

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
POSLIJEDIPLOMSKI DOKTORSKI STUDIJ ELEKTROTEHNIKE I
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Goran Leutar

**Više-agentski sustavi i mogućnosti primjene u zračnim
lukama**

KVALIFIKACIJSKI DOKTORSKI ISPIT

Split, rujan 2015.

Sadržaj

1	Sažetak.....	4
2	Uvod.....	5
3	Pregled literature.....	6
4	Više-agentski sustavi.....	7
4.1	Inteligentni agenti.....	8
4.2	FIPA standard.....	9
4.3	Više-agentske platforme.....	10
4.3.1	JACK platforma.....	10
4.3.2	GAMA platforma.....	10
4.3.3	MadKit platforma.....	11
4.3.4	JADE platforma.....	11
5	Aktivnosti i resursi zračnih luka.....	13
5.1	Obrada putnika.....	15
5.1.1	Obrada domaćih i međunarodnih putnika.....	15
5.1.2	Obrada tranzitnih i transfernih putnika.....	15
5.2	Obrada prtljage.....	16
5.3	Kontrola ukrcaja.....	17
5.4	Zbrinjavanje zrakoplova na pisti.....	18
5.5	Zemaljska služba.....	19
6	Više-agentski sustavi u zračnim lukama.....	21
6.1	Simulacija dogovaranja rasporeda letenja.....	22
6.2	Simulacija optimizacije kontrole leta.....	22
6.3	Simulacija i optimizacija sustava za oporavak od poremećaja.....	23
6.4	Simulacije optimizacije procesa u zračnoj luci.....	23
6.4.1	Više-agentski sustav za razmjenu informacija.....	23
6.4.2	Simulacija kapaciteta zračne luke.....	24
6.4.3	Smanjenje gustoće broja letova po satima.....	24
6.4.4	Simulacija kretanja putnika na terminalu.....	25
6.4.5	Simulacija pridjeljivanje izlaza pomoću agenta.....	26
6.4.6	Simulacija procesa zemaljske službe.....	28
7	Zaključak.....	33

Reference	34
Kratice	37

1 Sažetak

Zbog globalizacije te sve većeg broja putnika koji lete zrakoplovima, zračne luke postaju sve prometnije. Postepeno dolazi do preopterećenosti zračnih luka i njenih zaposlenika jer zahtjevi pri obavljanju svih procedura nad zrakoplovima, putnicima te njihovoj prtljazi iz dana u dan rastu. Zbog sve većeg prometa će neizbježno doći do trenutka kada zaposlenici zračne luke neće moći dovoljno brzo obavljati sve potrebne radnje kako bi osigurali dovoljno brzu propusnost na zračnim lukama što će dovesti do kašnjenja letova, gubitka novca, nezadovoljnih putnika itd.

Jedan od načina rješavanja tog problema je stvaranje više agentskog kooperativnog sustava kojega čine inteligentni agenti koji će preuzeti veliki dio procesa koji se obavljaju na zračnim lukama.

Cilj ovoga rada je razjasniti osnovne pojmove, definicije i procese vezane uz procedure na zračnim lukama i više agentske sustave te pružiti pregled istraživanja koja su do sada provedena u tom području.

2 Uvod

Svake godine sve više ljudi koristi zrakoplov kao prijevozno sredstvo. Time se svake godine povećava broj letova i putnika u zračnim lukama. Svim zrakoplovima se treba osigurati parkirno mjesto na stajanci te se moraju izvršiti dogovorene usluge nad zrakoplovom kao što su iskrcavanje putnika i prtljage, čišćenje, dovoz hrane, punjenje goriva, ukrcavanje novih putnika i prtljage itd. Zračne luke, osim zbrinjavanja zrakoplova, pružaju i usluge zbrinjavanja putnika u ime aviokompanija od kojih su ti putnici kupili karte za let. To zbrinjavanje uključuje usluge čekiranja putnika, pregledavanje putnika i njegove prtljage, ukrcavanje putnika u zrakoplov, slanje posebnih poruka s detaljima o putnicima i njihovoj prtljazi [5] i dr. Svake godine se povećavaju zahtjevi aviokompanija u čije ime zračne luke zbrinjavaju putnike. Aviokompanije pokušavaju svojim putnicima pružiti sve bolju, bržu i jeftiniju uslugu. S vremenom zaposlenici zračnih luka dolaze do ljudskih limita onoga što mogu obaviti te ni povećanje broja radnika ne znači nužno da se određena količina zadataka može obaviti u traženom vremenu. Jedno od mogućih rješenja bi bilo neke od tih zadataka prepustiti inteligentnim agentima.

Inteligentni softverski agenti su kolekcija neovisnih softverskih alata s razinom umjetne inteligencije koji su spojeni s drugim aplikacijama i bazama podataka koje rade u računalnom okruženju. Softverski agenti imaju sposobnost primanja podražaja iz okoline i djelovanja na istu okolinu. Uz to inteligentni agenti imaju sposobnost učenja te sposobnost autonomnog djelovanja kako bi bolje ostvarili zadani cilj [1] [2] [50].

Budući da su procesi u zračnim lukama komplicirani te redosljed tih procesa nije konstantan već se mijenja ovisno o situaciji, potrebna je suradnja između inteligentnih agenata. Dakle, treba napraviti više agentski sustav u kojemu će svaki agent imati svoj zadatak. No nije dovoljno da svaki agent obavlja samo svoj zadatak bez da se konzultira nekad sa drugim agentima. Zbog toga treba kooperativni sustav u kojemu postoji hijerarhija agenata koji međusobno surađuju tako da primaju jedan od drugoga informacije i na osnovu tih informacija djeluju.

3 Pregled literature

Budući da je područje istraživanja složeno, osmišljena je strategija odabira literature koja se dijelom temelji na preporukama stručnjaka i institucija iz područja zračnih luka i zračnog prometa, a drugim dijelom se temelji na člancima i knjigama stručnjaka i institucija koje se bave istraživanjem, razvojem i implementacijom više-agentskih sustava. Veliki dio informacija o procesima unutar zračne luke, o procesima zračnog prometa i o procesima operatera, tj. zračnih prijevoznika, su rezultat četverogodišnjeg rada na projektu izrade softvera za zračnu luku Dubrovnik koji služi za upravljanje svih procesa na zračnoj luci. Na projektu su sudjelovali djelatnici tvrtke Niko d.o.o., koji se već dvadeset godina bave razvojem softvera za zračne luke, djelatnici zračne luke Dubrovnik koji su prenijeli svoja znanja o procesima na zračnoj luci, te djelatnici operatera Croatia Airlines.

Literatura koja je korištena za izradu ovoga rada, nastala je između 1990 i 2015 godine jer se radi o relativno novom području istraživanja.

4 Više-agentski sustavi

Više-agentski sustav je sustav koji se sastoji od skupa inteligentnih agenata koji surađuju pomoću definiranih komunikacijskih protokola te su sposobni utjecati na svoju okolinu. Svaki agent ima definirano područje djelovanja nad kojim ima određenu količinu kontrole tj. količinu utjecaja. Ta područja agenata se znaju preklapati te je tada nužna suradnja, odnosno kooperacija agenata [20] [48] [49] [57]. Upravo je komplicirana implementacija kooperacije između agenata razlog zašto se neko vrijeme više-agentski sustavi nisu koristili na nekim većim i kompliciranijim sustavima [52], ali to se s vremenom promijenilo budući da su se odnosi i događaji između agenata, koji su početna točka suradnje, detaljnije istražili [53] [55].

Više-agentski sustavi se koriste kada je potrebna distribuiranost aplikacije, inteligencija i ekspertno znanje te su takvi sustavi u današnjici našli široku primjenu. Koriste se primjerice u raznim financijskim i ekonomskim sustavima, u distribuiranim informacijskim sustavima, za pregled i upravljanje mrežnim resursima internetskih poslužitelja, za upravljanje zračnim i cestovnim prometom, za upravljanjem proizvodnjom, za upravljanjem distribucijskom mrežom električne energije, za nadgledanje pacijenata i sl.[20] [48] [53] [56] [58]. Osim toga su više-agentski sustavi našli jednu široku primjenu na području izrade simulacija raznih situacija poput simulacija evakuacije prilikom prirodne katastrofe [45], simulacije razvoja urbanog područja[43], simulacije izvršavanja procesa na zračnoj luci [30] [36] i dr. Ukoliko se simulacije programiraju s dobrim temeljnim pretpostavkama i početnim parametrima te dobro programiranim agentima, one mogu pružiti dobar uvid u područje koje se simulira te se rezultati simulacija često koriste za optimizaciju upravo tih procesa koji se simuliraju. Stoga se više-agentski sustavi, osim za obavljanje pravih procesa, koriste i za optimizaciju procesa.

Za implementaciju više-agentskog sustava je jako bitna logika. Logika zahtijeva jezik pomoću kojeg će se logika implementirati te se pomoću tog jezika mogu odrediti osobine jednog ili više agenata, ili same okoline, te se na taj način mogu implementirati agenti ili više-agentski sustav. Zatim se na osnovu osobina agenta i sustava mogu generirati ili deducirati nove osobine agenata i samog sustava. Jezik logike također pruža formalnu semantiku prema kojoj se rečenicama u jeziku dodijeli precizno značenje te se na osnovu semantike jezika modelira sustav [49].

Na području istraživanja više-agentskih sustava postoje dva glavna smjera preko kojih se pokušavaju okarakterizirati i sistematizirati više-agentski sustavi iako su granice između ta dva smjera nekad nejasne [51].

- **Kognitivni modeli racionalnih akcija** – u ovom smjeru istraživanja se fokusira na agentova uvjerenja, njegove želje i namjere (*BDI - engl. Belief, Desire, Intention*) te se pokušava stvoriti model koji će predvidjeti kako će agent iz svojih uvjerenja krenuti na djelovanje
- **Modeli strateške strukture sustava** – u ovom smjeru istraživanja se ne fokusira na agente već na stratešku strukturu okoline agenta (više-agentskog sustava) te se istražuje što jedan agent ili više agenata koji surađuju mogu postići u svojoj okolini. Svi modeli koji nastaju u ovom smjeru istraživanja se temelje na teoriji igara [51].

4.1 Inteligentni agenti

Agentom se smatra sve za što se smatra da doživljava svoju okolinu preko osjetila te djeluje na osnovu tih osjetila na svoju okolinu. Ljudi kao agenti imaju svojih pet osjetila kojima doživljavaju okolinu i primaju podražaje iz okoline. Ljudi kao djelovatelje (*engl. effector*) na tu okolinu imaju govor, ruke, noge i druge dijelove tijela [1] [2]. Robotski agenti osjetilo vida primjerice zamjenjuju infracrvenim kamerama i djeluju na okolinu pomoću elektromotora.

Softverski agent ima kodirane nizove bitova koji mu služe kao senzori i djelovatelji.

Postoji mnogo definicija za inteligentne agente, ali nijedna ih u potpunosti ne definira. Definicija koja najbolje obuhvaća inteligentne agente jest da su oni hardver ili (što je češće slučaj) softver koji posjeduje slijedeće osobine [3]:

- Autonomnost – Agenti djeluju bez direktnog čovjekovog utjecaja te posjeduju neku vrstu kontrole nad svojim radnjama
- Socijalne sposobnosti [50] – Agenti imaju sposobnost komunikacije sa drugim agentima, ili ljudima, koristeći *agentski komunikacijski jezik* (*engl. ACL - Agent Communication Language*)
- Reagirane na podražaje – Inteligentni agenti mogu primati podražaje iz svoje okoline (bilo to iz stvarnog fizičkog svijeta, preko grafičkog sučelja, od drugih agenata, sa Interneta, ili možda kombinacije od svih) te reagiraju na njih nekim radnjama
- Samostalno djelovanje – Agenti ne moraju samo reagirati na podražaje već mogu sami preuzeti inicijativu te vršiti radnje koje su potrebne kako bi ostvarili svoj cilj [51]

Racionalni agent je agent koji ispravno djeluje na podražaje iz okoline, a idealni racionalni agent je onaj koji na svaki podražaju odgovara idealnom protureakcijom [2] [50].

Današnji softverski agenti se koriste kao web pretraživači, alati za dohvaćanje vijesti, alati za pretraživanje sadržaja, ili kao pomagači pri internetskoj kupovini [2]. Definiranjem određenih parametara, agenti mogu 'pretražiti' Internet i dohvatiti željene informacije direktno na računalo.

Agent se može podesiti da prati korisnikovo ponašanje pri surfanju Internetom te može odrediti koje stranice su najposjećenije od strane korisnika te mu ih može unaprijed pripremiti [6]. Agentovo ponašanje je autonomno i temelji se na ugrađenom znanju i parametrima, a polazi se od pretpostavke da imaju određenu vrstu umjetne inteligencije koja im daje sposobnost učenja na osnovu iskustva koje stječu radom. Bitna osobina kod agenata jest da novostečeno iskustvo i znanje mogu koristiti kako bi bolje, brže i učinkovitije obavili svoj programirani cilj.

Inteligentni agenti i više-agentski sustavi kakve danas znamo ne bi postojali da nije bilo djelovanja jedne neprofitne organizacije imenom FIPA (*engl. Foundation for Intelligent Physical Agents*) koja je donijela cijeli niz standarda za razvoj softverskih agenata i time postavila temelje za njihov razvoj (<https://en.wikipedia.org/wiki/FIPA>).

4.2 FIPA standard

FIPA je neprofitna internacionalna organizacija koja je osnovana 1996. godine kako bi donijela skup standarda vezano uz razvoj softverskih agenata. Iako su tada softverski agenti bili već poznati u akademskim krugovima, nisu doživjeli veću primjenu u poslovnom svijetu. FIPA je unatoč do tada malenoj poslovnoj upotrebi smatrala da će se to jednoga dana promijeniti te je donijela skup standarda. Cilj FIPA-e je bio da ti standardi postanu temelj za buduću izradu i primjenu softverskih agenata. Na svom vrhuncu je FIPA imala preko 60 članova iz više od 20 različitih država koji su zajedničkim radom pridonosili standardizaciji agenata[7].

FIPA je 2005. prestala postojati kao takva te je formalno ukomponirana u *IEEE (engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers)* kao podskup i dobila je naziv FIPA-IEEE (<https://en.wikipedia.org/wiki/FIPA>).

FIPA je među ostalima donijela slijedeće temeljne principe:

- Agentske tehnologije daju novi primjer kako riješiti stare i nove probleme
- Agentske tehnologije su dosegle visoku razinu razvijenosti
- Agentske tehnologije zahtijevaju standardizaciju kako bi postale korisne
- Standardizacija generičkih tehnologija se pokazala mogućom te je donijela dobre rezultate
- Standardizacija strukture samih agenata nije toliko bitna koliko i standardizacija infrastrukture i jezika potrebnih za međusobno funkcioniranje agenata

Najveća dostignuća FIPA-e su:

- Donijeli su listu standarda koji podržavaju među-agentsku komunikaciju
- Donijeli su dobro specificiran i često korišten jezik za agentsku komunikaciju po nazivu FIPA-ACL (*ACL engl. agent communication language*) i uz to selekciju sadržajnih jezika (poput FIPA-SL) i skup protokola koji su za široku uporabu od slanja poruka do kompliciranih transakcija
- Stvorili su ekstenziju specifičnu za agente kao dio UML-a (*engl. Unified Modeling Language*), poznatu kao AUML ili Agent UML
- Odradili su nekoliko projekata izvan FIPA-e poput projekta *Agentcities* koji je kao rezultat imao stvaranje globalne mreže FIPA-inih platformi i servisa temeljenih na agentskim aplikacijama
- Izdali su veći broj besplatnih i komercijalnih agentskih alata od kojih se JADE (*engl. Java Agent Development Framework*) smatra vodećim i najboljim FIPA-inim proizvodom

4.3 Više-agentske platforme

Danas postoji mnogo platforma pomoću kojih se mogu razvijati više-agentski sustavi. Neke od njih su JADE [4], GAMA[14], JaCaMo [12] (<http://jacamo.sourceforge.net/>) , Janus [15] (<http://www.janus-project.org/Home>) , HarTech [10] (http://www.hartech.co.il/tech_simulations.html), MadKit (<http://www.madkit.org/>) , Agent Factory (http://www.agentfactory.com/index.php/Main_Page), Zeus, AgentBuilder i JACK[17] (<http://aosgrp.com/products/jack/>).

Nemoguće je odrediti koja je najbolja platforma za izradu više-agentskih sustava budući da platforme koriste različite programske jezike te su neke od njih specijalizirane za rješavanje specifičnih zadataka poput stvaranja matematičkih simulacija, tržišnih simulacija, simulacija za socijalne eksperimente itd. Razne platforme podliježu raznim vrstama licencije od kojih su neke dostupne besplatno, a neke se trebaju plaćati. Osim toga, nisu sve platforme usvojile FIPA-ine standarde za izradu više-agentskih sustava već koriste svoja pravila [16] (http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_agent-based_modeling_software). Stoga se izbor platforme za izradu više-agentskog sustava treba donijeti ovisno o zahtjevima projekta. Detaljnije ćemo opisati najčešće korištene agentske platforme.

4.3.1 JACK platforma

JACK platformu je razvila AOS grupa (*engl. Autonomous Oriented Software*) za razvoj komercijalnih više-agentskih sustava. Platforma koristi objektno orijentirani programski jezik JAVA te se može pokrenuti na raznim uređajima počevši od PDA (*engl. Personal Digital Assistant*) uređaja do servera. Agenti se određuju na temelju BDI modela te se svakom agentu pridijele osnovna znanja, odrede mu se ciljevi koje želi postići i način kako postići te ciljeve [17].

4.3.2 GAMA platforma

Simulacijska platforma GAMA (*engl. Gis & Agent-based Modelling Architecture*) služi za modeliranje, generiranje i simuliranje prostornih više-agentskih sustava[14] kao što su evakuacije gradova tijekom prirodnih katastrofa poput potresa, tsunamija, erupcije vulkana itd. Kako bi GAMA platforma bila u stanju generirati takve prostorne više-agentske sustave i izvršavati simulacije, morala je biti u stanju ispuniti slijedeće uvjete:

- Sposobnost obrade kompleksnih geografskih podataka (*engl. Geographical Information System data – GIS*) kako bi se stvorila realna okolina za agente
- Sposobnost podnošenja velikog broja agenata (nekoliko stotina tisuća) od jednom
- Sposobnost automatskog provođenja eksperimenata s promjenjivim uvjetima simulacije
- Sposobnost izrade statistike na osnovu provedenih simulacija
- Mogućnost izrade simulacije je pojednostavljena tako da je mogu generirati i oni koji nisu računalni eksperti

Ova platforma se trenutno koristi za različite vrste simulacija poput simulacije širenja virusnih zaraza na nekom području [46] simulacije razvoja urbanih područja poput MIRO2 projekta (*fran. Modélisation Intra-urbaine des Rythmes quOtidien*s, *engl. Intra-urban modeling of daily rhythms*) [43], simulacije mreže za nadgledanje polja za uzgoj voća i povrća [44] [54], simulacije evakuacije nakon što se dogodila katastrofa [45] itd.

4.3.3 MadKit platforma

MadKit je više-agentska platforma koja kao razvojni jezik koristi JAVA te je građena na osnovu organizacijskog modela [18] (<http://www.madkit.org/>). MadKit je dobar za razvoj distribuiranih aplikacija i simulacija pomoću više-agentskih paradigmi. Ne fokusira se na pojedine agente već svaki agent dobiva ulogu u grupi i te grupe tvore umjetna društva u organizaciji [19].

Glavne karakteristike više-agentske platforme MadKit su:

- Stvaranje agenata i upravljanje njegovim životnim ciklusom.
- Strukturiranje aplikacije pomoću infrastrukture za komunikaciju između agenata
- Visoka heterogenost u agentskoj strukturi
- Stvaranje više-agentskih simulacija i alata za upravljanje tim simulacijama
- Alati za upravljanje više-agentskim distribuiranim aplikacijama.

4.3.4 JADE platforma

JADE platforma je počela kao skup softverskih alata koje je 1998. godine razvio talijanski Telekom pod nazivom CSELT. Njihova motivacija je bila testiranje FIPA-inih standarda. Na početku nitko nije očekivao da će se ti alati pretvoriti u platformu, no s vremenom su se osigurali različiti izvori financiranja te se odlučilo napraviti platformu koja će pružiti usluge softver developerima. Bilo je zamišljeno da se platformom mogu služiti i stari i novi programeri mogu bez ikakvog ili s vrlo malo poznavanja FIPA-inih standarda.

JADE je postao *open source* projekt 2000. godine. Distribuirao ga je talijanski Telekom pod licencom LGPL (*engl. Library Gnu Public Licence*) [4][8].

4.3.4.1 Agentske paradigme JADE platforme

JADE je softverska platforma koja sadrži osnovne funkcionalnosti za softverski među-sloj (*engl. Middleware layer*) koje ne ovisi o pojedinim aplikacijama. Te funkcionalnosti olakšavaju realizaciju distribuiranih aplikacija koje koriste softverske agente. Velika prednost JADE-a jest što se temelji na dobro poznatom objektno-orijentiranom programskom jeziku Java te pruža jednostavan API (*engl. Application Programming Interface*).

Slijedeće odluke o dizajnu su donošene pod utjecajem agentske apstrakcije:

- **Agent je autonoman i pro-aktivan** - Agent mora imati svoj niz izvršavanja akcija i koristi taj niz kako bi upravljao svojim životnim ciklusom i kako bi samostalno izvršio svoj zadani cilj.
- **Agent može reći 'ne' i nisu međusobno jako povezani** – Osnovni način komunikacije među agentima u JADE platformi je asinkrono slanje i primanje poruka. Ako jedan agent želi komunikaciju, mora poslati poruku na određenu lokaciju, ili lokacije.

Agenti primaju i čitaju poruke jednu po jednu i na taj način mogu kontrolirati na koje će poruke djelovati, a na koje ne.

- **Sustav podržava Peer-to-Peer komunikaciju** – Svaki agent je definiran globalnim jedinstvenim nazivom po imenu *AgentIdentifier* ili AID kao što je FIPA tako to odredila. Može u bilo koje doba napustiti platformu na kojoj se nalazi. Agent u bilo koje doba može pozvati drugog agenta, a može se i sam naći u situaciji da njega drugi agenti pozivaju.

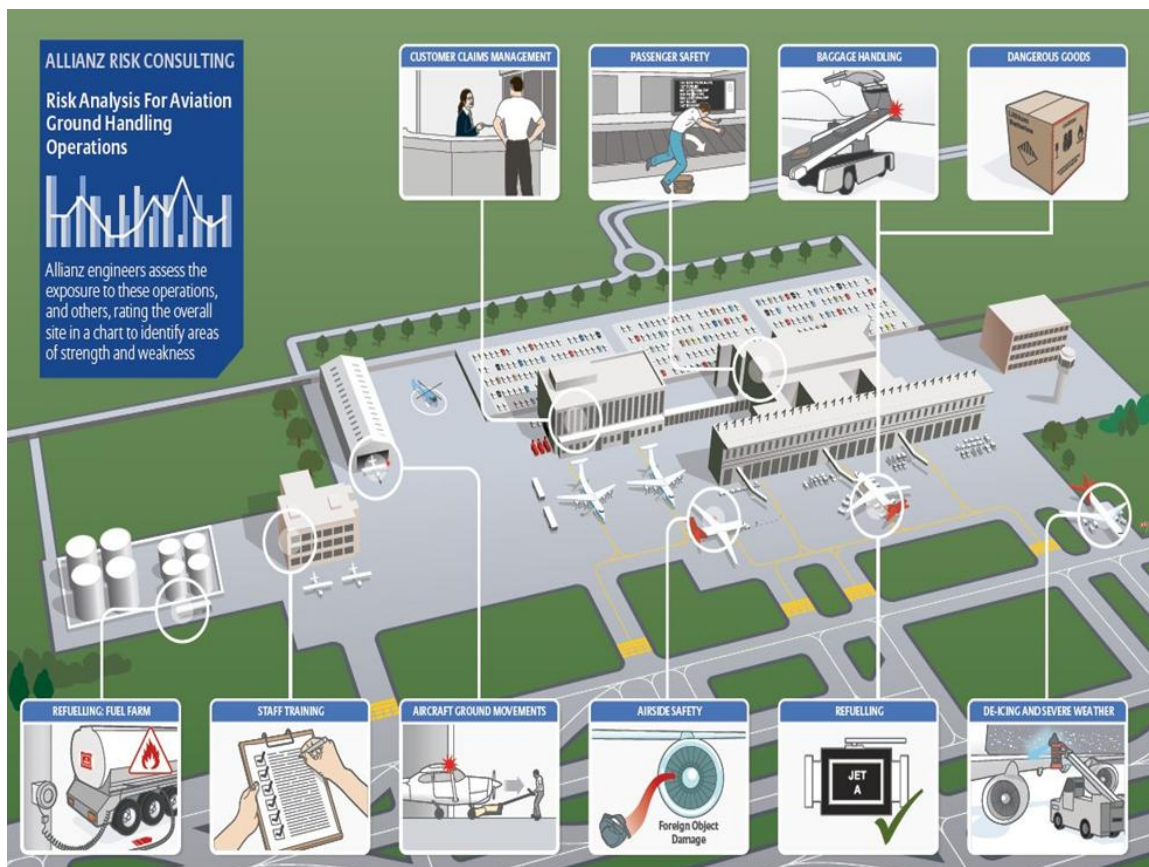
5 Aktivnosti i resursi zračnih luka

Godine 1945. je na Kubi osnovan "Međunarodni Savez za Zračni Promet" (*engl. International Air Transportation Association - IATA*) (<http://www.iata.org/>) u svrhu standardiziranja nužnih procesa u zračnim lukama kako bi se osigurala najbolja moguća usluga pri obradi putnika, njihove prtljage, teretnog prometa i zrakoplova u zračnim lukama. IATA je među ostalim propisala "Priručnik za zračne luke" (*engl. Airport Handling Manual - AHM*) [21] i "Priručnik o odlukama konferencije za putničke usluge" (*engl. Passenger Services Conference Resolutions Manual - PSCRM*) [22]. AHM navodi najvažnije procese kao što su zbrinjavanje tranzitnih putnika, zbrinjavanje prtljage, zbrinjavanje pošiljaka, kontrola ukrcaja, zbrinjavanje zrakoplova na pisti i zemaljska služba. PSCRM se za razliku od AHM-a bavi detaljnije putnicima, putničkom prtljagom, putnim dokumentima, elektroničkim tiketima, procedurama rezervacijskih sustava, načinima plaćanja, dodjeljivanju sjedala u zrakoplovu, propisuje način označavanja operatera i broja leta tog operatera, propisuje standardni format za sve odlazne i dolazne poruke sa zračne luke i mnogo više.

Kako bi zračne luke mogle pružiti uslugu aviokompanijama i putnicima, potrebni su im resursi. Fizički resursi u zračnoj luci su:

- Pista – za slijetanje i polijetanje zrakoplova. Duljina piste određuje veličinu zrakoplova koji može sletiti u toj zračnoj luci (za veći zrakoplov treba dulja pista).
- Parkirna mjesta – zrakoplov tu parkira tijekom iskrcavanja i ukrcavanja putnika i prtljage i tijekom svih ostalih usluga zemaljske službe. Broj parkirnih mjesta određuje ujedno i kapacitet zrakoplova koji zračna luka može primiti u nekom vremenskom periodu.
- *Razna vozila* – primjerice vatrogasno vozilo, autobus (*engl. shuttle*) za prijevoz putnika, cisterna za prijevoz goriva, vozilo za dostavu hrane i vode (*engl. catering*), kolica za prijevoz prtljage, vozilo za čišćenje, traktor za vuču zrakoplova, vozilo sa stepenicama preko kojeg se iskrcavaju i ukrcavaju putnici u zrakoplov itd.
- Terminal – to je zgrada u kojoj se vrši obrada putnika i njihove prtljage.
 - Check-in šalteri – služe za *čekiranje* putnika i preuzimanje njihove prtljage. Broj check-in šaltera određuje broj putnika koji se može *čekirati* u nekom vremenskom periodu. Ukoliko postoji premalo *check-in* šaltera, može doći do kašnjenja.
 - *Bodycheck* šalteri i rendgeni – ovo služi za sigurnosnu kontrolu putnika i njihove prtljage. Veliki broj rendgena na bodycheck šalterima osigurava brz prolaz putnika. U protivnom je ovo potencijalno mjesto zastoja i mogući uzrok kašnjenju leta.
 - *Gateovi* – ovo su fizički izlazi preko kojih putnici napuštaju terminal te ulaze u autobus koji ih vodi do zrakoplova.

- Djelatnici – ovo su sva radna mjesta poput:
 - čekeri,
 - *spaceman* djelatnici,
 - mehaničari,
 - djelatnici sortirnice,
 - djelatnici na pisti,
 - vatrogasci,
 - djelatnici u cargo službi,
 - dispečer,
 - balanser zrakoplova,
 - koordinator prometa,
 - ramp agenti,
 - djelatnici informacija,
 - komercijala itd.



Slika 1 Shematski prikaz zračne luke (<http://www.agcs.allianz.com/risk-consulting/aviation/>)

5.1 Obrada putnika

Svi putnici svoje zrakoplovne karte kupuje preko agencija ili direktno od prijevoznika (poput Croatia Airlines). Kako bi prijevoznici uštedili te kako ne bi morali u svakoj zračnoj luci imati svoje predstavnike (i unajmljeni prostor), plaćaju zračnim lukama da se pobrinu o njihovim putnicima i njihovoj prtljazi. Tako se zračnoj luci prepušta check-in putnika, sigurnosna kontrola putnika (engl. bodycheck) i pregled prtljage pomoću rendgena, i provođenje putnika do zrakoplova. Nakon što je putnik prošao sigurnosni pregled ulazi u tzv. „čistu zonu“ (engl. *clean zone*). Sami proces check-ina je zapravo evidentiranje da je putnik zaista došao u zračnu luku i da želi ući u zrakoplov te mu se evidentira da je jedno (ili više) sjedalo zaista zauzeto na njegovo ime. Nakon što zrakoplov odleti prijevozniku zrakoplova se šalju podaci o svim putnicima na tom letu kako bi prijevoznik znao stanje prodanih karata. Ova razmjena podataka je jako bitna i mora biti točna jer bi se, primjerice, u protivnom moglo dogoditi da putnik koji je bio na letu naknadno traži povrat novca za ne iskorištenu kartu (a zapravo ju je iskoristio).

Iz pogleda zračne luke, postoje tri osnovne vrste putnika, a to su:

- lokalni,
- tranzitni i
- transferni.

Lokalni putnici su putnici koji svoje putovanje počinju u toj zračnoj luci. Tranzitni i transferni putnici su oni koji su u zračnu luku došli nekim letom. Razlika između tranzitnih i transfernih putnika je što tranzitni putnici svoje putovanje nastavljaju s letom s kojim su došli, a transferni ne. Oni su stigli jednim letom u zračnu luku te presjedaju na drugi let.

5.1.1 Obrada domaćih i međunarodnih putnika

Lokalni i transferni putnici mogu biti domaći i međunarodni putnici. Međunarodni putnici su oni koji napuštaju Republiku Hrvatsku te za razliku od domaćih putnika, koji ne napuštaju zemlju, stupaju u međunarodnu i bescarinsku zonu te mogu kupovati u dućanima s cijenama bez PDV-a (engl. *duty free shop*). Nad ovom vrstom putnika se obavljaju sve od prijevoznika zahtijevane usluge poput *čekiranja* putnika, sigurnosni pregled putnika i prtljage te ukrcavanje putnika u zrakoplov.

Usluge koje zračna luka pruža putnicima, u ime prijevoznika, zračna luka naplaćuje prijevozniku.

5.1.2 Obrada tranzitnih i transfernih putnika

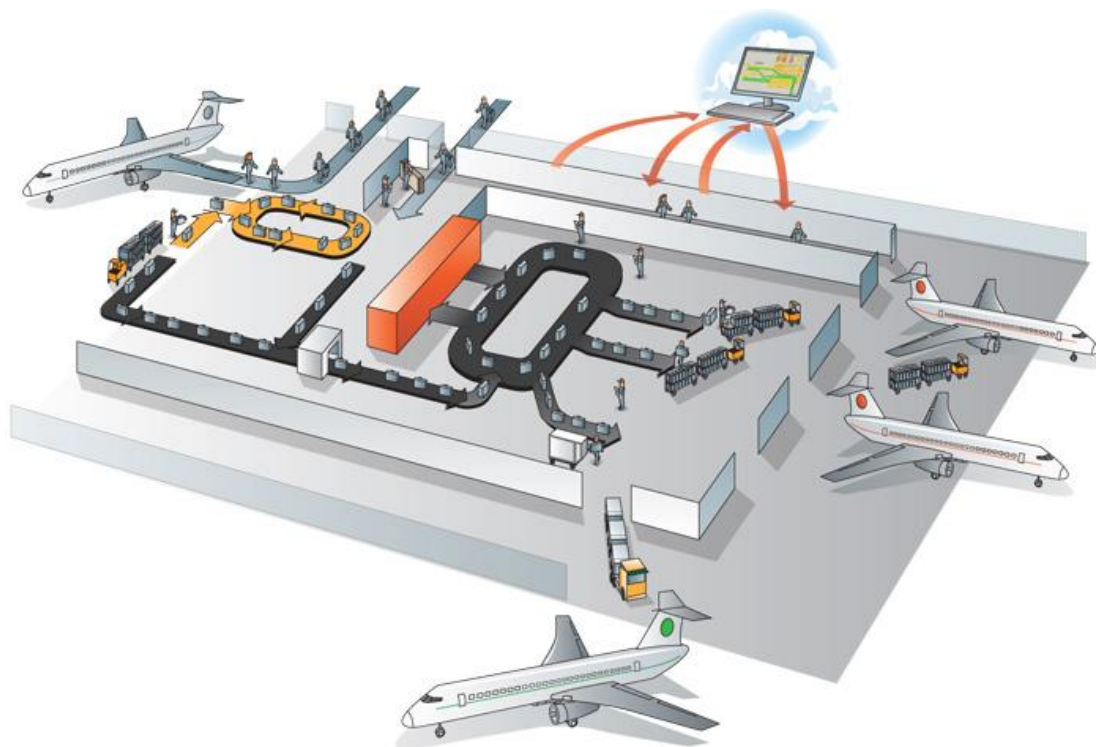
Tranzitni putnici su putnici koji u zračnu luku stignu u zrakoplovu te svoj put nastavljaju u istom zrakoplovu s kojim su došli u zračnu luku. Ovisno o zakonima države u kojoj se zračna luka nalazi, ti putnici moraju ili ne moraju napustiti zrakoplov tijekom punjenja goriva. Ukoliko moraju napustiti zrakoplov, djelatnici zračne luke ih izvedu iz zrakoplova te ih pomoću autobusa odvedu u zračnu luku gdje čekaju završetak punjenja goriva. Nakon što je završilo punjenje gorivom, djelatnici zračne luke ponovo odvedu putnike do zrakoplova. Pri

prolasku kroz zgradu zračne luke, tranzitni putnici ne moraju ponovo prolaziti sigurnosni pregled budući da su taj obavili kada su se inicijalno ukrcali na let kojim su stigli i budući da ni u jednom trenutku nisu napustili „clean zonu“.

Transforni putnici su oni koji su kao i tranzitni putnici u zračnu luku stigli nekim letom, ali u toj zračnoj luci presjedaju na drugi let. Oni za razliku od tranzitnih putnika imaju mogućnost izlaska iz „clean zone“ te će, ukoliko izađu, morati ponovo proći sigurnosni pregled. Transforni putnici mogu biti domaći (došli iz domaće zračne luke te nastavljaju prema domaćoj zračnoj luci) i međunarodni (nastavljaju let prema zračnoj luci izvan države). Ukoliko su međunarodni putnici, također imaju priliku ući u međunarodnu zonu u zračnoj luci te kupovati u „duty free“ dućanu.

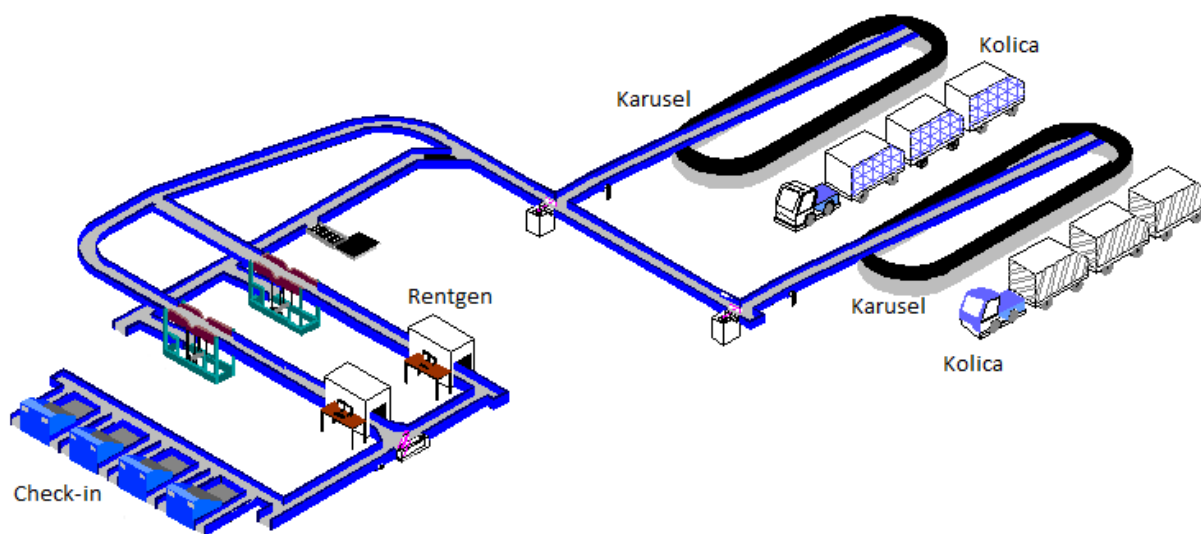
5.2 Obrada prtljage

Pod zbrinjavanjem putničke prtljage (*engl. Baggage Handling*) se podrazumijeva sigurnosna provjera prtljage te transportiranje do zrakoplova i ukrcavanje prtljage. Nakon što se putnika čekira, predaje svoju prtljagu djelatniku check-ina koji prtljagu stavlja na pokretnu traku. Ta traka prtljagu odvozi to sortirnice (*engl. Baggage Reconciliation - BRS*) koja izgleda kao na slici Slika 2.



Slika 2 Prikaz prostorije za obradu prtljage (*engl. Baggage reconciliation*)

Pokretna traka koja dovozi prtljagu u sortirnicu, najprije prođe kroz rendgen gdje se prtljaga pregledava. Zatim se odvozi do karusela gdje djelatnici zračne luke prema natpisu na prtljazi određuju na koja kolica trebaju ukrcati prtljagu. Za jedan let se uzme onoliko kolica koliko je potrebno da se preveze prtljaga. Kolica su uvijek točno za jedan let te nikad ne dolazi do miješanja prtljage (Slika 3).



Slika 3 Prikaz prostorije za obradu prtljage s opisom (engl. *Baggage reconciliation*)

Putnik može imati ručnu prtljagu koju nosi sa sobom u zrakoplov. Ručna prtljaga se također mora provjeriti te se moraju poštivati dogovorena pravila koja određuju što se smije unositi u zrakoplov kao ručna prtljaga. Neke stvari primjerice moraju biti u posebnim vrećicama (razne tekućine poput parfema, alkohola, duhana, kozmetike) i smiju se unositi u ograničenim količinama. Postoje i predmeti koji se ne smiju unijeti u zrakoplov kao ručna prtljaga, ali se smiju staviti u prtljagu koja mora ići u prtljažni odjeljak u zrakoplovu poput škarica za nokte i sl. *PSCRM* [22] točno navodi kako treba postupati sa prtljagom koja koristi baterije i sa prtljagom koja je konfiscirana od strane djelatnika zračne luke.

5.3 Kontrola ukrcaja

Kontrola ukrcaja (engl. *Load Control*) propisuje standardizirane kodove i format poruka (engl. *United Nations/Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport - UN/EDIFACT format*) koji se koriste za komunikaciju između različitih zračnih luka u svrhu obavještanja o teretu, putnicima i njihovoj prtljazi koja zrakoplovom ide prema toj zračnoj luci. Zračne luke međusobno komuniciraju preko SITA (fran. *Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques*) mreže (<http://www.sita.aero/about-sita>) slanjem standardiziranih poruka u EDIFACT formatu kako bi razmjenjivali informacije o dolazećim i odlazećim letovima, o izgubljenoj prtljazi i dr.

Primjer poruka u SITA formatu:

PRL poruka

SK7102/29AUG DBV PART1
CFG/141M
RBD M/MY
-OSL073M
1WINTHER/SVEINCATOMR-AO1
.W/K/3/40
.N/0000140618001/OSL
.N/0000140621001/OSL
.N/0000140622001/OSL
.R/ETLP HK1 1179999999999
.R/FOID HK1 NI2015082941
.R/SEAT HK1 15A
1JOHANSEN/NINASKAARMR-AT1
.W/K/1/6
.N/0000140641001/OSL
.R/ETLP HK1 1179999999999
.R/FOID HK1 NI2015082946
.R/SEAT HK1 19A
(...)
-OSL000Y
ENDPRL

Through check-in poruka koja služi za čekiranje putnika

UNB+IATA:1+OU+LH+150812:1210+DBVNIKO'
UNH+1+DCQCKU:03:1:IA+DBVNIKO'
LOR+XH:DBV'
FDQ+OU+0470+150514+ZAG+CDG'
PPD+NAKACHE+F+16+REBECCA++1019+1:1'
PRD+N+OK'
UPD+A+NAKACHE+N+REBECCAAA MS'
UNT+8+1'
UNZ+1+DBVNIKO'

5.4 Zbrinjavanje zrakoplova na pisti

Kod zbrinjavanja zrakoplova na pisti (*engl. Ramp Handling*) se misli na sve nužne procese za situacije kao što su usmjeravanje zrakoplova na pisti, određivanje parkirnog mjesta za zrakoplov, propisani znakovi ruku koji služe za komunikaciju između agenta na pisti i pilota (Slika 4), ukrcavanje i iskrcavanje putnika, putničke prtljage i tereta, paljenje motora zrakoplova itd. Radi se o procesima koji počinju slijetanjem zrakoplova na pistu do trenutka parkiranja, gašenja motora i iskrcavanja putnika, prtljage i tereta. Zatim slijedi rad zemaljske

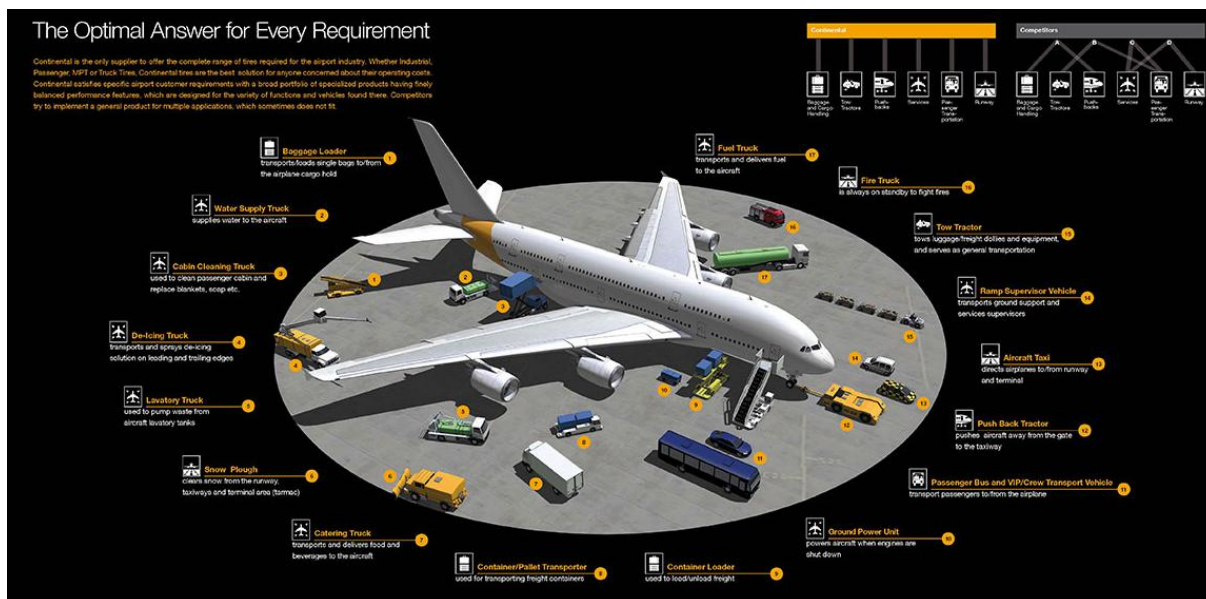
službe koja opskrbljuje zrakoplov. Kada ona završi svoj dio, počinju opet procesi zbrinjavanja zrakoplova na pisti gdje agent na pisti mora zrakoplov usmjeriti prema propisanom uzletištu.



Slika 4: Ramp agent

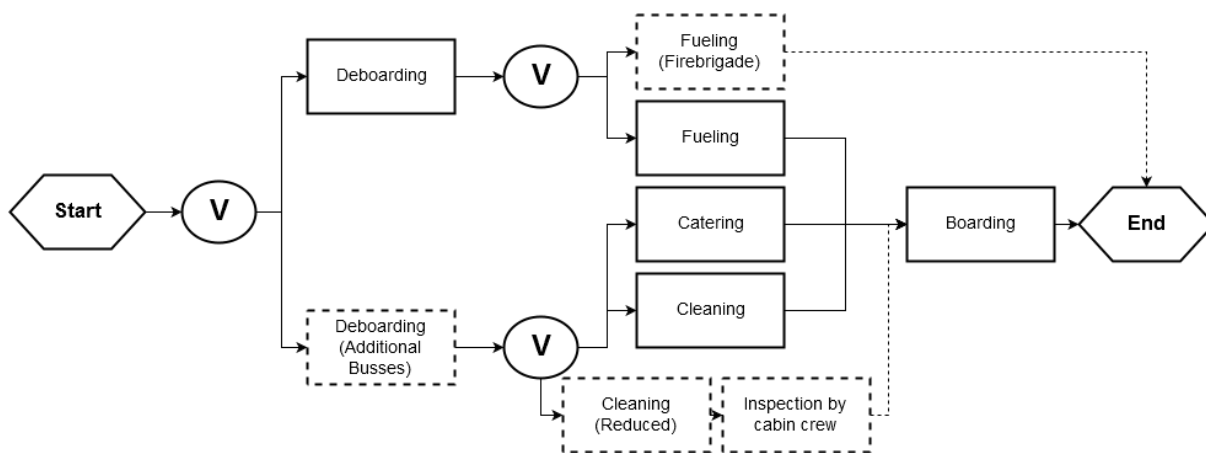
5.5 Zemaljska služba

Zemaljska služba (*engl. Ground Handling*) se brine o svim potrebama zrakoplova propisanim u [11] kao što su punjenje goriva, opskrba pićem i hranom za putnike i posadu (*engl. catering*), tehnički pregled zrakoplova, čišćenje zrakoplova (unutrašnjost zrakoplova i vanjske prozore), uporaba tehničkih sredstava kao što su starter, agregat za struju, traktor za vuču, zemaljski prijevoz putnika i posade vozilom poput autobusa ili kombija, paljenje rasvjete na pisti radi slijetanja i polijetanja, odleđivanje piste radi polijetanja i slijetanja, transport ozlijeđenih putnika i onih u kolicima, obrada putnika i njihove prtljage na check-in šalterima, usluge VIP salona i dr. (Slika 5). Budući da zrakoplovi žele što manje vremena provesti na parkingu kako bi manje platili zračnoj luci, ove se usluge moraju obaviti što brže. Za sva kašnjenja uzrokovana od strane djelatnika zračne luke, zračna luka mora odgovarati operateru zrakoplova i u većini slučajeva platiti ugovorom dogovorene kazne. Druga posljedica kašnjenja pri opskrbi zrakoplova je remećenje reda polijetanja i slijetanja ostalih zrakoplova.



Slika 5: Prikaz zemaljske službe

Postoji dogovoreni slijed izvršavanja usluga zemaljske službe koji se mora poštovati, bilo to iz organizacijskih razloga ili zakonskih (Slika 6). Tako primjerice ne može početi čišćenje zrakoplova prije nego se iskrcaju putnici. Također se po zakonu ne smije početi puniti gorivo dok se putnici nisu ukrcali i dok nije stiglo vatrogasno vozilo kod zrakoplova kao mjera sigurnosti.



Slika 6 Proces za zbrinjavanje zrakoplova [26]

6 Više-agentski sustavi u zračnim lukama

Kontinuiranim povećanjem zračnog prometa od 6% prema IATA-inoj objavi iz drugog mjeseca 2015. (<http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2015-02-05-01.aspx>), dolazi i do povećane koncentracije letova u nekom određenom vremenskom razdoblju kao što je primjerice vrijeme između 10 i 12 sati kada slijeće ili polijeće najveći postotak dnevnih letova. To se događa zbog toga što svaki operater svojim putnicima želi osigurati najugodnije vrijeme za početak puta. Pri tome operatere ne zanima stanje u zračnoj luci već oni pokušavaju postići svoj cilj. Taj cilj pokušava ostvariti svaki operater. Zračna luka je ta koja treba napraviti plan letenja te s operaterima pregovarati i uskladiti taj plan. Unatoč težnji zračne luke da se koncentracija letova jednako rasporedu po cijelom danu, to često nije slučaj te se dobiju najprometniji sati u danu. Zračna luka izračuna maksimalan broj letova koji može sletjeti i poletjeti u jednom satu. Tada je jako bitna dobra organizacija i brzo provođenje potrebnih procesa za obradu zrakoplova. Unatoč planiranju zna doći do kašnjenja te se time stvaraju dodatni organizacijski problemi koji kao posljedice imaju dodatna kašnjenja letova, gubitak novaca zbog plaćanja kazni te naposljetku nezadovoljne putnike. Upravo su te organizacijske poteškoće tijekom najprometnijih sati u danu i sprečavanje kašnjenja, tema velikog broja znanstvenih istraživanja. Jedno od rješenja navedenih problema je korištenje više-agentskih sustava. Dio istraživanja je usmjeren na simuliranje odnosa zračnih luka i pojedinih operatera u fazi izrade reda letenja. U drugim slučajevima se pomoću više-agentskih sustava organiziraju, paraleliziraju i mnogo brže izvršavaju standardni procesa u zračnim lukama. Iako se više-agentski sustavi primjenjuju u nekoliko zračnih luka (Zračna luka Hamburg, Zračna luka Ciudad Real, Zračna luka Hong Kong), još uvijek nisu zamijenili čovjeka. Njihovo korištenje se ograničava na simuliranje raznih situacija te se rezultati tih simulacija razmatraju, provjeravaju i nekad uzmu kao ispravan način djelovanja. Zračne luke najčešće uzmu podatke iz stvarnog života i koriste ih kao ulazne parametre za provedene simulacije. Rezultate simulacija zatim uspoređuju sa stvarnim događanjima i provjeravaju više-agentsko razmišljanje te ga po potrebi mijenjaju. Svakom simulacijom se ponašanje i razmišljanje sustava unapređuje. U slučajevima poput simulacije kapaciteta zračne luke [31], simulacije kretanja putnika po zračnoj luci [34], simulacije pridjeljivanja izlaza [36] i sustava za oporavak od problema su se rezultati simulacija primijenili u praksi kako bi se optimizirali ispitani procesi, dok se u drugim slučajevima simulacije još dorađuju i njihovi rezultati samo djelomično primjenjuju.

S obzirom na područja kojima se bave simulacije i pokušaji optimizacije, provedena znanstvena istraživanja se mogu podijeliti na ove skupine:

- Simulacija dogovaranja rasporeda letenja
- Simulacija optimizacije kontrole leta
- Simulacija i optimizacija sustava za oporavak od poremećaja
- Simulacije optimizacije procesa u zračnoj luci
 - Više-agentski sustav za razmjenu informacija
 - Simulacija kapaciteta zračne luke
 - Smanjenje gustoće broja letova po satima
 - Simulacija kretanja putnika na terminalu

- Simulacija pridjeljivanja izlaza
- Simulacija procesa zemaljske službe

6.1 Simulacija dogovaranja rasporeda letenja

Svake godine prije početka ljetne sezone se održavaju sastanci između predstavnika zračnih luka i aviokompanija. Svrha tih sastanaka je dogovaranje rasporeda letenja zrakoplova. Dogovaraju se vremena slijetanja i polijetanja. Ta vremena se zovu vremenski prorezi ili slotovi (*engl. slots*). Pri tom planiranju se projekcijama opterećenosti pokušava optimizirati red letenja. Aviokompanije pokušavaju dobiti što atraktivnije vrijeme slijetanja i polijetanja kako bi privukli što više putnika, a zračne luke pokušavaju smanjiti maksimalni broj letova u jednom satu te se što je moguće bolje ravnomjerno rasporediti letove na cijeli dan. U članku [13] se pokušava pomoću više-agentskog sustava simulirati pregovaranje aviokompanija i zračnih luka te simulirati dogovoreni raspored letenja. Agenti u ovom slučaju predstavljaju aviokompanije i zračne luke. Svaki agent ima svoj cilj. Cilj agenta zračne luke jest što više smanjiti maksimalni broj letova u jednom satu i time smanjiti opterećenje na djelatnike, ali da pri tome ispuni zahtjeve agenta aviokompanije. Agent aviokompanije pokušava sebi osigurati najpoželjnije sate u danu za svoje letove kako bi putnicima osigurao najbolju uslugu.

6.2 Simulacija optimizacije kontrole leta

Ljudski mozak je sposoban obraditi određeni broj informacija i zadataka u određenom vremenu. Stoga i kontrola leta, koja se brine o zračnom prometu iznad zračne luke, može zaprimiti određeni broj letova u satu budući da zračnim prometom upravljaju ljudi. Maksimalni broj letova koji se može obraditi u jednom satu varira o broju zaposlenika, veličini zračne luke i broju pista. Računalo nema ista ograničenja kao čovjek te se smatra da bi više-agentski sustav koji raspolaže znanjem o procesima pri obradi leta iz aspekta kontrolora leta mogao preuzeti veći broj letova u satu, obraditi ih jednako dobro kao i ljudski kontrolor leta i time omogućiti veći promet u zračnom prostoru i u zračnoj luci. Time bi se povećao broj letova, broj putnika te zarada operatera i zračnih luka. Još jedna dodatna prednost više-agentskog sustava jest što može bolje i brže reagirati na neregularnosti u prometu kao što su kašnjenje letova, kvarovi, vremenske nepogode ili bilo koje druge smetnje. U takvim situacijama dolazi do poremećaja planiranog rasporeda te se mora brzo naći rješenje kako letove organizirati te osigurati sigurnost zračnog prometa te spriječiti bilo kakve nesreće. U članku [28] je predstavljen više-agentski sustav pravila i procedura za obradu i vođenje regularnog zračnog prometa. Također su implementirana i pravila i procedure za slučaj nezgode, kašnjenja, vremenske nepogode i ostalo. Na osnovu tih pravila i procedura, više-agentski sustav može trenutno donijeti odluku o tome što treba učiniti. Rezultati rada više-agentskog sustava se provjeravaju u simulaciji.

6.3 Simulacija i optimizacija sustava za oporavak od poremećaja

Zračni operateri nadziru raspored letenja te provjeravaju jesu li se njihovi zrakoplovi držali dogovorenog rasporeda. U slučaju poremećaja rasporeda letenja, bilo to uzrokovano problemima s posadom, kašnjenjem zrakoplova, vremenskim nepogodama, ili tehničkim kvarovima, operateri trebaju naći rješenje. Primjerice, nekada je nužno poslati drugi zrakoplov kako bi prevezao putnike koji čekaju let. Većina operatera ima takozvani kontrolni centar (*engl. Airline Operations Control Centre - AOCC*) koji se bavi nadzorom zrakoplova i rješavanjem poremećaja u rasporedu letenja (*engl. disaster recovery*). Ti centri rade 24h dnevno kako bi u svakom trenutku bili spremni djelovati. Postoje propisana pravila kako djelovati u kojoj situaciji te koje procedure pokrenuti kako bi se problem riješio. U člancima [41] i [42] se opisuje razvoj i implementacija više-agentskog sustava koji djelomično (nekad i potpuno) preuzima procese AOCC-a. Rješavanje problema će preuzeti skupina programskih agenata koji su programirani znanjem dugogodišnjeg iskustva AOCC djelatnika. Prednosti ovog sustava su najprije ekonomske prirode. Automatizacijom procesa razrješavanja problema (*engl. disaster management*) ne mora više biti toliko ljudi prisutno u kontrolnom centru 24h dnevno što dovodi do smanjenja troškova za operatera. Druga prednost koju pruža više-agentski sustav jest da kod rješavanja problema poput kašnjenja letova ili nedostatka članova posade sustav može pružiti brža i ponekad bolja rješenja od čovjeka te time može operateru uštediti novac kod primjene tih rješenja. Sustav će se također tako programirati da može predvidjeti moguće probleme. Recimo moći će uzeti u obzir nekoliko faktora poput gustoće prometa u zračnoj luci, vremensku prognozu te stanje svih članova posade te će na osnovu toga moći upozoriti na moguće probleme koji bi se mogli dogoditi na osnovu tih razmatranja. Treća prednost ovakvog sustava jest da budući da se sustav temelji na pametnim agentima koji su specijalizirani za rješavanje problema, postoji mogućnost nadogradnje sustava s novim agentima koji će rješavati druge probleme koji će se eventualno s vremenom pojaviti.

6.4 Simulacije optimizacije procesa u zračnoj luci

Kao što postoje ljudska ograničenja pri obavljanju dužnosti kontrolora leta, tako i postoje ograničenja pri obavljanju drugih procesa u zračnoj luci kao što su to primjerice procesi zemaljske službe ili procesi pri obradi putnika. Više-agentski sustavi ovdje služe za paraleliziranje, ubrzanje i optimizaciju procesa. Svaki agent bi imao kao cilj obavljanje svog zadanog procesa. Pri tome mora surađivati s drugim agentima jer njegovi procesi ovise o drugim agentima te se moraju izvršavati u određenom periodu i u određenom redoslijedu. Stoga je kao i kod djelatnika zračne luke suradnja agenata u više-agentskom sustavu neizbježna i nužna.

6.4.1 Više-agentski sustav za razmjenu informacija

Jedan važan korak pri optimizaciji procesa između zračnih luka i operatera te u samoj zračnoj luci jest pravovremena i korektna informacija o stanju stvari. Pod tim se misli na informacije poput:

- mogućeg kašnjenje leta
- vremenske nepogode
- stanja zračnog prometa iznad zračne luke
- stanja o popunjenosti zračne luke i stanja na pisti
- stanja resursa poput djelatnika i vozila u zračnoj luci

Zbog toga je Europska organizacija za sigurnost zračnog prometa (*EUROCONTROL*) (<https://www.eurocontrol.int>) započela nekoliko projekata poput SESAR-a (*engl. Single European Sky ATM Research*) ili Airport CDM (*engl. collaborative decision making*) u koji ulaže velika sredstva kako bi ostvarila brzu razmjenu podataka između zračnih luka, zračnih operatera, kontrole zračnog prometa, zemaljskih službi i vlada pojedinih država [25].

U članku [25] je predstavljen pokušaj realizacije A-CDM sustav ostvariti pomoću više-agentskog sustava koji će prikupljati informacije i distribuirati ih na sve one koji to trebaju znati. Čim se primjerice završi obrada zrakoplova na pisti i taj je spreman za polijetanje, ta informacija se treba proslijediti do operatera zrakoplova, do kontrole leta kako bi mogla pripremiti pistu za njegovo uzlijetanje, operativnog centra zračne luke kako bi znao da je što se njega tiče njega zrakoplov obrađen itd. Na osnovu tako brze razmjene informacija mogu se prije donijeti odluke o djelovanju ukoliko su nužne, radilo se to o čovjeku koji djeluje ili o više-agentskom sustavu.

6.4.2 Simulacija kapaciteta zračne luke

Zračne luke zbog sve većeg porasta zračnog prometa polako dolaze do granica svojih kapaciteta. Stoga se u članku [31] predlaže uporaba više agentskog sustava pomoću koja se može simulirati kretanje zrakoplova po pisti zračne luke. Korišten je model koji je generiran pomoću više agentskog simulacijskog alata AnyLogic (<http://www.anylogic.com/>). U ovom modelu su svi zrakoplovi predstavljeni agentima koji autonomno pokušavaju sletjeti na pistu. Postoji i mrežni agent (*engl. Network agent*) koji sadržava sve informacije o kontroli leta te o rasporedu letenja. Pomoću ovoga modela se uspješno simulira promet zrakoplova u zračnoj luci te se može na osnovu simulacijskih podataka predvidjeti broj zrakoplova koje zračna luka može obraditi u nekom vremenskom periodu. Na osnovu tih podataka se mogu donositi odluke o potencijalnom širenju zračne luke ili o nekim drugim koracima ubrzanja procesa.

6.4.3 Smanjenje gustoće broja letova po satima

Aviokompanije svoju zaradu temelje na prodanim kartama. Putnici će odabrati one letove koji im najviše odgovaraju po vremenu polijetanja i po cijeni. Putnici računaju s tim da će aviokompanija održati obećano vrijeme leta te da neće biti kašnjenja. Kako se razvija konkurencija između aviokompanija, svaka kompanija pokušava dobiti najbolje vrijeme polaska kako bi putnik bio zadovoljan i odabrao baš njih. Zbog konkurencije također pokušavaju smanjiti cijenu karte preko smanjenja troška usluga zračnih luka. Zračne luke pak pokušavaju proširiti ukupan broj letova jednoga dana na cijeli dan kako bi izbjegli veliki broj letova u kratkom vremenu. Unatoč željama zračne luke, aviokompanije manje-više žele ista vremena polaska koja su dobila statističkim istraživanjem želja putnika. Svaka zračna luka

ima maksimalan broj letova koji može opslužiti u jednom satu ovisno o fizičkim resursima luke tako da ni uz najbolju volju zračne luke, ne može primiti veći broj letova od toga. Zbog toga se trguje s vremenima polijetanja i slijetanja tj. s vremenskim prorezima ili *slotovima*. Ovaj problem se obrađuje u člancima [40] i [13]. U članku [13] se pokušava simulirati natjecanje aviokompanija za vremenske slotove te se simulira zračni promet za dogovorene slotove. Pokušava se simulirati kada će biti najprometniji sat toga dana (*engl. peak hour*).

U članku [40] pokušava se riješiti problem najprometnijeg sata koncentrirajući svoj sustav inteligentnih agenata na simuliranje generiranja rasporeda letenja same aviokompanije. Osim rasporeda letenja, ovaj sustav uzima u obzir i moguće probleme koji mogu nastupiti poput problema vezanih uz zrakoplov, posadu ili putnike.

6.4.4 Simulacija kretanja putnika na terminalu

Prema [34] 8% svih kašnjenja u zračnim lukama su uzrokovana kašnjenjem pri obradi putnika, prtljage i obavljanjem usluga zemaljske službe. Pri obradi putnika postoji mnogo faktora koji se trebaju uzeti u obzir kako bi se izbjeglo kašnjenje. Putnici trebaju na vrijeme dobiti kartu, trebaju proći sigurnosni (rendgenski) pregled te trebaju stići do određenog izlaza preko kojeg će napustiti terminal zračne luke i uputiti se autobusom prema zrakoplovu. Tijekom putnikova puta prema izlazu se treba njegova prtljaga (rendgenski) kontrolirati te dostaviti do zrakoplova radi ukrcanja.



Slika 7: Prikaz gužve na šalterima zračne luke

U članku [30] se pokušava optimizirati protok putnika kroz zračnu luku. Više-agentskim sustavom, u kojemu agenti predstavljaju putnike, se nastoji simulirati kretanje putnika te se pokušavaju pronaći točke koje zbunjuju putnike ili na kojima se putnici izgube te time usporavaju kretanje terminalom. Simulacija se fokusira na odlazne putnike i procedure vezane

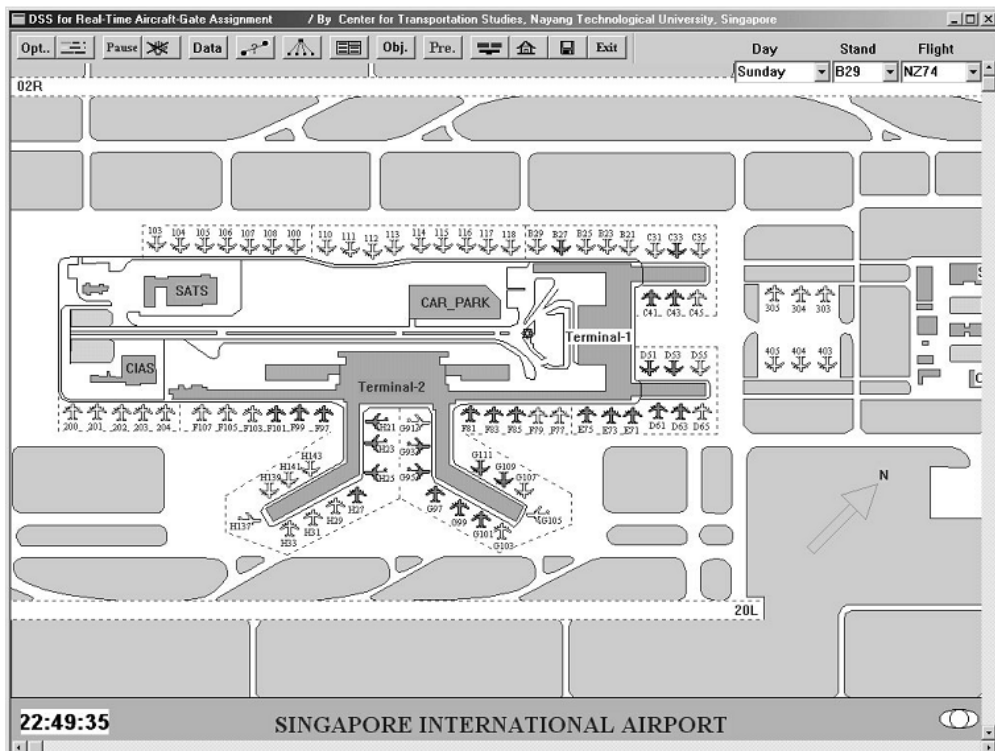
za njih kao što su check-in, sigurnosni pregled, pregled dokumenata i odlazak do izlaza (gatea). Agenti su programirani pomoću podataka koji su skupljeni promatrajući i snimajući kretanje putnika u zračnoj luci tijekom nekog vremenskog perioda. Za simulaciju je jako bitna arhitektura terminala te se i ona mora unijeti u simulaciju jer predstavlja prostor u kojemu će se agenti kretati. Ova simulacija je provedena u zračnoj luci u Hamburgu te su simulacijom donijeli nekoliko prijedloga za unapređenje. Našlo se nekoliko mjesta gdje se agenti duže zadržavaju te se predlaže da se na ta mjesta postave informacijske ploče radi boljeg informiranja putnika i da se tu postavi dućan te bi zračna luka mogla zaraditi od koncesije prostora.

Kao prednosti optimizacije koje se predlažu na osnovu simulacije se ističe:

- brži protok putnika i manje kašnjenja
- veće zadovoljstvo putnika
- veća zarada kroz korištenje područja zračne luke u koncesiji

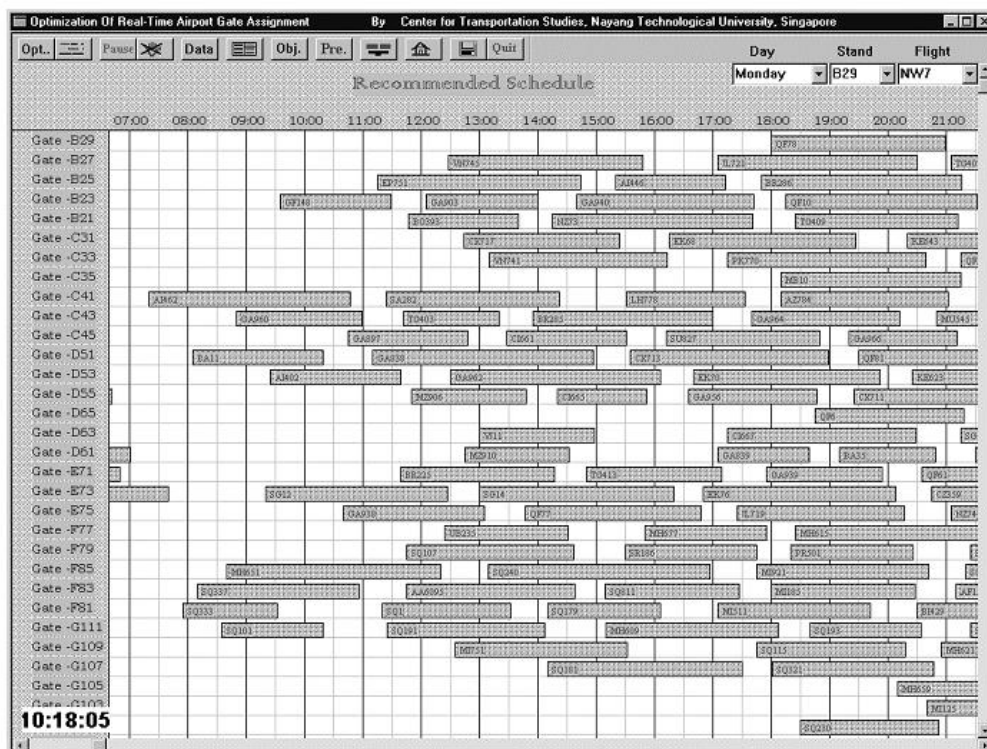
6.4.5 Simulacija pridjeljivanje izlaza pomoću agenta

Red letenja se dogovara nekoliko mjeseci prije samog leta. U tom trenutku se planiraju sve potrebne operacije za letove kao što je i izlaz (*engl. gate*) preko kojeg će putnici napustiti zračnu luku i ući u autobus koji će ih prevesti do zrakoplova. Unatoč svim planiranjima, na dan leta se znaju dogoditi nepredviđene situacije poput kvarova zrakoplova, opreme ili vremenskih nepogoda koji uzrokuju kašnjenje. Nekada se kašnjenje samo jednog leta može odraziti na cijeli dnevni raspored. Među problemima koji nastaju je i dinamička dodjela izlaza za neki let ukoliko planirani izlaz nije dostupan. Kod većih zračnih luka se ovakve odluke moraju donijeti brzo kako ne bi nastalo daljnje kašnjenje. U članku [36] se govori o pametnom agentu koji će donijeti odluku o tome koji će se izlaz pridijeliti kojem letu. Pri tome uzima u obzir veliki broj čimbenika poput rasporeda letenja, transfera, zahtjeva aviokompanija, tipa zrakoplova, procedura u zračnoj luci i samom rasporedu izlaza u zračnoj luci (Slika 8).



Slika 8 Prikaz zračne luke s izlazima [36]

Provedene simulacije su se usporedile s pravim podacima iz zračne luke Changi u Šangaju te se došlo do zaključka da je agent sposoban donositi kompleksne i brze odluke o dodjeli izlaza koje odgovaraju odlukama koje bi donio i djelatnik zračne luke (Slika 9).



Slika 9 Prikaz Gantovog dijagrama s rezultatima izračuna [36]

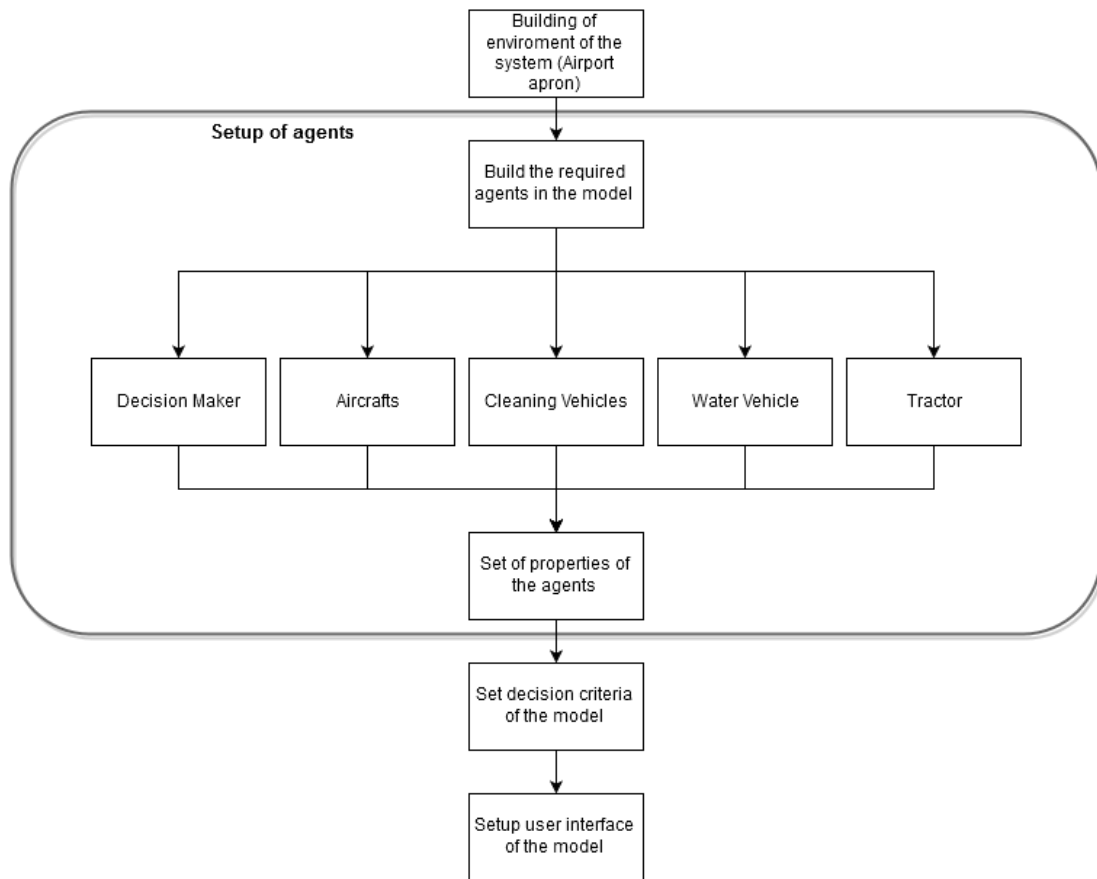
6.4.6 Simulacija procesa zemaljske službe

Organiziranje zemaljske službe je jako komplicirano s obzirom da se mora uzeti u obzir jako mnogo čimbenika pri planiranju. Neki od tih čimbenika su vremena slijetanja i polijetanja zrakoplova tj. raspored letova toga dana, stanje i broj djelatnika koji su potrebni pri obradi zrakoplova (poput tehničara koji vrše pregled zrakoplova ili djelatnika koji iskrcavaju i ukrcavaju prtljagu), dostupnost svih potrebnih vozila poput vatrogasnog vozila, vozila s gorivom, vozila s hranom i pićem, autobusa koji prevozi putnike itd. Osim toga teško je predvidjeti konkretno trajanje izvršavanja usluge s obzirom na moguće vanjske utjecaje te je također komplicirano koordinirati rad raznih službi [27]. Unatoč poteškoćama pri planiranju rasporeda, pravi problemi nastaju kada se dogode izvanredne situacije poput kašnjenja letova ili kvarova na zrakoplovu. Ovakvi događaji traže brzu preradu plana i prilagodbu novonastaloj situaciji. Često se tada dogodi da zbog jednog ili dva leta, kasni mnogo više letova. Budući da se svake godine broj letova povećava, a zračne luke se ne šire proporcionalno povećanom broju letova, potrebno je pokušati optimizirati procese zemaljske službe kako bi se povećala propusnost zračne luke i kako bi se situacije kašnjenja pripremljenije dočekale. U članku [26] se sličan problem porasta broja letova spominje u zračnoj luci u Hong Kongu. Tamo se zemaljska služba pokušala optimizirati uporabom multi-agentskog sustava. Predlaže se model koji se sastoji od pet vrsta agenata, a to su (Slika 10 i Slika 11):

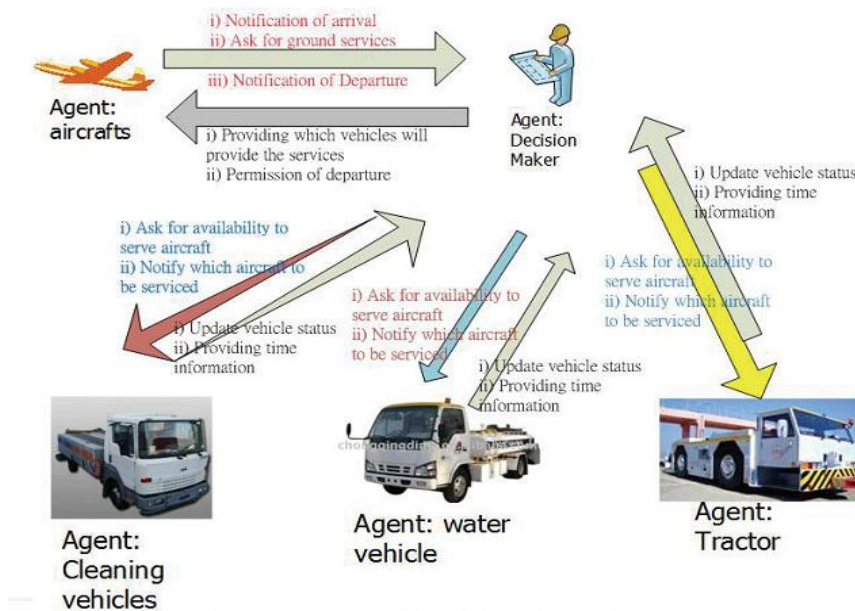
- Upravitelj (decision maker agent) je koordinator usluga i odlučuje o raspodjeli vozila za čišćenje, vozila s vodom i traktorima te vodi računa o tome da su se izvršile sve dogovorene procedure nad zrakoplovima. Ovaj agent sadrži šire znanje od ostalih agenata. Sadrži znanje o procedurama te dobiva informacije o stanju svih ostalih agenata uključujući i agente zrakoplove.

- Agent zrakoplov (aircraft agents) predstavlja sve zrakoplove koji koriste usluge zemaljske službe. Ovim agentima se dodjeljuje broj leta kako bi se razlikovali te vrijeme slijetanja, trajanje boravka na parkirnom mjestu i vrijeme polijetanja. Tijekom vremena boravka na parkirnom mjestu se trebaju izvršiti usluge čišćenja (vozilo za čišćenje), nadopuna vodom (vozilo za dostavu vode) te se treba zrakoplov ponovo odvući na pistu pomoću traktora. Kašnjenje bilo koje od navedenih službi se evidentira kao specifično kašnjenje te službe.
- Vozila za čišćenje (Cleaning vehicles agents) imaju obavezu biti kod zrakoplova i početi svoje usluge točno 15 minuta nakon slijetanja zrakoplova kako bi se spriječilo kašnjenje. Vozilu se pripisuje vrijeme vožnje do parkirnog mjesta zrakoplova u trajanju od 5 minuta. Usluge čišćenja traju 15 minuta sa standardnom devijacijom od 2 minute kako bi se simulirale razne situacije. Usluge čišćenja trebaju završiti najkasnije 20 minuta prije polijetanja zrakoplova (*engl. Estimated Time of Departure - ETD*).
- Vozila za dostavu vode (Water vehicles agents) trebaju također 5 minuta da stignu od jednog parkirnog mjesta na drugo. S tim da ova vozila trebaju biti 40 minuta nakon slijetanja zrakoplova na parkirnom mjestu. Njihove usluge traju 20 minuta sa standardnom devijacijom od 3 minute.
- Traktori (Tractors agents) trebaju stići do parkirnog mjesta zrakoplova 12 minuta prije očekivanog vremena polijetanja (ETD). Nakon što vozilo za čišćenje i vozilo za nadopunu vode završe svoje usluge, traktor počinje s uslugom vuče zrakoplova na pistu s koje će poletjeti. Usluga vuče traje 10 minuta.

Rezultati istraživanja u članku [26] pokazuju da se navedenim modelom može simulirati rad zemaljske službe u zračnoj luci te da se rezultati simulacije mogu koristiti kako bi se unaprijedili procesi prave zemaljske službe i time optimiziralo vrijeme opskrbe zrakoplova i povećala propusnost u zračnoj luci.



Slika 10: Procedura za izgradnju MAS sustava



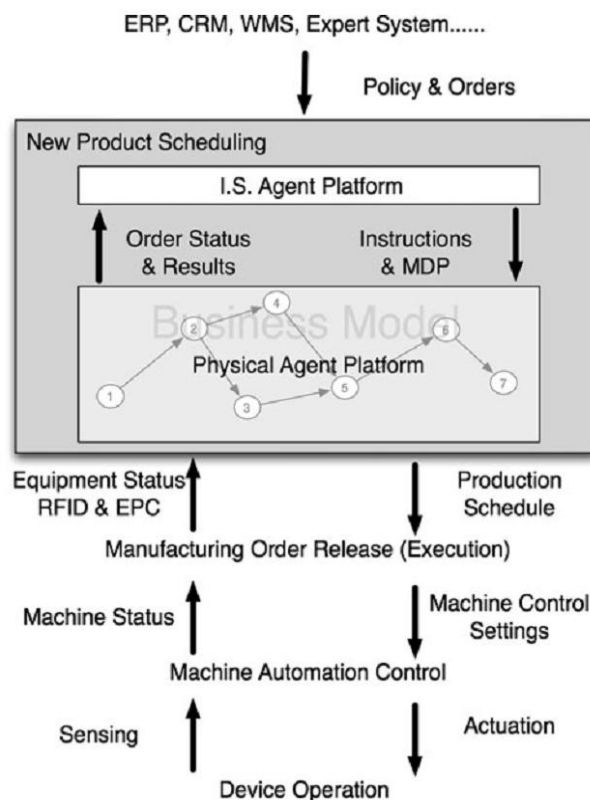
Slika 11 Prikaz komunikacije između agenata [26]

S problemom upravljanjem resursa zemaljske službe i dogovaranjem redoslijeda izvršenja procedura se bave i članci [27] i [29]. Spominju se dvije vrste dogovaranja usluga:

- dugoročno planiranje parkirnog mjesta za zrakoplove
- kratkoročno donošenje odluka u slučaju devijacija od plana (kašnjenja, kvarovi, vremenske nepogode itd.). Ovakve odluke se najčešće donose s centraliziranog mjesta gdje se sve vrši pomoću softverskih alata i često postoji nedostatak komunikacije s piste (s mjestom zbivanja).

Danas se pojavljuje jako veliki broj devijacija poput kašnjenje letova, vremenske nepogode, izostanak osoblja zbog zdravstvenih razloga, tehnički kvarovi. Ukoliko bi zemaljska služba i dobila informacije o stanju svih sudionika, potrebne su komplicirane kalkulacije kako bi se mogao napraviti raspored usluga, statistika korištenja i stanje svih resursa i procedura koje su u tijeku. Stoga je cilj ovoga rada postao izraditi MAS sustav za distribuirano donošenje odluka (engl. Distributed decision Support System – DSS) koji će na osnovu svih dostupnih informacija o devijacijama donijeti novi plan. Za model MAS-a su napravljene dvije vrste agenata (Slika 12):

- Fizički agenti – predstavljaju prave resurse zračne luke poput opreme, vozila i djelatnika koji vrše neke radnje.
- Informacijski agenti – oni prikupljaju i dijele informacije, donose odluke ili sadrže upravljačka znanja i znanja o procedurama koje se trebaju izvršiti



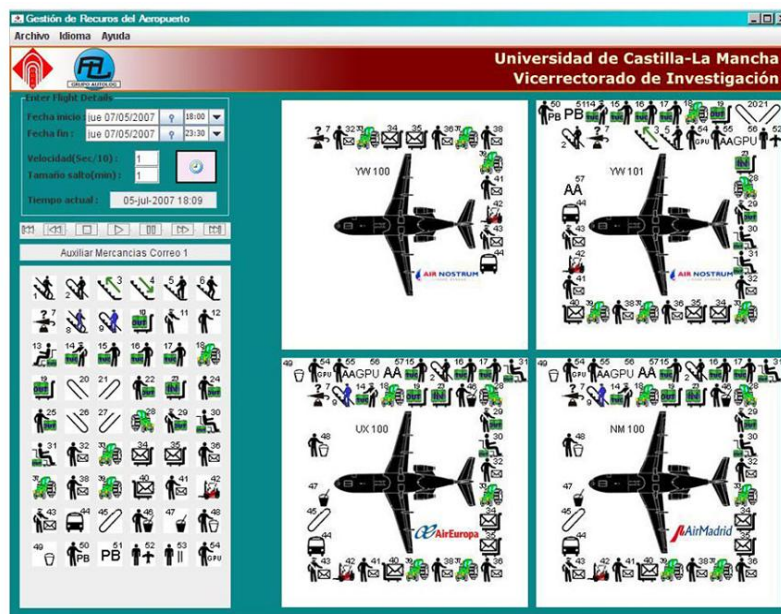
Slika 12 Organizacija MAS-DUO modela [29]

U agentov proces donošenja odluke se ugrađuje sustav nagrađivanja na osnovu "Markovljevog sustava za donošenje odluka" [47] (engl. Markov Decision Process – MDP). Svaki agent će odabrati onu akciju koja će mu donijeti najveću nagradu. Funkcija za izračun nagrade se može prilagoditi potrebama prijevoznika za kojega se obrađuje let. Te potrebe se mogu odnositi na cijenu usluge, važnost leta, potrošnju energije, sprečavanje kašnjenja leta ili može biti kombinacija svih navedenih faktora.

Kao prednosti korištenja MAS sustava se navodi:

- Veća mogućnost pregovaranja – agenti će moći saznati stanja drugih agenata te podijeliti svoje.
- Brzo učenje i provođenje odluka – agenti imaju ugrađene ciljeve te ih mogu dodati u proces pregovaranja. Tako će uzimajući u obzir svoje ciljeve i ciljeve drugih agenata moći brže dogovoriti tko će i kada moći djelovati.
- Distribuirani sustavi – agenti će moći biti postavljeni na različite sustave. Ukoliko postoji komunikacije među njima, platforma na kojoj se nalaze nije bitna.
- Brz pristup realnim podacima – agenti se mogu podesiti tako da "oslušuju" informacije o realnom stanju u zračnoj luci te prema tome mogu pregovarati svoje procese.
- Skalabilnost – MAS sustavima se po potrebi mogu dodjeljivati veći resursi bez da se moraju mijenjati.
- Ekspertno znanje – svakom agentu u MAS sustavu se može programirati posebno ekspertno znanje o problemu koji treba rješavati kako bi bolje pregovarao u svrhu ostvarivanja svog cilja.

Navedeni model je implementiran i testiran u zračnoj luci Ciudad Real (Slika 13) te su djelatnici zadovoljni rezultatima i smatraju da sustav realno simulira stanje fizičkih resursa zračne luke te da se pomoću toga može fokusirati na realno potrebne količine resursa kako bi se optimizirao proces u zračnoj luci.



Slika 13 Implementirani MAS sustav u zračnoj luci Ciudad Real 27

7 Zaključak

Promet u zračnim lukama godišnje raste 6%. Sve je više zrakoplova i putnika, a pri tom se zahtijeva da polijetanje zrakoplova, razmjena putnika i polijetanje zrakoplova traje sve kraće i kraće. Time se povećava opterećenje na zaposlenike, opremu te sama infrastruktura zračne luke često dolazi do svojih granica.

Stoga se sve više razmatraju i implementiraju više-agentski sustavi kao jedno od rješenja. Više-agentski sustavi nalaze sve više primjena u zračnim lukama, bilo to pri procesu dogovaranja rasporeda letenja, pri optimizaciji kontrole leta ili optimizaciji samih procesa u zračnoj luci. Jedan od glavnih razloga korištenja više-agentskih sustava, osim efikasnosti i brzine rada, jest sposobnost brze prilagodbe na promjene i izvanredne situacije kao što su promjene u rasporedu letenja, kašnjenja te donošenje ispravnih odluka u kratkom vremenskom roku.

Kako bi se mogle donijeti ispravne odluke, potrebno je imati točne i pravovremene informacije o stanju situacije. U tu svrhu je Europska organizacija za sigurnost zračnog prometa (*EUROCONTROL*) započela nekoliko projekata pomoću kojih bi ostvarila bržu razmjenu podataka između zračnih luka, zračnih prijevoznika, kontrole zračnog prometa i vlada pojedinih država.

Unatoč mnogobrojnim dosadašnjim istraživanjima, nijedno istraživanje nije pokušalo povezati putnika sa zrakoplovom te optimizirati procese predlažući model koji će to dvoje obuhvatiti. Cilj budućih istraživanja u sklopu ovoga rada je pokušaj objedinjavanja svih procesa vezanih uz zrakoplov (npr. kontrola leta, zemaljska služba itd.) s procesima vezanim uz putnike (npr. checki-in, sigurnosni pregled, briga o prtljazi itd.) budući da su to dva usko povezana procesa budući da putnik neće doći u zračnu luku bez da planira koristiti, a ni zrakoplov neće sletjeti ukoliko ne planira ukrcati putnike.

Reference

- [1] „*Artificial Intelligence: A Modern Approach*“ by Stuart Russell and Peter Norvig, © 1995 Prentice-Hall, Inc.
- [2] "*Conceptualizing Intelligent Agents for Teaching and Learning*" by Ali Jafari,
- [3] "*Intelligent Agents: Theory and Practice*" by Michael Wooldridge and Nicholas R. Jennings
- [4] "*JADE – A FIPA-compliant agent framework*" by Fabio Bellifemine, Agostino Poggi, Giovanni Rimassa, 1999
- [5] "*Message Implementation Guidelines for Airlines UN/EDIFACT PAXLST/CUSRES Messages Sets v3.5*", U.S. Customs and Border Protection, 2011
- [6] "*The stability, scalability and performance of multi-agent systems*" by L. C. Lee, H. S. Nwana, D. T. Ndumu, and P. De Wilde in *BT Technology Journal Vol 16 No 3*, pp. 94-103, July 1998.
- [7] "*Foundation for Intelligent Physical Agents – FIGA Agent Management Specification*", 2004
- [8] „*Developing Multi Agent Systems with JADE*“ by Fabio Bellifemine, Giovanni Caire, Dominic Greenwood -
- [9] "*Disruption Management in Airline Operations Control – An Intelligent Agent-Based Approach*", 2010, by Antonio J.M. Castro and Eugenio Oliveira
- [10] "*HarTech Technologies Releases Version 4.0 of the Generic Blackboard (GBB) Development Framework*" by HarTech Technologies Ltd., 2008.
- [11] "*Airport Operations 3rd Edition*" by Norman J. Ashford, H. P. Martin Stanton, Clifton A. Moore 2013
- [12] "*Programming Multiagent Systems with JaCaMo*" by Olivier Boissier, Raphael H. Bordini, Jomi F. Huebner, Alessandro Ricci, WESAAC 2013
- [13] "*An Agent-based Model for Airline Evolution, Competition and Airport Congestion*", 2005, by Junhyuk Kim
- [14] „*GAMA an environment for implementing and running spatially explicit multi-agent simulations*“ by Edouard Amouroux, Chu Thanh-Quang, Alain Boucher, Alexis Drogoul
- [15] "*JANUS: Another Yet General-Purpose Multiagent Platform*" by Stephanie Galland on behalf of Janus Development Team, 2010
- [16] „*From Analysis to Deployment: A Multi-Agent Platform Survey*“ by Pierre-Michel Ricordel and Yves Demazeau
- [17] "*JACK Intelligent Agents – Summary of an Agent Infrastructure*", by Nick Howden, Ralph Ronnquist, Andrew Hodgson, Andrew Lucas, 2001
- [18] "*The MadKit Agent Platform Architecture*" by Oliver Gutknecht, Jacques Ferber, 2013
- [19] „*From Agents to Organizations: An Organizational View of MAS systems*“ by Jacques Ferber, Olivier Gutknecht, and Fabien Michel, 2003
- [20] „*A new approach of designing Multi-Agent Systems*“ by Sara Maalal, Malika Addou
- [21] "*Airport Handling Manual*", 34th Edition, 2014

- [22] *"Passenger Services Conference Resolutions Manual"*, 35nd Edition, 2015
- [23] *"IT makes sense to share: Making the case for the cloud in Common Use airport technology"*, 2014, AMADEUS company
- [24] *"Application of Multi-Agent Systems in Traffic and Transportation"*, 1997, by Birgit Burmeister, Afsaneh Haddadi, Guido Matylis
- [25] *„Agent-based simulation framework for airport collaborative decision making“* 2014, by Ivan Garcia, Luis Delgado
- [26] *„A Multi Agent Based Model for Airport Service Planning“* 2010, by W.H. Ip, Vincent Cho, Nick Chung and George Ho
- [27] *„Agent-based decision-making process in airport ground handling management“* 2011, by Pablo Garcia, Andres Garcia Higuera, Jose Manuel Pastor, F.Javier Otamendi
- [28] *"Multi-Agent Technology for Air Traffic Control and Incident Management in Airport Airspace"*, 2008, by Vladimir Gorodetsky, Oleg Karsaev, Vladimir Samoylov and Victor Skormin
- [29] *"Decision Making Platform Supported on ICTs: Application to the Management of Ground Handling Operations at an Airport"*, 2011, by Pablo García Ansola, Andrés García Higuera, Javier de las Morenas and Javier García-Escribano
- [30] *„Managing Passenger Handling at Airport Terminals“*, 2014, by Michael Schultz and Hartmut Fricke
- [31] *„Evaluation of Airport Capacity through Agent Based Simulation“*, 2014, by Yang Peng, Gao Wei, Sun Junqing and Sun Bin
- [32] *„Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey“*, by Paulo Leitao, 2009
- [33] *„MULTIAGENT SYSTEMS Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations“* by Yaov Shohan and Kevin Leyton-Brown, 2009
- [34] *„EUROCONTROL - Delays to Air Transport in Europe – Annual 2013“* , Central Office for Delay Analysis - CODA
- [35] *„Intelligent mobile agents in large distributed autonomous cooperative systems“* by Johnny S.K. Wong and Armin R. Mikler
- [36] *"Development of an Intelligent Agent for Airport Gate Assignment"*, 2002, by Soi-Hoi Lam, Jia-Meng Cao and Henry Fan Nanyang
- [37] *"Principled negotiaion between intelligent agents: a model for air traffic management"*, 1995, by John P. Wangermann and Robert F. Stengel
- [38] *"Agent Systems and Applications"*, 1998, by Ruth Aylett , Frances Brazier, Nick Jennings, Michael Luck, Hyacinth Nwana and Chris Preist
- [39] *"BDI Agents: From Theory to Practice - Implementation examples in Air Traffic Management"* by Andrzej Borowczyk
- [40] *"Minimizing Airport Peaks Problem by Improving Airline Operations Performance through an Agent Based System"*, 2009, by António J.M. Castro, António Mota, Luís Paulo Reis, Eugénio Oliveira

- [41] *"Towards an Autonomous and Intelligent Airline Operations Control"*, 2012, by Antonio J. M. Castro, Ana Paula Rocha and Eugenio Oliveira
- [42] *"Recovering from Airline Operational Problems with a Multi-Agent System: a Case Study"*, 2009, by Antonio Mota, Antonio J. M. Castro and Luis Paulo Reis
- [43] *"Modélisation Intra-urbaine des Rythmes quOtidien : accroître l'accessibilité a la ville pour maîtriser la mobilité urbaine"* by Arnaud Banos, 2009
- [44] *"Optimizing an Environmental Surveillance Network with Gaussian Process Entropy - An Optimization Approach by Agent-based Simulation"* by Viet Xuan Troung, Hiep Xuan Huynh, Minh Ngoc Le and Alexis Frogoul
- [45] *"3D GIS-Based Multi-Agent Geosimulation And Visualisation Of Building Evacuation Using GAMA Platform"* by E. G. Macatulad and A. C. Blanco, 2014, Toronto Canada
- [46] *"Towards virtual epidemiology: an agent-based approach to the modeling of H5N1 propagation and persistence in North-Vietnam"* by Edouard Amourou, Stéphanie Desvaux and Alexis Drogoul, 2008. in Hanoi, Vietnam
- [47] *"Intorduction To Markov Decision Processes"* by Warren B. Powell, Approximate Dynamic Programming 2010
- [48] *„Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence“* by Jacques Ferber, 1999
- [49] *„Logics for Multiagent Systems“* by Wiebe van der Hoek and M. Wooldridge, 2013
- [50] *„On the logic of preference and judgment aggregation“* by Thomas Ågotnes, Wiebe van der Hoek and Michael Wooldridge, 2009
- [51] *„Multi-Agent Systems“* by Wiebe van der Hoek and Michael Wooldridge, 2008
- [52] *„Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intentions“* by N.R.Jennings, 1995
- [53] *„Objective Coordination in Multi-Agent System Engineering“* by Michael Schumacher, 2001
- [54] *„Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review“* by Dawn C. Parkera, Steven M. Mansonb, Marco A. Janssenc, Matthew J. Hoffmann and Peter Deadman, 2003
- [55] *„Event-based consensus of multi-agent systems with general linear models“* by Wei Zhua,, Zhong-Ping Jiangb, and Gang Fengc, 2013
- [56] *„Management of electric vehicle battery charging in distribution networks with multi-agent systems“* by Iñaki Grau Unda, Panagiotis Papadopoulos, Spyros Skarvelis-Kazakos, Liana M. Cipcigan, Nick Jenkins and Eduardo Zabala, 2014
- [57] *„Evolutionary multi-agent systems“* by Aleksander Byrski, Rafał Dreżewski, Leszek Siwik and Marek Kisiel-Dorohinicki, 2015
- [58] *„Power distribution system service restoration bases on a committee-based intelligent agent architecture“* by Wan-Yu Yu, Von-Wun Soo and Men-Shen Tsai

Kratice

BDI	Belief, Desire, Intention
ACL	Agent Communication Language
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
UML	Unified Modeling Language
AUML	Agent UML
SITA	Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques
ETD	Estimated Time of Departure
GIS	Geographical Information System data
JADE	Java Agent DEvelopment framework
PDA	Personal Digital Assistant
GAMA	Gis & Agent-based Modelling Architecture
IATA	International Air Transportation Association
AHM	Airport Handling Manual
PSCRM	Passenger Services Conference Resolutions Manual
BRS	Baggage Reconciliation
UN/EDIFACT	United Nations/Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport
AOCC	Airline Operations Control Centre
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation
CDM	Collaborative Decision Making
DSS	Distributed Decision Support System
MDP	Markov Decision Process