

Primljen: 20.10.2020.

Prihvaćen: 6.05.2021.

Pregledni rad

UDK: 004:005

Wi-Fi Direct i Bluetooth komparativna analiza

Wi-Fi Direct and Bluetooth comparative analysis

Aleksandar Skendžić

Visoka škola za informacijske tehnologije VSITE, Klaićeva 7, 10000 Zagreb

e-mail: askendzic@vsite.hr

Sažetak: *Trendovi u povezivanju mobilnih uređaja s drugim uređajima temelje se na bežičnom prijenosu, odnosno bežičnim tehnologijama. Danas dominiraju dvije tehnologije koje se koriste u bežičnom prijenosu podataka s uređaja na uređaj na kratke udaljenosti, a to su: IEEE 802.11 Wi-Fi Direct te IEEE 802.15.1 Bluetooth. Iako rade na istom frekvencijskom spektru od 2,4 Ghz (Wi-Fi Direct i na 5 Ghz), prilikom prijenosa podataka ostvaruju različite brzine rada. Rad će komparativnom analizom usporediti dvije tehnologije i prikazati mjerenja prijenosa podataka ostvarenih različitim tehnologijama putem peer to peer veze između dva uređaja.*

Ključne riječi: *Bluetooth, Wi-Fi Direct, komparativna analiza*

Abstract: *Today's trends in mobile devices connecting with other devices are based on wireless signal transferring, wireless technologies respectively. Today there are two technologies which are using in wireless data transferring from device to the device: IEEE 802.11 Wi-Fi direct and IEEE 802.15.1 Bluetooth. Although, these technologies are working on the same frequency spectre of 2,4 Ghz (Wi-Fi also at 5 Ghz), by the data transfer different working speeds are realized. This work paper will compare these two technologies by comparative analysis and it will show data measures achieved by the peer to peer network done with different technologies between two connected devices.*

Keywords: *Bluetooth, Wi-Fi Direct, comparative analysis*

1. UVOD

Bežične tehnologije koriste se za komunikaciju uređaja bez korištenja fizičke povezanosti. Bežični prijenos podataka između uređaja danas se ostvaruje korištenjem širokorasprostranjenih tehnologija za bežični prijenos, a među koje spadaju IEEE 802.15.1¹ Bluetooth i Wi-Fi Direct. Navedene tehnologije koriste se u bežičnom povezivanju i prijenosu podataka na malim udaljenostima do 100 metara². Također, Bluetooth i Wi-Fi Direct omogućavaju povezivanje putem RF (eng. *Radio Fidelity*) veze kratkoga dometa korisničkih uređaja (računala, mobilnih uređaja i sl.) u privremenu, *Personal Area Network* - PAN mrežu uz malu potrošnju energije. Iako imaju istu namjenu, bežične tehnologije razlikuju se u tehničkom opisu, odnosno korištenim komunikacijskim protokolima poradi čega ostvaruju različite performanse u prijenosu podataka.

2. IEEE 802.15.1 BLUETOOTH

IEEE 802.15.1 Bluetooth predstavlja standard koji definira prijenos raznih vrsta podataka na relativno malim udaljenostima, odnosno udaljenostima do 100 m. Bluetooth standard razvija i definira organizacija Bluetooth SIG (eng. *Special Interest Group*), a 1999. godine objavljena je specifikacija tehnologije. Godine 2002. godine Bluetooth standard usvojila je i IEEE 802.15.1 radna grupa za standardizaciju osobnih mreža PAN. Specifikacije standarda prije svega određuju parametre povezivanja, frekvencijski pojas te modulaciju signala kao i ostale specifikacije. U početku je nastao kao alternativa serijskom RS-232 (eng. *Recommended Standard 232*) standardu, dok se sam prijenos ostvaruje putem globalno nelicenciranoga ISM (eng. *Industrial, Scientific and Medical*) frekvencijskog pojasa na 2.4 GHz.

Udruga Bluetooth SIG (eng. *Special Interest Group*) razvila je i licencirala Bluetooth specifikaciju, a istu čine organizacije iz područja telekomunikacija, računarstva, mrežnih usluga i elektronike [1]. Bluetooth je originalno razvijen kao alternativa RS-232 (eng. *Recommended Standard 232*) standardu. U osnovi, Bluetooth koristi tzv. "prošireni spektar s frekvencijskim

¹ *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE). IEEE 802.15 predstavlja 15. radnu skupinu IEEE 802 odbora za standarde koji definiraju standarde bežične osobne mreže (*Wireless Personal Area Network* - WPAN).

² Današnje tehnologije za bežični prijenos podataka omogućavaju povezivanje i na udaljenosti većoj od 100 m (Bluetooth 5.0)

skakanjem” (eng. *Gaussian frequency-shift keying - GFSK*) koji dijeli podatke na manje segmente te ih šalje na jednu od 79 definiranih frekvencija [1]. Prva inačica Bluetooth standard nosi oznaku Bluetooth 1.0, dok posljednja nosi naziv Bluetooth 5.0. Bluetooth 5.0 može komunicirati brzinom do 3 Mbps (EDR³), što je dvostruko više od inačice Bluetooth 4.2 [2].

Tabela 1. Usporedba Bluetooth standarda⁴

Značajka	Bluetooth Classic (1.x,2.x,3)	Bluetooth 4.x	Bluetooth 5.x
Frekvencija rada (Mhz)	2400 do 2483.5	2400 do 2483.5	2400 do 2483.5
Udaljenost (m)	Do 100	Do 100 (60 m BLE ⁵)	Do 200
Nominalna brzina prijenosa (Mbps)	1-3	1	2
Latencija (ms)	<100	<6	<3
Veličina poruke (byte)	Do 358	31	255
Bluetooth Low Energy – BLE support	ne	da	da
Sigurnost		AES 256 bit	AES CCM

Izvor: Fuzzy-PSO Solution for Mobile Devices of Internet of Things [13]

Također, standard Bluetooth 5.0 ima doomet do 200 m u odnosu na 100 m, koliko podržava Bluetooth 4.2 npr. Bluetooth verzija 3.0 ima dodatno poboljšanu brzinu prijenosa podataka do 24 Mbps, iako to nije bio službeni dio specifikacije 3.0. U tabeli 2 dan je prikaz maksimalne podržane udaljenosti prema različitim Bluetooth verzijama.

Tabela 2. Primjer maksimalne podržane udaljenosti (m) Bluetootha sukladno izlaznoj snazi (mW). Povećanje izlazne snage povećava se doomet.

Bluetooth standard (Verzija)	Max. izlazna snaga (mW)	Dommet (m)
1	100	~100
2	2.5	~10
3	1	~1
4	0.5	~0.5

Izvor: Bluetooth.com [13].

³ *Enhanced Data Rate* – EDR

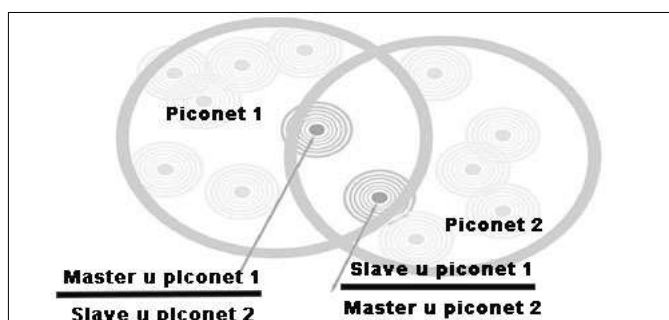
⁴ U tabeli 2 prikazana je i tzv. Bluetooth “Classic” inačica Bluetootha. Pod istom se podrazumijevaju starije inačice ove tehnologije, dakle Bluetooth 1.x, 2.x,...

⁵ Bluetooth Low Energy (BLE) standard namijenjen IoT uređajima.

Bluetooth tehnologijom moguće je ostvariti tri osnovne mrežne topologije: *point-to-point*, *piconet* i *scatternet*. Piconet mrežu tvore dva ili više povezana Bluetooth uređaja u kojoj jedna stanica ima primarni, glavnu (eng. *master*) ulogu te kontrolira promet, a sve ostale jedinice su podređene (eng. *slave*) [3].

Piconet mreža može sadržavati do sedam slave uređaja i samo jedan master uređaj, dok povećanje broja uređaja u mreži posljedično vodi do pada brzine propusnosti (eng. Throughput) prema kornicima. S druge strane, veza između scatternet mreža ostvaruje se putem jednoga Bluetooth uređaja koji može biti podređen (*slave*) u dvije ili više piconet mreža, ali glavni (*master*) u samo jednoj piconet mreži te ujedno može biti i mrežni *gateway* propuštajući promet iz jedne mreže u drugu [3]. Prikaz mrežne topologije Bluetootha s dvije *Piconet* mreže koje čine jednu *Scatternet* mrežu prikazana je na slici 1.

Slika 1. Prikaz mrežne topologije Bluetootha. Dvije *Piconet* mreže tvore jednu *Scatternet* mrežu, dok svaka Piconet mreža posjeduje primary/slave konfiguraciju.



Izvor: Jeren, B; Pale, P. (2008). Sustavi za vođenje i praćenje procesa [3]

Korištenje Bluetooth standarda u bežičnoj komunikaciji prije svega se odnosi na primjenu u povezivanju s raznovrsnim bežičnim hardverom kao i za komunikaciju u domeni uređaja uređaja interneta stvari (IoT). Također, važno je istaknuti i moguću koliziju s IEEE 802.11 Wi-fi standardom pro korištenju frekvencijskog pojasa od 2,4 Ghz jer oba standarda koriste frekvencijski pojas od 2,4 Ghz pri čemu su moguće smetnje u komunikaciji te pogoršanje komunikacijskih performansi [4]. Prema Woolley-u [5], prognozira se da će od 4.8 milijarde uređaja koji će biti spojeni na internet 2021. godine njih čak 30 % imati podršku za Bluetooth.

3. IEEE 802.11 Wi-Fi Direct

IEEE 802.11 naziv je za mrežni standard bežičnih mreža kolokvijalnoga naziva Wi-fi (eng. *Wireless Fidelity*). Danas je definirano nekoliko bežičnih mrežnih standarda od strane internacionalnog tijela IEEE koje je 1997. godine donijelo specifikaciju 802.11 standarda. Neki od Wi-Fi standarda prikazani su u tabeli 3. Za istaknuti je i nova nomenklatura u označavanju standarda bežičnih mreža. **Digital Living Network Alliance (DLNA)**, odnosno **Američki Savez za digitalnu mrežu** koji predstavlja grupu tvrtki za računalnu i potrošačku elektroniku uključio Wi-Fi Direct u vlastite smjernice za interoperabilnost u studenom 2011. godine [6]. Wi-Fi Direct razvijen je sukladno mrežnoj topologiji standarda 802.11x i to *ad hoc – peer to peer* koncept s naglaskom na jednostavniji način povezivanja i podešavanja uređaja.

Tabela 3. Pregled Wi-Fi standarda prema nomenklaturi udruge Wi-Fi Alliance

Wi-fi standard prema novoj nomenklaturi	IEEE naziv	Maksimalna teoretska brzina – Mbit/s
Wi-Fi 1	802.11a	11
Wi-Fi 2	802.11b	11
Wi-Fi 3	802.11g	54
Wi-Fi 4	802.11n	450
Wi-Fi 5	802.11ac	1300
Wi-Fi 6	802.11ax	3500 ⁶

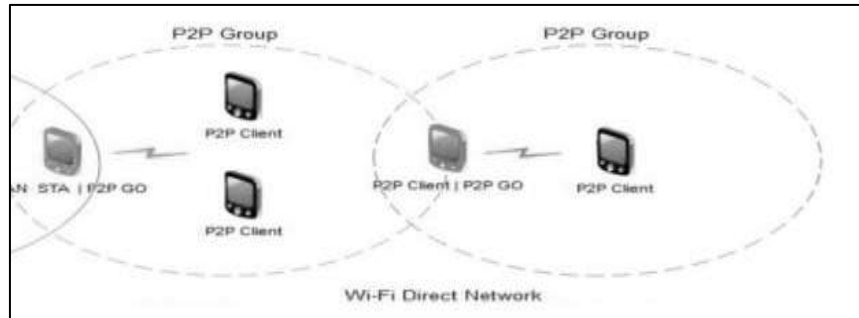
Izvor: Netspotapp.com [7]

Standard 802.11 naziva se i *legacy 802.11*, a za sve kasnije standarde uključujući i *legacy* koristi se oznaka 802.11x. Time se ističe da ne postoji 802.11x standard, nego je to skup standarda. Standard 802.11x definira dvije osnovne mrežne topologije: infrastrukturnu i *ad hoc* mrežu. Kod infrastrukturne topologije klijenti se spajaju na pristupne točke koje mogu biti proširenje bežičnoga pristupa žičane mreže Ethernet standarda 802.3. Kod *ad hoc* mreža vrši se grupiranje više uređaja u decentraliziranu mrežu gdje nijedan uređaj ne treba imati ulogu poslužitelja, odnosno nije autoritativan. Tehnologija Wi-Fi Direct omogućava bežično spojenim uređajima dinamičko pregovaranje te odabir jednog od uređaja kao vlasnika grupe (eng. *Group owner - GO*). Vlasnik

⁶ Brzina od 3.5 Gbit/s u tzv. *single stream* načinu rada, do maksimalnih teorijskih 14 Gbit/s u četiri simultana *streama*

grupe u tom slučaju igra ulogu pristupne točke kao u infrastrukturnom načinu rada Wi-Fi-ja. Prikaz P2P arhitekture Wi-Fi Direct prikazana je na slici 2.

Slika 2. P2P arhitektura Wi-Fi Direct



Izvor: Wi-Fi Direct Research - Current Status and Future Perspectives [8]

Postupak pregovaranja u Wi-Fi Direct mreži polazi od izbornoga postupka u kojem može sudjelovati više od jednog P2P⁷ uređaja s jednakim šansama preuzimanja funkcije GO [8]. Vrijednost GO namjere izračunava se na temelju mogućnosti uređaja npr. odnos signala i buke (SNR), status baterije, procesorska snaga te broj susjednih uređaja [8].

Osnovne značajke Wi-Fi Direct tehnologije [9]:

- Razvijen i podržan od strane krovne wi-fi udruge *Wi-Fi Alliance*;
- Rad na frekvencijama od 2,4 Ghz i 5 Ghz [17]
- Za izravno povezivanje nije potreban usmjerivač (*ad hoc – peer to peer* mrežna topologija);
- Moguće je kreirati vezu tipa jedan-jedan (eng. *one to one*) ili jedan-više (eng. *one to many*);
- Podrška operacijskih sustava Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10 te OS Android (od inačice 4.0 na više);
- Sigurnost komunikacije posredstvom tehnologije Wi-Fi Protected Setup (WPS)⁸ i protokol WPA2 (eng. Wi-Fi Protected Access) koji koristi AES 256-bit enkripciju.

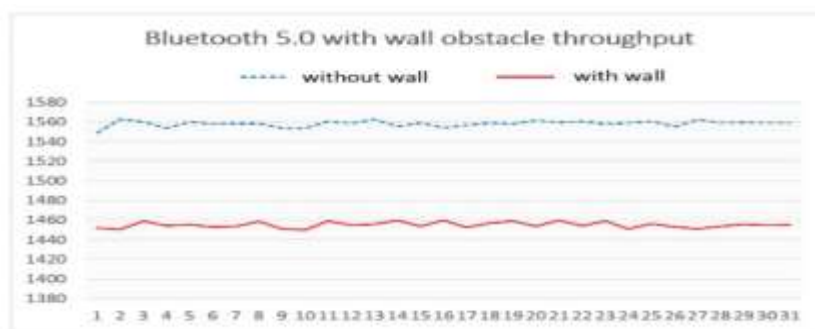
⁷ *Peer to Peer (P2P)*

⁸Iako se u tehničkoj dokumentaciji navodi da je sigurnost komunikacije tehnologije Wi-Fi Direct naslonjena na WPS, istoj je otkrivena kritična ranjivost. Napadač unutar dometa bežične pristupne točke može izvršiti brute force napad na WPS PIN i dohvatiti lozinku za bežičnu mrežu, promijeniti konfiguraciju pristupne točke ili uzrokovati odbijanje usluge.

4. PODATKOVNA PROPUSNOST BLUETOOTH TEHNOLOGIJE

Prva verzija Bluetootha (Bluetooth 1.0), sukladno tehničkom opisu, omogućavala je brzine od 1 Mbps s ograničenjem dometa do 10 metara. Bluetooth 5.0 omogućava brzine od 3 Mbps do udaljenosti do 200 m (BLE⁹). Bluetooth 5.0 omogućava četiri različite brzine prijenosa podataka: 2Mbps, 1 Mbps, 500kbps, 125kbps. Sukladno standardu *Bluetooth Low Energy* (BLE), povećanje dometa prijenosa podataka posljedično dovodi do smanjenja brzine prijenosa podataka te je najniža brzina prijenosa podataka od 125 kbps koja se koristi za podršku u radu aplikacijama i radu na veće udaljenosti (npr: IoT¹⁰ uređaji). Slika 3 prikazuje primjer izmjerne brzine prijenosa podataka BLE 5.0 standarda na udaljenosti od 11 m s i bez prepreka. Za istaknuti je i to da je sigurnost Bluetooth standarda realizirana uporabom AES 128-bit enkripcije.

Slika 3. Prikaz brzine prijenosa podataka (u Kbps) Bluetooth 5.0 standarda (BLE) unutar prostora i udaljenosti od 11 m sa i bez prepreka



Izvor: *Bluetooth 5.0 Throughput Comparison for Internet of Thing Usability A Survey* [10]

5. USPOREDBA TEHNOLOGIJE Wi-Fi DIRECT I BLUETOOTH

Za usporedbu Wi-Fi Direct tehnologije, Bluetooth (BLE) te Bluetooth 5.0 korišteni su tehnički podatci kao i rezultati mjerenja brzine prijenosa podataka za Wi-Fi Direct te Bluetooth 4.0 (BLE). Tabela 4 prikazuje usporedne podatke koji obuhvaćaju sljedeće: brzina (eng. *Bit rate*), domet (m), brzina uspostave mrežne povezanosti (s), razina sigurnosti, kompatibilnost, utrošak energije te

⁹ *Bluetooth Low Energy* (BLE) standard omogućava brzine od 1Mbps te je posebno prilagođen uređajima smanjene potrošnje energije (eng. *low energy*) s efektivnom brzinom od 250 Kbps.

¹⁰ Internet stvari (eng. *Internet Of Things*)

izmjereno vrijeme potrebno za prijenos jedne datoteke veličine 1.5 GB između dva povezana uređaja.

Tabela 4. Usporedba WiFi Direct i Bluetooth tehnologije

Svojstvo	Wi-Fi Direct	Bluetooth 4.0 (BLE)	Bluetooth 5.0
Brzina (Mbps) ¹¹	250 (31.35 MB/s)	2 (0.25 MB/s) ¹²	2 (0.25 MB/s)
Domet	200	60	240
Brzina uspostave mrežne povezanosti (s)	1	< 0.003	< 0.003
Kompatibilnost	Kompatibilan s 802.11 b/g/n/ax	-	Bluetooth 4.0, 4.1, 4.2
Sigurnost	AES 256-bit	AES 128-bit	AES 128-bit
Brzina prijena datoteke veličina 1.5 Gb (min)	9.27 ¹³	123.67 (1h, 23 min, 67 sec)	n/a

Izvor: Onmsft.com [11], Wi-Fi Direct technology A Technical report [15], autor.

6. ZAKLJUČAK

Iako se radi o različitim tehnološkim rješenjima, odnosno standardima, obje tehnologije pripadaju u općeprihvaćene standarde bežičnoga prijena podataka na male udaljenosti, koje proizvođači prijenosnih uređaja i računala danas distribuiraju na tehnološko tržište.

Prednost Bluetooth tehnologije ogleda se u kompatibilnosti sa starijim verzijama, malom potrošnjom energije (BLE, prikladan za IoT), *Dual Audio* mogućnost [14] te razmjerno velik domet (do 240 metara uz veću snagu odašiljanja, ranije verzije (Bluetooth 1.x,2x,..) do 100m uz veću snagu odašiljanja). Međutim, ukoliko se Wi-Fi Direct i Bluetooth usporede prema brzini prijena podataka s uređaja na uređaj, Wi-Fi Direct može omogućiti teoretske brzine prijena podataka brzinama do čak 9,6 Gbps, koliko dopušta Wi-Fi 6 standard. Teoretske brzine Bluetooth standarda su oko 3 Mbit/s (EDR). Iako Bluetooth tehnologija postoji preko puna dva desetljeća, predviđa se da će od 4.8 milijarde uređaja koji će biti spojeni na internet 2021. godine njih čak 30 % imati podršku za Bluetooth [16]. Bluetooth inačica *Low Energy Support* (BLE) prilagođena je

¹¹ Ovisno o korištenom bežičnom mrežnom standardu

¹² Maksimalna brzina u teoriji, 3 Mbit/s s EDR (*Enhanced Data Rate*)

¹³ Testna brzina odnosi se na uporabu standard IEEE 802.11ac standard

povezivanju IoT uređaja s malo potrošnjom energije. S druge strane, Wi-Fi Direct tehnologija temelji se na IEEE 802.11 mrežnom standardu koja nudi mnogo veće brzine prijenosa podataka (teoretski oko 10 Gbps). Wi-Fi Direct može se koristiti u prijenosu datoteka, dijeljenju resursa, mrežnih igara, širenja upozorenja, društvenih mreža...itd. [8] Svoju namjenu ogleda u uporabi pri čemu je nužno prenijeti veću količina podataka u kratkom vremenu, ali uz veću potrošnju energije što istu čini manje uporabljivom unutar IoT okruženja.

LITERATURA

- [1] Nacionalni CERT, <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2019/04/NCERT-PUBDOC-2009-11-281.pdf> (4.9.2020)
- [2] Howtogeek.com, <https://www.howtogeek.com/343718/whats-different-in-bluetooth-5.0/> (4.9.2020)
- [3] Jeren, B; Pale, P. (2008). Sustavi za vođenje i praćenje procesa. Skripta, FER, Zagreb.
- [4] Helpguide.sony.net, <https://helpguide.sony.net/mig/Z003907B11/HR/contents/TP0001034966.html> (4.9.2020)
- [5] Woolley, M. (2020). Bluetooth Core Specification Version 5.0 Feature Overview. Bluetooth SIG. Dostupno na <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-5-go-faster-go-further/> (15.9.2020)
- [6] Wi-Fi Alliance, <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-certified-wi-fi-direct-now-included-in-dlna-interoperability-guidelines> (15.9.2020)
- [7] Netspotapp.com. <https://www.netspotapp.com/explaining-wi-fi-standards.html> (7.9.2020)
- [8] Muhammad, Asif Khana ; Wael, Cherifb ; Fethi, Filalib ; Ridha, Hamilaa (2017). *Wi-Fi Direct Research - Current Status and Future Perspectives*. Journal of Network and Computer Applications, Vol. 93, 2017, p.p 245-258.
https://www.researchgate.net/publication/317858557_Wi-Fi_Direct_Research_-_Current_Status_and_Future_Perspectives (14.10.2020)
- [9] Hr.ateasyday.com, <https://hr.ateasyday.com/articles/net/tehnologiya-wi-fi-direct-podklyuchenie-i-nastrojka.html>
- [10] Muhyi Bin Yaakop, Izwan Arief Abd Malik, Zubir bin Suboh, Aizat Faiz Ramli, Mohd Azlan Abu (2017). *Bluetooth 5.0 Throughput Comparison for Internet of Thing*

Usability A Survey. International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T)

- [11] Onmsft.com, <https://www.onmsft.com/news/how-does-wi-fi-direct-file-transfer-surface-pro-stack-other-means-file-transfer> (13.10.2020)
- [12] Pau, G.; Collotta, M.; Maniscalco, V. (2017). Bluetooth 5 Energy Management through a Fuzzy-PSO Solution for Mobile Devices of Internet of Things. *Energies Journal* (10)7.
- [13] Bluetooth.com, <https://www.bluetooth.com/specifications/archived-specifications/> (19.10.2020)
- [14] Samsung.com, <https://www.samsung.com/au/support/mobile-devices/what-is-the-dual-audio-feature/> (16.10.2020)
- [15] Alevizopoulos, A. *Wi-Fi Direct technology. A technical report*. <https://www.slideshare.net/AngelAlevizopoulos/wifi-direct-technology-a-technical-report> (13.10.2020)
- [16] Bluetooth.com, https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2019/03/Bluetooth_5-FINAL.pdf (17.10.2020)
- [17] Wi-Fi.org, <https://www.wi-fi.org/knowledge-center/faq/does-wi-fi-direct-work-on-80211-abgn> (17.10.2020)