

Širokopolasni VHF prenos aeronautičkog komunikacionog sistema

Vladimir M. Mladenović i Miroslav D. Lutovac

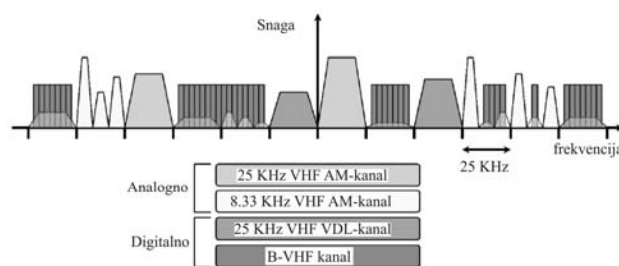
Sadržaj — Značajno povećanje vazdušnog saobraćaja do-
vodi do porasta radio-komunikacija, pa je potrebno da se efi-
kasnije koristi raspoloživi frekvencijski spektar. Novi tele-
komunikacioni uređaji treba da budu u skladu sa propisima
koji važe u vazdušnom saobraćaju, a nova rešenja treba da
omoguće bolje iskorišćenje frekvencijskog opsega i povećanje
pouzdanosti prenosa informacija. Sistemi za upravljanje vaz-
dušnim saobraćajem (ATM - *Air Traffic Management*) treba
da koriste spektar visokih frekvencija (VHF COM - *Very
High Frequency Spectrum*) u opsegu od 118 - 137 MHz, a koji
je dodeljen aeronautičkim bezbednosnim komunikacijama
preko kontinentalnih prostora. Prenos podataka se sada
obavlja kroz kanale širine 25 kHz i 8.33 kHz, a jedan jedinst-
veni VHF kanal određen je za kontrolu vazdušnog saobraća-
ja ATC (*Air Traffic Control*). Nekoliko uskopojasnih kanala u
VHF COM opsegu dodeljeno je aeronautičkim linkovima za
prenos podataka koji se označavaju sa ACARS (*Aircraft
Communications Addressing and Reporting System*). Koriste
se i VHF digitalni linkovi (VDL - *VHF Digital Link*). Zahtevi
za povećanje broja uskopojasnih komunikacionih kanala u
VHF opsegu za potrebe prenosa govora, ACARS ili VDL,
mogu da stvore probleme u korišćenju VHF spektra u Evro-
pi, a posebno u nekim zemljama u regionu. Jedan od proble-
ma koji može da se pojavi jeste da sistemi neće biti sposobni
da obezbede dovoljne kapacitete i zahtevane performanse. U
ovom radu je analiziran sistem za aeronautičku komunikaci-
ju i opisane su osnovne performanse novog sistema koji treba
da omogući poboljšanje kvaliteta, pouzdanosti i kapaciteta
komunikacija u uslovima očekivanog povećanja vazdušnog
saobraćaja. Cilj ovog rada je da ukaže na probleme koji pos-
toje u ovoj oblasti, a koji će biti rešavani u okviru jednog
međunarodnog projekta koji se bavi razvojem novog teleko-
munikacionog sistema za potrebe vazdušnog saobraćaju.

Ključne reči — *Air Traffic Management*, *Air Traffic Con-
trol*, Simboličko procesiranje

I. UVOD

SISTEMI za upravljanje i kontrolu vazdušnog saobra-
ćaja (ATM i ATC) zasniivali su se uglavnom na analo-
gnim komunikacionim sistema, pre svega na amplitudnoj
modulaciji AM-2BO (engleski: DSBAM – *Double - Side-
Band Amplitude Modulation*) u VHF opsegu. Usled dobrih
propagacionih uslova u VHF opsegu, i novi aeronautički
komunikacioni sistem trebao da radi u ovom frekvencij-
skom opsegu. Za nove aeronautičke komunikacije planira
se širokopolasni VHF sistem (B-VHF - *Broadband VHF*).
B-VHF sistem dizajniran je kao preklapajući sistem zas-

novan na ortogonalnom frekventnom raspodelom (OFDM
- *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Ovaj sis-
tem može da se realizuje unutar postojećeg VHF sistema, s
tim da bude dizajniran tako da se smanji uzajamni uticaj
između sistema.



Sl. 1. B-VHF preklapajući koncept
VHF i B-VHF sistema

Osnovni koncept B-VHF preklapajućeg sistema prik-
azan je na slici 1. Može se videti da svaki kanal u VHF op-
segu zauzima tačno trenutno vreme i tačnu lokaciju. Rezultujući frekvencijski prelazi kod B-VHF sistema su
ispunjeni korišćenjem OFDM zasnovani na modulacionim
tehnikama pošto su zauzeti kanali isključeni iz OFDM
prenosa. Jednostavnim upotrebom OFDM podnosioca B-
VHF sistem može se fleksibilno prilagoditi promenama
dodeljenog spektra. Više detalja o preklapajućem koncep-
tu dato je u radu [1].

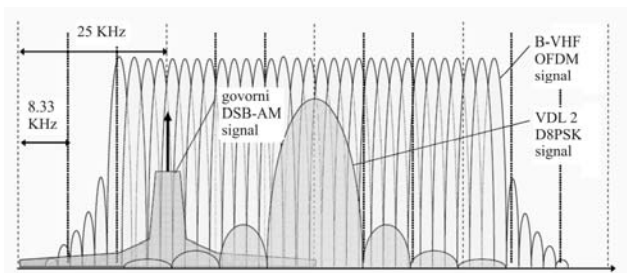
II. B-VHF I PREKLAPAJUĆI KONCEPT KAO INOVACIONI PRISTUP

Ovaj rad se posebno bavi analizom B-VHF aeronautič-
kih komunikacionih sistema zasnovanih na OFDM MC-
CDMA (*Multi-Carrier Code-Division Multiple-Access*)
tehnologiji. B-VHF sistem treba da bude instaliran i ko-
rišćen u paraleli sa drugim sistemima u VHF COM opse-
gu. I operativni i razvojni koncept dozvoljavaju sistemu da
bude razvijen i korišćen u VHF COM opsegu, kao i u dru-
gim spektralnim opsezima predviđenim za aeronautičke
komunikacije.

Očekuje se da je B-VHF sistem sposoban da obezbedi
prostor za dovoljan broj odgovarajućih korisnika za proje-
ktovane buduće gustine vazdušnog saobraćaja i razmene
komunikacionih zahteva. S druge strane, obezbeđivanje
većeg broja kanala i servisa treba da obezbedi bolje per-
formanse u odnosu na VHF sisteme koji su u upotrebi.

Mr V. M. Mladenović, Mašinsko-elektrotehnička škola Paraćin, ul.
Branka Krsmanovića bb, 35250 Paraćin, (e-mail: vlada_m@yubc.net)

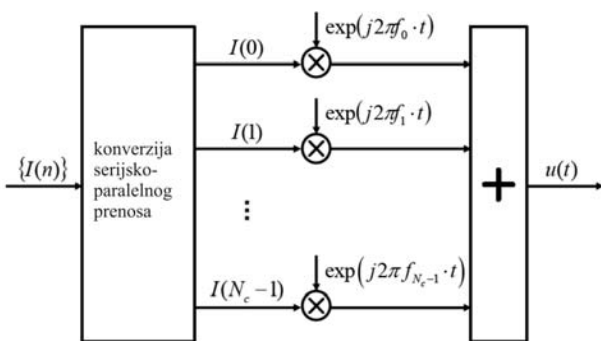
M. D. Lutovac, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja
Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija



Sl. 2. B-VHF opsezi sa različitim modulacijama

III. PRINCIPI OFDM PRIMENJENI U B-VHF SISTEMU

Osnovni princip OFDM sistema sa više nosioca je podela serijskog prenosa podataka velikog protoka u određeni broj manjih paralelnih protoka koji se prenose simultano u N_c podkanala. Svaki od ovih podprotoka modulisan je sa jednim od N_c podnosioca. Na slici 3. data je osnovna šema OFDM sistema.



Sl. 3. Izgled OFDM sistema

Na ulaz modulatora dovodi se niz kompleksnih vrednosti simbola $\{I(n)\}$, $n = 0, \dots, N_c - 1$, posle serijsko-paralelne konverzije, gde svaki simbol ima trajanje T_s . Takvi simboli su u svakoj grani korišćeni za modulaciju specifičnog podnosioca frekvencije f_n , $n = 0, \dots, N_c - 1$. Učestanosti podnosioci mogu se izračunati na osnovu izraza:

$$f_n = \frac{n}{T_0}, n = 0, \dots, N_c - 1 \quad (1)$$

gde je T_0 trajanje OFDM simbola. Modulisani signali N_c se sabiraju i tako se generiše OFDM signal $u(t)$, koji može da se predstavi izrazom:

$$u(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} I(n) \cdot e^{j2\pi f_n t}, 0 \leq t < T \quad (2)$$

Trajanje T_0 paralelno-modulisanih simbola jednako je N_c puta vreme trajanja originalnih podataka. Korist ovakvog sistema ogleda se u tome da u okruženju sa prisutnim fading kanalom, prouzrokovano različitim kašnjenjima, svaki podnosioc može biti posebno analiziran i primenom adaptivnih sistema može se jednostavnije uraditi ekvilizacija kašnjenja.

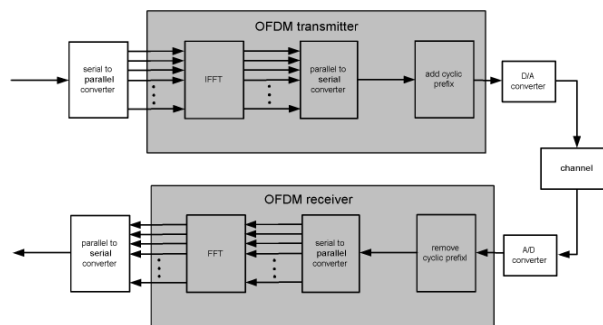
OFDM je omogućava da se skoro potpuno izbegne intersimbolska interferencija uvodeći zaštitni (*Guard*) interval na početku svakog OFDM simbola. Ovaj zaštitni interval T_g sadrži ciklični prefiks (CP - *Cyclic Prefix*)

OFDM simbola koji može da se koristi za potrebe ekvilizacije što je efikasnije od korišćenja impulsnog odziva kanala. Prema svojoj konstrukciji CP obezbeđuje da se umanjuje uticaj intersimbolske interferencije održavajući ortogonalnost između podnosioca.

Svako rešenje ima svoje dobre karakteristika ali i nedostatke, pa tako i, korišćenje CP ima mane.

Prvo, ukupno trajanje simbola uključujući CP može biti duže nego maksimalno kašnjenje koje je ograničeno protokom u svakom podnosiocu.

Drugo, energija potrebna za prenos se povećava sa dužinom CP, što može da dovede do smanjenju odnosa signal/šum, jer se CP ne koristi u prijemniku za prijem poslatah podataka.

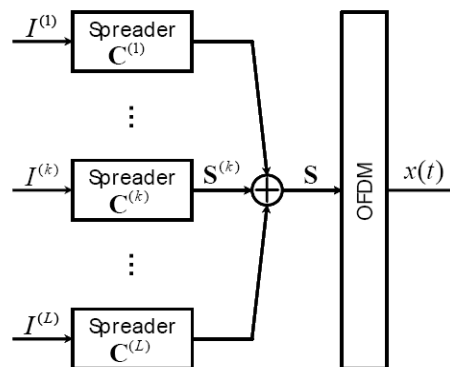


Sl. 4. Opšti izgled MC prenosnog sistema

Na početku OFDM koristi se tehnika MC-CDMA. Dok se u OFDM prenosu svaki simbol prenese pojedinačnim podnosiocem, simbol podataka je distribuiran u protoku preko nekoliko podnosioca. Pošto je sada jedan simbol podatak zauzet sa više od jednog podnosioca, protok kroz link bi trebalo da se smanji. To znači da se simboli podataka prenose preko iste grupe podnosioca.

Na slici 5. prikazan je standardni MC-CDMA predajnik. Simboli podataka $I^{(k)}$ svakog korisnika k , $k = 0, \dots, K$ sa grupom od K korisnika su prvo raspodeljeni kodnim vektorom $C^{(k)}$ dužine L . Nakon raspodele, original simbola podataka $I^{(k)}$ podeljen je u L grana. Grane svih korisnika se sabiraju i OFDM modulacija za $N_c = L$ je primenjena u rezultujućem vektoru S .

Interferencija između ovih simbol podataka izbegnuta je korišćenjem principa ortogonalnosti raspodeljenih sekvenci, tj. kodova. Ponovnim korišćenjem principa ortogonalnosti, raspodeljene sekvence L korisnika mogu biti preneseno simultano standardnom MC-CDMA sistema.



Sl. 5. Standardni MC-CDMA predajnik

U praksi su L i K_{\max} ograničeni složenošću prijemnika i MC-CDMA sistemskim parametrima kao na primer propusni opseg podnosioca i zaštitni interval.

IV. FUNKCIONALNI PRINCIP B-VHF

B-VHF integrisani sistem dizajniran je da obezbedi simultanu podršku za skoro sve poznate klase bezbedonosno povezanih komunikacionih servisa uključujući ATM i data link komunikacije. B-VHF je full-duplex sistem zasnovan na vremenskoj raspodeli kanala (TDD - *Time-Division Duplex*).

Kada je u pitanju modulacija, kao što je pomenuti B-VHF, sistem koristi OFDM tehniku.

Osnovna prednost B-VHF sistema je što ne koristi susedne grupe podnosioca. Pošto ne moraju da se koriste poznati susedni uskopojasni kanali, omogućeno je da se upravlja sa VHF opsegom, a time se otvara put da se sa B-VHF realizuje novi razvojni koncept. Koncept prekrivanja dozvoljava da, zavisno od trenutne pozicije B-VHF prijemnika, samo deo od svih uskopojasnih VHF kanala bude primljen kao realna interferenca dok će ostatak stići sa udaljenog izvora i biće ispod donjeg praga prijemnog šuma.

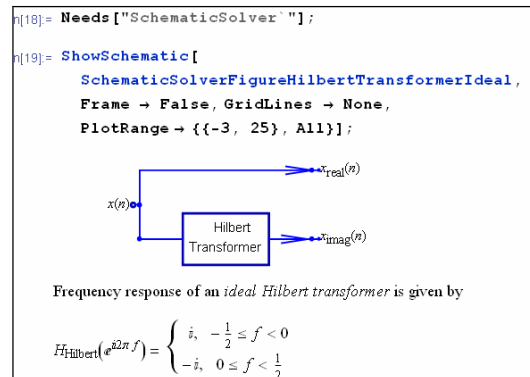
V. PRIMENA DIGITALNE OBRADNE SIGANALA U IMPEMETACIJI TELEKOMUNIKACIONOG SISTEMA

Multirate filtarske banke i Hilbertov transformator mogu da se koriste za implementaciju telekomunikacionih sistema [7]. Efikasnost primene različitih učestanosti odabiranja, u realizaciji pojedinih delova sistema, omogućava da broj računskih operacija u jedinici vremena bude minimalan. Za razliku od klasične digitalne obrade signala, gde su vrednosti odbiraka i koeficijenti realni, filtarske banke mogu da imaju kompleksne koeficijente, a i vrednosti signala su najčešće kompleksni [7]. Prednost korišćenja Hilbertovog transformatora u realizaciji modulatora i demodulatora za QAM sistem prikazana je [8]. Za realizaciju novog telekomunikacionog sistema, planira se korišćenje klasičnih alata, ali i alata zasnovanih na simboličkim računarskim sistemima [9]. Funkcionalno definisani blokovi omogućavaju da se izvedu relacije između ulaznih i izlaznih signala nekog sistema u zatvorenoj formu, a ne samo kao rezultat numeričke simulacije. To važi i za adaptivne sisteme [9] koji se neizbežno koriste u radio sistemima.

VI. SCHEMATIC SOLVER – SOFTVER ZA INTERAKTIVNI RAZVOJ ALGORITAMA

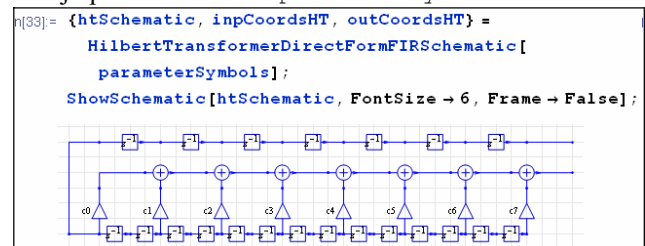
SchematicSolver, verzija 2.1, je aplikativni softver koji radi u softverskom okruženju Mathematica, verzija 6, a koji omogućava da se u istom dokumentu integrišu tekstualni opis formatiran kao profesionalni dokument, matematičke formule i kod, koji koristi te formule za izračunavanje, kao i jednostavnu vizelizaciju, kako sistema koji se koriste za procesiranje, tako i slike generisanih signala i rezultata obrade. Primer dokumenta koji integriše tekst, formule, slike i kod dati su na slici 6.

Kada se otvori dokument u kome se razvija novi algoritam, kao što je primer za novu generaciju telekomunikacionih uređaja, učitava se osnovno znanje i omogućava rad sa ugrađenim funkcijama, a dodatno znanje, koje se nalazi u ranije pripremljenim fajlovima, ili kao dodatna aplikacija, učitavaju se komandom `Needs["SchematicSolver`"]`.



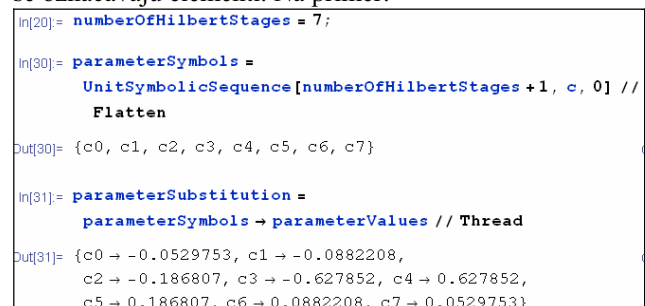
Sl. 6. Deo dokumenta koji sadrži kod, tekst, formule i sliku sistema u softveru SchematicSolver

Algoritme je najlakše opisati grafički, tako što se nacrtaju blok šema u kojoj se svaka instrukcija može predstaviti svojim grafičkim elementom. Sistem može biti nacrtan korišćenjem grafičkog interfejsa ili mogu da se učitaju šeme iz baze predefinisanih šema. Svaki sistem se predstavlja kao lista elemenata a složeni sistemi se generišu povezivanjem manjih sistema tako što se od više lista pod sistema napravi jedinstvena lista. Na primer, Hilbertov transformator može da se nacrtaju automatskim generisanjem predefinisane liste kao što je prikazano na slici 7. Broj elemenata šeme zavisi od broja parametara koji se zadaju posebnom listom `parameterSymbols`.



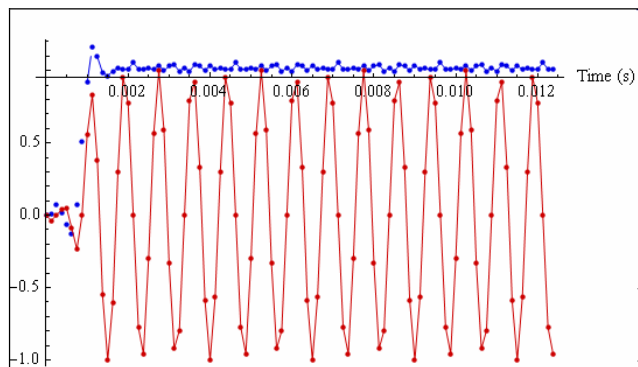
Sl. 7. Automatsko generisanje šeme sistema

Lista koja sadrži simboličke vrednosti može da se generiše automatski tako što se definiše broj elemenata sistema i osnovni simbol, na primer simbol `c`, dok se indeksi automatski generišu. To znači da je za generisanje jednog sistema poznate strukture dovoljno da se unesu samo dva parametra, (1) broj elemenata sistema i (2) simbol kojim se označavaju elementi. Na primer:



Za potrebe procesiranja, može se izvršiti zamena simbo-

la brojnim vrednostima koje su dobijene u ovom ili nekom drugom softverskom alatu. Lista zamene simbola numeričkim vrednostima koristi se samo onda kada se to izričito zahteva, a sama imena promenljivih nemaju brojnu vrednost.

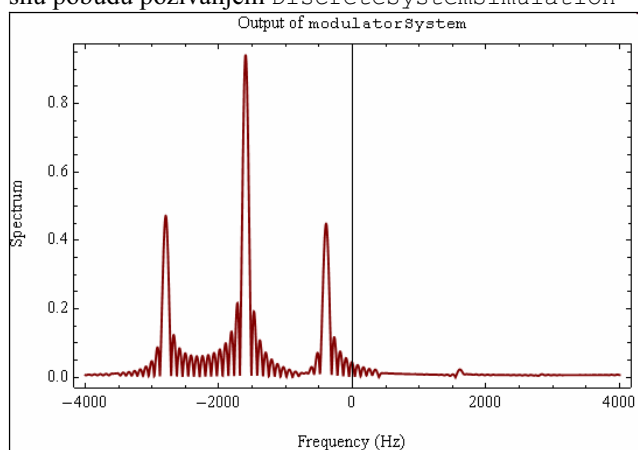


Sl.8. Rezultat obrade signala Hilbertovim transformatorom

Nakon crtanja šeme sistema, implementacioni kod se generiše automatski pozivom komande

```
DiscreteSystemImplementation
```

koja analizira listu koja opisuje sistem i istovremeno generiše uputstvo za upotrebu generisane funkcije. Pre generisanja implementacionog koda, može se izvršiti simulacija rada sistema tako što se izračuna odziv sistema na impulsnu pobudu pozivanjem `DiscreteSystemSimulation`



Sl. 9. Spektar analitičkog signala

Poznata pobuda može da se procesira automatski generisanim implementacionim kodom, tako da se dobija sekvenca na ulazu sistema. Primer obrade QAM signala u fazi uspostave veze dat je na slici 8.

Rezultat obrade signala Hilbertovim transformatorom je analitički signal, koji ima kompleksne vrednosti, i njegov spektar nije simetričan, kao što se vidi na slici 9 za primer analizirane šeme prikazane na slici 7.

VII. ZAKLJUČAK

U ovom radu su opisani problemi koje se očekuju u realizaciji novog telekomunikacionog sistema za potrebe vazdušnog saobraćaja. Dalji rad biće usmeren ka analizi mogućnosti primene savremenih tehnika digitalne obrade signala, a pre svega sistema sa više različitih učestanosti oda-

biranja i računarskih algebarskih sistema, u cilju implementacije efikasnih i pouzdanih algoritama obrade signala.

LITERATURA

- [1] M. Schnell, E. Haas, C. Rihacek, and M. Sajatovic, "BVHF - An Overlay System Concept for Future ATC Communications in the VHF Band," in *Proc. 23rd Digital Avionics Systems Conf. (DASC 2004)*, Salt Lake City, USA, October 2004.
- [2] <http://www.b-vhf.org>.
- [3] B-VHF Functional Principles and Architecture, Project co-funded by the European Community within the 6th Framework Programme (2002-2006)
- [4] A. Ginesi and F. Potevin., OFDM Digital Transmission Techniques for Broadband Satellites, 24th AIAA International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC) and 4t 11 - 14 June 2006, San Diego, California
- [5] Pierre R. Chevillat, Gottfried UngerBoeck, "Optimum FIR Transmitter and Receiver Filters for Data Transmission over Band-limited Channels", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-20, NO. 8, August 1982.
- [6] Paul H. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 42, No. 10, pp. 2908-2914, October 1994.
- [7] S. Mitra, *Digital Signal processing: A Computer Based Approach*, Chapter 13, Mc Graw Hill, 2006.
- [8] M. Lutovac and D. Tošić, *SchematicSolver* Version 2, documentation pdf format available online at www.schematicsolver.com or <http://www.wolfram.com/products/applications/schematicsolver>
- [9] M. D. Lutovac and D. V. Tošić, "Symbolic design of control systems using Mathematica", *International Journal of Control*, Vol. 79, No. 11, November 2006.

ABSTRACT

Air transport has been identified as a dominant factor for sustainable economic growth world wide, and communications are extremely critical for achieving an ATM system that is capable of matching all future air traffic demands. The VHF COM spectrum (118 – 137 MHz) has been globally allocated for aeronautical safety communications over continental areas. This spectrum is currently organized in voice channels of 25 kHz or 8.33 kHz and one unique voice VHF channel is assigned to each ATC sector or function. Several narrowband channels within the VHF COM range have been allocated to the aeronautical data links like ACARS or VDL. VHF communications provide good cost to service figures and will remain very attractive for the aviation community on a mid or long term perspective. However, increasing demand for narrowband communications channels (voice, ACARS and VDL) have led to the congestion of the VHF spectrum in Europe and in some other regions. Moreover, these systems may not be able to provide the capacity and performance required in the long term. Studies clearly indicate that radical improvements are necessary to be able to cope with the expected air traffic growth in future. The future communication system - including its VHF part - will have to provide more communications capacity and increased capabilities than the existing one. The development of a new communication system will be carried out using computer algebra systems.

BROADBAND VHF AERONAUTICAL COMMUNICATION SYSTEM

Vladimir M. Mladenović and Miroslav D. Lutovac