Синергетический наблюдатель переменных состояния в задачах реконструкции систем с хаотической динамикой

А.А. Колесников, А.С. Мушенко,
Ю.Н. Дзюба, А.Д. Золкин

Кафедра синергетики и процессов управления

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности

Южный федеральный университет

Исследования в области динамического хаоса

- Экспоненциальный рост количества публикаций за последние 30 лет
- Эффективное сжатие и хранение информации «странными» аттракторами
- Возможности решения прикладных задач
- Передача информации с помощью хаотической несущей
- Новые методы защищенной передачи данных

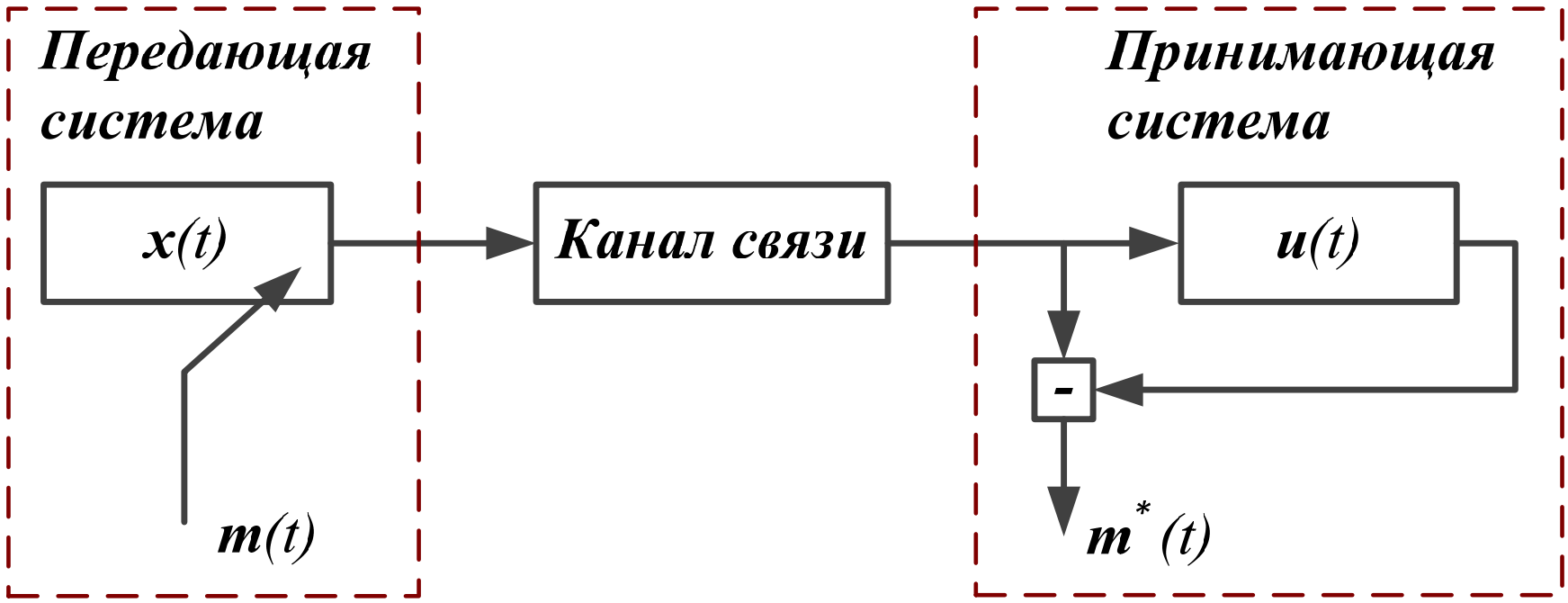
Хаотические генераторы в задачах передачи и защиты информации

- Маскирование полезного сигнала хаотическим колебаниями
  - Методы хаотической маскировки
- Модуляция полезного сигнала на хаотической несущей
  - Методы хаотической синхронизации
  - Модулирование информационным сигналом параметра хаотического генератора, т.е. внедрение полезного сигнала непосредственно в структуру генератора

Постановка задачи:

- Передача информации с использование хаотической несущей для защищенного обмена данными
  - Встраивание полезного сигнала путем модуляции параметра модели хаотического генератора
  - Использование метода глобальной реконструкции динамической системы для отражения сигнала в канале связи в модели хаотического генератора
  - Построение нелинейного динамического наблюдателя для текущей идентификации модулируемого параметра в реконструированной системе с целью восстановления скрытой информации

Система передачи информации путем модулирования параметра передающей системы информационным сигналом



Генератор Шимизу–Мориока

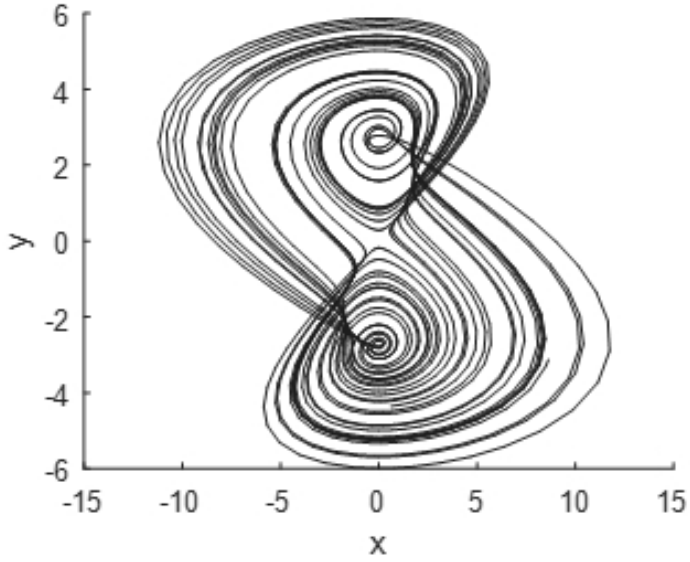
Математическая модель хаотического генератора Шимизу-Мориока

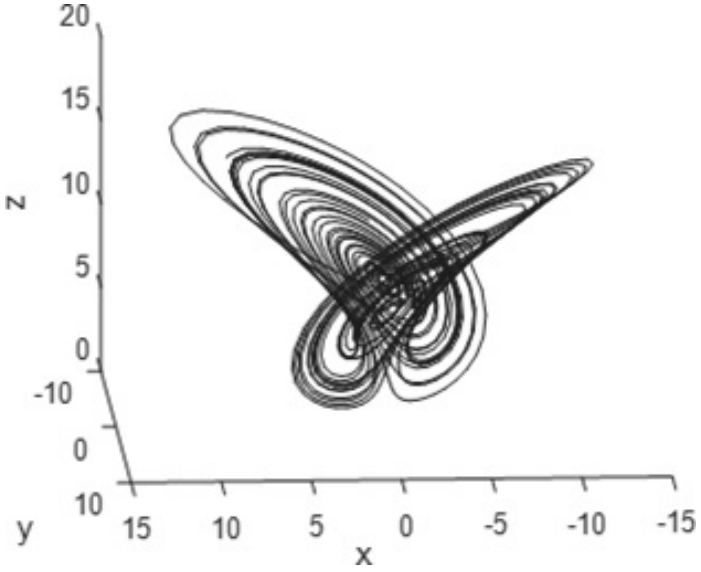
$$\dot{x} = -ax + by - yz$$

$$\dot{y} = x$$

$$\dot{z} = y^2 - z$$

a, b - постоянные коэффициенты





Фазовый портрет системы Шимизу-Мориока при *a*=2, *b*=7,7

Реконструкция динамической системы: алгоритм работы передатчика

Исходная динамическая система

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{F}\left(\mathbf{x}, \mathbf{b}^0\right), \quad \mathbf{x} \in R^n, \mathbf{b}^0 \in R^m \qquad (1)$$

$\mathbf{x}$ - вектор переменных состояния ХГ

$\mathbf{b}^0$ - вектор постоянных параметров ХГ

Параметры ХГ

$$b_i^*(t) = b_i^0 + b_i(t) \qquad i = 1,\ldots,m$$

$b_i(t)$ - информационный сигнал

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{F}\left(\mathbf{x}, b^0 + b(t)\right) \qquad b^0 = \left(b_1^0, b_2^0, \ldots, b_m^0\right), \qquad b(t) = \left(b_1(t), b_2(t), \ldots, b_m(t)\right)$$

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2; \quad \frac{dx_2}{dt} = x_3; \quad \ldots \quad \frac{dx_{n-1}}{dt} = x_n; \quad \frac{dx_n}{dt} = f\left(\mathbf{x}, b^*\right) \qquad (2)$$

В канал связи передается $x_n(t)$

Реконструкция динамической системы: алгоритм работы приемника

$$\dot{x} = -ax + by - yz$$
$$\dot{y} = x \qquad (3)$$
$$\dot{z} = y^2 - z$$

$\mathbf{x} = (x, y, z)$ - вектор переменных состояния

$\boldsymbol{\mu}^0 = (a, b)$ - вектор постоянных (номинальных) параметров

$$\frac{dX}{dt} = Y;$$
$$\frac{dY}{dt} = Z; \qquad (4)$$
$$\frac{dZ}{dt} = f\left(X, Y, Z, \boldsymbol{\mu}^0\right),$$

где

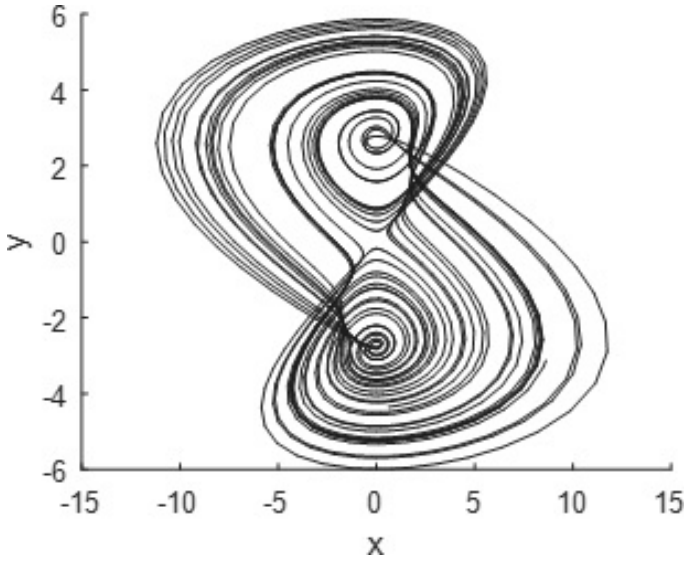
$$f\left(X, Y, Z, \boldsymbol{\mu}^0\right) = bXr_1 - bY - (b+1)Z - X^2Y - aX^3 + \frac{Y\left((a+1)Y + Z\right)}{X};$$

В канал связи передается $Z(t)$

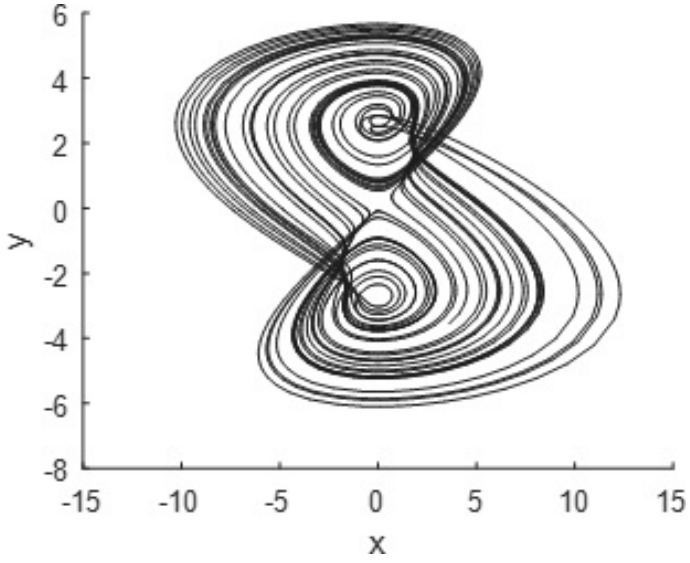
Параметры ХГ

$$b^*(t) = b + \mu(t)$$

Реконструкция динамической системы Шимизу-Мориока



Исходная система



Реконструированная система

Синтез наблюдателя параметра хаотического генератора

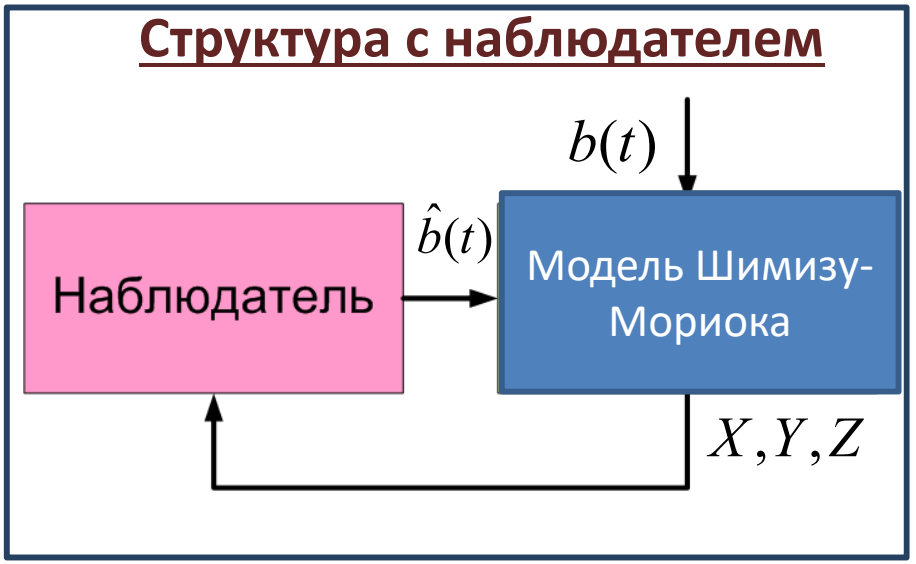
Расширенная система

$$\frac{dX}{dt} = Y;$$
$$\frac{dY}{dt} = Z;$$
$$\frac{dZ}{dt} = b\sigma Xw + G_1;$$
$$\frac{dw}{dt} = 0,$$

X, Y, Z - наблюдаемые (известные) переменные

w - ненаблюдаемая (неизвестная) переменная

(5)



где $G_1 = -b(\sigma+1)Y - (b+\sigma+1)Z - X^2Y - \sigma X^3 + \frac{Y((\sigma+1)Y+Z)}{X}$

Макропеременная

$$\psi = w - \hat{w} \qquad (6)$$

$\hat{w}$ - искомая оценка параметра b

Уравнение редукции

$$\hat{w} = Q(X,Y,Z) + v_1 \qquad (7)$$

$Q(X,Y,Z)$ неизвестная функция от наблюдаемых переменных

v_1 переменная состояния динамического наблюдателя

Основное функциональное уравнение:

$$\frac{d\psi}{dt} + L(X,Y,Z)\psi = 0 \qquad (8)$$

где $L(X,Y,Z)$ неизвестная функция, обеспечивающая устойчивость

Синтез наблюдателя параметра хаотического генератора

Условие при котором в уравнении наблюдателя нет ненаблюдаемых переменных

$$w\left(-\frac{\partial Q(X,Y,Z)}{\partial Z}b\sigma X + L(X,Y,Z)\right) = 0 \qquad (9)$$

$$Q(X,Y,Z) = \frac{\alpha}{b\sigma}XZ$$

$$L(X,Y,Z) = \alpha X^2$$

$\alpha > 0$ постоянный коэффициент, задающий динамику (скорость) оценивания b

Выражение для оценки параметра b

$$\hat{w} = \hat{b} = \frac{\alpha}{b\sigma}XZ + v_1 \qquad (10)$$

Окончательная оценка параметра b_1

$$\hat{b} = 1 + \hat{b}_1 = 1 + \frac{\alpha}{b\sigma}XZ + v_1 \qquad (11)$$

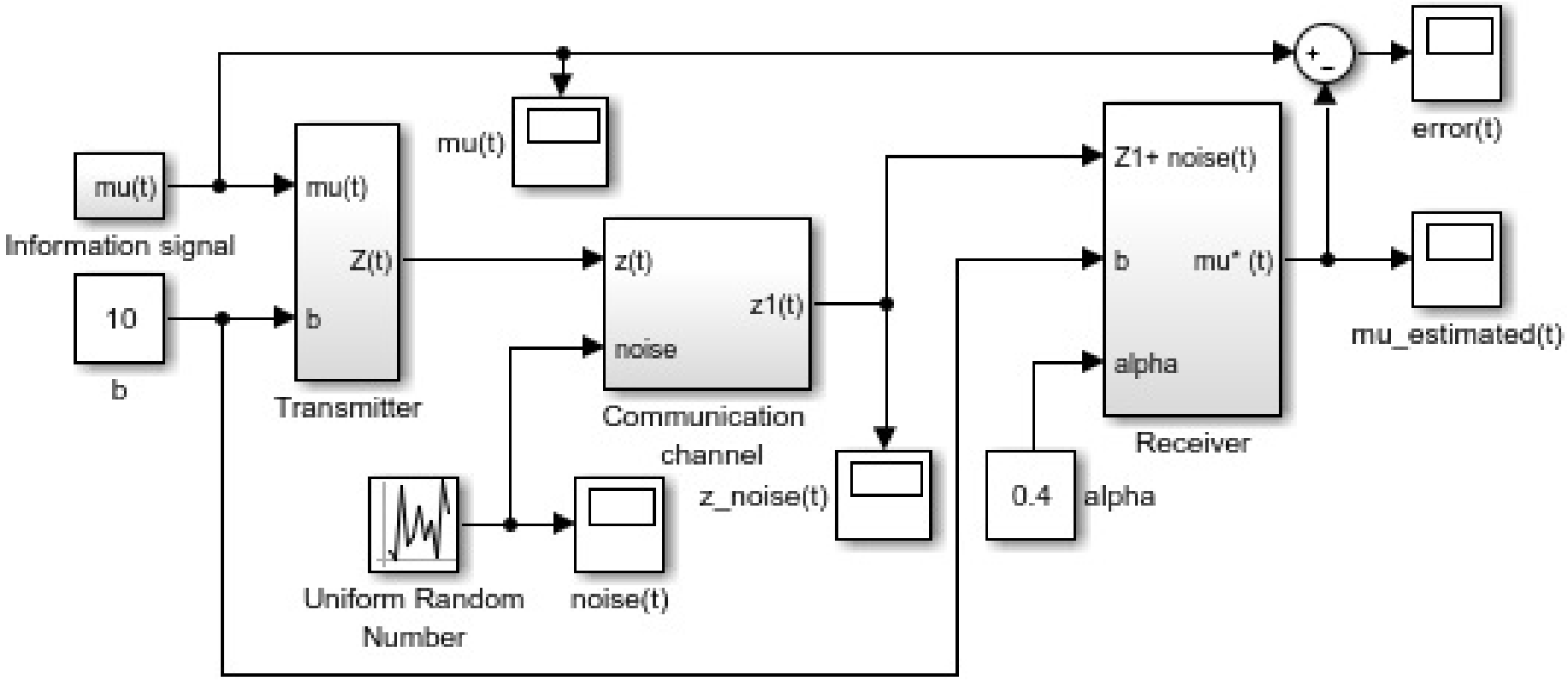
Уравнение динамической составляющей наблюдателя возмущений

$$\frac{dv_1}{dt} = -\left(\frac{\alpha}{b\sigma}Z\right)Y - \left(\frac{\alpha}{b\sigma}X\right)G_1 - \alpha X^2\left(\frac{\alpha}{b\sigma}XZ + v_1\right), \qquad (12)$$

Реконструированный информационный сигнал

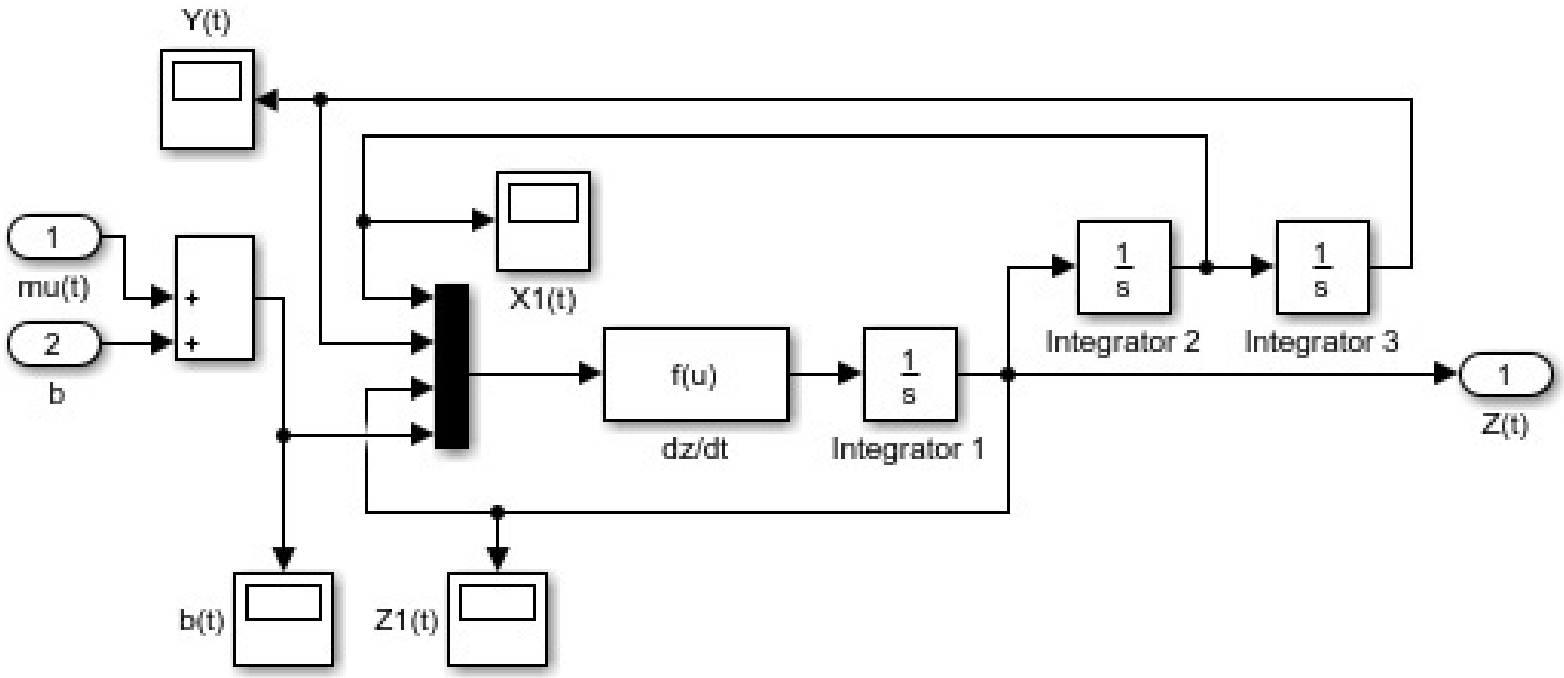
$$\mu_{реконстр.}(t) = \hat{b} - b$$

Моделирование в MatLab/Simulink



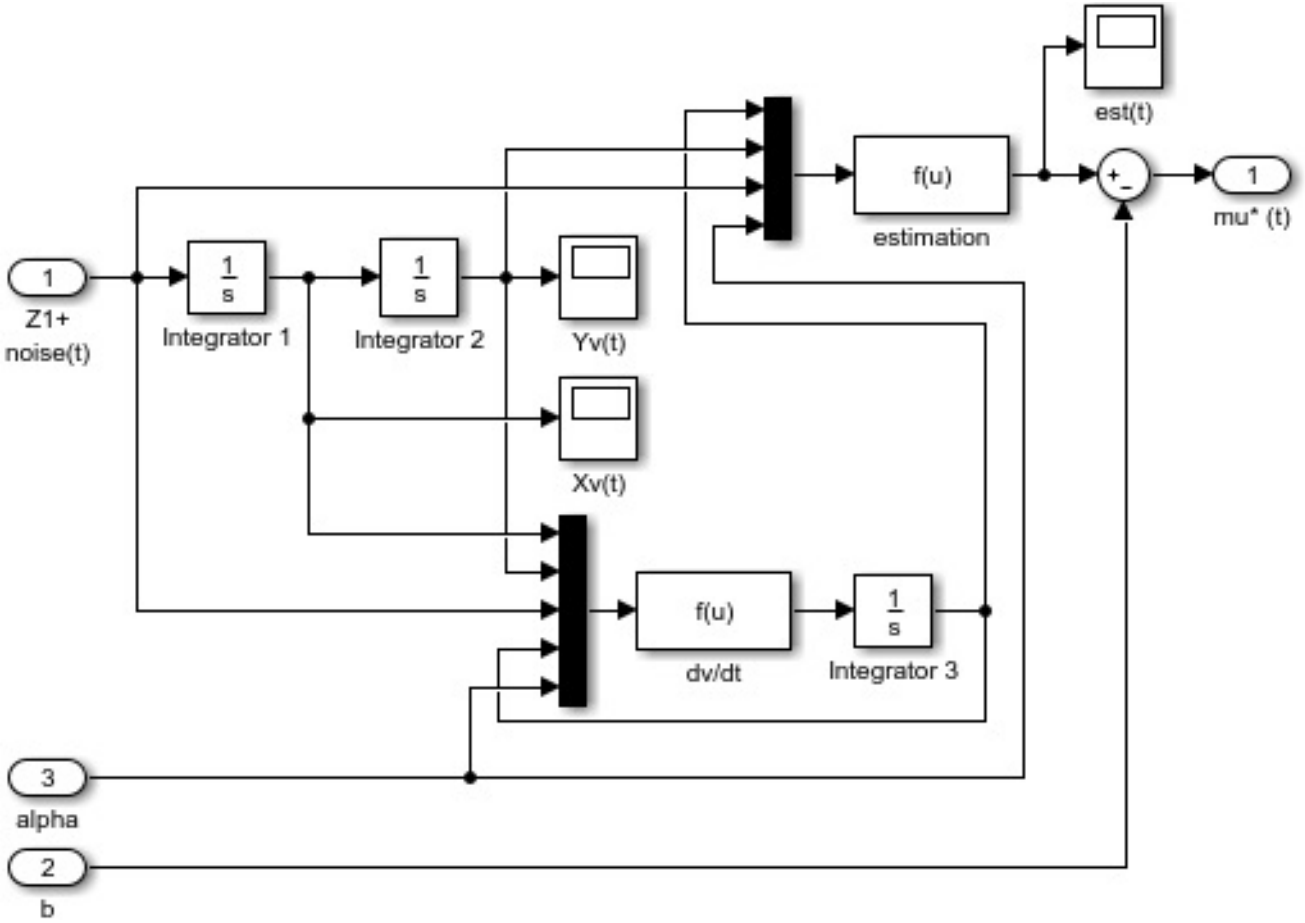
Вид схемы модели

Моделирование в MatLab/Simulink



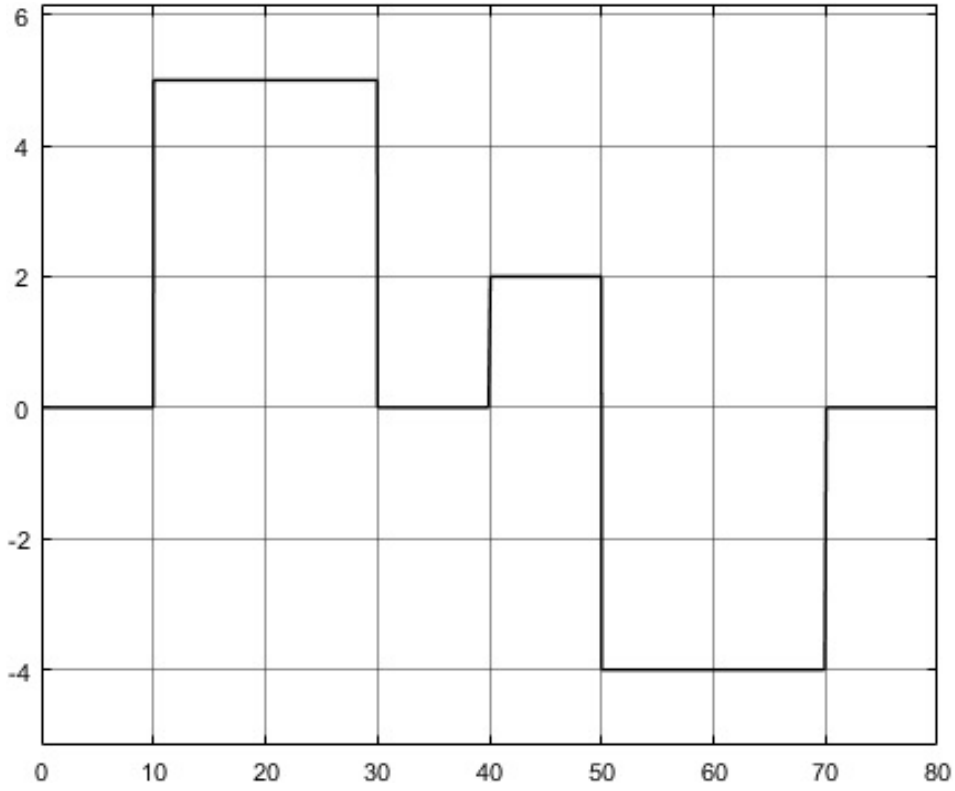
Блок передатчика

Моделирование в MatLab/Simulink

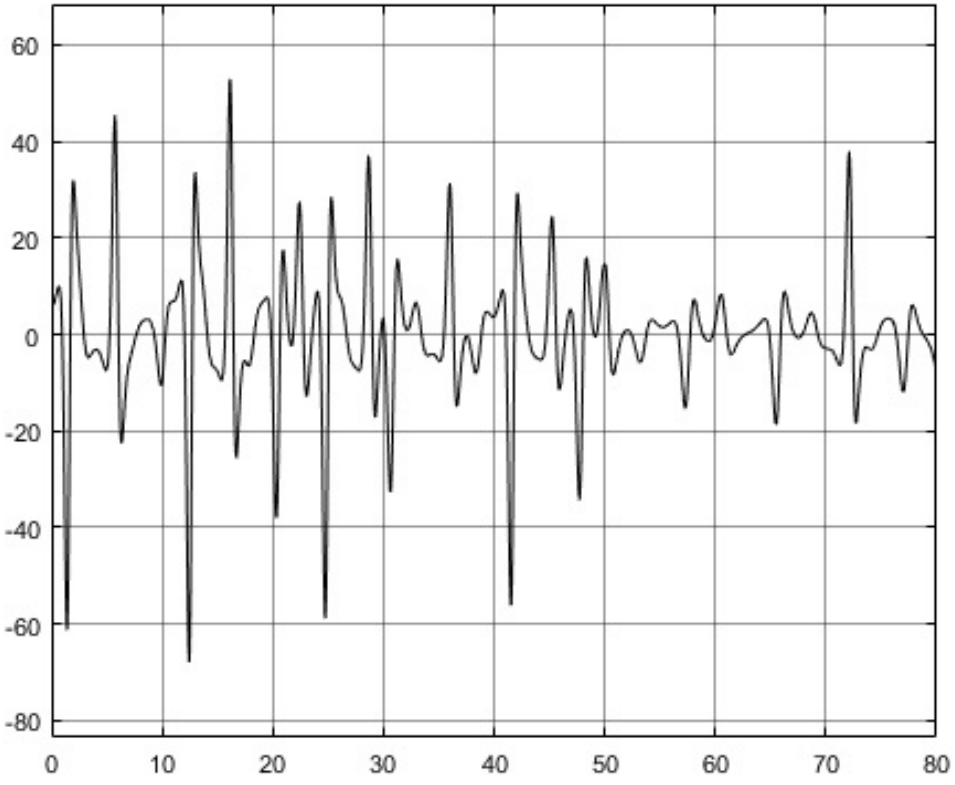


Блок приемника

Результаты моделирования

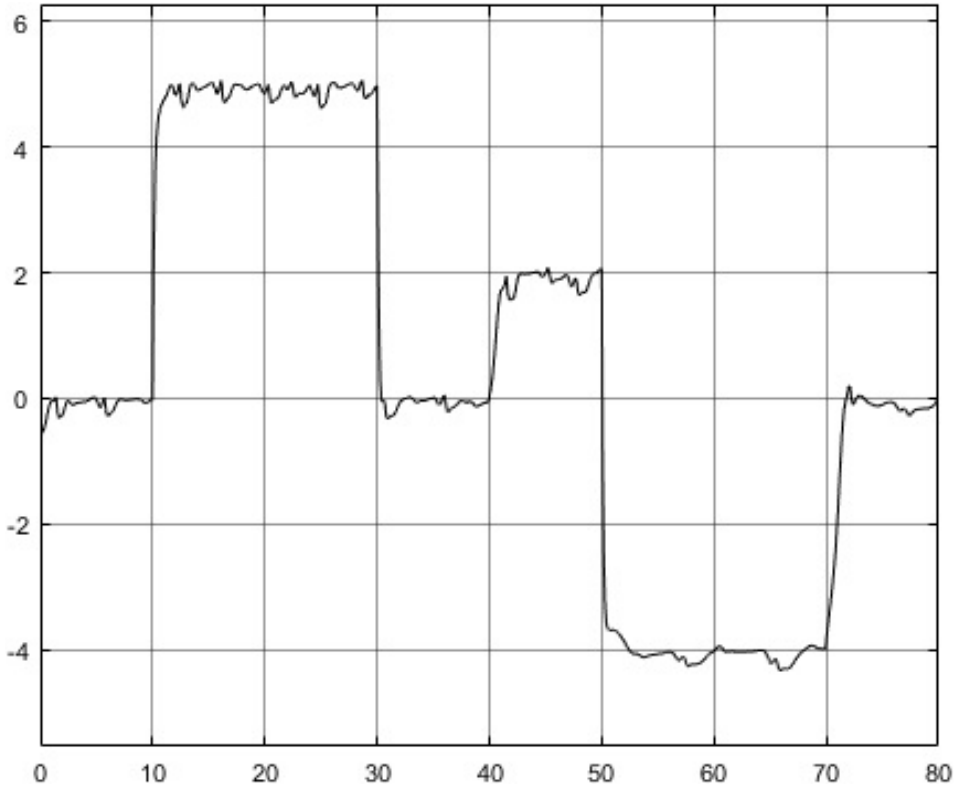


Подмешиваемый информационный сигнал

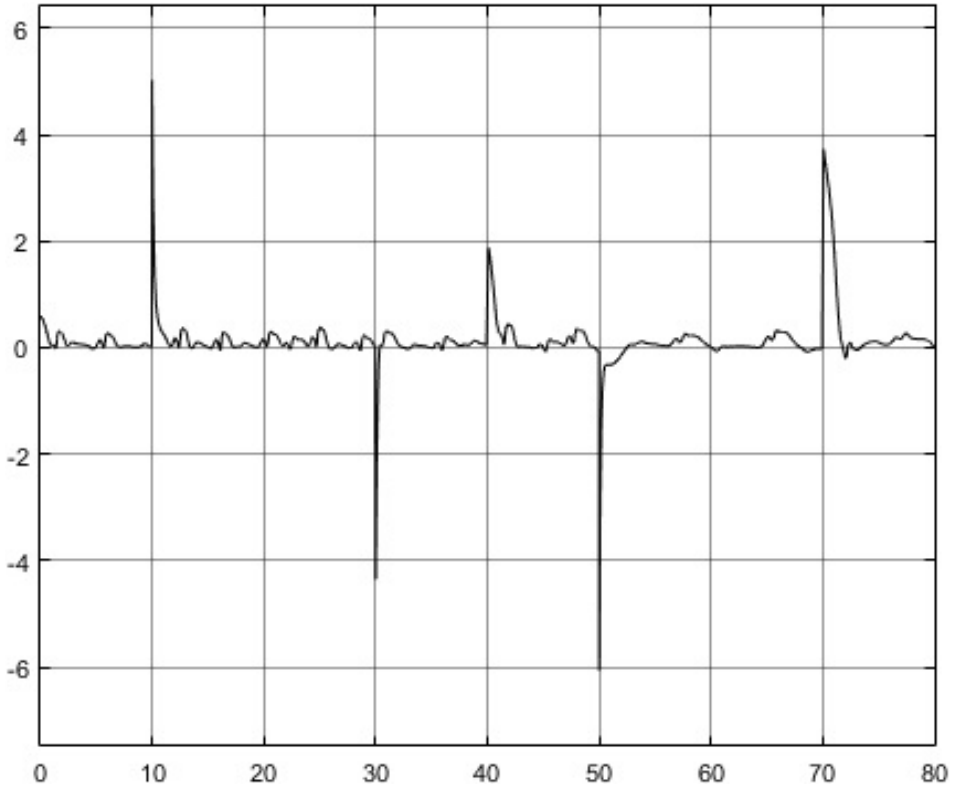


Сигнал в канале связи

Результаты моделирования



Восстановленный сигнал



Ошибка восстановления

Заключение

- В работе показана процедура синтеза синергетического наблюдателя недоступной для измерения переменной состояния хаотического генератора Шимизу–Мориока для решения проблемы динамической реконструкции (восстановления) полезного сигнала, подмешанного в модель хаотического генератора методом параметрической модуляции.
- Результаты компьютерного моделирования подтверждают практическую ценность используемых подходов и методов синергетической теории управления в решении данной прикладной задачи.

Спасибо за внимание!