Sadržaj

Spisak skraćenica 5
1. Uvod 9
1.1. Izazovi u pozicioniranju 9
1.2. Servisi lociranja korisnika u ćelijskim radio sistemima 11
1.2.1. LBS namenjeni krajnjem korisniku 11
1.2.2. LBS namenjeni operatoru 15
1.2.3. LBS budućih generacija radio sistema 17
2. Evolucija servisa pozicioniranja 19
2.1. Faze razvoja servisa pozicioniranja 19
2.1.1. E-911 19
2.1.2. E-112 21
2.2. Parametri procene lokacije korisnika u radio mrežama 21
2.2.1. Tačnost 22
2.2.2. Dostupnost i konzistencija 22
2.2.3. Priraštaj opterećenja 23
2.2.4. Energetska efikasnost 23
2.2.5. Kašnjenje 23
2.2.6. Cena implementacije 24
3. Parametri pozicioniranja 25
3.1. Snaga signala na prijemu, Rxlev 26
3.2. Vreme prispeća signala, TOA (*Time Of Arrival*) 28
3.3. Vremenska razlika prispeća signala - TDOA (*Time Difference Of Arrival*) 31
3.4. Ugao prispeća signala AOA (*Angle Of Arrival*) 33
4. Klasifikacija metoda pozicioniranja 35
4.1. Klasifikacija metoda pozicioniranja prema tipu korišćene infrastrukture 35
4.1.1. Integrisane i samostalne infastrukture pozicioniranja 35
4.1.2. *Network-based* i *mobile-based* pozicioniranje 36
4.1.3. Satelitsko, ćelijsko i *indoor* pozicioniranje 36
4.2. Klasifikacija metoda pozicioniranja prema algoritmu određivanja lokacije 37
4.2.1. Identifikaciju najbližeg predajnika poznatih koordinata (Proximity Sensing) 37
4.2.2. Lateracija 38
4.2.3. Angulacija 40
4.2.4. *Fingerprinting* 41
4.2.5. Hibridna rešenja 45
4.3. Klasifikacija metoda pozicioniranja prema matematičkom pristupu određivanju lokacije 45
4.3.1. Determinističke metode 46
4.3.2. Probabilističke metode 46
5. Determinističke metode pozicioniranja 47

5.1. Angulacija 47
5.2. Lateracije 50
5.2.1. Cirkularna lateracija 50
5.2.2. Hiperbolička lateracija 53
6. Probabilistički pristup pozicioniranju 62
6.1. Deterministički vs. probabilistički pristup određivanju lokacije mobilne stanice 62
6.2. Probabilistički pristup u određivanju lokacije mobilne stanice 64
6.2.1. Funkcije gustine verovatnoće 64
6.2.2. Granice u okviru kojih se procenjuje lokacija mobilne stanice 66
6.2.3. Diskretizacija prostora 68
6.2.4. Implementacija metoda u slučaju funkcije gustine verovatnoće ekskluzivnog tipa 70
6.2.5. Primena probabilističkog pristupa 72
6.3. Probabilističke metode pozicioniranja 74
6.3.1. Metoda kvadrata 75
6.3.2. Metoda prstenova 78
6.3.3. Problemi usled prostiranja u NLOS uslovima 82
6.3.4. Metoda krugova 84
6.3.5. Poređenje probabilističkih metoda pozicioniranja 86
7. LCS standardizacija 91
7.1. GERAN LCS 91
7.1.1. GERAN LCS standardizacija metoda pozicioniranja 91
7.1.2. GERAN LCS arhitektura 92
7.2. UTRAN LCS 93
7.2.1. UTRAN LCS standardizacija metoda pozicioniranja 93
7.2.2. UTRAN LCS arhitektura 93
7.3. LCS GSM i UMTS arhitektura *core* mreže 94
7.4. E-UTRAN LCS 96
7.4.1. E-UTRAN LCS standardizacija metoda pozicioniranja 96
7.4.2. E-UTRAN LCS arhitektura 96
8. Standardizovane metode pozicioniranja u GSM, UMTS i LTE 98
8.1. Cell-ID 98
8.1.1. Modifikacije Cell-ID metode pozicioniranja u GSM 99
8.1.2. Modifikacije Cell-ID metode pozicioniranja u UMTS 101
8.1.3. Modifikacije Cell-ID metode pozicioniranja u LTE 103
8.2. E-OTD 105
8.2.1. Hiperbolička E-OTD 105
8.2.2. Cirkularna E-OTD 107
8.3. OTDOA 109
8.3.1. OTDOA u UMTS 109
8.3.2. OTDOA u LTE 117
8.4. U-TDOA 119
8.4.1. U-TDOA u GSM 119
8.4.2. U-TDOA u UMTS 121
8.4.3. U-TDOA u LTE 123
8.5. A-GNSS (A-GPS) 123
Literatura 126

Spisak skraćenica

2D	2 Dimensional
3D	3 Dimensional
2G	2nd Generation of mobile networks
3G	3rd Generation of mobile networks
4G	4th Generation of mobile networks
3GPP	The Third Generation Partnership Project
A-GNSS	Assisted Global Navigation Satellite System
A-GPS	Assisted Global Positioning System
ALI	Automatic Location Identification
AOA	Angle of Arrival
AP	Access Point
ATD	Absolute Time Difference
BCCH	Broadcast Control Channel
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
C-plane	Control-plane
CBC	Cell Broadcast Center
CDMA	Code Division Multiple Access
CGALIES	Coordination Group on Access to Location Information by Emergency Services
CGI	Cell Global Identity
CEC	Commission of European Communities
Cell-ID	Cell Identification
CI	Cell Identifier
CN	Core Network
COO	Cell Of Origin
CPICH	Common Pilot Channel
CVB	Cumulative Virtual Banking
DCH	Dedicated Channel
DGPS	Differential GPS
DL	Downlink
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPCH	Dedicated Physical Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel

E-SMLC	Evolved-SMLC
EC	European Commission
ECR	Enhanced Call Routing
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference
EIRP	Effective Isotropically Radiated Power
E-UTRAN	Evoloved - UMTS Terrestrial Radio Access Network
FCC	Federal Communication Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FSHO	Forced Soft Handover
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GMLC	Gateway Mobile Location Center
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GTD	Geometric Time Difference
HLR	Home Location Register
IC	Interference Cancelation
IP	Internet Protocol
IPDL	Idle Period Downlink
ISM	Industrial, Scientific and Medical
KNN	K Nearest Neighbours
KWNN	K Weighted Nearest Neighbours
LB	Location Based
LBS	Location Based Services
LCS	Location Services
LMU	Location Measurement Unit
LOCUS	Location of Cellular Users for Emergency Services project
LOS	Line of Sight
LPP	LTE Positioning Protocol
LTE	Long Term Evolution
MME	Mobility Management Entity
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MT	Mobile Terminal
NLOS	Non Line of Sight
NN	Nearest Neighbour
NNSS	Nearest Neighbour in Signal Space

OTD	Observed Time Difference
OTDOA	Observed Time Difference of Arrival
OTDOA-IPDL	Observed Time Difference Of Arrival-Idle Period Downlink
P-GW	Packet GateWay
PE-IPDL	Positioning Elements Idle Period Downlink
PCPCH	Physical Common Packet Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PRS	Positioning Reference Signals
PS	Packet Scheduling
PSAP	Public Safety Answering Point
QoS	Quality Of Service
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RB	Resource Block
RFID	Radio Frequency IDentification
RNC	Radio Network Controller
RNP	Radio Network Planning
ROI	Return Of Investments
RP	Reference Point
RRM	Radio Resource Management
RSs	Reference Signals
RSCP	Received Signal Code Power
RSS	Received Signal Strength
RSTD	Reference Signal Time Difference
RTD	Real Time Difference
RTT	Round Trip Time
Rxlev	Received signal level
S-GW	Serving GateWay
SACCH	Slow Associated Control Channel
SAS	Standalone Serving Mobile Location Center
SC	Scrambling Code
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SfHO	Softer Handover
SFN	System Frame Number
SHO	Soft Handover
SLP	SUPL Location Platform
SMLC	Serving Mobile Location Center
SRNC	Serving Radio Network Controller
SRS	Sounding Reference Signal
SSD	Signal Space Distance
SUPL	Secure User Plane Location
TA	Timing Advance

TA-IPDL	Time Aligned Idle Period Downlink
TCH	Traffic Channel
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time of Arrival
TTFF	Time To First Fix
U-plane	User Plane
UE	User Equipment
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
U-TDOA	Uplink Time Difference of Arrival
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UWB	Ultra-Wideband
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network

1. Uvod

Radio mreže omogućavaju korisnicima jednu vrlo osobenu beneficiju koju ostale mreže ne mogu, a to je da budu mobilni. Sa funkcijom mobilnosti, ključni atribut postaje lokacija, pa određivanje lokacije korisnika u radio mrežama postaje glavno oruđe koje mobilnim korisnicima omogućava pravi servis, u pravo vreme i na pravom mestu.

Ideja o lociranju korisnika u radio mrežema počinje u okviru ćelijskih radio mreža. Nastala je u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) za potrebe 911 servisa, tj. servisa za hitne pozive. Razvojem ćelijskih radio sistema, porastao je i broj korisnika ovih sistema, pa samim tim i broj hitnih poziva koji su upućeni sa mobilnih stanica. Problem je bio pravovremeno reagovanje na ovakve pozive, obzirom na to da korisnik često nije znao svoju lokaciju. Zbog toga je američka federalna komisija za komunikacije, FCC (*Federal Communication Commission*), još 1996. godine napravila program u nekoliko faza kojim se operatori mobilne telefonije obavezuju da u predviđenom vremenskom intervalu u okviru svojih ćelijskih radio mreža obezbede automatsku identifikaciju lokacije korisnika koji sa mobilnih stanica koriste usluge servisa za hitne pozive [1]. Novi servis bezbednosti u okviru ćelijskiih radio mreža nazvan je *Enhanced* 911 (E-911). Osim bezbednosti, poznavanje lokacije korisnika u ćelijskim radio mrežama otvorilo je operatorima mobilne telefonije i velike komercijalne mogućnosti.

Danas, tj. dvadeset godina nakon prve ideje o lociranju korisnika u radio mrežama, situacija je takva da je najveći broj hitnih poziva upućen upravo sa mobilnih stanica, što je dokaz da se u to vreme krenulo u pravom smeru.

1.1. Izazovi u pozicioniranju

Bez obzira na aktuelnost, razvoj metoda za određivanje lokacije korisnika u radio sistemima bio je sporiji nego što se to očekivalo. U čemu je problem? Naime, pozicioniranje u radio sistemima je samo po sebi izazov jer imamo kako dinamičku prirodu korisnika (korisnik je mobilan) tako i dinamičku prirodu okruženja pa i samih radio signala. Sa druge strane, zahtevi za pozicioniranjem mobilnog korisnika stalno rastu kako usled samih korisnika tj. porasta broja aplikacija (servisa) koje se baziraju na informaciji o lokaciji, tako i regulatornih tela, pa i samih operatora.

Bez obzira od koga potiču, zahtevi se mogu sumirati u sledeće:

- tačnije i pouzdanije pozicioniranje za komercijalne i nekomercijalne servise
- smanjeno kašnjenje, odnosno, vreme od slanja zahteva za pozicioniranjem (*positioning request*) pa do dostavljanja informacije o lokaciji u odgovarajućem formatu (u formi teksta, npr. geografska širina i geografska dužina u željenom sistemu, mapa sa ucrtanim koordinatama, ...)

- pozicioniranje koje je nezavisno od vrste okruženja (podjednako dobro u ruralnom, suburbanom, urbanom, zatvorenom (*indoor*) okruženju...)
- pozicioniranje koje je prilagođeno kako različitim aplikacijama (*application-adaptive positioning*) tako i korisnicima (*user-adaptive positioning*)
- preciznije pozicioniranje za potrebe bezbednosti ljudi (servisi za hitne pozive).

Iz perspektive korisnika, prirodno je očekivati da će izabrani servis biti dostupan bez obzira gde se nalaze, kao i da li stoje ili se kreću. Takođe, korisnici očekuju isti nivo performansi servisa bilo da su u zatvorenom (*indoor*) okruženju (npr. u svojoj kući) ili otvorenom (*outdoor*) okruženju (ruralno, urbano, gusto urbano, suburbano, ...). Sa komercijalne perspektive, različite aplikacije zahtevaju različite nivoe tačnosti. Kako broj i raznovrsnost aplikacija raste a takođe i broj samih bežičnih uređaja, bilo bi dobro posebno optimizovati postupak pozicioniranja za svaki od zahteva. U tom smislu, smatra se da bi kombinacija različitih metoda pozicioniranja obezbedila najbolje rešenje.

Veliki problem u razvoju preciznog pozicioniranja u radio sistemima do sada predstavljaju dva oprečna zahteva: ostvarivanje zadovoljavajuće tačnosti određivanja lokacije sa što manje modifikacija postojeće mrežne infrastrukture i terminala. Rešenja koja obezbeđuju zadovoljavajuću tačnost u značajnoj meri povećavaju kompleksnost kako na nivou mreže tako i na nivou samih terminala. Istovremeno, popularne tehnike pozicioniranja koje se zasnivaju na identifikaciji najbliže ćelije u ćelijskim radio mrežama, jednostavne su za implementaciju ali nemaju zadovoljavajuću tačnost. Neke tehnike pozicioniranja lokaciju mobilne stanice određuju merenjem parametara signala kao što su vreme i/ili ugao, tj. baziraju se na primeni principa lateracije i/ili angulacije. Najčešće, metode koje se zasnivaju na merenju vremena prispeća signala sa više izvora poznatih koordinata i primenjuju princip lateracije pate od problema sinhronizacije, ukoliko mreža u kojoj se primenjuju nije sinhronizovana, što je često slučaj. Stoga, primena ovih metoda uslovljena je dodatnim hardverskim elementima na nivou mreže, i/ili modifikacijama postojećih mobilnih stanica. Metode koje se zasnivaju na merenju ugla prispeća signala sa više izvora poznatih koordinata i primenjuju princip angulacije, zahtevaju instalaciju antenskih nizova na nivou mreže, pa su takođe uslovljene dodatnim hardverskim elementima, odnosno, izmenama postojeće mrežne infrastrukture. Ove metode postaju popularne tek od sistema četvrte generacije (4G), gde su bazne stanice inicijalno opremljene ovakvim antenskim sistemima. Kako bi stekle funkcionalnost pozicioniranja, i mobilne stanice često zahtevaju barem softverske izmene, a nekada i hardverske i softverske što je npr. slučaj kod metoda pozicioniranja koje koriste satelitsku infrastrukturu, npr. GPS (*Global Positioning System*). Ipak, poslednjih godina ovaj problem je sve manji obzirom da sve veći broj mobilnih stanica ima implementiran GPS prijemnik.

U pokušaju postizanja zadovoljavajućih performansi servisa lociranja korisnika u radio sistemima, najveći problem predstavlja radio propagacija po višestrukim putanjama (*multipath*), propagacija u NLOS (*Non Line of Sight*) uslovima, tj. uslovima kada ne postoji direktna optička vidljivost, nedovoljan broj izvora poznatih koordinata u slučaju postupaka lateracije i/ili angulacije, nedovoljna rezolucija merenja na strani mreže i na strani terminala, kao i dugo trajanje merenja neophodnih parametara i ograničenost primene na određeni tip okruženja. Kad je reč o tipu okruženja, treba naglasiti aktuelnost razvoja metoda pozicioniranja u *indoor* uslovima, obzirom da se ispostavilo da je zadovoljavajuće tačnosti pozicioniranja najteže realizovati baš u unutrašnosti objekata. Problem je dodatno veći obzirom da