Sincronización temporal

Pablo Belzarena

Comunicaciones inalámbricas

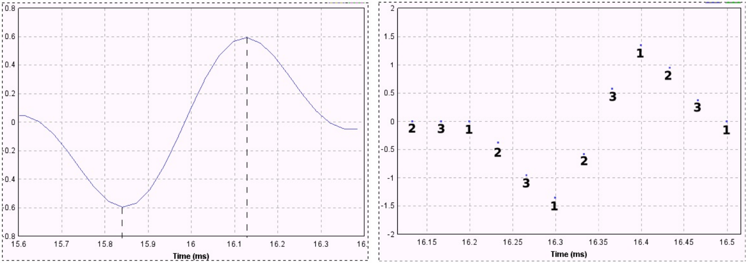
2020

Esquema de la presentación

Notas y ejercicios a entregar

1. Presentación : Descripción general del tema
2. Estudio de las notas y realización de ejercicios
3. Discusión de dudas teóricas y prácticas en clase.

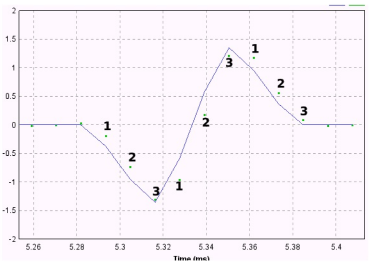
Objetivo de la Sincronización temporal



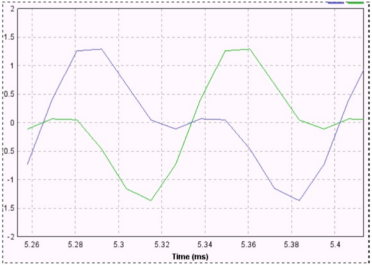
(a) Señal de tiempo continuo (b) Señal en tiempo discreto

FIGURE – Señal en tiempo continuo y tiempo discreto

Objetivo de la Sincronización temporal

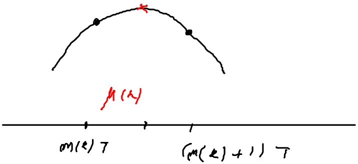


(a) Parte real

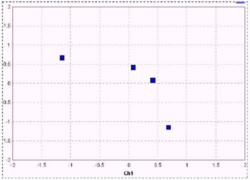


(b) Real e imaginaria

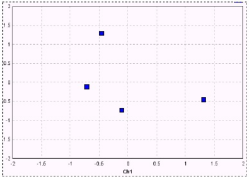
Figure – Señal discreta muestreada en el receptor


μ(k)
m(k) T
(m(k) + 1) T

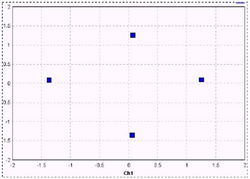
Objetivo de la Sincronización temporal



(a)

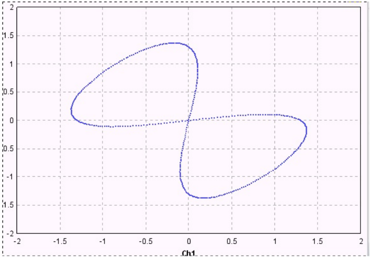


(b)

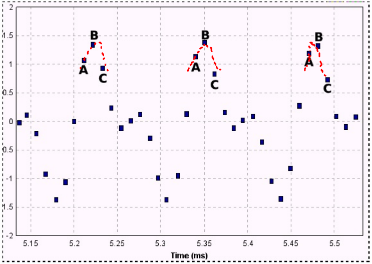


(c)

Objetivo de la Sincronización temporal



(a) Constelación en receptor



(b) Señal muestreada en receptor

FIGURE – Bases de tiempo diferentes entre transmisor y receptor. Se envía secuencia repetitiva de símbolos.

Esquema general del Sincronizador Temporal

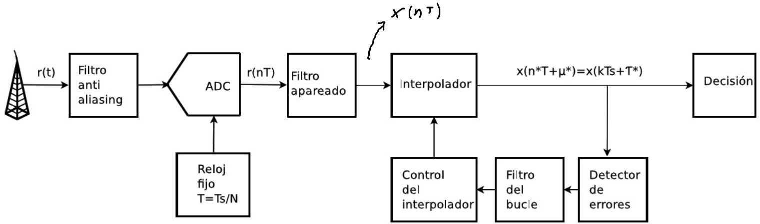


Figure – Diagrama de bloques sincronizador temporal

¿Cómo estimar el error ? Modelo

$$r(t) = G_a \sum_m a[m]p(t - mT_s - \tau) + w(t) \tag{1}$$

Se asumirá también que los símbolos no están correlacionados en el siguiente sentido :

$$\mathbf{E}[a[k]a[m]] = E_{prom}\delta(m - k) \tag{2}$$

donde E_{prom} es la energía promedio de los símbolos.

$$x(t) = G_a \sum_m a[m]r_p(t - mT_s - \tau) + \nu(t) \tag{3}$$

$$x(kT_s + \hat{\tau}) = G_a \sum_m a[m]r_p((k - m)T_s + \hat{\tau} - \tau) + \nu(kT_s + \hat{\tau}) \tag{4}$$

¿Cómo estimar el error ? Máxima Verosimilitud

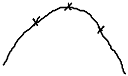
$$e[k] = a[k]\dot{x}(kT_s + \hat{\tau}[k])$$

$$e[k] = \hat{a}[k]\dot{x}(kT_s + \hat{\tau}[k])$$

Para el caso de PAM binario ;

$$e[k] = signo(x(kT_s + \hat{\tau}[k])\dot{x}(kT_s + \hat{\tau}[k])$$

x(nT)



x(nT)

¿Cómo estimar el error ? Máxima Verosimilitud

La curva-S

$$\begin{aligned} g(\tau_e) &= \mathbf{E}[e[k]] \\ &= \mathbf{E}\left[a[k]\dot{x}(kT_s + \hat{\tau})\right] \\ &= \mathbf{E}\left[a[k]G_a \sum_m a[m]\dot{r}_p((k-m)T_s - \tau_e))\right] \end{aligned}$$

$$g(\tau_e) = \mathbf{E}\left[G_a E_{prom}\dot{r}_p(-\tau_e))\right]$$

¿Cómo estimar el error ? Máxima Verosimilitud

En las notas se prueba que el anterior es el estimador de máxima verosimilitud

$$\begin{aligned} e_\tau[k] &= Re\left[a[k]^* \dot{x}((kT) + \tau[k])\right] \\ &= Re[a[k]]Re\left[\dot{x}((kT) + \tau[k])\right] + Im[a[k]]Im\left[\dot{x}((kT) + \tau[k])\right] \end{aligned}$$

Para el caso QPSK se obtiene :

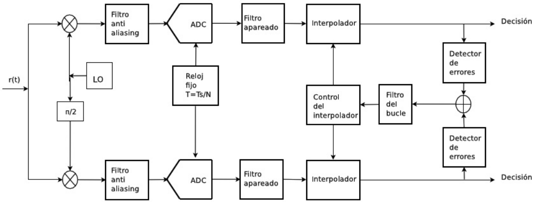


FIGURE – Esquema sincronizador QPSK

¿Cómo estimar el error? Otros estimadores

Dos de ellos, early-late y Mueller and Muller están como ejercicios para entregar en las notas.

Interpolador Polinómico

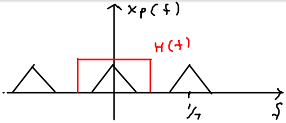
Primer orden :

$$x((m(k)+\mu(k))T) = x((m(k)+1)T)\mu(k) + x(m(k)T)(1-\mu(k))$$

Interpolador Polifásico

$x_p(t) = \sum x(nT)\ \delta_{t-kT}$

$x(t) = \sum x(kT)\ h(t-kT)$



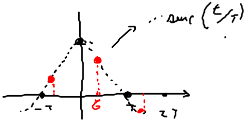
$$
\begin{aligned}
x(nT+\tau) &= \sum_k x\left(kT\right) h\left((n-k)T+\tau\right) \\
&= \sum_i x\left((n-i)T\right) h\left(iT+\tau\right)
\end{aligned}
$$

$X(nT+\tau) = x(nT) * h(nT+\tau)$

filtro ideal : $\mathrm{sinc}(t/T)$

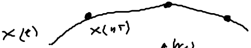
Si $\tau = 0$ $\quad x(nT) = \sum_k x(kT) \underbrace{h(nT - kT)}$

$\rightarrow \operatorname{sinc}(n-k) = \begin{cases} 1 & \text{si } k = n \\ 0 & \text{si } k \neq n \end{cases}$

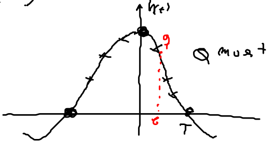


Si $\tau \neq 0$ $\quad x(nT + \tau) = \sum_k x(kT)\, h((n-k)T + \tau)$

$$x(\tau) = \cdots + x(0)\, h(\tau) + x(-1)\, h(-T + \tau) + \cdots$$



Sobremuestreo $\uparrow Q$



Q muestras

$$\tau \simeq \frac{q}{Q} T$$

$$q = 0, 1 \ldots Q-1$$

Interpolador Polifásico

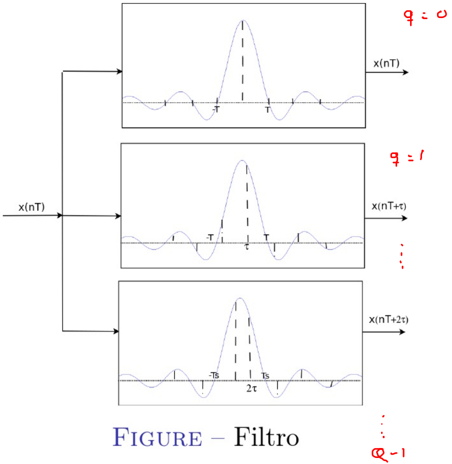


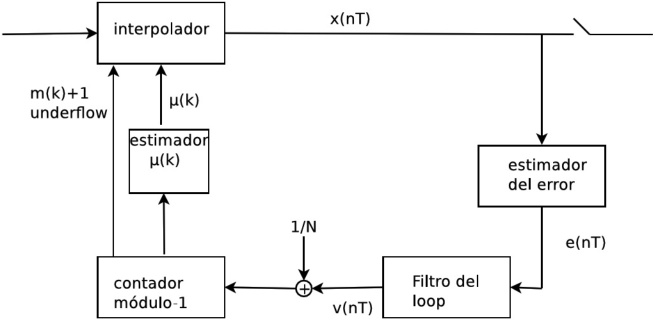
FIGURE – Filtro

Control del interpolador

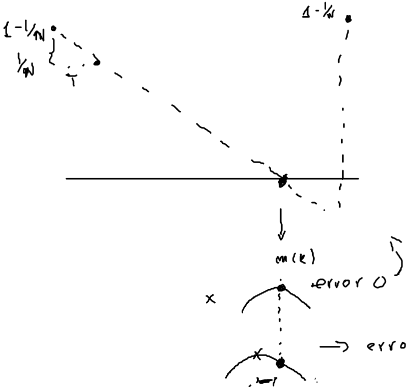
- Objetivo : m^* y μ^*
- Contador módulo-1
- Control recursivo

Contador Módulo-1

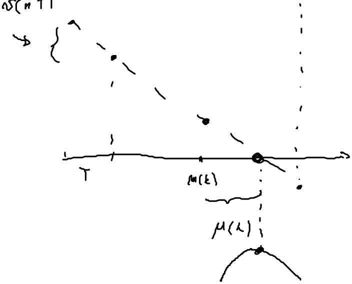
$$\eta((n+1)T) = \eta(nT) - \frac{1}{N} - v(nT)$$



Como ideal con error 0



→ error ⇒ $\frac{1}{N}$ + $\sigma(nT)$



Contador Módulo-1

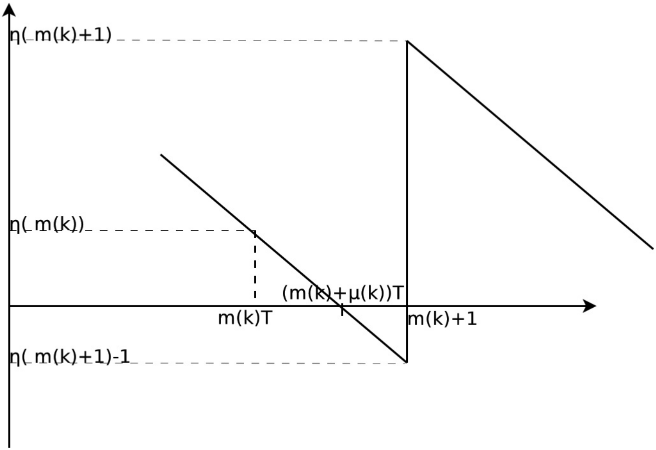


FIGURE – underflow contador módulo-1