

Вінницький державний технічний університет

Ракитянська Ганна Борисівна

*Ганна*

УДК 681.335.2.519 85

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ  
ШВИДКОДІЇ ТА АЛГОРИТМІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ  
НАДЛИШКОВИХ АЦП ПОРОЗРЯДНОГО ВРІВНОВАЖЕННЯ**

Спеціальність 01.05.02 - математичне моделювання та  
обчислювальні методи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця 1998

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі обчислювальної техніки Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти України

Науковий керівник

доктор технічних наук, доцент  
Азаров Олексій Дмитрович  
Вінницький державний технічний університет,  
завідувач кафедри обчислювальної техніки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Кветний Роман Наумович  
Вінницький державний технічний університет,  
завідувач кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки

кандидат технічних наук Богуш Олександр Олегович  
Інститут кібернетики ім.В.М.Глушкова НАН України, м.Київ,  
науковий співробітник відділу «Перетворювачі форми інформації»

Провідна установа:

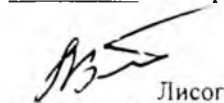
Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, відділ спеціалізованих засобів моделювання, м.Київ

Захист відбудеться « 09 » 04 1998 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 Вінницького державного технічного університету за адресою : 286021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького державного технічного університету.

Автореферат розісланий « 06 » 03 1998 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

  
Лисогор В.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. АЦП порозрядного врівноваження набули широкого розповсюдження в сучасних інформаційно-вимірювальних системах. Якість функціонування АЦП визначається його алгоритмічною надійністю, тобто здатністю безпомилково виконувати алгоритм перетворення аналогового сигналу в цифрову форму. Застосування надлишкових позиційних систем числення в АЦП порозрядного врівноваження дозволяє підвищити алгоритмічну надійність АЦП даного класу, причому існують два підходи до вирішення цієї проблеми. Перший підхід полягає у використанні багатозначного зображення чисел для компенсації помилок порівняння. Такий АЦП функціонує в безінерційному режимі, що з урахуванням подовження розрядної сітки призводить до значних витрат часу. Другий підхід полягає у використанні надлишковості для підвищення швидкодії АЦП за рахунок автокомпенсації динамічних похибок перетворення. В свою чергу, наявність часової надлишковості дозволяє підвищити алгоритмічну надійність за рахунок багаторазового порівняння, багаторазового врівноваження з осередненням або мажоритарною обробкою результатів.

Використання цих засобів призводить до зростання реалізаційно-часових витрат. Тому виникають задачі оптимізації АЦП за критеріями ймовірності перетворення з допустимою похибкою, часу перетворення та реалізаційних витрат за рахунок вибору доцільних значень тривалості такту, основи системи числення та кратності порівняння або врівноваження. У відомих роботах ці задачі розв'язувались евристичними методами через відсутність моделей та алгоритмів оптимізації надлишкових АЦП за вказаними критеріями. Зокрема, вибір часових параметрів здійснювався методом проб та помилок на основі комп'ютерного моделювання за умови однакових тривалостей тактів врівноваження. Розв'язання поставлених задач на регулярній основі дозволить отримати потенційні оцінки ймовірно-часових параметрів перетворення, що необхідно для забезпечення оптимального використання введеної інформаційної надлишковості для підвищення якості функціонування АЦП.

Об'єктом дослідження є АЦП порозрядного врівноваження на основі надлишкових позиційних систем числення.

Предметом дослідження є показники швидкодії та алгоритмічної надійності АЦП даного класу

Метою роботи є розробка взаємопов'язаної сукупності математичних моделей та алгоритмів, методичного та програмного забезпечення для оптимізаційного проектування надлишкових АЦП порозрядного врівноваження за критеріями швидкодії, алгоритмічної надійності та реалізаційних витрат.

Для реалізації мети досліджень було потрібним:

а) проаналізувати особливості застосування надлишкових систем числення в АЦП порозрядного врівноваження та сформулювати задачі та принципи оптимізації надлишкових АЦП за критеріями швидкодії, алгоритмічної надійності та реалізаційних витрат (розділ 1);

б) розробити математичні моделі та алгоритми оптимізації процесу АЦ перетворення за швидкодією (розділ 2);

в) розробити математичні моделі та алгоритми оптимізації процесу функціонування АЦП за алгоритмічною надійністю (розділ 3);

г) із застосуванням розроблених моделей та алгоритмів створити програмно-методичне забезпечення оптимізаційного проектування АЦП (розділ 4).

Методи досліджень базуються на елементах теорії АЦ перетворення на основі надлишкових систем числення, теорії регулярних алгоритмів, теорії надійності, методах оптимізації, комп'ютерному моделюванні. Зокрема, для формалізації об'єкта дослідження використовувались алгоритми врівноваження, запропоновані О.Д.Азаровим. Для синтезу оптимальної алгоритмічної моделі АЦП використовувались система алгоритмічних алгебр В.М.Глушкова та метод надійнісного проектування алгоритмічних процесів за допомогою поліпшувальних підстановок, запропонований в роботах О.П.Ротштейна.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше розроблено математичні моделі та алгоритми, які дозволяють здійснювати вибір проектних рішень щодо забезпечення необхідних або екстремальних рівнів показників алгоритмічної надійності, швидкодії та реалізаційних витрат АЦП на регулярній основі на відміну від відомих робіт, де використовувались евристичні методи.

Наукова новизна складається з таких наукових результатів:

1. Принцип оптимізації швидкодії надлишкових АЦП на основі динамічного програмування та принцип генерації алгоритмів функціонування АЦП за допомогою поліпшувальних підстановок. Суть першого принципу полягає у тому, що дискретний процес функціонування АЦП інтерпретується в термінах принципу оптимальності Беллмана, причому крок оптимізації збігається з тактом врівноваження. Суть другого принципу полягає в генерації алгоритмів функціонування АЦП за допомогою поліпшувальних підстановок, які відповідають таким інженерним методам підвищення надійності функціонування АЦП як спосіб виконання алгоритму врівноваження, багаторазове порівняння або врівноваження з осередненням або мажоритарною обробкою результатів. Новизна принципів полягає в тому, що вони є розвитком ідей динамічного програмування та теорії надійнісного проектування алгоритмічних процесів в напрямку підвищення якості функціонування АЦП.

2. Математичні моделі та алгоритми оптимізації АЦП за критеріями витрат часу та швидкості зміни вхідного сигналу, що компенсується надлишко-

вим АЦП без погіршення показників точності. Суть результату полягає в тому, що оптимальні тривалості тактів врівноваження обираються в результаті послідовного розв'язання орієнтованих на АЦП рекурентних співвідношень. Системи обмежень, які входять до цих співвідношень, отримані на основі вимог до точності АЦП. Новизна результату полягає в тому, що вперше процес порозрядного АЦ врівноваження інтерпретується у вигляді одновимірних та двовимірних моделей динамічного програмування.

3. Математичні моделі та алгоритми оптимізації АЦП за критеріями ймовірності перетворення з допустимою похибкою, часу перетворення та реалізаційних витрат. Суть результату полягає у виборі основи системи числення та кратності порівняння (врівноваження) відповідно з формалізованими процедурами надійнісного аналізу та синтезу алгоритмічних процесів. Новизна результату полягає в тому, що вперше розроблено ієрархічну систему ймовірно-алгоритмічних моделей процесу АЦ перетворення, що дозволяє здійснити синтез алгоритму функціонування АЦП на регулярній основі.

4. Програмно-методичне забезпечення оптимізаційного проектування надлишкових АЦП порозрядного врівноваження за алгоритмічною надійністю та реалізаційно-часовими витратами. Суть результату полягає у створенні на основі розроблених моделей та алгоритмів інструментального засобу для автоматизації прийняття проектних рішень. Новизна результату полягає в тому, що вперше на етапі проектування здійснюється оптимальний вибір основи системи числення за критеріями алгоритмічної надійності, швидкодії та реалізаційних витрат, що забезпечує раціональне використання введеної надлишковості для підвищення якості функціонування АЦП.

Достовірність результатів забезпечується коректним застосуванням рекурентних процедур динамічного програмування для оптимізації тривалості циклу перетворення та градієнтного пошуку для синтезу оптимальної алгоритмічної моделі АЦП, що підтверджується результатами комп'ютерного моделювання.

Практична цінність роботи полягає у створенні інженерної методики та програмного забезпечення для автоматизації прийняття проектних рішень щодо вибору оптимальних значень керувальних параметрів АЦ перетворення.

Результати впровадження. Дисертація виконувалась в рамках д/б тем: 55-Г-8, "Развитие теории чисел Фибоначчи и создание новых информационных, арифметических и схемотехнических основ самоконтролирующихся и отказоустойчивых высоконадежных вычислительных, измерительных и информационно-регистрирующих систем, систем передачи и отображения информации" № д.р. 0193U002770; 52-Г-51, "Проектирование микроэлектронных аналого-цифровых устройств для быстродействующих самокорректирующе-

а) проаналізувати особливості застосування надлишкових систем числення в АЦП порозрядного врівноваження та сформулювати задачі та принципи оптимізації надлишкових АЦП за критеріями швидкодії, алгоритмічної надійності та реалізаційних витрат (розділ 1);

б) розробити математичні моделі та алгоритми оптимізації процесу АЦ перетворення за швидкодією (розділ 2);

в) розробити математичні моделі та алгоритми оптимізації процесу функціонування АЦП за алгоритмічною надійністю (розділ 3);

г) із застосуванням розроблених моделей та алгоритмів створити програмно-методичне забезпечення оптимізаційного проектування АЦП (розділ 4).

Методи досліджень базуються на елементах теорії АЦ перетворення на основі надлишкових систем числення, теорії регулярних алгоритмів, теорії надійності, методах оптимізації, комп'ютерному моделюванні. Зокрема, для формалізації об'єкта дослідження використовувались алгоритми врівноваження, запропоновані О.Д.Азаровим. Для синтезу оптимальної алгоритмічної моделі АЦП використовувались система алгоритмічних алгебр В.М.Глушкова та метод надійнісного проектування алгоритмічних процесів за допомогою поліпшувальних підстановок, запропонований в роботах О.П.Рогштейна

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше розроблено математичні моделі та алгоритми, які дозволяють здійснювати вибір проектних рішень щодо забезпечення необхідних або екстремальних рівнів показників алгоритмічної надійності, швидкодії та реалізаційних витрат АЦП на регулярній основі на відміну від відомих робіт, де використовувались евристичні методи.

Наукова новизна складається з таких наукових результатів:

1. Принцип оптимізації швидкодії надлишкових АЦП на основі динамічного програмування та принцип генерації алгоритмів функціонування АЦП за допомогою поліпшувальних підстановок. Суть першого принципу полягає у тому, що дискретний процес функціонування АЦП інтерпретується в термінах принципу оптимальності Беллмана, причому крок оптимізації збігається з тактом врівноваження. Суть другого принципу полягає в генерації алгоритмів функціонування АЦП за допомогою поліпшувальних підстановок, які відповідають таким інженерним методам підвищення надійності функціонування АЦП як спосіб виконання алгоритму врівноваження, багаторазове порівняння або врівноваження з осередненням або мажоритарною обробкою результатів. Новизна принципів полягає в тому, що вони є розвитком ідей динамічного програмування та теорії надійнісного проектування алгоритмічних процесів в напрямку підвищення якості функціонування АЦП

2. Математичні моделі та алгоритми оптимізації АЦП за критеріями витрат часу та швидкості зміни вхідного сигналу, що компенсується надлишко-

вим АЦП без погіршення показників точності. Суть результату полягає в тому, що оптимальні тривалості тактів врівноваження обираються в результаті послідовного розв'язання орієнтованих на АЦП рекурентних співвідношень Системи обмежень, які входять до цих співвідношень, отримані на основі вимог до точності АЦП. Новизна результату полягає в тому, що вперше процес порозрядного АЦ врівноваження інтерпретується у вигляді одновимірних та двовимірних моделей динамічного програмування.

3. Математичні моделі та алгоритми оптимізації АЦП за критеріями ймовірності перетворення з допустимою похибкою, часу перетворення та реалізаційних витрат. Суть результату полягає у виборі основи системи числення та кратності порівняння (врівноваження) відповідно з формалізованими процедурами надійнісного аналізу та синтезу алгоритмічних процесів. Новизна результату полягає в тому, що вперше розроблено ієрархічну систему ймовірно-алгоритмічних моделей процесу АЦ перетворення, що дозволяє здійснити синтез алгоритму функціонування АЦП на регулярній основі.

4. Програмно-методичне забезпечення оптимізаційного проектування надлишкових АЦП порозрядного врівноваження за алгоритмічною надійністю та реалізаційно-часовими витратами. Суть результату полягає у створенні на основі розроблених моделей та алгоритмів інструментального засобу для автоматизації прийняття проектних рішень. Новизна результату полягає в тому, що вперше на етапі проектування здійснюється оптимальний вибір основи системи числення за критеріями алгоритмічної надійності, швидкодії та реалізаційних витрат, що забезпечує раціональне використання введеної надлишковості для підвищення якості функціонування АЦП.

Достовірність результатів забезпечується коректним застосуванням рекурентних процедур динамічного програмування для оптимізації тривалості циклу перетворення та градієнтного пошуку для синтезу оптимальної алгоритмічної моделі АЦП, що підтверджується результатами комп'ютерного моделювання.

Практична цінність роботи полягає у створенні інженерної методики та програмного забезпечення для автоматизації прийняття проектних рішень щодо вибору оптимальних значень керувальних параметрів АЦ перетворення.

Результати впровадження. Дисертація виконувалась в рамках д/б тем: 55-Г-8, "Развитие теории чисел Фибоначчи и создание новых информационных, арифметических и схемотехнических основ самоконтролирующихся и отказоустойчивых высоконадежных вычислительных, измерительных и информационно-регистрирующих систем, систем передачи и отображения информации" № д.р. 0193U002770; 52-Г-51, "Проектирование микроэлектронных аналого-цифровых устройств для быстродействующих самокорректирую-

щикхся преобразователей формы информации на основе избыточных позиционных систем счисления (ИПСС)", N д.р. 0193U027645; 52-Д-136, "Разработка микроэлектронного высокоточного быстродействующего аналого-цифрового преобразователя на основе ИПСС", N д.р. 0195U025148. Результати роботи впроваджено у Вінницькому державному технічному університеті в д/б темі 52-Д-136 під час розробки АЦП із змінною тривалістю тактів (рішення про видачу патенту України за заявкою N96031134 від 5.03.1997) та науково-технічному центрі "Аналого-цифрові системи" ВДТУ при створенні програмного забезпечення оптимізаційного проектування надлишкових АЦП.

Апробація роботи. Результати роботи були представлені на науково-технічних конференціях "Приладобудування-94" (Симферопіль, 1994) та "Приладобудування-95" (Львів, 1995); Першому міжнародному молодіжному форумі "Електроніка и молодежь в XXI веке" (Харків, 1997); Четвертій міжнародній конференції "Контроль і управління в технічних системах" (Вінниця, 1997).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 8 робіт та отримано 1 позитивне рішення на патент України.

Структура та обсяг роботи. Робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел із 104 найменувань та додаток. Головну частину роботи викладено на 152 сторінках тексту. Робота містить 17 рисунків та 22 таблиці.

Автор висловлює подяку д.т.н., проф. Ротштейну О.П. за консультації з питань застосування методів оптимізації в задачах проектування АЦП.

### СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертації обгрунтована актуальність її тематики, окреслені об'єкт та предмет досліджень, сформульована мета роботи, означені методи досліджень, описані основні наукові результати, охарактеризовані їх суть, новизна, достовірність, практична цінність, ступінь впровадження та апробації роботи, приведена структура роботи.

Перший розділ присвячений огляду стану проблеми та формулюванню задач дослідження. В ньому розглянуті особливості застосування надлишкових систем числення в АЦП порозрядного врівноваження, проаналізовано основні підходи щодо поліпшення часових та надійнісних параметрів АЦП, обгрунтовано необхідність вирішення задачі раціонального використання введеної надлишковості: визначені чинники, що впливають на якість функціонування надлишкових АЦП; сформульовані задачі оптимізації швидкодії та алгоритмічної надійності АЦП, включаючи вибір критеріїв прямих та обернених задач, обмежень та керувальних змінних; розроблені принципи розв'язання поставлених задач.



2. Розроблені математичні моделі та алгоритми оптимізації швидкодії АЦП, які дозволили скоротити тривалість циклу надлишкових АЦП у 2-3 рази порівняно з двійковими аналогами, причому ефективність застосування змінних тривалостей тактів зростає із зменшенням основи системи числення. Так, для  $\alpha = 1.618$  застосування змінних тактів забезпечує додатковий вигравш за швидкодією у 25%. Максимальна швидкість зміни вхідного сигналу, що компенсується таким АЦП, є на порядок більшою порівняно з двійковим аналогом.

3. Розроблено математичні моделі та алгоритми оптимізації функціональної надійності АЦП, які дозволили розв'язати задачу інваріантної модифікації ймовірнісно-часових параметрів перетворення. Найбільшу перевагу мають АЦП з багаторазовим порівнянням, що дозволяє на порядок зменшити кількість помилкових кодів на тисячу перетворень при мінімальних реалізаційних витратах. При цьому витрати часу скорочено втричі порівняно з нульовим варіантом. Для усіх алгоритмічних моделей використані системи числення з основою  $\alpha \geq 1.793$ , що дозволяє удвічі скоротити додаткові реалізаційні витрати порівняно з нуль-варіантом.

4. Адекватність розроблених моделей та алгоритмів перевірена за допомогою комп'ютерного експерименту, який дозволяє здійснити пошук точок розриву кодувальної характеристики АЦП з розрахованими часовими параметрами та статистичне оцінювання показників безпомилковості конкретної алгоритмічної моделі.

5. Розроблені моделі та алгоритми реалізовані у вигляді інженерної методики оптимізаційного проектування надлишкових АЦП, яка забезпечує вибір оптимальної основи системи числення за критеріями алгоритмічної надійності, швидкодії та реалізаційних витрат. Запропоновану методику покладено в основу програмного забезпечення, яке є інструментальним засобом для автоматизації прийняття проектних рішень щодо вибору оптимальних значень керувальних параметрів АЦ перетворення

Основні положення дисертації викладено в роботах:

1. Ракитянська Г.Б. Оптимізація тривалості циклу АЦП порозрядного кодування методом динамічного програмування // Вісник ВПІ. - 1996. - N1. - С. 22-28.

2. Ракитянська Г.Б. Оптимізація процесу аналого-цифрового перетворення в умовах зміни вхідного сигналу // Вісник ВПІ. - 1996. - N4. - С. 32-36.

3. Ротштейн О.П., Ракитянська Г.Б. Оптимізація алгоритмічної надійності АЦП // Вісник ВПІ. - 1997. - N1. - С. 40-45.

4. Азаров О.Д., Ракитянська Г.Б. Оптимізація надлишкових АЦП порозрядного врівноваження за реалізаційно-часовими витратами // Книга за матеріалами IV міжн наук техн конф. "Контроль і управління в

технічних системах" (КУТС-97). - Том 1 - Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця - 1997. - С. 162-167.

5. Ракитянская А.Б. Моделирование алгоритмов ускоренного аналого-цифрового преобразования // Матеріали наук. техн. конф. з міжн. участю "Приладобудування-94". - Вінниця - Симферопіль - 1994. - С. 40.

6. Ракитянская А.Б. Оценка инструментальной динамической погрешности АЦП порозрядного кодирования на основе ИПСС // Матеріали наук. техн. конф. з міжн. участю "Приладобудування-95" - Вінниця - Львів - 1995. - С. 50

7. Ракитянская А.Б. Компьютерный имитатор процесса аналого-цифрового преобразования // Матеріали наук. техн. конф. з міжн. участю "Приладобудування-95". - Вінниця - Львів - 1995. - С. 51.

8. Ракитянская А.Б. Оптимизация быстродействия и алгоритмической надежности АЦП на основе ИПСС // Тези доп. І міжн. молодіжн. форуму "Електроніка і молодь в ХХІ столітті". - Харків: ХТУРЭ. - 1997. - С. 98.

9. Позитивне рішення про видачу патенту України за заявкою N96031134 від 5.03.97, МПК 5 Н 03 М 1/26. Аналого-цифровий перетворювач / Ротштейн О.П., Азаров О.Д., Ракитянська Г.Б., Заявл. 26.03.96.

Особистий внесок. В роботах, які написані в співавторстві, автору належать: [3], [4] - формалізовані постановки задач, моделі та алгоритми; [9] - співвідношення для розрахунку тривалостей тактів АЦП, структурні схеми блоку формування тривалостей імпульсів та регістра.

Ракитянська Г.Б. Моделювання та оптимізація швидкодії та алгоритмічної надійності надлишкових АЦП порозрядного врівноваження. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи. - Вінницький державний технічний університет, Вінниця, 1998р.

Дисертацію присвячено питанням оптимізаційного проектування АЦП на основі надлишкових систем числення. В дисертації запропоновані принципи оптимізації швидкодії та алгоритмічної надійності АЦП на основі динамічного програмування та поліпшувальних підстановок. Розроблені математичні моделі та алгоритми оптимізації тривалості циклу АЦП та швидкості зміни вхідного сигналу, що компенсується; математичні моделі та алгоритми оптимізації ймовірності перетворення з допустимою похибкою і часу перетворення з урахуванням реалізаційних витрат. Запропоновано методику та програмне забезпечення оптимізаційного проектування АЦП. Проведені дослідження дозволили вирішити задачу раціонального використання інформаційної надлишковості в АЦП порозрядного врівноваження.

Ключові слова: алгоритмічна надійність, аналого-цифровий перетворювач, надлишкові системи числення.

Ракитянская А.Б. Моделирование и оптимизация быстродействия и алгоритмической надежности избыточных АЦП поразрядного уравнивания. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 - математическое моделирование и вычислительные методы - Винницкий государственный технический университет, Винница, 1998г

Диссертация посвящена вопросам оптимизационного проектирования АЦП на основе избыточных систем счисления. В диссертации предложены принципы оптимизации быстродействия и алгоритмической надежности АЦП на основе динамического программирования и улучшающих подстановок. Разработаны математические модели и алгоритмы оптимизации длительности цикла АЦП и компенсируемой скорости изменения входного сигнала; математические модели и алгоритмы оптимизации вероятности преобразования с допустимой погрешностью и времени преобразования с учетом реализационных затрат. Предложены методика и программное обеспечение оптимизационного проектирования АЦП. Проведенные исследования позволили решить задачу рационального использования информационной избыточности в АЦП поразрядного уравнивания.

Ключевые слова: алгоритмическая надежность, аналого-цифровой преобразователь, избыточные системы счисления.

Raketyanskaya A.B. Modeling and optimization of the successive coding redundant ADC quick-action and algorithmic reliability. - Manuscript.

Thesis on competition of scientific degree of the candidat of engineering science on the speciality 01.05.02 - mathematical modeling and computational methods. - Vinnitsa State Technical University, Vinnitsa, 1998.

The dissertation is devoted to the problems of ADC based on redundant number systems optimum design. The principles of quick-action and algorithmic reliability optimization based on dynamic programming and improving substitutions have been suggested in the dissertation. The mathematical models and optimization algorithms of cycle duration and compensated input signal change rate; mathematical models and optimization algorithms of conversion with admissible error probability and conversion time considering production costs are worked out. The methods and computer program for ADC optimum design have been suggested. The performed research enabled to solve the problem of information redundancy rational use in successive coding ADC.

Key words algorithmic reliability, analog-to-digital convertor, redundant number system.