
2. Вычисляем значения искомым функций Φ_i в заданных начальных точках:

$$\sum_{k=1}^m a_{k,i} \cdot T_k^4 = \Phi_i, i = (1 \dots n),$$

$$\sum_{k=1}^m (a_{k,i} \cdot T_k^4 + g_{k,i} \cdot T_k) + g_i^0 + Q_i^v = \Phi_i, i = (n + 1 \dots m).$$

3. Вычисляем частные производные:

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial T_k} = \begin{cases} 4a_{k,i} T_k^3, i = (1 \dots n) \\ 4a_{k,i} T_k^3 + g_{k,i}, i = (n + 1 \dots m) \end{cases}$$

4. Решаем систему линейных уравнений:

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial T_1} \Delta T_1 + \dots + \frac{\partial \Phi_i}{\partial T_m} \Delta T_m = \Phi_i, i = (1 \dots m).$$

5. Находим новое приближение переменных:

$$T_k^* = T_k - \Delta T_k, i = (1 \dots m).$$

6. Проверка условия $\Delta T \leq \Delta T^*$, где ΔT^* — заданная величина, определяющая значение погрешности.

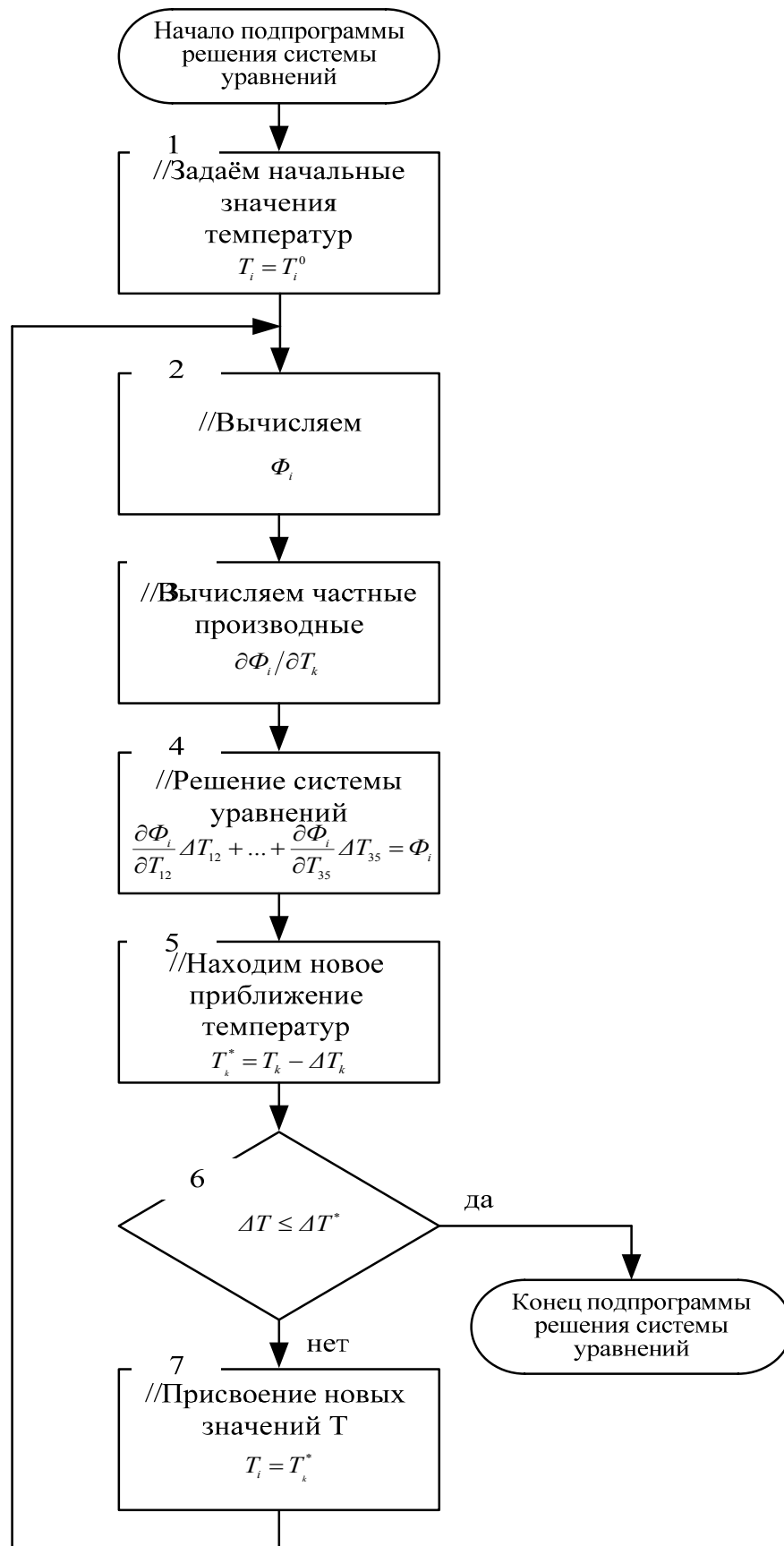


Рисунок 1 — Блок-схема итерационного метода Ньютона

Тогда для реализации описанного метода используем программное обеспечение LabVIEW RT (Real-Time) и платы типа RT DAQ (Real-Time Data Acquisition), которые обеспечивают выполнение требований жесткого реального времени в рамках обычного Windows.

LabVIEW RT работает в обычном Windows и внешне практически ничем не отличается от пакета графического программирования LabVIEW. Отличие заключается в возможности загружать код программы для выполнения на отдельном процессоре (ядро реального времени), расположенном на плате ввода/вывода сигналов RT DAQ. Загрузка может осуществляться автоматически при запуске прикладной программы или вручную из меню в среде LabVIEW RT.

Особенности применения модуля LabVIEW RT

- выполнение программы на специализированном процессоре с собственной памятью и операционной системой обеспечивает надежность и постоянное время отклика на внешнее воздействие;
- задержки в работе Windows не влияют на работу программы, так как критичный ко времени код выполняется на отдельном процессоре (ядро PV или RT Engine);
- хотя программа, написанная в модуле LabVIEW RT, будет работать под управлением операционной системы реального времени, общая разработка ведется обычными средствами Windows;
- для управления платами RT-DAQ вызываются стандартные функции ввода-вывода сигналов (VI), обычно используемые в Windows-программах LabVIEW;
- так как приложение LabVIEW RT выполняется на отдельном процессоре, зависание основного компьютера, или даже перезагрузка Windows, не отразятся на встроенной операционной системе реального времени, а главное — на процессе управления.

Сегодня серия устройств RT DAQ представляет собой PCI- или PXI-платы ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов, дополненные специализированным контроллером. Встроенный процессор работает без участия Windows под управлением собственной операционной системы жесткого реального времени и обеспечивает гарантированное время реакции на внешнее воздействие программы, написанной в среде LabVIEW RT [5].

Модуль сбора данных PCI-7030/6030E фирмы National Instruments — плата линейки устройств работающих в реальном времени. Это многофункциональное устройство ввода/вывода со встроенным процессором, позволяющее выполнять приложения, созданные в пакете LabVIEW, в режиме реального времени.

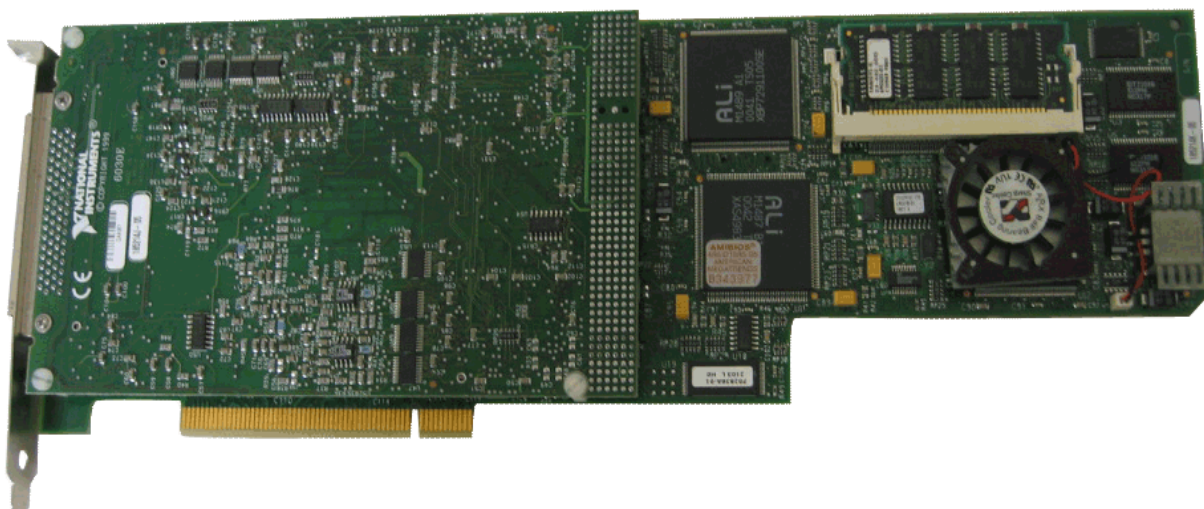


Рисунок 2 — Модуль сбора данных PCI-7030

```

1  for n=1:35
2    deltaT12_35(n)=0.2
3  end
4
5  while max(deltaT12_35)>0.1
6
7    for m=12:24
8      FI(m)=0
9      for n=12:35
10       FI(m)=FI(m)+a(m,n)*(T12_35(n)^4)
11       A(n-11,m-11)=4*a(m,n)*(T12_35(n)^3)
12     end
13     FI(m)=FI(m)+z(m)
14   end
15
16   for m=25:35
17     FI(m)=0
18     for n=12:35
19       FI(m)=FI(m)+a(m,n)*(T12_35(n)^4)+g(m,n)*T12_35(n)

```

Рисунок 3 — Модуль Real Time Toolkit

Листинг програми модуля Real Time Toolkit:

```

for n=1:35
    deltaT12_35(n)=0.2
end
while max(deltaT12_35)>0.1
    for m=12:24
        FI(m)=0
        for n=12:35
            FI(m)=FI(m)+a(m,n)*(T12_35(n)^4)
            A(n-11,m-11)=4*a(m,n)*(T12_35(n)^3)
        end
        FI(m)=FI(m)+z(m)
    end
    for m=25:35
        FI(m)=0
        for n=12:35
            FI(m)=FI(m)+a(m,n)*(T12_35(n)^4)+g(m,n)*T12_35(n)
            A(n-11,m-11)=4*a(m,n)*(T12_35(n)^3)+g(m,n)
        end
        FI(m)=FI(m)+z(m)+g0(m)+Qv(m)
    end
    for m=12:35
        B(m-11)=FI(m)
    end
    deltaT12_35= linearsolve(A, B)
    for m=1:35
        DeltaDeltaT12_35(m)=0
    end
    for m=12:35
        DeltaDeltaT12_35(m)=deltaT12_35(m-11)
    end
end

```

```

for m=12:35
    T12_35(m)=T12_35(m)-DeltaDeltaT12_35(m)
end
aaa=deltaT12_35
end

```

Выводы

1. Существует два режима реального времени, в которых может работать система. Это мягкий и жесткий режимы.
2. Основное отличие жесткого и мягкого режимов заключается в способности обеспечить гарантированную скорость реакции системы на изменение внешних условий.
3. Для выполнения сложных математических операций в режиме реального времени может использоваться модуль Real Time Toolkit пакета LabVIEW. При этом сам пакет устанавливается в операционной системе Windows.

Список использованной литературы

1. Климентьев К.Е. LabVIEW и реальное время [Электронный ресурс] / К.Е. Климентьев. - 2004. - Режим доступа к ресурсу: <http://www.nf-team.org/drmad/stuff/lvrt.htm>. — Дата доступа: 29.01.2012. — Название с экрана.
2. БЛИСКАВИЦКИЙ А.А. Операционные системы реального времени (обзор) / А.А. БЛИСКАВИЦКИЙ, С.В. КАБАЕВ [Электронный ресурс]. - Режим доступа к ресурсу: <http://www.mka.ru/?p=40774&PHPSESSID=3834db2122eaed4c471bb3c55a295647>. — Дата доступа: 29.01.2012. — Название с экрана.
3. Руководство по реальному времени [Электронный ресурс] / National Instruments. The Measurement and Automation Catalog 2004; пер. с англ. К.Е. Климентьев. – Самара, 2004. - С. 774–776. - Режим доступа к ресурсу: <http://www.nf-team.org/drmad/stuff/nirt.htm>. — Дата доступа: 29.01.2012. — Название с экрана.
4. Арутюнов В. А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей / В. А. Арутюнов, В. В. Бухмиров, С. А. Крупенников. — М.: Металлургия, 1990. — 241 с.
5. LabVIEW Real-Time LabVIEW реального времени [Электронный ресурс]. - Режим доступа к ресурсу: <http://www.asutp.ru/?p=400176>. — Дата доступа: 29.01.2012. — Название с экрана.

Надійшла до редакції:
30.01.2012 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

E.M. Tomilin, N.I. Chichikalo, E.V. Chernetskiy. Decision of choice problem on the set of mathematical models of calls' streams. Decision of problem of choice on set of calls' streams' mathematical models used in teletraffic theory is presented. By means of comparison of alternatives — telecommunication networks' streams' models by Slater's vector criterion plural optimum decision is received.

Keywords: *convergent telecommunication network, calls' stream, teletraffic theory, vector preference criterion.*

Є.М. Томілін, Н.І. Чичикало, Є.В. Чернецький. Методика розв'язання систем нелінійних рівнянь в режимі реального часу. У статті виконано аналіз особливостей режимів роботи операційних систем реального часу. Запропоновано методику розв'язання систем нелінійних рівнянь у режимі реального часу.

Ключові слова: *режим реального часу, модуль реального часу, ітераційний метод Ньютона.*