

Магічне число сім, плюс-мінус два Деякі обмеження нашої здатності обробляти інформацію

Джордж А. Міллер
Гарвардський університет

Вперше ця стаття була прочитана як запрошена доповідь перед Східною психологічною асоціацією у Філадельфії 15 квітня 1955 року. Підготовка статті була підтримана Гарвардською психоакустичною лабораторією в рамках контракту N5001-76 між Гарвардським університетом та Управлінням військово-морських досліджень ВМС США (проект NR 142-201, звіт PNR-174).

Відтворення для будь-яких цілей уряду США дозволяється.

Прийнято: 4 травня 1955 р.

Моя проблема в тому, що мене переслідує ціле число. Протягом семи років це число переслідувало мене, втручалось в мої найпотаємніші дані та атакувало мене зі сторінок наших найпублічніших журналів. Це число набуває різноманітних масок, іноді трохи більше, іноді трохи менше, ніж зазвичай, але ніколи не змінюється настільки, щоб його було неможливо впізнати. Наполегливість, з якою це число переслідує мене, набагато більше, ніж випадковість. За цим стоїть, за висловом відомого сенатора, "desi", якась закономірність, що регулює його появу. Або в цьому числі справді є щось незвичайне, або ж я страждаю від манії переслідування.

Я почну свою розповідь з того, що розповім вам про деякі експерименти, які перевіряли, наскільки точно люди можуть присвоювати числа величинам різних аспектів стимулу. Традиційною мовою психології ці експерименти можна було б назвати експериментами з абсолютним судженням. Однак історичний збіг обставин визначив, що вони повинні мати іншу назву. Тепер ми називаємо їх експериментами зі здатності людей передавати інформацію. Оскільки ці експерименти не були б проведені без появи на психологічній сцені теорії інформації, і оскільки результати аналізуються з точки зору концепції теорії інформації, я повинен випередити своє обговорення кількома зауваженнями про цю теорію.

Вимірювання інформації

"Кількість інформації" - це те саме поняття, про яке ми роками говорили під назвою "дисперсія". Рівняння відрізняються, але якщо ми міцно тримаємося ідеї, що все, що збільшує дисперсію, також збільшує кількість інформації, ми не зойдемо далеко вбік.

Переваги цього нового способу говорити про дисперсію досить прості. Дисперсія завжди виражається в одиницях вимірювання - дюймах, фунтах, вольтах тощо, тоді як кількість інформації є безрозмірною величиною. Оскільки інформація в дискретному статистичному розподілі не

залежить від одиниці виміру, ми можемо поширити цю концепцію на ситуації, коли у нас немає метрики і ми зазвичай не думаємо про використання дисперсії. Це також дозволяє нам порівнювати результати, отримані в абсолютно різних експериментальних ситуаціях, де порівняння дисперсій на основі різних метрик було б безглуздом. Отже, є кілька вагомих причин для прийняття нової концепції.

Подібність дисперсії та кількості інформації можна пояснити таким чином: Коли ми маємо велику дисперсію, ми дуже мало знаємо про те, що станеться. Якщо ми дуже необізнані, то коли ми робимо спостереження, воно дає нам багато інформації. З іншого боку, якщо дисперсія дуже мала, ми заздалегідь знаємо, яким має бути результат нашого спостереження, тому ми отримуємо мало інформації від спостереження.

Якщо ви уявите собі комунікаційну систему, то зрозумієте, що існує велика варіативність того, що входить в систему, а також велика варіативність того, що виходить на виході. Таким чином, вхід і вихід можна описати в термінах їхньої варіативності (або їхньої інформації). Однак, якщо це хороша комунікаційна система, має існувати певний систематичний зв'язок між тим, що надходить на вхід, і тим, що виходить на виході. Тобто, вихід буде залежати від входу, або буде корелювати з входом. Якщо ми виміряємо цю кореляцію, то зможемо сказати, яка частина дисперсії виходу пояснюється входом, а яка - випадковими флуктуаціями або "шумом", що вноситься системою під час передачі. С ми бачимо, що міра переданої інформації - це просто міра кореляції вхід-вихід

Існує два простих правила, яких слід дотримуватися. Коли я говорю про "кількість інформації", ви будете розуміти "дисперсію". А коли я говорю про "кількість переданої інформації", ви розумієте "коваріацію" або "кореляцію".

Ситуацію можна описати графічно двома колами, що частково перекриваються. Тоді ліве коло можна вважати дисперсією вхідної інформації, праве коло - дисперсією вихідної інформації, а перекриття - коваріацією вхідної та вихідної інформації. Я називатиму ліве коло кількістю вхідної інформації, праве коло - кількістю вихідної інформації, а перекриття - кількістю переданої інформації.

В експериментах на абсолютне судження спостерігач розглядається як канал зв'язку. Тоді ліве коло буде представляти кількість інформації в стимулах, праве коло - кількість інформації в його відповідях, а перекриття - кореляцію стимул-реакція, яка вимірюється кількістю переданої інформації. Експериментальна задача полягає в тому, щоб збільшити кількість вхідної інформації і виміряти кількість переданої інформації. Якщо абсолютні судження спостерігача досить точні, то майже вся вхідна інформація буде передана і може бути відновлена з його відповідей. Якщо ж він помиляється, то передана інформація може бути значно меншою за вхідну. Ми очікуємо, що зі збільшенням кількості вхідної інформації спостерігач почне робити все більше і більше помилок: ми можемо перевірити межі точності його абсолютних суджень. Якщо людина-спостерігач є розумним видом комунікаційної системи, то при збільшенні кількості вхідної інформації передана інформація спочатку зростатиме, а потім вирівняється на деякому асимптотичному значенні. Це асимптотичне значення ми називаємо пропускнуою здатністю каналу спостерігача: воно являє собою найбільшу кількість інформації, яку він може дати нам про стимул на основі абсолютного судження. Пропускна здатність каналу - це верхня межа того, наскільки спостерігач може узгоджувати свої реакції зі стимулами, які ми йому подаємо.

Тепер лише кілька слів про *bit*, і ми можемо почати розглядати деякі дані. Один біт інформації - це кількість інформації, яка нам потрібна для прийняття рішення між двома рівномірними альтернативами. Якщо ми повинні вирішити, чи є людина менше шести футів зростом або більше шести футів зростом, і якщо ми знаємо, що шанси 50 на 50, то нам потрібен один біт інформації.

Два біти інформації дозволяють нам зробити вибір між чотирма рівноімовірними альтернативами. Три біти інформації дають нам змогу зробити вибір між вісьмома рівноімовірними альтернативами. Чотири біти інформації дозволяють вибрати з 16 альтернатив, п'ять - з 32 і так далі. Тобто, якщо є 32 рівноімовірні альтернативи, ми повинні прийняти п'ять послідовних двійкових рішень, вартістю один біт кожне, перш ніж дізнаємося, яка альтернатива є правильною. Отже, загальне правило просте: щоразу, коли кількість альтернатив збільшується вдвічі, додається один біт інформації.

Є два способи збільшити кількість вхідної інформації. Ми можемо збільшити швидкість, з якою ми надаємо інформацію спостерігачеві, так що кількість інформації за одиницю часу збільшиться. Або ми можемо повністю ігнорувати зміну часу і збільшити кількість вхідної інформації, збільшивши кількість альтернативних стимулів. В експерименті з абсолютним судженням нас цікавить другий варіант. Ми даємо спостерігачеві стільки часу, скільки він хоче, щоб зробити свою відповідь; ми просто збільшуємо кількість альтернативних стимулів, серед яких він повинен розрізнити, і дивимося, де починається плутанина. Плутанина з'явиться біля точки, яку ми називаємо "пропускною здатністю каналу".

Абсолютні судження про одновимірні стимули

Тепер розглянемо, що відбувається, коли ми робимо абсолютні судження про [тони П.Оллак \(17\) попросив](#) слухачів ідентифікувати тони, присвоюючи їм цифри. Тони були різними за частотою і охоплювали діапазон від 100 до 8000 імп/с з рівними логарифмічними кроками. Звучав тон, а слухач реагував на нього, називаючи цифру. Після того, як слухач давав відповідь, йому повідомляли правильну ідентифікацію тону.

Коли використовувалися лише два або три тони, слухачі ніколи не плутали їх. З чотирма різними тонами плутанина була досить рідкісною, але з п'ятьма і більше тонами плутанина була частою. З чотирнадцятьма різними тонами слухачі робили багато помилок.

Ці дані наведено на рис. [1](#). Внизу відкладено кількість вхідної інформації в бітах на один стимул $3i$ збільшенням кількості альтернативних тонів з 2 до 14 кількість вхідної інформації зростає з 1 т 3.8 біт. По осі ординат відкладено кількість переданої інформації. Кількість переданої інформація поводить себе так, як ми очікували б від каналу зв'язку: передана інформація лінійно зростає до 2 біт, а потім згинається до асимптоти на рівні 2,5 біт. Отже, це значення, 2,5 біта, є тим, що ми називаємо пропускною здатністю каналу слухача для абсолютних оцінок висоти тону.

Отже, зараз ми маємо число 2.5 біта. Що воно означає? По-перше, зауважте, що 2,5 біта відповідають приблизно рівноімовірним альтернативам. Результат означає, що ми не можемо вибрати більше шести різних висот, які слухач ніколи не переплутає. Або, висловлюючись трохи інакше, незалежно від того, скільки альтернативних тонів ми попросимо його оцінити, найкраще, на що ми можемо розраховувати, - це безпомилково віднести їх до приблизно шести різних класів. Або, знову ж таки, якщо ми знаємо, що було N альтернативних стимулів, то його судження дозволяє нам зв'язати конкретний стимул до одного з $N/6$.

Більшість людей дивуються, що їхня кількість становить лише шість. Звичайно, існують докази того, що музично витончена людина з абсолютним слухом може безпомилково визначити будь-яку з 50 або 60 різних висот.

На щастя, у мене немає часу обговорювати ці чудові винятки. Я кажу "на щастя", бо не знаю, як пояснити їхню чудову роботу. Тому я обмежуся більш прозаїчним фактом, що мої

з нас може розпізнати лише одну з п'яти-шести подач, перш ніж ми починаємо плутатися в них.

Цікаво, що психологи вже давно використовують семибальну шкалу оцінювання, виходячи з інтуїтивного розуміння того, що спроби розбити рейтинг на більш дрібні категорії не додають корисності. Результати Поллака вказують на те, що принаймні для пітчів ця інтуїція є досить обґрунтованою.

Далі ви можете запитати, наскільки відтворюваним є цей результат. Чи залежить це від відстані між тонами або від різних умов судження? Поллак варіював ці умови різними способами. Діапазон частот можна змінювати приблизно в 20 разів без зміни кількості переданої інформації більш ніж на невеликий відсоток. Різне групування частот зменшувало швидкість передачі, але втрати були невеликими. Наприклад, якщо ви можете розрізнити п'ять високих тонів в одній серії і п'ять низьких тонів в іншій серії, розумно очікувати, що ви зможете об'єднати всі десять в одну серію і все одно розрізнити їх без помилок. Однак, коли ви спробуєте це зробити, це не спрацює. Ємність каналу для висоти тону, здається, становить близько шести, і це найкраще, що ви можете зробити.

Поки ми говоримо про тони, давайте подивимося на роботу Гарнера (7) про гучність. Дані Гарнера для гучності наведено на [рис. 2](#). Гарнер доклав певних зусиль, щоб отримати найкращий можливий інтервал між тонами в діапазоні інтенсивності від 15 до 110 дБ. Він використовував 4, 5, 6, 7, 10 і 20 різних інтенсивностей стимулів. Результат, показаний на [рис. 2, враховує](#) відмінності між піддослідними та послідовний вплив безпосередньо попереднього судження. Знову ж таки, ми бачимо, що існує певна межа. Ємність каналу для абсолютних суджень про гучність становить 2,3 біта, або близько п'яти ідеально розрізняваних альтернатив.

Оскільки ці два дослідження були проведені в різних лабораторіях із застосуванням дещо різних методик і методів аналізу, ми не можемо стверджувати, що п'ять гучностей суттєво відрізняються від шести висот. Ймовірно, різниця є в правильному напрямку, і абсолютні оцінки висоти звуку є трохи точнішими, ніж абсолютні оцінки гучності. Важливим моментом, однак, є те, що обидві відповіді мають однаковий порядок величини.

Експеримент також був проведений для інтенсивності смаку. На [рис. 3](#) наведено результати, отримані за допомогою

[Бібі-Центр, Роджерс і О'Коннелл \(1\)](#) для абсолютних оцінок концентрації сольових розчинів. Концентрації варіювалися від 0,3 до 34,7 гм. NaCl на 100 куб. см водопровідної води з рівними суб'єктивними кроками.

Вони використовували 3, 5, 9 і 17 різних концентрацій. Ємність каналу становить 1,9 біт, що дорівнює приблизно чотирьом різні концентрації. Таким чином, інтенсивність смаку здається дещо менш виразною, ніж слухові стимули, але порядок величини не такий вже й далекий.

З іншого боку, пропускна здатність каналу для суджень про візуальну позицію, здається, значно більша [Хейк і Гарнер \(8\)](#) попросили спостерігачів візуально інтерполювати між двома маркерами шкали. Їхні результати показано на [рис. 4](#). Вони провели експеримент двома способами. В одній версії вони дозволили спостерігачеві використовувати будь-яке число від нуля до 100 для опису позиції, хоча вони пред'являли стимули лише в 5, 10, 2 або 50 різних позиціях. Результати з цієї технікою необмеженої відповіді показані заповненими колами на графіку. В іншій версії спостерігачі були обмежені у своїх відповідях, повідомляючи лише ті значення стимулів, які були

можливими. Іншими словами, у другому варіанті кількість різних відповідей, які міг дати спостерігач, була точно такою ж, як і кількість різних стимулів, які міг пред'явити експериментатор. Результати, отримані за допомогою цієї техніки обмеженої реакції, показані відкритими колами на графіку. Обидві функції настільки схожі, що можна зробити висновок, що кількість відповідей, доступних спостерігачеві, не має нічого спільного з пропускну здатністю каналу в 3,25 біта. Експеримент Хейка-Гарнера повторили Кунан і Клеммер. Хоча вони ще не опублікували свої результати, вони дали мені дозвіл сказати, що вони отримали ємність каналу в діапазоні від 3,2 біт для дуже коротких експозицій положення вказівника до 3,9 біт для довших експозицій. Ці значення трохи вищі, ніж у Хейка і Гарнера, тому ми повинні зробити висновок, що існує від 10 до 15 різних позицій вздовж лінійного інтервалу. Це найбільша пропускну здатність каналу, яка була виміряна для будь-якої одновимірної змінної.

На сьогоднішній день ці чотири експерименти з абсолютними судженнями про прості, одновимірні стимули - це все, що з'явилося в психологічних журналах. Однак, в журналах ще не з'явилася велика кількість робіт з іншими змінними стимулів. Наприклад, [Еріксен і Хейк \(6\)](#) виявили, що пропускну здатність каналу для оцінки розмірів квадратів становить 2,2 біта, або близько п'яти категорій, за широкого діапазону експериментальних умов. В окремому експерименті Еріксен [\(5\)](#) знайшов 2,8 біта для розміру, 3,1 біта для відтінку і 2,3 біта для яскравості. Гелдард виміряв пропускну здатність каналу для шкіри, розміщуючи вібратори на ділянці грудей. Хороший спостерігач може визначити близько чотирьох інтенсивностей, близько п'яти тривалостей і близько семи локалізацій.

Однією з найактивніших груп у цій галузі була Лабораторія оперативного застосування ВПС США. Поллак люб'язно надав мені результати їхніх вимірювань декількох аспектів візуальних дисплеїв. Вони вимірювали площу, кривизну, довжину і напрямок ліній. В одній серії експериментів вони використовували дуже коротку експозицію стимулу - 1/40 секунди, а потім повторили вимірювання з 5-секундною експозицією. Для площі вони отримали 2,6 біта при короткій експозиції і 2,7 біта при довгій. Для довжини лінії вони отримали близько 2,6 біт з короткою експозицією і близько 3,0 біт з довгою експозицією. Напрямок, або кут нахилу, дав 2,8 біт для короткої експозиції і 3,3 біт для довгої. Про кривизну, очевидно, було важче судити. Коли довжина дуги була постійною, результат при короткій тривалості експозиції становив 2,2 біта, але коли довжина хорди була постійною, результат був лише 1,6 біта. Це останнє значення є найнижчим, яке будь-хто виміряв на сьогоднішній день. Слід додати, однак, що ці значення можуть бути дещо заниженими, оскільки дані від усіх піддослідних були об'єднані до того, як була обчислена інформація, що передається.

Тепер давайте подивимося, де ми знаходимося. По-перше, пропускну спроможність каналу, здається, є прийнятним поняттям для опису людей-спостерігачів. По-друге, пропускну здатність каналу, виміряна для цих одновимірних змінних, коливається від 1,6 біт для кривизни до 3,9 біт для позицій в інтервалі. Хоча немає сумнівів, що відмінності між змінними є реальними і значущими, більш вражаючим фактом для мене є їхня значна схожість. Якщо взяти найкращі оцінки пропускну здатності каналів для всіх згаданих мною стимульних змінних, то середнє значення становить 2,6 біта, а стандартне відхилення - лише 0,6 біта. З точки зору альтернатив, які можна розрізнити, це середнє значення відповідає приблизно 6,5 категоріям, одне стандартне відхилення включає від 4 до 10 категорій, а загальний діапазон становить від 3 до 15 категорій. Враховуючи широке розмаїття різних змінних, які були досліджені, я вважаю, що це напрочуд вузький діапазон.

Здається, що існує певне обмеження, вбудоване в нас або в результаті навчання, або через конструкцію нашої нервової системи, обмеження, яке утримує пропускну здатність наших каналів у цьому загальному діапазоні. На основі наявних даних можна з упевненістю стверджувати, що ми володіємо обмеженою і досить малою здатністю робити такі одновимірні судження, і що ця здатність не надто відрізняється від однієї простої сенсорної ознаки до іншої.

Абсолютні судження про багатовимірні стимули

Ви, мабуть, помітили, що я був обережним, кажучи, що це магічне число сім відноситься до одновимірні судження. Повсякденний досвід вчить нас, що ми можемо безпомилково впізнати будь-яке з кількох сотень облич, будь-яке з кількох тисяч слів, будь-який з кількох тисяч предметів тощо. Звичайно, розповідь не була б повною, якби ми зупинилися на цьому. Ми повинні мати певне розуміння того, чому одновимірні змінні, які ми оцінюємо в лабораторії, дають результати, які так далеко відходять від того, що ми постійно робимо в нашій поведінці за межами лабораторії. Можливе пояснення полягає в кількості незалежних змінних атрибутів стимулів, які ми оцінюємо. Предмети, обличчя, слова тощо відрізняються один від одного за багатьма параметрами, тоді як прості стимули, які ми розглядали до цього часу, відрізняються один від одного лише за одним параметром.

На щастя, є кілька даних про те, що відбувається, коли ми робимо абсолютні судження про стимули, які відрізняються один від одного кількома способами. Спочатку розглянемо результати, отримані Клеммером і Фріком (13) для абсолютного судження про положення точки в квадраті. На рис. 5 ми бачимо їхні результати. Тепер пропускна здатність каналу, здається, збільшилася до 4,6 біт, а це означає, що люди можуть точно визначити будь-яку з 24 позицій у квадраті.

Положення точки в квадраті - це, безумовно, двовимірна пропозиція. Потрібно ідентифікувати як горизонтальне, так і вертикальне положення точки. Таким чином, здається природним порівняти 4.6-бітну ємність для квадрата з 3.25-бітною ємністю для положення точки в інтервалі. Точка в квадраті вимагає двох суджень інтервального типу. Якщо ми маємо розрядність 3.25 біт для оцінки інтервалів і робимо це двічі, то отримуємо 6.5 біт розрядності для знаходження точок у квадраті. Додавання другого незалежного виміру дає нам збільшення з 3,25 до 4,6, але не дотягує до ідеального додавання, яке дало б 6,5 біт.

Інший приклад наводять Бібі-Центр, Роджерс і О'Коннелл. Коли вони попросили людей визначити солоність і солодкість розчинів, що містять різні концентрації солі і сахарози, вони виявили, що пропускна здатність каналу становить 2,3 біта. Оскільки пропускна здатність лише для солі становила 1,9, ми можемо очікувати близько 3,8 біт, якщо ці два аспекти складних стимулів оцінюються незалежно один від одного. Як і у випадку з просторовим розташуванням, другий вимір трохи збільшує пропускну здатність, але не настільки, наскільки це можна було б уявити.

Третій приклад наводить Поллак (18), який просить слухачів оцінити гучність і висоту чистих тонів. Оскільки висота дає 2,5 біта, а гучність - 2,3 біта, ми можемо сподіватися, що отримуємо 4,8 біта для висоти і гучності разом. Поллак отримав 3,1 біт, що знову ж таки вказує на те, що другий вимір збільшує пропускну здатність каналу, але не настільки, наскільки це можливо.

Четвертий приклад можна взяти з роботи Халсі та Чапаніса (9) про плутанину між кольорами однакової яскравості. Хоча вони не аналізували свої результати в інформаційному плані, за їхніми оцінками, існує від 11 до 15 ідентифікованих кольорів, або, в наших термінах, близько 3,6 біта. Оскільки ці кольори відрізнялися як за відтінком, так і за насиченістю, ймовірно, правильно вважати це двовимірним судженням. Якщо ми порівняємо це з 3,1 бітами Еріксена для відтінку (що є сумнівним порівнянням), ми знову отримуємо щось менш досконале, коли додамо другий вимір.

Однак від цих двовимірних прикладів до багатовимірних стимулів, що надаються обличчями, словами тощо, ще дуже далеко. Щоб заповнити цю прогалину, ми маємо лише один експеримент, слухове дослідження, проведене

[Поллак і Фікс \(19\)](#). Їм вдалося отримати шість різних акустичних змінних, які вони могли змінювати: частоту, інтенсивність, частоту переривання, часову частку, загальну тривалість і просторове розташування. Кожна з цих шести змінних могла набувати будь-якого з п'яти різних значень, тож загалом було ⁵⁶, або 15 625 різних тонів, які вони могли відтворювати. Слухачі робили окрему оцінку для кожного з цих шести вимірів. За цих умов обсяг переданої інформації становив 7,2 біта, що відповідає приблизно 150 різним категоріям, які можна було абсолютно безпомилково ідентифікувати. Тепер ми починаємо підніматися в діапазон, який підказує нам звичайний досвід.

Припустімо, що ми побудуємо графік цих фрагментарних даних і зробимо припущення про те, як змінюється пропускна здатність каналу зі зміною розмірності стимулів. Результат наведено на [рис. 6](#). У момент значної сміливості я намалював пунктирну лінію, щоб приблизно позначити тенденцію, яку, як мені здається, мають дані.

Очевидно, що додавання незалежних змінних атрибутів до стимулу збільшує пропускну здатність каналу, але з меншою швидкістю. Цікаво відзначити, що пропускна здатність каналу збільшується навіть тоді, коли кілька змінних не є ~~як~~ [Е. Еріксен \(5\)](#) повідомляє, що коли розмір, яскравість і відтінок змінюються разом в ідеальній кореляції, передана інформація становить 4,1 біт порівняно з середнім значенням близько 2,7 біт, коли ці атрибути змінюються по одному. Переплутавши три атрибути, Еріксен збільшив розмірність входу без збільшення кількості вхідної інформації; результатом стало збільшення пропускної здатності каналу приблизно на ту величину, яку можна було б очікувати від пунктирної функції [Fig 6 можна](#) було б очікувати.

Суть полягає в тому, що коли ми додаємо більше змінних до дисплея, ми збільшуємо загальну ємність, але зменшуємо точність для кожної окремої змінної. Іншими словами, ми можемо робити відносно грубі судження про декілька речей одночасно.

Можна стверджувати, що в ході еволюції найбільшого успіху досягли ті організми, які реагували на найширший спектр стимулюючих енергій у своєму середовищі. Для того, щоб вижити в постійно мінливому світі, краще мати мало інформації про багато речей, ніж багато інформації про невеликий сегмент навколишнього середовища. Якщо компроміс був необхідний, то той, на який ми пішли, очевидно, був більш адаптивним.

Результати Поллака і Фікса дуже переконливо свідчать на користь аргументу, який лінгвісти і фонетики вже давно висувують [\(11\)](#). Згідно з лінгвістичним аналізом звуків людської мови, існує близько восьми або десяти вимірів - лінгвісти називають їх ~~знаками~~ - які відрізняють одну фонему від іншої. Ці дистинктивні ознаки зазвичай є бінарними або, щонайбільше, тернарними за своєю природою. Наприклад, бінарне розрізнення проводиться між голосними і приголосними, бінарне рішення приймається між ротовими і носовими приголосними, тернарне рішення приймається між передніми, середніми і задньоязиковими фонемами і т.д. Такий підхід дає нам зовсім іншу картину сприйняття мови, ніж ми могли б собі уявити які ми можемо отримати з наших досліджень мовного спектру та здатності вуха розрізняти відносні відмінності між чистими тонами. Я особисто дуже зацікавлений у цьому новому підході [\(h15\)](#), і я шкодую, що немає часу обговорювати це тут.

Ймовірно, саме з урахуванням цієї лінгвістичної теорії Поллак і Фікс провели тест на наборі тональних стимулів, які варіювалися у восьми вимірах, але вимагали лише бінарного рішення по

кожному виміру. За допомогою цих тонів вони виміряли передану інформацію в 6,9 біт, або близько 120 розпізнаваних видів звуків. Це інтригуюче питання, поки що недосліджене, чи можна продовжувати додавати виміри і так до нескінченності.

У людському мовленні існує чітке обмеження на кількість вимірів, які ми використовуємо. У цьому випадку, однак, невідомо, чи це обмеження накладається природою механізму сприйняття, який повинен розпізнавати звуки, чи природою мовленнєвого механізму, який повинен їх вимовляти. Хтось повинен провести експеримент, щоб з'ясувати це. Однак існує межа у вісім-дев'ять відмінних рис у кожній мові, яка була вивчена, і тому, коли ми говоримо, ми повинні вдаватися до ще однієї спроби для збільшення пропускну здатності нашого каналу. Мова використовує послідовності фонем, тому ми робимо кілька суджень послідовно, коли слухаємо слова і речення. Іншими словами, ми використовуємо як одночасне, так і послідовне розрізнення, щоб розширити досить жорсткі межі, які накладає неточність абсолютних суджень про прості величини.

Ці багатовимірні судження дуже нагадують абстрактний експеримент [Кюльпе \(14\)](#). Як ви пам'ятаєте, Кюльпе показав, що спостерігачі більш точно повідомляють про атрибути, для яких вони встановлені, ніж про атрибути, для яких вони не встановлені. [Наприклад, КГапман \(4\)](#) використовував три різні ознаки і порівнював результати, отримані, коли спостерігачі були проінструктовані перед показом тахістограми, з результатами, отриманими, коли їм не було сказано після показу, про яку з трьох ознак вони повинні були повідомити. Коли інструкція була надана заздалегідь, судження були більш точними. Коли ж інструкцію давали після, досліджувані, ймовірно, повинні були оцінити всі три ознаки, щоб повідомити про будь-яку з них, і точність суджень була відповідно нижчою. Це повністю узгоджується з результатами, які ми щойно розглядали, де точність суджень про кожну ознаку знижувалася зі збільшенням кількості вимірів. Напевно, це очевидно, але я все одно скажу, що експерименти з абстрагуванням *не* продемонстрували, що люди можуть судити лише про один атрибут за раз. Вони лише показали те, що здається цілком обґрунтованим, що люди стають менш точними, якщо їм доводиться оцінювати більше однієї ознаки одночасно. . . .

Проміжок безпосередньої пам'яті

Дозвольте мені підсумувати ситуацію таким чином. Існує чітка і визначена межа точності, з якою ми можемо абсолютно точно визначити величину одновимірної змінної-стимулу. Я б запропонував назвати цю межу *діапазоном абсолютного судження*, і я стверджую, що для одновимірних суджень цей діапазон зазвичай знаходиться десь в районі семи. Однак ми не повністю залежимо від цього обмеженого діапазону, тому що у нас є різні способи обійти його і підвищити точність наших суджень. Три найважливіші з них: (а) робити відносні, а не абсолютні судження; або, якщо це неможливо, (б) збільшити кількість вимірів, за якими стимули можуть відрізнитися; або (в) організувати завдання таким чином, щоб ми робили послідовність з декількох абсолютних суджень поспіль.

Вивчення відносних суджень - одна з найстаріших тем в експериментальній психології, і я не буду зараз зупинятися на її розгляді. Другий прийом, збільшення розмірності, ми щойно розглянули. Здається, що додавши більше вимірів і вимагаючи грубих, бінарних, так-ні суджень щодо кожної ознаки, ми можемо розширити діапазон абсолютних суджень з семи до щонайменше 150. Судячи з нашої повсякденної поведінки, межа, ймовірно, обчислюється тисячами, якщо вона взагалі існує. На мою думку, ми не можемо нескінченно збільшувати розмірність. Я підозрюю, що існує також *аспан перцептивної розмірності*, і що цей діапазон знаходиться десь в районі десяти, але відразу додам, що об'єктивних доказів, які б підтверджували цю підозру, немає. Це питання, на жаль, потребує експериментального дослідження.

Щодо третього прийому, використання послідовних суджень, мені є що сказати, оскільки цей прийом представляє пам'ять як служницю дискримінації. А оскільки мнемічні процеси є щонайменше такими ж складними, як і процеси сприйняття, ми можемо передбачити, що їхню взаємодію буде нелегко розплутати.

Припустімо, що ми почнемо з того, що трохи розширимо експериментальну процедуру, яку ми використовували. До цього моменту ми пред'являли один стимул і просили спостерігача назвати його одразу після цього. Ми можемо продовжити цю процедуру, вимагаючи від спостерігача утримувати свою відповідь, поки ми не пред'явимо йому кілька стимулів поспіль. Наприкінці послідовності стимулів він дає свою відповідь. Ми все ще маємо ту саму ситуацію "вхід-вихід", яка необхідна для вимірювання переданої інформації. Але тепер ми перейшли від експерименту на абсолютне судження до того, що традиційно називають експериментом на безпосередню пам'ять.

Перш ніж ми розглянемо будь-які дані на цю тему, я вважаю, що повинен дати вам слово попередження, щоб допомогти вам уникнути деяких очевидних асоціацій, які можуть збити вас з пантелику. Всім відомо, що існує обмежений проміжок безпосередньої пам'яті, і що для багатьох різних видів тестових матеріалів цей проміжок становить близько семи елементів у довжину. Я щойно показав вам, що існує діапазон абсолютного судження, який може розрізняти близько семи категорій, і що існує діапазон уваги, який охоплює близько шести об'єктів з першого погляду. Що може бути природніше, ніж думати, що всі ці три види уваги є різними аспектами єдиного базового процесу? Це фундаментальна помилка, і я намагатимусь її продемонструвати. Ця помилка є одним із злісних переслідувань, яким піддає мене магічне число сім.

Моя помилка була приблизно такою. Ми бачили, що інваріантною характеристикою в діапазоні абсолютного судження є кількість інформації, яку може передати спостерігач. Існує реальна операційна схожість між експериментом з абсолютним судженням і експериментом з миттєвою пам'яттю. Якщо миттєва пам'ять подібна до абсолютного судження, то з цього має впливати, що інваріантною характеристикою інтервалу миттєвої пам'яті також є кількість інформації, яку спостерігач може утримати в пам'яті. Якщо кількість інформації в інтервалі миттєвої пам'яті є константою, то інтервал повинен бути коротким, коли окремі елементи містять багато інформації, і довгим, коли елементи містять мало інформації. Наприклад, десяткові цифри займають 3,3 біта кожна. Ми можемо пригадати близько семи з них, загалом 23 біти інформації. Ізольовані англійські слова коштують близько 10 біт кожне. Якщо загальна кількість інформації залишається незмінною на рівні 23 біт, то ми повинні бути здатні запам'ятати лише два-три слова, вибрані навмання. Таким чином, я сформулював теорію про те, як обсяг оперативної пам'яті має змінюватися залежно від кількості інформації на один елемент у тестових матеріалах.

Вимірювання об'єму пам'яті в літературі дають відповіді на це питання, але не є остаточними. [Хейз \(Hayes\) \(10\)](#) випробував це на п'яти різних типах тестових матеріалів: двійкові цифри, десяткові цифри, літери алфавіту, літери та десяткові цифри, а також 1000 односкладових слів. Списки зачитувалися вголос зі швидкістю один пункт за секунду, і досліджувані мали стільки часу, скільки їм було потрібно, щоб дати відповідь. Для підрахунку відповідей використовувалася процедура, описана [Удвортом \(20\)](#).

Результати показані зафарбованими колами на [рис. 7](#). Тут пунктирна лінія показує, яким мав би бути проміжок, якби кількість інформації в ньому була постійною. Суцільні криві представляють дані. Хейз повторив експеримент, використовуючи тестові словники різного розміру, але всі вони містили лише англійські односкладові слова (відкриті кола на [рис. 7](#)). Цей більш однорідний

тестовий матеріал суттєво не змінив картину. Для бінарних елементів розкид становить близько дев'яти і, хоча він зменшується до п'яти з односкладових англійських слів, різниця набагато менша, ніж вимагала б гіпотеза про постійну інформацію.

В експерименті Хейза немає нічого поганого, адже [Поллак \(16\)](#) повторив його набагато ретельніше і отримав по суті той самий результат. Поллак доклав зусиль, щоб виміряти кількість переданої інформації і не покладався на традиційну процедуру підрахунку відповідей. Його результати представлені на графіку [iFrig. 8](#).

Звідси видно, що кількість переданої інформації не є постійною, а зростає майже лінійно зі збільшенням кількості інформації на один елемент вхідних даних.

Тож результат цілком зрозумілий. Незважаючи на збіг, що магічне число сім з'являється в обох місцях, діапазон абсолютного судження і діапазон безпосередньої пам'яті - це зовсім різні види обмежень, які накладаються на нашу здатність обробляти інформацію. Абсолютне судження обмежене кількістю інформації. Безпосередня пам'ять обмежена кількістю предметів. Для того, щоб відобразити цю різницю в дещо мальовничих термінах, я звик розрізняти *біти* інформації та *шматки* інформації. Тоді я можу сказати, що кількість бітів інформації є постійною для абсолютного судження, а кількість фрагментів інформації є постійною для безпосередньої пам'яті. Обсяг миттєвої пам'яті, здається, майже не залежить від кількості бітів на порцію, принаймні в тому діапазоні, який ми досліджували на сьогоднішній день.

Протиставлення термінів "біт" і "шматок" також підкреслює той факт, що ми не дуже чітко уявляємо собі, що саме являє собою шматок інформації. Наприклад, фрагмент пам'яті з п'яти слів, який Хейз отримав, коли кожне слово було випадковим чином вибрано з набору з 1000 англійських односкладових слів, з таким же успіхом можна було б назвати фрагментом пам'яті з 15 фонем, оскільки в кожному слові було приблизно по три фонемі. Інтуїтивно зрозуміло, що піддослідні згадували п'ять слів, а не 15 фонем, але логічне розмежування не одразу впадає в око. Тут ми маємо справу з процесом організації або групування вхідних даних у знайомі одиниці або фрагменти, і на формування цих знайомих одиниць пішло багато навчання.

Перекодування

Тому, щоб говорити точніше, ми повинні визнати важливість групування або організації вхідної послідовності в одиниці або фрагменти. Оскільки ділянка пам'яті складається з фіксованої кількості фрагментів, ми можемо збільшити кількість бітів інформації, що міститься в ній, просто створюючи все більші і більші фрагменти, кожен з яких містить більше інформації, ніж попередній. —

Людина, яка тільки починає вивчати радіотелеграфний код, чує кожне "dit" і "dah" як окремих шматок. Незабаром вона здатна організувати ці звуки в літери, а потім може мати справу з літерами як частинами. Потім літери організовуються у слова, які є ще більшими шматками, і він починає чути цілі фрази. Я не маю на увазі, що кожен крок є дискретним процесом, або що в його кривій навчання повинні з'являтися плато, адже, безумовно, рівні організації досягаються з різною швидкістю і накладаються один на одного під час процесу навчання. Я просто вказую на той очевидний факт, що "dits" і "dah" організовуються в процесі навчання в патерни, і що в міру того, як з'являються ці більші фрагменти, кількість повідомлень, які оператор може запам'ятати, відповідно, збільшується. У термінах, які я пропоную використовувати, оператор вчиться збільшувати біти р фрагмента.

На жаргоні теорії комунікації цей процес називається перекодуванням. Вхідні дані подаються у вигляді коду, який містить багато фрагментів з невеликою кількістю бітів у кожному фрагменті. Оператор перекодує вхідні дані в інший код, який містить менше фрагментів з більшою кількістю бітів у кожному фрагменті. Існує багато способів зробити таке перекодування, але найпростіший з них - згрупувати вхідні події, присвоїти групі нову назву, а потім запам'ятати нову назву, а не початкові вхідні події.

Оскільки я переконаний, що цей процес є дуже загальним і важливим для психології, я хочу розповісти вам про демонстраційний експеримент, який повинен зробити абсолютно зрозумілим те, про що я говорю. Цей експеримент був проведений Сідні Смітом і був представлений ним перед Східною психологічною асоціацією в 1954 році.

Почнемо з того факту, що люди можуть повторити вісім десяткових цифр, але лише дев'ять двійкових цифр. Оскільки існує велика розбіжність у кількості інформації, що запам'ятовується в цих двох випадках, ми підозрюємо, що процедура перекодування може бути використана для збільшення об'єму безпосередньої пам'яті для двійкових цифр. У таблиці 1 проілюстровано метод групування та перейменування. У верхньому рядку наведено послідовність з 18 двійкових цифр, набагато більше, ніж будь-який суб'єкт зміг запам'ятати після одноразового пред'явлення. У наступному рядку ці двійкові цифри згруповані попарно. Можливі чотири пари: 00 перейменовано на 0, 01 перейменовано на 1, 10 перейменовано на 2, а 11 перейменовано на 3. Тобто ми перекодуємо з арифметики з основою 2 на арифметику з основою 4

арифметика. У перекодованій послідовності залишилося запам'ятати лише дев'ять цифр, і це майже в межах обсягу оперативної пам'яті. У наступному рядку та сама послідовність двійкових цифр перегрупується у фрагменти по три. Існує вісім можливих послідовностей по три, тому ми даємо кожній послідовності нове ім'я від 0 до 7. Зараз ми перекодували послідовність з 18 двійкових цифр у послідовність з 6 вісімкових цифр, що цілком відповідає обсягу оперативної пам'яті. В останніх двох рядках двійкові цифри згруповані по четвірках та п'ятірках і отримали десяткові імена від 0 до 15 та від 0 до 31.

Цілком очевидно, що таке перекодування збільшує кількість бітів у фрагменті і упакує двійкову послідовність у форму, яка може бути збережена в межах оперативної пам'яті. Отже, Сміт зібрав 2 піддослідних і виміряв їхній об'єм пам'яті для двійкових і вісімкових цифр. Обсяг пам'яті склав 9 для двійкових і 7 для вісімкових цифр. Потім він дав кожному схему перекодування п'ятьом піддослідним. Вони вивчали перекодування, поки не сказали, що зрозуміли його - приблизно 5 або 10 хвилин. Потім він знову перевіряв їхній діапазон для двійкових цифр, поки вони намагалися використати схеми кодування, які вони вивчили.

Схеми перекодування збільшили свій діапазон для двійкових цифр у кожному випадку. Але це збільшення було не таким значним, як ми очікували, виходячи з їхнього розкиду для вісімкових цифр. Оскільки розбіжність зростала зі збільшенням коефіцієнта перекодування, ми вирішили, що тих кількох хвилин, які піддослідні витратили на вивчення схем перекодування, було недостатньо. Очевидно, переклад з одного коду в інший повинен бути майже автоматичним, інакше піддослідний втратить частину наступної групи, поки намагатиметься запам'ятати переклад попередньої групи.

Оскільки співвідношення 4:1 і 5:1 потребують значного вивчення, Сміт вирішив наслідувати Еббінгауза і провести експеримент над собою. З німецьким терпінням він послідовно пробував на собі кожне перекодування і отримав результати, показані на рис. 9. Тут дані досить добре узгоджуються з результатами, які можна було б передбачити, виходячи з його здатності запам'ятовувати вісімкові цифри. Він запам'ятав 12 вісімкових цифр. При перекодуванні 2:1 ці 12 фрагментів дорівнювали 24 двійковим цифрам. При перекодуванні 3:1 вони склали 36 двійкових цифр.

З перекодуванням 4:1 і 5:1 вони коштували близько 40 двійкових цифр.

Трохи драматично спостерігати, як людина запам'ятовує 40 двійкових цифр підряд, а потім безпомилково повторює їх назад. Однак, якщо ви вважатимете це просто мнемонічним прийомом для збільшення обсягу пам'яті, ви пропустите більш важливий момент, який закладений майже у всіх подібних мнемонічних прийомах. Справа в тому, що перекодування є надзвичайно потужною зброєю для збільшення кількості інформації, з якою ми можемо мати справу

У тій чи іншій формі ми постійно використовуємо перекодування у своїй повсякденній поведінці.

На мою думку, найбільш звичним видом перекодування, який ми робимо постійно, є переклад у вербальний код. Коли ми хочемо запам'ятати якусь історію, аргумент чи ідею, ми зазвичай намагаємося перефразувати її "своїми словами". Коли ми стаємо свідками якоїсь події, яку хочемо запам'ятати, ми робимо словесний опис цієї події, а потім згадуємо нашу вербалізацію.

Пригадуючи, ми відтворюємо шляхом вторинної деталізації ті деталі, які здаються нам відповідними до конкретного вербального кодування, яке ми випадково запам'ятали. Відомий експеримент [Кармайкла, Хогана і Волтера \(3\)](#) про вплив імен на пригадування візуальних образів є однією з демонстрацій цього процесу.

Неточність свідчень очевидців добре відома юридичній психології, але викривлення свідчень не є випадковими - вони закономірно впливають з конкретного перекодування, яке використав свідок, а конкретне перекодування, яке він використав, залежить від усієї його життєвої історії. Наша мова є надзвичайно корисною для перепакуння матеріалу в кілька шматків, багатих на інформацію. Я підозрюю, що образи - це теж форма перекодування, але образи, здається, набагато важче отримати на практиці та вивчити експериментально, ніж більш символічні види перекодування.

Здається, що навіть запам'ятовування можна вивчати в цих термінах. Процес запам'ятовування може бути просто формуванням фрагментів або груп елементів, які йдуть разом, поки їх не стане достатньо, щоб ми могли згадати всі елементи. Особливо цікавою в цьому плані є робота [Бусфілда і Коена \(2\)](#) про виникнення кластеризації при пригадуванні слів.

Підсумок

Я підійшов до кінця даних, які хотів представити, тому хотів би зараз зробити кілька узагальнюючих зауважень.

По-перше, діапазон абсолютного судження і діапазон миттєвої пам'яті накладають серйозні обмеження на кількість інформації, яку ми здатні отримати, обробити і запам'ятати. Організуючи вхідний стимул одночасно в декількох вимірах і послідовно в послідовність фрагментів, нам вдається подолати (або, принаймні, розтягнути) це інформаційне вузьке місце.

По-друге, процес перекодування є дуже важливим у людській психології і заслуговує на значно більшу увагу, ніж йому приділяється. Зокрема, лінгвістичне перекодування, яке здійснюють люди, як на мене, є життєво важливим для процесів мислення. Процедури перекодування постійно цікавлять клініцистів, соціальних психологів, лінгвістів та антропологів, і все ж, можливо, тому, що перекодування менш доступне для експериментальних маніпуляцій, ніж безглузді склади або Т-образні лабіринти, традиційний психолог-експериментатор майже нічого не зробив для їхнього аналізу. Тим не менш, можна використовувати експериментальні техніки, уточнювати методи перекодування, знаходити поведінкові індикатори. І я передбачаю, що ми знайдемо дуже впорядкований набір зв'язків, що описують те, що зараз здається незвіданою пустелею індивідуальних відмінностей.

По-третє, концепції та заходи, що надаються теорією інформації, забезпечують кількісний спосіб отримання відповідей на деякі з цих питань. Теорія надає нам мірило для калібрування наших стимульних матеріалів і для вимірювання продуктивності наших піддослідних. В інтересах комунікації я опустив технічні деталі вимірювання інформації і спробував висловити ідеї в більш звичних термінах; сподіваюся, цей переказ не змусить вас думати, що вони не є корисними в дослідженнях.

Інформаційні концепції вже довели свою цінність у вивченні дискримінації та мови; вони

багато обіцяють у вивченні навчання і пам'яті; і навіть було висловлено припущення, що вони можуть бути корисними у вивченні формування понять. Багато питань, які здавалися безплідними двадцять чи тридцять років тому, тепер можуть бути варті того, щоб на них поглянути по-новому. Насправді, я відчуваю, що моя розповідь тут повинна зупинитися саме тоді, коли вона починає ставати по-справжньому цікавою.

І нарешті, як щодо магічного числа сім? Як щодо семи чудес світу, семи морів, семи смертних гріхів, семи дочок Атланта в Плеядах, семи віків людини, семи рівнів пекла, семи основних кольорів, семи нот музичної гами та семи днів тижня? А як щодо семибальної шкали оцінювання, семи категорій для абсолютного судження, семи об'єктів у полі уваги та семи цифр у полі миттєвої пам'яті? Поки що пропоную утриматися від суджень. Можливо, за всіма цими сімома цифрами ховається щось глибоке і глибинне, щось, що так і проситься, щоб ми його відкрили. Але я підозрюю, що це лише згубний, піфагорійський збіг обставин.

Посилання

- Бібі-Центр, Дж. Г., Роджерс, М. С. та О'Коннелл, Д. Н. Передача інформації про сахарозу та сольові розчини через відчуття смаку (*J. Psychol.*, 1955, 39, 157-160).
- Bousfield, W. A. & Cohen, V. H. Виникнення кластеризації при згадуванні випадково розташованих слів різної частоти (*J. Gen. Psychol.*, 1955, 52, 83-95).
- Кармайкл, Л., Хоган, Г. П. і Волтер, А. А. Експериментальне дослідження впливу мови на відтворення візуально сприйнятої форми (*J. Exp. Psychol.*, 1932, 15, 73-86).
- Чепмен, Д. В. Відносні ефекти детермінованості та індетермінованості (*Aufgaben. Amer. J. Psychol.*, 1932, 44, 163-174).
- Еріксен, К. В. Багатовимірні відмінності стимулів і точність дискримінації (*USAF, WADC Tech. Rep.*, 1954, № 54-165).
- Еріксен, К. В. та Хейк, Г. В. Абсолютні судження як функція діапазону стимулів та кількості категорій стимулів і відповідей (*J. exp. Psychol.*, 1955, 49, 323-332).
- Гарнер, В. Р. Інформаційний аналіз абсолютних суджень про гучність (*J. exp. Psychol.*, 1953, 46, 373-380).
- Наке, Н. W. & Garner, W. R. Вплив представлення різної кількості дискретних кроків на точність зчитування шкали (*J. exp. Psychol.*, 1951, 42, 358-366).
- Halsey, R. M. & Charanis, A. Chromaticity-confusion contours in a complex viewing situation (*J. Opt. Soc. Amer.*, 1954, 44, 442-454).
- Hayes, J. R. M. Memory span for several vocabulary as a function of vocabulary size. *Квартальний звіт про прогрес*, Кембридж, Массачусетс: Лабораторія акустики, Массачусетський технологічний інститут, січень-червень, 1952).
- Якобсон, Р., Фант, К. Г. М. та Галле, М. *Попередній аналіз мовлення*. (Кембридж, Массачусетс: Лабораторія акустики, Массачусетський технологічний інститут, 1952. (Tech. Rep. No. 13.)
- Кауфман, Е. Л., Лорд, М. В., Різ, Т. В. і Фолькманн, Д. Дискримінація візуального числа (*Amer. J. Psychol.*, 1949, 62, 498-525).
- Клеммер, Е. Т. і Фрік, Ф. С. Засвоєння інформації з точкових і матричних схем (*J. exp. Psychol.*, 1953, 45, 15-19).
- Külpe, O. Versuche über Abstraktion (*Ber ü. d. I Kongr. f. exper. Psychol.*, 1904, 56-68.)
- Miller, G. A. & Nicely, P. E. An analysis of perceptual confusion among some English consonants. *J.*

Acoust. Soc. Amer., 1955, 27, 338-352).

Поллак, І. Засвоєння послідовно закодованої інформації (*Amer. J. Psychol.*, 1953, 66, 421-435).

Поллак, І. Інформація елементарних слухових проявів. (*J. Acoust. Soc. Amer.*, 1952, 24, 745-749.)

Поллак, І. Інформація елементарних слухових проявів. II. (*J. Acoust. Soc. Amer.*, 1953, 25, 765-769).

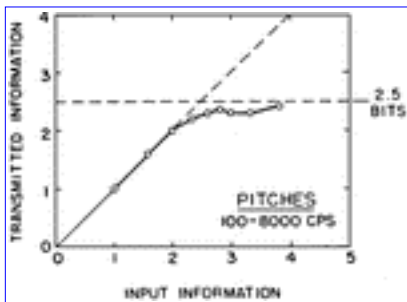
Поллак, І. та Фікс, Л. Інформація про елементарні багатовимірні слухові відображення (*J. Acoust. Soc. Amer.*, 1954, 26, 155-158).

Вудворт, Р. С. *Експериментальна психологія*. (Нью-Йорк: Голт, 1938)

Таблиця 1.

Binary digits/sec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
21 Cycles	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Recording	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
31 Cycles	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Recording	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
41 Cycles	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Recording	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
51 Cycles	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Recording	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Малюнок 1. Дані [Поллака \(17, 18\)](#) про кількість інформації, що передається слухачами, які роблять абсолютні судження про висоту звуку. Зі збільшенням кількості вхідної інформації за рахунок збільшення кількості різних висот звуку з 2 до 14, кількість переданої інформації наближається до верхньої межі пропускної здатності каналу, яка становить близько 2,5 біт на одне судження.



Малюнок 2. Дані [Гарнера \(7\)](#) про пропускну здатність каналу для абсолютних оцінок слухової гучності.

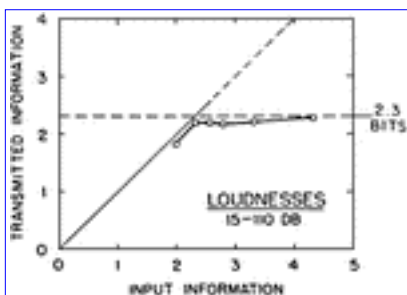
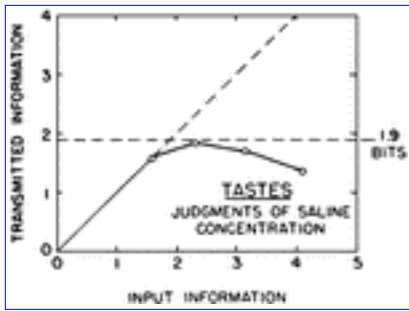
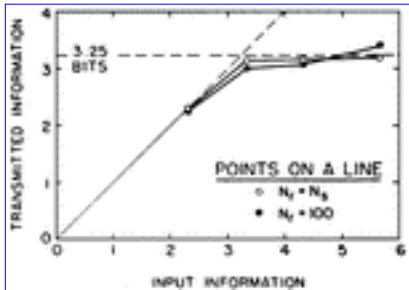


Рисунок 3. Дані з [Beebe-Center, Rogers та O'Connell \(1\)](#) про пропускну здатність каналу для абсолютної

судження про солоність.



Малюнок 4. Дані [Хейка і Гарнера \(8\)](#) про пропускну здатність каналу для абсолютних суджень про положення вказівника на лінійному інтервалі.



Малюнок 5. Дані [Клеммера та Фріка \(13\)](#) про пропускну здатність каналу для абсолютних суджень про положення точки в квадраті.

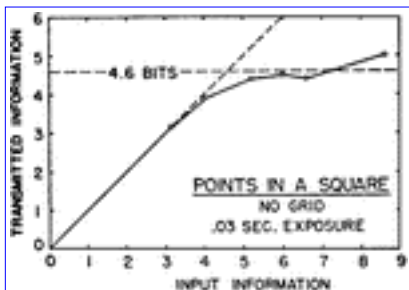
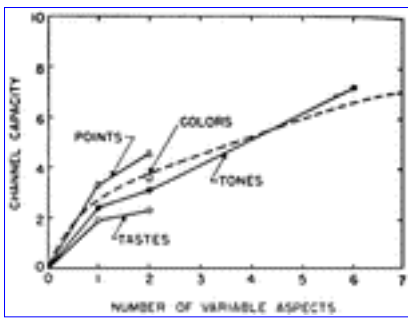
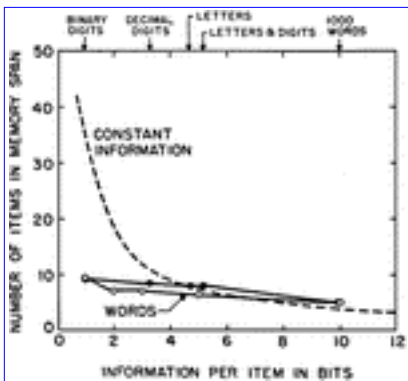


Рисунок 6. Загальний вигляд залежності пропускну здатності каналу від кількості незалежних змінних ознак стимулів.



Малюнок 7. Дані [Hayes \(10\)](#) про обсяг оперативної пам'яті, побудовані як функція кількості інформації на один елемент у тестових матеріалах.



Малюнок 8. Дані [Поллака \(16\)](#) про кількість інформації, що запам'ятовується після одного пред'явлення, побудовані як функція від кількості інформації на один пункт у тестових матеріалах.

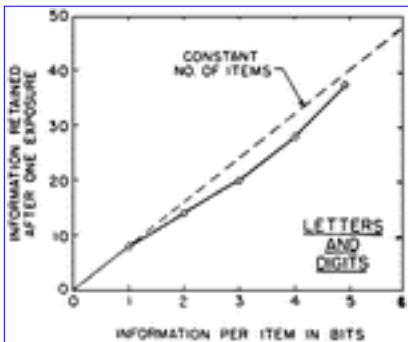


Рисунок 9. Обсяг оперативної пам'яті для двійкових цифр зображено як функцію від процедури перекодування, що використовується. Прогнозована функція отримана шляхом множення об'єму пам'яті для вісімок на 2, 3 та 3.3 для перекодування у систему числення з основою 4, основою 8 та основою 10, відповідно.

