The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Tisiisni urgaa dhabee illee gara isaatti deebi'ee garagaluu danda'a. Plume virtual keessatti, kallattiin yaadatame gargaare

Tisiisonni firii hidhamaan qilleensa qulqulluu keessa deemanii booda irra deddeebi'anii gara daangaa urgaatti deebi'an. Amalli, modeling fi neural perturbations kaartaa guutuu osoo hin taane yaadannoo kallattii gabaabaa deeggarsu. Bu'aan kun yaalii virtual-reality to'atame irraa dhufe; tooftaan walfakkaataan free natural flight keessatti akka jiru ammaaf hin agarsiisu.

Written by Matteo · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Matteo, Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *A vector-based strategy for olfactory navigation in Drosophila*, Andrew F. Siliciano, Sun Minni, Chad Morton, Charles K. Dowell, Noelle B. Eghbali, Silas E. Busch, Juliana Y. Rhee, L. F. Abbott and Vanessa Ruta, Nature (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10827-7

Tisiisni urgaa dhabee illee gara isaatti deebi'ee garagaluu danda'a

Tisiisni urgaa sana duubatti dhiisee ture.

Qilleensa qulqulluu keessa deemuu itti fufe; yeroo tokko tokko sekondii kudhan hedduu fi millimeetira virtual dhibbaan lakkaa'amu fagaatee ture. Sana booda gara daangaa inni ce'eetti garagalee urgaa sana irra deebi'ee argate. Yeroo sanatti urgaan mataan isaa kallattii itti deebi'uu qabu agarsiisuu hin danda'u ture.

Kun ilaalcha ijoo qorannoo haaraa fruit-fly navigation irratti Nature keessatti maxxanfame dha. Qorattoonni tisiisonni kun yaadannoo kallattii gabaabaa fayyadaman jedhu: kaartaa plume urgaa guutuu miti, fageenya deeman yaadachuu miti, garuu kallattii gara daangaa yeroo sanatti argamuu hin dandeenyeetti geessu yaadachuu dha.

Bu'aan kun odeeffannoon kuufame xiqqaan akkamitti gahaa ta'uu akka danda'u waan agarsiisuuf nama dinqisiisa. Garuu salphaatti garmalee hiikamuus danda'a. Tisiisonni kun naannoo uumamaa keessatti bilisaan hin balali'in. Kubbaa qilleensaan deggaramu irratti qaamni isaanii bakkaatti hidhamanii, addunyaa virtual cimaa to'atame keessatti miilaan deeman. Qorannoon kun meeshaa kana keessatti tooftaa vector irratti hundaa'e ni deeggara; tisiisonni kaartaa sammuu ijaaru, karaalee bineensonni urgaa hordofan hunda ibsa, yookaan seelota yaadannoon keessatti qaamaan kuufamu adda baasa jechuu miti.

Koriidorii hin mul'anne software'n uumame

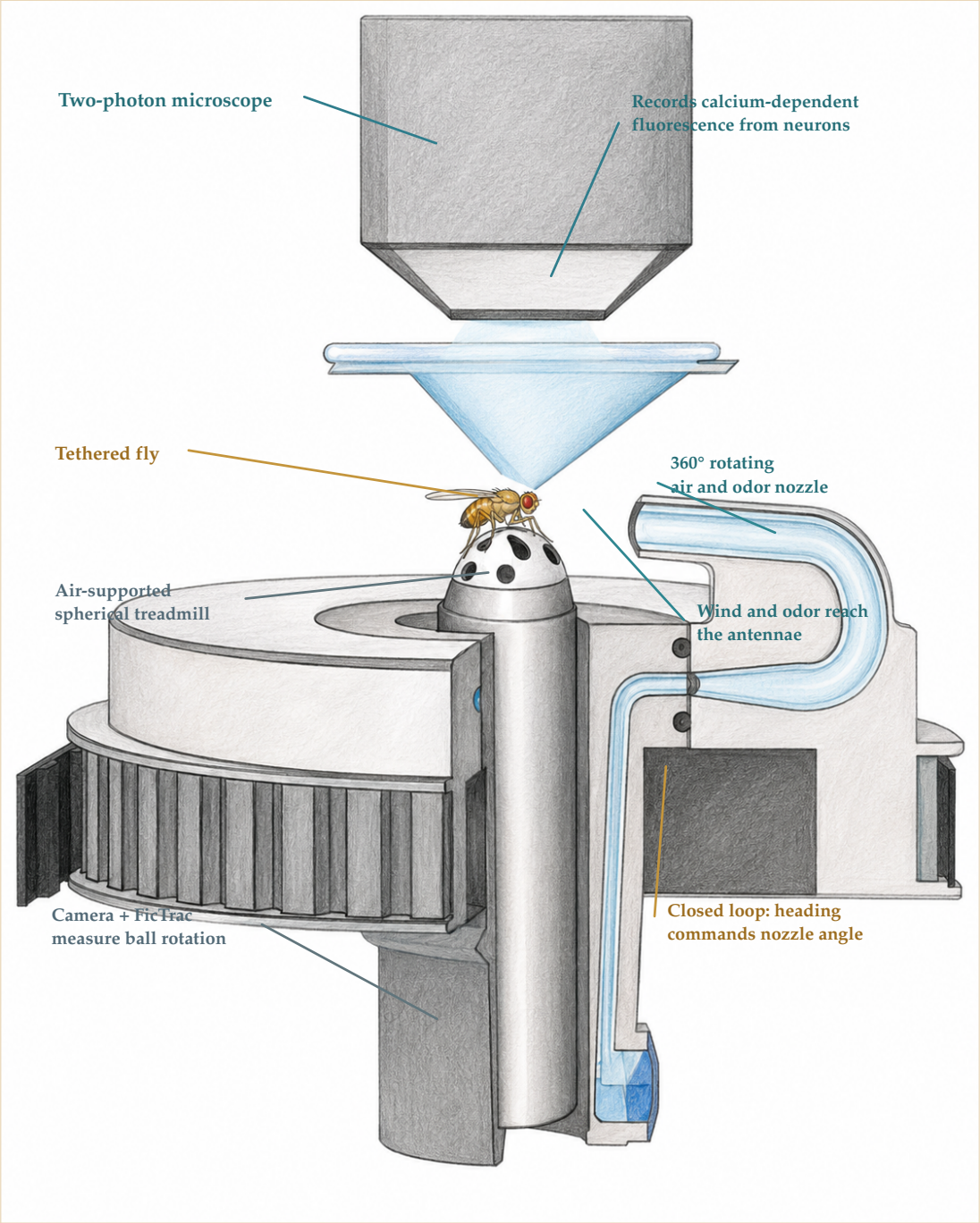
Plume urgaa jechuun naannoo urgaan qilleensaan baatamee socho'u dha. Alatti, bubbeen yeroo jijjiiramu plume tokko ni qaxxaamura, ni ciccita, irra deebi'ees walitti makama. Kanaaf bineensi yeroo kamitti maal akka urgeeffate sirriitti beekuun rakkisa.

Qorattoonni rakkoo kana **closed-loop virtual reality** fayyadamuun to'atamaa godhan. Qaamni tisiisaa bakka tokko irratti kubbaa salphaa qilleensa irratti bololi'u gubbaatti hidhamee ture. Tisiisni yeroo deemu, kaameraan naanna'uu kubbaa sekondii tokko keessatti yeroo 60tti dhiyaatu safare. Software'n naanna'uu sana gara bakka virtual diimeshinii lamaa fi heading, jechuun kallattii tisiisni fuula isaa itti qajeelche, jijjiire.

Heading sun nozzle motor'n socho'u, digrii 360 guutuu naanna'uu danda'u to'ata ture. Tisiisni heading virtual isaa yeroo jijjiiru, nozzle'n naannoo isaa naanna'ee bubbee kallattii tasgabbaa'aa addunyaa virtual tisiisaa waliin akka walsimu godha. Yeroo wal fakkaatutti, mass-flow controller'n akka bakka virtual tisiisaa irratti hundaa'uun qilleensi qulqulluun yookaan urgaan apple-cider-vinegar hammam antennae bira akka ga'u jijjiira ture. Kanaaf, daangaa software'n murtaa'e ce'uun urgaa banuu yookaan cufuu ture; tisiisni kubbaa sana irraa bakka kamittuu osoo hin deemne koriidorii fakkeeffamaa bal'ina millimeetira 50 fi dheerina meetira tokko qabu uume.

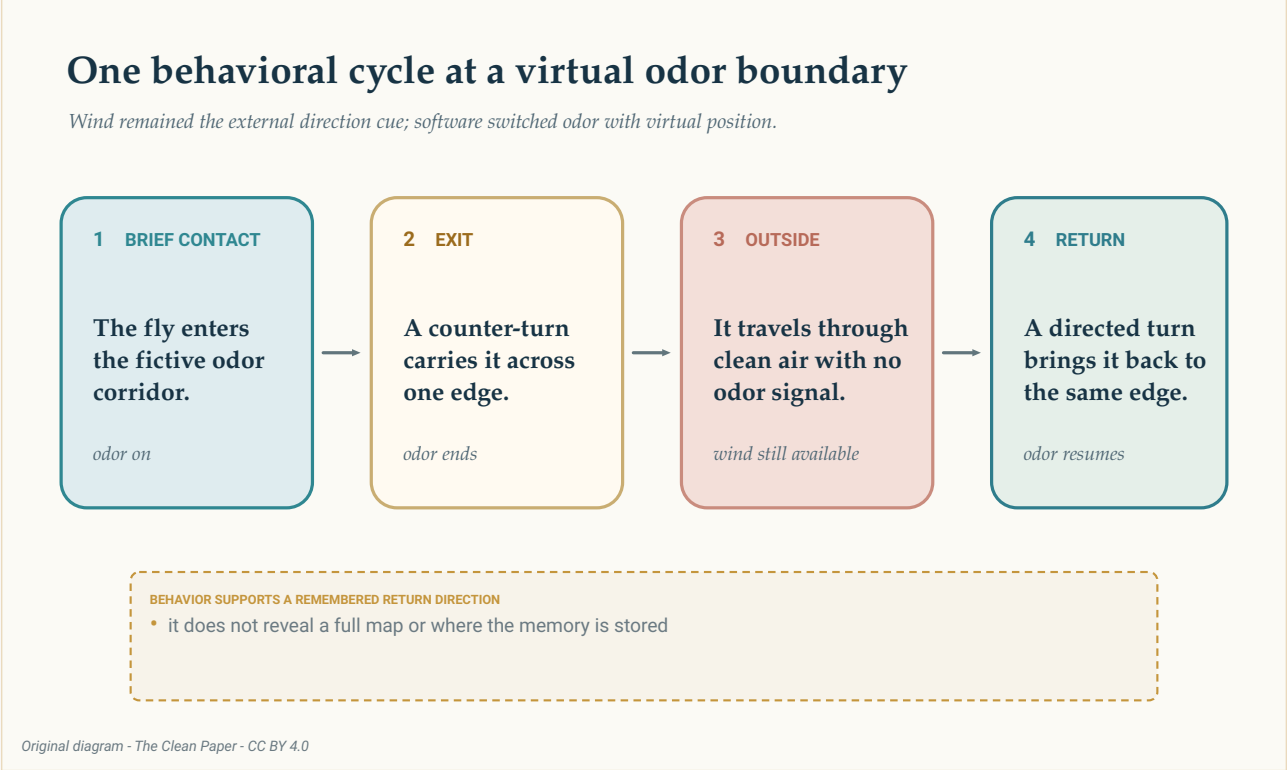
Meeshaan kun yeroo hunda keessatti bakka virtual tisiisaa, heading, haala urgaa fi to'annoo qilleen-

saa wal-simsiisee galmeesse. Galmee kana irraa qorattoonni daandii sochii irra deebi'anii ijaaran, seensaa fi bahumsa hunda mallatteessan, akkasumas tisiisni hammam kallattiidhaan akka deebi'e safaran. Bubbeen mallattoo kallattii alaa kenna ture; sochiin tisiisaa mataa isaa immoo yeroo inni gama kamiyyuu daangaa urgaa virtual qunnamu murteessa ture.



Tisiisni kubbaa qilleensaan deggaramu gubbaatti hidhamee ture. Kaameraa fi FicTrac naanna'uu kubbaa gara sochii virtual fi heading jijjiiran; software'n achii booda nozzle qilleensaa-fi-urgaa naannesse, akkasumas akka bakka virtual irratti hundaa'uun urgaa bane yookaan cufe. Qorannoo neural-imaging adda ta'e keessatti, two-photon microscope'n tisiisa gubbaa jiru EPG yookaan FC2 neurons keessaa fluorescence calcium irratti hundaa'e galmeesse; kanaan sochiin neural amala waliin walitti fidamuu danda'e. Microscope'n yaalii amala hundaaf dirqama hin turre.

The Clean Paper CC BY 4.0



Yaalii to'atame keessatti, tisiisni yeroo gabaabaa koriidorii urgaa virtual seene, keessaa ba'e, qilleensa urgaa hin qabne keessa deemee, achii booda kallattiidhaan deebi'e. Amalli kun kallattii deebi'uu yaadatame akka jiru deeggara; garuu odeeffannoon sun eessa akka kuufame hin mul'isu.

The Clean Paper CC BY 4.0

Yaalii ijoo **vertical-corridor** keessatti, **tisiisonni 40** urgaa keessa irra deddeebi'anii seenan, achii keessaa counter-turn godhanii ba'an, gara daangaa walfakkaataatti deebi'an. "Vertical" jechuun maqaa barruun ji'oometirii digrii 0'f kenne dha: axis dheeraan koriidorii kallattii upwind waliin parallel ture. Meeshaan sun dhaabbatee ol-qajeelaa ture jechuu miti.

Barreessitoonni akkaataa kana **edge tracking** jedhu. **Bout** jechuun yeroo daangaa tokko ce'uu irraa hanga daangaa itti aanu ce'uutti episode walitti fufaa tokko dha: inside bout seensaa irraa hanga bahumsaatti, outside bout immoo bahumsa irraa hanga tisiisni deebi'utti fufa. Inside bouts 755 keessatti, daawwannaan tokko giddu-galeessaan sekondii 4.9 ture. Yeroo deebi'uu, fageenyi giddu-galeessaa daangaa irraa millimeetira 10.4 ture. Bouts 793 keessaa 4% gadi qofti guutumaan guutuutti gara daangaa faallaa koriidorii ce'e.

Lakkoofsi lama dhumaa kun bouts ibsa, tisiisota dhibbaan walaba ta'an miti. Kun barbaachisaa dha, sababni isaas bineensi tokko bouts hedduu gumaachuu danda'a.

Deebi'uun reflex upwind dhaabbataa qofa hin turre

Yaalii hedduun ibsa salphaa ta'e qoratan.

Qorattoonni jalqaba waan tisiisni upwind deemaa jiru keessatti **dheerina koriidorii boyunca** ta'u jijjiiran. Urgaan gara madda virtualtti cimaa deemuu, akkuma jiru turuu, yookaan dadhabaa deemuu danda'a ture. Tisiisonni haala sadan keessattuu daandii walfakkaataa uuman. Kanaaf seerri salphaan akka "gara urgaan itti jabaatu qofa deemi" jedhu meeshaa kana keessatti edge tracking ibsuu hin danda'u.

Achii booda daangaa **cinaa** koriidorii gara Gaussian profile laafisan; achitti concentration'n akka tasaa on/off ta'uu mannaa suuta jijjiirama. Tisiisonni flank bakka concentration saffisaan jijjiiramu biratti walitti qabaman; giddugala urgaan irra caalaa cimaa turetti miti. Kanaaf mallattoon barbaachisaan jijjiirama lateral daangaa hojii irra jiru agarsiisu ture, guddina urgaa gara maddaatti dirqama ta'e miti.

Kun concentration gradients uumama keessatti yoomiyyuu hin barbaachisan jechuu miti. Haala qorame keessatti amala kanaaf guddinni gara maddaatti deemuu dirqama hin turre jechuu dha.

Qorattoonni orientation koriidorii illee jijjiiran. Gareewwan adda addaa koriidorii vertical, digrii 45 fi digrii 90 hordofan; gareen biraa immoo koriidorii bahumsa booda cinaatti utaalu qunnaman. Baay'inni gareewwanii tartiibaan tisiisota 40, 21, 20 fi 24 ture. Daandiin isaanii yeroo alaa ji'oometirii waliin jijjiirame. Seerri waliigalaa akka "yeroo hunda upwind garagali" jedhu flexibility kana ibsuu hin danda'u.

Meeshaa kana keessatti, urgaan antennae lamaan bira millisekondii lama keessatti ga'a ture. Bilateral optogenetic activation bubbee waliin walqabsiisuun akkaataa edge-tracking fakkaatu uumuu danda'e. **Optogenetics** jechuun proteinii ifaaf deebii kennan fayyadamuun seelota filataman jijjiiruu dha. As keessatti bu'aan sun garaagarummaan yeroo urgaan antenna bitaa fi mirgaa ga'u amala kanaaf dirqama akka hin turre agarsiisa. Garuu bilateral walbira qabuu bineensota bilisaan socho'an plume biroo keessatti barbaachisaa miti jechuu miti.

Vector kaartaa caalaa xiqqaa dha

Vector jechuun kallattii fi hamma tokko waliin qabaachuu dha. As keessatti wanti kuufamu faayidaa qabu irra caalaa kallattii ture: tisiisni daangaa plume bira ga'uuf gara kamiitti garagaluu qaba? Qorannoon tisiisni layout plume guutuu yookaan bakka isaa plume keessaa guutuutti akka kuufatu ragaa hin arganne.

Barreessitoonni jalqaba wantoota bu'uuraa sochii tisiisaa dhugaa shuffle gochuun daandii namtolchee uuman. Dheerina raawwii fi turn angles ilaalaman tasaa ta'een fudhatanii walitti hidhan. Sinteetikii walkers keessaa tokko tokko dhuma irratti daangaa urgaa irra deebi'anii rukutan, garuu tisiisota dhugaa caalaa fagoo jooran, daandii kallattii hin taane fayyadaman. Tendency tisiisotaa idilee gara upwindtti garagaluu dabaluun illee deebi'uu gabaabaa fi kallattii qabu sana irra deebi'ee hin uumne. Kanaaf amala dhugaa keessatti tasaa remix sochii walfakkaataa caalaa odeeffannoo

kallattii dabalataa ture.

Qorattoonni itti aansuun moodeela mode lama qabu ijaaran: **daangaa dhiisi** fi **gara daangaatti deebi'i**. Mode'n kun yeroo hunda urgaa keessaa yookaan alaa jiruuf labels hin turre. Isaan steering rules filannoo lama, tisiisni yeroo socho'u wal jijjiiruu danda'an turan.

Daangaa ce'uun tokkoon tokkoon isaa moodeelaaf kallattii yaadachuu qabu kenna ture. Yeroo ba'u, kallattii yeroo daangaa irraa fagaachaa jiru fayyadamu update godha. Yeroo seenu, kallattii deebi'uu adda ta'e update godha: hiika salphaan, "yeroo daangaa argadhetti gara kana deemaa ture." Yeroo booda deebi'uutti, kallattiin yaadatame sun sochii tisiisa simulated gara edge'tti deebisuuf bias godha.

Qorattoonni moodeela sana trajectories koriidorii digrii 0, 45 fi 90 irratti fit godhan. Walbira qabuu cuunfaa keessatti, tisiisonni dhugaa 72 fi fakkeessuuwwan 75 path istaatistikii walfakkaataa uuman. Yeroo kallattii deebi'uu seensaa irratti baratame keessaa haqame, tracking'n orientation koriidorii hunda keessatti gahumsa gadi aanaa qabaate. Kun faayidaa yaadannoo kallattii seensaa deeggara; garuu sammuun tisiisaa dhugumaan equations moodeela sana akka raawwatu hin mirkaneessu.

> **"Memory" barruu kana keessatti maal jechuu dha?**
>
> Qorattoonni arrow kuufame tokko sammuun tisiisaa keessaa kallattiidhaan hin dubbifne. "Directional yaadannoo" jechuun inference amala, moodeela fi safartuu neural'n deeggaramu dha. moodeelli kallattii jijjiiramaa muraasni path istaatistikii barbaachisoo irra deebi'anii uumuu akka danda'an agarsiisa. Tisiisni equations sana literal ta'een hojii irra oolcha yookaan gareen neuron maqaa qabu tokko bakka kuusaa yaadannoo dha jechuu hin mirkaneessu.

Muuxannoon dabalataa segment digrii 45 kallattii faallaa qabu waliin, amala booda tisiisota 10 keessatti jijjiire; kana waliin moodeela fakkeessuuwwan 29 turan. Kun ibsa kallattii post-hoc qofa caalaa addaa godha, garuu hiika moodeela irratti hundaa'e ta'ee hafa.

Heading wabii fi kaayyoo yeroo ammaa

Qorannoon itti aansuun sochii **central walxaxaa** tisiisaa, naannoo sammuu navigation keessatti hirmaatu, safaree jeeqe.

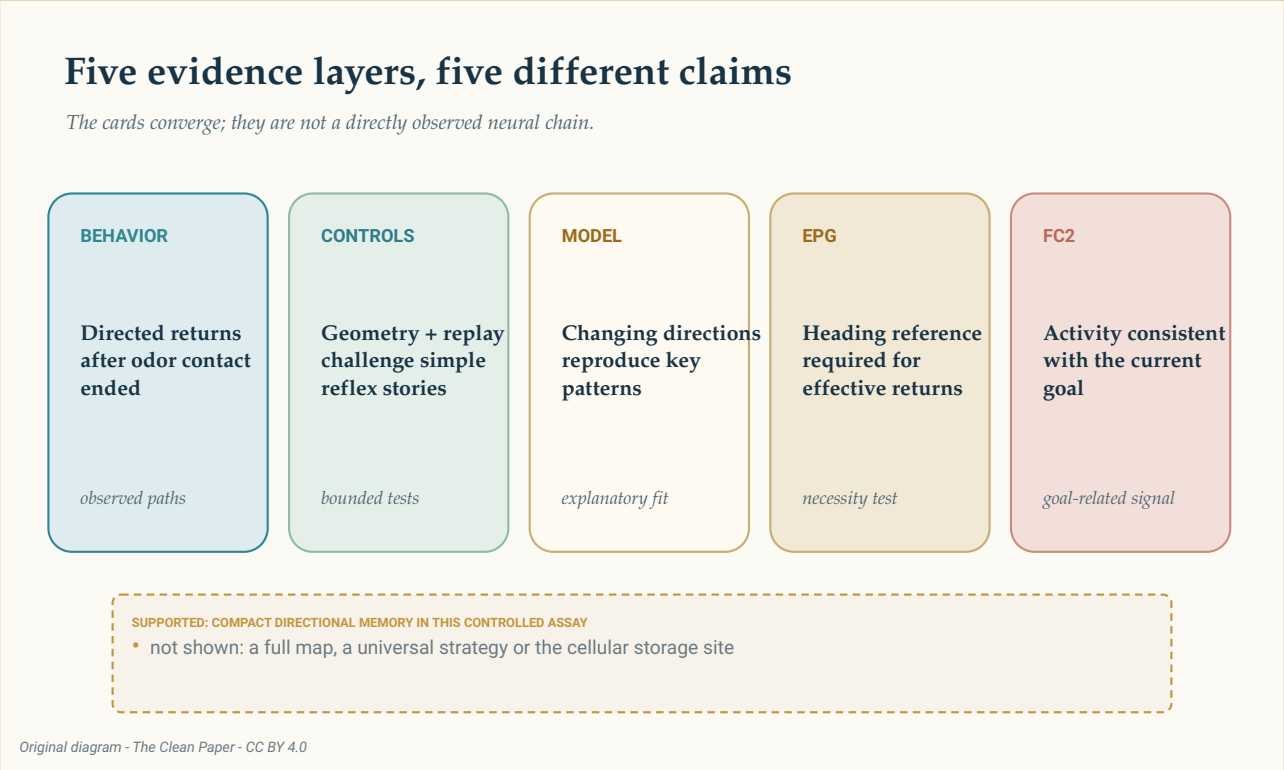
> **Mallattoolee lama hojii adda addaa qaban**
>
> EPG fi FC2 maqaa gareewwan uummataa neuron lama central walxaxaa keessatti argaman dha. Sochii EPG akka dubbisa compass tokkootti hojjeta: kallattii tisiisni yeroo ammaa bubbee wajjin walbira qabamee fuula isaa itti qajeelche hordofa. Sochii FC2 immoo kallattii tisiisni itti deemuu yaalu waliin walqabata. Steering circuit downstream tokko heading yeroo ammaa fi kaayyoo sana walbira qabuu danda'a. Qorannoon gareewwan uummataa lamaanuu qora; garuu keessaa tokko qofti yaadannoo guutuu akka kuusu hin agarsiisu.

EPG neurons heading mallattoo baatu: akkaataa sochii isaanii kallattii tisiisni alaa cue tokko waliin walbira qabamee fuula isaa itti qajeelche hordofa. Calcium imaging, jechuun optical readout sochii neural kallattiin hin taane, fayyadamuun qorattoonni sadarkaa sochii EPG edge tracking yeroo heading waliin wal bira qabamee wind hordofuu argan. Xiinxala kun yaaliiwwan 16 tisiisota 9 irraa fayyadame.

EPG neurons inhibit gochuuf, qorattoonni akka isaan **GtACR1**, anion channel ifa magariisaan banamu, ibsan genetic engineering'n qopheessan. LED'n yaalii qorannoo guutuu keessatti banee ture; channel sana activate godhee neurons filataman suppress godha ture. Ifni walfakkaataan genetic-control flies irratti rakkoo hin uumnne.

Yeroo EPG neurons karaa kanaan inhibit godhaman, tisiisonni yaalii 12 tisiisota genetic-control 6 caalaa deebi'uu kallattii qabu gahumsa gadi aanaa qaban. Murtiin daangaa qabu: heading wabii sochii EPG'n baatamu haala qorame keessatti edge tracking gahumsa qabuuf barbaachisaa ture. EPG neurons qofti kallattii daangaa kuuse jechuun ragaa miti.

FC2 neurons walitti dhufeenya adda ta'e agarsiisan. Garee uummataa sochii isaanii kaayyoo navigation yeroo ammaa waliin walqabatee, yaalii keessatti tisiisni hin garagalne dura gara daangaa plume'tti qajeela ture. Imaging'n tisiisota 6 fayyadame; silencing walbira qabuwwan immoo akka xiinxala irratti hundaa'uun gareewwan tisiisota 9 hanga 14 fayyadaman. Silencing'n edge tracking dadhabsiise.



Amala, ji'oometirii plume jijjiirame, moodeela fit godhame fi neural perturbations lama kutaa adda addaa ibsa directional-memory deeggarru. Walumaagalatti, yaalii to'atame kana keessatti kallattii kaayyoo gabaabaa akka jiru deeggarsu; kaartaa guutuu yookaan cellular storage site mirkanaa'e miti.

The Clean Paper CC BY 4.0

Kun ragaa gara tokkootti walitti dhufu dha, chain of causation suuraa keessatti qabame miti. Sochii EPG heading wabii barbaachisaa kenne. Sochii FC2 kallattii kaayyoo waliin walsimee amala gahumsa qabuuf barbaachisaa ture. Yaaliiwwan kun yaadannoo "engram" tokko adda hin baafne; FC2 synapses kallattii sana qaamaan kuusan jechuu hin mirkaneessine.

Akka analogii sadarkaa namaa irratti, bank of fog dhiphaa tokko keessaa baatee bubbeen tasgabbaa'aan kallattii kaabaa si agarsiisaa jira jedhi. Compass'n kallattii ati fuula kee itti qajeelchite siitti himuu danda'a, garuu gara fog sanaatti deebi'uuf kallattii gara edge isaatti geessu yaadachuu illee barbaachisa. Heading yeroo ammaa kallattii barbaadame sana waliin walbira qabuun gara kamiitti garagaluu akka qabdu siif hima. Qoodni hojii EPG fi FC2 signalsf asitti yaadame kana fakkaata. Kun analogii ibsaati; namoonni seelota yookaan algorithm walfakkaataa fayyadamu jechuun ragaa miti.

Yaadannoon sun yeroo urgaa qofa irratti miti, gocha irratti hundaa'e

Replay yaalii keessatti, tisiisonni sequence yeroo urgaa akkuma duraa argatan, garuu timing sun waan isaan yeroo sanatti godhaa turan irraa adda citee ture. Directional bias baratame replay bouts keessatti dadhabe. Kun update **operant**, jechuun gocha waliin walqabatu, deeggara: wanti murteessaan sequence urgaa passive ta'een argachuu qofa osoo hin taane walitti dhufeenya urgaa fi sochii tisiisaa ture.

Denominator analysiswwan sana keessatti ni jijjiirama. Extended Daataa panels akka walbira qabuu irratti hundaa'uun tisiisota 8 yookaan 9 qabu; sequential-bout series tisiisota 8 fayyadama; trajectory panels effective entries yoo xiqqaate 10 barbaadu; moodeela panels paired immoo simulated trajectories 21 daangaa seensaa sana guutan fayyadamu. Isaan kun saamudaa tokko tisiisota saddeet walitti makame miti.

Plume caalaa sirrii hin taane fayyadaa ture, garuu ammas virtual dha

Qorattoonni plume duraan galmaa'e, caalaa irregular ta'e illee replay godhan. Tisiisonni hidhamaa yeroo gahaa akka qunnaman, bakka fi yeroo keessatti dachaa shan safartuu godhan. **Tisiisota 12 keessaa kudhan** madda isaa irraa virtual millimeetira 50 keessatti ga'an.

Kun tisiisota kudhan qilleensa banaa keessatti madda dhugaa argatan jechuu miti. Plume naturalistic to'atamee replay godhame keessatti raawwii dha.

Dynamic-plume gosa tokkoon tokkoon isaaf moodeelli trajectories 2,000 uume. Scaled-plume walbira qabuu'n 2,000 keessaa 1,850 analyse godhe; effective entry qabaachuu dirqama godhee, trajectories maddaatti garmalee dhihoo irraa jalqaban keessaa baase. Yaadannoo'n madda bira caalaa gargaare, bakka encounters walitti aanan directional caasaa wal-simu qabatanii turan; naannoo turbu-

lent caalaa downwind jiru keessatti immoo faayidaan isaa xiqqaate.

Qoodni daangaa kun mataan isaa bu'aa keessaa isa tokko dha. Kallattiin gabaabaan tokko yeroo addunyaan gahaa coherent ta'ee, encounter duraa kan itti aanu irratti odeeffannoo faayidaa qabu kennu qofa gargaaruu danda'a.

Wanti qorannoon hin agarsiifne

- Tisiisni kaartaa spatial guutuu ijaara jechuu **hin agarsiisu**.
- Plume uumamaa hin jijjiiramne keessa free flight **hin agarsiisu**.
- Navigation urgaa irratti hundaa'e hundi tooftaa kana fayyadama jechuu **hin mirkaneessu**.
- EPG yookaan FC2 neurons bakka qaamaan yaadannoon itti kuufamu isa tokkicha ta'an jechuu **hin agarsiisu**.
- Moodeela fit godhame algorithm biological literal tisiisaa ta'a jechuu **hin agarsiisu**.
- Navigation namaatti kallattiidhaan generalize **hin godhamu**.

Qorannoon kun bakka inni addaa ta'etti irra caalaa cimaa dha. Closed-loop to'annoo qorattootaaf encounter urgaa tokkoon tokkoon isaa sirriitti to'achuuf carraa kenne. Jijjiirama ji'oometirii, replay, modeling, calcium imaging fi silencing immoo kutaa adda addaa ibsa tokkoo qoran. Garuu cohorts amala, imaging fi silencing adda addaa turan; saamudaa sizes dursee hin murtoofne; daataa collection fi xiinxala akka carraatti ramadame yookaan garee hin beekne hin turre; akkasumas tisiisota hidhamaa keessaa 10% gadi acclimation, deebii yookaan tracking rakkoowwan sababaan keessaa baafaman.

Daangaawwan kun phenomenon sana hin balleessan. Isaan daangaa isaa ibsu.

Cuunfaa gabaabaa

Tisiisonni firii kubbaa irratti hidhanii koriidorii urgaa virtual keessa deemaa turan, urgaa sana duubatti dhiisanii booda irra deddeebi'anii gara daangaa sanaatti deebi'an. Jijjiiramni concentration fi ji'oometirii koriidorii, switching moodeela fit godhame, neural imaging fi optogenetic silencing ibsa tisiisni kaartaa guutuu mannaa kallattii yaadatame gabaabaa fayyadamu jedhu deeggara. EPG neurons heading wabii barbaachisaa kennan; sochii FC2 immoo kallattii kaayyoo yeroo ammaa waliin walsime. Bu'aan kun yaalii deemsa miilaa to'atame kana qofatti daangeffama; bakka seelota keessatti yaadannoon kuufamu adda hin baasu, akkasumas free natural flight keessatti computation walfakkaataa akka jiru hin agarsiisu.

Sakatta'a ifaa

Wanti barruu agarsiisu: Closed-loop tethered assay keessatti, tisiisonni daangaa urgaa virtual yeroo sanatti urgeeffachuu hin dandeenyeetti kallattiidhaan deebi'an. Amalaa controls hedduu, modeling fi neural perturbations tooftaa vector irratti hundaa'e deeggarsu.

Wanti irraa tilmaamamu: Amalli kun yaadannoo kallattii gabaabaa fayyadama; garee uummataa sochii FC2 immoo kaayyoo navigation yeroo ammaa bakka bu'a. Qabiyyeen yaadannoo kallattiidhaan hin dubbifamne.

Wanti inni hin agarsiifne: Kaartaa sammuu guutuu, tooftaa olfactory universal, free-flight raawwii plume uumamaa keessatti, memory-storage site tokko qofa, yookaan namaa analogue.

Daangaawwan ijoo: Species tokko fi apparatus to'atame; yaaliiwwan keessatti cohorts tisiisotaa fi xiinxala units adda addaa; al-kallattii calcium mallattoolee; necessity qormaatawwan sufficiency hin mirkaneessine; akkasumas plume naturalistic replay godhamee safartuu godhame.

Dubbisaan waliigalaa hammam amantaa qabaachuu qaba? Amantaa guddaa: phenomenon directed-return meeshaa kana keessatti dhugaa ta'uu fi sochii central-complex heading fi goal waliin walqabatu barbaachisaa ta'uu irratti. Amantaa giddu-galeessaa: moodeelli ibsa gabaabaa gaarii ta'uu irratti. Amantaa gadi-aanaa: himannaa kamiyyuu isa kana osoo hin jijjiirin qilleensa banaatti babal'isu yookaan kaartaa guutuu jedhee waamu irratti.

Maddoota

Siliciano et al., A vector-based strategy for olfactory navigation in Drosophila, Nature (2026)
https://doi.org/10.1038/s41586-026-10827-7

Siliciano et al., data archive for A vector-based strategy for olfactory navigation in Drosophila
https://doi.org/10.5281/zenodo.20751812

Ruta Laboratory, Edge-Tracking-Model
https://github.com/rutalaboratory/Edge-Tracking-Model