

# PHY SIMULATION MODEL OF THE IEEE 802.11AH

**Petr Jurák**

Master's Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xjurak03@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ladislav Polák

E-mail: polakl@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This paper presents a MATLAB-based IEEE 802.11ah simulation model. This short article starts with a brief introduction to the IEEE 802.11ah standard. After that, the complete Tx block (on physical layer level) of the IEEE 802.11ah system is described. It is completely realized in the MATLAB program environment. Finally, its correctness is verified by several simulations.

**Keywords:** Wi-Fi, IEEE 802.11ah, IoT, PHY, simulation model, RF spectrum, BER, SNR

## 1 ÚVOD

V dnešní době se začíná rozšiřovat komunikační platforma „Internet věcí“, tzv. Internet-of-Things (IoT), kterou budou plně poskytovat budoucí bezdrátové systémy páté generace (5G) [1]. IoT reprezentuje připojení a propojení různých uživatelských zařízení prostřednictvím bezdrátových sítí. Příkladem může být sběr dat z různých senzorů a čidel a jejich přenos a sdílení za účelem dalšího zpracování a vyhodnocení, čímž dochází ke snižování provozních nákladů a ke zvýšení efektivity. Výhodou bezdrátového řešení je snadnější instalace zařízení bez nutnosti drátového vedení.

Jednou z možných bezdrátových technologií pro tyto účely je komunikační systém WLAN (Wireless Local Area Networks), mezi uživateli známý jako Wi-Fi (Wireless Fidelity), který využívá technologií IEEE 802.11ah. Tento příspěvek se zaměřuje na popis a implementaci systému IEEE 802.11ah do programu MATLAB. Pro prozkoumání vlastností systému byl vytvořen jeho model na fyzické vrstvě, který se skládá z vysílací a z přijímací části a z emulátoru přenosového kanálu.

## 2 STANDARD IEEE 802.11AH

Standard IEEE 802.11ah vychází ze starších standardů IEEE 802.11. Na rozdíl od předcházejících IEEE 802.11 technologií, je navržený pro pásmo pod 1 GHz, označované zkratkou S1G (Sub One Gigahertz). Tím umožní zařízením komunikujícím prostřednictvím Wi-Fi provádět přenosy dat v radiofrekvenčním RF (Radio Frequency) pásmu, které je v současné době méně přetížené [2]. V případě IEEE 802.11ah je možné pokrýt mnohem větší oblast (dosah zhruba 1 km).

Existuje několik ISM (Industrial, Scientific and Medical) pásem S1G, které jsou dostupné pro IEEE 802.11ah. Jednotlivá RF pásma nejsou dostupná globálně, ale pro každou zemi je vyčleněno určité pásmo [2], jak je ukázáno v Tabulce 2.1. IEEE 802.11ah může mít šířky kanálů 1, 2, 4, 8 a 16 MHz. Šířka kanálu 16 MHz je dostupná pouze v USA pro pásmo 902 – 928 MHz. V Evropě jsou dostupné pouze šířky kanálů 1 a 2 MHz pro pásmo 863 ÷ 868 MHz.

Země	Frekvenční pásmo [MHz]	Dostupné šířky pásem [MHz]
Evropa	863 - 868	1, 2
Čína	755 - 787	1, 2, 4, 8
Japonsko	916,5 – 927,5	1
Korea	917,5 – 923,5	1, 2, 4
Singapur	866 – 869 a 920 - 925	1, 2, 4
USA	902 - 928	1, 2, 4, 8, 16

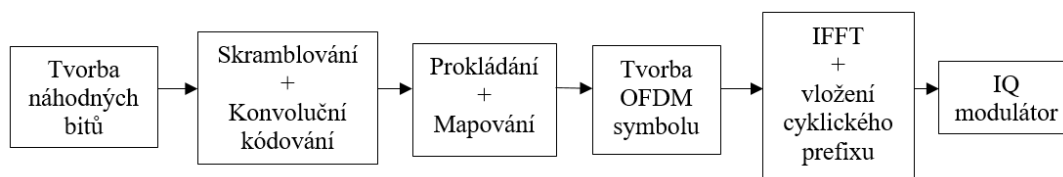
**Tabulka 2.1:** Přehled přidělených ISM pásem pro IEEE 802.11ah.

### 3 MODEL FYZICKÉ VRSTVY STANDARDU IEEE 802.11AH

Podle obecného blokového schématu vysílače IEEE 802.11 [1] byl v MATLABu vytvořen tzv. PHY (fyzická vrstva) model systému IEEE 802.11ah (viz. Obrázek 3.1). Na začátku se vygenerují náhodná data (bity), která jsou následně skramblována. Skramblovaná data jsou zakódována v konvolučním kodéru (kanálové kódování). Po kanálovém kódování mohou být data dále rozdělena do více datových proudů. V případě SISO (Single-Input Single-Output) vysílacího módu je použit pouze jeden proud. Každý proud je dále zvlášť prokládán a mapován. Podle tzv. indexu MCS (Modulation Coding Scheme) je pak možné vybírat různé typy modulací s různými kódovými poměry. V systému IEEE 802.11ah je možné použít modulaci BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM a 256QAM. Poté se vytvoří OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) symbol z namapovaných dat a pilotů podle použité šířky kanálu. Následně je aplikována inverzní rychlá Fourierova transformace IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), která zajistí převod z kmitočtové do časové oblasti. V dalších krocích je vložen cyklický prefix CP (Cyclic Prefix) a poté je provedena modulace na nosnou. Vytvořený simulační model umožňuje vybrat různé šířky kanálu (1, 2, 4, 8 a 16 MHz).

Přenos IEEE 802.11 signálu v základním pásmu je simulován v Gaussovském kanále (AWGN-Additive White Gaussian Noise). Mezi vysílačem a přijímačem nedochází k žádným odrazům z vícecestního šíření a tak na přijímač dorazí signál pouze z přímé cesty. V tomto kanále má šum konstantní výkonovou spektrální hustotu v celém spektru a jedná se tedy o Gaussovské rozložení.

Přijímací část IEEE 802.11ah obsahuje bloky inverzní k vysílací části, tedy demulaci nosné vlny, odstranění cyklického prefixu, rychlou Fourierovu transformaci (FFT), demapování a inverzní prokladač. Pro kanálové dekódování slouží Viterbiho dekódér, následně je aplikováno deskramblování. Pro určení robustnosti systému je použita metrika BER (Bit Error Ratio) před a po Viterbiho dekódování v závislosti na SNR (Signal-to-Noise Ratio).



Obrázek 3.1: Blokové schéma vysílače IEEE 802.11ah.

### 4 VÝSLEDKY SIMULACÍ

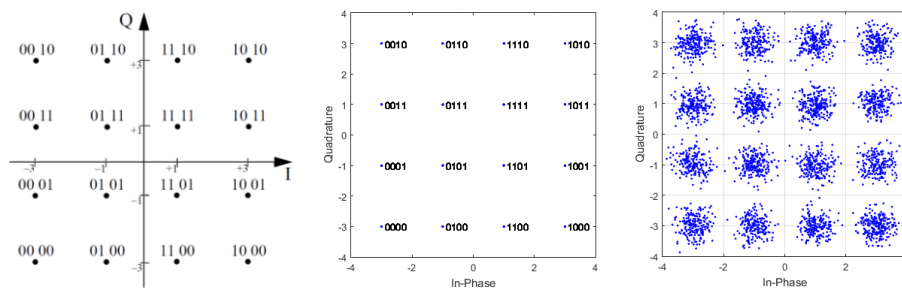
Souhrn všech systémových parametrů IEEE 802.11ah, použitých v simulaci, lze vidět v Tab. 4.1.

Ukázka mapování konstelačních bodů pro 16QAM je na Obr. 4.1. Zde je ukázáno, že mapování konstelačních bodů dle Grayova kódu [2] se ve vytvořeném modelu shoduje s teorií [3]. Je také možné porovnat vliv AWGN kanálu při SNR = 20dB (viz. Obrázek 4.1 [vlevo]).

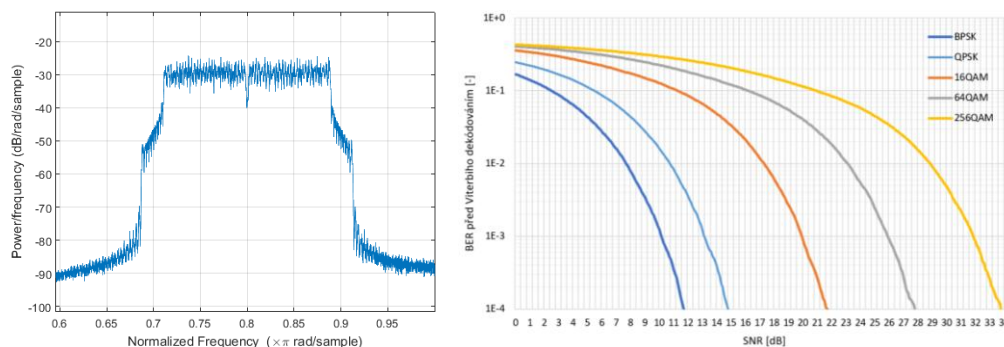
Na Obr. 4.2 je normované RF spektrum OFDM rámce namodulovaného na nosnou vlnu 865 MHz pro šířku kanálu 2 MHz. Pro její vykreslení byla využita funkce *pwelch* (MATLABovská funkce), jejímž výstupem je normovaný výkon v dB a normovaná frekvence. V dalším obrázku jsou pak obdržené závislosti BER před Viterbiho dekódováním na poměru SNR pro různé typy modulací. Zde je vidět, že s rostoucí počtem stavů modulační (tzv. M-QAM) rostou také nároky na SNR.

Kódový poměr	MCS index	Modulace	Cyklický prefix	Šířka pásma	Kanálový model
1/2 (BPSK), 3/4 (ostatní)	0 (BPSK), 2, 4, 6, 8 (ostatní)	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	8 $\mu$ s	2 MHz	AWGN

Tabulka 4.1: Systémové parametry IEEE 802.11ah pro simulaci.



**Obrázek 4.1:** Konstelaci diagram pro modulaci 16QAM na základě IEEE 802.11ah: [vlevo] podle [2]; [střed] výstup na vysílací části vytvořeného modelu; [vpravo] na vstupu příjímající části (AWGN kanál, SNR=20 dB).



**Obrázek 4.2:** [vlevo] RF spektrum OFDM signálu; [vpravo] BER před Viterbiho dekodováním vůči SNR.

## 5 ZÁVĚR

V tomto článku byl stručně popsán standard IEEE 802.11ah a jeho PHY model, který byl vytvořen v programu MATLAB pro prozkoumání vlastností tohoto standardu. Jeho funkčnost byla ověřena vykreslením konstelačního diagramu pro modulaci 16QAM a vykreslením normovaného RF spektra OFDM signálu. Dále byly získány křivky BER pro modulační schémata používaná v IEEE 802.11ah v závislosti na SNR.

V další části práce bude model doplněn o další modely přenosových kanálů (např. Rice a Rayleigh). Dále pak bude doplněna ekvalizace (zero-forcing) signálu a přenosová technika MIMO.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu FEKT-S-17-4426. Výzkum popsáný v této práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum sensorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

## REFERENCE

- [1] Milos, J. et al. Link-Level Simulator for WLAN Networks. In: IWSLS<sup>2</sup> - International Workshop on Link- and System Level Simulations, Vienna, Austria, 2016, p. 1-4.
- [2] IEEE Standard for Information technology: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation. New York: IEEE Computer Society, 2016.
- [3] IEEE Standard for Information technology: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Revision of IEEE Std 802.11-2012. New York: IEEE Computer Society, 2016.