

Алгоритм опережающего просмотра Look-ahead в современных системах ЧПУ и параметры его настройки

В статье раскрыта суть и область применения алгоритма look-ahead в системах ЧПУ; проиллюстрировано место реализации алгоритма в архитектуре системы ЧПУ.

На конкретных примерах рассмотрен принцип работы и приведены параметры настройки алгоритма.

Look-ahead – один из наиболее закрытых алгоритмов в системах ЧПУ. Отсутствие доступной информации способствовало формированию у специалистов неполного, а иногда и не вполне корректного представления о назначении алгоритма и его возможностях. В понимании термина look-ahead вносит путаницу и тот факт, что производители систем ЧПУ подразумевают под этим названием фактически два разных алгоритма. Один из них обеспечивает сглаживание скорости при высокоскоростной обработке контура, а другой предназначен для предварительного распознавания коллизий при эквидистантной коррекции [1]. Фирма Rockwell Automation разграничила эти два алгоритма, введя понятия динамического и геометрического алгоритмов look-ahead [2].

Системы ЧПУ реализуют алгоритм look-ahead таким образом, что его можно включать в управляющую программу или выключать из нее. Управляя относительным движением инструмента и детали, система ЧПУ динамически раскладывает перемещение по координатам в кадре управляющей программы и формирует сигналы на приводы с учетом скорости подачи в кадре и положения потенциометра подачи на панели оператора. При этом по каждой координате рассчитывается элементарный вектор скорости и ее первая производная – ускорение, чтобы исключить превышение пороговых значений.

В буфере подготовленных сегментов траектории алгоритм look-ahead контролирует точность позиционирования и предельные значения скорости и ускорения. При обнаружении нарушений производятся снижения скорости в сегментах буфера в обратном их порядке, чтобы обеспечить отработку управляющей программы в пределах допустимых границ.

Каждый сегмент в буфере соответствует такту интерполяции, но это время может быть увеличено, если в текущем или последующем сегментах обнаружено превышение скорости или ускорения. Этот алгоритм позволяет начинать торможение в середине кадра, на стыке кадров или сразу в нескольких кадрах.

Более совершенные системы ЧПУ дополнительно контролируют изменение второй производной скорости (jerk) с внесением последующих коррекций. В результате снижается влияние динамических нагрузок на узлы станка, что приводит к повышению точности обработки.

Примеры использования алгоритма Look-ahead. Алгоритм игнорирует, когда необходима быстрая реакция на внешние возмущения или осуществляется прецизионная синхронизация с некоторым движением. Включение и выключение алгоритма в системах ЧПУ Haas (Haas Automation, США) [3] выполняется следующим образом:

```
G103 P1 (HALT LOOK AHEAD – выключение)
...
G103 (RESUME LOOK AHEAD – включение)
```

Отсутствие в управляющей программе резких изменений направления движения инструмента обычно не требует коррекции подачи за счет алгоритма look-ahead, причем производительность обработки возрастает. Задачу сглаживания обрабатываемого контура стремятся частично перенести в САМ-систему.

Скорость подачи, установленная технологом в управляющей программе, не всегда может быть достигнута. Одна из причин – разгон и торможение до нуля в каждом кадре (рис. 1); другая причина – неэффективный код управляющей программы, сгенерированный САМ-системой. В первом случае алгоритм look-ahead будет автоматически выключен.



Рис. 1. Графики скорости подачи при обработке детали

Задание в управляющей программе повышенной скорости обработки с последующей ее коррекцией алгоритмом look-ahead позволяет сократить время обработки изделия в несколько раз. Наибольшую эффективность алгоритм имеет при обработке сложных скульптурных поверхностей, для которых характерно большое количество коротких кадров управляющей программы, сгенерированных САМ-системой [4].

Диаграмма (рис. 2) иллюстрирует, как алгоритм look-ahead изменяет законы разгона и торможения на протяжении нескольких кадров, не меняя самой управляющей программы. Здесь запрограммированное в кадре перемещение слишком мало, чтобы обеспечить разгон до запрограммированного значения и торможение в одном и том же кадре.

На рис. 3 алгоритм look-ahead автоматически снижает скорость подачи при обходе вершины острого угла, чтобы не превысить пороговых значений ускорения; затем увеличивает скорость до запрограммированного значения. Это позволяет использовать в управляющей программе высокую скорость подачи без опасений превысить установленный предел.

Стратегия алгоритма. Алгоритм просматривает буфер подготовленных для интерполяции данных и устанавливает возможность движения по запрограммированной траектории. При обнаружении отклонения от геометрии контура снижается скорость подачи в промежуточных точках контура.

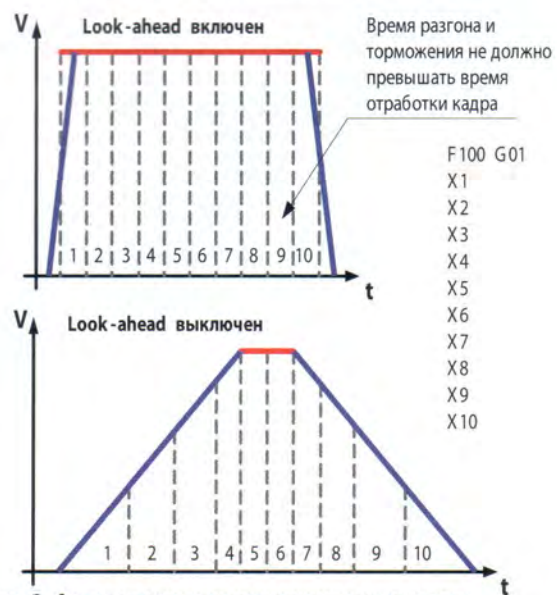


Рис. 2. Автоматическое изменение характера разгона и торможения

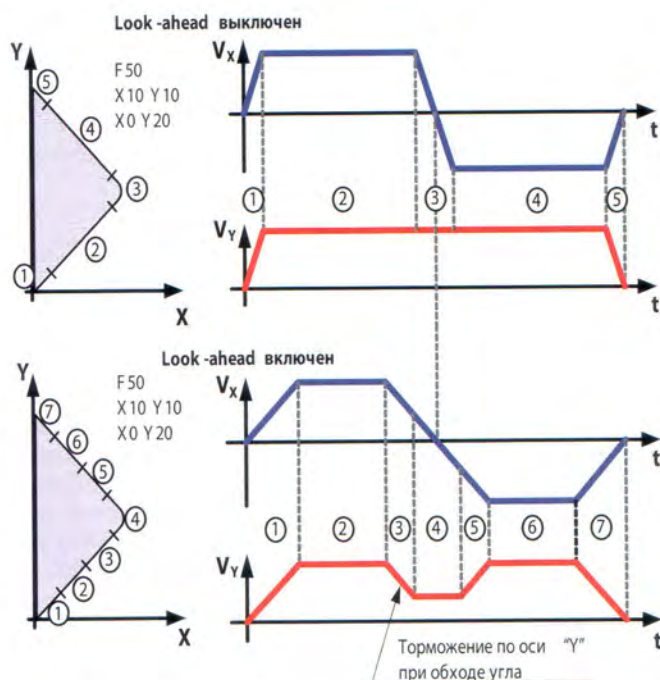


Рис. 3. Обход острого угла

Очевидный способ опережающего просмотра состоит в проверке отклонения интерполируемой траектории от заданной траектории контура. Если следующая расчетная точка продолжает заданную траекторию и отклонение отсутствует, то торможение не требуется. Если же следующая точка соответствует отклонению траектории на 90 градусов, то движение по координатной оси должно быть полностью остановлено.

Реализация этой стратегии требует существенных затрат вычислительной мощности, в особенности при обработке скульптурных поверхностей. В реальной ситуации для полной остановки на скорости подачи 10 м/мин может потребоваться 10 мм пути и опережающий анализ до 100 кадров (при оцифровке контура с точностью 0,1 мм) для обнаружения изменения вектора движения. Положение любой интерполируемой точки нуждается в верификации, а текущая скорость подачи, возможно, требует коррекции. Не существует правил определения объема буфера подготовленных сегментов, поскольку всегда может возникнуть ситуация, когда любой заранее фиксированный размер буфера окажется недостаточным [5]. Размер буфера подстраивается динамически в зависимости от геометрии контура, требований, предъявляемых к точности, скорости обработки и т.д. При этом, чем совершеннее комплекс оценки данных, тем быстрее и точнее система ЧПУ обрабатывает траекторные данные. В любом случае динамическая подстройка буфера невидима для оператора и осуществляется без его участия.

Место алгоритма look-ahead в конвейере обработки данных управляющей программы показано на рис. 4.

Существуют ситуации, когда необходимо сбрасывать список подготовленных кадров, в том числе и буфер look-ahead, например, при вынужденной смене инструмента. Система ЧПУ WinPCNC обладает G-командой для очищения буфера look-ahead [6].

Определение допустимого ускорения. Связь между допустимым ускорением $A(V)$ и скоростью V перемещения по координатной оси вычисляют по следующей формуле:

$$A(V) = FctrA \cdot (A_0 - ((A_0 - A_m) / V_{max}) \cdot V)$$

V_{max} – максимальная контурная скорость,

A_m – ускорение при скорости V_{max} ,

$FctrA$ – основной фактор ускорения, который задан как машинный параметр. По умолчанию $FctrA = 1$. Если $FctrA = 2$, то допустимо двойное ускорение для установленной скорости подачи. Если $FctrA = 0,5$, то допустимо уменьшенное вдвое значение ускорения.

A_0 – максимально допустимое ускорение при скорости $V_0 = 0$.

Контроль скорости подачи на стыке кадров. Скорость на стыке кадров вычисляют с помощью двух параметров: времени перехода для ускорения и фактора перехода для ускорения.

- Время перехода для ускорения: изменение скорости распределяется на время перехода – чем больше это время, тем большим может быть ускорение. Удвоение времени перехода аналогично по своему смыслу удвоению основного фактора ускорения $FctrA$. Значение, принимаемое по умолчанию, равно 1 мс.
- Фактор перехода для ускорения: определяет точность контроля угла перехода (стыка); чем меньше значение фактора перехода, тем больше допуск на значение угла стыка, рассматриваемого как тангенциальное сопряжение сегментов. Деление значения пополам имеет тот же смысл, что и удвоение времени перехода, а установка в «0» полностью отключает контроль перехода. Значение, принимаемое по умолчанию, равно 1,0.

Фактор допуска при прохождении стыка. Фактор допуска при прохождении стыка устанавливают в процентах. Он определяет, при каком значении следует активизировать процедуру контроля стыка. Если все оси изменяют направление пути на меньшее значение, чем допуск стыка, то контроль исключается. Значение, принимаемое по умолчанию, равно 5 %.

Контроль скорости внутри интервала. Фактор ускорения в интервале определяет точность контроля изменения скорости по осям внутри интервала (сегмента контура). Изменение скорости обычно контролируют при сплайновой интерполяции или круговой интерполяции с небольшим радиусом.

Уменьшение в интервале фактора ускорения вдвое имеет тот же эффект, что и удвоение основного фактора ускорения, а установка в «0» полностью отключает контроль внутри интервала. Значение, принимаемое по умолчанию, равно 1,0.

Контроль скорости для повышения точности аппроксимации. Определяет отклонение хорды от сегмента окружности. Этот параметр особенно важен при обработке окружности с малым радиусом, когда приходится снижать запрограммиро-

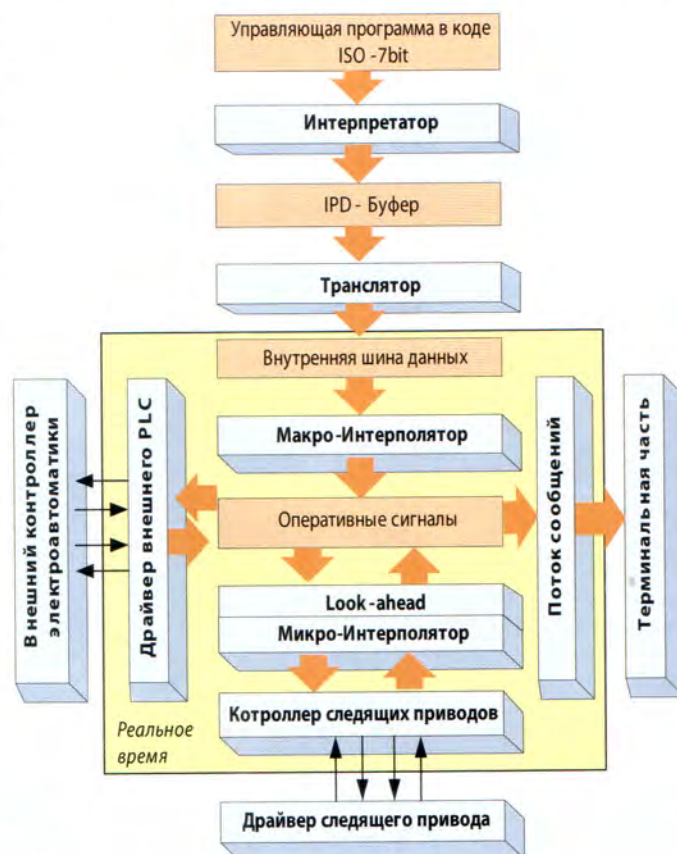


Рис. 4. Алгоритм Look-ahead в конвейере обработки данных управляющей программы системы WinPCNC [7]

ванную контурную скорость. Установка параметра в «0» отключает контроль. Значение, принимаемое по умолчанию, равно 1,0 мкм.

Адаптивный путь. Адаптивный путь определяет минимальную величину сегмента, при которой следует контролировать изменение направления траектории. Контроль производится только в том случае, если сегмент пути не меньше адаптивного пути. Таким образом, снижается зависимость алгоритма look-ahead от неопределенности входных данных. Значение, принимаемое по умолчанию, равно 2,0 мм.

При вводе станка в эксплуатацию в списке машинных параметров настраивают основной фактор ускорения FctrA и время перехода для ускорения. Оба параметра не зависят от вида интерполяции и выполняемой управляющей программы.

Указанные выше параметры могут отличаться у разных производителей и версий систем ЧПУ.

Вычисление размера буфера look-ahead. Обеспечение высокой скорости обработки предполагает контроль времени и расстояния до полного останова по каждой оси. Поскольку в буфере опережающего осмотра хранятся сегменты движения по контуру, то путь до полного останова подсчитывают в сегментах [8].

Сначала вычисляется время останова для каждой оси.

$$\text{Время_Остановы (мс)} = \frac{l_{xx16}}{l_{xx17}}$$

Здесь l_{xx16} – максимальная скорость перемещения по оси, l_{xx17} – максимальное ускорение по оси.

Затем выбирают ось с наибольшим временем останова, значение которого делится пополам (в связи с тем, что в середине сегмента будет достигнута максимальная скорость), а вторая половина используется для торможения.

Далее вычисляется требуемый размер буфера look-ahead в количестве сегментов.

$$\text{Размер_Буфера (сегм.)} = \frac{\text{Время_Остановы}}{2 \cdot l_{sx13}} = \frac{l_{xx16}}{2 \cdot l_{xx17} \cdot l_{sx13}}$$

Здесь l_{sx13} – время интерполяционного такта.

Таким образом, заранее определили число сегментов в буфере. Поскольку система ЧПУ не пересчитывает буфер опережающего просмотра для каждого сегмента, то фактическая длина буфера должна быть несколько больше, чем требуется на самом деле.

Фактическую длину буфера получают, умножая требуемый размер буфера на коэффициент запаса.

$$l_{sx20} (\text{сегм.}) = \frac{4}{3} \cdot \text{Размер_Буфера}$$

Здесь l_{sx20} – фактическая длина буфера look-ahead.

Фактическая длина буфера указывает алгоритму, сколько сегментов вперед нужно просматривать.

Заключение

Системы с ЧПУ, реализующие алгоритм look-ahead, хотя и предъявляют жесткие требования к квалификации персонала, так как требуют от специалиста понимания сути алгоритма и умения настройки его параметров, но они предоставляют мощный аппарат по оптимизации процесса обработки. Применение алгоритма look-ahead в высокотехнологичных производствах позволяет существенно увеличить скорость обработки без потери качества, что снижает издержки производства.

Список литературы:

1. HEIDENHAIN User's Manual Conversational Programming iTNC 530, www.heidenhain.com
2. Rockwell Automation, Inc. Operation and Programming Manual Allen-Bradley 9/Series CNC, www.rockwellautomation.com
3. Thomas Tennant Haas makes machine controls its own way // Sept/Oct 2000 issue of Medical Equipment Designer, <http://www.manufacturingcenter.com/med/archives/0900/0900tc.asp>
4. Bill Griffith CNC Technology For Mold Applications, <http://www.mmsonline.com/articles/070102.html>
5. Todd Schuett A Closer Look At Look-Ahead. MMS Online, <http://www.mmsonline.com/articles/039603.html>
6. Мартинов Г. М. Академическая версия системы ЧПУ WinPCNC // Инструмент, технология, оборудование. №8. 2007. с. 62-64.
7. www.ncsystems.ru
8. Delta Tau Data Systems, Inc. NC Integrator User Manual, www.deltatau.com

д.т.н., профессор Г. М. Мартинов

МГТУ «СТАНКИН»

martinov@ncsystems.ru

REIME

NORIS

**ВСЯ ГАММА
ИНСТРУМЕНТА**

**ДЛЯ ОБРАБОТКИ
РЕЗЬБЫ**



ЗАО «ИТЦ ТЕХНОПОЛИС»

Россия, 117342 г. Москва, ул. Бултерова 17, офис 1707

Тел.: +7 (495) 330-9841, 330-9706, 429-7177, 424-2733

Факс: +7 (495) 330-9867, 737-6397

info@technopolice.ru www.technopolice.ru