

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5945520号
(P5945520)

(45) 発行日 平成28年7月5日(2016.7.5)

(24) 登録日 平成28年6月3日(2016.6.3)

(51) Int.Cl.		F I			
H03M	7/30	(2006.01)	H03M	7/30	Z
G08C	17/00	(2006.01)	G08C	17/00	Z
G08C	19/00	(2006.01)	G08C	19/00	301A

請求項の数 8 (全 43 頁)

(21) 出願番号	特願2013-105390 (P2013-105390)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成25年5月17日 (2013.5.17)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2014-229924 (P2014-229924A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成26年12月8日 (2014.12.8)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成27年7月31日 (2015.7.31)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(72) 発明者	白木 善史
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	鎌本 優
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧縮信号復元装置、圧縮信号復元方法、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

N c 個のセンサからの圧縮信号を復元する圧縮信号復元装置であって、
 インデクス i を 1 以上 N c 以下の整数とし、全てのセンサに共通の信号を信号 z c とし、
 第 i 番目のセンサが観測した信号の共通部分を共通信号 z c , i と表すものとし、第 i 番目のセンサが観測した信号のうち共通信号 z c , i を除いた残りの信号を信号 z d , i と表すものとし、

【数 6 7】

$$X_i = Z_{c,i} + Z_{d,i}$$

10

で表される第 i 番目のセンサの観測信号 x i を所定の観測行列 i により圧縮した信号 y i = i x i を入力とし、

e c , i を第 i 番目のセンサの補助共通信号とし、a c , i を補助共通信号 e c , i に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の振幅を表す係数とし、c , i を z c , i + 1 に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の位相を表す係数とし、を予め定められた基底行列とし、共通信号 z c の基底での表現 s c = - 1 z c が疎ではなく、信号 z d , i の基底での表現 s d , i = - 1 z d , i が全てのセンサのインデクス i に対して疎であるものとし、・ 2 をベクトルの各要素の二乗和である L 2 ノルムとし、・ 1 をベクトルの各要素の絶対値和である L 1 ノルムとし、をインデクス i の集合、すなわ

20

ち $= \{1, 2, \dots, N_c\}$ とし、 w_i を、予め定めた個別信号 $s_{d,i}$ に対する重みとし、 Ω を全称記号とし、 j を虚数単位、 DFT を離散フーリエ変換、 $IDFT$ を DFT の逆変換とし、記号 Λ を

【数 6 8】

$$\Lambda^\theta = [IDFT] \text{diag} \left[1, e^{\frac{2\pi j}{N}}, e^{\frac{4\pi j}{N}}, \dots, e^{\frac{2\pi(N-1)j}{N}} \right]^\theta [DFT]$$

と定義し、

【数 6 9】

$$\begin{aligned} x_i &= z_{c,i} + z_{d,i}, & \forall i \in \Omega \\ z_{c,i} &= a_{c,i} e_{c,i}, & \forall i \in \{1, 2, \dots, N_c - 1\} = \Omega^- \\ e_{c,i} &= \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}, & \forall i \in \Omega^- \\ z_{d,i} &= \Phi s_{d,i}, & \forall i \in \Omega \end{aligned}$$

10

の制約条件のもとで、

【数 7 0】

$$\min_{x_i, s_{d,i}, i \in \Omega} \frac{1}{2} \sum_i \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 + \sum_i w_i \|s_{d,i}\|_1$$

20

が最小となる観測信号 x_i を求め、元の信号の復号信号として出力する復号部を含む圧縮信号復元装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の圧縮信号復元装置であって、

$\mu_{c,i}, \mu_{c,i}, \mu_{d,i}$ をそれぞれ前記制約条件に対する未定乗数であるものとし、 $\mu_{c,i}, \mu_{d,i}$ を、最小化問題を解く際の収束速度を調整するための重みとし、 T を行列またはベクトルの転置を表すものとし、

前記復号部は、

30

【数 7 1】

$$\begin{aligned}
H = & \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T (x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \nu_{c,i}^T (e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|z_{d,i} - \Phi s_{d,i}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} w_i \|s_{d,i}\|_1
\end{aligned}$$

で表される目的関数 H を、信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, \mu_{c,i}, \nu_{c,i}, \xi_{d,i}$ のそれぞれについて最小化することにより、信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, \mu_{c,i}, \nu_{c,i}, \xi_{d,i}$ を推定する信号推定部と、

前記推定された信号および係数に基づいて、前記未定乗数 $\lambda_i, \mu_{c,i}, \nu_{c,i}, \xi_{d,i}$ を更新する乗数更新部と、

所定の条件を充たすまで、前記信号推定部と、前記乗数更新部の処理を繰り返し制御する終了判定部と、

を含む圧縮信号復元装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の圧縮信号復元装置であって、

* をエルミート転置行列を表す記号とし、 I を大きさ N の単位行列とし

前記信号推定部が、

【数 7 2】

$$x_i = \{\Psi_i^* \Psi_i + \alpha I\}^{-1} \{\Psi_i^* y_i - \lambda_i + \alpha(z_{c,i} + z_{d,i})\}$$

により信号 x_i を求める全体信号推定部と、

$i = 1$ について、

【数 7 3】

$$z_{c,i} = \{(\alpha + \beta)I\}^{-1} \{\lambda_i + \alpha(x_i - z_{d,i}) - \mu_{c,i} + \beta a_{c,i} e_{c,i}\}$$

$i = 2, 3, \dots, N_c - 1$ について、

【数74】

$$z_{c,i} = \left\{ (\alpha + \beta + \gamma) \mathbf{I} \right\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(x_i - z_{d,i}) - \mu_{c,i} \right. \\ \left. + \beta \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i} + \Lambda^{\theta_{c,i-1}*} \mathbf{v}_{c,i-1} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i-1}} \mathbf{e}_{c,i-1} \right\}$$

i = Nc について、

【数75】

$$z_{c,i} = \left\{ (\alpha + \gamma) \mathbf{I} \right\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(x_i - z_{d,i}) \right. \\ \left. + \Lambda^{\theta_{c,i-1}*} \mathbf{v}_{c,i-1} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i-1}*} \mathbf{e}_{c,i-1} \right\}$$

10

により、信号 $z_{c,i}$ を求め、

i = 1, 2, ..., Nc について、

【数76】

$$z_{d,i} = \left\{ (\alpha + \sigma) \mathbf{I} \right\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(x_i - z_{c,i}) - \xi_{d,i} + \sigma \right\}$$

20

により信号 $z_{d,i}$ を求める要素信号推定部と、

i = 1, 2, ..., Nc - 1 について、

【数77】

$$\mathbf{e}_{c,i} = \left\{ \beta \mathbf{a}_{c,i}^2 + \gamma \mathbf{I} \right\}^{-1} \left\{ \mathbf{a}_{c,i} \mu_{c,i} + \beta \mathbf{a}_{c,i} z_{c,i} - \mathbf{v}_{c,i} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1} \right\}$$

30

により信号 $\mathbf{e}_{c,i}$ を求める共通信号推定部と、sgn を要素ごとの符号を出力する関数とし、 \circ を要素ごとの掛け算を表す記号とし、

max { | · |, 0 } は要素ごとに計算されるものとし、

i = 1, 2, ..., Nc について、

【数78】

$$s_{d,i} = \text{sgn} \left(z_{d,i} + \frac{\xi_{d,i}}{\sigma} \right) \circ \max \left\{ \left| z_{d,i} + \frac{\xi_{d,i}}{\sigma} \right| - \frac{w_i}{\sigma}, 0 \right\}$$

40

により信号 $s_{d,i}$ を求める個別信号推定部と、

i = 1, 2, ..., Nc - 1 について、

【数79】

$$\mathbf{a}_{c,i} = \frac{\mu_{c,i}^T z_{c,i} + \|z_{c,i}\|_2^2}{\|\mathbf{e}_{c,i}\|_2^2}$$

50

により係数 $a_{c,i}$ を求め、

【数 8 0】

$$\left\{ \mathbf{v}_{c,i}^T \left(\mathbf{e}_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1} \right) + \frac{\gamma}{2} \left\| \mathbf{e}_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1} \right\|_2^2 \right\}$$

を $a_{c,i}$ について最小化することにより係数 $a_{c,i}$ を求める振幅位相推定部と、を含む圧縮信号復元装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の圧縮信号復元装置であって、

$\lambda_i, \mu_{c,i}, \xi_{d,i}$ をそれぞれ前記制約条件に対する未定乗数であるものとし、 α, β, σ を、最小化問題を解く際の収束速度を調整するための重みとし、 \mathbf{T} を行列またはベクトルの転置を表すものとし、

前記復号部は、

【数 8 1】

$$J = \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \left\| \mathbf{y}_i - \Psi_i \mathbf{x}_i \right\|_2^2$$

$$+ \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T \left(\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i}) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| \mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i}) \right\|_2^2 \right\}$$

$$+ \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \mu_{c,i}^T \left(\mathbf{z}_{c,i} - \mathbf{z}_{c,i+1} \right) + \frac{\beta}{2} \left\| \mathbf{z}_{c,i} - \mathbf{z}_{c,i+1} \right\|_2^2 \right\}$$

$$+ \sum_{i \in \Omega} \left\{ \xi_{d,i}^T \left(\mathbf{z}_{d,i} - \Phi \mathbf{s}_{d,i} \right) + \frac{\sigma}{2} \left\| \mathbf{z}_{d,i} - \Phi \mathbf{s}_{d,i} \right\|_2^2 \right\}$$

$$+ \sum_{i \in \Omega} w_i \left\| \mathbf{s}_{d,i} \right\|_1$$

で表される目的関数 J を、信号および係数 $\mathbf{x}_i, \mathbf{z}_{c,i}, \mathbf{z}_{d,i}, \mathbf{s}_{d,i}$ のそれぞれについて最小化することにより、信号および係数 $\mathbf{x}_i, \mathbf{z}_{c,i}, \mathbf{z}_{d,i}, \mathbf{s}_{d,i}$ を推定する信号推定部と、

前記推定された信号および係数に基づいて、前記未定乗数 $\lambda_i, \mu_{c,i}, \xi_{d,i}$ を更新する乗数更新部と、

所定の条件を充たすまで、前記信号推定部と、前記乗数更新部の処理を繰り返し制御する終了判定部と、

を含む圧縮信号復元装置。

【請求項 5】

N_c 個のセンサからの圧縮信号を復元する圧縮信号復元装置であって、

インデクス i を 1 以上 N_c 以下の整数とし、全てのセンサに共通の信号を信号 \mathbf{z}_c とし、第 i 番目のセンサが観測した信号の共通部分を共通信号 $\mathbf{z}_{c,i}$ と表すものとし、第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号を $\mathbf{z}_{c,i,k}$ と表すものとし、第 i 番目のセンサが観測した信号のうち共通信号 $\mathbf{z}_{c,i}$ を除いた残りの信号を信号 $\mathbf{z}_{d,i}$ と表すもの

10

20

30

40

50

とし、 N_s を共通信号の総数とし、 Ω_s を共通信号のインデックスの集合、すなわち $\Omega_s = \{1, 2, \dots, N_s\}$ とし、 $j = 1, 2, \dots, N_s$ とし、 j を虚数単位、DFT を離散フーリエ変換、IDFT を DFT の逆変換とし、記号 Λ^θ を

【数 8 2】

$$\Lambda^\theta = [IDFT] \text{diag} \left[1, e^{\frac{2\pi j}{N}}, e^{\frac{4\pi j}{N}}, \dots, e^{\frac{2\pi(N-1)j}{N}} \right]^\theta [DFT]$$

と定義し、

【数 8 3】

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i &= \sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \\ &= \sum_{k \in \Omega_s} a_{ik} \Lambda^{\theta_{ik}} z_{c,k} + z_{d,i} \end{aligned}$$

で表される第 i 番目のセンサの観測信号 \mathbf{x}_i を所定の観測行列 \mathbf{A}_i により圧縮した信号 $\mathbf{y}_i = \mathbf{A}_i \mathbf{x}_i$ を入力とし、 a_{ik} を共通信号 $z_{c,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の振幅を表す実数のスカラー量である係数とし、 $\mu_{c,i,k}$ を $z_{c,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の位相を表す実数のスカラー量である係数とし、 $\mu_{c,i,k}$, $\mu_{d,i}$ をそれぞれ前記制約条件に対する未定乗数であるものとし、 λ , μ , ν を、最小化問題を解く際の収束速度を調整するための重みとし、 \mathbf{T} は行列またはベクトルの転置を表すものとし、

$e_{c,i,k}$ を第 i 番目のセンサにおける k 番目の補助共通信号とし、 $a_{c,i,k}$ を補助共通信号 $e_{c,i,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の振幅を表す係数とし、 $\mu_{c,i,k}$ を $z_{c,i+1,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の位相を表す係数とし、 \mathbf{A}_i を予め定められた基底行列とし、共通信号 z_c の基底 \mathbf{B}_c での表現 $\mathbf{s}_c = \mathbf{B}_c^{-1} z_c$ が疎ではなく、信号 $z_{d,i}$ の基底 \mathbf{B}_d での表現 $\mathbf{s}_{d,i} = \mathbf{B}_d^{-1} z_{d,i}$ が全てのセンサのインデクス i に対して疎であるものとし、 $\|\cdot\|_2$ をベクトルの各要素の二乗和である L_2 ノルムとし、 $\|\cdot\|_1$ をベクトルの各要素の絶対値和である L_1 ノルムとし、 \mathcal{I} をセンサのインデクス i の集合、すなわち $\mathcal{I} = \{1, 2, \dots, N_c\}$ とし、 \mathcal{I}^c を N_c を除くインデクス i の集合、すなわち $\mathcal{I}^c = \{1, 2, \dots, N_c - 1\}$ とし、 w_i を予め定めた個別信号 $s_{d,i}$ に対する重みとし、

10

20

30

【数 8 4】

$$\begin{aligned}
H_2 = & \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T \left(x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} \sum_{k \in \Omega_s} \left\{ \mu_{c,i,k}^T (z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} \sum_{k \in \Omega_s} \left\{ \nu_{c,i,k}^T (e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|z_{d,i} - \Phi s_{d,i}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} w_i \|s_{d,i}\|_1
\end{aligned} \tag{10}$$

10

20

で表される目的関数 H_2 を、信号および係数 $x_i, z_{c,i,k}, z_{d,i}, s_{d,i}$ のそれぞれについて最小化することにより、元の信号の復号信号として出力する復号部を含む圧縮信号復元装置。

【請求項 6】

N_c 個のセンサからの圧縮信号を復元する圧縮信号復元方法であって、

インデクス i を 1 以上 N_c 以下の整数とし、全てのセンサに共通の信号を信号 z_c とし、第 i 番目のセンサが観測した信号の共通部分を共通信号 $z_{c,i}$ と表すものとし、第 i 番目のセンサが観測した信号のうち共通信号 $z_{c,i}$ を除いた残りの信号を信号 $z_{d,i}$ と表すものとし、

30

【数 8 5】

$$x_i = z_{c,i} + z_{d,i}$$

で表される第 i 番目のセンサの観測信号 x_i を所定の観測行列 Ψ_i により圧縮した信号 $y_i = \Psi_i x_i$ を入力とし、

$e_{c,i}$ を第 i 番目のセンサの補助共通信号とし、 $a_{c,i}$ を補助共通信号 $e_{c,i}$ に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の振幅を表す係数とし、 $\Lambda^{\theta_{c,i}}$ を $z_{c,i+1}$ に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の位相を表す係数とし、 Φ を予め定められた基底行列とし、共通信号 z_c の基底 Φ での表現 $s_c = \Phi^{-1} z_c$ が疎ではなく、信号 $z_{d,i}$ の基底 Φ での表現 $s_{d,i} = \Phi^{-1} z_{d,i}$ が全てのセンサのインデクス i に対して疎であるものとし、 $\|\cdot\|_2$ をベクトルの各要素の二乗和である L_2 ノルムとし、 $\|\cdot\|_1$ をベクトルの各要素の絶対値和である L_1 ノルムとし、 Ω をインデクス i の集合、すなわち $\Omega = \{1, 2, \dots, N_c\}$ とし、 w_i を、予め定めた個別信号 $s_{d,i}$ に対する重みとし、 Φ を全称記号とし、 j を虚数単位、 DFT を離散フーリエ変換、 $IDFT$ を DFT の逆変換とし、記号 Ψ_i を

40

【数 8 6】

$$\Lambda^\theta = [IDFT] \text{diag} \left[1, e^{\frac{2\pi}{N}j}, e^{\frac{4\pi}{N}j}, \dots, e^{\frac{2\pi(N-1)}{N}j} \right]^\theta [DFT]$$

と定義し、

【数 8 7】

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i &= \mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i}, & \forall i \in \Omega \\ \mathbf{z}_{c,i} &= \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i}, & \forall i \in \{1, 2, \dots, N_c - 1\} = \Omega^- \\ \mathbf{e}_{c,i} &= \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1}, & \forall i \in \Omega^- \\ \mathbf{z}_{d,i} &= \Phi \mathbf{s}_{d,i}, & \forall i \in \Omega \end{aligned} \quad 10$$

の制約条件のもとで、

【数 8 8】

$$\min_{\mathbf{x}_i, \mathbf{s}_{d,i}, i \in \Omega} \frac{1}{2} \sum_i \|\mathbf{y}_i - \Psi_i \mathbf{x}_i\|_2^2 + \sum_i w_i \|\mathbf{s}_{d,i}\|_1 \quad 20$$

が最小となる観測信号 \mathbf{x}_i を求め、元の信号の復号信号として出力する復号ステップを含む圧縮信号復元方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の圧縮信号復元方法であって、

$\mu_{c,i}, \mu_{c,i}, \mu_{d,i}$ をそれぞれ前記制約条件に対する未定乗数であるものとし、 $\mu_{c,i}, \mu_{d,i}$ を、最小化問題を解く際の収束速度を調整するための重みとし、 \mathbf{T} を行列またはベクトルの転置を表すものとし、前記復号ステップは、

30

【数 8 9】

$$\begin{aligned}
H = & \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T (x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \nu_{c,i}^T (e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|z_{d,i} - \Phi s_{d,i}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} w_i \|s_{d,i}\|_1
\end{aligned}$$

で表される目的関数 H を、信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, c_{c,i}$ のそれぞれについて最小化することにより、信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, c_{c,i}$ を推定する信号推定サブステップと、

前記推定された信号および係数に基づいて、前記未定乗数 $\lambda_i, \mu_{c,i}, \nu_{c,i}, \xi_{d,i}$ を更新する乗数更新サブステップと、

所定の条件を充たすまで、前記信号推定サブステップと、前記乗数更新サブステップの処理を繰り返し制御する終了判定サブステップと、を含む圧縮信号復元方法。

【請求項 8】

請求項 6 又は 7 に記載の圧縮信号復元方法を実行すべき指令をコンピュータに対してするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は時系列信号およびその他の信号を保存或いは伝達するための符号化および復号化に関し、特に圧縮信号を復元する圧縮信号復元装置、圧縮信号復元方法、プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

多数のセンサを無線ネットワークで接続したセンサネットワークでは、各センサで取得したデータの送受信が頻繁に行われる。センサは処理能力が低く、外部電源からの電力供給が得られないようなものが用いられることも多いので、センサの省電力化のために、センサが送信する情報量を削減すること、およびセンサ自身で行う演算量を低減する手法が重要とされている。

【0003】

10

20

30

40

50

その一つが、圧縮センシングという手法である。これは、用途が同じであり地理的に近接したセンサが計測した結果は類似性が高いことを利用して、各センサの情報を、他のセンサと共通する情報とそれ以外の情報とで表すことにより、情報量を圧縮するものである。非特許文献1では、単一センサの圧縮センシングの方法が提案されている。ここでは、送信装置は、測定の対象となる標本数Nの信号xを、M×Nの観測行列を用いて線形変換することにより、xの次元に比して少ない次元Mの情報y = Axに圧縮し、送信する。受信装置は、元の信号xの基底での表現s = A⁻¹xの非0要素が非常に少ない(以下、「疎である」と表現)という仮定のもとに復元を行うことで、元の信号xと厳密に等しい信号を復号しようとするものである。

【0004】

10

また、多数のセンサからなる無線ネットワーク上で圧縮センシングを行う方法として、非特許文献2では、各第i番目のセンサの観測信号x_iが

【0005】

【数1】

$$x_i = z_{c,i} + z_{d,i} \quad \dots(1)$$

【0006】

で表される信号の圧縮センシングが提案されている。ここで、

【0007】

【数2】

20

$$z_{c,i} = a_i \Lambda^{\theta_i} z_c \quad \dots(2)$$

【0008】

である。a_iは第i番目のセンサの観測信号の振幅、θ_iは第i番目のセンサの観測信号の位相を表す係数であり、z_cは全てのチャンネル間の共通信号である。また、

【0009】

【数3】

$$\Lambda^{\theta} = [IDFT] \text{diag} \left[1, e^{\frac{2\pi j}{N}}, e^{\frac{4\pi j}{N}}, \dots, e^{\frac{2\pi(N-1)j}{N}} \right]^{\theta} [DFT]$$

30

...(3)

【0010】

であり、jは虚数単位(j² = -1)であり、DFTは離散フーリエ変換、IDFTはDFTの逆変換である。つまり、このモデルは、各センサが観測した信号の共通部分z_cが群遅延および全体の振幅の減衰があるが形状が同じである信号z_{c,i}であるようなモデルである。

【0011】

非特許文献2では、(1)x_iを推定し、(2)推定したx_iと観測信号を用いて振幅a_iと位相θ_iを推定し、(3)推定した振幅a_iと位相θ_iを用いて共通信号z_{c,i}を推定し、(4)推定した共通信号と観測信号を用いて残りの信号z_{d,i}を推定する、という順で各信号を求めていく。(1)~(4)の最適化では、それぞれ個別の最適化の式に従って最適化を行う。

40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0012】

【非特許文献1】E. Hale, W. Yin, and Y. Zhang, "Fixed-point continuation for ℓ_1 -minimization: Methodology and convergence," SIAM Journal on Optimization, vol. 19, no. 3, pp. 1107-1130, 2008.

50

【非特許文献2】白木善史、鎌本優、守谷健弘、「減衰および遅延のある共通要素を持った多チャンネル信号の復元」、電子情報通信学会大会講演論文集、電子情報通信学会、平成24年8月28日、第2012巻、p.62

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

非特許文献1は、単一センサのための圧縮センシングの方法であるため、多数のセンサからなるセンサネットワークにそのまま適用することができない。

【0014】

非特許文献2によれば、多数のセンサの圧縮センシングを行うことができるが、必ずしも元の信号 x_i と厳密に一致する信号 x_i を復号できないという問題がある。これは非特許文献2の方法では各信号の推定を、既に推定した他の信号の推定結果を用いて最適化するため、先に推定した信号の推定精度が低いと、残りの信号の推定精度にも影響することによる。加えて、スパース項 $z_{d,i}$ の推定は共通信号を求めた後に行っていたため式(1)で得られた推定結果が元の観測信号に最小二乗の意味で最適である保証はなかった。そこで、本発明では、元の信号を従来よりも精度良く復元することが出来る圧縮信号復元装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の圧縮信号復元装置は、 N_c 個のセンサからの圧縮信号を復元する圧縮信号復元装置であって、復号部を含む。

20

【0016】

復号部は、インデクス i を1以上 N_c 以下の整数とし、全てのセンサに共通の信号を信号 z_c とし、第 i 番目のセンサが観測した信号の共通部分を共通信号 $z_{c,i}$ と表すものとし、第 i 番目のセンサが観測した信号のうち共通信号 $z_{c,i}$ を除いた残りの信号を信号 $z_{d,i}$ と表すものとし、

【0017】

【数4】

$$X_i = Z_{c,i} + Z_{d,i}$$

30

【0018】

で表される第 i 番目のセンサの観測信号 x_i を所定の観測行列 \mathbf{A}_i により圧縮した信号 $y_i = \mathbf{A}_i x_i$ を入力とし、 $e_{c,i}$ を第 i 番目のセンサの補助共通信号とし、 $a_{c,i}$ を補助共通信号 $e_{c,i}$ に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の振幅を表す係数とし、 $\phi_{c,i}$ を $z_{c,i+1}$ に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の位相を表す係数とし、 \mathbf{A}_c を予め定められた基底行列とし、共通信号 z_c の基底 \mathbf{A}_c^{-1} での表現 $s_c = \mathbf{A}_c^{-1} z_c$ が疎ではなく、信号 $z_{d,i}$ の基底 \mathbf{A}_d での表現 $s_{d,i} = \mathbf{A}_d^{-1} z_{d,i}$ が全てのセンサのインデクス i に対して疎であるものとし、 $\|\mathbf{s}_{d,i}\|_2$ をベクトルの各要素の二乗和である L_2 ノルムとし、 $\|\mathbf{s}_{d,i}\|_1$ をベクトルの各要素の絶対値和である L_1 ノルムとし、 \mathbf{A}_i をインデクス i の集合、すなわち $\mathbf{A}_i = \{1, 2, \dots, N_c\}$ とし、 w_i を、予め定めた個別信号 $s_{d,i}$ に対する重みとし、 \mathbf{W} を全称記号とし、 j を虚数単位、 DFT を離散フーリエ変換、 $IDFT$ を DFT の逆変換とし、記号 Λ を

40

【0019】

【数5】

$$\Lambda^\theta = [IDFT] \text{diag} \left[1, e^{\frac{2\pi j}{N}}, e^{\frac{4\pi j}{N}}, \dots, e^{\frac{2\pi(N-1)j}{N}} \right]^\theta [DFT]$$

【0020】

と定義し、

50

【 0 0 2 1 】

【数 6】

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i}, \quad \forall i \in \Omega$$

$$\mathbf{z}_{c,i} = \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i}, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N_c - 1\} = \Omega^-$$

$$\mathbf{e}_{c,i} = \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1}, \quad \forall i \in \Omega^-$$

$$\mathbf{z}_{d,i} = \Phi \mathbf{s}_{d,i}, \quad \forall i \in \Omega$$

10

【 0 0 2 2 】

の制約条件のもとで、

【 0 0 2 3 】

【数 7】

$$\min_{\mathbf{x}_i, \mathbf{s}_{d,i}, i \in \Omega} \frac{1}{2} \sum_i \|\mathbf{y}_i - \Psi_i \mathbf{x}_i\|_2^2 + \sum_i w_i \|\mathbf{s}_{d,i}\|_1$$

【 0 0 2 4 】

が最小となる観測信号 \mathbf{x}_i を求め、元の信号の復号信号として出力する。

20

【発明の効果】

【 0 0 2 5 】

本発明によれば、元の信号を従来よりも精度良く復元することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 6 】

【図 1】多数のセンサによる圧縮センシングの概要を示す図。

【図 2】本発明の実施例 1 の圧縮信号復元装置の構成を示すブロック図。

【図 3】本発明の実施例 1 の圧縮信号復元装置の動作を示すフローチャート。

【図 4】本発明の実施例 1 の圧縮信号復元装置の動作を示すフローチャート。

【図 5】本発明の実施例 1 の圧縮信号復元装置の信号推定部の構成を示すブロック図。

30

【図 6】本発明の実施例 1 の圧縮信号復元装置の信号推定部の動作を示すフローチャート。

【図 7】本発明の実施例 2 の圧縮信号復元装置の構成を示すブロック図。

【図 8】本発明の実施例 2 の圧縮信号復元装置の動作を示すフローチャート。

【図 9】本発明の実施例 2 の圧縮信号復元装置の信号推定部の構成を示すブロック図。

【図 10】本発明の実施例 2 の圧縮信号復元装置の信号推定部の動作を示すフローチャート。

【図 11】本発明の実施例 3 の圧縮信号復元装置の構成を示すブロック図。

【図 12】本発明の実施例 3 の圧縮信号復元装置の動作を示すフローチャート。

【図 13】本発明の実施例 3 の圧縮信号復元装置の信号推定部の構成を示すブロック図。

40

【図 14】本発明の実施例 3 の圧縮信号復元装置の信号推定部の動作を示すフローチャート。

【図 15】本発明の実施例 4 の圧縮信号復元装置の構成を示すブロック図。

【図 16】本発明の実施例 4 の圧縮信号復元装置の動作を示すフローチャート。

【図 17】本発明の実施例 4 の圧縮信号復元装置の信号推定部の構成を示すブロック図。

【図 18】本発明の実施例 4 の圧縮信号復元装置の信号推定部の動作を示すフローチャート。

【図 19】本発明の実施例 5 の圧縮信号復元装置の構成を示すブロック図。

【図 20】本発明の実施例 5 の圧縮信号復元装置の動作を示すフローチャート。

【図 21】本発明の実施例 5 の圧縮信号復元装置の信号推定部の構成を示すブロック図。

50

【図 2 2】本発明の実施例 5 の圧縮信号復元装置の信号推定部の動作を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、同じ機能を有する構成部には同じ番号を付し、重複説明を省略する。

【0028】

< 圧縮センシングの概要 >

以下、図 1 を参照して多数のセンサによる圧縮センシングについて説明する。図 1 は多数のセンサによる圧縮センシングの概要を示す図である。図 1 に示すように、 N_c 個 (N_c は 1 以上の整数) のセンサ (第 1 センサ 9 - 1、第 2 センサ 9 - 2、...、第 N_c センサ 9 - N_c) と 1 個の中央受信機 8 がある。第 1 センサ 9 - 1、第 2 センサ 9 - 2、...、第 N_c センサ 9 - N_c はそれぞれ異なった信号を計測し、中央受信機 8 へ送信する。ここで各センサがある単位時間取得する情報を複素ベクトルで表すこととし、このベクトルの長さは N (N は正の整数) であるとする。すなわちある単位時間に N_c 個のセンサが取得した情報は一般に各々 $x_i \in \mathbb{C}^N$ 、 $i = 1, 2, \dots, N_c$ (インデクス i は 1 以上 N_c 以下の整数) と書けるとする。

【0029】

なお、本発明の観測信号のモデルは、非特許文献 2 でも用いられている

【0030】

【数 8】

$$x_i = z_{c,i} + z_{d,i} \quad \dots(1)$$

【0031】

で表せるモデルである。ここで、第 i 番目のセンサが観測した信号の共通部分である共通信号 $z_{c,i}$ は、全てのセンサに共通の信号 z_c に群遅延および全体の振幅の減衰が加わったような信号

【0032】

【数 9】

$$z_{c,i} = a_i \Lambda^{\theta_i} z_c \quad \dots(2)$$

である。 $z_{d,i}$ は、第 i 番目のセンサが観測した信号のうち共通信号 $z_{c,i}$ を除いた残りの信号である。ここで、 s_c を予め定められた基底行列とし、共通信号 z_c の基底での表現 $s_c = z_c^{-1} z_c$ が疎ではなく、共通信号以外の残りの信号 $z_{d,i}$ の基底での表現 $s_{d,i} = z_{d,i}^{-1} z_{d,i}$ が全てのセンサのインデクス i に対して疎であることを前提とする。以下、 $s_{d,i}$ を「個別信号」と呼ぶ。

【0034】

図 2 に示すように、各センサは測定部 9 1 と圧縮部 9 2 とで構成される観測装置 9 とみなすことができる。測定部 9 1 は、単位時間ごとに観測した長さ N の信号 x_i を圧縮部 9 2 へ送信する。圧縮部 9 2 は、長さ N の信号 x_i を長さ M の圧縮された信号 $y_i \in \mathbb{C}^M$ に変換し出力する。ただし、 M は N より小さな正の整数である。また、この変換は線形であるものとする。すなわち、圧縮部 9 2 は、予め定められた観測行列 $\Psi_i \in \mathbb{C}^{M \times N}$ を用いて

【0035】

【数 10】

$$y_i = \Psi_i \hat{x}_i \quad \dots(4)$$

【0036】

により圧縮された信号 y_i を求めて送信する。

【 0 0 3 7 】

中央受信機 8 は入力された信号 y_i から元の信号 x_i を復元する圧縮信号復元装置 1 を有する。図 2 に示すように、圧縮信号復元装置 1 は復号部 11 を含む。本発明は、復号部 11 で各々の信号 x_i を推定する技術に関する。

【 0 0 3 8 】

< 本発明のポイント >

式 (1) で表される観測信号のモデルにおいて、各センサ同士の関係に着目すれば

【 0 0 3 9 】

【 数 1 1 】

$$z_{c,i} = a_{c,i} e_{c,i} \quad \dots(7) \quad 10$$

$$e_{c,i} = \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1} \quad \dots(8)$$

【 0 0 4 0 】

のように書くことができる。ここで、 $e_{c,i}$ は第 i 番目のセンサの補助共通信号であり、 $a_{c,i}$ は補助共通信号 $e_{c,i}$ に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の振幅を表す係数であり、 $\theta_{c,i}$ は $z_{c,i+1}$ に対する第 i 番目のセンサの共通信号要素の位相を表す係数である。この関係を利用して、本発明の復号部 11 は、入力された信号 y_i を用いて、

【 0 0 4 1 】

【 数 1 2 】

$$\min_{x_i, s_{d,i}, i \in \Omega} \frac{1}{2} \sum_i \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 + \sum_i w_i \|s_{d,i}\|_1 \quad \dots(9) \quad 20$$

【 0 0 4 2 】

を、

【 0 0 4 3 】

【 数 1 3 】

$$x_i = z_{c,i} + z_{d,i}, \quad \forall i \in \Omega \quad \dots(10) \quad 30$$

$$z_{c,i} = a_{c,i} e_{c,i}, \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, N_c - 1\} = \Omega^- \quad \dots(11)$$

$$e_{c,i} = \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}, \quad \forall i \in \Omega^- \quad \dots(12)$$

$$z_{d,i} = \Phi s_{d,i}, \quad \forall i \in \Omega \quad \dots(13)$$

【 0 0 4 4 】

のような制約条件のもとで最小化する (最小となる観測信号 x_i を求める) ことにより、元の信号 x_i の推定値 \hat{x}_i を復号する (S 11)。この最小化は、ADMM (Alternating Direction Method of Multiplier, 参考非特許文献 1) を応用することにより行うことができる。すなわち、

【 0 0 4 5 】

【数 1 4】

$$\begin{aligned}
H = & \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T (x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \nu_{c,i}^T (e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|z_{d,i} - \Phi s_{d,i}\|_2^2 \right\} \\
& + \sum_{i \in \Omega} w_i \|s_{d,i}\|_1
\end{aligned} \tag{14}$$

【0046】

で表される目的関数Hを、信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, c_{c,i}$ のそれぞれについて最小化することにより、元の信号 x_i の推定値 \hat{x}_i を復号する。ここで、 $\|\cdot\|_2$ はベクトルの各要素の二乗和(L2ノルム)であり、 $\|\cdot\|_1$ はベクトルの各要素の絶対値和(L1ノルム)であり、 Ω はインデクスiの集合、すなわち $\Omega = \{1, 2, \dots, N_c\}$ である。 Ω^- は N_c を除くインデクスiの集合、すなわち $\Omega^- = \{1, 2, \dots, N_c - 1\}$ である。 Φ は予め定められた基底行列とする。また、 $\lambda_i, \mu_{c,i}, \nu_{c,i}, \xi_{d,i}$ はそれぞれ、式(10), (11), (12), (13)の制約条件に対する変数(未定乗数)である。 w_i は、個別信号 $s_{d,i}$ に対する重みであり、予め定めた定数である。 $\alpha, \beta, \gamma, \sigma$ は、それぞれ最小化問題を解く際の収束速度を調整するための重みであり、予め設定された定数(パラメータ)である。 $\alpha, \beta, \gamma, \sigma$ のかかる項は、オーバーフィッティングを避けるためのペナルティ項の役割を果たす。また、Tは行列またはベクトルの転置を表す。

(参考非特許文献1) D. Gabay and B. Mercier, "A dual algorithm for the solution of nonlinear variational problems via finite element approximation," Computers & Mathematics with Applications, vol. 2, no. 1, pp. 17 - 40, 1976.

【実施例1】

【0047】

図2、図3、図4を参照して実施例1の圧縮信号復元装置1について説明する。図2は本実施例の圧縮信号復元装置1の構成を示すブロック図である。図3、図4は本実施例の圧縮信号復元装置1の動作を示すフローチャートである。前述したように、各センサは測定部91と圧縮部92とで構成される観測装置9とみなすことができる。圧縮信号復元装置1は、復号部11を含み、復号部11は、信号推定部111と、パラメータ記憶部112と、乗数更新部113と、終了判定部114とを含む。

【0048】

<パラメータ記憶部112>

パラメータ記憶部 112 には、予め定められた観測行列 \mathbf{z}_i 、基底行列 \mathbf{z}_d 、センサの総数 N_c を記憶しておく。また、予め定められた目的関数のパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \sigma$ と、個別信号に対する重み w_i とを記憶しておく。 $\mathbf{z}_i, \mathbf{z}_d, N_c, \alpha, \beta, \gamma, \sigma, w_i$ は固定値である。また、パラメータ記憶部 112 には、信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, c_i$ の初期値と、目的関数における制約条件に対する未定乗数 $\mu_{c,i}, \nu_{c,i}, \xi_{d,i}$ の初期値をあらかじめ記憶しておく。これらの初期値には、ランダムな値を設定しておけば良い。

【0049】

< 信号推定部 111 >

信号推定部 111 は、上記式 (14) の目的関数 H を、信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, c_i$ のそれぞれについて最小化することにより、各信号および係数の推定値を求め、パラメータ記憶部 112 に記憶された信号および係数 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, e_{c,i}, s_{d,i}, a_{c,i}, c_i$ の値を更新する (S111)。信号推定部 111 の具体的な処理は後述する。

10

【0050】

< 乗数更新部 113 >

乗数更新部 113 は、信号推定部 111 で推定された信号および係数を用いて、式 (14) の目的関数における制約条件に対する未定乗数 $\mu_{c,i}, \nu_{c,i}, \xi_{d,i}$ を更新する (S113)。具体的には、下記式により各乗数の値を更新する。

【0051】

【数15】

$$\lambda_i \leftarrow \lambda_i + \alpha \{x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\}, \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad \dots(15)$$

$$\mu_{c,i} \leftarrow \mu_{c,i} + \beta (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}), \quad i = 1, 2, \dots, N_c - 1 \quad \dots(16)$$

$$\nu_{c,i} \leftarrow \nu_{c,i} + \gamma (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}), \quad i = 1, 2, \dots, N_c - 1 \quad \dots(17)$$

$$\xi_{d,i} \leftarrow \xi_{d,i} + \sigma (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}), \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad \dots(18)$$

【0052】

< 終了判定部 114 >

終了判定部 114 は、所定の終了条件を充たしたか否かを判定し、所定の条件を充たしていない場合は、信号推定部 111、乗数更新部 113 を制御して、各信号および係数の推定と乗数の更新処理の繰り返し制御を実行する (S114)。所定の条件を充たした場合は、求めた信号 x_i を出力し、処理を終了する。

【0053】

所定の終了条件は、例えば「信号推定部 111 の繰り返し回数 k が予め定めた回数 $I_{t_{max}}$ に到達したか否か」を用いる。終了判定部 114 は、 k が $I_{t_{max}}$ を超えた場合に「所定の条件を充たした」と判定する。あるいは、「信号推定部 111 で更新される信号 x_i の更新量が所定の閾値より小さくなったか否か」を用いることができる。この場合、終了判定部 114 は、 x_i を信号推定部 111 で更新された後の全体信号とし、更新前の全体信号を \tilde{x}_i としたとき、

【0054】

【数16】

$$e = \max_i \frac{\|x_i - \tilde{x}_i\|_2}{\|x_i\|_2} < \varepsilon \quad \dots(19)$$

【0055】

を充たす場合に、「所定の条件を充たした」と判定する。

50

20

30

40

【 0 0 5 6 】

< 信号推定部 1 1 1 の具体処理 >

以下、図 5、図 6 を参照して、信号推定部 1 1 1 の詳細について説明する。図 5 は本実施例の圧縮信号復元装置 1 の信号推定部 1 1 1 の構成を示すブロック図である。図 6 は本実施例の圧縮信号復元装置 1 の信号推定部 1 1 1 の動作を示すフローチャートである。信号推定部 1 1 1 は、全体信号推定部 1 1 1 1 と、要素信号推定部 1 1 1 2 と、共通信号推定部 1 1 1 3 と、個別信号推定部 1 1 1 4 と、振幅位相推定部 1 1 1 5 とを含む構成である。なお、これらの構成部はどんな順序で各処理を実行しても良いが、例えば、全体信号推定部 1 1 1 1、要素信号推定部 1 1 1 2、共通信号推定部 1 1 1 3、個別信号推定部 1 1 1 4、振幅位相推定部 1 1 1 5 の順に各処理を実行すれば好適である。

10

【 0 0 5 7 】

< 全体信号推定部 1 1 1 1 >

全体信号推定部 1 1 1 1 は入力された信号 y_i と、パラメータ記憶部 1 1 2 に記憶された $z_{c,i}, z_{d,i}, \mu_{c,i}, a_{c,i}, e_{c,i}, N_c$ を入力として受け取り、 y_i に対応する復号信号の推定値 x_i を求める (S 1 1 1 1)。具体的には、全体信号推定部 1 1 1 1 は、

【 0 0 5 8 】

【数 1 7】

$$\frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 + \lambda_i^T (x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\|_2^2 \quad \dots (20)$$

20

【 0 0 5 9 】

を x_i について最小化することにより x_i を求め、パラメータ記憶部 1 1 2 に記憶する (S 1 1 1 1)。この最小化はたとえば、

【 0 0 6 0 】

【数 1 8】

$$x_i = \{\Psi_i^* \Psi_i + \alpha I\}^{-1} \{\Psi_i^* y_i - \lambda_i + \alpha (z_{c,i} + z_{d,i})\} \quad \dots (21)$$

30

【 0 0 6 1 】

のように実行される。全体信号推定部 1 1 1 1 は、 $i = 1, 2, \dots, N_c$ それぞれについて最小化を行う (S 1 1 1 1)。また、 I は大きさ N の単位行列である。なお、式 (20) は、式 (14) のうち、推定したい変数 x_i に関連する項のみを取り出したものである。

【 0 0 6 2 】

< 要素信号推定部 1 1 1 2 >

要素信号推定部 1 1 1 2 は、パラメータ記憶部 1 1 2 に記憶された $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, \mu_{c,i}, a_{c,i}, e_{c,i}$ を用いて、センサ毎の要素信号の推定値 $z_{c,i}$ と $z_{d,i}$ を求め、パラメータ記憶部 1 1 2 に記憶する (S 1 1 1 2)。

40

【 0 0 6 3 】

具体的には、要素信号推定部 1 1 1 2 は、 $i = 1$ については

【 0 0 6 4 】

【数 19】

$$\left\{ \lambda_i^T (\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mu_{c,i}^T (\mathbf{z}_{c,i} - \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|\mathbf{z}_{c,i} - \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i}\|_2^2 \right\} \\ \dots(22)$$

10

【0065】

を $z_{c,i}$ について最小化することにより $z_{c,i}$ を求める (S1112)。この最小化は、

【0066】

【数 20】

$$\mathbf{z}_{c,i} = \{(\alpha + \beta)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(\mathbf{x}_i - \mathbf{z}_{d,i}) - \mu_{c,i} + \beta \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i} \right\} \\ \dots(23)$$

【0067】

のように行われる。また、要素信号推定部 1112 は、 $i = 2, 3, \dots, N_c - 1$ については

【0068】

【数 21】

$$\left\{ \lambda_i^T (\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mu_{c,i}^T (\mathbf{z}_{c,i} - \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|\mathbf{z}_{c,i} - \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i}\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mathbf{v}_{c,i}^T (\mathbf{e}_{c,i-1} - \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1}) + \frac{\gamma}{2} \|\mathbf{e}_{c,i-1} - \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\ \dots(24)$$

20

30

【0069】

を $z_{c,i}$ について最小化することにより $z_{c,i}$ を求める (S1112)。この最小化は、

【0070】

【数 22】

$$\mathbf{z}_{c,i} = \{(\alpha + \beta + \gamma)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(\mathbf{x}_i - \mathbf{z}_{d,i}) - \mu_{c,i} \right. \\ \left. + \beta \mathbf{a}_{c,i} \mathbf{e}_{c,i} + \Lambda^{\theta_{c,i-1}*} \mathbf{v}_{c,i-1} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i-1}} \mathbf{e}_{c,i-1} \right\} \\ \dots(25)$$

40

【0071】

50

のように行われる。ここで、*はエルミート転置行列を表す。
また、要素信号推定部 1 1 1 2 は、 $i = N_c$ については

【 0 0 7 2 】

【 数 2 3 】

$$\left\{ \lambda_i^T (\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mathbf{v}_{c,i}^T (\mathbf{e}_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i-1}} \mathbf{z}_{c,i}) + \frac{\gamma}{2} \|\mathbf{e}_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i-1}} \mathbf{z}_{c,i}\|_2^2 \right\} \quad \dots(26)$$

【 0 0 7 3 】

を $\mathbf{z}_{c,i}$ について最小化することにより $\mathbf{z}_{c,i}$ を求める (S 1 1 1 2)。この最小化は、

【 0 0 7 4 】

【 数 2 4 】

$$\mathbf{z}_{c,i} = \{(\alpha + \gamma)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(\mathbf{x}_i - \mathbf{z}_{d,i}) \right. \\ \left. + \Lambda^{\theta_{c,i-1}*} \mathbf{v}_{c,i-1} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i-1}*} \mathbf{e}_{c,i-1} \right\} \quad \dots(27)$$

【 0 0 7 5 】

のように行われる。なお、式 (2 2) (2 4) (2 6) は、式 (1 4) のうち、推定したい変数 $\mathbf{z}_{c,i}$ に関連する項のみを取り出したものである。

【 0 0 7 6 】

また、要素信号推定部 1 1 1 2 は $i = 1, 2, \dots, N_c$ について、

【 0 0 7 7 】

【 数 2 5 】

$$\left\{ \lambda_i^T (\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|\mathbf{x}_i - (\mathbf{z}_{c,i} + \mathbf{z}_{d,i})\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \xi_{d,i}^T (\mathbf{z}_{d,i} - \Phi \mathbf{s}_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|\mathbf{z}_{d,i} - \Phi \mathbf{s}_{d,i}\|_2^2 \right\} \quad \dots(28)$$

【 0 0 7 8 】

を $\mathbf{z}_{d,i}$ について最小化し、 $\mathbf{z}_{d,i}$ を出力する (S 1 1 1 2)。この最小化はたとえば、

【 0 0 7 9 】

【 数 2 6 】

$$\mathbf{z}_{d,i} = \{(\alpha + \sigma)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(\mathbf{x}_i - \mathbf{z}_{c,i}) - \xi_{d,i} + \sigma \right\} \quad \dots(29)$$

【 0 0 8 0 】

のように行われる。なお、式 (2 8) は、式 (1 4) のうち、推定したい変数 $\mathbf{z}_{d,i}$ に関連する項のみを取り出したものである。

10

20

30

40

50

【0081】

要素信号推定部1112は、パラメータ記憶部112に記憶された $z_{c,i}$ 及び $z_{d,i}$ の値を、上述の最小化により求めた $z_{c,i}$ 及び $z_{d,i}$ の値にそれぞれ更新する(S1112)。

【0082】

<共通信号推定部1113>

共通信号推定部1113は、パラメータ記憶部112に記憶された $z_{c,i}$ 、 $\mu_{c,i}$ 、 $a_{c,i}$ 、 $e_{c,i}$ 、 $v_{c,i}$ 、 $\Lambda^{\theta_{c,i}}$ 、 $z_{c,i+1}$ を用いて、補助共通信号 $e_{c,i}$ を推定する(S1113)。具体的には、共通信号推定部1113は、

【0083】

【数27】

$$\left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}\|_2^2 \right\} + \left\{ v_{c,i}^T (e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \dots(30)$$

10

20

【0084】

を $e_{c,i}$ について最小化することにより、 $e_{c,i}$ を求める(S1113)。この最小化は、

【0085】

【数28】

$$e_{c,i} = \left\{ \beta a_{c,i}^2 + \gamma \right\}^{-1} \left\{ a_{c,i} \mu_{c,i} + \beta a_{c,i} z_{c,i} - v_{c,i} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1} \right\} \dots(31)$$

【0086】

を求めることにより行われる。共通信号推定部1113は、これを、 $i = 1, 2, \dots, N_c - 1$ それぞれについて求める(S1113)。なお、式(30)は、式(14)のうち、推定したい $e_{c,i}$ に関連する項のみを取り出したものである。

【0087】

共通信号推定部1113は、パラメータ記憶部112に記憶された $e_{c,i}$ の値を、上述の最小化により求めた $e_{c,i}$ の値に更新する(S1113)。

【0088】

<個別信号推定部1114>

個別信号推定部1114は、パラメータ記憶部112に記憶された $z_{d,i}$ 、 $\xi_{d,i}$ 、 $s_{d,i}$ 、 w_i を用いて、個別信号 $s_{d,i}$ を推定する(S1114)。具体的には、個別信号推定部1114は、

【0089】

【数29】

$$\left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|z_{d,i} - \Phi s_{d,i}\|_2^2 \right\} + w_i \|s_{d,i}\|_1 \dots(32)$$

【0090】

を $s_{d,i}$ について最小化することにより個別信号 $s_{d,i}$ を求める(S1114)。こ

50

の最小化は、
 【 0 0 9 1 】
 【 数 3 0 】

$$s_{d,i} = \text{sgn} \left(z_{d,i} + \frac{\xi_{d,i}}{\sigma} \right) \circ \max \left\{ \left| z_{d,i} + \frac{\xi_{d,i}}{\sigma} \right| - \frac{w_i}{\sigma}, 0 \right\} \quad \dots(33)$$

【 0 0 9 2 】

を求めることにより行われる。ここで、sgnは要素ごとの符号を出力する関数であり、
 ◦は要素ごとの掛け算を表す記号である。max { | · | , 0 } は要素ごとに計算されるものとする。この計算は、非特許文献1のSoft thresholding法を応用することで計算することができる。

【 0 0 9 3 】

個別信号推定部1114は、式(33)を $i = 1, 2, \dots, N_c$ それぞれについて求める(S1114)。式(32)は、式(14)のうち、推定したい信号 $s_{d,i}$ に関連する項のみを取り出したものである。

【 0 0 9 4 】

個別信号推定部1114は、パラメータ記憶部112に記憶された $s_{d,i}$ の値を、上述の最小化により求めた $s_{d,i}$ の値に更新する(S1114)。

【 0 0 9 5 】

< 振幅位相推定部1115 >

振幅位相推定部1115は、パラメータ記憶部112に記憶された $z_{c,i}, z_{c,i+1}, \mu_{c,i}, a_{c,i}, e_{c,i}, \mu_{c,i}, \mu_{c,i+1}$ を用いて、振幅係数 $a_{c,i}$ と位相係数 $\mu_{c,i}$ を推定する(S1115)。具体的には、振幅位相推定部1115は、

【 0 0 9 6 】

【 数 3 1 】

$$\left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}\|_2^2 \right\} \quad \dots(34)$$

【 0 0 9 7 】

を $a_{c,i}$ について最小化することにより $a_{c,i}$ を求める(S1115)。この最小化は、

【 0 0 9 8 】

【 数 3 2 】

$$a_{c,i} = \frac{\mu_{c,i}^T z_{c,i} + \|z_{c,i}\|_2^2}{\|e_{c,i}\|_2^2} \quad \dots(35)$$

【 0 0 9 9 】

を求めることにより行われる。振幅位相推定部1115は、これを、 $i = 1, 2, \dots, N_c - 1$ それぞれについて行う(S1115)。なお、式(34)は、式(14)のうち、推定したい振幅係数 $a_{c,i}$ に関連する項のみを取り出したものである。

また、振幅位相推定部1115は、

【 0 1 0 0 】

10

20

30

40

【数 3 3】

$$\left\{ \mathbf{v}_{c,i}^T \left(\mathbf{e}_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1} \right) + \frac{\gamma}{2} \left\| \mathbf{e}_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} \mathbf{z}_{c,i+1} \right\|_2^2 \right\} \dots (36)$$

【0101】

を $\theta_{c,i}$ について最小化することにより、位相係数 $\theta_{c,i}$ を求める (S1115)。この最小化は数値計算法などによって行われる。振幅位相推定部 1115 は、 $i = 1, 2, \dots, N_c - 1$ それぞれについて最小化を行う (S1115)。なお、式 (36) は、式 (14) のうち、推定したい位相係数 $\theta_{c,i}$ に関連する項のみを取り出したものである。

10

【0102】

振幅位相推定部 1115 は、パラメータ記憶部 112 に記憶された $a_{c,i}$ 及び $\theta_{c,i}$ の値を、上述の最小化により求めた $a_{c,i}$ 及び $\theta_{c,i}$ の値にそれぞれ更新する (S1115)。

【0103】

このように、本実施例の圧縮信号復元装置 1 によれば、従来法と異なり、パラメータの推定を逐次的にかつペナルティを設けることでオーバーフィッティングを避けるように復元を実行することができるため、元の信号を従来よりも精度良く復元することが出来る。

20

【実施例 2】

【0104】

次に、図 7 から図 10 を参照して実施例 2 の圧縮信号復元装置 2 について説明する。図 7 は本実施例の圧縮信号復元装置 2 の構成を示すブロック図である。図 8 は本実施例の圧縮信号復元装置 2 の動作を示すフローチャートである。図 9 は本実施例の圧縮信号復元装置 2 の信号推定部 211 の構成を示すブロック図である。図 10 は本実施例の圧縮信号復元装置 2 の信号推定部 211 の動作を示すフローチャートである。本実施例の圧縮信号復元装置 2 の信号推定部 211 は、図 9 に示すように実施例 1 の圧縮信号復元装置 1 の信号推定部 111 が備える振幅位相推定部 1115 を省略した構成である。従って、図 10 に示すように本実施例の信号推定部 211 の動作 (S211) は、ステップ S1115 が省略されること以外は、実施例 1 と同じであるため、説明を割愛する。本実施例においては、 $a_{c,i}$ および $\theta_{c,i}$ に予め定めた値を設定しておくことで、ステップ S1115 を省略可能である。

30

【0105】

このように、本実施例の圧縮信号復元装置 2 によれば、あらかじめ振幅や位相を考慮する必要がない場合、あるいは振幅や位相が分かっている場合に、振幅位相推定処理 (ステップ S1115) を省略して実施例 1 と同様の効果を得ることができる。

【実施例 3】

【0106】

次に、図 11 から図 14 を参照して実施例 3 の圧縮信号復元装置 3 について説明する。図 11 は本実施例の圧縮信号復元装置 3 の構成を示すブロック図である。図 12 は本実施例の圧縮信号復元装置 3 の動作を示すフローチャートである。図 13 は本実施例の圧縮信号復元装置 3 の信号推定部 311 の構成を示すブロック図である。図 14 は本実施例の圧縮信号復元装置 3 の信号推定部 311 の動作を示すフローチャートである。本実施例の圧縮信号復元装置 3 の信号推定部 311 は、実施例 1 の信号推定部 111 から共通信号推定部 1113、振幅位相推定部 1115 を省略した構成である。さらに、本実施例の信号推定部 311 は、実施例 1 の要素信号推定部 1112 の代わりに要素信号推定部 3112 を備える。また、実施例 1 のパラメータ記憶部 112 は、本実施例においてパラメータ記憶部 312 に変更されている。また、実施例 1 の乗数更新部 113 は、本実施例において乗

40

50

数更新部 3 1 3 に変更されている。

【 0 1 0 7 】

前述した実施例 2 の場合のように、振幅と位相が既知の場合は、 $e_{c,i}$ を導入する必要がない。そこで、本実施例においては、信号推定部 3 1 1 において、(式 1 4) の代わりに、

【 0 1 0 8 】

【数 3 4】

$$\begin{aligned}
 J = & \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
 & + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T (x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|x_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\|_2^2 \right\} \\
 & + \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - z_{c,i+1}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\
 & + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|z_{d,i} - \Phi s_{d,i}\|_2^2 \right\} \\
 & + \sum_{i \in \Omega} w_i \|s_{d,i}\|_1
 \end{aligned}
 \tag{14'}$$

【 0 1 0 9 】

で表される目的関数 J を、信号 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, s_{d,i}$ のそれぞれについて最小化することにより、信号の値を求める例について説明する。

【 0 1 1 0 】

上記の処理を実行するため、本実施例では下記のように実施例 1 の各構成部が変更される。

【 0 1 1 1 】

< パラメータ記憶部 3 1 2 >

実施例 1 のパラメータ記憶部 1 1 2 との違いは、式 (1 4') では用いないパラメータ $e_{c,i}, a_{c,i}, c_{c,i}, c_{d,i}$ が記憶されない点のみである。

【 0 1 1 2 】

< 信号推定部 3 1 1 >

信号推定部 3 1 1 は、上記式 (1 4') で表される目的関数 J を、信号 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, s_{d,i}$ のそれぞれについて最小化することにより、信号の値を求める (S 3 1 1)。そして、パラメータ記憶部 3 1 2 に記憶された信号 $x_i, z_{c,i}, z_{d,i}, s_{d,i}$ の値を、最小化することにより求めた各信号の値に更新する (S 3 1 1)。

【 0 1 1 3 】

< 全体信号推定部 1 1 1 1 >

全体信号推定部 1 1 1 1 の構成、入出力、機能は実施例 1 と同様である。

【 0 1 1 4 】

< 要素信号推定部 3 1 1 2 >

要素信号推定部 3 1 1 2 は、パラメータ記憶部 3 1 2 に記憶された $x_i, z_{c,i}, z_{c,i+1}, z_{d,i}, s_{d,i}, \mu_{c,i}$ を用いて、センサ毎の要素信号の推定値

$z_{c,i}$ と $z_{d,i}$ を求め、パラメータ記憶部 312 に記憶する (S3112)。

【0115】

具体的には、要素信号推定部 3112 は、 $i = 1$ については

【0116】

【数35】

$$\left\{ \lambda_i^T (\mathbf{x}_i - (z_{c,i} + z_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|\mathbf{x}_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - z_{c,i+1}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \quad \dots(22') \quad 10$$

【0117】

を $z_{c,i}$ について最小化し、 $z_{c,i}$ を出力する (S3112)。この最小化は、

【0118】

【数36】

$$z_{c,i} = \{(\alpha + \beta)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(\mathbf{x}_i - z_{d,i}) - \mu_{c,i} + z_{c,i+1} \right\} \\ \dots(23') \quad 20$$

【0119】

のように行われる。

また、要素信号推定部 3112 は、 $i = 2, 3, \dots, N_c - 1$ については

【0120】

【数37】

$$\left\{ \lambda_i^T (\mathbf{x}_i - (z_{c,i} + z_{d,i})) + \frac{\alpha}{2} \|\mathbf{x}_i - (z_{c,i} + z_{d,i})\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - z_{c,i+1}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mu_{c,i-1}^T (z_{c,i-1} - z_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i-1} - z_{c,i}\|_2^2 \right\} \\ \dots(24') \quad 30$$

【0121】

を $z_{c,i}$ について最小化し、 $z_{c,i}$ を出力する (S3112)。この最小化は、

【0122】

【数38】

$$z_{c,i} = \{(\alpha + 2\beta)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha(\mathbf{x}_i - z_{d,i}) - \mu_{c,i} \\ + \beta z_{c,i+1} + \mu_{c,i-1} + \beta z_{c,i-1} \right\} \\ \dots(25') \quad 40$$

【0123】

のように行われる。

また、要素信号推定部 3 1 1 2 は、 $i = N_c$ については

【 0 1 2 4 】

【数 3 9】

$$\left\{ \lambda_i^T \left(x_i - (z_{c,i} + z_{d,i}) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| x_i - (z_{c,i} + z_{d,i}) \right\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \mu_{c,i-1}^T (z_{c,i-1} - z_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \left\| z_{c,i-1} - z_{c,i} \right\|_2^2 \right\} \quad \dots(26')$$

【 0 1 2 5 】

を $z_{c,i}$ について最小化し、 $z_{c,i}$ を出力する (S 3 1 1 2)。この最小化は、

【 0 1 2 6 】

【数 4 0】

$$z_{c,i} = \left\{ (\alpha + \beta) I \right\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha (x_i - z_{d,i}) + \mu_{c,i-1} + \beta z_{c,i-1} \right\} \quad \dots(27')$$

【 0 1 2 7 】

のように行われる。

また、要素信号推定部 3 1 1 2 は $i = 1, 2, \dots, N_c$ について、上記式 (28) を $z_{d,i}$ について最小化することにより $z_{d,i}$ を求め、パラメータ記憶部 3 1 2 に記憶された $z_{d,i}$ の値を最小化して得られた $z_{d,i}$ の値に更新する (S 3 1 1 2)。この最小化はたとえば、式 (29) のように行われる。

【 0 1 2 8 】

< 個別信号推定部 1 1 1 4 >

個別信号推定部 1 1 1 4 の構成、入出力、機能は実施例 1 と同様である。

【 0 1 2 9 】

< 乗数更新部 3 1 3 >

乗数更新部 3 1 3 は、実施例 1 の式 (15) ~ (18) の代わりに、下記式により各乗数の値を更新する (S 3 1 3)。

【 0 1 3 0 】

【数 4 1】

$$\lambda_i \leftarrow \lambda_i + \alpha \left\{ x_i - (z_{c,i} + z_{d,i}) \right\} \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad \dots(15)$$

$$\mu_{c,i} \leftarrow \mu_{c,i} + \beta (z_{c,i} - z_{c,i-1}) \quad i = 1, 2, \dots, N_c - 1 \quad \dots(16')$$

$$\xi_{d,i} \leftarrow \xi_{d,i} + \sigma (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad \dots(18)$$

【 0 1 3 1 】

つまり、本実施例の乗数更新部 3 1 3 は、式 (17) は用いず、式 (16) が式 (16') に置き換わる点を除いては、実施例 1 の乗数更新部 1 1 3 と同じである。

【 0 1 3 2 】

< 終了判定部 1 1 4 >

終了判定部 1 1 4 の構成、入出力、機能は実施例 1 と同様である。

【 0 1 3 3 】

10

20

30

40

50

このように、本実施例の圧縮信号復元装置 3 によれば、あらかじめ振幅や位相を考慮する必要がない場合、あるいは振幅や位相が分かっている場合に、共通信号推定処理（ステップ S 1 1 1 3）、振幅位相推定処理（ステップ S 1 1 1 5）を省略し、式（14）の代わりに式（14'）を用いて実施例 1 と同様の効果を得ることができる。

【実施例 4】

【0134】

次に、図 15 から図 18 を参照して実施例 4 の圧縮信号復元装置 4 について説明する。図 15 は本実施例の圧縮信号復元装置 4 の構成を示すブロック図である。図 16 は本実施例の圧縮信号復元装置 4 の動作を示すフローチャートである。図 17 は本実施例の圧縮信号復元装置 4 の信号推定部 4 1 1 の構成を示すブロック図である。図 18 は本実施例の圧縮信号復元装置 4 の信号推定部 4 1 1 の動作を示すフローチャートである。実施例 1 の信号推定部 1 1 1、パラメータ記憶部 1 1 2、乗数更新部 1 1 3 は、本実施例においてそれぞれ信号推定部 4 1 1、パラメータ記憶部 4 1 2、乗数更新部 4 1 3 に変更されている。実施例 1 の全体信号推定部 1 1 1 1、要素信号推定部 1 1 1 2、共通信号推定部 1 1 1 3、振幅位相推定部 1 1 1 5 は、本実施例においてそれぞれ全体信号推定部 4 1 1 1、要素信号推定部 4 1 1 2、共通信号推定部 4 1 1 3、振幅位相推定部 4 1 1 5 に変更されている。

10

【0135】

実施例 1 ~ 3 では共通信号は 1 つ（ z_c ）であることを仮定していたが、共通信号が複数である場合にも実施例 1 を拡張することができる。共通信号が複数の場合とは、例えば各センサが複数の観測対象（ソース）を観測して信号を取得する場合等が考えられる。すなわち、 $j = 1, 2, \dots, N_s$ （ N_s は共通信号の総数）として、第 i 番目のセンサの信号 x_i が、

20

【0136】

【数 4 2】

$$x_i = \sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \quad \dots(37)$$

$$= \sum_{k \in \Omega_s} a_{ik} \Lambda^{\theta_{ik}} z_{c,k} + z_{d,i} \quad \dots(38)$$

30

【0137】

のように記述できる場合である。 s は共通信号のインデックスの集合 $s = \{1, 2, \dots, N_s\}$ である。ここで $z_{c,i,k}$ は第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号である。それぞれの共通信号は

【0138】

【数 4 3】

$$z_{c,i,k} = a_{ik} \Lambda^{\theta_{ik}} z_{c,k} \quad \dots(39)$$

40

【0139】

のような関係で書くことができると仮定する。ここで $a_{i,k}$ を共通信号 $z_{c,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の振幅を表す係数とし、 $c_{i,k}$ を $z_{c,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の位相を表す係数とする。 $a_{i,k}$ 、 $c_{i,k}$ はそれぞれ実数のスカラー量である。

【0140】

上記の処理を実行するため、本実施例では下記のように実施例 1 の各構成部が変更される。

【0141】

< パラメータ記憶部 4 1 2 >

50

パラメータ記憶部 4 1 2 には、予め定められた圧縮行列 A_i 、観測行列 Ψ_i 、基底行列を記憶しておく。また、復号部 4 1 の処理の過程で、信号の推定値を得るために必要なパラメータ w と、信号および係数 $x_i, z_{c,i,k}, z_{d,i}, e_{c,i,k}, s_{d,i}, a_{c,i,k}, c_{c,i,k}, \mu_{c,i,k}, \nu_{c,i,k}$ の初期値をあらかじめ記憶しておく。なお、初期値は予めランダムな値を設定しておけば良い。なお、 $a_{c,i,k}$ を補助共通信号 $e_{c,i,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の振幅を表す係数とし、 $c_{c,i,k}$ を $z_{c,i+1,k}$ に対する第 i 番目のセンサにおける k 番目の共通信号要素の位相を表す係数とする。

【 0 1 4 2 】

< 信号推定部 4 1 1 >

10

信号推定部 4 1 1 は、上記式 (1 4) の代わりに下記式 (4 0) を、信号および係数 $x_i, z_{c,i,k}, z_{d,i}, e_{c,i,k}, s_{d,i}, a_{c,i,k}, c_{c,i,k}$ のそれぞれについて最小化することにより、信号および係数の値を求める (S 4 1 1)。そして、パラメータ記憶部 4 1 2 に記憶された信号および係数 $x_i, z_{c,i,k}, z_{d,i}, e_{c,i,k}, s_{d,i}, a_{c,i,k}, c_{c,i,k}$ の値を、最小化することにより求めた各信号および係数の値に更新する。

【 0 1 4 3 】

【 数 4 4 】

$$H_2 = \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2$$

20

$$\begin{aligned} & + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T \left\| x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2 + \frac{\alpha}{2} \left\| x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2^2 \right\} \\ & + \sum_{i \in \Omega} \sum_{k \in \Omega_s} \left\{ \mu_{c,i,k}^T (z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}\|_2^2 \right\} \\ & + \sum_{i \in \Omega} \sum_{k \in \Omega_s} \left\{ \nu_{c,i,k}^T (e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}\|_2^2 \right\} \\ & + \sum_{i \in \Omega} \left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi s_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \|z_{d,i} - \Phi s_{d,i}\|_2^2 \right\} \\ & + \sum_{i \in \Omega} w_i \|s_{d,i}\|_1 \end{aligned} \quad \dots(40)$$

30

【 0 1 4 4 】

< 全体信号推定部 4 1 1 1 >

全体信号推定部 4 1 1 1 は入力された信号 y_i と、パラメータ記憶部 4 1 2 に記憶された $z_{c,i,k}, z_{d,i}, \Psi_i, A_i, N_c, N_s$ を入力として受け取り、 y_i に対応する復号信号の推定値 x_i を求める (S 4 1 1 1)。具体的には、全体信号推定部 4 1 1 1 は、

40

【 0 1 4 5 】

【 数 4 5 】

$$\frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 + \lambda_i^T \left\| x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2 + \frac{\alpha}{2} \left\| x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2^2$$

...(41)

【 0 1 4 6 】

50

を x_i について最小化することにより x_i を求め、パラメータ記憶部 412 に記憶する (S4111)。この最小化はたとえば、

【0147】

【数46】

$$x_i = \left\{ \Psi_i^* \Psi_i \right\}^{-1} \left\{ \Psi_i^* y_i - \lambda_i + \alpha \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\} \quad \dots(42)$$

10

【0148】

のように実行される。全体信号推定部 4111 は、式 (42) を、 $i = 1, 2, \dots, N_c$ それぞれについて計算することにより、 x_i を求める (S4111)。

【0149】

<要素信号推定部 4112>

要素信号推定部 4112 は、パラメータ記憶部 412 に記憶された $x_i, z_{c,i,k}, z_{d,i}, \mu_{c,i,k}, a_{c,i,k}, e_{c,i,k}$ を用いて、センサ毎の要素信号の推定値 $z_{c,i,k}$ と $z_{d,i}$ を求め、パラメータ記憶部 412 に記憶する (S4112)。

20

具体的には、要素信号推定部 4112 は、 $i = 1$ については

【0150】

【数47】

$$\left\{ \lambda_i^T \left(x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2^2 \right\} + \left\{ \mu_{c,i,k}^T (z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}) + \frac{\beta}{2} \left\| z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k} \right\|_2^2 \right\} \quad \dots(43)$$

30

【0151】

を $z_{c,i,k}$ について最小化することにより $z_{c,i,k}$ を求める (S4112)。この最小化は、

【0152】

【数48】

$$z_{c,i,k} = \{(\alpha + \beta)I\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha \left(x_i - \left(\sum_{l \in \Omega_s \setminus k} z_{c,i,l} + z_{d,i} \right) - \mu_{c,i,k} + \beta a_{c,i,k} e_{c,i,k} \right) \right\} \quad \dots(44)$$

40

【0153】

のように行われる。ここで、 $s \setminus k$ は、 s から k を除いた集合を表す。また、要素信号推定部 4112 は、 $i = 2, 3, \dots, N_c - 1$ については

【0154】

【数49】

$$\begin{aligned}
& \left\{ \lambda_i^T \left(\mathbf{x}_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| \mathbf{x}_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2^2 \right\} \\
& + \left\{ \mu_{c,i,k}^T (z_{c,i,k} - \mathbf{a}_{c,i,k} \mathbf{e}_{c,i,k}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i,k} - \mathbf{a}_{c,i,k} \mathbf{e}_{c,i,k}\|_2^2 \right\} \\
& + \left\{ \mathbf{v}_{c,i-1,k}^T (\mathbf{e}_{c,i-1,k} - \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} z_{c,i,k}) + \frac{\gamma}{2} \|\mathbf{e}_{c,i-1,k} - \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} z_{c,i,k}\|_2^2 \right\}
\end{aligned} \tag{45}$$

【0155】

を $z_{c,i,k}$ について最小化することにより $z_{c,i,k}$ を求める (S4112)。この最小化は、

【0156】

【数50】

$$\begin{aligned}
z_{c,i,k} = & \{(\alpha + \beta + \gamma)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha \left(\mathbf{x}_i - \left(\sum_{l \in \Omega_s \setminus k} z_{c,i,l} + z_{d,i} \right) \right) - \mu_{c,i,k} \right. \\
& \left. + \beta \mathbf{a}_{c,i,k} \mathbf{e}_{c,i,k} + \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} \mathbf{v}_{c,i-1,k}^* + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} \mathbf{e}_{c,i-1,k} \right\}
\end{aligned} \tag{46}$$

【0157】

のように行われる。

また、要素信号推定部4112は、 $i = N_c$ については

【0158】

【数51】

$$\begin{aligned}
& \left\{ \lambda_i^T \left(\mathbf{x}_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| \mathbf{x}_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2^2 \right\} \\
& + \left\{ \mathbf{v}_{c,i-1,k}^T (\mathbf{e}_{c,i-1,k} - \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} z_{c,i,k}) + \frac{\gamma}{2} \|\mathbf{e}_{c,i-1,k} - \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} z_{c,i,k}\|_2^2 \right\}
\end{aligned} \tag{47}$$

【0159】

を $z_{c,i,k}$ について最小化することにより $z_{c,i,k}$ を求める (S4112)。この最小化は、

【0160】

10

20

30

40

【数52】

$$z_{c,i,k} = \{(\alpha + \gamma)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha \left(\mathbf{x}_i - \left(\sum_{l \in \Omega_s \setminus k} z_{c,i,l} + z_{d,i} \right) \right) + \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}^*} \mathbf{v}_{c,i-1,k} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} \mathbf{e}_{c,i-1,k} \right\} \dots(48)$$

10

【0161】

のように行われる。

【0162】

また、要素信号推定部4112は*i* = 1, 2, ..., *N_c*について、

【0163】

【数53】

$$\left\{ \lambda_i^T \left(\mathbf{x}_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| \mathbf{x}_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\|_2^2 \right\} + \left\{ \xi_{d,i}^T (z_{d,i} - \Phi \mathbf{s}_{d,i}) + \frac{\sigma}{2} \left\| z_{d,i} - \Phi \mathbf{s}_{d,i} \right\|_2^2 \right\} \dots(49)$$

20

【0164】

を*z_{d,i}*について最小化し、*z_{d,i}*を出力する(S4112)。この最小化はたとえば、

【0165】

【数54】

$$z_{d,i} = \{(\alpha + \sigma)\mathbf{I}\}^{-1} \left\{ \lambda_i + \alpha \left(\mathbf{x}_i - \sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} \right) - \xi_{d,i} + \sigma \right\} \dots(50)$$

30

【0166】

のように行われる。

【0167】

要素信号推定部4112は、パラメータ記憶部412に記憶された*z_{c,i,k}*及び*z_{d,i}*の値を、上述の最小化により求めた*z_{c,i,k}*及び*z_{d,i}*の値にそれぞれ更新する(S4112)。

40

【0168】

< 共通信号推定部4113 >

共通信号推定部4113は、パラメータ記憶部412に記憶された*z_{c,i,k}*、*c_{i,k}*、*μ_{c,i,k}*、*a_{c,i,k}*、*e_{c,i,k}*、*r_{c,i,k}*、*z_{c,i+1,k}*を用いて、補助共通信号*e_{c,i,k}*を推定する(S4113)。具体的には、共通信号推定部4113は、

【0169】

【数55】

$$\left\{ \mu_{c,i,k}^T (z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}\|_2^2 \right\} \\ + \left\{ \nu_{c,i,k}^T (e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}\|_2^2 \right\} \\ \dots(51)$$

【0170】

を $e_{c,i,k}$ について最小化することにより、 $e_{c,i,k}$ を求める (S4113)。 10
この最小化は、

【0171】

【数56】

$$e_{c,i,k} = \left\{ \beta a_{c,i,k}^2 + \gamma \right\}^{-1} \left\{ a_{c,i,k} \mu_{c,i,k} + \beta a_{c,i,k} z_{c,i,k} - \nu_{c,i,k} + \gamma \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k} \right\} \\ \dots(52)$$

【0172】

を求めることにより行われる。共通信号推定部4113は、これを、 $i = 1, 2, \dots, N_c - 1$ それぞれについて求める (S4113)。共通信号推定部4113は、パラメータ 20
記憶部412に記憶された $e_{c,i,k}$ の値を、上述の最小化により求めた $e_{c,i,k}$ の値に更新する (S4113)。

【0173】

< 個別信号推定部1114 >

個別信号推定部1114の構成、入出力、機能は実施例1と同様である。

【0174】

< 振幅位相推定部4115 >

振幅位相推定部4115は、パラメータ記憶部412に記憶された $z_{c,i,k}$ 、 $c_{c,i,k}$ 、 $\mu_{c,i,k}$ 、 $a_{c,i,k}$ 、 $e_{c,i,k}$ 、 $\nu_{c,i,k}$ 、 $\Lambda^{\theta_{c,i,k}}$ 、 $z_{c,i+1,k}$ を用いて、振幅 $a_{c,i,k}$ と位相係数 $\theta_{c,i,k}$ を推定する (S41 30
15)。具体的には、振幅位相推定部4115は、

【0175】

【数57】

$$\left\{ \mu_{c,i,k}^T (z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}\|_2^2 \right\} \\ \dots(53)$$

【0176】

を $a_{c,i,k}$ について最小化することにより $a_{c,i,k}$ を求める (S4115)。こ 40
この最小化は、

【0177】

【数58】

$$a_{c,i,k} = \frac{\mu_{c,i,k}^T z_{c,i,k} + \|z_{c,i,k}\|_2^2}{\|e_{c,i,k}\|_2^2} \dots(54)$$

【0178】

を求めることにより行われる。振幅位相推定部4115は、これを、 $i = 1, 2, \dots, N_c - 1$ それぞれについて行う (S4115)。 50

また、振幅位相推定部 4 1 1 5 は、

【 0 1 7 9 】

【 数 5 9 】

$$\left\{ \mathbf{v}_{c,i,k}^T \left(\mathbf{e}_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} \mathbf{z}_{c,i+1,k} \right) + \frac{\gamma}{2} \left\| \mathbf{e}_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} \mathbf{z}_{c,i+1,k} \right\|_2^2 \right\} \dots(55)$$

【 0 1 8 0 】

を c, i, k について最小化することにより、位相係数 c, i, k を求める (S 4 1 1 5)。この最小化は数値計算法などによって行われる。振幅位相推定部 4 1 1 5 は、 $i = 1, 2, \dots, N_c - 1$ それぞれについて最小化を行う (S 4 1 1 5)。 10

【 0 1 8 1 】

振幅位相推定部 4 1 1 5 は、パラメータ記憶部 4 1 2 に記憶された $a_{c,i,k}$ 及び c, i, k の値を、上述の最小化により求めた $a_{c,i,k}$ 及び c, i, k の値にそれぞれ更新する (S 4 1 1 5)。

【 0 1 8 2 】

< 乗数更新部 4 1 3 >

乗数更新部 4 1 3 は、信号推定部 4 1 1 で推定した $x_i, z_{c,i,k}, z_{d,i}, \mu_{c,i,k}, c, i, k, e_{c,i,k}, e_{c,i-1,k}, s_{d,i}, a_{c,i,k}, c, i-1, k, d, i$ を用いて、式 (40) の各制約条件に対応する未定乗数 $\mu_{c,i,k}, c, i, k, d, i$ を更新する (S 4 1 3)。具体的には、乗数更新部 4 1 3 は、下記式により各乗数の値を更新する (S 4 1 3)。 20

【 0 1 8 3 】

【 数 6 0 】

$$\lambda_i \leftarrow \lambda_i + \alpha \left\{ x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} + z_{d,i} \right) \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad \dots(56)$$

$$\mu_{c,i,k} \leftarrow \mu_{c,i,k} + \beta \left(z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k} \right), \quad i = 1, 2, \dots, N_c - 1, k = 1, 2, \dots, N_s \quad \dots(57)$$

$$\mathbf{v}_{c,i,k} \leftarrow \mathbf{v}_{c,i,k} + \gamma \left(\mathbf{e}_{c,i-1,k} - \Lambda^{\theta_{c,i-1,k}} \mathbf{z}_{c,i,k} \right), \quad i = 1, 2, \dots, N_c - 1, k = 1, 2, \dots, N_s \quad \dots(58)$$

$$\xi_{d,i} \leftarrow \xi_{d,i} + \sigma \left(z_{d,i} - \Phi s_{d,i} \right), \quad i = 1, 2, \dots, N_c \quad \dots(59)$$

【 0 1 8 4 】

< 終了判定部 1 1 4 >

終了判定部 1 1 4 の構成、入出力、機能は実施例 1 と同様である。

【 0 1 8 5 】

このように、本実施例の圧縮信号復元装置 4 によれば、共通信号が複数ある場合にも実施例 1 と同様の効果を奏する。

【 実施例 5 】

【 0 1 8 6 】

次に、図 1 9 から図 2 2 を参照して実施例 5 の圧縮信号復元装置 5 について説明する。図 1 9 は本実施例の圧縮信号復元装置 5 の構成を示すブロック図である。図 2 0 は本実施例の圧縮信号復元装置 5 の動作を示すフローチャートである。図 2 1 は本実施例の圧縮信号復元装置 5 の信号推定部 5 1 1 の構成を示すブロック図である。図 2 2 は本実施例の圧縮信号復元装置 5 の信号推定部 5 1 1 の動作を示すフローチャートである。実施例 1 の信号推定部 1 1 1、乗数更新部 1 1 3 は、本実施例においてそれぞれ信号推定部 5 1 1、乗数更新部 5 1 3 に変更されている。また、本実施例の圧縮信号復元装置 5 は実施例 1 の圧縮信号復元装置 1 が備えないインデクス入れ替え部 5 1 5、対応テーブル記憶部 5 1 6 を備える。実施例 1 の要素信号推定部 1 1 1 2、共通信号推定部 1 1 1 3、振幅位相推定部 40

1 1 1 5 は、本実施例においてそれぞれ要素信号推定部 5 1 1 2、共通信号推定部 5 1 1 3、振幅位相推定部 5 1 1 5 に変更されている。

【 0 1 8 7 】

実施例 4 においては複数の共通信号がある場合を仮定していたが、場合によっては共通信号間の区別をつけることが困難である（あいまいさがある）ために最適化が上手くいかない場合がある。実施例 5 ではこれを回避するために、共通信号のパワーが大きい順になるように共通信号のインデックスを入れ替えることを行う。

【 0 1 8 8 】

上記の処理を実行するため、本実施例では下記のように実施例 1 の各構成部が変更される。

【 0 1 8 9 】

< 対応テーブル記憶部 5 1 6 >

対応テーブル記憶部 5 1 6 は、変換前の共通信号のインデックスと、変換後（パワーが大きい順に並べ替えた後の）インデックスとの対応関係を表す対応テーブルを記憶する。対応テーブルの初期値は、変換前のインデックスと変換後のインデックスが同じ（変化しない）状態としておく。

【 0 1 9 0 】

< インデックス入れ替え部 5 1 5 >

インデックス入れ替え部 5 1 5 は、要素信号推定部 5 1 1 2 から $z_{c, i, k}$ を受け取り、予め定めたいずれかの第 i 番目のセンサに着目して、各 $k = 1, 2, \dots, N_s$ について $z_{c, i, k}$ の L_2 ノルムを計算する（S 5 1 5）。そして、インデックス入れ替え部 5 1 5 は、変換後のインデックス $k' = 1, 2, \dots, N_s$ が、 $z_{c, i, k'}$ の L_2 ノルムの大きい順になるように、並べ替え前のインデックス k と変換後のインデックス k' との対応関係を求め、対応テーブル記憶部 5 1 6 の対応テーブルの内容を更新する（S 5 1 5）。

【 0 1 9 1 】

要素信号推定部 5 1 1 2、共通信号推定部 5 1 1 3、振幅位相推定部 5 1 1 5、乗数更新部 5 1 3 は、基本的には実施例 4 と同じ動作をするが、共通信号のインデックス k については、対応テーブル記憶部 5 1 6 に記憶された対応テーブルを参照して、変換後のインデックスの順に各変数を入れ替えてから計算を行う。他の部の構成、入出力、機能については実施例 1 と同様である。

【 0 1 9 2 】

このように、本実施例の圧縮信号復元装置 5 によれば、共通信号間の区別をつけることが困難な場合であっても、共通信号のパワーが大きい順になるように共通信号のインデックスを入れ替えることで、最適化を実行できる。

【 実施例 6 】

【 0 1 9 3 】

実施例 1 ~ 4 については個別信号のスパース性を仮定していた。本実施例ではこの制約をなくす。具体的には、信号推定部 6 1 1 として、

【 0 1 9 4 】

10

20

30

【数 6 1】

$$\begin{aligned}
H_3 &= \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
&+ \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T (x_i - (z_{c,i})) + \frac{\alpha}{2} \|x_i - (z_{c,i})\|_2^2 \right\} \\
&+ \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - a_{c,i} e_{c,i}\|_2^2 \right\} \\
&+ \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \nu_{c,i}^T (e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i} - \Lambda^{\theta_{c,i}} z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\
&\dots(60)
\end{aligned} \tag{10}$$

【0 1 9 5】

または

【0 1 9 6】

【数 6 2】

$$\begin{aligned}
J_2 &= \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
&+ \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T (x_i - (z_{c,i})) + \frac{\alpha}{2} \|x_i - (z_{c,i})\|_2^2 \right\} \\
&+ \sum_{i \in \Omega^-} \left\{ \mu_{c,i}^T (z_{c,i} - z_{c,i+1}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i} - z_{c,i+1}\|_2^2 \right\} \\
&\dots(61)
\end{aligned} \tag{20}$$

【0 1 9 7】

【数 6 3】

$$\begin{aligned}
H_4 &= \sum_{i \in \Omega} \frac{1}{2} \|y_i - \Psi_i x_i\|_2^2 \\
&+ \sum_{i \in \Omega} \left\{ \lambda_i^T \left(x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} \right) \right) + \frac{\alpha}{2} \left\| x_i - \left(\sum_{k \in \Omega_s} z_{c,i,k} \right) \right\|_2^2 \right\} \\
&+ \sum_{i \in \Omega^-} \sum_{k \in \Omega_s} \left\{ \mu_{c,i,k}^T (z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}) + \frac{\beta}{2} \|z_{c,i,k} - a_{c,i,k} e_{c,i,k}\|_2^2 \right\} \\
&+ \sum_{i \in \Omega^-} \sum_{k \in \Omega_s} \left\{ \nu_{c,i,k}^T (e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}) + \frac{\gamma}{2} \|e_{c,i,k} - \Lambda^{\theta_{c,i,k}} z_{c,i+1,k}\|_2^2 \right\} \\
&\dots(62)
\end{aligned} \tag{40}$$

【0 1 9 8】

を目的関数として最小化する構成とすることができる。この場合は各実施例から個別信号推定部 1114 を取り除くとともに、上記式 (60) ~ (62) にそれぞれ対応した各変数について最小化を行えば良い。

【実施例 7】

【0199】

実施例 1 ~ 4 において重み w_i は固定された値であったが、FPC (Fixed-Point Continuation, 非特許文献 1) のような方法で w_i を更新してもよい。乗数更新部 713 において、さらに重み係数 w_i の更新処理を行う。

【0200】

<乗数更新部 713>

乗数更新部 713 は、実施例 1 ~ 4 のいずれかに記載の乗数更新部 113 ~ 413 の処理に加え、下記の更新式に基づいて、パラメータ記憶部に記憶された重み w_i を更新する (5713)。

【0201】

【数 64】

$$w_i \leftarrow \frac{w_i}{\eta} \quad \dots(63)$$

【0202】

ここで、 η は予め定めた定数である。ただし w_i が予め定めた下限値 w_{\min} よりも小さい場合は w_{\min} を出力する構成としても良い。

【0203】

なお、上述の重みの更新処理を行うか否かを

【0204】

【数 65】

$$r_{d,i} = \frac{\|s_{d,i} - \tilde{s}_{d,i}\|_2}{\|s_{d,i}\|} < \varepsilon_{d,i} \sqrt{\frac{w_i}{w_{\min}}} \quad \dots(64)$$

【0205】

により判定しても良い。つまり、式 (64) が真ならば式 (63) による重みの更新処理を行い、式 (64) が偽ならば重みの更新処理は行わない構成としても良い。ここで、

$\varepsilon_{d,i}$ は予め定めた定数である。

【0206】

<終了判定部 714>

終了判定部 714 は、実施例 1 の終了判定部 114 における「所定の終了条件」として、式 (19) に加えて、下記式

【0207】

【数 66】

$$w_{\min} \leq w_i \quad \dots(65)$$

【0208】

を用いる。すなわち、「信号推定部の繰り返し回数 k が予め定めた回数 $I_{t_{\max}}$ に到達し」かつ「更新後の重み w_i が w_{\min} より小さい」という条件を充たした場合に、「所定の条件を充たした」と判定する。

【0209】

また、上述の各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的にあるいは個別に実行されてもよい。そ

10

20

30

40

50

の他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能であることはいうまでもない。

【0210】

また、上述の構成をコンピュータによって実現する場合、各装置が有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。そして、このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記処理機能がコンピュータ上で実現される。

【0211】

この処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体としては、例えば、磁気記録装置、光ディスク、光磁気記録媒体、半導体メモリ等のようなものでもよい。

【0212】

また、このプログラムの流通は、例えば、そのプログラムを記録したDVD、CD-ROM等の可搬型記録媒体を販売、譲渡、貸与等することによって行う。さらに、このプログラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することにより、このプログラムを流通させる構成としてもよい。

【0213】

このようなプログラムを実行するコンピュータは、例えば、まず、可搬型記録媒体に記録されたプログラムもしくはサーバコンピュータから転送されたプログラムを、一旦、自己の記憶装置に格納する。そして、処理の実行時、このコンピュータは、自己の記録媒体に格納されたプログラムを読み取り、読み取ったプログラムに従った処理を実行する。また、このプログラムの別の実行形態として、コンピュータが可搬型記録媒体から直接プログラムを読み取り、そのプログラムに従った処理を実行することとしてもよく、さらに、このコンピュータにサーバコンピュータからプログラムが転送されるたびに、逐次、受け取ったプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。また、サーバコンピュータから、このコンピュータへのプログラムの転送は行わず、その実行指示と結果取得のみによって処理機能を実現する、いわゆるASP(Application Service Provider)型のサービスによって、上述の処理を実行する構成としてもよい。

【0214】

なお、本形態におけるプログラムには、電子計算機による処理の用に供する情報であってプログラムに準ずるもの(コンピュータに対する直接の指令ではないがコンピュータの処理を規定する性質を有するデータ等)を含むものとする。また、この形態では、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させることにより、本装置を構成することとしたが、これらの処理内容の少なくとも一部をハードウェア的に実現することとしてもよい。

10

20

30

【図1】

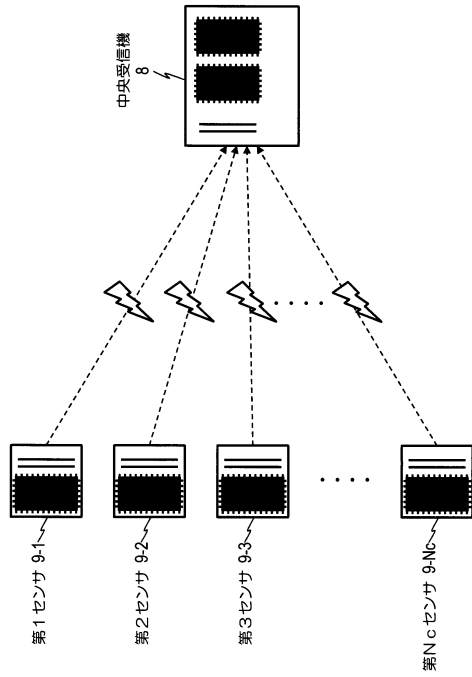


図1

【図2】

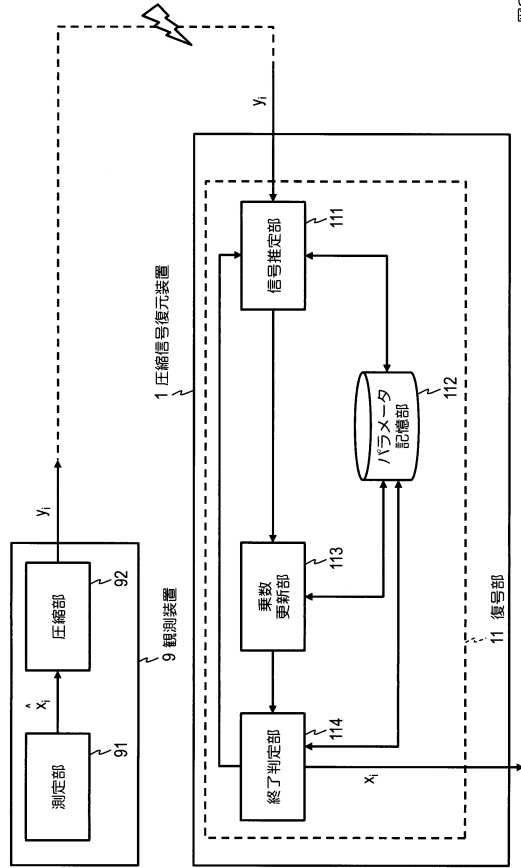


図2

【図3】

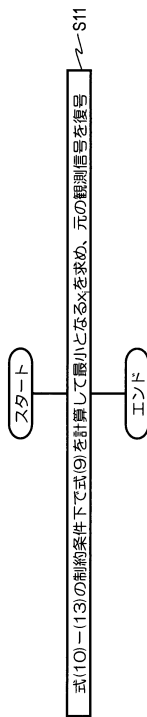


図3

【図4】

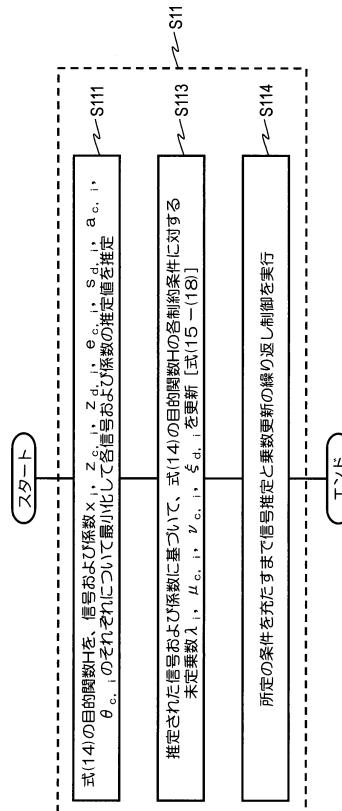


図4

【 図 5 】

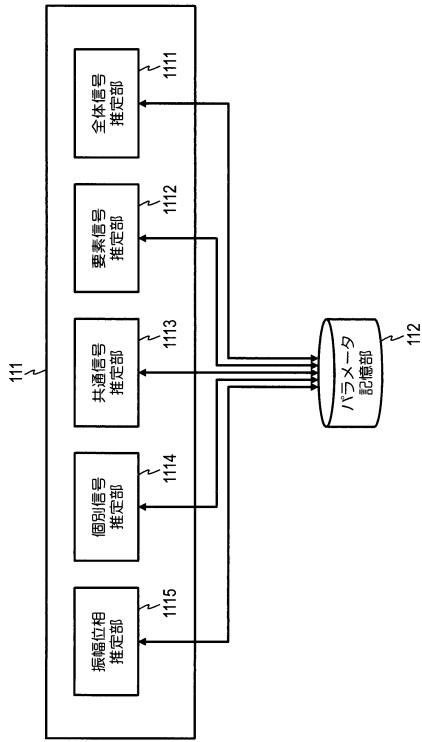


図5

【 図 6 】

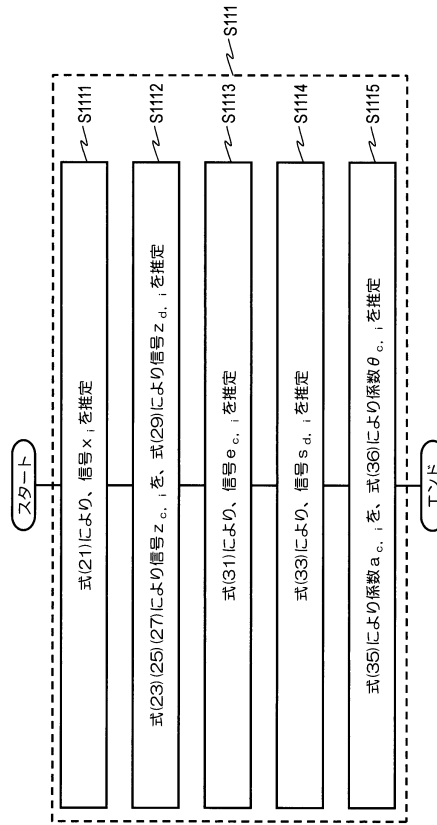


図6

【 図 7 】

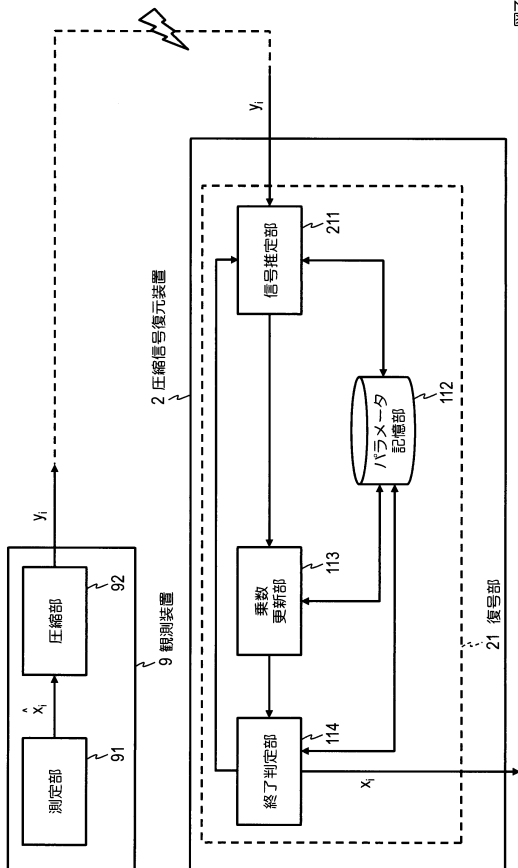


図7

【 図 8 】

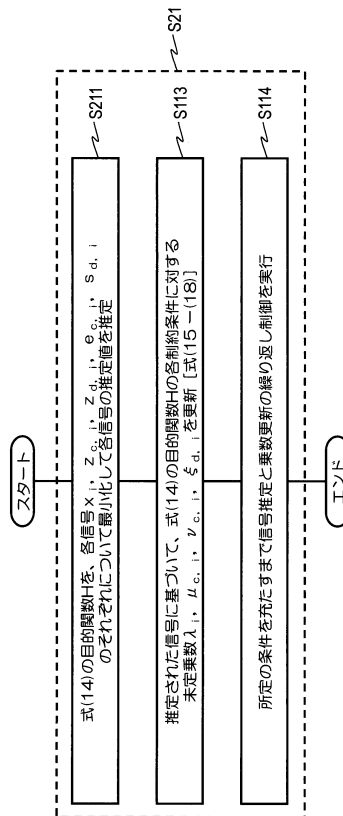


図8

【図9】

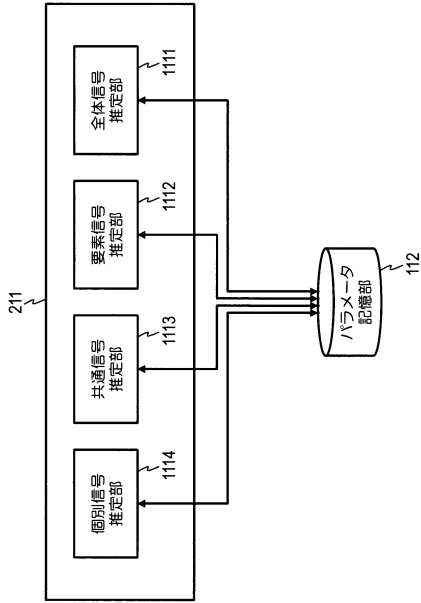


図9

【図10】

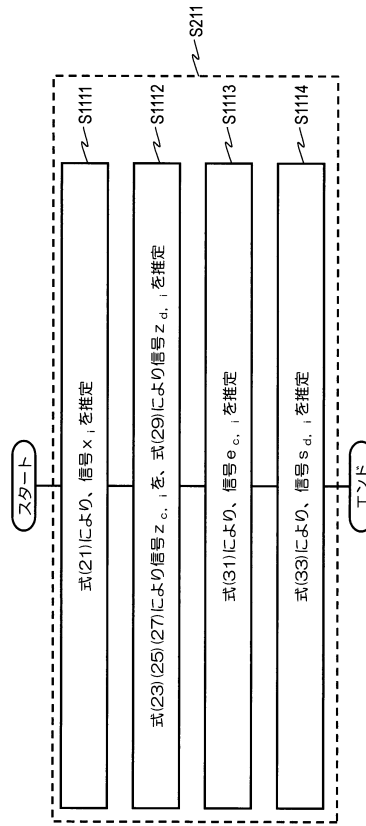


図10

【図11】

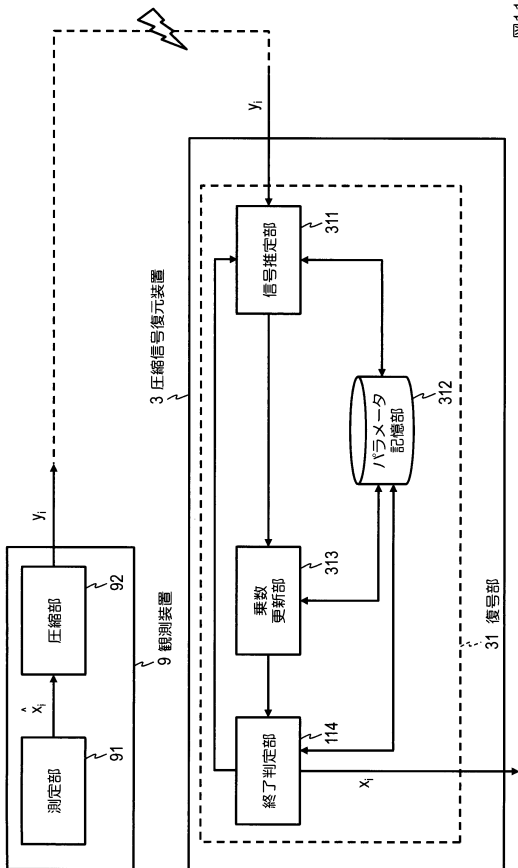


図11

【図12】

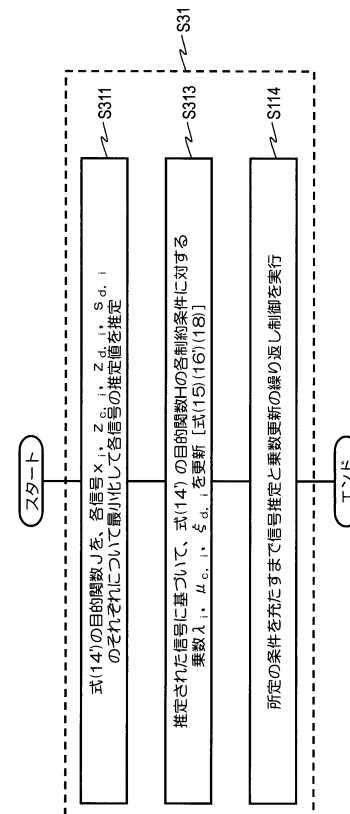


図12

【 図 1 3 】

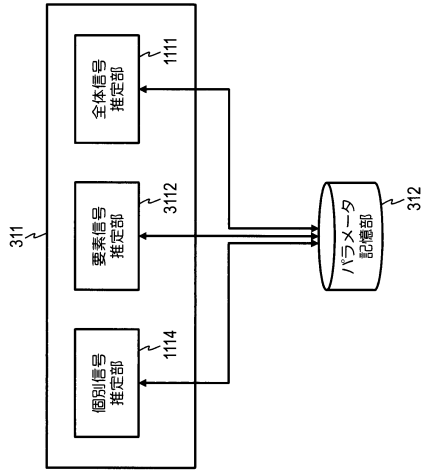


図13

【 図 1 4 】

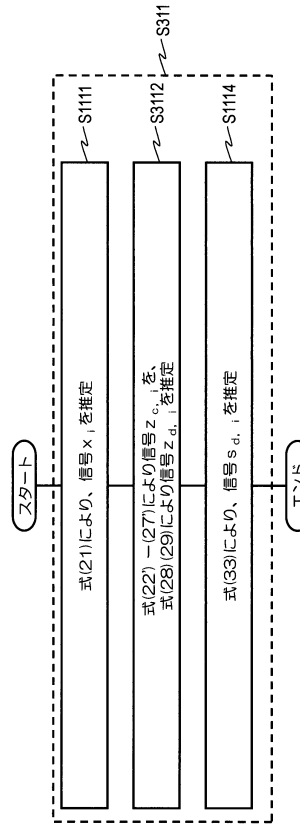


図14

【 図 1 5 】

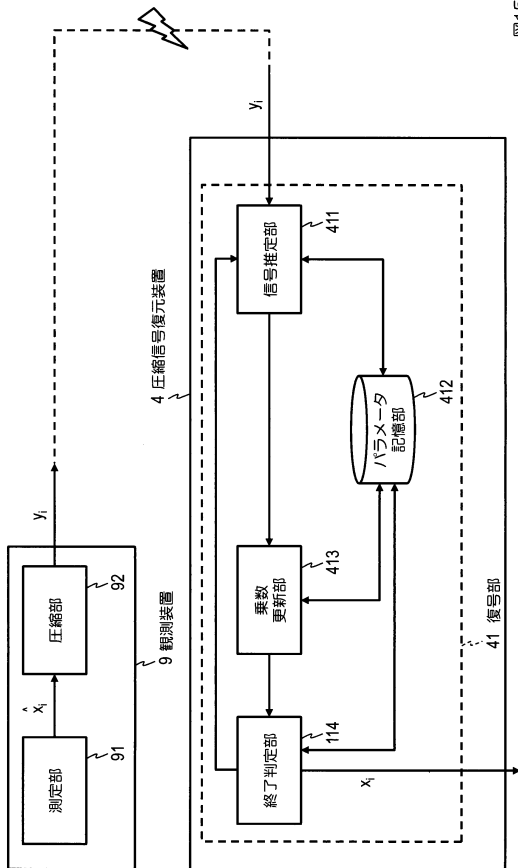


図15

【 図 1 6 】

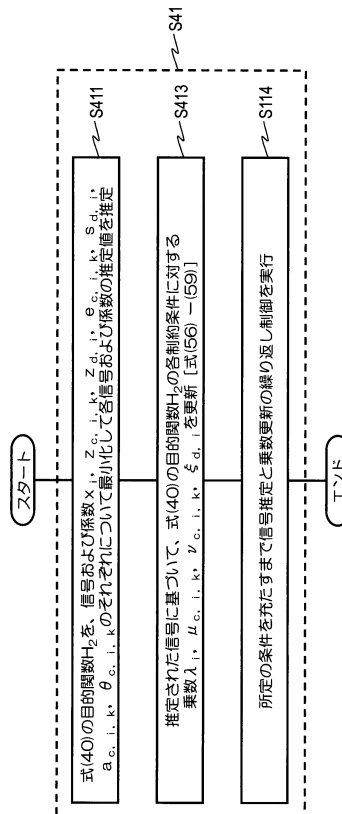


図16

【図17】

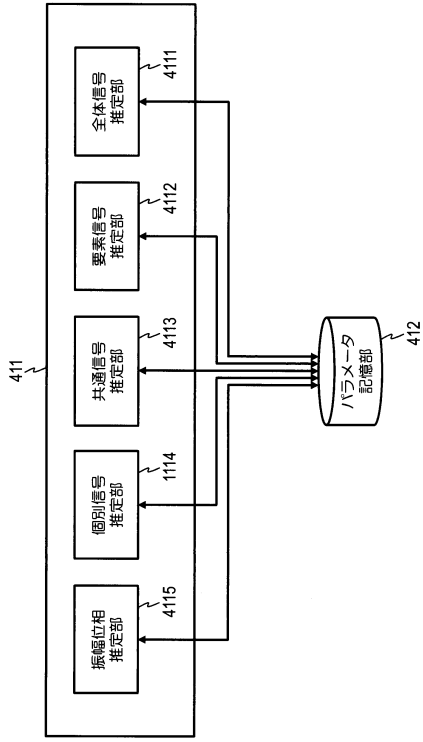


図17

【図18】

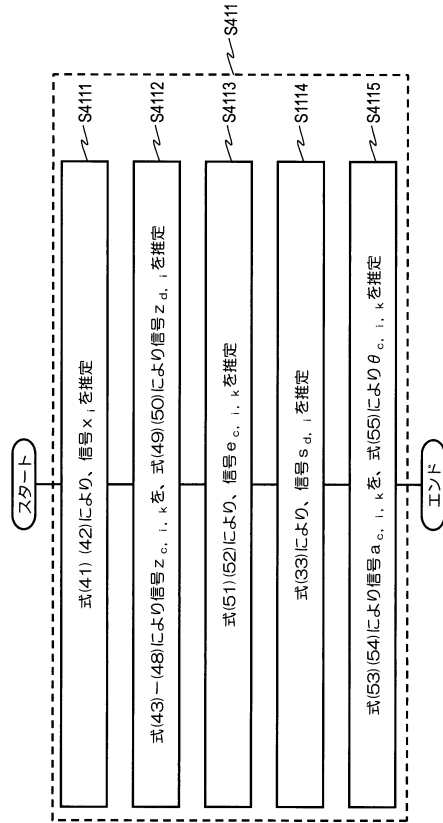


図18

【図19】

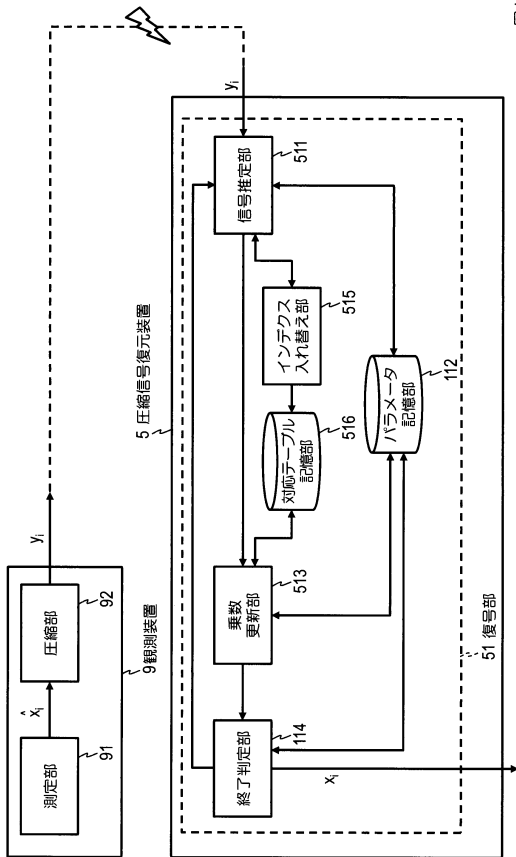


図19

【図20】

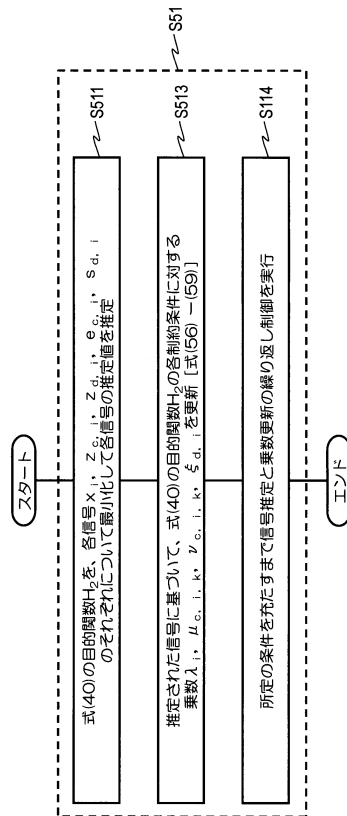


図20

【 図 2 1 】

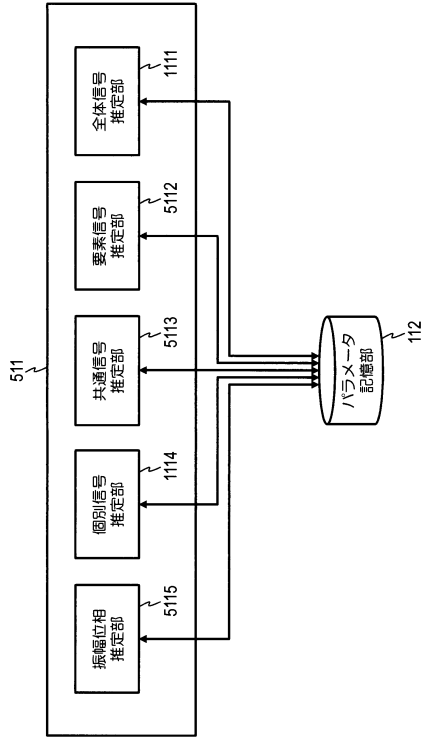


図21

【 図 2 2 】

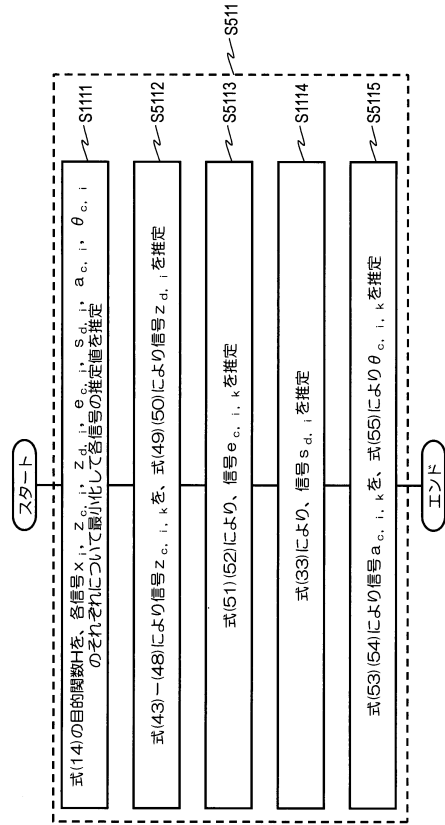


図22

フロントページの続き

(72)発明者 守谷 健弘

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 北村 智彦

(56)参考文献 米国特許出願公開第2007/0027656(US, A1)

米国特許出願公開第2012/0083230(US, A1)

特開2011-096240(JP, A)

特開2013-239852(JP, A)

白木善史, 鎌本優, 守谷健弘, 減衰及び遅延のある共通要素を持った多チャネル信号の復元, 電子情報通信学会2012年基礎・境界ソサイエティ大会講演論文集, 2012年 8月28日, p.62

Yoshifumi Shiraki, Yutaka Kamamoto, Takehiro Moriya, SIMULTANEOUS RECONSTRUCTION OF UNDERSAMPLED MULTICHANNEL SIGNALS WITH A DECAYED AND TIME-DELAYED COMMON COMPONENT, 2013 IEEE International Conference on Acoustics and Signal Processing, 2013年 5月26日, pp.3816-3820

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03M 3/00 - 11/00

G08C 17/00

G08C 19/00

IEEE Explore

Cinii