

УДК 621.396

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОГОЛОГРАММ

А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Фрязинский филиал, 141120, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского 1

Статья поступила в редакцию 14 декабря 2016 г.

Аннотация. В этой работе рассматривается способ измерения радио голограмм, основанный на использовании неподвижных линейки приёмников и линейки передатчиков.

Ключевые слова: радиоголограмма, метод измерения, неподвижные линейки приёмников и линейки передатчиков.

Abstract: The use of mechanical scanning to measure the holograms leads to time-consuming. The use of arrays of receivers or transmitters to reduce them does not solve the problem. Using sparse matrices to enhance the image quality required to conduct multi-frequency measurements. The article describes the method of measuring radio holograms based on the use of fixed line receivers and transmitters range. Measurements can be both single and multi frequency. Considered measurement method makes low distortion.

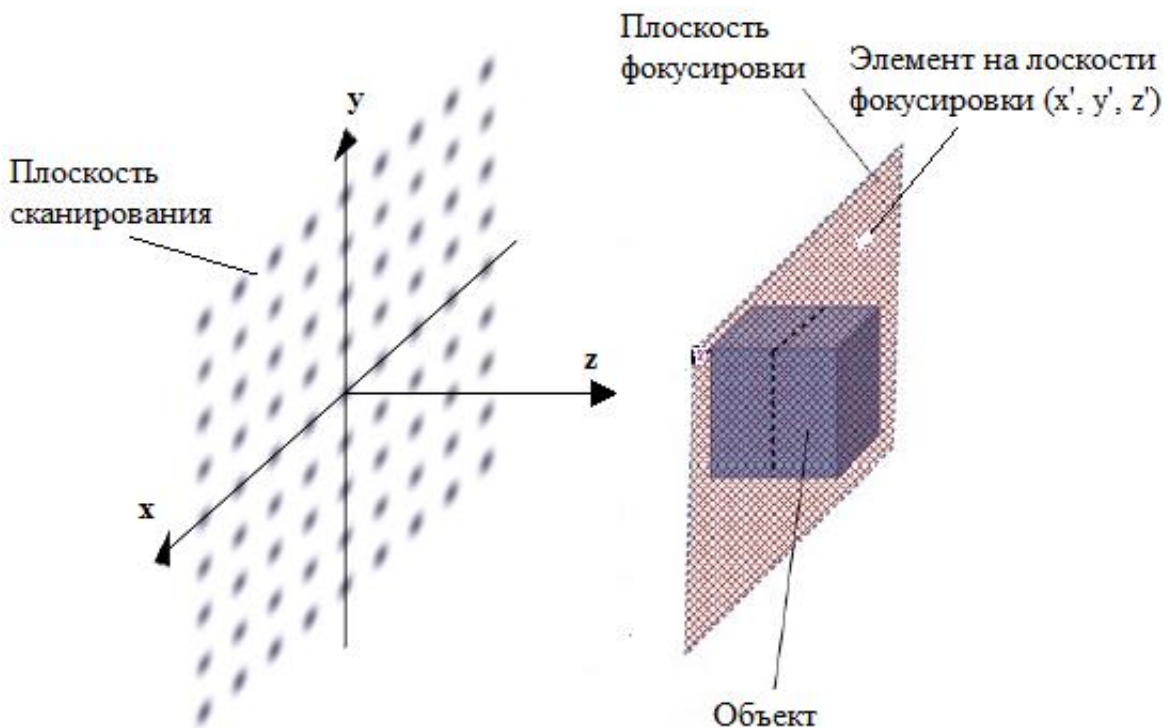
Key words: radiohologram, the method of measurement, fixed line receivers and transmitters line.

Введение

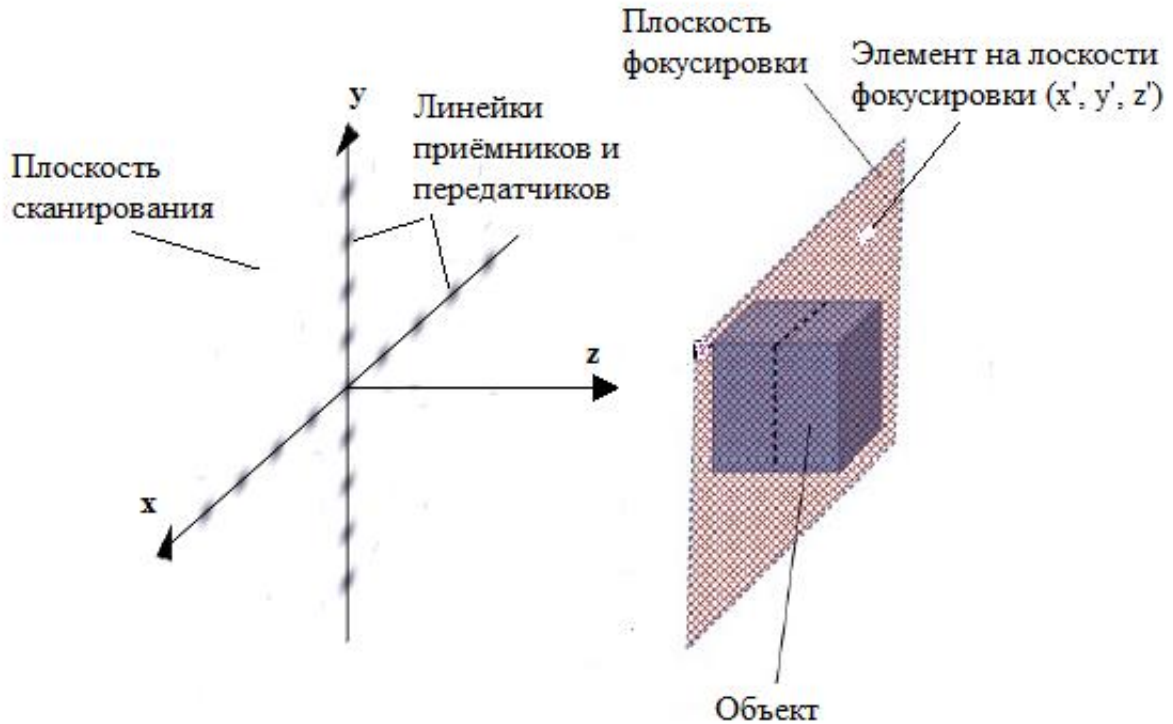
Использование радио голограмм позволяет получать объёмные изображения объектов. Это производится за счёт разных способов фокусировки при обработке измеренных голограмм [1-5]. Измерение радио голограмм можно делать с помощью механического сканирования приёмником. Временные затраты могут быть весьма значительными. Их уменьшение возможно в некоторых случаях за счёт предварительного сканирования и выбора

интересующих областей на голограмме [6]. Возможно также сокращение времени за счёт правильного выбора шага сканирования [7]. Уменьшить время измерения позволяет и использование линейки приёмников или матрицы приёмников. Сокращение времени измерения пропорционально сложности и стоимости системы приёмников. Другим вариантом получения радио голограмм является использование линейки (матрицы) как приёмников, так и передатчиков [1-4]. Результат реализации такого варианта измерения сильно зависит от взаимного расположения приёмников и передатчиков. Для уменьшения стоимости установки используют «разреженные» матрицы приёмников и передатчиков [2, 3]. Для увеличения качества изображений используют многочастотные измерения. В этой работе рассматривается способ измерения радио голограмм, выведенный в рамках приближении Френеля и использовании линейки приёмников и линейки передатчиков.

Рассмотрим схему измерений, представленную на рис.1А.



А



Б

Рис.1 Геометрия голографической системы. Схема измерения радио голограммы с помощью матрицы приёмников и передатчиков, находящихся в плоскости сканирования – А. Схема измерения радио голограммы с помощью взаимно перпендикулярных линеек приёмников и передатчиков – Б.

Сигнал $E(x, y)$, зарегистрированный приёмником антенны в каждой точке плоскости сканирования, можно выразить как сумму произведений сигналов, отражённых от каждой точки объекта, и множителя, описывающего задержку отражённой волны по сравнению с опорной [3]:

$$E(\vec{r}, \vec{r}_i) = \iint dx' dy' R(x', y') \exp(ik(r_1 + r_2)), \quad (1)$$

где $R(x', y')$ - коэффициент отражения (рассеяния) элемента $dx' dy'$ падающей на него волны,

$$r_1 = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + z'^2}, \quad r_2 = \sqrt{(x' - x_i)^2 + (y' - y_i)^2 + z'^2} \quad (2)$$

r_1 - расстояние от рассеивающего элемента (x', y') объекта до приёмника (x, y) и r_2 - расстояние от передатчика (x_i, y_i) до рассеивающего элемента (x', y')

объекта. В формуле (1) предполагается, что влияние поглощения в среде, влияние диаграмм направленности антенн и элементов ослабления вида $1/r_1$ или $1/r_2$ мало.

Пренебрежение в разложении (2) всеми членами выше квадратичных (приближении Френеля [2, 3]):

$$(x - x')^2 + (y - y')^2 / z'^2 \ll 1, \quad (x_i - x')^2 + (y_i - y')^2 / z'^2 \ll 1 \quad (3)$$

позволяет из (2) получить следующие формулы:

$$r_1 \approx z' + \frac{(x - x')^2 + (y - y')^2}{2z'}, \quad r_2 \approx z' + \frac{(x_i - x')^2 + (y_i - y')^2}{2z'}. \quad (4)$$

Если подставить (4) в (1), то получим

$$E(\vec{r}, \vec{r}_i) = \exp(ik(2z' + \frac{x^2 + y^2 + x_i^2 + y_i^2}{2z'})) \iint dx' dy' R(x', y') \exp(ik \frac{x'^2 + y'^2}{2z'}) \times \\ \times \exp(-ik \frac{(x + x_i)x' + (y + y_i)y'}{z'}). \quad (5)$$

Выражение (5) замечательно тем, что влияние на голограмму $E(\vec{r}, \vec{r}_i)$ расположения приёмника (x, y) и передатчика (x_i, y_i) одинаково. Этим обстоятельством можно воспользоваться для оптимизации схемы измерения радио голограммы.

Например, если мы все приёмники расположим вдоль одной координатной оси, а передатчики – вдоль другой оси, причём у всех приёмников и передатчиков соответственно $y = 0$ и $x_i = 0$ (рис.1Б), то (5) преобразуется следующим образом

$$E(\vec{r}, \vec{r}_i) = \exp(ik(2z' + \frac{x^2 + y_i^2}{2z'})) \iint dx' dy' R(x', y') \exp(ik \frac{x'^2 + y'^2}{2z'}) \times \\ \times \exp(-ik \frac{(x + x_i)x' + (y + y_i)y'}{z'}). \quad (6)$$

Выражение (6) соответствует голограмме при единственном передатчике с координатами $(0,0)$ и приёмниках с координатами, соответствующими (x, y_i) .

Это можно записать как

$$E(x, y_i; 0, 0) = E(x, 0; 0, y_i). \quad (7)$$

То есть для измерения голограммы необходимо иметь или матрицу $N \times N$ приёмников и единственный передатчик, или 2 линейки $1 \times N$ приёмников и передатчиков - рис.1Б. Это примерно соответствует случаю, описанному в работе [1], но не требует механического сканирования.

Сравним результаты «измерения» голограмм стандартным (с помощью матрицы $N \times N$) способом и способом, описанным выше (с помощью 2 линеек приёмников и передатчиков $1 \times N$).

Несмотря на то, что (6) для расчёта голограммы справедлива для случая Френеля, мы применим способ «2 линеек» для расчёта голограмм с помощью сферических волн (1).

Описание способа «2 линеек»

1. Расположим линейку передатчиков и линейку приёмников взаимно перпендикулярно друг другу - рис.1Б.
2. Последовательно включая передатчики, фиксируем значения поля на приёмниках с учётом положения передатчика. То есть так, что положение линейки приёмников по координате на оси перпендикулярной линейке приёмников определяется положением передатчика (выражение(7)).

На рис.2 представлены изображения действительной и мнимой частей голограмм рассчитанных с помощью (1) и (7).

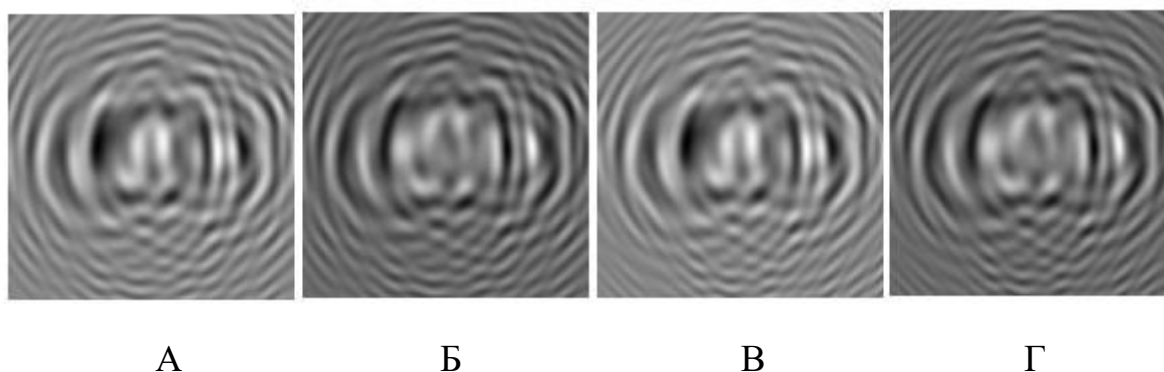


Рис.2. Изображения действительных (А, В) и мнимых (Б, Г) частей голограмм.

Рис.2АБ рассчитаны по формуле (1). Рис.2ВГ рассчитаны по формуле (1) с учётом (7).

Расчёты голограмм на рис.2 проводились при следующих параметрах: $z' = 0.2m$, $\lambda = 0.013m$, $k = 483.3m^{-1}$, $dx = 0.003m$ – шаг по объекту/голограмме, $N = 64$ пикселя – размер объекта, $N_g = 128$ – количество пикселей голограммы.

Голограммы на рис.2, полученные разными способами, практически не отличаются.

На рис.3 представлены изображения, полученные из этих голограмм с помощью метода обратных проекций (МОП) [1, 2].

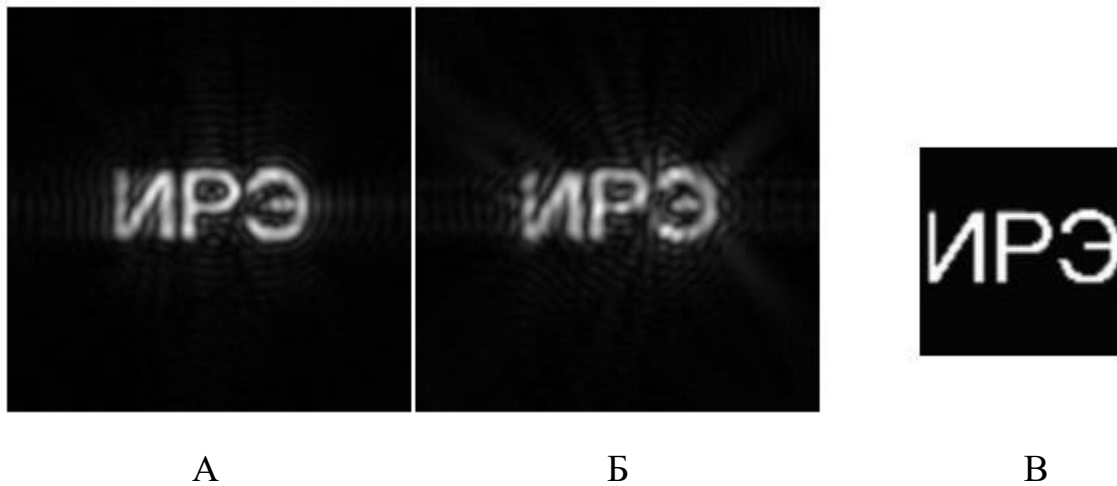
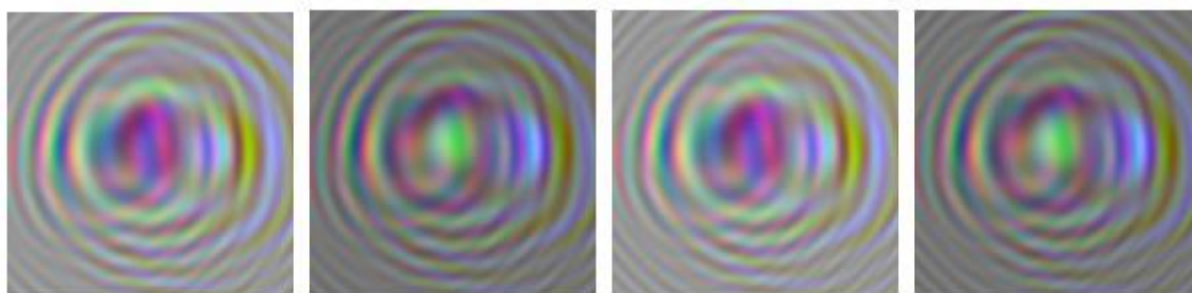


Рис.3. Восстановленные из голограмм рис.2 изображения. Рис.2АБ соответствует рис.3А, а рис2ВГ – рис.3Б. Изображение объекта представлено на рис.3В.

Сравнение рис3А и рис.3Б позволяет сделать вывод о том, что «измерение» по способу «2 линейки» приводит к небольшим искажениям в восстановленном изображении.

Рассмотрим возможности применения описанного метода измерений голограмм не плоских объёмных объектов или группы объектов, расположенных на разном расстоянии от плоскости измерений. Для этого разобьём объект на рис.3В на 3 равные части и расположим эти части соответственно на расстояниях $z_0 = 0.2m$, $z_1 = 0.3m$, $z_2 = 0.4m$. Пометим цветом на голограмме вклады от разных частей объекта.

На рис.4 представлены голограммы, рассчитанные для такого объекта.



А

Б

В

Г

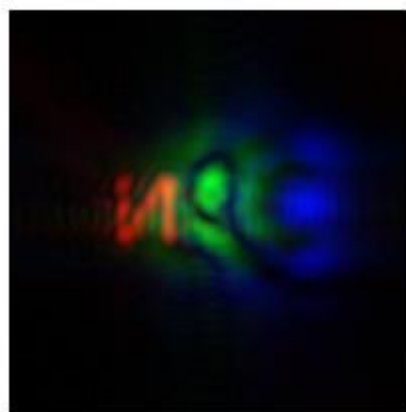
Рис.4. Изображения действительных (А, В) и мнимых (Б, Г) частей голограмм.

Рис.2АБ рассчитаны по формуле (1). Рис.2ВГ рассчитаны по формуле (1, 7).

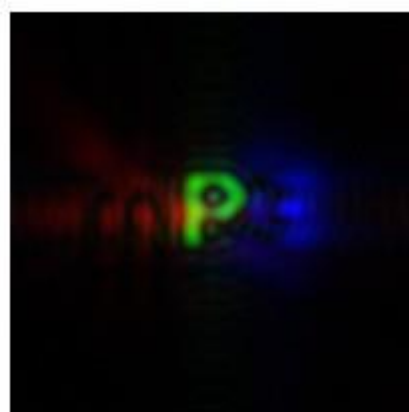
Голограммы на рис.4, полученные разными способами, практически не отличаются. Восстановим изображения из голограмм на рис.4 с помощью МОП с фокусировкой на соответствующих расстояниях.



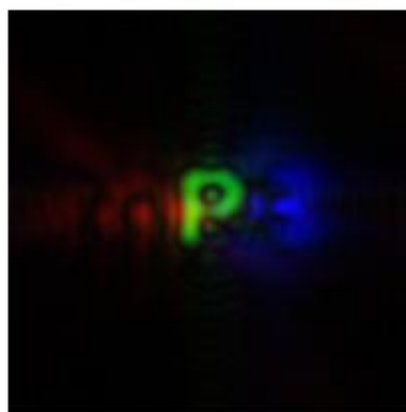
А(z=0.2)



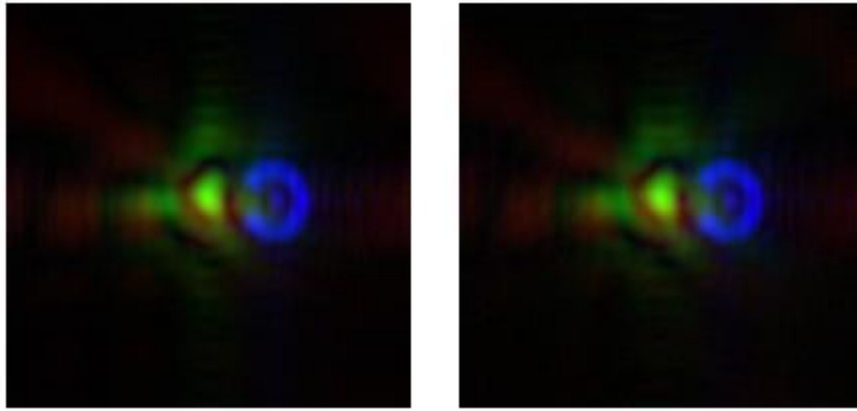
Б(z=0.2)



В(z=0.3)



Г(z=0.3)



Д($z=0.4$)

Е($z=0.4$)

Рис.5. Восстановленные из голограмм рис.4 изображения для разных расстояний z фокусировки в МОП. Рис.5А,В,Д соответствуют классическому способу «измерения» голограммы – формула (1). Рис.5Б,Г,У соответствуют описанному выше способу измерения («2 линейки») (7).

Сравнение изображений на рис.5 подтверждает сделанный ранее вывод о сравнительно небольших искажениях, вносимых способом «2 линейки» в восстановленные изображения.

Выводы

1. Измерение радио голограмм в $N \times N$ точках достаточно затратно. Если измерения производятся единственным приёмником или линейкой приёмников, то затраты в основном временные. При использовании матрицы приёмников затраты становятся материальными (необходимы $N \times N$ приёмников). Мультисоставные измерения с помощью разреженных матриц [1, 2] радикально ситуацию не меняют.
2. Рассмотренный способ измерения голограмм с помощью 2 линеек ($1 \times N$) приёмников и передатчиков позволяет получать голограммы $N \times N$ пикселей и в одночастотном варианте.
3. Вносимые таким способом искажения в измеренные голограммы достаточно небольшие.

4. Способ «2 линейки» позволяет получать голограммы как плоских, так и объёмных объектов или групп объектов.

Литература

1. Разевиг В. В., Бугаев А. С., Чапурский В. В. Сравнительный анализ фокусировки классических и мультистатических радиоголограмм // Радиотехника. 2013. № 8. С. 8-17.
2. Крайний В. И., Семёнов А. Н., Чапурский В. В. Фокусировка одночастотных мультистатических радиоголограмм методом неэквидистантного быстрого преобразования Фурье // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь» (Россия, Москва, 24-26 ноября 2014 г.): тр. Москва, 2014. С. 77-81.
3. Чапурский В. В. Получение радиоголографических изображений объектов на основе разреженных антенных решеток типа ММО с одночастотным и многочастотным излучением // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2011. № 4. С. 72–91.
4. Чапурский В.В. Синтезирование радиоизображений объектов с помощью линейной антенной решётки типа ММО // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 7. С. 115–123.
5. Зверев В. А. Радиооптика. М.: Советское радио, 1975. 304 с.
6. Zhuravlev A.V., Razevig V.V., Chizh M., Ivashov S., Bugaev A., Kokoshkin A., Korotkov V. Data Acquisition, Processing, and Visualisization in Microwave Holography with Probe Tracking abd Positioning on Video. // 2016 16th International Conference of Ground Penetrating Radar (GPR). URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7572628/>
7. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. Восстановление изображения по частично измеренной голограмме. // X Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь», 21 – 23 ноября 2016 г., Москва, Доклады, Издание JRE – ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, Москва 2016 г., стр.180-183.

Ссылка на статью:

Об одном способе измерения радиоголограмм. А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №1.
Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jan17/1/text.pdf>