عنوان کارگاه

فارسی:	**فیلترینگ (تخمین حالت) سیستم‌های کوانتومی**
انگلیسی:	Filtering of quantum systems

مشخصات کارگاه پیشنهادی:

خلاصه کارگاه آموزشی:

تکنولوژی‌های کوانتومی یکی از آرزوهای بشر بوده که تحقق یافته است و باسرعتی باورنکردنی به‌سوی تکامل پیش می‌رود. امروزه تکنولوژی‌های کوانتومی در مخابرات و محاسبات بر روی چندین بستر فیزیکی متفاوت پیاده‌سازی و اجرا شده است. پیشرفت‌های گسترده در مدارات ابررسانه، اپتیک کوانتومی، مدارات نیمه‌هادی مجتمع و به‌دام اندازی اتم‌ها امکان پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترل، اندازه‌گیری و آماده‌سازی حالت را با اطمینان و دقت خوبی مهیا کرده است. یکی از روش‌های کنترل سیستم‌های کوانتومی فیدبک مبتنی بر اندازه‌گیری است. گاهی فیدبک تابع ساده‌ای از اندازه‌گیری‌ها است و معمولاً دینامیک سیستم نیز بصورت معادله‌ای به‌نام معادله‌ی اصلی (Master equation) درنظر گرفته می‌شود که آن را فیدبک مارکوفی می‌گویند. در نمونه‌ی دیگری از فیدبک مبتنی بر اندازه‌گیری در ابتدا تخمین حالتی از سیستم به شرط داشتن اندازه‌گیری‌ها از سیستم (مشاهدات) صورت گرفته و سپس کنترل به کمک حالت تخمین‌زده شده محاسبه می‌شود. این حالت را فیدبک بیزین می‌گویند که کاربرد فراوانی نیز دارد. تخمین حالت سیستم کوانتومی که معمولاً تحت عنوان فیلترینگ کوانتومی بیان می‌شود نه تنها در کنترل بیزین مورد استفاده قرار می‌گیرد بلکه علاوه بر بهره‌گیری در کنترل، می‌تواند در درک چگونگی رفتار سیستم‌های کوانتومی نیز بکار گرفته شود.

فیلترینگ کوانتومی یک تعمیم ساده از فیلترینگ کلاسیک نیست. در واقع در فیلترینگ کوانتومی اندازه‌گیری‌هایی که از یک سیستم کوانتومی انجام شده است به یک سیستم کلاسیک داده می‌شود تا رفتار یک سیستم کوانتومی را تقلید کند. فیلترینگ در واقع واسطه‌ای بین سیستم کوانتومی و کنترل‌کننده‌ی کلاسیکی می‌باشد. فیلترینگ کوانتومی در ابتدا توسط بلاوکین مطرح شد و در اپتیک کوانتومی با معادله‌ی اصلی اتفاقی (Stochastic Master Equation) شناخته می‌شود. نظریه‌ی مسیرهای کوانتومی که توسط کارمیکائیل ارائه شده است نیز از رویکردی دیگر معادلات فیلترینگ را استخراج می‌کند. معادلات فیلترینگ برای سیستم تحت ورودی‌های حالت خلأ، گوسی، حالت فشرده و حالت همدوس ارائه شده است. همچنین معادلات فیلترینگ برای ورودی‌های غیرکلاسیکی مانند تک فوتون و برهم‌نهی حالت‌های همدوس با ایده‌ی استفاده از یک سیستم فرضی استخراج شده است. این معادلات فیلترینگ برای تخمین حالت سیستم‌های کوانتومی مانند اتم دوسطحی تحت ورودی‌های مختلف و یا کاواک تحت ورودی تک فوتون بکار گرفته شده است.

هدف از این کارگاه آموزشی آشنایی با مفاهیم و رویکردهای موجود در تخمین حالت سیستم‌های کوانتومی می‌باشد. بدین منظور در ابتدا آشنایی اولیه با مفاهیم مکانیک کوانتومی شامل فضاهای هیلبرت و تعریف عملگرها و حالت‌ها در این فضا انجام خواهد شد. در این بخش اثر انجام اندازه‌گیری بر روی سیستم‌های کوانتومی که موجب تغییر حالت آنها می‌شود نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت. سپس خلاصه‌ای از استخراج روابط فیلترینگ در کنترل کلاسیک ارائه می‌شود. در ادامه تعمیم روابط کلاسیکی برای سیستم‌های کوانتومی به کمک اندازه‌گیری‌های غیرمخرب (Non-demolition) بیان می‌شود که نتیجه‌ی آن مادلات دیفرانسیل تصادفی مبتنی بر محاسبات ایتو می‌باشد. در این قسمت تفاوت محاسبات ایتو با فرم دیفرانسیل معمولی تحت عنوان محاسبات استراتونوویچ نیز بیان می‌شود. در پایان استخراج روابط فیلترینگ برای حالت‌هایی که ورودی‌های غیرکلاسیکی داشته باشیم بیان می‌گردد.

اهداف و اهمیت کارگاه آموزشی:

اهداف:

- آشنایی اولیه با مکانیک کوانتومی
- تعمیم روابط فیلترینگ کلاسیک

- مفهوم اندازه‌گیری غیرمخرب و استخراج روابط فیلترینگ کوانتومی
- ایده استخراج روابط برای حالت‌های غیرکلاسیکی

اهمیت:

آینده پژوهان پیش بینی کرده‌اند که انقلاب بعدی یک انقلاب صنعتی کوانتومی خواهد بود. جایی که تئوری کوانتومی بطور ملموس وارد ساخت تکنولوژی‌هایی با بازده‌هایی فوق‌العاده بالا شده و حتی می‌تواند مسائل NP-hard را حل کند. پیش‌نیاز رسیدن به این تکنولوژی‌ها گسترش تئوری‌ها و روش‌های کنترل سیستم‌های کوانتومی است. بحث تخمین حالت نیز جزئی اجتناب ناپذیر از کنترل خواهد بود. آشنایی با روش‌های تخمین حالت در سیستم‌های کوانتومی نه‌تنها می‌تواند دریچه‌های جدیدی را برای کنترل سیستم‌های کوانتومی باز کند بلکه می‌تواند تعمیمی از فیلترینگ کلاسیک در فضاهای ریاضی را ارائه دهد.

سرفصل‌های ارائه شده در کارگاه:

-آشنایی با مکانیک کوانتومی

- فیلترینگ کلاسیک

- فیلترینگ کوانتومی

- شبیه سازی معادلات دیفرانسیل تصادفی

- فیلترینگ کوانتومی در حالت ورودی‌های غیرکلاسیکی

چه کتاب(ها)، مقاله(ها) یا وب سایت‌هایی را به شرکت‌کنندگان توصیه می‌کنید که قبل از حضور در کارگاه آموزشی مطالعه کنند؟

1. Papoulis, Athanasios. Stochastic Processes. Vol. 621. McGraw-Hill, 1955.
2. Bouten L, Van Handel R, James MR. An introduction to quantum filtering. Siam Journal on Control and Optimization. 2007;46(6):2199-241.
3. Parthasarathy KR. An introduction to quantum stochastic calculus: Birkhäuser Basel; 1992.
4. Gough JE, James MR, Nurdin HI, Combes J. Quantum filtering for systems driven by fields in single-photon states or superposition of coherent states. Physical Review A. 2012;86(4):043819.
5. Gough JE. An Introduction to Quantum Filtering. arXiv preprint arXiv:180409086. 2018