

NURBS 적응보간기를 이용한 Jerk 제한 이송속도 생성

권성환, 모한 세카르(경북대 대학원 기계공학과), 양승한* (경북대 기계공학과)

Design of Jerk Bounded Feed Rate with Look Ahead using Adaptive NURBS Interpolator

S. H. Kweon, S. Mohan (Mechanical. Eng. Dept., KNU), S. H. Yang* (Mechanical Eng. Dept., KNU)

ABSTRACT

A method for obtaining smooth, jerk bounded feed rate profile in high speed machining has been developed. This study proposes a NURBS interpolator based on adaptive feed rate control with a well developed look ahead algorithm which takes into account the machining dynamics as well. Limitation of jerk and proportional torque rate result in smoothed loads on the machine which effectively reduces excitation of the resonant frequencies of the machine. It is found that the values of the feed rate of the down stream sharp corner have profound effect on the feed rate of the upstream sharp corners. By using a windowing scheme the feed rate profile obtained after look ahead method is re-interpolated to reduce the jerk related problems. This is compared with the adaptive NURBS interpolator to show the effectiveness of the proposed method. Simulation results indicate that the consideration of 'ripple effect' is important in avoiding jerk and thereby increasing the machining accuracy.

Key Words : Adaptive NURBS Interpolator (NURBS 적응보간기), Look ahead (예견), Jerk Bounded Feedrate(저크제한 이송속도)

1. 서론

CAD/CAM 시스템에서 터빈 블레이드와 같은 복잡한 형상의 제품은 NURBS 곡선으로 표현된다¹. 기존의 CNC 에서는 자유곡선에 대해서 연속적인 선과 원호로 이루어진 공구경로는 많은 수의 데이터 생성으로 비효율적이며 근사로 인한 오차발생은 피할 수가 없다. 이러한 한계를 보완하기 위하여 매개변수를 이용한 다양한 보간기가 제안되었다^{2,3}.

Altintas⁴ 는 5 차 곡선을 이용하여 이송속도 최적기술을 개발하였으며, Yong⁵ 은 가감속만을 고려하여 곡률변화에 대한 속도오차를 제어하는 보간기를 제안하였다. Liu⁴ 는 가공역학도 고려한 적응 이송속도 NURBS 곡선 보간기를 제안하였다. 그러나 고속가공에서는 곡률이 큰 부분에서의 이송속도에 의한 오차발생과 속도 프로파일의 중첩에 의한 jerk 발생에 대해서 고려해야 한다. 본 논문에서는 곡률이 큰 부분에서의 오차와 jerk 를 제한하기 위한 이송속도 생성방법을 제안한다.

2. 속도예건을 이용한 NURBS 적응보간

공구가 연속의 보간된 점들을 선형적으로 이동할 때 반경오차와 chord 오차가 발생하며 가공품질에 영향을 주므로 가공 시 고려하여야 한다. 곡률의 변화에 따른 이송속도를 조절하여 chord 오차가 허용범위를 넘지 않도록 해야 한다. 속도예견방법을 도입하여 가감속의 시점과 중점을

계산하여 가감속을 제어하는 적응 이송속도 프로파일 생성방법이 제안되었다^{2,5}.

그림 1 은 Sharp corner 에서 가감속이 시작되는 위치를 고려하여 보간한 이송속도 프로파일을 나타낸다. Sharp corner 가 중첩된 부분 (J=1,2) 에서는 jerk 의 영향이 크게 나타나므로 이전의 예견방법을 이용한 이송속도 생성방법을 변경하여 jerk 감소를 위한 효과적인 방법이 필요하다.

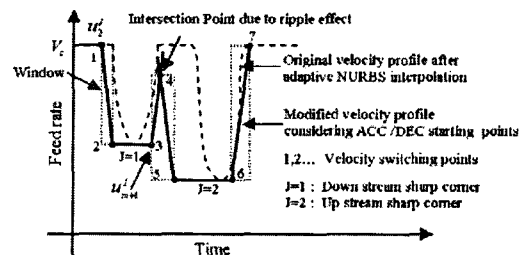


Fig. 1 Feedrate profile of a sensitive corner along with adjacent corner

3. JERK 제한 속도 프로파일 생성

윈도우기법과 속도 예견방법을 이용하여 가속과 jerk 제한을 모두 고려한 이송속도를 생성하였다. 속도 전환부분에서 3 차 적합곡선(fitted cubic spline)을 이용하여 가속이 연속이 되도록 하였고 jerk 제어가 가능토록 하였다.

NURBS 곡선의 속도 프로파일은 시간의 함수로써 표현할 수 있으며, 초기 속도를 v_0 , 최종

속도를 v_f 라하면 각각에 대한 가속도 \dot{v}_0 와 \dot{v}_f 를 구할 수 있다. 네개의 조건을 이용하여 속도를 식 1 과 같이 다항식으로 표현할 수 있다.

$$V(t) = a + b(t-t_0) + c(t-t_0)^2 + d(t-t_0)^3, t_0 \leq t \leq t_f \quad (1)$$

여기서 a, b, c, d 는 주어진 조건과 현 윈도우에서의 총 시간에 의존하는 계수를 나타내며 식 2 와 같이 구할 있다.

$$a = v_0, b = \dot{v}_f, c = \frac{3(v_f - v_0)}{(t_f - t_0)^2} - \frac{2\dot{v}_0 + \dot{v}_f}{(t_f - t_0)}, d = \frac{2(v_0 - v_f)}{(t_f - t_0)^3} - \frac{\dot{v}_0 + \dot{v}_f}{(t_f - t_0)^2} \quad (2)$$

식 2 를 속도프로파일에 적용하여 3 차 적합곡선으로 보간하였다.

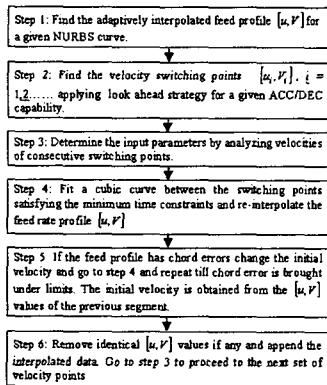


Fig. 2 Proposed algorithm

그림 2 는 입력된 속도에 대해서 가감속과 jerk 제한을 고려하여 3 차 적합곡선을 생성하는 루틴을 보여준다. 속도를 보간하여 chord 오차와 jerk 를 최소화하는 매개변수를 계산한다. 두 윈도우의 경계에서 발생할 수 있는 jerk 는 가속도 차이를 제한하여 최소화 한다.

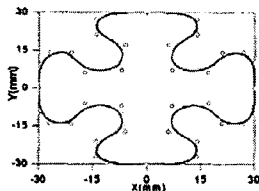


Fig. 3 NURBS curve

그림 3 은 제안한 jerk 제한 적응 보간기의 성능평가를 위해 사용된 매개변수 곡선을 나타낸다. 이송속도는 250mm/s, chord 오차는 0.001mm, 가감속 한계는 $5 \times 10^3 \text{ mm/s}^2$, jerk 한계는 $4 \times 10^5 \text{ mm/s}^3$, 샘플링 주기는 0.002sec 로 설정하였다.

4. 시뮬레이션 결과

제안한 보간기와 기존의 적응 보간기의 비교를 그림 4 에 나타내었다. 기존의 NURBS 보간 알고리즘의 시뮬레이션 결과는 최대가속 $2 \times 10^5 \text{ mm/s}^2$ 와 최대 jerk $1.7 \times 10^7 \text{ mm/s}^3$ 으로써 기계의 주어진 한계를 벗어남으로써 기계의 불안정을 야기한다. 제안한 알고리즘의 시뮬레이션 결과는 3 항에서 주어진 오차와 기계의 한계를 만족한다. 가속은

실제 성능 범위에 있으며 jerk 는 1/100 로 감소하였고 chord 오차도 만족함을 알 수 있다. 또한, 제안한 보간기는 위치 연속성뿐만 아니라 속도와 가속도에서도 연속성을 만족하여 기계의 부드러운 구동을 구현할 수 있다

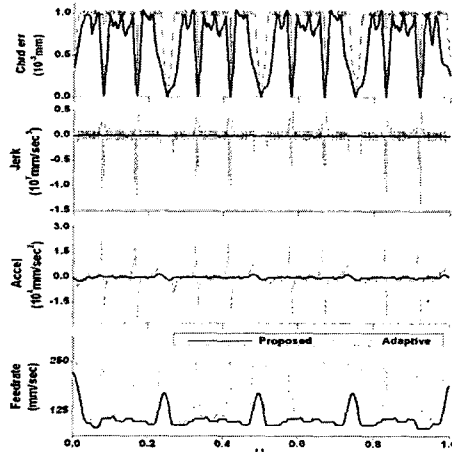


Fig. 4 Comparison of the adaptive and the jerk limited NURBS interpolator

5. 결론

본 논문에서는 고속가공에서 jerk 제한 이송속도 프로파일 생성으로 기계의 부드러운 구동을 위한 새로운 적응 NURBS 보간기를 제안하였으며, 기계의 동적 특성을 고려하여 제한된 chord 오차와 감쇠된 jerk 를 동시에 얻을 수 있다. 제안한 보간 알고리즘은 리니어 모터와 레이저를 이용한 가공, 고속 밀링 가공 등의 고속가공에 유용할 것이다.

참고문헌

1. Piegl. L., "On Nurbs a survey," IEEE Computer Graphics and Application, Vol. 11, pp.55-71, 1991
2. Yeh. S., and Hsu. P., "Adaptive feedrate interpolation for parametric curves with confined chord error," Computer Aided Design, Vol. 34, pp. 229-238, 2002
3. Liu. X., Ahmad. F., Yamazaki. K., and Mori. M., "Adaptive interpolation scheme for NURBS curves with the integration of machining dynamics," International Journal of Machine Tool and Manufacture. Vol. 45, pp.33-444, 2005
4. Altitas. Y., and Erkormaz. E., "Feed rate optimization for spline interpolation in high speed machine tool," Annals of the CIRP, Vol.52, pp.297-302, 2003
5. Yong. T., and Narayanasami. R., "A parameter interpolator with confined chord error, acceleration and deceleration for NC machining," Computer Aided Design, Vol.35, pp.1249-1259,2003