

## SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	9
1. Robotyzacja i automatyzacja w dobie Przemysłu 4.0	11
1.1. Rewolucje przemysłowe	11
1.2. Idea przemysłu 4.0	13
1.3. Technologie przemysłu 4.0 – przemysłowy Internet rzeczy	17
1.3.1. Wytwarzanie przyrostowe	18
1.3.2. Integracja systemów IT i OT	27
1.3.3. Przemysłowy Internet rzeczy	30
1.3.4. Przetwarzanie danych w chmurze	33
1.3.5. Analiza dużych zbiorów danych	35
1.3.6. Wirtualna, rozszerzona i mieszana rzeczywistość	37
1.3.7. Cyberbezpieczeństwo	41
1.4. Implementacja przemysłowego Internetu rzeczy w nowoczesnych fabrykach	47
1.4.1. Standardy i protokoły komunikacyjne w implementacji IIoT	50
1.4.2. Praktyczne rozwiązania IIoT na przykładzie rozwiązania sprzętowego firmy B&R	62
1.4.3. Przemysłowy Internet rzeczy w nowoczesnych fabrykach – podsumowanie	73
1.5. Kształcenie kadry technicznej na potrzeby rozwiązań przemysłu 4.0	74
1.5.1. Zapotrzebowanie rynku pracy w dobie czwartej rewolucji przemysłowej	76
1.5.2. Modele kształcenia technicznego	79
1.5.3. Rozwiązania z zakresu kształcenia na potrzeby Przemysłu 4.0	80
2. Przepływ produktów na linii produkcyjnej w procesach zrobotyzowanego sortowania, pakowania i paletyzacji w dobie Przemysłu 4.0	91
2.1. Projektowanie zrobotyzowanych stanowisk do sortowania, pakowania i paletyzacji produktów w aspekcie Przemysłu 4.0	94
2.1.1. Wprowadzenie	94
2.1.2. Budowa stanowiska sortowania, pakowania i paletyzacji	98
2.1.3. Przykład zrobotyzowanego stanowiska do sortowania i pakowania produktów	121
2.1.4. Paletyzacja produktów – dobór robota i jego wyposażenia	159
2.1.5. Paletyzacja produktów – konfiguracja stacji	163
2.1.6. Paletyzacja produktów – szablony paletyzacji	166
2.2. Paletyzacja produktów – system chwytakowy	168
2.2.1. Układ sterowania – moduły sprzętowe	187
2.2.2. Układ sterowania – moduły programowe	196
3. Wykorzystanie robotów mobilnych w aplikacjach Przemysłu 4.0	214
3.1. Wprowadzenie	214
3.2. Rodzaje AGV	219
3.3. Modele kinematyki AGV	223
3.4. Metody nawigacji AGV w budynkach	230
3.5. Skalowalność systemu AGV	237
3.5.1. Wprowadzenie	237
3.5.2. Algorytm behawioralny	239
3.5.3. Algorytm śledzenia lidera	240
3.5.4. Algorytm sztucznych pól potencjałowych	241
3.5.5. Algorytm wirtualnej struktury	243
3.5.6. Algorytm teorii grafów	244

3.6. Podsumowanie	245	
4. Systemy wizyjne w Przemysle 4.0	247	
4.1. Wprowadzenie	247	
4.2. Systemy wizyjne 1D, 2D, 2,5D i 3D	252	
4.2.1. Technologia wykorzystująca kamery liniowe (1D)	252	
4.2.2. Technologia kamer 2D	254	
4.2.3. Technologia widzenia 2,5 D	256	
4.2.4. Technologia widzenia 3D	257	
4.2.5. Techniki obrazowania 3D wykorzystujące triangulację laserową	258	
4.2.6. Techniki obrazowania 3D wykorzystujące stereowizję	259	
4.2.7. Techniki obrazowania 3D wykorzystujące światło strukturalne	260	
4.2.8. Techniki obrazowania 3D wykorzystujące ToF	262	
4.2.9. Podsumowanie	264	
4.3. Podział systemów wizyjnych ze względu na konstrukcję	265	
4.3.1. Czujnik wizyjny	266	
4.3.2. Inteligentna kamera	271	
4.3.3. System kamera–komputer	274	
4.3.4. Podsumowanie	277	
4.4. Integracja systemu wizyjnego z robotem przemysłowym	278	
4.4.1. Wprowadzenie	278	
4.4.2. Integracja systemu wizyjnego w robotach firmy ABB	280	
4.4.3. Integracja systemu wizyjnego w robotach firmy KUKA	282	
4.4.4. Integracja systemów wizyjnych z robotami firmy KAWASAKI	284	
4.4.5. Integracja systemów wizyjnych z robotami firmy YASKAWA Motoman	285	
4.4.6. Integracja systemu wizyjnego w robotach firmy FANUC	287	
4.4.7. Inni producenci robotów i ich systemy wizyjne	295	
4.5. Kierunki rozwoju systemów wizyjnych	296	
5. Przykładowe realizacje procesów zrobotyzowanych	298	
5.1. Zrobotyzowane stanowisko z elementami separującymi do paletyzacji produktów	298	
5.2. Zrobotyzowane stanowisko do paletyzacji kartonów	305	
5.3. Zrobotyzowane stanowisko do miksowania produktów w opakowaniach zbiorczych	307	
5.4. Zrobotyzowane stanowisko do miksowania produktów na paletach	312	
6. Dalsze kierunki rozwoju robotyzacji i automatyzacji	319	
7. Bibliografia	323	