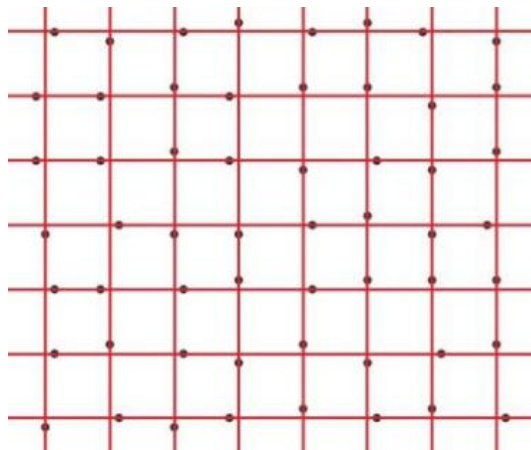


Anoto Dot Pattern Technology

Введение

Anoto Dot Pattern Technology была изобретена и разработана Anoto AB Group для использования с их цифровым пером для электронных бумажных приложений. Эта технология позволяет создать абсолютную систему координат для оцифровки рукописного текста и изображений путем печати на бумаге специального точечного шаблона. [13] Таким образом, когда кто-то пишет на цифровой бумаге, ручка записывает координаты, которые затем передаются на компьютер или смартфон [14] [15].

Система Anoto хорошо развита и коммерциализирована. Описанная информация об их технологии извлечена из общедоступной информации на их веб-сайте и о патентах. У них также есть комплект для разработки программного обеспечения, позволяющий сторонним разработчикам использовать их перо. Однако это доступ к информации на высоком уровне. В этой части диссертации будет продемонстрирован собственный метод декодирования точечного шаблона для получения координат, а затем изложено исследование возможности использования этой информации для получения точной информации о местоположении.

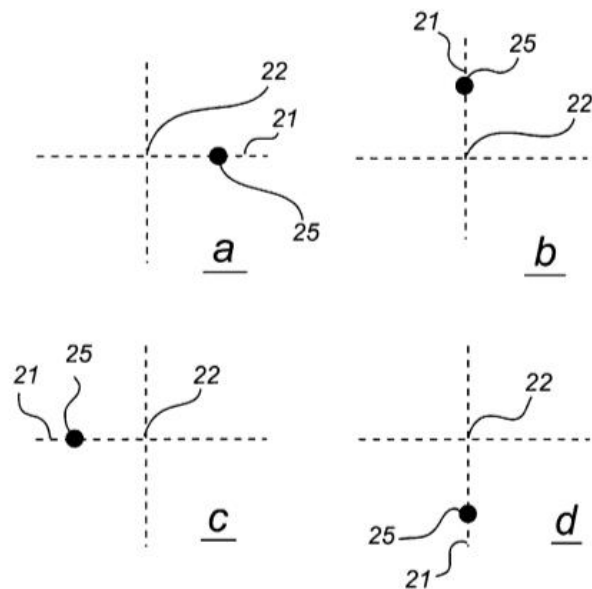


Фрагмент шаблона (для демонстрации добавлены линии)

Принципы работы

Этот раздел суммирует методы, описанные Anoto в их патентах, и предназначен для того, чтобы предоставить читателю достаточно ссылок для понимания кода MATLAB в Приложении В.

Точечный шаблон, имеющий форму сетки с шагом 0,3 мм, состоит из множества маленьких черных точек. Сетка называется растром в Anoto Patents [13,22]. Растровые линии невидимы как для человеческого глаза, так и для оптического считывателя. Вместо того, чтобы располагаться точно на пересечении растровых линий (называемых «номинальной позицией»), каждая маленькая точка слегка смещается вблизи пересечения в одном из четырех направлений: вверх, вниз, влево и вправо. Все четыре вида расположения точек показаны на рис 4-2.



Четыре вида расположения точек [13]

Каждый вариант расположения точек кодирует возможную комбинацию битов. Таким образом 4 возможные позиции позволяют закодировать два бита информации в каждом элементе. Последовательность из таких точек в блоке образуют координаты x и y, причем в каждой точке один бит используется для кодирования координаты x, а второй для координаты y. Пара из X-бита и Y-бита назначается для каждого типа (направления) смещения, как показано в таблице 4-1.

Направление смещения	x бит	y бит
Влево	1	0
Вправо	0	1
Вверх	0	0
Вниз	1	1

Таблица 4-1 Преобразование между направлением смещения и кодовой парой [13]

Таким образом, координаты x и y могут считываться одновременно и независимо, если имеется фрагмент шаблона, содержащий массив точек больше определенного размера. Блок 8x8 с закодированными координатами, показан на рисунке 4-3.



Пример блока 8×8 для шаблона Anoto Dot Pattern [13,23]

Чтобы идентифицировать положение, необходим, по крайней мере, фрагмент точечного рисунка, содержащий 6 × 6 точек [24]. Но в Anoto Dot Pattern блоки по 8×8 [13], где добавлены по одной точке для поворота и для исправления ошибок. Одним из наиболее важных свойств шаблона является то, что массив, образованный любыми точками 8×8, появляется только один раз по всей поверхности, что позволяет идентифицировать уникальные позиции.

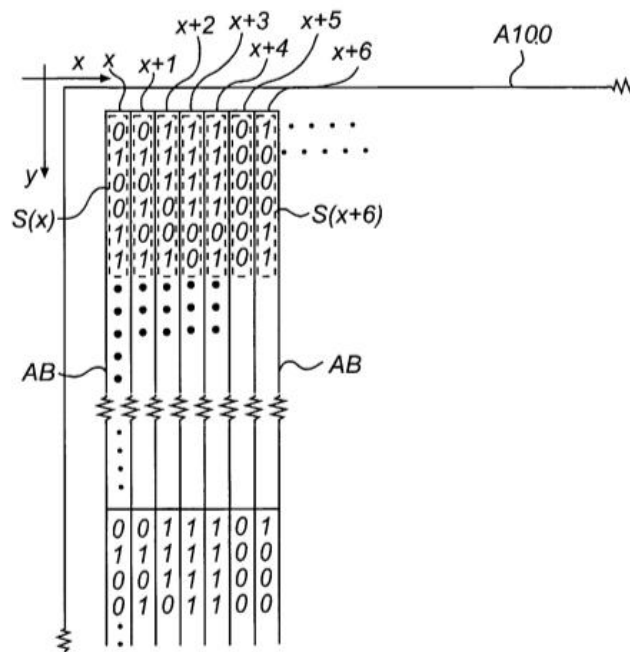
Причина, по которой шаблон обладает вышеуказанным свойством, состоит в том, что код, в который он закодирован, разработан с использованием специальной последовательности De Bruijn [25, 42, 47]. Эта последовательность чисел является циклической, и длина последовательности специально предназначена для того, чтобы любая частичная последовательность определенной длины, взятая из основной последовательности, встречалась только один раз. В патентах Anoto [13] специально разработанная квази-последовательность De Bruijn [25] называется main number sequence (MNS) и имеет в общей сложности 63 числа и представлена ниже:

```
MNS = [
  0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1,
  1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0,
  0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1,
  0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0,
  1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1,
  1, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0,
  0, 1, 1
]
```

Любая частичная последовательность длиной 8 имеет значение позиции от 0 до 62. Например, последовательность **0000 0010** имеет значение позиции **0**, а **0000 0100 1**, сдвинутая вправо, имеет значение позиции **1**.

Последовательность главных чисел сдвигается вверх и вниз в столбцах, а влево и вправо в строках на разные номера и повторяется, когда она подходит к концу. Следовательно, соседние два столбца или две строки имеют постоянную разность чисел. Например, что касается направления x , если столбец k содержит последовательность основных чисел, сдвинутую на число строк l , а столбец $k + 1$ содержит последовательность основных чисел, сдвинутую на количество строк m , разность этих двух столбцов будет равна (lm) по модулю 63. Разностные числа между столбцами и строками образуют другую важную последовательность, называемую первичной разностной последовательностью (PDS). Как можно легко заметить, хотя каждый столбец и каждая строка начинаются с идентичного MNS, смещенного на разные номера, PDS не изменяется от строки к строке для направления x и от столбца к столбцу для направления y .

Массив 8×8 этого типа точечного шаблона имеет восемь столбцов и восемь строк, которые могут быть закодированы в восемь вертикальных частичных последовательностей, и восемь горизонтальных частичных последовательностей с каждой частичной последовательностью имеет длину восемь. Каждая частичная последовательность затем имеет соответствующий номер позиции для направления x и направления y отдельно. Кроме того, два частичных PDS длиной 7 для направлений x и y также могут быть получены отдельно.



How the vertical partial sequences is coded in x direction[13]

Положение частичного PDS в целом PDS является одним из ключевых элементов информации, который сообщает нам о координатах. Хотя разностные числа получают с помощью разностей по модулю 63 и, следовательно, все они находятся в диапазоне от 0 до 62, могут использоваться только значения со значениями от 5 до 58, то есть $54 = 2 * 33$

числа. Если из [5, 58] найдено разностное число, значит, произошла ошибка.

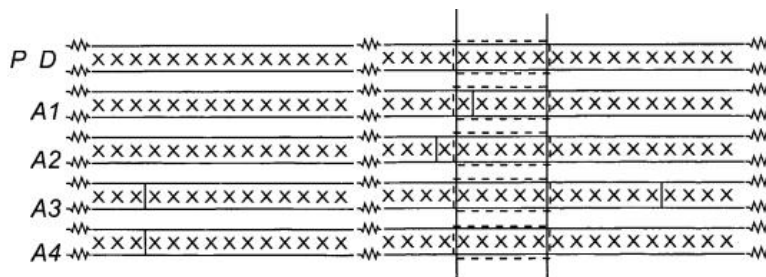
На практике первичная разностная последовательность дополнительно преобразуется в так называемые вторичные разностные числовые последовательности (SDS) для целей расчета, обнаружения ошибок и исправления ошибок [17]. Для любой разности число d принадлежит [5, 58], биекция может быть установлена с использованием правил, описанных ниже, где a_1, a_2 и a_4 имеют значения от 0 до 2, а a_3 имеет значения от 0 до 1.

$$d = 5 + a_1 + 3 * a_2 + 3^2 * a_3 + 2 * 3^2 * a_4;$$

Например, если $d = 35$, то

$$\begin{aligned} d &= 5 + 3 + 9 + 18 = \\ &= 5 + a_1 + 3 * a_2 + 3^2 * a_3 + 2 * 3^2 * a_4, \\ a_1 &= 0, a_2 = 1, a_3 = 1, a_4 = 1 \end{aligned}$$

Таким образом, $d = 35$ в представлении (a_1, a_2, a_3, a_4) равно $(0, 1, 1, 1)$. Таким образом, первичная разностная последовательность преобразуется в четыре вторичные разностные последовательности, как показано в таблице 4-5.



Преобразование последовательности из PDS в четыре последовательности SDS [13]

Если найдены номера позиций частичных вторичных разностных последовательностей во всех вторичных разностных последовательностях, то номер позиции частичного PDS может быть рассчитан с использованием китайской теоремы об остатках [44]. Поэтому четыре последовательности вторичных разностных чисел A1 - A4 вводятся, как показано ниже [13].

```
A_1 = [
  0,0,0,0,0,1,0,0,0,0, 2,0,1,0,0,1,0,1,0,0,
  2,0,0,0,1,1,0,0,0,1, 2,0,0,1,0,2,0,0,2,0,
  2,0,1,1,0,1,0,1,1,0, 2,0,1,2,0,1,0,1,2,0,
  2,1,0,0,1,1,1,0,1,1, 1,1,0,2,1,0,1,0,2,1,
  1,0,0,1,2,1,0,1,1,2, 0,0,0,2,1,0,2,0,2,1,
  1,1,0,0,2,1,2,0,1,1, 1,2,0,2,0,0,1,1,2,1,
  0,0,0,2,2,0,1,0,2,2, 0,0,1,2,2,0,2,0,2,2,
  1,0,1,2,1,2,1,0,2,1, 2,1,1,0,2,2,1,2,1,2,
```

```

0,2,2,0,2,2,2,0,1,1, 2,2,1,1,0,1,2,2,2,2,
1,2,0,0,2,2,1,1,2,1, 2,2,1,0,2,2,2,2,2,0,
2,1,2,2,2,1,1,1,2,1, 1,2,0,1,2,2,1,2,2,0,
1,2,1,1,1,1,2,2,2,0, 0,2,1,1,2,2
]

```

```

A_2=[
0,0,0,0,0,1,0,0,0,0, 2,0,1,0,0,1,0,1,0,1,
1,0,0,0,1,1,1,1,0,0, 1,1,0,1,0,0,2,0,0,0,
1,2,0,1,0,1,2,1,0,0, 0,2,1,1,1,0,1,1,1,0,
2,1,0,0,1,2,1,2,1,0, 1,0,2,0,1,1,0,2,0,0,
1,0,2,1,2,0,0,0,2,2, 0,0,1,1,2,0,2,0,0,2,
2,2,1,0,1,2,2,0,0,2, 1,2,2,1,1,1,1,1,2,0,
0,1,2,2,1,2,0,1,1,1, 2,1,1,2,0,1,2,1,1,1,
2,2,0,2,2,0,1,1,2,2, 2,2,1,2,1,2,2,0,1,2,
2,2,0,2,0,2,1,1,2,2, 1,0,2,2,0,2,1,0,2,1,
1,0,2,2,2,2,0,1,0,2, 2,1,2,2,2,1,1,2,1,2,
0,2,2,2
]

```

```

A_3 = [
0,0,0,0,0,1,0,0,1,1, 0,0,0,1,1,1,1,0,0,1,
0,1,0,1,1,0,1,1,1,0, 1
]

```

```

A_4=[
0,0,0,0,0,1,0,2,0,0, 0,0,2,0,0,2,0,1,0,0,
0,1,1,2,0,0,0,1,2,0, 0,2,1,0,0,0,2,1,1,2,
0,1,0,1,0,0,1,2,1,0, 0,1,0,0,2,2,0,0,0,2,
2,1,0,2,0,1,1,0,0,1, 1,1,0,1,0,1,1,0,1,2,
0,1,1,1,1,0,0,2,0,2, 0,1,2,0,2,2,0,1,0,2,
1,0,1,2,1,1,0,1,1,1, 2,2,0,0,1,0,1,2,2,2,
0,0,2,2,2,0,1,2,1,2, 0,2,0,0,1,2,2,0,1,1,
2,1,0,2,1,1,0,2,0,2, 1,2,0,0,1,1,0,2,1,2,
1,0,1,0,2,2,0,2,1,0, 2,2,1,1,1,2,0,2,1,1,
1,0,2,2,2,2,0,2,0,2, 2,1,2,1,1,1,1,2,1,2,
1,2,2,2,1,0,0,2,1,2, 2,1,0,1,1,2,2,1,1,2,
1,2,2,2,2,1,2,0,1,2, 2,1,2,2,0,2,2,2,1,1
]

```

Они имеют длину 236, 233, 31 и 241 соответственно. Длины выбираются относительно взаимно простыми, поэтому наименьшее общее кратное из четырех последовательностей будет произведением их длин. Тогда соответствующие места p_1 , p_2 , p_3 и p_4 частичной последовательности длины 5 в этих четырех вторичных разностных последовательностях могут быть определены с использованием того же метода определения места P частичной последовательности в первичной разностной последовательности, который был указан

выше. И они имеют отношение, перечисленное ниже:

$$P \equiv p1(mod236)$$

$$P \equiv p2(mod233)$$

$$P \equiv p3(mod31)$$

$$P \equiv p4(mod241)$$

где 236, 233, 31, 241 - длины вторичных разностных последовательностей.

В результате P можно рассчитать с помощью китайской теоремы об остатках [26].

Фактически, нет необходимости вычислять номер позиции P частичного PDS, поскольку мы знаем, что четыре номера позиций $p1, p2, p3, p4$ частичного SDS определяют P , а затем определяют координаты x или y . Существует также биекция между $(p1x, p2x, p3x, p4x)$ и x , а также $(p1y, p2y, p3y, p4y)$ и y , где x, y - координаты в направлениях x и y . Здесь x обозначает x -й столбец, y обозначает y -й ряд, который дает нам информацию напрямую. Это именно то, что мы используем в этом тезисе.

Другой фактор, который важен в позиционировании Anoto, называется «Section» [13].

Поскольку существует 63 различных номера места для первичной разностной последовательности, существует 63 возможных значения, которые могут начинать самую первую координату x и первую координату y соответственно. Это в сумме $63 * 63 = 3969$ различных «версий» точечного рисунка [13]. И какие два числа начинаются с первого столбца и первой строки, называются номерами секций для направления x и номерами секций для направления y соответственно. Это полезно, когда вы управляете множеством частей поверхности с огромным количеством областей в сумме. Поскольку поверхность, используемая в этом тезисе, намного меньше, нет проблем с управлением различными «сечениями» поверхности. Поэтому нет необходимости рассчитывать номер раздела. На самом деле, они представлены в качестве известного параметра в экспериментах, изложенных в главе 5.