

مشاهده حالت بهینه با استفاده از محدودیت درجه دوم:

برنامه ای برای تخمین آشفته‌گی (اختلال) UAV

این مقاله، طرح یک مشاهده گر حالت را ارائه می دهد که محدودیت درجه دوم خطای تخمین را تضمین می نماید. با استفاده از تجزیه و تحلیل پایداری تابع لیاپانوف درجه 2، سرعت همگرایی و بیضی محدود کننده خطای نهایی (حالت پایدار) به صورت پارامترهایی مشخص می شوند که رفتار تخمین را تعریف می نمایند. سپس، نشان داده شده است که این اهداف می تواند در یک تابع مقیاس پذیر با یک پارامتر طراحی ادغام شود که این باعث ایجاد مسأله طراحی محدب می گردد. در بخش دوم این مقاله، یک مدل UAV (پهپاد) ارائه شده است که می تواند با در نظر گرفتن یک حالت ویژه و یک چارچوب دایره‌ای، به صورت خطی ساخته شود. مدل UAV برای ترکیب یک الگوی آشفته‌گی با اندازه متغیر گسترش یافته است. مدل مشترکی که با دنبال کردن خطوط رویکرد طراحی پیشنهادی، مطابق با ساختار مورد نیاز برای استخراج یک ناظر (مشاهده گر) می باشد. مشاهده گر آشفته‌گی، اقدامات UAV را استخراج کرده و تجزیه و تحلیل عملکرد مربوط به آن را با توجه به پارامترهای طراحی ارائه می دهد. اثربخشی و خصوصیات اصلی رویکرد پیشنهادی با استفاده از نتایج شبیه سازی نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: تخمین اختلال، وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپادها (UAV))، تخمین و فیلترینگ بهینه،

مدلسازی سیستم

1. مقدمه

مسأله مشاهده حالت در کنترل بسیار مهم است، زیرا در بسیاری از سیستم های کنترل متغیرهای حالت به دلیل محدودیت های فیزیکی یا اقتصادی برای اندازه گیری، در دسترس نیستند. به همین دلیل، چندین اثر در مقالات، بر طراحی برآوردگرهای حالت متمرکز شده اند (به عنوان مثال، زیتز ، 1987؛ گریپ و همکاران ، 2012؛ ژانگ و همکاران ، 2012b؛ چادلی و کریمی ، 2013؛ روتوندو و همکاران ، 2016؛ حسنی و همکاران ، 2017).

از جمله رویکردهایی که در سالهای اخیر مورد توجه جامعه کنترل قرار گرفته است، مواردی است که مبتنی بر محدودیت درجه دوم (QB) می باشد. به طور کلی، QB به تضمین محدودیت کلیه مسیرهای حالت یک سیستم با استفاده از یک تابع لیاپانوف درجه 2 اشاره دارد. این مفهوم ابتدا برای سیستمهای غیرخطی توسط بروکمن و کولس (1995) معرفی شده و سپس به سیستم های خطی به صورت اسمی نیز گسترش یافته است (بروکمن و کولس، 1998). از آن زمان تاکنون، چندین نتیجه از این مفهوم به منظور برآورد حالت، مورد بهره برداری قرار گرفته است. به عنوان مثال، الساندري و همکاران. (2004) از QB برای مقابله با ثبات و طراحی برآوردگرهای افق پیش بین استفاده کرده اند. الساندري و همکاران. (2006)، QB را برای طراحی برآوردگرهای حالت برای سیستم های خطی زمان گسسته با عدم قطعیت چند وجهی نیز به کار برده اند و این کار توسط ژانگ و همکاران (2012a) بیشتر توسعه یافته است، آنها آشفتگی های حالت و نویز اندازه گیری را به طور مستقل در نظر گرفته اند.

جالب است که QB برای حل مسائل مربوط به تثبیت بازخورد خروجی (دینگ، 2009، 2013؛ دینگ و پن، 2016؛ پینگ و همکاران، 2017؛ پینگ، 2017)، کنترل تحمل خطا (ویچاک و همکاران، 2016) و برآورد خط (بوسیاکوفسکی و همکاران، 2017a، 2017b؛ ویچاک و همکاران، 2017) نیز به کار می رود. اخیراً، توسعه هایی بیشتری از مفهوم QB مورد بررسی قرار گرفته است؛ به عنوان مثال، به محدودیت های غیر درجه دو بسط یافته معرفی شده توسط زوو و لی (2011)، مراجعه فرمایید.

یک موضوع مرتبط که برای چندین سال به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، طراحی مشاهده گرهای آشفتگی می باشد. ایده این است، هنگامی که یک تخمین آشفتگی در دسترس باشد، می توان یک اقدام کنترلی

برای جبران تأثیر این آشفتگی به دست آورد، این ایده، کنترل مبتنی بر مشاهده گر آشفتگی (DOBC) را به وجود آورد که به طور گسترده توسط چن و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است. از دهه 1960، تکنیک های مختلفی برای به دست آوردن تخمین آشفتگی پیشنهاد شده است، مانند مشاهده گرهای ورودی ناشناخته (جانسون، 1971)، مشاهده گرهای آشفتگی (کوون و چونگ، 2003)، برآوردگرهای مبتنی بر آشفتگی ورودی معادل (شی و همکاران، 2008)، مشاهده گرهای حالت تعمیم یافته (لی و همکاران، 2012)، مشاهده گرهای آشفتگی (چین و همکاران، 2000) و فیلترهای تاکاگی-سونگنو فازی (چیانی و همکاران، 2017).

مقابله با پویایی های مربوط به آشفتگی های مدل سازی نشده، یک مسئله مهم و اساسی در کنترل وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپاد) است. در برخی از محیط ها، کنترل پهپادها یک کار بسیار چالش برانگیز است، از آنجا که هر کنترل کننده ای که آشفتگی ها را در نظر نمی گیرد، ممکن است منجر به یک رفتار ناخواسته، از اختلال در عملکرد گرفته تا بی ثباتی، گردد. به همین دلیل، علاقه زیادی به استفاده از DOBC در پهپادها وجود دارد. به عنوان مثال، روگرو و همکاران (2014؛ 2015)، تکنیک های تخمین آشفتگی را با استفاده از یک مدل غیر خطی همراه با تکانه تعمیم یافته به عنوان یک حالت به کار بردند. در این مقالات، معادلات جبری شامل اختلال و مشتقات ناشناخته حالت به دست آمده و تخمین آشفتگی می باشد که با تغذیه انتگرال معادلات جبری به فیلتر مرتبه دوم بدست می آید. از طرف دیگر، یوکسل و همکاران. (2014) مشاهده گر اختلال (آشفتگی) غیر خطی را بر اساس معادلات غیر خطی حرکت که از سرعت و شتاب به عنوان حالت استفاده می نماید، بدست آوردند. پایداری مشاهده گر در مورد بروز اختلالات ثابت خارجی (مشتق تهی) و عدم نویز نشان داده می شود. توجه داشته باشید که اثربخشی آثار فوق، یا با استفاده از سنسورهای داخلی، که اندازه گیری های بسیار دقیقی از موقعیت و سرعت ارایه می دهد و یا با در نظر گرفتن سناریوهای شبیه سازی بدون نویز نشان داده شده است. در عین حال، آنها این فرضیه را به اشتراک می گذارند که این اختلال متغیر است و ممکن است باعث اختلال در عملکرد واقعی پهپادها شود.

سهم اصلی این مقاله، طراحی مشاهده گرهای درجه دوم با در نظر گرفتن وجود یک معامله بین نرخ همگرایی و خطای نهایی (حالت پایدار) محدود کننده بیضوی است. به منظور دستیابی به هر دو هدف، یک تابع هدف مقیاس

پذیر با یک پارامتر طراحی ساخته شده است، به گونه ای که این خود باعث ایجاد مشکل طراحی محذب می شود. روش طراحی به دست آمده تضمین می کند یک معامله بهینه (مطلوب) بین رفتارهای گذرا و بدون علامت، مطابق با کار الساندری و همکاران (2006) وجود دارد، اما از دو جنبه مهم با آن متفاوت است. ابتدا به جای به حداقل رساندن کران بالای خطای نهایی، حجم بیضی که خطا در آن قرار دارد به حداقل می رسانیم که منجر به به حداقل شدن راه حل های خطا می گردد. دوم، در حالی که کل تخمین حالت برای همگرایی به حالت واقعی تضمین شده باشد، روش طراحی پیشنهادی به کاربر این امکان را می دهد بخشی از حالت را انتخاب کند که خطای تخمین مرتبط با آن به حداقل رسیده باشد، و راه حل های محکم تری برای قسمت خاصی از حالت ارایه نماید. این واقعیتها باعث می شود رویکرد پیشنهادی با سایر تکنیک های توسعه یافته برای طراحی مشاهده گر متفاوت باشد، مانند روش های مبتنی بر بهینه سازی H (وانگ و همکاران، 1999؛ عباس زاده و مارکز، 2009) یا مفهوم پایداری ورودی به حالت (ISS) (الساندری، 2004؛ 2013)، که صریحاً حجم خطای بیضوی حالت پایدار را به حداقل نمی رساند.

روش پیشنهادی برای مسئله تخمین اختلالات پهنپادها بکار رفته و از نتایج شبیه سازی برای نشان دادن اثربخشی و خصوصیات اصلی آن استفاده شده است. به ویژه، نشان داده شده است که مدل UAV می تواند به شکل خطی از طریق انتخاب مناسب متغیرهای حالت (تکانه خطی و چرخشی) و قاب مرجع (جهان اول) بیان شود. سپس، مدل UAV با استفاده از یک مدل آشفتگی (اختلال) مرتبه بالا توسعه داده می شود، همانطور که توسط کیم و همکاران (2010)، گادبول و همکاران (2013) و سو و همکاران (2015) ارایه شده است. مدل کلی یک سیستم خطی است که با ساختار مورد نیاز مشاهده گر درجه دوم کران دار پیشنهادی مطابقت دارد. این مدل با ساخت و ساز، اندازه گیری های بدست آمده از سنسورهای آن بورد (on-board) پس از یک فرایند فیلترینگ مناسب مطابقت دارد و پویایی های اختلال را محدود نمی سازد. با این حال، این اجازه می دهد تا اطلاعات مربوط به ماهیت اختلالات به ترتیب مشتق مورد نظر وارد شود. شایان ذکر است که به دلیل مدل خاص آشفتگی، مشاهده گر طراحی شده یک عمل متناسب چند جانبه (PMI) را در نظر می گیرد که کاربرد روش طراحی در ساختارهایی مانند مواردی که توسط بوسون و کابور (2001) یا کونینگ (2005) در نظر گرفته اند را نشان می دهد.

این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. اول، در بخش 1 نماد استفاده شده در طول مقاله ارائه می شود. سپس، نحوه بدست آوردن روش بهینه طراحی ناظر (مشاهده گر) را نشان داده می شود. در بخش 3، مدل UAV به دست آمده است. بخش 4 نتایج استفاده از مشاهده گر به دست آمده برای مدل UAV را نشان می دهد. در نهایت، نتایج در بخش 5 ارائه می شود.

نمادها

ماتریس ها	$A, B, \dots$
ماتریس همانی $n \times n$	I_n
ماتریس صفر $n \times n$	$O_{m \times n}$
ترانپاده ماتریس A	A^T
ماتریس معکوس A	A^{-1}
ماتریس همیشه مثبت	$A > 0$
ماتریس نیمه معین مثبت	$A \geq 0$
ماتریس همیشه منفی	$A < 0$
ماتریس نیمه معین منفی	$A \leq 0$
فضای بردار خطی که توسط ردیف های A پوشانده شده است	$\langle A \rangle$
بردارها	$a, b, \dots$
نرم بردار a	$\ a\ $
ماتریش ضد متقارن بردار a	$[a]_{\times}$
کواترنیون واحد	$\hat{q}$
ماتریس دورانی که توسط کواترنیون $\hat{q}$ داده شده است	$R(\hat{q})$
بیضوی ارایه شده توسط $x^{-1} M x \leq 1$ با $M > 0$ و متقارن	$\epsilon M(x)$
مقدار بهینه تابع اسکالر J	$(J)^*$
مقدار متناظر تابع اسکالر J	$(J)^+$

2. مشاهده گر (ناظر) کران دار (محدود) درجه دوم بهینه

سیستم پویای تعریف شده زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + W_1\eta_1, \\ y = Cx + Du + W_2\eta_2, \\ z = E_1x, \end{cases} \quad (1)$$

که در آن $x = x(t) \in \mathbb{R}^n$ ، حالت را نشان می دهد و $u = u(t) \in \mathbb{R}^m$ ورودی، $y = y(t) \in \mathbb{R}^p$ ، خروجی، $\eta_1 = \eta_1(t) \in \mathbb{R}^{l_1}$ آشفتگی های مؤثر بر مدل پویا، $\eta_2 = \eta_2(t) \in \mathbb{R}^{l_2}$ ، نویز اندازه گیری و $z = z(t) \in \mathbb{R}^q$ زیر مجموعه ای از بردار حالت را نشان می دهد. همچنین، ماتریس های $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ، $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$ ، $W_1 \in \mathbb{R}^{n \times l_1}$ ، $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$ ، $D \in \mathbb{R}^{p \times m}$ ، $W_2 \in \mathbb{R}^{p \times l_2}$ و $E_1 \in \mathbb{R}^{q \times n}$ با E_i که بخشی از ماتریس جایگشت است، منطبق می باشد.

اجازه دهید این بردار حاوی اصطلاحات مربوط به اختلال (آشفتگی) و نویز باشد که به صورت $\bar{\eta} = (\eta_1^T, \eta_2^T)^T$ نشان داده می شود و توسط بیضی $\epsilon_Q(\bar{\eta})$ محدود می گردد، یعنی،

$$\bar{\eta}^T Q \bar{\eta} \leq 1, \quad (2)$$

و اجازه دهید تخمین حالت $\hat{x}$ با $\hat{x}$ نشان داده شود و خطای مربوط به تخمین به صورت $e = x - \hat{x}$ نشان داده شود. علاوه بر این، اجازه دهید خطای تخمین z به صورت $e_z = E_1 e$ تعریف شود.

هدف اصلی از این بخش، طراحی یک مشاهده گر خطی برای حالت است که تضمین هایی در مورد e_z ارایه می دهد. بدین منظور، دینامیک تخمین حالت خطی معمول را در نظر می گیریم که به صورت زیر داده شده است:

$$\dot{\hat{x}} = (A + LC) \hat{x} + (B + LD) u - Ly. \quad (3)$$

سپس، دینامیک های خطای تخمین به صورت زیر توصیف شده است:

$$\dot{e} = (A + LC) e + W_1\eta_1 + LW_2\eta_2. \quad (4)$$

تعریف 1: سیستم موجود در معادله (4)، تحت شرایط موجود در معادله (2)، برای یک ماتریس متقارن داده شده $P > 0$ به صورت درجه دوم و کران دار است، در صورتی که مشتق تابع لیاپانوف درجه 2 $V = e^T P e$ به صورت زیر باشد:

$$\dot{V} = 2e^T P \dot{e} \quad (5)$$

تضمین می کند که برای مقادیر $V > 1$ ، منفی می باشد، یعنی،

$$V = e^T P e > 1 \Rightarrow \dot{V} = 2e^T P \dot{e} < 0, \quad \forall \bar{\eta} \in \epsilon_Q. \quad (6)$$

شرایط کران دار بودن معادله درجه دوم بیان شده در بالا می تواند به عنوان یک مسأله امکان پذیر (حل شدنی) فرموله شود.

گزاره 1: سیستم پویا موجود در معادله (4) همراه با معادله (2)، به صورت درجه دوم با یک ماتریس لیاپانوف P محدود می شود، اگر ماتریس متقارن $P > 0$ وجود داشته باشد، ماتریس L و a برای $\alpha > 0$ اسکالر هستند که به این دلیل

$$\begin{bmatrix} \Psi + \alpha P & PW_1 & YW_2 \\ W_1^T P & & \\ W_2^T Y^T & -\alpha Q & \end{bmatrix} \leq 0, \quad (7)$$

با

$$\Psi = A^T P + PA + YC + C^T Y^T \quad (8)$$

و

$$Y = PL. \quad (9)$$

اثبات: میزان زمان تغییر تابع لیاپانوف درجه 2 $V(e) = e^T P e$ در کنار راه های معادله (4) به صورت زیر داده شده است:

$$\begin{aligned}
\dot{V}(e, \eta_1, \eta_2) &= e^T \dot{P} e + \dot{e}^T P e \\
&= e^T P ((A + LC) e + W_1 \eta_1 + L W_2 \eta_2) \\
&\quad + (e^T (A + LC)^T + \eta_1^T W_1^T + \eta_2^T W_2^T L^T) P e \\
&= e^T (A^T P + PA + PLC + C^T L^T P) e \\
&\quad + \eta_1^T W_1^T P e + e^T P W_1 \eta_1 + \eta_2^T W_2^T L^T P e \\
&\quad + e^T P L W_2 \eta_2.
\end{aligned} \tag{10}$$

با توجه به ماهیت ناشناخته η_1 و η_2 ، تضمین نمی شود که $\dot{V}$ قطعاً منفی باشد. با این حال، توجه داشته باشید که شرط موجود در معادله (2)، مقادیر η_1 و η_2 را محدود می کند و $\dot{V} < 0$ را برای مقادیر به اندازه کافی بزرگ e و هر انتخاب L ایجاد می نماید که باعث ایجاد $A + LC < 0$ می گردد.

با تعریف $\bar{x} = (e^T, \bar{\eta})^T$ و ایجاد تغییر در متغیرهای $Y = PL$ ، معادله قبلی می تواند به شکل یک معادله درجه دوم بازنویسی شود:

$$\dot{V}(\bar{x}) = \bar{x}^T \begin{bmatrix} \Psi & P W_1 & Y W_2 \\ W_1^T P & 0 & 0 \\ W_2^T Y^T & 0 & 0 \end{bmatrix} \bar{x}, \tag{11}$$

که یک معادله نیمه معین منفی است، این در مورد زمانی است که

$$\begin{bmatrix} \Psi & P W_1 & Y W_2 \\ W_1^T P & 0 & 0 \\ W_2^T Y^T & 0 & 0 \end{bmatrix} \leq 0. \tag{12}$$

از طرف دیگر، با استفاده از شرط $V = e^T P e > 1$ و معادله (2)، نامساوی زیر به دست می آید:

$$e^T P e > \bar{\eta}^T Q \bar{\eta} \tag{13}$$

یا به طور معادل،

$$\bar{x}^1 \begin{bmatrix} -P & 0 \\ 0 & Q \end{bmatrix} \bar{x} < 0, \quad (14)$$

که بدان معناست که این ماتریس متقارن است

$$\begin{bmatrix} -P & 0 \\ 0 & Q \end{bmatrix} < 0. \quad (15)$$

با استفاده از روش S در مورد نامساوری موجود در معادلات 12 و 15 و معادله (7) به دست می آید.

گزاره 2: محدودیت درجه دوم در معادله (7) به معنای همگرایی نمایی خطای e در درون $\epsilon_P(e)$ با نرخ فروپاشی α است که $\bar{\eta}$ را در معادله 2 برآورده می سازد.

اثبات: قبل و بعد از ضرب در معادله (7)، به ترتیب توسط $\bar{x}^1$ و $\bar{x}$ ، منجر به رابطه زیر می شود:

$$\dot{V}(e) + \alpha V(e) - \alpha \bar{\eta}^T Q \bar{\eta} \leq 0. \quad (16)$$

با استفاده از معادله (2)، بدیهی است که

$$\dot{V}(e) \leq \alpha \bar{\eta}^T Q \bar{\eta} - \alpha V(e) \leq \alpha (1 - V(e)), \quad (17)$$

که برای $e^T P e > 1$ باعث ایجاد رابطه زیر می شود: $\dot{V}(e) < 0$.

با ادغام سناریوی موردی که در آن $\dot{V}(e) \leq \alpha (1 - V(e))$ می باشد، میتوان مشاهده کرد که

$$V(e) \leq 1 + (V_0 - 1) \exp(-\alpha t), \quad (18)$$

همراه با $V_0 = V(t_0) = e(t_0)^T P e(t_0)$ ، مقدار ناشناخته $V(t)$ را در ثابت زمان اولیه t_0 نشان می دهد. به ازای تمام $t > t_0$ ، راه حل های موجود در $V(e(t))$ در نهایت توسط $V=1$ محدود می شوند، تا زمانی که $V_0 > 1$ باشد، خطاهای e همگرایی تا $\epsilon_P(e)$ را تضمین می نمایند و به محض رسیدن به آن یا تا زمانی که $V_0 < 0$ باشد، در داخل $\epsilon_P(e)$ باقی خواهد ماند.

علاوه بر این، مقدار α نرخ فروپاشی را تعدیل می نماید: هر چقدر مقدار α بیشتر باشد، میزان همگرایی بالاتر می شود.

به عنوان نتیجه ای از تضمین همگرایی e تا $\epsilon P(e)$ ، خطای تخمین e_z به فضای داخلی بیضی $\epsilon P_z(e_z)$ همگرا می شود، که در آن $\epsilon P_z(e_z)$ بیضی حاصل پس از تجسم $\epsilon P(e)$ بر فضای برداری تولید شده توسط ردیف هایی از E_1 ، $\langle E_1 \rangle$ و

$$P_z = E_1 P E_1^T - E_1 P E_2^T \left(E_2 P E_2^T \right)^{-1} E_2 P E_1^T, \quad (19)$$

همراه با E_2 می باشد که توسط مکمل متعامد E_1 نشان داده می شود، یعنی، $\bar{E}_1 E_2^T = 0$. مشتق کامل در پیوست ارائه شده است.

2.1 طراحی مشاهده گر (ناظر) حالت - به واسطه عبارت ارائه شده در بالا، و با توجه به یک معیار ثابت بیضوی

که حاوی اصطلاحات $\bar{\eta}$ می باشد، می توان ثابت کرد که خطای تخمین e_z بستگی به موارد زیر دارد:

- اندازه $\epsilon P_z(e_z)$ که معیار حد نهایی خطا (کران بالا) را نشان می دهد و می تواند از طریق حجم بیضی اندازه گیری شود (رز و همکاران، 2002)

$$\text{Vol}(\epsilon P_z) = \frac{B_q}{\sqrt{\det(P_z)}}, \quad (20)$$

که در آن B_q حجم گوی واحد از بعد q (ابعاد فضای ردیف ماتریس E_1) را نشان می دهد؛

- نرخ همگرایی توسط α نشان داده شده است که رفتار پاسخ گذرا (موقت) را مشخص می کند.

در حالت ایده آل، افزایش ناظر (مشاهده گر) منتخب L باید سعی کند تا در حالی که $\text{Vol}(EPZ)$ را به حداقل می رساند، حداکثر گردد. با این حال، هر دو هدف مستقل از هم نیستند، اما این منوط به برآورده ساختن محدودیت موجود در معادله (7) می باشد. در حقیقت، لزوماً راه حلی برای این مشکل وجود ندارد که α را و $\text{Vol}(EPZ)$ را به طور همزمان بهینه می سازد.

مطابق به پژوهش الساندري و همکاران (2006)، اما مقیاس پذیری مجدد اهداف توسط میتینن (1999) پیشنهاد شده است، یک تابع هدف مختلط پارامتری که هر دو هدف را ادغام می کند، می تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$J_{\mu}(\alpha, P_z) = \mu J_1 + (1 - \mu) J_2, \quad (21)$$

که در آن μ به عنوان یک پارامتر طراحی معرفی شده است که معامله بین J_1 و J_2 را به صورت زیر تعریف می نماید:

$$J_1 = \frac{\text{Vol}(\epsilon_{P_z}) - \text{Vol}(\epsilon_{P_z})^{\star}}{\text{Vol}(\epsilon_{P_z})^{\dagger} - \text{Vol}(\epsilon_{P_z})^{\star}} \quad (22)$$

9

$$J_2 = \frac{\alpha - \alpha^{\star}}{\alpha^{\dagger} - \alpha^{\star}}. \quad (23)$$

معرفی J_i ، $i=1,2$ ، مقادیر مربوط به اهداف منحصر بفرد را مدرج می نماید. $J_i \in [0,1]$ می باشد. مقدار صفر را از زمانی که به طور کامل به هدف می رسد، می گیرد، یعنی، $\alpha = \alpha^{\star}$ ، $\text{Vol}(\epsilon_{P_z}) = \text{Vol}(\epsilon_{P_z})^{\star}$ و مقدار 1 را در حالت مخالف اتخاذ می نماید، یعنی، برای مقادیر متناظر (بدترین حالت بهینه) $\text{Vol}(\epsilon_{P_z}) = \text{Vol}(\epsilon_{P_z})^{\dagger}$ می باشد که در $\alpha = \alpha^{\dagger}$ داده شده است.

مشاهده گر حالت کران دار درجه دوم مطلوب که معادله (21) را به حداقل می رساند، می تواند با حل مسأله بهینه سازی طراحی گردد.

$$\begin{aligned} \min_{\alpha > 0, P > 0, Y} \quad & J_{\mu}(\alpha, P_z) \\ \text{subject to} \quad & \text{Eqn. (7)} \end{aligned} \quad (24)$$

برای یک مقدار ثابت μ ، به طور کلی، راه حل معادله (24) سر راست نیست. با این حال، یک مسأله بهینه سازی جایگزین که دارای همان راه حل می باشد، می تواند در دو مرحله حاصل شود:

مرحله 1: محدودیت موجود در معادله (7) به دلیل تولید متغیرهای ناشناخته α و P خطی نیست. با وجود این، می توان آن را به عنوان LMI برای مقادیر ثابت α تعبیر کرد. بنابراین، یک مسأله معادل برای معادله (24) می تواند با تقسیم آن به دو مسأله بهینه سازی تو در تو بدست آید، یکی از آنها به طور کارآمد با حل کننده های داخلی SDP و دومی با یک متغیر بهینه سازی واحد به دست می آید.

$$\min_{\alpha > 0} J_{\mu}(\alpha, \text{Vol}(\epsilon_{P_z}^+)), \quad (25)$$

که همراه با $\epsilon_{P_z}^+$ بیضی که مربوط به ماتریس درجه دوم P_z^+ است را نشان می دهد و با استفاده از معادله (19) همراه با $P = P^+$ بدست می آید که مسأله بهینه سازی برای مقادیر ثابت α و μ را حل می نماید.

$$(P^+, Y^+) = \arg \min_{P > 0, Y} J_{\mu}(\alpha, \text{Vol}(\epsilon_{P_z})) \quad (26)$$

subject to Eqn. (7).

مرحله 2: برای مقادیر ثابت α و μ ، یک عدد ثابت است و μB_q به صورت یک پارامتر مقیاس پذیر عمل می کند. با توجه به اینکه تابع ریشه دوم ارایه شده در معادله (2)، به طور یکنواخت افزایشی است، حل معادله (26) معادل با به حداکثر رساندن تابع هدف جایگزین $J'(P_z) = \det(P_z)$ است مشروط به اینکه معادله (7) برقرار باشد. با اینکه تعیین کننده P_z می تواند محدب باشد، زیرا P_z دارای ساختار قطعی مثبت است، در حالی که مدلسازی آن از P ناشناخته اصلی به دلیل تولید سمت راست معادله (19) نمی تواند محدب باشد. این اشکال می تواند با در نظر گرفتن یک ماتریس جدید $X \geq 0$ و محدودیت زیر برطرف گردد:

$$X \leq P_z. \quad (27)$$

معادله (27) می تواند به عنوان یک LMI در P با در نظر گرفتن آن به عنوان شور (Schur) P'_{22} در P' همراه با ماتریس زیر بیان می شود:

$$\begin{aligned} P' &= \begin{bmatrix} P'_{11} & P'_{12} \\ P'_{21} & P'_{22} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} E_1 P E_1^T - X & E_1 P E_2^T \\ E_2 P E_1^T & E_2 P E_2^T \end{bmatrix} > 0. \end{aligned} \quad (28)$$

با توجه به اینکه $E = (E_1^T E_2^T)^T$ یک ماتریس مرتبه کامل است که نشان دهنده یک جایگشت می باشد، تبدیل زیر برقرار می باشد:

$$E^T P' E \geq 0 \quad (29)$$

که منجر به نامساوری ماتریس ساده تر مستقل از E_2 می شود،

$$P - E_1^T X E_1 \geq 0. \quad (30)$$

شرط قبلی دلالت بر وجود یک بیضی $\epsilon_X(e_z)$ است که $\epsilon_{P_z}(e_z)$ را محصور می نماید. به حداقل رساندن حجم $\epsilon_X(e_z)$ ، یعنی به حداکثر رساندن تعیین کننده ماتریس X ، باعث ایجاد همگرایی $\epsilon_X(e_z)$ به حداقل حجم $\epsilon_{P_z}(e_z)$ می شود تا زمانی که هیچ شرط اضافی روی X اعمال نشود. به عنوان نتیجه ای از مطالب بالا، معادله (26) می تواند با مسأله بهینه سازی محدب جایگزین شود: که در این صورت می توان رابطه زیر را بدست آورد

$$(X^+, P^+, Y^+) = \arg \max_{X>0, P>0, Y} \det(X) \quad (31)$$

مشروط به اینکه معادلات (7) و (30) برقرار باشد.

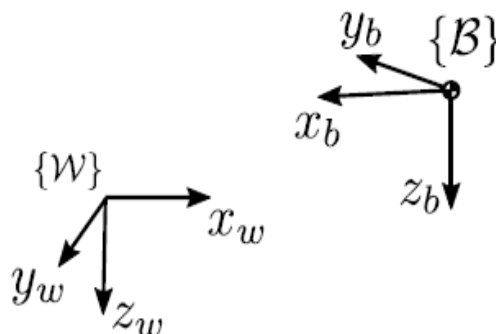
تضمین می کند که $\epsilon_X^+ = \epsilon_{P_z}^+$ است. توجه داشته باشید که، از آنجا که μ در معادله (31) نشان داده نشده است، مقادیر بهینه $Y^+ = Y^+(\alpha)$ و $P^+ = P^+(\alpha)$ ، $X^+ = X^+(\alpha)$ تنها به مقدار انتخابی α بستگی دارد.

با در نظر گرفتن توضیحات قبلی، مشاهده گر کران دار درجه دوم مطلوب توسط $\bar{L}^* = (\bar{P}^*)^{-1} \bar{Y}^*$ نشان داده می شود که با حل مسئله بهینه سازی در معادله (25) همراه با $\epsilon_x^+ = \epsilon_p^+$ و $\bar{X}^+$ داده شده است که راه حل معادله (31) می باشد.

3. معادلات پویای UAV

در این بخش، مدل UAV برای به دست آوردن مشاهده گر آشفتگی استفاده خواهد شد، ارائه شده است. ابتدا معادلات حرکت پویا پیوسته برای اجسام سفت و سخت سه بعدی، فرموله شده به شکل تکانه، در مرجع جهانی و با توجه به عملکرد جاذبه، محرک های چرخشی و آشفتگی ها ارائه می گردد. با توجه به اطلاعات و دانش نویسندگان، این انتخاب که از مزایای ساخت سیستم به صورت خطی بهره می برد، قبلاً در زمینه تخمین اختلالات (آشفتگی ها) در UAV مورد استفاده قرار نگرفته است. دوم، یک مدل آشفتگی ساده اما کلی مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت، مدل مشترک با در نظر گرفتن دو دینامیک قبلی نشان داده می شود.

3.1 معادلات حرکت پویا. اجازه دهید فریم $\{W\}$ ، یک لختی با منشاء سطح زمین با جهت گیری ثابت داده شده باشد. پیکربندی NED (شمال-شرق-پایین) در اینجا به صورت عرف معمول مورد استفاده قرار می گیرد، یعنی، محور x فریم، سمت قطب شمال، محور y سمت شرق و محور z سمت مرکز زمین را نشان می دهد. اجازه دهید فریم $\{B\}$ یک فریم غیر لختی واقع در مرکز جرم جسم باشد که به سختی با نقاط محور x به سمت جلو، محور y به سمت راست و محور z به سمت پایین متصل است. شکل 1 این فریم های مرجع را نشان می دهد.



اجازه دهید کواترنيون (چهارتایی) $\dot{q} = [q_0, q_v^T]^T$ ، حالت بين فریم ها را تعريف نمايد، به طوری که

$${}^w r = R(\dot{q}) {}^b r, \quad (32)$$

که در آن ${}^w r$ و ${}^b r$ نمایش های متفاوتی از یک بردار جبری $r \in \mathbb{R}^3$ هستند که به ترتیب در فریم های $\{W\}$ و $\{B\}$ بیان شده است، و $R(\dot{q}) \in SO(3)$ یک ماتریس دورانی است، یعنی، $\dot{R}R^T = R^T \dot{R} = I_3$ ، که به صورت زیر داده شده است:

$$R(\dot{q}) = \left(q_0 - q_v^T q_v \right) I_3 + 2 \left(q_v q_v^T \right) + 2q_0 [q_v]_{\times}, \quad (33)$$

که در آن $[q_v]_{\times}$ یک ماتریس ضد متقارن است که در آن $q_v \times r = [q_v]_{\times} r$ می باشد.

معادلات حرکت برای جسم سفت و سخت در فریم $\{W\}$ با استفاده از ممنتم خطی سیستم و تکانه چرخشی بیان شده است:

$${}^w \dot{p} = \begin{pmatrix} m {}^w g + R(\dot{q}) {}^b f_a + {}^w f_e \\ R(\dot{q}) {}^b \tau_a + {}^w \tau_e, \end{pmatrix} \quad (34)$$

که در آن ${}^w p \in \mathbb{R}^6$ ، ممنتم (تکانه) توده ای است که به صورت زیر تعريف می شود:

$${}^w p = \begin{pmatrix} m {}^w v \\ {}^w J {}^w \omega, \end{pmatrix} \quad (35)$$

بردار ${}^w v \in \mathbb{R}^3$ سرعت نسبی مبدأ $\{B\}$ با توجه به $\{W\}$ که در مختصات $\{W\}$ بیان شده است، تعريف می گردد؛ ${}^w \omega \in \mathbb{R}^3$ سرعت زاویه ای نسبی $\{B\}$ با توجه به $\{W\}$ ، همچنین در مختصات $\{W\}$ را نشان می دهد؛ $m \in \mathbb{R}$ جرم جسم را نشان می دهد؛ ${}^w J \in \mathbb{R}^3$ لختی جرم است، همانطور که در $\{W\}$ مشاهده شده است که مربوط به لختی (اینرسی) ثابت جرم ${}^b J$ توسط ${}^b J = R(\dot{q}) {}^b J R(\dot{q})^T$ می باشد؛ ${}^w g \in \mathbb{R}^3$ بردار شتاب گرانش است که در $\{W\}$ شناخته شده است؛ ${}^b f_a \in \mathbb{R}^3$ و ${}^b \tau_a \in \mathbb{R}^3$ نیروی محرکه و بردارهای گشتاور می باشد که به

طور طبیعی در فریم جسم توصیف شده است؛ در نهایت، ${}^w f_e \in \mathbb{R}^3$ و ${}^w \tau_e \in \mathbb{R}^3$ نیروهای خارجی و گشتاور ناشناخته می باشد که بر روی پلت فرم عمل می نماید.

معادله (34) می تواند به یک روش فشرده نیز نوشته شود

$${}^w \dot{p} = (mg' + R'(\dot{q})w_a + d,) \quad (36)$$

که در آن

$$g' = ({}^w g^\top, 0, 0, 0)^\top \quad (37)$$

بردار گشتاور گسترش یافته است،

$$R'(\dot{q}) = \begin{pmatrix} R(\dot{q}) & 0 \\ 0 & R(\dot{q}) \end{pmatrix} \quad (38)$$

ماتریس دورانی تقویت یافته است،

$$w_a^1 = ({}^b f_a^\top, {}^b \tau_a^\top) \quad (39)$$

آچار محرک است و

$$d = \Delta w_a + \Delta g' + \begin{pmatrix} {}^w f_e \\ {}^w \tau_e \end{pmatrix} \quad (40)$$

برداری است که نشان دهنده اختلالات عملکرد در سیستم می باشد که ممکن است نه تنها حاوی تأثیر پیچ خوردگی (آچار) خارجی بلکه حاوی دینامیک های مدل سازی نشده می باشد که توسط Δw_a و $\Delta g'$ نشان داده می شود.

3.2 مدل آشفتگی (اختلال). به طور کلی دینامیک ها ناشناخته هستند و این دلیل اصلی این امر است که افرادی

منند روگییرو و همکارانش (2014) و یوکسل و همکارانش (2014) فرض کردند که $d=0$ است. با این حال، این

محدودیت می تواند خروجی تخمین را به صورت دینامیک های خیلی سریع کاهش دهد. به منظور کاهش این اشکال، می توان فرض کرد که آشفستگی d ، یک تابع پیوسته است که با زمان ناشناخته هدایت می شود و خروجی برون زا $\eta(t)$ در r امین مشتق آن تغییر می نماید،

$$\overset{(r)}{d} = \eta(t), \quad (41)$$

همانطور که توسط کیم و همکاران (2010) نشان داده شد و بعداً توسط سو و همکاران (2015) مورد استفاده قرار گرفت.

در این مورد، جالب است که یک نسخه تقویتی از بردار آشفستگی را در نظر بگیرید که در ادامه آورده شده است

$$d_v = \left(d^1, \dot{d}^\top, \dots, d^{(r-1)\top} \right)^\top, \quad (42)$$

همراه با دینامیک های d_v توسط رابطه زیر توصیف شده است

$$\dot{d}_v = F d_v + G \eta_1, \quad (43)$$

که در آن $F \in \mathbb{R}^{6(r-1) \times 6(r-1)}$ توسط رابطه زیر داده شده است

$$F = \left(0_{6r \times 6} \mid \frac{I_{6(r-1)}}{0_{6 \times 6(r-1)}} \right) \quad (44)$$

و $G \in \mathbb{R}^{6(r-1) \times 6}$ به صورت زیر تعریف شده است

$$G = \left(\frac{0_{6(r-1) \times 6}}{I_6} \right). \quad (45)$$

بردار آشفستگی d می تواند هر زمانی از d_v به صورت $d = H d_v$ بازیابی شود، که در آن $H \in \mathbb{R}^{6 \times 6(r-1)}$ یک ماتریس انتخابی دیگر است که توسط رابطه زیر تعریف می شود

$$H = \begin{pmatrix} I_6, 0_{6 \times 6(r-1)} \end{pmatrix}. \quad (46)$$

3.3 مدل گسترش یافته با توجه به آشفتگی ها- مدل دینامیکی تقویت یافته با حالت $x^1 = ({}^w p^1, d_v^1)$ و

دینامیک های داده شده توسط معادلات (36) و (43) می تواند به صورت زیر خلاصه شود

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} {}^w \dot{p} \\ \dot{d}_v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} mg' + R'(\dot{q})w_a + Hd_v \\ Fd_v + G\eta_1 \end{pmatrix} \quad (47)$$

اجازه دهید که $\dot{q}$ و w_a شناخته شده باشد و $\eta_1 = \eta_1(t)$ یک ورودی ناشناخته را نشان دهد؛ آنگاه دینامیک های

موجود در معادله (47) خطی می باشد و می تواند به صورت زیر بازنویسی گردد:

$$\dot{x} = Ax + Bu + W_1\eta_1, \quad (48)$$

که در آن

$$A = \left(0_{6(r+1) \times 6} \mid \frac{H}{F} \right), \quad (49)$$

$$B = \begin{pmatrix} I_6 \\ 0_{6r \times 6} \end{pmatrix}, \quad (50)$$

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0_{6 \times 6} \\ G \end{pmatrix}, \quad (51)$$

و

$$u = mg' + R'(\dot{q})w_a. \quad (52)$$

3.4 اندازه های سیستم- در مورد برنامه های کاربردی ناوبری (جهت گیری) معمولی، از یک برآوردگر لایه بالا

برای بازسازی حالت های برخورد و سرعت در حین فیلترینگ و حذف خطا از خوانش سنسورها استفاده می شود؛ به

عنوان مثال، به مقالات سانتاماریا-ناوارو و همکاران. (2015)، لینن و همکاران. (2013) یا آثار کیلی و سوخاتم

(2011) مراجعه فرمایید. از آنجا که این یک روش معمول (رایج) است، در این کار فرض خواهیم کرد که

$\dot{q}, {}^w v, {}^b \omega$ و اندازه گیری های شتاب سنج توسط رابطه زیر نشان داده می شود

$${}^b a = \frac{{}^b f_a + R^1(\dot{q}) {}^w f_{ext}}{m} \quad (53)$$

که در فواصل زمانی منظم شناخته شده هستند. علاوه بر این، آچار محرک ${}^w a$ نیز شناخته شده می باشد.

در این پژوهش، این داده ها برای ساخت بردار ورودی u استفاده می شود که اندازه گیری های سیستم را به صورت زیر ارایه می نماید

$$\begin{aligned} y &= \begin{pmatrix} {}^w p + \eta_p \\ {}^w f_{ext} + \eta_{f_a} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} m {}^b v \\ R(\dot{q}) ({}^b J {}^b \omega) \\ R(\dot{q}) (m {}^b a + {}^b f_a) \end{pmatrix} + \eta_2. \end{aligned} \quad (54)$$

رابطه فوق همراه با $\eta_2 = \eta_2(t)$ خطاهای اندازه گیری را نشان می دهد. با توجه به معادله قبلی، مدل اندازه گیری خطی می تواند به صورت زیر فرموله شود

$$y = Cx + W_2 \eta_2, \quad (55)$$

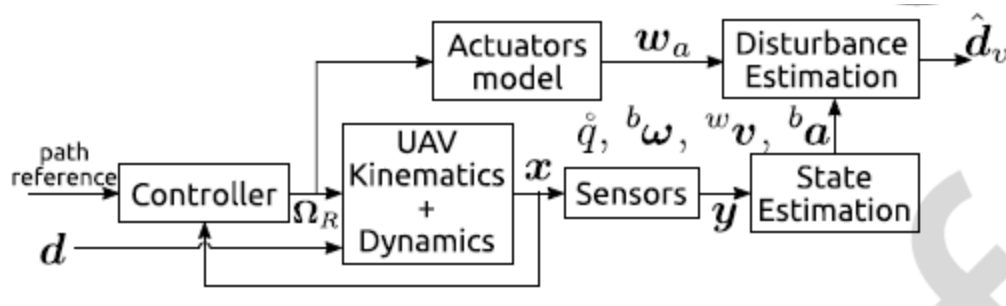
9

$$W_2 = I_9. \quad (57)$$

4. مشاهده گر کران دار (محدود) درجه دوم بهینه UAV

در این بخش، از روش طراحی ارایه شده در بخش 3 برای تولید یک مشاهده گر برای UAV ارایه شده در معادلات 48 و 54 استفاده می نماییم. برای نشان دادن عملکرد تخمین، از شبیه سازی موجود در شکل 2 استفاده می کنیم

که در آن یک کوادروتور با جرم $m = 1.023 \text{ kg}$ و $\tilde{J}^b = \text{diag}(9.5, 9.5, 18.6) 10^{-3} \text{ kgm}^2$ برای انجام پرواز در طول کل شبیه سازی کنترل می گردد.



شکل 2: راه اندازی شبیه سازی

ورودی های مدل دینامیکی (پویا)، سرعت زاویه مطلوب چهار روتور Ω_R به همراه آشفتگی d است که نمودار زمان آن در شکل 3 آورده شده است. این آشفتگی، نیرویی است که در جهت x جهانی عمل می کند. مجموعه سنسورهای در نظر گرفته شده شامل یک IMU است که سرعت زاویه ای UAV و شتاب نیروهای خارجی را اندازه گیری می کند، یک مغناطیس سنج سه محوره که از جهت میدان مغناطیسی زمین خارج می شود و یک سنسور GPS که موقعیت خود را از فریم $\{W\}$ بیرون می کشد. کنترلر، مدل UAV و مدل محرک (فعال کننده) اصطلاحاتی هستند که توسط هارتمن و همکاران (2014) ارایه شده است، با این وجود کوارترها برای پارامتری کردن و اندازه گیری حالات برای شبیه سازی رفتار یک کوادروتور AscTec Hummingbird در نظر گرفته می شوند. مدل های سنسور (حسگر) بر اساس آزمایش های واقعی بر روی پلت فرم آزمایشی اندازه گیری می شوند (مدرج می شوند).

با استفاده از این اطلاعات، فرایند تخمین یک حالت، تخمین هایی را برای بردار y تولید می کند که خطاهای اندازه

گیری مشخص شده درون یک بیضی ${}^{\epsilon}Q_2(\eta_2)$ قرار می گیرند، که

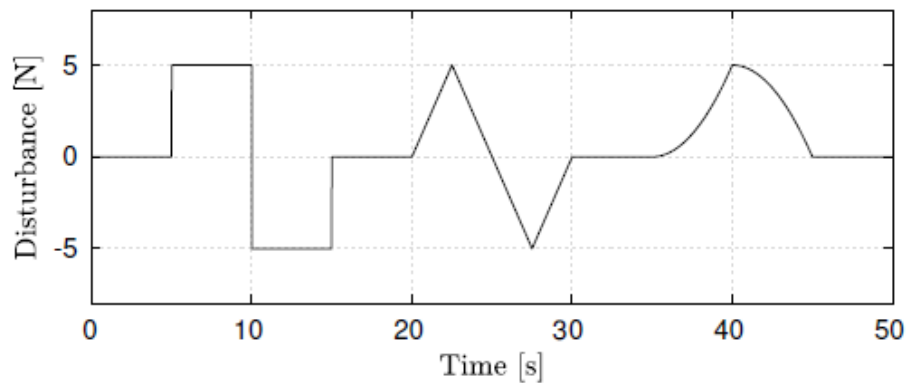
$$Q_2 = \begin{pmatrix} 1.5 & -0.3 & 0.3 & 8.3 & -3.2 & -3.1 & -0.2 & -0.02 & -0.1 \\ & 0.7 & -0.1 & -10.5 & 9.3 & -6.2 & 0.04 & -0.03 & -0.01 \\ & & 0.9 & 3.30 & 3.7 & -3.9 & 0.02 & -0.02 & -0.09 \\ & & & 2903 & 111.7 & -277.8 & -2.4 & -0.6 & -0.2 \\ & & & & 4281 & 242.1 & 0.6 & 2.5 & -1.5 \\ & & & & & 951.2 & -1.6 & 1.6 & 1.05 \\ & & \text{SYM} & & & & 0.2 & -0.01 & -0.01 \\ & & & & & & & 0.1 & -0.01 \\ & & & & & & & & 0.1 \end{pmatrix}. \quad (58)$$

در نهایت، با توجه به اینکه این مدل فعال کننده (عملگر)، پیاده سازی را در بلوک دینامیکی انجام می دهد، آچار در این نوع فعال کننده ها باید کاملاً شناخته شده باشد.

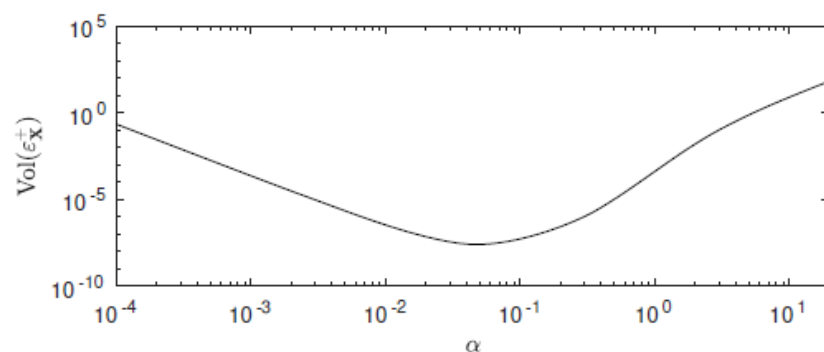
با توجه به آشفتگی موجود در شکل 3، مقدار مرتبه مدل آشفتگی تا $r=3$ تنظیم می گردد، در حالی که $Q_1 = 10^6 I_6$ به اندازه کافی بزرگ انتخاب شده است تا ${}^{\epsilon}Q_1(\eta_1)$ به اندازه کافی کوچک باشد، که خطاهای عددی احتمالی در شبیه سازی را در نظر می گیرد. در نتیجه، ماتریس

$$Q = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} Q_1 & 0 \\ 0 & Q_2 \end{pmatrix} \quad (59)$$

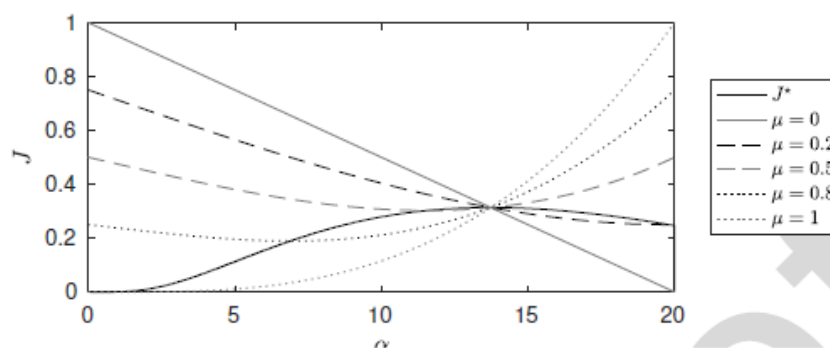
مدل و خطاهای اندازه گیری بیضوی در معادله (54) را تعریف می کند.



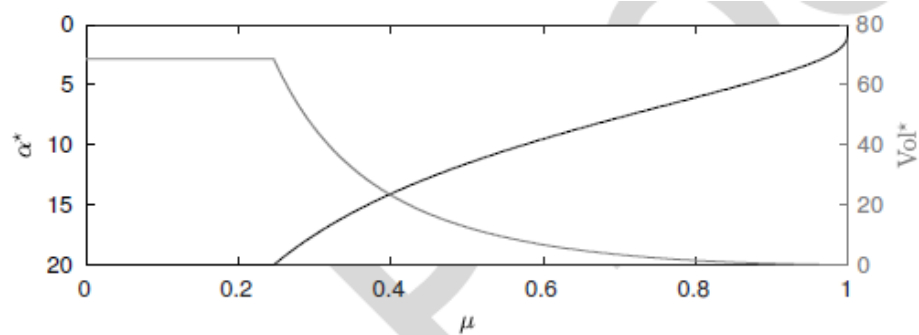
شکل 3: آشفتگی در استفاده از کوادروتور. بخش اول یک توالی از سیگنال های ثابت می باشد (از $t=5$ تا $t=15$). بخش دوم، یک سیگنال مثلثی (از $t=20$ تا $t=30$)، بخش سوم، یک سیگنال درجه دوم (از $t=35$ تا $t=45$) می باشد.



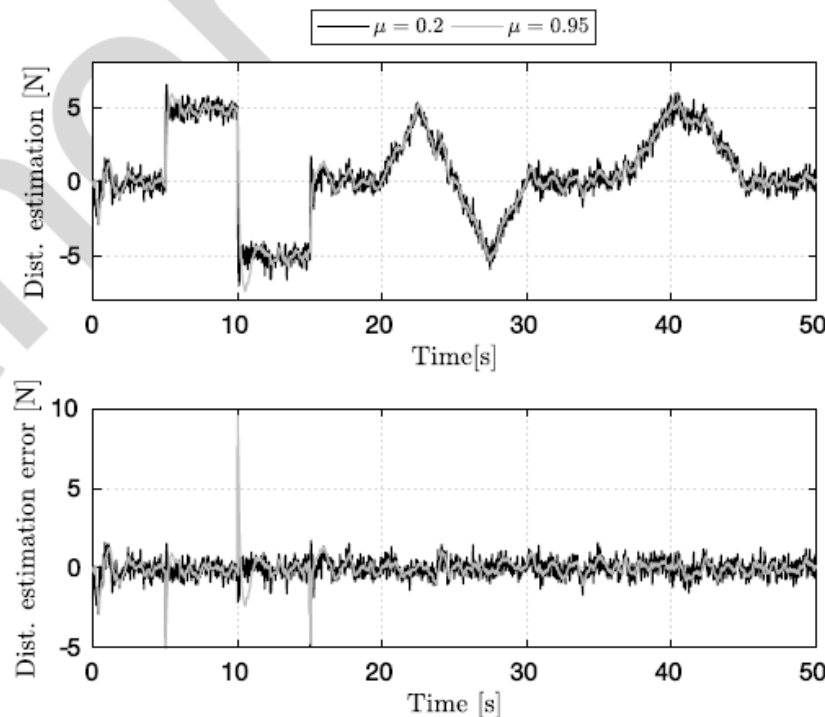
شکل 4: حداقل مقدار $\text{Vol}(\epsilon_x^\pm)$ به عنوان تابعی از α



شکل 5: مقادیر تابع هدف به عنوان تابعی از α برای μ ثابت و مقدار بهینه تابع هدف



شکل 6: مقادیر بهینه نرخ همگرایی و حجم نهایی محدودیت به عنوان تابعی از پارامتر طراحی



شکل 7: تخمین آشفتگی و خطاها

از آنجا که در این حالت، هدف نهایی تخمین فقط اختلالات d است، در حالی که مقادیر دقیق حالات باقیمانده بی ربط هستند، $E1$ به صورت زیر انتخاب می شود:

$$E_1 = (0_{6 \times 6}, H). \quad (60)$$

با استفاده از داده های قبلی، مسأله بهینه سازی در معادله (31) برای مقادیر $\alpha \in [0, 20]$ حل شده است. حجم مطلوب بیضی تولید شده $\epsilon_X^+(\alpha)$ در شکل 4 نشان داده شده است.

نتایج تابع هدف برای چندین مقدار از μ به همراه مقدار بهینه به عنوان تابعی از α را می توان در شکل 5 یافت.

در نهایت، مقادیر بهینه اهداف غیر معمول α^* و $Vol(\epsilon_X^+)$ به عنوان تابعی از پارامتر طراحی μ در شکل 6 نشان داده شده است.

عملکرد تخمین آشفتگی برای مقادیر متغیرهای تصمیم $\mu = 0.2$ و $\mu = 0.95$ در شکل 7 نشان داده است. توجه داشته باشید که تخمین آشفتگی سر راست نیست چرا که در تغییرات ناگهانی مشتقات سیگنال با تعریف محدود نشده اند. با این حال، حتی در این حالت، طراحی فیلتر پایداری خطا را با مقایسه دو خروجی تضمین نمی کند، می

توان دریافت که وقتی فرضیه فیلتر (در این مورد $\ddot{d} \in \epsilon_{Q_1}(\eta_1)$) انجام می شود، تخمین مطابق با μ بالاتر می باشد که این نیز پایین تر از مقدار کم μ می باشد، در حالی که همانطور که در شکل 6 مشاهده می شود، این به منطقه کوچکتري در همسایگی سیگنال واقعی همگرا است.

5. نتیجه گیری

روش طراحی ارائه شده در بخش اول، مقاله کلی اختصاص یافته به تولید مشاهده گرهای حالت برای سیستم های نامشخص خطی است. نتایج ارائه شده اجازه هدایت مشاهده گرهای (ناظران) را می دهد که این یک معامله بهینه بین حداقل راه حل های خطای حجم و حداکثر نرخ همگرایی را تضمین می نماید. با توجه به حجم راه حل به عنوان هدفی برای به حداقل رساندن، ایده ای است که قبلاً در مقالات ارائه نشده است. در بخش مدلسازی، یک مدل خطی برای کوادروتور ارائه کرده ایم که یک آشفتگی احتمالی با مرتبه بالا را به هنگام پرواز پهناد، به عنوان بخشی از حالت، در نظر می گیرد.

باید فرض کرد که چنین مدل خطی برای کوادروتور (کوادکوپتر) ساده نیست، بلکه نتیجه دقیقی بعد از در نظر گرفتن یک حالت مناسب و فریم مرجع بدست می آورد. هم مدل و هم تئوری برای تدوین یک مشاهده گر حالت در نظر گرفته می شوند که ثبات تخمین را تضمین می کند در حالی که خطای مربوط به آشفتگی را به حداقل می رساند. نمونه در نظر گرفته شده، تأثیر متغیر تصمیم گیری در طراحی را نشان می دهد و نتایج عملکرد مشاهده گر برای انتخاب های مختلف پارامتر طراحی با تخمین یک آشفتگی را مشخص می نماید.

مدل کوادروتور و سیستم گسترش یافته که برای تخمین آشفتگی ها در بخش دوم مقاله مورد استفاده قرار گرفته است، می تواند به همراه سایر طرح های تخمین حالت مبتنی بر ISS یا HTO به کار گرفته شود. در مقاله بعدی قصد داریم تا تجزیه و تحلیل این روش ها و نحوه تأثیر حداقل حجم خطای بیضی خطا و همچنین نرخ فروپاشی را نشان دهیم و یک مقایسه منصفانه با نتایج ارائه شده در اینجا را ارائه دهیم. کارهای بعدی نیز شامل نتایج تجربی با استفاده از یک پلت فرم UAV واقعی خواهد بود.

References

- Abbaszadeh, M. and Marquez, H.J. (2009). LMI optimization approach to robust H_∞ observer design and static output feedback stabilization for discrete-time nonlinear uncertain systems, *International Journal of Robust and Nonlinear Control* **19**(3): 313–340.
- Alessandri, A. (2004). Observer design for nonlinear systems by using input-to-state stability, *43rd IEEE Conference on Decision and Control, 2004. CDC.*, Vol. 4, *Conf. city & country!!*, pp. 3892–3897.
- Alessandri, A., Baglietto, M. and Battistelli, G. (2004). On estimation error bounds for receding-horizon filters using quadratic boundedness, *IEEE Transactions on Automatic Control* **49**(8): 1350–1355.
- Alessandri, A., Baglietto, M. and Battistelli, G. (2006). Design of state estimators for uncertain linear systems using quadratic boundedness, *Automatica* **42**(3): 497–502.
- Alessandri, A. (2013). Design of time-varying state observers for nonlinear systems by using input-to-state stability, *American Control Conference (ACC)*, *Conf city & country!!*, pp. 280–285.
- Brockman, M.L. and Corless, M. (1995). Quadratic boundedness of nonlinear dynamical systems, *34th IEEE Conference on Decision and Control*, *Conf. city & country!!*, Vol. 1, pp. 504–509.
- Brockman, M.L. and Corless, M. (1998). Quadratic boundedness of nominally linear systems, *International Journal of Control* **71**(6): 1105–1117.
- Buciakowski, M., Witczak, M., Mrugalski, M. and Theilliol, D. (2017a). A quadratic boundedness approach to robust dc motor fault estimation, *Control Engineering Practice* **66** *No.??*: 181–194.
- Buciakowski, M., Witczak, M., Puig, V., Rotondo, D., Nejjari, F. and Korbicz, J. (2017b). A bounded-error approach to simultaneous state and actuator fault estimation for a class of nonlinear systems, *Journal of Process Control* **52** *No.??*: 14–25.
- Busawon, K.K. and Kabore, P. (2001). Disturbance attenuation using proportional integral observers, *International Journal of Control* **74**(6): 618–627.
- Chadli, M. and Karimi, H.R. (2013). Robust observer design for unknown inputs Takagi–Sugeno models, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* **21**(1): 158–164.
- Chen, W.-H., Ballance, D.J., Gawthrop, P.J. and O'Reilly, J. (2000). A nonlinear disturbance observer for robotic manipulators, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **47**(4): 932–938.

- Chen, W.-H., Yang, J., Guo, L. and Li, S. (2016). Disturbance-observer-based control and related methods—an overview, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **63**(2): 1083–1095.
- Chibani, A., Chadli, M., Shi, P. and Braiek, N.B. (2017). Fuzzy fault detection filter design for T–S fuzzy systems in the finite-frequency domain, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* **25**(5): 1051–1061.
- Ding, B. (2009). Quadratic boundedness via dynamic output feedback for constrained nonlinear systems in Takagi–Sugeno's form, *Automatica* **45**(9): 2093–2098.
- Ding, B. (2013). New formulation of dynamic output feedback robust model predictive control with guaranteed quadratic boundedness, *Asian Journal of Control* **15**(1): 302–309.
- Ding, B. and Pan, H. (2016). Output feedback robust mpc for LPV system with polytopic model parametric uncertainty and bounded disturbance, *International Journal of Control* **89**(8): 1554–1571.
- Godbole, A.A., Kolhe, J.P. and Talole, S.E. (2013). Performance analysis of generalized extended state observer in tackling sinusoidal disturbances, *IEEE Transactions on Control Systems Technology* **21**(6): 2212–2223.
- Grip, H.F., Saberi, A. and Johansen, T. A. (2012). Observers for interconnected nonlinear and linear systems, *Automatica* **48**(7): 1339–1346.
- Hartman, D., Landis, K., Mehrer, M., Moreno, S. and Kim, J. (2014). Quadcopter dynamic modeling and simulation (Quad-Sim), <https://github.com/dch33/Quad-Sim>.
- Hassani, H., Zarei, J., Chadli, M. and Qiu, J. (2017). Unknown input observer design for interval type-2 T–S fuzzy systems with immeasurable premise variables, *IEEE Transactions on Cybernetics* **47**(9): 2639–2650.
- Johnson, C. (1971). Accomodation of external disturbances in linear regulator and servomechanism problems, *IEEE Transactions on Automatic Control* **16**(6): 635–644.
- Kelly, J. and Sukhatme, G. S. (2011). Visual-inertial sensor fusion: Localization, mapping and sensor-to-sensor self-calibration, *The International Journal of Robotics Research* **30**(1): 56–79.
- Kim, K.-S., Rew, K.-H. and Kim, S. (2010). Disturbance observer for estimating higher order disturbances in time series expansion, *IEEE Transactions on Automatic Control* **55**(8): 1905–1911.
- Koenig, D. (2005). Unknown input proportional multiple-integral observer design for linear descriptor systems: Application to state and fault estimation, *IEEE Transactions on Automatic Control* **50**(2): 212–217.
- Kwon, S. and Chung, W. K. (2003). A discrete-time design and analysis of perturbation observer for motion control applications, *IEEE Transactions on Control Systems Technology* **11**(3): 399–407.
- Li, S., Yang, J., Chen, W.-H. and Chen, X. (2012). Generalized extended state observer based control for systems with mismatched uncertainties, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **59**(12): 4792–4802.

- Lynen, S., Achteplik, M. W., Weiss, S., Chli, M. and Siegwart, R. (2013). A robust and modular multi-sensor fusion approach applied to MAV navigation, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, City & country!! , pp. 3923–3929.
- Ping, X. (2017). Output feedback robust MPC based on off-line observer for LPV systems via quadratic boundedness, *Asian Journal of Control* **19**(4): 1641–1653.
- Ping, X., Wang, P. and Li, Z. (2017). Quadratic boundedness of LPV systems via saturated dynamic output feedback controller, *Optimal Control Applications and Methods* **38**(6): 1239–1248.
- Miettinen, K. (1999). *Nonlinear Multiobjective Optimization*, International Series in Operations Research and Management Science, Vol. 12, Publisher & publication City!! .
- Ros, L., Sabater, A. and Thomas, F. (2002). An ellipsoidal calculus based on propagation and fusion, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics B: Cybernetics* **32**(4): 430–442.
- Rotondo, D., Witczak, M., Puig, V., Nejjari, F. and Pazera, M. (2016). Robust unknown input observer for state and fault estimation in discrete-time Takagi–Sugeno systems, *International Journal of Systems Science* **47**(14): 3409–3424.
- Ruggiero, F., Cacace, J., Sadeghian, H. and Lippiello, V. (2014). Impedance control of VTOL UAVs with a momentum-based external generalized forces estimator, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, City & country!! , pp. 2093–2099.
- Ruggiero, F., Cacace, J., Sadeghian, H. and Lippiello, V. (2015). Passivity-based control of VTOL UAVs with a momentum-based estimator of external wrench and unmodeled dynamics, *Robotics and Autonomous Systems* **72** No.?? : 139–151.
- Santamaria-Navarro, A., Sola, J. and Andrade-Cetto, J. (2015). High-frequency MAV state estimation using low-cost inertial and optical flow measurement units, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, City & country!! , pp. 1864–1871.
- She, J.-H., Fang, M., Ohyama, Y., Hashimoto, H. and Wu, M. (2008). Improving disturbance-rejection performance based on an equivalent-input-disturbance approach, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* **55**(1): 380–389.
- Su, J., Chen, W.-H. and Li, B. (2015). High order disturbance observer design for linear and nonlinear systems, *IEEE International Conference on Information and Automation*, City & country!! , pp. 1893–1898.
- Wang, Z., Huang, B. and Unbehauen, H. (1999). Robust h_∞ observer design of linear state delayed systems with parametric uncertainty: The discrete-time case, *Automatica* **35**(6): 1161–1167.
- Witczak, M., Buciakowski, M. and Aubrun, C. (2016). Predictive actuator fault-tolerant control under ellipsoidal bounding, *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing* **30**(2): 375–392.

- Witczak, M., Rotondo, D., Puig, V., Nejjari, F. and Pazera, M. (2017). Fault estimation of wind turbines using combined adaptive and parameter estimation schemes, *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing* **32**(4): 549–567.
- Yüksel, B., Secchi, C., Bühlhoff, H.H. and Franchi, A. (2014). A nonlinear force observer for quadrotors and application to physical interactive tasks, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, **City & country!!** pp. 433–440.
- Zeitz, M. (1987). The extended Luenberger observer for nonlinear systems, *Systems & Control Letters* **9**(2): 149–156.
- Zhang, L., Liu, X. and Kong, X. (2012a). State estimators for uncertain linear systems with different disturbance/noise using quadratic boundedness, *Journal of Applied Mathematics* **2012** **No.!!**, pp!!.
- Zhang, W., Su, H., Wang, H. and Han, Z. (2012b). Full-order and reduced-order observers for one-sided Lipschitz nonlinear systems using Riccati equations, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* **17**(12): 4968–4977.
- Zou, T. and Li, S. (2011). Stabilization via extended nonquadratic boundedness for constrained nonlinear