

¿Qué es una señal?

IDE-024 · Ideas fundamentales

Ensayos conceptuales para El universo y sus observadores

Autor: Juan Segurola

Versión: v0.9 ES · 19 de septiembre de 2026

Estado: Versión de publicación

Forma del artículo: Ensayo conceptual

Escala / contexto: De una tensión por encima del suelo térmico a un pulso que cruzó la galaxia

Límite: La señal como variación físicamente distinguible que porta información sobre un fondo: qué la vuelve detectable, qué la limita y qué no puede señalizarse en absoluto. La metrología del resultado de medida corresponde a IDE-014 y la epistemología del observar a IDE-023

Trabajos relacionados: IDE-023, IDE-019, IDE-018

Perfil epistémico: Conocimiento establecido con límites interpretativos

Licencia en publicación: Todos los derechos reservados

Resumen del artículo

Una señal no es lo mismo que un sonido, una luz o una tensión. Es una variación que pudo haber sido otra, seleccionada de un conjunto de posibilidades que el receptor ya trata como posibles, y transportada por un canal que añade ruido propio.[1] La formulación de Shannon lo vuelve preciso y, en el mismo artículo, aparta la cuestión semántica como irrelevante para el problema de ingeniería, un límite que los relatos divulgativos borran con regularidad. La física añade dos restricciones que no son cuestión de técnica: un suelo de ruido fijado por la temperatura y no por la calidad del montaje,[2,3] y una estructura causal que prohíbe de plano ciertas señales, incluidas las que mucha gente espera que permita el entrelazamiento.[4,5] Este artículo pregunta qué debe ocurrir en el mundo para que algo cuente como señal.

En 60 segundos

Una señal es una variación físicamente distinguible tomada de un conjunto de alternativas, y porta información solo en la medida en que estrecha lo que el receptor no sabía ya.[1] Un tono constante, por fuerte que sea, no dice nada después del primer instante. Todo canal añade ruido, y parte de ese ruido no es un defecto del equipo: la agitación térmica de la carga en un conductor produce una fluctuación cuya potencia depende solo de la temperatura y del ancho de banda, medida por Johnson y deducida de la termodinámica por Nyquist el mismo año.[2,3] Por debajo de ese suelo ninguna ingeniería ayuda, aunque una integración más larga y un filtro adaptado a la forma de onda esperada todavía permiten extraer una señal débil.[7] La relatividad prohíbe la influencia controlable fuera del cono de luz, y la teoría cuántica resulta respetarlo incluso para sistemas entrelazados: la estadística de un lado no depende de qué ajuste se elija en el otro, de modo que correlaciones que ningún modelo local reproduce siguen sin transmitir nada.[4,5] Por último, detectar una señal y saber qué la produjo son problemas distintos, y el segundo no lo resuelve el primero.[6]

Por qué importa esta pregunta

Casi toda disputa sobre afirmaciones extraordinarias gira en torno a la diferencia entre una señal y una fluctuación. ¿Aquello fue una detección o una coincidencia? ¿Pudo el efecto haberlo producido el propio aparato? ¿Sería reconocible como tal un mensaje procedente de otro sitio? Estas preguntas tienen respuestas técnicas, y las respuestas no son intuitivas: el umbral que separa señal de ruido es una elección con consecuencias por ambos lados, el suelo de ruido lo fija la física y no el presupuesto, y algunas transmisiones que suenan a meramente difíciles están prohibidas de plano. Saber cuál es cuál es lo que mantiene a raya tanto el entusiasmo como el desdén.

1. Una diferencia que pudo haber sido otra

Pregunte qué es una señal y la respuesta natural señala un medio: un sonido, un destello, una tensión en un cable. Esa respuesta pierde de vista lo que hace el trabajo. Un tono sostenido a volumen constante es un sonido y no porta nada después del primer momento, porque la información está en el apartamiento respecto de lo esperado y no en la magnitud física misma.

Shannon lo volvió exacto y con ello fundó el campo. La información se mide sobre un conjunto de alternativas con probabilidades asociadas: la cantidad que transmite un resultado concreto depende de cuán improbable era y de cuántas alternativas excluyó.[1] Una fuente que solo puede hacer una cosa no tiene nada que decir, y una fuente cuya salida es completamente impredecible para el receptor transmite el máximo por símbolo.

Shannon especifica un destino y un conjunto de mensajes posibles y exige que el sistema de comunicación funcione para cada selección posible, no solo para el mensaje realmente enviado. Inferencia: en la lectura de ingeniería adoptada aquí, que una fluctuación funcione como mensaje o como ruido depende del sistema receptor y de sus alternativas.

En qué punto estamos

Una señal es una variación tomada de un conjunto de alternativas que el receptor ya trata como posibles, y porta información en proporción a lo que excluye y no en proporción a su energía. Eso hace de la señal una noción relacional y no una propiedad del medio. Lo que no es relacional es cuánta de esa variación aporta el mundo mismo.

2. El suelo es físico y el umbral es una elección

El ruido suele imaginarse como un fallo que la ingeniería debe eliminar. Parte de él lo es: interferencias, captación parásita, un instrumento mal conectado a tierra. Pero una resistencia a temperatura ambiente, sin conectar a nada, produce una tensión fluctuante entre sus bornes, y esa fluctuación no puede eliminarse sin enfriarla.

Johnson midió el efecto en 1928 y mostró que depende de la temperatura y de la resistencia y el ancho de banda del circuito, y no del material ni de los detalles de construcción.[3] Nyquist dedujo el mismo resultado de la termodinámica en un artículo acompañante, y por eso el efecto no es una rareza del cableado de un laboratorio sino una consecuencia del equilibrio entre un conductor y su entorno.[2] Todo amplificador construido desde entonces hereda ese suelo.

La detección por debajo del nivel evidente sigue siendo posible, porque el suelo limita la potencia por unidad de ancho de banda y no lo que puede recuperarse de un registro suficientemente largo. La combinación coherente de observaciones alineadas de una forma de onda conocida y

temporizada mejora la relación señal ruido cuando el ruido añadido tiene media cero y no está correlacionado entre observaciones.[7] Un filtro adaptado a una señal conocida maximiza la relación señal-ruido en el instante de muestreo.[7] Un resultado aparte, el de Shannon, da a un canal ruidoso una capacidad: por debajo de ella, la codificación puede hacer la tasa de error tan pequeña como se quiera.[1] Lo que ningún método aporta es certeza. Un umbral bajo para capturar sucesos débiles acepta falsas alarmas, y uno alto para excluirlas pierde sucesos reales, lo cual es un intercambio y no un problema por resolver.

En qué punto estamos

Parte del ruido de cualquier medida la fijan la temperatura y el ancho de banda, no la calidad del montaje, cosa que Johnson midió y Nyquist dedujo el mismo año. La combinación coherente de observaciones alineadas de una forma de onda conocida y temporizada mejora la relación señal ruido cuando el ruido añadido tiene media cero y no está correlacionado entre observaciones. La física además descarta ciertas transmisiones por completo, sea cual sea el equipo.

3. Qué no puede señalizarse

La restricción que impone la relatividad suele enunciarse como un límite de velocidad, lo que la deja corta. La estructura del espaciotiempo divide los sucesos entre los que pueden influir en uno dado y los que no, y la prohibición recae sobre la influencia controlable: si algún procedimiento permitiera a un experimentador de aquí marcar una diferencia en lo que registra un experimentador de allá fuera del cono de luz, el orden causal de los sucesos dependería del sistema de referencia del observador.[5]

El entrelazamiento parece un modo de sortearlo y no lo es. Las medidas sobre sistemas entrelazados separados están correlacionadas con más fuerza de la que permite cualquier modelo que asigne valores locales preexistentes, y la tentación de leerlo como influencia es comprensible. Lo que da el formalismo, sin embargo, es que las probabilidades de los resultados de un lado no cambian con la elección de ajuste del otro, de modo que la correlación solo se vuelve visible cuando los dos registros se reúnen, cosa que exige un canal ordinario.[5]

Esto es un teorema y no un accidente de los experimentos concretos. Ghirardi, Rimini y Weber mostraron en general que ninguna operación local sobre un lado, es decir ninguna medida ni transformación confinada a ese lado, cambia la estadística accesible en el otro, sea cual sea el estado compartido; de modo que el formalismo cuántico de la medida no puede usarse para transmitir una señal controlable más rápido que la luz.[4] Merece enunciarse con cuidado porque es el punto en el que se equivoca una amplia literatura divulgativa: las correlaciones son reales y no sirven para enviar nada.

En qué punto estamos

La relatividad prohíbe la influencia controlable fuera del cono de luz, y la teoría cuántica cumple: las probabilidades de resultado de un lado de un par entrelazado no dependen del ajuste distante, así que las correlaciones solo se vuelven visibles al comparar registros por un canal ordinario. Eso es un teorema y no una limitación de la técnica actual. Detectar algo real, sin embargo, sigue sin ser lo mismo que saber qué lo envió.

4. Una señal regular no es un mensaje

En 1967 un rastreo de Cambridge registró una fuente de radio que emitía pulsos separados unos 1,34 segundos, repitiéndose con una regularidad distinta de todo lo entonces conocido en un objeto astronómico.[6] La posibilidad de que la fuente fuera artificial se tomó lo bastante en serio como para sopesarla en el artículo del descubrimiento en vez de descartarla.

El razonamiento que lo zanjó no trataba de la regularidad sino de todo lo demás, y sus hebras hacían trabajos distintos. La ausencia de paralaje medible situaba la fuente mucho más allá del sistema solar, mientras que la deriva del tiempo de llegada con la frecuencia era compatible con la dispersión en el plasma interestelar y, bajo el modelo empleado entonces, implicaba un recorrido del orden de 65 parsecs. Los tiempos de llegada tampoco mostraban movimiento orbital adicional comparable con el de la Tierra, lo que argumentaba contra un transmisor en un planeta en órbita. [6] La hipótesis del mensaje no sobrevive a ninguna de las tres.

La lección general es que detección e identificación son problemas distintos apoyados en evidencia distinta. Un patrón que pudo haber sido otro es una señal según la definición de ingeniería, sea lo que sea que lo produjo, y estrechar el origen exige encontrar restricciones independientes, que es lo que aportaron el paralaje, la dispersión y los tiempos de llegada. La regularidad por sí sola es evidencia débil sobre el origen, porque el universo contiene relojes excelentes.

En qué punto estamos

El primer púlsar era una señal según todo criterio de ingeniería y su origen seguía abierto, zanjado no por su regularidad sino por una cota de paralaje, por la dispersión en el plasma interestelar y por la ausencia de movimiento orbital más allá del de la Tierra. Detección e identificación piden evidencia distinta. Lo que ninguna de las dos aporta es qué significa la señal.

5. Dónde acaba la señal y empieza el significado

Shannon abrió su artículo apartando el significado: los aspectos semánticos de la comunicación, escribió, son irrelevantes para el problema de ingeniería, que consiste en reproducir en un punto, exacta o aproximadamente, un mensaje seleccionado en otro.[1] La restricción era deliberada y es la razón por la que la teoría funciona. A los bits no les importa de qué tratan.

La restricción también se olvida con regularidad. Las afirmaciones de que un sistema transmite información, o de que un genoma o una neurona portan un mensaje, hacen a menudo la afirmación de ingeniería, que es medible, mientras suenan a la semántica, que es una afirmación distinta y necesita su propio argumento. Mantenerlas separadas no cuesta nada y evita muchísima confusión.

Lo que queda tras la restricción es una imagen física limpia. Algo varía de un modo que pudo haber sido otro; la variación cruza un canal que añade ruido con un suelo fijado por la temperatura; un receptor que sostiene un conjunto de hipótesis lo registra y decide, bajo un umbral que intercambia errores de dos clases; y la pregunta por qué lo produjo, y por de qué trata, la responde evidencia enteramente distinta.

En qué punto estamos

La teoría de Shannon funciona porque excluye el significado, y confundir la afirmación de ingeniería con la semántica es el error más común cometido en su nombre. Una señal es una variación que pudo haber sido otra, que sobrevive al ruido y se registra contra una hipótesis. De qué es evidencia es la pregunta que trae el observador, y responderla es de lo que ha tratado el resto de esta serie.

Lo que sabemos y cómo lo sabemos

- Una señal es una variación tomada de un conjunto de alternativas, y la información que porta depende de lo que excluye y no de su energía.[1]
- Parte del ruido de cualquier medida eléctrica es térmico y depende de la temperatura, la resistencia y el ancho de banda, no de la construcción; se midió y se dedujo de forma independiente en 1928.[2,3]
- Ningún procedimiento que use sistemas entrelazados transmite una señal controlable, porque las probabilidades de resultado de un lado son independientes del ajuste elegido en el otro.[4,5]
- Detectar una señal e identificar qué la produjo son problemas distintos apoyados en evidencia distinta, como mostró el primer púlsar.[6]

Lo que todavía no sabemos

- Si la restricción de no señalización sobreviviría en una teoría que sustituyera a la mecánica cuántica, dado que las demostraciones disponibles la establecen dentro del formalismo actual y no como principio independiente.[4,5]
- Cómo enunciar, sin colar los propósitos de un receptor, cuándo una variación física cuenta como portadora de información acerca de algo en vez de estar meramente correlacionada con ello, que es la cuestión que Shannon apartó.[1]
- Qué umbral es apropiado para anunciar una detección en campos donde la probabilidad previa del efecto es genuinamente desconocida, cosa que la matemática de la decisión bajo ruido no aporta por sí sola.[1]

Qué podría hacernos cambiar de opinión

- Un protocolo reproducible con sistemas entrelazados que cambiara la estadística de resultados de un lado según un ajuste elegido en el otro contradiría el resultado de no señalización y, con él, la compatibilidad de la teoría cuántica con el orden causal relativista.[4,5]
- Una medida de la potencia de ruido eléctrico en equilibrio térmico que se apartara sistemáticamente de su dependencia de la temperatura, la resistencia y el ancho de banda contradiría la deducción termodinámica del suelo de ruido.[2,3]
- Una fuente de pulsos astronómicos cuya dispersión y cuyos tiempos de llegada coincidieran con un transmisor en un cuerpo en órbita y no con un objeto natural reabriría la cuestión de identificación que el caso de los púlsares se considera haber zanjado.[6]

Si solo recuerdas una cosa

Una señal es una diferencia que pudo haber sido otra, que sobrevive a un canal ruidoso y la reconoce un receptor que ya sabía qué buscar.

Artículos relacionados

- IDE-023 — ¿Qué es la observación?
- IDE-019 — ¿Qué es la luz? Onda, cuanto y observador
- IDE-018 — Conexión: qué afirma una arista

Referencias

- [1] Claude E. Shannon. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal 27, 379-423 and 623-656 (1948). DOI 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x; 10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x.
- [2] Harry Nyquist. Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors. Physical Review 32, 110-113 (1928). DOI 10.1103/PhysRev.32.110.
- [3] John B. Johnson. Thermal Agitation of Electricity in Conductors. Physical Review 32, 97-109 (1928). DOI 10.1103/PhysRev.32.97.
- [4] GianCarlo Ghirardi, Alberto Rimini and Tullio Weber. A General Argument against Superluminal Transmission through the Quantum Mechanical Measurement Process. Lettere al Nuovo Cimento 27, 293-298 (1980).
- [5] Asher Peres and Daniel R. Terno. Quantum Information and Relativity Theory. Reviews of Modern Physics 76(1), 93-123 (2004). DOI 10.1103/RevModPhys.76.93.
- [6] Antony Hewish, S. Jocelyn Bell, John D. H. Pilkington, Paul F. Scott and Robin A. Collins. Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source. Nature 217, 709-713 (1968). DOI 10.1038/217709a0.
- [7] Harry L. Van Trees. Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I. Wiley (1968), chapter 4.