

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

© 2009 С.А. Ляшева, М.П. Шлеймович

Казанский государственный технический университет

Поступила в редакцию 20.07.2009

Рассмотрены вопросы модернизации систем числового программного управления технологическим оборудованием предприятий авиационной промышленности.

Ключевые слова: авиационная промышленность, модернизация, технологическое оборудование.

В настоящее время технологические процессы на многих предприятиях авиационной промышленности базируются на технологическом оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ) с магнитной лентой и перфолентой.

Основные проблемы систем ЧПУ с ленточными программоносителями связаны с их физическими недостатками и высокими затратами на приобретение и эксплуатацию. Кроме того, у них имеются объективные недостатки, которые привели к тому, что их не используют в современных вычислительных системах. Так для магнитной ленты можно отметить сравнительно большой уровень шумов из-за неоднородности ее поверхности, большой расход ленты для хранения информации (в нашем случае – управляющих программ), низкую скорость чтения и записи информации, чувствительность к условиям эксплуатации и хранения, ограниченное количество перезаписей информации на ленту, необходимость в специализированной аппаратуре для чтения и записи информации. Перфолента имеет аналогичные недостатки: однократная запись информации, большой расход ленты для хранения программ, низкая скорость чтения и записи, необходимость в специализированной аппаратуре для работы с лентой, чувствительность к условиям эксплуатации и хранения.

Для решения проблем, связанных с эксплуатацией систем ЧПУ с ленточными программоносителями, необходимо либо внедрить в производство современное дорогостоящее технологическое оборудование, либо провести модернизацию систем управления. Для отечественных предприятий авиационной промышленности часто единственно приемлемым является второй путь.

подавляющее количество предложений по модернизации систем ЧПУ с ленточными программоносителями основывается на подключе-

нии персонального компьютера или промышленного контроллера, с соответствующим программным обеспечением, к приводам подачи станка (иногда вместе с заменой самих приводов подачи). Они, как правило, не затрагивают подготовку управляющих программ (УП), что иногда требует дополнительных усилий соответствующих подразделений предприятий на приведение УП в соответствие с изменившимися особенностями системы управления. В свою очередь, это может привести к увеличению трудоемкости подготовки УП и снижению их качества.

В устаревших системах ЧПУ с магнитной лентой используется метод двухэтапной подготовки УП. Подготовка УП согласно этому методу выполняется в два этапа: на первом этапе формируется декодированная программа (из кодированной программы, представленной в форме текстового описания работы станка в виде последовательности кадров) с записью ее на программоноситель, а на втором – воспроизведение декодированной программы у станка. Основными достоинствами данного метода являются выполнение сложных расчетных задач практически в лабораторных условиях и простота устройства воспроизведения декодированной программы. Однако в традиционном исполнении, когда декодированная программа записывается на программоноситель как фазомодулированный аналоговый сигнал, названные достоинства перекрываются недостатками магнитной ленты, перечисленными ранее. К ним можно добавить еще и отсутствие всякой возможности анализа декодированной УП, непосредственно поступающей на станок.

Возможности современных вычислительных средств и элементной базы позволили предложить новую модификацию метода двухэтапной подготовки УП (метод двухэтапного воспроизведения УП), при которой декодированная программа представляется в цифровой форме и записывается на электронный программоноситель. Представление декодированной УП в цифровой форме (цифровая декодированная УП) расши-

Ляшева Стелла Альбертовна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: stellyash@mail.ru.

Шлеймович Михаил Петрович, кандидат технических наук, доцент.

ряет возможности ее анализа и контроля. При этом сохраняются преимущества двухэтапного подхода к воспроизведению УП и исключаются проблемы, связанные с использованием ленточных программносителей.

В рамках метода двухэтапного воспроизведения УП немаловажное значение приобретает применение методов неискажающего сжатия данных, что связано с большими объемами цифровых декодированных УП. Объем цифровой декодированной УП определяется следующим образом:

$$Q = t \cdot f,$$

где t – время работы программы, f – частота выдачи символов программы на станок. Например, объем часовой декодированной программы при исполнении на станке с частотой 2000 байт/с равен:

$$Q = 3600 \text{ с} * 2000 \text{ байт/с} = 7200000 \text{ байт} \approx 6.9 \text{ Мб.}$$

Поэтому для обеспечения записи как можно большего количества УП на относительно недорогой носитель информации их необходимо предварительно сжимать. Вероятность существования эффективных процедур сжатия цифровых декодированных УП обуславливается их структурой и использованием символов ограниченного алфавита (символов унитарного кода). Символы унитарного кода представляют собой последовательность битов, каждая пара которых соответствует движению по одной из координат (первый бит кодирует элементарный шаг в одном направлении, а второй – в противоположном направлении). Таким образом, для большинства станков символ унитарного кода имеет размер одного байта (большинство станков имеют не более четырех координат).

Исследование свойств цифровых декодированных УП, позволяющих их эффективно сжимать, проводилось на наборе, используемом в технологических процессах на казанских авиационных предприятиях. Эксперименты были проведены на персональном компьютере с процессором Celeron 1800.

В настоящее время наиболее часто используются следующие универсальные методы сжатия данных: методы контекстного моделирования, словарные методы и методы сортировки блоков. Так как методы сортировки блоков, основанные на преобразовании Барроуза-Уиллера, являются ресурсоемкими, то во встраиваемых системах их использование ограничено и подробно в данной работе они не рассматриваются.

Для модификации методов сжатия выбраны методы RPM (метод контекстного моделирования) и LZ77 (словарный метод). При этом был получено среднее значение фактора сжатия, превышающее величину 100. Для оценки ресурсоемкости разработанных модификаций были исследованы среднее время сжатия на символ,

среднее время восстановления на символ и объем требуемой оперативной памяти.

Для модификаций метода RPM время сжатия и восстановления на символ меняется от 3.53 мкс/байт (модель 1-го порядка) до 9.41 мкс/байт (модель 8-го порядка). Соответственно необходимый объем памяти меняется от 1300 байт до 104000 байт. При этом требуемый объем оперативной памяти можно сократить более чем в 5 раз, если выполнить предварительное разделение координат (сжимать последовательность битов по каждой координате отдельно).

При использовании модификаций LZ77 время сжатия на символ не превышает 17 мкс, а время восстановления на символ не превышает 0.2 мкс. При этом объем оперативной памяти не превышает 10 Кб. Таким образом, модификации метода LZ77 являются более подходящими для использования в системе с ограниченными ресурсами, каковой является система с двухэтапным воспроизведением УП.

Для оценки фактора сжатия цифровых декодированных УП при использовании метода LZ77 была получена зависимость (с коэффициентом детерминированности 0.97):

$$F_{\text{сж}}(LB, LD) = 21.9 \ln(LB) + 9.2 \ln(LD) - 166.9,$$

где $F_{\text{сж}}$ – фактор сжатия, LB – размер упреждающего буфера, LD – размер словаря. Время сжатия на символ (мкс) можно аппроксимировать полиномом:

$$t(LB, LD) = 0.001LB + 0.002LD + 0.7.$$

При реализации метода сжатия УП в системе ЧПУ основными параметрами являются фактор сжатия, требуемый объем оперативной памяти и время сжатия и/или восстановления данных. В устройстве управления с ограниченными ресурсами, которое непосредственно подключается к станку, наиболее важным является соотношение между фактором сжатия, который должен быть как можно больше, и затратами оперативной памяти, которые должны быть как можно меньше. Поэтому в общем случае задача выбора метода сжатия является многокритериальной.

Тогда, если F – фактор сжатия, V – объем оперативной памяти, t – время сжатия, F_0 – допустимый фактор сжатия, V_0 – допустимый объем оперативной памяти, t_0 – допустимое время сжатия, то задачу выбора метода сжатия в общей форме можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} F &\rightarrow \max \\ V &\rightarrow \min \\ F &\geq F_0 \\ V &\leq V_0 \\ t &\leq t_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Задачу (1) можно свести к однокритериальной форме (2), выбрав в качестве целевой функции отношение фактора сжатия F к затратам памяти V , при тех же ограничениях:

$$\frac{F}{V} \rightarrow \max. \quad (2)$$

Для метода LZ77 задача (2) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{A_F \ln(x_1) + B_F \ln(x_2) - C_F}{(x_1 + x_2)} &\rightarrow \max \\ A_F \ln(x_1) + B_F \ln(x_2) - C_F &\geq F_0, \\ x_1 + x_2 &\leq V_0, \\ A_t x_1 + B_t x_2 + C_t &\leq t_0, \\ x_1 \geq 0, x_2 &\geq 0. \end{aligned} \quad (3)$$

В этой постановке задачи выбора метода сжатия $x_1 \in LB, x_2 \in LD, A_F = 21.9, B_F = 9.2, C_F = 166.9; A_t = 0.001, B_t = 0.002, C_t = 0.7$ ($A_F, B_F, C_F, A_t, B_t, C_t$ – коэффициенты аппроксимирующих выражений для фактора сжатия и времени сжатия).

Решение задача (3) с помощью метода множителей Лагранжа позволило определить, что при минимально допустимом значении фактора сжатия $F_0 = 70$ максимум целевой функции достигается в точке (2297, 1591), т. е. оптимальной модификацией метода LZ77 является модификация с размером упреждающего буфера $LB = 2297$ байт и размером словаря $LD = 1591$ байт.

На основе метода двухэтапного воспроизведения УП разработана и внедрена система, содержащая автоматизированное рабочее место (АРМ) технолога, устройства хранения и выдачи программ (УХВП), блоки сопряжения (БС) с технологическим оборудованием.

АРМ предназначено для выполнения вычислительных операций, связанных с подготовкой цифровой декодированной УП. Подготовка такой программы заключается в ее формировании из кодированной УП с контролем качества будущего исполнения на конкретном оборудовании со своими динамическими особенностями. Так как на АРМ может осуществляться подготовка программ для парка станков различных типов, то необходимо учитывать организационные особенности производства, т. е. решать на АРМ задачи ведения базы данных станков, программ для них и соответствующих УХВП. Кроме этого, для увеличения количества программ, которые могут быть записаны в УХВП, и уменьшения времени записи, на АРМ выполняется их сжатие.

УХВП предназначено для управления станком от записанных в него программ. Так как цифровые декодированные УП могут храниться в УХВП в сжатом виде, то перед выдачей их на станок необходимо выполнить их предварительное восстановление.

БС предназначены для требуемого преобразования символов унитарного кода в сигналы управления, поступающие на приводы подачи станка.

АРМ базируется на аппаратных средствах персонального IBM PC-совместимого компьютера стандартной конфигурации, работающего под управлением операционных систем MS DOS, Windows 98, Windows 2000 или Windows XP (и совместимых с ними).

По существу АРМ представляет собой набор программных модулей, выполненных в виде отдельных исполняемых файлов (*.EXE). В этот набор входят следующие модули:

- монитор, который представляет собой операционную оболочку для организации взаимодействия между технологом, АРМ и УХВП при подготовке УП;

- интерполятор, который осуществляет интерполяцию кодированной программы с настройкой на динамические особенности оборудования и диагностикой ее качества. На выходе интерполятора формируется декодированная управляющая программа, если кодированная программа удовлетворяет необходимым критериям качества;

- модуль распределения памяти УХВП, который предназначен для выделения и освобождения памяти в УХВП при записи и удалении программ;

- модуль загрузки, который предназначен для управления процессом записи информации в УХВП через параллельный (LPT) или последовательный (COM) интерфейс персонального компьютера;

- модуль сжатия программ, который предназначен для сжатия декодированных УП;

- вспомогательные модули для тестирования подключения УХВП к АРМ и для сброса питания УХВП;

- драйвер, который предназначен для доступа к интерфейсу ввода/вывода, используемого для подключения УХВП, при работе в операционных системах Windows.

Основными элементами УХВП являются AVR-микроконтроллер и энергонезависимая память стандарта CFC (Compact Flash Card). На выбор AVR-микроконтроллеров повлияло то, что в настоящее время они являются наилучшими для встраиваемых систем по соотношению различных показателей.

Микроконтроллер предназначен для управ-

ления следующими режимами работы УХВП: режим загрузки УП с АРМ, режим выбора УП для исполнения на станке и режим выдачи УП на станок.

В режим загрузки управляющих программ с АРМ УХВП переходит при подключении его к АРМ. Остальные режимы предназначены для работы с УХВП непосредственно у станка.

Энергонезависимая память стандарта СФС используется для хранения УП. В УХВП она подключается к микроконтроллеру по интерфейсу IDE/АТА с минимальным количеством линий (14 линий). В этом случае используются ОЕ (разрешение чтения), WE (разрешение записи), CE1 (выбор регистра), D0 – D7 (шина данных), A0 – A2 (шина адреса).

Память УХВП разделена на две области: оглавление и область УП. Оглавление содержит системную информацию о программах, а сами программы размещаются в области УП в виде сплошных блоков. Для размещения УП в памяти УХВП соответствующим модулем АРМ решается задача оптимизации, которая в общей форме может быть выражена следующим образом:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} \frac{V_i}{Q_j} \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} V_i \leq Q_j, j = 1, 2, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$$

Здесь x_{ij} – двоичная переменная для определения того будет ли выбран j -й пустой блок для размещения i -й программы ($x_{ij} = 1$) или нет ($x_{ij} = 0$); V_i – размер i -й программы; Q_j – размер j -го пустого блока; m – число пустых блоков; n – число программ. Целевая функция отражает необходимость максимально заполнить пустые бло-

ки. При этом $q_{ij} = \frac{V_i}{Q_j}$ – есть относительный

вес i -й программы в j -м пустом блоке.

При использовании весов q_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$) исходная постановка может быть представлена в эквивалентном виде:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} q_{ij} \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} q_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$$

Кроме этого, если ввести относительные остатки s_j ($j = 1, 2, \dots, m$) после заполнения каждого пустого блока, то можно преобразовать исходную постановку задачи к еще одному эквивалентному виду, который требуется для решения задач частично целочисленного программирования некоторыми алгоритмами.

$$\sum_{j=1}^m s_j \rightarrow \min$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} q_{ij} + s_j = 1, j = 1, 2, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$$

$$0 \leq s_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, m$$

Для приближенного решения задачи за относительно малое время можно воспользоваться жадным алгоритмом. При этом задачу распределения памяти УХВП можно поставить следующим образом:

- 1) задана матрица весов $[q_{ij}]_{nm}$;
- 2) необходимо выбрать в каждой строке не более одного элемента, таким образом, чтобы сумма всех выбранных элементов была максимальной и сумма выбранных элементов в каждом столбце не превосходила 1;
- 3) поставить в соответствие каждому элементу матрицы $[q_{ij}]_{nm}$ двоичную переменную x_{ij} таким образом, что $x_{ij} = 1$, если элемент q_{ij} выбран, и $x_{ij} = 0$, если элемент q_{ij} не выбран.

Для повышения эффективности “жадного” алгоритма элементы матрицы весов упорядочиваются так, что $q_{ij} > q_{lk}$ при $i < j$ и $l < k$. Для этого перед заполнением матрицы список программ сортируется по убыванию размеров, а список пустых блоков – по возрастанию размеров. Тогда число шагов при реализации жадного алгоритма не будет превышать mn .

При использовании упорядоченной матрицы весов можно получить точное решение за mn^2 шагов. При этом процесс можно разбить на m этапов, на каждом из которых решается задача заполнения только одного пустого блока перебором возможных вариантов. Возможность этого определяется отношением $\sum_{i \in I_j \cap I_k} q_{ij} \geq \sum_{i \in I_j \cap I_k} q_{ik}$, где I_j, I_k – множество разрешенных строк (строк с элементами, которые можно выбрать) для j -го и k -го столбцов соответственно ($j < k$).

БС состоит из микроконтроллера, устройства сопряжения, схемы связи с пристаночным пуль-

том управления и источника питания. В БС используется AVR-микроконтроллер с минимально-требуемыми возможностями. Микроконтроллер преобразует символы унитарного кода в фазомодулированные сигналы прямоугольной формы. Устройство сопряжения согласует эти сигналы с блоком управления приводами подачи станка (приводит к синусоидальному виду). Схема связи с пристаночным пультом управления обеспечивает поступление сигналов о начале и окончании работы с этого пульта. Источник питания предназначен для преобразования напряжения к нужному номиналу. От источника питания, встроенного в БС, питается также и УХВП ФАУСТ. Построение БС как микроконтроллерной системы позволило добиться необходимых свойств путем гибкого изменения соответствующего программ-

ного обеспечения. Это означает, что он достаточно просто и без изменения схемы может быть адаптирован к требованиям конкретного блока управления приводами подачи.

Изначально разработанная система была предназначена для исключения магнитной ленты. Однако на предприятиях, где проводились работы по модернизации систем ЧПУ, имеется большой парк станков, работающих от перфоленты. Применение метода двухэтапного воспроизведения УП позволило достаточно быстро адаптировать систему для исключения также и этих программносителей. Таким образом, ее внедрение позволило полностью исключить из оборота ленточные программносители и тем самым повысить качество управления технологическими процессами.

MODERNIZATION OF CONTROL SYSTEMS BY PROCESS EQUIPMENT

© 2009 S.A. Lyasheva, M.P. Shleimovich

Kazan State Technical University

In the article considers questions of modernization of systems of numerical program management by the process equipment of the enterprises of the aviation industry.

Key words: aviation industry, modernization, process equipment.

*Stella Lyasheva, Candidate of Technics, Associate Professor.
E-mail: stellyash@mail.ru.
Michael Shleimovich, Candidate of Technics, Associate Professor.*