

Smart Parking and Tilt-Based Torque–RPM Control for Self-Balancing Two-Wheelers: A C-Programming

Amrita Sajja^{1*}, S K Sayyad Pasha²

^{1,2}Dept of ECE, School of Engineering, Anurag University, Hyderabad, Telangana, India

Corresponding Author *: amritaee@anurag.edu.in

సెల్ఫ్-బ్యాలెన్సింగ్ ద్విచక్ర వాహనాల కోసం స్మార్ట్ పార్కింగ్ మరియు టిల్ట్-బేస్డ్ టార్క్-RPM కంట్రోల్: ఒక సి-ప్రోగ్రామింగ్

అమృత సజ్జా^{1*}, SK సయ్యద్ పాషా²

^{1,2} ECE విభాగం, స్కూల్ ఆఫ్ ఇంజనీరింగ్, అనురాగ్ విశ్వవిద్యాలయం, హైదరాబాద్, తెలంగాణ, భారతదేశం

సంబంధిత రచయిత *: amritaee@anurag.edu.in

వియక్త

ఈ పత్రం స్మార్ట్ కీ-ఎనేబుల్డ్ రిమోట్ పార్కింగ్తో టార్క్-ఆధారిత స్థిరీకరణను అనుసంధానించే స్వీయ-సమతుల్య ద్విచక్ర వాహనాలకు ఒక కొత్త విధానాన్ని అందిస్తుంది. బ్యాలెన్సింగ్ విధానం మొమెంటం వీల్ ద్వారా టార్క్ ఉత్పత్తిపై ఆధారపడి ఉంటుంది, ఇది టిల్ట్ కోణం మరియు దిశ యొక్క C ప్రోగ్రామింగ్ లెక్కల ద్వారా మార్గనిర్దేశం చేయబడుతుంది. మోషన్ సమయంలో వాహనాన్ని స్థిరీకరించడంతో పాటు, ప్రతిపాదిత వ్యవస్థ రైడర్లు సైడ్ లేదా సెంటర్ స్టాండ్ అవసరం లేకుండా స్మార్ట్ కీని ఉపయోగించి వాహనాన్ని రిమోట్గా పార్క్ చేయడానికి లేదా తరలించడానికి అనుమతిస్తుంది. RPM మరియు కౌంటర్ టార్క్ను ధైర్యమిక్ గా సర్దుబాటు చేయడం ద్వారా బ్యాలెన్స్ నిర్వహించబడుతుంది, అయితే సిస్టమ్ తక్కువ-పవర్ స్టాండ్బైలోకి ప్రవేశించినప్పుడు ఐచ్ఛిక ముడుచుకునే స్టాండ్ ఫెయిల్-సేఫ్ మెకానిజమ్ను అందిస్తుంది. అటానమస్ బ్యాలెన్స్ మరియు స్మార్ట్ రిమోట్ పార్కింగ్ యొక్క ఈ ఏకీకరణ తదుపరి తరం మొబిలిటీ సొల్యూషన్స్ కోసం ద్విచక్ర వాహన వ్యవస్థల భద్రత, సౌలభ్యం మరియు అనుకూలతను పెంచుతుంది.

కీలకపదాలు:

సెల్ఫ్-బ్యాలెన్సింగ్, టార్క్, స్మార్ట్ కీ, రిమోట్ పార్కింగ్, మొమెంటం వీల్, RPM, కోణీయ వేగం

1. పరిచయం

ద్విచక్ర వాహనాలు చాలా కాలంగా ప్రపంచవ్యాప్తంగా సరసమైన మరియు విస్తృతంగా స్వీకరించబడిన రవాణా విధానంగా ఉన్నాయి. పెరుగుతున్న పట్టణ రద్దీ మరియు ప్రపంచవ్యాప్తంగా ఆటోమేషన్ మరియు విద్యుదీకరణ వైపు పరివర్తన చెందడంతో, డిమాండ్ సురక్షితమైన, తెలివైన మరియు మరింత సౌకర్యవంతమైన మొబిలిటీ వ్యవస్థల వైపు మళ్ళింది. కార్లు ఇప్పటికే స్మార్ట్ కీ-ఆధారిత అటానమస్ పార్కింగ్ లక్షణాల నుండి ప్రయోజనం పొందుతున్నప్పటికీ, సాంప్రదాయ ద్విచక్ర వాహనాలు స్థిర స్థిరత్వం కోసం సైడ్ లేదా సెంటర్ స్టాండ్లపై ఆధారపడి ఉంటాయి.

ఈ అంతరాన్ని పరిష్కరించడానికి, స్మార్ట్ కీ-ఎనేబుల్డ్ రిమోట్ పార్కింగ్తో సెల్ఫ్-బ్యాలెన్సింగ్ బైక్ను మేము ప్రతిపాదిస్తున్నాము. ఈ వ్యవస్థ టార్క్-ఆధారిత బ్యాలెన్సింగ్ సూత్రాలను మిళితం చేస్తుంది, గైరోస్కోపిక్ మొమెంటం వీల్స్ ఉపయోగించి అమలు చేయబడుతుంది, రిమోట్-కంట్రోల్డ్ కదలిక యొక్క సౌలభ్యంతో తెలివైన కీ ద్వారా. సాంప్రదాయ బైక్ల మాదిరిగా కాకుండా, వాహనం ఎటువంటి బాహ్య మద్దతు లేకుండా నిటారుగా ఉంటుంది, ప్రమాద ప్రమాదాలను తగ్గిస్తుంది, పార్కింగ్ను సులభతరం చేస్తుంది మరియు ఇరుకైన ప్రదేశాలలో కూడా స్వయంప్రతిపత్తి రీపోజిషనింగ్ను అనుమతిస్తుంది.

పరిశోధన లక్ష్యాలు మరియు పద్ధతి

గైరోస్కోపిక్ వ్యవస్థలు మరియు మొమెంటం వీల్ డైనమిక్స్ ఉపయోగించి ద్విచక్ర వాహనాల స్థిరత్వం మరియు భద్రతను పెంచడంలో స్వీయ-సమతుల్య సాంకేతికత యొక్క ప్రభావాన్ని విశ్లేషించడం ఈ అధ్యయనం లక్ష్యం.

పరిశోధన లక్ష్యాలు:

1. మోటార్ సైకిళ్ళు మరియు సైకిళ్ళలో సమతుల్యతను కాపాడుకోవడానికి గైరోస్కోపిక్ వ్యవస్థల అనువర్తనాన్ని పరిశోధించడానికి.
2. స్థిరత్వ విశ్లేషణ కోసం సంభావ్య శక్తి ($Mgh\sin\theta$) మరియు అపకేంద్ర శక్తి ($m\omega^2$) లను కలిగి ఉన్న గణిత నమూనాలను ఉత్పన్నం చేసి వర్తింపజేయడం.
3. గరిష్ట విక్షేపణ కోణాల కింద వంపును నిరోధించడానికి అవసరమైన కోణీయ వేగం (ω), RPM మరియు కౌంటర్ టార్క్ను లెక్కించడానికి.
4. స్వీయ-సమతుల్య సాంకేతికత పనితీరు మరియు విశ్వసనీయతపై బాహ్య కారకాలు, అమరిక మరియు నిర్వహణ ప్రభావాన్ని అంచనా వేయడానికి.

2. సాహిత్య సర్వే

రోసెన్ మరియు బెన్-అరి (1997) రోటర్ బ్లేడ్ నాన్-యూనిఫామ్లను పరిష్కరించే గణిత నమూనాను ప్రతిపాదించారు, రేఖాగణిత, ద్రవ్యరాశి, నిర్మాణ మరియు వాయుగతిక అసమానతలు తక్కువ-ప్రీక్వెన్సీ

కంపనాలకు ఎలా దారితీస్తాయో చూపిస్తుంది. బ్లెడ్ ట్రాకింగ్ మాత్రమే ప్రభావవంతమైన కంపన తగ్గింపును నిర్ధారించదని వారు నొక్కిచెప్పారు మరియు వారి ఫ్రేమ్వర్క్ రోటర్ ట్యూనింగ్ మరియు సమతుల్యతను ఆప్టిమైజ్ చేయడానికి పునాది వేసింది. ఉసుబమాటోవ్ (2015) గైరోస్కోప్ చలనం యొక్క మెరుగైన గణిత నమూనాను ప్రతిపాదించారు, సెంట్రీఫ్యూగల్, జడత్వం మరియు కోరియోలిస్ శక్తులు కోణీయ మొమెంటంతో కలిసి పనిచేస్తాయని చూపిస్తుంది, గైరోస్కోప్ సిద్ధాంతానికి మరింత ఖచ్చితమైన ఆధారాన్ని అందిస్తుంది.

లీ, నిగుయిడులా, మరియు కాబల్లెరో (2024) మొమెంటం వీల్ని ఉపయోగించి స్వీయ-సమతుల్య సైకిల్ నియంత్రణ వ్యవస్థను రూపొందించారు మరియు లాగ్రేంజ్ పద్ధతితో డైనమిక్స్‌ను మోడల్ చేశారు. సిములింక్ అనుకరణల ద్వారా క్యాస్కేడ్ PID కంట్రోలర్‌ను అమలు చేసి పరీక్షించారు, ఇది మోడల్ యొక్క విశ్వసనీయత మరియు స్థిరమైన స్వీయ-సమతుల్య పనితీరును సాధించడంలో నియంత్రక యొక్క ప్రభావాన్ని నిర్ధారించింది.

అగర్వాల్ మరియు ఇతరులు (2021) IR సెన్సార్లు, RFID, Arduino మరియు మొబైల్ యాప్‌ని ఉపయోగించి IoT-ఆధారిత స్మార్ట్ పార్కింగ్ వ్యవస్థను ప్రతిపాదించారు, ఇది రియల్-టైమ్ స్లాట్ లభ్యత, రిజర్వేషన్లు మరియు ఆటోమేటెడ్ బిల్లింగ్‌ను అందించడానికి, సామర్థ్యాన్ని మెరుగుపరచడానికి మరియు సమయం మరియు వనరుల వృధాను తగ్గించడానికి వీలు కల్పిస్తుంది.

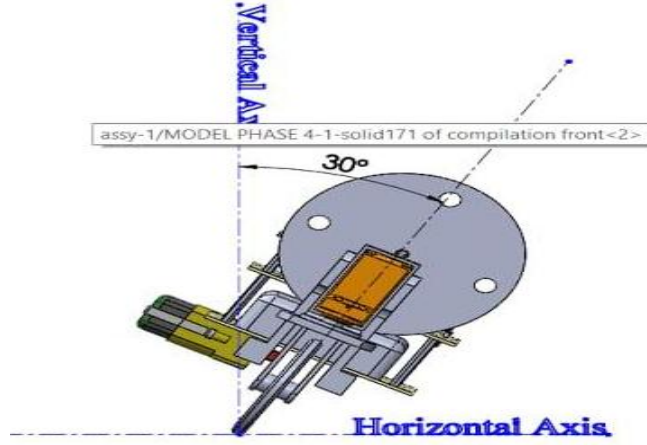
3. పద్ధతి

మోటార్ సైకిళ్ళు మరియు సైకిళ్ళలో స్వీయ-సమతుల్యత సాంకేతికత సమతుల్యతను కాపాడుకోవడానికి గైరోస్కోపిక్ వ్యవస్థలను ఉపయోగిస్తుంది. ఈ సాంకేతికత పడిపోయే ప్రమాదాన్ని తగ్గిస్తుంది మరియు ద్విచక్ర వాహనాలను ఉపయోగించడం సులభతరం చేస్తుంది, ముఖ్యంగా అనుభవం లేనివారికి లేదా తక్కువ బలం ఉన్నవారికి. ఈ వ్యవస్థ వంపును గుర్తించి స్టీరింగ్‌ను సర్దుబాటు చేస్తుంది లేదా సమతుల్యతను తిరిగి పొందడానికి ప్రతిఘటనలను ఉపయోగిస్తుంది. విశ్వసనీయత మరియు ఖచ్చితత్వం మెరుగుపడినప్పటికీ, పనితీరు ఇప్పటికీ బాహ్య కారకాలు, నిర్వహణ మరియు క్రమాంకనం ద్వారా ప్రభావితమవుతుంది. మొత్తంమీద, స్వీయ-సమతుల్యత సాంకేతికత సురక్షితమైన మరియు మరింత ప్రాప్యత చేయగల రైడింగ్ అనుభవాలను ప్రోత్సహిస్తుంది.

ఫార్ములా: ఫ్లిస్సన్

ఇక్కడ M అనేది వ్యవస్థ యొక్క ద్రవ్యరాశి, h అనేది భూమి నుండి ద్రవ్యరాశి కేంద్రం యొక్క దూరం, θ అనేది వంపు కోణం.

వంపు కారణంగా శరీర ద్రవ్యరాశి కేంద్రంలో ఏర్పడే విక్షేపాన్ని ఎదుర్కోవడానికి, ద్రవ్యరాశి కేంద్రం ఎత్తు కారణంగా ఏర్పడే సంభావ్య శక్తిని మొమెంటం వీల్ ఉత్పత్తి చేసే సెంట్రిఫ్యూగల్ ఫోర్స్ తో సమానం చేయాలి. ఈ సూత్రం సిద్ధాంతంలో ఎలా వర్తిస్తుందో ఇక్కడ ఉంది, చిత్రం 1లో చూపబడింది.



చిత్రం 1. వాహనం ద్వారా తిరిగి పొందవలసిన గరిష్ట వంపును వర్ణిస్తుంది.

A. సంభావ్య శక్తి మరియు అవకేంద్ర శక్తి: శరీర ద్రవ్యరాశి కేంద్రం యొక్క సంభావ్య శక్తి $Mgh\sin(\theta)$, ఇక్కడ M అనేది బైక్ ద్రవ్యరాశి, g అనేది గురుత్వాకర్షణ కారణంగా త్వరణం, h అనేది ద్రవ్యరాశి కేంద్రం యొక్క ఎత్తు మరియు θ అనేది వంపు కోణం. ఈ సంభావ్య శక్తిని మొమెంటం చక్రం ద్వారా ఉత్పత్తి చేయబడిన సెంట్రిఫ్యూగల్ ఫోర్స్ $mr\omega^2$ ద్వారా సమతుల్యం చేయాలి, ఇక్కడ m అనేది మొమెంటం చక్రం యొక్క ద్రవ్యరాశి, r దాని వ్యాసార్థం మరియు ω దాని కోణీయ వేగం.

B. అవసరమైన కోణీయ వేగాన్ని (ω) గణించడం: $Mgh\sin(\theta) = mr\omega^2$ ని సెట్ చేయడం, ω ని పరిష్కరించండి:

$$\omega = \sqrt{(Mgh\sin(\theta)/mr)}$$

C. ఆచరణాత్మక అనువర్తనం మరియు RPM అవసరం: ఇచ్చిన విలువలను సూత్రంలోకి ప్రత్యామ్నాయం చేయడం ద్వారా, గరిష్ట విక్షేపణ కోణం ($\theta=30$) వద్ద స్థిరీకరణ కోసం అవసరమైన కోణీయ వేగం ω నిర్ణయించబడుతుంది. దీని నుండి, నిమిషానికి విప్లవాలు (RPM) లెక్కించబడతాయి. ఈ కోణీయ వేగాన్ని సాధించడానికి మొమెంటం వీల్ కు N అవసరం: $\omega = 2\pi N/60 \Rightarrow N = 60\omega/2\pi$.

D. జడత్వం మరియు కౌంటర్ టార్క్ క్షణం: కోణీయ వేగం (ω) లో మార్పులకు వ్యవస్థ యొక్క ప్రతిస్పందనను అర్థం చేసుకోవడానికి మొమెంటం వీల్ యొక్క జడత్వం I క్షణం చాలా ముఖ్యమైనది. టిల్టింగ్ కు వ్యతిరేకంగా బైక్ ను స్థిరీకరించడానికి అవసరమైన కౌంటర్ టార్క్ ను ఇలా లెక్కించారు:

$$\text{కౌంటర్ టార్క్} = I\alpha$$

ఇక్కడ I అనేది జడత్వ క్షణాన్ని మరియు α అనేది కోణీయ త్వరణాన్ని సూచిస్తుంది. ఈ కౌంటర్ టార్క్ టిల్టింగ్ మోషన్ ను వ్యతిరేకించడం ద్వారా స్థిరత్వాన్ని కొనసాగించడానికి సహాయపడుతుంది.

స్పార్ట్ రిమోట్ పార్కింగ్ ఇంటిగ్రేషన్

- యాక్టివేషన్: యూజర్ స్పార్ట్ కీపై పార్కింగ్ బటన్ ను నొక్కుతారు.
- కంట్రోల్ యూనిట్: సి-కోడ్డ్ మైక్రోకంట్రోలర్ RPM & టార్క్ సర్దుబాట్లను గణిస్తుంది.
- తక్కువ వేగంతో నడపడం: వాహనం బ్రాకెసింగ్ చేస్తున్నప్పుడు సురక్షితంగా ముందుకు లేదా వెనుకకు కదులుతుంది.
- స్టాండ్ ఎలిమినేషన్: పార్కింగ్ సమయంలో సైడ్/సెంటర్ స్టాండ్ అవసరం లేదు.
- ఫెయిల్-సేఫ్: బ్రాకెస్ సిస్టమ్ తక్కువ-పవర్ మోడ్ కి మారినప్పుడు ముడుచుకునే స్టాండ్ మోహరించబడుతుంది.

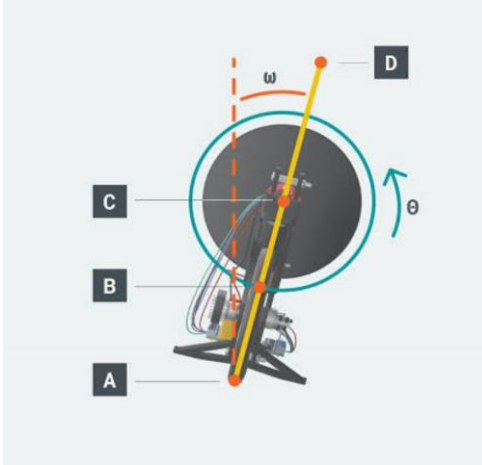
4. ప్రయోగాత్మక సెటప్ మరియు అమలు

స్థిరత్వాన్ని నిర్ధారించడానికి స్వీయ-సమతుల్య వ్యవస్థలు టార్క్ ఉత్పత్తిపై ఆధారపడతాయి. వంపు గుర్తించబడినప్పుడు, అసమతుల్యతను ఎదుర్కోవడానికి సిస్టమ్ మొమెంటం వీల్ ను సక్రియం చేస్తుంది. ఈ ప్రక్రియ C భాషా కోడ్ లో అమలు చేయబడిన గణనల ద్వారా నిర్వహించబడుతుంది. ప్రారంభంలో, కోడ్ వంపు దిశను గుర్తిస్తుంది మరియు తరువాత గుర్తించబడిన వంపు కోణాన్ని డిగ్రీల నుండి రేడియన్లకు మారుస్తుంది. తదనంతరం, మొమెంటం వీల్ కు అవసరమైన భ్రమణ వేగాన్ని నిర్ణయించడానికి కోడ్ కోణీయ మొమెంటంను గణిస్తుంది. అదనంగా, వ్యవస్థ యొక్క ప్రతిస్పందన లక్షణాలను అర్థం చేసుకోవడానికి మొమెంటం వీల్ యొక్క జడత్వ క్షణం లెక్కించబడుతుంది. చివరగా, స్థిరీకరణకు అవసరమైన కౌంటర్ టార్క్ ను గణించడానికి, కోడ్ జడత్వం మరియు కోణీయ వేగం యొక్క క్షణం యొక్క ఉత్పత్తిని కలిగి ఉన్న సూత్రాన్ని ఉపయోగిస్తుంది, దీనిని 0.142 సెకన్ల ప్రతిస్పందన సమయంతో విభజించారు. పెరుగుతున్న వంపు కోణం మరియు అవసరమైన టార్క్ మధ్య సానుకూల సహసంబంధాన్ని పట్టిక 1 వివరిస్తుంది. ఈ సంబంధం వ్యవస్థ యొక్క ద్రవ్యరాశి కేంద్రంపై పనిచేసే గురుత్వాకర్షణ శక్తి యొక్క పెరుగుతున్న క్షణం చేయికి ఆపాదించబడింది.

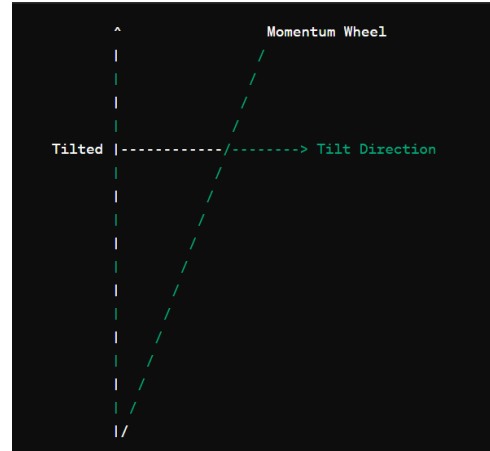
పట్టిక 1: టిల్ట్ కోణం పెరిగేకొద్దీ టార్క్ అవసరాన్ని వర్ణించడం.

Tilt Angle (Degree)	Counter Torque (Nm)
5	0.002080
10	0.002936
15	0.003584
20	0.004120
25	0.004580
30	0.004981

5. ఫలితాల విశ్లేషణ



చిత్రం 2(ఎ).



చిత్రం 2(బి).

చిత్రం 2 (ఎ) & (బి). టార్క్ ఉత్పత్తి చేయడానికి చక్రం తిరిగే వంపు దిశను వర్ణిస్తుంది.

ప్రతిచర్య చక్రాల నియంత్రిత భ్రమణం ద్వారా స్థిరీకరణ టార్క్ను ఉత్పత్తి చేయడానికి యాక్చుయేషన్ మ్యాప్‌ను చిత్రాలు 2 (ఎ) మరియు (బి) క్రమపద్ధతిలో వర్ణిస్తాయి. చిత్రం 2 (బి)లో చూపిన విధంగా చక్రం యొక్క అపసవ్య దిశలో భ్రమణం (కుడి నుండి చూసినప్పుడు) ప్రధాన శరీరంపై సవ్యదిశలో ప్రతిచర్య

టార్క్ను ఉత్పత్తి చేస్తుందని, తద్వారా ఎడమవైపు వంపును ప్రేరేపిస్తుందని చిత్రం 2 వివరిస్తుంది. చర్య-ప్రతిచర్య యొక్క ఈ సూత్రం వ్యవస్థ దాని ధోరణిని చురుకుగా నియంత్రించే మరియు బాహ్య అవాంతరాలకు వ్యతిరేకంగా స్థిరత్వాన్ని నిర్వహించే ప్రాథమిక యంత్రాంగం.

```
The Direction Of Tilt { Right - R || Left - L } : L
Enter The Tilt Degree : 8.95
Number Of Rotation Thats Required to Produce Torque is 116
The Required Amount Of Torque To Be Produced On The Right Side is : 0.002779
```

```
The Direction Of Tilt { Right - R || Left - L } : R
Enter The Tilt Degree : 14.5
Number Of Rotation Thats Required to Produce Torque is 147
The Required Amount Of Torque Needs To Be Produced On The Left Side is : 0.003525
```

చిత్రం 3. ఎడమ & కుడి వంపుకు అవసరమైన టార్క్ యొక్క అవుట్పుట్ ఫలితం

చిత్రం 3. వంపు దిశ మరియు వంపు స్థాయిని నిర్ణయించడానికి కోడ్ స్విచ్-కేస్ స్ట్రీట్మెంట్ను ఉపయోగించే ప్రక్రియను వివరిస్తుంది. తరువాత అది కౌంటర్ టార్క్ మరియు దానిని ఉత్పత్తి చేయడానికి మొమెంటం వీల్ యొక్క అవసరమైన భ్రమణ వేగాన్ని లెక్కిస్తుంది, దాని అప్లికేషన్ కోసం ఎడమ లేదా కుడి దిశను సూచిస్తుంది.

```
The Direction Of Tilt { Right - R || Left - L } : Upside
Invalid Entry!!

...Program finished with exit code 0
Press ENTER to exit console.
```

చిత్రం 4. అప్సైడ్ టిల్ట్ కోసం అవసరమైన టార్క్ యొక్క అవుట్పుట్ ఫలితం

టిల్ట్ డిటెక్షన్ లేనప్పుడు లేదా టిల్ట్ దిశ కాకుండా ఇతర ఇన్పుట్లు అందించబడినప్పుడు కోడ్ యొక్క ప్రత్యామ్నాయ అవుట్పుట్ దృశ్యాన్ని Fig . 4 వర్ణిస్తుంది.

ముగింపు

ముగింపులో, ఈ పత్రం ద్వితీయ వాహనాల కోసం స్పార్ట్ పార్కింగ్ మరియు స్వీయ-బ్యాలెన్సింగ్ టెక్నాలజీని ఏకీకృతం చేయడాన్ని ప్రదర్శించింది. టిల్ట్ యాంగిల్ మరియు డైరెక్షనల్ ఇన్పుట్లను ప్రాసెస్ చేయడానికి C ప్రోగ్రామింగ్ను ఉపయోగించడం ద్వారా, సిస్టమ్ ఖచ్చితమైన టార్క్ మరియు వేగ సర్దుబాట్ల ద్వారా స్థిరత్వాన్ని నిర్ధారించడమే కాకుండా ఆటోమేటెడ్ పార్కింగ్ కోసం నియంత్రిత ముందుకు మరియు వెనుకకు కదలికలను కూడా అనుమతిస్తుంది. ఈ ద్వంద్వ సామర్థ్యం రైడర్ సౌలభ్యం, భద్రత మరియు స్థల ఆప్టిమైజేషన్ను పెంచుతుంది, తద్వారా తరం స్వయంప్రతిపత్త ద్వితీయ వాహనాల అభివృద్ధిని ముందుకు

తీసుకెళ్ళడానికి స్పార్ట్ పార్కింగ్ లక్షణాలతో స్వీయ-బ్యాలెన్సింగ్ విధానాలను కలపడం యొక్క సామర్థ్యాన్ని హైలైట్ చేస్తుంది.

ప్రస్తావనలు

1. రోసెన్, ఎ., & బెన్-అరి, ఆర్. (1997). హెలికాప్టర్ రోటర్ ట్రాక్ మరియు బ్యాలెన్స్ యొక్క గణిత నమూనా: సిద్ధాంతం. *జర్నల్ ఆఫ్ సౌండ్ అండ్ వైబ్రేషన్*, 200 (5), 589–603. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1996.0669>.
2. ఉసుబామాటోవ్, ఆర్. (2015). గైరోస్కోప్ ప్రభావాలకు గణిత నమూనా. *AI P కాన్ఫరెన్స్ ప్రొసీడింగ్స్*, 1660(1), 050018. <https://doi.org/10.1063/1.4915651>.
3. లీ, ఎం., నిగుయిడులా, జె., & కాబల్లెరో, జెఎం (2024). సెల్ఫ్-బ్యాలెన్సింగ్ సైకిల్ కంట్రోల్ సిస్టమ్ డిజైన్ మరియు పరిశోధన. *2024లో IEEE 17వ అంతర్జాతీయ సింపోజియం ఆన్ ఎంబెడెడ్ మల్టికోర్/మెనీ-కోర్ సిస్టమ్స్-ఆన్-చిప్ (MCSoc)* (pp. 106–109). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MSoC64144.2024.00028>
4. అగర్వాల్, వై., రత్నాని, పి., షా, యు., & జైన్, పి. (2021). IoT ఆధారిత స్పార్ట్ పార్కింగ్ వ్యవస్థ. *2021లో 5వ అంతర్జాతీయ ఇంటెలిజెంట్ కంప్యూటింగ్ మరియు కంట్రోల్ సిస్టమ్స్ సమావేశం (ICICCS)* (పేజీలు 464–470). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICCS51141.2021.9432196>

Smart Parking and Tilt-Based Torque–RPM Control for Self-Balancing Two-Wheelers: A C-Programming

Amrita Sajja^{1*}, S K Sayyad Pasha²

^{1,2}Dept of ECE, School of Engineering, Anurag University, Hyderabad, Telangana, India

Corresponding Author *: amritaeece@anurag.edu.in

Abstract

This paper presents a novel approach to self-balancing two-wheelers that integrates torque-based stabilization with smart key-enabled remote parking. The balancing mechanism relies on torque generation through a momentum wheel, guided by C programming calculations of tilt angle and direction. In addition to stabilizing the vehicle during motion, the proposed system allows riders to park or move the vehicle remotely using a smart key without requiring a side or center stand. The balance is maintained by dynamically adjusting RPM and counter torque, while an optional retractable stand provides a fail-safe mechanism when the system enters low-power standby. This integration of autonomous balance and smart remote parking enhances the safety, convenience, and adaptability of two-wheeler systems for next-generation mobility solutions.

Keywords:

Self-balancing, Torque, Smart Key, Remote Parking, Momentum Wheel, RPM, Angular Velocity

1. Introduction

Two-wheelers have long been an affordable and widely adopted mode of transportation worldwide. With increasing urban congestion and the global transition toward automation and electrification, demand has shifted toward safer, smarter, and more convenient mobility systems. While cars already benefit from smart key-based autonomous parking features, traditional two-wheelers remain dependent on side or center stands for stationary stability.

To address this gap, we propose a self-balancing bike with smart key-enabled remote parking. This system combines torque-based balancing principles, executed using gyroscopic momentum wheels, with the convenience of remote-controlled movement through an intelligent key. Unlike conventional bikes, the vehicle can remain upright without any external support, reducing accident risks, simplifying parking, and enabling autonomous repositioning even in tight spaces.

Research Objectives and Methodology

This study aims to analyze the effectiveness of self-balancing technology in enhancing the stability and safety of two-wheeled vehicles using gyroscopic systems and momentum wheel dynamics.

The research objectives are:

1. To investigate the application of gyroscopic systems for maintaining balance in motorcycles and bicycles.
2. To derive and apply mathematical models involving potential energy ($Mgh\sin\theta$) and centrifugal force ($m\omega^2 r$) for stability analysis.
3. To calculate the required angular velocity (ω), RPM, and counter torque needed to resist tilting under maximum deflection angles.
4. To evaluate the impact of external factors, calibration, and maintenance on the performance and reliability of self-balancing technology.

2. Literature Survey

Rosen and Ben-Ari (1997) proposed a mathematical model addressing rotor blade non-uniformities, showing how geometric, mass, structural, and aerodynamic inconsistencies lead to low-frequency vibrations. They emphasized that blade tracking alone does not ensure effective vibration reduction, and their framework laid the foundation for optimizing rotor tuning and balance. Usubamatov (2015) proposed an improved mathematical model of gyroscope motion, showing that centrifugal, inertial, and Coriolis forces act together with angular momentum, offering a more accurate basis for gyroscope theory.

Lei, Niguidula, and Caballero (2024) designed a self-balancing bicycle control system using a momentum wheel and modeled the dynamics with the Lagrange method. A cascade PID controller was implemented and tested through Simulink simulations, which confirmed both the reliability of the model and the effectiveness of the controller in achieving stable self-balancing performance.

Agarwal et al. (2021) proposed an IoT-based smart parking system using IR sensors, RFID, Arduino, and a mobile app to provide real-time slot availability, reservations, and automated billing, improving efficiency and reducing time and resource wastage.

3. Methodology

Self-balancing technology in motorcycles and bicycles uses gyroscopic systems to maintain balance. This technology reduces the risk of falls and makes two-wheeled vehicles easier to use, especially for novices or those with less strength. The system detects tilt and adjusts steering or uses countermeasures to regain balance. While the reliability and accuracy have improved,

performance can still be affected by external factors, maintenance, and calibration. Overall, self-balancing technology promotes safer and more accessible riding experiences.

Formula: $Mgh\sin\Theta$

where M is the mass of the system, h is the Distance of the Centre of mass from the ground, Θ is the Tilt angle.

To counteract the deflection in the center of mass of the body caused by tilting, we must equalize the potential energy due to the height of the center of mass with the centrifugal force produced by the momentum wheel. Here's how this principle applies in theory, as shown in Fig 1.

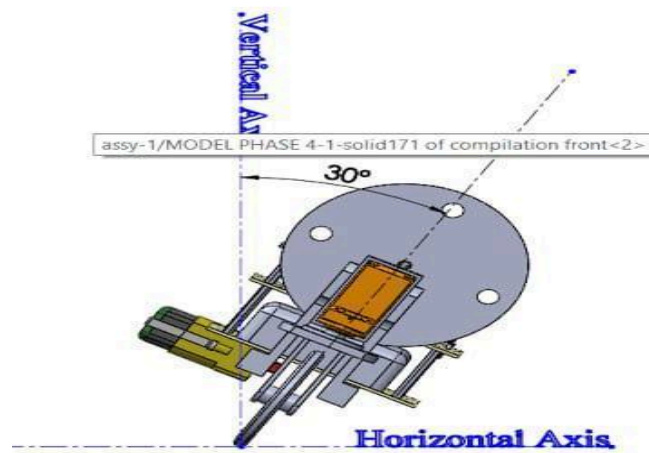


Fig 1. Depicting the Maximum Tilt to be Recovered by the Vehicle

A. Potential Energy and Centrifugal Force: The potential energy $Mgh\sin(\theta)$ of the body's center of mass, where M is the mass of the bike, g is the acceleration due to gravity, h is the height of the center of mass, and θ is the tilt angle. This potential energy must be balanced by the centrifugal force $m\omega^2 r$ generated by the momentum wheel, where m is the mass of the momentum wheel, r is its radius, and ω is its angular velocity

B. Calculating Necessary Angular Velocity (ω): Setting $Mgh\sin(\theta) = m\omega^2 r$, solve for ω :

$$\omega = \sqrt{(Mgh\sin(\theta)/mr)}$$

C. Practical Application and RPM Requirement: By substituting the given values into the formula, the required angular velocity ω is determined for stabilization at the maximum deflection angle ($\theta=30$). From this, the revolutions per minute (RPM) is calculated. N needed for the momentum wheel to achieve this angular velocity:

$$\omega = 2\pi N/60 \Rightarrow N = 60\omega/2\pi.$$

D. Moment of Inertia and Counter Torque: The moment of inertia I of the momentum wheel is crucial for understanding the system's response to changes in angular velocity (ω). The counter torque needed to stabilize the bike against tilting is calculated as:

$$\text{Counter Torque} = I\alpha$$

where I is the moment of inertia and α is the angular acceleration. This counter torque helps maintain stability by opposing the tilting motion.

Smart Remote Parking Integration

- Activation: User presses the parking button on the smart key.
- Control Unit: C-coded microcontroller computes RPM & torque adjustments.
- Low-Speed Motion: Vehicle moves forward or backward safely while balancing.
- Stand Elimination: No side/center stand needed during parking.
- Fail-Safe: Retractable stand deployed when balance system switches to low-power mode.

4. Experimental Setup and Implementation

Self-balancing systems rely on torque generation to ensure stability. When a tilt is detected, the system activates the momentum wheel to counteract the imbalance. This process is orchestrated by calculations implemented in C language code. Initially, the code identifies the tilt direction and then proceeds to convert the detected tilt angle from degrees to radians. Subsequently, the code computes the angular momentum to determine the required rotational speed for the momentum wheel. Additionally, the moment of inertia of the momentum wheel is calculated to understand the system's response characteristics. Finally, to compute the counter torque necessary for stabilization, the code utilizes the formula involving the product of moment of inertia and angular speed, divided by the response time of 0.142 seconds. Table I illustrates the positive correlation between increasing tilt angle and the requisite torque. This relationship is attributed to the growing moment arm of the gravitational force acting on the system's center of mass.

Table I: Depicting the Torque Requirement as the Tilt Angle Increases

Tilt Angle (Degree)	Counter Torque (Nm)
5	0.002080
10	0.002936
15	0.003584
20	0.004120
25	0.004580
30	0.004981

5. Result Analysis

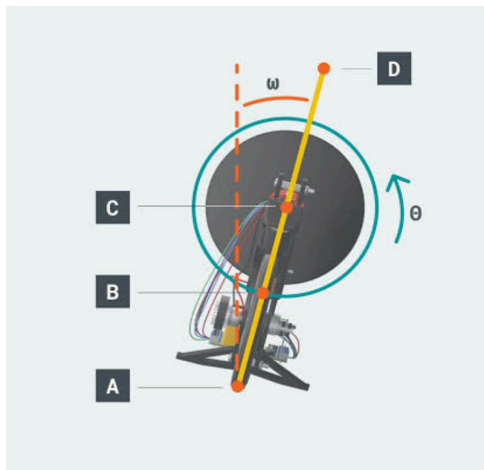


Fig 2(a).

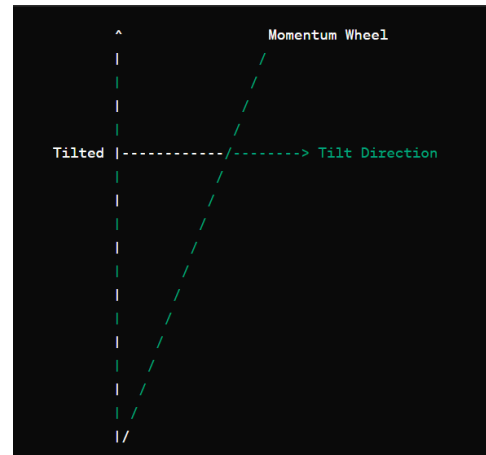


Fig 2(b).

Fig 2 (a) & (b). Depicting the Direction of Wheel Rotating Tilt to Produce the Torque.

Figures 2 (a) and (b) schematically depict the actuation strategy for generating stabilizing torque through the controlled rotation of the reaction wheels. Figure 2 illustrates that a counterclockwise rotation of the wheel (when viewed from the right) generates a clockwise reaction torque on the main body as shown in Figure 2 (b), thereby inducing a leftward tilt. This principle of action-reaction is the fundamental mechanism by which the system actively controls its orientation and maintains stability against external disturbances.

```
The Direction Of Tilt { Right - R || Left - L } : L
Enter The Tilt Degree : 8.95
Number Of Rotation Thats Required to Produce Torque is 116
The Required Amount Of Torque To Be Produced On The Right Side is : 0.002779

The Direction Of Tilt { Right - R || Left - L } : R
Enter The Tilt Degree : 14.5
Number Of Rotation Thats Required to Produce Torque is 147
The Required Amount Of Torque Needs To Be Produced On The Left Side is : 0.003525
```

Fig 3. Output Result of the Required Torque for Left & Right Tilt

Fig3. illustrates the process in which the code utilizes a switch-case statement to determine the direction of tilt and the degree of tilt. It then computes the counter torque and the required rotational speed of the momentum wheel to generate it, indicating the left or right direction for its application.

```
The Direction Of Tilt { Right - R || Left - L } : Upside
Invalid Entry!!

...Program finished with exit code 0
Press ENTER to exit console.
```

Fig 4. Output Result of the Required Torque for Upside Tilt

Fig. 4 depicts an alternative output scenario of the code in the event of non-tilt detection or when inputs other than tilt direction are provided.

Conclusion

In conclusion, this paper has demonstrated the integration of smart parking with self-balancing technology for two-wheeled vehicles. By utilizing C programming to process tilt angle and directional inputs, the system not only ensures stability through precise torque and speed adjustments but also enables controlled forward and backward movements for automated parking. This dual capability enhances rider convenience, safety, and space optimization, highlighting the potential of combining self-balancing mechanisms with intelligent parking features to advance the development of next-generation autonomous two-wheelers.

References

1. Rosen, A., & Ben-Ari, R. (1997). Mathematical modelling of a helicopter rotor track and balance: Theory. *Journal of Sound and Vibration*, 200(5), 589–603. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1996.0669>.

2. Usubamatov, R. (2015). Mathematical model for gyroscope effects. AIP Conference Proceedings, 1660(1), 050018. <https://doi.org/10.1063/1.4915651>.
3. Lei, M., Niguidula, J., & Caballero, J. M. (2024). Design and research of self-balancing bicycle control system. In *2024 IEEE 17th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc)* (pp. 106–109). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MCSoc64144.2024.00028>
4. Agarwal, Y., Ratnani, P., Shah, U., & Jain, P. (2021). IoT based smart parking system. In *2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 464–470). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICCS51141.2021.9432196>