

ДЕЛУЗИИТЕ И ХАЛУЦИНАЦИИТЕ КАКО АБЕРАНТНИ ЗАКЛУЧОЦИ

Васка Лешоска¹

*Институцијата за психологија, Филозофски факултет во Скопје
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје*

Кратка содржина

Дел од современите теории во когнитивната и во компутациската невронаука ја доведуваат во прашање интуицијата дека реалноста се „регистра“ непосредно врз основа на сензациите од сензорниот систем. Според овие стојалишта, мозокот е сво-евидна „статистичка машина“ што првенствено ја предвидува или ја „халуцинира“ реалноста, а потоа ја коригира врз основа на сензорната евиденција. Во оваа рамка, перцепцијата се разбира како форма на заклучување насочено кон минимизирање на грешката на предвидување. Без да навлегува во суптилните термилошки и концептуални шизми, овој прегледен труд има за цел накратко да ги претстави перспективите на предиктивното кодирање, Бејсовиот мозок и активната инференција и да ги разгледа постојните обиди за објаснување на делузиите и на халуцинациите како аберантни форми на заклучување. Имено, во трудот се заклучува дека делузиите и халуцинациите може да се разберат како варијации на оптималното заклучување, кои произлегуваат од несоодветна проценка на прецизноста на сензорната евиденција и приоритетите. Ваквиот пристап може да придонесе за подлабоко теориско разбирање на психозите, како и за дестигматизација и за развој на поинформирани стратегии на третман.

Клучни зборови: *предиктивно кодирање, Бејсов мозок, делузии, халуцинации*

¹ vaska@fzf.ukim.edu.mk

Вовед

Прегледниот труд се обидува да ја разбере шизофренијата преку перспективата на теориските рамки за предиктивно кодирање, Бејсов мозок и за активна инференција. Приказот на последните во првиот дел на трудот е повеќе интегративен и не навлегува во суптилните терминолошки и концептуални шизми. Дополнително, разбирањето е повеќе на концептуално ниво, а приказот на компутациските модели, пред сè преку методите на динамичко каузално моделирање, е надвор од амбициите на трудот.

Во вториот дел од трудот се објаснуваат, пред сè, делузиите и халуцинациите како обележја на шизофренијата од аспект на предиктивното кодирање и Бејсовиот мозок. Повторно, приказот е повеќе концептуален и не навлегува во претпоставената синаптопатија и нејзината евиденција како биолошка имплементација на аберантното заклучување.

Теории на предиктивно кодирање и Бејсов мозок – основни концепти

Интуицијата дека непосредно ја восприемаме реалноста преку сензориумот се чини погрешна од аспект на современите сфаќања на когнитивната и на компутациската невронаука, кои заговараат дека мозокот најпрво ја предвидува или ја „халуцинира“ реалноста, а потоа ја коригира преку евиденцијата на сензориумот (Clark, 2013; Friston, 2009, 2010; Pezzulo et al., 2022; Seth & Friston, 2016; Tschantz et al., 2023). Во оваа смисла, мозокот е орган кој предвидува и заклучува, обидувајќи се да ја минимизира грешката во предвидувањето, како разлика на она што го очекува и на она што го имплицираат сензациите. Идејата дека перцепцијата е некој вид заклучок ја разработува уште Хелмхолц, кој пишува за перцепцијата како „несвесната инференција“ за дисталните причини на сензациите (von Helmholtz, 2013). Всушност мозокот е во „црна кутија“ и треба да ги претпостави причините што ги предизвикале сензациите. Преку увидување на статистичките регуларности за каузалитет, мозокот учи да ги заклучува перцепциите како „симулација“ за можните причини на внесот во сетилата.

За разбирање на современите поимања за мозокот како статистичка машина, важни се, пред сè, три концептуални перспективи кои се испреплетуваат концептуално и хронолошки: предиктивно кодирање (Bastos et al., 2012; Clark, 2013; Rao, 2005; Rao & Ballard, 1999), хипотезата за Баесов мозок (Friston, 2008, 2012; Knill & Pouget, 2004) и активна инференција (Parr & Friston, 2018; Seth & Friston, 2016).

Концептот за предиктивно кодирање оригинално се однесува на стратегија за компресирање податоци. Примерот кој го наведува Енди Кларк (Clark,

2013), еден од највлијателните когнитивни научници за предиктивно кодирање е следен: кога се пренесува слика дигитално, вредноста на еден пиксел нужно ја предвидува вредноста на соседните пиксели. Значителни разлики меѓу предвидената вредност и реалната вредност има само кога на сликата има маркантни промени, на пример кога завршува еден објект и почнува друг. Во оваа смисла може да се заштеди при трансмисијата ако се кодираат само значајните отстапувања или грешките во предвидувањето.

Еден од најпознатите обиди за примена на оваа „стратегија“ на биолошката реалност на мозокот е моделот за визуелно процесирање на Рао и Балард (Rao & Ballard, 1999). Овие автори тргнуваат од консензусното сфаќање за хиерархиската организација на визуелниот кортекс и претпоставуваат дека повисоките визуелни области, како на пример секундарниот визуелен кортекс (V2), преку повратните врски испраќаат сигнали како предвидувања за очекуваната неврална активност во примарниот визуелен кортекс (V1), додека примарниот визуелен кортекс како сигнал ја пренесува резидуалната неврална активност која не била предвидена, или грешката во предвидувањето. Поврзаноста секако е двонасочна и грешките во предвидувањето служат за калибрирање на предикциите. Авторите ја тестираат хипотезата преку компутациски модел на предиктивно кодирање, односно хиерархиска неврална мрежа со три слоја на предиктивни проценувачи, тренирана на делови од слики од природа. Мрежата успешно ги симулира обележјата на рецептивно поле налик на рецептивните полиња на невроните од визуелниот кортекс. Ова е една од попопуларните потврди кои навестуваат дека рамката за предиктивно кодирање можеби е применлива за разбирање на процесирањето на различните модалитети и за процесирањето на мозокот воопшто.

Идејата за предиктивно кодирање во суштина го сумира образецот на пренесување на информациите во невралната економија. Хиерархиското процесирање значи дека повисокиот слој во хиерархијата генерира предвидувања за внесовите во понискиот слој на хиерархијата. Ваквите предвидувања се споредуваат со внесовите, на пример сензорните информации и разликата во предвиденото и евидентираното, односно грешката во предикцијата или во „изненадувањето“ е информацијата што се кодира, односно се испраќа до повисокиот слој за да се обнови генеративниот модел. Целта е да се оптимизира генеративниот модел и да се анулираат грешките на предвидување. Преку редуцирањето на „изненадувањето“ се засилува евиденцијата за постоењето на генеративниот модел, односно за „точната“ симулација на реалноста. Во хиерархиската поставеност, секој слој во хиерархијата испраќа грешки на предикција само до непосредно повисокиот слој, односно прима грешки на предвидување само од непосредно понискиот слој.

Според некои автори, ламинарната структура на кортексот е биолошката реалност на ваквата хиерархиска организираност (Friston, 2008, 2009)², а т.н. канонски микрокола (Carone et al., 2016) се „механизмот“ на циркуларната итерација на грешки на предвидување и на предикции (Bastos et al., 2012). Пирамидалните клетки во површинските слоеви од ламинарната структура на кортексот (слоеве II и III) ги сигнализираат грешките на кодирање до длабинските пирамидални клетки (слој V), кои пак враќаат предикции што треба да ги минимизираат грешките на кодирање на пониските слоеви од хиерархијата (Bastos et al., 2012), таргетирајќи ги инхибиторните интерневрони што ги придружуваат површинските пирамидални клетки (Shaw et al., 2017).

Притоа, според Фристон (Friston, 2023), сигнализирањето одозгора надолу во хиерархијата има повеќе модулаторна улога, како ограничување на она што може да се очекува и оперира низ релативно пошироки – просторни и подолги–временски скали. Од друга страна, сигнализирањето одоздола нагоре низ хиерахијата е побрзо и екситаторно.

Невралната динамика на ваквото процесирање математички може да се формализира преку Бејсовата теорија за заклучување. Според Фристон (Friston, 2009) „генеративниот модел е пробабилистичко мапирање, од причините до евидентираниите последици“ (стр. 1). Притоа, пробабилистичката дистрибуција, која го претставува предвидувањето за она што се очекува, во смисла на Бејсовата теорема би била *џриор*, додека перцепцијата, како Бејсов заклучок, е постериорната дистрибуција која се добива кога *џриорот* се ажурира со сензорната евиденција³. На пример (Knill & Pouget, 2004), примената на Бејсовото правило на заклучување за позицијата на некој објект (X), врз основа на визуелни (V) и аудиторни (A) сензации би била следна:

$$p(X|V, A) = \frac{p(V, A|X) * p(X)}{p(V, A)}$$

Каде што: $p(X)$ е функција за приорната веројатносна дистрибуција на можни вредности за X, која се ажурира преку пробабилистичката функција за условната веројатност, сензациите за различни вредности на X $p(V, A|X)$, маргинализирана преку веројатносните дистрибуции за сензациите $\frac{1}{p(V, A)}$.

² Фристон (Friston, 2012) спекулира и дека хиерархиската архитектура на мозокот е начин за моделирање на каузалитетот.

³ *Приорот* е веројатносна дистрибуција за параметрите на моделот кој би ги генерирал податоците и се моделира пред да се евидентираат податоците, односно сензациите. Врз основа на податоците се проценува веројатноста за нивно опсервирање ако се имаат предвид причините, односно параметрите. Генеративниот модел конечно би бил веројатност за опсервирање на дадените причини (параметри) имајќи ги предвид опсервираните податоци и веројатноста на *џриорите*.

Грешката на предвидување е разлика меѓу предвидувањето и сензорната евиденција. Сепак, дали и колку постериорната дистрибуција ќе рефлектира „поместување“ на *приорот* кон евиденцијата ќе зависи од прецизноста на *приорот* и на сензорните информации. Математички, прецизноста на проценката е инверзна вредност од варијансата на нејзината пробабилистичка дистрибуција (Friston, 2023)⁴. Оттаму, аритметичката средина на постериорната дистрибуција е еднаква на збирот на аритметичката средина на приорната дистрибуција и грешката на предвидување, пондерирана за соодносот на оценките за прецизноста на *приорот* и сензорната евиденција (Sterzer et al., 2018).

Иако повеќе се зборува за перцепцијата како Бејсов заклучок, Фристон (Friston, 2008, 2010; Parr & Friston, 2018; Seth & Friston, 2016), развивајќи ја идејата за активна инференција, ја подведува и акцијата, односно генерирањето на моторните движења како Бејсово заклучување. Имено, според ова сфаќање, моторните движења не се генерираат преку „наредби“ како што е конвенционалното сфаќање, туку како предвидувања за сензациите, а акцијата е всушност обид за редукција на грешката на предвидување. Во таа смисла, генеративниот модел не само што се труди да е поточна симулација на реалноста, односно евиденцијата на сетилата, туку и активно го „мостри“ примерокот на сензации за да обезбеди евиденцијата за своето постоење. Во оваа смисла, механизмите за генерирање на перцепцијата и на акцијата функционираат врз основа на истата статистика на заклучување.

Шизофренијата како растројство на предиктивното кодирање

Ако хиерархиското предиктивно кодирање е стратегијата што ја користи мозокот за процесирање на реалноста, а Бејсовата статистика е моделот на заклучување, тогаш психопатологијата би можела да се објасни преку аберации во заклучувањето (Friston, 2023).

Обидите за разбирање на шизофренијата преку рамката на хиерархиско предиктивно кодирање во голема мера се сведуваат на објаснувањата за позитивните симптоми на шизофренијата, пред сè делузиите и халуцинациите, како последица на нарушено пондерирање на прецизноста на приорот или грешката на предвидување (Feyaerts et al., 2024; Friston, 2023; Sterzer et al., 2018). Првично се развива сфаќањето дека и делузиите и халуцинациите се

⁴ Од аспект на фреквенционистичката статистика или теоријата на Њуман/Пирсон, проценката за прецизност во статистиката на заклучување може да се поистовети со стандардната грешка - помала стандардна грешка на дистрибуцијата на мострење на одредена статистика вредностт имплицира поголема доверба во проценката за статистичката вредност. На пример помала SE за дистрибуцијата на статистичката вредност t е поверојатно да резултира со отфрлање на нултата хипотеза.

јавуваат како последица на оддавање на помала прецизност на *приорити*, наспроти грешката на кодирање, што би значело дека поголема „тежина“ се дава на сензорната евиденција, која е фрагментирана и хаотична, без ограничување на очекувањата базирани на перцептивно учење, односно оптимизацијата на генеративниот модел. Оттаму, грешките на кодирање, кои би се игнорирале како тривијални кај лицата со шизофренија, се основа за делузивни асоцијации, апофенија и сл. Според некои автори, ова е особено релевантно и за продромалната фаза кога започнува „делузивното расположение“, и заблудите во суштина стануваат обид за „осмислување“ на аберантните салиентности и за „новите значења“ кои се отчитуваат во секојдневието, а кои, според рамката на предиктивно кодирање, се јавуваат поради силните грешки на кодирање.

Една од почестите делузии која се јавува кај лицата со шизофренија е заблудата дека нивните движења не се предизвикани од нив самите (C. Frith, 2005; C. D. Frith & Friston, 2013). Според перспективата на предиктивно кодирање, ваквата делузија настанува затоа што предикцијата за сензорните последици од движењето не успева да ги супресира сензациите кои настануваат со движењето, што резултира со грешка на предикција. Оттаму, движењето што не е предвидено се перципира како предизвикано „однадвор“ односно наместо субјект, лицето е објект на акцијата. Во насока на ова е и евиденцијата што покажува дека лицата со шизофренија кои доживуваат делузии на контрола се послаби во препознавањето на дисторзиран визуелен фидбек за движење на раката споредено со контролната група. Истовремено, евидентирано е дека не покажуваат атенуирана неврална активација во релевантните области на процесирање, како резултат на себегенериран говор или себегенерирани движења⁵, како што е тоа случај со невротипичната популација (за преглед види Frith, 2005).

Стојалиштето за слаби *приори* се потврдува и со истражувања кои покажуваат, на пример, дека лицата со шизофренија се „отпорни“ на некои визуелни илузии (за преглед види Costa et al., 2023) за кои се смета дека се јавуваат поради јачината на *приорити* (C. D. Frith & Friston, 2013; Sterzer et al., 2018). Слабите приорити се потврдуваат и преку студиите кои покажуваат абнормален ЕЕГ-одговор во задачите кои ја применуваат парадигмата *mismatch negativity*, кога во серија на идентични стимулуси (на пример тонови) се јавува „изненадување“ или стимулус кој отстапува од повторувањето. Кај невротипичната популација „изненадувањето“ е придружено со ЕЕГ-маркер кој

⁵ Еден од примерите кои Фрит ги наведува е всушност секојдневното искуство дека не чувствуваме ефект на скокоткање ако сами си го правиме, токму затоа што сензацијата е атенуирана од предикцијата за сензорните последици од движењата. Според некои наводи, кај некои лица со шизофренија овој ефект е намален.

имплицира зголемен предсвесен неврален одговор што наводно упатува на грешка на кодирање, која произлегува од силни *ѝприори* базирани на претходната монотона низа на стимулуси. Кај лицата со шизофренија не се јавува ваков одговор, упатувајќи дека сите стимулуси на некој начин се изненадувања, односно дека не постои силен *ѝприор* (Fogelson et al., 2014; Ramlund et al., 2015; Wacongne, 2016).

Меѓутоа, стојалиштето што заговара слаби *ѝприори* се коси со резонирањето кое упатува на тоа дека халуцинациите се последица токму на силни *ѝприори* на генеративниот модел, кој заклучува перцепција во отсуство на сензорна евиденција (Corlett et al., 2019). Ако халуцинациите се последица на силни *ѝприори*, а делузиите на слаби, тогаш постои контрадикторност во фактот дека се јавуваат често заедно како обележја на шизофренијата. Еден начин да се разреши контрадикторноста произлегува од хиерархиската организираност на предиктивното кодирање и во „флексибилноста“ на моделот да има различен пондер за прецизноста на различни слоеви од хиерархијата. Имено, кај лицата со шизофренија можно е грешката на кодирање да се вреднува како попрецизна во пониските слоеви на хиерархијата, што би значело дека „шумот“ во сензациите се пропагира нагоре низ хиерархијата како грешка на кодирање, односно значајна информација што придонесува за несоодветно ажурирање на генеративниот модел, кој потоа произведува лажни уверувања. Од друга страна, на повисоките слоеви од хиерархијата несоодветно силни *ѝприори* ја баесираат постериорната дистрибуција да отстапува од сензорната евиденција или во целост да ја „халуцинира“. Ваквата поставеност на силни грешки на кодирање на почетните нивоа на кодирање и силни *ѝприори* на високите, интегративни нивоа на хиерархијата истовремено придонесуваат за делузии, односно за лажни уверувања за реалноста, и за халуцинации, односно погрешни перцепции на реалноста.

Неодамна е развиена варијација на моделот за хиерархиско предиктивно кодирање, односно модел на т.н. хибридно предиктивно кодирање (Tschantz et al., 2023) кој може да понуди објаснување за наглите промени во феноменолошката реалност кај лицата со шизофренија (Harding & Fletcher, 2024). На некој начин, овој модел ја зема логиката на двопроектните модели од психологијата, претпоставувајќи два модуса на предиктивно кодирање: итеративен и релативно бавен модус на инференција, преку кој постепено се ажурира генеративниот модел, и т.н. амортизирана инференција, односно брзо заклучување кое се базира на сигнализирање оддолу нагоре и ги прескокнува неколкуте циклуси на повратно ажурирање. Амортизираната инференција е на некој начин хевристика која ги мапира можните причини со сензорните последици и во релативно стабилни и предвидливи контексти може брзо и

ефикасно да обезбеди (перцептивен) заклучок. проблемот со делузивното заклучување произлегува кога „хевристиките“ на амортизираната инференција не се оптимизираат согласно со итеративната или „стандардна“ инференција на предиктивно кодирање. Оттаму, заклучувањето станува ригидно и отстапува од конвенционалната реалност.

Заклучно, шизофренијата, особено делузиите и халуцинациите како маркантни обележја на растројството, може да се разберат како последица на аберантно заклучување, кое несоодветно ја проценува предвидливоста, односно прецизноста на сензорната евиденција и ограничувањата во форма на *приори*. Врамнувањето на феноменологијата на растројството во рамките на „варијација“ на оптималното заклучување можеби може да понуди разбирање што ќе помогне за дестигматизација и за ултимативно изнаоѓање решение за третман.

Литература

- Bastos, A. M., Usrey, W. M., Adams, R. A., Mangun, G. R., Fries, P., & Friston, K. J. (2012). Canonical Microcircuits for Predictive Coding. *Neuron*, 76(4), 695–711. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.038>
- Capone, F., Paolucci, M., Assenza, F., Brunelli, N., Ricci, L., Florio, L., & Lazzaro, V. D. (2016). Canonical cortical circuits: Current evidence and theoretical implications. *Neuroscience and Neuroeconomics*, 5, 1–8. <https://doi.org/10.2147/NAN.S70816>
- Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 181–204. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12000477>
- Corlett, P. R., Horga, G., Fletcher, P. C., Alderson-Day, B., Schmack, K., & Powers, A. R. (2019). Hallucinations and Strong Priors. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(2), 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.12.001>
- Costa, A. L. L., Costa, D. L., Pessoa, V. F., Caixeta, F. V., & Maior, R. S. (2023). Systematic review of visual illusions in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 252, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2022.12.030>
- Feyaerts, J., Ritunnano, R., Jensen, G., & Sass, L. (2024). Predictive coding and phenomenological approaches of delusions: Convergence and differences. *The Lancet Psychiatry*, 11(7), 497–498. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(24\)00058-0](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(24)00058-0)
- Fogelson, N., Litvak, V., Peled, A., Fernandez-del-Olmo, M., & Friston, K. (2014). The functional anatomy of schizophrenia: A dynamic causal modeling study of predictive coding. *Schizophrenia Research*, 158(1–3), 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2014.06.011>
- Friston, K. (2008). Hierarchical Models in the Brain. *PLOS Computational Biology*, 4(11), e1000211. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000211>
- Friston, K. (2009). The free-energy principle: A rough guide to the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(7), 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.04.005>
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 127–138. <https://doi.org/10.1038/nrn2787>
- Friston, K. (2012). The history of the future of the Bayesian brain. *NeuroImage*, 62(2), 1230–1233. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.10.004>
- Friston, K. (2023). Computational psychiatry: From synapses to sentience. *Molecular Psychiatry*, 28(1), 256–268. <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01743-z>
- Frith, C. (2005). The neural basis of hallucinations and delusions. *Comptes Rendus Biologies*, 328(2), 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2004.10.012>

- Frith, C. D., & Friston, K. J. (2013). *False perceptions & false beliefs: Understanding schizophrenia*.
- Harding, J. N., & Fletcher, P. C. (2024). Cognitive and Computational Accounts of Delusions: Problems and Progress. *Annales Médico-Psychologiques, Revue Psychiatrique*, 182(9), 893–898. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2024.09.017>
- Knill, D. C., & Pouget, A. (2004). The Bayesian brain: The role of uncertainty in neural coding and computation. *Trends in Neurosciences*, 27(12), 712–719. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.10.007>
- Parr, T., & Friston, K. J. (2018). The Anatomy of Inference: Generative Models and Brain Structure. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fncom.2018.00090>
- Pezzulo, G., Parr, T., & Friston, K. (2022). The evolution of brain architectures for predictive coding and active inference. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377(1844), 20200531. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0531>
- Ranlund, S., Adams, R. A., Díez, Á., Constante, M., Dutt, A., Hall, M., Maestro Carbayo, A., McDonald, C., Petrella, S., Schulze, K., Shaikh, M., Walshe, M., Friston, K., Pinotsis, D., & Bramon, E. (2015). Impaired prefrontal synaptic gain in people with psychosis and their relatives during the mismatch negativity. *Human Brain Mapping*, 37(1), 351–365. <https://doi.org/10.1002/hbm.23035>
- Rao, R. P. N. (2005). Bayesian inference and attentional modulation in the visual cortex. *NeuroReport*, 16(16), 1843–1848. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000183900.92901.fc>
- Rao, R. P. N., & Ballard, D. H. (1999). Predictive coding in the visual cortex: A functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature Neuroscience*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/4580>
- Seth, A. K., & Friston, K. J. (2016). Active interoceptive inference and the emotional brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1708), 20160007. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0007>
- Shaw, A. D., Moran, R. J., Muthukumaraswamy, S. D., Brealy, J., Linden, D. E., Friston, K. J., & Singh, K. D. (2017). Neurophysiologically-informed markers of individual variability and pharmacological manipulation of human cortical gamma. *Neuroimage*, 161, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.08.034>
- Sterzer, P., Adams, R. A., Fletcher, P., Frith, C., Lawrie, S. M., Muckli, L., Petrovic, P., Uhlhaas, P., Voss, M., & Corlett, P. R. (2018). The Predictive Coding

Account of Psychosis. *Biological Psychiatry*, 84(9), 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2018.05.015>

Tscshantz, A., Millidge, B., Seth, A. K., & Buckley, C. L. (2023). Hybrid predictive coding: Inferring, fast and slow. *PLOS Computational Biology*, 19(8), e1011280. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011280>

Von Helmholtz, H. (2013). Treatise on Physiological Optics, volume III (Vol. 3). Courier Corporation. <https://web.archive.org/web/20160811122133/http://poseidon.sunyopt.edu/helmholtz/OCRVolume3.pdf>

Wacongne, C. (2016). A predictive coding account of MMN reduction in schizophrenia. *Biological Psychology*, 116, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.10.011>

DELUSIONS AND HALLUCINATIONS AS ABERRANT CONCLUSIONS

Vaska Leshoska

Abstract

Some contemporary theories in cognitive and computational neuroscience challenge the intuition that reality is directly “registered” on the basis of sensory input. According to these perspectives, the brain functions as a kind of “statistical machine” that primarily predicts or “hallucinates” reality and subsequently corrects it on the basis of sensory evidence. Within this framework, perception is understood as a form of inference aimed at minimizing prediction error. Without engaging in subtle terminological and conceptual disputes, this review paper aims to briefly present the perspectives of predictive coding, the Bayesian brain, and active inference, and to examine existing attempts to explain delusions and hallucinations as aberrant forms of inference. Specifically, the paper concludes that delusions and hallucinations may be understood as variations of optimal inference arising from an inappropriate estimation of the precision of sensory evidence and priors. This approach may contribute to a deeper theoretical understanding of psychoses, as well as to destigmatization and the development of more informed treatment strategies.

Keywords: *predictive coding, Bayesian brain, delusions, hallucinations*