셀 경계의 퍼지화에 의한 셀 매핑 제어

Cell Mapping Control with Fuzzified Cell Boundaries

°임 영 빈*, 윤 중 선**

* 부산대학교 지능기계공학과(Tel : 82-51-510-3084; Fax : 82-51-510-3084; E-mail : ecott@cjdream.net)
** 부산대학교 기계공학부(Tel : 82-51-510-2456; Fax : 82-51-510-3084; E-mail : jsyoon@hyowon.pusan.ac.kr)

Abstract : Cell mapping is a powerful computational technique for analyzing the global behavior of nonlinear dynamic systems. It simplifies the task of analyzing a continuous phase space by partitioning it into a finite number of disjoint cells and approximating system trajectories as cell transitions. A cell map for the system is then constructed based on the allowable control actions. Next search algorithms are employed to identify the optimal or near-optimal sequence(s) of control actions required to drive the system from each cell to the target cell by an "unravelling algorithm." Errors resulting from the cell center-point approximation could be reduced and eliminated by fuzzifying the borders of cells. The dynamic system control method based on the cell mapping has been demonstrated for a motor control problem.

Keywords: cell-to-cell mapping, global behavior, multistage controller, fuzzified cell boundaries

1. 서론

비선형성이 강한 계의 시간최적 제어에는 많은 양의 온라인 계산이 필요하다. 이때 연속적 운동을 이산화(discretization)로 이완시키면 많은 양의 온라인 계산을 오프라인 계산으로 대체할수 있다. 이러한 비선형 동적 시스템의 전역 거동(global behavior)을 해석하기에 효과적인 셀 매핑(cell-to-cell mapping, cell space mapping)방법을 사용하여 효과적인 제어를 수행할 수 있다[6, 11].

셀 매핑 기법은 연속 상태공간을 유한의 겹치지 않고 이웃하는 같은 크기의 셀(disjoint, equal-sized cells)로 나누고 상태공간에서의 시스템의 궤적(trajectories)을 비연속 셀들의 전이(cell transitions)로 바꾸어 동적 시스템의 전역 거동에 대한 해석을 수행한다[2-4]. 이러한 셀 매핑기법으로 제어기를 설계하기 위하여, 허용되는 제어입력들에 따른 셀의 전이로 셀 맵을 구성한다. 시작 셀에서 목표 셀로 최단 시간에 가도록 해주는 제어입력 순서(schedules)를 이들 셀 맵을 탐색하여 찾는다[6, 9, 11].

이산화와 셀 중심점의 근사화로 발생하는 오차는 저차원 문제의 경우 작은 셀을 사용하여 줄일 수 있다. 그러나 차원이 커지거나 매우 작은 셀로 인한 계산량 증가의 문제는 셀의 이산화 경계를 퍼지화로 완화하여 극복할 수 있을 것이다[1, 6, 7, 12, 13].

비선형 동적 시스템의 전역 해석에 유용한 셀 매핑 이론을 소개하고 셀 경계를 퍼지화하여 셀 매핑시 발생하는 오차를 줄이는 과정을 모터 제어에 적용한다.

2. 셀 매핑

셀 매핑은 비선형 시스템의 전역 거동을 해석하기 위한 계산기법이다[2-4]. n차원 상태공간의 각축 x_i를 N_i개의 같은 크기의 간격 h_i로 나눈다. 셀은 식 (1)과 같이 간격을 나타내는 정수 z_i로 표시된다.

$$(z_i-\frac{1}{2})h_i \le x_i \le (z_i+\frac{1}{2})h_i,\ z_i=1,\ 2,\ \ldots,\ N_i \quad (1)$$

n차원 셀 z는 n개의 간격 $(z_1, z_2, \ldots, z_n)$으로 정의된다. 모든 셀들 z의 합집합은 정수 값을 갖는 n차원 셀 공간 Z가 된다. 관심 영역 안의 상태공간부는 최하위 상태 $x^{(l)}=(x_1^{(l)}, \ldots, x_n^{(l)})$와 최상위 상태 $x^{(h)}=(x_1^{(h)}, \ldots, x_n^{(h)})$에 대하여 식 (2)와 같이 나타낸다. 식 (2)의 바깥쪽의 영역에 놓인 상태공간부 전체는 특이 셀(sink cell)이라 한다.

$$x^{(l)} \le x \le x^{(h)} \quad (2)$$

셀의 중심점 $z^{(c)} = x^{(c)}$는 중심점 상태가 $x^{(c)}=(x_1^{(c)}, \ldots, x_n^{(c)})$일 때 식 (3)과 같다.

$$x_i^{(c)}(1)=x_i^{(l)}+\frac{h_i}{2},\ i=1,\ \ldots,\ n \quad (3a)$$

$$x_i^{(c)}(j+1)=x_i^{(c)}(j)+h_i,\ j=1,\ \ldots,\ N_i-1 \quad (3b)$$

셀 매핑은 상태공간(point-to-point)에서의 궤적을 셀 상태공간(cell-to-cell)에서의 전이로 근사화 한다. 이산시간 시스템

$$x_{k+1}=g(x_k) \quad (4)$$

의 궤적

$$x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \quad (5)$$

을 셀 궤적

$$z_1 \rightarrow z_2 \rightarrow z_3 \quad (6)$$

으로 근사화 한다.

셀 z_1에 놓인 궤적의 초기점 x_1은 셀의 중심점 $z_1^{(c)}$로 근사화 하고 셀 z_2에 놓인 궤적의 점 $x_2'=g(z_1^{(c)})$는 $z_2^{(c)}$로 근사