8.4. SÜZGEÇLERİN YATAY KAYMASININ SAPTANMASI

Birçok süzgecin sinc yanıtı genellikle biri düzgünleyici, diğeri salınımlı olmak üzere iki fonksiyonun toplamları şeklindedir. Salınımlı fonksiyonun örnekleme aralığının iki katına eşit bir periyodunun olduğu gözlenmiştir. Düzgünleyici fonksiyon, salınımlı fonksiyona göre daha hızlı bir şekilde eksi ve artı yatay eksen yönlerinde sıfıra yaklaşır. Bu nedenle, örnekleme noktaları, *sinc* yanıtın salınımlı parçasının sıfıra yaklaştığı noktalarla uyum sağlayacak şekilde seçilirse, süzgeçlerin boyu kısaltılabilir. Bu amaçla süzgeç fonksiyonuna yatay eksen boyunca bir kayma uygulanır. Yöntemin türetimi Koefoed(1972) tarafından yapılmış ve sinc yanıtın salınımlı bileşeninin, faz izgesinin Nyquist frekansında kesilmesi nedeniyle oluştuğu yargısına varılmıştır. (8.1.16) denkleminde kısalık için,

$$g = 2\pi ft + \phi(f)$$

yazılarak, $\partial g / \partial f = 2\pi t + d\phi(f) / df$ olduğundan, kısmi integrasyon uygulaması ile izleyen eşitlikler elde edilebilir:

$$b(k.\Delta t) = 2\Delta t \int_0^{f_N} \frac{A(f)}{\partial g/\partial f} d(\sin(g)),$$

$$b(k.\Delta t) = 2 \cdot \Delta t \left\{ \left| \frac{A(f) \cdot \sin g}{(\partial g / \partial f)} \right|_0^{f_N} - \int_0^{f_N} \left[\frac{A(f) / df}{\partial g / \partial f} - \frac{A(f) \cdot \partial^2 g / \partial f^2}{(\partial g / \partial f)^2} \right] \cdot \sin g \cdot df \right\}.$$

İlk terimde integral limitlerinin yerine konulması ile

$$b(k.\Delta t) = \frac{A(f_N)\sin(2\pi f_N t + \phi(f_N))}{2\pi f_N t + f_N \cdot \phi(f_N)} - \int_0^{f_N} \frac{\partial}{\partial f}\left[\frac{A(f)}{2\pi f_N t + f_N \ \partial[\phi(f_N)] / \partial f} \right] \sin(2\pi f_N t + \phi(f))\ df \tag{8.4.1}$$

yazılabilir. Sağ yanda birinci terim salınımlı fonksiyonu, ikinci terim ise düzgünleyici fonksiyonu tanımlar. Salınımlı fonksiyonun sıfır değerleri

$$\sin(2\pi f_N t + \phi(f_N)) = 0$$

terimi tarafından denetlenir. Burada, $\phi(f_N)$ Nyquist frekansındaki faz izgesinin değeridir. Bu terimin sıfır olması için aşağıdaki eşitliğin gerçekleşmesi gerekir:

$$2\pi f_N t + \phi(f_N) = n.\pi$$

Burada *n* pozitif veya negatif bir tamsayıdır. Bu denklemden *t* çekilirse,

$$t = \frac{n.\pi - \phi(f_N)}{2\pi f_N} = n.\Delta t - \frac{\phi(f_N)}{2\pi f_N} \tag{8.4.2}$$

bağıntısı ile salınımlı terimin sıfırdan geçtiği yatay eksen değerleri bulunabilir. *n*=0 değeri için yatay kayma değeri, (8.4.2) bağıntısından

$$t_0 = -\frac{\phi(f_N)}{2\pi f_N} \tag{8.4.3}$$

olarak bulunabilir. Bu durumda, diğer yatay eksen değerleri için

$$t = t_0 + n.\Delta t$$

yazılabilir. t_0 ; ***yatay kayma*** olarak adlandırılır ve süzgeç merkezine en yakın katsayının yatay eksen değerine eşit olması beklenir. Eşit değil ise örnekleme aralığının tam katları eklenerek veya çıkarılarak, yatay kaymanın mutlak değeri en küçük yatay eksen değeri haline getirilir. Hesaplanabilmesi için Nyquist frekansındaki faz izgesinin değerini bilmek yeterlidir. Bir örnek vermek amacı ile süzgeç belirtkeninin

$$H(f) = i2\pi f \tag{8.4.4}$$

olduğunu varsayalım. Bu durumda genlik ve faz,

$$A(f) = |2\pi f|$$

$$\phi(f) = arctan(2\pi f / 0) = arctan(\infty) = \pi / 2 \qquad f > 0$$

$$\phi(f) = 0 \qquad f = 0$$

$$\phi(f) = -\pi / 2 \qquad f < 0$$

olacaktır. (8.4.3) bağıntısında bu değer yerine yazılır ise yatay kayma miktarı

$$t_0 = -\frac{\pi / 2}{2\pi f_N} = -\frac{\Delta t}{2} \tag{8.4.5}$$

olarak bulunabilir ve

$$t = -\Delta t / 2 \mp n.\Delta t$$

yatay eksen değerleri için *sinc* yanıtın salınımlı parçası sıfır değerlerinden geçecek ve *sinc* yanıt, yalnızca düzgünleyici fonksiyonunun değerlerinden türetilecektir. (8.4.1) denkleminden salınımlı ve düzgünleyici fonksiyonlar ayrı ayrı saptanmaya çalışılır ise salınımlı fonksiyon

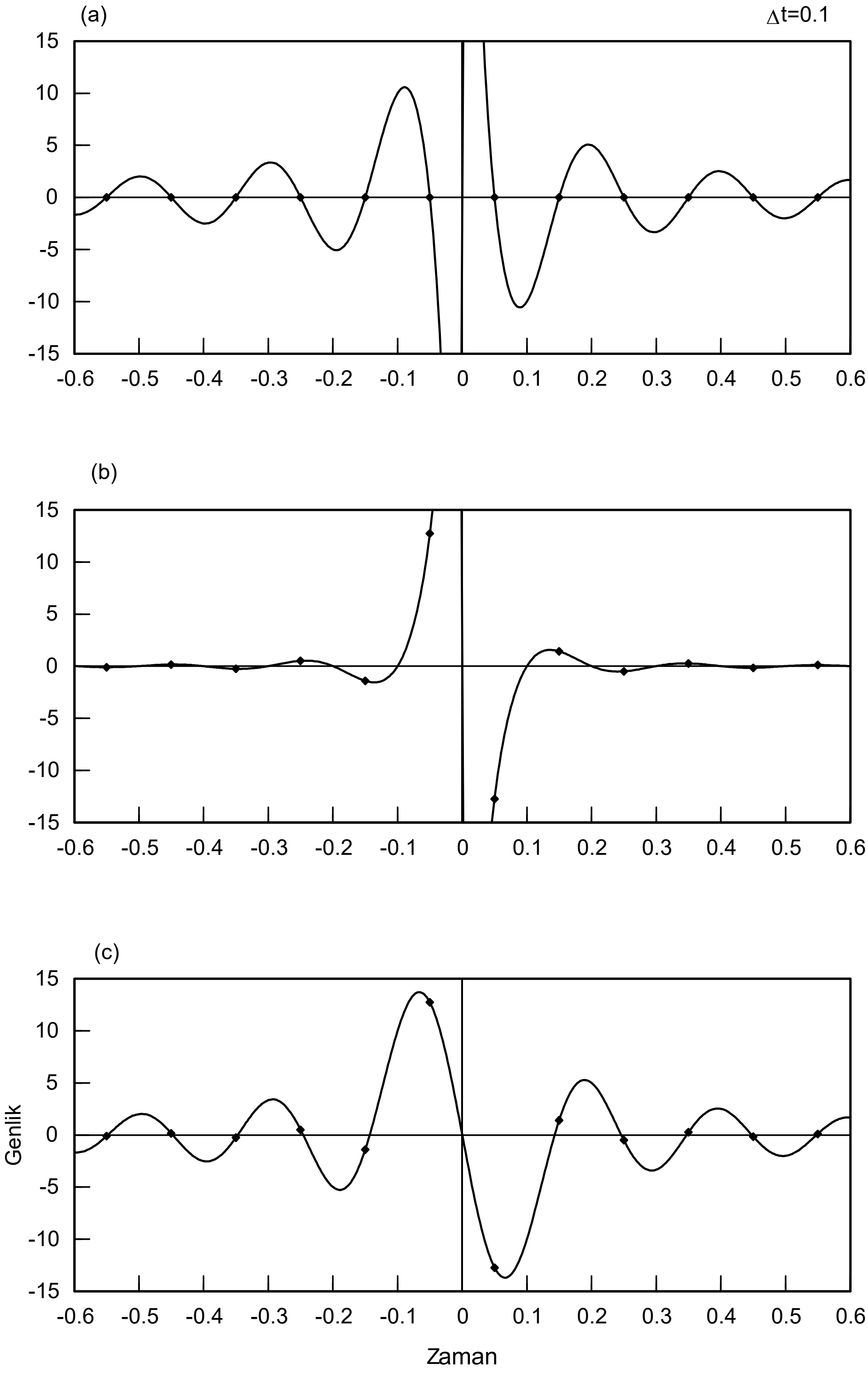
$$s(t) = 2\pi f_N \cdot \frac{sin(2\pi f_N t + \pi/2)}{2\pi f_N t} = \frac{cos(2\pi f_N t)}{t}$$

olarak bulunabilir. Bu fonksiyon Şekil 8.3.5a'da çizilmiştir. $t=(n-1/2)\Delta t$ değerleri için kosinüs fonksiyonu sıfır değerlerinden geçer. Şekil 8.3.5b'de görüntülenen düzgünleyici fonksiyon, (8.4.1) bağıntısından, izleyen şekilde bulunabilir:

$$d(t) = -2\Delta t \int_0^{f_N} \frac{2\pi}{2\pi t} sin(2\pi f_N t + \pi / 2)\, df = -\frac{sin(2\pi f_N t)}{2\pi f_N t^2}.$$

Bu iki fonksiyonun toplamından oluşan sinc yanıt ise Şekil 8.3.5c'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi sinc yanıtın örneklenmiş değerleri salınımlı fonksiyonun sıfır olduğu yerlerden seçilirse daha kısa bir süzgeç kurulabilir. Buradaki gibi sinc yanıtın salınımlı ve düzgünleyici parçalarını ayrı bağıntılar ile tanımlamak her zaman olanaklı değildir. Ancak, (8.4.3) denkleminden verilen herhangi bir Δt örnekleme aralığı için yatay kayma miktarı hesaplanabilir. Böylece, salınımlı parçanın sıfır değerini aldığı yatay eksen değerlerinde süzgeç katsayılarının hesaplanması sağlanabilir. Örnekleme aralığını önceden saptayıp buna karşılık gelen yatay kayma değerini hesaplamak yerine, diğer bir yöntemde yatay kaymayı sıfır yapan örnekleme aralığı kullanmaktır.

(8.4.3) denkleminden de görüleceği gibi yatay kaymanın sıfır olması, faz belirtkeninin sıfır olduğu değerlerden birinin Nyquist frekansı olarak seçilmesi ile olanaklıdır. Faz belirtkeninin sıfır olduğu değerler ise sanal bileşenin sıfır, yani süzgeç belirtkeninin tamamen gerçel olduğu frekans değerleridir. Ancak, her süzgeç belirtkeninin sanal bileşeninin sıfır değerleri olmayabilir ve her süzgeç için yatay kayma sıfır yapılamaz.



Şekil 8.3.5. Genlik belirtkeni (8.4.4) bağıntısı ile verilen süzgecin salınımlı (a), düzgünleyici (b) bölümleri ve süzgeç katsayıları (c).

8.5. SÜZGEÇLERİN KURULMASI VE DENENMESİ

Süzgeç fonksiyonu, bir süzgecin işlevi ile ilgilidir. Süzgeç katsayıları ise süzgeç fonksiyonunun, sinc veya sinsh ile evrişiminden elde edilirler. sinc fonksiyonu örnekleme aralığına bağlı olduğundan, süzgeç katsayıları da örnekleme aralığına bağlıdır. Bu nedenle, giriş verisi ile aynı örnekleme aralığında örneklenmiş süzgeç katsayılarının üretilmesi bir zorunluluktur. Diğer bir seçenek ise giriş verisinin, mevcut süzgeç katsayıları ile aynı aralıkta örneklenmesidir. Süzgeç katsayılarının yukarıda verilen yöntemlerden biriyle saptanmasından sonra, sorun süzgeç katsayılarının seçimine indirgenmiş olur. Süzgeç katsayılarının doğal numaralandırılması, yatay eksen değerine bağımlı olarak gerçekleştirilir. Yatay eksen değerleri, örnekleme aralığı ile bir tamsayının çarpımına eşit olduğundan, bu tamsayı aynı zamanda süzgeç katsayısının numarasını betimler. Eğer Δt=0.5 ise $b(-1.5)$, b_{-3} olarak numaralandırılır. Süzgeçleme işlemine bir örnek vermek için, $g_1, g_2, g_3,...,g_7$ ayrık değerlerinden oluşan giriş verisi ile b_{-1}, b_0, b_1, b_2 katsayı numaralı dört süzgeç katsayısının evrişimi aşağıda gösterilecektir. Gerçek uygulamalarda dört katsayılı süzgeç düzenlemek yeterli sayısal doğruluğu sağlayamayabilir. Burada, artı numaralı katsayılar, yatay eksen değeri artı ve eksi numaralı katsayılar ise yatay eksen değeri eksi olan katsayıları göstermektedir. b_0, merkezdeki veya süzgecin yatay kayması var ise merkeze en yakın katsayıyı göstermektedir.

İki sayısal verinin evrişimi için bunlardan biri merkez etrafında ters çevrilmelidir. Giriş verisinin boyu daha uzun olduğundan, en uygun yol süzgeç katsayılarını ters çevirmektir. Evrişim işlemi süzgecin ters çevrilmesinden sonra her iki fonksiyonun ilk değerlerinin çarpılmasıyla başlar. Ancak süzgeçleme işleminde her iki ayrık değerler dizisi tamamı ile alt alta gelmeden hesaplanan sayılar yeterli doğrulukta olmayacaktır. Aşağıda süzgecin ilk çıkışını veren işlem gösterilmiştir:

$$\begin{matrix} g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 \\ b_2 & b_1 & b_0 & b_{-1} & & & \end{matrix}$$

Alt alta gelen sayılar birbirleriyle çarpılır ve çarpım sonuçları toplanarak çıkış verisine ait bir noktanın sayısal değeri bulunur. Verilen örnek için çıkış verisinin ilk sayısal değeri

$$f_1 = g_1.b_2 + g_2.b_1 + g_3.b_0 + g_4.b_{-1}$$

olarak bulunabilir. Süzgeç katsayıları bir örnekleme aralığı kadar kaydırılarak,

$$\begin{matrix} g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 \\ & b_2 & b_1 & b_0 & b_{-1} & & \end{matrix}$$

ve ikinci çıkış değeri

$$f_2 = g_2.b_2 + g_3.b_1 + g_4.b_0 + g_5.b_{-1}$$

olarak bulunabilir. Üçüncü ve dördüncü çıkış değerleri aşağıdaki işlemler ile hesaplanabilir:

$$\begin{matrix} g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 \\ & & b_2 & b_1 & b_0 & b_{-1} & \end{matrix}$$

$$f_3 = g_3.b_2 + g_4.b_1 + g_5.b_0 + g_6.b_{-1}$$

$$\begin{matrix} g_1 & g_2 & g_3 & g_4 & g_5 & g_6 & g_7 \\ & & & b_2 & b_1 & b_0 & b_{-1} \end{matrix}$$

$$f_4 = g_4.b_2 + g_5.b_1 + g_6.b_0 + g_7.b_{-1}$$

Süzgeç katsayıları bir örnekleme aralığı kadar kaydırılır ise b_{-1} katsayısı ile çarpılacak veri bulunmadığından süzgeçleme işlemi sona erdirilir. Çıkış verisinin sayısı, başlangıçta iki (süzgecin artı numaralı katsayı adedi) ve son kısmında ise bir (eksi numaralı katsayı adedi) örnekleme aralığı kadar daha kısalmıştır. Bu örnek, evrişim ile süzgeçleme arasındaki farkı göstermektedir. Süzgeçleme ile elde edilen çıkış değerlerinin sayısı,

$$k = n - m + 1 \qquad (8.5.1)$$

bağıntısı ile bulunabilir. n; giriş verisinin ve m süzgeç katsayılarının sayısıdır. Süzgeçleme sırasında çıkış verisinin boyunun kısalmasıyla bilgi kaybı oluşur. Çıkış verisinin uzunluğundaki toplam kısalma,

$$(p + r)\Delta t = (m - 1)\Delta t$$

kadar olacaktır. Bu örnekten yola çıkarak, n adet veri ve m adet süzgeç katsayısının evrişimi ile elde edilecek çıkış değerlerini veren toplam izleyen şekilde yazılabilir:

$$f_i = \sum_{j=-p}^{r} b_j \, g_{i-j+r} \qquad i = 1, 2,..,n-m+1. \qquad (8.5.2)$$

Burada, p ve r sırası ile süzgecin merkezinden eksi ve artı eksen yönlerindeki süzgeç katsayılarının sayısıdır. j; süzgeç katsayılarının sıra numarasıdır.

Herhangi bir sayısal çıkış değerinin ait olduğu yatay eksen değeri, süzgeç merkezindeki katsayının (b_0), giriş verisinde çarpılmış olduğu katsayının, yatay eksen değerine eşittir. Süzgeçte yatay kayma var ise çıkış verisinin yatay eksen değeri de, kayma miktarı kadar ötelenir. İlk çıkışın yatay eksen değeri, girişin ilk sayısal değerinin yatay eksen değerinden

$$t_{f1} = t_{g1} + r\Delta t + t_0 \qquad (8.5.3)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. İlk sayısal çıkışın yatay eksen değerinin bilinmesi ile diğer yatay eksen değerleri de,

$$t_{fi} = t_{fi-1} + \Delta t \qquad i = 2, 3,\ldots, n-m+1 \qquad (8.5.4)$$

bağıntısından hesaplanabilir.

(8.5.2) bağıntısı, bilgisayar programı aracılığı ile yapılacak hesaplamalar için kullanışlı olmayabilir. Çünkü programlama dillerinde eksi numaralı dizi elemanları tanımlamak olanaklı değildir. Eğer süzgeç katsayıları ve veri, 1 den m kadar veya 0 ile $m-1$ arasında numaralandırılır ise sırası ile izleyen bağıntılar da çıkışın sayısal değerlerini üretir:

$$f_i = \sum_{j=1}^{m} b_j \, g_{i-j+m} \qquad İ = 1, 2,\ldots, n-m+1, \qquad (8.5.5a)$$

$$f_i = \sum_{j=0}^{m-1} b_j \, g_{i-j+m-1} \qquad i = 0,1, 2,..,n-m. \qquad (8.5.5b)$$

(8.5.2) ve (8.5.5) bağıntıları arasında sadece numaralandırma açısında fark bulunmaktadır.

Süzgeç katsayılarının hesaplanmasında kullanılan yöntemden bağımsız olarak süzgeç katsayıları geniş bir aralıkta elde edilmek zorundadır. Daha sonra süzgeç katsayıları t = 0 noktası civarındaki bir aralıkta, toplamları belirli bir sayıya eşit olacak şekilde seçilir. Bu sayıyı saptamak için süzgece bir sabitin giriş olarak uygulandığı düşünülür. Bu durumda katsayılar toplamı da çıkışın alması gereken sayısal değere eşitlenir. Katsayıları b_{-1}, b_0, b_1, b_2 olan bir süzgece sabit bir sayı giriş olarak uygulandığında, çıkış

$$f_1 = a.b_2 + a.b_1 + a.b_0 + a.b_{-1} = a.(b_2 + b_1 + b_0 + b_{-1})$$

olacaktır. Buradan, süzgece bir sabit giriş olarak verildiğinde beklenilen çıkışın, katsayılar toplamınına eşit olması gerektiği görülür. Örneğin, süzgeç türev almakta ise bir sabitin türevi sıfır olduğundan, katsayılar toplamı da sıfır olmalıdır. Eğer, giriş olarak uygulanan sabitin bire eşit olduğu düşünülür ise (8.1.2) bağıntısından çıkış,

$$f(t) = 1 * h(t)$$

olarak verilebilir. Bu eşitliğin Fourier dönüşümü ile

$$F(f) = \delta(f).H(f) = \delta(f).H(0)$$

yazılabilr ve Ters Fourier dönüşümü ile birim değere süzgecin verdiği yanıt bulunabilir:

$$f(t) = 1 * H(0) = H(0)\,. \qquad (8.5.6)$$

Buradan, katsayılar toplamının süzgeç belirtkeninin sıfır frekansındaki değerine eşit olması gerektiği görülebilir. Ancak, zaman bölgesinde süzgeç kurar iken bu sayıya (yani katsayılar toplamının eşit olması gereken sayıya), kuramsal olarak sonsuz sayıda katsayının toplamı ile erişilir. Uygulamada ise belirli sayıda katsayıdan oluşan bir katsayı kümesi ile çalışılır. Bunun için geniş bir aralıkta fazla sayıda katsayı hesaplanır ve bunların içinden merkez civarında bir katsayı kümesi seçilir. Süzgeçlemede kullanılacak katsayıları seçiminde iki nokta göz önünde tutulmalıdır. Az sayıda katsayı kullanılması duyarlılığı bozar. Çok seçilmesi ise gereksiz işlemlere ve çıkış verisinin kısalmasına neden olur. Bu yüzden süzgeçten istenen duyarlılık önceden saptanmalıdır. Çoğu durumda, istenilen duyarlılığı sağlayacağı düşünülen katsayı kümesinin ilk ve son katsayılarının değerleri değiştirilerek, katsayılar toplamı sabitlenir. Bu yol ile birkaç katsayı kümesi belirlenir. Her küme kuramsal giriş ve çıkış fonksiyonları kullanılarak denenir. Deneme işlemi için önce süzgece kuramsal giriş fonksiyonu uygulanır ve (8.1.6) bağıntısı ile çıkış elde edilir. $f^*(t)$ ile gösterilen bu çıkışa, ***gerçekleşen çıkış*** adı verilir. Gerçekleşen çıkış, ***istenen çıkış*** olarak adlandırılan kuramsal çıkış $f(t)$ ile her yatay eksen değerinde karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda bulunan farklar, ***yüzde bağıl yanılgı*** olarak ifade edilir:

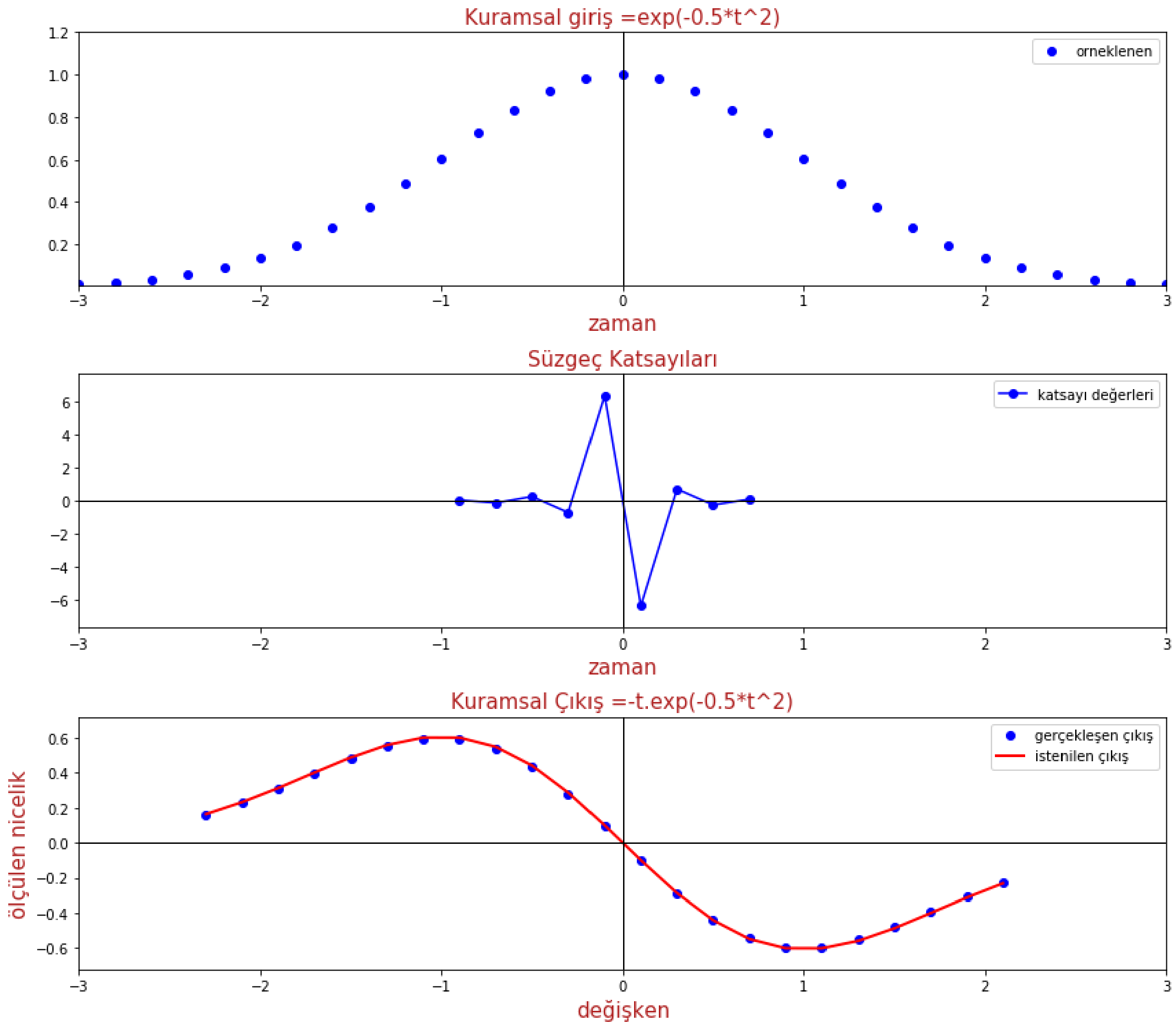
$$\%\ \text{bağıl yanılgı} = 100.\left[f(t_i) - f^*(t_i)\right] / f^*(t_i)\,. \qquad (8.5.7)$$

Burada $f(t_i)$ kuramsal çıkışın sayısal değerleridir. Süzgecin kullanılma amacı açısından önemli olmayan mertebede yanılgı üreten katsayılar kümesinin seçimi ile süzgeç kurma işlemi sona ermiş olur.

8.6. UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Zaman bölgesinde süzgeç düzenlenmek için öncelikle örnekleme aralığı ve süzgecin kaç basamak duyarlılık ile hesaplanacağı konularında karar verilmelidir. Pozitif ve negatif numaralı katsayıların adedi hakkında deneme-yanılma yolu ile karar verilir. Hesaplanan süzgeç katsayılarının bilinen bir giriş ve çıkış fonksiyonları için sınanması gerekir. Çizelge 8.6.1'de $exp(-0.5\ t^2)$ şeklindeki bir

Gaussian fonksiyonundan 0.2 saniye aralıklar ile hesaplanmış giriş verisinin sayısal değerleri verilmiş ve Şekil 8.6.1a'da görüntülenmiştir. Çizelge 8.6.2'de verilen birinci türev süzgecinin katsayıları, Şekil 8.6.1b'de görüntülenmiştir. Şekil 8.6.1c'de ise kuramsal girişin türevi olan $-t.exp(-0.5\ t^2)$ fonksiyonu sürekli eğri ve süzgeçleme işlemi ile hesaplanan çıkış verisi noktalar ile gösterilmiştir. Süzgeçleme sonucu hesaplanan çıkış (gerçekleşen çıkış), kuramsal çıkış (istenilen çıkış) ve ikisi arasındaki yüzde bağıl yanılgının sayısal değerleri Çizelge 8.6.3'de görülmektedir. Süzgecin yeterli duyarlılıkta çalıştığı anlaşılmaktadır.



Şekil 8.6.1. (a) Kuramsal giriş (Gaussian fonksiyonu), (b) süzgeç katsayıları ve (c) noktalar ile gösterilen süzgeç çıkışı ile sürekli eğri ile betimlenen kuramsal çıkışın (Gaussian fonksiyonunun türevi) karşılaştırılması.

Çizelge 8.6.1. Süzgeci sınamak amacı ile $exp(-0.5\ t^2)$ fonksiyonundan hesaplanan giriş verisi.

Zaman	Giriş Değerleri
–3	0.011109
–2.8	0.019841
–2.6	0.034047
–2.4	0.056135
–2.2	0.088922
–2	0.135335
–1.8	0.197899
–1.6	0.278037
–1.4	0.375311
–1.2	0.486752
–1	0.606531
–0.8	0.726149
–0.6	0.83527
–0.4	0.923116
–0.2	0.980199
0	1
0.2	0.980199
0.4	0.923116
0.6	0.83527
0.8	0.726149
1	0.606531
1.2	0.486752
1.4	0.375311
1.6	0.278037
1.8	0.197899
2	0.135335
2.2	0.088922
2.4	0.056135
2.6	0.034047
2.8	0.019841
3	0.011109

Çizelge 8.6.2. Birinci türev süzgecinin katsayıları.

Katsayı No	Yatay Eksen	Süzgeç Katsayıları (*sinc* yanıt)
–4	–0.90	0.039297
–3	–0.70	–0.129922
–2	–0.50	0.254648
–1	–0.30	–0.707355
0	–0.10	6.366198
1	0.10	–6.366198
2	0.30	0.707355
3	0.50	–0.254648
4	0.70	0.090624

Çizelge 8.6.3. Süzgeç çıkışı ile kuramsal verilerin karşılaştırılması.

Yatay Eksen	İstenilen Çıkış	Gerçekleşen Çıkış	% bağıl yanılgı
–2.30	1.6331e-01	1.6206e-01	7.6967e-01
–2.10	2.3153e-01	2.2950e-01	8.7619e-01
–1.90	3.1250e-01	3.0948e-01	9.6773e-01
–1.70	4.0077e-01	3.9656e-01	1.0506e+00
–1.50	4.8698e-01	4.8147e-01	1.1311e+00
–1.30	5.5842e-01	5.5163e-01	1.2161e+00
–1.10	6.0068e-01	5.9278e-01	1.3147e+00
–0.90	6.0028e-01	5.9163e-01	1.4408e+00
–0.70	5.4789e-01	5.3901e-01	1.6208e+00
–0.50	4.4125e-01	4.3278e-01	1.9200e+00
–0.30	2.8680e-01	2.7942e-01	2.5713e+00
–0.10	9.9501e-02	9.3874e-02	5.6559e+00
0.10	–9.9501e-02	–1.0286e-01	–3.3795e+00
0.30	–2.8680e-01	–2.8759e-01	–2.7414e-01
0.50	–4.4125e-01	–4.3940e-01	4.1880e-01
0.70	–5.4789e-01	–5.4361e-01	7.8088e-01
0.90	–6.0028e-01	–5.9400e-01	1.0456e+00
1.10	–6.0068e-01	–5.9300e-01	1.2787e+00
1.30	–5.5842e-01	–5.5001e-01	1.5075e+00
1.50	–4.8698e-01	–4.7847e-01	1.7469e+00
1.70	–4.0077e-01	–3.9273e-01	2.0068e+00
1.90	–3.1250e-01	–3.0533e-01	2.2951e+00
2.10	–2.3153e-01	–2.2546e-01	2.6193e+00

İkinci örnek olarak, giriş ve çıkışı arasında izleyen,

$$f(t) = g(t) - \partial g(t) / \partial t \qquad (8.6.1)$$

bağıntısı bulunan süzgecin katsayıları Çizelge 8.6.4'de verilmiştir. Süzgeç, Çizelge 8.6.1'deki giriş verisi ile sınanacaktır. Şekil 8.6.2a'da Gaussian fonksiyonunun örneklenmiş değerleri ve Şekil 8.6.2b'de ise süzgeç katsayıları gösterilmiştir. Giriş verisine süzgeç uygulaması ile gerçekleşen çıkış, Şekil 8.6.2c'de noktalar ile görüntülenmiştir. Sürekli eğri ise $exp(-0.5\ t^2) + t\, exp(-0.5\ t^2)$ bağıntısı ile verilen kuramsal çıkışı göstermektedir.

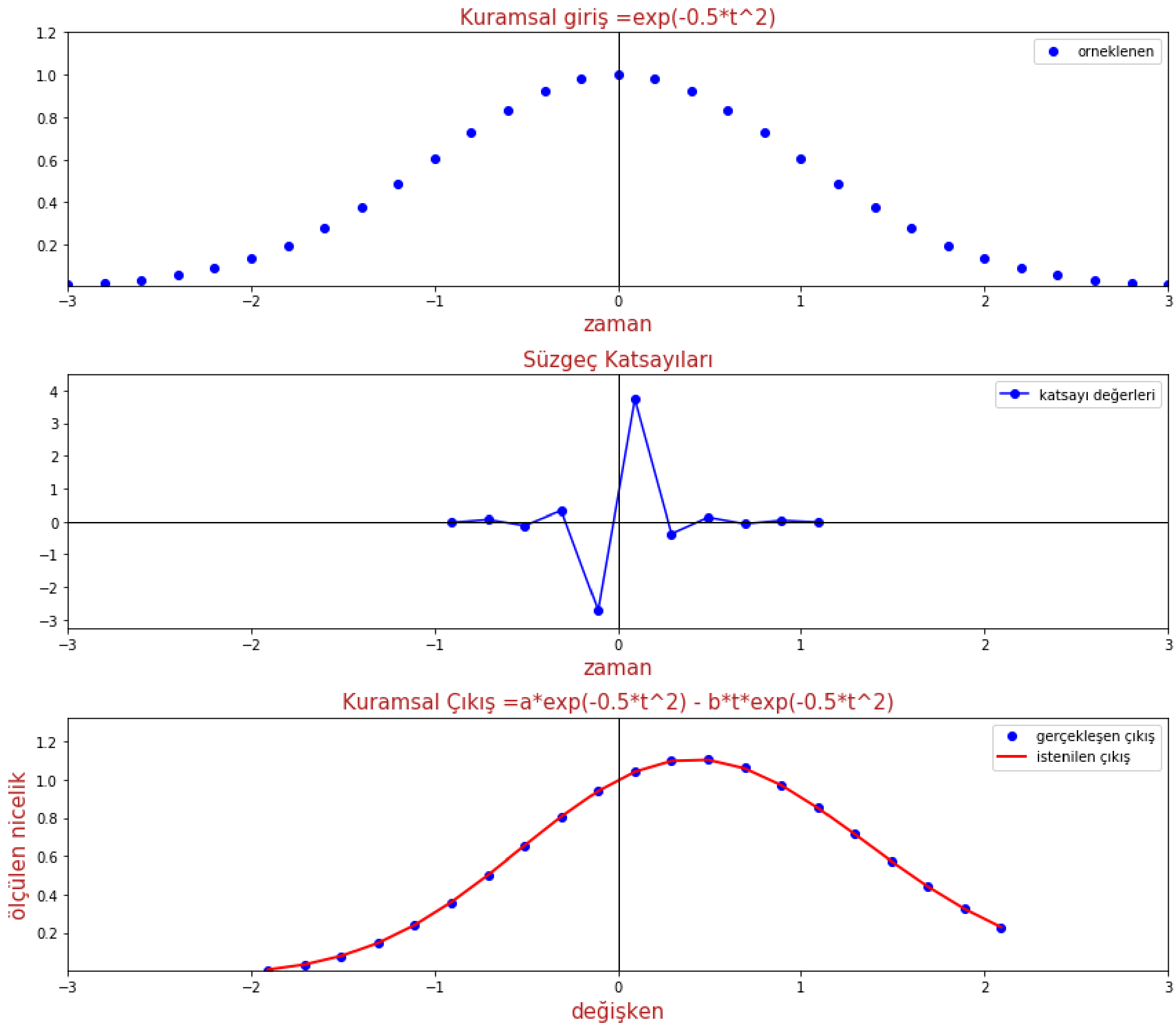
Üçüncü örnek için, bir önceki örnekteki giriş ve çıkış fonksiyonlarının yer değiştirmesi ile elde edilen izleyen ilişki kullanılacaktır:

$$g(t) = f(t) - 0.5\ \partial f(t) / \partial t\ . \qquad (8.6.2)$$

Örnekleme aralığı 0.1 sn alınmıştır. Çizelge 8.6.5'de süzgeç katsayıları görülmektedir. Bir süzgecin katsayıları negatif ve positif eksen yönlerinde mertebe olarak aynı sayısal değerlerde olması gerektiğinden, bu süzgeç düşey eksene göre bakışımlı değildir. Şekil 8.6.3'de giriş değerleri (a), süzgeç katsayıları (b) ve çıkış değerleri (c) görülmektedir. Süzgeç negatif yatay eksen değerleri boyunca daha fazla olduğundan, çıkış değerlerinde pozitif yatay eksen değerlerinde aşırı kayıp oluşmuştur.

Çizelge 8.6.4. İkinci örnek (8.6.1 bağıntısı) için süzgeç katsayıları.

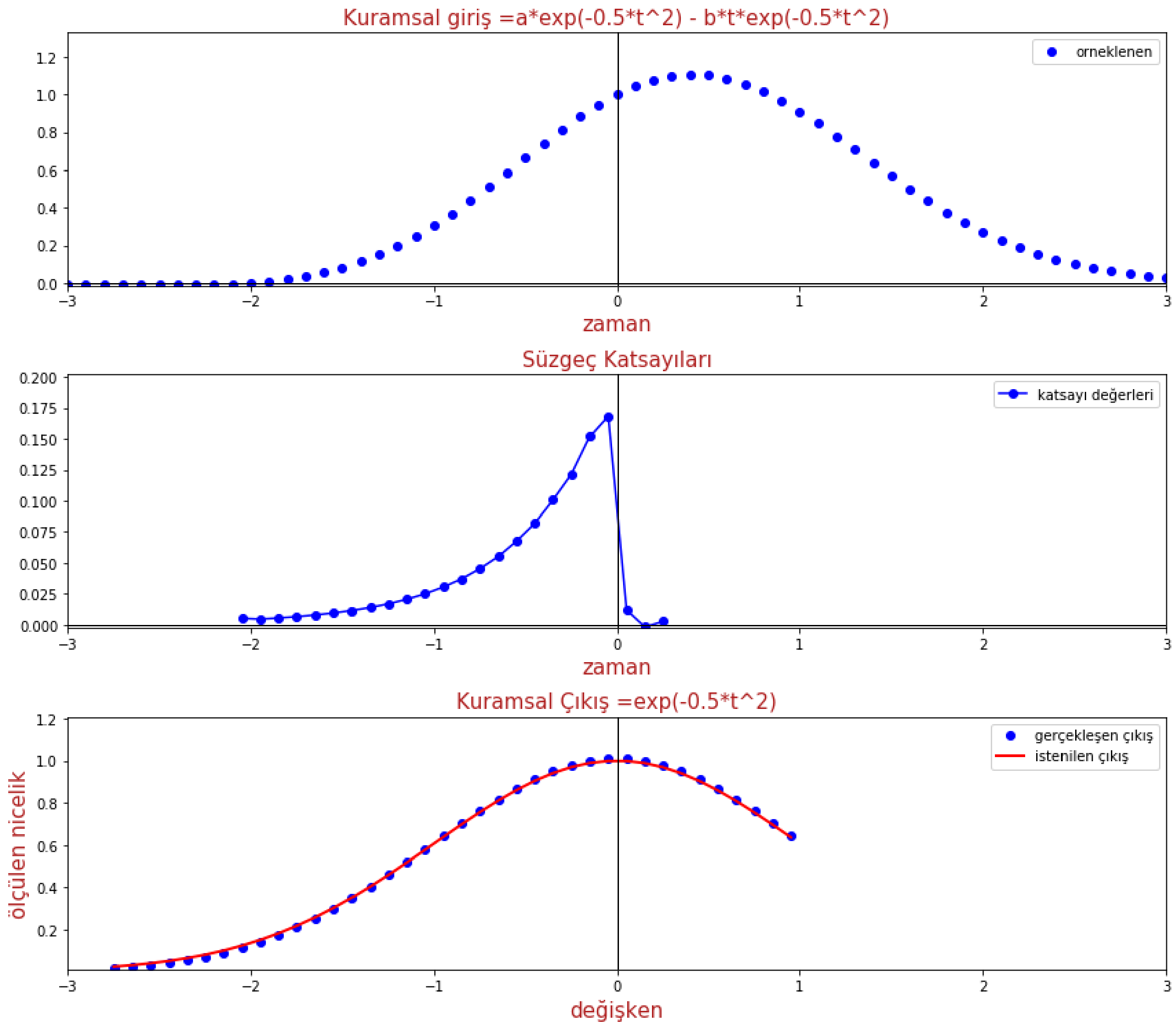
Katsayı No	Yatay Eksen	Süzgeç Katsayıları (*sinc* yanıt)
–4	–0.70	0.089062
–3	–0.50	–0.250069
–2	–0.30	0.687257
–1	–0.10	–5.868667
0	0.10	6.900622
1	0.30	–0.725366
2	0.50	0.258298
3	0.70	–0.131172
4	0.90	0.040036



Şekil 8.6.2. İkinci örnek (8.6.1) bağıntısı için (a) Kuramsal giriş, (b) süzgeç katsayıları ve (c) noktalar ile gösterilen süzgeç çıkışı ile sürekli eğri ile betimlenen kuramsal çıkışın karşılaştırılması.

Çizelge 8.6.5. Üçüncü örnek (8.6.2 bağıntısı) için süzgeç katsayıları.

Katsayı No	Yatay Eksen	Süzgeç Katsayıları (*sinc* yanıt)
–20	–2.05	0.005211
–19	–1.95	0.004550
–18	–1.85	0.005478
–17	–1.75	0.006553
–16	–1.65	0.007915
–15	–1.55	0.009541
–14	–1.45	0.011550
–13	–1.35	0.013999
–12	–1.25	0.016974
–11	–1.15	0.020650
–10	–1.05	0.025064
–9	–0.95	0.030575
–8	–0.85	0.037127
–7	–0.75	0.045390
–6	–0.65	0.055107
–5	–0.55	0.067525
–4	–0.45	0.081860
–3	–0.35	0.100705
–2	–0.25	0.121342
–1	–0.15	0.151761
0	–0.05	0.168155
1	0.05	0.011936
2	0.15	–0.001713
3	0.25	0.002745



Şekil 8.6.3. Üçüncü örnek (8.6.2) bağıntısı için (a) Kuramsal giriş, (b) süzgeç katsayıları ve (c) noktalar ile gösterilen süzgeç çıkışı ile sürekli eğri ile betimlenen kuramsal çıkışın karşılaştırılması.