

Petka le podaljšana štirica

- **Dr. Boštjan Batagelj:** »Ker javno mobilno omrežje 5G v Sloveniji ne prinaša bistvenih prednosti, ampak je samo nekakšna nadgradnja omrežja 4G, se zahtevnejši uporabniki odločajo za to, da postavljajo lastna omrežja 5G.«
- **Cilj vseh sodobnih omrežij je zmanjševanje zakasnitev signalov**

Tekst: **Brane Maselj**

Fotografije: **Uroš Hočevar**





Ko tako imenovana peta generacija (5G) mobilnih omrežij prevzema vodilno vlogo v tehnološkem povezovanju sveta, je ta še vedno razdeljen med velikimi pričakovanji glede njegovih možnih koristi pa tudi bojzani glede škodljivosti sevanja. Za boljše razumevanje omrežja 5G ter njegovih prednosti in slabosti smo o tem, kaj lahko od njega pričakujemo in s kakšnimi izzivi se srečujemo, ko prehajamo na novo tehnologijo, povprašali dr. Boštjana Batagelja, strokovnjaka za mobilne komunikacije.

Najprej čisto na kratko: kaj prinaša tehnologija 5G?

Prinaša ne le večje hitrosti prenosa podatkov, temveč bo bistveno zmanjšala tudi zakasnitve, to je zamude med pošiljanjem in prejetjem podatkov. Pomeni, da bodo aplikacije, ki zahtevajo komunikacijo v realnem času, kot so avtonomna vozila ali operacije na daljavo, postale bolj izvedljive. Poleg tega bodo omrežja 5G lahko hkrati podpirala veliko več naprav, kar je ključnega pomena za razmah interneta stvari (IoT). Seveda pa bo 5G zahteval precejšnjo naložbo v omrežno infrastrukturo, vključno z novimi celičnimi stolpi in optičnimi kablji, vendar bodo koristi v smislu gospodarske rasti in izboljšane kakovosti življenja neprimerno večje.

Vsakič ko pride do nove generacije mobilnih komunikacij, se sprožijo tudi polemike o škodljivosti elektromagnetnega sevanja njihovih omrežij. Ali lahko na splošno pojasnite elektromagnetno valovanje?

V splošnem je valovanje razširjanje motnje po prostoru, ločimo pa več tipov valovanj. V naravi ločimo fizikalno dva tipa valovanj; eno so longitudinalna, vzdolžna valovanja, kamor spada zvok, in druga, transverzalna valovanja, ki so prečna, kamor spada elektromagnetno valovanje, in so nam inženirsko bolj zanimiva. Zato, ker za svoje razširjanje

Torej si v telekomunikacijah ne prizadevate za višje frekvence?

Kot rečeno, imamo pri višjih frekvencah večje probleme z brezžičnim prenosom informacij na daljavo, saj ga moti vsak objekt, ki je med oddajnikom in sprejemnikom. Kljub fizikalno neskončnemu elektromagnetnemu spektru je ta za nas zelo omejen na nizke frekvence do nekaj gigahercev (Ghz).

Na kakšnih frekvencah pa oddajajo RTV-programi?

Tu gre za še nižje frekvence; radijske postaje oddajajo na okrog 100, torej le desetino GHz. Zato se radijski valovi dobro razširjajo in za polno pokritost s signalom potrebujemo le malo oddajnikov. Pri TV-programih potrebujemo že malo višje frekvence, to je 560 MHz, saj moramo prenesti večjo količino podatkov. V naravi so takšni radijski valovi dolgi do nekaj metrov, medtem ko so pri hišnem wi-fi omrežju, ki deluje običajno že na 2,4 GHz, dolgi komaj 12,5 centimetra. Napovedujejo se možnosti uporabe milimetrskega valovanja frekvence 70 GHz, raziskujejo pa se tudi možnosti uporabe teraherčnega valovanja. Sam pa menim, da ima več možnosti bodisi vidna bodisi infrardeča svetloba, ki jo danes s pridom že uporabljamo v optičnih omrežjih. Morda jo bomo lahko čez 10 let tudi v mobilnih omrežjih naslednje generacije – 6G.

Svetloba ima višjo frekvenco kot radijski valovi?

Ja, tu gremo že v stotine terahercev. Rentgenski valovi, ki prodirajo skozi telo, pa so na frekvenčni skali še precej višje od vidne svetlobe. Bistvena razlika med tistim delom spektra, ki se uporablja za telekomunikacije, in onim, ki se uporablja za rentgensko slikanje, je v tem, da rentgenski valovi lahko ionizirajo snov, laično rečeno, da razbijajo molekule. Te nevarnosti pri elektromagnetnem valovanju, namenjenem za telekomunikacije, ni, saj je celo pod valovanjem vidne svetlobe. Meja uporabnosti

Že vsak študent IKT zna izdelati nelegalen motilni oddajnik frekvenc, in če pametni telefon ne more vzpostaviti zveze na omrežju 5G, se bo samodejno priklopil na omrežje 4G ali pa celo 2G. To pa uporablja 30 let staro šifriranje, ki ga zna razbiti vsak heker.

ne potrebuje snovi in ga lahko tudi polariziramo, kar pomeni, da lahko izbiramo orientacijo valovanja. Povsem brez težav in zelo učinkovito se širi v vakuumu. Elektromagnetno valovanje je tako valovanje električnega in magnetnega polja, ki se širi (seva) skozi prostor-čas.

Koliko različnih elektromagnetnih valovanj poznamo v naravi?

Elektromagnetno valovanje se razteza preko neskončnega frekvenčnega prostora od najnižjih frekvenc do neskončno visokih frekvenc, a danes znamo uporabljati le zelo majhen del tega spektra. Najvišje še znane frekvence uporabljamo za rentgen v medicini, za komunikacije pa so bolj zanimive nizke frekvence, znane tudi kot radijsko valovanje. Pri brezžičnih komunikacijah so najbolj uporabne frekvence okrog enega gigaherca, ker lažje prodirajo skozi stavbe, okna, krošnje dreves itd. Višja ko je frekvenca, težje gre skozi snov in večje je njeno slabljenje. Težje prodira tudi skozi naše telo.

je pri ultravijolični (UV) svetlobi, ki ima že toliko energije, da bi lahko fotoni poškodovali našo kožo, zato se tudi mažemo z zaščitnimi kremami. Vsekakor je za človeka lahko škodljivo valovanje prevelikih moči, tako kot vse – navsezadnje tudi navadna voda –, kar prejmemo v prevelikih količinah. V vseh letih razvoja smo se naučili, kje so varne meje jakosti sevanja. Ko je Nikola Tesla pred sto in več leti izdelal prve oddajnike, so bili močnejši, a za prenos informacij mnogo manj učinkoviti kot današnji.

Danes uporabljamo elektromagnetna valovanja z veliko manj moči?

Pogosto rečem, da današnja omrežja ne kričijo več, kot so Teslovi ali Marconijevi oddajniki, ampak šepetajo. Izdelali smo telekomunikacijske protokole, da sprejemnik sporoča oddajniku, kdaj ga še sliši in kdaj naj poveča moč. Operaterji želijo prenašati informacije do uporabnika s čim manjšo porabo električne energije in čim manjšim sevanjem na predvsem nižjih frekvencah. Višje frekvence same po sebi sicer



Boštjan Batagelj, rojen leta 1973 v Vipavski dolini, je leta 2003 doktoriral iz nelinearnosti optičnega vlakna. Je izredni profesor na katedri za informacijske in komunikacijske tehnologije, strokovnjak za optična omrežja, radijske in satelitske komunikacije ter član Laboratorija za sevanje in optiko Fakultete za elektrotehniko ima s tega področja več patentov.

niso škodljive, saj se absorbirajo na površini telesa in ne prodrejo vanj. Današnji problem brezžičnih komunikacij je sobivanje različnih sistemov v našem prostoru, kar povzroča medsebojne motnje.

Kakšne?

V ZDA so denimo razprodali frekvenčni spekter za omrežje 5G preblizu spektra za letalske višinomere in piloti niso mogli več uporabljati avtomatskega pristajanja, zato so nekatere letalske družbe za nekaj mesecev prekinile lete na nekatera ameriška letališča. Elektromagnetno valovanje uporabljajo tudi meteorologi za merjenje vlažnosti ozračja, frekvence 5G pa so se na frekvenčni skali zelo približale inštrumentom za merjenje absorpcijskega vrha pri 24 GHz in to je povzročilo določene motnje. Več ko imamo brezžičnih sistemov, več je lahko podobnih motenj, zato se moramo povsod, kjer imamo opravka s stacionarnimi objekti, zavzemati za povezovanje s komunikacijskimi vrvicami, danes so to optični kabli. Radijske valove raje prihranimo za povezovanje uporabnikov, ki so mobilni. Tudi skoraj vse bazne postaje so danes že povezane z optičnim

vlaknom, ki je vsekakor hrbtenica komunikacijskih sistemov. Motnje se zmanjšajo tudi, če se pokrivanje bazne postaje skrči, kar ima za prednost manj uporabnikov, ki jim lahko zagotovimo večjo pasovno širino in s tem večje prenosne zmogljivosti.

Ali omrežja prejšnjih generacij podpirajo novo omrežje 5G ali ga motijo?

Prva generacija je bila še analogna, od druge generacije naprej pa je tehnologija digitalna, kar je prineslo veliko prednosti, kot denimo, da ni več odmevov v telefonskem pogovoru, lažje nadziramo omrežje itd. Vse dosedanje generacije digitalnih omrežij so se posodabljale zvezno, in to veliko bolj kot uporabniki, ki so seznanjeni samo s komercialnimi imeni generacij, to opažajo. Vsaka naslednja generacija tudi vsaj delno podpira predhodne. Trenutno se sicer množično opušča predvsem tretja generacija mobilnih omrežij. Telekom Slovenije jo je lani septembra prenehal oddajati, A1 pa letos konec maja. Vendar ne zaradi medsebojnih motenj.

Zakaj pa?

Predvsem zato, ker omrežje 3G ni bilo narejeno za internetni promet in ker je energetsko zelo potratno. Več možnosti za obstanek ima omrežje 2G, čeprav je starejše, ker se je zelo zakoreninilo pri uporabi za senzorje. Internet stvari (IoT) ni nekaj, kar se je pojavilo šele pred kratkim, ampak se tako rekoč razvija že desetletja, in sicer od prvih poskusov z mobilnim omrežjem 2G z namenom, da odčitajo podatke nekega senzorja na daljavo.

Je v omrežju 5G kaj takšnega, kar bi zahtevalo ukinitve omrežja 4G?

Če vprašate mene, pravzaprav ni bilo potrebe po tem, da smo omrežje 5G poimenovali kot neko novo generacijo, saj ostaja na samem radijskem delu precej enako četrti generaciji. Uvedena so sicer nova frekvenčna področja, a to nima bistvenih posledic. Spremenilo se je predvsem to, da poskušamo tudi pri radijskem delu narediti to omrežje čim bolj odzivno. Da pa bi to dosegli, potrebujemo ustrezno hitro in posodobljeno jedrno omrežje. V Sloveniji pa ta hip vsi operaterji (A1, Telekom, T2 in Telemach) – čeprav je že dobri dve leti od tega, kar so dobili frekvence – še vedno uporabljajo jedrno omrežje 4G. Nanj, na obstoječe stolpe baznih postaj, priklaplajo antene nove generacije, ampak s tem niso pridobili nobene bistvene prednosti omrežja 5G, razen tega, da lahko prenesejo več bitov na sekundo. Glede na trenutno stanje lahko rečemo, da je omrežje 5G v Sloveniji le omrežna tehnologija 4G na novih frekvenčnih področjih.

Kaj pravi glede novega omrežja zakonodaja o elektromagnetnem sevanju?

Uredba jasno omejuje sevanje okrog baznega stolpa. Ker pri večjih baznih postajah lahko trčimo ob dovoljene meje, bi bilo bolj smiselno omrežje nove generacije postavljati s čim več, a manjšimi baznimi postajami, ki bi sevale manj kot te večje bazne postaje. Ker torej javno mobilno omrežje 5G v Sloveniji ne prinaša bistvenih prednosti, ampak je samo nekakšna nadgradnja omrežja 4G, se zahtevnejši uporabniki odločajo za to, da postavljajo lastna omrežja 5G, in takšno smo zdaj vzpostavili tudi na Fakulteti za elektrotehniko. Naše omrežje 5G vsebuje jedrno omrežje nove generacije. Deluje sicer samo znotraj naših prostorov, vendar nam omogoča manjše zakasnitve, večjo odzivnost, povečano varnost, večjo razpoložljivost itd. kot javno omrežje 5G. Namenjeno je študentom informacijsko-komunikacijskih tehnologij in raziskovalcem. Podobno se tudi podjetja že odločajo za lastna, lokalna in zasebna omrežja 5G.

Katere so bistvene prednosti novega omrežja, ki jih uporabniki pri nas nismo deležni?

Cilj vseh sodobnih omrežij je zmanjševanje zakasnitev signalov. Ne gre samo za prenos čim večje količine podatkov, ampak za to, kako to naraščajočo količino podatkov čim bolje obvladati. Poleg zanesljivosti sodi sem tudi povečanje varnosti v omrežju. Po mobilnem omrežju danes lahko nadziramo že vse mogoče, od cestnega prometa do energetskega omrežja in plinovoda. Pri tako kritičnih infrastrukturah si ne smemo privoščiti izpadov sistema, saj ti samodejno povzročijo tudi izpade v drugih panogah. Danes se še pogovarjamo o tem, koliko minut izpada omrežja na leto še lahko toleriramo, a to mejo že potiskamo proti sekundam.

Koliko baznih postaj v Sloveniji je že opremljenih za omrežje 5G?

Verjetno je tretjina vseh baznih postaj že nadgrajena za tehnologijo 5G, morda celo več. Je pa škoda, da vsi štirje operaterji mobilnega omrežja, ki razpolagajo s frekvencami za 5G, gradijo vsak svoje omrežje, postavljajo svoje bazne postaje in stolpe, namesto da bi se dogovorili za souporabo in tako znižali porabo električne energije v omrežju.

Kakšna je pokritost Slovenije z baznimi postajami ta hip?

Imamo jih približno 3500, kar je, menim, za dobro storitev premalo.

Razvoj je še bolj vznemirljiv kot znanstvena fantastika. Tehnološki napredek pa je tudi neverjetno hiter. Medtem ko se komaj navajamo na omrežje 5G, se poraja že šesta generacija omrežij, ki nas bo v naslednjem desetletju povezala tudi na temelju kvantne tehnologije.

Koliko elektrike pravzaprav porabi vzdrževanje vse te infrastrukture in nenehnega prenašanja?

Ocenjujemo, da smo pred desetletjem za informacijsko-komunikacijske tehnologije porabili približno dva odstotka električne energije. Danes je za te namene, bi rekel, porabimo že kakšnih pet odstotkov in ta poraba bo še naraščala. Velik porabnik so podatkovni centri, kjer se vsi podatki hranijo. Pameten telefon bi bil brez baznih postaj, podatkovnih centrov in celotnega omrežja komaj kaj več kot podstavek za pijačo. Tako pa ima za seboj ogromno med sabo povezanih računalnikov z veliko porabo električne energije. Če vso to energijo celotnega omrežja porazdelimo na število pametnih telefonov, lahko ugotovimo, da presega porabo hladilnika, ki je bil do pred desetletjem ali dvema največji porabnik elektrike v gospodinjstvu. Po drugi strani pa se v drugih sektorjih poraba energije zaradi informacijsko-komunikacijskih tehnologij zmanjšuje. Danes mi ni treba več potovati z letalom na neki sestanek na evropski ravni, saj vse lahko opravim na spletnih konferencah.

Kaj prinaša nova tehnologija rezinjenja omrežja?

Če smo imeli pred 5G še različna omrežja za različne skupine uporabnikov, je ena od paradigem novega omrežja, da bi imeli enovito z različnimi lastnostmi, ki bi jih lahko operaterji nastavljali po posameznih rezinah. Ti različni uporabniki bodo segmentirani glede na njihove potrebe in bodo v skladu s tem tudi plačevali dobljene storitve, ki jim jih bodo skozi te rezine omogočili.

Na primer?

Če bo uporabnik upravljal samovozeče vozilo, bo zagotovo potreboval rezino, ki bo imela zelo majhne zakasnitve, zato da bo zelo zelo odziven. Potnik v takšnem avtomobilu ne bo več držal volana, bo pa gledal film ali se udeleževal videokonference, pri čemer pa zakasnitve niso toliko pomembne kot količina podatkov, zato da bo imel kar največjo kakovost slike na ekranu. Če bo vozilo v souporabi, njegov upravljaevac ne bo potrebovali niti majhnih zakasnitev niti velike kakovosti, čemur bo namenjena tretja komunikacijska rezina. Četrto, denimo, bo potreboval proizvajalec avtomobila, ki bo občasno poslal nadgradnjo programske opreme motorja.

Ko sva že pri avtu, kako je s kibernetko varnostjo?

Po eni strani lahko zagotavlja kibernetko varna omrežja zakonodaja s tem, da zahteva od proizvajalcev, da varujejo zasebnost in podatke svojih kupcev. Po drugi strani je mogoče baze podatkov šifrirati tako, da jih v nekem doglednem časovnem okvirju (več let) ne more dešifrirati nobena strojna ali programska oprema razen tista, ki jo je pooblastil uporabnik. To pomeni, da že v sam izdelek vgradimo tehnično rešitev, ki zagotavlja zasebnost.

Omrežje 5G prinaša prav takšno šifriranje?

To načeloma drži, a dokler bo omrežje 5G delovalo s tehnologijo omrežja 4G, ne moremo pričakovati povečane varnosti v omrežju. Že vsak študent IKT zna izdelati nelegalen motilni oddajnik frekvenc, in če pametni telefon ne more vzpostaviti zveze na omrežju 5G, se bo samodejno priklopil na omrežje 4G ali pa celo 2G. To pa uporablja 30 let staro šifriranje, ki ga zna razbiti vsak heker. Pri omrežju 5G lahko uporabljamo že precej dolge šifrirne ključe, a dokler bomo imeli v njem še stare tehnologije, bo to omrežje zelo ranljivo. Veliko na tem področju obetajo kvantne tehnologije. Teh ne mešajmo s prihajajočimi kvantnimi računalniki, ki bodo z lahkoto razbili vse danes uporabljane šifrirne tehnike. Na srečo prihajajo tudi nove šifrirne tehnike, temelječe na novih matematičnih algoritmih.

Prihajava na področje znanstvene fantastike.

Morda, čeprav je v bistvu vse, o čemer se pogovarjamo, tako rekoč že tukaj. Razvoj je še bolj vznemirljiv kot znanstvena fantastika. Tehnološki napredek pa je tudi neverjetno hiter. Medtem ko se komaj navajamo na omrežje 5G, se poraja že šesta generacija omrežij, ki nas bo v naslednjem desetletju povezala tudi na temelju kvantne tehnologije. A ta je deloma prisotna že danes. Samsung je že pred tremi leti na enem od svojih modelov telefona uvedel kvantni generator naključnih števil,

ki se uporablja za varnejšo komunikacijo in igralništvo. Apple s svojim zadnjim telefonom že ponuja možnost pošiljanja kratkih sporočil po satelitih, ki bodo v naslednji generaciji omrežja bazne postaje, s čimer bomo dokončno odpravili tudi tako imenovane bele lise, območja, na katerih danes ni signala.

Ali bo, poleg prenosa podatkov, mogoče kdaj prenašati tudi koščke materije?

Če mislite s tem teleportacijo, moram povedati, da ta izraz v fiziki ne pomeni prenosa materije, ampak prenos kvantnega stanja. Če imamo denimo foton z določeno polarizacijo, energijo, spinom itd., pa nato takšen, recimo enak foton ustvarimo nekje drugje, ga v bistvu nismo prenesli, ampak smo ga na določen način manipulirali in zdaj je hkrati na dveh krajih. Zato je to prenos stanja, ne pa teleportacija, o kakršni sanja znanstvena fantastika, in ga je verjetno mogoče ustvariti, seveda ob predpostavki, da razrešimo še ogromno vprašanj, ki so med drugim tudi etična. Če hoče kdo tako kam potovati, se mora najprej razstaviti, kar pomeni nekakšen samomor. Morda bo lažje potovati virtualno z avatarji. Je pa teoretično mogoče izračunati, kdaj bi bilo takšno prenašanje že mogoče, če vemo, koliko terabajtov vsebujejo vse informacije o človeškem telesu, ki jih je denimo treba prenesti na drugi konec sveta, na drug planet.

In kdaj bomo zmožni prenesti take količine?

Če vemo, da se zmogljivosti omrežja podeseterijo na vsaka štiri leta, in če vemo, kolikšno količino podatkov moramo prenesti, je izračun relativno preprost.

Pa ste že izračunali?

Približno, a to bom razkril 10. oktobra na predavanju o teleportaciji v Slovenski matici. ■

