О СОДЕРЖАТЕЛЬНОСТИ СЛУЧАЙНОГО СИГНАЛА
ON THE CONTENT OF A RANDOM SIGNAL

Карачанская Елена Викторовна

ДВГУПС, г. Хабаровск

Международная конференция по стохастическим методам МКСМ-10
Дивноморское,
31 мая – 6 июня 2025 г.

Поиск внеземных цивилизаций (ВЦ) : I

1. Проект SETI – Search for extraterrestrial intelligence (1959...), в международном научном журнале Nature была опубликована статья Дж. Коккони и Ф. Мориссона «Поиски межзвёздных сообщений»: при уровне развития радиоастрономии (1959 год) можно было рассчитывать на обнаружение внеземных цивилизаций примерно такого же технологического уровня, как земной, при условии, что они обитают на не слишком далёких от нас планетах, в планетных системах звёзд солнечного типа.

2. Проект Phoenix (1995...), предусматривает изучение тысячи ближайших звезд солнечного класса в радиодиапазоне 1200—3000 МГц. Институт SETI с бюджетом 5 миллионов долларов в год просканировал уже больше тысячи звезд. Но ощутимых результатов по-прежнему нет. Тем не менее Сет Шостак, старший астроном проекта SETI, с неувядающим оптимизмом верит, что система телескопов Аллена в составе 350 антенн «наткнётся на сигнал ещё до 2025 года».

3. Проект SETI@home (1999...). Идея – привлечь к работе миллионы владельцев персональных компьютеров, чьи машины большую часть времени просто бездействуют. Те, кто участвует в проекте, скачивают из Интернета и устанавливают на своем компьютере пакет программ, которые работают в режиме скринсейвера, а потому не доставляют владельцу никаких неудобств. Эти программы участвуют в расшифровке сигналов, принятых радиотелескопом. После 20 лет поисков внеземной разум так и не был найден.

Поиск внеземных цивилизаций (ВЦ) : II

Кроме этого: Поиск экзопланет – проект TESS. Поиск техносигнатур, которые указали бы на существование внеземных цивилизаций. И ...

Радиотелескопы продолжают прослушивать радиосигналы из космоса...

Исследуются диапазоны частот, которые могут содержать **искусственные сигналы**, или предпринимаются попытки для их расшифровки.

Поиск внеземных цивилизаций (ВЦ) : III

Предлагается еще один подход к решению проблемы.

Поскольку радиотелескопы постоянно получают различные сигналы, то из множества случайных сигналов можно выделить несущие осмысленную информацию, если они еще будут иметь некоторые особенности, например, связанные с константами.

Какова может быть природа появления констант в передаваемых сигналах?

В.А. Дубко[1], 1994:

Константы могут появиться, если сигналы, отправляемые ВЦ, намеренно являются случайными, подчиненными вероятностным законам.

Константы могут быть связаны с параметрами вероятностных законов.

Будем считать, что у ВЦ, осуществляющей поиск, развитие науки находится на высоком уровне, и у них есть ученые, пришедшие к результату, подобному полученному А.Н. Колмогорову[2] – «Стрельба с искусственным рассеиванием».

[1] *Дубко В.А.* Применение метода обходного мышления / Тезисы докладов 3-ей Международной научно-практической конференции «Педагогический процесс в условиях перехода к новому состоянию общества», г. Биробиджан, 29 ноября 1994 г. – Биробиджан : изд-во БГПИ, 1995. – С.69–70.

[2] *Колмогоров А.Н.* Число попаданий при нескольких выстрелах и общие принципы оценки эффективности системы стрельбы // Труды Матем. ин-та им. В. А. Стеклова, 1945, т. 12, С. 7–25.

Константы, передаваемые случайными сигналами

Предложим развитие этой идеи:

Предлагается и обосновывается подход, связанный с обнаружение совокупности некоторых инвариантов, констант $\{C_j\}, \ \ j \geq 1$, наличие которых может означать, что данные сигналы – есть сообщения от ВЦ.

Целесообразно связывать константы с универсальными понятиями, например, такими, как время и количество.

Поскольку у землян и у представителей ВЦ – разные системы счисления, единицы измерения, то константы должны быть безразмерными величинами, например, отношениями.

Пусть ВЦ также занимается поиском себе подобных и для эффективного достижения этой цели, чтобы указать на искусственность сигналов (осмысленное отправление), отправляет асинхронные сигналы, опираясь на вероятностные законы.

План

- Формирование констант при передаче и приеме сообщений
- Модель полученных случайных сигналов
- Построение статистики для параметра потока сигналов и ее свойства
- Статистика для отношения параметров потоков сигналов и ее свойства
- Вспомогательная и Основная теоремы

Вариант 1. **Две последовательности случайных асинхронных импульсных сигналов**

Отправление сигналов.

Пусть в течение некоторого промежутка времени повторяется отправка двух последовательностей случайных асинхронных импульсных сигналов.

Случайность передаваемых сигналов обусловливается их длительностями: случайные величины T_1 и T_2.

Предположим, что эти случайные величины имеют нормальное распределение со средними t_1 и t_2 соответственно, и малыми дисперсиями.

В течение указанного промежутка было отправлено n_1 сигналов длительности t_1 и n_2 – длительности t_2.

Формирование констант при передаче и приеме сообщений: Две последовательности случайных асинхронных импульсных сигналов : II

Через некоторые промежутки времени процесс отправки пары последовательностей сигналов неоднократно повторяется.

Длительности сигналов также имеют средние значения t_1 и t_2.

Пусть далее было отправлено n'_1 сигналов длительности t_1 и n'_2 – длительности t_2.

Вероятностные свойства передаваемых сигналов сохраняются.

Таким образом, ВЦ передает константы

$$C_1 = t_1 : t_2, \quad C_2 = n_1 : n_2 \approx n'_1 : n'_2, \tag{1}$$

которые могут быть индикаторами осмысленности (искусственности) отправленных сигналов.

Формирование констант при передаче и приеме сообщений: Две последовательности случайных асинхронных импульсных сигналов : III

Получение сигналов.

Радиотелескоп фиксирует в течение некоторого периода наблюдений сигналы различной (случайной) длительности T'.

Конечно, вместе с отправленными сигналами будут фиксироваться и другие.

Статистическая обработка полученных сигналов выявит, что были получены сигналы, длительность которых группируется вблизи некоторых значений t_1^* и t_2^*, с наибольшими частотами появления n_1^* и n_2^*.

Если при дальнейших «прослушиваниях космоса» из полученных случайных сигналов можно также выделить две группы сигналов, длительности передачи которых группируется вблизи некоторых значений t_1^* и t_2^*,

то, сравнивая количество сигналов длительности t_1^* и количество сигналов длительности t_2^*, можно определить, искусственного (осмысленного) ли они происхождения.

Формирование констант при передаче и приеме сообщений: Две последовательности случайных асинхронных импульсных сигналов : IV

При передаче на большие расстояния, в силу анизотропности вакуумной среды (гравитационные силы) космического пространства, длительность конкретного случайного сигнала может меняться с некоторым коэффициентом.

При этом отношение $t_1 : t_2$ должно оставаться неизменным.

При выполнении равенства $n_1^* : n_1^* \approx {n'}_1^* : {n'}_2^*$ (в общем случае, приближенного), можно утверждать, что

получено сообщение от внеземной цивилизации, которая ищет контакт с другими цивилизациями.

И это сообщение состоит из констант (C_1^*, C_2^*),

определяемых отношениями

$$C_1^* = t_1^* : t_2^*, \quad C_2^* \approx n_1^* : n_2^*. \tag{2}$$

Если рассматривать данные последовательности сигналов за весь наблюдаемый промежуток времени как пуассоновские потоки, параметры которых λ_1 и λ_2 статистически можно определить, тогда

в качестве еще одной из констант можно рассматривать, например, отношение

$$C_3 = \lambda_1 : \lambda_2. \tag{3}$$

Вариант 2.

Отправление волнового пакета.

Через детерминированные промежутки времени $\Delta\tau$ отправляются пакеты из K случайных сигналов средней длительности t.

Радиолокатор может фиксировать пакеты, состоящие в среднем из K' случайных сигналов средней длительности t', приходящие через случайные промежутки времени, имеющие в среднем длину $\Delta\tau'$.

Среднее количество сигналов длительности t' равно N'.

Тогда в качестве совокупности констант, утверждающих наличие осмысленного отправления, можно рассматривать

$$C_1 = t' : \Delta\tau', \quad C_2 = K' : N'. \tag{4}$$

При описанных выше условиях передачи последовательностей случайных сигналов для принимаемых сигналов будут формироваться константы.

Рассмотрим модель, определяемую условиями:

A1: T – полное время наблюдения, $T = \sum_{l=1}^{k} \Delta_l$, состоящее из непересекающихся интервалов времени;

A2: $n_i(\Delta_l) = n_i(l)$ – число случайных сигналов (событий), относящихся к группе со средней длительностью t_i, полученных в интервале времени Δ_l;

A3: $\kappa_j(l)$ – независимые для любых j, l случайные величины, характеризующие поглощающую способность случайной среды:
$P(\kappa_j(l) = 1) = P(l)$, $P(\kappa_j(l) = 0) = q(l) = 1 - P(l)$, $j \geq 1$, $\kappa_0(l) = 0$,
и $(P(1), P(2), \ldots, P(k))$ – последовательность вероятностей поглощения/искажения сигналов;

A4: λ_1 и λ_2 – параметры последовательностей принятых случайных сигналов.

Модель полученных случайных сигналов : II

Положим,что в силу постоянства показателей поглощения среды, число поглощенных/искаженных сигналов пропорционально числу полученных сигналов.

Поэтому в качестве статистики параметров принятых сигналов λ_1 и λ_2 можно рассматривать статистику потока поглощенных/искаженных сигналов.

Построение статистики для параметра λ : I

Введем λ_0 – некоторую фиксированную величину, соизмеримую с λ_1 и λ_2:

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_0} = L_i \leq const, \quad i = 1, 2. \tag{5}$$

В качестве статистики случайной величины $\frac{\lambda_i}{\lambda_0}$ возьмем функцию $\Theta_i(T)$, $i = 1, 2$, вида:

$$\Theta_i(T) = \Theta_i\left(\sum_{l=1}^{k} \Delta_l\right) = \frac{1}{k}\sum_{l=1}^{k}\left(\frac{1}{\Delta_l}\sum_{j=0}^{n_i(l)}\frac{1}{\lambda_0}\kappa_j(l)\right) = \frac{1}{\lambda_0 k}\sum_{l=1}^{k}\left(\frac{1}{\Delta_l}\sum_{j=0}^{n_i(l)}\kappa_j(l)\right). \tag{6}$$

В силу предположения, что последовательность поступающих сигналов образует пуассоновский поток событий, случайная величина $n_i(l)$ – число случайных сигналов (событий), полученных в интервале времени Δ_l, имеет характеристики

$$M\left[n_i(l)\right] = \lambda_i \Delta_l, \quad D\left[n_i(l)\right] = \lambda_i \Delta_l. \tag{7}$$

Построение статистики для параметра λ : II

Поскольку дальнейшие рассуждения будут аналогичны для обеих последовательностей сигналов, индекс i временно использовать не будем.

Пусть $\Delta_l = \Delta$ для любых $l = 1, \ldots, k$.

Учитывая, что λ_0 – некоторое фиксированное число, не влияющее не значение параметра λ принятого сигнала, случайную функцию

$$\Theta(T) = \frac{1}{\lambda_0 k} \sum_{l=1}^{k} \left(\frac{1}{\Delta} \sum_{j=0}^{n(l)} \kappa_j(l) \right), \tag{8}$$

где $\frac{1}{\Delta} \sum_{j=0}^{n(l)} \kappa_j(l)$ – среднее число сигналов, поглощенных/искаженных за промежуток времени Δ, будем рассматривать как статистику для параметра λ.

Свойства статистики $\Theta(T)$: I

Продолжим преобразование статистики $\Theta(T)$:

$$\Theta(T) = \frac{1}{\lambda_0}\frac{1}{k\Delta}\sum_{l=1}^{k}\sum_{j=0}^{n(l)}\kappa_j(l) = \frac{1}{\lambda_0}\left(\frac{1}{T}\sum_{l=1}^{k}\sum_{j=0}^{n(l)}\kappa_j(l)\right). \tag{9}$$

Тогда $\lambda_0\Theta(T)$ есть среднее для случайной величины $\theta(T)$ – поглощенных/искаженных за время T сигналов:

$$\begin{cases} \lambda_0\Theta(T) = \dfrac{1}{T}\theta(T), \\ \theta(T) = \displaystyle\sum_{l=1}^{k}\sum_{j=0}^{n(l)}\kappa_j(l). \end{cases} \tag{10}$$

Для упрощения восприятия выкладок положим: $p(k)$ – средняя вероятность поглощения сигнала за время $T = \sum_{l=1}^{k} \Delta_l$:

$$p(k) = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^{k} P(l) \leq 1. \tag{11}$$

Лемма 1

Статистика $\Theta(T)$ для параметра λ пуассоновского потока принятых сигналов для любого k обладает свойствами:

$$M[\Theta(T)] = \frac{\lambda}{\lambda_0} p(k). \tag{12}$$

и

$$\underset{T\to\infty}{\mathrm{l.i.m.}}\, \Theta(T) = \frac{\lambda}{\lambda_0} p(k). \tag{13}$$

Лемма 2

Статистика $\Theta(T)$ для параметра λ пуассоновского потока принятых сигналов для любого k обладает свойствами:

$$D\left[\Theta(T)\right] = \frac{L^2}{\lambda T}\, p(k), \tag{14}$$

и

$$\lim_{T\to\infty} D\left[\Theta(T)\right] = 0. \tag{15}$$

Свойства статистики $\Theta(T)$: IV

В силу леммы 1, получаем:

$$\frac{M[\Theta_1(T)]}{M[\Theta_2(T)]} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\frac{p_1(k)}{p_2(k)} \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_2}. \tag{16}$$

В силу леммы 2, получаем:

$$\frac{D[\Theta_1(T)]}{D[\Theta_2(T)]} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\frac{p_1(k)}{p_2(k)} \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_2}. \tag{17}$$

Кроме того,

$$\frac{\underset{T\to\infty}{\mathrm{l.i.m.}}\,\Theta_1(T)}{\underset{T\to\infty}{\mathrm{l.i.m.}}\,\Theta_2(T)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\frac{p_1(k)}{p_2(k)} \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_2}. \tag{18}$$

Таким образом, действительно, существует константа, связывающая параметры λ_1 и λ_2 двух последовательностей случайных сигналов.

Статистика для отношения $\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$: I

Рассмотрим отношение статистик $\Theta_1(T)$ и $\Theta_2(T)$, учитывая, что $\lambda_0\Theta(T) = \dfrac{1}{T}\theta(T)$:

$$\frac{\Theta_1(T)}{\Theta_2(T)} = \frac{\theta_1(T)}{\theta_2(T)}, \tag{19}$$

где случайная величина $\theta_i(T)$ – количество поглощенных/искаженных за время T сигналов из последовательности с параметром λ_i, $i = 1, 2$.

Возьмем в качестве статистики для $\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$ случайную функцию:

$$\eta(T) = \frac{\theta_1(T)}{\theta_2(T) + 1}. \tag{20}$$

Добавление 1 в знаменателе – для исключения деления на 0 (в отсутствии поглощения/искажения сигналов).

Определим свойства случайной функции $\theta_i(T)$, $T > 0$, опуская, как и прежде, индекс i.

Лемма 3

При любом значении k на любой из реализаций последовательности вероятностей поглощения/искажения $(P(1), P(2), \dots, P(k))$, и выполнении условия $M[\kappa_j(l)] = P(l)$ случайный процесс поглощения/искажения сигналов

$$\theta(T) = \sum_{l=1}^{k} \sum_{j=0}^{n(l)} \kappa_j(l), \tag{21}$$

является пуассоновским с интенсивностью

$$\lambda(k) = \lambda p(k), \quad p(k) = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^{k} P(l). \tag{22}$$

Свойства случайной функции $\theta(T)$: II

Доказательство .

Характеристическая функция для случайного процесса $\theta(T)$ имеет вид:

$$\varphi_{\theta(T)}(\beta) == \exp\Big\{\lambda p(k) T \big(\exp\{-\mathrm{i}\,\beta\} - 1\big)\Big\}, \quad \mathrm{i}^2 = -1 \tag{23}$$

Таким образом, процесс $\theta(T)$ является пуассоновским с непостоянной интенсивностью

$$\lambda(k) = \lambda p(k) = \lambda \frac{1}{k} \sum_{l=1}^{k} P(l). \tag{24}$$

Для каждой реализации последовательности вероятностей поглощения/искажения $(P(1), P(2), \ldots, P(k))$ (для каждого значения k) эта интенсивность будет изменяться.

Кроме того, предположение, что интенсивность последовательности получаемых сигналов пропорционально интенсивности поглощаемых/искажаемых сигналов действительно имеет место.

Свойства случайной функции $\theta(T)$: III

.

Теорема 1

Пусть λ_1 *и* λ_2 *– параметры двух независимых пуассоновских потоков случайных сигналов, согласованных с условиями A1–A4, и* $\theta_i(T) = \sum_{l=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i(l)} \kappa_j(l)$*,* $i = 1, 2$ *– количество поглощенных/искаженных сигналов за время наблюдения* T*. Тогда*

$$\lim_{T\to\infty} D\left[\eta(T)\right] = \lim_{T\to\infty} D\left[\frac{\theta_1(T)}{\theta_2(T)+1}\right] = 0. \tag{25}$$

Доказательство.

Случайные процессы θ_1 и θ_2 независимы, и с учетом $\lambda_0\Theta(T) = \dfrac{1}{T}\theta(T)$, получаем:

$$D\left[\frac{\theta_1(T)}{\theta_2(T)+1}\right] = \lambda_0^2 D\big[\Theta_1(T)\big] + T^2 D\left[\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right]. \tag{26}$$

При переходе к пределу при $T \to \infty$ первое слагаемое обращается в 0 – в соответствии с результатом леммы 2.

Таким образом, необходимо рассмотреть предельное поведение только для второго слагаемого.

Используем равество:

$$D\left[\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right] = M\left[\left(\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right)^2\right] - \left(M\left[\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right]\right)^2. \tag{27}$$

Исследуем первое слагаемое, используя результат леммы 3:

$$\begin{aligned} M\left[\left(\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right)^2\right] = \sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(n+1)^2}\frac{\big(\lambda p(k)T\big)^n}{n!}\,e^{-\lambda p(k)T} = \\ = \frac{e^{-\lambda p(k)T}}{\lambda p(k)T}\left[\sum_{s=2}^{\infty}\frac{\big(\lambda p(k)T\big)^s}{s!\lambda p(k)T} + \sum_{n=0}^{\infty}\frac{\big(\lambda p(k)T\big)^{n+1}}{(n+2)!(n+1)}\right] = \frac{e^{-\lambda p(k)T}}{\lambda p(k)T}\left[\sum_{s=2}^{\infty}\frac{\big(\lambda p(k)T\big)^s}{s!\lambda p(k)T} + Z(T)\right]. \end{aligned} \tag{28}$$

Доказательство теоремы 1 : III

$$
\begin{aligned}
Z(T) &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(\lambda p(k) T\right)^{n+1}}{(n+2)!(n+1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(\lambda p(k) T\right)^{n+1}}{(n+3)!} + 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(\lambda p(k) T\right)^{n+1}}{(n+3)!(n+1)} \leq \\
&\leq 3 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(\lambda p(k) T\right)^{n+1}}{(n+3)!} = \frac{3}{\left(\lambda p(k) T\right)^{2}} \sum_{s=3}^{\infty} \frac{\left(\lambda p(k) T\right)^{s}}{s!}
\end{aligned}
\tag{29}
$$

Далее, с учетом леммы 3, получаем:

$$\left(M\left[\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right]\right)^2 = \left[\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{n+1}\frac{\big(\lambda p(k)T\big)^n}{n!}e^{-\lambda p(k)T}\right]^2 = \frac{\big(1-e^{-\lambda p(k)T}\big)^2}{\big(\lambda p(k)T\big)^2}, \tag{30}$$

В итоге:

$$T^2 D\left[\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right] = \frac{e^{-\lambda p(k)T}-\big(\lambda p(k)Te^{-\lambda p(k)T}+e^{-2\lambda p(k)T}\big)}{\big(\lambda p(k)\big)^2} + \frac{T^2e^{-\lambda p(k)T}}{\lambda p(k)T}Z(T). \tag{31}$$

Вычислим предел для каждого слагаемого. Для первого:

$$\begin{aligned}&\lim_{T\to\infty}\frac{1}{\left(\lambda p(k)\right)^2}\left(e^{-\lambda p(k)T}-\left(\lambda p(k)Te^{-\lambda p(k)T}+e^{-2\lambda p(k)T}\right)\right)=\\&=\frac{1}{\left(\lambda p(k)\right)^2}\lim_{T\to\infty}\left(e^{-\lambda p(k)T}-\left(\lambda p(k)Te^{-\lambda p(k)T}+e^{-2\lambda p(k)T}\right)\right)=0.\end{aligned}\tag{32}$$

Для второго слагаемого, с учетом полученной оценки:

$$\begin{aligned}&\lim_{T\to\infty}\frac{T^2e^{-\lambda p(k)T}}{\lambda p(k)T}{\color{blue}Z(T)}\leq\lim_{T\to\infty}\frac{3T^2}{\left(\lambda p(k)T\right)^3}e^{-\lambda p(k)T}\sum_{s=3}^{\infty}\frac{\left(\lambda p(k)T\right)^s}{s!}=\\&=\lim_{T\to\infty}\frac{3T^2}{\left(\lambda p(k)T\right)^3}e^{-\lambda p(k)T}\left(e^{\lambda p(k)T}-1-\lambda p(k)T-\frac{\left(\lambda p(k)T\right)^2}{2!}\right)=\\&=\lim_{T\to\infty}\left(\frac{3(1-e^{-\lambda p(k)T})}{\left(\lambda p(k)\right)^3T}-\frac{3e^{-\lambda p(k)T}}{\left(\lambda p(k)\right)^2}-\frac{3T}{2!\lambda p(k)}e^{-\lambda p(k)T}\right)=0.\end{aligned}\tag{33}$$

В итоге приходим к утверждению теоремы 1:

$$\lim_{T\to\infty} D\left[\frac{\theta_1(T)}{\theta_2(T)+1}\right] = \lim_{T\to\infty}\left(M\left[\left(\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right)^2\right] - \left(M\left[\frac{1}{\theta_2(T)+1}\right]\right)^2\right) = 0. \tag{34}$$

Теорема доказана.

Это означает, что $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = const$.

Теорема 2

Пусть λ_1 и λ_2 – параметры двух независимых пуассоновских потоков случайных сигналов, согласованных с условиями A1–A4, и $\theta_i(T) = \sum_{l=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i(l)} \kappa_j(l)$, $i = 1, 2$ – количество поглощенных/искаженных сигналов за время наблюдения T. Тогда для любых реализаций последовательности вероятностей поглощения/искажения сигналов $(P(1), P(2), \ldots, P(k))$:

$$\underset{T\to\infty}{l.i.m.}\ \frac{\theta_1(T)}{\theta_2(T)+1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}. \tag{35}$$

Заключение

Полученный результат означает, что действительно, константа, определяемая отношением параметров полученных последовательностей случайных сигналов, $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = const$, может служить индикатором существования некоторой внеземной цивилизации и осознанного поиска контактов этой цивилизацией.

Ссылки

- *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум / Под ред. Н. С. Кардашева и В. И. Мороза, 6-е изд., доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. (Проблемы науки и техн. прогресса). – 320 с.
- *Дубко В.А.* Применение метода обходного мышления / Тезисы докладов 3-ей Международной научно-практической конференции «Педагогический процесс в условиях перехода к новому состоянию общества», г. Биробиджан, 29 ноября 1994 г. – Биробиджан : изд-во БГПИ, 1995. – С.69–70.
- *Колмогоров А.Н.* Число попаданий при нескольких выстрелах и общие принципы оценки эффективности системы стрельбы // Труды Матем. ин-та им. В. А. Стеклова, 1945, т. 12, С. 7–25.
- *Уилкс С.* Математическая статистика / С. Уилкс ; пер. с англ. А. М. Кагана [и др.].– Москва : Наука, 1967. – 632 с.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Search-for-extraterrestrial-intelligence-ysclid=mb736oaelk405908732
- https://hightech.fm/2021/03/11/technosignatures
- https://pikabu.ru/story/seti-i-poisk-vnezemnogo-razuma-gde-vse-12655997-ysclid=maz4n2rk63961959980

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!