

Laboratorium Sterowania Robotów Mobilnych

Raport

Szymon Kacperek, Tomasz Smaruj

AiR, studia stacjonarne II stopnia, specjalność SSiR, rok akademicki 2020/2021

Spis treści

1	Wstęp	2
2	Krótkie omówienie poszczególnych zadań sterowania i metod sterowania	2
2.1	Sterowniki wynikające z technik linearyzacji	2
2.2	Ciągły stabilizator Pometa jawnie zależny od czasu	2
2.3	Sterowniki nieciągłe metody VFO	3
3	Prezentacja wyników	3
3.1	Sterowniki wynikające z technik linearyzacji	3
3.1.1	Algorytm dla zadania odtwarzania pozycji	3
3.1.2	Algorytm dla zadania śledzenia trajektorii zadanej	5
3.1.3	Algorytm dla zadania podążania wzdłuż ścieżki	6
3.2	Ciągły stabilizator Pometa jawnie zależny od czasu	7
3.3	Sterowniki nieciągłe metody VFO	8
3.3.1	Algorytm VFO dla zadania śledzenia trajektorii	8
3.3.2	Algorytm VFO dla zadania podążania do punktu	9
4	Analiza wyników	10
4.1	Zadanie podążania do punktu	10
4.2	Zadanie śledzenia trajektorii	10
5	Wnioski	10

1 Wstęp

Celem omawianych ćwiczeń laboratoryjnych było zapoznanie się oraz zrozumienie zagadnień z zakresu sterowania robotów mobilnych. W kolejnych ćwiczeniach wykonywane zostały poszczególne etapy pracy - od tworzenia modelu robota do projektowania sterownika. Efektem końcowym miało być zamodelowanie układu sterowania robota mobilnego o ograniczonej mobilności z kinematyką (2,0). Do realizacji tego zadania użyty został skrypt „Sterowanie robotów mobilnych – laboratorium (Maciej Michałek, Dariusz Pazderski)”.

Poruszanie się robota, jest zależne od postawionych przed nim zadań ruchu. W ćwiczeniu badano trzy podstawowe zadania ruchu dla robota mobilnego:

- ZD1: Zadanie śledzenia trajektorii
- ZD2: Zadanie sterowania do punktu
- ZD3: Zadanie podążania według ścieżki

Do zrealizowania zadań sterowania zostały użyte trzy typy sterowników, wynikające z różnych interpretacji matematycznych. Są to następująco:

- S1. Sterowniki wynikające z technik linearyzacji – dla wszystkich trzech zadań ruchu.
- S2. Ciągły stabilizator Pometa jawnie zależny od czasu – tylko dla zadania stabilizacji w punkcie
- S3. Sterowniki nieciągłe metody VFO – dla wszystkich zadań ruchu.

2 Krótkie omówienie poszczególnych zadań sterowania i metod sterowania

2.1 Sterowniki wynikające z technik linearyzacji

Jako, że robot mobilny należy do układów nieliniowych, to sterowanie takiego robota jest trudniejsze, niż w przypadku układów liniowych. Dlatego sterowniki wynikające z tej metody polegają na dodaniu do układu linearyzującego sprzężenia zwrotnego od stanu. Linearyzację można wykonać przez dwa postępowania:

- Wyznaczanie liniowej aproksymacji wynikającej z rozwinięcia w szereg Taylora w pobliżu pewnego punktu pracy.
- Poprzez przekształcenie w torze wejście-wyjście zmiennych stanu oraz wejść sterujących korzystając ze sprzężenia zwrotnego.

Sterownik ten sprawdzi się do śledzenia trajektorii, odtwarzania pozycji oraz podążania wzdłuż ścieżki.

2.2 Ciągły stabilizator Pometa jawnie zależny od czasu

Metoda ta przeznaczona jest dla zadania stabilizacji w punkcie. Głównym problemem dojazdu do punktu jest brak ustawicznego pobudzenia, jak np. w przypadku zadania śledzenia trajektorii, gdzie jest ona zależna od czasu. Dla zadania dojazdu do punktu jest on niezmienny w czasie. Główną koncepcją tego sterowania jest to, aby zastąpić pobudzenie pochodzące od generatora sygnałów referencyjnych pobudzeniem sztucznie generowanym w sprzężeniu zwrotnym. Wykorzystana do tego zostanie funkcja zależna od czasu, która pozwoli ominąć ograniczenia wynikające z twierdzenia Broketa i ustawicznie pobudzać docelowy punkt.

2.3 Sterowniki nieciągłe metody VFO

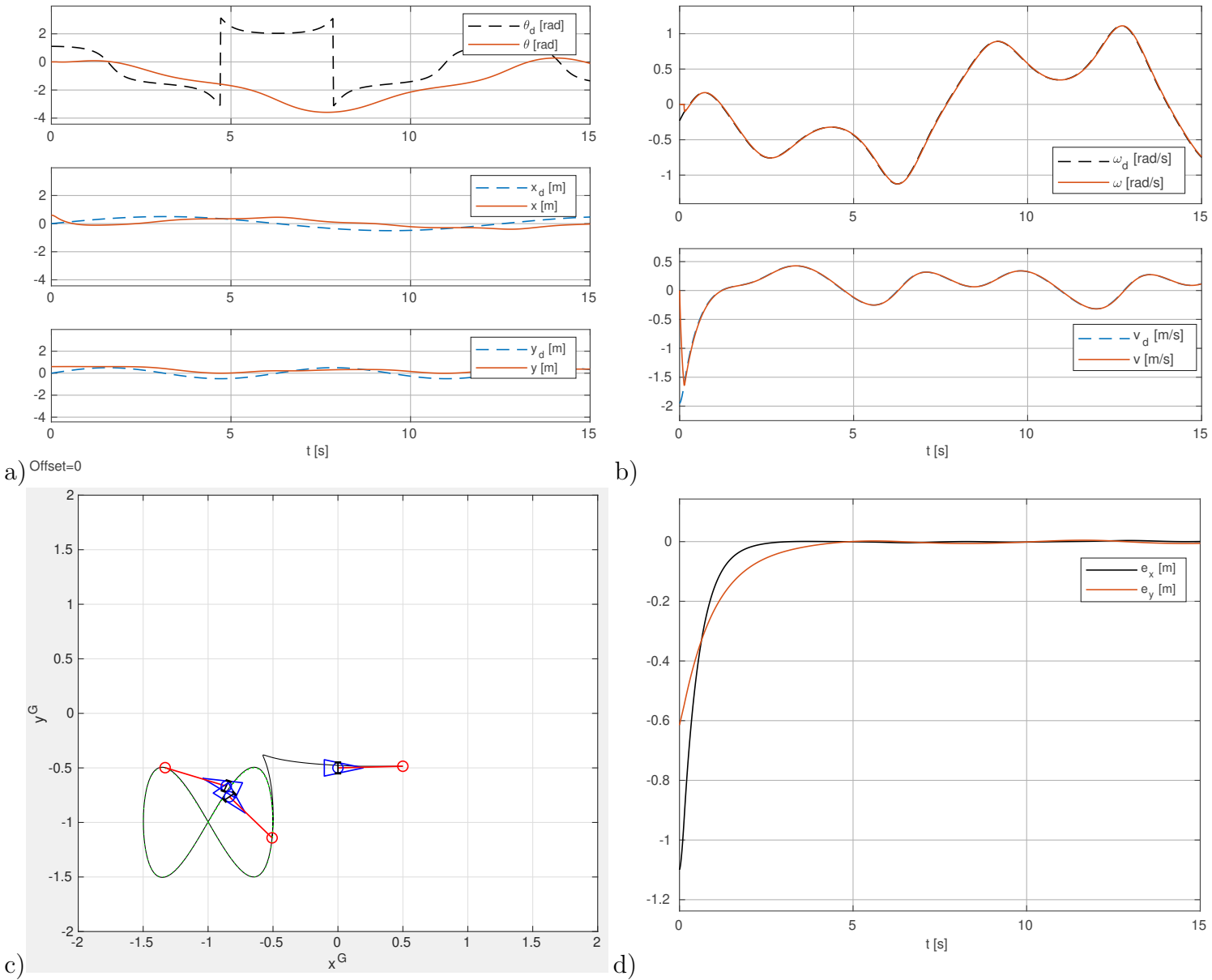
Metoda VFO bazuje na orientowaniu pól wektorowych, rozwiązując zadania śledzenia trajektorii zmiennych w czasie oraz dojazd do punktu. Wektorowe pole zbieżności:

$$h(q, \cdot) = \begin{bmatrix} h_\theta(q, \cdot) \\ h_x(q, \cdot) \\ h_y(q, \cdot) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_\theta(q, \cdot) \\ \bar{h}(q, \cdot) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}$$

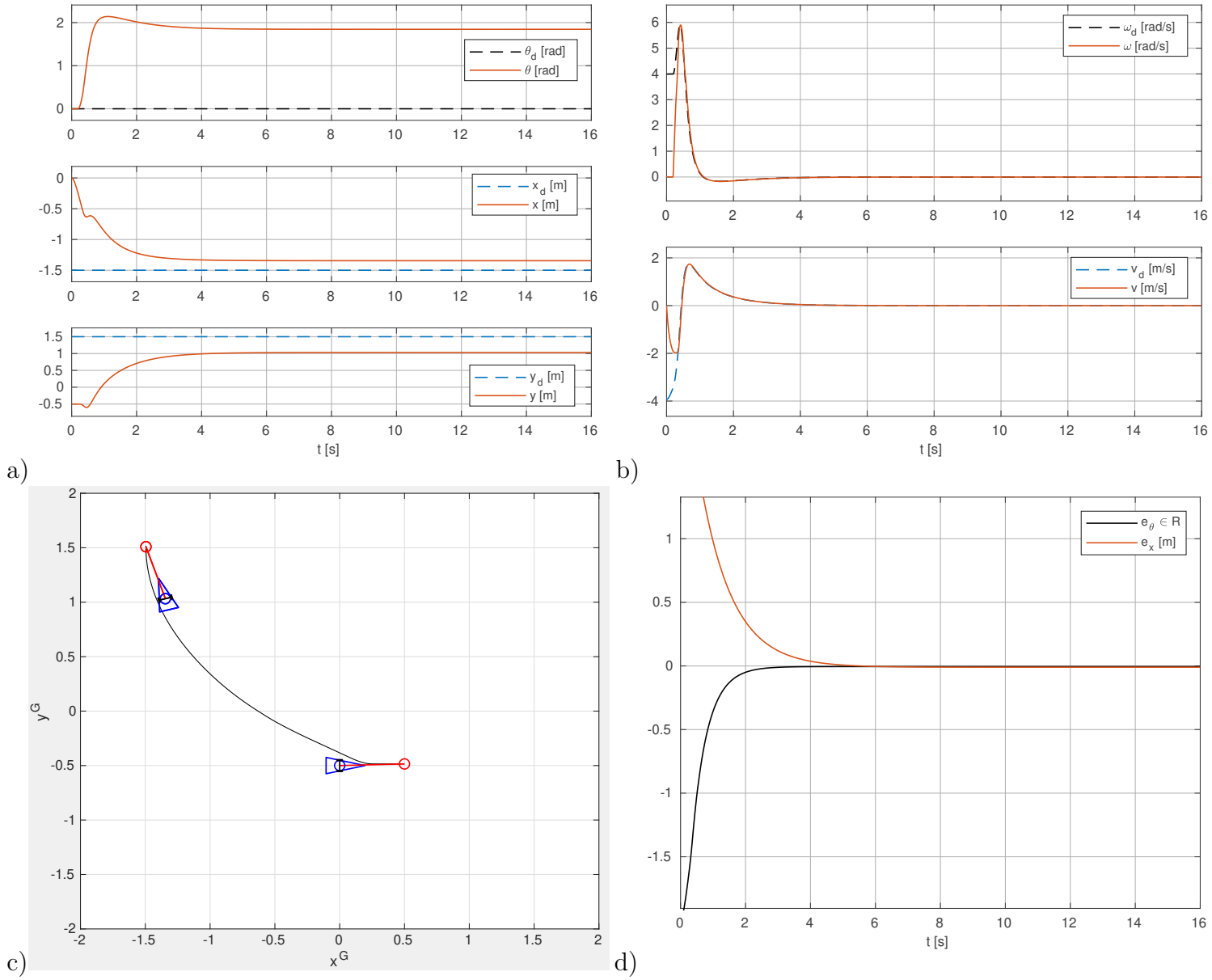
3 Prezentacja wyników

3.1 Sterowniki wynikające z technik linearyzacji

3.1.1 Algorytm dla zadania odtwarzania pozycji



Rysunek 1: Wyniki symulacji dla zadania śledzenia trajektorii zmiennej w czasie: a) wykres konfiguracji q oraz konfiguracji zadanej q_d , b) prędkości u oraz prędkości zadanych u_d , c) ruchu pojazdu, d) uchybów e . Przyjęto parametry $L_Z = 0.5[m]$ oraz $\beta_Z = 0.3[^\circ]$. Dobrano macierz wzmocnień $K = \text{diag}(2.0; 1.0)$.

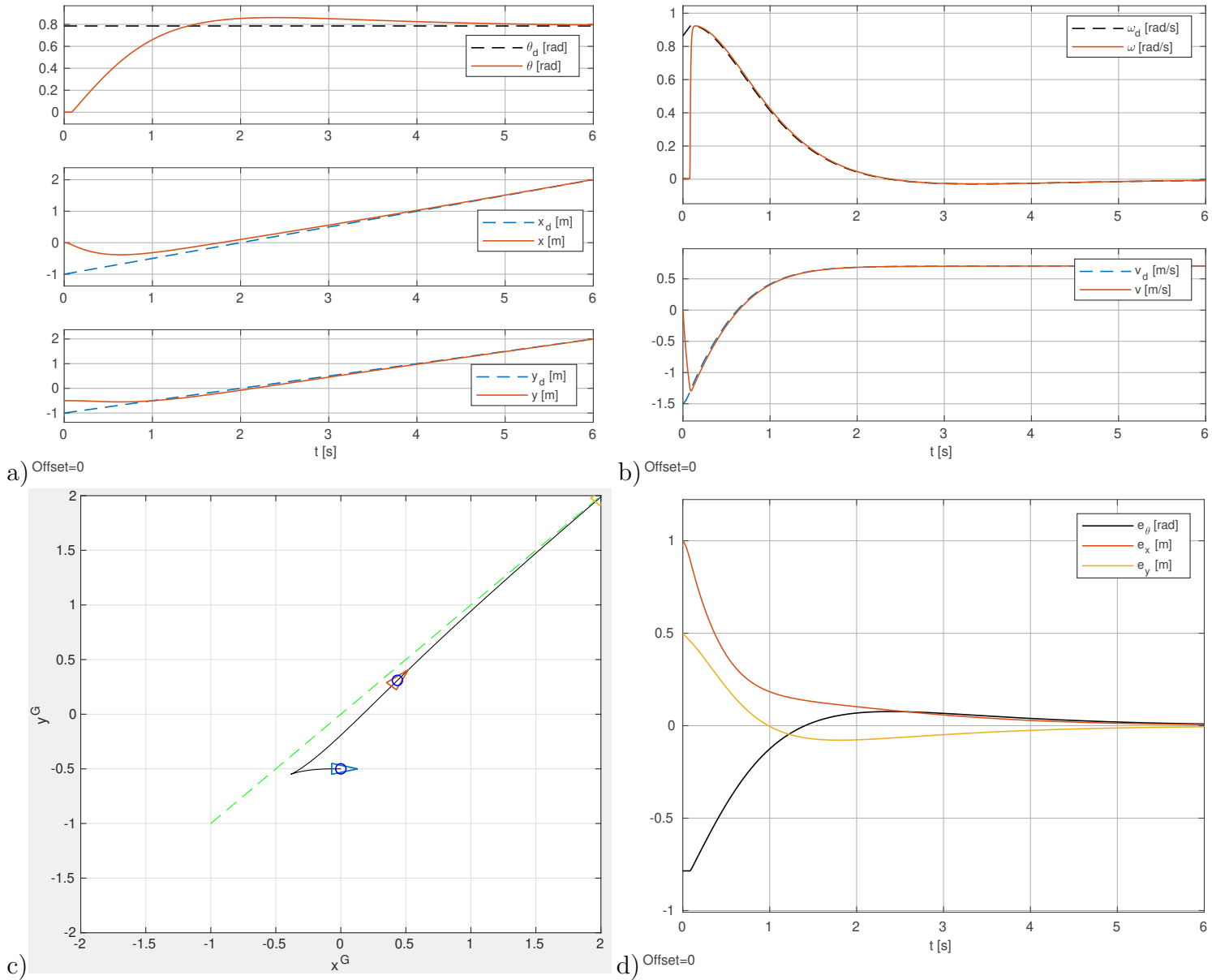


Rysunek 2: Wyniki symulacji dla zadania sterowania do punktu, $L_Z = 0.5[m]$ oraz $\beta_Z = 0.3[^\circ]$. Dobrano macierz wzmocnień $K = \text{diag}(2.0; 1.0)$.

3.1.2 Algorytm dla zadania śledzenia trajektorii zadanej

Przyjęto równanie z synteza sterownika (4.35÷4.36):

$$k_{11} = k_{22} = -2\zeta\sqrt{u_{d1}^2 + \alpha u_{d2}^2}, \quad k_{13} = -\alpha u_{d2}$$

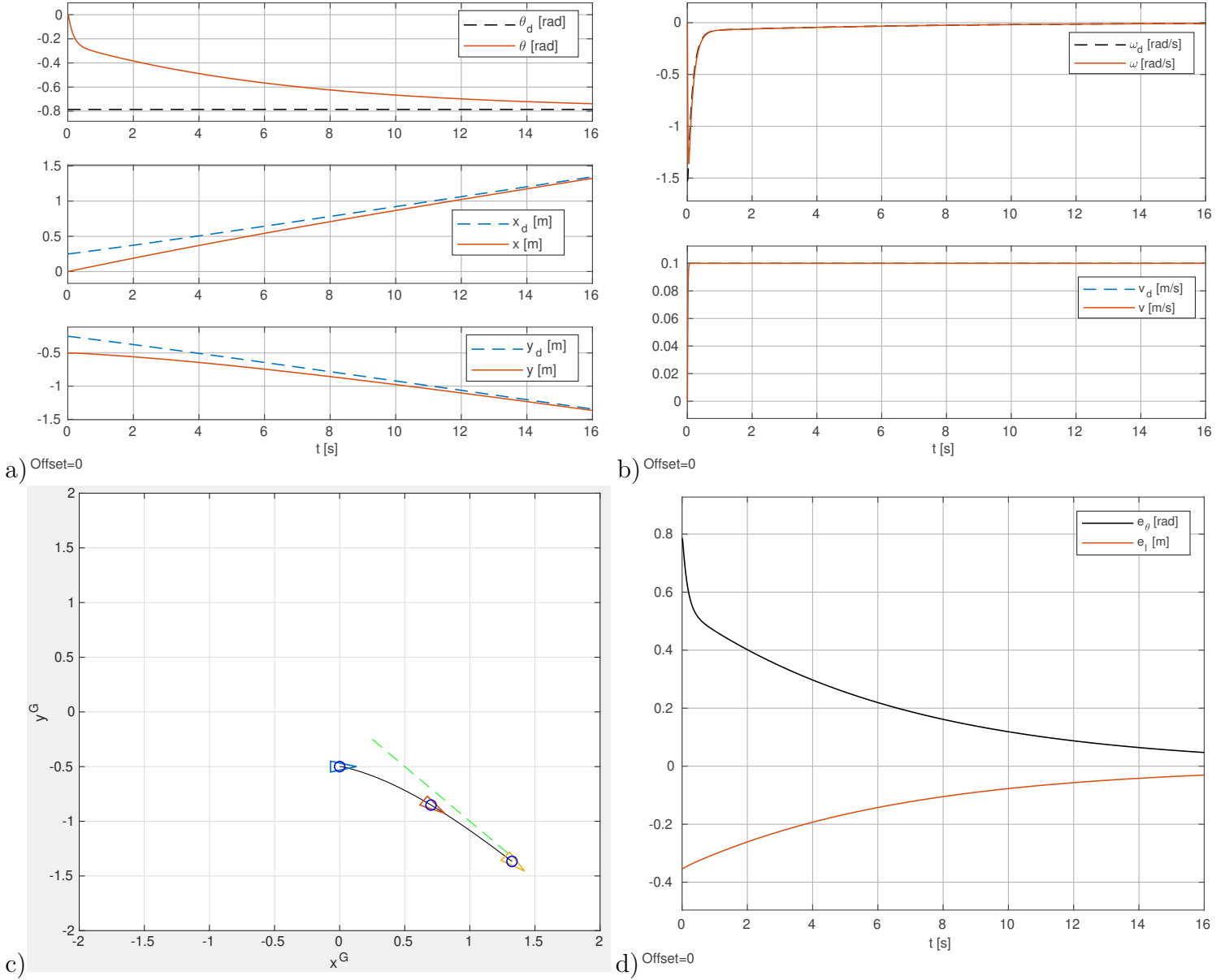


Rysunek 3: Wyniki symulacji dla zadania śledzenia trajektorii zadanej: a) wykres konfiguracji q oraz konfiguracji zadanej q_d , b) prędkości u oraz prędkości zadanych u_d , c) ruchu pojazdu, d) uchybów e . Przyjęto wartości współczynników $\zeta = 1$, $\alpha = 2$.

3.1.3 Algorytm dla zadania podążania wzdłuż ścieżki

Przyjęto postać sterownika (4.59) wraz z syntezą parametryczną (4.62÷4.63):

$$u_1 = u + \frac{u_2 \kappa_d(S) \cos(e_\theta)}{1 - e_l \kappa_d(S)}, \quad k_1 = \omega_n^2, \quad k_2 = 2\zeta\omega_n$$

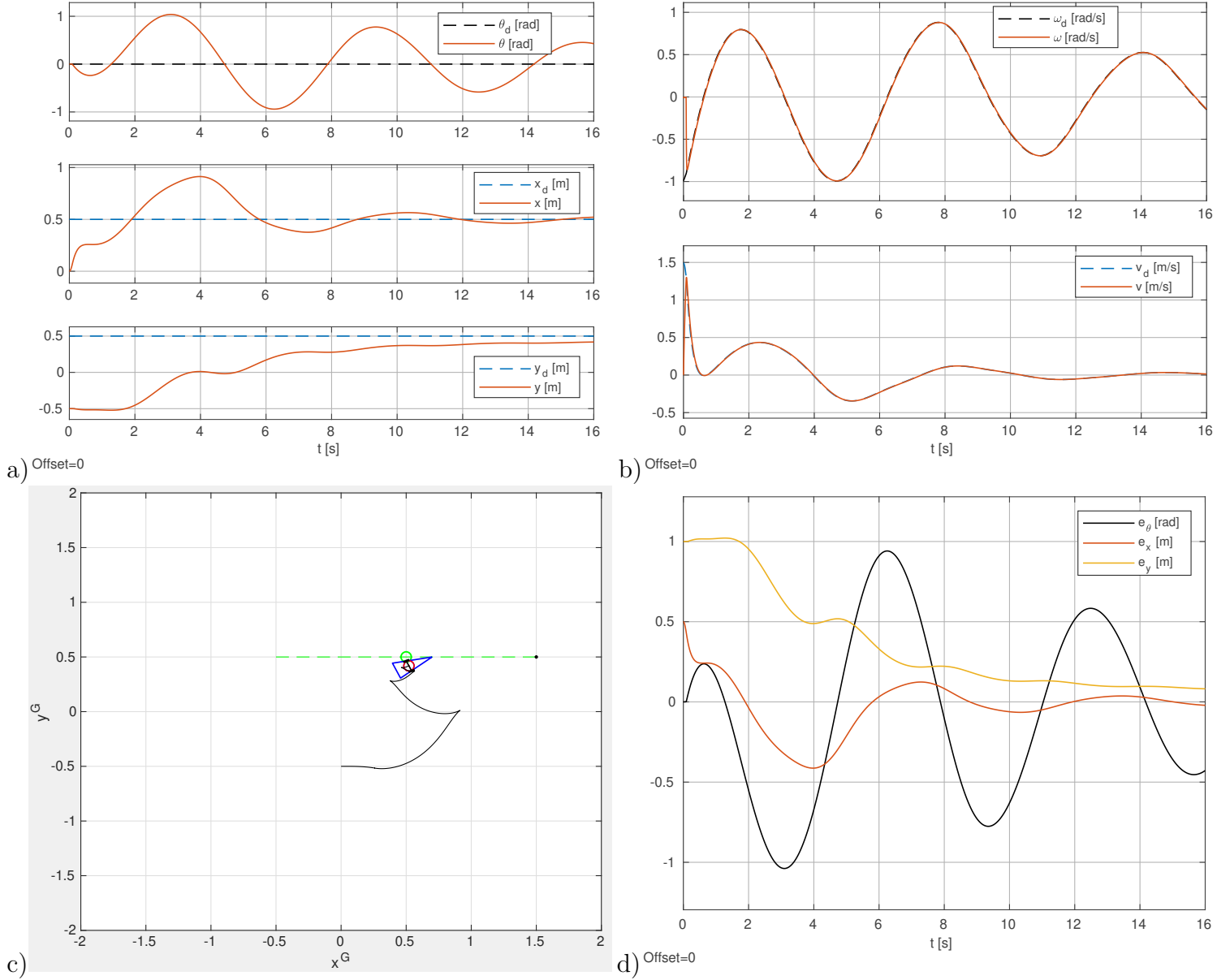


Rysunek 4: Wyniki symulacji dla zadania podążania wzdłuż ścieżki: a) wykres konfiguracji q oraz konfiguracji zadanej q_d , b) prędkości u oraz prędkości zadanych u_d , c) ruchu pojazdu, d) uchybów e . Przyjęto wartości współczynników $\zeta = 1$, $\omega_n = 3$, $k_1 = 9$, $k_2 = 6$.

3.2 Ciągły stabilizator Pometa jawnie zależny od czasu

Do algorytmu sterowania wykorzystano funkcję h postaci (5.36):

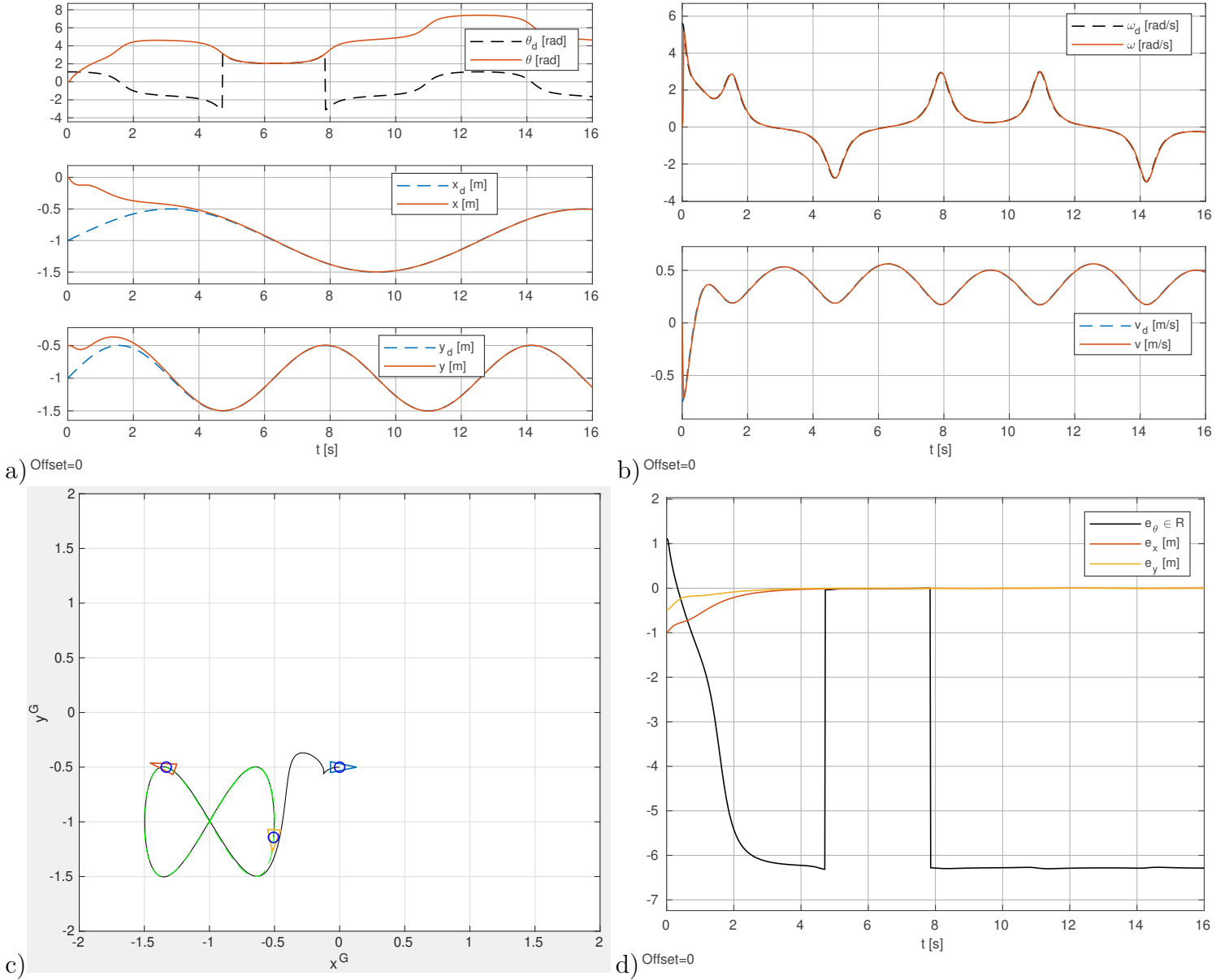
$$h(t, \tilde{e}) = k_4 \frac{\tilde{e}_2^2 + \tilde{e}_3^2}{\tilde{e}_2^2 + \tilde{e}_3^2 + \delta_p} \cos(\Omega t)$$



Rysunek 5: Wyniki symulacji dla zadania podążania do punktu: a) wykres konfiguracji q oraz konfiguracji zadanej q_d , b) prędkości u oraz prędkości zadanych u_d , c) ruchu pojazdu, d) uchybów e . Wartości przyjętych współczynników $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 1$, $\delta_p = 0.01$, $\Omega = 1$.

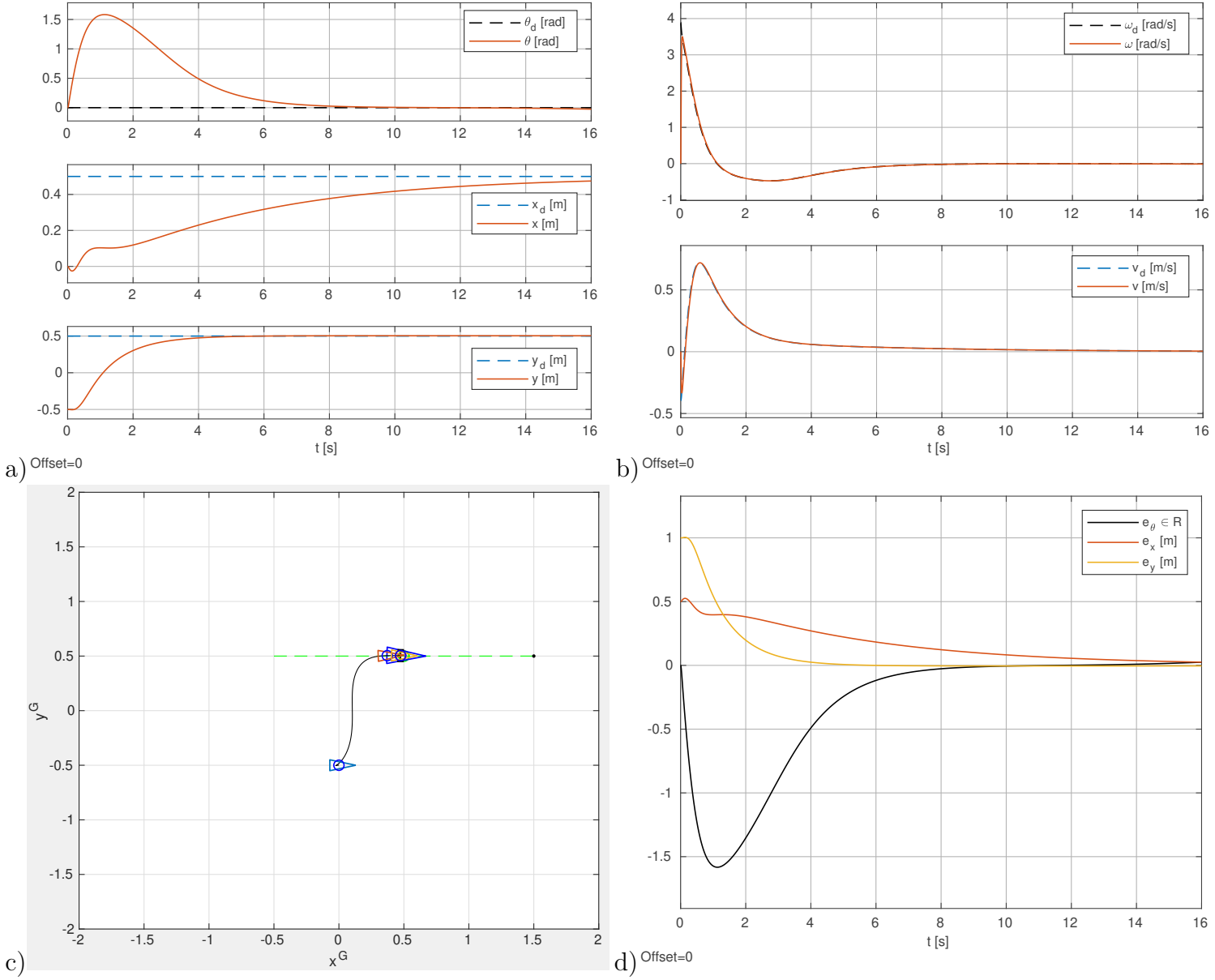
3.3 Sterowniki nieciągłe metody VFO

3.3.1 Algorytm VFO dla zadania śledzenia trajektorii



Rysunek 6: Wyniki symulacji dla zadania śledzenia trajektorii: a) wykres konfiguracji q oraz konfiguracji zadanej q_d , b) prędkości u oraz prędkości zadanych u_d , c) ruchu pojazdu, d) uchybów e . Wartości przyjętych współczynników $\zeta_d = 1$, $k_p = 1$, $\eta = 0.8k_p$, $\delta = 0.001$, $k_a = 2k_p$.

3.3.2 Algorytm VFO dla zadania podążania do punktu



Rysunek 7: Wyniki symulacji dla zadania podążania do punktu: a) wykres konfiguracji q oraz konfiguracji zadanej q_d , b) prędkości u oraz prędkości zadanych u_d , c) ruchu pojazdu, d) uchybów e . Wartości przyjętych współczynników $\zeta_d = 1$, $k_p = 1$, $\eta = 0.8k_p$, $\delta = 0.001$, $k_a = 2k_p$.

4 Analiza wyników

Poniżej przedstawiono odpowiedzi w zależności od zadania ruchu.

4.1 Zadanie podążania do punktu

Kryterium oceny zostało wybrane jako czas ustalenia się odpowiedzi do tunelu ok. 10% maksymalnej wartości e_θ .

Tabela 1: Porównanie czasu ustalenia uchybu e_θ dla zadania sterowania do punktu

	VFO (3.3.2)	Pomet (3.2)
T_{ust} [s]	7	>16

4.2 Zadanie śledzenia trajektorii

Do porównania wybrano trajektorię ósemkową.

Tabela 2: Porównanie czasu ustalenia uchybów e_x, e_y dla zadania podążania wzdłuż trajektorii ósemkowej

	VFO (3.3.1)	Linearyzacja (3.1.1)
T_{ust} [s]	3	1

5 Wnioski

Porównując możliwości sterowników w kwestii odtwarzania trajektorii zadanej, najbardziej wszechstronnym wyborem zdaje się być sterownik VFO. Umożliwia on odtworzenie każdej ścieżki, bez konieczności wyprowadzania np. punktu Z, jak dla sterownika wynikającego z metody linearyzacji sprzężeniem zwrotnym.

W przypadku zadania sterowania do punktu, korzystna jest synteza sterowników VFO, dającego szybszą zbieżność do zadanego punktu (porównanie w rozdziale 4.1) oraz Pometa, gwarantującego odtworzenia zadanego kąta θ_d . Połączenie sterowników umożliwi wjazd do wnęki, pozwoli na parkowanie równoległe.

Sterowniki wynikające z metod linearyzacji, mimo ich ograniczeń i prostoty implementacji, przynoszą satysfakcjonujące rezultaty, co ukazują wykresy uchybów oraz porównanie wyników w rozdziale 4.2. Pozwalają odtworzyć zadane trajektorie, lecz z istotnymi ograniczeniami - m.in. punktem Z.

Generator trajektorii parametryzowanej czasem t umożliwia odtworzenie każdej z krzywych zadanych. Jest to najbardziej wszechstronna możliwość. Jednakże znacznym ograniczeniem jest pobudzanie modelu robota tylko i wyłącznie czasem, niezależnym od konfiguracji. W niektórych implementacjach jest to poważne ograniczenie.

Zastosowany regulator PI dla pętli podrzędnej umożliwia zminimalizowanie efektów oporu wynikających z dynamiki robota mobilnego, pozwalając na implementację sterownika pętli nadrzędnej, generującego zadane prędkości u_d .