

بسم الله الرحمن الرحيم

شناسایی سیستم و تخمین پارامترهای پرواز

مدرس:
عبدالمجید
خوشنود

سرفصل مطالب

- فصل اول: مقدمه ای بر شناسایی سیستم
 - کاربردها در هوافضا
 - اصول کلی و روش ها
 - گسسته سازی سیستم های پیوسته
- فصل دوم: فرایندهای تصادفی
 - تعاریف
 - توابع همبستگی، E ، توزیع احتمال و چگالی طیفی توان
- فصل سوم: شناسایی غیر پارامتریک
 - شناسایی در حوزه زمان
 - شناسایی در حوزه فرکانس

Scroll to take a tour

سر فصل مطالب

فصل چهارم: ساختارهای عمومی مدل در شناسایی

- انواع ساختارها
- مدلسازی نويز و اغتشاش
- فصل پنجم: شناسایی بر اساس حداقل مربعات
 - مبانی اولیه و معرفی روش
 - حالت بازگشتی
 - کارگاه نرم افزاری
- فصل ششم: ملاحظات روش های مبتنی بر حداقل مربعات
 - زیر روش ها
 - اصلاحات روش

Scroll to take a tour

سر فصل مطالب

فصل هفتم: فیلتر کالمن

- فیلتر پیوسته و گسسته
- فیلتر توسعه یافته
- فصل هشتم: شناسایی غیر خطی
 - شبکه های عصبی
- فصل نهم: شناسایی فرکانس (شناسایی بر اساس خروجی)
 - فیلترهای تطبیقی
 - موجک

Scroll to take a tour

توزیع نمرات

- متن اصلی درس (۵۰ درصد در امتحان پایان ترم)
- ارزش گذاری - شبیه سازی (۴۰ درصد در پروژه ها)
- تحقیق (۱۰ درصد در قالب پروژه یا سمینار) جستجوی مقاله و مدلسازی

ارزش گذاری درس: ۱۲ نمره پایان ترم + تمرین (۳ نمره) + پروژه (۵ نمره)
 (۱ نمره) + سمینار ارفاقی (۱ نمره)
 مقاله ارسال شده!

Scroll to take a tour

مراجع

System Identification, Lennart Ljung, 2nd edition, 1999.

Optimal state estimation, Dan Simon, 2006.

Nonlinear System Identification, Oliver Nelles, 2001.

System Identification, Karel J. Keesman, 2011.

شناسایی سیستم (خطی)، مهدی کراری، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۹۰
 شناسایی سیستم (غیرخطی)، مهدی کراری، دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۹۱

Scroll to take a tour

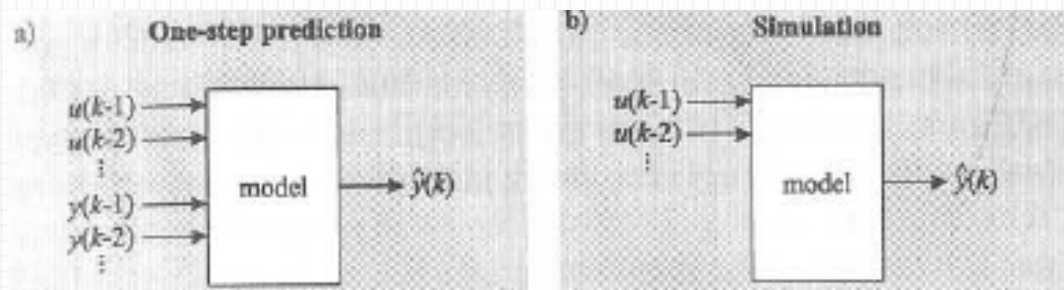
مقدمه ای بر شناسایی سیستم

- نیاز به شناسایی سیستم های ناشناخته
- کاربردهای شناسایی سیستم: سیستم های مهندسی مختلف
- سیستم های هوافضایی
- کاربرد شناسایی در کنترل
- تنوع بسیار زیاد روش های شناسایی و دسته بندی ها
- پیاده سازی روشهای شناسایی

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

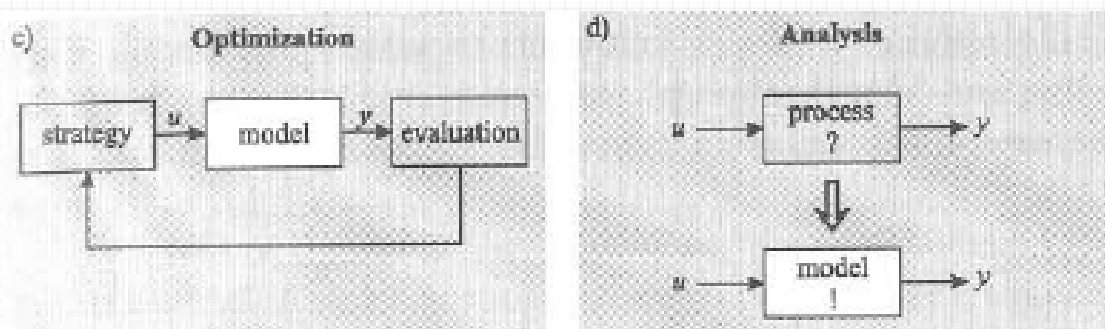
- جایگاه شناسایی در فرایندهای مشابه



Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

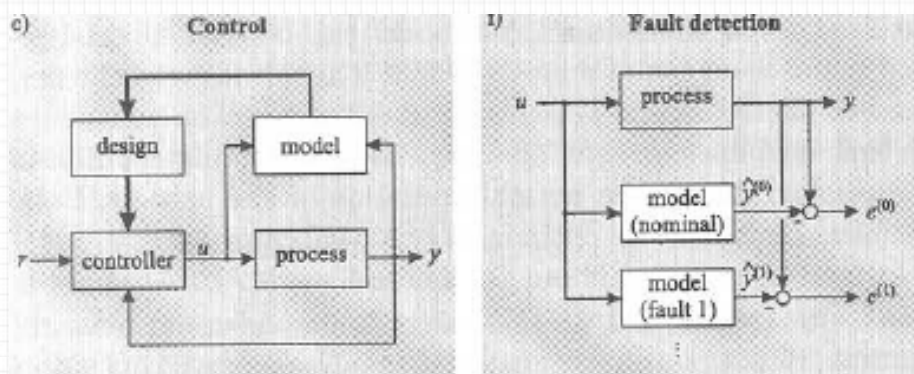
- جایگاه شناسایی در فرایندهای مشابه



Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

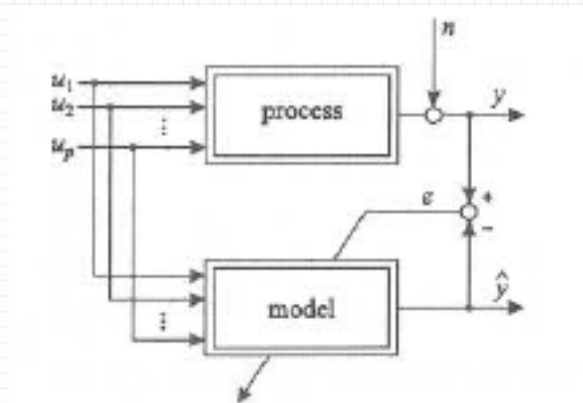
- جایگاه شناسایی در فرایندهای مشابه



Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

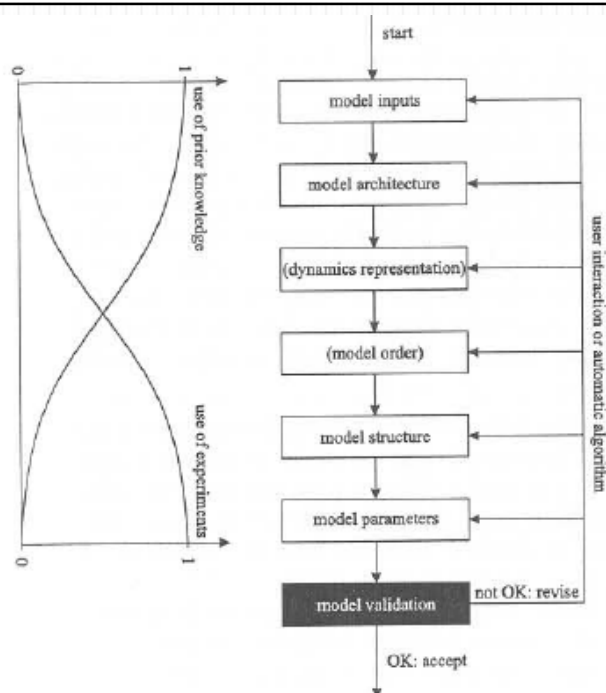
- جایگاه شناسایی در فرایندهای مشابه



Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

- مراحل کلی شناسایی سیستم
- ورودی های مدل
- معماری مدل
- بیان دینامیکی
- مرتبه مدل
- ساختار و پیچیدگی مدل
- پارامترهای مدل
- اعتبار سنجی



مقدمه ای بر شناسایی سیستم

دیدگاه های مختلف در مدل سازی

- جعبه سفید (White box) مدل سازی تحلیلی مدلی که بر اساس روابط ریاضی مشخص و بر پایه اصول فیزیکی و علوم مشابه بدست می آید. در این حالت باید تک تک پارامترهای سیستم با روشهای جداگانه ای استخراج شده باشد. مساله خطاهای محاسباتی و نامعینی ها

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

- جعبه سیاه (Black box) مدل سازی آزمایشی مدل سازی بر اساس صرفا استفاده از داده های ورودی یا خروجی سیستم. در این روش آزمایش مبنای اصلی استخراج داده ها می باشد. مساله وجود نویز در خروجی سیستم و ایجاد انحراف معین یا اتفاقی در داده ها پردازش داده ها و عملیات فیلترینگ
(Model validation) مساله ارزیابی مدل

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

- جعبه خاکستری (Gray box) مدلسازی ترکیبی
مدلسازی بر پایه ترکیب نگاه تحلیلی و آزمایشی

Priori knowledge دانش قبلی

در این روش ابتدا ساختار مدل بر اساس تحلیل های ریاضی مشخص می شود سپس پارامترها در فرایند آزمایشی ورودی خروجی بدست خواهند آمد. اکثر روش های شناسایی تدریس شده شامل این نگاه هستند.

Scroll to take a tour

	White box	Gray box	Black box
Information sources	First principles insights	Qualitative knowledge Some insights + some data	Experiments data
Features	Good extrapolation Good understanding Scalable		Short development time Little domain expertise req. Can be used for not understood proc.
Drawbacks	Time consuming Detailed domain expertise req. Knowledge restricts accuracy Only for well understood processes		Not reliable extrapolation Not scalable Data restricts accuracy Little understanding
Application areas	Planning, construction, design, rather simple processes		Only for existing process Rather complex process

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

- شناسایی پارامترها و شناسایی حالت ها

Parameters estimation and state estimation

یکسان بودن مبانی ریاضی هر دو موضوع

متفاوت بودن کاربردها

تخمین پارامترهای روی خط با کاربرد در کنترل کننده های تطبیقی
تخمین متغیرهای وضعیت و موضوع مشاهده گرهای حالت، فیلترهای کالمن

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

- ملاحظات شناسایی سیستم ها

- فرکانس نمونه برداری
- نوع متغیرها و اندازه گیری آنها
- انتخاب ورودی
- سخت افزارهای مورد استفاده
- شناسایی روی خط در حلقه کنترل
- شناسایی در کاربری تله متری

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

- تقسیم بندی روش های کلی شناسایی
 - ۱- روش های یکباره: یک بار آزمایش از دستگاه / خاموش کردن دستگاه /
یک بار تحلیل اطلاعات ورودی - خروجی (خارج خط)
 - ۲- روش های تکراری: یک بار آزمایش از دستگاه / خاموش کردن دستگاه /
چند بار استفاده از اطلاعات و بهبود نتایج (خارج خط)
 - ۳- روش های بازگشتی: دستگاه در طول آزمایش روشن / استفاده از
اطلاعات گام قبل (روی خط)

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

نام لاتین	نام روش	
Classical Methods	CM	روش های کلاسیک
Ordinary Least Square	OLS	حداقل مربعات معمولی
Weighted Least square	WLS	حداقل مربعات ورنی
Generalized Least Square	GLS	حداقل مربعات تعمیم یافته
Bayes Estimation	BE	تخمین بیز
Maximum Likelihood	ML	حداکثر احتمال وقوع

روش های یکباره

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

نام لاتین	نام روش	
Iterative Generalized Least Square	IGLS	حداقل مربعات تعمیم یافته تکراری
Iterative Instrumental Variables	IIV	متغیرهای کمکی تکراری
Iterative Maximum Likelihood	IML	حداکثر احتمال وقوع تکراری
Prediction Error Method	PEM	روش پیش بینی خطا

روش های تکراری

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

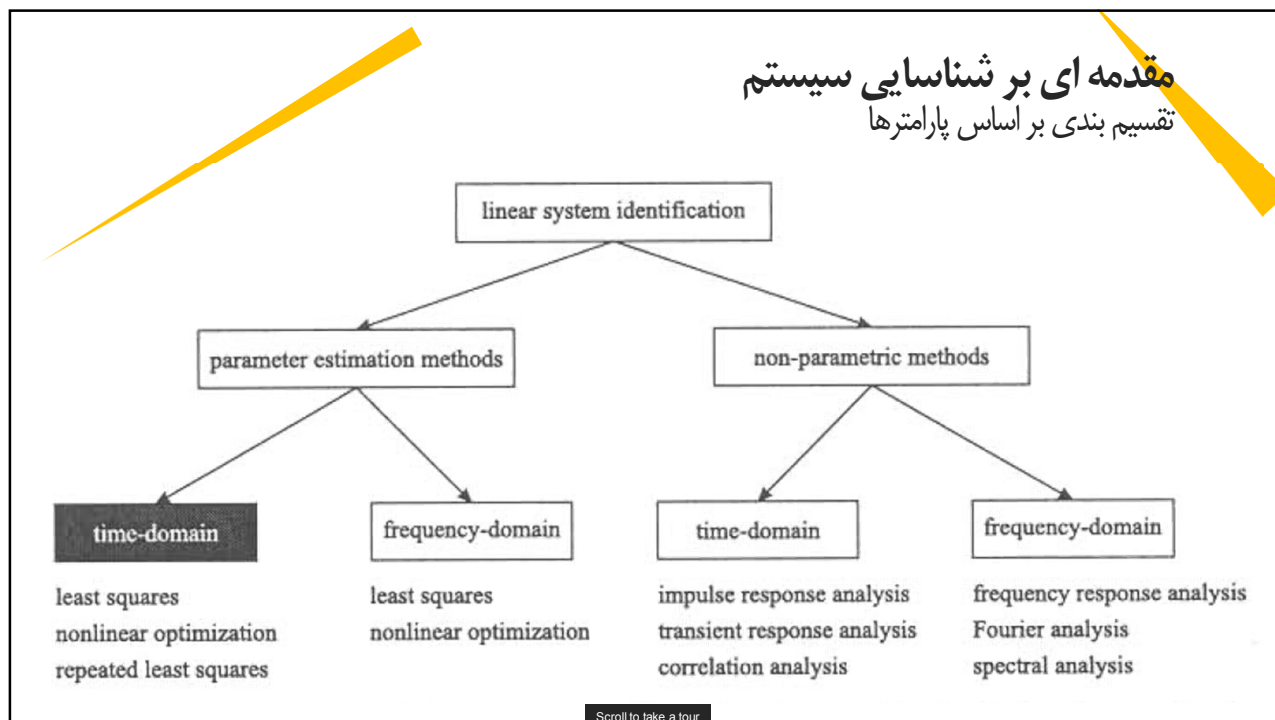
نام لاتین	نام روش	
Recursive Least Square	RLS	حداقل مربعات بازگشتی
Recursive Generalized Least Square	RELS	حداقل مربعات تعمیم یافته بازگشتی
Recursive Instrumental Variables	RIV	متغیرهای کمکی بازگشتی
Recursive Maximum Likelihood	RML	حداکثر احتمال وقوع بازگشتی
Extended Matrix Method	EMM	روش ماتریس توسعه یافته
Stochastic Approximation	SA	تقریب تصادفی
Orthogonal Projection Algorithm	OPA	تصویر متعامد

روش های بازگشتی

Scroll to take a tour

مقدمه ای بر شناسایی سیستم

تقسیم بندی بر اساس پارامترها



مقدمه ای بر سیستم های گسسته

- گسسته سازی معادلات فضای حالت سیستم LTI
- سیستم های دیجیتال و آنالوگ
- سیستم های پیوسته و گسسته
- مزایا و معایب
- مساله تبدیل تابع از فضای ریاضی پیوسته به دنباله و ریاضیات دنباله ها
- موضوع نمونه برداری سیستم های پیوسته مهمترین مساله گسسته سازی
- مساله معیار نمونه برداری
- قضیه نمونه برداری نایکوئیست Nyquist Sampling Theorem

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

• قضیه نمونه برداری نایکوئیست Nyquist Sampling Theorem

بر اساس این قضیه همواره باید فرکانس نمونه برداری ω از دوبرابر بزرگترین فرکانس سیستم مورد بررسی بزرگتر باشد یعنی: (البته در عمل بزرگتر)

$$\omega_s > 2\omega$$

چرا؟

فرض کنید یک تابع سینوسی داریم با T و ω و فرض کنید که حالت های مختلف نمونه برداری برای گسسته سازی آن مورد توجه باشد.

الف) حالتی که $ts > T$

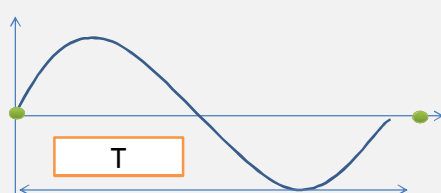
ب) حالتی که $T/2 < ts < T$

ج) حالتی که $ts < T/2$

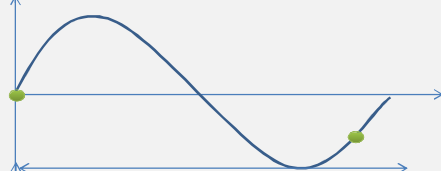
25

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

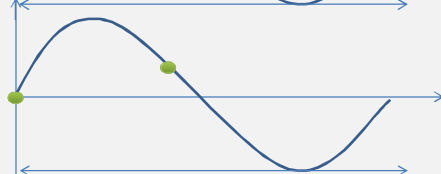
الف)



ب)



ج)

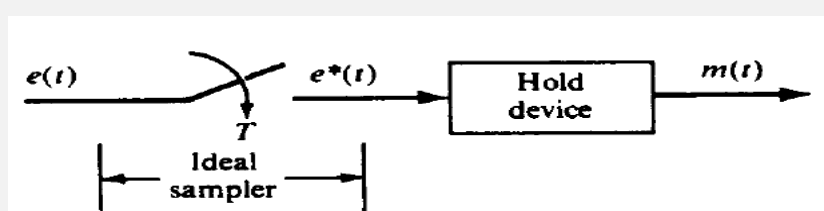


26

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

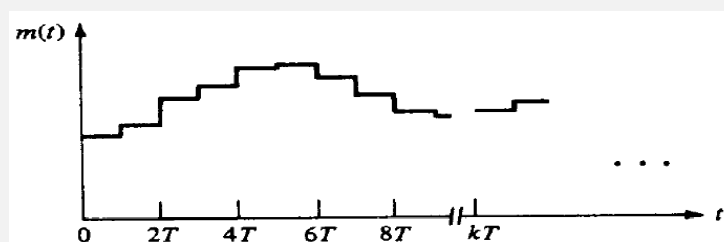
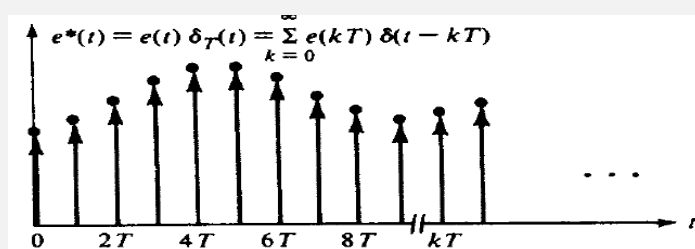
- در صورتی که قاعده نمونه برداری رعایت مساله تداخل یا Aliasing اتفاق می افتد.
- موضوع زمان نمونه بردای ارتباط مهمی با گام های حل مساله Step size دارد.

فرایند عملی گسسته سازی



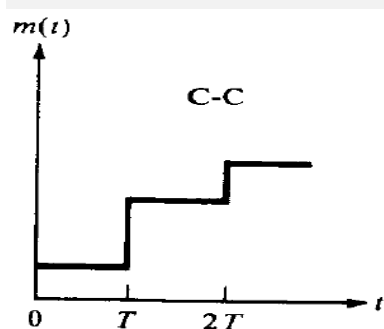
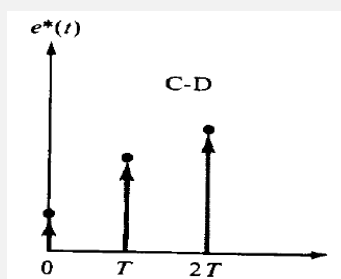
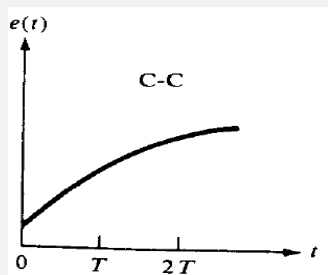
27

مقدمه ای بر سیستم های گسسته



28

مقدمه ای بر سیستم های گسسته



29

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

$$\mathbf{x}'(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t)$$

$$\mathbf{x}[n+1] = \mathbf{A}_d\mathbf{x}[n] + \mathbf{B}_d u[n]$$

$$u[n] = u(nT) \text{ for } nT \leq t < (n+1)T$$

$$t_0 = nT$$

$$t = (n+1)T$$

گسسته سازی معادلات فضای حالت LTI
می خواهیم معادله فضای حالت روبرو را به شکل زیر
گسسته نماییم:

لذا معلوم و مجهول ها مشخص هستند.
فرضیات:

$$\mathbf{x}(t) = \phi(t - t_0)\mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \phi(t - \tau)\mathbf{B}u(\tau) d\tau$$

و از حل تحلیلی داشتیم:

30

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

لذا می توان نوشت:

$$\mathbf{x}((n+1)T) = \phi(T)\mathbf{x}(nT) + \int_{nT}^{(n+1)T} \phi((n+1)T - \tau) B u(nT) d\tau$$

$$\mathbf{x}[n+1] = \phi(T)\mathbf{x}[n] + \int_{nT}^{(n+1)T} \phi(nT + T - \tau) d\tau B u[n]$$

$$\longrightarrow \mathbf{x}[n+1] = A_d \mathbf{x}[n] + B_d u[n]$$

$$\longrightarrow A_d = \phi(T) = e^{AT}$$

$$\begin{aligned} \longrightarrow B_d &= \int_{nT}^{(n+1)T} \phi(nT + T - \tau) d\tau B \stackrel{\sigma = nT + T - \tau}{=} \int_T^0 \phi(\sigma) d\sigma B \\ &= \int_0^T \phi(\tau) d\tau B \end{aligned}$$

31

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

$$A_d = e^{AT} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m T^m}{m!} = I + AT \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m T^m}{(m+1)!} = I + AT \Psi$$

$$B_d = \int_0^T \phi(\tau) d\tau B = \int_0^T \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m \tau^m}{m!} d\tau B = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m T^{m+1}}{(m+1)!} B = \Psi TB$$

$$\Psi = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m T^m}{(m+1)!}$$

$$\cong I + \frac{AT}{2} \left\{ I + \frac{AT}{3} \left\{ I + \dots + \frac{AT}{N-1} \left(I + \frac{AT}{N} \right) \right\} \dots \right\}$$

32

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

• مثال

$$\begin{bmatrix} x_1'(t) \\ x_2'(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_s(t)$$

$$\begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \text{ and } u_s(t) = 1 \quad \forall t \geq 0$$

$$\phi(t) = L^{-1} \{ [sI - A]^{-1} \} = L^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} s & -1 \\ 0 & s+1 \end{bmatrix}^{-1} \right\} = \begin{bmatrix} 1 & 1 - e^{-t} \\ 0 & e^{-t} \end{bmatrix}$$

$$A_d = \phi(T) = \begin{bmatrix} 1 & 1 - e^{-T} \\ 0 & e^{-T} \end{bmatrix}$$

$$B_d = \int_0^T \phi(\tau) d\tau B = \int_0^T \begin{bmatrix} 1 & 1 - e^{-\tau} \\ 0 & e^{-\tau} \end{bmatrix} d\tau \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T - 1 + e^{-T} \\ 1 - e^{-T} \end{bmatrix}$$

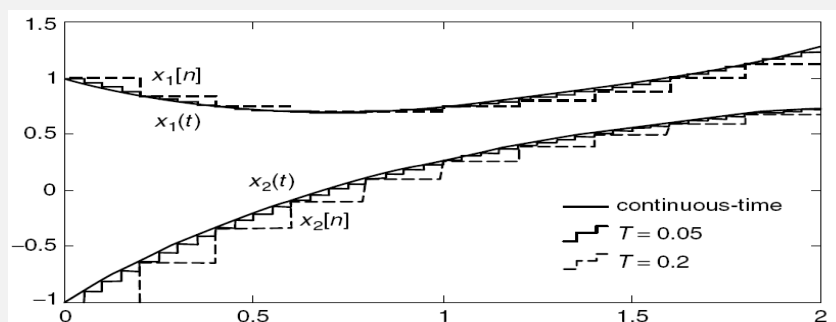
33

مقدمه ای بر سیستم های گسسته

$$\mathbf{x}[n+1] = A_d \mathbf{x}[n] + B_d u[n]$$

$$\begin{bmatrix} x_1[n+1] \\ x_2[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 - e^{-T} \\ 0 & e^{-T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1[n] \\ x_2[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T - 1 + e^{-T} \\ 1 - e^{-T} \end{bmatrix} u[n]$$

این الگوریتم خود یک روش تکرار برای حل می باشد.



34

تبدیل Z

$$X(z) = \mathcal{Z}[x(t)] = \mathcal{Z}[x(kT)] = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT)z^{-k}$$

$$X(z) = \mathcal{Z}[x(k)] = \sum_{k=0}^{\infty} x(k)z^{-k}$$

$$X(z) = x(0) + x(T)z^{-1} + x(2T)z^{-2} + \dots + x(kT)z^{-k} + \dots$$

$$X(z) = \mathcal{Z}[1(t)] = \sum_{k=0}^{\infty} 1z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k}$$

مثال:

$$= 1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots = \frac{1}{1 - z^{-1}} = \frac{z}{z - 1}$$

$$y/u = G(z) \Rightarrow y(t) - y(t-1) = u(t) \Rightarrow y(t) = u(t) + y(t-1)$$

Scroll to take a tour

تبدیل Z

Sequence	Transform	ROC
1. $\delta[n]$	1	All z
2. $u[n]$	$\frac{1}{1 - z^{-1}}$	$ z > 1$
3. $-u[-n - 1]$	$\frac{1}{1 - z^{-1}}$	$ z < 1$
4. $\delta[n - m]$	z^{-m}	All z except 0 (if $m > 0$) or ∞ (if $m < 0$)
5. $a^n u[n]$	$\frac{1}{1 - az^{-1}}$	$ z > a $
6. $-a^n u[-n - 1]$	$\frac{1}{1 - az^{-1}}$	$ z < a $
7. $na^n u[n]$	$\frac{az^{-1}}{(1 - az^{-1})^2}$	$ z > a $
8. $-na^n u[-n - 1]$	$\frac{az^{-1}}{(1 - az^{-1})^2}$	$ z < a $
9. $[\cos \omega_0 n]u[n]$	$\frac{1 - [\cos \omega_0]z^{-1}}{1 - [2 \cos \omega_0]z^{-1} + z^{-2}}$	$ z > 1$
10. $[\sin \omega_0 n]u[n]$	$\frac{[\sin \omega_0]z^{-1}}{1 - [2 \cos \omega_0]z^{-1} + z^{-2}}$	$ z > 1$
11. $[r^n \cos \omega_0 n]u[n]$	$\frac{1 - [r \cos \omega_0]z^{-1}}{1 - [2r \cos \omega_0]z^{-1} + r^2 z^{-2}}$	$ z > r$
12. $[r^n \sin \omega_0 n]u[n]$	$\frac{[r \sin \omega_0]z^{-1}}{1 - [2r \cos \omega_0]z^{-1} + r^2 z^{-2}}$	$ z > r$
13. $\begin{cases} a^n, & 0 \leq n \leq N-1, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$\frac{1 - a^N z^{-N}}{1 - az^{-1}}$	$ z > 0$

Laplace Domain	Time Domain (note)	Z Domain (t=kT)
1	$\delta(t)$ unit impulse	1
$\Gamma(s) = \frac{1}{s}$	$\gamma(t)$ (note)	$\frac{z}{z-1}$
$\frac{1}{s^2}$	t	$T \frac{z}{(z-1)^2}$
$\frac{2}{s^3}$	t^2	$T^2 \frac{z(z+1)}{(z-1)^3}$
$\frac{n!}{s^{(n+1)}}$	t^n	
$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$
	b^k ($b = e^{-aT}$)	$\frac{z}{z-b}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	te^{-at}	$T \frac{ze^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$
$\frac{1}{s(s+a)}$	$\frac{1}{a}(1-e^{-at})$	$\frac{z(1-e^{-aT})}{a(z-1)(z-e^{-aT})}$
$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{e^{-at} - e^{-bt}}{(b-a)}$	$\frac{z(e^{-aT} - e^{-bT})}{(b-a)(z-e^{-aT})(z-e^{-bT})}$
$\frac{1}{s(s+a)(s+b)}$	$\frac{1}{ab} \left(1 - \frac{be^{-at} - ae^{-bt}}{(b-a)} \right)$	

تبدیل Z

تبدیل Z

سیستم های گسسته

تبدیل Z $G(s) \rightarrow G(z)$

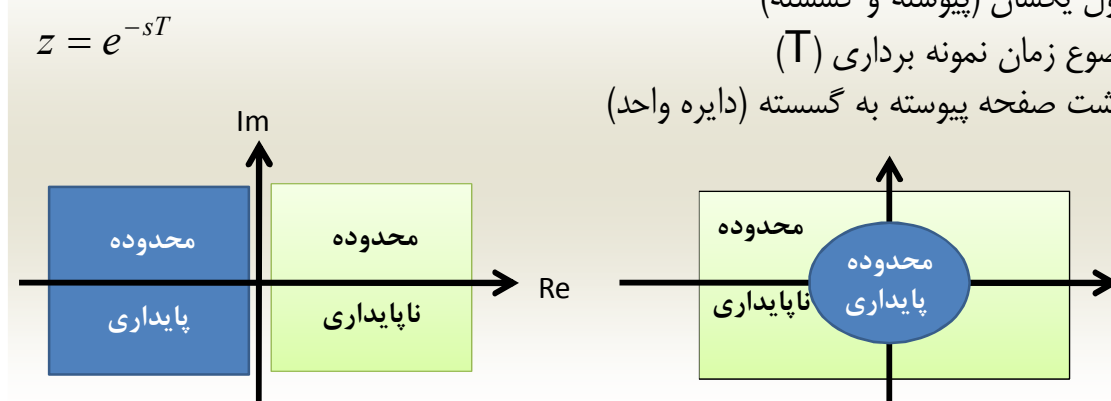
$$\frac{y(s)}{u(s)} = G(s) = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_0}$$

$$\frac{y(t)}{u(t)} = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_n z^{-n}}$$

موضوع تولید چند جمله ای های گسسته

تبدیل Z

پایداری سیستم های گسسته خطی
اصول یکسان (پیوسته و گسسته)
موضوع زمان نمونه برداری (T)
نگاشت صفحه پیوسته به گسسته (دایره واحد)



پاسخ به سوالات

عبدالمجید خوشنود

khoshnood@kntu.ac.ir
<http://wp.kntu.ac.ir/khoshnood>

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

