

# Prelucrarea numerică a semnalelor - Introducere

# Cuprins

- Ce este un semnal?
- Ce înseamnă PNS?
- Exemple de semnale și sisteme
- Istoric
- De ce prelucrăm semnalele în domeniul digital?
- Structura cursului
- Bibliografie
- Notare
- Alte probleme administrative

# Ce este un semnal?

- Un semnal reprezintă o mărime fizică variabilă în timp sau spațiu, care descrie un fenomen.
- Semnalele sunt modelate matematic ca funcții (continue sau discrete) ce variază în timp sau spațiu.
- Un **semnal** este o funcție care transmite informații despre comportamentul sau atributele unui fenomen.
- Semnalele pot varia în timp sau spațiu și pot avea diverse forme, în funcție de context (de exemplu, semnale audio, imagini, unde electromagnetice).

# Ce înseamnă PNS?

**P**RELUCRAREA

**N**UMERICĂ A

**S**EMNALELOR

# Ce înseamnă PNS?

## **PRELUCRARE**

manipulare, extragere informații, modificare a conținutului  
model abstract

## **SEMNAL**

- model (matematic) al unui proces (ex. fenomen fizic), care conține informație
- orice mărime care variază (în timp, spațiu etc.) poate transmite informație.

## **NUMERIC**

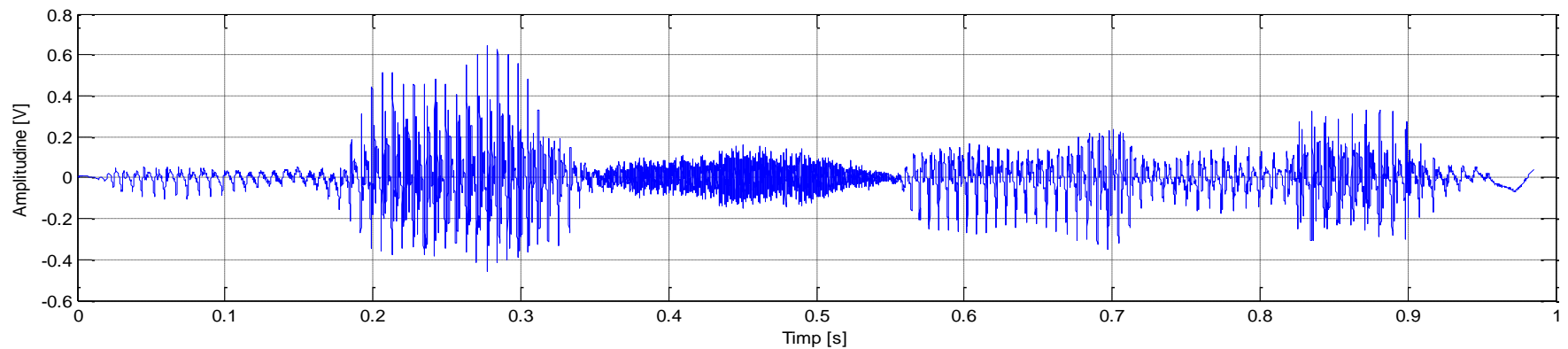
semnalele și prelucrarea acestora sunt în domeniul digital

# Ce înseamnă PNS?

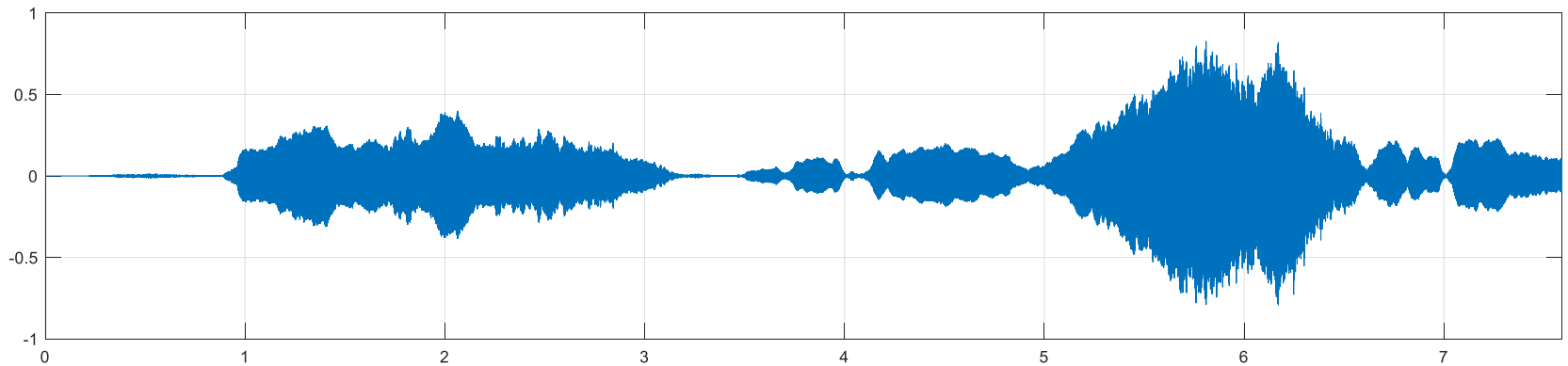
**Prelucrarea semnalelor** se referă la analiza, modificarea și sintetizarea semnalelor, folosind tehnici matematice diverse pentru a îmbunătăți sau extrage informații din ele. Printre operațiile comune din prelucrarea semnalelor se numără:

- **Filtrarea:** Eliminarea zgomotului sau a componentelor nedorite dintr-un semnal.
- **Compresia:** Reducerea cantității de date necesare pentru a reprezenta un semnal.
- **Transformarea:** Schimbarea reprezentării unui semnal (de exemplu, Transformata Fourier pentru a trece din domeniul timpului în domeniul frecvenței).
- **Detecția și estimarea:** Identificarea și măsurarea unor caracteristici sau parametri din semnal.

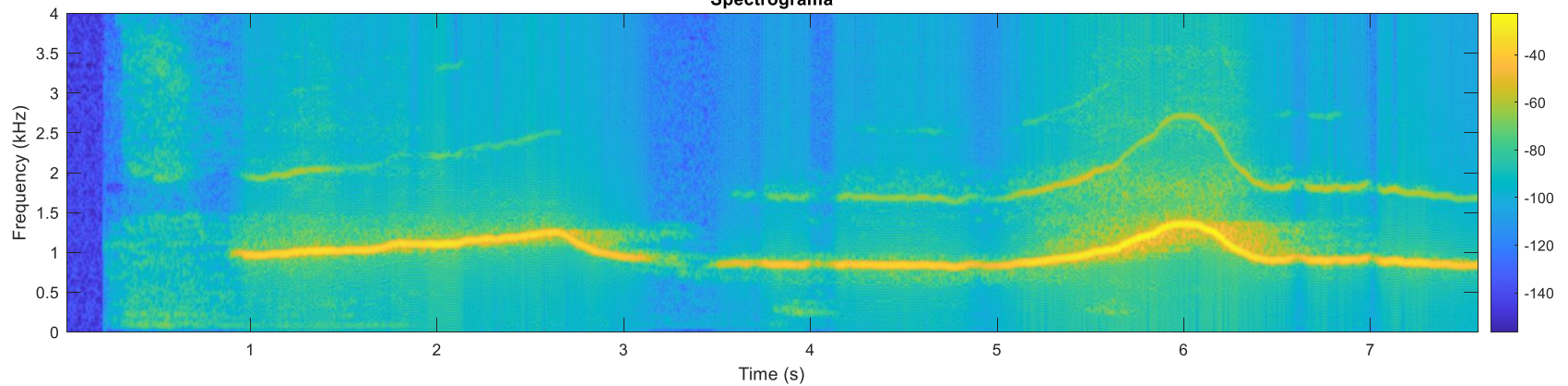
# Semnalul vocal



# Semnalul vocal

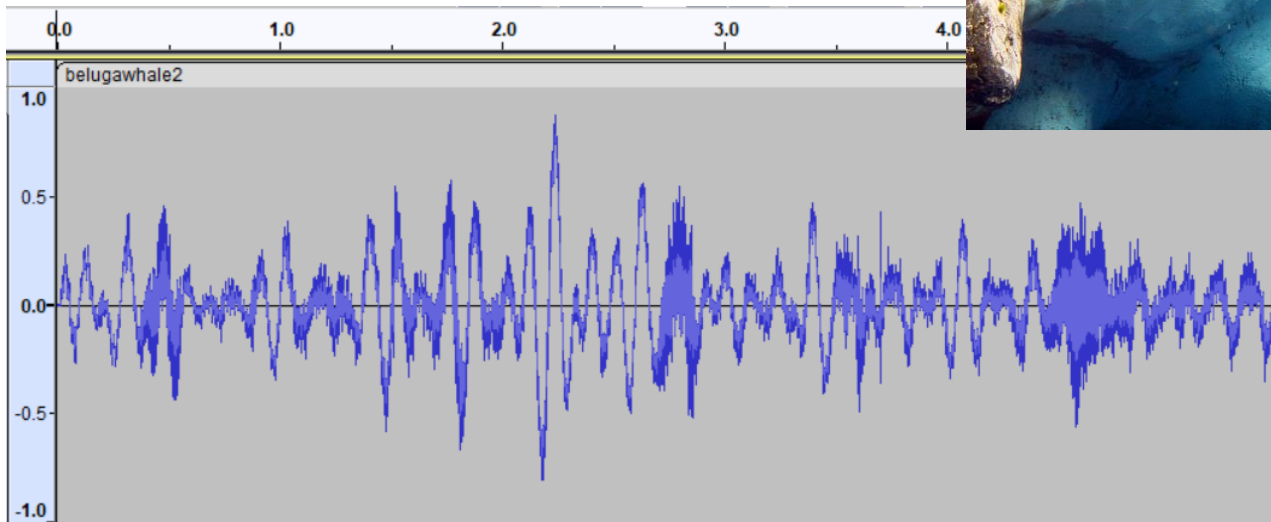


Spectrogram





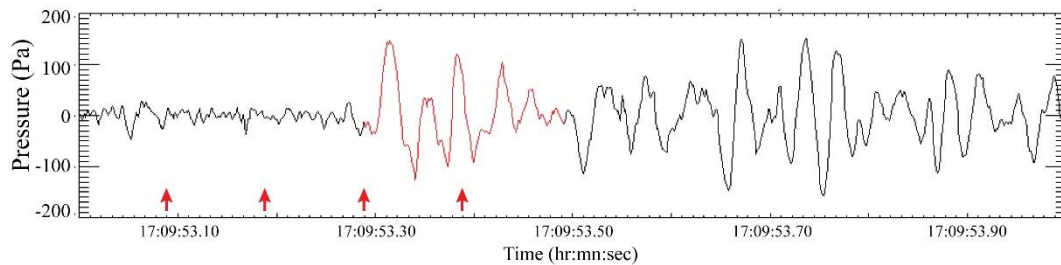
# Alte semnale naturale



Small group of belugas recorded in St. Lawrence, Canada. Sound courtesy of Peter M. Scheifele, Department of Communication Sciences and Disorders and Medical Education, University of Cincinnati Medical Center. Released under Released under CC BY-NC License.

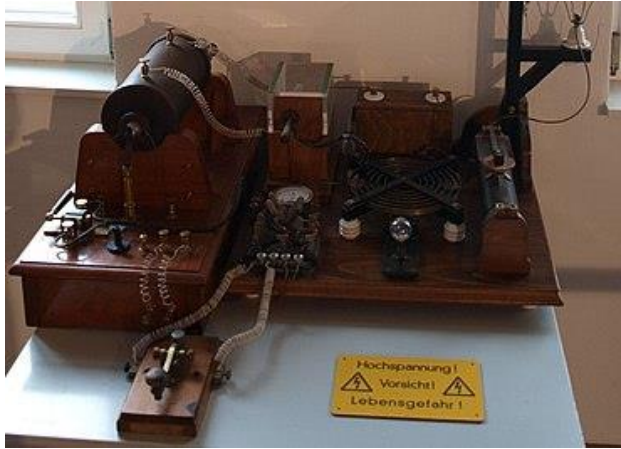
<https://dosits.org/galleries/audio-gallery/marine-mammals/toothed-whales/beluga-whale-white-whale/>

# Sunetul produs de vulcani subacvatici



<https://blogs.agu.org/geospace/2015/04/17/volcanic-soundscapes-reveal-differences-in-undersea-eruptions-video/>

# Semnale radio – telegraf fără fir

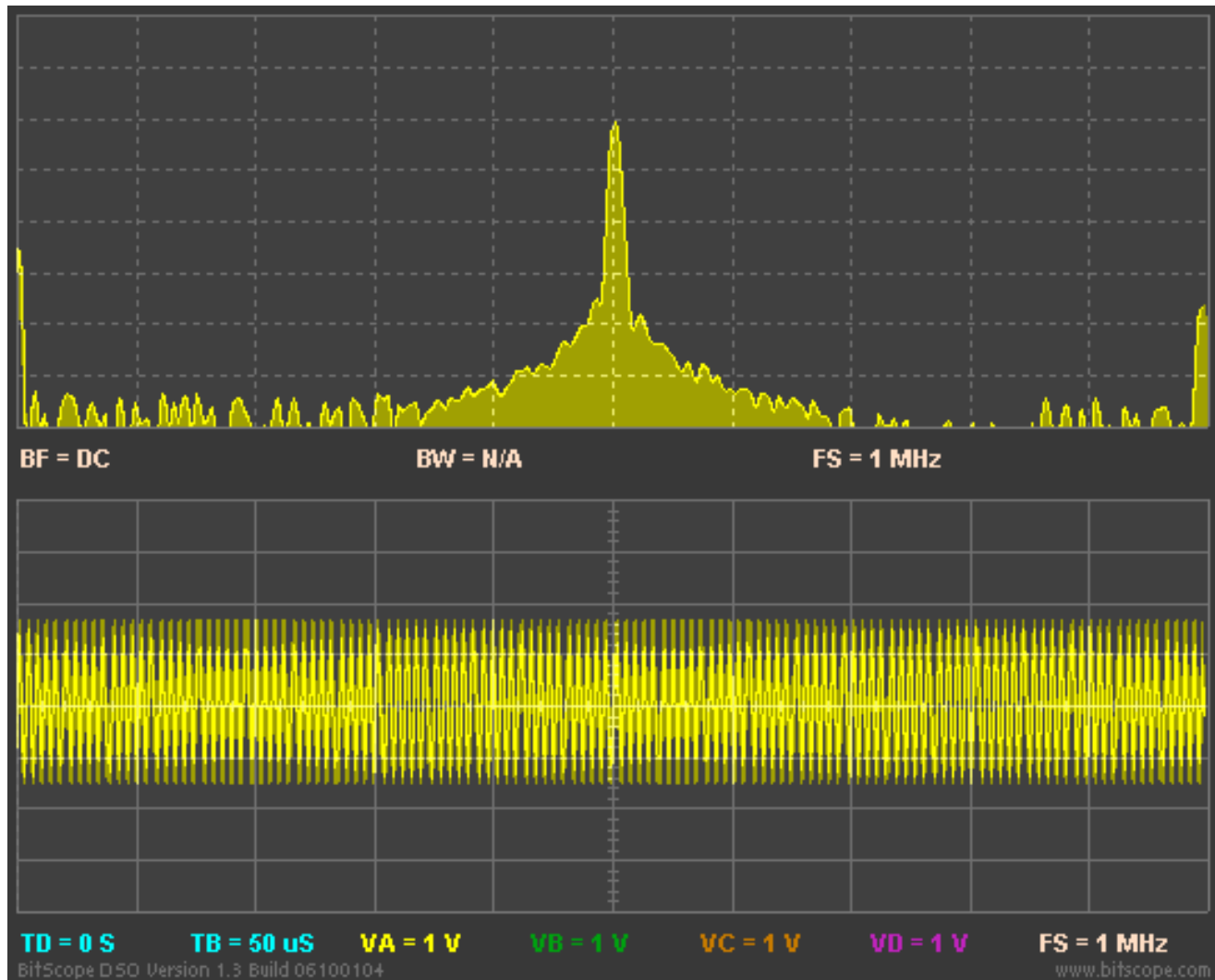


Spark-gap transmitter

Transmițător cu unda continuă

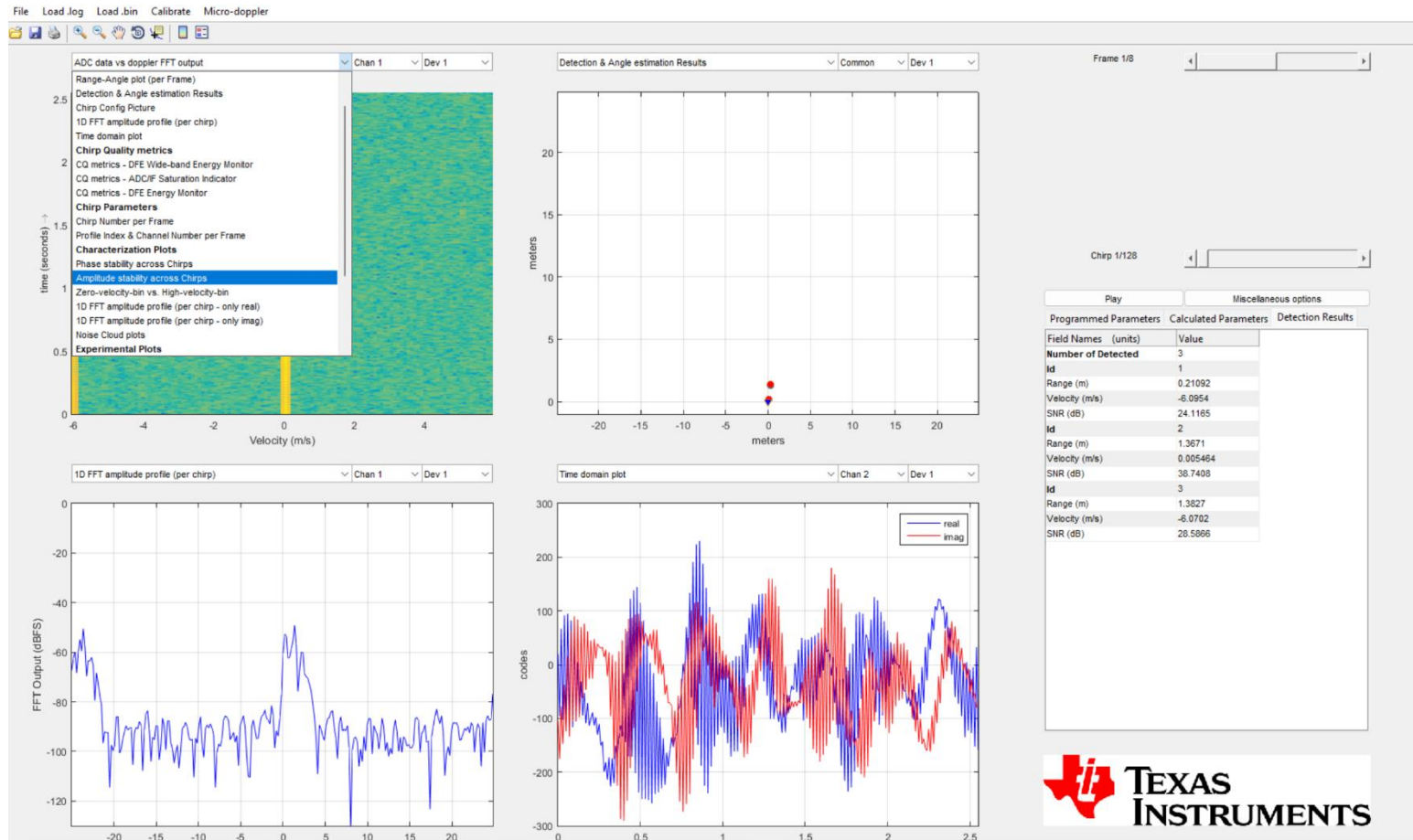
[https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_telegraphy](https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_telegraphy)

# Semnale radio



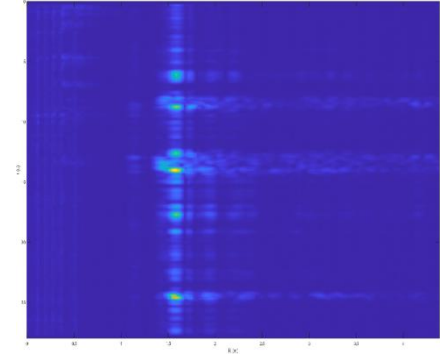
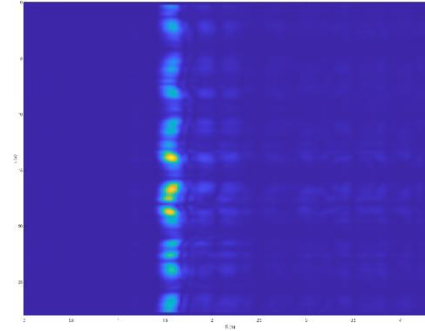
<https://www.bitscope.com/software/dso/replay/?p=fm>

# Semnale radar



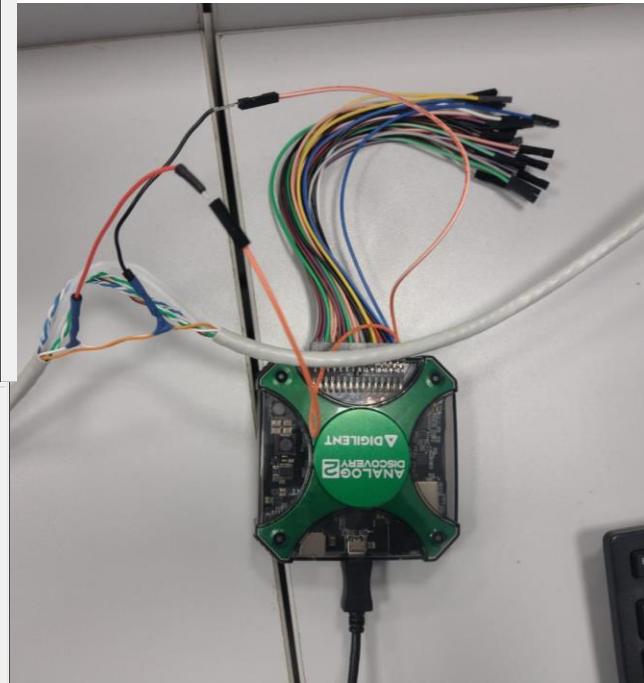
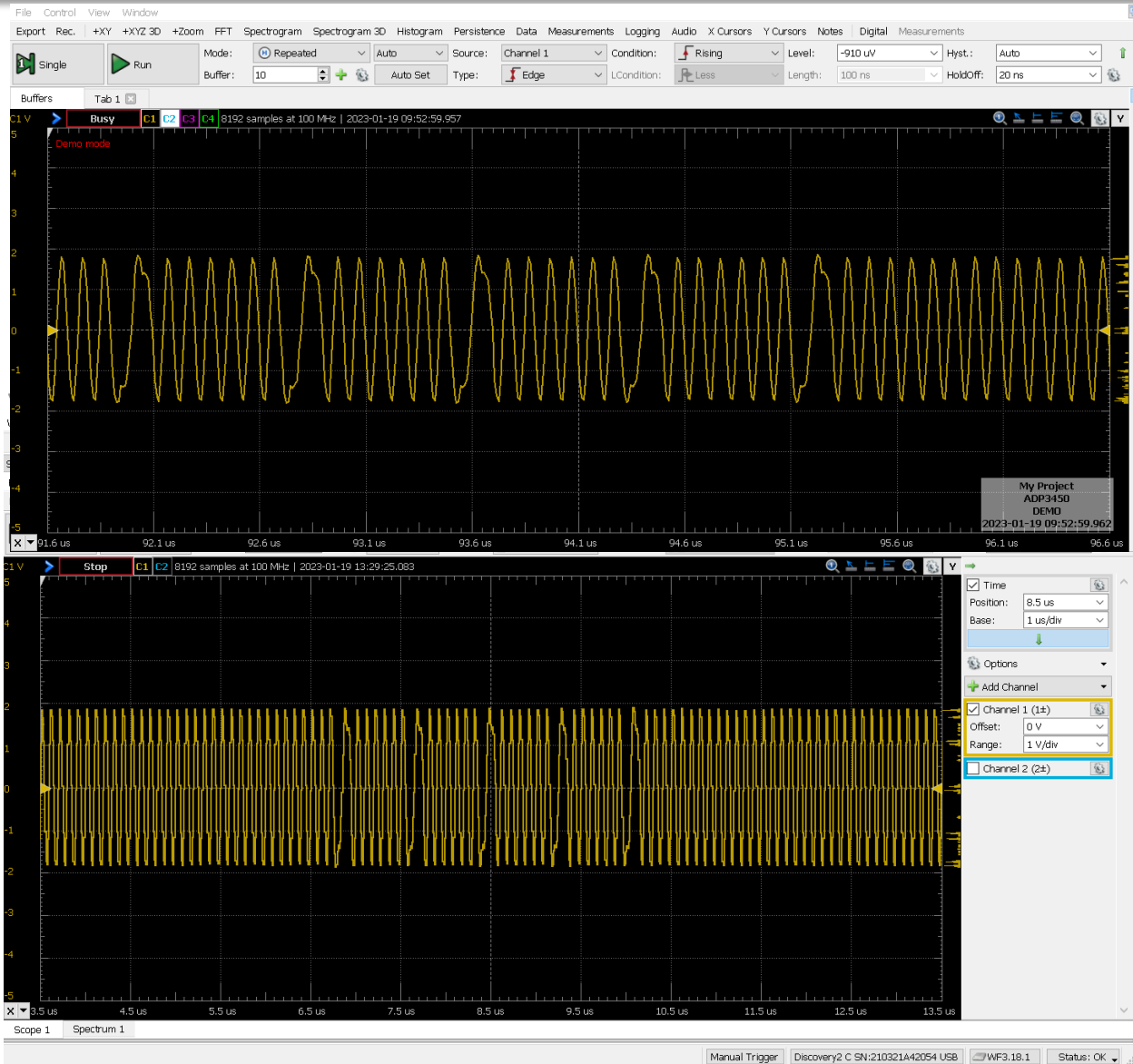
GUI AWR2243 Boost

# Semnale radar

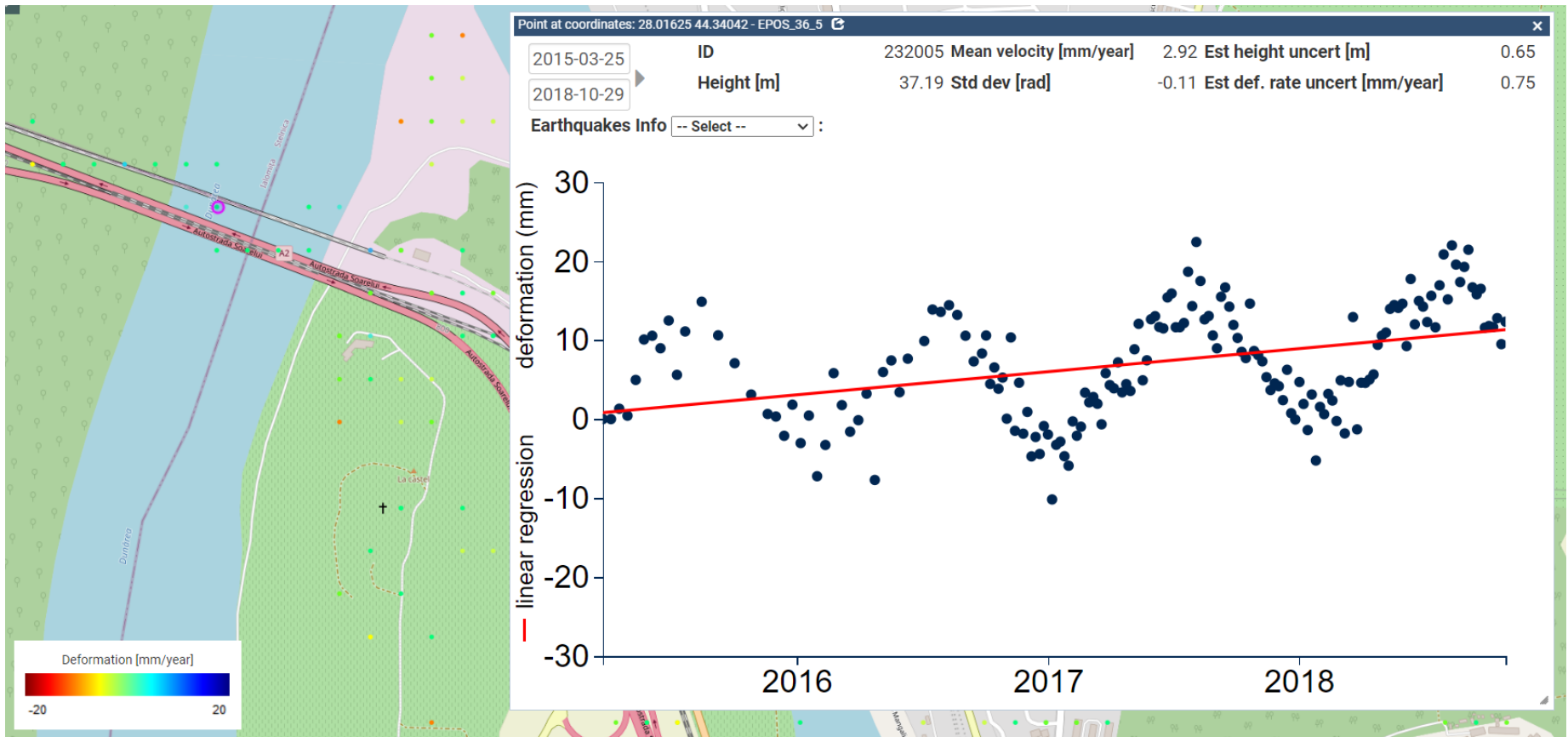




# Semnalul transmis pe cablu UTP in LAN



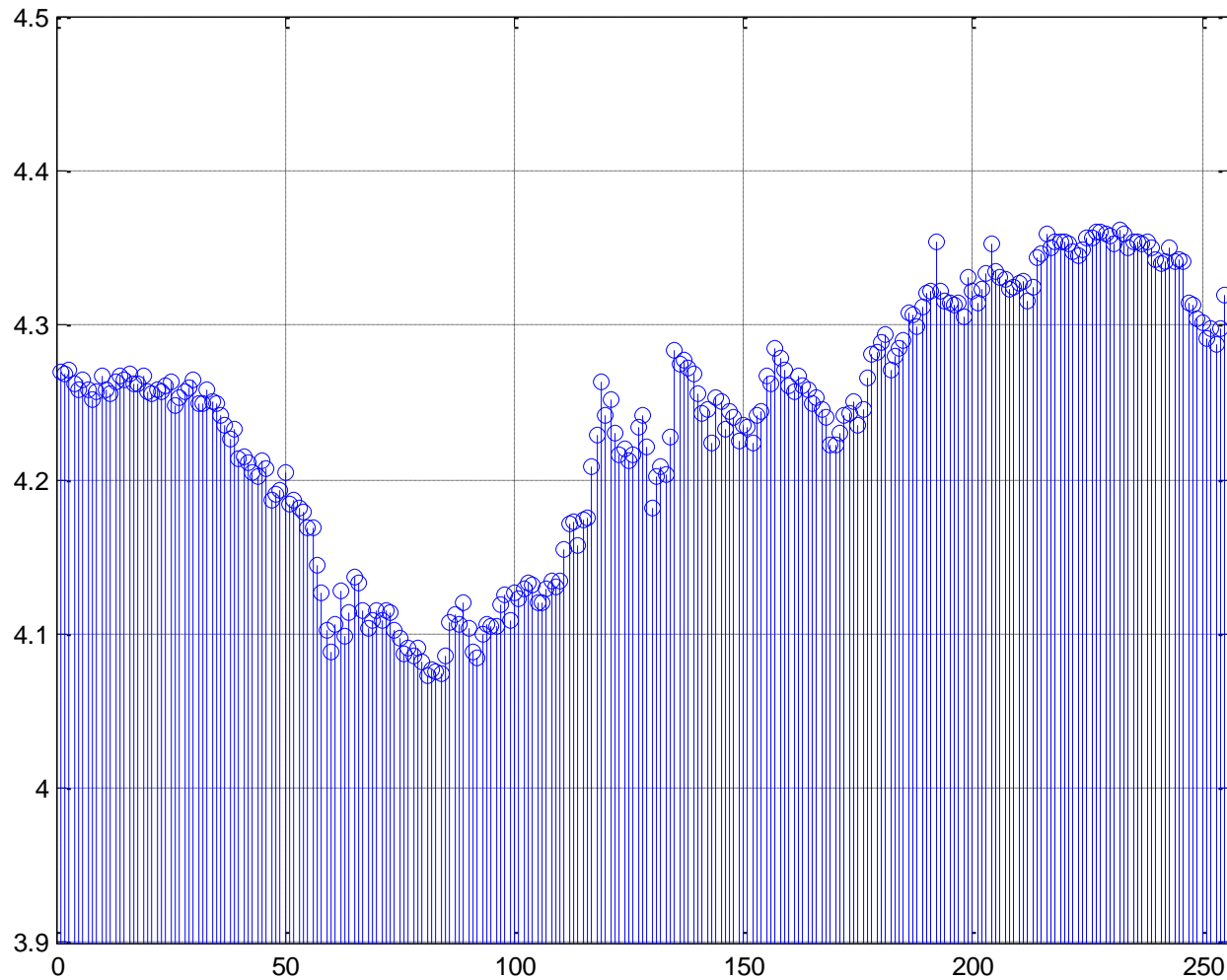
# Semnal – profil de deformare



<https://pstool.terrasigna.com/>



# Semnal – variația cursului leu-euro

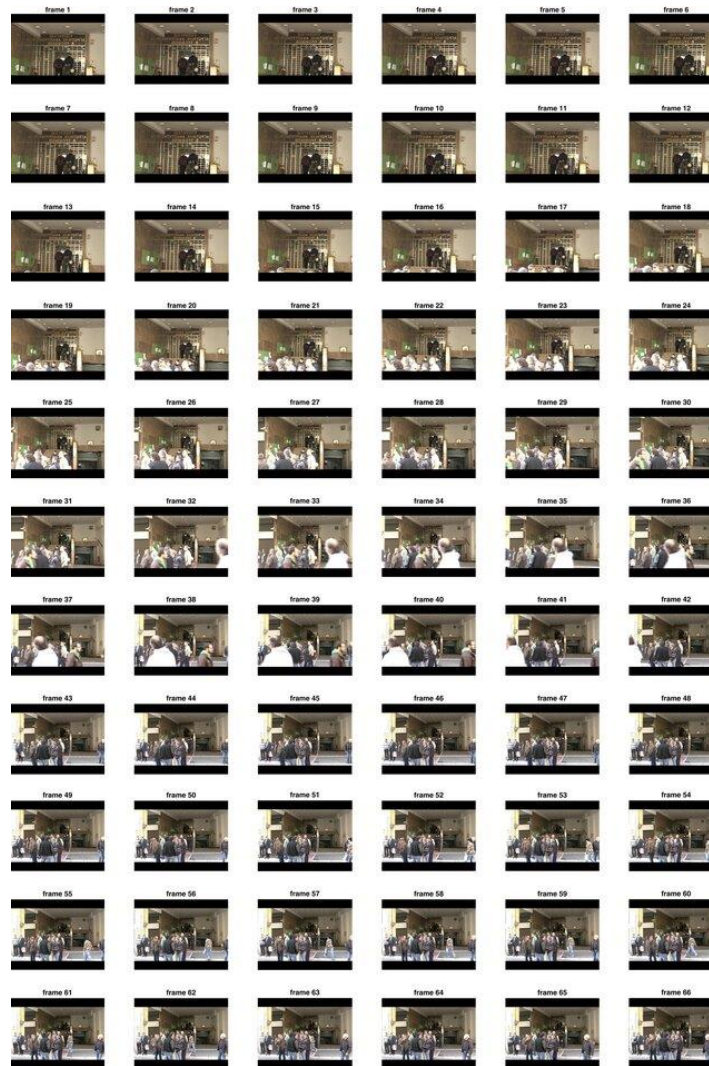


Cursul leu - euro pe parcursul anului 2011.

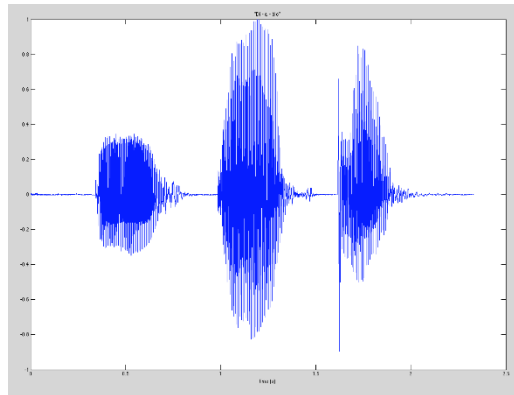
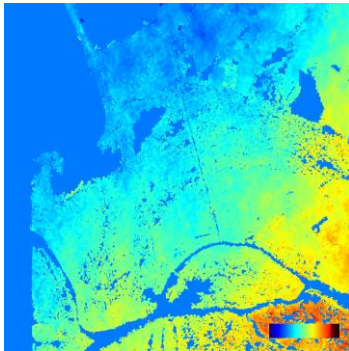
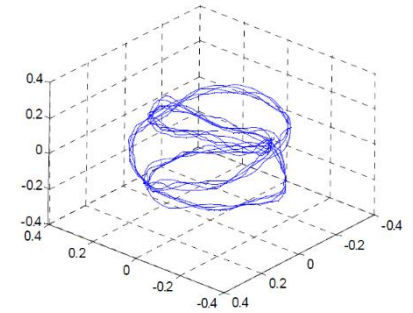
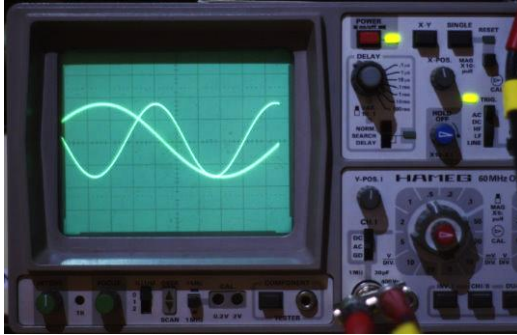
# Semnale 2D – imagini



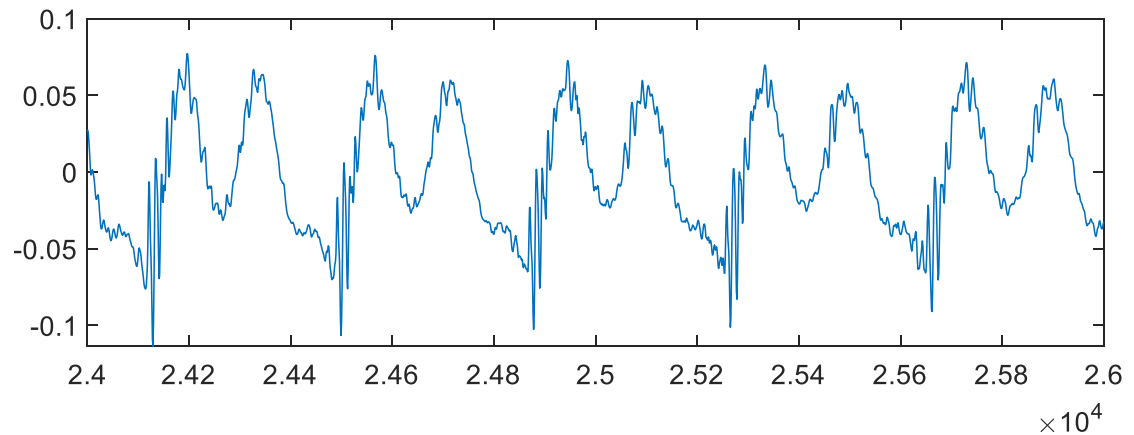
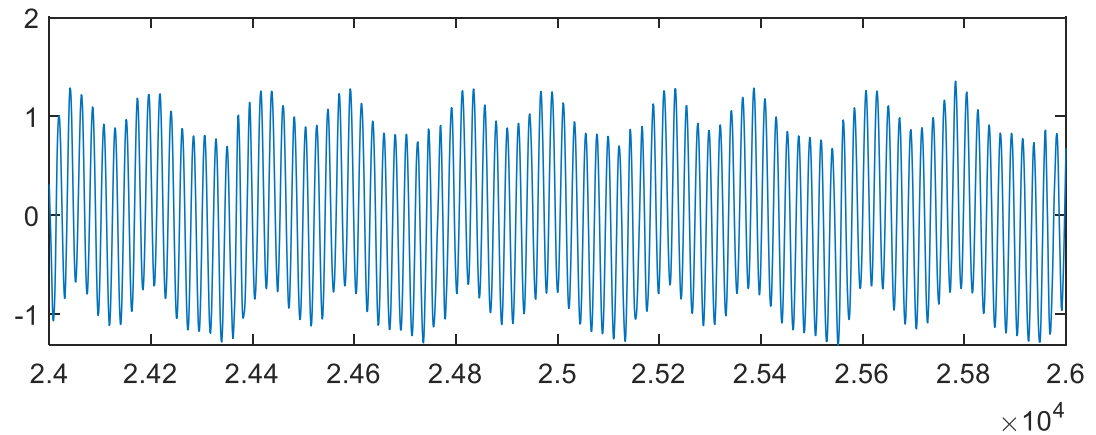
# Semnal – video



1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 26



# Aplicații – eliminare de zgomot



# Aplicații

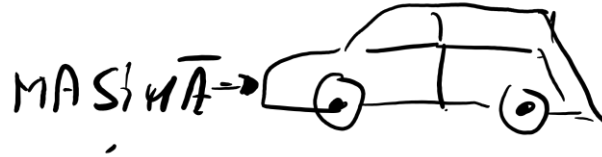
- **Comunicații – ex. nivelul fizic în LAN**
- **Prelucrare semnal audio**
- **Prelucrare voce**
- **Compresie voce**
- **Compresie imagini**
- **Teledetecție (radar, sonar)**
- **Medicină – CT, RMN, ecografie, EKG ...**
- **Industria auto**
- **Seismologie**
- **.....**

# Cum reprezentăm un semnal?

- O funcție de una sau mai multe variabile, care descrie un fenomen fizic.
- O funcție de una sau mai multe variabile, care poate conține informație.
- La acest curs, vom considera, în general, funcțiile de o singură variabilă, de obicei timp.
- Dacă variabila este continuă, vorbim despre semnale analogice, iar dacă este discretă vorbim despre semnale discrete.
- Semnalele sunt prelucrate cu ajutorul sistemelor, analogice sau discrete.

# De ce model matematic?

MASINA  $\rightarrow$

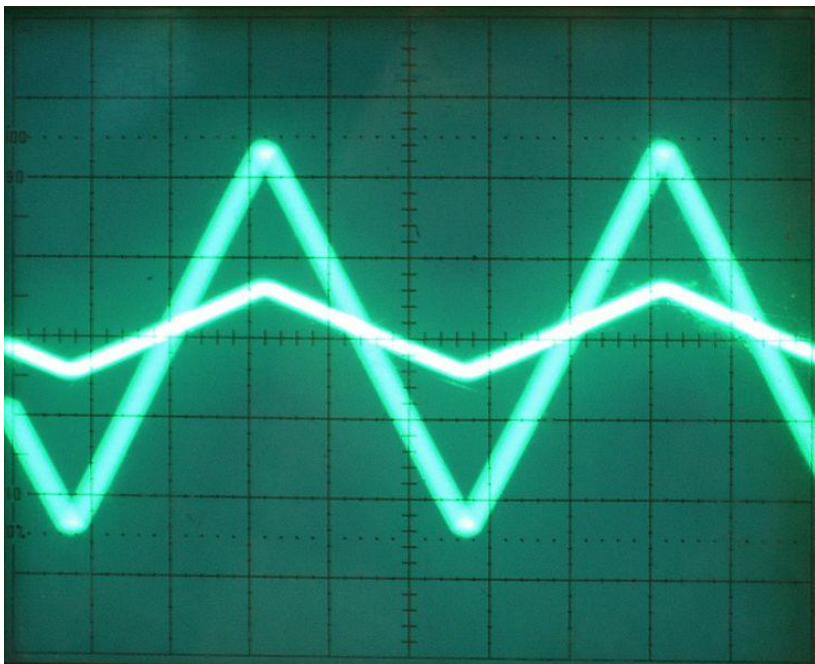




# Semnale analogice

Semnale analogice - semnale care variază *continuu* în timp

Reprezentare – funcții continue



$$f(x) = y$$

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$$

**Sursa:**

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oscilloscope\\_Triangle\\_Wave.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Oscilloscope_Triangle_Wave.jpg)

# Semnale analogice

Semnale (suport, domeniu de definiție):

- Finite
- Infinite
- Periodice

Semnale:

- Deterministe
- Aleatoare

$$f(x) = y$$

$$f(x) = y$$

$$f(x) = \sin x = y$$

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f: [0; 1] \rightarrow \mathbb{R}$$

$$f: \mathbb{R} \rightarrow [-1; 1] \subset \mathbb{R}$$

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$$

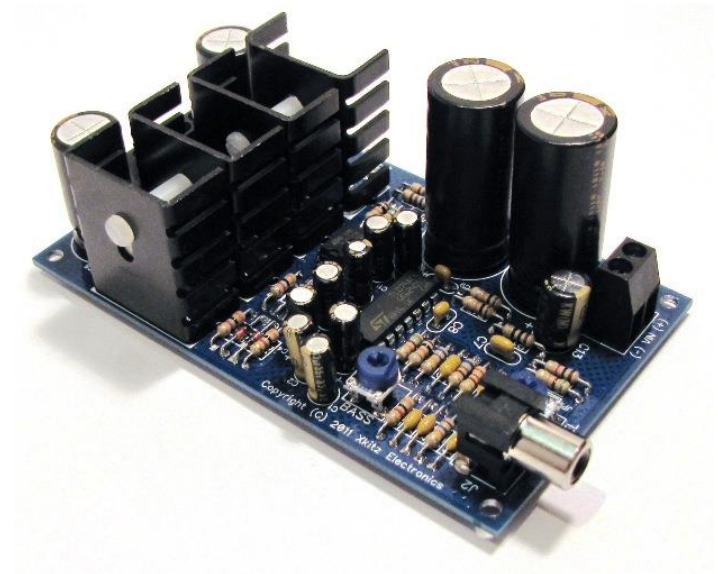
$$s(t): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$$

$$s(t): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$$

$$s(x, y): \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$$

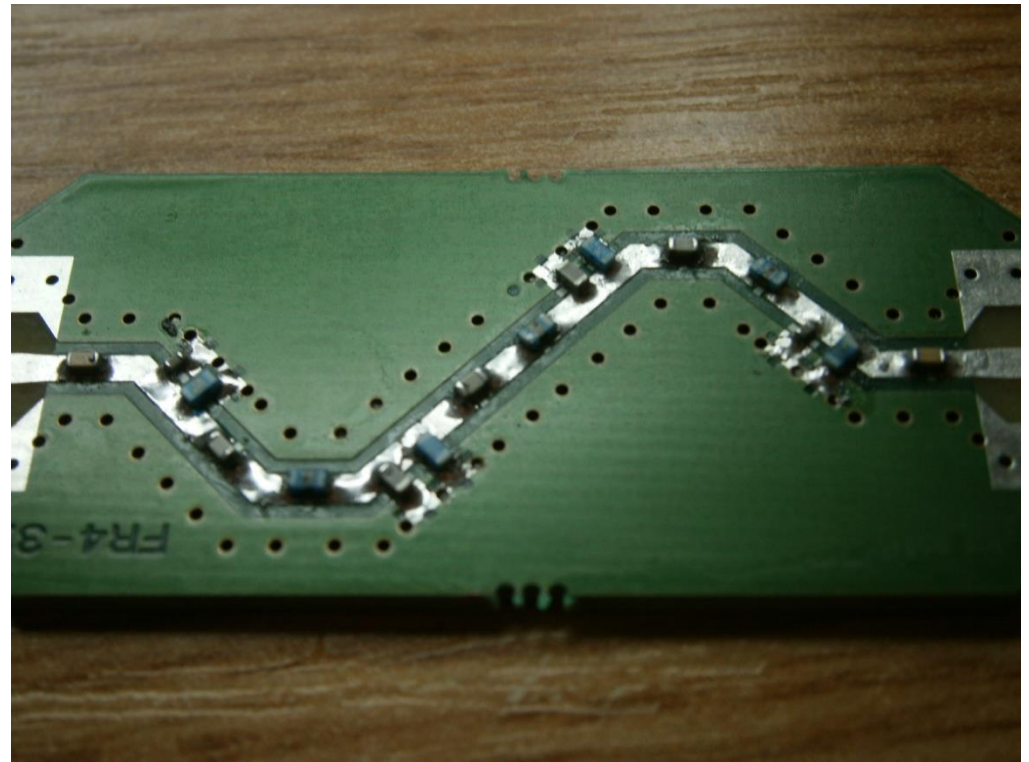
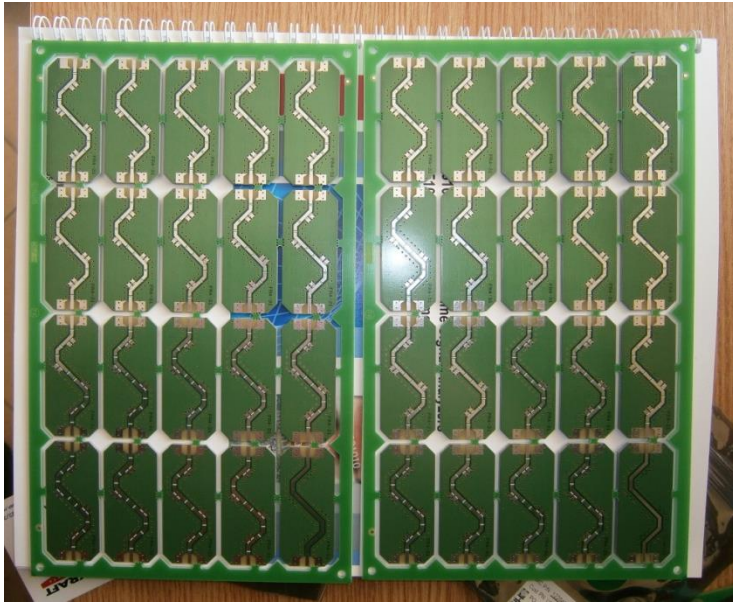
# Sisteme analogice

Sisteme analogice – sisteme care prelucrează semnale analogice



**Sursa:**  
<http://www.xkitz.com/>

# Sisteme analogice





# Sisteme analogice



# Semnale discrete

-**timp discret**

-valori discrete sau continue

$$s[n] = y$$

$$s[n] = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

- **n** este adimensional

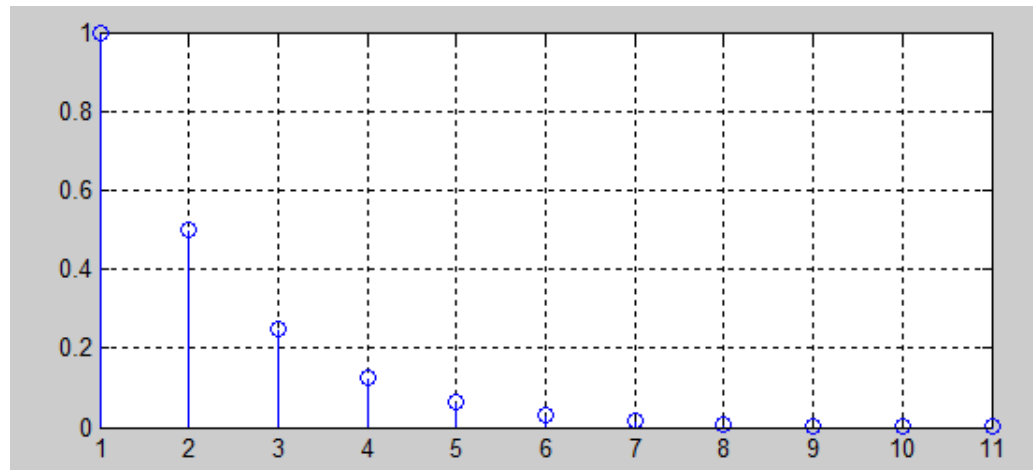
$$s[n]: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$s[n]: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$s[n]: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$$

$$s[n]: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$$

$$s[n, m]: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{C}$$



# Semnale discrete

Reprezentare ca serie

$$x = \{ \dots, 1, 2, 3, 0.5, 9, \dots \}$$

Semnale (suport, domeniu de definiție):

- Finite
- Infinite
- Periodice
  
- Deterministe
- Aleatoare
- Haotice

# Semnale digitale

## Semnale discrete

- argumentul funcției discretizat (ex. timp discret)
- valorile semnalului nu sunt discrete (ex., valori reale)

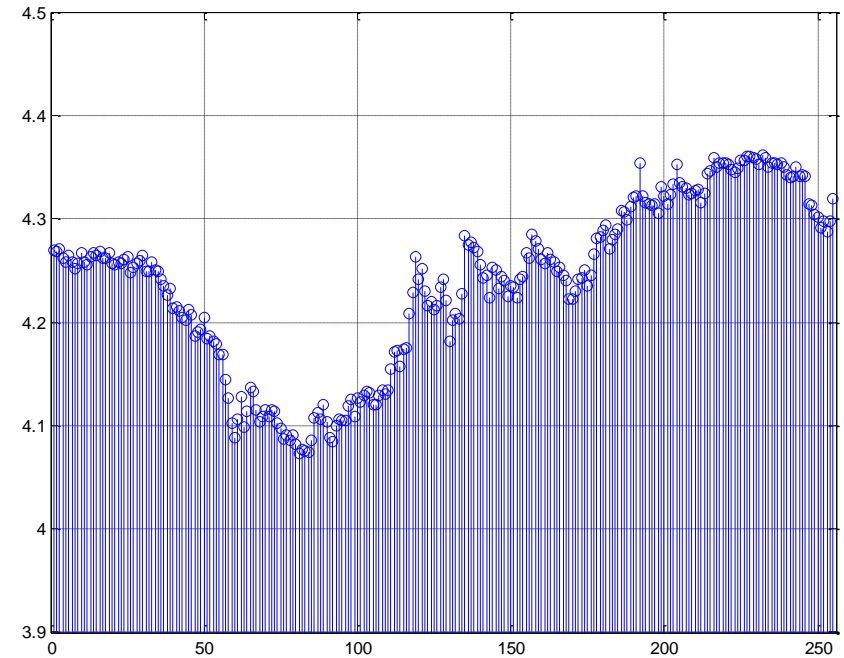
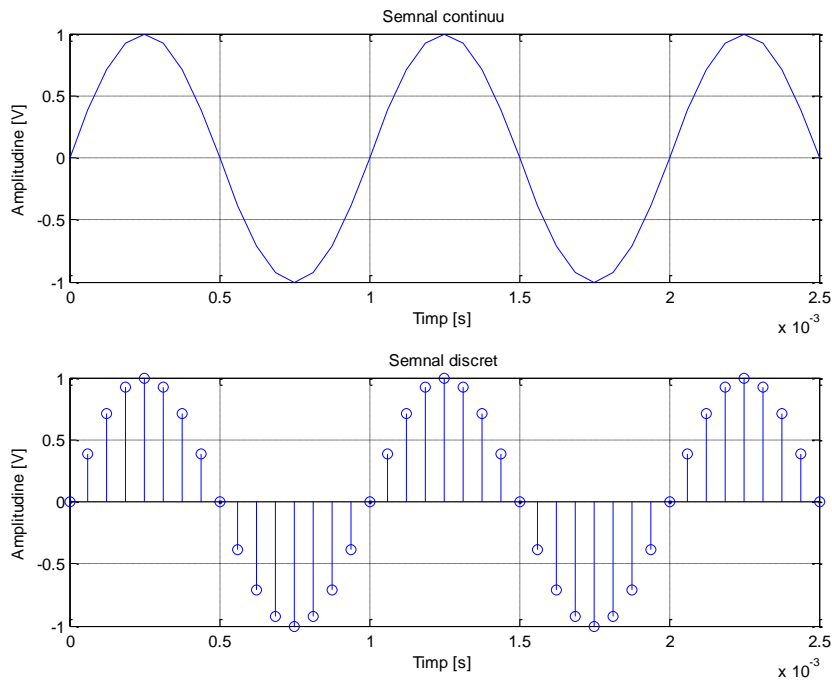
## Semnale digitale/numerice

- argumentul funcției discretizat (ex. timp discret)
- valorile semnalului sunt discrete (ex., valori float, int)



# Cum obținem semnale numerice?

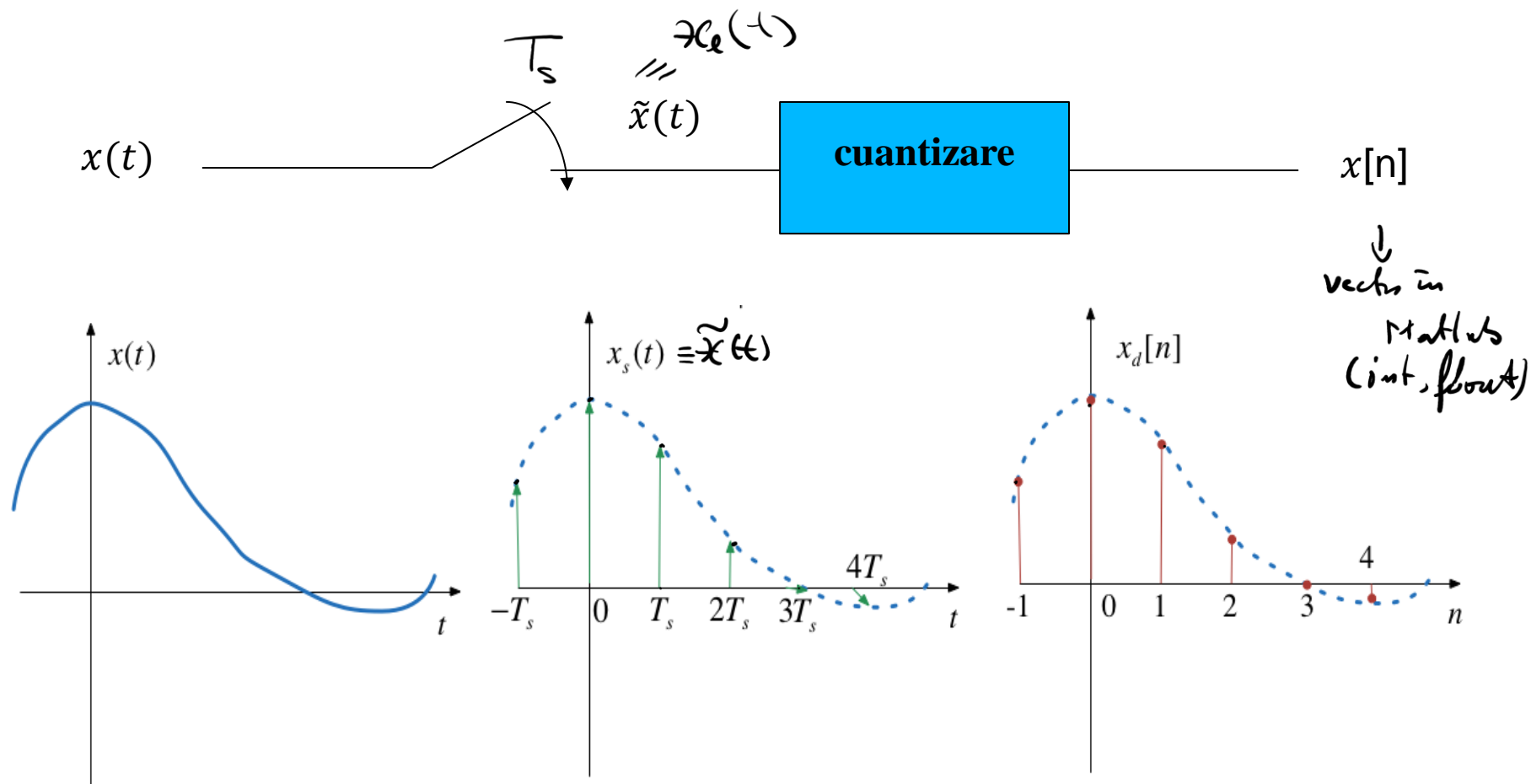
- Semnale care sunt în mod natural semnale numerice
- Eșantionare (convertor analog-numeric)



# Eșantionarea

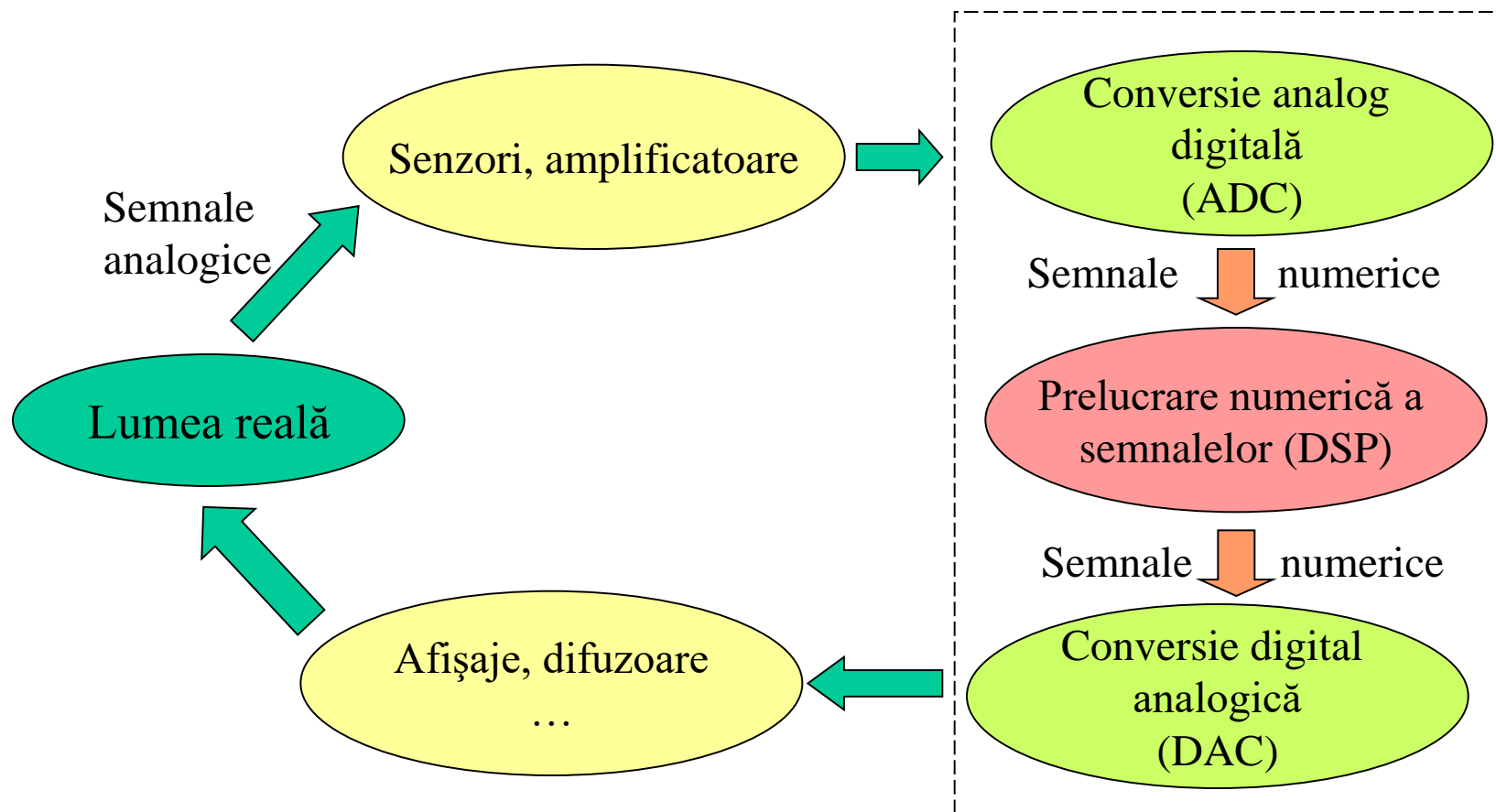
O funcție continuă poate fi **reconstruită** din eșantioane ale sale alese la intervale echidistante, dacă și numai dacă perioada de eșantionare este de cel puțin două ori mai mică decât perioada (minimă  $a$ ) semnalului.

# Modelul matematic al eșantionării



# Exemplu

# Sisteme digitale



# Sisteme digitale



# Analogic vs. digital

## Studiu de caz – transmisia analogică vs. transmisia digitală



shutterstock.com · 442915867

# Analogic vs. digital

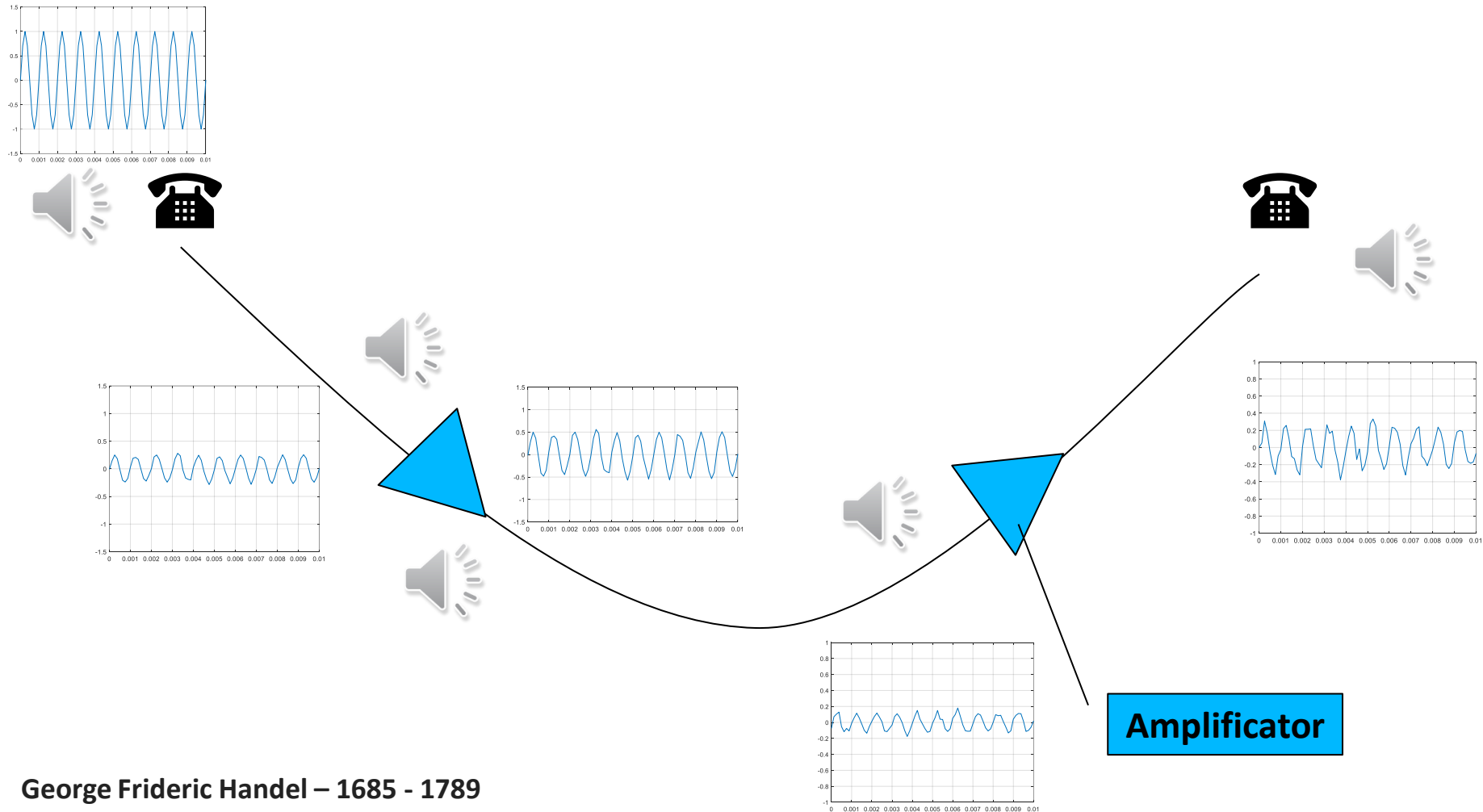
The cables were laid over the summers of 1955 and 1956, with the majority of the work done by Her Majesty's Telegraph Ship ([cable ship](#)) *Monarch*. At the land-end in Gallanach Bay near [Oban](#), Scotland, the cable was connected to coaxial (and then 24-circuit carrier lines) carrying the transatlantic circuits via [Glasgow](#) and [Inverness](#) to the International Exchange at [Faraday Building](#) in [London](#). At the [cable landing point](#) in Newfoundland the cable joined at [Clarenville](#), then crossed the 300-mile (480 km) [Cabot Strait](#) by another submarine cable to [Sydney Mines](#), [Nova Scotia](#). From there the communications traffic was routed to the US border by a [microwave radio relay](#) link, and in [Brunswick, Maine](#) the route joined the main US network and branched to [Montreal](#) to connect with the Canadian network.





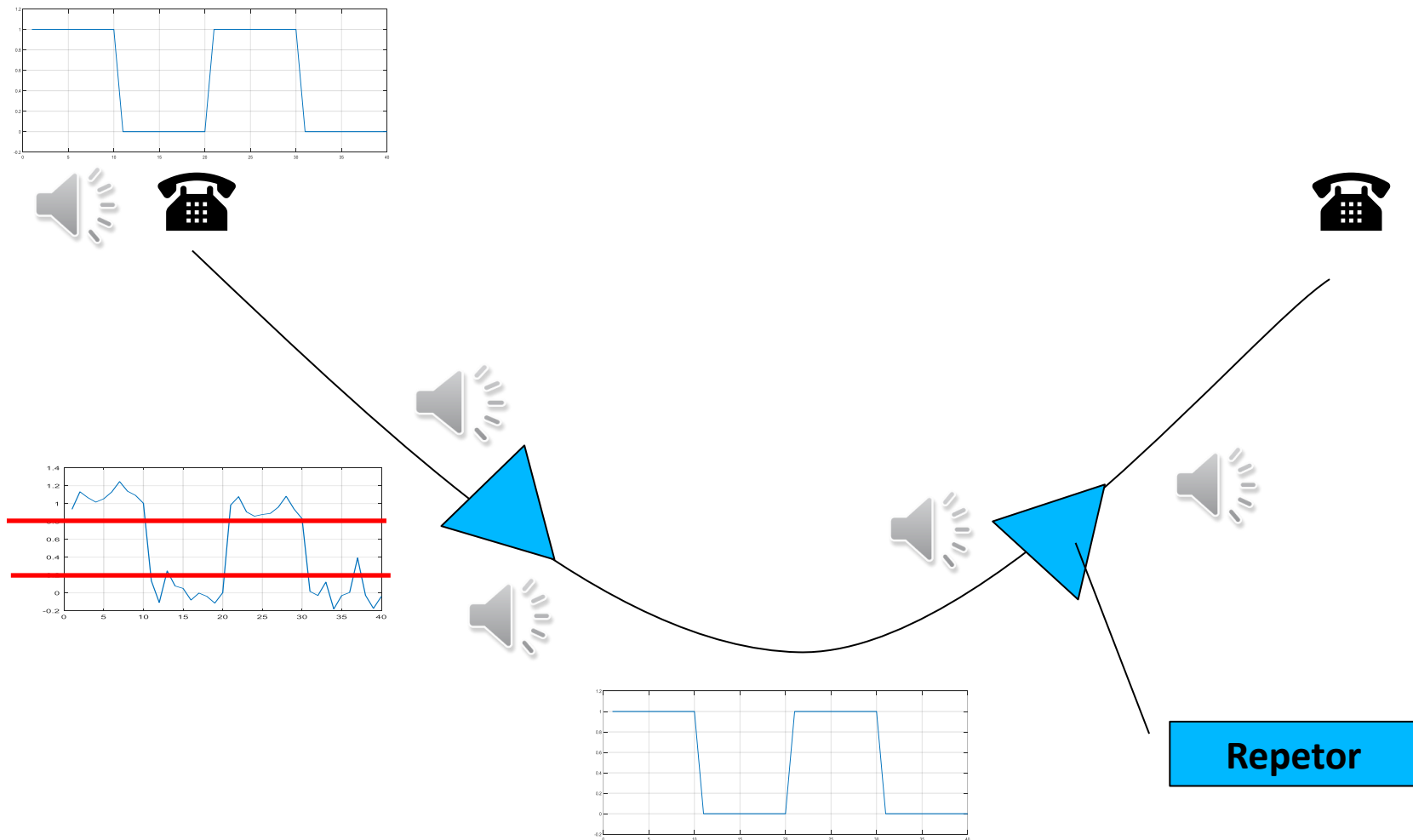
# Analogic vs. digital

## Studiu de caz – transmisia analogică vs. transmisia digitală



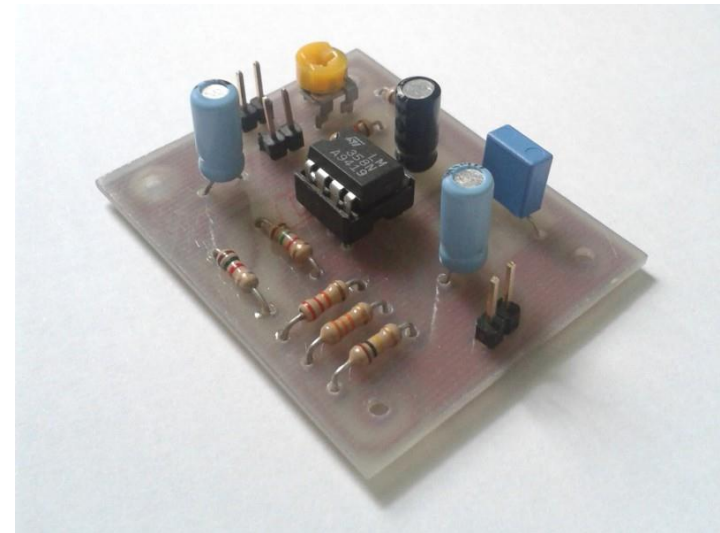
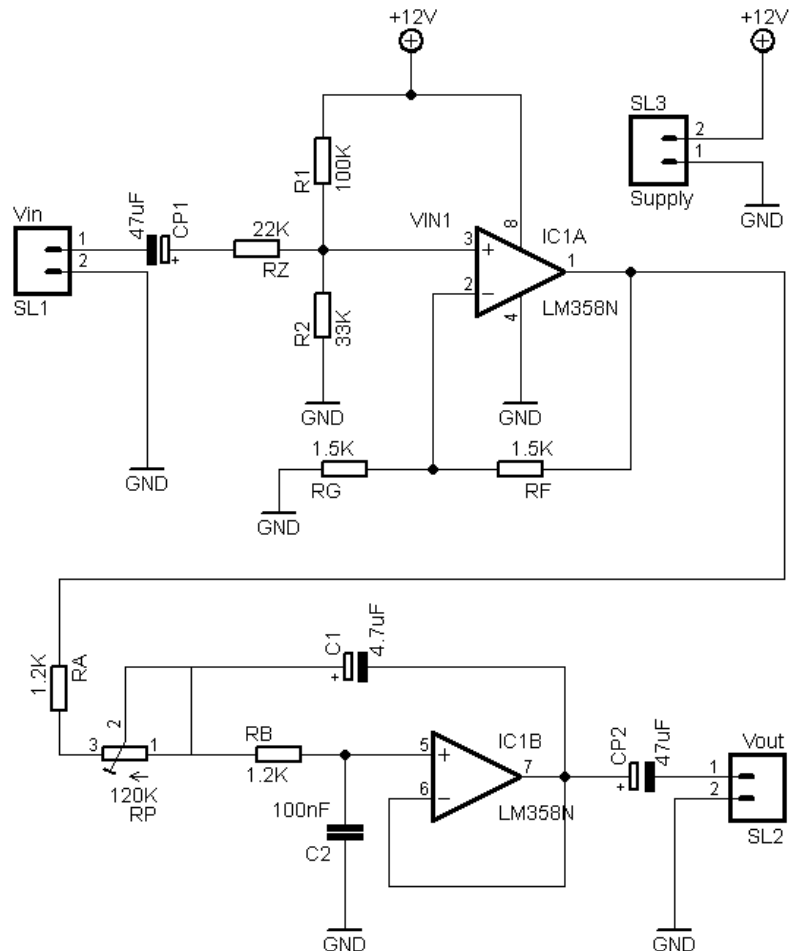
# Analogic vs. digital

## Studiu de caz – transmisia analogică vs. transmisia digitală



# Analogic vs. digital

## Studiu de caz – filtru trece jos analogic



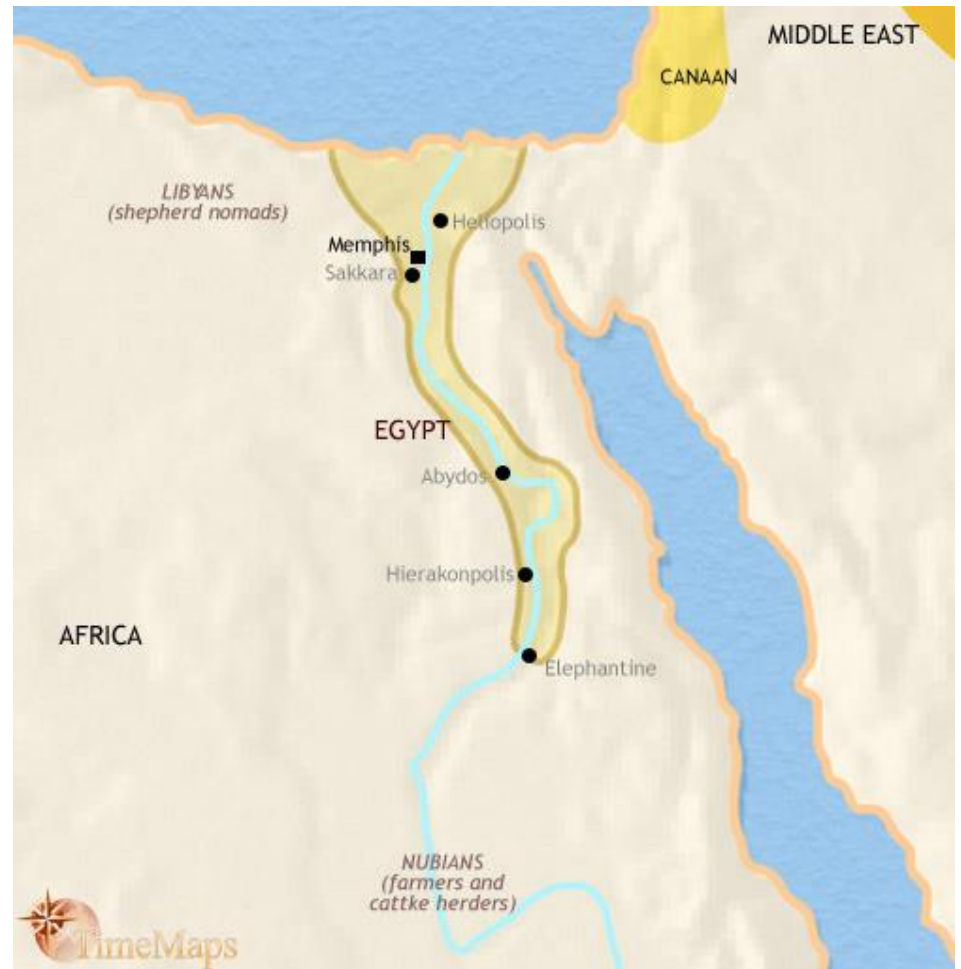
# Analogic vs. digital

Studiu de caz – filtru trece jos digital



# Istoric

Egipt  
2500 î.Hr.



Sursa imaginii:  
<http://www.timemaps.com/history/ancient-egypt-2500bc>

# Istoric

Egipt  
2500 î.Hr.

- înregistrări ale revărsărilor Nilului.

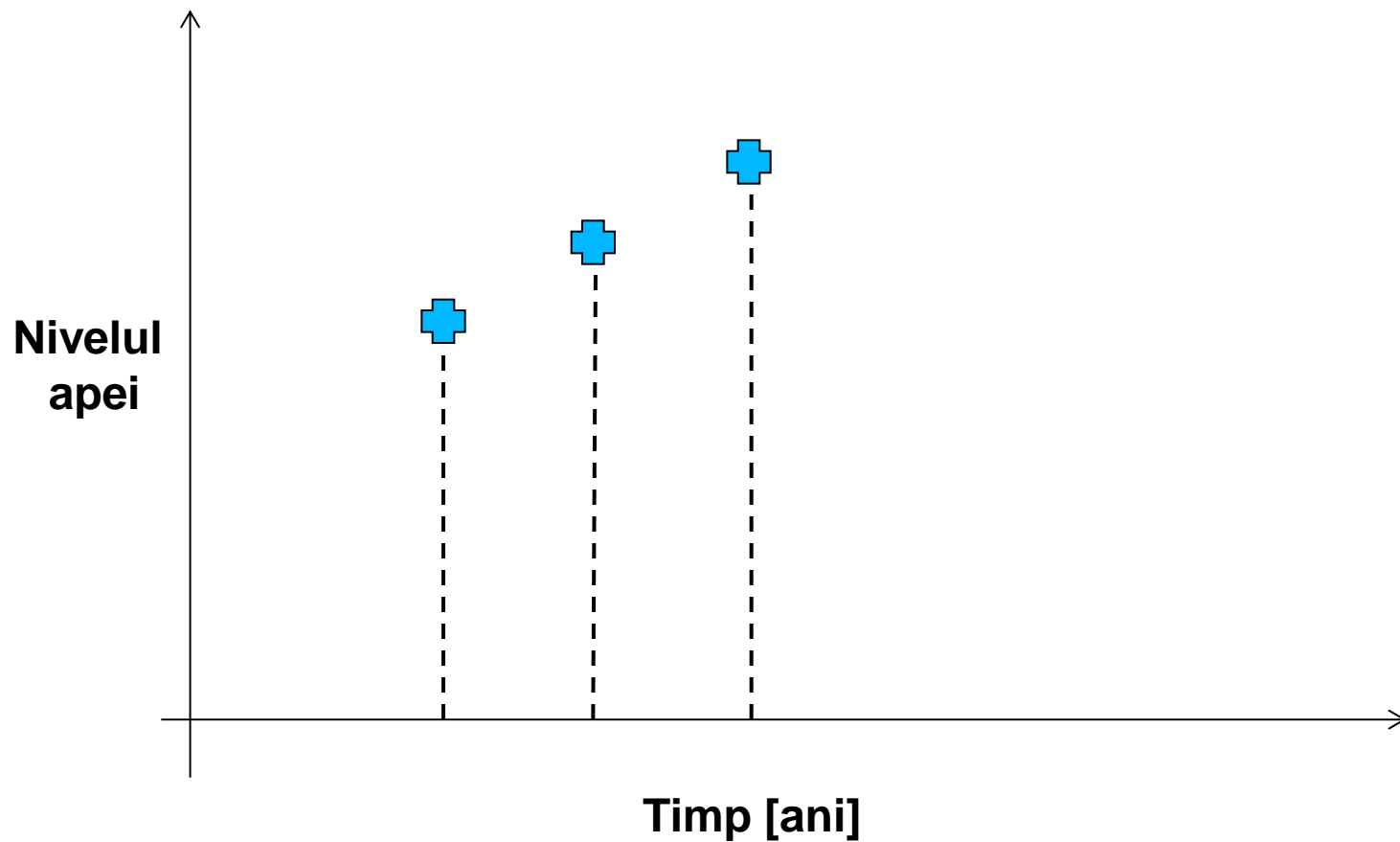
Exemplu (fictiv):

2500	3 m
2499	4 m
2498	5 m

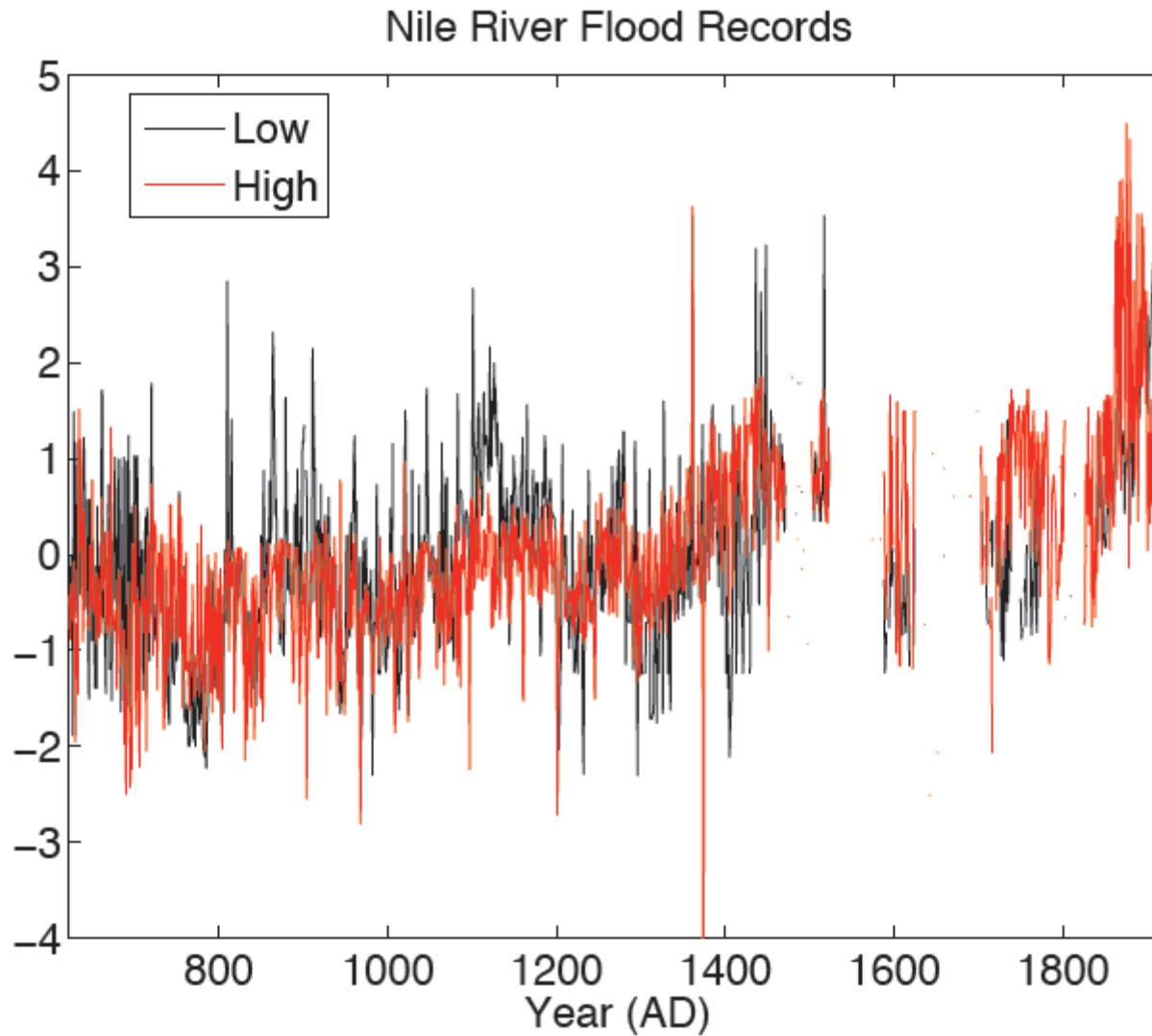


Sursa imaginii:  
<http://www.chacocanyon.com/pointlookout/070815.shtml>

# Istoric



# Istoric



Sursa:

[..\Ghil NileTalk.pdf](#)



# Istoric

- Domeniul **prelucrarea semnalelor** a apărut în 1948.
- Aparatul matematic dezvoltat de Newton, Fourier, LaPlace, Gauss .... și este în continuă dezvoltare.

(~ 1666 - ....)

- Primul război mondial și al doilea război mondial au condus la accelerarea dezvoltării sistemelor de comunicații, sistemelor de control automat și la apariția radarului și sonarului.

# Istoric

1947 – este inventat tranzistorul – John Bardeen, Walter Brattain, William Shockley

1948 – Claude Shannon – *A mathematical theory of communications*

1950 – era acustică

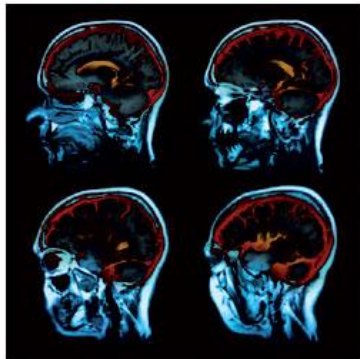
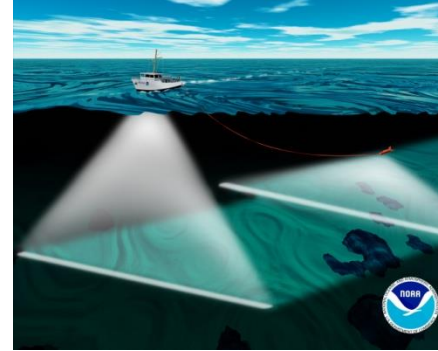
1960 – începe *era* digitală

1970 – DSP

1980 – crește scara de integrare

1990 – the sky is the limit

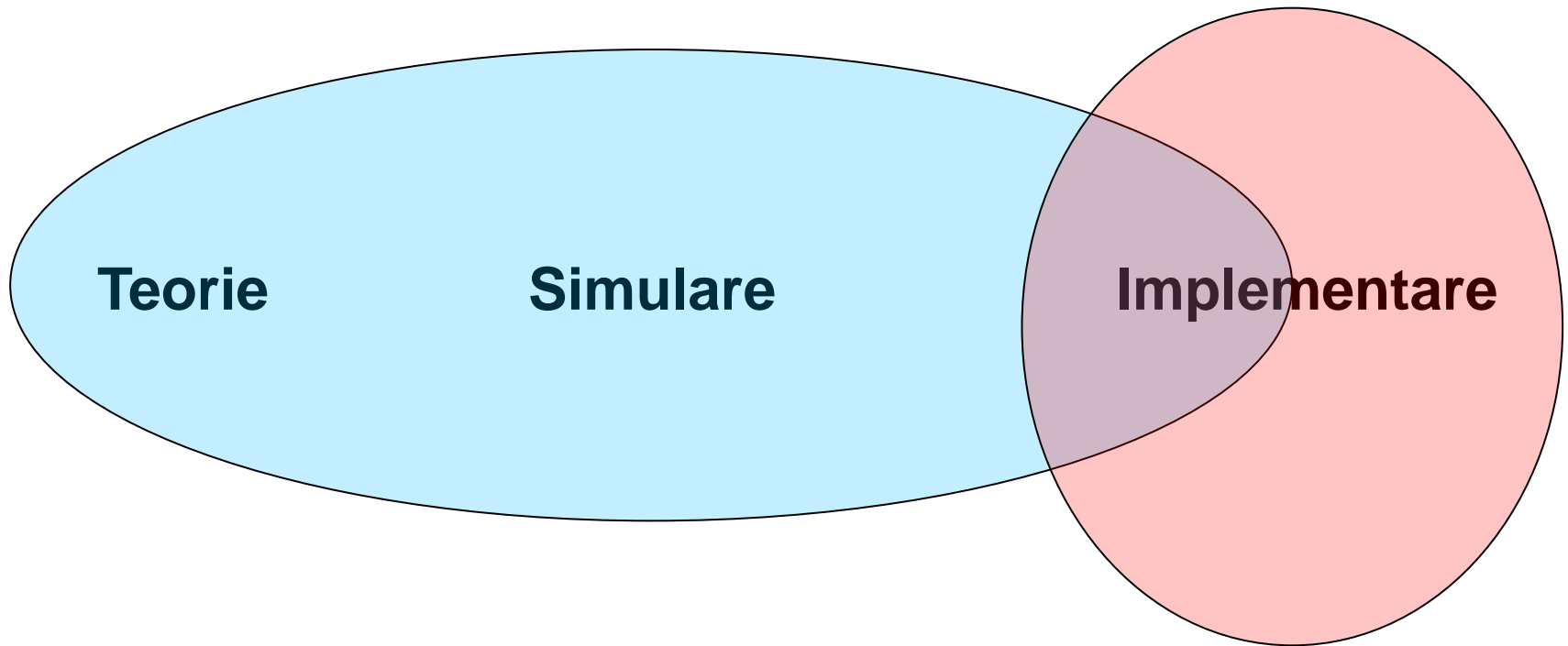
# Istoric



# De ce PNS?

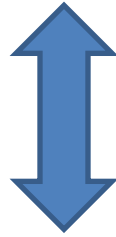
Pentru că există!

Pentru că este un domeniu omniprezent!



# Structura cursului

**Semnale și sisteme continue**



**Semnale și sisteme discrete**

# Structura cursului

- Eșantionarea și prelucrarea multirată
- Transformata Fourier Discretă, transformata Fourier rapidă
- Răspunsul în frecvență al sistemelor numerice.
- Filtre FIR, IIR (descriere, proiectare)
- Analiza semnalelor
  - semnale elementare (continue și discrete)
  - reprezentarea semnalelor cu ajutorul TL, TF, TFD, ...
- Analiza sistemelor
  - sisteme analogice și sisteme numerice
  - proprietățile sistemelor
  - sisteme liniare și invariante, convoluția și corelația
  - răspunsul în frecvență al sistemelor analogice

# Bibliografie

- Oppenheim, Alan si A. S. Willsky. **Signals and Systems**. Prentice Hall, 1982.
- Mateescu, A. s.a. **Semnale si sisteme**, Editura Teora, București, 2001.
- Serbanescu, A., Radoi Emanuel, Radu Ionut. **Prelucrarea numerica a semnalelor. Îndrumar de laborator**. Editura Academiei Tehnice Militare București, 2001.
- Woon-Seng Gan, Sen M. Kuo. **Embedded Signal Processing with the Micro Signal Architecture**. IEEE Press, 2007.



# Bibliografie

Internet:

Signals and Systems (MIT. OCW)  
(Oppenheim)

<http://ocw.mit.edu/resources/res-6-007-signals-and-systems-spring-2011/introduction//>

Digital Signal Processing (MIT. OCW)  
(Oppenheim)

<http://ocw.mit.edu/resources/res-6-008-digital-signal-processing-spring-2011/>





# Precondiții de accesare a cursului

- Algebră
- Analiză matematică
- Matematici speciale
- Trigonometrie
  
- Numere complexe
- Transformata Fourier, LaPlace, Z, ....
- Serii
- Spații vectoriale, operații cu vectori
- .....

# Contact

- Toma Ștefan-Adrian
- [stefan.toma@mta.ro](mailto:stefan.toma@mta.ro)
- MSTeams
- Consultații – luni, joi – 14:30 – 15:00 (sau oricând avem timp)

# Notare

- **Teste scrise/online – curs 50% (3, unul în sesiune).**
- **Laborator – 50 % (1 proiect și 1 test).**
- **Degrevare test laborator și/sau proiect pentru realizarea de proiecte și participarea la concursuri din tematica cursului (ex. IEEE Signal Processing Cup, Kaggle).**

# Întrebări

