

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
plt.style.use(['science', 'notebook'])
from scipy.ndimage import convolve, generate_binary_structure

N = 100
grid = np.zeros((N,N,N))+0.5

grid[30:70,30:70,40] = 1
grid[30:70,30:70,90] = 0
mask_pos = grid==1
mask_neg = grid==0

kern = generate_binary_structure(3,1).astype(float)/6
kern[1,1,1] = 0
kern

def naumann(a):
    a[0,:,:] = a[1,:,:]
    a[-1,:,:] = a[-2,:,:]
    a[:,0,:] = a[:,1,:]
    a[:,N-1,:] = a[:,N-2,:]
    a[:, :,0] = a[:, :,1]
    a[:, :,N-1] = a[:, :,N-2]
    return a

err = []
iters = 2000
for i in range(iters):
    grid_updated = convolve(grid,kern, mode='constant')
    # Boundary conditions (neumann)
    grid_updated = naumann(grid_updated)
    # Boundary conditions (dirchlett)
    grid_updated[mask_pos] = 1
    grid_updated[mask_neg] = 0
    # See what error is between consecutive arrays
    err.append(np.mean((grid-grid_updated)**2))
    grid = grid_updated

slc = 40

plt.figure(figsize=(6,5))
CS = plt.contour(np.arange(N)/100, np.arange(N)/100, grid[slc],
levels=40)
plt.clabel(CS, CS.levels, inline=True, fontsize=6)

plt.axvline(0.2, ymin=0.3, ymax=0.7, color='r')
plt.axvline(0.8, ymin=0.3, ymax=0.7, color='g')
plt.show()

plt.semilogy(np.sqrt(np.array(err)), label='Good Guess')
plt.legend()
plt.xlabel('Iteration', fontsize=20)
plt.ylabel(r'RMSE')
plt.grid()
```

2. Membuat grid berukuran  $100 \times 100 \times 100$  yang diisi dengan nilai awal 0.5. Kemudian, sebagian grid diberikan kondisi khusus: Di area  $30:70, 30:70, 40:70, 30:70, 40:70, 30:70, 40$  diberikan nilai 1 dan di area  $30:70, 30:70, 90:70, 30:70, 90:70, 30:70, 90$  diberikan nilai 0. Sebuah kernel 3D (kern) dibuat dengan menggunakan `generate_binary_structure(3,1)`. Kernel ini berfungsi untuk menghitung rata-rata dari enam tetangga langsung dari setiap titik, namun tidak memperhitungkan titik pusatnya sendiri. Fungsi `naumann()` diterapkan untuk memperbarui nilai pada batas grid. Setiap sisi dari grid 3D akan mengambil nilai dari sisi di sebelahnya, seolah-olah memperpanjang batas agar mirip dengan kondisi di luar area grid. Error dihitung sebagai rata-rata kuadrat perbedaan antara grid sebelumnya dan grid yang telah diperbarui. Nilai error ini disimpan dalam daftar `err`. Potongan grid pada indeks ke-40 ditampilkan sebagai kontur 2D, dengan garis vertikal merah dan hijau untuk menunjukkan batas area di mana grid diatur.

