

УДК 004.38:621.9

В.Н. Рудницький, В.Г. Деткин, Н.В. Хрулёв

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЭВМ УСТРОЙСТВ ЧПУ

Рассмотрены вопросы определения пиковой производительности управляющей ЭВМ устройства ЧПУ, необходимой для обеспечения управления процессом перемещения режущего инструмента в заданном диапазоне скоростей при заданной точности перемещения с целью использования персональных компьютеров в качестве управляющей ЭВМ. Приведены результаты анализа зависимости необходимой пиковой производительности от требований к точности перемещения инструмента при заданном количестве инструкций процессора, необходимом для управления перемещением инструмента, и заданной максимальной скорости перемещения.

Ключевые слова: управляющая ЭВМ, производительность ЭВМ, ЧПУ.

Введение

Постановка проблемы. История систем ЧПУ насчитывает около 70 лет. Можно сказать, что развитие систем ЧПУ происходит синхронно с развитием вычислительной техники, т.е. определяется, в первую очередь, уровнем современных микроэлектронных технологий.

Современные машиностроительное, мебельное и прочие производства широко используют технологическое оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Парк оборудования в отечественных машиностроительных производствах, в основном, соответствует 80-м годам прошлого столетия, и только вновь создаваемые производства оснащаются современным оборудованием, как правило, импортного производства. Центральным элементом оборудования с ЧПУ является управляющая ЭВМ.

Соответственно парк управляющих ЭВМ также морально и физически устарел, не обеспечивает необходимой производительности и точности оборудования и, в большинстве случаев, не годится для выполнения сложных работ.

Таким образом, проблема разработки систем управления оборудованием ЧПУ, соответствующих современным требованиям актуальна и представляет определенный научный и практический интерес.

Анализ последних исследований и публикаций. Устройства ЧПУ могут быть реализованы различным образом [1, 2]. Устройство ЧПУ может быть выполнено, как закрытая система, которая представляет собой специализированную ЭВМ, решающую задачу числового управления. Производство таких систем сегодня могут позволить себе только мощные фирмы. С другой стороны, сегодня весьма актуальны так называемые открытые системы, т.е. системы, выполненные на персональных компьютерах.

Для выполнения исследования возможности использования персональных компьютеров в качестве управляющей ЭВМ устройств ЧПУ безусловный интерес из публикаций последних лет представляют работы в области систем ЧПУ [1,2], а также теории вычислений [4].

Целью данной статьи является исследование пиковой производительности управляющей ЭВМ устройства ЧПУ, необходимой для обеспечения управления процессом перемещения режущего инструмента в заданном диапазоне скоростей при заданной точности перемещения с целью использования в качестве управляющей ЭВМ персональных компьютеров.

Изложение основного материала

Станки с ЧПУ реализуют автоматизированное точечное взаимодействие между инструментом и предметом обработки, причем форма получаемой детали определяется траекторией движения инструмента [2].

Станки с ЧПУ, в соответствии с [3], в общем виде, имеют структуру, представленную на рис. 1.

Станина, направляющие и привод подач обеспечивают движение инструмента по заданной траектории. Шпиндель обеспечивает главное движение резания.

Устройство ЧПУ обеспечивает автоматизированное управление приводами с целью обеспечения изготовления детали по заданной программе ЧПУ в соответствии с документацией.

Функционирование станков с ЧПУ определяется успешной работой многих составляющих:

- управляющей программы ЧПУ;
- операционной системы;
- необходимых системных служб;
- аппаратного обеспечения управляющей ЭВМ, в первую очередь центрального процессора

(АЛУ и устройства управления УУ), памяти разных уровней (регистровой, кэш, оперативной, внешней), шин, каналов, интерфейсов разных уровней;

— электромеханической системы станка (электропривод, датчики состояния, необходимые технологические устройства).

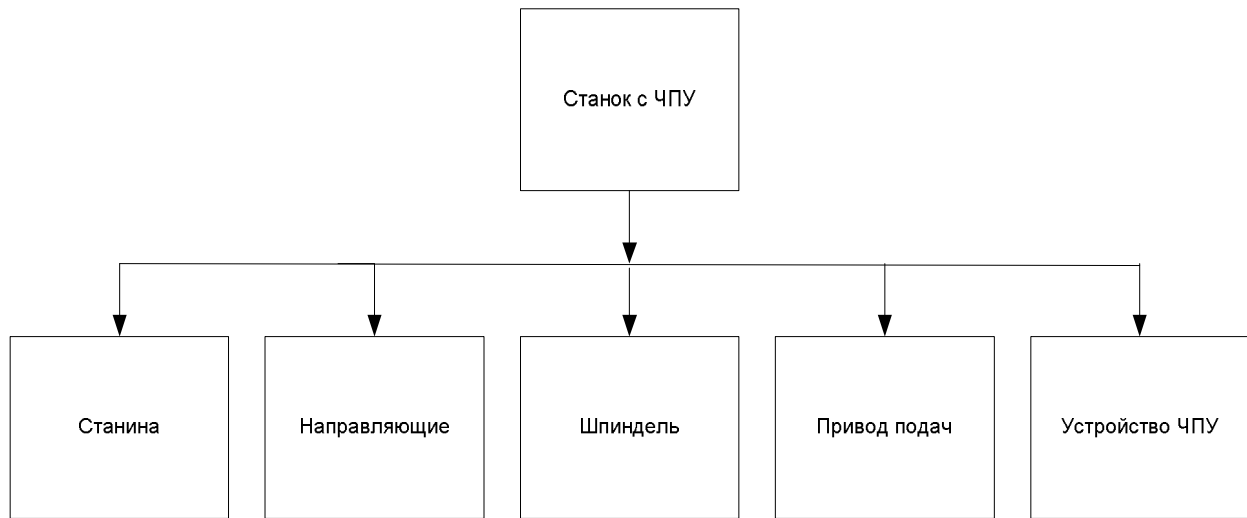


Рис. 1. Структура станка с ЧПУ

Введем следующие обозначения:

- P , computational process, множество вычислительных процессов;
- R , resources, множество вычислительных ресурсов;
- E , electromechanics, множество электромеханических устройств.

Под множеством вычислительных процессов $P = \{p_1, \dots, p_i\}$ будем понимать вычислительные процессы, реализующие работу ядра и необходимых служб операционной системы и, непосредственно, работу управляющей программы ЧПУ.

Под множеством вычислительных ресурсов $R = \{r_1, \dots, r_k\}$ будем понимать аппаратное обеспечение управляющей ЭВМ, а именно:

- процессор, один или несколько;
- устройства памяти различных уровней;
- системные интерфейсы;
- интерфейсы ввода-вывода;
- необходимые подпрограммы и службы, которые могут быть задействованы во время функционирования системы ЧПУ.

Под множеством электромеханических устройств $E = \{e_1, \dots, e_l\}$ будем понимать устройства приводов подачи обеспечивающих движение инструмента по заданной траектории, а также технологические устройства, обеспечивающие работу системы ЧПУ.

Тогда систему (станок) ЧПУ можно представить в виде математического описания:

$$CNC = \langle P, R, E \rangle. \quad (1)$$

Процесс обеспечения автоматизированного точечного взаимодействия между инструментом и предметом обработки, для обеспечения изготовле-

ния детали по заданной программе ЧПУ в соответствии с документацией можно описать следующим образом.

На аппаратных ресурсах R управляющей ЭВМ запускаются необходимые процессы P операционной системы и процессы управляющей программы ЧПУ. Во время работы управляющей программы ЧПУ (изготовления детали) формируются управляющие воздействия на множество электромеханических устройств E и считывается информация о состоянии системы ЧПУ.

Управляющую ЭВМ, независимо от количества процессоров, представим в виде одного обслуживающего устройства. Важнейшими характеристиками любой вычислительной системы являются [4]:

- загруженность вычислительной системы на данном отрезке времени ρ ;
- пиковая производительность вычислительной системы π ;
- реальная производительность вычислительной системы γ .

Под загруженностью системы ρ следует понимать отношение количества реально выполненных операций к максимально возможному количеству операций за данный отрезок времени [4]. Загруженность всегда должна удовлетворять условиям $0 < \rho < 1$.

Под пиковой производительностью π будем понимать максимальное количество инструкций (операций) процессора, которое может быть выполнено системой за единицу времени [4].

Под реальной производительностью системы γ будем понимать количество операций, реально выполненных процессором в среднем за единицу времени [4]. Очевидно, что $\gamma = \rho \cdot \pi$.

Сделаем ряд предположений упрощающих рассуждения и выполнение расчетов.

Предположим, что управляющая ЭВМ имеет достаточное количество установленной оперативной памяти. Таким образом, исполнительные модули ядра и необходимых служб операционной системы и управляющей программы ЧПУ, а также необходимые переменные и данные полностью расположены в оперативной памяти. В этом случае количество обращений к устройствам внешней памяти будет стремиться к 0. Это значит, что пиковая производительность управляющей ЭВМ π , в соответствии с законом Амдала [4], будет определяться быстродействием процессора (процессоров) и оперативной памяти, а не быстродействием самых медленных устройств, которыми исторически являются устройства внешней памяти. Предположим также, что быстродействие оперативной памяти соответствует быстродействию процессора и, таким образом, говоря о максимальной производительности управляющей ЭВМ, фактически подразумеваем максимальное быстродействие применяемого процессора.

Предположим, что обмен информацией между управляющей ЭВМ и электромеханическими устройствами E осуществляется при помощи некоторого гипотетического штатного интерфейса персонального компьютера. Предположим также, что этот интерфейс имеет достаточную пропускную способность и не вносит существенных задержек в процесс информационного обмена между управляющей ЭВМ и электромеханическими устройствами.

Среди множества процессов управляющей ЭВМ рассмотрим выполнение подпрограммы, управляющей прямолинейным движением инструмента. Для простоты рассуждений предположим, что на данном отрезке времени выполняется только эта подпрограмма, а также необходимые для ее выполнения системные процессы. По оценкам, приведенным в [4], накладные расходы в виде работы операционной системы и системных процессов могут составлять от 30 до 50% работы прикладного процесса. Предположим, что накладные расходы, необходимые для обслуживания нашего процесса, составляют 30% (минимальное оценочное значение).

Пусть для выполнения данного процесса управляющей программы ЧПУ, а именно управления выполнением одиночного шага, в среднем необходимо последовательное выполнение N инструкций, что с учетом накладных расходов составит $1,3N$.

Эмпирическим путем было установлено, что количество инструкций N , необходимое для управления выполнением одиночного шага, с учетом выполнения необходимых геометрических расчетов и расчетов динамики движения, может составлять

примерно 12000 инструкций. Приведенное значение было получено в результате трассирования подпрограммы управления прямолинейным перемещением инструмента. Подпрограмма была реализована в среде Delphi 7, работающей под управлением ОС Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 3. Трассировка программы выполнялась на процессоре Intel(R) Core(TM) Duo CPU T2600. Отметим, что значение N может существенно отличаться от приведенного, в зависимости от установленной операционной системы, используемого компилятора и аппаратного обеспечения.

Предположим также, что загруженность ρ управляющей ЭВМ на данном отрезке времени настолько близка (стремится) к 1, насколько это обеспечивает стабильную работу управляющей ЭВМ, т.е.:

$$\lim_{\rho \rightarrow 1} \rho \rightarrow \pi. \quad (2)$$

Тогда время T , необходимое управляющей ЭВМ для управления выполнением одиночного шага составит:

$$T = \frac{1,3N}{\pi}. \quad (3)$$

С другой стороны, чтобы обеспечить обработку детали определенной сложности с некоторой точностью и производительностью, системы ЧПУ [2] должны обеспечивать некоторые заданные характеристики (параметры).

Современные системы ЧПУ характеризуются высокими требованиями к точности изготовления детали и производительности.

Приведем значения этих характеристик для современных систем ЧПУ [2]:

- диапазон рабочих скоростей перемещения 0,01...6000 мм/мин;
- скорость быстрого перемещения 6...60 м/мин;
- точность перемещения (шаг, дискрет) 0,1...0,00001 мм.

Введем обозначения:

- V_w – рабочая скорость перемещения;
- V_f – скорость быстрого перемещения;
- S – точность перемещения.

Также введем понятие такта ЧПУ. Такты ЧПУ это равные, прилегающие друг к другу, отрезки времени, необходимые для выполнения одного элементарного перемещения (шага, дискрета). Будем различать такты ЧПУ рабочих перемещений τ_w и такты ЧПУ быстрых перемещений τ_f . В дальнейшем ограничимся рассмотрением только быстрых перемещений, как требующих большей производительности управляющей ЭВМ.

В соответствии с введенными обозначениями величина такта ЧПУ быстрого перемещения определится как:

$$\tau_f = \frac{S}{V_f} \quad (4)$$

Приравняем правые части уравнений (3) и (4), в результате получим зависимость пиковой производительности управляющей ЭВМ от точности перемещения при заданном количестве инструкций процесса, управляющего прямолинейным движением

инструмента, необходимых для управления выполнением одиночного шага.

$$\pi = \frac{1,3 \cdot N \cdot V_f}{S} \quad (5)$$

На рис. 2 приведены графики зависимости (5) для значений N равных 10000 и 20000, и значения V_f равного 60 м/мин.

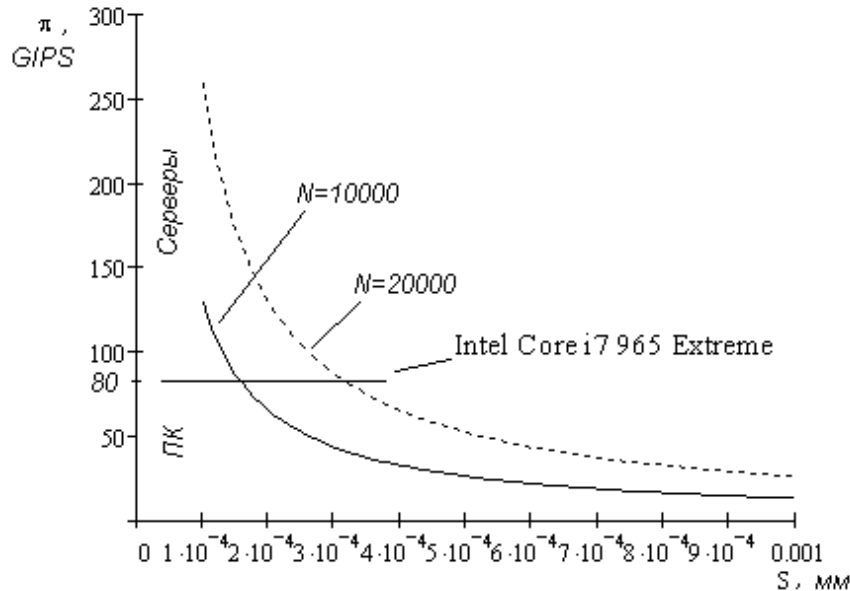


Рис. 2. Зависимость пиковой производительности управляющей ЭВМ от точности перемещения

По состоянию на момент написания данной статьи, самым производительным в линейке процессоров для персональных компьютеров являлся процессор Intel Core i7 965 Extreme [5], производительность которого по результатам теста Dhrystone составляет 81,165 GIPS [6]. Примем это значение в качестве максимальной производительности для сегмента персональных компьютеров.

Расчеты, выполненные с использованием (5) показывают, что для обеспечения точности перемещения 0,001 мм при максимальной скорости перемещения 60 м/мин, требуемая пиковая производительность управляющей ЭВМ составляет около 30 GIPS, что соответствует диапазону производительностей персональных компьютеров.

Для обеспечения точностей перемещения 0,0001 мм и 0,00001 мм при максимальной скорости перемещения 60 м/мин, требуется применение управляющей ЭВМ с производительностями, соответственно, порядка 130 GIPS и $1,3 \cdot 10^3$ GIPS и более, что значительно превышает возможности сегмента персональных компьютеров.

Выводы

Анализ полученной зависимости, с учетом сделанных идеализирующих допущений, позволяет

сделать вывод о потенциальной возможности использования персональных компьютеров для управления движением инструмента в системах ЧПУ с учетом ограничений на точность и производительность системы.

На производительность реальной управляющей ЭВМ кроме производительности процессора оказывают влияние тип и характеристики оперативной памяти, архитектура и тип материнской платы, тип и производительность интерфейса между управляющей ЭВМ и электромеханическими устройствами Е.

Необходимо учитывать также то, что ряд аппаратных процессов, например процесс регенерации оперативной памяти, а также выполнение вычислительного процесса [4] имеют стохастический характер, что отрицательно сказывается на точности управления перемещением инструмента.

Для обеспечения точности перемещения порядка 0,0001 ... 0,00001 мм необходимо компенсировать недостающую производительность управляющего персонального компьютера каким-либо образом, например, понизить максимальную скорость перемещения или ввести в структуру системы ЧПУ дополнительное устройство или ряд устройств, позволяющих уменьшить нагрузку на управляющую ЭВМ.

Список литературы

1. Сосонкин В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос, 2005. – 296 с.
2. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления / В.Л. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 248с.
3. Кряжев Д.Ю. Фрезерная обработка на станках с ЧПУ с системой ЧПУ FANUC / Д.Ю. Кряжев. – СПб.: ИРЛЕН-инжиниринг, 2005. – 41 с.
4. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
5. Desktop Processors from Intel [Электронный ре-

сурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.intel.com/products/desktop/processors/index.htm>.

6. Charts, benchmarks Desktop CPU Charts Q3/2008, Sandra 2008 - Processor Arithmetic [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.tomshardware.co.uk/charts/desktop-cpu-charts-q3-2008/Sandra-2008-Processor-Arithmetic,802.html>.

Поступила в редколлегию 11.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИХ
КОМП'ЮТЕРІВ В ЯКОСТІ КЕРУЮЧОЇ ЕОМ ПРИСТРОЇВ ЧПУ**

В.М. Рудницький, В.Г. Деткин, М.В. Хрульов

Розглянуто питання визначення пікової продуктивності керуючої ЕОМ пристрою ЧПУ, необхідної для забезпечення управління процесом переміщення різального інструменту в заданому діапазоні швидкостей при заданій точності переміщення з метою використання персональних комп'ютерів в якості керуючої ЕОМ. Наведено результати аналізу залежності необхідної пікової продуктивності від вимог до точності переміщення інструменту при заданій кількості інструкцій процесора, необхідній для управління переміщенням інструменту, і заданої максимальної швидкості переміщення.

Ключові слова: керуюча ЕОМ, продуктивність ЕОМ, ЧПУ.

**RESEARCH OF AN OPPORTUNITY OF USE OF PERSONAL
COMPUTERS AS A CNC CONTROL COMPUTER**

V.N. Rudnitsky, V.G. Detkin, N.V. Khrulov

The questions of determination of the peak performance of the CNC's control computer, that is necessary for ensuring the management of the process of movement of the cutting tool within a given range of speeds and at a given precision of the movement, regarding the use of personal computers as a control computer are examined. The results of the analyses of the dependence of the necessary peak performance and the accuracy required for moving the tool for a given amount of CPU instructions, that are necessary to control the movement of the tool, and the given maximum speed are produced.

Keywords: control computer, computer efficiency, CNC.