где $П$ - объем памяти без применения алгоритмов сжатия;

$П_{сж}$ - объем памяти с применением алгоритмов сжатия.

Оптимальная длина обрабатываемого слова определялась для максимума $K_{сж}$ при изображении, имеющем наименьшее $K_{сж}$ для каждого алгоритма.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Алгоритм исключения "пустых" слов можно рекомендовать в случае изображений, имеющих небольшое количество значащих слов) блок-схемы, поверхности, графики с текстами). Для них достигается экономия памяти в 3-5 раз. В случае сложных изображений этот алгоритм преимуществ не дает.

2. Процедура предсказания, инвариантного к контурам двух направлений, является наиболее универсальной и эффективна как для мелкоструктурных изображений типа голограмм ($K_{сж}$ от 1,83 до 2,05), так и для более простых изображений ($K_{сж}$ от 3,25 до 7,17)

3. Оптимальная длина обрабатываемого слова для процедуры предсказания, инвариантной к контурам двух направлений, составляет 4 бита. В этом случае обеспечивается максимум $K_{сж}$ для наиболее сложных изображений.

4. Оптимальная длина обрабатываемого слова для процедуры исключения "пустых" слов составляет 8 бит.

Полученные результаты использованы при аппаратурной реализации телевизионных терминалов с позиционным кодированием отображаемой информации.

УДК 621.372.542

В.П.Сабило, А.Ю.Семеной

ФИЛЬТРАЦИЯ ОДИНОЧНЫХ СБОЕВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Спецификой различных систем передачи и обработки измерительной информации является наличие в них искажений передаваемых и обрабатываемых сигналов. Наибольшие погрешности привносятся аномальными ошибками, называемыми импульсными помехами или сбоями. Фильтрация таких ошибок играет важную роль в повышении достоверности и точности результатов обработки измерительной информации.

В работе рассматривается фильтрация одиночных сбоев полезного сигнала q, заданного в цифровой форме совокупностью своих i -тых отсчетов. Искаженному независимой импульсной помехой(сбоем) i_S -му отсчету сигнала q предшествует достоверный начальный отсчет $i_{qн}$. Он должен обладать признаком достоверности. Следующий за искаженным конечный достоверный отсчет $i_{qк}$ таким признаком может и не обладать. Отсчеты $i_{qн}, i_S, i_{qк}$ и $i_{qк}+1$ образуют участок фильтрации алгоритма.

Результирующее значение искаженного отсчета S может с вероятностью P_k занять любой из уровней k шкалы изменения сигнала q :

$$P(S=k)=P_k; \quad k\in[0,K],$$

где K - число уровней квантования шкалы сигнала q.

Всего исследуется эффективность фильтрации сбоев пяти алгоритмов, два из которых описаны в работе [I], а остальные представляют собой их модификации.

Для первого алгоритма признаком недостоверности i -го отсчета является превышение модулем разности i -го и $i-1$ отсчетов порога фильтрации $\Delta_ф$, т.е. выполнения условия $|\Delta_{i,i-1}|>\Delta_ф$.

Во втором алгоритме i -ый отсчет считается недостоверным, если как $|\Delta_{i,i-1}|$, так и $|\Delta_{i+1,i}|$ превысят $\Delta_ф$. Если же $|\Delta_{i+1,i}|\leqslant\Delta_ф$, то i -ый отсчет признается достоверным, несмотря на выполнение $|\Delta_{i,i-1}|>\Delta_ф$.

В третьем алгоритме, являющемся первой модификацией второго алгоритма для признания i -го отсчета достоверным при условии $|\Delta_{i,i-1}|>\Delta_ф$ требуется непревышение $|\Delta_{i+1,i}|$ и $|\Delta_{i+2,i}|$ порога фильтрации $\Delta_ф$. Если же $|\Delta_{i+2,i}|>\Delta_ф$ при условии $|\Delta_{i+1,i}|\leqslant\Delta_ф$, то как i -ый, так и $i+1$ -ый отсчеты признаются недостоверными.

Для четвертого алгоритма, представляющего собой вторую модификацию второго алгоритма, условием достоверности i -го отсчета при $|\Delta_{i,i-1}|>\Delta_ф$ является непревышение $|\Delta_{i+1,i}|$ и $|\Delta_{i+2,i+1}|$ порога фильтрации $\Delta_ф$. Если же $|\Delta_{i+2,i+1}|>\Delta_ф$ при условии $|\Delta_{i+1,i}|\leqslant\Delta_ф$, то как i -ый, так $i+1$ -ый отсчеты признаются недостоверными.

В пятом алгоритме, являющемся модификацией первого, при $|\Delta_{i,i-1}|>\Delta_ф$ недостоверными признаются как $i-1$ -ый, так и

i -ый отсчеты. Второй особенностью этого алгоритма является то, что в нем анализ разностей осуществляется в следующем порядке: ... $i-2$, $i-3$; i, $i-1$; $i+2$, $i+1$;... и т.д. Для I, 2, 3 и 4-го алгоритмов анализ разностей производится в другом порядке: ... $i-1$, $i-2$; i, $i-1$, $i+1$, i,... и т.д.

В качестве критерия эффективности алгоритмов используется полная вероятность:

$$Э = \sum^{M} P_m P_m \left(|\Delta(n_1)| \leqslant \Delta_g ; \quad |\Delta(n_2)| \leqslant \Delta_g \right), \qquad (I)$$
$$n_1 \in [0, N_1] \quad n_2 \in [0,1]$$

где n_1 - число отфильтрованных отсчетов, получивших признак недостоверности и подлежащих восстановлению заданной приближающей функцией;

$\Delta(n_1)$ - погрешность восстановления отфильтрованных отсчетов;

n_2 - число искаженных сбоем отсчетов, получивших признак достоверности;

$\Delta(n_2)$ - погрешность приближения искаженных отсчетов с признаком достоверности полезным сигналом q ;

Δ_g - допустимая погрешность приближения;

M - число событий, соответствующих совокупности различных сочетаний n_1 и n_2. Должно образовывать полную группу событий;

P_m - вероятность появления одного из вышеупомянутых событий;

$P_m(|\Delta(n_1)| \leqslant \Delta_g;$ $|\Delta(n_2)| \leqslant \Delta_g)$ - вероятность непревышения допустимой погрешности в таком событии (условная вероятность).

Для восстановления отфильтрованных отсчетов в работе используются две приближающие функции: степенные полиномы нулевой и первой степеней. В случае использования полинома нулевой степени осуществлялась экстраполяция значений отфильтрованных отсчетов по значению предшествующего отсчета, получившего признак достоверности. Для полинома первой степени производилась интерполяция отфильтрованных отсчетов по значениям ограничивающих их отсчетов с признаком достоверности.

В качестве примера рассмотрим получение расчетных зависимостей эффективности для первого алгоритма, полагая при этом, что восстановление значений отфильтрованных отсчетов осуществляется полиномом нулевой степени.

Для первого алгоритма число M в полной группе событий равно четырем:

I. $m=1$, $|S-q(i_{gн})|>\Delta_\varphi$, $|q(i_{gк})-S|>\Delta_\varphi$, $i_S, i_{gк}$ – отсчеты недостоверные.

$$P_1 = P(|S-q(i_{gн})|>\Delta_\varphi)P(|q(i_{gк})-S|\Delta_\varphi/|S-q(i_{gн})|>\Delta_\varphi)=1-\sum^{D_1} P_k,$$

где $D_1 \in [[q(i_{gн})\pm\Delta_\varphi] V [q(i_{gк})\pm\Delta_\varphi]]$.

Значение приближающей функции равно $q(i_{gн})$, отсюда $P_{1(0)}=0$, если выполняется хотя бы одно из неравенств

$$|q(i_S)-q(i_{gн})|>\Delta_g,$$

$$|q(i_{gк})-q(i_{gн})|>\Delta_g,$$

где $q(i_S)$ – значение i_S -го отсчета полезного сигнала q. В противном случае $P_{1(0)}=1$.

Здесь $P_{1(0)}$ есть вероятность непревышения погрешностью приближения своего допустимого значения при использовании полинома нулевой степени (нижний индекс в скобках).

2. $m=2$, $|S-q(i_{gн})|>\Delta_\varphi$, $|q(i_{gк})-S|\leq\Delta_\varphi$, i_S – недостоверный отсчет, $i_{gк}$ – достоверный отсчет.

$$P_2=P(|S-q(i_{gн})|>\Delta_\varphi P(|q(i_{gк})-S|\leq\Delta_\varphi/|S-q(i_{gн})|>\Delta_\varphi)=\sum^{D_2} P_k, \quad (4)$$

где $D_2 \in [[K-[q(i_{gн})\pm\Delta_\varphi]] \Lambda [q(i_{gк})\pm\Delta_\varphi]]$.

$$P_{2(0)}=0 \quad при \ |q(i_S)-q(i_{gн})|>\Delta_g.$$
$$P_{2(0)}=1 \quad при \ |q(i_S)-q(i_{gн})|\leq\Delta_g. \quad (5)$$

3. $m=3$, $|S-q(i_{gн})|\leq\Delta_\varphi$, $|q(i_{gк})-S|>\Delta_g$, i_S – достоверный отсчет, $i_{gк}$ – недостоверный отсчет. Выражение для вычисления P_3 запишется

$$P_3=\sum^{D_3} P_k,$$

где $D_3 \in [[q(i_{gн})\pm\Delta_\varphi] \Lambda [K-[q(i_{gк})\pm\Delta_\varphi]]$. (6)

Значение приближающей функции равно S. Погрешности приближения определятся так:

$$\Delta(n_1)=q(i_{gк})-S;$$

$$\Delta(n_2)=S-q(i_S).$$

$P_{3(0)}$ представляет собой произведение вероятности непревышения $|\Delta(n_2)|$ значения Δ_g при условии наступления события $m = 3$ на вероятность непревышения $|\Delta(n_1)|$ значения Δ_g при условии наступления события $m = 3$ и выполнения $|\Delta(n_2)|\leqslant\Delta_g$. Следовательно, можно записать:

$$P_{3(0)}=P(|S-q(i_S)|\leqslant\Delta_g/m=3)P(|q(i_{gк})-S|\leqslant\Delta_g/m=3,|S-q(i_S)|\leqslant\Delta_g).$$

После ряда преобразований получаем:

$$P_{3(0)}=\sum^{D_{3(0)}}P_k\Big/\sum^{D_3}P_k,$$

где $D_{3(0)}\in[D_3\land[q(i_S)\pm\Delta_g]\land[q(i_{gк})\pm\Delta_g]].$ (7)

Отсюда третья составляющая эффективности

$$P_{m=3}=\sum^{D_{3(0)}}P_k,$$

где $D_{3(0)}$ определится по (7).

4. $m=4$, $|S-q(i_{gн})|\leqslant\Delta_\varphi$, $|q(i_{gк})-S|\leqslant\Delta_\varphi$, i_S, $i_{gк}$ – достоверные отсчеты.

$$P_4=\sum^{D_4}P_k,$$

где $D_4\in[[q(i_{gн})\pm\Delta_\varphi]\land[q(i_{gк})\pm\Delta_\varphi]]$;

$$P_{4(0)}=P(|S-q/i_S)|\leqslant\Delta_g/m=4=\sum^{D_{4(0)}}P_k\Big/\sum^{D_4}P_k,$$

где $D_{4(0)}\in[D_4\land[q(i_S)\pm\Delta_g]]$; (8)

$$P_{m=4}=\sum^{D_{4(0)}}P_k.$$

Суммарная эффективность для случая, когда вероятности событий не равны 0 и выполняются условия (3) и (5), запишется в виде:

$$Э=1-\sum^{D_1}P_k+\sum^{D_2}P_k+\sum^{D_{3(0)}}P_k+\sum^{D_{4(0)}}P_k,$$

где D_1, D_2, $D_{3(0)}$ и $D_{4(0)}$ определятся по выражениям (2), (4), (7) и (8), соответственно.

Анализируя решающие правила приведенных выше алгоритмов, нетрудно заметить, что работа их без ложных срабатываний обеспечивается при непревышении модулем первой разности Δ_φ для I, 2, 4, 5 алгоритмов и $\frac{1}{2}\Delta_\varphi$ для 3-го. Кроме этого, из условия отсутствия дополнительной погрешности при восстановлении отфильтрованных отсчетов требуется, чтобы моменты появления сбоев были разделены, как минимум, двумя достоверными отсчетами для I, 2, 4-го алгоритмов и тремя отсчетами для 3-го и 5-го.

На знаки первых разностей на участке фильтрации ограничения не накладываются. Каждое сочетание знаков первых разностей на участке характеризует ℓ - ю комбинацию полезного сигнала q на нем. Изменение комбинаций сигнала приводит к вариации эффективности алгоритмов. Это обусловливает необходимость знания распределений комбинаций сигнала при вычислении эффективности, что не всегда возможно. Поэтому в работе рассмотрены минимаксные оценки эффективности.

Оценка снизу определяется как вероятность того, что при любых сочетаниях значений m и ℓ не произойдет превышения погрешностью приближения своего допустимого значения,

$$Э_{мин} = 1 - \sum_{m,\ell}^{D_{мин}} P_k ,$$

где $D_{мин} \in \left[\bigvee_{m,\ell} D(|\Delta(n)| > \Delta_q)\right]$ - определяет значения S, для которых хотя бы при одной паре значений m, ℓ происходит превышение Δ_q погрешностью приближения.

Оценка сверху представляет собой вероятность того, что хотя бы для одного сочетания значений m и ℓ не произойдет превышения погрешностью приближения своего допустимого значения:

$$Э_{макс} = \sum_{m,\ell}^{D_{макс}} P_k ,$$

где $D_{макс} \in \left[\bigvee_{m,\ell} D(|\Delta(n)| \leq \Delta_q)\right]$ - определяет значения S, для которых хотя бы при одной паре значений m, ℓ не произойдет превышение Δ_y погрешностью приближения.

Расчетные значения оценки эффективности снизу для K = 5II, $\Delta_\varphi = \Delta_y = 4$ и равномерного распределения значения S по уровням шкалы изменения сигнала q приведены в таблице. При этом полагалось, что сам сигнал q недоиспользовал всю шкалу, т.е. изменялся от Δ_q до $K-\Delta_q$ включительно.

Расчетные значения оценок эффективности

№ алгоритмов	Отношение порога фильтрации к приращению сигнала	Эффективность при использовании степенных приближающих функций	
		Нулевая степень	Первая степень
I	2	507 / 5II	507 / 5II
	I	4 / 5II	0
2	2	509 / 5II	509 / 5II
	I	503 / 5II	503 / 5II
3	2	509 / 5II	509 / 5II
4	2	509 / 5II	509 / 5II
	I	503 / 5II	503 / 5II
5	2	503 / 5II	503 / 5II
	1	4 / 5II	4 / 5II

Для постоянного сигнала, т.е. $\Delta_q = 0$, а также для случая $\Delta_\varphi = \frac{1}{2}\Delta_q = 4$ $Э_{мин} = Э_{макс} = 1$ для всех алгоритмов ограничения на шкалу изменения полезного сигнала в этом случае не накладывались.

Результаты анализа позволяют сделать вывод о более высокой эффективности второго алгоритма (с двойным подтверждением недостоверного отсчета) и четвертого алгоритма (с произвольной областью допустимых значений относительно недостоверного отсчета)по сравнению с остальными.

Сравнение первого и пятого алгоритмов указывает на предпочтительность последнего, так как он требует меньше времени для просмотра значений фильтруемого сигнала при приблизительно одинаковых оценках эффективности снизу.

Л и т е р а т у р а

I. I.E. Medlin. The computer-evaluation of wildpoint rejection for telemetry date compressors-Proc. Nat Telemetering conf. SEA, 1969, page 162-170.