

**Autorzy:**

dr inż. Jarosław Domaszewicz  
dr inż. Fernando Solano Donado  
dr inż. Mariusz Mycek  
mgr inż. Aleksander Pruszkowski

**PROTOKOŁY I ARCHITEKTURY  
SYSTEMÓW INTERNETU RZECZY (PASIR)  
IoT Protocols and Architectures**

**Poziom kształcenia:** I stopień

**Forma i tryb prowadzenia przedmiotu:** stacjonarna

**Kierunek studiów:** Cyberbezpieczeństwo

**Specjalność:**

**Grupa przedmiotów:**

**Poziom przedmiotu:** podstawowy

**Status przedmiotu:** obieralny

**Język przedmiotu:** polski

**Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych):**

**Minimalny numer semestru:** 5

**Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające:** Algorytmy i Programowanie 2,  
Usługi i Aplikacje Internetu, Sieci i Chmury Internetu, Systemy Komputerowe:  
Architektura i Programowanie

**Limit liczby studentów:** 36

**Powód zgłoszenia przedmiotu:** wprowadzenie kierunku studiów Cyberbezpieczeństwo

**Cel przedmiotu:**

Głównym celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z technologiami, których można użyć do tworzenia złożonych aplikacji i systemów Internetu Rzeczy. Należy tu wymienić węzły wbudowane, sposoby zapewnienia łączności, protokoły, specyfikacje opisu zasobów, komponenty, interfejsy, architektury ekosystemów IoT, sposoby zapewnienia bezpieczeństwa. Nacisk kładzie się na interoperacyjność, z czego wynika uwzględnienie rozwiązań wyspecyfikowanych w obiecujących standardach. Ponadto, wyróżnia się warstwę aplikacji jako tę, w której inżynier ma największe pole do popisu. Student nabywa kompetencji typu *IoT system architect*.

Student(ka), który(a) zaliczy ten przedmiot:

- rozumie pojęcie Internetu Rzeczy (IoT), zna bieżący stan rozwoju IoT oraz podstawowe wyzwania w tej dziedzinie,
- rozumie pojęcie węzła wbudowanego (węzła IoT), w tym najważniejsze ograniczenia zasobów takiego węzła,
- zna dostępne technologie podłączania węzłów IoT do sieci i umie wybrać jedną z nich w konkretnej sytuacji,
- zna najważniejsze protokoły warstwy aplikacji IoT, z uwzględnieniem zakładanych przez nie modeli komunikacji,
- umie wybrać protokół warstwy aplikacji w konkretnej sytuacji,

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

- umie zaprojektować API udostępniające zasoby sensoryczne i wykonawcze węzła IoT,
- rozumie znaczenie meta-danych i zna najważniejsze podejścia do opisywania zasobów IoT,
- zna typowe architektury systemów IoT oraz architektury proponowane przez organizacje standaryzacyjne,
- umie zaproponować własną architekturę systemu IoT i dokonać wyboru elementów systemu, z uwzględnieniem interoperacyjności.

### Treść kształcenia:

#### WYKŁADY:

#### Wprowadzenie:

- Mapa drogowa. Motywacja (wiedza i umiejętności nabywane na przedmiocie a możliwości rozwoju kariery zawodowej). Treść zajęć (przedmiot „w pigułce”). Organizacja przedmiotu.
- IoT w pigułce. Rzeczy (węzły wbudowane). Łączność. Semantyka. Ekosystemy. Bezpieczeństwo.

#### Węzły wbudowane i ich łączność:

- Węzeł IoT w pigułce. Mikrokontrolery (na przykładzie AVR): architektura, rejestry, organizacja pamięci. Pamięć SRAM, pamięć nieulotna. Lista instrukcji. Reset. Watchdogtimer. Przerwania. Układy czasowe. Tryby uśpienia. Końcówki i interfejsy mikrokontrolera (GPIO, UART, SPI, I2C, PWM, wejścia i przetworniki analogowe). Podłączanie sensorów i elementów wykonawczych do mikrokontrolera.
- Łączność dla węzłów IoT z punktu widzenia architekta systemu IoT. Przegląd dostępnych rozwiązań w zakresie łączności węzłów IoT. Łączność przewodowa (1-Wire, I2C, USB, ...). Łączność bezprzewodowa lokalna (LRWPAN802.15.4, BLE, WiFi w IoT). Łączność bezprzewodowa zdalna (LoRa, LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT, LTE, 5G). Różne czynniki wpływające na wybór technologii łączności: przepływność, fragmentacja, QoS, zasięg, pobór energii, skalowalność, koszt, uzależnienie od dostawcy (*vendor lock-in*).

#### Protokoły warstwy aplikacji IoT:

- Protokoły z „klasycznego” Internetu używane w IoT: DNS, NTP, DHCP, ...
- Protokoły warstwy aplikacji: CoAP (1/2). Reprezentacje zasobów i interfejsy REST. Warstwa żądań i odpowiedzi. Warstwa niezawodności. Format wiadomości. Opcje. Przykładowe diagramy sekwencji.
- Protokoły warstwy aplikacji: CoAP (2/2). Pamięć podręczna (*cache*) w komunikacji za pomocą CoAPa. CoAP Proxy. Obserwowanie zasobów. CoRE Link Format. Transfery blokowe.
- Protokoły warstwy aplikacji: MQTT. Model publish/subscribe. Klient i broker MQTT. Pakiety MQTT. Poziomy QoS. Tematy (*topics*). Wiadomości zachowywane (*retained messages*). Mechanizm *Keepalive*. Testament. Sesje trwałe (*persistent*). Przykładowe diagramy sekwencji.

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

### Opis zasobów w systemach IoT (semantyka):

- Proste sposoby opisu zasobów IoT. Co to jest semantyka i metadane? Wsparcie dla meta-danych w protokołach warstwy aplikacji. Różnorodność proponowanych sposobów opisów zasobów. SenML (Sensor Measurement Lists). ZigBee Cluster Library (Dotdot). Model obiektu LwM2M. IPSO Smart Objects.
- Ontologie do opisu zasobów IoT. IoT-Lite, SAREF (Smart Appliances Reference Ontology), oneM2M Home Appliance Information Model Base Ontology, itp.

### Ekosystemy IoT:

- Architektury ekosystemów IoT. Czynniki wpływające na wybór architektury. Portale IoT w chmurze. Edge computing w IoT.
- Standaryzacja ekosystemów IoT (1/2): LwM2M. Architektura. Komponenty. Interfejsy.
- Standaryzacja ekosystemów IoT (2/2): oneM2M. Architektura. Komponenty. Interfejsy.

### Bezpieczeństwo w systemach IoT:

- Bezpieczeństwo w systemach IoT (1/2). Datagram Transport Layer Security (DTLS). Protokół MQTTS.
- Bezpieczeństwo w systemach IoT (2/2). Object Security for Constrained RESTful Environments (OSCORE). Manufacturer Usage Description (MUD).

### ĆWICZENIA: –

### LABORATORIA:

Zajęcia laboratoryjne (trzy ćwiczenia) są ilustracją działania protokołów IoT, ze szczególnym uwzględnieniem protokołów warstwy aplikacji. Studenci pracują z dostarczonymi przez prowadzących węzłami IoT komunikującymi się za pomocą wybranych protokołów (np. klient i serwer CoAP, klienty i broker MQTT). Za pomocą stosownych interfejsów użytkownika (GUI, linia komend), studenci inicjują wymiany wiadomości między komunikującymi się węzłami, a następnie analizują przesyłane wiadomości i interpretują je, poznając mechanizmy odpowiednich protokołów.

### Przykładowe protokoły do badania na ćwiczeniach laboratoryjnych:

- CoAP,
- MQTT,
- współpraca z portalem IoT w chmurze.

### PROJEKT:

Studenci otrzymują zadanie zaprojektowania systemu IoT, który może wspierać złożoną aplikację IoT o zadanych wymaganiach. Wynikiem projektu jest architektura systemu i propozycja sposobu jego implementacji. Raport powinien przedstawiać proponowane zasoby sensorowo-wykonawcze i sposoby ich opisu (meta-dane), węzły wbudowane, serwery,

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

sposoby zapewnienia łączności, wykorzystane protokoły, komponenty programowe, interfejsy API, mechanizmy bezpieczeństwa. Oprócz samego rozwiązania, raport powinien przedstawiać jego analizę, z punktu widzenia czynników takich, jak budżet energii, przepływności, QoS, skalowalność, re-używalność, bezpieczeństwo, wymagana moc obliczeniowa, uzależnienie od dostawców, itp. Jako wsparcie wykonania projektu, na końcu każdego wykładu pojawi się slajd sugerujący zagadnienia do przemyślenia/uwzględnienia w procesie projektowania. Na zakończenie projektu, zespół przedstawia swoje wyniki innym studentom i prowadzącym, wyjaśniając przesłanki podjętych decyzji projektowych, a także zalety i wady prezentowanego rozwiązania.

ZAJĘCIA ZINTEGROWANE: –

### Treść kształcenia – streszczenie w jęz. angielskim:

The course objective is to teach students about component technologies that may be integrated to build complex IoT systems and applications. The topics include resource-constrained embedded nodes, long- and short-range connectivity options, application layer protocols, metadata to describe IoT resources (so-called semantics), applications programming interfaces (API's), major architectures for big IoT "ecosystems," and, last but not least, security issues. Interoperability is stressed throughout the course; as a result, solutions proposed in promising standards are highlighted. Additionally, the application layer – the one that gives rise to most opportunities for innovative solutions – is given special attention. In effect, the student acquires competencies which enable him/her to assume the role of *IoT system architect*.

**Egzamin:** nie

### Literatura i oprogramowanie:

Literatura:

- Opracowane przez prowadzących prezentacje wykładowe oraz instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych (udostępnione w formie elektronicznej).
- Aktualne artykuły z zakresu Internetu Rzeczy, przykładowo:
  - Z. Shelby, „Embedded Web Services”, IEEE Wireless Communications, vol.17, no.6, 2010
  - C. Bormann, A. P. Castellani, Z. Shelby, “CoAP: An Application Protocol for Billions of Tiny Internet Nodes”, IEEE Internet Computing, vol.16, no.2, 2012
  - P. P. Ray, „A Survey of IoT Cloud Platforms”, Future Computing and Informatics Journal, 2016
  - J. Guth, U. Breitenbücher, M. Falkenthal, et al., „A Detailed Analysis of IoT Platform Architectures: Concepts, Similarities, and Differences”, 2017
  - A. Ciuffoletti, „Low-Cost IoT: A Holistic Approach”, J. Sensor Actuator Networks, 2018
  - M. Alam, J. Rufino, J. Ferreira, et al., „Orchestration of Microservices for IoT Using Docker and Edge Computing”, IEEE Communications Magazine, 2018.
- Specyfikacje dot. wybranych aspektów Internetu Rzeczy (np. RFC, Internet Drafts), przykładowo:

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

- Z. Shelby, K. Hartke, C. Bormann, „The Constrained Application Protocol (CoAP)”, RFC 7252, IETF, 2014
- K. Hartke, „Observing Resources in the Constrained Application Protocol (CoAP)”, RFC 7641, IETF, 2015
- C. Bormann, Z. Shelby, „Block-wise transfers in CoAP”, RFC 7959, IETF, 2016
- Z. Shelby, „Constrained RESTful Environments (CoRE) Link Format”, RFC 6690, IETF, 2012
- Z. Shelby, M. Koster, C. Groves, J. Zhu, B. Silverajan, „Reusable Interface Definitions for Constrained RESTful Environments”, draft-ietf-core-interfaces-13.txt, IETF, 2018
- E. Lear, R. Droms, D. Romascanu, „Manufacturer Usage Description Specification”, draft-ietf-opsawg-mud-25.txt, IETF, 2018.

### Oprogramowanie:

- Wireshark
- Copper (klient protokołu CoAP) lub porównywalny
- Insomnia REST Client lub porównywalny
- Mosquitto MQTT client/broker.

### Wymiar godzinowy zajęć:

W	C	L	P
30	-	15	15

### Wymiar w jednostkach ECTS: 4

### Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu:

Wykłady z wykorzystaniem prezentacji. Materiały z wykładów udostępnione w formie slajdów. Zajęcia laboratoryjne wykorzystujące infrastrukturę informatyczną ZSUT (węzły IoT, laptopy, serwery), oceniane w skali punktowej po 10% punktów każde (łącznie 30% punktów). Projekt oceniany w skali do 30% punktów. Jedno kolokwium, za 40% punktów. Wymagane zaliczenie laboratorium, projektu, kolokwiów (uzyskanie co najmniej 50% punktów w każdej kategorii). Ocena końcowa na podstawie łącznej punktacji.

### Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot:

Podstawowa wiedza na temat architektury i organizacji systemów komputerowych, oraz ich oprogramowania systemowego. Podstawowa wiedza o budowie i protokołach sieci Internet. Wskazane zainteresowanie programowaniem i zagadnieniami architektury systemów. Wymagane poprzedniki w postaci przedmiotów „Systemy Komputerowe: Architektura i Programowanie”, „Sieci i Chmury Internetu” oraz „Usługi i Aplikacje Internetu”. Zalecany poprzednik w postaci przedmiotu „Algorytmy i Programowanie 2”.

### Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):

1. liczba godzin kontaktowych – 55 godz., w tym:
  - obecność na wykładach: 30 godz.
  - obecność na ćwiczeniach laboratoryjnych: 15 godz.

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

- obecność na zajęciach projektowych (zajęcia wprowadzające, odbiór projektu, konsultacje dot. realizacji projektu): 8 godz.
- konsultacje ogólne: 2 godz.

2. praca własna studenta – 58 godz., w tym:

- analiza literatury, materiałów i przykładów z wykładu: 14 godz.
- przygotowanie do ćwiczeń lab.: 6 godz.
- przygotowanie projektu oraz jego dokumentacji: 30 godz.
- przygotowanie do kolokwium: 8 godz.

**Łączny nakład pracy studenta wynosi 113 godz., co odpowiada 4 pkt. ECTS**

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: 2 pkt. ECTS, co odpowiada 55 godz. kontaktowym**

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: 2 pkt. ECTS**

### **Efekty kształcenia:**

<b>Efekty kształcenia / uczenia się</b>	<b>Forma zajęć / technika kształcenia</b>	<b>Sposób weryfikacji (oceny)</b>	<b>Odniesienie do efektów uczenia się dla programu</b>
Student, który zaliczył przedmiot:			
<b>WIEDZA</b>			
w1: rozumie pojęcie „Internet Rzeczy” oraz kryjącą się za tym pojęciem problematykę	wykład	kolokwium	W04, W05, W06
w2: ma podstawową wiedzę o budowie węzłów Internetu Rzeczy o ograniczonych zasobach, ze szczególnym uwzględnieniem węzłów mikrokontrolerowych	wykład	kolokwium	W04, W05, W06
w3: ma podstawową wiedzę o technologiach umożliwiających przyłączenie węzłów Internetu Rzeczy do sieci	wykład projekt	kolokwium projekt	W04, W05, W06
w4: ma wiedzę w zakresie protokołów warstwy aplikacji dla Internetu Rzeczy	wykład laboratorium	kolokwium laboratorium	W05, W06
w5: ma wiedzę o popularnych technikach opisu zasobów (semantyce) w Internecie Rzeczy, z uwzględnieniem stanu standaryzacji w tej dziedzinie	wykład projekt	kolokwium projekt	W05, W06
w6: ma wiedzę o najważniejszych architekturach złożonych „ekosystemów” Internetu Rzeczy, z uwzględnieniem stanu standaryzacji w tej dziedzinie	wykład projekt	kolokwium projekt	W05, W06
w7: ma podstawową wiedzę w zakresie wybranych zagadnień bezpieczeństwa systemów Internetu Rzeczy	wykład projekt	kolokwium projekt	W07
<b>UMIEJĘTNOŚCI</b>			
u1: umie zaprojektować architekturę systemu Internetu Rzeczy o dużej złożoności, dokonując starannego wyboru użytych technologii, dekomponując system na komponenty, oraz definiując interfejsy między komponentami	wykład projekt	kolokwium projekt	U01, U05
u2: umie przechwytywać i interpretować wiadomości wymieniane przez komponenty komunikujące się za pomocą popularnych	wykład laboratorium	kolokwium laboratorium	U01, U03

## Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

protokołów warstwy aplikacji Internetu Rzeczy			
u3: potrafi pracować w zespole, tworząc zespołowo projekt systemu technicznego o dużej złożoności	projekt	projekt	U09
u4: potrafi opracować dokumentację zaprojektowanego systemu oraz prezentację na jego temat, z uwzględnieniem zalet i wad systemu a następnie potrafi poddać go ocenie pozostałych studentów w ramach dyskusji	projekt	projekt	U10
u5: potrafi uczestniczyć w dyskusji na temat rozwiązań zaproponowanych w projekcie przez inne zespoły	projekt	projekt	U11
u6: potrafi posługiwać się terminologią angielską z dziedziny Internetu Rzeczy	wykład	n/d	U12
<b>KOMPETENCJE SPOŁECZNE</b>			
ks1: zdaje sobie sprawę z szybkich zmian i rozwoju wiodących technologii Internetu Rzeczy i rozumie potrzebę doksztalcania się w tym zakresie	wykład projekt	projekt	KS01
ks2: ma świadomość pozatechnicznych konsekwencji podejmowanych decyzji projektowych	projekt	projekt	KS02

**Uwagi:**

**Data i podpis autora (kierownika zespołu autorskiego):**