

Penelitian *Artificial Intelligence* untuk Satelit Komunikasi menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Tommy Jonathan Sinaga
Informatika, STIKOM Tunas Bangsa
Jl. Jendral Sudirman Blok A No.1,2,3 Pematangsiantar
tommyjonathansinaga@outlook.com

Abstract— Satellite Communications offers the promise of periodic continuous service in uncovered and covered areas, with service scalability. However, several issues must be addressed first to realize these benefits, such as resource management, network control, network security, spectrum management, and satellite energy usage are more difficult compared to terrestrial networks. Meanwhile, artificial intelligence (AI), which includes deep machine learning, and security learning continues to grow as a research field and has shown a wide range of results in various applications, including wireless communications. In particular, the application of AI to various aspects of satellite communications is showing excellent potential, including beam-hopping, anti-jamming, network traffic forecasting, channel modeling, telemetry mining, ionospheric scintillation detection, interference management, remote sensing, behavioral modeling, space-air-ground integration, and energy management. This work provides an overview of AI and its diverse sub-fields, and modern algorithms. Some of the problems encountered in various aspects of satellite communication systems are discussed, and proposed and potential AI-based solutions are presented. Finally, an outlook on the field is described, with future steps expected.

Intisari— Satelit Komunikasi menawarkan harapan berkelanjutan secara berkala pada layanan area yang belum dan sudah terjangkau, dengan skalabilitas layanan. Namun, beberapa masalah harus diatasi terlebih dahulu untuk merealisasikan manfaat ini, seperti manajemen sumber daya, kontrol jaringan, keamanan jaringan, manajemen spektrum, dan penggunaan energi satelit lebih sulit dibandingkan dengan jaringan terestrial. Sementara itu, kecerdasan buatan (AI), adalah termasuk pembelajaran mesin yang mendalam, dan pembelajaran keamanan terus berkembang, sebagai bidang penelitian dan telah menunjukkan hasil yang berbagai macam dalam berbagai aplikasi, termasuk komunikasi nirkabel. Secara khusus, penerapan AI pada berbagai aspek komunikasi satelit yang menunjukkan potensi sangat baik, termasuk *beam-hopping*, *anti-jamming*, peramalan lalu lintas jaringan, pemodelan saluran, penambangan telemetri, pendeteksian kilau ionosfer, pengelolaan interferensi, pengindraan jarak jauh, pemodelan perilaku, pengintegrasian ruang-udara-darat, dan pengelolaan energi. Karya ini memberikan gambaran umum tentang AI dan sub-bidangnya yang beragam, dan algoritma modern. Beberapa masalah yang dihadapi dalam berbagai aspek sistem komunikasi satelit yang dibahas, dan solusi berbasis kecerdasan buatan yang diusulkan dan solusi berbasis kecerdasan buatan yang potensial disuguhkan. Akhirnya, sebuah pandangan tentang bidang ini digambarkan, dengan langkah-langkah di masa depan yang diharapkan.

Kata Kunci— Penelitian Artificial Intelligence, Satelit Komunikasi, Jaringan Syaraf Tiruan.

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi luar biasa dari sistem komunikasi nirkabel sistem komunikasi, dengan cepat meningkatkan permintaan untuk layanan baru di berbagai bidang, dan cepat pengembangan perangkat cerdas telah menyebabkan meningkatnya permintaan akan sistem komunikasi satelit untuk melengkapi jaringan terestrial konvensional untuk memberikan akses ke daerah perkotaan, pedesaan, yang belum dan kurang terjangkau, dan daerah pegunungan, serta laut. Terdapat tiga jenis satelit utama, termasuk orbit bumi geostasioner, juga disebut sebagai satelit *Geostationary Earth Orbit (GEO)*, *Medium Earth Orbit (MEO)*, dan satelit *Low Earth Orbit (LEO)*. Klasifikasi ini bergantung pada tiga fitur utama, yaitu ketinggian, ukuran jejak pancaran, dan orbit. Satelit *GEO*, *MEO*, dan satelit *LEO* memiliki orbit mengelilingi bumi pada ketinggian 35.786, 7000-25.000, dan 300-1500 km, masing-masing. Jejak pancaran dari satelit *GEO* berkisar antara 200 hingga 3500 km; sedangkan satelit *MEO* atau *LEO* Jejak pancaran satelit *MEO* atau *LEO* berkisar antara 100 hingga 1000 km. Pembagian waktu orbit satelit *GEO* sama dengan siklus Bumi, yang membuatnya tampak tetap bagi perhatian di bumi, sedangkan satelit *LEO* dan *MEO* memiliki siklus yang lebih pendek, banyak satelit *LEO* dan *MEO* diperlukan untuk menawarkan cakupan global yang berkelanjutan. Untuk Sebagai contoh, Iridium *NEXT* memiliki 66 satelit *LEO* dan 6 komponen cadangan, Starlink oleh SpaceX berencana untuk memiliki 4425 satelit *LEO* ditambah beberapa komponen cadangan, dan *Satellite Constellation (O3b)* memiliki 20 satelit *MEO* termasuk 3 satelit yang mengorbitkan 3 komponen cadangan[1].

Kasus penggunaan komunikasi satelit juga dapat dibagi menjadi tiga kategori: (1) kontinuitas layanan, untuk menyediakan akses jaringan di atas area yang tidak tercakup dan kurang tercakup; (2) layanan dimana-mana, untuk meningkatkan ketersediaan jaringan dalam kasus gangguan sementara atau rusaknya jaringan darat karena bencana; dan (3) skala layanan, mengecilkan lalu lintas dari jaringan daratan. Selain itu, sistem komunikasi satelit dapat memberikan cakupan untuk berbagai bidang, seperti transportasi, energi, pertanian, bisnis, dan keamanan publik[2].

Meskipun komunikasi satelit menawarkan peningkatan cakupan *global* yang lebih baik dan peningkatan kualitas komunikasi, komunikasi satelit memiliki beberapa

tantangan. Satelit, terutama satelit *LEO* memiliki sumber daya *on-board* yang terbatas dan bergerak dengan cepat, membawa dinamika yang tinggi pada akses jaringan. Model untuk jaringan terestrial dapat memiliki kompleksitas komputasi; karena sumber daya komputasi sumber daya komputasi terbatas, model terestrial tidak cocok untuk satelit. Mobilitas yang tinggi dari segmen ruang angkasa, dan heterogenitas yang melekat antara lapisan satelit (*GEO*, *MEO*, *LEO*), lapisan lapisan udara (kendaraan udara tak berawak (*UAV*), balon udara, kapal udara), dan lapisan tanah membuat jaringan kontrol, keamanan jaringan, dan manajemen spektrum menantang. Mobilitas yang tinggi mengakibatkan seringnya terjadi *handoff*. Oleh karena itu, banyak peneliti yang berfokus pada manajemen *handoff* untuk komunikasi satelit. Dalam Selain itu, *handoff* yang sering terjadi membuat perutean yang aman lebih sulit untuk direalisasikan, sehingga membuatnya lebih rentan terhadap gangguan. Selain itu, mencapai efisiensi energi yang tinggi untuk komunikasi satelit lebih menantang daripada dibandingkan dengan jaringan terestrial.

Beberapa survei telah membahas berbagai aspek sistem komunikasi satelit, seperti skema *handoff*[3], sistem satelit bergerak[4], *multiple-input multiple-output (MIMO)* melalui satelit[5], satelit untuk internet hal-hal yang jauh[6], sistem komunikasi antar satelit[7], penyediaan kualitas layanan (*quality of service/QoS*)[8], komunikasi optik ruang angkasa[9], jaringan terintegrasi ruang angkasa-daratan[10], komunikasi satelit kecil[11], keamanan ruang angkasa secara fisik[12], komunikasi *CubeSat*[13], dan jaringan non-terestrial[2].

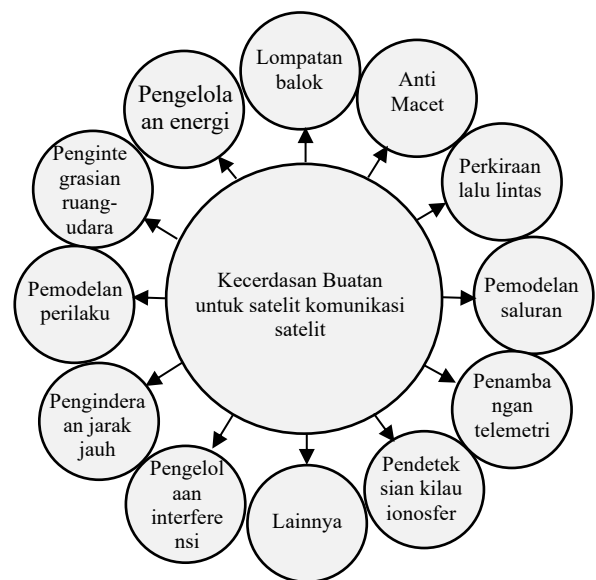
Sementara itu, minat terhadap kecerdasan buatan (*AI*) meningkat dalam beberapa tahun terakhir. *AI*, termasuk mesin *learning (ML)*, *deep learning (DL)*, dan *reinforcement pembelajaran (RL)*, telah menunjukkan hasil yang sukses dalam beragam dalam berbagai aplikasi di bidang sains dan teknik, seperti teknik elektro, rekayasa perangkat lunak, bioteknologi, dan rekayasa keuangan. Beberapa peneliti telah beralih ke teknik *AI* untuk memecahkan berbagai tantangan di bidangnya masing-masing dan telah merancang beragam aplikasi berbasis *AI* yang sukses, untuk mengatasi beberapa tantangan di bidang komunikasi nirkabel. bidang komunikasi nirkabel. Menyadari potensi dari kecerdasan buatan, terinspirasi dari aplikasi aplikasi *AI* yang sukses di bidang lain, dan memberikan kesulitan yang melekat pada satelit komunikasi, kami percaya bahwa *AI* dapat memainkan peran besar dalam optimalisasi beberapa aspek di bidang komunikasi satelit.

Beberapa telah membahas *AI* dan aplikasinya pada komunikasi nirkabel secara umum[14]. Beberapa lainnya berfokus pada penerapan *AI* pada salah satu aspek komunikasi nirkabel, seperti komunikasi nirkabel di *IoT*[15], manajemen jaringan, keamanan nirkabel[16], komunikasi robotika yang sedang berkembang, desain antena[17], dan jaringan *UAV*[18]. secara singkat membahas beberapa kasus penggunaan *AI* yang menjanjikan untuk komunikasi satelit, sedangkan Kato dkk. membahas penggunaan *AI* untuk jaringan yang terintegrasi dengan ruang angkasa. Penggunaan *DL* dalam aplikasi luar angkasa juga telah

dibahas [19].

Secara keseluruhan, beberapa peneliti telah membahas sistem komunikasi nirkabel dan sistem komunikasi satelit, dan beberapa dari ini telah membahas penggunaan *AI* untuk satu atau beberapa aspek komunikasi satelit; namun, sebuah survei ekstensif tentang aplikasi *AI* dalam berbagai aspek komunikasi satelit masih belum dilakukan.

Oleh karena itu, karya ini bertujuan untuk memberikan pengenalan untuk *AI*, sebuah diskusi tentang berbagai tantangan yang dihadapi yang dihadapi oleh komunikasi satelit dan survei ekstensif tentang aplikasi berbasis *AI* yang potensial untuk mengatasi tantangan tersebut. Tinjauan umum tentang *AI*, subbidangnya yang beragam, dan algoritmanya yang canggih disajikan disajikan di Bagian 2. Beberapa tantangan yang dihadapi oleh beragam aspek sistem komunikasi satelit, dan kemudian solusi berbasis *AI* yang potensial dibahas di Metode Penelitian; aplikasi-aplikasi ini dirangkum dalam Gambar. 1.



Gambar. 1. Aplikasi kecerdasan buatan untuk berbagai aspek komunikasi satelit.

Beberapa dari aplikasi ini khusus untuk satelit komunikasi seperti beam hopping (*BH*), telemetri pertambahan, pendeteksian kilau ionosfer, dan penginderaan jauh penginderaan jarak jauh (*RS*). Jaringan terintegrasi ruang-udara-darat (*SAGIN*) adalah aplikasi lain di mana jaringan satelit dan *non*-satelit diintegrasikan menggunakan *AI* untuk menawarkan layanan yang lebih fleksibel. Tabel 1 mengilustrasikan penerapan algoritma *AI* untuk memecahkan masalah komunikasi satelit yang berbeda. Untuk memudahkan referensi, akronim dan singkatan yang digunakan dalam karya ilmiah ini disajikan pada Tabel 2.

TABEL. I
BERBAGAI ALGORITMA AI DENGAN MASING-MASING

APLIKASI KOMUNIKASI SATELIT

Algoritma AI	Aplikasi komunikasi satelit
SVM	Peramalan lalu lintas jaringan, pemodelan saluran, penambahan telemetri, pendeteksian kilau ionosfer, mengelola interferensi, dan penginderaan jarak jauh.
Decision Tree	Pemodelan saluran, kilau ionosfer pendeteksian, dan penginderaan jauh.
CNN	Pemodelan saluran, penginderaan jauh, ruang-udara-darat pengintegrasian, pengoptimalan handoff, dan sinyal pembawa deteksi.
RNN	Anti-jamming, penambahan telemetri, pemodelan perilaku, dan pengoptimalan handoff.
AEs	Mengelola gangguan
RL	Lompatan balok, anti-jamming, mengelola gangguan, pemodelan perilaku, pengintegrasian ruang-udara-darat, dan pengelolaan energi

TABEL. II
SINGKATAN DAN KETERANGAN LENGKAP.

Singkatan	Keterangan Lengkap
AE	Autoencoder (Pembuat Enkode Otomatis)
AI	Artificial intelligence (Kecerdasan Buatan)
AJ	Anti-Jamming (anti-macet; menghambat atau mencegah gangguan elektronik)
ARIMA	Auto regressive integrated moving average (Rata-rata bergerak terintegrasi regresif otomatis)
BH	Beam hopping (transmisi data melalui satelit disesuaikan secara fleksibel)
ARMA	Auto regressive moving average (Rata-rata bergerak regresif otomatis)
CNN	Convolutional neural network (Jaringan saraf konvolusional)
DL	Deep learning (Pembelajaran mendalam)
DNN	Deep neural network (Jaringan saraf dalam)
DRL	Deep reinforcement learning (Pembelajaran penguatan mendalam)
ELM	Extreme learning machine (Mesin pembelajaran ekstrim)
EMD	Empirical mode decomposition (Dekomposisi mode empiris)
FARIMA	Fractional auto regressive integrated moving average (Rata-rata pergerakan terintegrasi regresif otomatis pecahan)
FCN	Fully convolutional network (Jaringan yang sepenuhnya konvolusional)
FDMA	Frequency division multiple access (Akses ganda pembagian frekuensi)
FH	Frequency hopping (Frekuensi melompat)
GH	Genetic algorithm (Algoritma genetika)
GANs	Generative adversarial networks (Jaringan permusuhan generatif)
GNSS	Global navigation satellite system (Sistem satelit navigasi global)
IoS	Internet of satellites (Internet satelit)
kNN	k-nearest neighbor (Algoritma k tetangga terdekat)

LRD	Long-range-dependence (Ketergantungan jangka panjang)
LSTM	Long short-term memory (Memori jangka pendek)
MDP	Markov decision process (Proses pengambilan keputusan Markov)
ML	Machine learning (Pembelajaran mesin)
MO-DRL	Multi-objective deep reinforcement learning (Pembelajaran penguatan mendalam multi-tujuan)
NNs	Neural networks (Jaringan saraf)
PCA	Principal component analysis (Analisis komponen utama)
QoS	Quality of service (Kualitas pelayanan)
RFs	Random forests (Hutan acak)
RL	Reinforcement learning (Pembelajaran penguatan)
RNNs	Recurrent neural networks (Jaringan saraf berulang)
RS	Remote sensing (Penginderaan jauh)
RSRP	Reference signal received power (Penginderaan jauh)
SAGINs	Space-air-ground integrated networks
SRD	Short range dependence (Jaringan terpadu ruang-udara-darat)
SVM	Support vector machine (Ketergantungan jangka pendek)
SVR	Support vector regression (Mendukung mesin vektor)
SatIoT	Satellite internet of things (Internet satelit untuk berbagai hal)
UE	User equipment (Peralatan pengguna)
VAEs	Variational autoencoders (Pembuat enkode otomatis yang bervariasi)

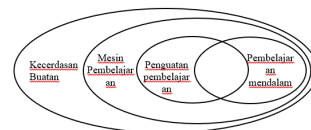
II. METODE PENELITIAN

A. Kecerdasan Buatan (AI)

Meskipun AI terdengar seperti pendekatan baru, itu bisa jadi ditelusuri hingga tahun 1950-an dan mencakup beberapa pendekatan dan paradigma. ML, DL, RL, dan persimpangannya semuanya merupakan bagian dari AI, seperti yang dirangkum dalam Gambar. 2[20]

B. Pembelajaran mesin (ML)

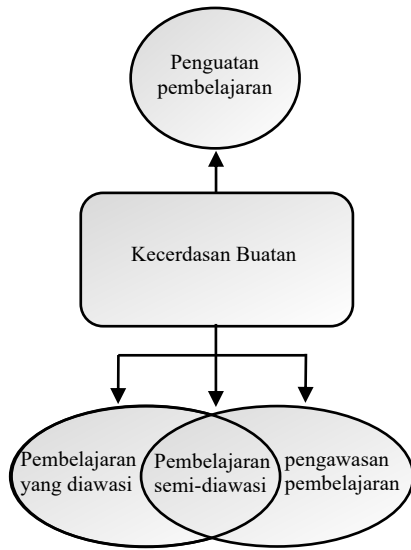
ML algoritma juga dapat diklasifikasikan sebagai kelas supervised, semi-supervised, unsupervised, dan RL, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3. Dalam subbagian ini, hanya non-RL dan non-deep Pendekatan ML ditangani; DL dan RL adalah dibahas dalam Bagian C dan D, masing-masing.



Gambar. 2. Hubungan kecerdasan buatan, mesin pembelajaran, pembelajaran mendalam, dan pembelajaran penguatan.

C. Pembelajaran yang diawasi, tidak diawasi, dan setengah diawasi

Pembelajaran semi-supervisi dengan demikian merupakan pilihan yang sangat baik ketika hanya sebagian kecil dari data yang diberi label dan / atau proses pelabelan sulit atau mahal. Contoh dari teknik ini adalah pelabelan semu, yang telah digunakan untuk meningkatkan pengawasan model-model[20].



Gambar. 3. Sub-bidang pembelajaran mesin.

D. Pemodelan probabilistik

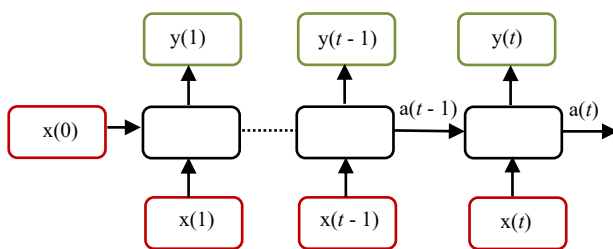
Pemodelan probabilistik, melibatkan model yang menggunakan teknik statistik untuk menganalisis data dan merupakan salah satu bentuk ML paling awal[21].

E. Mendukung mesin vektor

Metode kernel adalah kelas algoritma yang populer[22], [21]; dimana yang paling terkenal salah satunya adalah SVM, yang bertujuan untuk menemukan batas keputusan untuk mengklasifikasikan data masukan. [23].

F. Jaringan saraf berulang

RNN adalah khusus untuk memproses urutan nilai RN menggunakan memori internalnya untuk memproses urutan input dengan panjang variabel. Secara umum, RNN dirancang seperti pada Gambar. 4, di mana untuk setiap waktu mewakili masukan pada saat itu, adalah aktivasi, dan hasilnya.



Gambar. 4. Arsitektur sederhana dari saraf rekuren jaringan.

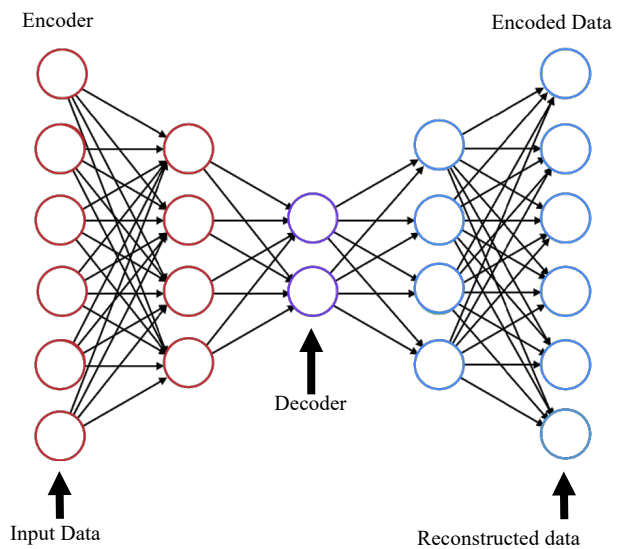
G. Pengode Otomatis

AEs mengkodekan data menggunakan teknik bottleneck, yang terdiri dari pengurangan dimensi untuk mengabaikan kebisingan dari data masukan dan regenerasi data awal dari data yang disandikan, seperti yang dirangkum dalam Gambar. 5. Awalnya input dan output yang dihasilkan kemudian dibandingkan untuk menilai kualitas pengkodean. AES telah diterapkan secara luas untuk pengurangan dimensi[24] dan anomali deteksi[25].

H. Model generatif yang mendalam

Model generatif yang mendalam[26] melibatkan otomatis menemukan dan mempelajari keteraturan dalam input data sedemikian rupa sehingga sampel baru dapat dihasilkan. Model-model ini telah menunjukkan berbagai aplikasi, terutama di bidang visi komputer. Yang paling banyak model generatif yang populer adalah AE variasional (VAEs) dan jaringan permusuhan generatif (GAN). Dari jumlah tersebut, VAs mempelajari distribusi data yang rumit menggunakan NNS tanpa pengawasan [27]. Meskipun VAEs adalah tipe dari AES, distribusi pengkodeannya diatur selama pelatihan untuk memastikan bahwa ruang laten mereka (mis., representasi data terkompresi) memiliki sifat yang baik untuk menghasilkan data baru.

GANs dari dua NN dalam kompetisi, di mana jaringan generator G belajar menangkap data distribusi dan hasilkan data baru dan diskriminator model D memperkirakan probabilitas bahwa sampel yang diberikan berasal dari generator daripada pelatihan awal datasheet[28], [29]. Generator dengan demikian digunakan untuk menghasilkan sampel yang menyesatkan dan untuk memverifikasi bahwa diskriminator dapat menentukan apakah sampel yang diberikan asli atau palsu.

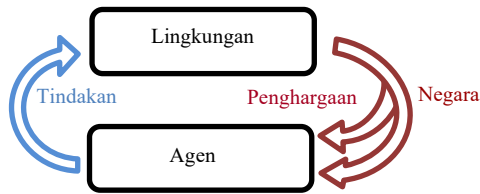


Gambar. 5. Autoencoder yang mempelajari representasi data, dengan melatih jaringan untuk mengurangi dimensi input dan kemudian merekonstruksi data awal dari data yang disandikan.

I. Pembelajaran penguatan

RL adalah tentang mempelajari apa yang tindakan yang harus diambil dengan harapan memaksimalkan sinyal penghargaan, yang merupakan hadiah numerik yang

mengkodekan keberhasilan suatu hasil tindakan. Agen harus menemukan tindakan mana yang berikan imbalan paling banyak dengan mencoba setiap tindakan, seperti ditunjukkan pada Gambar. 6. Tindakan ini dapat mempengaruhi langsung hadiah serta hadiah berikutnya. Beberapa *RL* pendekatan membutuhkan pengenalan *DL*; seperti pendekatan adalah bagian dari *deep RL (DRL)*.



Gambar. 6. Skenario pembelajaran penguatan: Seorang agen mengambil tindakan dan menerima umpan balik dari lingkungan

Dalam *RL*, pembelajaran melibatkan agen yang menentukan metode terbaik untuk memetakan status lingkungan ke tindakan untuk diambil saat berada di negara bagian tersebut[30].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan model

AI adalah bidang luas yang mencakup berbagai bidang pendekatan, yang masing-masing mencakup beberapa algoritma. Pembelajaran ini dapat diawasi, semi-supervised, unsupervised, atau reinforcement learning; dalam masing-masing kategori pembelajaran ini bisa mendalam atau dangkal. Namun, ini Lingkungan Agen Status Penghargaan Tindakan Gambar. 6 Skenario pembelajaran penguatan Kecerdasan buatan untuk komunikasi satelit tidak selalu demikian, karena data bisa mahal, sulit atau bahkan tidak mungkin. Regularisasi model

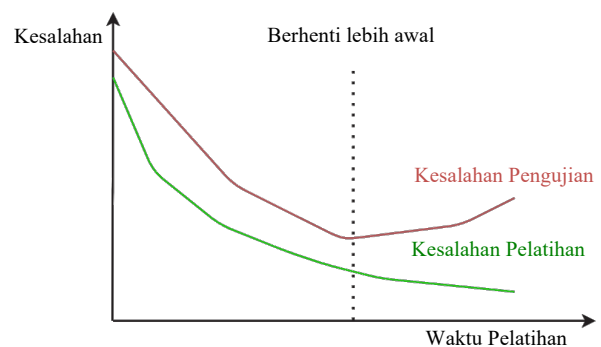
Perangkap umum dalam *ML* adalah *overfitting*, di mana mesin berhenti belajar (menggeneralisasi) dan sebaliknya mulai menghafal data. Ketika ini terjadi, model dapat mencapai hasil yang baik pada data yang dilihat tetapi gagal ketika dihadapkan dengan data baru, yaitu, penurunan kesalahan pelatihan dan kesalahan pengujian yang meningkat, seperti yang ditunjukkan pada gambar Gambar. 7. *Overfitting* dapat ditemukan dengan memisahkan data ke dalam set pelatihan, validasi, dan pengujian, di mana baik validasi maupun set pengujian tidak digunakan untuk latih modelnya. Set pelatihan digunakan untuk melatih model, kumpulan validasi digunakan untuk memverifikasi model prediksi pada data yang tidak terlihat dan untuk hyperparameter tuning, dan set pengujian digunakan untuk pengujian akhir modelnya.

Berbagai metode dapat digunakan untuk mengurangi *overfitting*. Itu dapat dikurangi dengan menambah ukuran kumpulan data, yang biasanya dilakukan di lapangan dari visi komputer. Misalnya, data gambar dapat berupa ditambah dengan menerapkan transformasi pada gambar, seperti memutar, membalik, menambah kebisingan, atau memotong bagian dari gambar. Meskipun bermanfaat, teknik ini tidak selalu bisa diterapkan. Metode lain melibatkan penggunaan validasi silang daripada membagi data menjadi beberapa bagian set pelatihan dan set validasi. Berhenti lebih awal,

seperti ditunjukkan pada Gambar. 7, terdiri dari penghentian pembelajaran proses sebelum algoritma mulai menghafal data. Pembelajaran ansambel, yang merupakan proses dimana berbagai model, dibuat dengan cerdas dan digabungkan menjadi memecahkan masalah tertentu, juga umum digunakan.

B. Keinginan dan Harapan

Kemajuan pesat telah dicapai dalam penelitian *AI*, termasuk berbagai subbidang, selama sepuluh tahun terakhir sebagai hasil dari investasi yang meningkat secara eksponensial. Meskipun beberapa orang tidak dapat melihat potensi, konsekuensi, dan relevansi *AI* yang sebenarnya, hal itu akan terjadi menjadi bagian integral dari teknologi global. penulis percaya bahwa kemajuan *AI* yang tak terhindarkan adalah kemungkinan akan berdampak jangka panjang dan *AI* kemungkinan besar akan berdampak menjadi bagian utama dari beragam aplikasi di semua bidang ilmiah, dari matematika hingga satelit komunikasi.

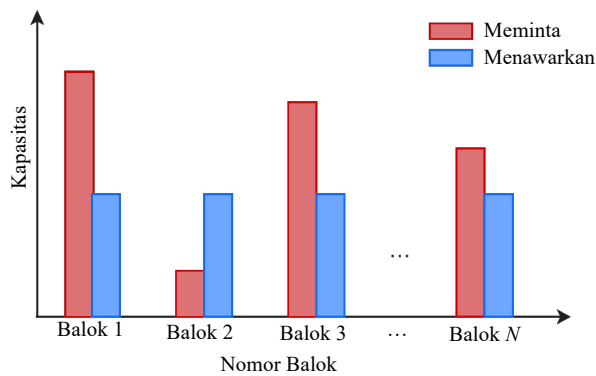


Gambar. 7. Kesalahan pelatihan dan pengujian selama waktu pelatihan. Penghentian dini adalah teknik umum untuk mengurangi overfitting dengan menghentikan proses pelatihan pada tahap awal, yaitu ketika kesalahan pengujian mulai meningkat pesat.

C. Lompatan balok

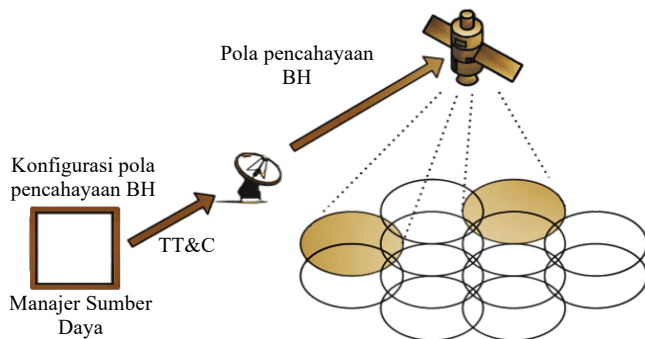
1. Definisi & batasan

Sumber daya satelit mahal dan karenanya membutuhkan sistem efisien yang melibatkan pengoptimalan dan pembagian waktu. Dalam sistem satelit konvensional sumber daya diperbaiki dan didistribusikan secara merata di seluruh balok. Akibatnya, satelit multi-balok besar konvensional sistem telah menunjukkan ketidaksesuaian antara yang ditawarkan dan sumber daya yang diminta; beberapa balok titik memiliki permintaan yang lebih tinggi dari kapasitas yang ditawarkan, meninggalkan permintaan tertunda (yaitu, *hot-spot*), sementara yang lain menyajikan permintaan lebih rendah dari kapasitas terpasang, meninggalkan kapasitas yang ditawarkan tidak digunakan (yaitu, titik dingin, sebagai diringkas dalam Gambar. 8). Dengan demikian, untuk meningkatkan multi-balok komunikasi satelit, fleksibel *on-board* alokasi sumber daya satelit di atas area jangkauan layanan diperlukan untuk mencapai efisiensi yang lebih efisien komunikasi satelit.



Gambar. 8. Ketidakesesuaian kapasitas permintaan di antara balok, yang menunjukkan batasan penggunaan yang tetap dan seragam sumber daya terdistribusi di semua balok dalam multi-balok sistem satelit.

BH telah muncul sebagai teknik yang menjanjikan untuk dicapai fleksibilitas yang lebih besar dalam mengelola varian dan varian yang tidak seragam permintaan lalu lintas sepanjang hari, tahun, dan masa pakai dari satelit di atas area jangkauan. *BH*, melibatkan menerangi setiap sel secara dinamis dengan sejumlah kecil berkas aktif, seperti yang dirangkum dalam Gambar. 9., dengan demikian menggunakan semua satelit terpasang yang tersedia sumber daya untuk menawarkan layanan hanya pada sebagian balok.



Gambar. 9. Arsitektur lompatan balok (BH) yang disederhanakan. TT & C mewakili telemetri, pelacakan, dan perintah.

D. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)

Beberapa solusi ini telah sepenuhnya didasarkan pada pendekatan pembelajaran, yaitu, ujung ke ujung pembelajaran, dimana algoritma *BH* merupakan pembelajaran algoritma. Yang lain telah mencoba meningkatkan pengoptimalan algoritma dengan menambahkan lapisan pembelajaran, sehingga menggabungkan pembelajaran dan optimalisasi.

Untuk mengoptimalkan penundaan transmisi dan sistem *throughput* dalam sistem satelit *multibeam*. Merumuskan masalah optimasi dan memodelkannya sebagai proses keputusan Markov (*MDP*). *DRL* kemudian digunakan untuk menyelesaikan desain iluminasi *BH* dan optimalkan akumulasi imbalan jangka panjang dari *MDP* yang dimodelkan. Hasilnya, algoritma *BH* berbasis *DRL* yang diusulkan dapat mengurangi penundaan transmisi hingga 52,2% dan meningkatkan *throughput* sistem hingga 11,4% saat dibandingkan dengan algoritma sebelumnya.

E. Anti-gangguan

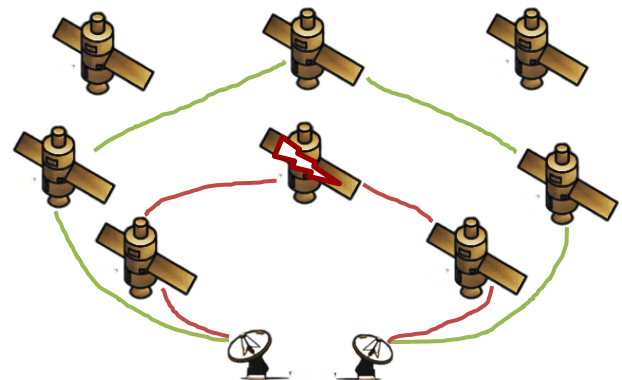
1. Definisi & batasan

Sistem komunikasi satelit diperlukan untuk mencakup area yang luas, dan menyediakan komunikasi berkecepatan tinggi, dan transmisi berkapasitas tinggi. Namun, secara taktis sistem komunikasi menggunakan satelit, keandalan, dan keamanan adalah perhatian utama; oleh karena itu, kemampuan anti jamming (*AJ*) sangat penting. Serangan kemacetan dapat diluncurkan ke lokasi utama dan krusial perangkat dalam jaringan satelit untuk mengurangi atau bahkan melumpuhkan *throughput*. Beberapa metode *AJ* memiliki demikian telah dirancang untuk mengurangi kemungkinan serangan dan menjamin komunikasi satelit yang aman.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)

Dengan menggunakan jaringan long short-term memory (*LSTM*), yang merupakan *DL RNN*, untuk mempelajari tren temporal dari sinyal, menunjukkan pengurangan secara keseluruhan waktu sinkronisasi dalam skenario *FHFDMA* yang telah dibahas sebelumnya.

Dalam komunikasi seluler, perangkat seluler dapat mencapai, menggunakan *RL*, kebijakan komunikasi yang optimal tanpa harus mengetahui jamming dan radionya model saluran dalam kerangka permainan dinamis.



Gambar. 10. Perutean anti-jamming (*AJ*) berbasis ruang. Merah garis mewakili jalur macet yang ditemukan, dan jalur hijau mewakili jalur yang disarankan[31]

Kemudian menggabungkan pemodelan teori permainan dan *RL* untuk mendapatkan kebijakan *AJ* sesuai dengan lingkungan gangguan yang dinamis dan tidak diketahui di *satelliteenabled army IoT (SatIoT)*. Di sini, permainan formasi koalisi *AJ* dinamis terdistribusi diperiksa untuk mengurangi penggunaan energi di lingkungan pengacau, dan permainan hierarki *AJ Stackelberg* diusulkan untuk mengekspresikan interaksi konfrontatif antara pengacau dan perangkat *SatIoT*. Akhirnya, algoritma berbasis *Q-Learning* digunakan untuk mendapatkan kebijakan *AJ* yang kurang optimal sesuai dengan lingkungan kemacetan.

F. Prakiraan lalu lintas jaringan

1. Definisi & batasan

Beberapa peneliti telah melakukan lalu lintas prakiraan untuk jaringan terestrial dan satelit; teknik-teknik ini termasuk Markov, rata-rata pergerakan autoregresif (*ARMA*), rata-rata bergerak terintegrasi autoregresif (*ARIMA*), dan pecahan *ARINA (FARIMA)* model. Dengan menggunakan dekomposisi mode empiris (*EMD*) untuk menguraikan lalu

lintas jaringan dan kemudian menerapkan model peramalan *ARMA*, Gao dkk. menunjukkan peningkatan yang luar biasa.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (*AI*)

Gabungan *FARIMA* dengan *NNs* untuk peramalan lalu lintas internet, sedangkan menggabungkan evolusi diferensial dengan *NNs* untuk prediksi lalu lintas jaringan.

G. *Pemodelan saluran*

1. Definisi & batasan

Saluran nirkabel menghadirkan berbagai tantangan untuk komunikasi berkecepatan tinggi yang andal, karena merupakan 224 Jaringan Cerdas dan Terkonvergensi, 2021, 2(3): 213-244 rentan terhadap kebisingan, gangguan, dan hambatan saluran lainnya, termasuk kehilangan jalur dan bayangan. Dari jumlah tersebut, kehilangan jalur disebabkan oleh pemborosan daya yang dipancarkan oleh pemancar dan efek saluran propagasi, sedangkan bayangan disebabkan oleh hambatan antara penerima dan pemancar yang menyerap daya.

Ray tracing digunakan untuk pemodelan saluran, yang membutuhkan gambar 3D yang umumnya dihasilkan menggunakan metode visi komputer termasuk berbasis visi stereo estimasi kedalaman.

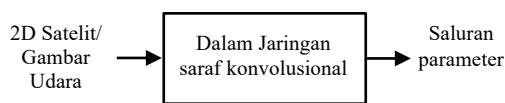
Meskipun kinerja yang memuaskan dari beberapa teknik yang terdaftar, mereka masih memiliki banyak keterbatasan. Untuk contoh, gambar 3D yang dibutuhkan oleh *ray tracing* tidak tersedia secara umum dan generasinya tidak efisien secara komputasi.

H. *Penambangan telemetri*

1. Definisi & batasan

Telemetri adalah proses merekam dan mentransfer pengukuran untuk kontrol dan pemantauan.

Kegagalan satelit dapat disebabkan oleh berbagai hal; paling umum, kegagalan disebabkan oleh kekerasan lingkungan ruang, yaitu panas, vakum, dan radiasi. Lingkungan radiasi dapat mempengaruhi kritis komponen satelit, termasuk komunikasi sistem dan catu daya.



Gambar. 11. Prediksi parameter saluran. 2D satelit / gambar udara digunakan sebagai masukan untuk *deep convolutional neural* jaringan (*CNN*) untuk memprediksi parameter saluran. Modelnya adalah dilatih secara terpisah untuk setiap parameter.

Pemrosesan telemetri memungkinkan pelacakan perilaku satelit untuk mendeteksi dan meminimalkan risiko kegagalan. Dengan mengolah beberapa fitur yang berhubungan dengan satelit (mis., suhu, tegangan, dan arus), menemukan korelasi, mengenali pola, mendeteksi anomali, klasifikasi, peramalan, dan pengelompokan diterapkan pada data yang diperoleh untuk diagnosis kesalahan dan dapat diandalkan pemantauan satelit.

Salah satu teknik paling awal dan paling sederhana yang digunakan dalam analisis telemetri adalah pemeriksaan batas. Metodenya adalah berdasarkan pengaturan rentang yang tepat untuk setiap fitur, dan kemudian pantau varians masing-masing fitur untuk mendeteksi acara di luar jangkauan. Keuntungan utama dari ini algoritma adalah batas

kesederhanaannya, seperti yang dapat dipilih dan diperbarui dengan mudah untuk mengontrol pengoperasian pesawat ruang angkasa.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (*AI*)

Selanjutnya, asisten fungsi ruang lebih jauh dikembangkan dalam berbagai aplikasi luar angkasa menggunakan *datadriven* dan berbasis model metode pemantauan. Dalam studi mereka tentang penggunaan *AI* untuk diagnosis kesalahan di umum dan untuk pemanfaatan ruang, Sun dkk. diperdebatkan bahwa arah yang paling menjanjikan adalah penggunaan *DL*; menyarankan penggunaannya untuk diagnosis kesalahan untuk ruang pemanfaatan di Cina.

I. *Pendeteksian kilau ionosfer*

1. Definisi & batasan

Transmisi sinyal oleh satelit ke arah bumi dapat terutama terkena dampak karena penyebarannya melalui atmosfer, terutama ionosfer, yang merupakan bagian terionisasi dari lapisan atmosfer yang lebih tinggi, dan dibedakan oleh kepadatan elektron bebas yang tinggi (Gambar. 12). Potensi penyimpangan dan gradien ionisasi dapat mendistorsi fase dan amplitudo sinyal, dalam sebuah proses yang dikenal sebagai kilau ionosfer.



Gambar. 12. Representasi kilau ionosfer, di mana distorsi terjadi selama perambatan sinyal. Biru, hijau, dan garis merah menunjukkan jalur sinyal garis pandang dari satelit ke antenna bumi, fluktuasi sinyal, dan penundaan sinyal, masing-masing.

Secara khusus, propagasi melalui ionosfer dapat menyebabkan distorsi sistem satelit navigasi global (*GNSS*), yang menyebabkan kesalahan signifikan dalam aplikasi berbasis *GNSS*. *GNSS* adalah sistem satelit komunikasi radio yang memungkinkan pengguna untuk hitung waktu, kecepatan, dan posisi setempat dalam waktu apa pun tempatkan di bumi dengan memproses sinyal yang ditransfer dari satelit dan melakukan trilaterasi. *GNSSs* juga dapat digunakan dalam berbagai macam aplikasi, seperti pengamatan ilmiah.

Karena daya gelombang *GNSS* yang diterima rendah, setiap kesalahan secara signifikan mengancam keakuratan dan kredibilitas sistem penentuan posisi. Sinyal *GNSS* merambat melalui ionosfer menghadapi kemungkinan baik penundaan temporal maupun kilau. Meskipun metode kompensasi penundaan diterapkan ke semua *GNSS* penerima, kilau masih menjadi masalah yang cukup besar, karena sifatnya yang semi-acak membuatnya sulit untuk model. Kilau ionosfer dengan demikian tetap menjadi batasan utama untuk aplikasi akurasi tinggi *GNSS*. Deteksi

kilau yang akurat dengan demikian diperlukan untuk meningkatkan kredibilitas dan kualitas GNSS. Untuk mengamati sinyal, yang merupakan sumber pengetahuan untuk menafsirkan dan memodelkan atmosfer lapisan yang lebih tinggi, dan untuk meningkatkan kewaspadaan dan mengambil penanggulangan untuk aplikasi berbasis GNSS, jaringan penerima GNSS, telah dipasang, keduanya pada garis lintang tinggi dan rendah, di mana kilau berada diperkirakan akan terjadi. Penerima yang kuat dan tepat algoritma untuk algoritma pendeteksi kilau adalah jadi keduanya diperlukan.

Untuk mengevaluasi besarnya kilau yang berdampak sebuah sinyal, banyak peneliti telah menggunakan peristiwa sederhana pemicu, berdasarkan perbandingan amplitudo dan fase dua sinyal selama interval yang ditentukan. Lainnya alternatif yang diusulkan, termasuk menggunakan wavelet teknik, menguraikan pembawa menjadi kebisingan proposisi daya kepadatan melalui waktu frekuensi adaptif teknik, dan menilai statistik histogram properti sampel yang dikumpulkan.

Menggunakan ambang batas standar sederhana untuk mengevaluasi besarnya kilau bisa menipu karena sifatnya kompleksitas. Hilangnya fase transien peristiwa dapat menyebabkan penundaan dalam menaikkan kemungkinan tanda peringatan, dan peristiwa lemah dengan varian tinggi bisa terlewatkan. Selanjutnya, mungkin sulit untuk membedakan antara sinyal distorsi yang disebabkan oleh fenomena lain, antara lain multi-jalur. Namun, alternatif lain yang diusulkan bergantung pada kompleks dan mahal secara komputasi operasi atau pada arsitektur penerima yang disesuaikan.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)

Baru-baru ini, penelitian telah membuktikan bahwa AI dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kilau. Misalnya, Rezende dkk. mengusulkan survei metode penambangan data, yang mengandalkan pengamatan dan integrasi penerima GNSS.

Sebuah teknik yang didasarkan pada algoritma SVM telah dikembangkan disarankan untuk deteksi kilau amplitudo, dan kemudian berkembang menjadi fase kilau deteksi.

Dengan menggunakan pohon keputusan dan RF untuk secara sistematis mendeteksi peristiwa kilau ionosfer yang berdampak pada amplitudo sinyal GNSS, metodologinya diusulkan oleh Linty dkk. mengungguli metodologi state-of-the-art dalam hal akurasi (99,7%) dan Skor F (99,4%), sehingga mencapai level manual anotasi yang digerakkan oleh manusia.

J. Manajemen interferensi

1. Definisi & batasan

Pengelolaan interferensi sangat penting untuk melestarikan sistem komunikasi berkualitas tinggi dan andal; manajemen meliputi deteksi, klasifikasi, dan penindasan gangguan, serta penerapan teknik untuk meminimalkan kemunculannya.

Deteksi interferensi adalah subjek yang dipelajari dengan baik yang telah ditangani dalam beberapa dekade terakhir, khusus untuk komunikasi satelit.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)

Untuk meminimalkan gangguan, Liu dkk. menyarankan penggunaan AI untuk memindahkan terminal dan stasiun di jaringan terestrial satelit dengan mengusulkan kerangka kerja menggabungkan pendekatan AI yang berbeda termasuk SVM, pembelajaran tanpa pengawasan, dan DRL untuk pemilihan satelit, penunjuk antena, dan pelacakan.

Hinarejos dkk. mengusulkan penggunaan dua pendekatan berbasis AI, DNN AEs dan LSTM, masing-masing untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan interferensi. Yang pertama, AE dilatih dengan sinyal bebas interferensi dan diuji terhadap sinyal lain tanpa interferensi untuk mendapatkan ambang praktis. Perbedaan kesalahan pada sinyal dengan dan tanpa interferensi kemudian dimanfaatkan untuk mendeteksi adanya interferensi.

K. Penginderaan jauh

1. Definisi & batasan

RS adalah proses penggalian informasi tentang suatu area, objek, atau fenomena dengan memproses pantulannya dan memancarkan radiasi pada jarak tertentu, umumnya dari satelit atau pesawat terbang.

RS memiliki berbagai aplikasi di berbagai bidang termasuk survei tanah, geografi, geologi, ekologi, meteorologi, oseanografi, militer, dan komunikasi. RS menawarkan kemungkinan untuk memantau area yang berbahaya, sulit atau tidak mungkin diakses, termasuk pegunungan, hutan, lautan, dan gletser, ini adalah penelitian yang populer dan aktif area.

2. Definisi & batasan

Revolusi dalam kemampuan visi komputer menyebabkan oleh DL telah menyebabkan peningkatan pengembangan RS oleh mengadopsi algoritma DL mutakhir pada satelit gambar, klasifikasi gambar untuk RS telah menjadi yang paling banyak tugas populer dalam visi komputer. Baru-baru ini, Li dkk. mengusulkan kombinasi kNN dan CNN untuk memetakan habitat laut terumbu karang di seluruh dunia dengan pencitraan RS. RS dan AI juga telah digunakan dalam komunikasi aplikasi teori, seperti yang dibahas di Bagian III.H.

Dengan membandingkan penggunaan RF, NNs, dan SVM untuk pendekatan pembelajaran sebelumnya dan pendekatan berbasis non-pembelajaran, Lu dkk. menunjukkan bahwa RF meningkatkan kedua kualitas solusi dan waktu respons.

L. Pemodelan perilaku

1. Definisi & batasan

Karena meningkatnya jumlah orang yang aktif dan tidak aktif (puing-puing) satelit dengan beragam orbit, bentuk, ukuran, 228 Jaringan Cerdas dan Terkonvergensi, 2021, 2(3): 213-244 orientasi, dan fungsi, menjadi tidak layak bagi analis untuk memantau semua satelit secara bersamaan. Oleh karena itu, AI, khususnya ML, dapat memainkan peran utama dengan membantu mengotomatiskan proses ini.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)

Mital dkk. membahas potensi ML algoritma untuk memodelkan perilaku satelit. Diawasi model telah digunakan untuk menentukan satelit stabilitas, sedangkan model yang tidak diawasi telah digunakan untuk mendeteksi perilaku anomali dan satelit' lokasi, dan RNN telah digunakan untuk memprediksi manuver satelit dari waktu ke waktu.

Yadava dkk. menggunakan *NNS* dan *RL* untuk penentuan dan kontrol sikap *onboard*; metode mereka secara efektif memberikan torsi yang dibutuhkan untuk menstabilkan satelit nano di sepanjang tiga sumbu.

Untuk menghindari peristiwa bencana karena kegagalan baterai, Ahmed dkk. mengembangkan sistem estimasi masa pakai baterai yang tersisa menggunakan *ML* dan analisis logis dari pendekatan data.

M. Integrasi ruang-udara-darat

1. Definisi & batasan

Baru-baru ini, kemajuan penting telah dibuat dalam sistem komunikasi darat untuk menyediakan akses internet berkualitas lebih tinggi kepada pengguna. Namun demikian, karena keterbatasan kapasitas dan area jangkauan jaringan, layanan seperti itu tidak dapat dilakukan di mana-mana setiap saat, terutama bagi pengguna di pedesaan atau daerah bencana.

Meskipun jaringan terestrial memiliki paling banyak sumber daya dan throughput tertinggi, *non-terestrial* sistem komunikasi memiliki cakupan yang jauh lebih luas area. Namun, jaringan *non-terestrial* memiliki jaringannya sendiri keterbatasan; misalnya, sistem komunikasi satelit memiliki latensi propagasi yang panjang, dan jaringan udara memiliki kapasitas sempit dan tautan tidak stabil.

Untuk menyediakan layanan ujung ke ujung yang lebih baik dan lebih fleksibel kepada pengguna dengan memanfaatkan cara jaringan dapat saling melengkapi, para peneliti telah menyarankan penggunaan *Sagin*, yang meliputi satelit di luar angkasa, balon, kapal udara, *UAV* di udara, dan segmen tanah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 13.

Sistem komunikasi satelit berlapis-lapis yang terdiri dari satelit *GEO*, *MEO*, dan *LEO*, dapat gunakan metode multicast dan broadcast untuk memperbaiki kapasitas jaringan, yang sangat memudahkan penambahan beban lalu lintas. Saat *SAGIN* mengizinkan paket transmisi ke tujuan melalui beberapa jalur kualitas yang beragam, mereka dapat menawarkan paket yang berbeda metode transmisi untuk menemukan layanan yang beragam tuntutan.

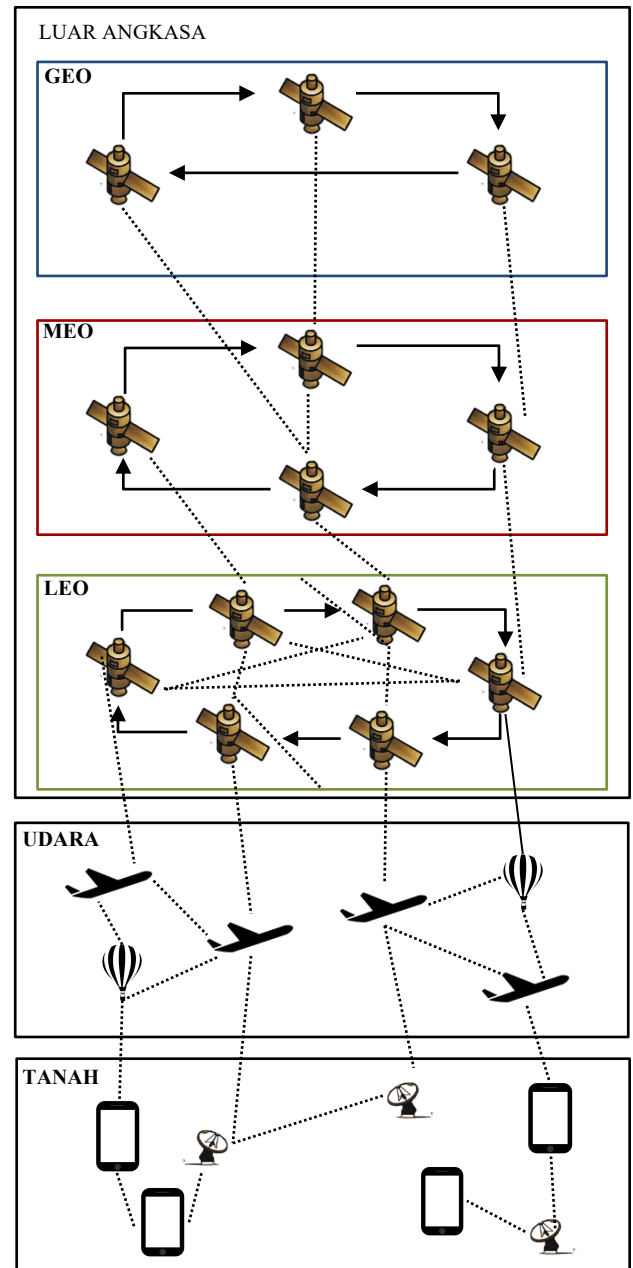
Namun, desain dan optimalisasi Rambu adalah lebih menantang daripada tanah konvensional sistem komunikasi karena pemaksaan diri yang melekat, variabilitas waktu, dan heterogenitasnya. Berbagai faktor yang harus diperhatikan ketika merancang teknik optimasi dengan demikian telah diidentifikasi. Misalnya, penyebaran yang beragam media, pembagian pita frekuensi dengan cara yang berbeda jenis komunikasi, mobilitas ruang yang tinggi dan segmen udara, dan heterogenitas yang melekat di antara ketiga segmen tersebut, buat kontrol jaringan dan manajemen spektrum *SAGINs* sulit. Mobilitas yang tinggi mengakibatkan seringnya penyerahan, yang membuat perutean yang aman menjadi lebih sulit untuk direalisasikan, sehingga membuat *SAGIN* lebih rentan macet. Selanjutnya, sebagai mengoptimalkan efisiensi energi juga lebih menantang daripada di jaringan terestrial standar, algoritma manajemen energi juga diperlukan.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)

Dalam diskusi mereka tentang tantangan yang dihadapi Tanda, Kato dkk. mengusulkan penggunaan *CNN* untuk masalah perutean untuk mengoptimalkan kinerja *SAGIN*

secara keseluruhan menggunakan pola lalu lintas dan ukuran *buffer* yang tersisa Satelit *GEO* dan *MEO*.

Mengoptimalkan pemilihan satelit dan *UAV* lokasi untuk mengoptimalkan kecepatan data ujung ke ujung komunikasi sumber-satelit-*UAV*-tujuan adalah menantang karena jumlah satelit yang mengorbit sangat banyak dan arsitektur jaringan yang berubah-ubah waktu berikut. Untuk mengatasi masalah ini, Lee dkk. bersama-sama mengoptimalkan asosiasi sumber-satelit-*UAV* dan lokasi *UAV* melalui *DRL*. Saran mereka teknik mencapai rata-rata hingga 5,74 kali lebih tinggi kecepatan data daripada garis dasar komunikasi langsung di tidak adanya *UAV* dan satelit.



Gambar. 13. Jaringan terintegrasi luar angkasa-udara-darat (Rambu).

Di sini, alokasi sumber daya bersama dan pendekatan penjadwalan tugas digunakan untuk mengalokasikan sumber daya komputasi untuk mesin virtual dan jadwal tugas yang dibongkar untuk *server edge UAV*, sedangkan sebuah

Pendekatan pembongkaran komputasi berbasis *RL* menangani sumber daya *SAGINs* multidimensi dan mempelajari kondisi jaringan dinamis. Di sini, sumber daya bersama pendekatan alokasi dan penjadwalan tugas digunakan untuk menetapkan sumber daya komputasi ke mesin virtual dan rencanakan fungsi yang dibongkar untuk *server edge UAV*, sedangkan pendekatan pembongkaran komputasi berbasis *RL* menangani sumber daya *SAGINs* multidimensi dan mempelajari karakteristik jaringan dinamis. Simulasi hasil mengkonfirmasi efisiensi dan konvergensi teknik yang disarankan.

Karena jaringan multi-layer yang heterogen membutuhkan teknik manajemen kapasitas tingkat lanjut, Jiang dan Zhu menyarankan teknik kompleksitas rendah untuk menghitung kapasitas antar satelit, menggunakan waktu metode pencarian jalur augmentasi berbasis struktur, dan menyarankan penetapan kapasitas optimal jangka panjang Model berbasis *RL* untuk memaksimalkan utilitas jangka panjang sistem.

Dengan merumuskan penugasan sumber daya bersama masalah sebagai masalah optimasi bersama dan menggunakan Pendekatan *DRL*, Qiu dkk. mengusulkan jaringan satelit-terestrial yang ditentukan perangkat lunak untuk dikelola bersama caching, jaringan, dan sumber daya komputasi.

N. Manajemen energi

1. Definisi & batasan

Kemajuan terbaru dalam hubungan antara tanah, jaringan udara, dan satelit seperti Rambu-rambu telah meningkatkan permintaan yang dikenakan pada satelit jaringan komunikasi. Perhatian yang berkembang ini menuju satelit telah menyebabkan peningkatan energi persyaratan konsumsi. *Satellite energy* manajemen dengan demikian mewakili topik penelitian yang hangat untuk pengembangan lebih lanjut dari komunikasi satelit.

2. Solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)

Beberapa peneliti kemudian beralih ke solusi berbasis *AI* untuk menghemat daya. Sebagai contoh, Kothari dkk. menyarankan penggunaan kompresi *DNN* sebelum transmisi data untuk meningkatkan latensi dan menghemat daya. Dengan tidak adanya cahaya matahari, satelit bergantung pada energi baterai, yang memberikan beban berat pada baterai satelit dan dapat memperpendek masa pakainya yang menyebabkan peningkatan biaya jaringan komunikasi satelit. Untuk mengoptimalkan alokasi daya dalam komunikasi satelit ke bumi menggunakan satelit *LEO* dan dengan demikian memperpanjang masa pakai baterainya, Tsuchida dkk. menggunakan *RL* untuk membagi beban kerja satelit yang terlalu banyak bekerja dengan satelit yang lebih dekat dengan beban yang lebih rendah.

O. Aplikasi lainnya

1. Optimasi Diserahkan dan Diterima

Handoff lapisan tautan terjadi ketika perubahan satu atau lebih lebih banyak tautan diperlukan antara komunikasi titik akhir karena pola konektivitas dinamis Satelit *LEO*. Manajemen *handoff* di *LEO* satelit sangat bervariasi dari satelit terestrial jaringan, karena penyerahan lebih sering terjadi karena untuk pergerakan satelit. Banyak peneliti telah jadi fokus pada manajemen *handoff* di satelit *LEO* jaringan.

2. Desain tata letak sumber panas

Desain efektif dari sumber panas yang digunakan dapat meningkatkan kinerja termal dari keseluruhan sistem, dan dengan demikian telah menjadi aspek penting dari beberapa bidang teknik, termasuk desain sirkuit terpadu dan desain tata letak satelit. Dengan semakin kecilnya ukuran komponen dan intensitas daya yang lebih tinggi, merancang tata letak sumber panas telah menjadi hal yang kritis masalah. Secara konvensional, desain yang optimal adalah diperoleh dengan menjelajahi ruang desain dengan berulang kali menjalankan simulasi termal untuk membandingkan kinerja setiap skema.

3. Analisis dan desain Reflektor

Algoritma *ML* telah digunakan dalam analisis dan desain antena, termasuk analisisnya dan desain dari pantulan sinar. Misalnya, *NNs* digunakan oleh Shan dkk. untuk meramalkan pergeseran fase, sedangkan kriging disarankan untuk meramalkan respon elektromagnetik dari *reflectarray* komponen. Dukungan regresi vektor (*SVR*) telah digunakan untuk mempercepat pemeriksaan dan untuk langsung mengoptimalkan pantulan pita sempit.

4. Deteksi Pembawa Sinyal

Karena setiap sinyal harus dipisahkan sebelum klasifikasi, modulasi, demodulasi, *decoding*, dan sinyal lainnya pemrosesan, pelokalan, dan deteksi sinyal pembawa dalam domain frekuensi adalah masalah penting dalam komunikasi nirkabel.

Algoritma yang digunakan untuk deteksi sinyal pembawa memiliki umumnya didasarkan pada nilai ambang batas dan diperlukan intervensi manusia, meskipun beberapa perbaikan telah dilakukan termasuk penggunaan ambang batas ganda.

Baru-baru ini, *DL* telah diterapkan pada sinyal pembawa deteksi; misalnya, *Morozov* dan *Ovchinnikov* menerapkan *NN* yang terhubung penuh untuk deteksi mereka di *FSK* sinyal, sedangkan Yuan dkk. menggunakan *DL* ke morse sinyal deteksi buta dalam data spektrum pita lebar. Huang et al. mempekerjakan sepenuhnya konvolusional model jaringan (*FCN*) untuk mendeteksi sinyal pembawa di spektrum daya broadband.

TABEL. III
BERBAGAI MASALAH SATELIT DENGAN REFERENSI
SOLUSI BERBASIS AI MASING-MASING.

Masalah Satelit	Daftar Pustaka solusi berbasis Kecerdasan Buatan (AI)
Lompatan Balok	[32], [33]–[34]
Anti-gangguan	[35], [36], [37]–[38]
Peramalan Lalu lintas	[39], [40], [41]–[42]
Pemodelan Saluran	[43]–[44], [45]–[46]
Penambahan Telemetri	[47]–[48]
Pendeteksian Kilau Ionosfer	[49]–[50]

Pengelolaan interferensi	[51], [52]
Penginderaan jauh	[53]–[46], [54]–[55], [56]–[57]
Pemodelan perilaku	[58]–[59]
Integrasi Ruang-udara-darat	[60], [61]–[62]
Pengelolaan energi	[63], [64]–[65]
Lainnya	[66], [67], [68]–[60]

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan ini memberikan gambaran umum tentang AI dan sub-bidang yang berbeda, termasuk ML, DL, dan RL. Beberapa keterbatasan komunikasi satelit saat itu disajikan dan diusulkan serta potensi berbasis AI mereka solusi dibahas. Penerapan AI telah menunjukkan hasil yang bagus dalam berbagai macam satelit aspek komunikasi, termasuk beam-hopping, AJ, peramalan lalu lintas jaringan, pemodelan saluran, penambangan telemetri, pendeteksian kilau ionosfer, pengelolaan interferensi, penginderaan jauh, perilaku pemodelan, integrasi ruang-udara-darat, dan energi mengelola. Pekerjaan di masa depan harus bertujuan untuk menerapkan AI, untuk mencapai sistem komunikasi yang lebih efisien, aman, andal, dan berkualitas tinggi. Meskipun ML memiliki mencapai hasil yang luar biasa dalam hal presisi dan akurasi dalam beberapa aplikasi, agar lebih aman dan komunikasi yang andal, masih banyak pekerjaan yang harus dilakukan dilakukan pada interpretabilitas ML dan ML permusuhan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] G. Maral and M. Bousquet, Satellite communications systems. Systems, techniques and technology. 2009. doi: 10.1002/9780470834985.

[2] F. Rinaldi et al., “Non-Terrestrial Networks in 5G & Beyond: A Survey,” IEEE Access, vol. 8, pp. 165178–165200, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3022981.

[3] P. Chowdhury, M. Atiquzzaman, and W. Ivancic, “Handover schemes in satellite networks: State-of-the-art and future research directions.” IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 8, pp. 2–14, 2006.

[4] P. Chini, G. Giambene, and S. Kota, “A survey on mobile satellite systems,” Int. J. Satellite Communications Networking, vol. 28, pp. 29–57, 2009, doi: 10.1002/sat.941.

[5] A. Byman et al., “MIMO for Mobile Satellite Digital Broadcasting: From Theory to Practice,” IEEE Transactions on Vehicular Communications, vol. 65, 2015, doi: 10.1109/TVT.2015.2462757.

[6] Y. Zhang, S. Zhao, H. Ji, Y. Zhang, Y. Shen, and X. Jiang, “A Survey of Secure Communications for Satellite Internet Based on Cryptography and Physical Layer Security,” IET Inf Secur, vol. 2023, pp. 1–15, 2023, doi: 10.1049/2023/5604802.

[7] R. Radhakrishnan, W. Edmonson, F. Afghah, R. Rodriguez-Osorio, F. a, and S. Burleigh, “Survey of Inter-satellite Communication for Small Satellite Systems: Physical Layer to Network Layer View,” 2016.

[8] C. Niephaus, M. Kretschmer, and G. Ghinea, “QoS Provisioning in Converged Satellite and Terrestrial Networks: A Survey of the State-of-the-Art,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, p. 1, 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2561078.

[9] Y. Liu, X. Wang, S. Liao, Q. Sun, S. Feng, and L. Guo, “DRL-enabled cooperative free-space optical communication system with an elastic optical splitter,” Journal of Optical Communications and Networking, vol. 16, 2024, doi: 10.1364/JOCN.503484.

[10] B. Akcali Gur and J. Kulesza, “Activated! Public dissent, internet access and satellite broadband,” Internet Policy Review, 2023.

[11] C. Liu, X. Li, Y. Xue, W. Lu, and C. Zhang, “Development and applications of an integrated space-air-ground observation network in natural resource monitoring and supervision,” E3S Web of Conferences, vol. 520, p. 4018, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202452004018.

[12] J. Kumar, S. Chobe, S. Nikam, S. Zanwar, M. Borawake, and D. Hirolikar, “Introduction of machine learning with applications to communication system,” Journal of Autonomous Intelligence, vol. 6, 2023, doi: 10.32629/jai.v6i3.1244.

[13] N. Saeed, A. Elzanaty, H. Almorad, H. Dahrouj, T. Al-Naffouri, and M.-S. Alouini, “CubeSat Communications: Recent Advances and Future Challenges,” 2019. doi: 10.36227/techrxiv.12179397.

[14] S. Networks, “Retracted: Application of Data Encryption Technology in Network Information Security Sharing,” Security and Communication Networks, vol. 2023, p. 1, 2023, doi: 10.1155/2023/9868457.

[15] M. Patil and D. Vidyavathi, “Application of Advanced Machine Learning and Artificial Neural Network Methods in Wireless Sensor Networks Based Applications,” Int J Eng Adv Technol, vol. 11, pp. 103–109, 2022, doi: 10.35940/ijeat.C3394.0211322.

[16] V. Jain, J. Sheth, E. Mogaji, and A. Ambika, “Artificial Intelligence in Customer Service: An Introduction to the Next Frontier to Personalized Engagement,” 2023, pp. 1–11. doi: 10.1007/978-3-031-33898-4_1.

[17] J. Zhao and Y. Wenhan, “Quantum Multi-Agent Reinforcement Learning as an Emerging AI Technology: A Survey and Future Directions,” 2023. doi: 10.36227/techrxiv.24563293.

[18] J. Jagannath, N. Polosky, A. Jagannath, F. Restuccia, and T. Melodia, “Machine Learning for Wireless Communications in the Internet of Things: A Comprehensive Survey,” Ad Hoc Networks, p. 101913, 2019, doi: 10.1016/j.adhoc.2019.101913.

[19] N. Kato et al., “Optimizing Space-Air-Ground Integrated Networks by Artificial Intelligence,” IEEE Wirel Commun, vol. PP, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1109/MWC.2018.1800365.

[20] B. Boser, I. Guyon, and V. Vapnik, “A Training Algorithm for Optimal Margin Classifier,” Proceedings of the Fifth Annual ACM Workshop on Computational Learning Theory, vol. 5, 1996, doi: 10.1145/130385.130401.

[21] T. Adugna, A. Ramu, and A. Haldorai, “A Review of Pattern Recognition and Machine Learning,” Journal of Machine and Computing, pp. 210–220, 2024, doi: 10.53759/7669/jmc202404020.

[22] Y. Bahrambeigi, “Deep-learning-in-Python,” 2024. doi: 10.13140/RG.2.2.13211.23841.

[23] J. Cervantes, F. García-Lamont, L. Rodríguez, and A. Lopez-Chau, “A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends,” Neurocomputing, vol. 408, 2020, doi: 10.1016/j.neucom.2019.10.118.

[24] Y. Wang, H. Yao, and S. Zhao, “Auto-Encoder Based Dimensionality Reduction,” Neurocomputing, vol. 184, 2015, doi: 10.1016/j.neucom.2015.08.104.

[25] C. Zhou and R. Paffenroth, “Anomaly Detection with Robust Deep Autoencoders,” 2017, pp. 665–674. doi: 10.1145/3097983.3098052.

[26] J. Heaton, “Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning: The MIT Press, 2016, 800 pp. ISBN: 0262035618,” Genet Program Evolvable Mach, vol. 19, 2017, doi: 10.1007/s10710-017-9314-z.

[27] C. Doersch, “Tutorial on Variational Autoencoders,” 2016.

[28] I. Goodfellow et al., “Generative Adversarial Nets,” ArXiv, 2014.

- [29] F. Olaye, K. Potter, and L. Doris, "Generative Adversarial Networks (GANs) and their Applications," *Network*, 2024.
- [30] H. Sharma, H. Kumar, and R. Pandey, "Introduction of Reinforcement Learning and Its Application Across Different Domain," *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, pp. 98–104, 2023, doi: 10.32628/CSEIT239066.
- [31] C. Han, L. Huo, X. Tong, H. Wang, and X. Liu, "Spatial Anti-Jamming Scheme for Internet of Satellites Based on the Deep Reinforcement Learning and Stackelberg Game," *IEEE Trans Veh Technol*, vol. PP, p. 1, 2020, doi: 10.1109/TVT.2020.2982672.
- [32] L. Lei, E. Lagunas, Y. Yuan, M. Kibria, S. Chatzinotas, and B. Ottersten, "Beam Illumination Pattern Design in Satellite Networks: Learning and Optimization for Efficient Beam Hopping," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3011746.
- [33] G. Cocco, T. Cola, M. Angelone, Z. Katona, and S. Erl, "Radio Resource Management Optimization of Flexible Satellite Payloads for DVB-S2 Systems," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. PP, 2017, doi: 10.1109/TBC.2017.2755263.
- [34] X. Hu, Y. Zhang, X. Liao, Z. Liu, W. Wang, and F. M. Ghannouchi, "Dynamic Beam Hopping Method Based on Multi-Objective Deep Reinforcement Learning for Next Generation Satellite Broadband Systems," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 66, pp. 630–646, 2020, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:213421690>
- [35] S. Bae, S. Kim, and J. Kim, "Efficient frequency-hopping synchronization for satellite communications using dehop-rehop transponders," *IEEE Trans Aerosp Electron Syst*, vol. 52, pp. 261–274, 2016, doi: 10.1109/TAES.2015.150062.
- [36] L. Xiao, D. Jiang, D. Xu, H. Zhu, Y. Zhang, and H. V. Poor, "Two-Dimensional Antijamming Mobile Communication Based on Reinforcement Learning," *IEEE Trans Veh Technol*, vol. PP, p. 1, 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2856854.
- [37] S. Lee, S. Kim, M. Seo, and D. Har, "Synchronization of Frequency Hopping by LSTM Network for Satellite Communication System," *IEEE Communications Letters*, vol. PP, p. 1, 2019, doi: 10.1109/LCOMM.2019.2936019.
- [38] C. Han, A. Liu, H. Wang, L. Huo, and X. Liang, "Dynamic Anti-Jamming Coalition for Satellite-Enabled Army IoT: A Distributed Game Approach," *IEEE Internet Things J*, vol. PP, p. 1, 2020, doi: 10.1109/IJOT.2020.2991585.
- [39] Y. Bie, L. Wang, Y. Tian, and Z. Hu, "A Combined Forecasting Model for Satellite Network Self-Similar Traffic," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2944895.
- [40] S. Daskalaki and C. Katris, "Comparing Forecasting Approaches for Internet Traffic," *Expert Syst Appl*, vol. 42, pp. 8172–8183, 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2015.06.029.
- [41] X. Pan, W. Zhou, Y. Lu, and N. Sun, "Prediction of Network Traffic of Smart Cities Based on DE-BP Neural Network," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913017.
- [42] G.-B. Huang, Q.-Y. Zhu, and C. Siew, "Extreme learning machine: A new learning scheme of feedforward neural networks," in *IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings*, 2004, pp. 985–990 vol.2. doi: 10.1109/IJCNN.2004.1380068.
- [43] M. Piacentini and F. Rinaldi, "Path loss prediction in urban environment using learning machines and dimensionality reduction techniques," *Computational Management Science*, vol. 8, pp. 371–385, 2011, doi: 10.1007/s10287-010-0121-8.
- [44] Y. Zhang, J. Wen, G. Yang, Z. He, and X. Luo, "Air-to-Air Path Loss Prediction Based on Machine Learning Methods in Urban Environments," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2018, pp. 1–9, 2018, doi: 10.1155/2018/8489326.
- [45] Y. Zhang, J. Wen, G. Yang, Z. He, and J. Wang, "Path Loss Prediction Based on Machine Learning: Principle, Method, and Data Expansion," *Applied Sciences*, vol. 9, p. 1908, 2019, doi: 10.3390/app9091908.
- [46] O. Ahmadien, H. Ates, T. Baykas, and B. Gunturk, "Predicting Path Loss Distribution of an Area From Satellite Images Using Deep Learning," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985929.
- [47] T. Yairi, N. Takeishi, T. Oda, Y. Nakajima, N. Nishimura, and N. Takata, "A Data-Driven Health Monitoring Method for Satellite Housekeeping Data Based on Probabilistic Clustering and Dimensionality Reduction," *IEEE Trans Aerosp Electron Syst*, vol. PP, p. 1, 2017, doi: 10.1109/TAES.2017.2671247.
- [48] P. Wan, Y. Zhan, and W. Jiang, "Study on the Satellite Telemetry Data Classification Based on Self-Learning," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2962235.
- [49] L. F. Rezende et al., "Survey and prediction of the ionospheric scintillation using data mining techniques," *Space Weather*, vol. 8, p. S06D09, 2010, doi: 10.1029/2009SW000532.
- [50] R. Imam and F. Dovis, "Distinguishing Ionospheric Scintillation from Multipath in GNSS Signals Using Bagged Decision Trees Algorithm," 2020. doi: 10.1109/WiSEE44079.2020.9262699.
- [51] Q. Liu, J. Yang, C. Zhuang, A. Barnawi, and B. Alzahrani, "Artificial Intelligence Based Mobile Tracking and Antenna Pointing in Satellite-Terrestrial Network," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2956544.
- [52] P. Henarejos, M. Á. Vázquez, and A. I. Pérez-Neira, "Deep Learning For Experimental Hybrid Terrestrial and Satellite Interference Management," 2019 IEEE 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC), pp. 1–5, 2019, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:174801257>
- [53] H. Ates, M. Hashir, T. Baykas, and B. Gunturk, "Path Loss Exponent and Shadowing Factor Prediction From Satellite Images Using Deep Learning," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2931072.
- [54] N. Kussul, M. Lavreniuk, S. Skakun, and A. Shelestov, "Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. PP, pp. 1–5, 2017, doi: 10.1109/LGRS.2017.2681128.
- [55] S. Fathima, A. Kumar, A. Pratap, and S. Raoof, "Object Recognition and Detection in Remote Sensing Images: A Comparative Study," 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/AISP48273.2020.9073614.
- [56] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2016, pp. 779–788. doi: 10.1109/ICCVPR.2016.91.
- [57] J. Lu, Y. Chen, and R. He, "A Learning-Based Approach for Agile Satellite Onboard Scheduling," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2968051.
- [58] R. Mital, K. Cates, J. Coughlin, and G. Ganji, "A Machine Learning Approach to Modeling Satellite Behavior," 2019, pp. 62–69. doi: 10.1109/SMC-IT.2019.00013.
- [59] A. Ahmed, A. Salama, H. Ibrahim, M. Sayed, and S. Yacout, "Prediction of Battery Remaining Useful Life on Board Satellites Using Logical Analysis of Data," 2019, pp. 1–8. doi: 10.1109/AERO.2019.8741717.
- [60] N. Kato et al., "Optimizing Space-Air-Ground Integrated Networks by Artificial Intelligence," *IEEE Wirel Commun*, vol. 26, pp. 140–147, 2018, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:51924560>
- [61] J.-H. Lee, J. Park, M. Bennis, and Y.-C. Ko, "Integrating LEO Satellite and UAV Relaying via Reinforcement Learning for Non-Terrestrial Networks," 2020.
- [62] Q. Chao, H. Yao, F. Yu, F. Xu, and C. Zhao, "Deep Q-Learning Aided Networking, Caching, and Computing Resources Allocation in Software-Defined Satellite-Terrestrial Networks," *IEEE Trans Veh Technol*, 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2907682.
- [63] V. Kothari, E. Liberis, and N. D. Lane, "The Final Frontier: Deep Learning in Space," *Proceedings of the 21st International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 2020, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:210932614>
- [64] H. Tsuchida et al., "Efficient Power Control for Satellite-Borne Batteries Using Q-Learning in Low-Earth-Orbit Satellite Constellations," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 9, pp. 809–812, 2020, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:212802795>
- [65] G. Cui, X. Li, L. Xu, and W. Wang, "Latency and energy optimization for MEC enhanced SAT-IoT networks," *IEEE Access*, vol. PP, p. 1, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2982356.
- [66] C. Zhang, N. Zhang, W. Cao, K. Tian, and Z. Yang, "An AI-Based Optimization of Handover Strategy in Non-Terrestrial Networks," 2020, pp. 1–6. doi: 10.23919/ITUC50268.2020.9303210.
- [67] J. Sun, J. Zhang, X. Zhang, and W. Zhou, "A Deep Learning-Based Method for Heat Source Layout Inverse Design," *IEEE Access*, vol. 8, p. 1, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3013394.

- [68] D. Rodríguez Prado, J. López-Fernández, M. Arrebola, M. Pino, and G. Goussetis, "Wideband Shaped-Beam Reflectarray Design Using Support Vector Regression Analysis," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. PP, p. 1, 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2932902.