

5G v ekstremnih razmerah

Tomi Mlinar¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Katedra za informacijske in komunikacijske tehnologije, Laboratorij za sevanje in optiko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
tomi.mlinar@fe.uni-lj.si

5G in extreme situations

Abstract. *The fifth generation of electronic communications (5G) covers much more than high data rates and low delays for modern communications. The complementarity of the 5G-compatible technologies enables the automation, control and modernization of the technologies of various industries that operate in human unfriendly environments. This article covers the use of 5G technology in extreme situations, such as unfavorable working conditions (e.g. drilling of tunnels, mine work ...) and in natural and other disasters. Important techniques that enable the operation of mission-critical applications in the 5G network are also described. This article describes some research and pilot projects that gives promising results and are ready for implementation.*

1 Uvod

Peta generacija elektronskih komunikacij (5G) zajema precej več kot omogočanje visokih mobilnih hitrosti prenosa in majhnih zakasnitev za sodobne komunikacije. Komplementarnost tehnologij, ki se združujejo pod kratico 5G, omogoča tudi avtomatizacijo, krmiljenje in posodobljenje tehnologij različnih gospodarskih panog, ki delujejo v človeku neprijaznih okoljih in razmerah. Ta članek zajema uporabo tehnologije 5G v omenjenih ekstremnih razmerah ter ob naravnih in drugih nesrečah. Povzete so pomembnejše tehnike, ki v omrežju 5G omogočajo delovanje zahtevnih aplikacij. V nadaljevanju so opisane nekatere raziskave in pilotski projekti, ki že dajejo prve rezultate.

2 Ekstremne razmere

Ekstremne razmere lahko definiramo na več načinov, gotovo pa so to človeku in napravam neobičajne razmere, ki so lahko prisotne ves čas (npr. delo pod zemljo, pod vodo, v puščavi itd.) ali pa se pojavijo občasno kot posledica naravnih nesreč (kot so neurja, potresi, poplave ...).

Po splošni definiciji iz [1] zahteva komunikacija v ekstremnih razmerah hitro vzpostavitev zvez, majhne zakasnitve, visoko razpoložljivost in zanesljivost delovanja, zmožnost nudenja storitev velikemu številu uporabnikov in naprav, visoko stopnjo varnosti in prednostno komunikacijo.

3 3GPP in komunikacije v ekstremnih razmerah

Združenje 3GPP [2] je že pred sprejetjem različice 13 standarda 3GPP postavila temelje za komunikacije v ekstremnih razmerah, ko je standardizirala funkciji eMBMS (Enhanced Multimedia Broadcast/Multicast) in GCSE (Group Communication System Enablers), kmalu za tem pa tudi ProSe (Proximity Based Services) za direktno komunikacijo med končnima napravama.

V različici 13 standarda 3GPP je bila standardizirana funkcija MCPTT (Mission Critical Push-to-Talk) in kasneje v različici 14 še MCDATA (podatkovne komunikacije v realnem času) in MCVideo (video komunikacije v realnem času).

Splošne komunikacije v ekstremnih razmerah tako zajemajo tri skupine: govorne komunikacije "pritisni-ingovori" (MCPTT, Mission Critical Push-to-Talk), video komunikacije v realnem času (MCVideo) in prenos podatkov v realnem času (MCDATA).

V juniju 2018 je bila zaključena prva faza standardov 5G (3GPP-različica 15), ki zajema naslednje funkcionalnosti za komunikacije v izrednih razmerah:

- povezavo med vsemi že določenimi funkcijami v 3GPP za kritične komunikacije,
- medsebojno povezljivost med LTE in obstoječimi sistemi javne varnosti, kot sta TETRA in P25, za govorne komunikacije in kratka sporočila,
- zahteve za storitve izrednih razmerah, ki se uporabljajo v železniškem prometu,
- zahteve za storitve izrednih razmerah, ki se uporabljajo v pomorskem prometu,
- vmesnike za uporabo funkcije eMBMS v izrednih razmerah.

4 Pomembni elementi komunikacijskega omrežja v ekstremnih razmerah

V ekstremnih razmerah, kjer je varnost ljudi (in infrastrukture) na prvem mestu, mora komunikacijsko omrežje delovati izjemno zanesljivo (brez izpadov) in hitro (majhne zakasnitve) [3].

Glavnina razvoja v omrežjih, ki delujejo tudi v ekstremnih razmerah, poteka na naslednjih segmentih [4]:

- zanesljivost radijskega dostopa,
- programsko nastavljiva zgradba omrežja,
- neposredna komunikacija med napravami (D2D).

Skoraj popolno zanesljivost na radijskem dostopovnem delu dosežemo z vpeljavo dodatnih poti istega signala, večkratno hkratno povezljivostjo,

omejevanjem motenj in izboljšanimi mehanizmi za ponovna oddajanja informacije. Z vpeljavo prilagodljive zgradbe radijskih okvirov pa dosežemo zakasnitve reda nekaj milisekund.

4.1 Radijski dostop

Merilo za kakovostno zvezo oz. zanesljivost zveze je zadostno razmerje med koristnim signalom in motnjo s šumom (SINR, Signal-to-Interference and Noise Ratio). To razmerje povečamo tako, da povečamo moč signala ali pa znižamo motnje z eno od metod:

- *mikroskopska raznolikost* – več anten omogoča boljše pokrivanje. Tehnika uporabe več anten pri oddaji in sprejemu (MIMO, Multiple Input Multiple Output) omogoča povečanje razmerja SINR. Pri 5G se uporablja tehnika masovnega MIMO – uporaba matrice nekaj deset anten;
- *makroskopska raznolikost* – lahko jo izvedemo na več načinov: (a) s kombinacijo radijskih dostopovnih tehnologij (npr. 4G in 5G) ali (b) s kombinirano zvezo (sprejem/oddaja) preko več hkratnih celic in baznih postaj. Pri slednji več baznih postaj oddaja iste podatke, ki jih sprejemnik ustrezno združi.

Za uporabo v ekstremnih razmerah je še posebno pomembna uporaba načina makroskopske raznolikosti. Pri običajnih predajah zvez med celicami omrežja 4G lahko pride do zakasnitve velikosti 55 milisekund, kar je za kritične komunikacije nesprejemljivo.

Motnje se lahko odpravljajo ali na omrežju ali na terminalu. Po pravilu *čez palec* velja, da če odpravimo motnje, ki jih povzročata dva najmočnejša sosednja motilnika (bazni postaji ali terminala), smo kolikor je mogoče izboljšali razmerje SINR.

4.2 Majhne zakasnitve

Stroji (naprave) lahko sprejemajo, analizirajo in izvajajo naloge bistveno hitreje kot ljudje. To je razlog, da komunikacije med napravami zahtevajo zelo majhne zakasnitve (npr. povratne zanke v industrijski avtomatizaciji), ki so običajno manjše od ene milisekunde. Visoka zanesljivost delovanja ($BER < 10^{-9}$) pa je pomembna pri sinhronizaciji. Pri komunikaciji naj bi bila režija čim manjša, da bi se pri prenosu majhnih paketov ohranila spektralna učinkovitost [4].

Upravljanje prometa in premikanje opreme v proizvodnji imata tipične časovne cikle od ene do 10 milisekund. Največje zahteve imajo nekateri regulatorji in senzorji, ki zahtevajo krajši čas od ene milisekunde z odstopanjem manj kot mikrosekunda.

4.3 Daljinsko upravljanje s haptičnim odzivom

Daljinsko upravljani roboti in druge naprave nam omogočajo, da varno delamo v okoljih ali s stvarmi, ki so lahko življenjsko nevarne ali drugače škodljive.

Na primer bolnišnice lahko organizirajo daljinsko vodene operacije brez fizične prisotnosti enega ali več kirurgov, daljinsko vodena mehanizacija lahko vrta predore ali koplje rudo globoko pod zemljo, roboti opravljajo razminiranje ali gasijo požare.

Takšen sistem mora biti izjemno zanesljiv ($BER < 10^{-9}$), zakasnitev med končnima točkama pa manjša od milisekunde, da imamo pravi občutek – haptični odziv – pri delu z oddaljeno napravo.

Danes so na trgu naprave z zasloni na dotik, ki dajejo uporabniku določen povratni odziv. Tudi ob delu na daljavo mora imeti uporabnik podoben občutek – čutiti dotik. Eden od primerov je pametni telefon, ki daje t.i. 3D-občutek pritiska.

Na primer, kombinacija haptične interakcije in 360-stopinjskih kamer, ki prenašajo dogajanje v živo preko omrežja 5G v naprave, nameščene na glavi, bo dala izjemno uporabniško izkušnjo – kot je operacija na daljavo z aktivnim sodelovanjem.

4.4 Programsko nastavljiva omrežja

Za zanesljivo omrežje z majhnimi zakasnitvami moramo imeti dovolj odporno omrežje z dinamičnim upravljanjem, ki bo pripeljalo vsebino blizu uporabnikom.

Gljučne izboljšave v zgradbi omrežja je mogoče doseči z deljenjem omrežja na rezine, kar omogoča namenska virtualna mobilna omrežja z določenim naborom omrežnih virov in hkrati zagotavlja dogovorjeno kakovost storitve. Deljenje na rezine je nujno za podporo vertikalnim industrijam. Včasih smo gradili omrežja za določeno rabo, npr. 2G za govorne komunikacije ali 4G za podatkovne komunikacije. Zasnova omrežja 5G pa je takšna, da se lahko prilagodi vsakemu primeru posebej. Znotraj omrežja je lahko več hkratnih navideznih omrežij, ki se med seboj ne motijo in služijo vsako svojemu namenu. Primer soobstoja dveh navideznih omrežij sta npr. eno navidezno omrežje, ki upravlja z avtonomnimi vozili (v omrežju so pomembne majhne zakasnitve) in drugo navidezno omrežje za video prenose kakovosti 4K ali boljše, ki pa zahteva zelo velike prenosne hitrosti.

Od programsko nastavljivih omrežij pričakujemo, da se hitro prilagajajo različnim zahtevam. To pomeni, da pot paketov po omrežju ni vnaprej določena s fiksno arhitekturo omrežja in se jo sproti prilagaja, da dobimo ustrezne zakasnitve. Programsko opredeljena omrežja omogočajo v hrbteničnem delu omrežja, zbirnih točkah in zalednih povezavah optimizacijo prometa, pasovne širine in zagotavljanje potrebne procesorske moči na robu omrežja tako, da so zakasnitve najmanjše. Transportni agenti v samoorganiziranih omrežjih zbirajo podatke o zakasnitvah, izgubah, prepustnosti, dolžini čakalne vrste, aktivnih nosilnikih ali aktivnih napravah in te podatke ustrezno uporabijo za krmiljenje programirljivega omrežja.

Razpoložljivost omrežnih elementov mora biti visoka. To dosežemo z združevanjem jedrnih elementov in uravnoteženjem obremenitev. S tem zagotovimo delovanje sistema brez prekinitev, tudi če eden ali več jedrnih elementov odpove. Podobno velja, če odpovejo nekatere zaledne povezave – storitve bodo v samostojnem načinu delovanja delovale skoraj neokrnjeno.

S pomikanjem prehodov in aplikacijskih strežnikov v bližino radijskega dela (v oblak na mobilnem robu) lahko dodatno zmanjšamo zakasnitve. Tako storitve niso več odvisne od točno določenih povezav med končnima točkama, pač pa se pot za povezljivost oblikuje glede na dejanske potrebe konkretne storitve. S takšnim modelom povezovanja 'vsakega z vsakim', kjer komunicirajo naprave neposredno preko lokalnih strežnikov na ravni radijskega dostopovnega dela, se izognemo prenašanju podatkov do centraliziranih prehodov – dosežemo najkrajše in najboljše poti za usmerjanje prometa. Zakasnitve so najmanjše možne in sistem stabilno deluje.

4.5 Neposredna komunikacija med napravami

Pri neposredni komunikaciji med končnima napravama (D2D, Device-to-Device) za prenašanje podatkov (tudi govora) ne uporabljamo vmesne infrastrukture.

Ta način komunikacije v omrežjih 5G omogoča veliko zanesljivost delovanja in zelo majhne zakasnitve. Ker za obdelavo podatkov nimamo vmesnih omrežnih elementov ali transportnega dela omrežja, so zakasnitve manjše, izboljša pa se tudi zanesljivost zvez – razširjena pokritost z omrežjem.

Omrežje neposrednih povezav se lahko uporabi tudi kot rezervna ad-hoc rešitev v primeru okvar omrežne infrastrukture ali ko ta kako drugače ni na voljo.

Dodeljevanje radijskih virov za neposredne komunikacije med napravami je lahko *porazdeljeno* ali *centralizirano*. V primeru porazdeljene rešitve lahko naprave prenašajo podatke takoj in za to ni potreben poseben postopek ali sodelovanje posebnih krmilnih kanalov. Če imamo centralizirano rešitev, se sicer učinkoviteje izogibamo trkom, vendar postane rešitev bolj kompleksna in povečajo se povprečne zakasnitve.

Način upravljanja radijskih virov ponazorimo na primeru komunikacije med vozili v pametnem prometu. Vsa vozila občasno oddajajo informacije o svoji lokaciji, hitrosti, smeri gibanja itd. Ko se promet zgosti, se poveča tudi verjetnost trkov. Ena od možnosti dodeljevanja radijskih virov je izbira dostopa na osnovi geografske lokacije, ki jo pošilja vozilo. Cesta je po vsej dolžini razdeljena na odseke, tako da se vedno dodeli ustrezen radijski vir glede na informacijo o lokaciji vozila.

Neposredno komunikacijo med napravami se lahko izkoristi tudi tako, da ima naprava hkrati dve zvezi – eno neposredno z drugo napravo in drugo preko omrežja. Vedno pa izbira optimalno zvezo za prvi ali ponovljeni prenos podatkov in kombinira sprejem signala preko različnih povezav.

Neposredna zveza ima lahko korist tudi iz uporabe načina polne dvosmerne zveze (FD, Full Duplex) – sprejem in oddaja hkrati potekata na istem frekvenčnem pasu. Tako se izognemo potrebi po vnaprej nastavljenim smerem prenosa. Zato je potrebna zelo majhna kontrolna režija, kar seveda zniža zakasnitve. Način dela v polnem dvosmernem prenosu zahteva določene tehnične rešitve na anteni, da oddani signal ne moti lastnega sprejema.

5 Raziskovalni in pilotski projekti

Industrija ima močne zahteve po hitrih komunikacijah med napravami (M2M) in izjemno zanesljivih povezavah. Morebitne sistemske napake pomenijo okvaro opreme, ustavitve proizvodnje ali v skrajnem primeru hude poškodbe ali celo smrtne žrtve.

Za tovarne v prihodnosti bo ključna časovna optimizacija procesov. Tu pride do izraza potreba po izjemni zanesljivosti in skoraj ničelnih zakasnitvah – npr. stalna optimizacija proizvodnega procesa, ki temelji na senzorskem nadzoru vseh delov procesa v realnem času ali pa stalna povezanost med roboti nove generacije.

5.1 5G v rudarski industriji

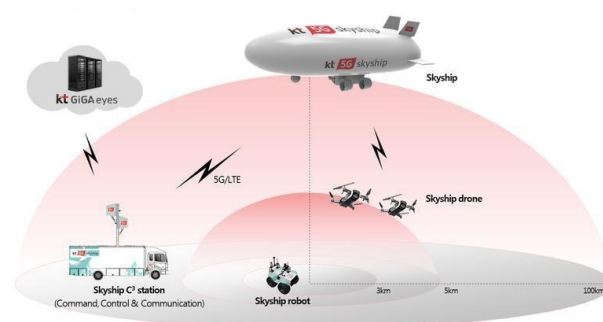
Primer združevanja tehnologij pete generacije več partnerjev in vodenja težke mehanizacije je projekt PIMM (Pilot for Industrial Mobile communications in Mining) [5], ki so ga zagnali leta 2015 na Švedskem.

Cilj tega projekta je uporaba nove mobilne tehnologije (4G, 5G) v industriji zaradi izboljšanja produktivnosti in povečanja varnosti pri delu v rudnikih. V sklopu projekta preizkušajo napredne metode avtomatizacije in daljinskega nadzora opreme, ki je montirana na mehanizaciji v rudniku Boliden na Švedskem. Z uporabo komunikacijske, senzorske in druge tehnologije je mogoče na daljavo, iz udobne lokacije na površju, krmiliti mehanizacijo v rudniških rovih globoko pod zemljo.

Preizkušajo štiri ključne segmente: industrijsko mobilno dostopovno omrežje, industrijsko mobilno jedro omrežje, dostopovno točko za bližnje komunikacije in robustno komunikacijsko platformo za avtomatizacijo procesa.

5.2 5G pri iskanju in reševanju

Za iskanje pogrešanih oseb in reševalne akcije iz zraka je korejski operater KT razvil platformo [6], imenovano *Skyship*, ki jo sestavljajo zrakoplov, droni, roboti in center vodenja na zemlji. Slednji daljinsko nadzira drone in robote, ki izvajajo iskanje in reševalne operacije. Reševalci na terenu so opremljeni z očali za obogateno resničnost in imajo neposredno komunikacijo z zdravniki v bližnji bolnišnici, kar omogoča takojšnjo asistenco.



Slika 1. Platforma Skyship za iskalne in reševalne akcije (vir: ITU News)

Platforma je trenutno operativna v omrežju 4G LTE, prihodnje leto pa naj bi zaživela tudi na omrežju 5G. Platformo Skyship (slika 1) sestavljajo naslednje komponente:

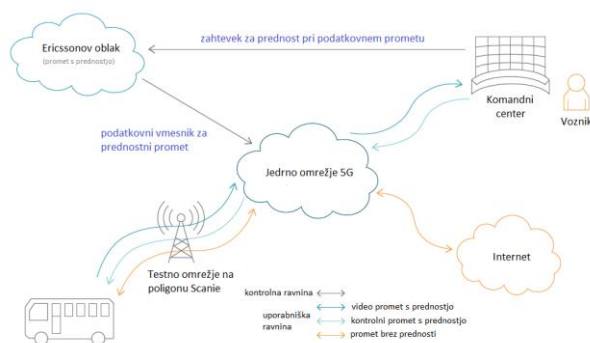
- s helijem napolnjen zrakoplov, ki pokriva večje območje do 100 kilometrov,
- komandna, kontrolna in komunikacijska mobilna zemeljska postaja (C³),
- droni v zraku in roboti na zemlji, ki opravljajo reševalne akcije v obsegu nekaj kilometrov.

Zrakoplov je opremljen s sistemi za krmiljenje zrakoplova, kamerami, mrežnimi elementi in droni ter enoto, imenovano *skyscan*. *Skyscan* uporablja zelo majhno napravo LTE, ki zaznava signale pametnih terminalov pogrešancev v območju 50 metrov. Prejete signale primerja z bazo uporabnikov mobilnih operaterjev in tako identificira osebe. Droni nato odkrijejo točne lokacije iskanih oseb, roboti na zemlji pa jim odpeljejo osnovne stvari za prvo pomoč, dokler ne prispejo reševalci.

Zrakoplov lahko leti do šest ur s hitrostjo do 80 km/h in nosi opremo v skupni teži do 5 kg.

Zdaj je v uporabi druga različica platforme, ki uporablja omrežje 4G, naslednja različica (načrtovana za leto 2020) pa bo uporabljala omrežje 5G. Za komunikacijo bo uporabljen pas širine 100 MHz na frekvenčnem območju 3,5 GHz in 800 MHz na frekvenčnem območju 28 GHz, kar bo omogočalo prenos videa v realnem času v razločljivosti 4K UHD. Zelo majhne zakasnitve bodo reševalnim ekipam omogočale učinkovito delo.

5.3 5G v transportu



Slika 2. Platforma Skyship za iskalne in reševalne akcije (vir: Ericsson Technology Review, 2018)

Z namenom varnega vodenja samovozečih vozil preko omrežja 4G/5G podjetji Ericsson in Scania razvijata platformo za daljinsko vodenje avtobusov [7]. Za to je pomembna hitra in dovolj velika množica podatkov, ki so skoraj v trenutku na voljo operaterju. Podatki iz senzorjev, nameščenih po vsem avtobusu, se pretakajo v oddaljeni center vodenja preko radijskega dostopnega omrežja 4G LTE in jedrnega omrežja 5G. V obratni smeri se komande za vožnjo avtobusa pošiljajo iz centra preko Scaninega komandnega sistema.

Kot je prikazano na sliki 2, imajo določeni nizi podatkov prednost, da je zagotovljena določena kakovost storitve. To so podatki, ki prihajajo iz video kamer in komande, ki na daljavo krmilijo avtobus. Vsi ostali podatki, t.i. infotainment, imajo nižjo prioriteto. Za zagotovitev prednosti uporabljajo identifikatorje QCI (QoS Class Identifier), ki izhajajo iz standardov 3GPP. Tako so identifikatorji za video prenos in podatke iz senzorjev razreda 5 in 2, infotainment (nižja prioriteta) pa ima QCI razreda 9.

Sistem deluje tako, da aplikacija v oblaku dinamično vzpostavlja povezave med vozili in paketnim jedrnim omrežjem 5G (EPC, Evolved Packet Core). Vsaka povezava ima nastavljene določene parametre kakovosti, kot sta največja dovoljena zakasnitev in najmanjša prepustnost.

6 Sklep

Ta prispevek opisuje lastnosti omrežja 5G, ki so ključne za njegovo delovanje v ekstremnih razmerah, te pa se lahko dnevno pojavljajo v nekaterih industrijskih panogah ali pa jih povzročijo nenadne vremenske spremembe.

Najpomembnejši lastnosti takšnega omrežja sta velika zanesljivost delovanja omrežja in zelo majhne zakasnitve v komunikacijah med dvema končnima napravama. Majhne zakasnitve in zanesljivost delovanja omrežja dosežemo z ustreznimi rešitvami v radijskem dostopnem delu, izvedbi programsko nastavljivega omrežja in z vpeljavo neposredne komunikacije med napravami.

V svetu že vsaj tri leta potekajo intenzivna testiranja določenih funkcionalnosti omrežij 5G za industrijske in varnostne namene. V polnosti bodo zaživela verjetno šele čez nekaj let. Nekatere funkcije, ki so že standardizirane za omrežja 4G in so uporabne v izrednih razmerah (množične nesreče), pa že danes uspešno delujejo.

Literatura

- [1] 3GPP TS 22.280, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Mission Critical Services Common Requirements (MCCoRe); Stage 1, (Release 14);
- [2] Mission Critical Services in 3GPP, www.3gpp.org
- [3] T. Mlinar: 5G za kritične komunikacije, Zbornik referatov 32. delavnice o telekomunikacijah VITEL – Pametna omrežja informacijske družbe, 16. in 17. maja 2016, Brdo pri Kranju
- [4] 5G for Mission Critical Communication, Nokia White Paper, 2016;
- [5] <https://www.sics.se/projects/firstpimmproject> (PIMM - Pilot for Industrial Mobile communications in Mining);
- [6] <https://news.itu.int/kt-skyship-search-rescue-platform/> (Skyship – search-and-rescue airborne platform);
- [7] 5G Network Programmability, Ericsson Technology Review, January 26, 2018