



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

AGH UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

Litery przyszłości standardu IEEE 802.11: be, bn, ai

Szymon Szott

2024-04-23



Plan

- Wprowadzenie
- be
- bn
- ai
- az, bb, bd, bf
- Podsumowanie



Wprowadzenie

O mnie

- Profesor uczelni w Instytucie Telekomunikacji, AGH w Krakowie
- Członek IEEE 802.11 Working Group
 - Współautor AIML TIG Technical Report
- Kontakt: szymon.szott@agh.edu.pl



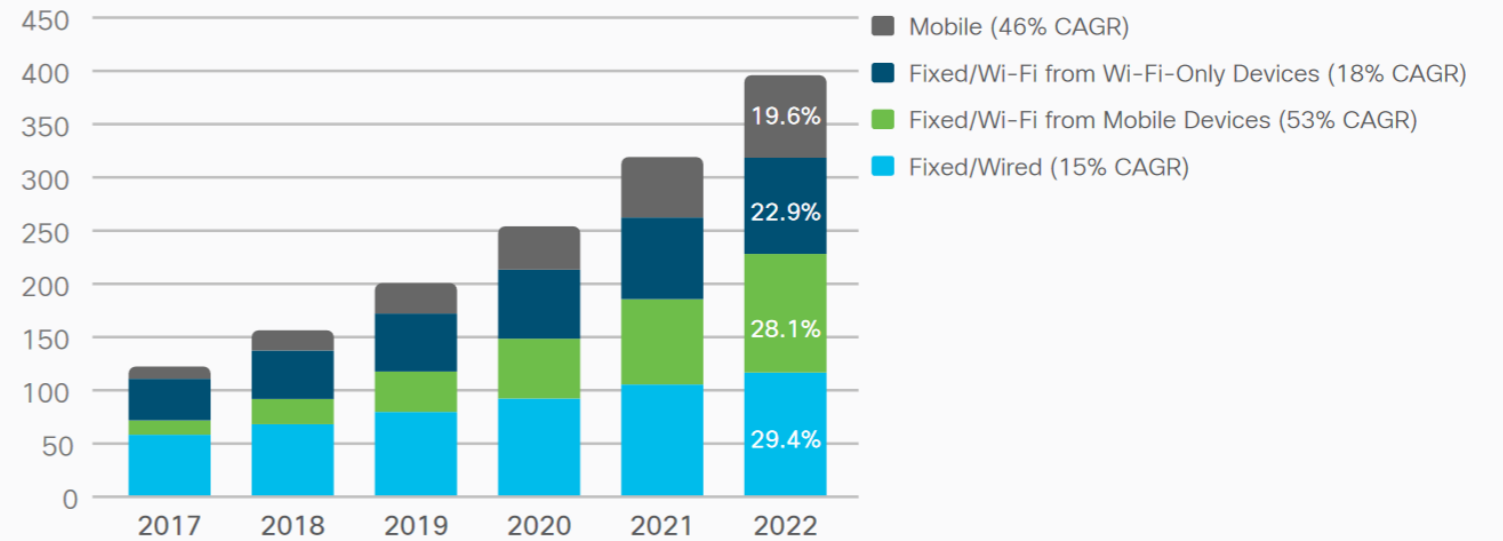
Sukces Wi-Fi



20 mld urządzeń

26% CAGR
2017-2022

Exabytes
per month







* Wireless traffic includes Wi-Fi and mobile
Source: Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2017-2022



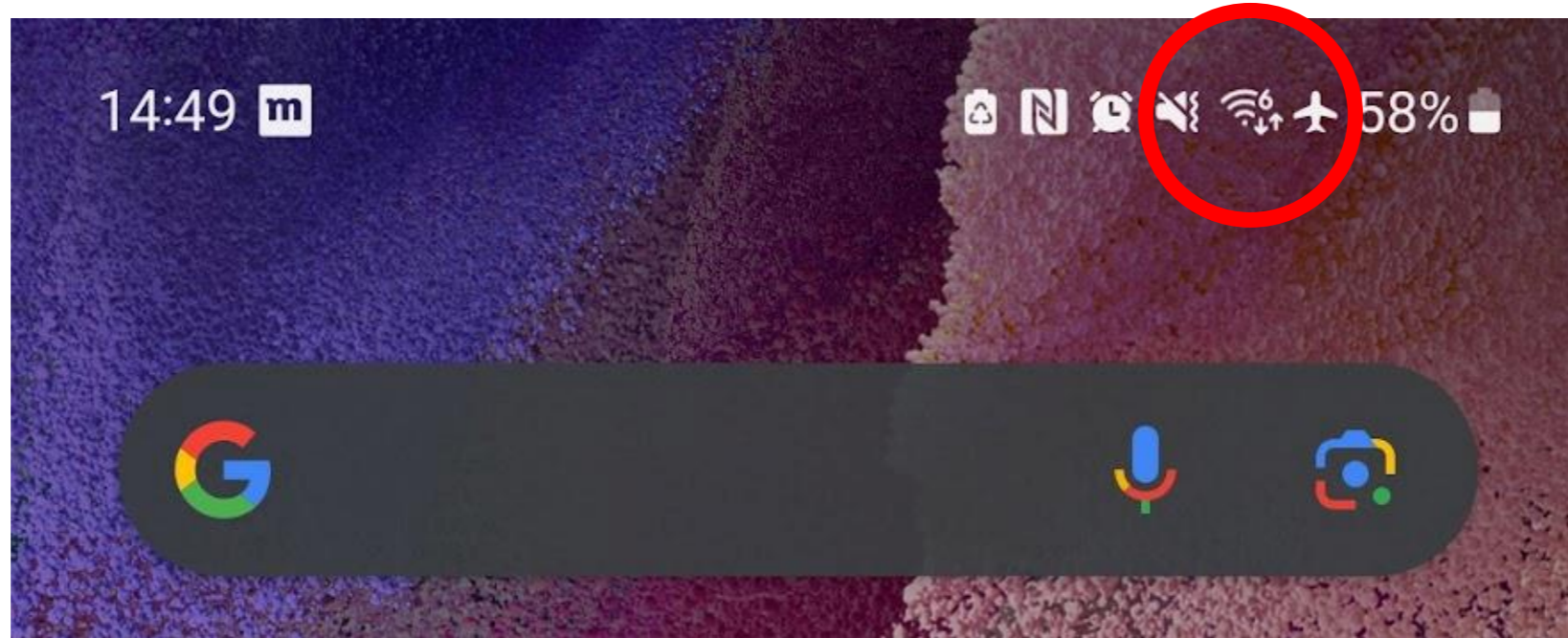
Dwie organizacje



Rozwój Wi-Fi

Generacja	Standard	Logo
Wi-Fi 4	802.11n	
Wi-Fi 5	802.11ac	
Wi-Fi 6	802.11ax	
Wi-Fi 7	802.11be	
Wi-Fi 8	802.11bn	

Logo Wi-Fi 6

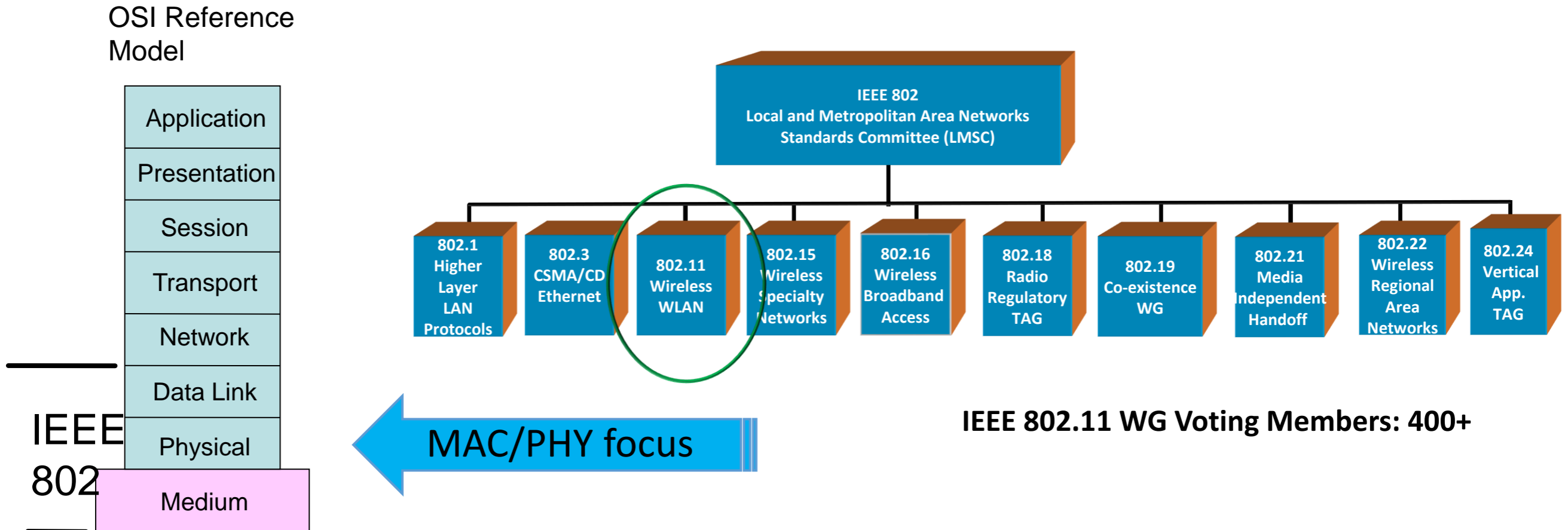




IEEE 802.11 Working Group

The IEEE 802.11 Working Group is one of the most active WGs in 802

- Focus on **link and physical layers** of the network stack
- Leverage IETF protocols for upper layers





802.11 Sessions in 2025

January 12-17	Kobe, Japan	Interim
March 9-14	Hilton Atlanta, Atlanta GA, USA	Plenary
May 11-16	Hilton Prague, Prague, Czech Republic	Interim
July 27 - August 1	Melia Castilla Madrid, Madrid, Spain	Plenary
September 14-19	Hilton Waikoloa Village, Waikoloa, Hawaii, USA	Interim
November 9-14	Marriott Marquis Queen's Park, Bangkok Thailand	Plenary



Następna sesja...



2024 May IEEE 802

Wireless Interim Session

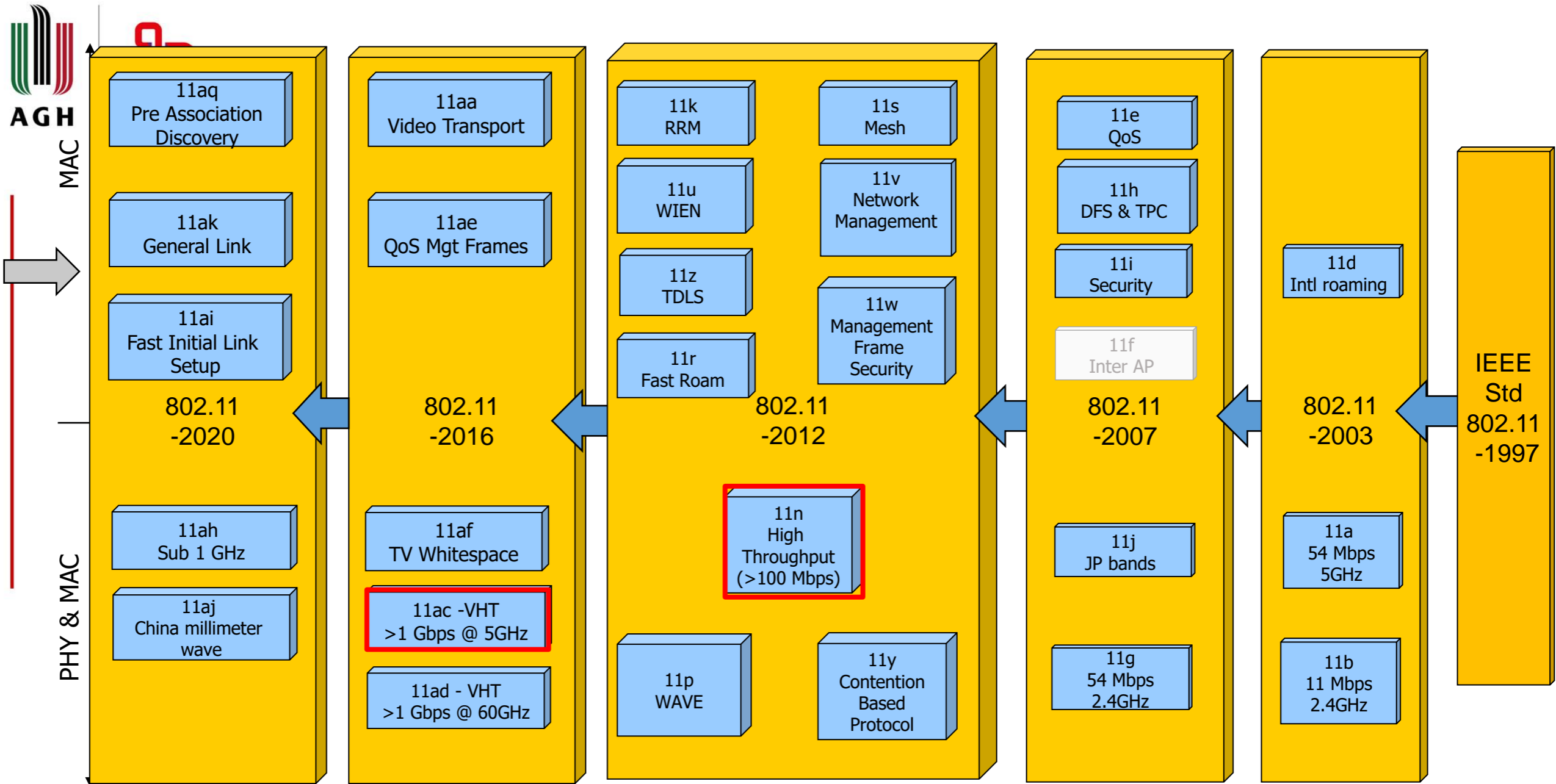
May 12-17, 2024 | Warsaw, Poland

Welcome to the upcoming IEEE 802 Wireless Interim Session to be held at Warsaw

Marriott Hotel

[REGISTRATION](#)

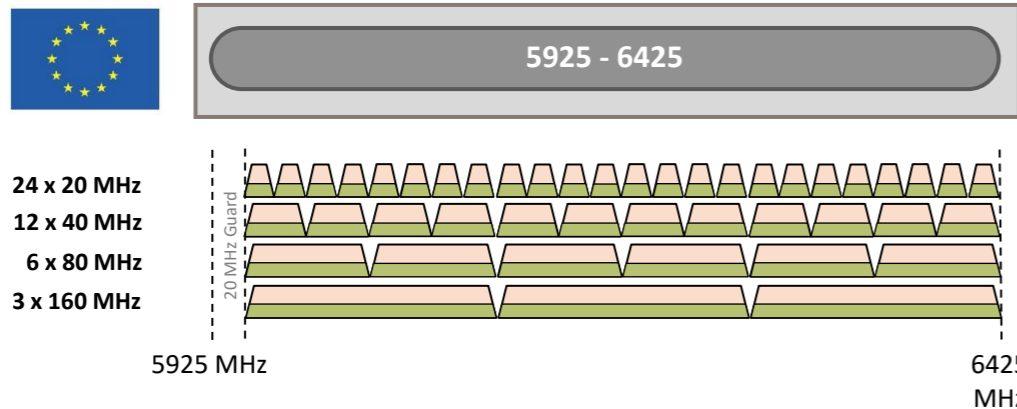
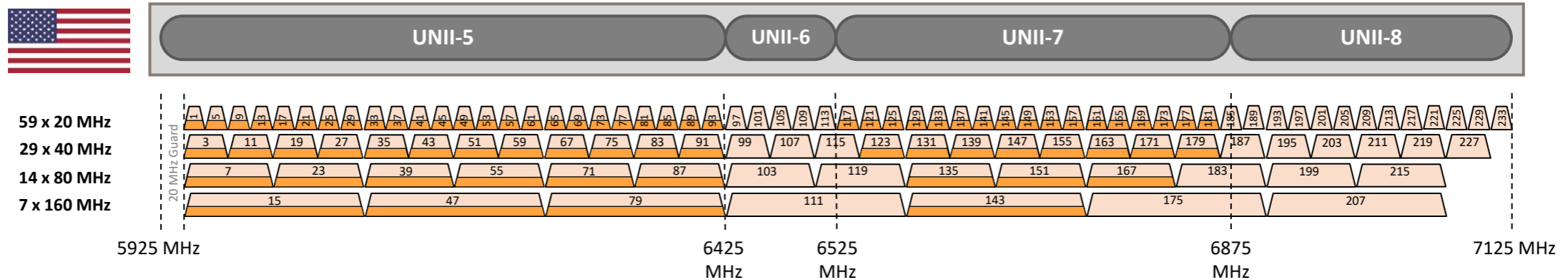
[ACCOMMODATION](#)






Które pasma są nielicencjonowane?

- < 1 GHz
- 60 GHz
- 2.4, 5 GHz
- 6 GHz

6 GHz Channels in United States & Europe/CEPT



-  = Low Power Indoor (LPI) Only
-  = LPI & Automatic Frequency Coordination (AFC)
-  = LPI & Very Lower Power (VLP)

Wi-Fi 6E – Nowe cechy





IEEE 802.11be

[802.11 Timelines](#)

Wi-Fi 7

Wi-Fi CERTIFIED 7™: Advanced performance for next generation Wi-Fi®

Features



320 MHz channels



Multi-link Operation (MLO)



4K QAM



512 Compressed Block Ack



Multiple RUs to a single STA

Benefits

2X higher throughput

Deterministic latency, increased efficiency, greater reliability

20% higher transmission rates

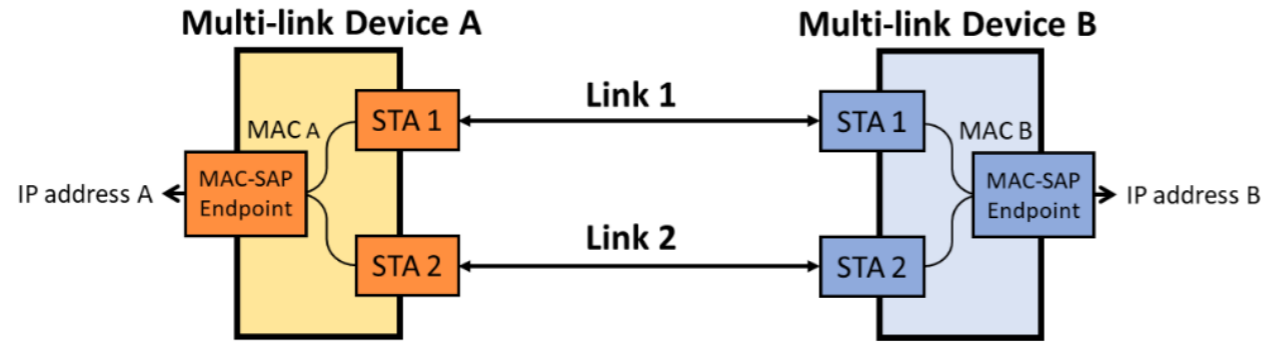
Reduced transmission overhead

Enhanced spectral efficiency

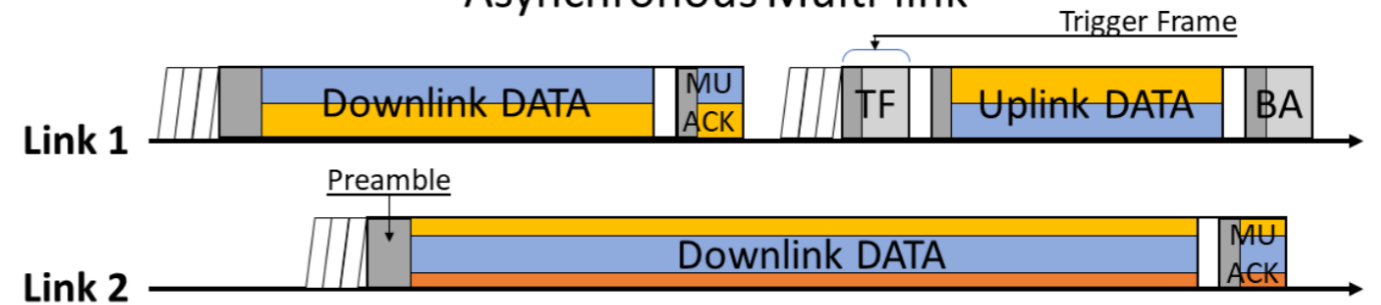


- 320 MHz, non-contiguous spectrum, 4K QAM, 16x16 MU-MIMO
- Enhanced OFDMA (multiple resource units per STA)
- MLO
- Optional
 - EPCS priority access
 - Restricted TWT
 - QoS provisioning

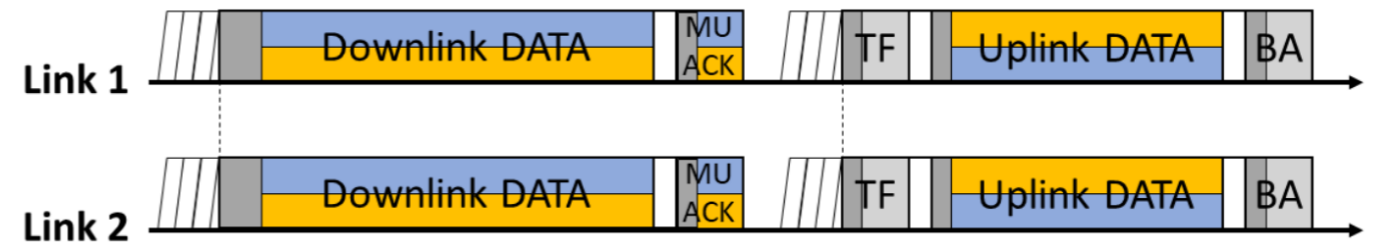
MLO



Asynchronous Multi-link



Synchronous Multi-link



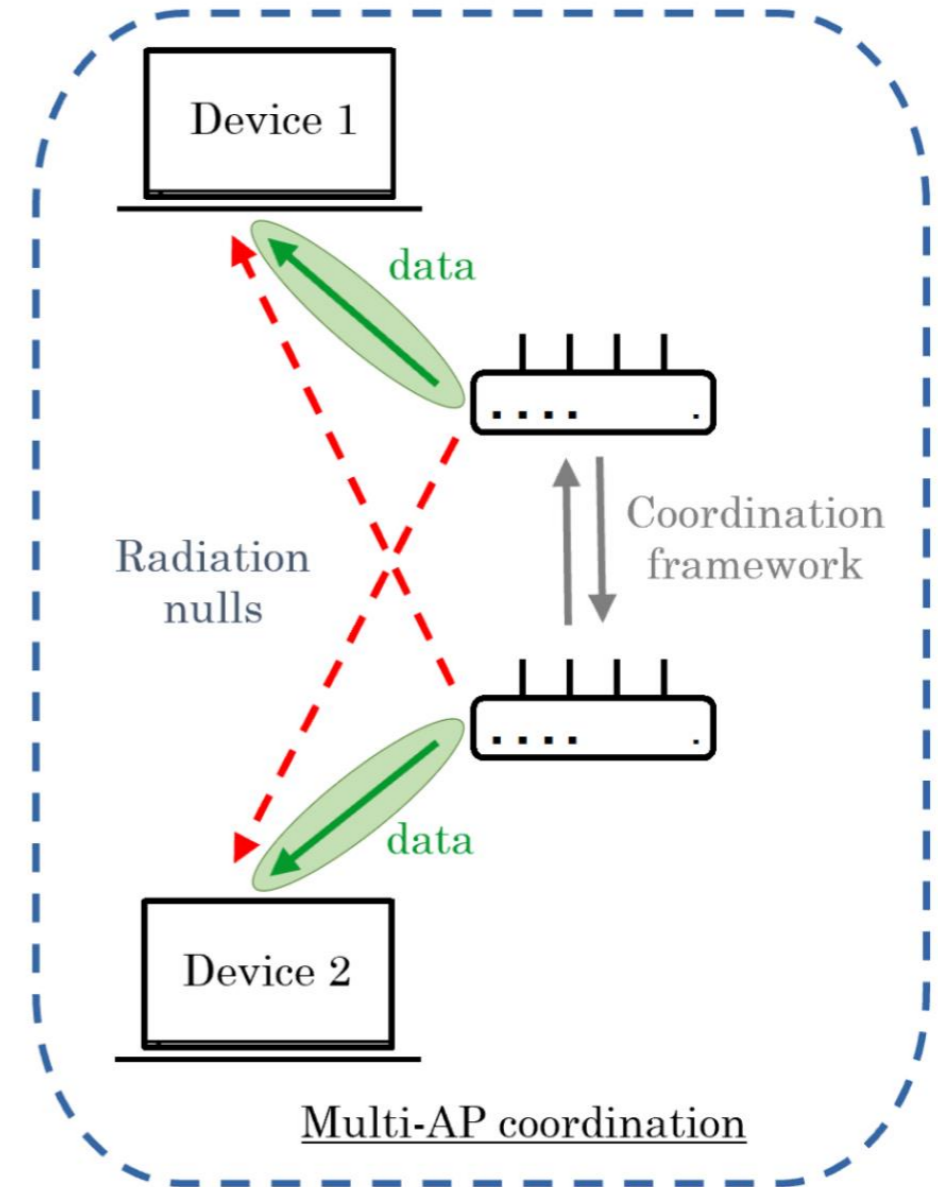


IEEE 802.11bn

[802.11 Timelines](#)

Wi-Fi 8

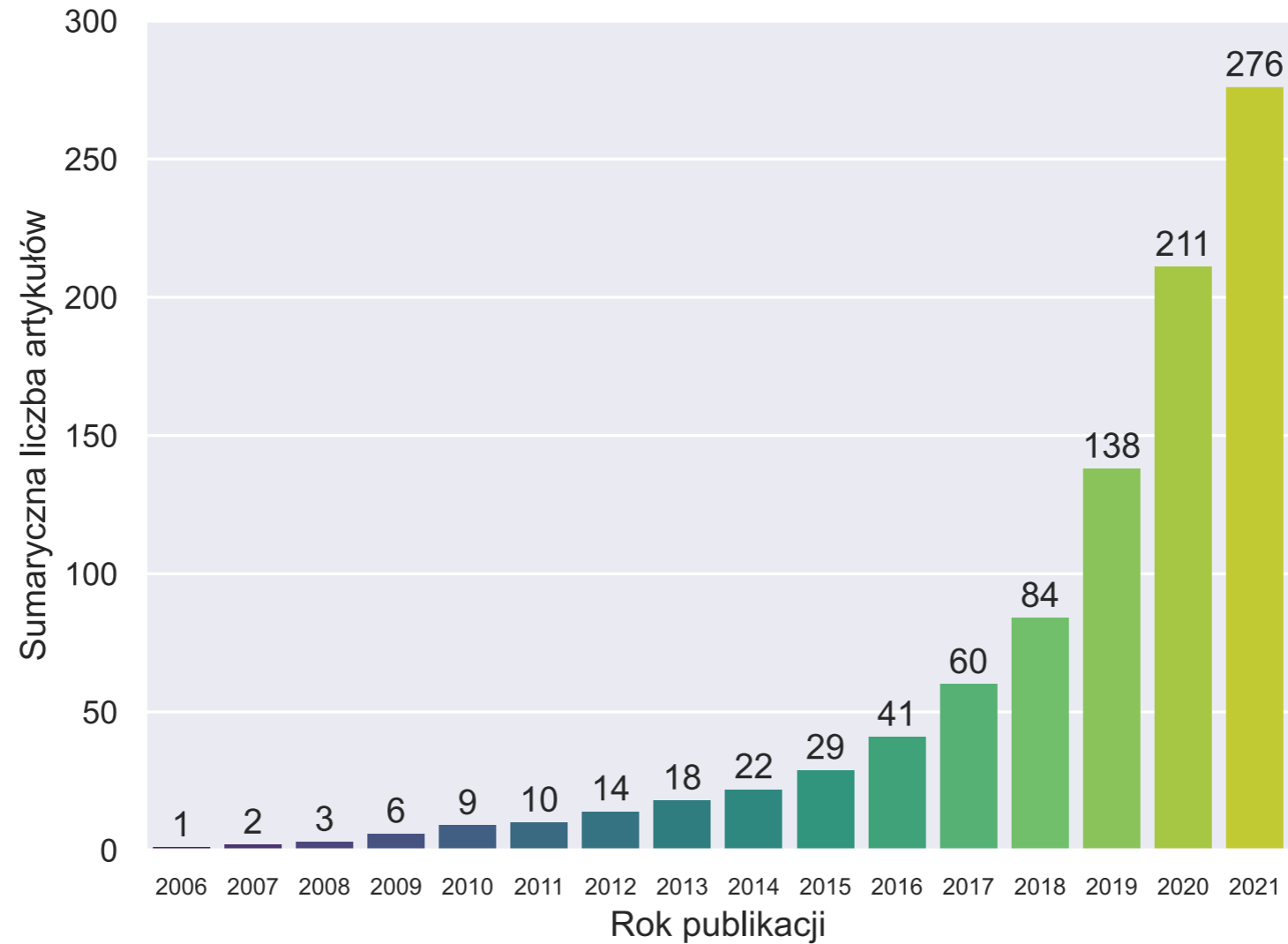
- Multi-Access Point Coordination
 - Coordinated Beamforming
 - Coordinated Spatial Reuse
- HARQ
- Time-Sensitive Networking
- Distributed MLO
- Integrated sub-7 GHz and mmWave



IEEE 802.11 + AI/ML

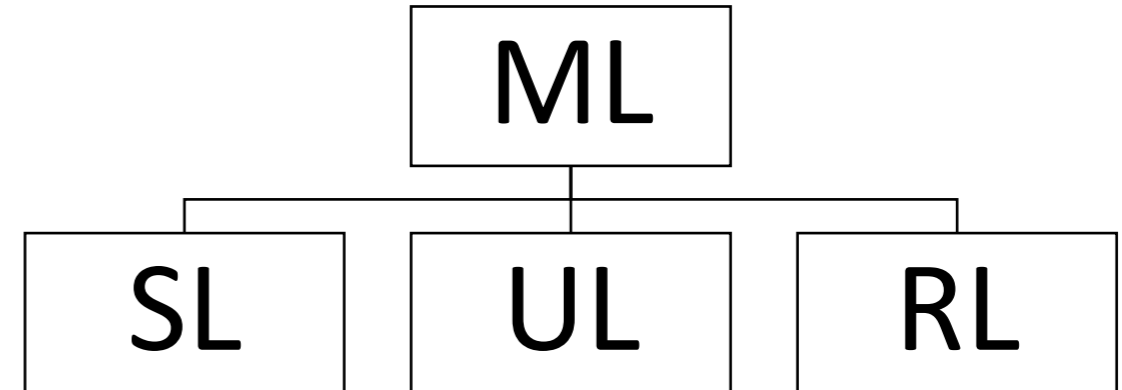
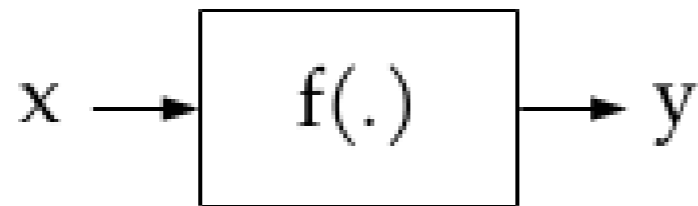
Poprawa wydajności

Wi-Fi + ML



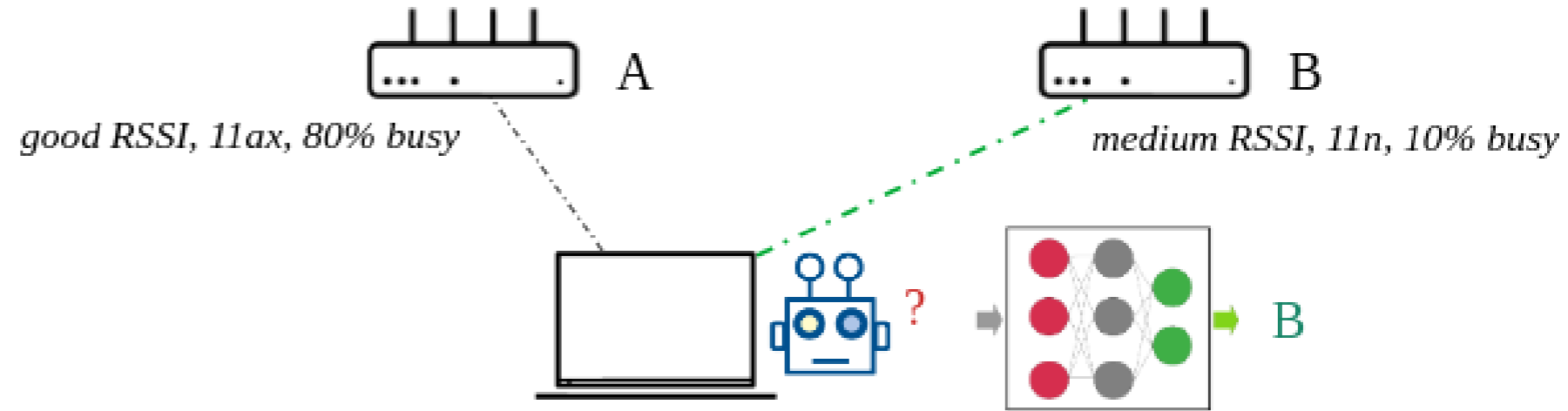
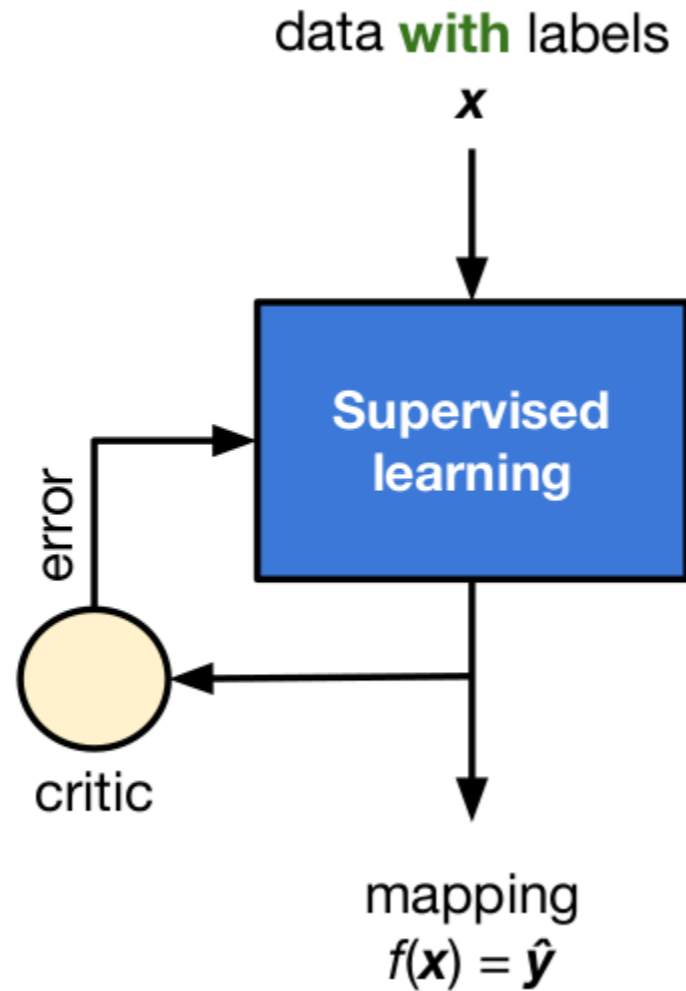
Uczenie maszynowe (ML)

ML – rodzaj sztucznej inteligencji, w którym „algorytmy mogą uczyć się na podstawie danych treningowych bez konieczności jawnego ich zaprogramowania”^{*}.



^{*} Wang, Jingjing, Chunxiao Jiang, Haijun Zhang, Yong Ren, Kwang-Cheng Chen, and Lajos Hanzo. 2020. „Thirty years of machine learning: The road to Pareto-optimal wireless networks.” IEEE Communications Surveys & Tutorials 22, no. 3: 1472-1514.

Uczenie nadzorowane (SL)



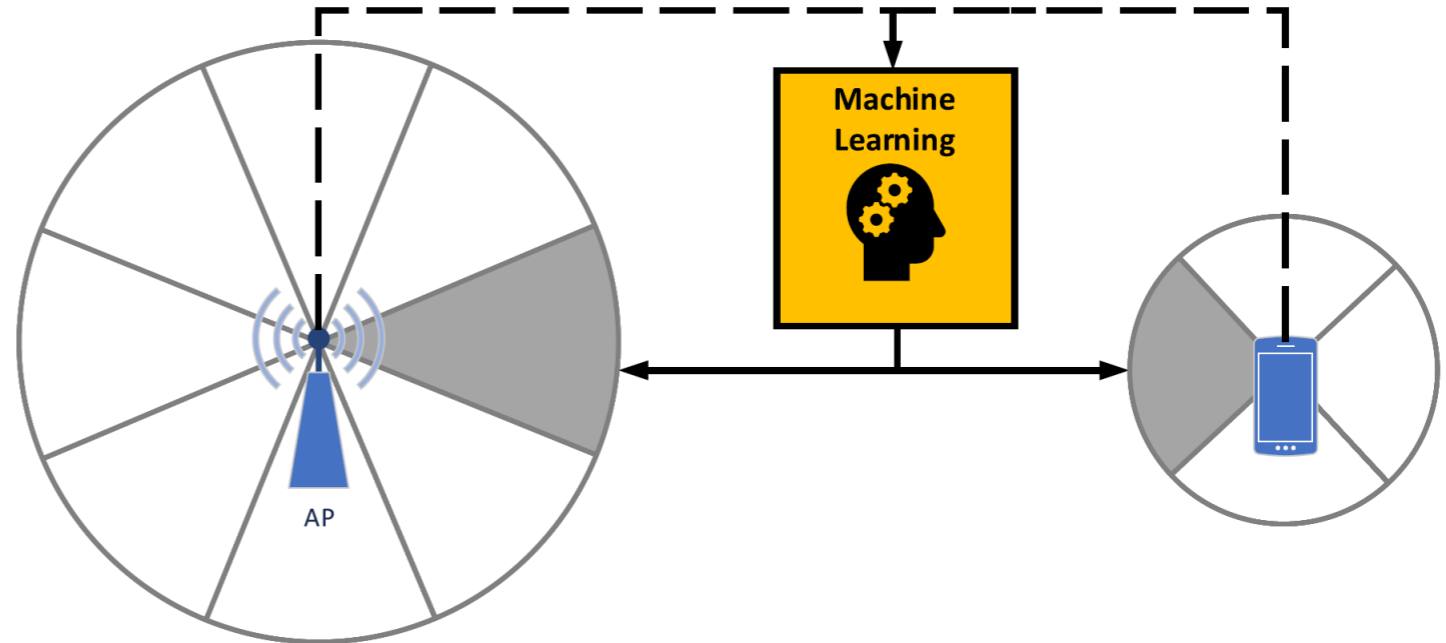
Uczenie nienadzorowane (UL)

data **without** labels

x

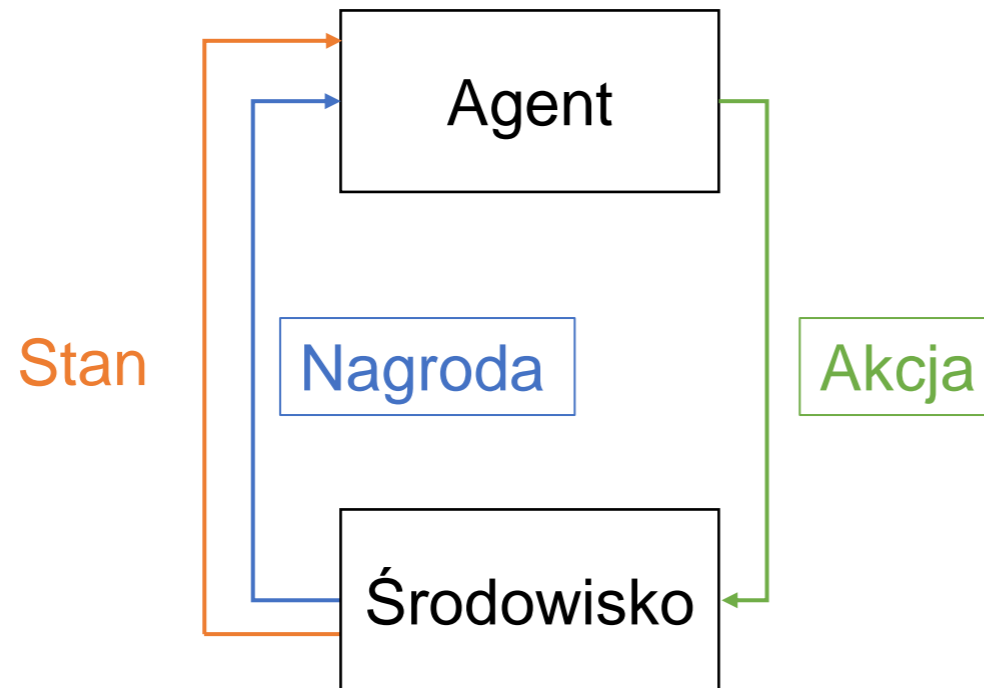


classes &
association rules



kompresja informacji zwrotnej o stanie kanału

Uczenie ze wzmocnieniem (RL)



- Wieloręki bandyta
- Q-learning
- Głębokie uczenie (ze wzmocnieniem)

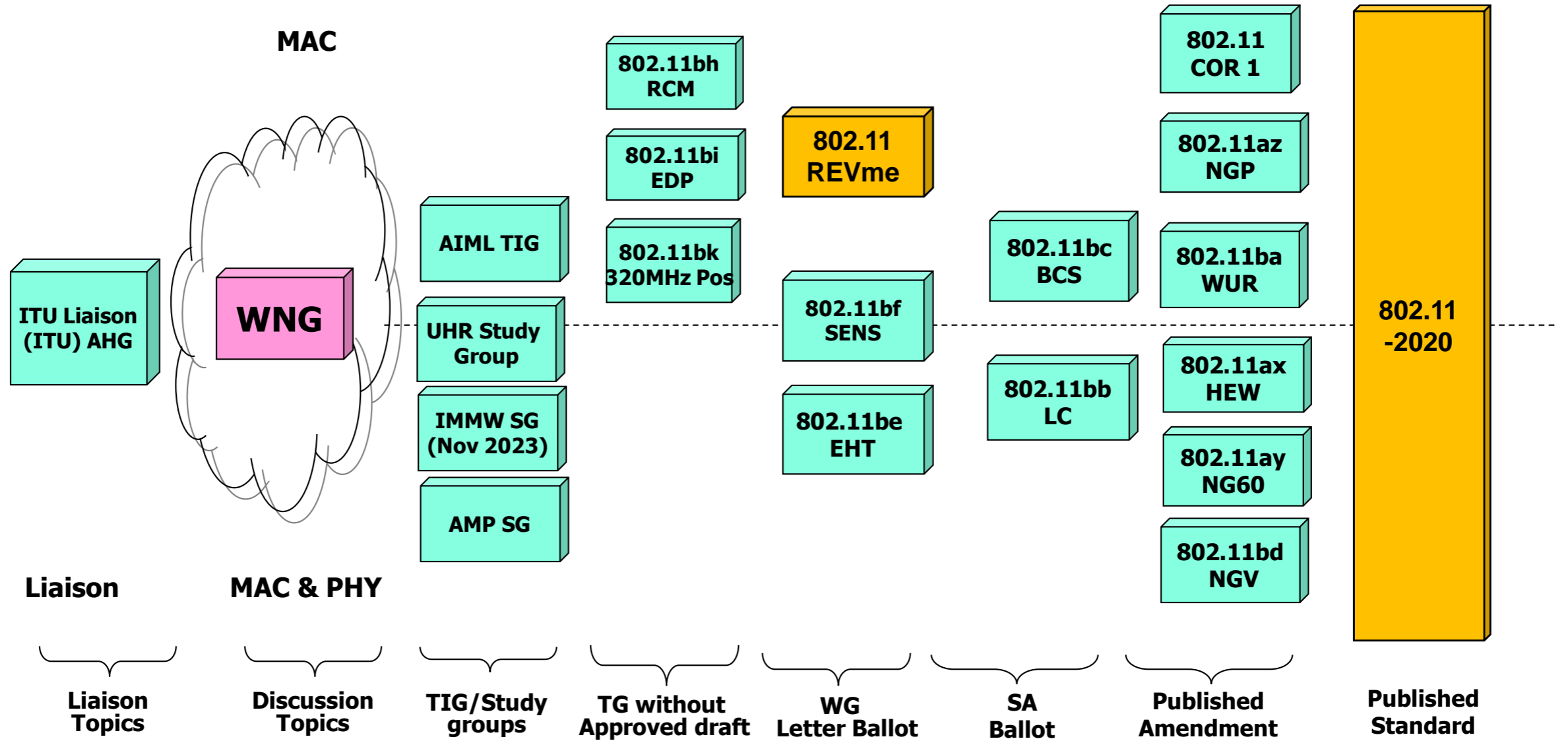
Obszar	Typowy cel ML	Typowe metody	Zysk z ML
Dostęp do kanału radiowego	Wybór wartości okna współzawodnictwa	RL	Większa przepływność
Dostosowanie łącza	Wybór prędkości transmisji	RL	Większa przepływność
Warstwa fizyczna	Klasyfikacja sygnału, estymacja szumów	SL	Większa skuteczność klasyfikacji
Kształtowanie wiązki	Wybór parametrów (np. sektor)	SL, UL	Większa przepływność, krótszy czas poszukiwań
Tryb multi-user (OFDMA)	Przypisanie zasobów użytkownikom	SL i RL	Większa przepływność
Spatial reuse	Wybór kanału, mocy nadawczej	RL	Większa przepływność, mniejsze opóźnienia



IEEE 802.11 + AI/ML

Aspekty standaryzacyjne

AIML TIG/SC



AIML TIG: Investigate WLAN support of Artificial Intelligence/ Machine Learning

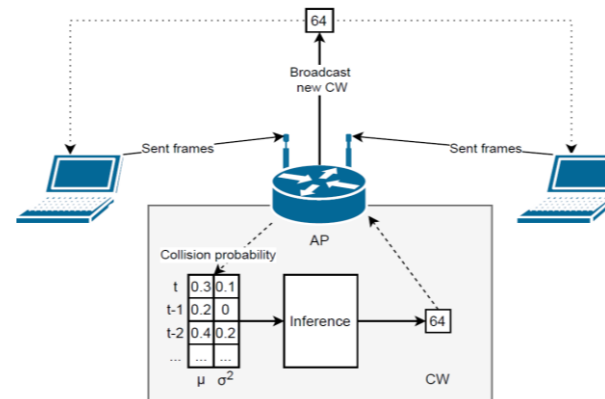
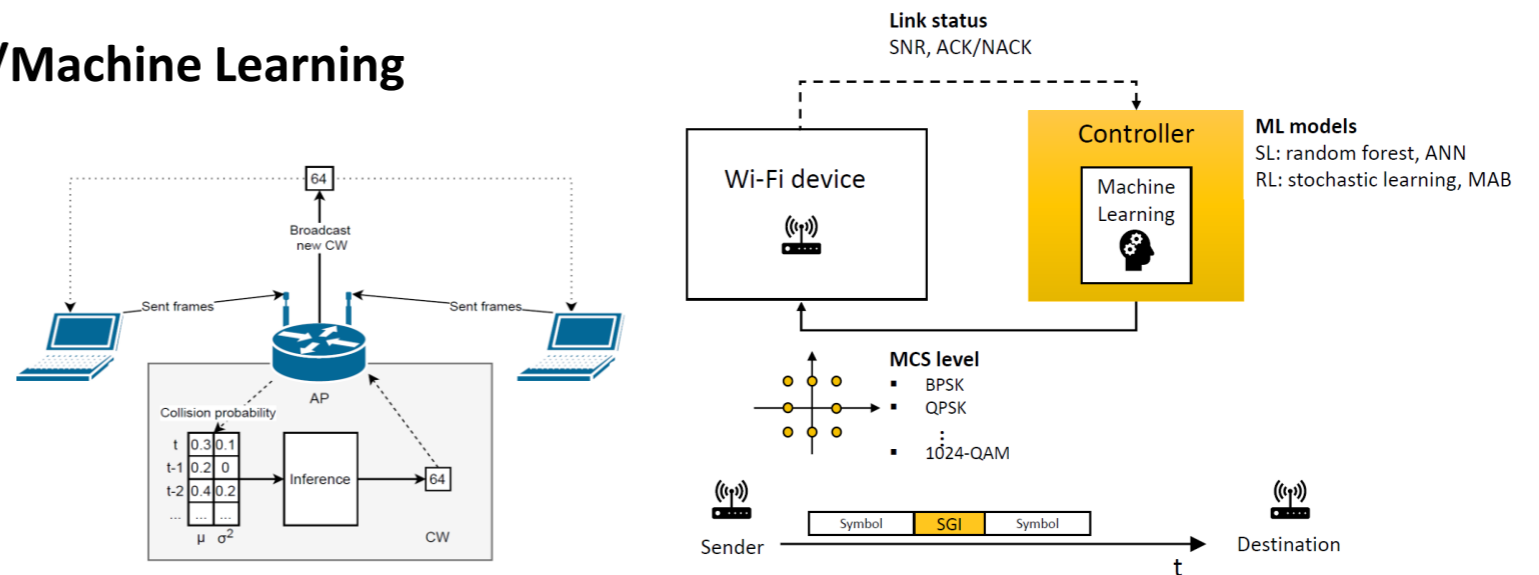
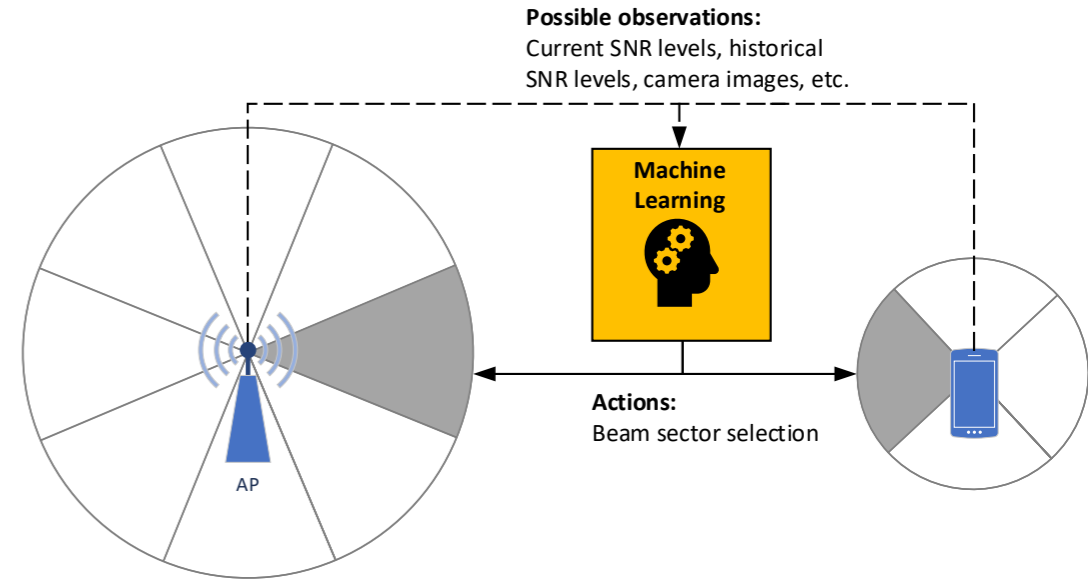
Use of AIML for 802.11 applications is an active area of work in the research community. See [Applying ML to 802.11: Current Research and Emerging Use Cases](#)

Current applications focus on performance improvement parameter selection for channel access control and link adaptation, multi-user parameters, channel usage

Focus of the 802.11 AIML Topic Interest Group is to

Describe use cases for Artificial Intelligence/Machine Learning (AI/ML) applicability in 802.11 systems and

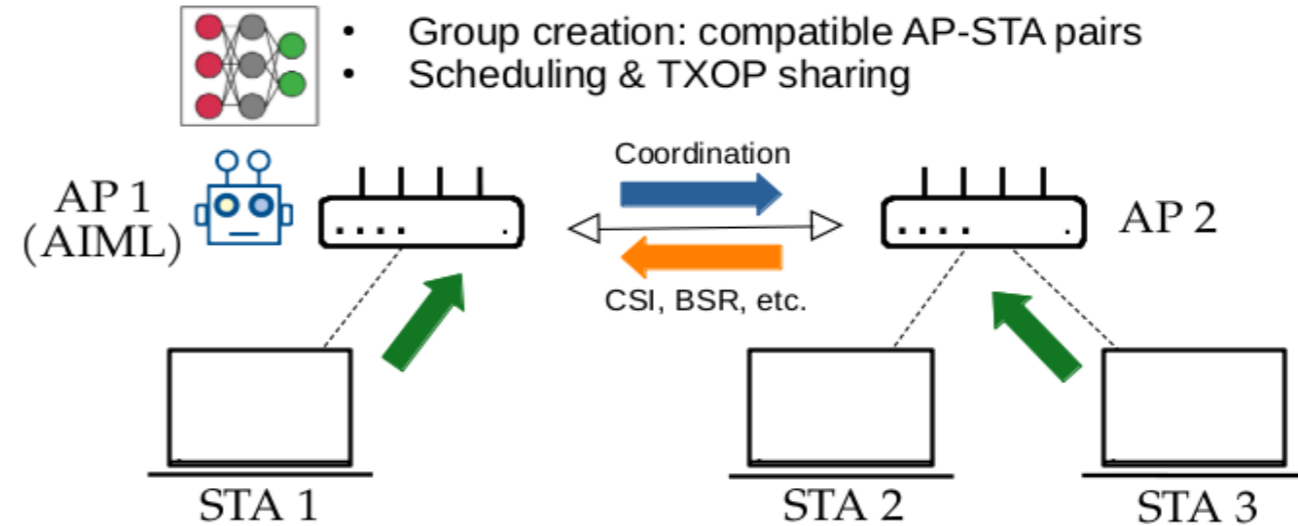
Investigate the technical feasibility of features enabling support of AI/ML.



AIML TIG: Przypadki użycia

- I. Umożliwiający stosowanie ML w sieciach WLAN
 - A. Wydajne udostępnianie modeli ML
- II. Używający ML do poprawy wydajności sieci WLAN
 - A. Kompresja informacji zwrotnej o stanie kanału
 - B. Rozproszony dostęp do kanału
 - C. Poprawa roamingu
 - D. Koordynacja wielu punktów dostępowych

AIML TIG: Multi-AP Coordination



Zastosowanie ML

- Wybór par stacja-AP
- Konfiguracja transmisji
- Predykcja planu transmisji
- Redukcja narzutu sygnalizacyjnego

Wyzwania standaryzacyjne

1. Kompatybilność wsteczna
 - Sygnalizacja
 - Wydajność
2. Narzut ML
 - Koszt trenowania rozwiązań
 - Więcej monitoringu
3. Wymiana modeli
 - Urządzenia uruchamiają nieznany kod



IEEE 802.11 + AI/ML

Badania naukowe



Projekt ML4WIFI



ML-driven Radio Resource Management in Wireless Local Area Networks



Projekt ML4WIFI: przegląd

IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 24, NO. 3, THIRD QUARTER 2022

1843

Sehr geehrter Herr Professor Dressler,

ich freue mich Ihnen mitzuteilen, dass der Vorstand der ITG Ihre Arbeit



“ Wi-Fi Meets ML: A Survey on Improving IEEE 802.11 Performance with Machine Learning”

als eine der besten Veröffentlichungen des Jahres 2022 auf ihrem Fachgebiet bewertet und Ihnen hierfür (gemeinsam mit Ihren Koautoren) den

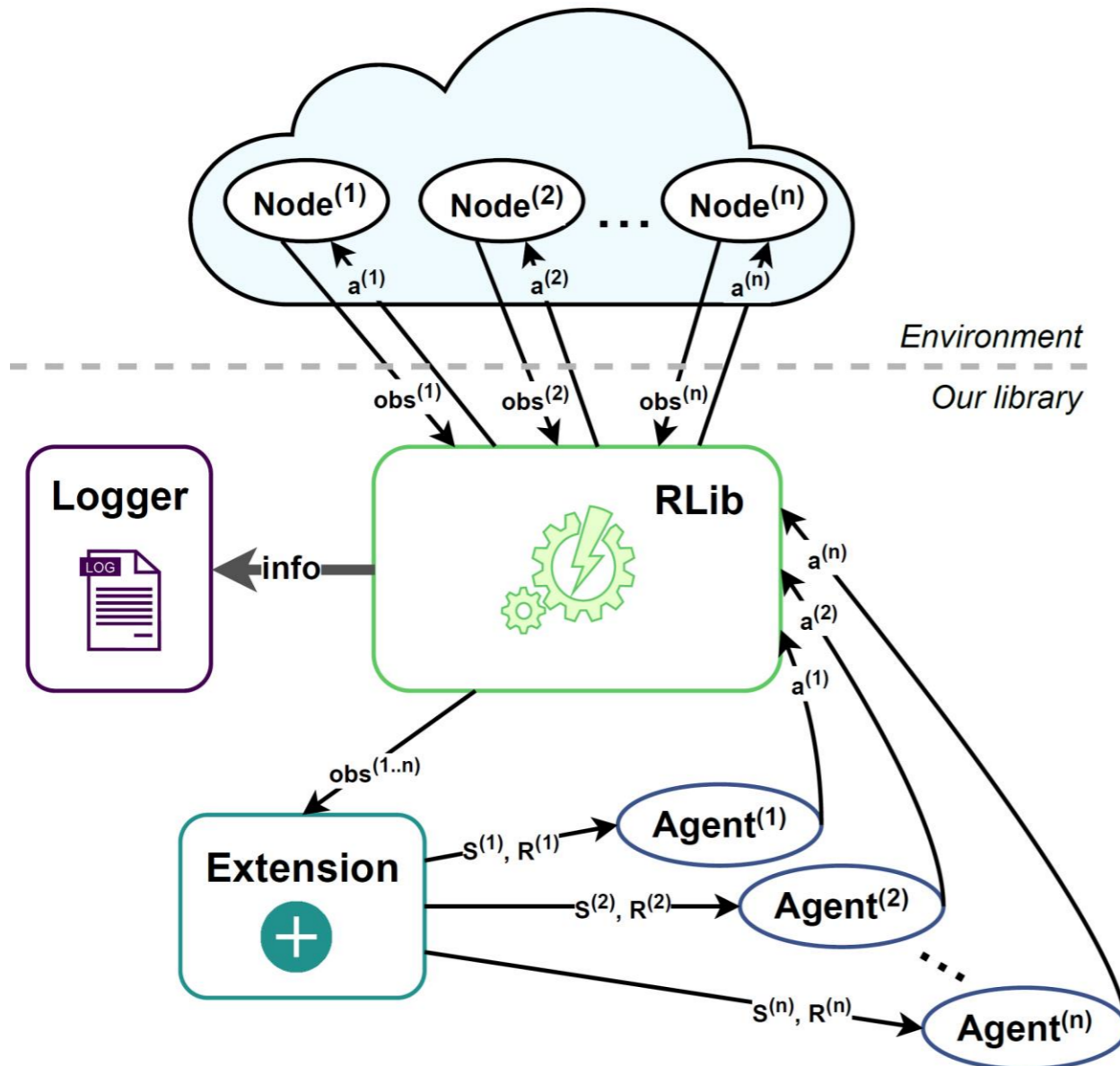
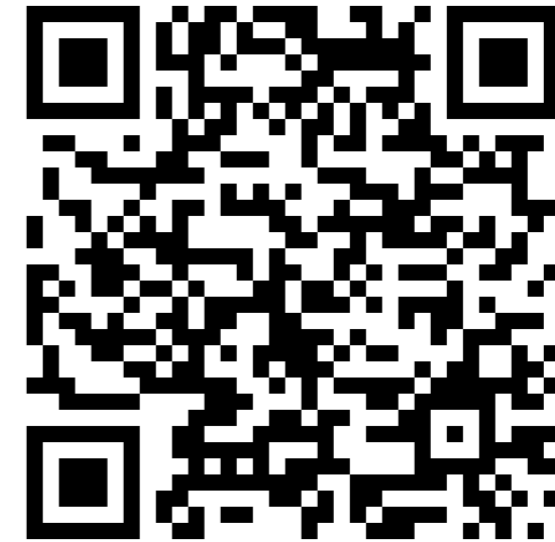
VDE ITG Preis 2023

ing Wi-Fi 6 and developing Wi-Fi 7, which will bring higher data rates, better multi-user and multi-AP support, and, most importantly, improved configuration flexibility. These technical innovations, including the plethora of configuration parameters, are making next-generation WLANs exceedingly complex as the dependencies between parameters and their joint optimization

and Wi-Fi 7 [5]–[7] is already under development. There are several reasons for the popularity of Wi-Fi: well-defined use cases, freedom of deployment and configuration (thanks to operating in unlicensed bands), and the existence of inexpensive in manufacturing and highly interoperable devices.

Projekt ML4WIFI: Reinforced-lib

<https://reinforced-lib.readthedocs.io/>



Wojnar, Maksymilian, Szymon Szott, Krzysztof Rusek, and Wojciech Ciezobka. "Reinforced-lib: Rapid prototyping of reinforcement learning solutions." *SoftwareX* 26 (2024): 101706.



IEEE 802.11 + AI/ML

Further Reading

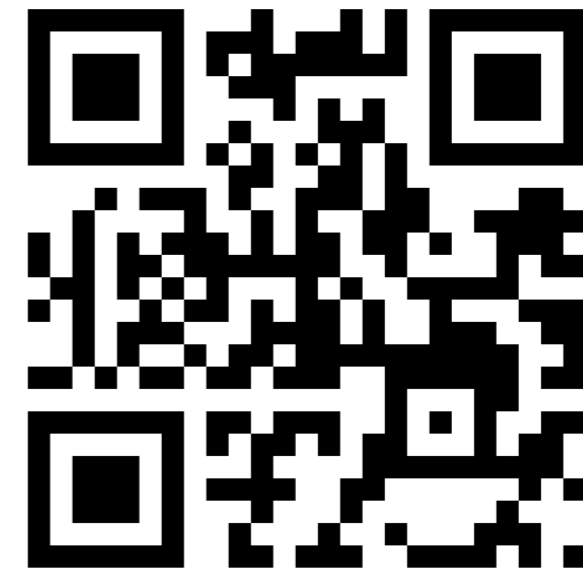
Wi-Fi Meets ML: Re-thinking Next-generation Wi-Fi Networks (Nov tutorial)

Date: 2022-11-14

Authors:

Name	Affiliations	Address	Phone	email
Boris Bellalta	UPF Barcelona	Plaça de la Mercè, 10-12, 08002 Barcelona, Spain		boris.bellalta@upf.edu
Szymon Szott	AGH University of Science and Technology	Al. Mickiewicza 30 30-059 Kraków Poland		szott@agh.edu.pl

<https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/22/11-22-1784-01-0000-wi-fi-meets-ml-re-thinking-next-generation-wi-fi-networks-nov-tutorial.pptx>



Tutorial

**Machine Learning and Wi-Fi:
Confluences, Ongoing
Activities, and Ways Forward**
Francesc Wilhelmi, Szymon
Szott, Katarzyna Kosek-Szott,
and Boris Bellalta



<https://mlwifitutorial.github.io/>



IEEE International Conference on Machine Learning for Communication and
Networking
5-8 May 2024 // Stockholm, Sweden

IEEE 802.11az/bb/bd/bf

Positioning (802.11az)



Li-Fi (802.11bb)



Sieci przemysłowe



Sieci medyczne

V2X (802.11bd)



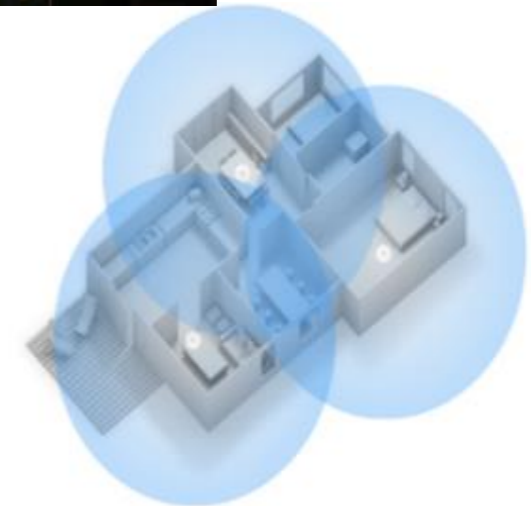
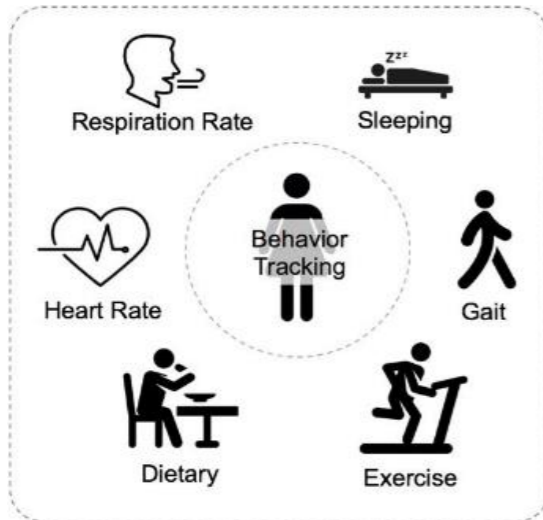
V2P

V2N

V2V

V2I

Sensing (802.11bf)





Podsumowanie



Podsumowanie

1.

2.

3.

When I fix the WiFi



Dziękuję!

